

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.01.009

# 基于阻尼减振技术的热电厂减温减压器管道研究<sup>\*</sup>

胡 朋,何立东<sup>\*</sup>,张震坤,吕成龙  
(北京化工大学 化工安全教育部工程研究中心,北京 100029)

**摘要:**为解决抚顺某热电厂减温减压器减温水管道振动严重的问题,将阻尼减振技术应用到管道减振中。开展了对减温水管道系统振动频率和速度的现场测量及其图纸资料的搜集,运用有限元分析软件 Sap2000 建立了管道有限元模型,进行了模态和力学分析,掌握了减温水管道的振动特性,并且对管道进行了阻尼减振模拟仿真,建立了管道振动特性与阻尼减振技术之间的关系。依据模拟仿真的数据结果,提出了解决管道振动的最佳方案。该方案运用阻尼减振技术,在不停机、未改变管道原有结构布置的情况下,在管道的适当位置安装了阻尼器,实现了工程项目的减振改造。实际改造结果表明,安装了阻尼器的管道振动速度达到了管道振动安全标准的要求,能够保证机组长周期、稳定运行。

**关键词:**减温减压器;管道振动;有限元分析;阻尼器

中图分类号:TH113.1;TK11<sup>+4</sup> 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)01-0043-04

## Pipeline of pressure reducer and attemperator in a power plant based on vibration-damping technology

HU Peng, HE Li-dong, ZHANG Zhen-kun, LV Cheng-long  
(Engineering Research Center of Chemical Technology Safety Ministry of Education,  
Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of the pressure reducer and attemperator water pipeline vibration in a power plant in Fushun, the pipeline damping technology was investigated. The vibration frequency and velocity of piping systems were measured and the drawings were collected. A finite element model for piping system was established. After the structure modal analysis and mechanical analysis were carried out, the vibration characteristics of pipeline were obtained. Damping vibration of pipeline simulation was carried out by applying SAP2000 software. The relationship between the piping vibration characteristics and damping technology was founded. According to simulation results, the best way to solve the pipeline vibration was put forward. The actual results show that, by using damping vibration technology, installing dampers to suitable location in the pipes can effectively suppress the vibration of the pipeline without shutting down the machine set and changing the original structure of the piping systems, then ensure long cycle and stable operation of unit.

**Key words:** pressure reducer and attemperator; pipe vibration; finite element analysis; damper

## 0 引 言

减温减压器是用来调节蒸汽压力、温度,以及降低高压、高速蒸汽所产生剧烈振动与噪声的重要装置,广泛应用于工业生产中,是蒸汽排放系统稳定运行的关键<sup>[1-2]</sup>。抚顺某热电厂的一机组投入运行 3、4 个月后,减温减压器的减温水管道一直存在着严重的振动问

题。强烈的振动曾导致减温水管道维修不到 1 个月就疲劳开裂。另外,振动还致使主蒸汽管线一次阀门前、后法兰螺栓松动以及高温、高压蒸汽泄漏等危险事故。

高速高压蒸汽经减压阀降压节流之后,蒸汽压差很大,很容易产生较大的压力波动。向高温、高压蒸汽中喷入水雾降温属于湍流气液两相流问题,会使减温减压器内部流场不稳定,故减温减压器系统常常会产

收稿日期:2013-09-10

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)资助项目(2012CB026000);教育部博士点基金资助项目(20110010110009)

作者简介:胡 朋(1987-),男,河南周口人,主要从事动静设备减振技术方面的应用与研究。E-mail:hupengmd@163.com

通信联系人:何立东,男,教授,博士生导师。E-mail:1963he@163.com

生强烈的振动和尖锐的噪声,以及汽蚀、闪蒸、可调比低等有害现象。目前管道系统的减振可以通过以下两个途径解决:①改造管道系统原有结构,但调整工作量大,管道空间结构调整不允许,一般不采用该方式解决管道振动;②改善管系振动固有特性,主要方法是增减管道约束,改变管系刚度和阻尼。然而对管道增加刚性约束不会耗散振动产生的能量,会传递给系统的其他仪器设备,故选择改变阻尼的方法来治理振动<sup>[3-4]</sup>。

本研究依据该热电厂减温减压器中减温水管道的设计资料和振动测量数据,分析管道强烈振动产生的原因及危害,研究和运用阻尼减振技术,通过增加管道系统的阻尼,显著地降低管道振动的速度,保证管道系统的安全运行。

## 1 减温水管道振动状况及危害

减温水管道的外径为  $\phi 57$  mm,厚度为 3.5 mm。减温水由高压给水泵通过该管道输送减温水,经过节流装置由喷嘴呈雾状喷出,与新蒸汽直接混合来实现调节温度。管道在额定工况下振动非常严重,最大振幅超出测振仪器量程,即最大振动速度超过 200 mm/s,大大超过了火力发电厂汽水管道振动控制导则规定的最大峰值振动速度值不能超过 21.06 mm/s 的要求。强烈的振动对管道已产生严重的损坏,在减温水管弯头区域出现多次开裂泄漏现象(管道疲劳开裂图如图 1 所示)。



图 1 管道疲劳开裂图示

该厂对开裂管道进行了多次改造,一是在开裂位置设计加固装置(管道弯头处加固装置如图 2 所示),通过向其灌注金属密封胶,将其与管道粘结成一个整体,起到提高管道强度的作用,但运行一段时间后再次出现疲劳开裂(金属密封胶加固装置与管道焊缝振裂如图 3 所示);二是将失效的加固装置去除掉,重新焊接一段管道,并对其焊接刚性支架进行加固(如图 1 所示),提高了管道系统的刚度。管道的振动稍有降低,但

刚性支架不能耗散掉管道振动产生的能量,经历一段时间后管道由于局部应力过大又一次出现疲劳开裂。

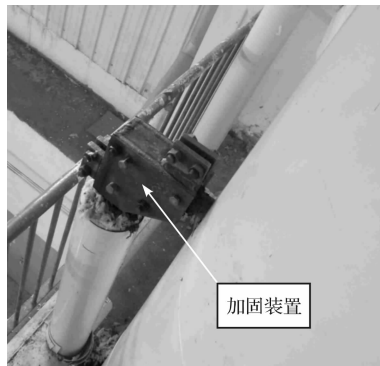


图 2 管道弯头处加固装置



图 3 金属密封胶加固装置与管道焊缝振裂

强烈振动导致的破坏致使该厂不得不将工作负荷下调,蒸汽流量从 200 t/h 一直降到 80 t/h,造成了严重的经济损失。在低负荷生产条件下,管道振动虽有所降低,但远不能满足工业生产的供热需求,导致了生产量下降,仪器仪表等设备冻坏现象。且工作负荷较低(流量低于 100 t/h)时,锅炉车间不能用煤粉作为燃料,为防止其发生煤粉爆炸,不得不改用喷射柴油的方式维持生产,由于消耗量很大,成本大幅度提高。

## 2 减温水管道振动原因分析

通过有限元软件模拟计算和综合分析可知,导致喷水管道振动的原因主要有以下几点:

(1)管道共振是其强烈振动发生的主要原因。本研究采用 Sap2000 有限元软件对管道结构进行建模和模态分析,得出管道结构的第 1 阶固有频率为 11.895 Hz。现场测得的管道振动频率为 12.4 Hz,通常取共振区域为 0.8 ~ 1.2 倍,计算得到共振频率为 9.92 Hz ~ 14.88 Hz。可知管道的第 1 阶固有频率处于共振区范围之内,管道结构发生共振。

(2)减温水由高压给水泵供给,较大的压力和流速遇到弯头和阀门时就产生随时间变化的脉动,从而

导致管线产生强烈振动。

(3)减温水管道非常细,外径仅为  $\Phi 57$  mm,整体的刚度和强度都比较小。

### 3 管道阻尼器耗能减振原理

#### 3.1 阻尼减振原理分析

本研究在管系振幅较大的位置安装粘滞阻尼器,将管道振动的机械能传递到阻尼器的阻尼液中,通过阻尼液的运动摩擦发热来耗散管道振动能量,最终达到减振的目的。下面通过计算得出粘性阻尼每周期消耗的能量<sup>[5-8]</sup>:

设简谐强迫振动的稳态响应为:

$$x = B\sin(\omega t - \varphi) \quad (1)$$

振动速度为:

$$\dot{x} = \omega B\cos(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

粘性阻尼力为:

$$F_d = c\dot{x} \quad (3)$$

粘性阻尼力在一个周期内耗散的能量为:

$$W_c = \oint F_d dx = \oint c\dot{x}^2 dt = c\omega B^2 \int_0^T \cos^2(\omega t - \varphi) d(\omega t) = c\pi\omega B^2 \quad (4)$$

式中: $c$ —阻尼系数, $\omega$ —固有频率, $B$ —最大振动位移。

由上面计算可知,通过对振动系统增加额外的阻尼能够耗散机械振动能量,可以有效地抑制振动系统的位移和速度,最终实现阻尼减振的目的。

#### 3.2 阻尼减振模拟仿真

该项目中,将部分管道系统简化为不计阻尼的质量块,该质量块同时受到外界激励力、弹簧力和阻尼力的共同作用,其简化模型如图4所示。

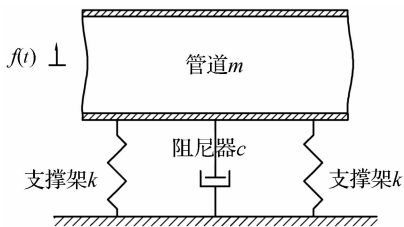


图4 受激励的管道振动系统

以管道系统某个方向的振动分析,按照牛顿运动定理可以得到安装阻尼器后管道系统振动微分方程为:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \cos\omega t \quad (5)$$

式中: $m$ —系统质量, $c$ —阻尼系数, $k$ —刚度。

公式(5)中,第1项为整个系统的惯性力;第2项为阻尼力;第3项为弹性力;第4项为外界激励力。

本研究运用有限元软件 Sap2000 依据管道系统的

实际参数进行一比一建模,并划分网格,在有限元模型上施加约束条件和简谐激振力,最后进行阻尼减振计算。通过对比模型中未设置阻尼器和设置阻尼器两种工况计算结果,可得出阻尼对振动的抑制效果。未设置阻尼器模型和设置阻尼器模型分别如图5、图6所示,在节点3 152和3 678之间每隔16 mm选取一个节点,共33个(如图5所示),从而计算出两种工况下管道模型中选取节点的振动速度对比图如图7所示。其中该项目中使用的是普通液体粘滞阻尼器(非线性粘滞阻尼器),阻尼系数为137 kN·s/m,阻尼指数为0.3,刚度取值为137 000 kN/m。

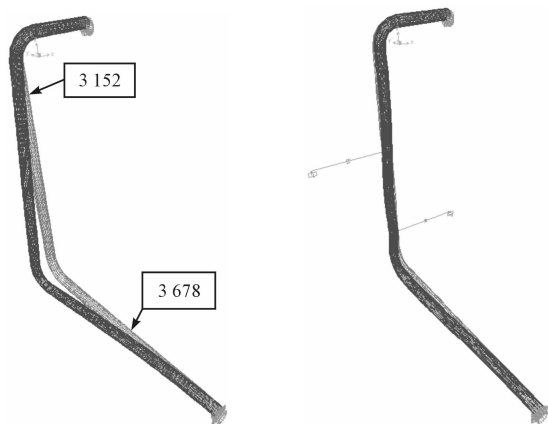


图5 管道系统无阻尼模型 图6 管道系统有阻尼模型

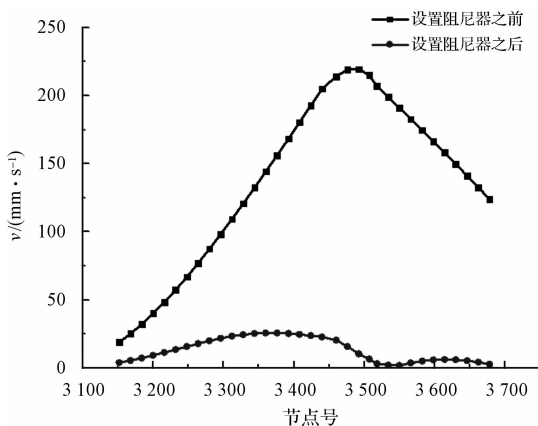


图7 管道模型设置阻尼器前、后振动速度对比图

管道模型设置阻尼器前、后振动速度对比图如图7所示,通过对管道系统设置额外的阻尼能够大幅度降低管道的振动。其中,未设置阻尼时管道最大振动速度为219.14 mm/s,设置阻尼后最大振动速度降到了15.84 mm/s,减振幅度达到了92.77%,阻尼对振动系统的减振效果非常显著。

### 4 管道阻尼减振方案及效果

管道系统的振动控制比较复杂,在确定减振改造方案时要综合考虑各种因素,处理好各类矛盾。例如加固

或增设管系的支撑点就能显著提高系统的刚度,从而改变振动特性。振动虽有降低但强固支承会导致管道系统局部应力过大出现再次振裂现象<sup>[9]</sup>。考虑到该机组必须在不停机且保证连续生产的情况下进行改造,故本研究运用管道阻尼减振技术,在适当位置安装粘滞阻尼器,降低管道系统的振动,消除了管道振动产生的安全隐患。同时阻尼器为柔性支撑,不改变原有系统的刚度,没有运动空程,其对低频振动减振效果非常显著<sup>[10]</sup>。

根据最终优化方案,本研究在管道振裂处的下面一段管道安装两个管道阻尼器,设计施工图如图 8 所示。上方阻尼器能够有效控制激振源弯头处的振动,下方阻尼器不仅能降低其附近弯头产生的振动,而且能够阻止振动能量向管道系统的其他薄弱区域传递,从而达到降低管道系统振动、保护管道结构的目的。

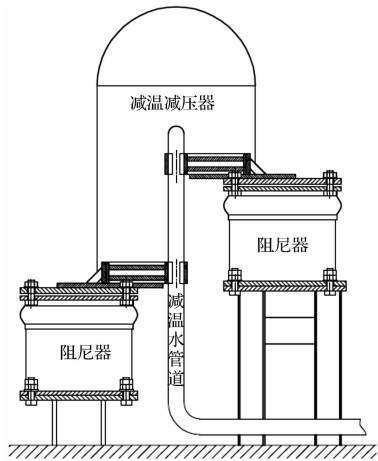


图 8 减温水管道阻尼器安装设计图

阻尼器安装完成之后,减温水管道的振动大幅度降低。改造之前机组在较低工作负荷(蒸汽流量为 80 t/h)时,振动速度已经超过了 200 mm/s,改造后在额定工作负荷(蒸汽流量为 200 t/h)下,各测点最大振动速度均不超过 18.8 mm/s,完全达到了火力发电厂汽水管道振动控制导则规定的要求,同时满足了生产和生活供热的要求。项目改造完成至今已近一年时间,蒸汽流量基本达到额定负荷 200 t/h,从未出现振动开裂现象,完全保证了机组连续安全、稳定地运行。

## 5 结束语

减温减压器减温水管道直径小且长度大,刚度较

小。较大的气流冲击遇到弯头、阀门等附件时会激起管道振动,从而引起管道系统共振。本研究通过运用 Sap2000 软件对管道进行模态分析,计算管道的固有频率,从而判断是否发生系统共振。笔者从能量耗散的理论角度分析阻尼减振技术,并运用 Sap2000 软件进行模拟仿真,说明阻尼对振动的抑制效果明显,也为阻尼器的安装提供可靠的依据。

本研究在不停机和不变管道结构的情况下选择最佳位置安装管道阻尼器,改造完成后,管道的振动速度大幅度减小,蒸汽流量基本达到额定负荷 200 t/h,最大速度由减振前的超量程(大于 199 mm/s)降低到 18.8 mm/s,完全达到了火力发电厂汽水管道振动控制导则规定的“最大峰值振动速度值不能超过 21.06 mm/s”的要求。

## 参考文献(References):

- [1] 侯志鹏. 减温减压器结构设计及实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学动力与能源工程学院, 2009.
- [2] 闫素英, 韩伟实. 减温减压器热动力学模型研究[J]. 能源技术, 2003, 24(6): 231-234.
- [3] 王 鹏, 曹 海, 于海东, 等. 托电 8 号炉主蒸汽管道振动治理[J]. 华北电力技术, 2009(21): 4-6.
- [4] 王立庆, 王 勇, 卢传贵, 等. 300 MW 机组主汽管道振动的原因分析及消除[J]. 东北电力大学学报, 2012, 32(6): 51-54.
- [5] 叶正强, 李爱群, 徐幼麟, 等. 工程结构粘滞流体阻尼器减振新技术及其应用[J]. 东南大学学报, 2002, 32(3): 466-473.
- [6] 刘 明, 何立东, 裴正武, 等. 丁二烯换热器出口管道振动原因分析及阻尼减振技术研究[J]. 石油化工设备技术, 2012, 33(5): 20-23.
- [7] 杨国华, 李爱群, 程文灏, 等. 结构控震设计中流体阻尼器的指数选择与控制系统设计[J]. 工业建筑, 2003, 33(6): 3-6, 16.
- [8] 北京金土木软件技术有限公司, 中国建筑标准设计研究院. SAP2000 中文版使用指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006: 513-524.
- [9] 姜 杨, 何立东, 伍 伟, 等. 丙烷塔空冷器集管管道阻尼减振技术研究[J]. 石油化工设备技术, 2011, 32(2): 19-21, 24.
- [10] 唐沸涛, 何立东, 姜 杨, 等. 离心和往复压缩机管系振动及阻尼减振技术研究[J]. 化工设备与管道, 2009, 46(4): 33-35, 47.

[编辑: 张 翔]

## 本文引用格式:

胡 朋, 何立东, 张震坤, 等. 基于阻尼减振技术的热电厂减温减压器管道研究[J]. 机电工程, 2014, 31(1): 43-46.

HU Peng, HE Li-dong, ZHANG Zhen-kun, et al. Pipeline of pressure reducer and attemperator in a power plant based on vibration-damping technology[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(1): 43-46.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>