

化工与机械进展

 SYNERGY  
PUBLISHING PTE. LTD.

Volume 2  
Issue 07

July 2024

ISSN 3029-2395(Print) 3029-2409(Online)

# 化工与机械进展

Volume 2 · Issue 7 · July 2024 · ISSN 3029-2395(Print) 3029-2409(Online)



 SYNERGY  
PUBLISHING PTE. LTD.  
Tel: +65 65881289  
E-mail: [contact@s-p.sg](mailto:contact@s-p.sg)  
Website: [ojs.s-p.sg](http://ojs.s-p.sg)



中文刊名：化工与机械进展

ISSN: 3029-2395 (纸质) 3029-2409 (网络)

出版语言：华文

期刊网址：https://ojs.s-p.sg/index.php/hgyjxjz

出版社名称：新加坡协同出版社

Serial Title: Progress in Chemical Engineering and Machinery

ISSN: 3029-2395 (Print) 3029-2409 (Online)

Language: Chinese

URL: https://ojs.s-p.sg/index.php/hgyjxjz

Publisher: Synergy Publishing Pte. Ltd.

## 《化工与机械进展》征稿函

### Database Inclusion



Asia & Pacific Science  
Citation Index



China National Knowledge  
Infrastructure



MyScienceWork



Google Scholar



Crossref



Creative Commons

### 版权声明 / Copyright

协同出版社出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据 Creative Commons 国际署名-非商业使用 4.0 版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归协同出版社所有。

All articles and any accompanying materials published by Synergy Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). Synergy Publishing Pte. Ltd. reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Synergy Publishing Pte. Ltd.

电子邮箱 /E-mail: contact@s-p.sg

官方网址 /Official Website: www.s-p.sg

地址 /Address: 12 Eu Tong Sen Street, #07-169, Singapore 059819



### 期刊概况:

中文刊名：化工与机械进展

ISSN: 3029-2395 (Print) 3029-2409 (Online)

出版语言：华文

期刊网址：https://ojs.s-p.sg/index.php/hgyjxjz

出版社名称：新加坡协同出版社

### 出版格式要求:

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

### 出刊及存档:

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 中国知网（CNKI）、谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

### 作者权益:

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

### 评审过程:

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

# 化工与机械进展

Volume 2 Issue 7 July 2024  
ISSN 3029-2395 (Print) 3029-2409 (Online)

主 编

竹 涛

Tao Zhu

编 委

蒋 军 Jun Jiang

焦林郁 Linyu Jiao

银凤翔 Fengxiang Yin

胡 焱 Yi Hu

潘 伟 Wei Pan

- 1 电磁涡流检测技术在天然气管道检测中的应用  
/ 周丹 李强林
- 4 氯碱装置节能减碳技术研究  
/ 高健
- 7 往复式压缩机组排气温度过高原因分析  
/ 杨勇
- 10 深锥浓密机在尾砂综合利用中的技术创新实践  
/ 徐世群
- 13 薄壁件加工中的电气驱动与振动控制策略  
/ 王梓豪
- 16 空压机组高压缸振动异常原因分析及处理  
/ 李超能 陈平 帅全明
- 19 液化气脱硫醇清洁化生产工艺安全可靠分析  
/ 陈兴南
- 23 抛丸机专利技术综述  
/ 张叠
- 26 某移动天线方舱风载有限元分析  
/ 王冬 崔麦苗 张娜 樊兴华
- 29 基于对工业锅炉水质检验工作的不足与解决措施研究  
/ 孙文静
- 32 基于 MATLAB 的汽轮机隔板强度计算及仿真  
/ 刘雄 张鹏飞 赵俊杰 吴方松
- 38 浅谈压力容器常见缺陷及处理方法  
/ 张森森 刘洁
- 41 长输管道 PIM 管理系统在焊接质量控制中的作用  
/ 钟见平
- 44 浅析在线诊断系统在铝箔精轧机减速机中的实际运用  
/ 杨宝洲 林素 周根荣
- 47 压裂储罐外防腐层机械化维修工艺研究  
/ 杨友
- 50 石油天然气管道安全风险及保护措施探讨  
/ 陈瑞雪 叶小伟 孙岩
- 53 信息时代机械设计制造及自动化的特征及应用策略思考  
/ 张鹏翔
- 56 纺织防水助剂的性能优化与应用研究  
/ 施洪坤 方成海 熊振泽
- 59 基于遗传算法的模糊 PID 温度控制系统  
/ 轩浩 李成泽 杨培园
- 63 面粉厂小麦原料出仓系统的升级改造及优化设计  
/ 宋卓雄
- 66 全精炼石蜡产品臭味改进措施  
/ 李波

1	The Application of Electromagnetic Eddy Current Detection Technology in Natural Gas Pipeline Testing / Dan Zhou Qianglin Li	38	Discussion on the Common Defects and Treatment Methods of Pressure Vessel / Sensen Zhang Jie Liu
4	Research on the Energy Saving and Carbon Reduction Technology of Chlor-alkali Plant / Jian Gao	41	The Role of PIM Management System in Welding Quality Control / Jianping Zhong
7	Analysis of the Causes of High Exhaust Temperature in Reciprocating Compressor Units / Yong Yang	44	The Practical Application of On-line Diagnostic System in the Reducer of Aluminum Foil Finishing Mill / Baozhou Yang Su Lin Genrong Zhou
10	Technology Innovation Practice of Deep Cone Machine in Comprehensive Utilization of Tailings / Shiqun Xu	47	Research on Mechanized Maintenance Technology of Outer Anticorrosive Coating of Fracturing Storage Tank / You Yang
13	Electrical Drive and Vibration Control Strategy in Thin-wall Parts Machining / Zihao Wang	50	Discussion on Safety Risks and Protection Measures of Oil and Gas Pipelines / Ruixue Chen Xiaowei Ye Yan Sun
16	Analysis and Treatment of Abnormal Vibration Causes of High Pressure Cylinder in Air Compressor Units / Chaoneng Li Ping Chen Quanming Shuai	53	Characteristics and Application Strategies of Mechanical Design, Manufacturing and Automation in the Information Age / Pengxiang Zhang
19	Safety and Reliability Analysis of Clean Production Process for Desulfurization of Liquefied Gas / Xingnan Chen	56	Research on the Performance Optimization and Application of Textile Waterproof Additives / Hongkun Shi Chenghai Fang Zhenze Xiong
23	Technical Review of Shot Blasting Machines / Die Zhang	59	Fuzzy PID Temperature Control System Based on a Genetic Algorithm / Hao Xuan Chengze Li Peiyuan Yang
26	Finite Element Analysis of Wind Load on a Mobile Antenna Shelter / Dong Wang Maimiao Cui Na Zhang Xinghua Fan	63	Upgrading and Optimization Design of Wheat Material Out of Warehouse System in Flour Mill / Zhuoxiong Song
29	Research on the Shortcomings and Solutions of Water Quality Inspection for Industrial Boilers / Wenjing Sun	66	Improvement Measures for Fully Refined Paraffin-smelling Products / Bo Li
32	Strength Calculation and Simulation of Steam Turbine Diaphragm Based on MATLAB / Xiong Liu Pengfei Zhang Junjie Zhao Fangsong Wu		

# The Application of Electromagnetic Eddy Current Detection Technology in Natural Gas Pipeline Testing

Dan Zhou<sup>1</sup> Qianglin Li<sup>2</sup>

1. Shandong Zhongyuan Natural Gas Technology Service Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China  
2. Shandong Province Natural Gas Pipeline Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

## Abstract

This paper first introduces the basic principle and detection process of electromagnetic eddy current detection technology, and then introduces the application of electromagnetic eddy current detection technology in natural gas pipeline detection, including the identification and positioning of corrosion defects in natural gas pipeline, the excavation verification of corrosion defects outside natural gas pipeline and the integrity evaluation of natural gas pipeline corrosion defects. Through related research shows that the electromagnetic eddy current detection technology has a wide application range, high sensitivity and the advantages of low detection cost, for the gas pipeline defect detection results have certain reliability, can provide reliable guarantee for the safe operation of natural gas pipeline, suggested that the technology in the field of natural gas pipeline detection technology.

## Keywords

electromagnetic eddy current detection technology; natural gas pipeline; corrosion defect; residual strength

## 电磁涡流检测技术在天然气管道检测中的应用

周丹<sup>1</sup> 李强林<sup>2</sup>

1. 山东省中远天然气技术服务有限责任公司, 中国·山东 济南 250000  
2. 山东省天然气管道有限责任公司, 中国·山东 济南 250000

## 摘要

论文首先介绍了电磁涡流检测技术的基本原理和检测流程, 然后介绍了电磁涡流检测技术在天然气管道检测中的应用, 包括对天然气管道内腐蚀缺陷的识别和定位、天然气管道外腐蚀缺陷开挖验证以及天然气管道腐蚀缺陷的完整性评价。通过相关研究表明: 电磁涡流检测技术所具备的应用范围广、灵敏度高以及检测成本低等优势, 对于天然气管道缺陷的检测结果具备一定的可靠性, 能够为天然气管道的安全运行提供可靠保障, 建议该技术在天然气管道检测领域中实现技术推广。

## 关键词

电磁涡流检测技术; 天然气管道; 腐蚀缺陷; 剩余强度

## 1 电磁涡流检测技术概述

### 1.1 电磁涡流检测技术的概念

电磁涡流检测技术是建立在电磁感应原理基础上的一种无损检测方法, 特别适用于导电材料。当导体置于交变磁场之中, 导体内就会产生感应电流(涡流), 导体内感生涡流的幅值、相位、流动形式及其伴生磁场受导体的物理特性影响。电磁涡流检测技术无需与被测物体直接接触就可以对其进行检测, 这一优势使得检测人员能够大大降低因接触而产生的安全隐患, 同时也不会影响到被检测材料的性能。

### 1.2 电磁涡流检测流程

#### 1.2.1 检测准备

在进行检测之前需要调查管道的尺寸, 不同管道管壁

厚度、管道长度、管道有效使用的期限, 管道所能承受的压力限度, 管道实测高程与设计高程的差异等, 通过以上全面调查深入了解管道现状<sup>[1]</sup>。

#### 1.2.2 清管

为促使后续检测工作达到标准要求, 需利用钢丝刷清管器、磁性清管器、强力除垢清管器、高密度泡沫海绵清管器和清管球等清管器具彻底清理管道中残存的液体、杂质、污垢。不同管道具有不同功能且对应不同的清理要求, 可结合管道实际情况选择最适宜的器具按照相应的顺序进行清理, 从而达到清管标准。如果出现某一清理工作不达标现象, 则需要反复进行管道清管操作, 直到满足标准要求为止<sup>[2]</sup>。

#### 1.2.3 内检测

若想将涡流检测器发出需具备相应条件, 首先需明确管道中不存在变形问题, 其次对于涡流检测器触发条件能够全部满足, 此时才可以进行下一步操作。在检测器发出后,

【作者简介】周丹(1990-), 女, 中国山东济宁人, 本科, 输气技师, 从事长输天然气管道安全生产运行研究。

需时刻关注检测器运行速度，其速度范围应为0.4~5m/s，还应明确管壁中金属是否存在损耗问题以及气田管道具备的特征，将上述内容全面整合后以信号分析的形式将其转化为内检测初报告，通过这份报告可以为确定验证开挖点、维修金属缺失点提供明确的方向。

## 2 天然气管道检测中电磁涡流检测技术的具体应用

### 2.1 检测对象及作业流程

本次检测对象为含硫湿天然气集输管道，检测全长20.025km，设计压力位7.5MPa。技术人员在应用电磁涡流检测技术过程中主要通过检测器来实现检测作业，在检测器开始作业前需要对管道内部情况是否能够达到电磁涡流检测的相关标准进行检验。在检验达标后对管道中线区域进行测绘作业，同时测量管道的高程和平面位置，使后续在管道缺陷检测的定位过程能够更加顺利。为了更好地提升检测作业的整体效率，检测前需要先后6次对管道内部进行清理，保证管内的杂物不会对检测结果造成误差和影响。

### 2.2 检测结果分析

在整个检测过程中，电磁涡流检测器一共在管道内部检测到104处金属缺失，其金属缺失深度统计表如表1所示。通过表1可以看出，金属缺失最普遍的深度集中在20%wt~40%wt范围内，为56处；其次为20%wt深度以下范围内，为35处，深度大于60%wt的金属缺失仅为1处。

表1 金属缺失深度统计表

深度范围 (wt: 壁厚)	数量
深度 < 20%wt	35
20%wt ≤ 深度 < 40%wt	56
40%wt ≤ 深度 < 60%wt	13
深度 ≥ 60%wt	1
总数	104

为了能够更加直观地分析含硫湿天然气集输管道内部金属缺失在里程维度上的分布情况，笔者对金属缺失的平面分布图进行了详细绘制。可以得出以下结论：含硫湿天然气集输管道内部的金属缺失的集中区域为0~4000m、6000~10000m以及14000~18000m三个区域范围内，其余里程区域未发现金属缺失情况，因此检测人员可以缩小检测范围，并集中对以上三个里程区域进行重点监测。

### 2.3 缺陷开挖验证

为了验证电磁涡流检测技术在含硫湿天然气集输管道金属缺失检测结果的精确性，技术人员采用DR数字成像技术和C扫技术对具有代表性的10处金属缺失位置采取现场开挖验证的方式，其中D24-D40缺陷位置采用C扫技术进行验证，D43-D74缺陷位置采用DR数字成像技术进行验证，表2为开挖验证取点表。

表2 开挖验证取点表

缺陷标号	绝对距离/m	宽/mm	长/mm	深度/mm	深度百分比/%	验证方式
D24	1193.30	60.00	47.60	1.85	24.00	C扫
D26	1194.99	60.00	11.76	3.39	43.00	
D32	1690.40	40.00	12.04	2.02	26.00	
D36	2167.14	80.00	36.21	3.31	42.00	
D40	2305.09	40.00	35.76	3.08	39.00	
D43	2761.50	40.00	28.00	2.59	33.00	DR
D44	2962.30	80.00	42.00	4.09	52.00	
D47	2992.20	40.00	29.00	3.46	44.00	
D73	9364.93	40.00	45.00	2.19	28.00	
D74	9375.62	40.00	194.00	2.67	34.00	

#### 2.3.1 C扫验证

由于C扫技术对于金属缺失缺陷的深度更为敏感，对长度的敏感性不高，因此本次采用C扫检测时主要对比深度指标，表3为C扫检测数据对比表，其中括弧内为管壁的真实厚度。

表3 C扫检测数据对比表

缺陷标号	数据来源	深度/mm	深度百分比/%wt
D24	涡流检测数据	1.94	25.10
	C扫检测数据	2.00 (5.80)	25.42
	检测误差	-0.06	-0.32
D26	涡流检测数据	3.39	44.00
	C扫检测数据	2.00 (5.80)	25.22
	检测误差	1.39	18.78
D32	涡流检测数据	2.02	27.00
	C扫检测数据	1.70 (6.10)	21.42
	检测误差	0.38	5.58
D36	涡流检测数据	3.30	43.00
	C扫检测数据	2.10 (5.70)	26.48
	检测误差	1.20	16.52
D40	涡流检测数据	3.08	40.00
	C扫检测数据	2.70 (5.10)	34.08
	检测误差	0.38	5.92

将缺陷标号D24作为参考，通过C扫技术对管道内部投影后得到该含硫湿天然气集输管道D24处存在管道内部厚度不均匀的情况，所测数据与管道真实厚度相差2.0mm。通过表3可以看出，经过C扫的5次检测中，最小误差为-0.32%，最大误差18.78%，而电磁涡流检测技术的检测精度为±20%，因此本次C扫检测精度满足检测要求，其检测结果符合精度标准。由此也可以说明电磁涡流检测技术对于含硫湿天然气集输管道金属缺失检测的结果具备一定的可靠性。

#### 2.3.2 DR验证

由于DR数字成像技术对于金属缺失缺陷的长度和宽度更为敏感，对深度的敏感性不高，因此本次采用C扫检

测时主要对比长度和宽度指标,表4为DR检测数据对比表。

表4 DR检测数据对比表

缺陷标号	绝对距离/m	数据来源	宽/mm	长/mm
D43		涡流检测数据	39.00	28.00
	2761.50	DR检测数据	10.00	1.00
		检测误差	29.00	28.00
D44		涡流检测数据	79.00	42.00
	2962.30	DR检测数据	33.60	16.00
		检测误差	45.40	26.00
D47		涡流检测数据	39.00	29.00
	2992.20	DR检测数据	1.56	1.66
		检测误差	38.34	27.34
D73		涡流检测数据	39.00	46.00
	9364.93	DR检测数据	17.18	32.24
		检测误差	22.72	13.76
D74		涡流检测数据	39.00	195.00
	9375.62	DR检测数据	12.00	128.30
		检测误差	27.00	66.70

将缺陷标号D43作为参考,通过DR数字成像技术对管道内部投影后得到该含硫湿天然气集输管道D43处内壁缺陷的长度为28mm,宽度为29mm。通过表4可以看出,经过DR的5次检测中,D74的长度和D44的宽度都超过了 $\pm 45\text{mm}$ 的误差范围,而余下的全部指标均符合标准,这也能够基本上表明电磁涡流检测技术对于含硫湿天然气集输管道金属缺失检测的结果具备一定的可靠性。而超出误差的项数据可能是电磁涡流检测器在检测过程中出现气压不稳或检测器探头损坏所产生的误差结果。

## 2.4 缺陷完整性评价

通常而言,由腐蚀行为或制管导致的或是在管道建设过程中出现的由于管壁变薄而形成的累积缺陷,被称为“金属缺失”。经过一系列的验证结果确认后,丢失的金属部件是由于生产工艺引起的则被称为“制造缺陷”。为了科学、合理地评价管道内部的缺陷问题,需综合考虑被标记为“金属缺失”的特征,并初步判定为“腐蚀”所致,后续再通过缺陷完整性评价对其进行综合评价<sup>[1]</sup>。

### 2.4.1 内腐蚀增长速率分析

当管路中存在少量水分时,管路内的自由水具有流动性特点,会在管壁上生成一层亲水性薄膜,管路传输介质中的硫物质会溶解在水中,从而生成原电池,这一过程会发生电化学腐蚀,使管道厚度逐步降低或者出现一系列的凹坑,从而容易发生腐蚀并出现孔洞。使用全寿命腐蚀速率方法分析内部腐蚀增长速率的具体步骤为,暂且认定管道内部的腐蚀环境没有明显改变,处于稳定的状态,而内腐蚀是流动性的,而且在管线投入运行后就呈现稳定增长趋势。

### 2.4.2 缺陷剩余强度评价

在检测过程中没有出现金属缺失超过安全评价曲线的情况,如果腐蚀环境未出现任何变化,则5年之后仍会出现一定缺陷超过安全评价曲线的现象,所以5年在检测后需要采取更进一步的维修与检测措施。

## 3 结语

论文主要以电磁涡流检测器为研究对象,通过一系列措施验证电磁涡流检测器与小管径低压低流速的油气田集输管道之间是否适用,针对其中的缺陷开展了完整性评价。将电磁涡流检测数据输入C扫技术和DR成像技术实验平台中进行验证,可得出电磁涡流检测器对管道内部金属缺失缺陷深度具有更高的灵敏度,可以实现对金属厚度变化的全面呈现,但对缺陷长度和宽度的识别缺少较高的精确度,经分析后发现,管道运行5年后,管道最大内腐蚀深度损失有极大的可能性会由61%增长到89.58%wt。另外,缺陷剩余强度也将会突破安全指标,因此在检测后5年内制定相应的检测计划和维修方案。

## 参考文献

- [1] 刘小齐,刘菊会,何诚,等.电磁涡流检测技术在石油管道检测中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(4):57-59.
- [2] 胡洪宣,刘鑫,谢崇文,等.电磁涡流检测技术在天然气管道检测中的应用[J].材料保护,2022,55(2):183-188.
- [3] 吴超,唐世东,张本同,等.长输天然气管道无损检测裂纹焊口案例浅析[J].全面腐蚀控制,2023,37(12):87-90.

# Research on the Energy Saving and Carbon Reduction Technology of Chlor-alkali Plant

Jian Gao

Hubei Yihua Chemical Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443000, China

## Abstract

Chlor-alkali chemical industry is an important part of the chemical industry, and its products are widely used in the national economy. However, the high energy consumption and low energy utilization efficiency in the chlor-alkali chemical production process have been restricting the sustainable development of this industry. Therefore, it is of great significance to optimize the energy saving and carbon reduction technology of chlor-alkali plant and develop and application of energy saving technology to reduce production costs, improve economic benefits and protect the environment. Continue to carry out a series of energy saving technology innovation, including management innovation, technological progress, energy saving pump replace high energy heat pump, air compressor twin screw compressor contract energy transformation, dry stock reuse polymerization tower technology, heat source cascade utilization, closely around the “double carbon target”, promote energy management, production rose significantly, comprehensive energy consumption per unit product fell sharply, obtained good economic and social benefits.

## Keywords

chlor-alkali device; energy saving; carbon reduction

## 氯碱装置节能减碳技术研究

高健

湖北宜化化工股份有限公司, 中国 · 湖北 宜昌 443000

## 摘要

氯碱化工是化学工业的重要组成部分, 其产品在国民经济中具有广泛的应用。然而, 氯碱化工生产过程中能耗高、能源利用效率低等问题一直制约着该行业的可持续发展。因此, 对氯碱装置节能减碳技术进行优化, 研发和应用节能技术, 对于降低生产成本、提高经济效益、保护环境具有重要意义。持续开展一系列节能技术创新工作, 包括管理创新、技术进步, 节能泵替换高能耗热水泵、空压站双螺杆压缩机合同能源改造、干燥母液回用聚合釜汽提塔技术、热源梯级利用等、紧紧围绕“双碳目标”, 推进能源管理, 产量显著上升, 单位产品综合能耗大幅下降, 获得了较好的经济效益和社会效益。

## 关键词

氯碱装置; 节能; 减碳

## 1 引言

氯碱装置节能减碳技术对于行业的可持续发展具有重要意义。通过工艺优化, 可以显著提高生产效率、降低能耗, 并提升产品质量, 进而增强企业的市场竞争力。氯碱装置节能减碳技术具有深远的意义和广阔的应用前景。随着技术的不断创新和行业的持续发展, 氯碱装置节能减碳技术将取得更加显著的进步和成果, 为行业的可持续发展注入新的动力。氯碱装置如图 1 所示。



图 1 氯碱装置示意图

【作者简介】高健 (1982-), 男, 中国湖北宜昌人, 本科, 工程师, 从事化工工艺研究。

## 2 氯碱装置生产中的能源消耗情况

### 2.1 主要能源消耗环节分析

在氯碱化工生产过程中，主要的能源消耗环节包括以下几个方面：首先，电力消耗。氯碱化工生产中，电力通常被用于电解槽、泵站、压缩机等设备的运行，是生产过程中不可或缺的能源来源。电力消耗在氯碱化工生产中占据重要地位，因此提高电力利用效率、降低电力消耗成本成为行业发展的关键。其次，蒸汽消耗<sup>[1]</sup>。蒸汽在氯碱化工生产中广泛应用，用于加热反应釜、蒸发器等设备，提供热能支持。蒸汽消耗的合理利用和节约对于降低生产成本、提高生产效率至关重要。最后，天然气消耗也是氯碱化工生产中的重要能源消耗环节。天然气通常用于提供燃料燃烧热源，驱动部分反应等，因此天然气的消耗量直接影响着生产成本和环境排放。

### 2.2 能源消耗对环境和经济的影响评估

氯碱化工生产中的能源消耗一方面影响着生产成本和经济效益，另一方面也对环境造成一定影响。能源消耗的合理利用与节约不仅可以降低生产成本，提高行业竞争力，还能减少对环境的负面影响，实现可持续发展。在经济方面，有效控制和降低氯碱化工生产中的能源消耗可以降低生产成本，提高企业盈利能力。采取节能措施、优化生产流程、提高能源利用效率等举措，可以有效降低生产成本，增强企业在市场竞争中的优势。在环境方面，能源消耗过高会导致大量的能源资源浪费和二氧化碳等温室气体排放，加剧全球气候变暖 and 环境污染问题。因此，减少氯碱化工生产中的能源消耗，降低对环境的负面影响，是行业可持续发展的必然趋势<sup>[2]</sup>。

## 3 主要节能减碳管理措施

### 3.1 抓蒸汽消耗

狠抓蒸汽过程管控：所有输水阀严禁开旁路运行，蒸汽冷凝液全部回收至需用热点；干燥空气预热温度大于40℃；转化至聚合纯水温度大于85℃。

### 3.2 抓电耗管理

①总量控制，分段计量。根据产量及消耗目标制定日电总量标杆，统计现有装置能够计量的关口表，结合关口表所对应的设备，根据季节变化分段制定日电标杆，每日对标统计分析，找原因、定措施，将责任和压力层层传递到工段班组；科学匹配冷量与生产负荷关系，严格管控各用水设备的工艺指标，编制岗位换热设备温差检查表，每月对比温差排查换热效果及冷量分配，减少公用系统开机台数；编制运转设备运行电流检测表，每月评估运转设备效率，重点对压滤泵、清液泵、热水泵、压缩机、冰机等多合同型号、同工况、同用途的设备进行对比，找出运行效率低设备，及时排查原因检修，优先高效设备运行，保证单机运行效率；编制公用系统保温保冷隐患排查表，每季度组织排查整改<sup>[3]</sup>，通风降温设施实行申报管理，先申报后使用，限定时间，制定启停标准。

②非生产用电管理严格现场照明管理，根据季节天气调整现场照明启停时间。

③错峰用电，合理避开高峰期。梳理岗位间断启停装置和设备，利用装置储罐、料仓缓存空间，提前备库、调整作息时间，合理避开高峰期。例如，电石破碎岗位3台破碎机、一台风机、3条皮带，共计262kW，完全避开高峰期（1.02元/度），实现低谷期（0.27元/度）运行，既节电又省钱，减少综合电价。

④冷量管理，利用冬季循环水余量，乙炔八台氨0度换热器倒为循环水，保留两台保证乙炔送出质量，既满足生产需求，又节约冷量，减少冰机开机台数。

⑤持续推进节能减碳“金点子”。发动全员，集思广益，畅通岗位“金点子”申报、落实、兑现渠道，只要员工提议即兑现奖励，落实创效后再对落实人、实施人进行奖励。

## 4 节能减碳技术应用

### 4.1 先进节能工艺运用

①引进深度清洗技术后，对聚合釜挡板夹套进行深度清洗，全年增加聚合反应釜数330釜，年产量提升至348t/d。

②使用溴化锂制冷技术，利用二合一热水的热能转化为7度水，供聚合回收、精馏预冷器、全凝器、氢气降温使用。转化器全部保温，利用转化热水的热能通过溴化锂机组转化为7度水，供聚合釜夏季使用，停开一台560kW老氟冰机。节能效果明显<sup>[4]</sup>。

③利用板式换热器将转化热水与纯水换热供聚合热水槽加料水使用，通过热水预热后再用蒸汽升温可减少聚合蒸汽用量10t/d。

### 4.2 高效节能设备运用

①转化VC压缩机改型，用两台400kW螺杆压缩机替代4台250kW活塞式压缩机，降低总用电量200kW/h。

②采用高效电机及水泵。乙炔用一台132kW水环泵替代3台75kW水环泵，降低总用电量93kW/h；用一台低扬程大流量45kW节能泵替换原两台90kW高扬程清液泵；用两台低扬程大流量55kW节能泵替换原五台90kW高扬程热水泵。为了有效降低氯碱装置生产中的能源消耗和排放量，企业需要制定明确的节能减排目标与措施。可以设定具体的能源消耗和排放减排目标，如降低单位生产能耗、减少二氧化碳和其他有害气体排放等；可以通过优化生产工艺、更新设备技术、改进管理模式等措施来实现这些目标。氯碱装置在提出节能减排目标时，还应充分考虑企业的实际情况和资源环境，确保目标的可行性和有效性<sup>[5]</sup>。同时，要注重与员工和利益相关者的沟通和合作，共同努力实现节能减排目标，形成企业内部和外部的共识和支持。

③空压站三台132kW单级螺杆空压机改一台250kW双螺杆变频压缩机。不仅解决了用气波动导致仪表气、装置气压力波动大的问题。通过设定输出压力、根据用气量变频调节功率，即稳定的压力、又达到了节能目的，改造后每年

可节约用电 122 万 kW。

### 4.3 干燥母液回用技术

聚合干燥母液回用聚合釜汽提塔技术，氯碱 PVC 母液温度 70℃左右，回用至汽提塔喷淋水使用；通过增加沉降槽及母液回用槽，将母液运用到汽提塔，即回收了热量，同时也减少了冲洗水消耗。

### 4.4 机封水自循环节水技术

聚合机封水循环利用，聚合工序机泵机封水、氯碱蒸发等工序通过增加机封水回收槽，过滤装置及机封水自循环泵、切断阀已全部实现自循环，并可自动远程切换，即达到了节能降耗目的，而且运行稳定。

### 4.5 热量回收利用技术

① PVC 干燥母液对干燥风机进口空气升温，转化热水在风机出口升温，实现热源梯级利用。

②转化热水供聚合干燥空气预热，可将空气升温至 50℃以上，减少干燥蒸汽 15t/d。

### 4.6 节能减排技术

通过机械改进，可以提高氯碱装置的能效和运行稳定性。例如，优化废气处理设备的设计，减少节流损失和管道阻力，降低系统能耗；采用高效过滤器材料和装置，提高固体废气捕集和分离效率，减少废气排放量；引入智能化控制系统，实现自动监测与调控，减少人工干预，提高系统响应速度和能源利用率<sup>[6]</sup>。通过持续不断地进行机械改进，氯碱装置可以实现更加高效、稳定地运行，降低能源消耗，达到节能减排的目标。工艺优化是改善氯碱装置性能的关键手段之一。通过对工艺流程进行优化调整，可以提高氯碱装置的效率和环保性。比如，在吸收塔的操作中，通过调节吸收剂浓度或流速，优化气液接触效果，提高硫化氢和二氧化硫的吸收效率；在脱附器内部结构上进行改进，增加气液分离时间，减少残留硫化氢含量。此外，工艺优化还包括废气处理设备间的协同配合和流程优化，实现全面提升氯碱装置的综合效益。通过不断优化工艺，氯碱装置可以实现更高效的废气处理，减少资源浪费和环境污染，实现节能减排的双重目标。

### 4.7 能源回收技术

能源回收是节能技术中的重要环节，在氯碱装置中的应用尤为关键。通过合理设计和设置回收装置，可以从废气处理过程中回收能量，并再次利用以降低系统的能耗。例如，废气中的热能可以通过热交换器进行回收，用于加热生产过程中所需的空气或水，减少外部额外的能源消耗。此外，也可以利用废气中的化学能等形式的能量进行回收利用，以提高氯碱装置整体的能源利用效率<sup>[7]</sup>。通过能源回收技术的应用，可以有效减少氯碱装置对外部能源的依赖，降低运行成本，并在一定程度上减少温室气体排放。不仅如此，能源回收还有助于提升系统的可持续性，实现资源的循环利用，同时减少能源消耗对环境造成的影响，为企业的可持续发展注入新的动力。

### 4.8 智能化技术

随着人工智能、大数据和物联网等技术的快速发展，

智能化技术在节能减排领域有着广阔的应用前景。未来，可以通过智能传感器监测装置、先进的数据分析与预测算法，实现对氯碱装置运行状态的实时监测与优化调控。智能化技术能够更精准地定位和诊断问题，优化系统运行参数，提高能源利用效率，减少不必要的能源浪费，实现节能减排的最佳效果。随着智能化技术在工业生产中的普及应用，氯碱装置可以迎来更智能、高效的节能减排新时代。新材料技术的不断突破和创新将为氯碱装置的节能减排提供新的可能性。例如，开发应用于废气处理设备的高效过滤材料、高温抗腐蚀材料等，可以提高设备的使用寿命和性能，减少能源消耗与维护成本，实现节能目标<sup>[8]</sup>。此外，新型催化剂材料的研究与应用也有望提高氯碱装置中反应过程的效率，降低催化剂使用成本，减少废气的排放量。新材料技术的应用将为氯碱装置带来更加环保、经济、高效的解决方案，为节能减排工作注入新的活力与动力。随着新材料技术不断地进步和完善，氯碱装置将迎来更具潜力和前景的发展。

## 5 结语

在氯碱生产过程中将各类能源资源进行阶梯式利用，使生产成本最小化、安全效益最大化，最大限度深挖现有生产装置的潜力，降低资源消耗，优化生产运行成本已成为氯碱企业可持续发展的重要途径。通过不断总结，改进工艺流程、优化操作、创新改造，对生产过程中的各种资源进行有效回用，减少资源浪费，在有效减轻企业环保压力的同时创造了一定的经济效益，助力企业的可持续绿色发展。①随着节能技术不断发展，涌现出很多节能新技术和节能管理新手段，加强节能项目的挖掘和节能技改，可切实为企业带来实效。②节能管理工作可发动全员参与，从大处着眼、细处着手，采取多举措多环节全覆盖，对标先进，寻找差距，推动双碳目标、节能减碳工作落地。

## 参考文献

- [1] 蔡杰.中国氯碱化工行业现状“十二五”发展关注点[J].中国氯碱,2012(9):1-6.
- [2] 同兵.氯碱行业产业链条设计及环境保护对策研究[D].长春:吉林大学,2010.
- [3] 吴楼涛,李永刚.离子膜法氯碱技术的发展及建议[J].化工进展,2003,22(8):876-880.
- [4] 左志远.氯碱行业的主要环境问题及对策建议[J].中国氯碱,2012(11):1-3.
- [5] 高寒.电石法制PVC废水零排放的探讨[D].呼和浩特:内蒙古大学,2010.
- [6] 王小昌,李国栋.电石法聚氯乙烯含汞废水吸附除汞[J].聚氯乙烯,2012,40(4):28-30.
- [7] 陆斑.氯化氢合成技术实现余热利用[N].中国化工报,2011-07-11.
- [8] 蔡杰.国内氯产品现状与发展趋势分析(下)[J].化工管理,2012(2):44-46.

# Analysis of the Causes of High Exhaust Temperature in Reciprocating Compressor Units

Yong Yang

Jinneng Holdings Equipment Manufacturing Group Tianyuan Shanxi Chemical Co., Ltd., Jincheng, Shanxi, 048400, China

## Abstract

The rapid development of modern social science and technology has not only promoted the innovation of production technology in various industries and fields, but also increased the pressure on production, technology, and other aspects to a certain extent. Petroleum and coal chemical enterprises play an important role in China's social development, ensuring the normal operation of their production and promoting China's social development. Reciprocating compressors have extensive application experience in many heavy industry fields in China, with coal chemical production enterprises being the most widely used. The paper focuses on the analysis and research of the reasons and treatment measures for the high exhaust temperature of reciprocating compressors in the past due to the research object. The aim is to promote the normal operation of reciprocating compressors by ensuring the control of the high and low exhaust temperature of reciprocating compressors.

## Keywords

reciprocating compressor; exhaust temperature; valve; compression ratio

## 往复式压缩机组排气温度过高原因分析

杨勇

晋能控股装备制造集团天源山西化工有限公司, 中国·山西 晋城 048400

## 摘要

现代社会科学技术的发展日新月异,在推动各个行业和领域的生产技术革新的同时,也在一定程度上增加了其生产、技术等各方面的压力。石油和煤化工企业在中国的社会发展过程中发挥着重要的作用,保障石油和煤化工企业生产的正常运行,对促进中国的社会发展具有重要的意义。往复式压缩机在中国的许多重工业领域都有着非常广泛的应用经验,其中以煤化工生产企业生产中的应用最为广泛。论文以往复式压缩机的排气温度的过高原因为研究对象,着重对往复式压缩机排气温度高的原因及处理措施进行分析研究,旨在通过保障往复式压缩机的排气温度高低控制来促进往复式压缩机的正常运行。

## 关键词

往复式压缩机; 排气温度; 气阀; 压缩比

## 1 引言

石油和煤化工企业在中国的社会发展过程中发挥着重要的作用。保障石油和煤化工企业生产的正常运行,对促进中国的社会发展具有重要的意义。往复式压缩机是煤化工企业生产过程中涉及的重要机械设备,压缩机排气温度不正常,对整个往复式压缩机的正常运行会产生极大的影响。

## 2 往复式压缩机的主要作用及排气温度的影响分析

天源公司有9台6M50往复式压缩机是合成氨装置的重要设备,主要作用是将原料气(水煤气)压缩后送变换工段进行反应,该压缩机运行稳定直接影响氨合成产量<sup>[1]</sup>。

2021年以来,多台压缩机多次因排气温度高于设计值而联锁停机,造成整个系统波动,装置操作难度增加,直接影响氨合成产量。

机组设计参数如表1所示。

### 2.1 原因分析

压缩机正常运行时各段排气温度为125℃~150℃。停机前,多次出现过因三、四段排气温度达160℃以上而导致的联锁停机情况。对吸气、排气阀进行更换后,仍然出现排气温度高的现象,检查发现气缸夹套循环水回水管线不畅,局部过热,就地直排夹套循环水回水和反冲洗后温度略有下降,因排气温度高联锁停机频次有所减少<sup>[2]</sup>。因此,全面分析该压缩机的故障原因尤为必要。

【作者简介】杨勇(1984-),男,中国山西运城人,本科,助理工程师,从事化工机械研究。

表 1 机组设计参数

1	级数		1	2	3	4
2	入口 状态	压力 (正常 / 设计) MPa (G)	0.0157	0.189	0.7	1.538
3		温度 (正常 / 设计) °C	40	40	40	40
4		压缩性系数	1	1	1	0.99
5		绝热系数 Cp/Cv	1.32	1.33	1.33	1.34
6	出口 状态	压力 (正常 / 设计) MPa (G)	0.189	0.7	1.543	3.68
7		温度 (正常 / 设计) °C	153	153	160	160
8		压缩性系数	1	1	1	1
9		绝热系数 Cp/Cv	1.32	1.33	1.33	1.34

### 2.1.1 气缸冷却效果差

往复式压缩机运行过程中, 气缸冷却发挥着重要的作用, 可以降低往复压缩机运行时的温度, 若气缸冷却水夹套内结垢时就会导致往复压缩机气缸冷却效果差, 排气温度升高, 影响压缩机的运行。同时也要保证循环水的温度温差, 使用测温枪进行检查, 如果上回水、温差变小, 将要采取措施进一步降低冷却效果<sup>[3]</sup>。

### 2.1.2 出口管网压力值高

往复压缩机绝热压缩计算公式为:

$$T_d = T_s \varepsilon^{k-1/k}$$

$$\varepsilon = P_d / P_s$$

式中:  $T_s$ ——吸气温度, °C;

$T_d$ ——排气温度, °C;

$\varepsilon$ ——压缩比;

$P_s$ ——吸气绝对压力, MPa;

$P_d$ ——排气绝对压力, MPa;

$k$ ——气体绝热系数。

从上式可知, 排气温度  $T_d$  与压缩比  $\varepsilon$  成正比, 压缩比越大, 排气温度越高。正常操作运行时各段压力均保持在设计上限运行, 操作压力在设计值范围内, 但属于偏高水平。在满足生产运行的前提下, 管网压力可以适当下降来减少压缩比, 来进一步下调降温空间<sup>[4]</sup>。

### 2.1.3 活塞磨损漏气

活塞采用迷宫密封形式。如果在气体压缩过程中活塞泄漏, 高压侧的高温气体泄漏至低压侧, 可导致气缸内吸气侧温度升高。当活塞再次压缩时, 原吸气侧的气体被再次压缩, 而高压侧的高温气体再次泄漏至低压侧, 在活塞数次循环工作过程中, 排气温度将会持续升高<sup>[5]</sup>。导致活塞泄漏的原因主要有:

①活塞使用时间过长, 介质中的微量粉末进入迷宫槽内, 活塞阻塞气体泄漏的“迷宫效应”功能减弱。

②活塞杆、十字头、连杆安装时不对中, 使活塞偏磨,

迷宫槽被磨平。

③活塞的材质不符合硬度及膨胀要求等。

### 2.1.4 气阀损坏

气阀是活塞式压缩机易损件之一, 其作用是控制气体及时吸入和排出气缸。进、排气阀泄漏都会引起排气温度的升高<sup>[6]</sup>。如排气阀泄漏, 在吸入过程中处于气缸排气腔的高温气体会通过排气阀被吸入到气缸中, 导致气缸内吸气侧温度升高。当压缩时, 被吸入气缸的高温气体被再次压缩, 在数次的压缩循环中, 有部分气体被循环多次压缩, 使温度累计上升。而吸气阀出现泄漏, 会使下一级吸气量减少而导致本级排气压力、温度升高<sup>[7]</sup>。气阀损坏主要有以下几种情况:

①气阀阀片变形、破损, 气阀阀片被异物卡塞。

②气阀阀座面腐蚀或阀座垫断裂。

③气阀弹簧损坏引起气阀阀片断裂, 而气阀阀片断裂又加速气阀阀座的损坏, 从而导致在气阀阀片处倒气, 引起排气温度超高。

④阀片在升程过程中受阻或弹簧弹力过大。

## 3 处理措施及效果处理措施及效果

### 3.1 入口增加冷冻水、降低进气温度

该压缩机的进气温度高是由于夏季太阳直射, 造气总管管壁温度升高从而使气体温度升高<sup>[8]</sup>。可以在一段入口前增加一台入口溴化锂换热器, 使进入入口缓冲罐温度下降至低于 40°C 的设计值, 避免因夏季直射引起的压缩机入口温度增加, 而影响气量和排气温度。

### 3.2 下调管网压力

压缩机的四段出口压力只需满足后工段运行压力即可。因此, 在四段出口压力与后工段压力接近的情况下下调管网压力, 同步降低一、二段、三段排气压力, 达到降低压缩机排气温度的目的, 且具备可操作性<sup>[9]</sup>。在满足生产运行的条件下通过减小压缩比降低了排气温度。

### 3.3 气缸拆卸、清理夹套

择机停机, 对气缸循环水夹套一、二、三、四段打开

手孔进行清理。使用高压水枪对气缸夹套进行冲洗并对附着在内壁的垢层进行酸洗,提高气缸的传热系数<sup>[10]</sup>。

### 3.4 更换活塞、气阀

压缩机因各段排气温度高联锁停机情况都要发生,因此检查时通过测振仪检测排气阀压盖振动值、测温枪检查温度是否有升高现象,如有升高可判断该气阀出现故障<sup>[11]</sup>。

拆解现场检查时对活塞体支撑环、密封环进行检查是否有断裂,及时进行更换。尺寸测量气缸缸径是否超差,及时进行更换,避免少量压缩高温气体窜入低压缸,再次进行压缩,影响温度和气量。

结论:经过对以上问题进行检查处理后,该压缩机各段出口温度始终保持在130℃以内,检修后已连续稳定运行9个月,未发生因排气温度高联锁停机现象,压缩机运行状况良好<sup>[12]</sup>。

## 4 结语

往复式压缩机排气温度高是重要的故障信号,论文对往复式压缩机温度高造成的危害进行了简单的介绍和分析处理研究,往复式压缩机相关知识还有很多,需要进行深刻的了解和认识,为以后往复式压缩机使用运行方面奠定了一定的基础。

### 参考文献

[1] 赵质良,程明.基于振动测试的往复式压缩机的故障诊断[J].机械

工程与自动化,2011(1):123-124.

- [2] 徐珍华,张来斌,段礼祥.时频域分析在往复压缩机活塞磨损故障诊断中的应用[J].压缩机技术,2010(3):1-3.
- [3] 何小红,罗海滨,肖志飞,等.活塞式压缩机常见故障及处理措施[J].科技创新导报,2010(18):74.
- [4] 朱荣乾,张庆龙,胡青宁,等.往复压缩机典型故障特征分析与诊断实例[J].压缩机技术,2010(1):45-48.
- [5] 刘庆祥.往复式压缩机常见故障判断方法[J].新疆有色金属,2005(1):23-25.
- [6] 鲍雨梅,盛颂恩,孙礼弘.往复压缩机故障诊断专家系统知识库的构建[J].压缩机技术,2003(1):1-3.
- [7] 齐伟敏.往复式压缩机热力故障判断方法[J].机电设备,2002(5):32-34.
- [8] 江涛,郝洁,崔天生.压缩机故障诊断专家系统的开发[J].压缩机技术,2001(6):13-14.
- [9] 薛辉,徐丽娇,王社民.DPC—800往复式压缩机转速不稳的原因分析及处理[J].吐哈油气,2001(3):110-113.
- [10] 王洋,高金吉,夏松波.故障诊断专家系统的开发及其在压缩机故障诊断中的应用[J].风机技术,2000(1):57-59.
- [11] 石荣德,赵廷弟,屠庆慈,等.故障诊断专家系统[J].北京航空航天大学学报,1995(4):28-32.
- [12] 刘焯,周鸣岐.故障诊断专家系统综述[J].测控技术,1994(2):15-18.

# Technology Innovation Practice of Deep Cone Machine in Comprehensive Utilization of Tailings

Shiqun Xu

Shandong Laizhou Shanjin Heavy Industry Co., Ltd., Laizhou, Shandong, 262407, China

## Abstract

The comprehensive utilization of tailings is the key to mine resources recovery and environmental protection. This paper discusses the technical innovation of deep cone thickmachine in tailings treatment. First, the urgency and current situation of comprehensive utilization of tailings are clarified, highlighting the advantages of deep cone machine. Practice shows that the deep cone thickening machine significantly improves the concentration efficiency of tailings, effectively collects tailings and reduces pollution. Through technical transformation, such as increasing the bottom structure and increasing the flow equipment, the concentration efficiency and environmental benefits are further improved. Combining the production data, the effectiveness of deep cone thickmachine in the comprehensive utilization of tailings is verified. This paper provides a new idea for tailings treatment and resource utilization in mining enterprises, and has theoretical support and practical guidance value for tailings treatment and resource utilization.

## Keywords

deep cone thickening machine; comprehensive utilization of tailings; environmental benefits; technical transformation; resource utilization

## 深锥浓密机在尾砂综合利用中的技术创新实践

徐世群

山东省莱州市山金重工有限公司, 中国·山东 莱州 262407

## 摘要

尾砂综合利用是矿山资源化和环保的关键。论文探讨深锥浓密机在尾砂处理中的技术创新。首先,尾砂综合利用的紧迫性和现状被阐明,凸显了深锥浓密机的优势。实践显示,深锥浓密机显著提升尾砂浓缩效率,有效收集尾砂并减少污染。通过技术改造,如加大底部结构和增加涨流设备,进一步提高了其浓缩效率和环境效益。结合生产数据,验证了深锥浓密机在尾砂综合利用中的有效性。论文为矿山企业尾砂治理和资源化提供了新思路,对尾砂治理和资源化利用具有理论支持和实践指导价值。

## 关键词

深锥浓密机;尾砂综合利用;环境效益;技术改造;资源化利用

## 1 引言

随着我们不断开采地下的矿产,矿山的尾砂问题变得越来越重要。尾砂不只占用了大量的土地,还对我们生活的环境造成了污染,因此需要我们找到方法充分利用它。近年来,有种工具叫做深锥浓密机,人们发现它在处理尾砂方面特别有效,能够同时保护环境并节省资源。正因为此,我们对这个新工具展开了研究,希望能发现更多有关它特点的信息。深锥浓密机因其高效与强大在尾砂处理上展示出众多的优势。我们还根据实际工作中的数据,对深锥浓密机进行了一些改造和优化,比如增大其底部结构和添加涨流设备等。这样的改造充分提高了它处理尾砂的效率,并在保护环境方面有了明显的效果。这项研究为我们解决尾砂问题提供了新

的思路和方案,有着重要的理论和实践意义。

## 2 尾砂综合利用的必要性及现状

### 2.1 尾砂综合利用的重要性与必要性

尾砂综合利用是矿业领域中一个关系到资源节约和环境保护的重要课题<sup>[1]</sup>。矿山开采过程中产生的尾砂,既是一种潜在的二次资源,也是环境污染的源头<sup>[2]</sup>。伴随矿产资源的加速开采,尾砂堆积问题日益严重,增加了矿山企业在环境治理和存储设施建设方面的成本。未处理的尾砂不仅占据大量土地资源,还可能引发土壤和水源的污染,不利于生态环境的可持续发展。

从资源利用的角度看,尾砂中常含有不完全被提取的有用矿物,其再利用潜力巨大。尾砂综合利用可以实现这些矿物的回收,提高资源的利用效率,减少对原生矿物资源的依赖,符合循环经济和绿色发展的理念,特别是在资源短缺日益严峻的今天,通过尾砂再利用,可以缓解矿产资源供需

【作者简介】徐世群(1986-),男,中国山东莱州人,本科,工程师,从事机械工程研究。

矛盾,实现资源的最大化利用和经济效益的提升。

通过尾砂的资源化利用,矿山企业能够减少环境治理费用,转变资源开发模式,提升企业形象,赢得社会认可。这也有助于国家相关政策的落实,推动绿色矿山建设,实现矿业经济与生态环境的协调发展。综合来看,尾砂综合利用是解决资源浪费与环境污染问题的一项重要措施,其必要性和重要性不言而喻。

## 2.2 尾砂综合处理的现状与问题

当前,尾砂综合处理面临严峻挑战,尾砂资源利用率低下,传统处理方法如简单堆放或填埋,不仅浪费土地资源,还易引发环境污染。尾砂中的固体颗粒物易随风飘散,污染空气;尾砂废水则对水体环境造成负面影响,破坏生态平衡。现有技术效率和稳定性不足,无法有效回收尾砂中的有价值成分,严重制约了尾砂资源化利用的潜力。此外,处理设备更新和技术改造滞后,进一步加剧了尾砂处理的难题。因此,迫切需要探索更先进的尾砂综合处理技术,以提高资源利用率,减少环境污染。

## 3 深锥浓密机的作用与技术优势

### 3.1 深锥浓密机的基本原理及特性

深锥浓密机(图1)作为高效固液分离设备,结合重力沉降与机械压滤,有效分离尾砂中的固体与液体,实现高浓度尾砂浆体排放。其锥形设计缩短沉降路径,加速颗粒物沉降,提高浓缩效率。设备配备大底部沉积区和涨流设备,确保高固含量下的优良分离效果。



图1 深锥浓密机

深锥浓密机在操作过程中,通过沉降池内形成的絮凝区,对尾砂进行絮凝处理,使得细小颗粒形成更大的絮凝体,增强了颗粒沉降的稳定性和速度。设备内的搅拌系统和分配器优化了流体动力学环境,保证了浆体的均匀分布和沉降效果。深锥浓密机还具有较高的自动化控制水平,能够实时监控和调整相关参数,实现优化运行。

深锥浓密机的这些基本原理和特性,决定了其在尾砂处理中的显著效率提升和稳定运行,为尾砂资源化利用提供了关键技术保障,也为减少环境污染发挥了重要作用。

### 3.2 深锥浓密机在尾砂处理中的积极作用

深锥浓密机在尾砂处理中的应用表现出显著的优势,其作用主要体现在提高尾砂浓缩效率、实现尾砂有效收集和

减少环境污染等方面。通过深锥浓密机的使用,尾砂浆液在浓密机内得以迅速沉降,形成高浓度的底流,从而提高了尾砂的浓缩效率。高浓度的尾砂底流不仅便于运输和处理,还能有效降低尾砂的含水量,减少尾砂堆存对环境的影响。深锥浓密机的设计使得尾砂处理过程更加稳定,减少了因尾砂堆积造成的二次污染问题。总体来看,深锥浓密机在尾砂处理中的积极作用,为尾砂的综合利用和环境保护提供了重要的技术支持。

### 3.3 深锥浓密机的技术优势与突出成果

深锥浓密机在尾砂处理中的技术优势显著。其独特的锥形底部设计大大提高了尾砂的自然沉降效率,使得固液分离更加彻底。深锥浓密机具备更大的储存容量,有助于实现更持续和高效的浓缩操作。增加的涨流设备进一步优化了尾砂的输送流动性,减少了堵塞和设备磨损。深锥浓密机在减少水资源消耗和降低尾矿排放量方面的突出成果,不仅显著提升了尾砂综合利用的资源化水平,而且有效减轻了对环境的负面影响,增强了矿山生产的环保效益。

## 4 深锥浓密机的技术改造与优化探讨

### 4.1 深锥浓密机的技术改造与优化实践

深锥浓密机在尾砂综合利用过程中,通过一系列技术改造与优化实践,显著提升了其浓缩效率和环境效益。加强底部结构设计是主要的改造措施之一。通过加大底部锥角和底板厚度,增强了设备的耐压性能和结构稳定性,从而提高了尾砂沉降与浓缩的效果。在此基础上,增加涨流设备也被纳入优化方案之一。通过安装涨流器,提高了介质在深锥区的逆向流动速度,增强了细微颗粒的捕获率,减缓了介质流速,提高了固液分离效率。

为提升尾砂收集效果,优化了设备的搅拌装置。通过引入高效耐磨搅拌桨叶,改善了固液混合均匀度,减少了颗粒沉积现象。针对流体力学性能的优化,也进行了深入研究。通过模拟分析不同流体结构下的流场分布,选择最佳流体力学参数,以实现更高效的沉降和浓缩过程。这些技术改造和优化实践,使得深锥浓密机在处理大规模尾砂过程中,表现出更加优异的性能,提升了尾砂综合利用的工艺效率和环保效益。

### 4.2 创新设计与优化策略的提出

深锥浓密机的技术改造与优化设计主要集中在两个方面。加大底部结构,采用更为科学的锥形设计,显著提升了设备在高浓度、高黏度尾砂中的沉降效率,有助于提高其浓缩能力和稳定性<sup>[1]</sup>。增加涨流设备,通过自动调节液位和流量,确保尾砂在浓密机内的均匀分布及稳定排放,进一步提升尾砂的浓缩效果。改进搅拌装置,使尾砂浆液的搅拌更均匀,有效促进固体颗粒的沉降,减少设备磨损,延长设备使用寿命。这些创新设计和优化策略不仅提高了深锥浓密机的工作效率,还显著改善了尾砂综合利用的效果,达到了环保

和经济效益的双赢。

### 4.3 改造优化后的深锥浓密机的浓缩效果评价与实践效果

改造后的深锥浓密机（图 2）效果显著，通过增加顶部旋切入料装置，增强了尾砂的沉降速度，增加了处理量，浓缩效率提高了约 20%。底部造浆有效避免了尾砂板结，保障了连续运行，尾砂浓度提升至 60% 以上。

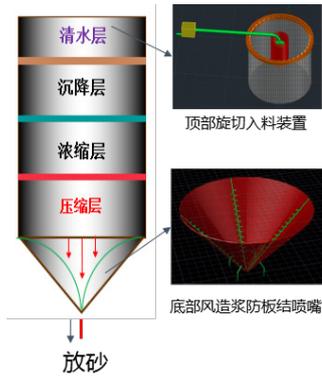


图 2 改造后的深锥浓密机

## 5 尾砂综合利用的环境效益与推广价值

### 5.1 深锥浓密机应用在尾砂综合利用的环境效益

深锥浓密机在尾砂综合利用中展现了显著的环境效益，成为矿山尾砂治理的一大利器。深锥浓密机能够显著提升尾砂的浓缩效率，有效减少尾矿库的占地面积。浓密矿浆经充填站充填至充采空区，可加强地下矿山的稳定性，防止地表塌陷等地质灾害的发生。充填工艺如图 3 所示。

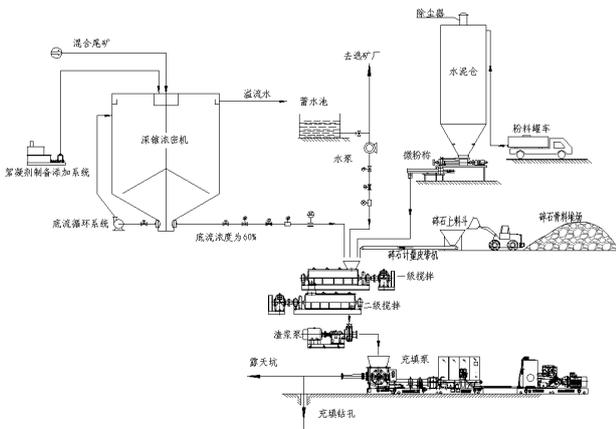


图 3 充填工艺

深锥浓密机在尾矿充填领域的应用实践充分展现了其卓越的技术价值和环境效益。尾矿充填作为矿山废弃物的主要处理方式，要求实现尾矿的高效浓缩和资源化利用。深

锥浓密机以其独特的结构设计，能够迅速而有效地将尾矿浆中的固体颗粒进行沉降和浓缩，从而制备出高浓度的尾砂膏体。

在实际应用中，深锥浓密机通过其高效的浓缩能力和自动化的控制系统，大幅提升了尾矿充填的效率和精度。经过浓缩的尾砂膏体不仅可以直接用于矿山采空区的充填，还可以作为建筑材料或其他工业原料使用，实现了尾矿的资源化利用。

此外，深锥浓密机在尾矿充填过程中还显著降低了环境污染。其高效的浓缩性能使得尾矿浆中的液体部分得到澄清，降低了排放废水的含固量，从而减轻了对环境的压力。

### 5.2 深锥浓密机在尾砂综合利用的推广潜力

深锥浓密机在尾砂综合利用中具有显著的推广潜力。其高效浓缩能力显著提高了尾砂处理的效果，使得尾砂资源化利用更加可行。深锥浓密机的应用能够显著降低尾矿库的建设和维护成本，减少土地占用，缓解矿山企业的环保压力。深锥浓密机的创新设计，如加大底部结构和增加涨流设备，不仅提高了浓缩效率，还能更好地适应不同矿石性质的尾砂处理需求。

在尾砂资源化方面，深锥浓密机的推广有助于实现尾砂的有效收集和再利用，推动尾砂制备建筑材料、填充材料等资源化利用路径的实施。通过推广深锥浓密机，可以大幅减少尾砂排放，改善矿区环境，符合绿色矿山建设的要求。技术的成熟和应用经验的积累，使深锥浓密机的推广具备了良好的基础和广阔的市场前景。矿山企业通过推广应用深锥浓密机，不仅可以实现经济效益，还能提升社会和环境效益，促进可持续发展。

## 6 结语

本次研究探讨了深锥浓密机在尾砂综合利用中的技术创新。尾砂的有效利用至关重要，深锥浓密机在其中展现出显著优势，提高了尾砂浓缩效率，减少了环境污染。通过技术改造，如增强底部结构和增加涨流设备，进一步提升了处理效果。实践数据验证了其有效性。尽管面临成本和技术挑战，但研究为尾砂治理和资源化提供了新的思路，对矿山企业尾砂治理和资源化利用具有指导意义。

### 参考文献

- [1] 王洪江,王小林,张玺,等.超细全尾砂深锥动态絮凝浓密试验[J].工程科学学报,2022,44(2):163-169.
- [2] 李公成,王洪江,吴爱祥,等.全尾砂无耙深锥稳态浓密性能分析[J].工程科学学报,2019,41(1):60-66.
- [3] 谭伟.超细全尾砂深锥浓密试验研究[J].有色金属:矿山部分,2020,72(1):102-105.

# Electrical Drive and Vibration Control Strategy in Thin-wall Parts Machining

Zihao Wang

Tiandi Benniu Industrial Group Co., Ltd., Shizuishan, Ningxia, 753000, China

## Abstract

In the processing process of thin-walled structure parts, because of its low stiffness, easy to produce vibration, resulting in low precision of parts, poor surface quality, this is a problem we often encounter. To solve this problem, this study proposes a novel strategy that combines electrical drive and vibration control. We first make a detailed analysis of the working conditions in which thin-wall parts may produce vibration, and establish a corresponding dynamic model. Then, a new electrical drive method is designed to improve the traditional machining method to improve the machining accuracy. At the same time, aiming at the vibration problem generated during the electrical driving process, we propose a real-time vibration monitoring and strict vibration control strategy. Through a large number of experiments, the new electrical drive and vibration control strategy not only greatly improves the machining accuracy of thin-walled parts, but also significantly improves the surface quality of the parts. The research results have important reference value for improving the processing quality of thin wall parts in the machining field.

## Keywords

thin-wall parts machining; electrical drive; vibration control; machining accuracy; surface quality

## 薄壁件加工中的电气驱动与振动控制策略

王梓豪

天地奔牛实业集团有限公司, 中国·宁夏 石嘴山 753000

## 摘要

在薄壁结构零件的加工过程中, 因其刚度低、易产生振动, 导致零件加工精度低、表面质量差, 这是我们常遇到的问题。为解决此问题, 本研究提出了一种结合电气驱动和振动控制的新型策略。我们首先对薄壁零件可能产生振动的工况进行了详细地分析, 并建立了相应的动态模型。接着, 设计了一种新型的电气驱动方式来改进传统的加工方式, 以提高加工精度。同时, 针对电气驱动过程中产生的振动问题, 我们提出了实时振动监测和严格的振动控制策略。通过大量实验验证, 新型电气驱动与振动控制策略不仅大幅提升了薄壁零件的加工精度, 还显著改善了零件表面质量。研究成果对于提高机械加工领域中薄壁部件的加工质量具有重要的参考价值。

## 关键词

薄壁零件加工; 电气驱动; 振动控制; 加工精度; 表面质量

## 1 引言

薄壁零件因其自身的一些特性, 以及在加工过程中可能遇到的一些困难, 使得其加工存在着极大的挑战。其中, 其刚度低、易产生振动问题, 对加工过程有着深远影响, 这直接导致加工精度降低, 表面质量变差, 这是当前机械加工领域的一个重要问题。因此, 探索一种能提高薄壁零件加工精度和改善其表面质量的有效方案, 是业界亟待解决的一个问题。本研究以薄壁零件的加工为研究对象, 对其加工过程中存在的振动问题进行了深入研究, 并提出了一种新的加工方式。在传统的加工方法基础上, 我们尝试利用电气驱动的

方式, 通过提高驱动的精度来改善加工的精度, 并辅以实时振动监测和严格的振动控制策略, 以解决因振动产生影响加工精度和表面质量的问题。希望通过这种新的加工方式, 能在实践中提高机械加工领域中薄壁零件的加工质量, 为相关领域的发展提供有力支持。

## 2 薄壁零件加工中振动产生的工况分析

### 2.1 薄壁零件特性及振动产生原理

薄壁零件是指那些壁厚相对于其他尺寸较小的零件, 在航空航天、电子和汽车制造等领域中应用广泛<sup>[1]</sup>。由于其薄壁结构, 薄壁零件在加工过程中容易产生振动, 这对加工精度和表面质量产生了显著影响。为深入理解薄壁零件在加工过程中振动产生的原因, 有必要对其特性及振动产生的原理进行详细分析。

【作者简介】王梓豪(2000-), 男, 中国宁夏石嘴山人, 本科, 助理工程师, 从事机械加工研究。

薄壁零件的刚度较低,材料相对较为柔软,易于受到外界力的影响。在切削加工过程中,刀具与工件之间不断接触,施加的切削力使得薄壁零件容易发生变形和振动。由于薄壁结构缺乏必要的支撑,难以有效抵御刀具的反作用力,致使工件在加工过程中表现出显著的动静态特性,进而诱发振动现象。

在分析薄壁零件振动产生的机理时,关注的一个重要因素是系统的固有频率。固有频率是一个系统在外界激励力量作用下,自由振动的特征频率。当切削频率接近或等于系统的固有频率时,容易引起共振现象,使得振动幅度急剧增加,严重影响加工精度。同样,系统的阻尼特性不足以消耗能量,导致振动难以迅速衰减,进一步增加了表面粗糙度。

切削工艺参数如切削速度、切削深度、进给速度也是影响薄壁零件振动的关键因素。切削力随着这三个参数的变化而变化,过高的切削速度或进给速度会增加切削力,导致振动增强,而过低的切削深度虽然减少了切削力,却可能引起不稳定的切削过程。刀具角度、刀具几何形状以及刀具与工件材料之间的摩擦特性也对振动产生有重要影响。

在动态模型的构建中,需充分考虑薄壁零件的结构特性、材料属性、外界施加的切削力及其动态响应。通过数值模拟和实验研究,了解不同加工条件下薄壁零件的振动行为,为制定有效的振动控制策略提供理论支撑。结合实际工况,优化加工参数和加工路径设计,尽可能减弱振动的影响,提升薄壁零件的加工精度与表面质量。

薄壁零件特性使其在加工过程中极易产生振动,主要源于其低刚度、固有频率与切削力交互作用以及切削工艺参数的不合理配置。对振动产生机理的深入理解与分析,将为薄壁零件加工中振动控制策略的制定提供重要依据。

## 2.2 振动对加工精度和表面质量的影响分析

薄壁零件在加工过程中,由于其物理特性和力学特性导致容易产生振动。振动会对加工精度与表面质量产生显著影响,在加工精度方面,振动会引起刀具与工件间相对位移,从而造成误差。当刀具在切削过程中频繁振动,会导致轨迹偏离预设路径,使加工后的零件尺寸公差难以控制<sup>[2]</sup>。振动还会在加工表面引起波纹、凹坑或划痕,显著降低零件的表面质量。表面粗糙度增加不仅影响零件的外观,还可能影响其使用性能和寿命。

振动还会引起刀具的非均匀磨损,缩短刀具的使用寿命,增加生产成本。在高振动环境下,加工系统的稳定性也会受到影响,增加加工过程中的不确定性,降低生产效率。这些负面影响的累积,将直接影响到零件的质量一致性与制造成本。准确分析振动对薄壁零件加工的影响,对于制定有效的振动控制策略,提高加工质量,进而提升整个生产系统的效率具有重要意义。

## 3 电气驱动在薄壁零件加工中的应用策略

### 3.1 电气驱动设计改进与加工精度提高机理

薄壁零件由于其自身结构的特殊性,在加工过程中容易受到振动的影响,导致加工精度低、表面质量差。为了提高薄壁零件的加工精度,电气驱动设计进行了重要的改进。电气驱动系统通过精确控制电机的运动,实现了加工过程中的高精度定位和速度控制,从而有效地减少了因机械传动误差导致的加工误差。

在电气驱动设计中,采用了高分辨率的位置传感器和先进的伺服控制算法,以确保驱动系统能够实时响应加工过程中出现的各种动态变化。这种高精度的控制方式使得刀具能够在加工过程中保持稳定的轨迹,避免了因振动引起的偏离。通过优化电机的加减速曲线,电气驱动系统能够实现平稳的启停过程,进一步减少了加工过程中可能产生的振动。

电气驱动系统的设计还考虑了薄壁零件在加工中的具体工况,针对不同的工况条件,调整驱动参数以适应加工需求。例如,在加工过程中,通过调整伺服系统的增益参数,可以在保证加工精度的前提下,最大限度地减少系统的振动响应。通过这些设计改进,电气驱动系统不仅提升了加工的精度,还显著改善了薄壁零件的表面质量。

实验结果表明,改进后的电气驱动系统在薄壁零件的加工中表现出了优异的性能。与传统的机械传动方式相比,电气驱动系统能够更精确地控制刀具的运动轨迹,有效地减少了加工过程中的振动现象,提高了薄壁零件的加工精度和表面质量。此项研究成果对于推动薄壁零件高精度加工技术的发展具有重要的意义。

### 3.2 执行电气驱动过程中的振动分析

在执行电气驱动过程中,振动的分析是确保薄壁零件加工精度的关键。振动的产生主要是由于电气驱动系统在运行过程中所引起的动态不稳定性。具体而言,电气驱动的高频响应可能会与薄壁零件的固有频率产生共振,导致显著的振动现象。这种共振现象会引起零件表面粗糙度增加和加工误差。

为了深入理解电气驱动过程中振动的影响,需要建立薄壁零件的动力学模型。此模型应包括电气驱动系统的激励力、薄壁零件的结构特性以及系统的阻尼特性。通过数值模拟和实验验证,可以确定不同电气驱动参数对振动的影响规律。

振动分析还应考虑驱动系统的实时监测数据。通过安装在加工设备上的加速度传感器和位移传感器,能够实时采集振动信号,并采用频域分析方法,如快速傅里叶变换(FFT),对振动信号进行分析。这种方法可以有效识别出共振频率,并为制定针对性的振动控制策略提供依据。

执行电气驱动过程中的振动分析,是薄壁零件加工中

提高加工精度和表面质量的基础。通过动力学建模、数值模拟及实时监测数据的结合,可以全面掌握振动特性,进而有效地控制振动<sup>[3]</sup>。

### 3.3 电气驱动方式的实验验证

对所提出的电气驱动方式进行了实验验证,通过具体工况下的加工实验,分析了加工精度和表面质量的提升情况,结果显示新型电气驱动显著提高了加工性能。

## 4 振动控制策略在薄壁零件加工中的应用

### 4.1 实时振动监测技术的研究与应用

实时振动监测技术在薄壁零件的加工过程中起到了重要的作用。对加工过程中可能出现的振动进行实时监测,是确保加工质量的关键步骤。为此,研究者采用了先进的传感器和信号处理技术,实现了对薄壁零件加工过程中振动的实时监测。

在振动监测方案的设计中,传感器的选择尤为重要。传感器应当具有高的灵敏度,能够精确地捕捉到微弱的振动信号。由于薄壁零件易受到各种干扰,传感器还需要有很好的抗干扰能力,以确保检测结果的准确性。

除了传感器,信号处理技术的选取也是至关重要的。在实时振动监测中,为了有效地处理和提取振动信号,通常需要采用频率域方法。这种方法可以有效地抑制噪声,提高振动信号的检测精度。

实时振动监测的研究和应用,有效地改善了薄壁零件的加工质量。通过对加工过程中振动的实时监控,可以及时发现加工工况的异常,调整加工参数,优化加工过程,实现薄壁零件的高精度加工。

就此而言,实时振动监测技术在薄壁零件加工中的应用,不仅提高了加工精度,还提高了加工效率,具有重要的理论与实践价值。

### 4.2 振动控制策略的设计及实施

振动控制策略的设计基于薄壁件加工过程中振动产生的动态模型,结合实时监测技术,通过反馈调节实现振动的有效控制。建立薄壁零件加工振动的动态模型,分析各频率成分的影响,确定主要振动模式。根据振动特性,选择合适的传感器和数据采集系统进行实时振动监测,确保振动信号的准确获取。

控制策略采用自适应控制算法,通过实时分析振动信号,调节加工参数以抑制不良振动。具体实施过程中,将传感器安装在薄壁件易产生振动的关键部位,实时采集振动数据。利用数据处理技术,将振动信号转化为频域信息,识别主要振动频率和幅值。控制系统根据振动频谱的变化,动态调整电气驱动的参数,如转速、进给速度等,达到最佳抑振效果。

为验证振动控制策略的有效性,进行了一系列加工实验,记录不同控制策略下的振动数据与加工结果。通过对比分析,发现采用该策略后,薄壁零件的振动显著减小,加工精度和表面质量得到明显改善。这表明,设计的振动控制策略在实际加工中具有较高的应用价值,能够有效提高薄壁零件的加工质量和稳定性。

### 4.3 振动控制策略有效性的实验对比与结果分析

在实验验证阶段,选取若干具有代表性的薄壁零件作为测试样本,通过不同振动控制策略下的加工对比,评估其有效性。采用高速摄像机和加速度传感器对振动进行实时监测,记录振动幅度和频率。实验结果表明,实施振动控制策略后,零件表面的振动显著减少,加工精度和表面质量均有所提升。具体数据分析显示,未采取振动控制措施的工件振动幅度明显较大,加工后表面粗糙度值高达  $Ra2.0\mu m$ ,而经过振动控制后的工件表面粗糙度值降至  $Ra0.8\mu m$  左右。加工精度的提升也显著,可实现公差控制在  $\pm 0.05mm$  内。实验数据和实物检测结果全面表明,所设计的振动控制策略在薄壁零件加工中的有效性,在改善表面质量和提高加工精度方面具有显著作用,为机械加工领域提供了有力的技术支持。

## 5 结语

本研究以薄壁零件在加工过程中易产生振动,导致加工精度和质量低下的问题为出发点,提出了结合电气驱动和振动控制的新型加工策略。首先,我们对可能产生振动的工况进行了系统分析,并建立了相应的动态模型。然后,设计了一种新型的电气驱动方式,改进传统加工方式,提高加工精度。同时,为了解决电气驱动过程中可能产生的振动问题,我们策略性地实施了实时振动监测和严格的振动控制。通过大量的实验验证,新型电气驱动与振动控制策略不仅明显提升了薄壁零件的加工精度,而且显著改善了零件表面质量。该研究成果在理论和实践上,都对提高机械加工领域中薄壁零件的加工质量具有重大的参考价值 and 推动意义。然而,由于研究条件和设备限制,对于一些特殊材料和配置复杂的薄壁零件的振动控制效果仍有待进一步检验和研究。未来,我们将继续深入探索,努力推动电气驱动和振动控制等技术在薄壁零件加工中的更广泛应用。

### 参考文献

- [1] 段好运,卫锋,王华.薄壁零件车削加工策略[J].湖南工业职业技术学院学报,2022,22(1):1-4.
- [2] 侯军明,王保升,汪木兰,等.薄壁零件铣削加工振动评价方法研究[J].制造技术与机床,2023(6):49-54.
- [3] 李念周.薄壁零件的加工[J].设备管理与维修,2020(2):129-130.

# Analysis and Treatment of Abnormal Vibration Causes of High Pressure Cylinder in Air Compressor Units

Chaoneng Li Ping Chen Quanming Shuai

Equipment Operation and Maintenance Center of Yunnan Shuifu Yuntianhua Co., Ltd., Shuifu, Yunnan, 657800, China

## Abstract

There are many factors that can cause abnormal vibration of the unit, which are often difficult to verify and clarify. If not resolved in a timely manner, it may develop into a major equipment accident. During the overhaul of a certain company's ammonia synthesis unit, the air compressor unit underwent a routine overhaul. After the overhaul was completed, the high-pressure cylinder vibration was abnormal during the unit's testing and operation, and the amplitude values of the four channels monitored for vibration suddenly increased significantly. This paper analyzes the phenomenon of vibration changes from the principle of rotor imbalance and vibration related knowledge; Analyze the abnormal phenomenon of process parameters from the principle of axial force balance in compressors; Perform force analysis based on the structure of the high-pressure cylinder balance device. On the basis of cause analysis, handling measures were proposed, and the abnormal vibration was eliminated after the implementation of the handling plan, which effectively solved the actual problem. I hope that the analysis and handling of this case can provide reference and guidance for similar equipment failures.

## Keywords

compressor; vibration; high pressure cylinder; balance disk; axial force

## 空压机组高压缸振动异常原因分析及处理

李超能 陈平 帅全明

云南水富云天化有限公司装备运维中心, 中国·云南水富 657800

## 摘要

机组异常振动的引起因素众多, 往往难以查证明确, 如果得不到及时解决, 有可能发展成大的设备事故。某公司合成氨装置大修期间空压机组常规大修, 大修完成后机组试车、开车过程中高压缸振动异常, 监测振动的四个通道振幅值突然大幅上升, 论文根据振动变化的现象从转子不平衡原理、振动相关知识进行了分析; 从压缩机轴向力平衡原理分析工艺参数异常现象; 根据高压缸平衡装置的结构进行受力分析。在原因分析的基础上提出了处理措施, 处理方案实施后异常振动得到消除, 较好地解决了实际问题。希望通过本案例的分析及处理能够对类似设备故障起到借鉴和参考作用。

## 关键词

压缩机; 振动; 高压缸; 平衡盘; 轴向力

## 1 概述

### 1.1 事故简述

某公司合成氨装置空压机 2023 年 3 月在装置停车期间大修后开车, 低速运行过程中一切正常。机组升压过程中出现高压缸振动异常波动, 随后高压缸轴承的四个通道振动幅值跃升且居高不下, 在振动上升的过程中, 轴位移也明显上涨。

### 1.2 设备简介

空压机高压缸为二段水平剖分多级离心式压缩机, 在高压段靠近轴承方向的末端设置有转子轴向力平衡装置。高

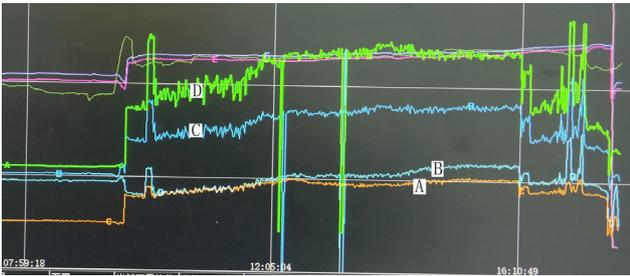
压缸平衡盘密封、级间和轮盖密封采用软密封。空气压缩机组是由美国 DELAVAL 公司设计制造。

## 2 原因分析

高压缸振动在上午 9 点 34 分突然跃升, 最大值达到  $60\mu\text{m}$ , 高压缸后端轴承的两个通道的振动值明显变化较大, 高压缸前端轴承振动虽然也突变上涨, 但是变化幅度不大, 相比后端轴承变化小得多。

从图 1 可以看出异常振动从早上 9 点 30 分持续到下午 17 点 30 分未见好转, 其间振动值有偶发的突增、突降, 下午 16 点 10 分出现了振动值下降现象, 但是波动剧烈。

【作者简介】李超能(1975-), 男, 中国重庆人, 本科, 工程师, 从事解决化工企业现场大型机组疑难问题研究。



A—高压缸前端 X5 通道振动；B—高压缸前端 Y5 通道振动；  
C—高压缸后端 X6 通道振动；D—高压缸后端 Y6 通道振动

图 1 高压缸四通通道异常振动图

从振动趋势图分析，振动幅值<sup>[1]</sup>发生大幅上涨很可能是转子发生了不平衡故障或者发生了严重碰擦故障。

### 2.1 转子质量不平衡分析

正常在用的转子发生不平衡故障<sup>[2]</sup>，其原因是转子上有质量在某处增加或掉落，这两种情况都会引起振动幅值的增加。

转子质量的增加有可能是装置大修后管道未吹扫干净，有灰尘、管道中的积垢脱落在流动中来到叶轮中并粘附在叶轮上，这种情况振动幅值会上升，但很少有突然大幅上升。也有可能是管道中有异物脱落卡在叶轮中，这种情况较难发生，因为高压缸的叶轮流通通道大，不容易发生异物卡住的情况，同时异物即使卡在叶轮中，只是引起较大的径向力发生径向振动上升，对轴向力影响小，本次振动上升的过程中轴位移也明显上涨，说明异物卡在叶轮中可能性很小。

如果转子有质量掉落，如叶轮脱块，振动趋势在跃升后振动值会比较稳定不会有大幅度波动，图 1 中的振动发生跃升后波动较为剧烈，因此质量掉落的可能性较小。

观察转子振动与转速的情况，转子在转速不变的情况下下振动仍然波动较大，这表明转子振动异常与转子不平衡关系不大，因为如果是转子不平衡引起的振动变化只要转速稳定后，振动值也会保持在一个稳定的水平。

所以，本次振动异常不是转子质量发生不平衡故障引起的。

### 2.2 动静部件碰擦分析

从图 1 可以看出，振动跃升后振动并不稳定，振动幅值在高位波动。这个现象表明高压缸转子与静止部件可能存在碰擦，并且一直持续，偶尔有短暂的振动值突然下降现象（图 1 中 12:05 后两处趋势线明显向下的情况），这可能是转子与定子短暂离开不接触或接触的摩擦力不大。下午 16 点 10 分出现振动值下降但波动剧烈，有可能是动静部位的间隙被转子磨损后静止部件对转子的强迫作用减少造成的。

#### 2.2.1 平衡盘套结构及受力分析

从工艺参数分析发现高压缸平衡管压力有问题。工艺人员发现压缩楼下的高压缸平衡管压力表读数异常。正常情况平衡管压力表的读数是 0.2MPa，但振动上升后压力表的读数变化到 0.4MPa，变化非常明显，这样高的读数在以往

的操作中都未出现过。

从振动趋势图 1 可以看出，振动幅值最高的两个通道是靠近平衡盘一端，同时在振动跃升的时候轴位移是上升的，结合平衡管压力升高的现象可以初步推测高压缸平衡盘及其相关部件发生了问题。

高压缸的平衡结构是由转子上的平衡盘和安装在缸体上的平衡盘套组成。本次大修更换了平衡盘套。更换的平衡盘套由钢制基体和软密封层组成（见图 2）。软密封层是靠燕尾槽结构装配在金属基体上。平衡盘套端面有孔，这些孔与软密封层与基体之间的环槽相连通。这些孔并不是通孔，停止于另一侧环槽位置，这些孔的开口端朝向高压侧。

平衡盘套在工作时软密封层的内径面和外径面的受力情况是不一样的。软密封层的内径面的受力是通过密封梳齿减压后的压力，越靠近低压侧压力越小。平衡盘套端面的孔安装方向在平衡盘的高压侧，软密封层外径面的受力是通过孔洞和环槽从高压侧进来的气体产生的压力。当低速试车时，压力不高，软密封层内外的压差不大。但当机组增加负荷压力升高后，高压侧气体的压力随之升高，软密封层内径面通过密封梳齿减压特别是靠近低压侧的部分压力几乎接近低压侧的压力；软密封层整个外径面受到的压力是高压侧气体通过孔洞与环槽直接作用产生的压力。所以软密封层在机组压力升高后内外径面受到的压力差异变大（受力示意图见图 2），特别是靠近低压侧部分压差会非常大，外径面的压力比内径面的压力大得多，因此软密封层受到一个由外径指向内径的力，这个力足够大后使软密封层与基体脱离，软密封层就会与转子接触，发生严重碰擦。

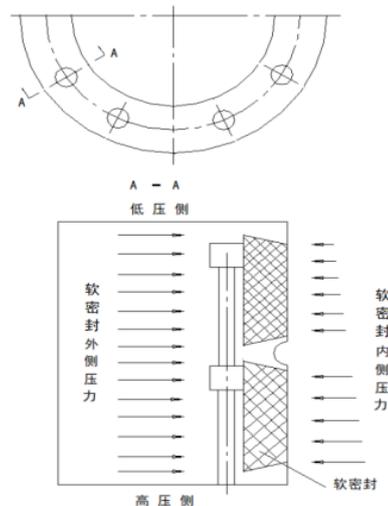


图 2 高压缸平衡盘套结构及受力情况示意图

#### 2.2.2 转子轴向力平衡分析

压缩机平衡盘靠近叶轮端是高压腔室，另一边是靠近轴承位置接入口的低压腔室，平衡盘两边的压差形成的轴向力与转子叶轮产生的轴向力相反，由此抵消了大部分转子由高压指向低压的轴向力<sup>[3]</sup>。平衡盘外径靠梳齿结构来密封，

平衡盘的梳齿与平衡盘套之间的密封间隙很小，高压气体向低压腔室流动时在平衡套与梳齿形成的空间膨胀降压起到密封作用，防止高压气体直通低压腔室。平衡管压力表显示的压力是接通平衡盘低压腔室的压力，它的压力比正常情况上升了一倍，说明高压气体通过平衡盘气封大量泄漏进低压腔室，造成平衡盘两侧的压差减少了，因此平衡盘产生的反向轴向力随之减少，转子收到的正向轴向力相应增大，所以发现转子的轴位移明显增加。

综上所述，平衡盘气封可能受到了损坏，平衡盘的梳齿有可能磨损甚至断裂，安装在缸体上的平衡盘套的软密封层也有可能破裂或脱落。

### 2.3 原因小结

经过上面的分析可以较为明确地得出一个结论：压缩机平衡机构发生动静元件碰擦和大量泄漏故障，造成转子径向振动幅值异常升高和轴位移上涨。

### 3 处理措施

由于原因较为明确，采取了以下措施：

- ①立即停机抢修。
- ②采用内径面衬巴氏合金的整体式平衡盘套（无孔洞结构）。

### 4 验证情况

揭开高压缸大盖后发现转子低压侧平衡盘梳齿有明显的摩擦痕迹，摩擦部分显现出光亮的金属本色，但梳齿并未受到实质性伤害；平衡盘套软密封层已经脱离安装的燕尾槽并有部分贴在密封梳齿上（图3）。从检修的情况看，故障现象与分析完全一致。

更换整体式平衡盘套后机组开车，机组运行情况一切正常。

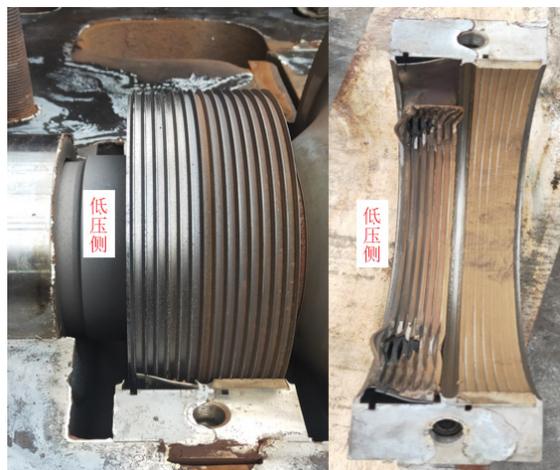


图3 损坏的平衡盘套

### 5 结语

由于原因分析指向性明确，并且及时抢修，本次高压缸异常振动未发生严重的转子损坏事故。更换新形式的平衡盘套后机组运行情况一切正常，运行一个检修周期也未发生同样的故障，说明问题得到了根本解决。

该机组只有振动趋势数据，如果有其他振动分析数据（如轴向轨迹图、频谱图等）将更加有利于分析故障的类型，会更加明确是转子平衡故障或是碰擦故障。工艺参数变化的及时发现也给故障原因分析提供了强有力的支持。

### 参考文献

- [1] 陈克兴.设备状态监测与故障诊断技术[M].北京:科学技术文献出版社,1991.
- [2] 张红兵.化工厂机械手册[M].北京:化学工业出版社,1990.
- [3] 高慎琴.化工机器[M].北京:化学工业出版社,2005.

# Safety and Reliability Analysis of Clean Production Process for Desulfurization of Liquefied Gas

Xingnan Chen

China Petroleum & Chemical Corporation Changling Branch, Yueyang, Hunan, 414000, China

## Abstract

In recent years, with changes in environmental regulations and standards, safe and environmentally friendly deep desulfurization technology for liquefied gas has adopted oxygen instead of air to participate in the solvent oxidation regeneration reaction in the solvent oxidation regeneration process, which poses a risk of gas phase explosion of liquefied gas due to the shortcomings of existing technology. The paper mainly focuses on the risk analysis of gas-phase combustion and explosion of liquefied gas, and conducts research and analysis on the limit oxygen content, combustion and explosion characteristics of combustible gases, explosion upper limit under abnormal working conditions, and explosion upper limit under oxygen deficient conditions. The critical control parameters for combustion and explosion are determined, and specific guidance and suggestions are proposed for the operation of the process equipment.

## Keywords

solvent oxidation regeneration reaction; burst risk; burst critical control parameters

## 液化气脱硫醇清洁化生产工艺安全可靠分析

陈兴南

中国石油化工股份有限公司长岭分公司, 中国·湖南 岳阳 414000

## 摘要

近年来,随着环保法规、标准规范变化,安全环保型液化气深度脱硫醇技术在溶剂氧化再生反应过程中,针对现有技术的不足采用氧气代替空气参与脱硫醇溶剂氧化再生反应,存在液化气的气相燃爆风险。论文主要针对液化气的气相燃爆风险分析,对极限氧含量、可燃气体的燃爆特性、异常工况的爆炸上限、贫氧条件下的爆炸上限等方面进行研究分析,确定燃爆临界控制参数,对该工艺装置操作提出具体的指导建议。

## 关键词

溶剂氧化再生反应; 燃爆风险; 燃爆临界控制参数

## 1 引言

为实现炼化企业液化气脱硫醇装置脱硫醇尾气不排放,实现碱渣减排目的,采用安全环保型液化气深度脱硫醇成套技术,实现以上目标。该工艺技术具有降低碱消耗、脱硫醇更彻底、再生效率高、不外排尾气等优点。但是,相比传统液化气脱硫醇工艺,采用尾气循环补充氧气替代大量空气参与脱硫醇溶剂氧化再生反应,存在液化气的气相燃爆风险。为此,论文主要针对液化气的气相燃爆风险分析,对极限氧含量、可燃气体的燃爆特性、异常工况的爆炸上限、贫氧条件下的爆炸上限等方面进行研究分析,确定燃爆临界控制参数,对该工艺装置操作提出具体的指导建议<sup>[1]</sup>。

## 2 脱硫醇尾气燃爆临界参数研究

本工艺的主要危险是液化气的气相燃爆风险,因此针对该风险开展进一步的研究。工况下的燃爆临界参数控制主要有三种:第一种为控制氧含量在极限氧含量(LOC)以下来操作,即当体系中氧含量低于LOC时,无论其他物料组成如何变化都不会发生燃爆;第二种为控制可燃气体浓度远低于爆炸下限(或可燃气体浓度远高于爆炸上限);第三种为向体系中充入大量惰性气体(如氮气),稀释可燃气体和氧气的浓度,同时降低氧含量和可燃气体浓度。但由于本工艺中氮气只提供压力补充,无大量氮气稀释氧浓度和可燃气体浓度,第三种方法不适用,因此,本项目将重点从氧含量控制和可燃气体浓度控制两个方面展开研究。

### 2.1 极限氧含量分析

选取两组具有代表性的脱硫醇尾气组成数据,数据见表1,甲烷、乙烷、乙烯的含量均低于0.1%,在燃爆分析中忽略。主要有三类气体组成:氧气、氮气和可燃混合气,

【作者简介】陈兴南(1973-),男,中国福建松溪人,本科,工程师,从事化工企业安全管理研究。

尾气中氧气含量控制 6%~9% 的浓度范围，其中的可燃混合气主要是 C3、C4、C5 的烃类。

通过查询纯物质燃爆特性数据库可得到上述可燃气体在 40℃，常压条件下的燃爆参数，见表 2。

表 1 脱硫醇尾气组成 ( 体积组成 V% )

序号	丙烷	丙烯	异丁烷	正丁烷	正丁烯	异丁烯	反丁烯	顺丁烯	异戊烷	正戊烷	C5 以上	总烃
1	0.27	2.45	1.13	0.92	0.50	0.47	0.96	0.93	9.90	0.60	3.06	21.19
2	0.34	2.90	1.10	0.89	0.51	0.49	0.99	0.95	10.78	0.74	4.23	23.92

表 2 可燃气体在 40℃、常压条件下燃爆参数

组分	爆炸下限 /%	爆炸上限 /%	LOC/%
丙烷	1.9	9.5	9.5
丙烯	1.92	11.1	8.65
异丁烷	1.47	8.6	9.55
正丁烷	1.46	8.5	9.48
正丁烯	1.49	9.3	8.95
异丁烯	1.49	9.3	8.95
反丁烯	1.49	8.8	8.91
顺丁烯	1.48	9.7	8.88
异戊烷	1.19	8	9.52
正戊烷	1.18	8	9.48

混合可燃气体的爆炸极限和极限氧含量可由纯气体的爆炸极限和极限氧含量计算得到。通过理查特里公式计算，得到脱硫醇尾气的爆炸极限和极限氧含量，计算公式见下式。

$$X = \frac{100}{\frac{V_1}{X_1} + \frac{V_2}{X_2} + \dots + \frac{V_n}{X_n}} \%$$

其中， $V_1、V_2、\dots、V_n$  为各组分在混合气体中的体积百分数； $V_1+V_2+\dots+V_n=1$ ； $X_1、X_2、\dots、X_n$  为各组分的爆炸极限，%； $X$  为混合可燃气体的爆炸极限，%。

对表 1 尾气混合气体中的十种气体采用理查特里公式计算可得混合气体组分 1 爆炸上限为 8.5%，爆炸下限为 1.31%，LOC 为 9.3%；组分 2 爆炸上限为 7.5%，爆炸下限为 1.16%，LOC 为 8.3%，组分 1 和组分 2 的爆炸上限差别不大，组分含量变化对燃爆参数影响较小。工艺过程中尾气氧气含量控制在约 6%~9%，一般在 7%~8%，尾气氧含量在 LOC 附近，因此在满足工艺条件前提下，可以将尾气氧含量控制指标设定为低于 8%，使尾气氧含量低于 LOC，防止燃爆事故发生<sup>[2]</sup>。

## 2.2 可燃气体安全控制条件研究

### 2.2.1 可燃气体的燃爆特性研究

由于尾气经压缩机压缩后压力为 0.56~0.6MPa (g)，而根据理查特里公式计算得到的燃爆特性参数是常压条件下的，因此需要考察工况下的燃爆特性参数。图 1 显示了初始压力对 C2-C4 烃类爆炸上限的影响规律，从图中可以看出：压力每升高 0.1MPa，爆炸上限上升约 1 个百分点，在 0.6MPa (g)、40℃条件下混合气体的爆炸上限约为 14.5% (为保证较大安全余量，取两组数据中的较大值)<sup>[3]</sup>。

由表 1 数据可知工况下可燃气体浓度为 21.19% (23.92%)，高于爆炸上限，处于爆炸区间外，说明在此条件下不会发生气相燃爆。

由上述数据绘制可燃气体的爆炸极限三元相图，如图 2 所示。

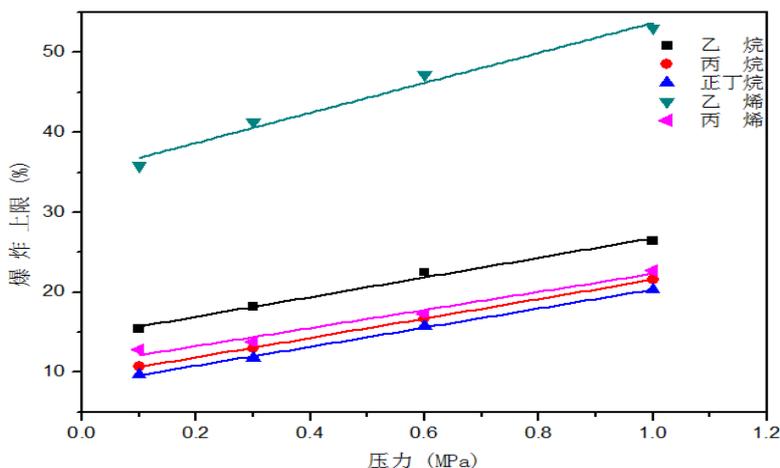


图 1 初始压力对烃类爆炸上限的影响 ( 25℃ )

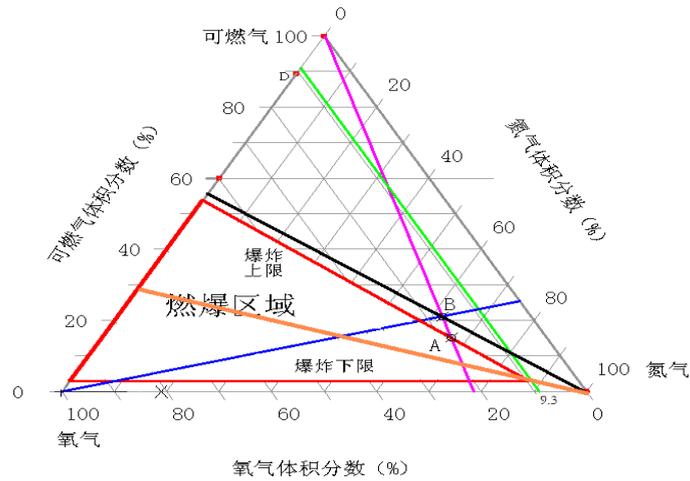


图 2 可燃气体的爆炸极限三元相图

图 2 中红色线条围成的三角区域为由爆炸上限和爆炸下限围成的燃爆区, A 点为氧气和氮气浓度配比为 20.9%(即空气)条件下可燃气体的爆炸上限值 14.5%, B 点为氧气和氮气浓度配比为 20.9%(即空气)、可燃气体浓度为 21.19%(组 2 为 23.92%) 时的气体组成。当该气体组成经过再生塔消耗部分氧气时, B 点将沿蓝色氧气线向右上方移动, 远离燃爆区域; 相反, 当往体系中补氧过程中, B 点将从右上方回移, 应当严格控制体系中氧气含量, 否则可能会进入燃爆区域。当尾气由于异常工况如低温、高压造成可燃气体浓度降低时, B 点将沿粉红色可燃气体线向下移动, 一旦浓度降低至 14.5%, 即 A 点时, 将进入燃爆区域。向尾气中加入氮气,

即图中 B 点向右下方移动, 对于体系无较大影响。从图 2 可以得出, 可燃气体一旦进入燃爆区域, 充入大量可燃气体或降低氧气浓度能帮助体系快速脱离燃爆区域。

### 2.2.2 异常工况下的爆炸上限分析

可燃气体由于异常工况和外部环境变化将发生温度和压力的波动, 其中最危险场景为高压和低温, 这是因为在高压和低温的影响下, 可燃气体组分发生冷凝造成可燃气体浓度降低, 一旦可燃气体浓度降低至燃爆区域内, 则体系存在燃爆的风险。为此, 我们以厂家提供的气相组成为基准, 计算了可燃气体在不同温度压力条件下的可燃气体爆炸上限, 见表 3。

表 3 不同温度、压力条件下可燃气体浓度及爆炸上限

序号	温度 / $^{\circ}\text{C}$	压力 /MPaG	组分 1 爆炸上限 /%	组分 2 爆炸上限 /%
1	15	0	8.1	7.1
2	15	0.1	9.1	8.1
3	15	0.2	10.1	9.1
4	15	0.3	11.1	10.1
5	15	0.4	12.1	11.1
6	15	0.5	13.1	12.1
7	15	0.6	14.1	13.1
8	20	0	8.3	7.3
9	20	0.1	9.3	8.3
10	20	0.2	10.3	9.3
11	20	0.3	11.3	10.3
12	20	0.4	12.3	11.3
13	20	0.5	13.3	12.3
14	20	0.6	14.3	13.3
15	40	0	8.5	7.5
16	40	0.1	9.5	8.5
17	40	0.2	10.5	9.5
18	40	0.3	11.5	10.5
19	40	0.4	12.5	11.5
20	40	0.5	13.5	12.5
21	40	0.6	14.5	13.5

由表3可知,当压力升高后,可燃气体爆炸上限迅速上升,压力每升高0.1MPa,爆炸上限约上升1%;温度对可燃气体爆炸上限影响很小,温度由40℃降低至15℃,爆炸上限仅降低0.4%。工况条件下压力的波动对爆炸极限的影响更大,因此在生产过程中应进行压力的控制,合理设置操作压力的报警值和安全阀的泄放压力。

### 2.2.3 贫氧条件下的爆炸上限分析

表3中可燃气体在不同温度、压力条件下的爆炸上限是在空气中得到的,即氧气在氧氮混合气中的含量为20.9%(尾气中氧气含量控制在约6%~9%),当尾气氧含量、操

作温度或操作压力波动可能导致可燃气体浓度进入燃爆区域时,可以采取降低氧气浓度的方式,使可燃气体爆炸上限降低,从而使可燃气体脱离燃爆区域。表4为氧气浓度降低后可燃气体爆炸上限的变化情况。

由表4可知:氧含量降低能有效降低可燃气体的爆炸上限,在40℃条件下,氧含量降低2%,爆炸上限约降低1.2%~2%。通过对比可燃气体含量与相应工况下的爆炸上限值,可以判断出该工艺条件是否存在燃爆隐患,如果存在燃爆风险,则可以通过调整氧气通入量,从而降低可燃气体爆炸上限,达到脱离燃爆区间的目的。

表4 不同氧气浓度下的爆炸上限

序号	温度/℃	压力/MPa(g)	爆炸上限/%		
			20.9% 氧气含量	19.0% 氧气含量	17.0% 氧气含量
1	15	0	8.1	7.4	6.1
2	15	0.1	9.1	8.3	7.7
3	15	0.2	10.1	9.1	8.4
4	15	0.3	11.1	10.0	9.3
5	15	0.4	12.1	10.8	10.2
6	15	0.5	13.1	11.6	11.1
7	15	0.6	14.1	12.4	12.0
8	20	0	8.3	7.5	6.2
9	20	0.1	9.3	8.5	7.9
10	20	0.2	10.3	9.4	8.7
11	20	0.3	11.3	10.3	9.7
12	20	0.4	12.3	11.0	10.4
13	20	0.5	13.3	11.7	11.1
14	20	0.6	14.3	12.4	11.8
15	40	0	8.5	7.7	6.4
16	40	0.1	9.5	8.8	8.2
17	40	0.2	10.5	9.8	9.0
18	40	0.3	11.5	10.3	10.1
19	40	0.4	12.5	11.2	10.5
20	40	0.5	13.5	12.1	11.0
21	40	0.6	14.5	12.9	11.6

## 3 结语

对液化气脱硫醇装置工艺开展了工艺危害因素分析,并针对气相燃爆问题开展研究,主要结论如下:

①工况条件下,即0.6MPa(g)、40℃,气体的爆炸上限为14.5%,实时监控气相中的可燃气体浓度,控制工艺的尾气中可燃气体组成高于爆炸上限,远离爆炸区间<sup>[4]</sup>。

②分析了氧含量对燃爆区间的影响规律,氧含量越低则爆炸上限越低,工艺条件允许的情况下,进一步降低氧浓度,从而降低可燃气体爆炸上限,达到缩小燃爆区域的目的。

## 参考文献

- [1] 胡雪生,高飞,范明,等.环保型液化气深度脱硫LDS技术的开发与应用[J].石油炼制与化工,2018,49(9):11-15.
- [2] 天工.碱渣零排放的液化气深度脱硫新技术研发成功[J].天然气工业,2015,35(4):39.
- [3] 姜磊,刘帆,陈卫军,等.液化气脱硫技术的清洁化技术改造研究[J].石油化工应用,2022,41(10):119-122.
- [4] 胡雪生,高飞.环保型超重力液化气深度脱硫技术[J].石化技术与应用,2020,38(6):453.

# Technical Review of Shot Blasting Machines

Die Zhang

Patent Examination Cooperation Sichuan Center of the Patent Office, CNIPA, Chengdu, Sichuan, 610213, China

## Abstract

Shot blasting machine belongs to the mainstream equipment of metal surface treatment, which is widely used in aerospace, automobile, casting, shipbuilding and other industries. The main principle is to project material to the surface of the workpiece through a high-speed rotating shot blasting device to achieve the purpose of cleaning, surface strengthening or polishing. This paper takes the patent literature of shot blasting machine as the research object, analyzes the patent application status in this field, and analyzes the typical technical solutions in this field combined with some key patents, so as to provide reference for related research and development work.

## Keywords

shot blasting machines; patent ; technical review

## 抛丸机专利技术综述

张叠

国家知识产权局专利局专利审查协作四川中心, 中国·四川成都 610213

## 摘要

抛丸机属于金属表面处理的主流设备, 广泛应用于航空航天、汽车、铸造、造船等行业。其主要原理是通过高速旋转的抛丸器投射物料至工件表面, 实现清洁、表面强化或抛光的目的。论文以抛丸机的专利文献作为研究对象, 分析该领域专利申请状况, 并结合部分重点专利分析该领域的典型技术方案, 为相关研发工作提供参考。

## 关键词

抛丸机; 专利; 技术综述

## 1 概述

自20世纪30年代美国公司制成第一台抛丸机以来, 抛丸机技术不断发展, 已然成为现代工业生产中不可或缺的重要表面处理设备。中国的首台抛丸机诞生于20世纪50年代, 但是主要还是仿制技术。抛丸加工主要包括三个阶段: 磨料颗粒的加速、投射和表面接触。抛丸机在多个行业中得到广泛应用, 包括但不限于以下领域: 金属制造业、汽车制造和维修业、航空航天等<sup>[1,2]</sup>。论文以抛丸设备的专利技术为研究对象, 浅析抛丸设备的技术发展。

## 2 抛丸机的专利申请状况分析

### 2.1 申请量分析

通过检索全球抛丸设备的专利申请, 从中可以看出, 抛丸设备发展历程可分为以下4个阶段: 起步阶段(2008年以前)、发展阶段(2008—2016年)、快速增长阶段(2016—2020年)和稳定阶段(2020年至今)。2008年以前抛丸机

的申请量稳定在100件以内, 该阶段的年均申请量稳定, 全球申请量不大, 说明在该阶段的研发还是处于前期的阶段, 未达到大规模应用的条件。在2008—2016年这一区间内, 随着工业上对于材料表面精度和强度的要求逐渐提高, 抛丸机的专利申请也进入发展阶段, 这一阶段的抛丸机相关专利申请量在稳定地爬升, 尤其是在2015年总体全球申请量达到了450余件。在2016—2020年期间, 抛丸机进入了快速增长阶段, 尤其是在2020年, 其专利申请量达到了1389件, 处于历史峰值, 也说明在这一阶段, 抛丸机的应用也逐渐开始推广开来, 专利权人通过相关专利申请获得了合理的回报, 激励发明人重新投入资金和资源进行研发, 以抢占市场, 获得更多的竞争优势。2020年以后, 随着新一代表面处理技术的不断发展, 抛丸机的专利申请量开始平稳回落。中国抛丸机的发展是从1985年开始的, 其发展的趋势和全球的抛丸机趋势是极度相似的, 同样是包括了上述的四个阶段, 且2010年以后中国抛丸机专利申请量占据了全球申请量的大部分。

### 2.2 申请地域分析

就全球各国家和地区产权组织抛丸机的申请总量进行统计发现(图1), 目前而言, 中国、日本、美国和法国的

【作者简介】张叠(1990—), 男, 中国四川内江人, 硕士, 知识产权师, 从事知识产权研究。

抛丸机申请总量在全球各国家和地区产权组织位于前 3 名，日本、美国和法国属于发达国家，它们在抛丸机装备研发进程中更早地实现了技术突破和产业升级，形成了完善的研发体系和产业链，而中国也在 2010 年后奋起直追，目前已经成为申请总量第一的国家。



图 1 申请量地域分布 (全球)

### 2.3 申请人分析

图 2 列出了抛丸机全球申请人排名，从图 2 可以看出，在抛丸机专利的申请主体中，目前申请量最大的还是日本的新东工业株式会社，其主要从事表面处理、铸造、环境设备以及成套设备方面的业务。但是中国的企业在抛丸机申请人排名中占据了 70%，说明中国在抛丸机的发展中有了长足

的进步，值得注意的是，从专利申请量来看，济南大学作为高等院校在抛丸机方面有着一定的优势。

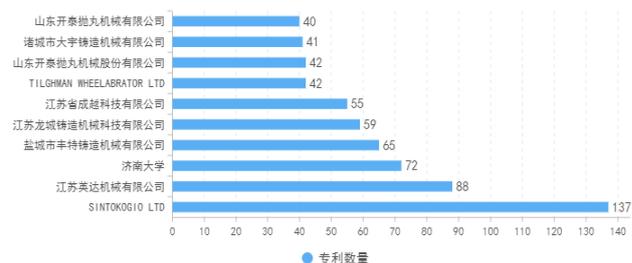


图 2 申请人排名 (全球)

## 3 重点专利分析

### 3.1 核心专利

从表 1 可以看出，被引用频次较高的专利申请人主要分布在美国、中国和日本，这与申请总量排名也是相互呼应的，其中公开号为 US5637029A 的专利被引证次数为 63 次，另外，公开号为 US4449331A 和 US4907379A 的专利，两者同组数量超过了 10 件，涉及的国家及地区产权组织包括美国、加拿大、欧洲等。中国的两件专利申请的被引证次数也排在了前十，两件专利申请主要还是悬挂输送式抛丸机及其加工系统。

表 1 高频被引核心专利

序号	公开号	申请人	被引证次数	同族数量	涉及国家和地区
1	US5637029A	Lehane;William B	63	3	US/CA
2	CN101972726A	中煤邯郸煤矿机械有限责任公司	57	2	CN
3	US4326362A	Williams Virgil R;Williams Jr James M	51	1	US
4	US4449331A	Tilghman Wheelabrator Ltd	45	10	US/CA/EP/DE/ZA/AT
5	US4751798A	Mcdade Bernard F	40	1	US
6	JP08126959A	Sintokogio Ltd;	38	1	JP
7	US4907379A	Tilghman Wheelabrator Ltd;	34	13	AU/BR/CA/GB/JP/US/ZA
8	CN101157203A	无锡国达机械设备有限公司	31	2	CN

### 3.2 重点专利分析

针对抛丸机领域的现有技术，通过检索与分析，筛选出了若干具有代表性的专利申请。下文重点对这些典型的专利技术方案进行分析，旨在通过这一过程，更加清晰地识别出其中的关键技术节点，为后续的技术创新和专利布局提供了有力的支撑。

专利一：US5637029A (序号 1)，一种用于抛丸清理工件方法和设备。

主要技术方案：用于在目标区域以高速同时推动颗粒磨料和载液的液体一磨料抛射清洁装置，如图 3 所示，其包括具有开口侧的大致半圆柱形壳体，具有叶片叶轮的磨料抛射轮，该叶片叶轮可旋转地安装在壳体内，用于以相对低的速度接收磨料浆料并以相对高的速度通过所述开口侧将所述浆料排出，用于将研磨浆料径向供应到叶片式叶轮上靠近其中心的供应喷口，供给喷口具有基本上平行于叶轮设置的

第一导管供给部分，垂直于第一导管供给部分并与叶轮同轴的第二导管部分终止于一对基本垂直于第二导管部分的间隔开的径向定向的出口，由此浆料中的磨粒通过惯性力偏转进入上游出口，液体偏转到下游出口，用于将浆料以分开的流排放到带叶片的叶轮上，由此磨料颗粒和液体流被固结成重叠的鼓风模式。

专利二：CN101972726A (序号 2)，液压缸表面抛丸喷漆烘干系统及其抛丸喷漆烘干工艺。

主要技术方案：如图 4 所示，抛丸工位由抛丸清理室 4、抛丸器总成 22、抛丸工件自转装置 20、吹扫室 5、抛丸清理机、抛丸引风管道 21、抛丸排尘管道 19、抛丸除尘系统 43、除尘外置系统 37、丸料提升系统 8、丸料循环净化系统 18 和通风系统 I 28 组成；在抛丸清理室 4 内，其后面墙壁上安装有四台抛丸器总成 22，并且位于墙壁上部的两台抛丸器总成 22 分别与位于墙壁下部的两台抛丸器总成 22 相对应，

每组相互对应的抛丸器总成 22 分别与工件 23 的运行方向成一锐角和一钝角，抛丸工件自转装置 20 安装在抛丸清理室 4 的顶部；该装置还设置了除尘外置系统、丸料提升系统、通风系统等。

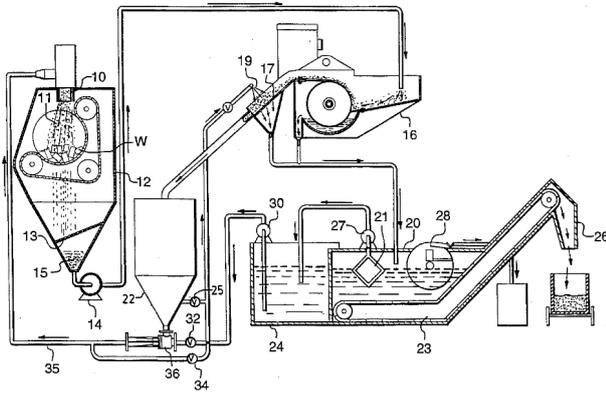


图 3 US5637029A 说明书附图

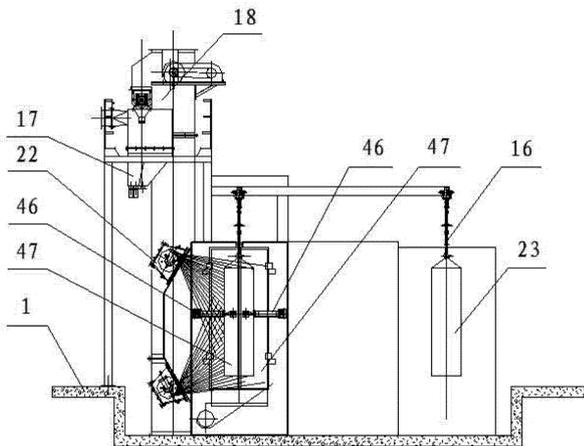


图 4 CN101972726A 说明书附图

专利三: JP08126959A(序号6), 旋转滚筒式抛丸装置。

主要技术方案: 如图 5 所示, 旋转滚筒型抛丸装置, 从侧面看, 形成半圆形突出的圆弧面 3, 该圆弧面 3 上设置有纵长的圆弧开口 4, 半圆形板状的滑动盖 7 相对于圆弧开口 4 能够正向反向驱动旋转, 使迷宫密封 7A 接合设置在该滑动盖 7 的内面上, 该滑动盖 7 在圆弧开口 4 闭合的状态下, 驱动旋转的截面 U 字形的带孔滚筒 13 的前端朝向离心抛射机 1 倾斜, 从而设置在该滑动盖 7 的内面上; 支撑轴 5.5 中的一个通过齿轮机构 9 连接到设置在机壳 2 外部的正向旋转电机 8, 并且正向旋转电机 8 可以任意停止旋转。

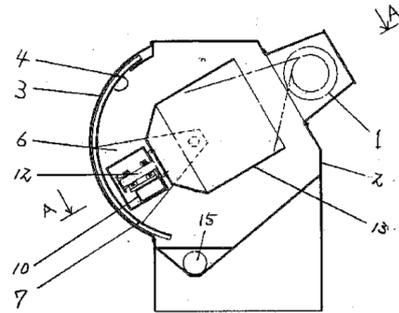


图 5 JP08126959A 说明书附图

#### 4 结语

论文对抛丸机的专利技术进行了检索, 重点分析了在抛丸机领域的申请趋势、重点申请人和典型专利。传统的抛光机存在明显的能源消耗高和环境污染风险高的特点, 随着全球对环境保护和可持续发展的要求不断提高, 抛丸机技术也将更加注重环保和节能, 也将向更加智能化和自动化的方向发展, 以满足市场对高效、高质量产品的需求。

#### 参考文献

- [1] 胡明伟,何家健,韩子延,等.移动式抛丸机研究现状及关键技术分析[J].现代制造工程,2022(4):149-157.
- [2] 徐履冰.国外抛丸落砂清理综述[J].铸造机械,1976(3):66-78.

# Finite Element Analysis of Wind Load on a Mobile Antenna Shelter

Dong Wang Maimiao Cui Na Zhang Xinghua Fan

China Aerospace Science and Industry Group, Six Institute of the 210 Research Institute, Xi'an, Shanxi, 710065, China

## Abstract

Wind load is the main load for outdoor work in the mobile antenna shelter. Its wind resistance stability design is directly related to the safety of the vehicle, and is the key factor in the design of the mobile antenna shelter. The paper introduces the calculation method of wind load on a mobile antenna shelter in a given environment, and calculates the wind load on the mobile antenna shelter in three directions: 45°, 90°, and 0°. The wind resistance stability of the vehicle was analyzed by calculating the stability moment and overturning moment of the mobile antenna shelter, and a finite element model was established to simulate the wind load of the mobile antenna shelter. The results showed that the mobile antenna shelter met the strength requirements under wind loads in three directions.

## Keywords

antenna shelter; wind load; wind stability; finite element analysis

## 某移动天线方舱风载有限元分析

王冬 崔麦苗 张娜 樊兴华

中国航天科工集团六院 210 所, 中国·陕西 西安 710065

## 摘要

风载荷是移动天线方舱户外工作所承受的主要载荷, 其抗风稳定性设计直接关系到整车的安全性, 是移动天线方舱设计中的关键因素。论文介绍了某移动天线方舱在给定环境下风载荷的计算方法, 分别计算了移动天线方舱在45°、90°和0°三个方向下的风载荷。通过计算移动天线方舱的稳定力矩和倾覆力矩对整车的抗风稳定性进行了分析, 并通过建立有限元模型对移动天线方舱的风载进行模拟计算, 结果表明该移动天线方舱在三个方向的风载荷下均满足强度要求。

## 关键词

天线方舱; 风载荷; 抗风稳定性; 有限元分析

## 1 引言

移动天线方舱是以方舱为载体, 在舱内安装天线及升降机构等设备来完成对目标的监测等任务, 因其具有良好的机动性能而被广泛应用。当天线方舱在户外作业时, 风载荷是必须考虑的一个问题, 不同级别的风和不同方向的风载荷都对天线方舱的稳定性能有着不容忽视的影响。因此, 对移动天线方舱在风载荷下的载荷计算和稳定性分析是十分重要的。

## 2 移动天线方舱简化模型

该移动天线方舱及载车总重约为 23000kg, 整车长度约为 11m, 车宽 2.5m, 天线升降杆未展开时整车高约为 3.5m。方舱内安装有天线设备和升降杆, 升降杆固定在方舱内的底板上, 天线设备安装在升降杆的最上端。工作时升降杆通

过方舱顶部的天窗进行升降, 升降杆共有 8 节, 展开高度有 8m。该天线方舱工作风速为 20m/s, 工作环境为田野、乡村、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇。

论文对整车模型进行了简化, 并将载车的上装设备和方舱等均设定为和载车固连为一体, 如图 1 所示。考虑天线方舱在野外工作环境复杂多变, 其所受的风载方向也是多变的, 论文将天线方舱所受的风载分成三个方向进行分析, 分别为 90° 风向, 垂直于载车长度方向; 0° 风向, 沿着载车长度方向; 45° 风向, 与载车 45° 夹角的方向, 如图 2 所示。

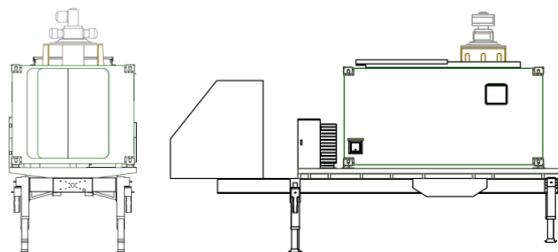


图 1 天线方舱简化模型

【作者简介】王冬(1994-), 男, 中国陕西西安人, 硕士, 工程师, 从事车载方舱结构设计研究。

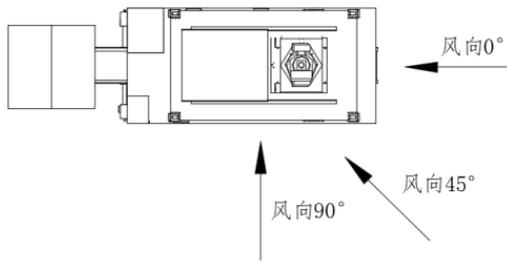


图 2 天线方舱三个方向风载图

### 3 移动天线方舱风载荷分析

#### 3.1 载车风载荷的计算

天线方舱的载车包括底盘，底箱板，舱体以及上装工具箱等。

根据方舱设计手册，风速换算公式：

$$W=K\rho V^2A \quad (1)$$

其中，K 为状态系数，取 0.664； $\rho$  为空气密度，取  $1.226\text{kg/m}^3$ ；V 为风速，取  $20\text{m/s}$ ；A 为迎风面积， $A=\sum_i A_i$ 。

由式 (1) 得，载车  $45^\circ$  风向的迎风面积  $A=14.77\text{m}^2$ ，求得整车风载荷  $W=4809.49\text{N}$ ； $M=10388.5\text{N}\cdot\text{m}$ 。载车  $90^\circ$  风向的迎风面积  $A=13.58\text{m}^2$ ，求得整车风载荷  $W=4422\text{N}$ ； $M=9551.5\text{N}\cdot\text{m}$ 。载车  $0^\circ$  风向的迎风面积  $A=5.82\text{m}^2$ ，求得整车风载荷  $W=1895.14\text{N}$ ； $M=4093.5\text{N}\cdot\text{m}$ 。

#### 3.2 升降杆风载荷计算

升降杆展开共有 8 节，每一节均可以看成为圆柱体结构，所以升降杆每一节在  $0^\circ$ 、 $45^\circ$  和  $90^\circ$  三个方向所受的风载荷相同。

根据《高耸结构设计规范》，升降杆受到的风载荷可按式计算：

$$\omega_k=\beta_z\mu_s\mu_z\omega_0 \quad (2)$$

其中， $\omega_k$  为作用在升降杆 z 高度处单位投影面积上的风载荷标准值， $\text{kN/m}^2$ ； $\beta_z$  为高度 Z 处的风振系数； $\mu_s$  为风载荷体型系数； $\mu_z$  为高度 z 处的风压高度变化系数； $\omega_0$  为基本风压， $\omega_0=v_0^2/1600=0.27\text{kN/m}^2$ 。

①风振系数可按式计算：

$$\beta_z=1+\zeta\varepsilon_1\varepsilon_2 \quad (3)$$

其中， $\zeta$  为脉动增大系数； $\varepsilon_1$  为风压脉动和风压高度变化等的影响系数； $\varepsilon_2$  为振型、结构外形的影响系数。

②风压高度变化系数  $\mu_z$  由地面粗糙度类别和离地面或海平面高度来确定。

③升降杆的整体体型系数  $\mu_s$  按照表 1 规定取值。

表 1 悬臂结构整体计算体型系数  $\mu_s$

截面		风向 25	H/d		
			7	1	
圆形	粗糙	任意	0.9	0.8	0.7
	光滑		0.6	0.5	0.5

根据以上计算可得升降杆所受的风载荷和对地弯矩如表 2 所示。

#### 3.3 天线设备风载荷计算

根据《起重机设计手册》，天线设备受到的风载荷可按式计算：

$$W=C\cdot K\cdot q\cdot A \quad (4)$$

其中，C 为风力系数，取 1.3；K 为风压高度变化系数， $K=(h/10)^{0.4}=1.05$ ；q 为风压， $q=0.613v^2=245.2\text{N/m}^2$ ；A 为结构迎风面积。

天线设备在  $45^\circ$  风向时迎风面积取  $0.47\text{m}^2$ ，求得  $W=157.3\text{N}$ ； $M=1552.6\text{N}\cdot\text{m}$ 。天线设备在  $90^\circ$  风向时迎风面积取  $0.32\text{m}^2$ ，求得  $W=107.1\text{N}$ ； $M=1057.1\text{N}\cdot\text{m}$ 。天线设备在  $0^\circ$  风向时迎风面积取  $0.34\text{m}^2$ ，求得  $W=113.8\text{N}$ ； $M=1123.2\text{N}\cdot\text{m}$ 。

### 4 移动天线方舱抗风稳定性分析

移动天线方舱在风载荷的作用下所受的总倾覆力矩为载车、升降塔、天线设备的倾覆力矩之和，即  $M=M_{\text{车}}+M_{\text{塔}}+M_{\text{线}}$ 。不同风向下天线方舱的重心位置距离天线方舱支撑点的垂直距离为 L，则根据  $M_{\text{稳}}=mg\cdot L$  可以求得不同风向天线方舱的稳定力矩，如表 3 所示。该移动天线方舱总质量 m 为  $23000\text{kg}$ 。

表 2 升降杆风载荷的计算

杆节	风振系数 $\beta_z$	风载荷体型系数 $\mu_s$	高度变化系数 $\mu_z$	基本风压 $\omega_0$ ( $\text{kN/m}^2$ )	标准风压 $\omega_k$ ( $\text{kN/m}^2$ )	口径 m	迎风面积 ( $\text{m}^2$ )	杆节风载 (kN)	中心高 /m	对地弯矩 $\text{M/N}\cdot\text{m}$
8	2.37	0.6	1	0.25	0.36	0.094	0.09	0.032	9.084	290.7
7	2.23	0.6	1	0.25	0.33	0.108	0.1	0.033	8.406	277.4
6	2.04	0.6	1	0.25	0.31	0.122	0.12	0.037	7.684	284.3
5	1.92	0.6	1	0.25	0.29	0.136	0.13	0.038	6.964	264.6
4	1.75	0.6	1	0.25	0.26	0.152	0.15	0.039	6.244	243.5
3	1.68	0.6	1	0.25	0.25	0.168	0.17	0.043	5.526	237.6
2	1.48	0.5	1	0.25	0.19	0.184	0.18	0.034	4.808	163.5
1	1.41	0.5	1	0.25	0.18	0.202	0.2	0.036	4.118	148.2
合计										1909.8

表3 移动天线方舱倾覆力矩  $M$  和稳定力矩  $M_{稳}$ 

风向	$M_{车}/N \cdot m$	$M_{塔}/N \cdot m$	$M_{线}/N \cdot m$	$M/N \cdot m$	L/m	$M_{稳}/N \cdot m$
45°	10388.5	1909.8	1552.6	13850.9	2.77	637100
90°	9551.5	1909.8	1057.1	12518.4	0.95	218500
0°	4093.5	1909.8	1123.2	7126.5	2.58	619200

由以上计算分析可知,移动天线方舱在45°风向时迎风面积最大,相应倾覆力矩最大;且三个风向下移动天线方舱的载车所受倾覆力矩均为最大。通过对天线方舱稳定力矩的计算可以看出,三个风向下的稳定力矩都远大于倾覆力矩,所以该移动天线方舱在20m/s的工作风速下是安全的,满足风载荷强度要求。

## 5 移动天线方舱风载有限元分析

### 5.1 有限元模型建立

对移动天线方舱的模型在ANSYS中进行简化处理。载车主体结构为钢,且方舱与载车通过焊接方式固连为一个整体。方舱骨架为钢结构,方舱大板内外是铝板粘接到一起。升降塔和天线设备主要为钢结构。各个分结构的连接方式考虑为刚性连接来减小其他因素对计算结果的影响。对载车、方舱骨架和升降杆等采用钢材料,其杨氏模量和泊松比为210GPa和0.3;对方舱内外蒙皮和部分上装设备采用铝合金材料,其杨氏模量和泊松比为70GPa和0.33。针对不同的结构采用四面体单元和六面体单元进行网格划分,以减小网格畸变。

### 5.2 有限元结果分析

根据上节计算的风载荷,分别在载车、升降塔和天线设备上施加力,并将移动天线方舱载车底部的四个调平支腿进行约束。计算得到三个不同风向下移动天线方舱的变形图和等效应力分布云图。

计算结果汇总如表4所示。

表4 不同风向下移动天线方舱的计算结果

	45° 风向	90° 风向	0° 风向
最大变形/mm	0.51	0.46	0.38
最大应力/MPa	16.25	12.77	4.17

比较分析可知,当移动天线方舱在45°风向下变形量最大,为0.51mm,位于天线设备处;45°风向下最大应力最大,为16.25MPa,位于载车的前端大梁处。该载车车架材料采用16MnL,抗拉强度不小于520MPa,屈服强度不小于360MPa,延伸率不小于22%。可以看出风载荷下移动天线方舱的最大应力远小于屈服强度360MPa。所以该移动天线方舱在8级风载荷下是安全的,强度是满足要求的。

## 6 结语

论文计算了某移动天线方舱在8级风载荷下的风载大小,分析了移动天线方舱在风载下的抗风稳定性,得出该移动天线方舱在8级风载下是稳定安全的,并且建立了有限元模型对移动天线方舱的风载进行了仿真模拟,结果表明移动天线方舱在8级风载荷下强度是满足要求的,与理论计算结果一致。

### 参考文献

- [1] 李钊,王志海.大型车载雷达抗风稳定性研究[J].电子机械工程,2015,31(3):11-15.
- [2] 陈亚峰.50米升降塔的静力分析[J].电子机械工程,2008,24(3):31-33.
- [3] 冯大成.某型天线车抗倾覆能力的计算与检验[J].电子机械工程,2011,27(2):28-30.
- [4] 肖飞,宋文杰,周志勇,等.某车载式可升降微波塔的抗风分析[J].特种结构,2006,23(3):3.
- [5] 刘建军,沈文军.某高转速相控阵雷达抗风能力分析[J].电子机械工程,2017,33(2):37-40.
- [6] 李艳斌.风电塔架抗震抗风有限元分析[J].内蒙古石油化工,2016(8):49-52.
- [7] 高亮.基于ABAQUS的动中通车风载有限元分析[J].电气与自动化,2013(6):194-196.

# Research on the Shortcomings and Solutions of Water Quality Inspection for Industrial Boilers

Wenjing Sun

Jilin Zijin Copper Co., Ltd., Hunchun, Jilin, 133300, China

## Abstract

In the new era, the national economy has achieved rapid development, and in industrial production, the use of boilers is becoming more and more frequent. However, such equipment has a high level of energy consumption during actual operation, which can cause certain pollution to the environment. With the comprehensive promotion of energy-saving and emission reduction concepts, industrial boiler water quality inspection has become particularly important. Its inspection results have a great impact on the safety and energy consumption control of industrial production. Once the water quality does not meet production standards, it will lead to problems such as perforation and deformation of the boiler structure, thereby laying serious safety hazards. Therefore, during the use of industrial boilers, the relevant departments should actively carry out the inspection of water quality, so as to effectively avoid the occurrence of accidents. Based on this, the paper starts from the important role of water quality inspection of industrial boilers, carries out in-depth analysis on the shortcomings of water quality inspection, and finally puts forward corresponding improvement strategies

## Keywords

industrial boiler; water quality inspection; scale

## 基于对工业锅炉水质检验工作的不足与解决措施研究

孙文静

吉林紫金铜业有限公司, 中国·吉林 珲春 133300

## 摘要

在新时代下, 国家经济取得了高速发展, 而在工业生产中, 锅炉的使用也越发频繁。但此类设备在实际运行期间有着较高的能耗水平, 会对环境带来一定污染, 在节能减排理念的全面推广下, 工业锅炉水质检验就显得格外重要, 其检验结果对工业生产的安全性、能耗控制等都存在极大的影响, 一旦水质不符合生产标准, 就会导致锅炉结构出现穿孔、变形等问题, 从而埋下严重的安全隐患。因此, 在工业锅炉使用期间, 相关部门应当积极开展对水质的检验工作, 从而有效规避事故的发生。基于此, 论文从工业锅炉水质检验的重要作用着手, 针对水质检验的不足之处展开深入分析, 最后为其提出相应的改善策略。

## 关键词

工业锅炉; 水质检验; 水垢

## 1 引言

对于工业锅炉水处理而言, 其主要目的就是尽可能规避锅炉使用期间出现腐蚀、结垢等多种不良现象, 保证工业锅炉的安全使用。对此, 为充分保证该目标的实现, 就需要相关工作人员及时做好对工业锅炉水质的检验工作, 以便能够第一时间获取准确的水质参数, 从而快速完成对相关改善措施的制定, 预防不良现象的发生, 最大限度延长设备使用期限<sup>[1]</sup>。但目前, 在个别工业企业中, 水质检验工作的开展还存在一定的不足之处, 检验数据未能得到最大化利用, 对工业锅炉的使用造成了负面影响。因此, 针对工业锅炉水质

检验不足与相应解决措施展开研究, 对提升工业生产安全性有着现实意义。

## 2 工业锅炉水质检验的重要作用

### 2.1 保证锅炉稳定运行

在开展工业生产作业时, 需要将工业锅炉设备进行充分利用, 以此最大限度满足工业生产的能源需要, 从而保障生产作业的稳定进行。但是, 受到运行方式、结构设计等多种因素的干扰, 工业锅炉设备在运行期间存在危险性。目前, 尽管工业锅炉的运行压力相对较小, 然而在出现安全事故的情况下, 工业锅炉不仅会直接影响企业的运行, 还会威胁员工生命安全, 最终导致企业经济受到严重损害<sup>[2]</sup>。在工业锅炉运行期间, 水质是导致安全问题发生的重要影响因素, 所以加大水质检验力度, 在一定程度上可以提升设备运行的稳定性。

【作者简介】孙文静(1998-), 女, 中国内蒙古赤峰人, 本科, 助理工程师, 从事化学检验研究。

## 2.2 预防锅炉问题的发生

在针对工业锅炉开展各项检验工作时，水质检验有着重要作用。对此，相关部门应当全面落实定期检验工作，以此充分保证设备运行安全性。若水质检验结果未能达到规定标准，则会对锅炉各个部件带来极大的影响，致使变形、穿孔等不良现象的发生，不利于设备的稳定运行，从而埋下较为严重的安全隐患。

## 3 工业锅炉水质检验工作的不足分析

### 3.1 不重视水质检验

若相关工作人员对工业锅炉水的处理缺乏一定重视程度，那么就很难充分保障水质品质，极易引发多种不良现象。另外，个别企业在发展期间为了最大限度减少成本支出，在开展工业锅炉设备的安装、采购等工作时，未能严格按照使用需要为其配置有效的水处理设施<sup>[1]</sup>。尽管个别企业会为其安装对应的处理设施，但也未能严格执行设备维护、更新工作，从而导致水质变差，直接影响锅炉设备的安全运行。

### 3.2 员工专业能力不足

对于工业锅炉的使用而言，其安全性与检验人员的专业水平存在紧密联系，若相关工作人员缺乏较强的专业技能，就很难保证设备运行的安全性、我呢定性。但是，个别企业为了能够最大限度降低人工成本支出，检验人员的专业水平就难以得到充分保障，未能及时落实对员工专业技能的培训教育，极易引发安全管理问题。现阶段，大众对此类特种设备的安全运行有着较高的重视程度，并且相关政策还要求企业落实持证上岗制度。然而，依然存在极个别企业的不重视现象，所安排的管理人员缺乏相应的资质证明，整体专业性相对较差，很难起到较强的管控作用。

### 3.3 腐蚀、水垢问题

现阶段，部分企业在应用工业锅炉开展各项生产作业时，对水处理工作的重视程度有待提升；同时，员工对此类特种设备的运行也缺乏一定了解，所开展的水质化验以及相关处理工作难以达到理想指标。此时，检验人员就很难取得准确的检验报告，致使负责人员无法第一时间开展水处理、排污处理，最终导致大面积结垢现象的发生。同时，若水质检验结果难以保证准确性，无法及时开展水处理工作，也会影响锅炉排污效果，致使污垢沉淀问题的发生（图1）。在时间的不断推移下，水垢将越发严重，致使锅炉运行效果难以达到理想标准，甚至还会影响生产作业的安全性。

另外，还有部分企业在应用工业锅炉开展生产作业时，外界工作环境相对较差，存在大量碱性、酸性物质，会对工业锅炉结构造成严重的腐蚀影响；再加上部分工业生产需要

运用腐蚀性较强的原材料，也容易对锅炉造成腐蚀。最后，在开展工业生产时，相关工作人员未能严格按照技术标准开展生产操作，比如药剂配比不合理、原材料不符合使用标准等，都会导致锅炉结构发生腐蚀现象。并且，在工业锅炉的长期使用下，难免会出现氧腐蚀问题，其主要原因就是未能及时做好除氧工作、软水箱容量不足等。因此，为了充分保障生产作业的高效开展，相关部门应及时提升对水垢、腐蚀现象的重视程度，针对问题产生原因展开深入分析，明确具体防控要点，以保证生产作业的高质量开展。



图1 工业锅炉水垢

## 4 强化工业锅炉水质检验的有效措施

### 4.1 加大水质检验管控力度

首先，要不断增强相关检验人员的专业技能，做好对设备运行状况、维修、保养等多方面的详细记录，以保证检验人员能够高质量开展对工业锅炉设备运行的日常管理工作。对于检验人员而言，要做好对水质化验记录的核查分析，并注重检查相应的检验报告，以此确保企业能够及时提升对此项处理工作的重视程度，从而不断强化对水质问题的常规管理，并全面落实定期培训活动<sup>[4]</sup>。同时，要积极开展对检验人员的思想教育活动，保证工作人员能够严格按照各项规章制度高效开展检验活动，从而有效提升检验数据的准确性，充分保障锅炉水的各项水质参数。其次，工业企业应结合实际发展，不断优化奖惩体系，以保证相关工作人员能够主动投入水质检测活动，从而不断提高工作质量。同时，应当严格按照 GB/T 1576—2018 规定工业锅炉设备在运行期间的水质标准，见表1。

另外，在使用工业锅炉设备时，相关部门应当为其制定对应的维护制度、水处理管理机制，以保证整项管理工作的开展能够得到全面落实，以此实现对设备运行管理的常态化处理。最后，在设备运行期间，离子交换系统应当定期做好各项维护工作，仔细检查阀门、树脂、排水帽等构件，以保证设备运行稳定性，有效规避安全问题的发生。

表1 工业锅炉设备水质标准

项目	含油量 (mg/L)	pH (25℃)	溶解氧 (mg/L)	硬度 (mmol/L)	悬浮物 (FTU)	含铁量 (mg/L)
标准	≤ 2.0	7.0~10.5	≤ 0.10	≤ 0.03	≤ 5.0	≤ 0.30

## 4.2 优化水质检验机制

在开展水质检验作业时，若各项参数难以达到预期标准，则会严重影响整体生产作业的高效开展，所以有必要为其构建科学、规范的水质检验体系。

第一，在开展此项检验工作时，检验人员需要获取对应的资质证件，以此保证水处理工作的规范开展。在实施水质分析时，所应用的试剂、标准溶液等都要严格按照各项法律法规，规范完成对锅炉水的取样；同时，在检验期间所使用的仪器设备也要完全依据各项指标，确保数据具有较高的准确性。其中，在针对硬度指标展开检验时，所使用的操作方法为：从 250mL 锥形瓶中注入水样，再添加一定量的氨-氯化铵缓冲液、铬黑 T 指示剂等，持续摇晃并将 EDTA 标准溶液滴入，针对该溶液的体积消耗状况展开计算分析，以此取得明确的检验数据<sup>[5]</sup>。

第二，单纯锅内加药法使用主要是规避锅炉内部钙镁离子形成硬垢，致使后续水垢处理难度大幅度提升。同时，在添加一定药剂的情况下，还能够在金属外表形成钝化膜，以此起到对整体结构的重要保护作用，能够有效规避腐蚀问题的发生。此时，若相关工作人员未能严格按照技术标准做好药物添加，就很难将药物的作用进行充分发挥，并且还可能会导致锅炉内部的排污量大大幅度提升。因此，工作人员应严格按照技术标准实施单纯锅内加药处理，以此进一步强化对锅炉水质的管控。在实施单纯锅内加药干预时，相关工作人员要严格按照工业锅炉设备的运行需要、种类等各项标准完成对药剂的调配，并且还要做好对药剂内部杂质的有效控制。一般情况下，工作人员在做好比例调整的情况下添加  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，以此有效调节锅炉水磷酸根、pH 指标。另一方面，在完成对锅炉水的加药处理以后，还应当定期开展排污工作，以此保证工业锅炉设备的稳定运行。在此阶段，应做好对锅炉水碱度变化、pH 值检测，以此进一步强化对排污状况的管控。

## 4.3 重视水垢、腐蚀问题的发生

在工业锅炉使用期间，一旦发生水垢问题就会导致传热机制受到严重影响，不利于工业锅炉设备的稳定运行；同时，在导热受阻的情况下，也会导致锅炉内部发生过热现象，致使安全事故的发生，不利于生产作业的高效开展。对

此，为进一步强化对水垢安全问题的防控效果，相关工作人员需提升对水垢的关注度，将其纳入日常重点检验范围，从而实现对接问题的预防，有效规避设备运行期间出现不良现象<sup>[6]</sup>。

对于腐蚀问题的发生而言，主要与设备运行温度、腐蚀介质等多种因素存在紧密联系。一般情况下，腐蚀现象多发于受冷、水压过重区域。因此，在实际开展水质检验活动时，相关工作人员要及时明确锅炉内部的腐蚀介质；一旦出现此类物质应当第一时间展开处理，以免腐蚀介质的增多致使腐蚀问题不断恶化。同时，要做好对设备运行温度的定期检查，若设备温度未能达到预期设定标准，也需要做好相应的处理工作；对于部分极易出现腐蚀问题的部位，要积极开展检查工作，使得相关工作人员能够及时展开水垢处理，从而最大限度降低设备运行损失。

## 5 结语

综上所述，在开展工业生产作业时，工业锅炉的使用有着重要作用，其使用效果与水质品质存在紧密联系，所以相关部门应全面落实对水质的检验工作。一旦出现水质检验问题，不仅会影响工业锅炉结构、产品生产，还会导致员工安全问题的发生。因此，相关部门需要做好对传统水质检验不足的深入分析，明确水质检验要点，采取相应的管控措施，应用多种先进技术，高效开展水质检验活动，以此充分保障水质检验结果的准确性，从而促进企业实现进一步发展。

## 参考文献

- [1] 董素艺,孔妍.工业锅炉水质不良危害与控制分析[J].特种设备安全技术,2023(4):11-13.
- [2] 杨栋栋,鄂梦琳.工业锅炉水质检验中常见问题及对策[J].化学工程与装备,2023(8):218-219+231.
- [3] 黄丹平,莫伟华,钟钊奇,等.贵港市工业锅炉水质现状及对策[J].当代化工研究,2023(9):66-69.
- [4] 吴军.工业锅炉水质检验问题及对策分析[J].中国机械,2023(2):113-116.
- [5] 林跃明.工业锅炉水质检验常见问题及对策[J].化学工程与装备,2022(10):220-221+232.
- [6] 梁志云.锅炉水质安全检测误差分析与预防策略[J].大众标准化,2022(S1):68-70.

# Strength Calculation and Simulation of Steam Turbine Diaphragm Based on MATLAB

Xiong Liu Pengfei Zhang Junjie Zhao Fangsong Wu

Industrial Turbine Division of Dongfang Steam Turbine Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618000, China

## Abstract

The diaphragm in steam turbine units bears multiple crucial functions such as fixing the stationary blades and preventing leakage between stages, making it one of the key components ensuring the economy and safety of the unit. With the rapid development of the power industry, the requirements for the reliability of steam turbines have become increasingly stringent. This paper primarily selects the actual diaphragm model from a steam turbine factory as the research example. Firstly, we briefly introduce the usage conditions and calculation models of the traditional methods for calculating diaphragm strength and stiffness—the W-V method and the Wahl method. We then examine their strength and stiffness through changes in stress and deflection. Following that, we investigate the trends in which the strength and stiffness of the diaphragm vary with pressure difference under different methods. Subsequently, we examine whether the strength and stiffness of the diaphragm exhibit any trends with changes in the outer diameter of the diaphragm under different methods, while setting four pressure difference levels at  $p=0.15$  MPa,  $p=0.35$  MPa,  $p=0.55$  MPa, and  $p=0.75$  MPa to observe changes in stress and deflection. Finally, the results are compared with the actual design.

## Keywords

steam turbine diaphragm; stiffness characteristic; W-V method; Wahl method; MATLAB

## 基于 MATLAB 的汽轮机隔板强度计算及仿真

刘雄 张鹏飞 赵俊杰 吴方松

东方汽轮机有限公司工业透平事业部, 中国·四川德阳 618000

## 摘要

隔板在汽轮机中承载着固定静叶和阻止级间漏气等多种重要功能, 是保证机组经济性和安全性的关键部件之一。随着电力工业的快速发展, 对汽轮机的可靠性要求越来越高。论文主要选择以某汽轮机厂的实际隔板模型为研究实例。首先, 对传统隔板强度和刚度的计算方法——W—V法和Wahl法的使用条件、计算模型进行了简单介绍, 通过应力和挠度变化考察其强度和刚度。之后, 考察了隔板强度和刚度在不同的方法下随压差变化的趋势。然后, 考察了隔板强度和刚度在不同的方法下随隔板外径变化的趋势, 同时设定了 $p=0.15$ MPa、 $p=0.35$ MPa、 $p=0.55$ MPa、 $p=0.75$ MPa四个压差档位观察其应力和挠度的变化。最后, 结果与实际设计相对比, 满足设计需求。

## 关键词

汽轮机隔板; 刚度特性; W—V法; Wahl法; MATLAB

## 1 引言

随着科学技术的不断进步, 新技术、新材料在机械工程中得到广泛应用, 同时机械设备的工作条件也向高温、高压、高速方向迈进, 其结构也变得越来越大、越来越复杂。同时, 随着时代的发展, 电力在人类生活中具有越来越重要的作用, 电力的需求只会越来越大。虽然目前各国主要在向清洁能源发展, 逐步降低温室气体的排放, 煤炭在全球发电组合中的占比也在逐年减少, 但是不可否认的是在未来的几十年以内, 燃煤电厂等火力发电厂仍将作为一种必不可少的

发电方式, 保障能源安全, 满足能源需求。隔板是汽轮机的重要部件之一, 用来固定静叶片和阻止级间漏汽, 将汽轮机内部分隔成若干个压力段, 使蒸汽通过静叶栅将势能转变成动能, 并使汽流按规定方向流入动叶<sup>[1]</sup>。随着汽轮机行业的发展, 提高汽轮机的效率和热经济性成为重中之重, 减小通流中动、静之间的间隙可以有效降低漏气量, 达到提高机组效率和热经济性的目的。但是由于隔板前后有压差存在, 隔板需具有足够的强度和刚度, 防止受力后产生过大的挠度, 造成汽轮机内动、静部分接触碰撞, 定量分析隔板的强度和挠度对精细化设计隔板具有十分重要的现实意义<sup>[2]</sup>。因此, 隔板设计中需要满足: 一是具备良好的汽封性能; 二是具有足够的强度和刚度。由于涡轮机在工作时要承受其两侧的压差, 所以必须保证在高温下有足够的强度。为了防止产

【作者简介】刘雄(1986-), 男, 中国湖南益阳人, 硕士, 高级工程师, 从事汽轮机设计研究。

生大的挠度而引起静叶片与动叶片的碰撞,还必须保证有足够的刚度。对于隔板的强度分析,目前仍采用传统的计算方法——W—V法和Wahl法。M—V法是最早采用的横隔梁计算方法,最早在英国用于横隔梁强度计算。Wahl法是隔板强度的经典计算方法。

现代社会中大型精密且复杂的机械对于可靠性、抗疲劳等要求也在逐步发展,这要求设计人员能够计算和预测其在实际工作中产生的破裂和变形等问题。随着计算机技术的发展,越来越多的高校和汽轮机制造厂相继开发汽轮机相关的有限元计算程序,并在工程设计实践中逐步应用。吴谦等人<sup>[3]</sup>将弹性接触有限元法引入隔板的强度计算中,用以考虑隔板非线性支承边界,隔板内环的内径处装有汽封环,在运行时也受到两侧蒸汽压差的作用,对隔板产生力和力矩作用,可以利用经验公式将该压差力等效地转化为沿隔板内径圆弧上作用的均布载荷和作用力矩,加载在有限元模型上。杨光辉等人<sup>[4]</sup>对某亚临界状态机组隔板进行强度分析和对比;结果表明,隔板最大应力在靠近中分面叶片的进气叶根处,最大应变在中分面内径内环处,板体最大应力在垂直于中分面的内环内径处,其中有限元法和Wahl法误差较小,验证了有限元方法的可行性。盛德仁等人<sup>[5]</sup>对某汽轮机隔板进行了强度分析,并将结果和W—V法与Wahl法的计算结果进行了比较,但它在处理隔板位移边界条件时在隔板外环面上仅取沿环向一点作轴向约束。刘平等<sup>[6]</sup>采用MSC/NASTRAN有限元分析软件对某典型隔板进行线性分析并与经典算法—史密斯法的结果进行对比,有限元分析与经典计算结果相当吻合。文章<sup>[7]</sup>对某特殊结构的汽轮机隔板进行了三维模型的建立,在ANSYSWorkbench14.5中进行了有限元分析,得到了有限元分析结果。马俊等人<sup>[8]</sup>针对某汽轮机的中压第一级隔板,采用常规计算方法和有限元法分别进行了强度计算及分析且结果表明,有限元分析得到的结论与常规方法相同,从而印证了其在隔板设计上的工程实用性,具备替代常规方法的可能。董成龙等人<sup>[9]</sup>介绍了传统经验公式Wahl法和目前普遍采用的有限元数值计算方法,表明在处理隔板的支承情况时,采用接触分析有限元法能更准确地计算隔板体的挠度和应力。胡柳欣等人<sup>[10]</sup>用商用软件分析了隔板发生塑性变形的原因,运用有限元法的关键是首先要确定出准确的边界条件,隔板在实际结构中,隔板外缘被安置在汽缸或持环的隔板槽内,隔板和隔板槽壁间留有一定的间隙量,在实际运行时,由于隔板两侧的压差作用,隔板外缘被压向隔板槽的一侧,但在温度与压差的作用下,该侧隔板仍有径向向外缘与径向弯曲的可能,所以,隔板在实际工作中的支承位置并不是在确定的某一个半径处。

上述研究主要探讨了前人在借助传统的W—V法、Wahl法的基础上与有限元相结合对隔板强度和刚度的校核进行了研究,而论文主要借助仿真软件MATLAB与传统计

算方法相结合,借用某汽轮机厂实际隔板模型参数,对比两种传统算法的差别,并且展示其中某些参数对隔板强度和刚度的影响情况,进而为隔板设计人员提供一定的参考。

论文首先对传统的隔板强度计算方法——W—V法和Wahl法进行简单的介绍并在MATLAB中建立相关的仿真模型。之后,通过MATLAB将不同的参数设置为自变量以考察其对隔板强度和刚度的影响,最后校核该汽轮机厂设计的通流条件下隔板的表现。由于论文主要研究在两种模型下隔板两侧压差和隔板外径对隔板强度和刚度的影响,为方便计算,对该级隔板进行一定的简化,将其分为隔板外环、静叶、隔板体和汽封弧段4部分。

## 2 隔板强度计算

### 2.1 M—V法

M—V法又称Smith法,是最早采用的隔板计算方法,被英国MV透平制造厂用于计算隔板强度。它对于隔板计算作了如下假定:

- ①隔板外缘固定在完全刚性的支座上;
- ②隔板上承受均匀分布的蒸汽载荷;
- ③支反力沿支承周边的分布按正弦曲线规律(与实际情况很不符合);
- ④在计算隔板本身的应力和挠度时,假定静叶绝对刚性;在计算静叶应力和挠度时,假设隔板外缘和板体是绝对刚性的;
- ⑤隔板受力后隔板的径向截面形状保持不变;
- ⑥不考虑隔板本身的曲率,即计算时对于力和变形的关系利用直梁公式。

隔板体最大应力,在垂直于隔板中分面的内径处,其值为:

$$\sigma_{max} = K_{\sigma} \frac{\Delta p(0.1D)^3 S}{I} \quad (1)$$

式中: $\sigma_{max}$ ——最大应力,MPa;

$K_{\sigma}$ ——应力计算系数;

$\Delta p$ ——隔板两侧压差,MPa;

$D$ ——汽缸内径,m;

$S$ ——隔板最大厚度,m;

$I$ ——隔板的计算惯性矩, $m^4$ 。

隔板体最大挠度,在隔板中分面内径处,其值为:

$$f_{max} = K_{\Delta} \frac{\Delta p(0.1D)^5}{E_t I} \quad (2)$$

式中: $f_{max}$ ——最大挠度,m;

$K_{\Delta}$ ——挠度计算系数;

$E_t$ ——工作温度下隔板材料的弹性模量,MPa。

此时假定板体为绝对刚性,通过该方法计算得到叶片的最大挠度为:

$$f'_{max} = K_{\Delta} \frac{0.2\Delta p D_m (D_m - D_g) l^3}{EIZ} \quad (3)$$

式中： $f'_{max}$ ——叶片最大挠度，m；

$D_m$ ——叶片中径，m；

$D_g$ ——汽封处内径，m；

$l$ ——叶高，m；

$Z$ ——叶片数；

$E$ ——叶片材料工作温度时的弹性模量，MPa。

则在靠近隔板中分面汽封内径处的最大挠度计算公式为：

$$f = f_{max} + f'_{max} \quad (4)$$

## 2.2 Wahl 法

Wahl 法把隔板当作一个整块半圆环，在其上作用均布载荷，周边支承、中分面直径自由的情况来处理。即把隔板当作周边支承、承受均布载荷的曲梁，并认为隔板受力后其径向截面不变形这样应用曲梁受力和变形的关系，并考虑以下三点因素的影响：一是隔板不是支承在外圆上，而是支承在比外圆小一定数值的圆周上；二是在隔板内径处没有考虑汽封环的存在，该汽封环不仅不增加隔板的刚度，反而增加了隔板的载荷；三是隔板按整块半圆环考虑，即不考虑静叶的存在。在计算隔板体截面惯性矩时，应扣除这部分静叶带来的惯性矩<sup>[11]</sup>。

因此，隔板的最大应力为：

$$\sigma_{max} = K_{\sigma} \frac{z(0.1D_0)^3 S}{I_t + I_0} \quad (5)$$

式中： $z$ ——和压差及隔板尺寸有关的数值；

$D_0$ ——隔板外径，m；

$I_t$ ——隔板体相对 I-I 轴的惯性矩，m<sup>4</sup>；

$I_0$ ——隔板外环相对 I-I 轴的惯性矩，m<sup>4</sup>。

隔板的最大挠度为：

$$f_{max} = K_{\Delta} \frac{z(0.1D_0)^5}{E_t(I_t + I_0)} \frac{t_2}{1 + t_1} \quad (6)$$

$K_{\sigma}$  根据  $d/D_0$  和  $t_1$  按《透平零件结构和强度计算》<sup>[12]</sup> 图 6-13 选取 (P260)； $K_{\Delta}$  根据  $d/D_0$  和  $t_1$  按《透平零件结构和强度计算》图 6-14 选取 (P260)； $t_1$ ——比值， $t_1 = a_1/a$ ； $t_2$ ——比值， $t_2 = a_2/a$ ； $z$ ——和压差及隔板尺寸有关的数值。

$$z = \frac{B - A}{D_0^2} \quad (7)$$

其中：

$$A = \frac{2\Delta p e^3}{3 a_1} - 2\Delta p \left(\frac{d}{2} + e\right) \frac{e(a - e)}{a_1} - \frac{q_1 d a}{2 a_1} - m_1 \frac{d}{2a_1} \quad (8)$$

$$B = 2\Delta p e \left(\frac{d}{2} + e\right) + \frac{q_1 d}{2} \quad (9)$$

上式中：

$$e = \frac{1}{4}(D - d) \quad (10)$$

$$a = \frac{1}{4}(D_0 - d) \quad (11)$$

$$a_1 = 2e - a \quad (12)$$

$$a_2 = \frac{1}{2}(D - D_g) \quad (13)$$

$$q_1 = \frac{1}{4}\Delta p d \left(1 - \frac{D_g^2}{d^2}\right) \quad (14)$$

$$m_1 = \frac{1}{8}\Delta p d^2 \left(1 - \frac{D_g}{d}\right)^2 \quad (15)$$

式中： $d$ ——隔板内径，m。

## 3 仿真计算

通过上节的强度计算模型，我们可以在 MATLAB 中建立相应的仿真模型，研究相关参数对隔板强度的影响情况。隔板的数据选取某汽轮机厂的现有产品的某一级进行研究。该机组是 60WM 级的中温、中压、凝气式汽轮机。

### 3.1 压差的影响

本节主要研究隔板前后压差对隔板强度的影响，相应参数的数值见表 1。应力计算系数和挠度计算系数，两种方法所选取的值有所不同见表 2。其中隔板的材料为 Q235-B，叶片的此材料为 12Cr13。

表 1 隔板参数

参数	值	参数	值
$D$	1.662	$S$	0.96
$E_t$	$197 \times 10^3$	$E$	$204.11 \times 10^3$
$D_m$	1.3035	$D_g$	0.580
$l$	0.0535	$Z$	80
$D_0$	1.722	$d$	0.611
$I_t$	$2.3046 \times 10^{-5}$	$I_0$	$5.3593 \times 10^{-5}$
$I$	$15.5016 \times 10^{-5}$		

表 2 常数值

W-V 法		Wahl 法	
$K_{\sigma}$	14.867	$K_{\sigma}$	72.9
$K_{\Delta}$	197.28	$K_{\Delta}$	998.8

通过 MATLAB 仿真软件，得到了所示的仿真结果。该图显示随着隔板两侧压差的变化所引起的隔板强度的变化以及两种不同的计算方法所显示的不同的影响效果。图 1 展示了隔板最大应力随着压差变化的关系；图 2 展示了隔板最大挠度随压差变化的关系。

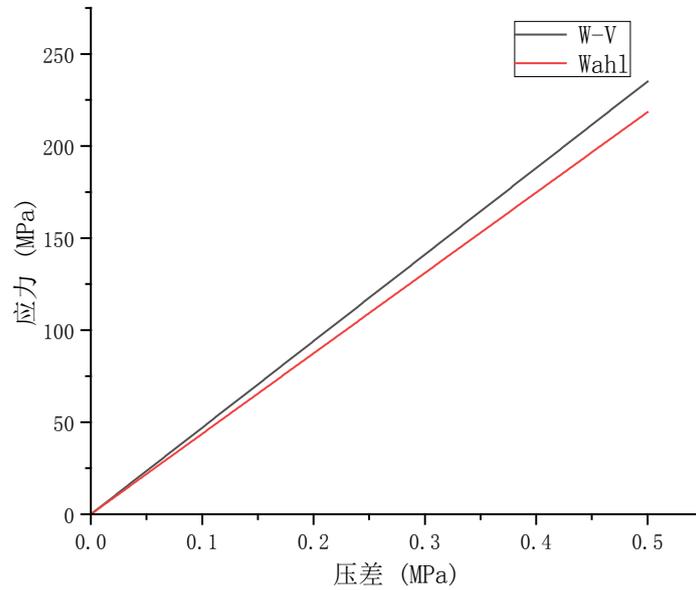


图 1 应力与压差的关系

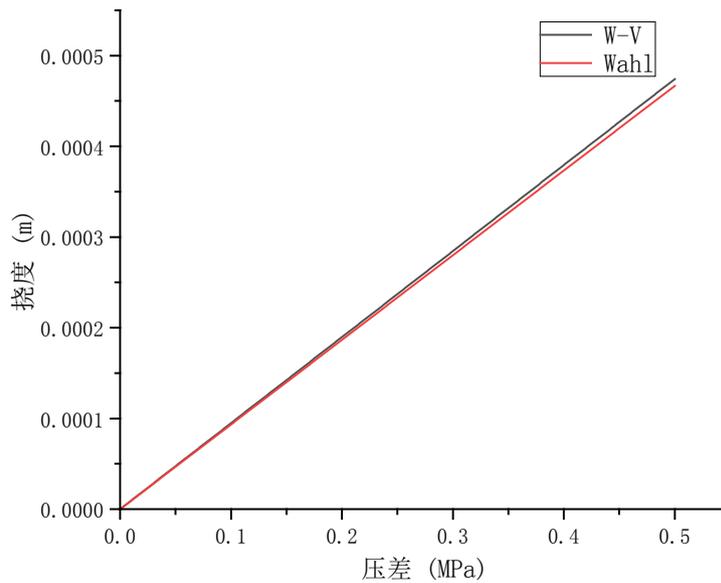


图 2 挠度与压差的关系

### 3.2 隔板外径的影响

上一节主要研究隔板前后压差对隔板强度的影响，本节探讨隔板外径对于隔板强度和刚度的影响。同时，除了改变隔板外径，将设定不同的压差下以考察隔板强度和刚度的变化。压差主要设置为  $p=0.15$ 、 $p=0.35$ 、 $p=0.55$ 、 $p=0.75$  四个档位。其余参数不改变。图 3、图 4 展示了不同压强下 W—V 模型中应力和挠度的变化；图 5、图 6 展示了不同压强下 Wahl 模型中应力和挠度的变化。从图中可以看出，无论哪种模型下，应力和挠度的变化趋势均相近，压差越大，应力和挠度就越大。当  $p=0.15$  左右时，随直径的变化应力和压

差的变化较缓。

除上述外，我们设定  $p=0.35$ ，考察不同模型下应力和挠度的变化。

从图 7 和图 8 中，可以得到：当外径小于 1.5 时，Wahl 法对于外径的变化更加敏感；当外径大于 1.5 时，W—V 法对于外径的变化更加敏感。

同时，我们根据该汽轮机厂的实际通流得到其所设计的隔板两侧是实际压差， $p=0.201$ 。通过计算我们可以得到两种方法下的隔板强度和挠度变化，见表 3，其结果也证实了上述研究。该汽轮机厂该机组此级的许用应力为 110MPa，符合设计需要。

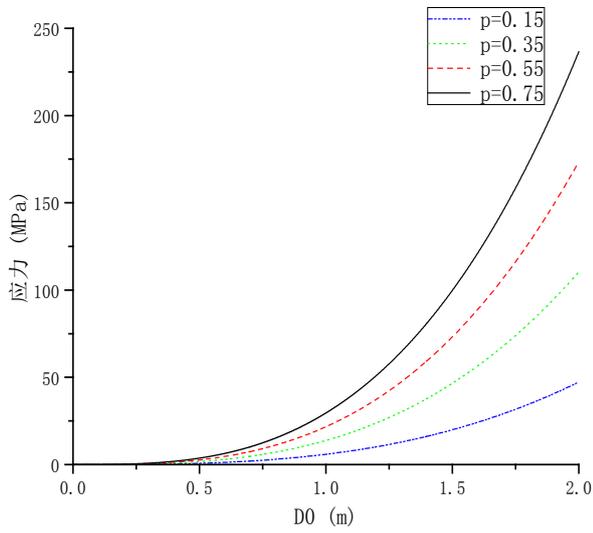


图 3 W—V 法应力变化

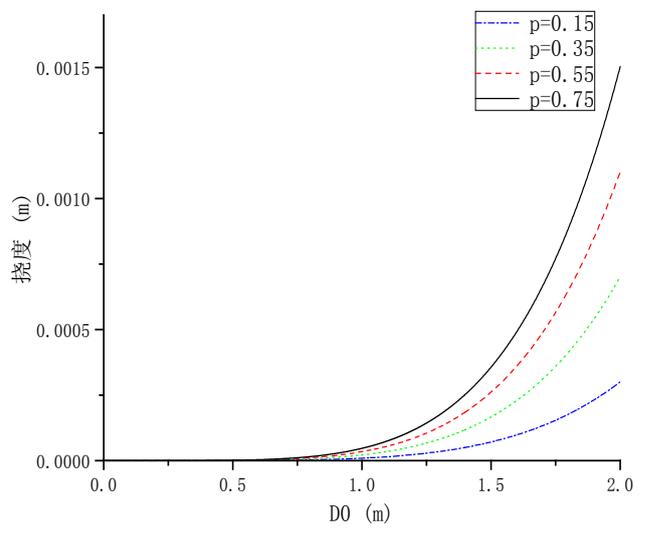


图 4 W—V 法挠度变化

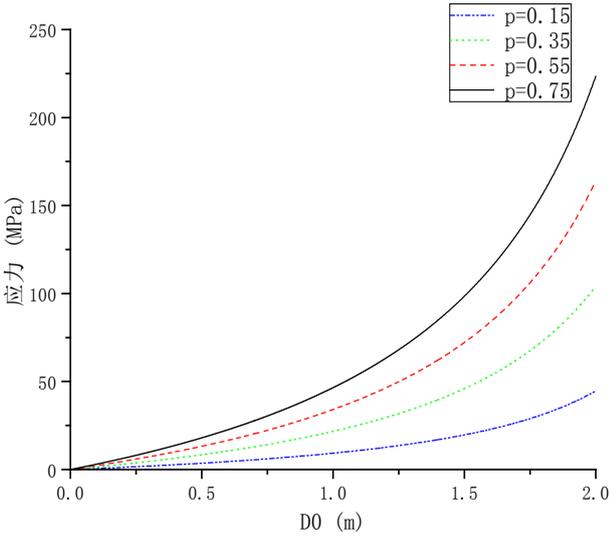


图 5 Wahl 法应力变化

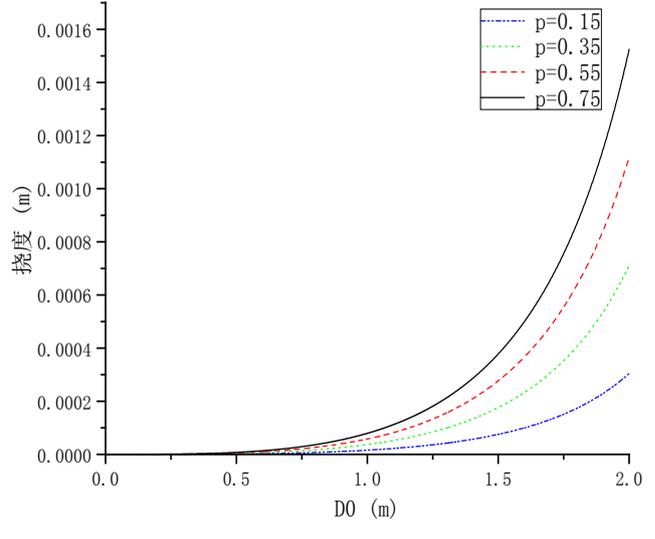


图 6 Wahl 法挠度变化

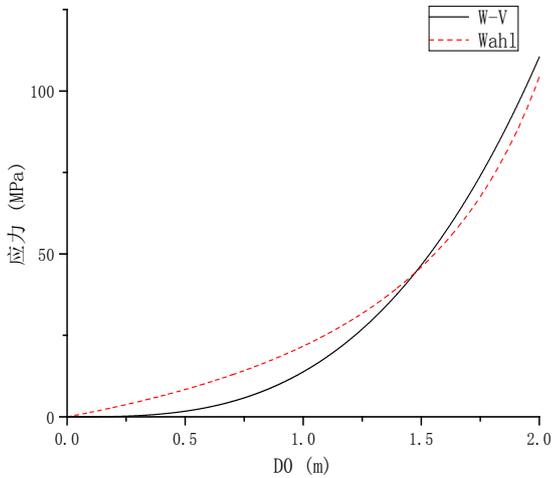


图 7 同一压差下应力变化

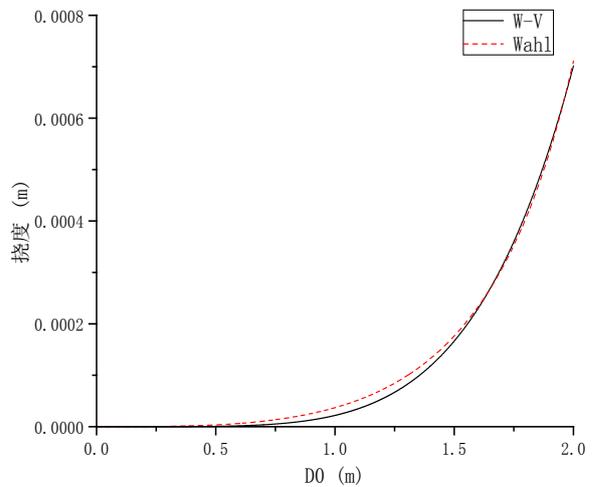


图 8 同一压差下挠度变化

表3 隔板强度仿真结果

	$\sigma_{max}$	$f_{max}$
W-V 法	94.5	$1.91 \times 10^{-4}$
Wahl 法	87.8	$1.88 \times 10^{-4}$

## 4 结论

通过上述对传统隔板强度计算方法的介绍,并引入 MATLAB 软件根据实际工业制品验证了设计的正确。论文主要完成了一下几方面的工作:阐述了隔板的作用以及其重要性,介绍了隔板强度计算常见的两种方法——W—V 法和 Wahl 法,建立隔板的强度计算方程;参考了某汽轮机厂的实际隔板设计建立了相关的强度计算模型;在 MATLAB 中进行了仿真,研究了两种模型下其隔板两侧压差对隔板强度产生的影响。同时也考察了不同模型对于隔板外径变化的敏感度,且提供了未来研究其他参数对隔板强度的影响的方向。通过研究可以发现,W—V 法对于隔板两侧压差的变化更加敏感,而对于隔板外径,仅当其增大到一定范围时,变化才更加明显;借助该汽轮机厂的实际设计验证了其强度设计是否符合强度准则,并比较了两种计算方法的可用性。

## 参考文献

[1] 董成龙.大型汽轮机的隔板刚度特性研究[D].大连:大连理工大

学,2013.

- [2] 宋杏林.600MW汽轮机隔板挠度特性研究[D].大连:大连理工大学,2016.
- [3] 吴谦,余峰.汽轮机隔板强度有限元法及其应用[J].西安交通大学学报,1997,31(10):31.
- [4] 杨光辉,陈庆波.基于M-V法、Wahl法和有限元法的汽轮机隔板的强度对比分析[J].图学学报,2016,37(4):5.
- [5] 盛德仁,陈坚红,李蔚,等.600MW汽轮机隔板的强度分析[J].电站系统工程,2003,19(2):3.
- [6] 刘平.典型隔板的强度刚度有限元分析[J].热力透平,2004(6).
- [7] 尹华劫,尹刚,吴方松,等.某特殊结构汽轮机隔板强度计算研究[J].东方汽轮机,2015(4):4.
- [8] 马骏,赵海峰,孙伟,等.汽轮机隔板强度计算方法的比较[J].东方电气评论,2015,29(2):4.
- [9] 董成龙,孙涛,王晓放,等.接触分析在汽轮机隔板强度计算中的应用[J].汽轮机技术,2014,56(1):4.
- [10] 胡柳欣,忻建华,葛诵,etal.汽轮机隔板高温蠕变寿命评估方法的研究[J].动力工程学报,2009(3):232-235.
- [11] 丁有宇.汽轮机强度计算手册[M].北京:中国电力出版社,2010.
- [12] 吴厚钰.透平零件结构和强度计算[M].北京:机械工业出版社,1982.

# Discussion on the Common Defects and Treatment Methods of Pressure Vessel

Sensen Zhang Jie Liu

Huizhou Teyu Petrochemical Engineering Co., Ltd., Huizhou, Guangdong, 516000, China

## Abstract

In the petrochemical industry, pressure vessels are widely used in refining, natural gas processing, fertilizer production, oil storage and transportation and other processes, belonging to the category of special equipment, the working environment is relatively special, need to be applied in high temperature, high pressure and corrosive environment and other working conditions, affected by design, manufacturing, operation and other factors, pressure vessels are prone to various defects. This will have a negative impact on the normal use of pressure vessels and production safety. The treatment of defects is a complex and rigorous work, which not only needs to clarify the mechanism of defects, but also needs to solve the root cause, and needs to strictly implement the pressure inspection and maintenance norms. Based on this, the paper analyzes the common defects of pressure vessels, and probes into the circumvention measures and maintenance methods.

## Keywords

pressure vessel; defect; treatment method

## 浅谈压力容器常见缺陷及处理方法

张森森 刘洁

惠州特宇石化工程有限公司, 中国·广东 惠州 516000

## 摘要

压力容器在石油化工行业中, 被广泛应用于炼油、天然气加工、化肥生产、油品储存和运输等过程, 属于特种设备的范畴, 工作环境较为特殊, 需要应用在高温、高压与腐蚀性环境等多种工况下, 受设计、制造、运行等方面因素的影响, 压力容器容易出现各种缺陷, 这会对压力容器的正常使用以及生产安全产生负面影响。缺陷的处理, 是一项复杂而严谨的工作, 既需要明确缺陷产生机理, 从产生根源着手解决, 且需要严格执行压力检维修规范。基于此, 论文分析了压力容器常见缺陷, 并探讨了规避措施及维修方法。

## 关键词

压力容器; 缺陷; 处理方法

## 1 引言

压力容器是一类盛装液体或气体、且承载一定压力的密闭设备<sup>[1]</sup>, 缺陷的发生, 轻则影响压力容器运行, 造成生产中断, 重则导致生产事故, 危及人身安全。统计资料显示, 化工行业 60% 以上的安全事故, 均和压力容器受损相关<sup>[2]</sup>。因此, 压力容器在制造、改造与重大修理过程中, 应当接受监管机构(如特检院)的监督检验, 称为强制性检验。文章针对压力容器常见缺陷进行了整理、分析, 并提出有针对性的维修处理方法。

**【作者简介】**张森森(1987-), 男, 中国河南三门峡人, 本科, 助理工程师, 从事石油化工设备安装及检维修技术研究。

## 2 压力容器常见缺陷

### 2.1 腐蚀

腐蚀是压力容器最为常见的缺陷, 对压力容器的正常运行以及安全性有着非常大的危害。

从腐蚀发生部位的角度而言, 压力容器腐蚀包括外壁腐蚀、内壁腐蚀两种。外壁腐蚀指发生于压力容器外部金属面的腐蚀现象, 受压件与非受压件的接触面是发生外部腐蚀几率最高的地方, 如容器与支架的接触面、容器与地面的接触部分。内壁腐蚀指发生于压力容器内表面的腐蚀现象, 多和压力容器盛放的介质和容器材质有关。如污水罐中含有的硫化氢会和容器壁铁质金属面反应生成硫化亚铁, 从而导致腐蚀。一般来说, 工作介质具有明显腐蚀作用的容器, 设计时都采取防腐措施, 如选用耐腐蚀材料、进行表面处理或表面涂层、在内壁加衬里等。

从腐蚀形态的角度而言, 压力容器腐蚀包括均匀腐蚀、

区域腐蚀、点腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀、疲劳腐蚀等。

均匀腐蚀指压力容器金属表面全面、均匀产生腐蚀现象，是较为严重的腐蚀。均匀腐蚀会使压力容器金属截面不断减少，致使压力容器承受的真实应力持续增加，一旦应力超出金属材料的断裂强度，压力容器便会产生断裂。

区域腐蚀是指在金属表面的特定区域发生的腐蚀现象。区域腐蚀可能由多种因素引起，如局部化学环境差异，金属表面的某些区域可能暴露在与其它区域不同的化学环境中，导致局部腐蚀的发生，如储罐中的气液混合区域更容易产生腐蚀。或者局部应力集中位置，如设备接管位置相对其他位置更容易产生腐蚀。

点腐蚀，也称孔蚀，是一种局部腐蚀形态，指压力容器金属表面在腐蚀介质中形成分散孤立或紧凑分布的小孔。与均匀腐蚀相比，点腐蚀不会导致金属明显失重，但能使金属穿孔破坏，严重危害设备安全。

晶间腐蚀同样属于局部腐蚀的范畴，具体表现为腐蚀沿着金属晶粒的分界面向内部扩散。晶间腐蚀的成因较为复杂，既和晶粒表面及内部化学成分的差异性有关，也和晶界杂质乃至内应力相关。晶间腐蚀具有一定的隐蔽性，压力容器出现晶间腐蚀后，金属表面的光泽仍然存在，肉眼难以观察，需通过金相检测发现。晶间腐蚀会严重破坏金属晶粒间的结合力，降低金属的机械强度。

## 2.2 裂纹

裂纹是压力容器常见缺陷之一，也是压力容器危险系数最高的缺陷，会导致压力容器发生脆性破坏，严重威胁生产安全。压力容器裂纹主要包括设备制造裂纹、运行使用裂纹两大类。

设备制造裂纹是发生在设备制造环节的裂纹，常见的有轧制裂纹、拔制裂纹、焊接裂纹、热处理裂纹等。轧制裂纹的形成和材料本身的缺陷有关，一些金属材料性能不够完善，轧制中，材料缺陷被聚集于钢材表面或钢板内部，为裂纹的形成埋下了隐患。轧制裂纹没有方向性和位置性，较为隐蔽，难以查找<sup>[1]</sup>。拔制裂纹指在拔制操作中，因不熟练等因素出现的裂纹。焊接裂纹指因不良焊接，如气孔、咬边、焊瘤、未焊透而导致的裂纹。以气孔为例，当焊接母材表面存在杂物，或焊接工艺参数偏差时，焊接中易出现泡状气孔，小的气孔易被忽略，后期则容易发展为较大的缺陷，致使压力容器出现裂纹。热处理裂纹则是热处理工艺不善而导致的裂纹，最为典型的便是晶间裂纹。受部分晶间不融合的影响，晶间裂纹多呈分支状，而随着压力容器投入运行，晶间裂纹会进一步扩散，乃至导致压力容器断裂。

运行使用裂纹是发生在压力容器运行使用阶段的裂纹，主要包括应力腐蚀裂纹、疲劳裂纹两类。应力腐蚀会削弱金属的晶间结合力，加速腐蚀扩散并产生应力腐蚀裂纹，发展到后期，则会造成压力容器断裂。疲劳裂纹是由于金属抗疲劳性能下降而导致的裂纹，多和材料不合格、结构设计缺陷等有关。

## 2.3 变形

变形为压力容器主要缺陷之一，指压力容器出现局部或整体的形变，典型的有整体膨胀、整体扁瘪、局部鼓包、局部凹陷等。

整体膨胀指压力容器整个出现向外膨胀的现象。导致整体膨胀的因素有内部压力、温度等。压力容器的类型不同，承压能力也不同。压力容器的内部压力需严格控制在设计工作压力范围内。然而，受操作不当、工艺异常、设备故障等的影响，压力容器内部实际压力可能超过设计压力，导致压力容器出现整体膨胀。高温环境也会增加压力容器整体膨胀的风险。一方面，部分压力容器采用了热膨胀系数较高的金属，高温环境下易受热膨胀；另一方面，压力容器盛放的介质，在高温环境下热胀冷缩，导致压力容器膨胀。

整体扁瘪指压力容器受压失稳而整体向内扁瘪的现象。整体扁瘪主要和内部压力不平衡、支撑结构、材料以及超载工作等有关。系统故障、过压运行、操作失误等，都会打破压力容器内外压力的平衡，导致整体向内凹陷。完善的支撑结构在保障压力容器平稳运行中发挥着重要的作用。

局部鼓包指压力容器表面局部凸起的形变，多和腐蚀、局部过热、超压运行等相关。腐蚀会导致压力容器壁厚降低，随着腐蚀的程度加深，容器壁越来越薄，在内压驱动下，变薄处会向上凸起。压力容器运行中，受加热不均匀或局部热应力的影响，局部地方温度较高，乃至出现鼓包。此外，焊缝开裂、气孔等不良焊接，也与局部鼓包有一定的关系。

局部凹陷指压力容器表面局部地方出现内凹缺陷，多见于薄壁容器。外部撞击是压力容器局部凹陷最为主要的因素。此外，负压效应、材料问题、设计缺陷，等也会导致压力容器局部凹陷缺陷。以负压效应为例，压力容器内外压力差较大，一旦出现内外压力不平衡的现象，便会产生负压效应，导致容器局部凹陷。

## 3 压力容器缺陷处理方法

### 3.1 腐蚀处理方法

#### 3.1.1 外壁腐蚀

外壁腐蚀主要和工作环境相关，高温、湿润气候会加剧压力设备外壁腐蚀现象，通过改善压力容器工作环境，加强压力容器工作环境监测等方式，可以防范外壁腐蚀。如在容器外壁表面涂刷防腐涂料，如环氧树脂、聚氨酯油漆、氟碳涂料等。这些涂层可以提供隔绝空气、水分和腐蚀性物质的屏障，保护容器外壁不受腐蚀。在涂层材料涂覆前，可通过喷砂或机械除锈处理去除容器外壁的锈蚀、污垢和旧涂层，使表面清洁并增加粗糙度，以便涂层能够更好地附着。且容器外壁需要定期检查，及时发现并修复涂层破损、锈蚀等问题，确保防腐效果的持续。

#### 3.1.2 内壁腐蚀

内壁腐蚀和盛放介质的腐蚀性相关，可从容器设计、材料选择和设备制造三个方面采取处理措施。容器设计之

初,充分考虑工艺需求,主要是物料的特性和运行时的工况,针对运行工艺的具体情况选择合适设计方案,如在内壁与介质接触的表面,设计增加堆焊耐蚀层,或采用不锈钢衬里结构,减少内壁与腐蚀介质的接触,降低内部腐蚀风险。如针对地下储存石油的压力容器,设计电化学保护的方法,通过增加牺牲阳极,以保护容器减缓腐蚀。在材料选择方面,应采用耐蚀性强的材料,从根本上提高压力容器的抗腐蚀性能,如304不锈钢具有良好的耐腐蚀性,能抵抗大多数酸、碱和盐溶液的腐蚀,广泛应用在含腐蚀性物料的压力容器中。在设备制造方面,针对材料的处理,如实施化学钝化、阳极氧化等表面改性处理,形成一层保护膜,提高材料的耐腐蚀性。同时控制焊接质量,选择合适的焊接工艺和焊接材料,确保焊缝的质量。对焊缝进行适当的热处理,消除焊接残余应力,减少应力腐蚀的风险。

即便有前期的充分考虑,生产运行中的压力容器仍不可避免的会有内壁腐蚀的发生,针对腐蚀形态,可采取不同解决方法。均匀腐蚀处理中,要计算容器壁的剩余厚度,并根据剩余厚度,采取针对性的措施,如剩余厚度尚可,则继续使用,但需缩短检测周期;如剩余厚度已不符合设计要求,应作报废处理,或改变工况。在设备常规检修中,区域腐蚀比较常见,针对腐蚀深度与面积的不同,采取对应解决方法。如小区域浅层腐蚀,采取补焊修复,先对腐蚀区域进行打磨清理,去除锈迹、腐蚀产物和杂质,露出新鲜的金属表面,然后采用合适的焊接工艺和焊条进行补焊。或采取堆焊修复,在腐蚀区域堆焊一层或多层耐腐蚀的金属材料,以增强耐腐蚀性和恢复强度。如大区域浅层腐蚀,可采取内部贴板的维修工艺,如在碳钢设备内部贴合不锈钢衬板,贴板时要保障壁板的贴合度,一方面是弯制合适的弧度,另一方面是需在贴板上开孔,采用塞焊工艺,增大贴板与容器壁的焊接面,防止腐蚀在壁板与贴板之间的继续。针对设备接口或者小面积的深度腐蚀,可以采取更换接管或者部件的方法,达到修复的目的。点腐蚀的危害相对较小,如仅存在点腐蚀,且腐蚀深度尚未超出强度计算范围,可不作特别处理。晶间腐蚀、应力腐蚀、疲劳腐蚀具有较大的危害性,且难以检测,应通过金相检验、化学分析等工具,研判腐蚀情况,并根据检测结果,决定是否淘汰。

### 3.2 裂纹处理方法

与腐蚀相比,裂纹的观测难度更大。因此,裂纹检测,就成为压力容器裂纹处理的基础步骤。当前,裂纹检测的方

式主要包括直观检测、无损检测两种,前者凭肉眼、经验判定,后者则采用渗透检测或磁粉检测的方式来判定。应综合采用好两种检测方式,确定裂纹的位置、形状、数量、危害程度,再编制系统性的裂纹处理方案。不同裂纹的处理要点有一定的差异性。轧制裂纹、拔制裂纹一般通过人工打磨便可消除。焊接裂纹、热处理裂纹需要将原有焊缝打磨清除,打磨前,需要在裂纹两端设置止裂孔,即在裂纹尖端制造一个应力集中点,改变裂纹尖端的应力分布,从而阻止裂纹的继续延伸。

### 3.3 变形处理方法

变形缺陷的处理要点有五:一是科学评估,确定变形的类型,如整体膨胀、整体凹陷等,研判变形的位置和程度,并评估变形对压力容器安全性的影响。二是变形修复,对严重变形,或对压力容器使用存在较大影响的变形,应立即停止使用,更换新的压力容器。对可修复的变形,则应根据变形情况、成因,采取针对性的修复措施,如使用液压机、千斤顶等工具恢复变形的形状,又如,使用加热和冷却的方法矫正变形。亦或者针对裂缝或变形进行局部焊接修复。三是加固,对于无法修复的严重变形,需要考虑加固或更换压力容器的部分或整体。比如,加强受力部位的支撑和加固结构,使压力容器能够继续使用。四是严格的质量检验,修复完成后,要进行全面的质量检验,包括外观检查、尺寸测量、无损检测和压力试验等,确保修复后的容器符合安全使用要求。五是定期维护检查,加强压力容器的定期检查和维护工作,及时发现并处理变形缺陷问题。

## 4 结语

针对腐蚀、裂纹、变形三大类缺陷,在处理过程中,应充分分析成因,考虑各种因素,采取好针对性的处理措施,需要注意的是,压力容器的维修工作必须由具备相应资质的单位和人员进行,并严格按照《固定式压力容器安全技术监察规程》等相关标准的要求进行操作,确保处理后的压力容器能够安全可靠地运行,更好地发挥作用。

### 参考文献

- [1] 王聪智.压力容器常见缺陷及处理措施[J].中国设备工程,2024(2):194-195.
- [2] 朱延良.基于压力容器探讨常见缺陷及影响[J].石化技术,2022,29(2):18-19.
- [3] 周明.压力容器设计制造常见缺陷及应对措施[J].设备管理与维修,2021(22):133-135.

# The Role of PIM Management System in Welding Quality Control

Jianping Zhong

Sinopec China Crude Oil Construction Engineering Co., Ltd., Puyang, Henan, 457001, China

## Abstract

With the increasing growth of global energy demand, long-term pipelines are playing an increasingly important role in the transportation of oil, natural gas and other energy sources. As an important infrastructure of energy transportation, the welding quality of long-distance pipeline is directly related to the safe operation and service life of the pipeline. This paper discusses the key role of PIM (Pipeline Integrity Management Pipeline integrity management) system in welding quality control, including accurate management of welding process parameters, effective monitoring of welding personnel, real-time tracking of welding process, and statistical analysis of quality data. By introducing PIM management system, the stability and reliability of welding quality of long distance pipeline can be significantly improved, the quality risk can be reduced, and provide a strong guarantee for the safe and efficient operation of long distance pipeline.

## Keywords

long-distance pipeline; PIM management system; welding quality control; welding process parameters; real-time monitoring

## 长输管道 PIM 管理系统在焊接质量控制中的作用

钟见平

中石化中原油建工程有限公司, 中国·河南 濮阳 457001

## 摘要

随着全球能源需求的不断增长,长输管道在石油、天然气等能源的运输中发挥着越来越重要的作用。长输管道作为能源运输的重要基础设施,其焊接质量直接关系到管道的安全运行和使用寿命。论文探讨了长输管道PIM(Pipeline Integrity Management管道完整性管理)系统在焊接质量控制中的关键作用,包括对焊接工艺参数的精确管理、焊接人员的有效监控、焊接过程的实时跟踪以及质量数据的统计分析等方面。通过引入PIM管理系统,能够显著提高长输管道焊接质量的稳定性和可靠性,降低质量风险,为长输管道的安全高效运行提供有力保障。

## 关键词

长输管道; PIM管理系统; 焊接质量控制; 焊接工艺参数; 实时监测

## 1 引言

随着全球能源需求的不断增长,长输管道在石油、天然气等能源的运输中发挥着越来越重要的作用。由于长输管道通常需要在复杂的地理环境和恶劣的工况条件下运行,因此对其焊接质量提出了极高的要求。焊接质量的优劣不仅影响管道的密封性和强度,还可能导致泄漏、爆炸等严重的安全事故。为了确保长输管道的焊接质量,引入先进的管理系统和技术手段势在必行。PIM管理系统作为一种集成化的信息管理平台,为长输管道焊接质量控制提供了全新的解决方案。

## 2 长输管道焊接质量控制的重要性

### 2.1 保障管道安全运行

焊接接头是长输管道中的薄弱环节,焊接质量好坏直接影响管道的安全运行。长输管道通常需要输送大量的油气等介质,如果焊接质量不佳存在缺陷,如气孔、夹渣、未焊透等,可能导致管道在运行过程中产生裂纹、造成介质泄漏等问题,不仅造成资源浪费,还会对环境构成严重污染,甚至引发火灾、爆炸等重大安全事故。

### 2.2 延长管道使用寿命

良好的焊接质量有助于保证管道的结构强度。长输管道在运行过程中会承受内部压力、外部载荷以及温度变化等多种应力作用。焊接部位若质量不佳,容易产生严重缺陷,进而降低管道的承载能力,影响其使用寿命,增加维修和更换成本。焊接质量对管道的耐腐蚀性也有重要影响,焊接区域的微观组织和化学成分可能与母材不同,如果焊接过程控

【作者简介】钟见平(1972-),男,中国湖北武汉人,本科,工程师,从事焊接工艺研究。

制不当,会使焊接接头更容易受到腐蚀介质的侵蚀,从而缩短管道的整体耐腐蚀寿命。

### 2.3 提高能源输送效率

高质量的焊接能够提高管道系统的运行稳定性和可靠性。减少因焊接问题导致的管道故障和停机时间,保障能源的连续输送,对于满足工业生产和居民生活的需求至关重要。从经济角度看,有效的焊接质量控制可以降低后期的维护和修复费用,避免因管道泄漏或损坏造成的巨大经济损失。长输管道焊接质量控制对于保障管道的安全运行、延长使用寿命、保护环境、降低成本以及维护社会稳定都具有不可忽视的重要性。

## 3 长输管道 PIM 管理系统概述

长输管道 PIM (Pipeline Integrity Management 管道完整性管理) 系统是一个综合性的体系,旨在确保长输管道在其整个生命周期内的安全、可靠和高效运行。可以对施工进度、质量、安全进行实时监控和管理。包括施工队伍的调配、材料设备的采购与供应、焊接质量的控制、防腐处理的监督等。通过与现场监测设备和传感器的连接,及时获取施工中的各项数据,如焊接参数、环境与焊接温度等,确保施工符合规范和设计要求。

### 3.1 系统组成

长输管道 PIM 管理系统通常包括数据采集模块(摄像头、传感器、信号收发设备、智能小屋等)、工艺管理模块(焊接工艺规程、焊接过程实时检测数据监控和对比记录)、人员管理模块(人员报验、人员证件、操作过程信息)、过程监控模块(人员进出场管理、焊口编号信息、钢管规格型号、钢管管号、防腐、施工机组、施工日期、使用的焊接工艺规程编号、焊口补口信息、施工进度管理等)、质量分析模块等。

### 3.2 长输管道 PIM 系统功能特点

①数据采集与整合。能够收集来自多个数据源的长输管道相关数据,包括管道设计参数、施工记录、检测报告、运行数据等。对不同格式和来源的数据进行整合和规范化处理,确保数据的一致性和准确性。

②风险评估与分析。运用专业的风险评估模型和算法,对管道的潜在风险进行识别和评估。考虑多种风险因素,如腐蚀、第三方破坏、地质灾害等,为管道的风险管理提供科学依据。

③完整性评价。基于收集的数据和评估结果,对管道的完整性状态进行综合评价。确定管道的薄弱环节和需要重点关注的区域。

④监测与预警。实时监测管道的运行参数,如压力、温度、流量等。当监测数据超出预设的阈值时,及时发出预警信号,以便采取相应的措施。

⑤维护管理。制定管道的维护计划和策略,优化维护资源的配置。记录维护工作的执行情况和效果,形成维护历史档案。

⑥地理信息系统(GIS)集成。与GIS系统相结合,直观展示管道的地理位置、沿线环境等信息。为管道的规划、施工和应急响应提供地理空间支持。

⑦文档管理。对与管道完整性相关的各类文档进行分类、存储和检索,方便查询和使用。

⑧工程管理。对工程进度、施工状态、施工单位(人员)、物资情况、各种资料等与工程相关的信息进行管理。

⑨应急管理。制定应急预案,包括事故响应流程、资源调配等。模拟事故场景,进行应急演练和培训。

⑩系统安全与权限管理。保障系统的数据安全和运行稳定,防止数据泄露和非法访问。支持多用户协同工作,对不同用户设置不同的权限,确保数据的保密性和操作的合规性。

## 4 长输管道 PIM 管理系统在焊接质量控制中的作用

长输管道 PIM 系统是一个综合性管理系统,焊接施工作业作为工程管理过程中的一个环节,其保证作用主要体现在以下几个方面。

### 4.1 焊接工艺参数管理

焊接工艺参数是影响焊接质量的关键因素,包括焊接电流、电压、焊接速度、焊材规格型号、焊接温度等。PIM 管理系统在焊接工艺参数管理方面发挥着重要作用。

#### 4.1.1 精确监控焊接工艺参数

长输管道 PIM 管理系统具备强大的计算和分析能力,可以根据管道的材质、管径、壁厚等参数,结合相关标准和规范,提前录入经评审合格,可确保焊接工艺的合理性和科学性的焊接工艺规程。系统会利用内置的数据库和算法,对各种参数进行模拟和计算,生成参数状态曲线。

#### 4.1.2 实时监控工艺参数执行情况

在焊接过程中,通过高精度的传感器和数据采集设备,实时采集焊接电流、电压、焊接速度、焊接温度等关键工艺参数,并将这些数据传输至长输管道 PIM 管理系统。系统会将采集到的实际参数转化为实时焊接状态曲线,与预设的焊接工艺规程参数状态曲线进行实时对比分析。一旦发现实时焊接参数偏离了焊接工艺规程设定的偏差范围,系统会触发警报预警,提醒质量监管人员督促焊接操作人员进行问题分析,即时调整纠正焊接参数和操作方法。

此外,系统还能对工艺参数的稳定性进行评估。如果某个参数在短时间内出现频繁波动,即使未超出设定范围,系统也会提示可能存在的设备故障或不当操作,以便及时采取措施进行排查故障和解决问题。通过这种实时监控和及时反馈机制,能够有效地保证焊接工艺参数的稳定执行,从而确保焊接质量的一致性和可靠性。

### 4.2 焊接人员资质管理

①人员信息登记,详细记录管道相关工作人员的个人基本信息,包括姓名、性别、年龄、联系方式等。工程业绩、

教育背景等信息,以全面了解其从业经历和专业知识储备。

②资质类型分类,明确不同岗位所需的资质类型,如机组的一长三员,焊接作业人员,焊口补口作业人员等;无损检测单位的无损检测人员等。对各类资质进行细分,如焊接资质、无损检测资质、安全管理资质等。

③资质证书管理,录入人员所持有的资质证书信息,包括证书编号、颁发机构、有效期等。系统能够根据人员资质的有效期,提前发出提醒,督促相关人员及时进行资质更新和培训,确保现场操作人员始终具备相应有效的资质和技能。

通过有效的人员资质管理,长输管道 PIM 管理系统能够确保拥有具备满足资质和技能要求的人员从事相关工作,从而提高管道完整性管理的水平和效率,降低安全风险。

### 4.3 焊接过程实时跟踪

#### 4.3.1 人员进出场管理

根据目前国网在建项目可视化管理,有作业必须有视频监控的要求,机组进场前先开启场地视频监控设备,人员再进入作业现场和从事相关施工作业,以确保作业现场具备安全作业条件;当天作业结束后,所有人员先离场,机组长举牌报告,再关闭视频监控设备,确保所有的作业过程有效且全程记录。

#### 4.3.2 可视化监控焊接过程

所有焊接机组作业场地和每个防风棚都安装有视频监控设备,自动焊接设备都安装有高精度的传感器,利用视频监控设备和传感器,将焊接过程中的图像和焊接数据通过智能小屋实时传输到长输管道 PIM 管理系统,实现对管口组对、焊口预热、全部焊接过程的可视化监控,便于及时发现和解决问题。

#### 4.3.3 焊接进度管理

焊接操作人员通过扫码,记录并上传所要焊接的焊口,长输管道 PIM 系统即可以实时记录所焊接的每道焊口,精确到每层的焊接各项参数和时间等数据,以及焊接进度和完成情况,为项目管理提供精准的数据信息,有助于合理安排施工计划和资源调配。

### 4.4 质量数据统计分析

#### 4.4.1 收集和整理质量数据

长输管道 PIM 管理系统能够通过上传和自动收集焊接过程中的各种质量数据,如人员数据、设备数据、焊接过程数据、焊缝外观检测数据、无损检测数据等,便于统一整理和归档。

#### 4.4.2 质量趋势分析

通过对大量质量数据的统计分析,可以发现质量的变化趋势和规律,为质量改进提供方向和依据。

#### 4.4.3 质量问题追溯

当出现质量问题时,通过长输管道 PIM 管理系统能够

快速追溯到相关的焊接工艺、焊接操作人员、自动焊接设备、焊接时的参数范围等信息,甚至可以反映出焊接人员的不良操作习惯等环节,结合着 DR 和 AUT 无损检测呈现的欠缺形式,及时分析和找出产生问题的根源,以便采取有效的整改和提升措施。

## 5 长输管道 PIM 管理系统应用案例分析

以某施工机组参与的材质、规格、工艺相同状态下管道的不同项目施工为例,该机组先期参与的施工作业,作业现场数字化条件不成熟不完善,焊接全过程管理还没有完全实现和全覆盖,焊接整体质量通过 AUT 和 RT 检测焊接一次合格率为 95.5%,焊接过程只能通过无损检测发现焊接质量的不足和存在的问题;后期参与国网某工程施工过程中,由于项目上引用了长输管道 PIM 管理系统对焊接质量进行监督控制,项目实施过程中,作业机组的焊接全过程处于精确的焊接工艺参数管理和实时监控状态下,对于 DR 和 AUT 无损检测出现不合格的焊缝,第一时间能够结合长输管道 PIM 管理系统进行监控倒查和复盘,通过焊接生成的曲线状态与焊接工艺规程曲线图比对,及时发现焊接操作人员有按照个人操作习惯原因,焊接到特定位置时,存在不超焊接工艺规程设定值但影响焊接质量的随意增减焊接速度和加减摆宽从而产生焊缝未熔合现象,为此通过停工反思、加强操作人员技能培训和工艺纪律再学习等方式,从源头控制,改变操作人员固化思维和操作习惯,最终保证了焊接质量的稳步提升,整体焊接质量经 AUT 和 DR 检测一次合格率提高到 98% 以上;通过对焊接过程的实时跟踪和质量数据的统计分析,及时发现并解决了多起潜在的质量问题,为项目的顺利交付和管道的安全运行奠定了坚实的基础。

## 6 结语

长输管道 PIM 管理系统在焊接质量控制中发挥着至关重要的作用。通过对焊接工艺参数的精确管理、焊接人员资质的有效监控、焊接过程的实时跟踪以及质量数据的统计分析,能够显著提高长输管道焊接质量的稳定性和可靠性,降低质量风险,保障长输管道的安全高效运行。随着信息技术的不断发展和应用,PIM 管理系统在长输管道焊接质量控制中的作用将不断得到强化和拓展,为长输管道行业的发展提供更加强有力的支持。

### 参考文献

- [1] 王云.长输管道焊接质量控制与管理[J].石油工程建设,2018(6).
- [2] 李建军.长输管道施工中的焊接质量控制[J].焊接技术,2017(9).
- [3] 张涛.信息化技术在长输管道焊接质量管理中的应用[J].化工管理,2020(12).
- [4] 郝杰.基于PIM的长输管道数字化管理系统的设计与实现[A].石油天然气学报,2012(4).
- [5] 董绍华.管道完整性技术与管理[M].北京:中国石化出版社,2007.

# The Practical Application of On-line Diagnostic System in the Reducer of Aluminum Foil Finishing Mill

Baozhou Yang Su Lin Genrong Zhou

Ruyuan Dongyangguang UACJ Fine Aluminum Foil Co., Ltd., Shaoguan, Guangdong, 512721, China

## Abstract

The shutdown and recovery time of large equipment during aluminum rolling process due to abnormal gearbox is long, resulting in huge losses. The paper installs vibration online monitoring equipment on the gearbox of the aluminum foil precision rolling mill, which monitors the vibration of the operating parts of the equipment in real time, especially the bearings and gears. Without stopping or disassembling the equipment, vibration sensors are used to collect vibration data. By Fourier analysis of the sensor feedback data and combining it with the historical condition of the precision rolling mill gearbox, the degree of deterioration, failure parts, and failure modes are quantified. Based on the frequency spectrum analysis results, practical repair suggestions are given to equipment maintenance personnel (such as suggesting cleaning if foreign objects have invaded, replacing bearings for bearing pitting, and inspecting/repairing/replacing gears for gear jumping). According to the opinion, equipment operators can prepare spare parts inventory in advance, develop reasonable maintenance plans, etc., to avoid unexpected and sudden fault repair operations.

## Keywords

aluminum foil finishing mill; acceleration; online monitoring

## 浅析在线诊断系统在铝箔精轧机减速箱中的实际运用

杨宝洲 林素 周根荣

乳源东阳光优艾希杰精箔有限公司, 中国·广东 韶关 512721

## 摘要

铝轧制过程中大型设备因为减速箱异常导致的停机恢复耗时长, 损失巨大。论文通过对铝箔精轧机减速箱安装振动在线监测设备, 在线实时监测设备运转部位, 尤其是轴承和齿轮的振动情况, 在设备不需停机及拆卸情况下, 利用振动传感器进行振动数据采集, 通过对传感器回传数据进行傅里叶分析等方式, 结合精轧机减速箱历史状况, 来定量其劣化程度、失效部位及失效模式, 并且根据频谱分析结果, 给设备检修维修人员提出实际可操作的修复意见(如判断为异物入侵建议清理、轴承点蚀建议更换轴承、齿轮蹦齿建议检查/修复/更换齿轮等)。根据意见, 设备作业人员可提前做好备件库存, 制定合理的检修计划等, 避免意外的突发性故障抢修作业。

## 关键词

铝箔精轧机; 加速度; 在线监测

## 1 引言

铝箔精轧机主要用于轧制铝箔类产品, 是决定产品质量的主要工序, 铝箔精轧机其机械传动的核心部位就是减速箱, 一般设计有开卷、主机、卷曲三个部位的减速箱, 通过输入轴、中间轴、输出轴实现整套传动和变速功能。减速箱作为机械设备中广泛使用的重要部件, 它们的平稳运行是整个机组正常运行的重要保障。减速箱内部的关键部位是轴承和齿轮, 高速、一定冲击条件下, 常年的运转, 往往对轴承和齿轮造成一定的疲劳损伤, 一旦损伤或失效, 常常会导致传动系统和整机故障, 由于齿轮、轴承、轴类零件的采购和

制作周期比较长, 由此造成停产或减产的直接经济损失不可估量。对以往减速箱故障通过停机进行原因进行分析, 论文提及的振动在线监测设备, 安装后, 利用振动传感器进行振动数据采集, 通过对传感器回传数据进行分析处理, 并结合精轧机减速箱历史状况, 来定量其劣化程度、失效部位及失效模式, 进行计划性检修作业<sup>[1]</sup>。

## 2 设备概况

1550 铝箔精轧机开卷机减速箱, 2021 年安装国内某知名品牌振动监测系统, 并于同月投入使用(图1)。该减速箱额定转速 540/1600rpm, 减速箱速比: 4.696(低速)/2.743(高速), 传动侧输出端轴承型号: 150KBE2503+L/150×250×138(NSK)。轴承座部位共安装 5 个维克松 786-4k 型号测点, 设定采集器采集一组频率为 2h 一次, 每

【作者简介】杨宝洲(1982-), 男, 中国甘肃天水人, 本科, 工程师, 从事设备管理及预防检修等研究。

一组采集一段时域波形进行分析。

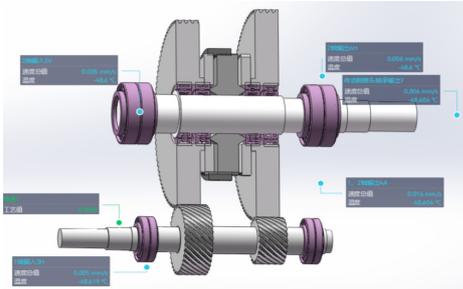


图 1 精轧机开卷机减速箱

### 3 在线诊断一

2023 年 2 月 16 日，在线振动监测系统对铝箔精轧机开卷机减速箱传动侧锥头轴承输出 7 振动异常报警（图 2），通过趋势时域频谱分析，传动侧对比操作侧锥头轴承输出高频总值和时域波形幅值明显存在异常上升现象，说明开卷机减速箱传动侧锥头轴承输出 7 位置存在异常冲击特征，推测与锥头轴套定位以及轴承定位有关，机械工程师发现异常后马上通知现场生产主操现场确认是否有异常。现场主操回复开卷料卷抖动厉害，主操要求机械工程师做好运行监控，降速生产完此批料卷后，再通知维修人员进行停机检查。



图 2 精轧机开卷机 / 传动侧锥头轴承输出 7/128k 加速度趋势 - 波形 - 频谱 (0.1-2000) \_ 趋势分析

#### 3.1 多参量和包络

通过对铝箔精轧机开卷机传动侧锥头轴承输出 7 和操作侧锥头轴承输出 8 多参量分析（图 3），传动侧对比操作侧锥头轴承输出高频总值和时域波形幅值明显存在异常上升现象，说明开卷机减速箱传动侧锥头轴承输出 7 位置存在异常冲击特征，推测与锥头轴套定位以及轴承定位有关，根据传动侧锥头轴承输出侧异常冲击能量，传动侧锥头加速度时域波形冲击显著。频谱能量主要是以 6210Hz 及其谐波组成，包络解调可见 1.53Hz 及其谐波，此频率近似波形冲击间隔。

#### 3.2 分析预判

传动侧锥头轴承磨损特征显著，推测与锥头磨损或传动侧锥头输出轴承走圈引起，劣化缓慢，设备目前处可监控运行状态，现场关注传动侧锥头轴承输出侧异响，待停机需检查锥头磨损及轴承有无走圈。



图 3 轴承输出 7 和操作侧锥头轴承输出 8 多参量

### 3.3 检修调整及效果验证

2 月 17 日停机检修拆开锥头防护罩，开卷机减速箱传动侧锥头轴承输出位置的定位套脱出 10mm，锥头转轴上轴承装配松散（图 4 定位套脱出检修效果图）导致传动侧锥头抖动大。将定位套恢复到原来安装位置并紧固，重新开机，现场抖动消失，查看振动信号数据，高频总值恢复原来水平，时域波形幅值冲击消失。



图 4 检修效果图（定位套脱出）

### 4 在线诊断二

2023 年 4 月 7 日，在线振动监测系统对铝箔精轧机开卷机减速箱传动侧输出端锥头轴承振动异常报警（图 5），传动侧锥头轴承输出加速度振动趋势近期波动较大，锥头处存在异常冲击特征，推测与锥头轴套定位以及轴承定位有关，机械工程师发现异常后进行分析。



图 5 精轧机开卷机 / 传动侧锥头轴承输出 7/128k 加速度波形 (0.1-2000) 趋势分析

#### 4.1 时域、频谱、包络解调等分析

减速箱传动侧输出端加速度时域波形可见团状冲击特征，冲击间隔接近锥头保持架（图 6）。其锥头轴转频 1.875Hz，保持架特征频率 0.82Hz，约 0.437 倍转频。研判冲击特征始

发于减速箱传动轴输出端。

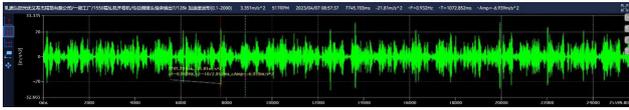


图6 精轧机开卷机 / 传动侧锥头轴承输出 7/128k 加速度波形 (0.1-2000) 时域波形

减速箱传动侧输出端加速度频谱中底部噪声能量较高(图7),通过对噪声能量带包络解调(图8),可见锥头轴承保持架特征频率(0.82Hz),研判与输出端轴承保持架有关。

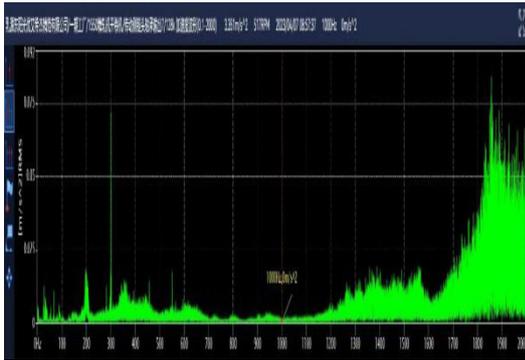


图7 开卷机 / 传动侧锥头轴承输出加速度波形频谱分析

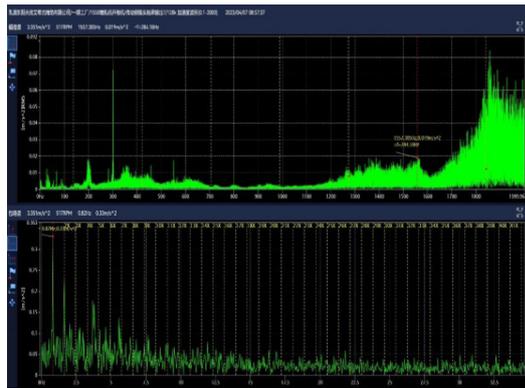


图8 开卷机 / 传动侧锥头轴承输出加速度波形包络解调图

#### 4.2 诊断预判

通过多种工具进行诊断分析,判定为锥头轴承保持架磨损,怀疑计划维修后安装未对锥头进行清理。结合设备使用及生产要求,设备目前处于可监控状态,要求点检工程师每天观察在线振动分析系统数据信号,跟踪信号特征,适时安排计划停机检修时间。

#### 4.3 检修调整

2023年4月14日,对该减速箱进行计划停机检修,现场反馈,传动侧输出端锥头输入端轴承保持架磨损(图9轴承保持架磨损检修效果图)。随后进行维护。

#### 4.4 维修后效果验证

通过对传动侧输出端加速度总值趋势观察,机组维护后,传动侧输出端加速度振动趋势回落(图10),时域波

形中冲击特征消失(图11),底部噪声能量消失。



图9 轴承保持架磨损检修效果图



图10 开卷机 / 传动侧锥头轴承输出 7/128k 加速度波形趋势分析



图11 精轧机开卷机 / 传动侧锥头轴承输出 7/128k 加速度波形 (0.1-2000) 时域波形

## 5 结语

通过在线振动监测技术,对铝箔轧机在线诊断工作的开展,在以下3个方面获得成效:

- ①可以及时了解和掌握设备健康状态,快速判断劣化程度和准确定位劣化部位,合理安排停机检修计划,快速判断设备检修前后状态。
- ②通过辅助分析,了解不同工艺产品对其冲击的影响程度并及时调整。
- ③由于维修是依据健康监测及诊断结果,在所形成的维修决策指导下进行的,因而既可控制在定期维修中因“维修过剩”而造成的费用上升,也可防止在事后维修中因“不足维修”而导致事故。

#### 参考文献

- [1] 周邵萍.设备健康监测与故障诊断[M].北京:化学工业出版社,2019.
- [2] 孙延永,刘美侠,刘海洋,等.基于LabVIEW虚拟振动测试分析仪的设计[J].煤矿机械,2010,31(6):2.
- [3] 顾庆丰,赵艳平,阙晓平,等.大型振动设备振动测试及模态分析系统[J].煤炭技术,2009,28(7):3.

# Research on Mechanized Maintenance Technology of Outer Anticorrosive Coating of Fracturing Storage Tank

You Yang

Sinopec Southwest Petroleum Engineering Co., Ltd. Downhole Operation Branch, Deyang, Sichuan, 618000, China

## Abstract

The external anticorrosion layer of fracturing storage tank is very important to ensure the long-term stable operation of fracturing storage tank. It can not only prevent the corrosion of fracturing storage tank, prolong its service life, but also ensure the safety of storage materials. However, the traditional maintenance process often relies on manual operation, which is not only inefficient, but also has certain safety risks in the operation process. In addition, the quality of manual maintenance is difficult to ensure consistency, which affects the overall performance and safety of fracturing tanks to a certain extent. In this paper, combined with the shortcomings of the traditional maintenance process of the outer anticorrosive coating of the fracturing storage tank, the advantages of the mechanized maintenance process of the outer anticorrosive coating of the fracturing storage tank are analyzed, and the new process and quality inspection of the mechanized maintenance of the outer anticorrosive coating of the fracturing storage tank are discussed for reference.

## Keywords

fracturing storage tank; external anticorrosive coating; mechanization; maintenance process

## 压裂储罐外防腐层机械化维修工艺研究

杨友

中石化西南石油工程有限公司井下作业分公司, 中国·四川 德阳 618000

## 摘要

压裂储罐外防腐层对于保障压裂储罐的长期稳定运行至关重要, 它不仅能够防止压裂储罐受到腐蚀, 延长其使用寿命, 还能确保储存物质的安全性。然而, 传统的维修工艺往往依赖于人工操作, 这不仅效率低下, 而且在操作过程中存在一定的安全风险, 再加上人工维修的质量难以保证一致性, 这在一定程度上影响了压裂储罐的整体性能和安全性。论文结合传统压裂储罐外防腐层维修工艺存在的不足, 分析压裂储罐外防腐层机械化维修工艺的优势, 探讨压裂储罐外防腐层机械化维修新工艺和质量检验, 以供借鉴。

## 关键词

压裂储罐; 外防腐层; 机械化; 维修工艺

## 1 引言

随着工业技术的不断进步, 压裂储罐外防腐层机械化维修工艺得到了显著的发展。这一进步不仅源于技术的革新, 也得益于行业对更高效率和更高质量维修需求的不断提升。传统的维修方法, 如手工打磨和涂装, 不仅效率低下, 而且难以保证涂层的均匀性和耐久性。因此, 引入机械化维修工艺成为了行业发展的必然趋势, 这种工艺通过自动化设备的使用, 大大提高了维修的速度和质量, 同时也减少了人工操作的风险, 为压裂储罐的长期稳定运行提供了有力的技术支持。

## 2 传统压裂储罐外防腐层维修工艺存在的不足

首先, 传统工艺需要工人长时间进行高空作业, 手工打磨、涂刷等操作劳动强度大, 尤其是在恶劣天气或高温环境下, 工人的工作条件更为艰苦, 再加上手工操作速度慢, 无法快速覆盖大面积的压裂储罐表面, 导致维修周期长, 影响压裂储罐的正常使用和生产效率。其次, 手工操作受工人技能水平、体力状况、工作态度等因素影响, 防腐层的厚度、均匀度、附着力等质量指标难以保持一致, 容易出现质量波动。此外, 手工涂刷过程中可能会出现涂料滴落、溶剂挥发等问题, 对环境造成污染, 同时也增加了涂料的浪费。最后, 对于形状复杂或结构特殊的压裂储罐, 传统手工工艺难以保证防腐层的完整性和均匀性, 同时, 手工操作难以实现施工数据的实时记录和监控, 不利于质量控制和后续的维护追溯<sup>[1]</sup>。虽然传统工艺的初期投入较低, 但由于效率低、质

【作者简介】杨友(1983-), 男, 中国四川乐至人, 本科, 工程师, 从事油气开采、酸化压裂方面的装备管理研究。

量不稳定、安全隐患等因素，长期维护成本可能较高。

### 3 压裂储罐外防腐层机械化维修工艺的优势

首先，机械化维修工艺通常采用自动化或半自动化的设备，如喷涂机、磨砂机等，这些设备可以快速、连续地完成大面积的防腐层施工，大大提高了维修效率。机械化设备能够精确控制施工参数，如喷涂厚度、均匀度等，从而保证防腐层的质量稳定性和一致性，减少人为因素导致的质量波动。其次，机械化维修减少了人工操作的需求，降低了工人的劳动强度，特别是在高空或恶劣环境下的作业，机械化可以有效减少工人的风险。此外，机械化设备通常配备有高效的过滤和回收系统，可以减少涂料和溶剂的浪费，降低对环境的污染，同时，机械化作业通常更加节能，因为设备可以更有效地利用能源<sup>[2]</sup>。最后，现代机械化维修设备通常设计有多种功能和模式，可以适应不同类型和规格的压裂储罐，以及不同的防腐材料和工艺要求。机械化维修过程中可以实时记录施工数据，如喷涂速度、压力、温度等，这些数据有助于质量控制和后续的维护追溯。虽然机械化设备的初期投资较高，但由于其高效、高质量和低维护成本的特点，长期来看可以带来更好的经济效益。

## 4 压裂储罐外防腐层机械化维修新工艺

### 4.1 原材料

一般来说，压裂储罐外防腐层主要包括环氧富锌底漆、云铁中间漆、聚氨酯面漆，采购人员在采购的过程中，要提前做好市场调研，选择性价比高的涂料，各项性能要求要符合相关技术规范，检查涂料使用说明书、涂料出厂合格证、涂料生产日期和有效期等方面，结合压裂储罐外防腐层的实际要求确定三种涂料的配比，在正式投入使用之前要邀请第三方机构检验，达到 GB/T50393 标准<sup>[1]</sup>。同时，要根据涂料的黏稠程度选择恰当的喷枪和喷嘴，使得涂料喷涂能够顺利进行。

### 4.2 设备

#### 4.2.1 表面处理设备

常见的表面处理设备主要包括高压除水锈机器人、高压水回收循环利用系统等，论文重点介绍高压除水锈机器人，它是三轮两驱结构，前轮是两个结构相同的吸附驱动一体化单元，设置于前端左右两侧，主要给机器人提供驱动力和吸附力，而机器人后轮采用万向轮，提供吸附力和稳定支撑常吸附于立面进行作业，根据不同的施工环境可以设计不同的尺寸，满足不同施工环境的施工要求。

#### 4.2.2 喷涂设备

压裂储罐外防腐层的涂敷作业采用多功能爬壁机器人，这一机器人同样是三轮两驱结构，也是吸附立面作业，为了能够满足多种压裂储罐外防腐作业的要求，技术人员重新设计了机器人结构形式，将驱动单元与吸附模块分离开来，这不仅能够优化机器人的底盘空间，而且增加了水平滑台、

升降平台等，使得多功能爬壁机器人能够搭载不同的功能模块，同时也能实现不同高度和水平方向上位置调节的目标，实现压裂储罐表面除锈、清洁、吹扫等作业，也能够根据具体的作业要求快速更换功能模块<sup>[4]</sup>。操作人员通过无线遥控的方式能够远程控制多功能爬壁机器人，实现压裂储罐外防腐层机械化，彻底代替人工操作。

### 4.3 工艺评定

在压裂储罐外防腐层喷涂之前要安排专业的技术人员进行工艺评定，结合相关的数据确定高压水除锈和喷涂设备参数，确保压裂储罐外防腐层能够满足 GB8923.4 技术规范的要求。在压裂储罐外防腐层喷涂的过程中，要测量扇面边缘湿膜厚度、中心点厚度等，以此来涂料搭接宽度、喷枪、喷嘴等，随后结合实际的施工要求调整喷嘴流量大小、喷涂扇面搭接宽度等。

### 4.4 施工工序

压裂储罐外防腐层机械化维修新工艺流如下：表面处理（机器人高压水除锈、除锈质量检测）→涂料配料（原材料检验、涂料混料）→涂层涂敷（机器人底漆喷涂、机器人中间漆喷涂、机器人面漆喷涂）→防腐层质量检验。

#### 4.4.1 表面处理

一般来说，操作人员采用吸附式爬壁机器人开展高压水除锈，在表面处理开始之前，要安排工作人员去保护现场的火灾报警器、防雷防静电设施等，避免在除锈过程中对其造成不可逆的损害。同时，要检查机器人的设备参数，在压裂储罐外防腐层处理过程中，要尽可能采用超高压水，通常控制在 100MPa 上，根据压裂储罐的材质选择恰当的压力，结合工艺评定报告内容来确定相关的参数。利用吸附式爬壁机器人来去除压裂储罐表面的旧涂层、松散锈蚀等，在除锈的过程中，要尽可能将压裂储罐的罐壁打磨到最初的状态，确保表面没有锈蚀、旧涂层等，符合 GB8923.4 相关的要求。在正式喷涂之前，要对高压水除锈的等级进行评定，不得高于 M 级。在表面处理 4 小时后，安排施工人员去喷第一道漆，当然也可以添加缓蚀剂延长表面漆处理时间，但依旧建议表面处理结束当天喷涂第一道底漆。

#### 4.4.2 涂料配料

在使用之前，将每一种涂料都送到国家认证的第三方机构进行检测，达到相关的行业标准要求才能使用。涂料要在使用前进行配制，时间不能过早，否则会导致涂料固化，严重影响涂料的喷涂效果和喷涂之间。此外，涂料配制的各个环节应该严格按照说明书进行操作，使用专用搅拌器进行搅拌，按照一定的比例进行配制再充分搅拌均匀。如果涂料说明书对于熟化时间有特别的要求，必须达到熟化要求才能使用。

#### 4.4.3 涂层涂敷

操作人员用多功能爬壁机器人高压水除锈后，要安排技术人员进行检验，检验合格得到监理工程师认可合格后，

再使用多功能爬壁机器人进行喷涂作业。如果压裂储罐表面被污染或者再次返锈,达不到规定的喷涂要求,应该立刻停止喷涂作业,安排施工人员重新进行表面处理作业,检验合格后才能进行涂敷施工。每一道漆涂敷结束后,要检查压裂储罐外防腐层表面是否漏涂、是否有脱落、是否有剥离、是否有涂层流挂、是否漆膜发花等,检验合格后才能涂敷下一道漆。在使用涂料的过程中,搅拌一定要充分,不能有漆皮和杂物,要清理干净后才能继续使用<sup>[9]</sup>。常见的压裂储罐外防腐层固化程度检查主要包括表干、实干、固化,具体来说表干就是施工人员用手指轻轻触摸压裂储罐外防腐层,当防腐层不沾手或者轻微沾手无漆,则意味着涂料已经是表干;实干就是施工人员用自己的手指用力推压裂储罐外防腐层,如果推不动,则意味着涂料已经是实干;固化就是施工人员用手指甲用力刻压裂储罐外防腐层,如果未留下痕迹,则意味着涂料已经是固化,随后能够进行下一步喷涂操作。

## 5 压裂储罐外防腐层质量检验

### 5.1 外观和附着力检查

在压裂储罐外防腐层涂层施工结束后要先安排专业技术人员进行外观检查,确保压裂储罐外防腐层表面不会出现脱落、鼓包、涂层是否光滑、颜色是否均匀等,同时可以应用放大镜进行涂层检测,抽查率应该要大于5%。随后,要进行附着力检查,压裂储罐外防腐层要满足《0319-2021 钢质储罐外防腐层技术规范》的要求,如果发现不合格要求,要及时安排人员整改,直到检测合格。

### 5.2 涂层厚度检查

在压裂储罐外防腐层每一道漆施工结束后,要测量漆的厚度,根据相关的性能参数测量出干膜厚度,确定厚度能够符合相关的要求。在这一过程中,检查人员可以采用多功能爬壁机器人进行实验,并喷涂环氧富锌底漆。具体施工参数内容主要包括漆料的物化距离、喷涂速度等,根据具体压裂储罐外防腐层涂料的性能指标,根据压裂储罐曲率半径、工作环境等进行逐一确定。此外,在确定干膜厚度值的时候,要测量3个相邻点的数值取平均数,这3个点之间的距离应该控制到12~75mm,平均值应该在干膜厚度范围内。如果上一道压裂储罐外防腐层受到了污染,要及时安排维修人员处理,将压裂储罐外防腐层表面处理干净后再进行下一道工序。同时,在压裂储罐外防腐层完工后,为了避免划伤和磕伤,要做相关施工保护,如果发现损坏要及时进行修复。

## 6 压裂储罐外防腐层机械化维修工艺注意事项

### 6.1 安全措施

首先,确保所有参与维修的人员都经过专业培训,熟悉操作规程和安全知识。其次,在维修现场设置明显的安全警示标志,并配备必要的安全设施,如防护栏、安全网、紧急停机按钮等。最后,使用防爆工具和设备,特别是在易燃易爆环境中作业时,要确保通风良好,防止有害气体积聚。

### 6.2 设备选择与维护

要结合具体的施工要求选择适合压裂储罐尺寸和形状的机械化设备,如喷砂机、高压清洗机、自动涂装机器人等。同时,定期对设备进行检查和维护,确保其在良好的工作状态,使用前对设备进行试运行,检查其性能是否正常。

### 6.3 环境保护

首先,采取措施减少维修过程中产生的废气、废水和固体废物的污染,对废弃的防腐材料和处理剂进行妥善处理,符合环保要求。其次,详细记录维修过程中的关键参数和操作步骤,建立维修档案,对维修结果进行评估,为未来的维修工作提供参考和经验。

## 7 结语

综上所述,经过一系列研究和实验论证,压裂储罐外防腐层机械化维修工艺是切实可行的,值得大规模推广和应用。压裂储罐外防腐层机械化维修工艺通过提高效率、保证质量、降低劳动强度、环保节能、适应性强、数据记录和追溯以及经济效益等方面的优势,这有利于提升中国压裂储罐防腐机械化维修工艺水平,成为现代压裂储罐维护的重要发展方向。

## 参考文献

- [1] 吴阳,刘月芳,王宪军,等.储罐外防腐层机械化维修工艺研究[J].科学技术与工程,2023,23(18):7753-7757.
- [2] 吴阳,李佳铮,向彬瑞,等.原油储罐外防腐层维修工艺可行性分析[J].全面腐蚀控制,2021,35(10):15-16.
- [3] 李孝和,郭啸.原油储罐外防腐层维修工艺可行性分析[J].IT经理世界,2021(7):167-168+171.
- [4] 张晨,陈思雅.储罐外防腐涂层服役性能快速评价技术实践[J].广东科技,2022,31(2):65-68.
- [5] 王永才,厉嘉滨,王海,等.液化天然气储罐用水性防腐涂层体系的制备与应用研究[J].涂料工业,2020,50(10):39-43.

# Discussion on Safety Risks and Protection Measures of Oil and Gas Pipelines

Ruixue Chen Xiaowei Ye Yan Sun

Northern Pipeline Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei, 066600, China

## Abstract

In recent years, with the rapid development of China's economy, the consumption of oil and gas is also increasing, which has a large development space. The main way of transportation is pipeline transportation, and the pipeline construction also develops rapidly. Due to the characteristics of high energy, high pressure, flammability and explosion, and complex environment, the pipeline is prone to rupture, leakage and other failures during long-term operation, which is prone to major safety accidents and poses a great threat to people's lives and property. Therefore, it is very necessary to carry out the risk analysis of oil and gas pipelines and the treatment of emergencies. Based on this, this paper first briefly describes the necessity of oil and gas pipeline safety management, and then discusses the oil and gas pipeline safety risks and protection measures for reference.

## Keywords

oil and natural gas; pipeline risk; safeguard; protective measures

# 石油天然气管道安全风险及保护措施探讨

陈瑞雪 叶小伟 孙岩

北方管道有限责任公司, 中国·河北 秦皇岛 066600

## 摘要

近几年来, 伴随着中国经济的高速发展, 石油天然气的消耗量也在不断增加, 具有较大的发展空间, 其输送的主要途径是管道输送, 管道建设也随之快速发展。由于干输管道具有高能量、高压、易燃易爆、环境复杂等特性, 导致管道在长时间运行中极易发生破裂、泄漏等故障, 容易发生重大安全事故, 对人民生命财产造成极大威胁。为此, 开展石油天然气管道风险分析与突发事件的处理是十分必要的工作。基于此, 论文首先简要阐述石油天然气管道安全管理的必要性, 紧接着探讨石油天然气管道安全风险及保护措施, 以供参考。

## 关键词

石油天然气; 管道风险; 安全保护; 保护措施

## 1 引言

近些年来, 世界各地的管道建设都处在一个高峰时期, 各国都在不断地研发和使用新的材料、技术和设备, 也正是由于这些方面的不断更新, 才让石油天然气管道在设计、施工和运营等方面得到更多的发展空间。特别是以油气为代表的能源资源输送, 更是关系到国民经济发展的命脉, 能够保障中国能源安全。同时, 在输送过程中还存在着许多不确定的安全风险, 采取有效保护措施对保证石油天然气输送具有重要意义。

## 2 石油天然气管道安全管理的必要性

### 2.1 石油天然气的需求量较大

石油是指以碳氢化合物为主要成分的易燃液体物质,

【作者简介】陈瑞雪(1987-), 男, 中国河北邯郸人, 本科, 工程师, 从事管道地质灾害保护研究。

天然气是一种无色无味的可燃气体, 其组成并非单一, 而是由成千上万年来通过复杂的化学反应, 在地壳中经历了长时间、复杂的化学反应, 最终产生的一种可再生能源, 同时也是人类最熟知、使用最广泛的一种自然能源, 由于其具有可燃性, 所以在运输过程中, 容易产生安全风险。而且, 中国的人口基数较大, 日常生活所需的石油量也是非常庞大的, 一般情况下, 不管是汽油还是柴油, 都需要经过一系列的化学处理, 才能变成燃料, 而在人们的日常生活中, 同样存在着大量的副产物, 比如蜡、沥青、润滑油等, 如果继续提炼, 甚至可以做成衣服。而天然气作为家用燃料, 被广泛应用于日常生活中, 和人们的生活密切相关, 到目前为止, 中国还保留着热电厂, 是世界上对油气的需求量最大的国家, 所以在对石油天然气进行运输的过程中, 需要加强安全管理, 为人们的正常生活需求提供保障。

### 2.2 能够实现资源的有效配置

由于中国对油气的巨大需求, 不管是未来的经济发展,

还是人民的日常生活，都不可能摆脱对石油天然气的需求，而且这种依赖还会持续很长一段时间，而中国面临着资源分布不均衡的问题，只能将这些不均衡的资源进行合理配置。同时，在资源分配运输的过程中，需要确保其安全性，加强安全管理，并以“西气东输”的名义，来解决这一问题。从偏远的西部向东部输送油气等原料，目前最有效的方式是管道运输，这也是中国经济发展和人民生活持续快速提高的根本原因，所以在运输过程中，需要加强对管道的安全管理，采取有效保护措施来应对各种安全风险，确保石油天然气的安全运输<sup>[1]</sup>。

### 3 石油天然气管道安全风险

#### 3.1 管道材质差

在油气输送的过程中，管道是最关键也是最基础的一部分，管道的耐久性直接关系到项目的成败，如果管道的材质达不到标准，那么管道的使用寿命就会缩短，而且经不起油气的腐蚀，很快就会达到使用极限。在现阶段社会的发展中，有些建筑企业为了自己的利益，在材料的选择上采用质量较差的钢管，这导致管道的稳定性较差，在经过一段时间之后，就会产生各种各样的问题，导致石油天然气的泄露，这不仅是一种资源的浪费，同时，石油天然气物资运输非常危险，会给公共秩序和人身安全带来一定威胁。

#### 3.2 管道腐蚀问题

现阶段进行石油天然气运输的管道是由钢铁制作的，钢铁虽然结实，但是很容易被腐蚀，有的直接暴露在阳光下，有的埋在地下，有的甚至要穿过河流和湖泊，会长时间浸泡在水里。另外，油气的输送范围很广，要经过很多气候带，经过不同的区域，每一个区域的气候、湿度、土壤酸碱度都不相同，对管道的腐蚀效果也各不相同，不仅风吹日晒会加速锈蚀，而且一些特殊的区域和海洋会在附近生成化学物质，也会加速钢管的腐蚀，所以管道的腐蚀问题非常值得关注。从运输资源的角度来看，由于原油和天然气中含有大量的有机物，再加上输送过程中所承受的巨大压力，一些轻微的腐蚀就会导致管道内的腐蚀扩展，所以腐蚀是造成管道运输安全事故的主要原因。

#### 3.3 管道焊接不良

由于油气需要远距离输送，考虑到成本和便利问题，管道是由无数根管子连接在一起，所以能否保证石油天然气管道的质量，取决于其焊接水平。事实上，大部分的事故都是由焊接造成的，管道的焊接并不是将两根钢管在高温下进行对接，其中还涉及到很多精细的操作技巧，如果出现焊接不良的问题，就有可能造成管道开裂，从而引发安全事故。

#### 3.4 有关人员防护意识薄弱

由于有关人员缺乏对石油天然气管道安全问题的认识，致使输气管道出现一些安全隐患，特别是在操作、维修等方面。而保护意识不高的根本原因在于有关工作的体制不完

善，缺少有效的监管和激励机制，导致有关人员在工作中缺少责任感，经常会发生玩忽职守的情况。比如，对石油天然气管道的检测不够细致，对管道问题没有及时检测和阻止，尽管这种问题并不会对管道的安全稳定性产生较大的影响，但是如果长时间没有被检测出来，就会产生一些安全问题，这就给管道的运营带来很大的风险<sup>[2]</sup>。

## 4 石油天然气管道的保护措施

### 4.1 加强对管道设计的关注

首先，要成立一个健全的管道管理机构，根据企业的实际发展需要，制定一套科学、完备的管道管理计划，并编写相应的程序文档，为今后管道的规划、设计和建设提供可靠的指引。其次，在管道选址时，需要实地勘察，弄清管道的地形、水文等情况，在此基础上，编制管道的布局方案，并对管道的建设方案进行可行性分析。最后，还需要对可能出现的灾难事件的等级等做出判断，制定预防措施，并在工程中计算所需要的壁厚，选择合适的材料。对于管道所处地区抗震设防程度高的地区，一般要求采用低级别管道，并尽可能增加管壁厚度，以有效改善管道的延性。另外，工程师还需要将管道的曲率半径扩大到自身直径的六倍，合理地计算管道所承受的压力，并严格遵守有关规范，才能保证设计的效果。

### 4.2 改善管道材质

对管道的材质进行检测，关系到管道的安全性。在进行管道强度计算时，应综合考虑管道的受力情况，选择合适的强度设计因子，对管道的强度、刚度等参数进行准确的计算，以便选择出符合设计要求的管材及管材的壁厚。在工程实施之前，监理要严格按设计要求对管道材质进行检验，同时要对各类材料的质量进行评定，避免使用质量不合格的材料。此外，测试人员还可根据规范，配合专业的测试设备，逐个检查每一根管道，确保每一根管道都满足使用要求。此外，在设计中，还应考虑到洼地、盐碱地、山地和滨海等特殊的地形条件，采取防腐、固定和防护等加固措施。

### 4.3 加强对石油天然气管道的防腐

#### 4.3.1 阴极保护

阴极保护技术在国内已发展近半个世纪，外防腐钢管在运输和组装过程中，往往会产生涂层损伤，若不及时进行修复，则会导致管道金属的腐蚀。在这种情况下，通过阴极保护，能够对破损部位的金属起到防腐作用。而且，阴极保护对管道周围的金属结构没有任何影响，而且施工简便，安装量少，可以有效地避免杂散电流对油气管道的影响。

#### 4.3.2 涂层防护

在石油、天然气管道的防腐方面，涂层保护已得到了广泛的应用。利用该涂料将钢管与钢管的金属基体隔开，防止其与钢管之间的化学作用，并为其提供必要的绝缘环境。目前，使用最多的是三层聚乙烯及环氧粉末涂料。在这些涂

料中,以三层聚乙烯为复合涂料。所谓复合涂料,就是将具有不同特性的单个涂料通过化学粘合或物理叠加等方法粘合在一起,从而形成了一种综合性能优异的多层复合涂层。三层涂层系统是以聚乙烯为外护层,粘结剂为中间层,环氧粉末为面层,其粘结性好、耐阴极剥离性好、机械性能好、防腐性能好、耐渗透性能好、绝缘性能好,所以能在苛刻的环境下得到广泛的使用。尽管三重涂层有诸多优势,但是三重涂层的施工过程十分烦琐,三重涂层的焊接接头极易出现空鼓等问题。

#### 4.3.3 缓蚀剂防护

缓蚀剂保护就是向钢管内加入微量的化学成分,来抑制或延缓钢管的锈蚀速率。缓蚀阻垢剂是一种投资小、操作简便、施工简便、见效快的防腐方法,是一种很有前途的防腐方法,通过其本身极性官能团对钢管进行吸附,从而实现钢管金属材料的吸附。在此基础上,通过抑制剂在钢管表面的吸附,使其表面结构发生变化,从而提高其活化能,减缓腐蚀速率。同时,利用阻锈剂中的非极性基团,在金属表面生成一种疏水性的保护膜,使其能够有效地抑制与腐蚀有关的物质及电荷的传递,从而达到延缓腐蚀速率、起到保护作用的目的<sup>[3]</sup>。

#### 4.4 改善焊接结构的质量

在进行焊接作业时,各岗位的工作人员要严格遵守规章制度,严格执行各项工作。焊工要严格按照操作规程进行操作,发现有异常或不合格的情况,要立即停机,检查原因后才能进行。焊接检测员应恪守职业道德,严格审核焊接工艺措施,对现场的焊接操作情况进行全面的检查和监控,并且能够顶住外部的诱惑和上级的压力,完成自己的本职工作。同时,负责对焊接工作进行指导,为焊接人员提供必要的技术支援,对焊接工艺中出现的技术难题进行及时的解决,参加焊接质量管理,收集焊接技术数据;焊接热处理工人要严格按照设计要求和施工规范进行焊接的热处理。

#### 4.5 确保管道敷设施工质量

在实际的管道运营过程中,由于管道的平顺性,经常发生管道断裂。如果管道出现裂纹,就要进行相应的分析,比如管道的密度、深度、承载力等,这都是造成管道故障的重要因素。另外,管道也会受气候及其他因素的影响,如冬天低温造成的冻结会造成管道的胀缩等。另外,还要对施工进度进行协调,对相关的标准进行关注,对各个环节所使用的材料进行有效的评估与评估,以确保所需的物资与设备符

合工程的要求。

#### 4.6 做好对管道的维护工作

石油天然气管道在使用期间,由于多种原因,会出现腐蚀、老化等问题。如果不能及时解决这些问题,势必会影响管道的正常稳定运行。因此,企业需要做好天然气管道的运营和维修工作,建立专业的维修队伍,同时还应采用新的探测技术,如红外技术和计算机技术,来监控管道的运行情况,找出存在的故障和缺陷问题,并在此基础上提出相应的对策,确保管道的安全运行。例如,在管道发生腐蚀的时候,维护人员可以利用状态检修的方法,对锈蚀的位置进行全面的检查,然后采取修补和更换的方法,以防止锈蚀进一步恶化,造成穿孔等危险。从而有效地解决管道的安全性问题,达到一体化管理的目的。

#### 4.7 严打违法犯罪行为

要加强石油天然气的安全生产,对非法的犯罪行为进行严厉的打击,同时要定期检查和改进输气管道的管理,在管道上打上安全标志,对偷气盗气等不法行为进行严厉的打击。一旦发现,就要进行严厉的处罚,只有这样,才能促进企业提高安全生产水平,健全管道的安全预警体系,减少燃气事故的发生,把安全风险系数降到最低,加强对管道安全问题的关键管控。另外,要强化有关工作人员的安全风险问题的教育与训练,增强员工的安全风险预防意识与技巧,同时也要将国外先进的天然气安全预警设备与技术引入国内。

### 5 结语

综上所述,石油和天然气是中国最主要的两大能源资源,对生产和生活都有很大的支撑作用。油气管道投资大、建设规模大,对油气输送起着举足轻重的作用,但目前国内油气管道技术还远远落后于国外。若油气管道存在较大的安全隐患,不但影响油气输送的效率,而且还会对周边居民的生命和环境造成危害。因此,为了保证油气管道的安全可靠运行,需要不断完善保护手段,减少其隐患。

#### 参考文献

- [1] 程洁雨.天然气管道安全运行风险因素分析及管理措施[J].石油石化物资采购,2023(20):116-118.
- [2] 冉涛.石油天然气管道安全管理存在问题及对策[J].工程研究与实用,2023(6).
- [3] 侯振海,徐向宇,朱力,等.基于风险的天然气长输管道安全隐患分级及处置系统的研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(14):3.

# Characteristics and Application Strategies of Mechanical Design, Manufacturing and Automation in the Information Age

Pengxiang Zhang

Jiangsu Xinyang New Material Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

## Abstract

The arrival of the information age has promoted the development of automation and intelligent development of mechanical design and manufacturing, reasonable application of information technology to promote the optimization and improvement of mechanical design and manufacturing technology. This paper also focuses on this point, mainly from the information age mechanical design and manufacturing and automation in the application of information technology in mechanical design and manufacturing and automation and the information age mechanical design and manufacturing and automation development trend and other dimensions, hope that through the discussion and analysis of this paper can provide more reference and reference for the relevant units, better play to the technical advantages of information technology, promote the development and improvement of mechanical design and manufacturing, to provide more convenience and help for people's production and life.

## Keywords

information technology; mechanical design and manufacturing; application scheme; characteristic analysis

# 信息时代机械设计制造及自动化的特征及应用策略思考

张鹏翔

江苏新扬新材料股份有限公司, 中国·江苏 扬州 225000

## 摘要

信息时代的到来推动了机械设计制造的自动化发展和智能化发展,合理应用信息技术推进机械设计制造技术的优化和完善是十分必要的。论文主要从信息时代机械设计制造及自动化的特征以及信息技术在机械设计制造及自动化中的应用和信息时代机械设计制造及自动化发展趋势等多个维度展开论述,希望通过探讨和分析可以为相关单位提供更多的参考与借鉴,更好地发挥信息技术的技术优势,推动机械设计制造发展完善,为人们的生产生活提供更多的便捷和帮助。

## 关键词

信息技术; 机械设计制造; 应用方案; 特征分析

## 1 引言

机械设计制造关乎社会生产力,对于促进中国经济发展有着至关重要的影响,而在市场经济迅速发展、社会对于各类生产产品需求量不断上涨的背景下,将信息技术应用于机械设计制造推动机械设计制造的自动化建设、信息化建设、现代化建设是十分必要的,在分析信息时代机械设计制造及自动化的应用之前首先需要了解信息时代机械设计制造及自动化的特征。

## 2 信息时代机械设计制造及自动化的特征

信息时代机械设计制造及自动化的特性是较为鲜明的,具体体现为以下几点,如图1所示。

首先,信息时代下机械的生产效率明显提升,机械设

计制造的主要目的是为了通过机械研究和设计优化来更好地降低在生产活动过程中对于人力的依赖性,而信息技术的融入则可以更好地实现这一目标,进一步提高生产效率。例如仿真技术、数控技术等相应现代化技术的融入可以有效避免传统机械制造过程中因为人为因素导致生产质量受到较大的影响、产生生产误差进而降低生产效率的问题。此外,也可以通过信息技术、编程技术的有效应用在计算机上完成机械设计制造工作,甚至模拟机械在制造以后投入生产时的应用效果,这也可以进一步提高机械设计制造的效率和质量。

其次,在机械设计制造工作落实的过程中存在较多的安全隐患,无法保障设施设备的稳定运转,甚至可能会因为安全事故的出现带来较大的人员伤亡和财产损失,而信息时代的到来以及信息技术的融入则可以较好地保证机械设计制造以及机械投入使用以后的安全性。一方面,可以通过虚拟仿真技术的有效应用及时发现机械设计中存在的欠缺和

【作者简介】张鹏翔(1994-),男,本科,助理工程师,从事机械设计制造及飞机试验设计研究。

不足,从根源上减少安全隐患。另一方面,可以通过自动化系统的应用实现自动诊断,及时发现机械制造以及机械生产中存在的问题,有效降低机械设计制造以及机械的投入使用进行生产活动过程中存在的安全隐患<sup>[1]</sup>。

最后,信息时代下机械设计制造及其自动化的环保性更强,在过去机械设计制造工作在落实的过程中对于人力依赖性相对较强,如果相关人员素养能力不达标或者操作不规范则很容易会带来较大的损失,产生资源浪费,而信息技术的融入则可以这样较好地解决这个问题,更好地践行可持续发展理念,保障机械设计制造的精准性、科学性和规范性,最大化地减少资源浪费问题的出现,在有效降低相关企业生产成本和运营风险的同时更好地践行可持续发展理念,为生态环境保护提供更多助力。

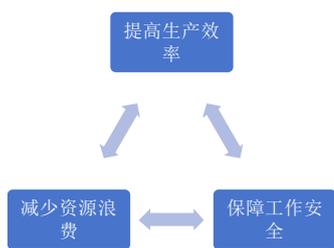


图1 信息时代机械设计制造及自动化的特征

### 3 信息技术在机械设计制造及自动化中的具体应用

#### 3.1 计算机辅助设计软件

事实上,机械设计制造工作在实践落实的过程中其技术要求相对比较高的,且工作难度和工作量也是相对较高的,在过去机械设计生产制造的过程中往往需要通过人工计算、绘制草图等多个步骤来保障机械设计制造的科学性、有效性,进而更好地减少资源浪费甚至规避安全事故的出现,而信息时代的到来则可以为机械设计制造的优化和调整提供更多的助力,工作人员可以通过计算机辅助设计软件快速完成资料收集、整合、分析工作,相较于传统的人工处理,在计算机辅助设计软件支持下工作人员可以通过软件系统自动化处理数据信息,完成信息收集和整合,有效减少在基础工作落实过程中所需要消耗的时间和成本。

此外也可以利用大数据技术、专家系统等相应现代化技术保障数据收集的完整性与全面性,为机械设计制造提供充足的数据支持,有效避免因数据严重不足而出现的失误和问题。此外也可以通过计算机辅助设计软件,为机械规划测试和质量控制提供更多的助力,提高生产效率和产品质量<sup>[2]</sup>。

这近几年来信息技术的不断发展以及机械制造需求的不断转变,计算机辅助设计软件也在不断的优化和调整,形成了较为完善的计算机集成系统,更好地发挥了计算机的辅助功能的优势,在机械设计制造的过程中工作人员可以通过

计算机集成系统建立数字模型,更加直观地了解计算机设计中存在的欠缺和不足以及在机械运行过程中可能出现的问题,进一步提高设计效率和设计的精准性,在此基础上配合算法调整以及人工智能技术实现机械设计制造的自动化、智能化建设。

#### 3.2 计算机虚拟技术的应用

计算机虚拟技术是备受关注和热议的一项技术,但是该项技术在应用的过程中其限制性因素是相对较多的,例如需要多台服务器共同运行、场景要求和存储要求相对较高等等,而在多台服务器共同运行下,计算机虚拟技术在应用的过程中也衍生了很多新的问题,如多台服务器共同运行则意味着服务器的运营成本相对较高,且单台服务器的运行效率相对较低。但是随着时间的推移计算机虚拟技术也得到了前所未有的发展,这时计算机虚拟技术的技术优势则充分体现了出来,将其有效应用于机械设计制造及自动化当中则可以通过虚拟计算机技术自动整合系统平台中的数据信息并打造数字模型,这样工作人员则可以在制造之前了解产品的性能和特点,及时发现设计中存在的欠缺和不足,通过参数调整来对产品设计做出有效优化和完善,更好地降低试错成本。同时在机械制造的过程中也可以通过虚拟计算机技术的应用来模拟生产流程和生产系统,分析在生产过程中可能存在的问题并找到相应的解决对策和处理方案,以此为中心大大降低了机械设计制造的难度和出错率。

此外,众所周知,机械在投入使用以后其运行稳定性和运行效率往往会受到运行环境的影响,而虚拟计算机技术不仅可以为机械本身的问题分析和解决提供更多的助力,更可以模拟实际应用场景,在具体场景下对模型进行操作,分析在机械运转过程中可能遇到的问题以及哪些环境因素会影响机械运转的稳定性和可靠性,以此为中心进一步提高机械设计制造质量和水平<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 仿真技术

从本质上讲仿真技术与虚拟技术有着较高的共通性,仿真技术更像是虚拟技术的发展和完善产物,现阶段仿真技术已经应用于航空、航天和汽车、船舶制造领域,达到了较好的应用效果,仿真技术应用于机械设计制造当中也是十分必要的,相关工作人员在机械设计制造工作落实的过程中可以通过仿真技术的应用,对产品数据轮廓进行分析调整,借助计算机扫描技术和虚拟技术结合仿真软件模拟设计的机械设备,并对机械设备进行调试和修改,配合电子集成控制技术对机械设计做出有效优化和调整,更好地满足人们的需求。

仿真技术属于一项综合性相对较强的技术,涉及到了理论力学、线性代数、物理实验、概率论与数理统计、机械设计、电子技术、计算机辅助设计、机械原理、材料加工等相关学科的学科知识,对于推动我国工业生产转型发展,实现自动化、智能化生产有着至关重要的影响,尤其是现阶段

段在经济社会迅速发展,人们物质生活条件不断优化的背景下,在机械设计制造的过程中所设计的产品精密度相对较高,这时则可以通过仿真技术完成研发与设计提高研发与设计质量。此外,在市场经济影响下,想要进一步提高生产效率就需要在机械设计制造的过程中综合多方因素形成完善的系统,达到 $1+1 > 2$ 的配合效果,而仿真技术则可以为工业生产集成系统、数控加工系统等相应生产系统的优化和调整提供更多的助力<sup>[4]</sup>。

### 3.4 自动化检测

时代是在不断发展的,想要更好地满足时代发展需求,生产出更多高精尖机械,保障机械设计制造的科学与有效性,就需要不断做出创新和优化,而自动化检测在机械设计制造中应用则可以较好地实现这一目标。在上文中也有所提及,机械设计制造的精密度相对较高,技术性相对较强,在实践工作落实的过程中很有可能会出现各种各样的问题,带来较大的资源损失甚至面临较大的安全隐患,而自动化检测则可以通过信息技术等相应现代化技术对机械设计、制造工艺流程进行检验,通过全过程跟踪监控的方式来更好地保障机械设计制造质量。例如在机械设计制造的过程中材料质量、性能将会直接影响机械设计制造的质量和成效,而自动化检测技术则可以根据机械生产需求调节算法,自动完成材料检测工作,确保材料质量性能符合机械制造需求。此外也可以通过自动化检测技术就生产流程以及生产成品进行检测,及时发现存在的质量缺陷和技术问题,对接专家系统和数据库识别问题构成原因,找到相应的解决方法。此外也可以通过模糊理论的应用,为精准定位问题、发现问题提供更多的助力和保障<sup>[5]</sup>。

## 4 机械设计制造及自动化的未来发展趋势

机械代替人工降低生产活动对于人力的依赖性俨然已经成为了社会发展的必然趋势,因此机械设计制造即便已经得到了前所未有的发展,但其仍旧有较高的完善空间,而在信息技术的支持下机械设计制造及自动化的未来发展趋势也是较为鲜明的,具体体现为以下几个方面:

首先,机械设计制造会逐渐朝着生态化发展,尤其是中国近几年来越来越强调生态环境保护的重要性,主张经济发展与环境保护携手并进,这就意味着环境保护问题必须渗透于人们生产生活的方方面面,在机械设计制造工作落实

的过程中也同样需要关注环境保护问题,因此在信息技术支持下未来机械设计制造及其自动化建设过程中除了需要充分考量机械的性能、质量以及运转稳定性以外,还需要充分分析在机械设计制造过程中所需要消耗的成本和资源,甚至于需要充分考量在机械设备投入使用以后其运行成本和运行能耗,以此为中心才可以更好地缓解经济发展与生态环境保护之间的矛盾。

其次,机械设计制造会逐渐朝着智能化发展,即随着信息技术、大数据技术、人工智能技术等相应现代化技术的融入,机械设计制造对于人力的依赖性会越来越低,而对于产品仪器的把控却越来越严格,这可以在改善生产效率解放人们工作压力的同时提高生产质量和生产水平。

最后,机械设计制造会逐渐朝着虚拟化建设,仿真技术、虚拟计算机技术会更多地应用于机械设计制造当中,最大化地降低机械设计制造所需要消耗的成本和资源,为不断试错奠定良好的基础和保障<sup>[6]</sup>。

## 5 结语

信息技术的融入让机械设计制造及其自动化建设有了技术支持,将计算机辅助软件、虚拟技术、仿真技术等相应现代化技术融入机械设计制造当中可以进一步提高机械设计制造的效率和质量,降低生产制造成本,甚至保障生产制造安全,需要引起关注和重视,相信在未来一段时间内信息技术的不断发展也会为机械设计制造及其自动化建设提供更多的助力。

### 参考文献

- [1] 李明民.机械设计制造及自动化应用程序的多元化分析[J].家庭生活指南,2019(7):156.
- [2] 郭子路.信息时代下我国机械设计制造及自动化分析[J].现代制造技术与装备,2019(3):200+204.
- [3] 周和平.信息时代机械设计制造及自动化分析[J].现代制造技术与装备,2019(2):51-52.
- [4] 周松艳.信息时代机械设计制造及自动化探析[J].数字技术与应用,2018,36(10):197-198.
- [5] 陈永生.信息时代下机械设计制造及其自动化[J].设备管理与维修,2018(14):154-156.
- [6] 陈聪.信息时代机械设计制造及自动化分析[J].设备管理与维修,2018(6):48-49.

# Research on the Performance Optimization and Application of Textile Waterproof Additives

Hongkun Shi<sup>1</sup> Chenghai Fang<sup>1</sup> Zhenze Xiong<sup>2\*</sup>

1. Zhejiang Hualin Biotechnology Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324300, China

2. Hangzhou Very Weak Magnetic Field National Institute of Major Science and Technology Infrastructure, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

## Abstract

The performance of textile waterproofing additives was optimized, and their practical application effects were explored. Through experimental design and data analysis, the conclusion of optimizing the additive formula using orthogonal experimental method was drawn. The waterproof performance was systematically evaluated through various methods such as hydrostatic pressure test, spray test, contact angle test, etc., which verified the superiority of the optimized formula and provided theoretical support and technical guidance for development and application. It has important practical significance and application value. The development and application of textile waterproofing additives are of great significance. This provides useful references and reflections on current research in the field of waterproofing.

## Keywords

textile waterproof aid; performance optimization; orthogonal test

## 纺织防水助剂的性能优化与应用研究

施洪坤<sup>1</sup> 方成海<sup>1</sup> 熊振泽<sup>2\*</sup>

1. 浙江华林生物科技有限公司, 中国·浙江 衢州 324300

2. 杭州极弱磁场国家重大科技基础设施研究院, 中国·浙江 杭州 310000

## 摘要

对纺织防水助剂的性能进行优化, 并对其实际应用效果进行了探讨, 通过试验设计与资料分析得出了以正交试验法对助剂配方进行优化的结论。以静水压试验喷淋试验接触角测试等不同方式对其防水性能进行系统评价, 验证了优化配方的优越性, 对开发和应用起到了理论支撑和技术指导的作用, 具有重要的实际意义和运用价值。对纺织防水助剂的开发和应用具有重要意义。对当前防水领域的研究提出了有益的借鉴与思考。

## 关键词

纺织防水助剂; 性能优化; 正交试验

## 1 引言

纺织防水助剂在现代纺织工业中具有重要的应用价值, 能够提高织物的防水性能, 延长使用寿命, 增强实用性。目前市场上的防水助剂存在性能不稳定、环保性差等问题, 亟需通过技术手段进行优化。本研究旨在通过试验设计和数据分析, 优化纺织防水助剂的配方, 提高其防水性能, 并验证其在实际应用中的效果。通过系统的试验研究和性能测试, 本研究为纺织防水助剂的开发和应用提供了理论支持和技

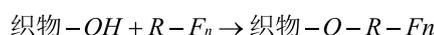
术指导, 具有重要的实际意义。

## 2 纺织防水助剂的基本原理与分类

### 2.1 防水助剂的基本原理

主要通过改变织物表面的化学性质和物理结构, 使之具有疏水性, 从而起到防止水分渗透的作用, 是纺织防水性助剂的基本原理。以下是几种常见的防水助剂的具体原理及其相关公式, 说明不同类型的防水助剂在实现防水效果的机理上是不同的<sup>[1]</sup>。

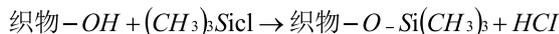
①氟化物防水剂: 氟化物防水剂使织物表面的能量减少, 从而达到防水的效果, 通过在织物表面形成一层含氟的疏水膜来达到防水性。其防水性能的关键是氟化物分子极低的表面能量和高度的疏水性, 分子式为:



【作者简介】施洪坤(1990-), 男, 中国浙江建德人, 本科, 工程师, 从事纺织化工研究。

【通讯作者】熊振泽(1997-), 男, 中国辽宁锦州人, 硕士, 工程师, 从事生物学研究。

②有机硅防水剂通过在织物表面形成一层有机硅膜,利用有机硅的低表面能和疏水特性,使水滴在织物表面形成较大的接触角,从而防止水分渗透。化学反应式:



③蜡基防水剂。蜡基防水剂主要通过物理方法在织物表面形成一层致密的蜡层,使水分无法渗透。蜡分子通过熔融或乳化后涂覆在织物表面,冷却后形成固态的防水屏障。物理原理表示式:



这种防水层依靠蜡的疏水性和致密性阻挡水分渗透。

防水性评估公式:防水性通常通过接触角 $\theta$ 来评估,接触角越大,疏水性越强。接触角由杨氏方程表示:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}}$$

其中, $\gamma_{SV}$ 为固体-气体界面张力; $\gamma_{SL}$ 为固体-液体界面张力; $\gamma_{LV}$ 为液体-气体界面张力。

防水性能评价的一个常见指标是静水压测试值( $P$ ),其单位为 $\text{mmH}_2\text{O}$ 。该指标越高,织物的防水性能越好。这些防水剂通过不同的化学或物理方法在织物表面形成疏水层,从而显著提高织物的防水性能。

## 2.2 常见纺织防水助剂分类

纺织防水助剂主要分为氟系、硅系和蜡系三大类,如图1所示。



图1 三大类纺织防水助剂

具有卓越的防水和防油性能,氟化物防水助剂的应用十分广泛。其分子结构中含有大量表面能量极低的氟原子,能使纺织纤维的表面张力明显降低,使纤维表面水珠难以扩散。但氟化物防水助剂生产成本较高,部分氟化物对环境危害隐患较大。硅系防水助剂以其优异的环保性能和柔软性而闻名,其分子结构中含有大量可与纺织纤维发生化学反应并形成稳定疏水层的硅氧键。硅系防水助剂对高温环境下的防水处理也有卓越的耐高温性能。而蜡系防水助剂由于其制备工艺成本低,制备工艺简单,应用范围较广。通常采用熔融涂覆或浸渍的方法,使纺织纤维表面形成一层阻止水分渗透的疏水性蜡膜,这就是蜡系防水助剂的作用。蜡质防水助剂防水性能比较差,持久性不是很好<sup>[2]</sup>。

## 2.3 纺织防水助剂的应用现状

户外运动服装、雨具、帐篷、汽车座椅以及防水装饰材料等多个领域,纺织防水助剂在各类纺织品中得到了广泛的应用。在户外运动服装中,防水助剂在提高服装防水性能的同时,还增强了其透气性和舒适性,使穿着者在各种恶劣气候条件下依然保持干爽、舒适的工作状态,防水性助剂在户外运动服装中的作用十分明显。在雨具和帐篷中,防水助剂的应用使这些产品的防水性能和使用寿命明显提高,减少了水分对材料的侵蚀,延长了使用寿命……防水助剂在汽车座椅和防水装饰材料中,不仅使这些材料的防水性能得到了提高,其耐污性和清洁性也得到了加强,便于日常的保养和维护。虽然实际应用中纺织防水助剂成效显著,但仍有一些问题需要解决。有的防水助剂环保性能差,潜在危害环境,危害人体健康;防水性能和部分防水助剂的耐久性还有待于进一步完善;随着环保法规的日益严格,开发新型防水助剂,使其具有更好的环保性和更好的防水性能,成为行业研究的热点。

## 3 纺织防水助剂的性能优化

### 3.1 影响防水性能的因素

影响纺织防水助剂防水性能的因素主要包括助剂的分子结构、助剂的浓度、纤维的表面处理方式以及应用环境等。助剂的分子结构是影响防水性能的关键因素。含氟助剂由于其分子中的氟原子具有极低的表面能,能够显著降低纤维表面的表面张力,表现出优异的防水性能。硅系助剂由于其分子中的硅氧键能够与纤维发生化学反应,形成稳定的疏水层,也具有较好的防水效果。助剂的浓度对防水性能也有重要影响。适当的助剂浓度能够在纤维表面形成均匀的疏水层,从而提高防水性能。过高的助剂浓度可能导致助剂在纤维表面聚集,形成不均匀的疏水层,反而降低防水效果<sup>[3]</sup>。纤维的表面处理方式也会影响防水性能。高温环境下,助剂分子运动加剧,更易于纤维表面形成均匀的疏水层,从而提高防水性能。

### 3.2 防水助剂的配方优化

提高其防水性能的关键步骤是防水性助剂的配方优化。其防水效果可通过对助剂成分和配比的合理调整而得到显著增强。正交试验法常用于配方优化过程中对最佳配方进行筛选。正交试验法是通过选择若干影响因素,以及它们的不同层次,设计出最少的试验次数,从而筛选出最佳的配方,是一种高效的试验设计方法。本研究选用氟系助剂、硅系助剂、蜡系助剂等几种常用防水助剂,采用正交试验法测定其最佳配比。试验结果表明,氟化助剂与硅化助剂相结合,在环保性能和耐久性俱佳的情况下,能显著提高防水性能。另外我们优化了使用助剂的方式。防水效果可以通过改变助剂的涂覆方式以及干燥状况而得到进一步的改善。在涂覆方法上,我们采用浸渍法和喷涂法两种方法,通过比较试验,确

定出最好的一种涂覆方法,这两种方法在涂覆上在烘干条件下,通过调节烘干温度和时间,确保助剂均匀分布于纤维表面,使防水性能最大化,从而确定了最佳的烘干条件。纺织防水助剂的防水性能通过优化助剂配方和使用方法,得到了明显的改善,达到了预期的调研目的。

### 3.3 防水性能的检测与评价

防水助剂研究的重要环节是对防水性能的检测和评价。防水助剂的防水性能可以通过科学的检测方法和系统的评价标准得到客观、准确的体现。防水性能常用的检测方法主要有静水压、喷淋和接触角三种情况的检测。静水压力测试是通过在织物表面施加一定的水压,测量水通过织物的压力值,对其防水性能进行评价的一种经典防水性能测试方法。喷淋试验通过对织物进行喷淋处理,并观察织物表面滴水滚动情况,模拟实际使用环境中的降雨情况,对其防水效果进行评价。接触角测试是通过测量水滴对织物表面的接触角度,反映织物表面的疏水性的一种测试方式。为了确保试验结果的准确性和可靠性,本次研究对防水助剂的性能进行系统评价,并针对不同的测试方式对防水助剂的性能进行了优化。试验结果表明,经过优化的防水助剂在静水压试验中的耐水压值有明显提高,同时也有一个很好的防水作用;在喷淋试验中,水滴在织物表面形成了滚动状态,没有渗透现象发生,对防水性能有很好的验证作用;在接触角测试中,水滴在织物表面形成的接触角较大,从而反映出防水助剂具有非常优异的疏水性。本次研究对防水助剂进行了系统评价,并通过试验结果的验证,得出了优化后的防水助剂具有更好的防水性能的结论。通过这些检测与评价手段,对防水助剂的性能进行了全面系统的评价,从而为其在实际应用中的推广提供了有利的科学根据。

## 4 纺织防水助剂的应用研究

### 4.1 试验材料与方法

本试验中,我们选用了三种不同配方的纺织防水助剂,分别标记为配方A、配方B和优化后的配方C。试验用织物为100%纯棉布,经过预处理后用于后续试验。试验步骤包括:①配制防水助剂溶液,将织物浸泡在溶液中;②通过轧液机将织物上的多余溶液去除;③最后在恒温烘箱中干燥处理。

每种配方的助剂溶液浓度、浸泡时间和烘干温度均保持一致,以确保试验结果的可比性。在试验过程中,我们严格控制每个环节的操作参数,并记录各项试验数据,以便进行后续分析和比较。

### 4.2 防水性能测试

防水性能的检测与评价是防水助剂研究中的关键环节。

本研究采用静水压测试、喷淋测试和接触角测试三种方法,对不同配方的纺织防水助剂的防水性能进行了全面评价。

静水压测试结果显示,配方A的耐水压值为1800 mmH<sub>2</sub>O,配方B为2500 mmH<sub>2</sub>O,优化后的配方C达到了3200 mmH<sub>2</sub>O,表明其防水效果显著提高。

喷淋测试中,配方A的水滴部分渗透,配方B基本未渗透,优化后的配方C无渗透现象,验证了其优异的防水性能。

接触角测试显示,配方A的接触角为120°,配方B为135°,优化后的配方C为150°,表明其表面疏水性最强。测试结果如表1所示。

表1 不同配方纺织防水助剂的防水性能测试结果

配方	静水压值 (mmH <sub>2</sub> O)	喷淋测试结果	接触角(°)
配方A	1800	部分渗透	120
配方B	2500	基本未渗透	135
配方C	3200	无渗透现象	150

通过表1三种测试方法的结果,可以看出优化后的配方C在各项性能指标上均优于配方A和配方B,展示了其在纺织防水助剂领域的潜在应用价值。这一研究成果为未来防水助剂的开发和优化提供了重要的试验数据和理论依据,同时也为纺织品的防水处理提供了新的解决方案。

## 5 结语

通过试验设计及资料分析与总结,对纺织防水助剂的性能进行了系统的探讨,主要结论为:以优化后的防水助剂为基础,它的防水性能及稳定性均得到了明显的提高,应用前景十分看好;通过静水压试验喷淋试验及接触角试验等多种方法对其有效配方进行了验证;今后的研究方向为使防水助剂在环保性能及耐久性上得到进一步提升以应对日益严格的环保法规及市场需求;该研究为纺织防水助剂的研究与开发提供了理论依据和试验基础,对促进纺织防水助剂领域的技术进步有重要意义。因此,对于纺织防水助剂的进一步研究和应用,以及其相关技术的改进与开发具有十分积极的意义,本研究成果的推广应用。

### 参考文献

- [1] 梅敏,钱建华,周榆凯,等.纳米SiO<sub>2</sub>/含氟硅防水透湿整理剂的制备及其应用[J].纺织学报,2022,43(12):118-124+130.
- [2] 吴世清.2020年1月1日以来实施的含氟标准[J].化工生产与技术,2021,27(2):48.
- [3] 蒋明星.自粘聚合物改性沥青防水卷材的开发与应用[P].四川省,四川天恒防水材料有限公司,2021-03-29.

# Fuzzy PID Temperature Control System Based on a Genetic Algorithm

Hao Xuan<sup>1</sup> Chengze Li<sup>1</sup> Peiyuan Yang<sup>2</sup>

1. Tianjin Intelligent Manufacturing Branch of Offshore Petroleum Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300450, China  
2. China Eastern Aviation Technology Co., Ltd. Sichuan Branch, Chengdu, Sichuan, 641400, China

## Abstract

In recent years, in the field of industrial control in China, the application of PID control has accounted for more than 90%, especially in the field of temperature control. This paper expounds a fuzzy PID temperature control method based on genetic algorithm, by studying the control theory and method of fuzzy control, finding the most appropriate control factor according to its reasoning rules, and then conducting fuzzy PID control. This by MATLAB to the traditional PID control and PID control based on genetic algorithm and the results of the fuzzy PID control based on genetic algorithm comparison and simulation, can draw the following conclusion: fuzzy PID temperature control system based on genetic algorithm robustness is good, improve response speed, overshoot reduction, the system parameters meet the set requirements, the system is feasible.

## Keywords

fuzzy PID control; genetic algorithm; temperature control; Matlab simulation

## 基于遗传算法的模糊 PID 温度控制系统

轩浩<sup>1</sup> 李成泽<sup>1</sup> 杨培园<sup>2</sup>

1. 海洋石油工程股份有限公司天津智能制造分公司, 中国·天津 300450  
2. 东方航空技术有限公司四川分公司, 中国·四川成都 641400

## 摘要

近年来, 在中国工业控制领域, PID控制的应用已占到90%以上, 尤其是在温度控制方面。论文阐述了一种基于遗传算法的模糊PID温度控制方法, 通过研究遗传算法和模糊控制的控制理论和方法, 根据其推理规则找到最合适的控制因子, 然后进行模糊PID控制。本次通过MATLAB对传统PID控制和基于遗传算法的PID控制以及基于遗传算法的模糊PID控制的结果进行比较和仿真, 可以得出以下结论: 基于遗传算法的模糊PID温度控制系统鲁棒性较好, 响应速度提高, 超调减小, 各系统参数均满足设定要求, 系统可行。

## 关键词

模糊PID控制; 遗传算法; 温度控制; Matlab仿真

## 1 引言

温度控制系统在工业过程控制、家用电器和环境监测等领域中扮演着至关重要的角色。传统的PID控制器由于其简单的结构和良好的鲁棒性, 被广泛应用于各类温度控制系统如锅炉水温控制、飞机空速管恒温控制等。然而, 随着控制对象的复杂性增加, 传统PID控制器在处理大滞后、大惯性和非线性系统时, 其性能往往难以满足高精度控制的要求。为了弥补传统PID控制器的不足, 模糊控制技术应运而生。模糊控制不依赖精确的数学模型, 能够处理系统的不确定性和非线性特性, 但其控制规则的设计和参数调整依赖经验, 难以实现最优控制。为此, 本研究提出了一种基

于遗传算法的模糊PID温度控制系统。遗传算法作为一种全局优化算法, 通过模拟自然进化过程, 能够有效优化模糊PID控制器的参数设置。论文首先介绍遗传算法和模糊PID控制的基本原理, 然后设计了基于遗传算法的模糊PID控制系统, 并通过MATLAB进行仿真验证, 最后分析了仿真结果, 展示了该系统在温度控制中的优越性能。研究表明, 基于遗传算法的模糊PID控制系统在提高控制精度、响应速度和系统稳定性方面具有显著优势, 为复杂工业温度控制提供了一种有效的解决方案。

## 2 基于遗传算法的模糊PID控制系统概述

### 2.1 遗传算法基本理论

遗传算法是基于生物界遗传机制和生物进化理论的一种自适应概率全局优化随机搜索算法。遗传算法是将问题视为种群中的个体或染色体并对其进行编码, 模拟达尔文在自

【作者简介】轩浩(1997-), 男, 中国天津人, 硕士, 助理工程师, 从事自动化研究。

自然界繁殖中的遗传和淘汰机制、生物进化中的交叉和遗传变异现象,根据目标适合度函数对后代进行评价,不断获得更好的种群,重复该过程直到满足设定的收敛性指标。

## 2.2 遗传算法基本操作步骤

①编码:将问题的解表示为染色体(Chromosome),可以使用二进制编码、实数编码等方式。例如,二进制编码可以表示为:  $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ , 其中  $c_i \in \{0,1\}$  表示第  $i$  个基因。

②初始化种群:随机生成初始种群  $P$ , 种群大小为  $N$ ,  $P = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 。

③适应度评估:根据目标函数  $f(C)$  计算每个染色体的适应度值:  $F_i = f(C_i)$ , 其中,  $F_i$  表示第  $i$  个染色体的适应度值。

④选择:根据适应度值选择染色体进行繁殖。常见的方法是轮盘赌选择,选择概率  $p_i$  为:  $p_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^N F_j}$ 。

⑤交叉:选择的染色体配对进行交叉操作。

⑥变异:对新生成的染色体进行变异操作,例如,二进制编码中,基因变异概率为  $p_m$ , 基因  $c_{ij}$  变异为:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 - c_{ij} & \text{如果 } \text{rand}(0,1) < p_m \\ c_{ij} & \text{其他情况} \end{cases}$$

⑦生成新种群:将新生成的染色体组成新一代种群  $P' = \{C_1', C_2', \dots, C_n'\}$ 。

⑧迭代:重复适应度评估、选择、交叉和变异步骤,直到满足终止条件。终止条件可以是达到最大迭代次数  $T_{\max}$  或适应度值不再显著提升。

⑨输出结果:最终输出适应度最高的染色体  $C^*$  作为问题的近似最优解,  $C^* = \text{argmax} F_i$ , 其中  $C_i \in P$ 。

## 2.3 模糊PID控制基本理论

### 2.3.1 PID控制基本理论

PID控制器是一种经典的反馈控制器,通过比例(P)、积分(I)和微分(D)三个参数来调整控制系统的输出。其控制规律可以表示为:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt}$$

其中,  $u(t)$  为控制量;  $e(t)$  为误差,即设定值与实际值之差;  $k_p$  为比例系数;  $k_i$  为积分系数;  $k_d$  为微分系数。

PID控制器通过调整这三个参数来达到控制目标,但在处理复杂系统时,参数的整定较为困难。

### 2.3.2 模糊控制基本理论

模糊控制是一种基于模糊逻辑的控制方法,通过模拟人类专家的控制策略来实现系统控制。其基本结构包括以下几个部分:

模糊化(Fuzzification):将输入的精确定量(误差和误差变化率)转换为模糊量。

模糊推理(Fuzzy Inference):根据模糊规则库进行推

理,得到模糊控制量。

解模糊化(Defuzzification):将模糊控制量转换为精确量,输出给控制系统。

### 2.3.3 模糊PID控制器设计

模糊PID控制器通过引入模糊逻辑来调整PID控制器的参数,实现对复杂系统的有效控制。其设计过程如下:

①确定输入输出变量。通常选择误差  $e(t)$  和误差变化率  $\Delta e(t)$  作为输入变量,输出变量为控制量  $u(t)$ 。

②定义模糊集合。将输入输出变量模糊化,定义模糊集合(如负大(NB)、负中(NM)、负小(NS)、零(ZO)、正小(PS)、正中(PM)、正大(PB))和隶属函数<sup>[1]</sup>。

③构建模糊规则库。根据经验和专家知识,构建模糊控制规则库。例如:

如果  $e(t)$  是正大(PB)且  $\Delta e(t)$  是正大(PB), 则  $u(t)$  是负大(NB)。

如果  $e(t)$  是零(ZO)且  $\Delta e(t)$  是零(ZO), 则  $u(t)$  是零(ZO)。

④模糊推理。采用模糊推理方法(如Mamdani推理法),根据模糊规则库进行推理,得到模糊控制量。

⑤解模糊化。将模糊推理得到的模糊控制量通过解模糊化方法(如重心法)转换为精确控制量,输出给控制系统。

### 2.3.4 模糊PID控制算法

模糊PID控制器通过实时调整PID参数,实现对系统的精确控制。其控制算法如下:

$$\begin{aligned} k_p(t) &= k_{p0} + \Delta k_p \\ k_i(t) &= k_{i0} + \Delta k_i \\ k_d(t) &= k_{d0} + \Delta k_d \end{aligned}$$

其中,  $k_{p0}$ ,  $k_{i0}$ ,  $k_{d0}$  为初始PID参数;  $\Delta k_p$ ,  $\Delta k_i$ ,  $\Delta k_d$  为模糊控制器输出的调节量。

## 3 基于遗传算法的温度控制系统模糊PID控制仿真

### 3.1 基于遗传算法的PID控制

#### 3.1.1 基于遗传算法的PID参数优化

基于遗传算法的参数优化研究的具体方法如下:

①编码。遗传算法主要有实数编码和二进制编码两种编码方式。二进制编码能很好地展现基因的优良特性,但当系统变量连续时,二进制编码往往需要较长的编码长度才能保证其编码精度,而且不稳定,需要反复编码。实数编码可以缩短编码时间,克服二进制编码中的“汉明悬崖”缺陷。

②适应度函数。控制参数优化和遗传算法的关键在于拟合函数,因此它的设计对算法的优劣有着最直接的影响。一般从超调量、调节时间和最大动态偏差等特性指标来衡量最佳调节参数,这些指标可以从某些方面反映出控制器参数的优化调节效果。误差积分性能指标反映了系统调节动态过程的整体效果,通常采用下式作为优化目标函数。

$$J = \int_0^{\infty} (w_1|e(t)| + w_2u^2(t))dt + w_3 \cdot t_u$$

其中,  $w_1, w_2, w_3$  为权重;  $e(t)$  为系统偏差;  $u(t)$  为控制器输出;  $t_u$  为系统上升时间。

在优化控制器参数时, 系统的动态响应可能会出现超调。为了防止超调, 需要通过添加惩罚函数对上式进行改进, 即如果系统的动态特性出现超调, 则以超调量作为最优指标, 改进后的公式如下式所示。

当  $e_y(t) < 0$  时:

$$J = \int_0^{\infty} (w_1|e(t)| + w_2u^2(t) + w_4|e(t)|)dt + w_3 \cdot t_u$$

其中,  $w_4$  为加权值,  $w_4 > w_1$ ,  $e_y(t) = y(t) - y(t-1)$ ,  $y(t)$  为被控对象的输出。取  $w_1=0.999, w_2=0.001, w_3=2, w_4=100$ , 当使用遗传算法求适度函数的最大值时, 可使用优化目标函数求最小值, 然后根据下式将优化目标函数转换为适度函数<sup>[2]</sup>。

$$F = \frac{1}{J}$$

③交叉和变异算法。交叉算子的概率取  $P_c=0.9$ , 变异算子的概率取  $P_m=0.033$ , 交叉算子的概率取变异算子的概率<sup>[3]</sup>, 根据上述要求设计遗传算法各算子的概率, 然后控制

器参数进行优化调整。

其他参数:

种群中的个体数量, 取  $M=30$ 。

遗传算子的进化代数, 取  $G=200$  代。

KP 在  $[0, 20]$  范围内, KI, KD 在  $[0, 1]$  范围内。

### 3.1.2 遗传算法的 PID 仿真

假设受控对象是一个二阶系统, 其传递函数为  $G(s) = \frac{20}{s^2+5s}$ 。在 MATLAB 中进行仿真。得出的结果如图 1、图 2 所示。

结果显示,  $KP=2.596, KI=0.037, KD=0.041$ , 可见遗传算法对二阶被控对象已经有了较好的 PID 控制效果, 但由于遗传算法搜索过程的随机性, 可能会产生不同的 KP、KI、KD, 使得 PID 控制效果较弱。因此, 接下来将引入模糊 PID 控制来减少误差。

### 3.2 模糊 PID 控制仿真

在 MATLAB 中创建 FIS 编辑器, 添加输入和输出变量, 分别命名为 e、ec、kp、ki、kd, 设置隶属函数(本次仿真使用三角形隶属函数)、各变量范围、模糊规则。

模糊控制器参数设置见图 3。

通过模糊控制器输出, 得到模糊 PID 各参数为  $e=0.05, ec=1.5, kp=0.229, ki=0.0231, kd=0.229$ 。

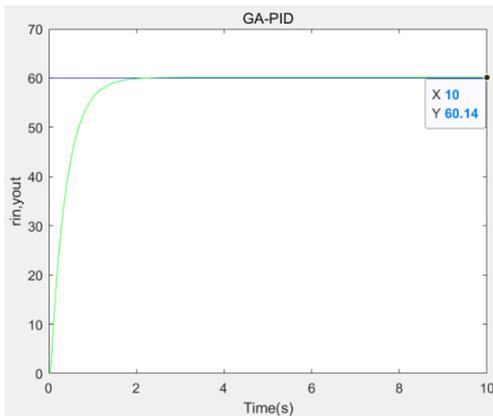


图 1 遗传 PID 系统的功能图像

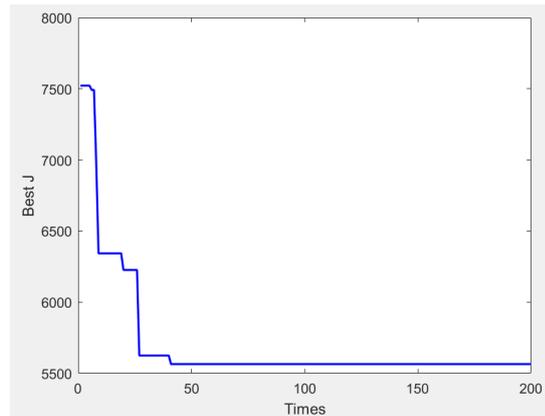


图 2 遗传 PID 系统的 BestJ 图像

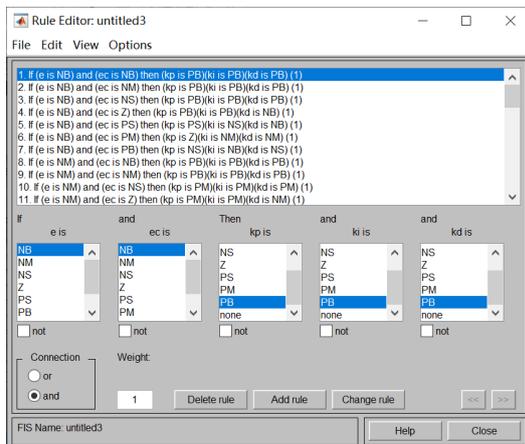
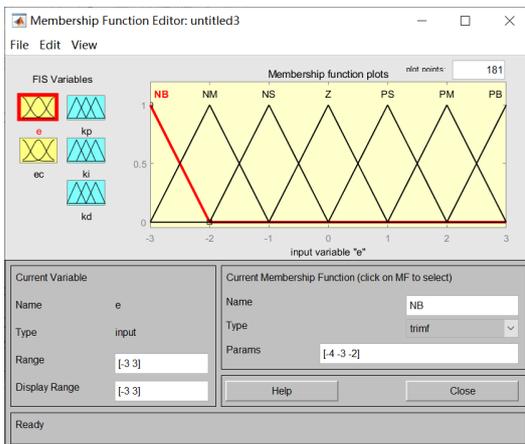


图 3 模糊控制器参数设置

### 3.3 遗传算法的模糊 PID 控制仿真

模拟示例对象为  $G(s) = \frac{20}{s^2 + 5s}$

模糊 PID 控制中的 KP、KI 和 KD 的初始值由遗传算法计算得出。

Simulink 仿真图形见图 4。

Simulink 仿真中的 PID 控制参数为：KP=6、KI=3、KD=2。

Simulink 仿真中的遗传 PID 控制参数为：KP=2.596、KI=0.037、KD=0.041。

运行仿真结果，如图 5 所示。

通过使用 simulink 中的线性分析工具，我们可以得出结论：

在 PID 控制中，超调为 9.82%，稳定时间为 6.09s。

在遗传 PID 控制中，超调为 1.25%，稳定时间为 8.65s。

在遗传 - 模糊 PID 控制中，没有超调，稳定时间为 4.04s。

从图中可以看出，遗传 PID 和遗传 - 模糊 PID 的步长曲线明显优于传统 PID。传统 PID 步长曲线的超调大，振荡明显，进入稳态的时间长。遗传 PID 降低了超调，但进入稳态的时间较长。遗传 - 模糊 PID 消除了超调，进入稳定状态的时间较短。从结果来看，遗传 - 模糊 PID 的性能最佳。

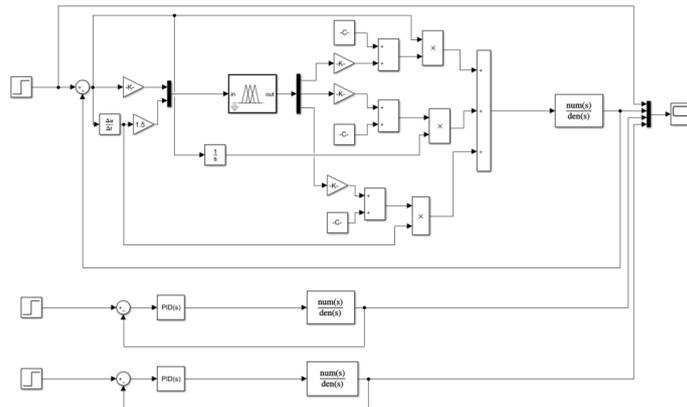


图 4 Simulink 仿真图形

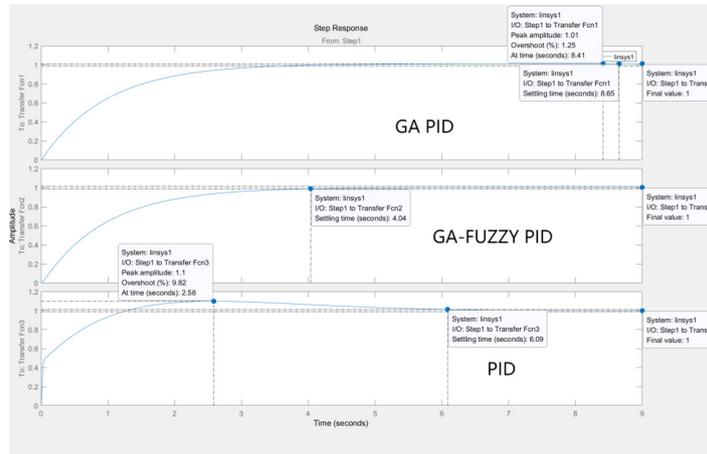


图 5 各 PID 控制数据

## 4 结语

论文的控制对象是温度控制系统，我们针对传统温度控制系统算法的优缺点，利用模糊控制和遗传算法的优点对其进行改进，设计了一套遗传算法模糊 PID 控制系统，并对其进行了 Matlab 仿真研究，得出以下结论。

温度控制具有变化快、难测量的特点，我们根据其特点分析了传统 PID 控制算法、模糊 PID 控制算法和遗传 PID 控制算法的优缺点，确定采用遗传算法模糊 PID 控制能更好地控制温度。

在仿真软件 Matlab 中，我们使用 Simulink 工具进行了遗传算法模糊 PID 仿真。结果表明，采用我们的遗传算法模糊 PID 控制温度时，系统超调可以有效降低，动态性能非常好。

### 参考文献

- [1] 张博.基于模糊PID的控制器研究[J].软件导刊,2010(1):2.
- [2] 徐权.基于遗传算法优化的汽车电泳涂装输送用混联机构的分数阶PI~λD~u控制[D].江苏大学[2024-07-17].
- [3] 李树青.基于遗传算法的PID参数的优化控制策略[J].自动化博览,2013(3):4.

# Upgrading and Optimization Design of Wheat Material Out of Warehouse System in Flour Mill

Zhuoxiong Song

Jiangmen Jingheng Conveying Equipment Co., Ltd., Jiangmen, Guangdong, 529000, China

## Abstract

The original conveying system for wheat raw materials from the silo to the flour milling workshop in a flour mill has problems such as excessive dust and poor sealing, and requires technical upgrading and reconstruction of the old system. Through research and development, a process system consisting of buried scraper conveyors, bucket elevators, etc. was designed to scientifically and reasonably solve the problem of conveying wheat raw materials from the silo to the flour milling workshop in the flour mill. The optimized design of the buried scraper conveyor uses a low-speed scheme to effectively reduce grain breakage rate and extend the service life of the equipment. All equipment in the new system adopts a fully sealed design, effectively eliminating the problem of dust spillover.

## Keywords

wheat raw material storage and delivery system; buried scraper conveyor; bucket elevator; grain crushing rate; sealing

## 面粉厂小麦原料出仓系统的升级改造及优化设计

宋卓雄

江门市景恒输送设备有限公司, 中国·广东 江门 529000

## 摘要

某面粉厂小麦原料从筒仓至制粉车间的原输送系统, 存在粉尘过大、密封不良等问题, 需要对旧系统进行技术升级改造。通过研究和开发, 设计出埋刮板输送机、斗式提升机等组成的工艺系统, 科学合理的解决了面粉厂小麦原料从筒仓至制粉车间的输送问题。优化设计的埋刮板输送机采用低速方案有效降低了粮食破碎率, 同时延长了设备的使用寿命。新系统所有设备均采用了全密封设计, 有效消除了粉尘外溢的问题。

## 关键词

小麦原料仓出仓系统; 埋刮板输送机; 斗式提升机; 粮食破碎率; 密封

## 1 项目背景

小麦是生产面粉的原材料。在面粉加工厂中, 小麦通常采用多排立筒仓存放, 在原粮进出筒仓的全过程需要采用自动化的输送系统。其中, 埋刮板输送机、斗式提升机等输送设备是构成输送系统的主体<sup>[1]</sup>。

本输送系统改造的建设单位是广东某大型面粉加工厂。工厂总占地面积 100 多亩, 厂房面积 20000 多平方米, 拥有自动化千吨级的吸粮码头, 总日处理能力达 800t, 原粮总仓容近 8 万吨, 年产能达 25 万吨。

面粉厂原有的 35 个原粮仓的出仓系统由仓底气垫式输送机、螺旋输送机、斗式提升机等组成, 整体设备已使用多年, 设备较为老旧, 且原设备产能不能满足现有需求。原有的气垫输送机采用风机吹气, 粉尘外溢较大, 需采用埋刮板

输送机替代原有的气垫输送机。新建输送系统需具备良好的密封性能, 防止粉尘外溢。同时, 为提高面粉生产的品质, 厂内的输送系统需有效减少粮食输送过程中的破碎率。

## 2 设计方案

### 2.1 总体工艺方案

面粉厂 35 个原粮立筒仓由 5 排筒仓组成, 每排 7 个仓。图 1 所示为单排筒仓的输送设备布置方案, 原粮小麦由仓底多台埋刮板输送机相互搭接实现水平输送, 汇至斗式提升机后, 垂直提升 33.5m 后输送至面粉生产车间。本工程所有输送设备总长超过 400m。

由于单排筒仓长度近 70m, 单排筒仓的总长较大, 出仓方案由两台埋刮板输送机搭接而成。两台埋刮板输送机(见图 2) 搭接的方案在综合能耗和寿命上优于单一刮板机方案。

【作者简介】宋卓雄(1987-), 男, 中国广东肇庆人, 本科, 工程师, 从事输送机械设计及应用研究。

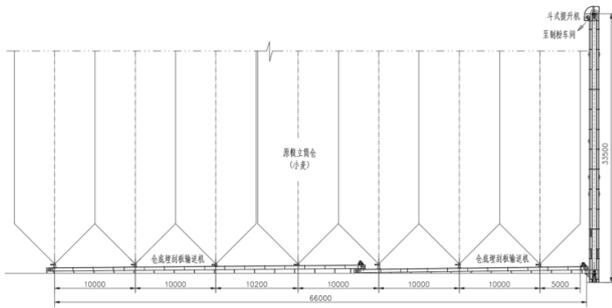


图 1 单排筒仓的输送设备布置方案



图 2 埋刮板输送机现场实物图

## 2.2 减少粮食破碎率的优化设计

### 2.2.1 埋刮板输送机的优化措施

破碎率是指粮食颗粒破碎或折断后在粮食中所占的比例。埋刮板输送机在运行过程中对粮食产生的破碎，主要由链条与刮板机底板的相互摩擦造成<sup>[2]</sup>。如图 3 所示，在埋刮板输送机运行过程中，粮食的向前输送由链条推动，处于链条正前方的粮食将受到链条与底板间的挤压。要减小粮食挤压压力避免破碎，最优方案是尽可能的降低链条运行速度。

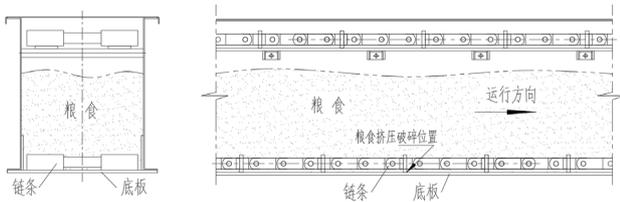


图 3 埋刮板输送机运行示意图

为满足使用单位的降碎要求，本项目的埋刮板输送机输送速度低至 0.35m/s，与常规的设计速度相比降低了近一半。同时，为保证低速化后的产能达标，埋刮板输送机的截面尺寸较常规设计增大了一倍。低速设计的埋刮板输送机不仅保证了低粮食破碎，同时极大减小了链条和底板的磨损，有效延长了设备的使用寿命。

### 2.2.2 斗式提升机的优化措施

斗式提升机在运行过程中对粮食产生的破碎，主要由进料和出料产生的碰撞造成。斗式提升机在提升中途物料处于畚斗内，物料与机筒不接触，不存在摩擦，可采用较高的速度运行。本项目提升机的设计运行速度为 2.5m/s，需要对机头出料进行重点优化设计。

在高速运行下，粮食根据运行惯性在头部滚筒转动下

抛出。如图 4 所示，在细化设计时需要粮食流动进行计算机模拟，绘制粮流抛料曲线。根据抛料曲线合理设计机头盖板的弧度，保证粮食以最优角度与壳体碰撞，并落至提升机出料口。机头盖板与粮食碰撞部位加装软质聚氨酯衬板，有效减少粮食撞击破碎，同时减少了设备的磨损，延长了设备的使用寿命。

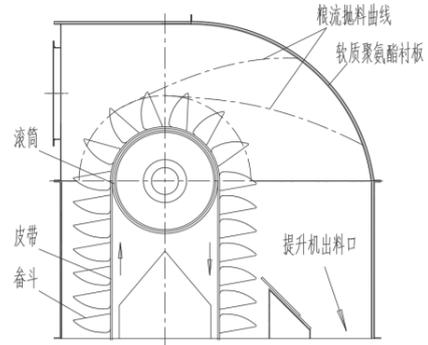


图 4 斗式提升机头部出料运行示意图

## 2.3 工艺系统的全密封设计

### 2.3.1 埋刮板输送机的全密封设计

埋刮板输送机的结构特点是物料在设备的封闭料槽内输送，封闭料槽具备良好的密封性能。其中，头尾部的轴密封是设备密封性能的关键因素。为提高整机的密封性能，本项目采用填料式轴密封结构。如图 5 所示，填料密封由密封圈底座、密封填料、密封圈压盖组成，两组密封圈在轴两端的壳体上对称分布，轴承外置，此结构形式可有效提高整体设备的密封性能<sup>[3]</sup>。

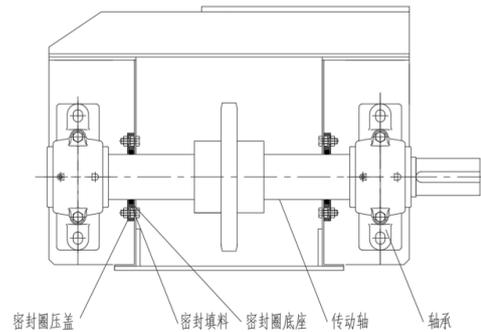


图 5 埋刮板输送机轴密封结构示意图及实物照片

### 2.3.2 斗式提升机的全密封设计

与埋刮板输送机相似，斗式提升机轴密封同样采用填料式密封结构，具备良好的密封性能。如图6所示，提升机

填料密封组件在滚筒轴两端的壳体上对称分布，轴承外置；同时，尾部张紧位置的滑板采用聚乙烯材料制作，保证了提升机具有优异的密封性能。

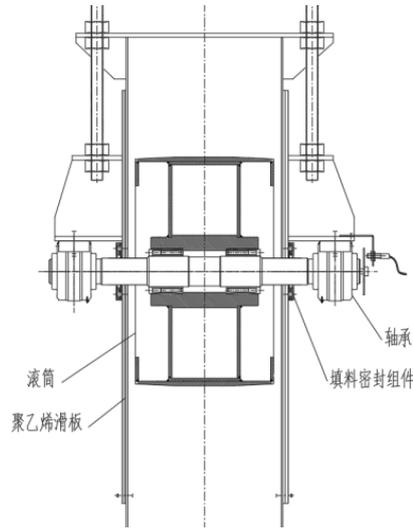


图6 提升机尾部张紧位置密封结构示意图及实物照片

## 3 结语

本工程通过由埋刮板输送机、斗式提升机等组成的工艺系统，解决了面粉厂小麦原料从筒仓至制粉车间的输送问题。

为满足面粉厂的降碎要求，对埋刮板输送机采用了低速方案，对提升机的头部抛料进行了模拟计算，优化设计了提升机的头部结构。为提高输送系统的密封性能，优化设计了埋刮板输送机和斗式提升机的轴密封结构。优化的设计方案符合了面粉厂的使用需求，提高了设备的技术性能并延长

了使用寿命。

本工程完工于2020年，至今已投产运行超过三年，设备运行可靠，设计水平及工程质量受到业主的高度认可。

### 参考文献

- [1] 王鹰.连续输送机设计手册[M].北京:中国铁道出版社,2001.
- [2] 闫圣翰,王建伟.设备对粮食破碎的影响及改进方法[J].中国设备工程,2018(6).
- [3] 彭旭东,王玉明,黄兴,等.密封技术的现状与发展趋势[J].液压气动与密封,2009(4).

# Improvement Measures for Fully Refined Paraffin-smelling Products

Bo Li

Sinopec Jingmen Branch Company, Jingmen, Hubei, 448002, China

## Abstract

Through the sinopec Jingmen branch full refining paraffin processing process furfural refining process, benzene dewaxing process, paraffin hydrogenation process smell cause analysis, find out the main source of the paraffin smell is carried in the process of trace furfural, benzene solvent and produced in the processing of volatile low boiling point light hydrocarbon. Optimizing the operating conditions of furfural refining plant, ketonobenzene dewaxing plant, paraffin hydrogenation plant and changing the hydrogen process of paraffin hydrogenation unit to reduce the production of light hydrocarbons. The paraffin smell produced by the company has been significantly improved. The export smell analysis of paraffin hydrogenation unit is stable below the 1.0 level, and the proportion of fully refined paraffin production has been greatly increased, and the efficiency is significant.

## Keywords

paraffin; smell; reason; measures

## 全精炼石蜡产品臭味改进措施

李波

中国石化荆门分公司, 中国·湖北 荆门 448002

## 摘要

通过对中国石化荆门分公司全精炼石蜡加工工序糠醛精制过程、酮苯脱蜡过程、石蜡加氢过程所产生的臭味进行原因分析排查, 找出了石蜡臭味的主要来源是石蜡生产加工过程中携带的微量糠醛、酮苯溶剂及加工过程中产生的挥发性低沸点轻烃等物质。提出了优化糠醛精制装置、酮苯脱蜡装置、石蜡加氢装置的汽提塔操作条件和改变石蜡加氢装置氢气流程减少轻烃生成等改进措施。公司生产的石蜡臭味得到了明显的改善, 石蜡加氢装置馏出口臭味分析稳定在1.0级以下, 全精炼石蜡生产比例大幅提高, 增效显著。

## 关键词

石蜡; 臭味; 原因; 措施

## 1 引言

中国石化荆门分公司石蜡生产采用糠醛精制—溶剂脱蜡—加氢补充精制“老三套”工艺流程, 是华中地区最大的石蜡生产企业。全炼蜡臭味问题是影响全炼蜡生产关键指标, 影响全炼蜡提高。石蜡生产过程复杂, 有臭物质的来源因素很多。论文对石蜡加工工序上下游装置纵向排查, 分析石蜡臭味物质来源, 发现臭味问题的主要症结石蜡原料本身在生产加工过程中产生的残留低沸点物质, 通过优化糠醛精制产品溶剂含量、酮苯脱蜡产品溶剂含量、石蜡加氢装置真空汽提等措施解决臭味问题, 提高全炼蜡生产比例。

## 2 石蜡臭味影响因素分析

我国石油蜡产品臭味采用 SH/T0414—2004《石油蜡臭

味试验法》进行检测, 抚顺石油化工研究院通过固相微萃取色谱分析了荆门石化石蜡气味。试验条件下, 25℃常温下测得的荆门石化石油蜡产品的可挥发性组分仅有甲苯, 升温至80℃时, 可挥发性组分中含有部分轻质烷烃, 但相对含量低, 甲苯相对含量高达90%。在臭味检测方法条件下, 极微量的各挥发性物质成分非常复杂, 下面我们从生产加工过程进行臭味影响因素分析。

### 2.1 糠醛精制过程

糠醛精制过程是润滑油和正序蜡生产主要步骤之一。荆门石蜡生产的全炼蜡溶剂精制过程均采用糠醛精制。糠醛精制过程利用萃取法除去馏分油中的芳烃。在润滑油基础油生产中, 要求基础油中糠醛含量(采用糠醛试验法定性)为“无”。在石蜡生产流程中, 由于生产操作波动原因, 在提余油中就可能含有微量糠醛存在。进入后续酮苯系统的糠醛除在系统中氧化进一步腐蚀设备外, 不能被蒸发而进入后续工序。而糠醛及其氧化物在石蜡加氢条件下难于加氢和

【作者简介】李波(1975—), 男, 中国湖北南漳人, 本科, 工程师, 从事润滑油基础油和石蜡生产研究。

被汽提掉,严重影响产品嗅味。抚顺石油化工研究院在前些年采集用作石蜡加氢试验原料的粗蜡中,有少数(大约10%~20%)蜡料带有明显的糠醛味。一般情况下,54#~60#蜡料的嗅味为2.0号,但是带有明显糠醛气味的粗蜡嗅味则为3.0号,而且这批蜡全部为正序生产。目前,老三套基础油生产流程中,糠醛精制提取液有多个糠醛蒸发塔和1个汽提塔,在汽提塔中回收糠醛约占10%。糠醛精制提余液没有糠醛蒸发塔,只有1个汽提塔,在汽提塔中糠醛约占15%。根据糠醛精制液汽提塔的作用和经验,我们认为糠醛精制液汽提塔是石蜡嗅味波动的一个不可忽视的因素。

## 2.2 酮苯脱蜡脱油过程

溶剂脱蜡脱油过程是石蜡生产的关键工序之一,主要决定石蜡的含油性。荆门石化的溶剂脱蜡装置为酮苯脱蜡脱油联合装置。酮苯脱蜡装置采用丁酮和甲苯作为脱蜡溶剂。酮苯脱蜡流程中采用多次蒸发和汽提回收或除去粗蜡中的溶剂。但由于溶剂用量大,正常生产时也仍有微量溶剂进入产品粗蜡中,在后续石蜡加氢条件下难以被加氢除去,因此也会影响产品嗅味。而酮苯溶剂汽提塔则是酮苯装置防止甲苯和丁酮等溶剂进入后续工序的最后屏障。溶剂残留量高、嗅味大的蜡料不仅使后续加氢装置产品气体负荷增大,而且不易除去嗅味。

## 2.3 石蜡加氢补充精制过程

石蜡加氢是石蜡生产的关键工序,决定石蜡产品的颜色、安定性、芳烃含量、嗅味等一系列性质。石蜡加氢装置主要设备包括“一器三塔”等,其运行操作都对精制石蜡产品嗅味有较大影响。

### 2.3.1 石蜡加氢装置反应器

目前,石蜡加氢装置检修周期均较长,一般大于3年。石蜡加氢装置催化剂经过长时间运行,可能因硫流失而导致催化剂加氢活性下降,影响芳烃加氢饱和深度,从而导致精制石蜡产品嗅味增大、颜色和安定性变差。

### 2.3.2 石蜡加氢装置原料脱气塔

石蜡加氢装置原料脱气塔操作温度与酮苯装置脱油蜡汽提塔操作温度相近,但无汽提蒸汽,因此其脱除溶剂效果十分有限。

### 2.3.3 石蜡加氢装置汽提塔和干燥塔

石蜡加氢装置汽提塔和干燥塔是脱除精制石蜡产品中残留微量溶剂和轻烃的最后工艺措施。过去,石蜡加氢装置汽提塔汽提蒸汽用量一般在150~200kg/h。在其他条件不改变的情况下,10万吨/年石蜡加氢装置汽提蒸汽用量应提高

到300kg/h左右,才有望满足全炼蜡产品生产要求。

## 2.3.4 石蜡加氢装置新氢和循环氢

石蜡加氢装置新氢不能使用重整氢,尤其是未经低温冷冻或变压吸附脱烃的重整氢,轻烃含量较高,容易引入嗅味源。尽管在精制石蜡产品汽提塔汽提蒸汽充裕的条件下,石蜡加氢装置也可以采用重整氢作新氢,近期抽样检测结果表明,装置生产的石蜡产品中含有较多的轻烃、苯、甲苯和二甲苯等,其中相当大部分可能来自重整氢,因此建议石蜡加氢装置补充氢尽可能不用重整氢而改用来自自制氢装置的高纯氢。另外,为了减少杂质随新氢和/或循环氢带入反应系统,建议石蜡加氢装置不要氢气一次通过使用,也不要与其他加氢装置共用循环氢,而应设置独立的氢气循环系统。

## 2.4 物料储运过程

石蜡在不同工序之间的储运过程可能会引入污染物,如物料“串线”、铁锈及油污等。有些污染物的引入可能会严重影响精制石蜡产品嗅味。因此,应加强储运管理,杜绝物料“串线”,并对中间罐等进行定期清理。

## 3 嗅味改进措施

针对石蜡生产过程的实际情况,采集生产过程各部位系列蜡样,表征其所含轻烃及糠醛、酮苯携带溶剂等组分含量,摸清嗅味变化的主要原因和关键部位,提供降低精制石蜡产品嗅味的改进措施。

### 3.1 糠醛精制过程

糠醛精制提余液中糠醛溶剂残留是石蜡嗅味波动的一个不可忽视的因素;糠醛装置严格控制汽提塔底温度和真空度,减少溶剂携带,因此糠醛装置汽提塔底温度控制平稳至关重要,糠醛精制提余液汽提塔操作条件见表1。在工艺上做以下改进措施如下:

- ①提高汽提塔真空度到0.082MPa,适当减少汽提塔吹汽,从而降低塔-7负荷,减少污水带醛。
- ②塔-4(Q、Z)液位由20%提到50%,延长二次蒸发时间;降低塔-5进料糠醛含量。
- ③炉-1(Q、Z)出口温度提高到215~220℃操作,以提高轻重塔-5进料温度分别到170℃,180℃以上,减少精制油携带糠醛。
- ④泵-10密封水改造项目投用。减少泵-10排水带醛。
- ⑤提高汽包压力0.05MPa,到0.35MPa,以改善汽提塔中的汽液分布效果。

表1 糠醛精制提余液汽提塔操作条件

装置	方案	温度/℃				压力/MPa			流量/kg·h <sup>-1</sup>	
		塔顶	进料	塔底	汽提蒸汽	塔顶	塔底	汽提蒸汽	汽提蒸汽	
荆门II	减四线	190	210	200	330	-0.07	0.06	0.4	600	
荆门I	减二线	115	215	218	300	0.082	0.07	0.31	350	
	减三线	116	215	219	300	0.082	0.07	0.31	380	

### 3.2 酮苯脱蜡过程

酮苯蜡中溶剂残留量控制对确保精制石蜡产品嗅味合格是至关重要的。措施一：制定与此有关的酮苯脱油蜡溶剂含量跟踪分析（为期一个月，每天分析一个样子），酮苯加强调整操作，保证石蜡溶剂含量控制小于150ppm，力争小于100ppm的目标。措施二：酮苯装置加强轻套蜡回收操作。酮苯汽提量（关键），温度，真空度等工艺操作条件，杜绝由于溶剂含量引起的石蜡嗅味问题，降低甲苯含量。根据荆门分公司经验，酮苯蜡中溶剂残留量一般应控制在100mg/kg以内，最好控制在50mg/kg以下。酮苯装置脱油蜡汽提塔操作条件进一步汽提塔优化操作，适当提高汽提蒸汽温度和用量见表2。

表2 酮苯脱油蜡汽提塔操作条件优化

装置	塔底/°C	压力/MPa	蒸汽量/ kg·h <sup>-1</sup>	残余溶剂/ mg·kg <sup>-1</sup>
荆门酮苯 I	170	-0.003	550	300 → 50
荆门酮苯 II	160	-0.003	550	300 → 100

### 3.3 石蜡加氢过程

石蜡加氢装置脱气塔、汽提塔和干燥塔优化操作是解决精制石蜡产品嗅味问题的有效措施，挥发性的低沸点物质糠醛、甲苯是主要的致嗅物质，汽提塔的工艺目标不仅是除去甲苯，最终应以尽可能除净上述物质中低沸点苯和醛等物质。我们在工艺上采取以下改进措施：

#### 3.3.1 石蜡加氢装置

为生产全炼蜡改串氢调节为分氢，解决氢气带油问题。改完后氢气量波动较大，尝试将石蜡压控阀投用手动，白油压控阀投用自动，波动有所好转，但还是有一定的波动，经过一个星期摸索，DCS趋势分析，压控改走主付线，氢气量分配调整等多种手段最终稳定了氢气量的波动。

改动后主要目的是防止白油加氢后循环氢携带的轻油（化验分析初馏点为180℃，350℃馏分30%左右，分析为柴油、煤油）进入石蜡系统影响石蜡嗅味。改分氢后化验分析，馏出口石蜡嗅味由2.0降到了1.5，甚至有少数1.0，此

次改串氢对改善石蜡嗅味起到了重要的效果。

#### 3.3.2 提高汽提塔汽提量

为进一步将影响石蜡嗅味物质拔出，且防止塔顶带蜡严重，组织班组摸索最佳汽提量，石蜡汽提量由200kg/h逐渐升高至320kg/h，结合嗅味分析与班组记录倒蜡量，最终确定不投真空时最佳汽提量为260~280kg/h，投用真空后最佳汽提量为220~300kg/h。

#### 3.3.3 提进塔-101进料温度和真空度

为提高汽提塔-101的一是将反应温度提高了20℃，但进料温度提高了5℃，效果明显；二是充分利用好塔-101的汽提真空投用，将真空提高至30~40kPa，投用后较正常后嗅味下降到0.5。

### 3.4 石蜡中间储运过程

对石蜡原料罐、半成品罐的干净程度进行一次摸排，由生产调度安排、储运部（罐区）进行清罐，并根据油罐情况合理制定清罐周期（作为一项制度确定下来）。同时加强油罐的改造工作，对一些使用周期较长的或内壁防腐层脱落的制定完善计划。

## 4 结语

石蜡嗅味的主要来源是生产加工过程中产生挥发性的低沸点轻烃及糠醛、酮苯携带溶剂等组分。通过优化糠醛装置、酮苯装置操作，减少溶剂携带，石蜡加氢装置改串氢为分氢工艺，汽提塔提汽提量真空操作等措施，石蜡嗅味得到了明显的改善。石蜡加氢馏出口嗅味1.0级合格率提高至目前的95%以上，石蜡大罐分析1.0级合格率达到90%，2024年上半年全炼蜡比例达到65%以上，增效显著。

### 参考文献

- [1] 黎元生,王丽君.石油蜡产品手册[M].北京:中国石化出版社,2009.
- [2] 刘慧珍,陈文艺,刘莹,等.低熔点高硬度特种蜡的研究与开发[J].石油炼制与化工,2016,47(2):79-83.
- [3] 袁平飞,赵彬,庞晨.全精炼石蜡嗅味来源分析及工艺解决方案[J].炼油技术与工程,2013,43(9):12-17.