

# Discussion on the Analysis Method of API Flange Leakage

Jie Zhang

Sinopec Petroleum Engineering Design Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257026, China

## Abstract

Flange is an important and common form of connection in engineering projects. During the operation of the project, the flange connection may be leaked due to the external force of the connecting pipe or the equipment. The leakage of the flange connection will not only cause the leakage of the conveying medium and energy consumption, but also affect the normal operation of the whole project. Check calculation is an important part of stress analysis. Different calculation methods should be used for different standard flanges. Currently, the flange leakage analysis method for ASME standard is mature and can be calculated automatically by using CAESAR II software. However, for flange implementing API standard, flange leakage test can not only use the same method as ASME flange leakage test, but also cannot rely on CAESAR II software for calculation. In addition to describing the causes and influencing factors of flange leakage, this paper also introduces the analysis method of API flange leakage, and explains the applicability of this method through examples, it provides the application reference for implementing the leakage verification of API standard flange.

## Keywords

engineering project; seal tightness; API flange; flange leakage

## 简述 API 法兰泄漏分析方法

张婕

中石化石油工程设计有限公司, 中国·山东 东营 257026

## 摘要

在工程项目中, 法兰是重要且常见的连接形式。在项目运行过程中, 由于受到连接管道或者设备的外力, 可能会造成法兰连接处的泄漏。法兰连接处的泄漏不仅会造成输送介质的外泄和能量消耗, 还会影响整个项目的正常运行。法兰泄漏验算是应力分析中的重要内容, 针对不同执行标准的法兰应采用不同的计算方法。目前, 执行ASME标准的法兰泄漏分析方法较为成熟, 且可以使用CAESAR II软件进行自动计算。但是, 对于执行API标准的法兰, 法兰泄露验算不仅不能采用与ASME法兰泄露验算相同的方法, 而且不能依靠CAESAR II软件进行计算。论文除了简述法兰泄露的原因和影响因素外, 还介绍了API法兰泄露的分析方法, 并通过实例说明该方法的适用性, 为执行API标准法兰的泄露验算提供应用参考。

## 关键词

工程项目; 密封性; API法兰; 法兰泄漏

## 1 概述

法兰连接是工程上最常用的连接形式, 主要用于连接管道、阀门和设备。法兰的连接由法兰、垫片、紧固件组成。法兰连接处的密封性关系到管道系统整体的安全性和稳定性。在投产运行过程中, 如果法兰连接处发生泄漏, 造成管道内介质向外泄漏, 将直接影响生产效率。在石化项目中, 管道内的介质有腐蚀性、有毒或者易燃易爆, 法兰连接处一旦发生泄漏, 不仅会污染环境, 还会带来安全隐患。

法兰泄漏验算就是在设计阶段通过应力计算的方式检查各法兰连接处的泄漏可能性。主要方式是结合管道应

力、材料性能按照规范要求进行分析。目前, 执行 ASME 标准的法兰泄漏验算应用已经较为成熟, 且可以依靠 CAESAR II 软件进行自动计算。但是, 对于执行 API 标准的法兰仍需要手动计算, 主要原因是 CAESAR II 并没有搭载 API 规范。值得注意的是, 在石化集输类项目中, 大量地面设施采用 API 标准。因此, API 标准法兰泄漏验算不容忽视。论文将结合实例简述 API 法兰泄漏的验算方法<sup>[1]</sup>。

## 2 法兰泄漏形式

法兰的泄漏主要有两种形式, 分别是界面泄漏和渗透泄漏。法兰密封面泄漏简图见图 1。

渗透泄漏是通过法兰微小泄漏间隙泄漏; 界面泄漏是通过法兰间的微小泄漏通道泄漏<sup>[1]</sup>。应力计算中法兰泄露验算通常指的是界面泄露。为了预防法兰连接处的跑、冒、滴、漏, 利用应力计算的法兰泄漏验算预判法兰连接处的密

【作者简介】张婕(1988-), 女, 中国山东聊城人, 本科, 高级工程师, 从事配管研究。

封性十分必要。

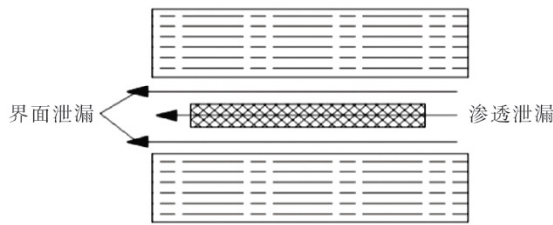


图1 法兰密封面泄露简图

### 3 法兰泄漏原因

法兰的密封性主要是通过螺栓的预紧力使法兰间的垫片产生变形实现。垫片发生变形后填充了法兰密封面间的微小间隙，堵塞了法兰之间的泄漏通道。当介质通过密封面的阻力大于法兰密封面内外的压差时，泄漏通道被堵塞，管道内介质无法发生泄漏，故法兰连接处密封性良好。

法兰泄漏主要由以下几个方面造成。

#### 3.1 密封面失效

密封面失效主要源于法兰、垫片、螺栓的质量问题。例如，垫片老化，且长期处于压力的状态下造成回弹力的下降，最后导致密封面出现间隙，管道内介质发生泄漏。

法兰或螺栓在工程长期运行过程中，发生腐蚀也会造成密封面失效，导致法兰泄漏。

#### 3.2 螺栓松动

螺栓松动主要源于法兰连接处的管线发生振动或热胀变形，导致的螺栓松动。因此，螺栓对焊法兰原有的预紧力失效，造成法兰密封面产生间隙，管道内介质发生泄漏。

#### 3.3 螺栓预紧力不平衡

螺栓预紧力不平衡主要源于安装期间施工的不规范。在安装期间，螺栓预紧力施加的不平均，螺栓的松紧度不一致，会造成法兰密封面受到的压力不平衡，法兰对中偏移，最后导致法兰密封面产生间隙，管道内介质发生泄漏。

综上所述，法兰泄漏除了与法兰、垫片、螺栓自身的质量有关外，还与螺栓的预紧力有关。因此，螺栓预紧力的检查也是法兰泄漏验算的重要依据。

### 4 API 法兰泄漏校核方法

在实际工程应用中，执行 ASME 标准的法兰泄漏验算运用较为成熟，其主要的判据是管道外力和弯矩。最常用的计算方法分别是当量压力法和 NC-3658.3 公式法、基于操作工况和垫片安放工况的 ASME BPVC 规范 VIII -1 卷法<sup>[2]</sup>。

当量压力法的判据是当量压力值是否小于 ASME B16.5 中的许用压力值。该方法认为，法兰面上受到的轴向力和弯矩可以转化成当量压力，再与设计压力叠加，叠加后获得的总压力如果比 ASME B16.5 提供的许用压力值小，则法兰不会发生泄漏。

ASME BPVC 规范 VIII -1 卷法则是考虑了法兰面静压荷载和垫片压紧力，是按照操作和预紧垫片两种设计条件进行计算，并选取较苛刻的条件进行设计。通过计算法兰颈部纵向应力、法兰径向应力、法兰切向应力和螺栓应力来判断法兰连接处是否会发生泄漏。判据也是 ASME B16.5 中的许用压力值。

NC-3658.3 公式法也称最大屈服强度法，来自 ASME BPVC-III，该方法的判据是法兰的屈服强度。该方法认为法兰上承受的力和力矩、扭矩等均作用到螺栓上，通过计算法兰的屈服强度，再与许用屈服强度对比。如果计算的屈服强度小于许用值，则视为不会发生法兰泄漏。

当量压力法和 NC-3658.3 公式法可以通过 CAESAR II 软件进行自动计算。但是，对于 API 法兰，上述 ASME 的验算方法都不适用于 API 法兰。

近年来，油气田开发的不断深入，井口装置须满足高温高压的需求，采油树装置须执行 API 标准《井口装置和采油树规范》。因此，API 法兰的验算判据是 API TR 6AF 第三版（2008 年 9 月），主要是根据拉力和设计压力在额定值图表中获得弯矩并与应力计算出的弯矩值进行比较。因此，API 法兰泄露验算既不能依靠 CAESAR II 软件搭载的判据，也不能应用常用的当量压力法、NC-3658.3 公式法和 ASME BPVC 规范 VIII -1 卷法。只能进行手动单独计算。下面的案例就是基于这种项目背景，论文选择某项目采油树管口处的 API 法兰进行泄露验算<sup>[2]</sup>。

#### 4.1 案例介绍

某丛式集输井场项目，该井场共有 5 座产油井口，3 座注水井口。每座采油树均采用标准化安装。单座产油井口的采油树有两处对外接口，分别是 3-1/8" API 3000 PSI，用于连接油管线；2-1/16" API 5000 PSI，用于连接套管气管线。该案例选取油井采油树的 API 法兰进行泄露验算。

该案例选择 3000 PSI 的管口作为示例。在该项目中，连接采油树的油管线材质是碳钢管道 ASTM A333 Grade 6，执行标准是 ASME B 36.10，口径是 6"，壁厚是 21.95mm。管道内介质流速是 0.994m/s。最大设计温度 90℃，最小设计温度 14℃，操作温度 52℃，设计压力 225bar。采油树 3D 模型见图 2。

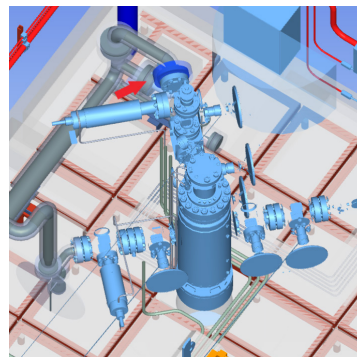


图2 采油树 3D 模型

在进行 API 法兰泄漏验算前,采油树管口连接处的管道已通过 CAESAR II 完成应力计算,并获得管口连接处的拉力 6840N,以及轴向和径向的力矩,分别是 MZ 3188Nm、MX 1329Nm。API 法兰泄漏验算的判据就是参照 API 标准计算和查表获得法兰连接处的弯矩后,再应力计算的结果相比较。若手动计算的结果能够满足应力计算结果,则 API 法兰泄漏验算通过<sup>[3]</sup>。下面是具体计算步骤。

#### 4.2 弯矩的计算

①螺栓应力的确定。该项目规定螺栓材料的描述为 A193 B7。通过查询 ASME B31.3,获得该规格下螺栓最小屈服强度为 105KPSI。

根据 API 6A,对于 105KPSI,螺栓预紧力等于 50% 的最小屈服强度,即 52.5KPSI。

②设计压力。在该项目中,油管线的压力不超过 3000PSI。但是,为了便于查询评级图中的数据,假设采油线的设计压力为 3000PSI。

③ API 法兰处拉力。法兰的拉力值来自已完成计算的油管线应力报告。在已有的应力报告中,接口处的轴向拉力为 6840N。为了便于后面的查表获得弯矩,选择了一个更保守的值 10000N 作为拉力。

在图 3 API 6AF 的拉力—弯矩查询表中,代表 10000N 的线接近 0 磅参考线,弯矩结果接近 15 ft-lb。为了便于后续计算,弯矩值取 15 ft-lb。

④允许弯矩值的确定。允许弯矩值需要考虑温度降额系数。根据 API 6A,如果设计温度高达 121℃,则可以忽略温度对法兰的影响。案例中的设计温度是 90℃,不需要考虑系数。因此,允许弯矩为 15 ft-lb, 20337Nm。

⑤验证弯矩值。验证法兰弯矩必须对比已有的应力报告结果。在应力报告中,接口处 MX 的力矩为 1329Nm, MZ 为 3188Nm。因此,接口处的弯矩为 3454Nm,小于允许弯矩值。API3000 法兰验证结果合格。

## 5 结论

集输井场项目中的地面设施有温度高、压力高、易燃易爆的特点。法兰作为连接管线、阀门的重要连接件,其稳定性影响到系统的运行安全。因此,通过进行法兰泄漏验算,提前排查潜在泄漏点能够有效提高管道系统的可靠性。但是,法兰泄漏验算应考虑到不同的法兰执行标准,使用不同的计算方法。在执行 ASME 标准的管道系统中,CAESAR II 能够满足 ASME 管道应力和法兰的泄漏验算。API 法兰则因为执行标准不同,无法调用 CAESAR II 中的内置公式进行验算。因此,只能依靠手动计算的方式进行验算。

在确保法兰本身性能的前提下,垫片的性能和螺栓预紧力是确保法兰密封性的重要因素。通过案例计算发现,消除法兰泄漏需要从以下几个方面考虑:①选择磅级合适的法兰;②选择强度合适的螺栓;③螺栓预紧力的控制;④垫片的密封性。

## 参考文献

- [1] 邢桂萍,罗广辉,郑新兵.法兰密封泄漏的原因分析[J].石油化工设备技术,2008,29(2):63-66.
- [2] 郭永伟,秦向辉.工程设计阶段法兰泄漏分析及校核[J].化肥设计,2018,56(5):18-21.
- [3] 左勇,宋悦,郝翰,等.法兰泄漏校核方法的探讨[J].辽宁化工,2022,51(2):212-215+219.

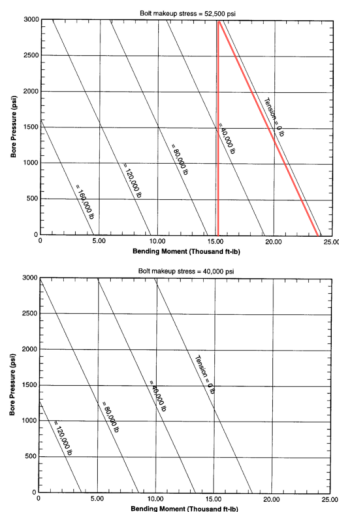


图 3 API 6AF 的拉力—弯矩查询表