

Experimental Research on Eliminating Water Hammer in A Power Station Pipeline

Guanyu Mu Jia Sun Kai Zhen Long Xi

China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Beijing, 100840, China

Abstract

The water supply pipeline of a power station produces abnormal water hammer at the moment of system startup. Through designing a test plan, arranging monitoring instruments, collecting vibration data and pressure pulsation of key parts, analyzing and studying the mechanism of water hammer, determining the key internal causes of abnormal water hammer, and proposing a treatment plan to eliminate the water hammer, and finally eliminating the occurrence of abnormal water hammer through repeated tests.

Keywords

pipeline system; abnormal water hammer; vibration analysis; regulating valve

消除某电站管道水锤的试验研究

穆冠宇 孙嘉 甄凯 袭龙

中国核电工程有限公司, 中国 · 北京 100840

摘要

某电站的给水管道在系统启动瞬间产生异常水锤, 通过设计试验方案, 布置检测仪表, 采集振动数据和关键部位的压力脉动, 分析研究水锤产生的机理, 确定引起异常水锤的关键内因, 提出消除水锤的治理方案, 通过反复试验最终消除了异常水锤的产生。

关键词

管道系统; 异常水锤; 振动分析; 调节阀

1 引言

某电站的给水系统负责为除氧器提供水源, 在系统整体调试时发现给水系统启动瞬间有异常水锤产生, 对管道系统和泵组设备产生了较大影响, 无法正常使用, 如果不消除该水锤, 反复启动对设备会有破坏性风险。论文主要分析管道系统上能够产生水锤的各项因素, 通过试验的方法确定分析水锤产生的主因, 提出优化设计方案, 最终消除了水锤使系统运行正常。

2 概述

2.1 水锤原理

水锤是水作为介质在管道输送过程中, 由于水泵突然停止、阀门突然开启/关闭、产生空腔等原因, 使管道内的水流发生突变, 在管道内出现不稳定的水流和压强大幅度波动的现象^[1]。例如在阀门突然关闭或打开时, 水流对阀门、管壁、泵等所有流经的物体都会产生一个压力。由于管壁光

滑, 后续水流在惯性的作用下, 水力迅速达到最大, 并产生破坏作用(见图 1), 在水力学中称为“水锤”, 对管道系统的危害极大, 严重时可使管道撕裂, 损坏阀门、泵等设备。

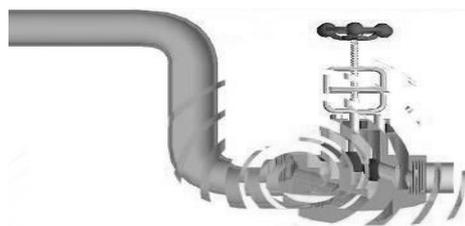


图 1 水锤产生原理图

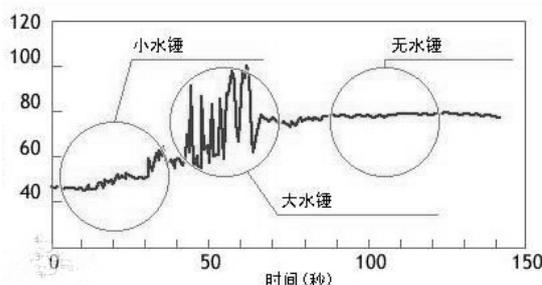


图 2 水锤压力波

【作者简介】穆冠宇(1982-), 男, 中国山东滨州人, 硕士, 高级工程师, 从事核电技术研发及管理研究。

图2是管道系统一般水锤的表现形式,从图中可以看出,不管是大水锤还是小水锤,都会出现异常的压力曲线波动,而没有水锤的压力曲线则比较平滑。

2.2 给水管道系统

本电站给水系统采用定速给水泵,泵组布置在 0 米层,向 20 米层的除氧器送水。正常运行时的流量 1300t/h,系统管道内介质流速 1.5m/s,回水管道上设有电动蝶阀和滤网。给水泵出口设有流量计、止回阀、闸阀、调节阀。泵的最小流量设计 300t/h,管道流速为 4.0m/s,给水管道从除氧器的上方接入。

2.3 水泵布置

水泵安装于一块独立的水泥基础之上,水泥基础通过独立的弹性隔振器作为柔性支撑坐落于刚性楼板上(见图 3)。

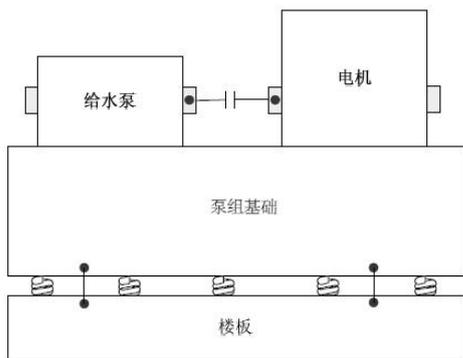


图 3 泵组布局

3 水锤振动监测方案

3.1 振动监测方法

①直接法:先直观地从监测仪表的数据查看给水管道及附属设备有无明显缺陷,一般简单拆解设备、目测、常用的测量工具就能发现问题。

②间接法:有的问题复杂,隐藏比较深,不能通过一般的直接法发现,可通过专业的诊断分析方法,如频谱分析法、相位分析法、时频分析、设备启停试验等。

3.2 监测技术路线

按照上述监测水锤的一般分析方法,先用直接法,再用间接法,针对每一类潜在的可能性故障逐一进行排查,并制定有针对性的监测方式和治理方案,见表 1。

4 水锤分析与研究

按照监测技术方案,逐一对给水系统进行分析检查,结果通过目视观测和振动数据发现了水锤现象的存在,并在一定程度上导致了给水系统的异常振动。

4.1 水锤产生

在水泵的出口管道上设置压力测点,获得的压力脉动监测数据如图 4 所示:在泵启动 2 秒内,有个瞬间突发的压力脉冲(受力约 400KN),该力把泵推向水流相反的方向,并且泵基础相对于初始位置发生了移位(见图 5),该位移在停泵后并未恢复。在停泵后紧接着进行第二次启泵,未发生明显的水锤冲击如图 6 所示,也未发生基础位移如图 7 所示。

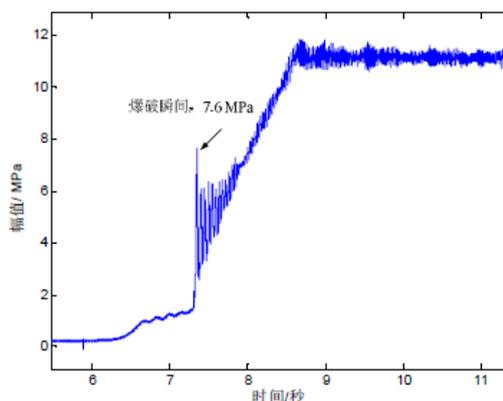


图 4 首次启泵压力脉冲图

表 1 监测技术路线

监测对象	内容	潜在故障
泵	①产品质量是否合格 ②安装是否合格 ③是否存在质量不平衡、转子是否对中 ④振动频率 ⑤是否存在汽蚀	①设备本体缺陷 ②安装不达标 ③质量不平衡 ④频率共振
管道 / 支架 / 阀	①是否按图施工 ②设计选用是否合理 ③支架是否变形 ④是否存在明显振动异常之处	①力学不过关 ②支架未起到作用 ③变形 ④振动异常 ⑤水力设计问题
水泵基础	①水平度是否合格、是否形变 ②支撑强度 ③隔振器是否错位 ④基础与设备配比	①基础错位 ②隔振器刚度有问题 ③基础与设备重量不搭配

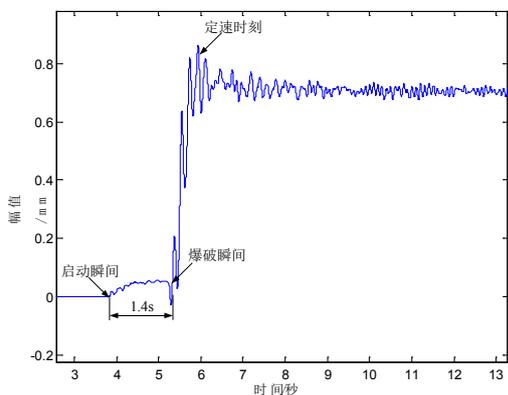


图 5 首次启泵基础位移图

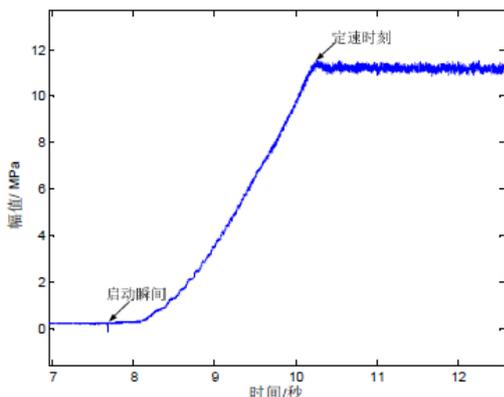


图 6 第二次启泵压力脉冲图

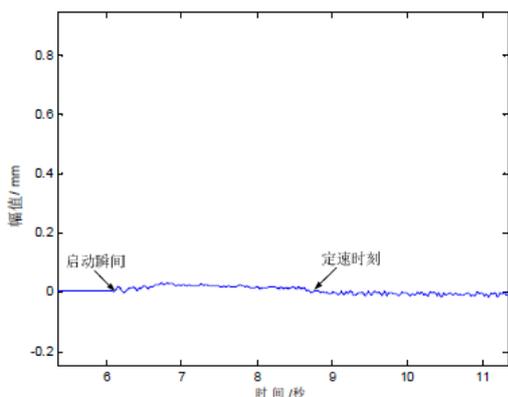


图 7 第二次启泵基础位移图

综上所述，捕捉到了异常水锤对给水系统产生了较大影响，且使泵组基位移。值得研究的是，在短时间内紧接着第二次启泵时，并未发生冲击水锤，基础位移也不再加剧，但是隔天再次启泵，上述水锤又再次出现。

4.2 水锤来源分析

沿着给水管线从泵出口一路排查，在进入除氧器的管道上发现有 3 个阀门：电动闸阀、调节阀、手动闸阀，该段管道在泵地启动瞬间有突然的、大幅度跳动现象，并伴有异常响动的声音，之后趋于稳定。

初步分析进入除氧器前的调节阀前后管道高于除氧器液位，除氧器上部空间为气体空间，因此推测该段管线可能存有残留气体。

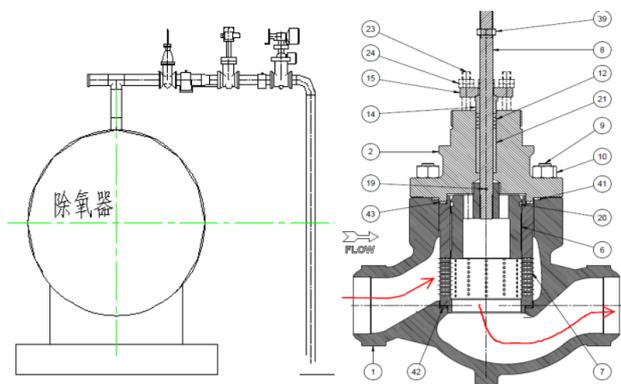


图 8 除氧器给水管线布置及调节阀内部构造

图 8 是除氧器给水管线布置及调节阀的内部构造情况^[2]，该多级笼式调节阀的内部是多个降压环和阻尼孔结构，该结构使高速流动的水被阻挡和摩擦的概率更大，以此来达到降压目的，内部水流婉转曲折。因此在启泵瞬间受到高压水流冲击，阀体突然受到一个斜向上的冲击力，如果管道中有空气，在高速水压下会被多级孔板和阻尼孔压缩阻挡，在压缩到极限后又迅速膨胀冲击，该力通过水流反噬传导至泵口，将泵推偏。等水流通过调阀将空气完全排入除氧器后，该段管线又渐渐趋于平稳。

在相邻两次起泵的间隔较短的情况下，第二次起泵时，由于调节阀的特殊结构，该管段暂时形成了水封，一部分水滞留，因此水锤没有出现。为了验证上述推理，对该段管线进行了灌水试验，对该管段进行灌水，让调节阀处于充水状态，紧接着起泵检测，结果没有水锤产生（见图 9）。

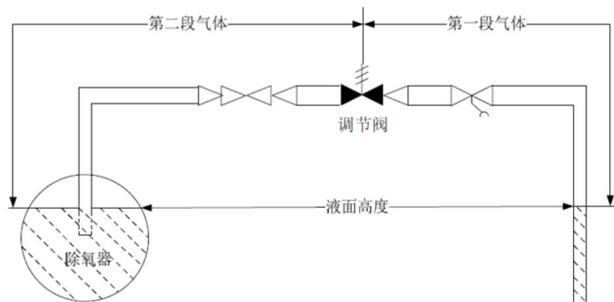


图 9 调节阀管段示意图

5 水锤消除方案

5.1 修改给水管线

对调节阀前后管段进行重新布置设计，把调节阀布置于除氧器液位以下，确保调节阀淹没于水中，如图 10 所示。

5.2 实施效果

调节阀前后管段优化修改设计布置后，气泵监测数据情况见图 11、图 12。从监测数据看，给水管线中的瞬间水锤冲击消失，压力曲线平稳，泵的基础也没有发生位移。

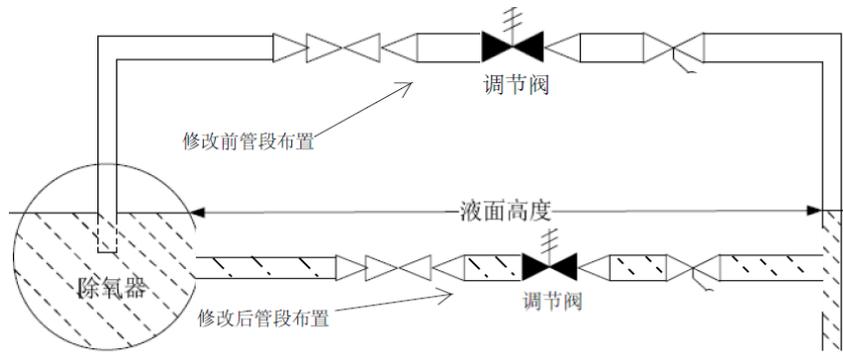


图 10 调节阀管段修改后示意图

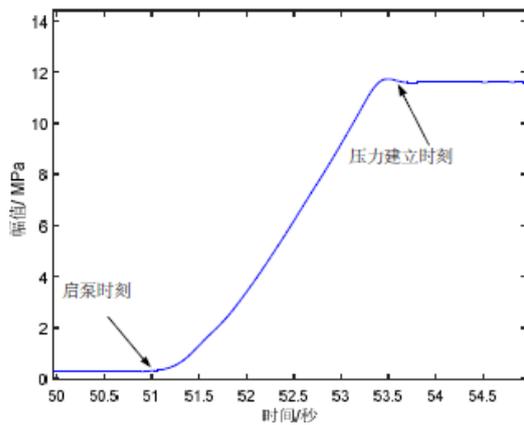


图 11 管段修改后脉冲图

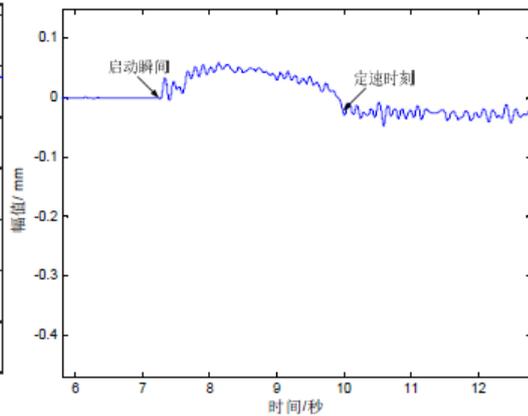


图 12 管段修改后基础位移数据

6 结语

通过试验分析了给水管道中产生水锤的原因和机理，研究调节阀的特殊结构与水锤发生之间的关系，给出了消除水锤的方案，最后通过修改优化调节阀的管段布置位置，实验结果验证了水锤治理成功。总结经验：在进行多级笼式调节阀的设计布置时，应尽量将其完全浸没于有水的管段中，

以免发生破坏性水锤。

参考文献

- [1] 金锥,姜乃昌,汪兴华,等.停泵水锤及其防护[M].第2版.北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [2] 邹世浩,万胜军.超临界最小流量调节阀的研究[J].锅炉制造,2013(3):5-8.