

火力发电厂四大管道偏差分析

王旭东, 王斌

引用本文:

王旭东, 王斌. 火力发电厂四大管道偏差分析[J]. 南方能源建设, 2022, 9(增刊1): 50-55.

WANG Xudong, WANG Bin. The Deviation Analysis of Four Major Pipes in Thermal Power Plant[J]. Southern Energy Construction, 2022, 9(增刊1): 50-55.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

350 MW机组主厂房布置优化分析

Optimizing and Analysis for Main Power Building Arrangement of Power Plant with 350 MW Units

南方能源建设. 2015, 2(1): 55-61 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.011>

火电厂主要蒸汽管道压降算法研究

Research on Calculation of Pressure Drop in Major Steam Pipe of Thermal Power Plant

南方能源建设. 2018, 5(1): 63-67,72 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.010>

火力发电厂改造项目的设计管理研究

Research on Design Management for Renovation Project in Thermal Power Plant

南方能源建设. 2017, 4(z1): 205-208,215 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.039>

总图精细化设计在山区火电厂的应用

Application of Fine General Layout Design in Mountainous Area Power Plant

南方能源建设. 2015, 2(z1): 131-134 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.029>

太阳能热发电厂厂用电率计算方法分析

Analysis of Calculation Method for Solar Thermal Power Plant Auxiliary Power Rate

南方能源建设. 2017, 4(4): 29-33 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.006>

火力发电厂四大管道偏差分析

王旭东[✉], 王斌

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021)

摘要: [目的] 四大管道的设计、制造、安装环节均存在偏差, 这些偏差在以往工程建设过程中并未造成很大影响, 往往容易被忽视。随着布置的优化, 当各种偏差趋势一致时有可能会影响管道的正常允许, 需要对此进行研究。[方法] 通过从设计角度梳理理论计算和实际运行之间的各种常见的偏差, 并且结合以往工程案例对偏差的影响过程进行了分析。[结果] 分析结果表明, 当这些被忽视的常见偏差叠加后, 有可能影响机组的正常运行。[结论] 理论计算和实际运行之间的偏差是无法完全避免的, 需要在设计、制造、安装环节予以足够重视, 及时沟通反馈, 控制偏差的影响。

关键词: 四大管道; 设计; 制造; 安装; 偏差; 分析

中图分类号: TM611; TM621.7+2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)S1-0050-06

开放科学(资源服务)二维码:



The Deviation Analysis of Four Major Pipes in Thermal Power Plant

WANG Xudong[✉], WANG Bin

(Southwest Electric Power Design Institute of China Power Engineering Consulting Group Corporation,
Chengdu 610021, Sichuan, China)

Abstract: [Introduction] There are deviations in the design, manufacture and installation of the four major pipes building. These deviations have not caused great influence in the previous projects construction process, and are often easily ignored. With the optimization of the layout, the normal operating of the pipeline may be affected when various deviation trends are consistent, which needs to be studied. [Method] We analyzed various common deviations between theoretical calculation and practical operation from the point of view of design, and we analyzed the influencing process of deviations in previous project. [Result] The analysis results show that these neglected common deviations may affect the normal operation of the unit. [Conclusion] The deviation between theoretical calculation and practical operation cannot be completely avoided, so it is necessary to pay enough attention to design, manufacturing and installation, feedback timely, control the impact of the deviation.

Key words: four major pipes; design; manufacture; installation; deviation; analysis

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

火力发电厂四大管道包括: 主蒸汽管道、高温再热蒸汽管道、低温再热蒸汽管道及高压给水管道的^[1]。四大管道运行参数高、对设备推力力矩大、管道材料昂贵, 因此在设计过程中一直被高度重视。设计单位采取了各种措施对其设计质量进行全方位控制, 包括了: 采用全球广泛应用的商用应力分析软件 CAESAR II; 安排有经验、质量好的人员参与设计、评审、校核; 反复与设备厂家确认相

关接口信息; 采用小偏差的管材等。这套措施基本涵盖了四大管道配管加工前的所有质量控制环节, 通过长期的工程实践检验证明是行之有效的。

近年来随着四大管道优化^[2], 部分工程开始暴露出管道实际运行状态与理论计算之间存在较大偏差的问题。以往的四大管道布置柔软、热补偿能力强、二次应力水平低, 偏差对管道和设备正常运行影响较小; 而布置优化后四大管道柔性较差^[3]、热

补偿能力减弱, 需要设置更多的限位支架和刚性吊架来分配热膨胀, 以减少管道对设备的推力和力矩, 同样偏差所造成的影响较以往会增大, 各种偏差叠加后甚至会影响到管道和设备的正常运行, 使管道出现变形、下沉、热膨胀异常等问题^[4]。

1 偏差来源

四大管道实际运行和理论计算的偏差主要来自三个方面: 设计计算偏差、材料制造偏差和现场安装偏差^[5]。

1.1 设计计算偏差

设计采用的管道应力分析软件是将管道简化为杆单元来进行有限元分析, 支吊架对管道的作用则一般会简化为对杆单元的线性约束^[6]。这样的简化

符合规程要求, 也能满足工程级的精度需要, 但与现场实际情况存在一定偏差。

1.1.1 限位支架模型偏差

限位支架一般简化为对管道施加正、负向双向线性约束的模型, 理论计算时任何工况下限位支架作用方向上的位移均为0 mm。常规限位支架结构是在管道表面焊接卡块, 将管部放置在卡块之间, 管部通过拉杆或型钢与主厂房梁柱连接, 通过管部限制卡块运动来限制管道热位移。为了便于安装, 卡块之间的距离要略大于管部宽度, 安装后卡块和管部之间存在间隙; 而管道热膨胀量远大于管部热膨胀量, 热态时间隙总量还会加大, 最终导致该限位支架只能单向起效。热膨胀后的限位支架如图1所示, 限位支架只能限制管道-Y向位移为0 mm。

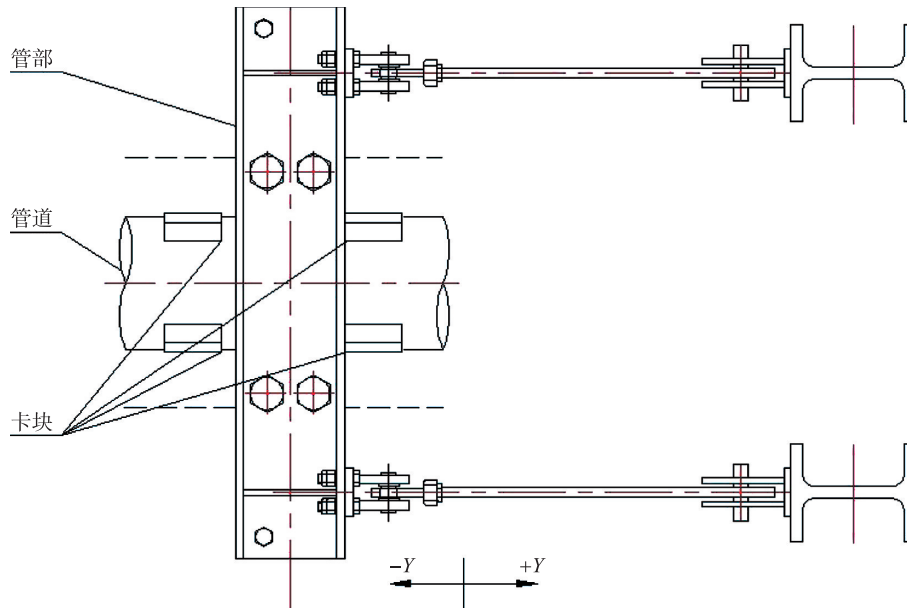


图1 热膨胀后的限位支架

Fig. 1 Limit support after thermal expansion

1.1.2 吊架的水平分力偏差

按照规范要求, 在任何工况下管道吊杆拉杆可活动部分与垂线的夹角, 刚性吊架不得大于 3° , 弹性吊架不得大于 4° , 否则应偏装或装设滚动装置。如图2所示, 吊架的吊杆偏斜角过大, 将对管道产生附加轴向载荷或弯矩, 对管道端点、设备接口间接产生附加力和附加力矩, 不利于管道和设备的正常运行^[7]。

正常情况下四大管道的吊架设计都应该满足偏斜后的夹角要求, 单个吊架偏转以后的水平分力也

较小, 因此在理论计算时一般不考虑吊架拉杆偏转的水平分力。但随着主厂房布置优化^[8], 管道与其吊点之间的高度差缩小, 吊架拉杆偏斜后的夹角一般都接近规范上限; 而主汽、热段、冷段管道在汽机房内的热膨胀均以汽轮机中心向锅炉膨胀, 因此其汽机房内的所有吊架拉杆热态偏转后的水平力方向基本是一致的, 所有吊架水平力叠加后数量不小; 此外上述管道在除氧间内垂直立管上设置的刚性吊架承担了对立管的垂直热胀荷载, 同样偏转角度下水平分力也更大。

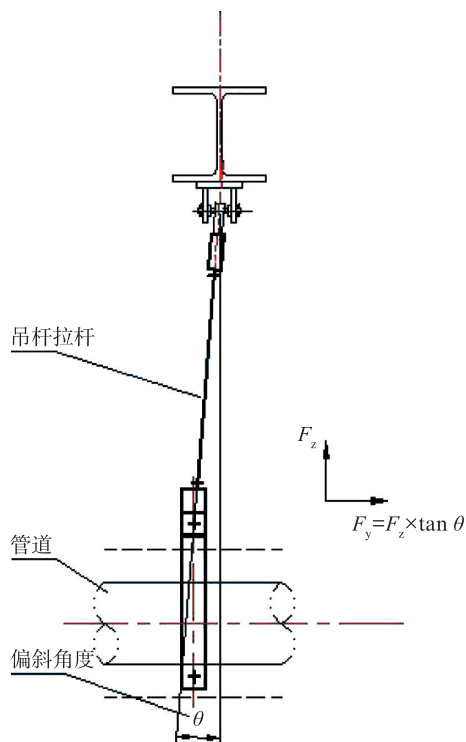


图2 吊架拉杆偏转的水平分力

Fig. 2 Horizontal component after deflection of hanger rod

1.1.3 轴向限位支架的力矩偏差

理论计算模型往往假定轴向限位支架作用在管道中心，但火电厂典型设计的轴向限位支架作用点与管道中心有一定的距离（如XD2的管部型式如图3所示）^[9]，当采用此类轴向限位支架结构时，其产生的力矩容易被忽略。

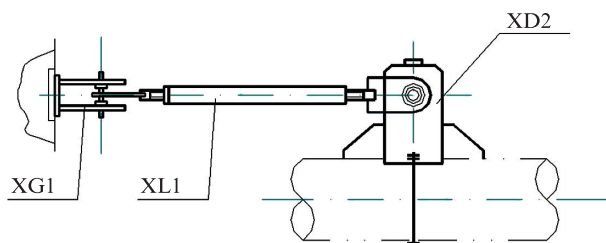


图3 典型设计的XD2限位支架

Fig. 3 XD2 limit support of typical design

1.2 材料制造偏差

设计单位的四大管道管材、管件和支吊架技术规范书中一般都提出了偏差的限制，如果在后续配管及安装过程中发现偏差过大，设计单位需要重新核算并做出相应的修改^[10]。

1.2.1 管材规格偏差

主蒸汽和高温再热蒸汽管道壁厚较厚，设计

单位一般推荐采用精加工内径管，内径和壁厚无负偏差，正偏差一般也不超过4 mm，如能严格按照技术规范书供货，一般不会出现质量问题。但在实际执行过程中，各方往往只关注管材的内径和壁厚无负偏差，忽略了对壁厚正偏差的控制，导致到货管道壁厚过大，造成整个管系刚度与理论计算偏差过大^[11]，设计的支吊架承载能力不足的情况。

主机厂供货范围内的管道一般都采用偏差更大的外径无缝管，其供货范围内的管道应力计算和支吊架选型一般是由设计单位整体负责。由于单个项目数量较少，主机厂大多采用打捆招标以降低成本，采用就高不就低的规格代用原则，最终的采购规格也很少通知设计单位，因此其实际到货与理论计算的偏差更大。

1.2.2 管件制造偏差

四大管道管件一般采用热压或锻制。不同项目之间即使管道规格一样，管件的外形、重量、刚度等参数也不尽相同，甚至存在较大差异。在工程建设过程中，由于订货滞后于设计、厂家资料未及时提交、设计过程管控等各种原因，均可能导致管件的到货与理论计算之间存在偏差。

某350 MW超临界机组高温再热蒸汽管道由于锻制三通实际重量与理论计算偏差过大就出现过问题。机组进入试运行前的暖管过程中发现汽机房部分吊架弹簧呈过度压缩状态，越靠近锻制三通处垂直位移偏离值越大，偏差最大的设计值为68 mm，实测值为120 mm。由于位移异常的弹簧支吊架位置相对集中，通过分析现场数据、核对装箱资料、复核设计数据，设计单位很快确认了问题原因：管道垂直位移异常原因是由于两个锻制三通的到货重量比理论计算输入值多了24 t左右，管道实际自重远远大于设计重量。通过理论计算同时也暴露出问题的严重性，如不及时处置，管道继续升温至设计温度后管道一次应力已经超过许用值30%；管道对汽轮机中压缸接口推力也远远超过了允许值，对汽轮机机组试运行期间的汽缸稳定性造成了很大影响，机组振动指标难以保证；试运行期间按电网要求需进行的机组满负荷条件下甩负荷试验，该工况下阀门快速关闭的汽锤力^[12]极有可能会让本已脆弱的管道系统永久损坏。

1.2.3 支吊架制造偏差

与管材和管件相比较, 建设单位对四大管道支吊架的不够重视, 而国内支吊架制造厂家的加工水平良莠不齐, 现场到货的支吊架容易出现恒力弹簧吊架承载异常^[13]、变力弹簧刚度偏差过大^[14]、管夹强度不足^[15]、液压阻尼器卡死等质量问题, 从而影响管道的正常运行。

1.3 现场安装偏差

设计单位按照国内的管道和支吊架的设计规范进行设计, 设计文件中不会专门针对安装精度提出特殊要求, 施工单位一般是根据对应的施工验收规范以及经验来控制安装精度。由于四大管道普遍采用工厂化配管, 现场安装偏差主要集中在支吊架部分。

1) 刚性吊架的安装标高偏差: 如果施工单位在安装过程中没有准确定位, 当安装标高出现偏差时, 刚性吊架实际承重值与设计值会出现较大的偏差。

2) 弹簧安装值偏差: 弹簧未调整到位就割掉会导致弹簧安装荷载与设计值不一致; 如果未拔出

整定销, 则弹簧吊架的作用效果与刚性吊架一样^[16], 管道投运后存在非常大的安全隐患。

3) 由于安装原因造成支吊架滑动或转动不畅: 如果摩擦面装配不平整等原因, 会导致管道热态位移不到位, 管道也承受了理论计算以外的推力。

4) 限位支架安装间隙偏差: 限位支架卡块与管部之间的间隙预留过大, 甚至在限位方向上也预留间隙, 导致导向或限位支架失效。

5) 支吊架未按设计要求偏装: 支吊架拉杆未偏装或偏装方向错误会导致支吊架承载异常, 对管系施加预期外的水平力。

2 典型案例

理论计算和实际运行之间偏差不可避免, 当各种偏差的作用效果趋势一致且累加到一定数量级时, 就可能影响设备和管道的正常运行。某项目汽轮机高压缸稳定性问题的分析过程就很有参考意义, 其高压缸及其所连接管道如图4所示。

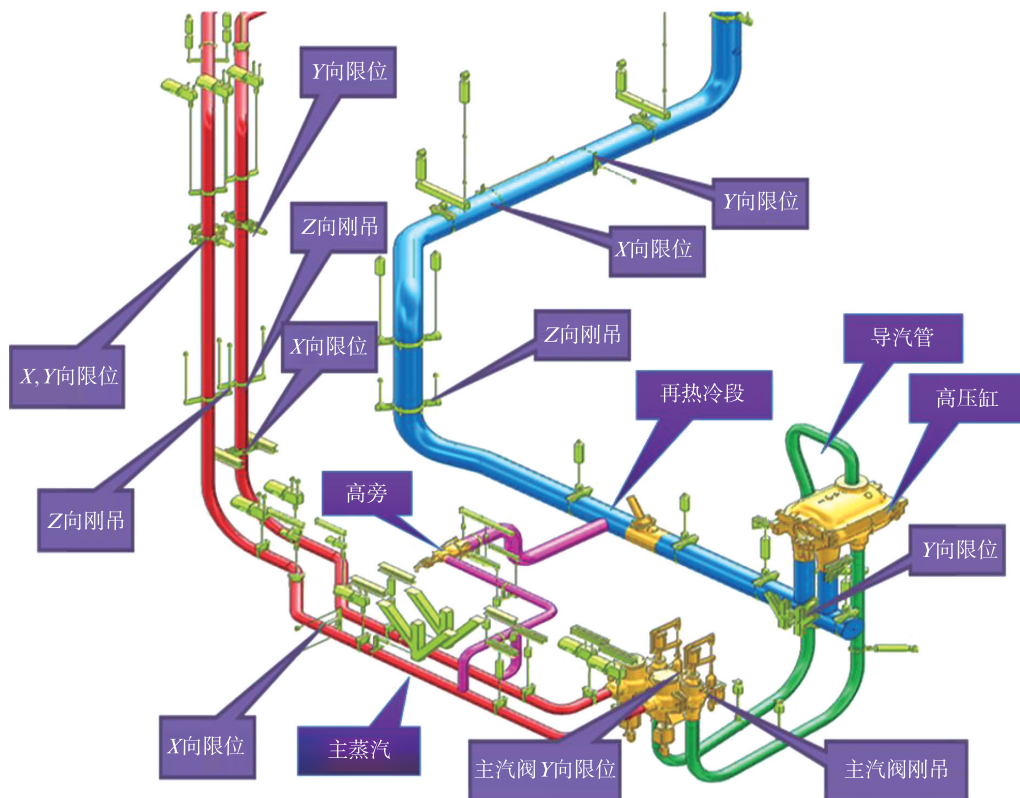


图4 高压缸及其连接管道示意图

Fig. 4 Schematic diagram of HP cylinder and its connecting pipe

该项目汽轮机高压缸总重约160 t,由左前,左后,右前,右后四个猫爪支撑,机组在启停过程中高压缸右后侧猫爪局部有上抬趋势,带负荷和冷态猫爪均能坐实。

按汽轮机厂要求,对高压缸稳定性校验是将所有管道外力折算到汽缸中心的合力矩满足: $M_x \leq 380 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $M_y \leq 980 \text{ kN}\cdot\text{m}$,其中 M_x 为使左右侧同侧猫爪上抬, M_y 为使前后侧同侧猫爪上抬。另外蒸汽进入高压缸做功会产生一个正X向力矩(+ M_x)作用于高压缸,该力矩随机组负荷升高而增大,最大约200 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

按设计计算值,管道作用于高压缸合力矩为冷态 $M_x=15.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $M_y=428.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$,热态 $M_x=61.6 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $M_y=706.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$,均满足高压缸稳定性要求。由于管道已全部安装就位并保温,难以通过外部测量排查原因,分析和计算验证过程如下:

偏差(1):汽轮机厂配供的导汽管采用外径管,设计规格为 $\phi 560 \times 110 \text{ mm}$,实际到货规格为 $\phi 596 \times 126 \text{ mm}$,但所配供恒力弹簧均按原设计供货,未达到承载要求。由于左侧导汽管较长,会增大 $-M_x$ 。考虑此因素后,热态时管道作用于高压缸合力矩为 $M_x=78.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $M_y=726.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$;

偏差(2):冷段管道Y向限位支架位于汽轮机中心线上,其结构与图4的XZ3型式类似,管道运行中Y向限位支架实际受力与理论计算有偏差。叠加偏差(1)计算,热态时管道作用于高压缸合力矩为 $M_x=274.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $M_y=723.4 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

偏差(3):理论计算时未计入管道的吊架偏转后的水平分力,尤其是主汽阀刚吊承载较大,其水平力影响更大。与偏差(1)和偏差(2)叠加后计算,热态时管道作用于高压缸合力矩为 $M_x=301.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $M_y=1127.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

通过上述计算可见,三项偏差的影响叠加后,热态时管道作用于高压缸Y向合力矩已经超标,X向合力矩接近限值,两个方向合力矩叠加后的作用效果正好使右后侧猫爪有上抬趋势。而当机组负荷逐渐上升后,蒸汽做功产生的力矩抵消了部分管道所产生的合力矩,从而使右后侧猫爪回座。

3 结 论

虽然理论计算和实际运行之间的偏差无法完全

避免,但如果在设计、制造、安装等环节予以足够重视,及时沟通反馈,偏差的影响是可以控制的,具体措施包括:

1)支吊架的设计选型应注意其能否正确实现应力计算的要求,对于新的主厂房布置方案应对关键的限位支架进行安装偏差的敏感性分析,并据此对安装精度提出明确的要求。

2)督促中标厂家及时提供到货的管道、管件、支吊架资料,尤其是由主机厂配供的管道、管件和支吊架,以便能及时复核,重新评估管系状态和设备接口受力情况。

3)加强四大管道安装过程的管理,尤其是立管刚吊安装标高检查、管系最后一道焊口的碰口状态检查、弹簧整定销拔出过程监督等,并督促施工单位做好支吊架的调整记录。对于安装过程中出现的异常情况,应及时反馈设计单位,及时处理。

参考文献:

- [1] 陆江云. 火力发电厂四大管道材料的选择及配管[J]. 红水河, 2011, 30(5): 78-80+114. DOI: 10.3969/j.issn.1001-408X.2011.05.020.
LU J Y. Material selection and piping of four pipelines in thermal power plant [J]. Hongshui River, 2011, 30(5): 78-80+114. DOI: 10.3969/j.issn.1001-408X.2011.05.020.
- [2] 郑赞. F级改进型燃机联合循环电站主蒸汽系统设计优化[J]. 南方能源建设, 2015, 2(1): 46-50. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.009.
ZHENG Y. Pressure drop research and design optimization of main steam system in advanced F class gas-steam combined cycle power plants [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(1): 46-50. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.009.
- [3] 温志华, 董雷, 付金良. 再热蒸汽热段管道支吊架的优化调整[J]. 华电技术, 2009, 31(4): 44-46+66. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1951.2009.04.014.
WEN Z H, DONG L, FU J L. Optimal adjustment of supports and hangers of hot reheat steam pipe [J]. Huadian Technology, 2009, 31(4): 44-46+66. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1951.2009.04.014.
- [4] 安慧, 安付立, 韩光辉, 等. 发电机组管道支吊架常见问题分析及处理[J]. 热力发电, 2012, 41(11): 80-82+73. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3364.2012.11.080.
AN H, AN F L, HAN G H, et al. Common problems and case study for pipe supports and hangers in power generating units [J]. Thermal Power Generation, 2012, 41(11): 80-82+73. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3364.2012.11.080.
- [5] 王少宁. 火电厂大机组四大管道设计计算中的若干重要问题

- [J]. 现代电力, 2002, 19(3): 8-14. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2322.2002.03.002.
- WANG S N. Important factors in the HTHP pipe design and calculation in power plant [J]. Modern Electric Power, 2002, 19(3): 8-14. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2322.2002.03.002.
- [6] 李靖. 压力管道应力分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(10): 151-152. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4076.2018.10.072.
- LI J. Stress analysis of pressure pipeline [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018, 38(10): 151-152. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4076.2018.10.072.
- [7] 廖一, 孙中元, 唐璐, 等. 某在建超临界机组四大管道支吊架检查 [J]. 华北电力技术, 2011(7): 26-28+48. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9171.2011.07.007.
- LIAO Y, SUN Z Y, TANG L, et al. Maintenance of HTHP piping support and hanger in super critical unit under construction [J]. North China Electric Power, 2011(7): 26-28+48. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9171.2011.07.007.
- [8] 彭兴虎. 350 MW 机组主厂房布置优化分析 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(1): 55-61. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.011.
- PENG X H. Optimizing and analysis for main power building arrangement of power plant with 350 MW units [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(1): 55-61. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.011.
- [9] 能源部西北电力设计院. 火力发电厂汽水管道支吊架设计手册—限位装置 [Z]. 西安: 能源部西北电力设计院, 1993.
- Northwest Power Design Institute, Department of Energy. Thermal power plant steam pipe support hanger design manual-limit device [Z]. Xi'an: Northwest Electric Power Design Institute, Ministry of Energy, 1993
- [10] 田晓, 肖国华, 李益民, 等. 超超临界机组四大管道工厂化配制过程的常见质量问题及控制 [J]. 电力建设, 2011, 32(12): 100-104. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2011.12.023.
- TIAN X, XIAO G H, LI Y M, et al. Common quality problems and control of factory preparation for four major pipes in ultra supercritical thermal power units [J]. Electric Power Construction, 2011, 32(12): 100-104. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2011.12.023.
- [11] 鲁皓. 弯头壁厚超标对管道设计的影响分析 [J]. 湖北电力, 2011, 35(3): 65-67. DOI: 10.3969/j.issn.1006-3986.2011.03.029.
- LU H. The influence analysis of the over-thick elbow wall on pipe design [J]. Hubei Electric Power, 2011, 35(3): 65-67. DOI: 10.3969/j.issn.1006-3986.2011.03.029.
- [12] 李航, 席琛. 核电机组常规岛主蒸汽管道汽锤计算工况讨论及应用 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(增刊1): 51-54. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.012.
- LI H, XI C. Different conditions analysis on steam hammer calculation of main steam system in nuclear power plants conventional island [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3 (Supp. 1): 51-54. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.012.
- [13] 田成川, 闵玲春, 徐云启. 某电厂 350 MW 机组再热蒸汽管道下沉治理 [J]. 东北电力技术, 2011, 32(8): 30-32. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7913.2011.08.010.
- TIAN C C, MIN L C, XU Y Q. Treatment of reheater steam pipe subsidence for 350 MW units [J]. Northeast Electric Power Technology, 2011, 32(8): 30-32. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7913.2011.08.010.
- [14] 郭延军. 火力发电厂在役管道支吊架失效分析 [J]. 热力发电, 2008, 37(2): 84-86. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3364.2008.02.022.
- GUO Y J. Failure analysis of pipe supports and hangers in service of thermal power plants [J]. Thermal Power Generation, 2008, 37(2): 84-86. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3364.2008.02.022.
- [15] 侯世勇, 阎风奎, 郑旭升, 等. 600 MW 机组热段管道支吊架变形原因分析及处理 [J]. 内蒙古电力技术, 2009, 27(6): 59-60. DOI: 10.3969/j.issn.1008-6218.2009.06.022.
- HOU S Y, YAN F K, ZHENG X S, et al. Cause analysis and treatment of 600 MW units reheat pipe hanger curving [J]. Inner Mongolia Electric Power, 2009, 27(6): 59-60. DOI: 10.3969/j.issn.1008-6218.2009.06.022.
- [16] 张抒明, 杜建英. 大港发电厂 3 号机组管道支吊架检查与调整 [J]. 电力安全技术, 2003, 5(12): 39-40. DOI: 10.3969/j.issn.1008-6226.2003.12.024.
- ZHANG S M, DU J Y. Checking and adjusting of piping support in Dagang power plant #3 unit [J]. Electric Safety Technology, 2003, 5(12): 39-40. DOI: 10.3969/j.issn.1008-6226.2003.12.024.

作者简介:



王旭东

王旭东 (通信作者)

1976-, 男, 四川仁寿人, 高级工程师, 学士, 电厂热能动力工程专业, 从事火力发电厂热机专业的设计和技术管理工作 (e-mail) wxd@swepdi.com。

(责任编辑 李辉)