

百万千瓦核电机组凝结水再循环管道振动处理

王树义, 张帆, 王皓儒

(中广核工程有限公司, 广东 深圳 518124)

摘要:介绍了红沿河核电站1号机组及阳江核电站1号机组发生的凝结水系统再循环管线振动发生的现象及处理过程:红沿河核电1号机凝结水系统再循环管道在调试期间发生振动,再循环阀门阀杆断裂,通过振源分析,确认再循环阀门选型不合适造成阀后汽蚀,通过更改合适的阀门类型解决;阳江核电1号机组调试过程中发生的凝结水再循环管道振动情况,通过振源分析,确认系统运行超出了设计工况,造成阀后流体闪蒸,通过增加孔板解决。

关键词:凝结水系统;再循环管道;振动;孔板

中图分类号:TK223 文献标识码:B

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.01.021

引言

凝结水系统的功能是与冷凝器抽真空系统和循环水系统一起为汽轮机建立和维持真空,将凝结水从冷凝器热井中抽出,升压后经低压加热器送到除氧器。在机组启停及低负荷运行期间,凝结水系统流量较小,用调阀调节凝结水再循环流量,防止凝结水在凝泵内发生汽化,并使轴封漏气在轴封加热器内正常凝结。本文介绍了红沿河核电站1号机组及阳江核电站1号机组发生的凝结水系统再循环管道发生振动的现象及处理过程。

1 红沿河核电站1号机组

1.1 系统情况

红沿河1号机凝结水再循环管道、阀门及支吊架布置如图1所示。

根据对红沿河项目1号机组凝结水再循环阀门(阀门编码 CEX024VL)本体、执行机构以及管道的振动测试数据可知,流体在阀门前的振动较小,在阀门处和阀后管道处是振动最大的部位,可以判定系统振动源为阀门后,而且振动最大值根据调阀的开度增大而增大。这说明流体经过调阀时很可能是发

生了汽蚀或闪蒸现象。汽蚀是液体汽化后形成的气泡又破裂成液态,引起阀门内部部件严重损坏;闪蒸是流体汽化后形成气液两相共存,对阀门和管道产生很大的冲击力,这两种现象均会引起管路剧烈振动。

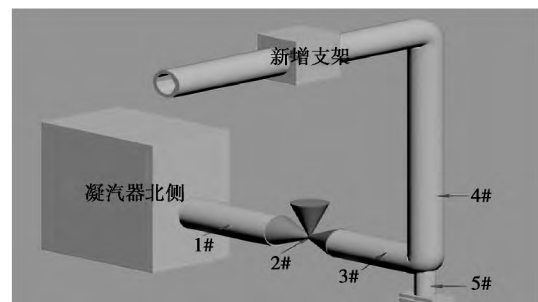


图1 再循环管道布置示意图

Fig. 1 The schematic diagram of the recirculation piping layout

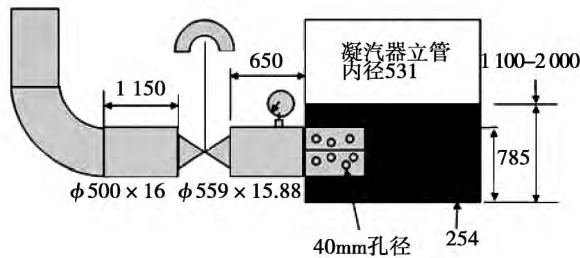
红沿河1号机凝结水再循环调阀选用英国WEIR公司生产的阀门,此阀门为气动活塞式调节阀,2级降压,阀门通径DN250 mm,阀门总高度为2.8 m左右。调阀前管道规格为 $\Phi 500 \times 16$ mm,材质为20Cr⁺;阀后管道规格为 $\Phi 559 \times 15.88$ mm,材质为A335P22,其系统简图如图2所示。

查找凝汽器接口数据表,多孔管入口压力为0.2 MPa,此数据作为调节阀的阀后压力参数用于阀门选型设计。管道接口凝汽器是真空压力,那么0.2 MPa的压降完全是由凝汽器接口处的多孔管处提供。根据图2所示,多孔管由管道侧壁开设有168个直径为 $\Phi 40$ mm小孔的 $\Phi 559$ mm管道经端部封堵形成,多孔管通流总面积为 $168 \times 3.14 \times 20^2 = 211\,008$ mm²。而 $\Phi 559 \times 15.88$ mm管道通流面积为 $3.14 \times 263.62^2 = 218\,215$ mm²,这说明凝汽器入口的多孔管通流面积与管道通流面积相近,没有进

收稿日期:2015-01-13; 修订日期:2015-04-02

作者简介:王树义(1979-),男,河北邢台人,中广核工程有限公司高级工程师。

行截流,说明起到消能、降压作用的多孔管并没有起到降压的作用,经核算多孔管的实际压降效果仅为 0.002 MPa,远低于设计要求值 0.2 MPa。



注: 正常运行期间阀门出口保持浸没在凝结水中

图 2 凝结水再循环阀门系统简图(mm)

Fig. 2 The sketch map of the condensation water in the recirculation piping system(mm)

参考图 3 的阀门压降特性曲线可知,每一级减压过程中,都有一个压力下降和一个压力恢复过程,即减压过程中的最低压力是低于阀门出口压力的。在减压过程中,如有管线介质压力低于阀门出口压力,介质开始闪蒸为汽水两相流,故而引起气蚀,造成管道系统的剧烈振动并伴有汽蚀噪音。

同时,阀门供应商根据设计接口数据选择了较小的口径(DN250) 的 2 级降压阀笼调阀,其降压能力刚好能满足阀后压力 0.2 MPa 的要求,设计余度偏小,阀内流体流速偏大。在实际工况偏离设计条件后,即阀后系统压力达不到 0.2 MPa 时,甚至阀门在小开度(30%) 情况下即发生了汽蚀,随着阀门开度逐渐增大,流量增大,由于汽蚀条件并未消除,因此出现了阀门开度越大,振动越严重的现象。

1.2 振动处理

由于调阀的原设计是按照 0.2 MPa 的阀后设计压力设计的,因此可以通过尝试增加截流孔板,提高阀门后的背压至 0.2 MPa,这样阀门即可按照原设计工况进行运行。按照正常工况下流量 272.4 kg/s、0.2 MPa 压降来进行选型计算,需要选用 168 mm 孔径的孔板。

此外,原管道在阀门位置并没有限位支架。为减小阀体的振动,本次改造在阀门进出口管道位置分别增加了限位支架。临时方案改造完毕后,现场进行了振动测试,振动较小,符合要求。但现场反馈改造后孔板后噪音较大,怀疑孔板后发生了汽蚀。

经过讨论分析并查看孔板计算书发现,由于增加了孔板,提高了阀后的背压,使得原先发生在阀门内的汽蚀转移到了孔板处。由于孔板后管道离凝汽器接口只有 300 mm 的距离,一边是限位支架,一边是凝汽器接口,故限制了这部分管道的振动。临时方案实施的同时对 CEX024VL 阀门进行了解体检查,发现阀笼外表面相对粗糙,能看到微小的小坑,有汽蚀现象。采取临时方案后阀门管道振动情况得到缓解,在阀门开度较大的情况下阀后管道依然存在较大的汽蚀噪音。增加截流孔板后虽然阀门的振动问题得到了解决,但是汽蚀噪音问题并没有解决,并没有从根本上解决汽蚀的问题。

由于新采购阀门的周期比较长,而增加孔板的临时方案噪音过大,因而挪用其它项目的阀门来代替红沿河的阀门。通过比对阳江项目同位置的阀门,发现管道上下游的设计参数与红沿河项目几乎一致,而且阳江项目阀门为 DN300 的通路,阀笼为 3 级降压的防汽蚀阀笼,在避免发生汽蚀方面都强于红沿河原有阀门。阳江 CEX024VL 阀门其工作特性比普通 3 层阀笼在减压段和压力恢复段的弧度更平滑,能有效地防止阀门中的介质先汽化、再汽蚀的现象,其阀门压力特性如图 3 所示。

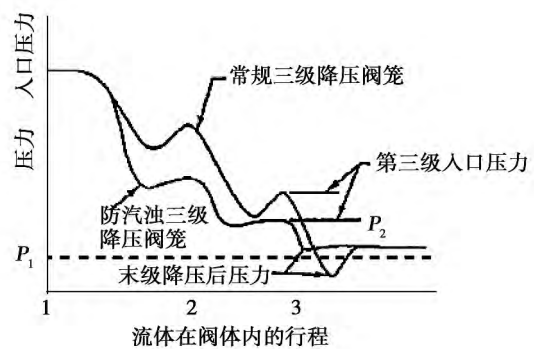


图 3 阀门压降特性图

Fig. 3 The characteristic diagram of valve pressure drop

由图 3 可知, FISHER 公司的防汽蚀阀笼与传统的 3 级降压阀笼在压力下降与恢复时曲线更加平滑, 3 级降压每一级都不超过临界压力, 每个压力降的最低值均不低于饱和压力值。证明换此阀门后, 不会发生汽蚀和闪蒸现象。2013 年 5 月 23 日, 红沿河 1 号机组 CEX024VL 更换阀门改造完毕, 改造后测振合格、噪音消除。

2 阳江 1 号机凝结水系统

2.1 系统情况

阳江核电汽轮发电机组及凝汽器采用西门子技术与红沿河 1 号机东方汽轮机组有较大差别,导致阳江核电凝结水再循环管线与凝汽器接口布置发生了较大变化。再循环管线不是与凝汽器直接相连接,而是先回到凝汽器立管(该立管同时接受其它系统疏水),通过立管再回至凝汽器。2014 年 1 月 4 日和 2014 年 1 月 14 日测得的 CEX024VL 阀门在 25% 和 51% 开度的振动数据对应的工况是:2 台凝泵运行,凝泵出口压力基本在 2.4 - 2.5 MPa 之间,凝汽器真空为 2.04 - 2.08 kPa 之间。CEX024VL 阀门下游管道振动具体情况:

(1) 再循环阀门 CEX024VL 开度越大振动越大;

(2) 再循环阀门开度一定情况下,凝汽器有无真空的振动情况相差不多;

(3) 再循环阀门在 20% 以上开度振动明显;

(4) 再循环阀门处在开度一定的情况下,瞬时强烈振动会不断发生,像铁锤敲打的声音;

2.2 振动处理

根据凝泵厂家提供的凝结水泵性能试验报告,凝泵扬程整体与设计值相比偏高,从而导致 CEX024VL 阀门的入口压力相应提高,阀门进出口的实际压差高于设计值。但是据现场运行实际测量,泵出口压力与设计值相符,阀门选型参数与实际运行工况吻合,阀后管道振动可排除凝结水泵扬程偏高所致。

现场测试发现,阀后管道是振动最大部位,可以判定系统振动源为阀门后,而且振动最大值根据调节阀的开度增大而增大。检查阀门本体,未发现有明显的汽蚀部位。进一步检查发现,阀后管道受制于现场空间布置,管道长度未达到设计要求而直接接入立管。说明流体经过阀门后压降太快,导致闪蒸从而引起管道振动增大。

根据现场布置情况,再循环阀下游管道的直管段长度有限,考虑在再循环阀下游管道的三通前后分别增加一个装设调试孔板的法兰组件,根据 DL/T 5054 的水管道孔板计算公式,结合阀门选型参数计

算了 2 组不同压差的孔板尺寸,孔板参数如表 1 所示。

表 1 孔板参数

Tab. 1 Orifice plate parameters

参 数	多孔孔板 1	多孔孔板 2
通过孔板的介质设计流量/ $t \cdot h^{-1}$	980	980
流量裕量	1.3	1.3
孔板前介质密度/ $kg \cdot m^{-3}$	993.7	993.7
孔板前压力/MPa	0.12	0.06
孔板前介质温度/ $^{\circ}C$	36	36
孔板后压力/MPa	0.0058	0.0058
孔板前后压差/MPa	0.1142	0.0542
孔数	36	61
孔径/mm	38	35
孔板厚度/mm	20	20

现场验证证明,安装孔板后振动降至合格值以下,现场没有异响,管道振动得到了有效治理

3 结 论

凝结水系统再循环管道振动原因复杂,一般可以从小流量调节阀选型、管道布置、支吊架设计方面入手,确定振源后根据具体情况采取不同措施。通过对红沿河 1 号机和阳江 1 号机振源分析,根据现场不同的布置情况给出了不同的治理方案,使问题得到圆满解决。

参考文献:

[1] 贾启芬,刘习军[译].机械振动[M].科学出版社,2002.
JIA Qi-fen,LIU Xi-jun. Schaum's outline of mechanical vibrations [M]. Sciencepress 2002

[2] W. T. 汤姆逊. 振动理论及其应用[M]. 北京:煤炭工业出版社,1980.
Thomson W T ,Dahleh M D. Theory of vibration with application [M]. Beijing: Coal Industry Press ,1980

[3] 李 岗,梁冰冰,殷海峰. 核电厂常规岛工艺管道振动改善研究[J]. 核动力工程 2012 33(6) :93 -95.
LI Gang ,LIANG Bing-bing ,YIN Hai-feng. Research on process pipe vibration improvements in NPP conventional island [J]. Nuclear power engineering 2012 33(6) :93 -95

(丛 敏 编 辑)

Hong-yu ,LI Chun-yu (Huarun Electric Power (Hezhou) Co. Ltd. ,Hezhou ,China ,Post Code: 542709) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(1) . - 117 - 123

A cold-state aerodynamic field test of a 1045 MW ultra-supercritical boiler (or its burners) burning bituminous coal with a high volatile content instead of lean coal was conducted with the air distribution and pulverized coal fineness in the burners being adjusted and a version for diluting and mixing the coal burned being determined. At the same time ,the hot-state temperature distribution in the furnace after the improvement was monitored. The operation results show that the test of the boiler burning bituminous coal with a high volatile content instead of lean coal has achieved a preliminary success. Up to date ,there emerge no signs of any combustion-caused damage to the burners and also no obvious signs of coking in the boiler ,thus ensuring relatively well the safe ,economic and stable operation of the boiler and enhancing the adaptability of the boiler and its milling system to the actual coal ranks. **Key words:** ultra-supercritical ,lean-coal-fired boiler ,bituminous coal with a high volatile content ,combustion adjustment

百万千瓦核电机组凝结水再循环管道振动处理 = **Disposal of the Vibration of a Condensate Water Recirculation Pipeline in a 1000 MW Nuclear Power Station** [刊 ,汉] WANG Shu-yi ,ZHANG Fan ,WANG Hao-tu (Zhong-guang Nuclear Power Engineering Co. Ltd. ,Shenzhen ,China ,Post Code: 518124) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(1) . - 124 - 126

The phenomena and treatment process of the vibration occurred to the recirculation pipelines in the condensate water system of the unit No. 1 in Hongyanhe Nuclear Power Station and Yangjiang Nuclear Power Station were described. Vibration occurred to the recirculation pipeline in the condensate water system of the unit No. 1 in Hongyanhe Nuclear Power Station during its commissioning period and the valve rod of the recirculation valve was broken. Through an analysis of the vibration sources ,it has been confirmed that the type selection of the circulation valve is not proper and cavitation after the valve results. It can be solved by replacing it with a new valve of a proper type. Vibration occurred to the condensate water recirculation pipeline during the commissioning of the unit No. 1 in Yangjiang Nuclear Power Station. Through an analysis of the vibration sources ,it has been confirmed that the condensate water system had been operating beyond its design operating condition ,thus resulting in a flashing of the fluid after the valve and it can be solved by additionally installing an orifice plate. **Key words:** condensate water system ,recirculation pipeline ,vibration ,orifice plate