

K156 机组高压调门门杆断裂原因分析及改进方案

钱老保

(南京华润热电有限公司, 江苏 南京 210039)

摘 要: 介绍了 K156 机组高调门断裂的原因及改进方案, 提高了机组的运行可靠性。

关键词: 高调门门杆断裂原因; 改进方案

1 概述

南京华润热电有限公司的二台 330MW 机组选用的是上海汽轮机厂生产的 K156 型汽轮机, 本汽轮机为新型的亚临界、单轴、一次中间再热, 双缸双排汽、凝汽式汽轮机, 主蒸汽由安装在汽轮机两侧蒸汽阀组进入汽轮机, 每个蒸汽阀组由一个主汽阀和两个调节阀组成, 主蒸汽由两个主汽阀 (TV) 和四个调节阀 (GV) 进入汽轮机高压缸, 再热蒸汽由两个开关型再热主汽阀及二个再热调节阀 (IV) 进入汽轮机中压缸。汽门布置方式如图 1 所示, 站在机头面对汽轮机, 左手为 TV1、GV1、GV3、IV1、RSV1, 右手为 TV2、GV2、GV4、IV2、RSV2。DCS 系统及 DEH 系统一体化配置, 均采用北京某公司的分散控制系统 SYMPHONY 系统。液压系统由以下四部分组成, 即液压伺服系统、高压遮断系统、低压透平油遮断系统和高压抗燃油供油系统; 在机组运行中投入了发电机、汽轮机、锅炉之间的横向保护联锁及系统协调控制。

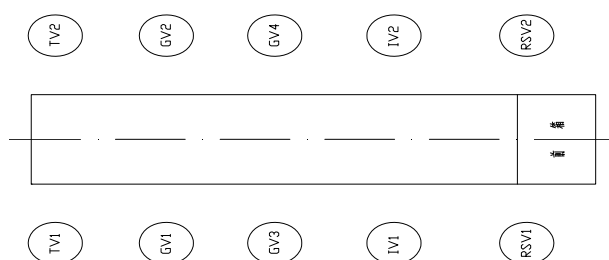


图 1 阀位图

2 存在的问题

(1) 2012 年 11 月 4 日 11:23 #4 机组正常运行中突然发现负荷从 226MW 突降至 192MW, 汽机光子牌发“汽机 TSI 参数超限”声光报警, 机组#1 轴承振动 X 向从 83um 突升至 129um, Y 向从 74um 突

升至 121um, 就地检查发现#4 高调门异常, 后经汽机、热控检查判断为#4 高调门门杆断裂。

(2) 2014 年 8 月 14 日 14:18 #4 机组正常运行中突然发现负荷从 219MW 突降至 169MW, 汽机解除协调, 手动给出开门指令, 将#2 高调门开启, 负荷重新带到 239 MW, 就地检查发现#1 高调门异常, 后经汽机、热控检查判断为#1 高调门门杆断裂。

(3) 由于在门杆突然断裂时, 机组单侧进汽量断崖式减少, 对整个汽轮机轴系影响较大, 引发各轴瓦振动、温度超标, 给机组的安全运行带来极大的威胁。经过与同类型同样的控制系统的电厂联系交流, 亦出现了同样的问题。

3 原因分析

3.1 蝶阀不稳定

如图 2 所示, 汽轮机的升降负荷主要靠高压调节阀的开度来调节, 而汽轮机转速的稳定主要由高调门的开闭来调节, 当单阀运行时, 四个调门同时开闭; 顺阀运行时开启顺序为: 1、4-2,3。#1、4 高压调门首先开启, #2、#3 高压调门按序开启, 从调门调节过程分析, 在高调门初开阶段, 预启阀开启后, 蝶阀上部压力大于下部压力, 压差导致的压力和阀碟重力共同作用, 使阀碟紧紧压在阀杆底端座上, 阀杆能够顺利、准确的提升阀碟, 起到调门的调节功能。随着调门开度增大, 阀碟下部压力大于上部压力, 在一定负荷时, 压力差导致的提升力可以抵消蝶阀自身重力, 使阀碟处于基本受力平衡状态。随着调门开度继续增大, 下部压力大于上部压力且压力差继续增大, 上下压差克服阀碟重力, 此时预启阀关闭, 阀碟紧靠阀杆上端。但是, 在低负荷时, 阀碟处于基本受力平衡状态, 此时预启阀开启, 但上端未接触到特制螺母, 阀碟处于悬伸状态,

导致蝶阀处于不稳定状态。

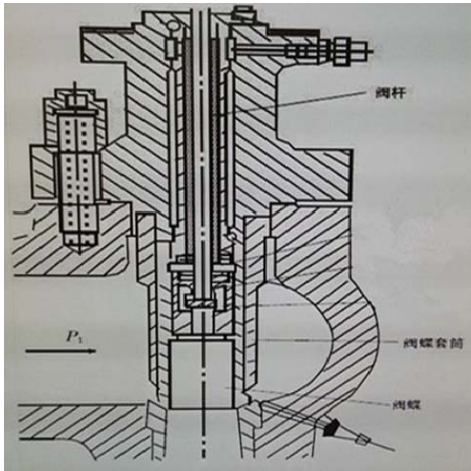


图 2 高压调门结构示意图

3.2 气流冲击、气流振荡，加剧蝶阀冲击损坏

由于高温、高压蒸汽在汽室内的流速很高，冲击伸出在阀碟套筒外部的阀碟，阀碟径向冲击力很大，作用在防转销上。同时在该处由于汽室容积突变，气流方向改变，使汽室内的汽流产生涡流振荡，蒸汽的涡流作用使阀碟经常处于高频率振荡下，长期运行中蒸汽对阀碟产生周期性激振力，加剧了阀碟、阀杆的振动，造成调节阀杆疲劳断裂、螺纹损坏、防转销断裂等情况的发生。

3.3 蒸汽不稳定

在系统运行初期或工况不稳定状态下，燃煤机组余热蒸汽量不足且压力不稳定，设备在低负荷状态运行。在汽轮机低负荷、高调门初开阶段，阀前

后压差较大，进汽量随开度增加而增长较快，调门开至一定程度后，随着压差的变小，调门开度增加引起进汽量变化较慢。当产生蒸汽压力波动时，处于大阀区工作状态的阀碟需较大范围的调节阀碟，不稳定的蒸汽压力导致阀碟的频繁波动加剧了阀杆和防转销的磨损。

3.4 联接方式及装配工艺不当

冷态安装，门杆旋入导向套内，需要对门杆施加 150N·m 的扭力，然后装入横销。即要求冷态安装后门杆顶部与导向套完全紧力接触，禁止留有间隙。热态运行时，由于门杆被包在导向套内部，温度高于导向套，其轴向线性膨胀量大于导向套，上述紧力配合依然能得到保证。因此门杆热态运行时，门杆受到蒸汽的轴向激振力，此力会直接传递至导向套，从而使门杆的连接螺纹不受激振力的作用，因为连接螺纹部位是更易发生损坏的应力集中点，这样就防止了螺纹的疲劳损坏。但实际情况并非如此，高调门不同程度存在不符合技术要求的现象，即冷态回装门杆时，施加 150N·m 扭力矩后，门杆横销孔与导向套横销孔发生了错位现象，横销无法顺利装入。为了能顺利安装销，必须要将门杆轻微旋退，如果按照横销孔错位 2mm、门杆连接螺纹为 M50×2 计算，门杆需要退出约 0.025mm，致使运行中的激振力集中到销子及螺纹上，留下了非常大的安全隐患。

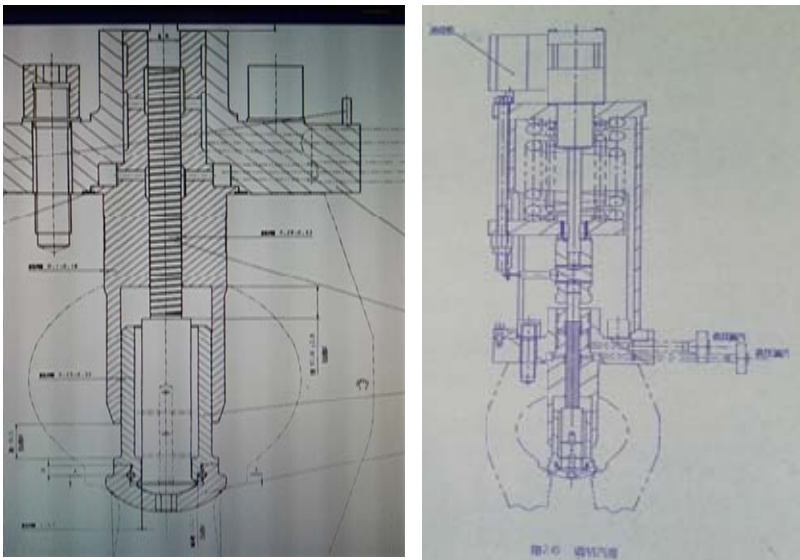


图 3 高压调门阀体结构图

3.5 加工工艺及材质的缺陷

门杆顶部横销孔采用钻孔后再铰孔加工而成，

孔边缘呈现刀锋状，形成典型的应力集中点，高温下裂纹一旦形成后就会迅速发展为断裂；门杆材质

2Cr12NiMoWV，工作于高温下，为增加其抗高温氧化能力，表面进行了特殊的渗氮处理，形成一层厚约 0.5mm 的氮铁化合物，其硬度、耐磨性、抗氧化性大大增加，但相应的脆性增大，韧性降低，在运行中也是最脆弱的地方。见图 3。

4 剖析原因并确定改进方案

4.1 高调门门杆断裂原因剖析

根据 3.1-3.5，我们做了详细的分析，3.1 条中阀碟处于基本受力平衡状态的时间较多，这是由高压调节汽门的调节性能决定的，不可改变；3.2 条中气流冲击、气流振荡，这是由蒸汽的流动性及流道的方向决定的，我们也无法改变；3.3 条中，在系统运行初期或工况不稳定状态下，不稳定的蒸汽压力导致阀碟的频繁波动，这是每台机组不可避免的状况，仅仅只能在运行中精细化操作，我们也无法改变；3.5 条中，由于加工工艺及材质形成典型的应力集中点及由于特殊的渗氮处理造成的脆性增大、韧性降低的缺陷是每个部件都必须面对的，不可消除，只能弱化；而 3.4 条中，由于联接方式及装配工艺不当是我们着重考虑的。

4.2 高调门门杆联接方式改进

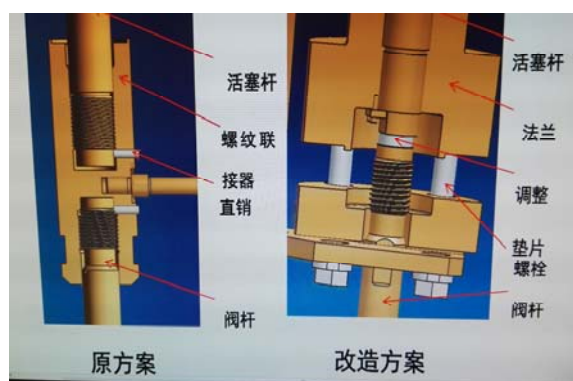


图4 原联结方式与新型的法兰联结方式

原高压调节汽阀油动机活塞杆与阀杆通过螺纹联结头进行连接并通过圆柱销进行阀杆和活塞杆的防转，如图 4 所示。该连接方式对安装要求严格：联结头和阀杆之间的接触面需保证 80% 以上接触，并按规定的拧紧力矩拧紧阀杆后钻配销孔并安装圆柱销。以此来保证了高调门在正常使用中定位销不受阀门开关时冲击产生的巨大剪切力。实际现场安装时，很难达到设计要求，阀门长期运行后，圆柱销容易出现受剪力而被剪断，甚至阀杆端部螺纹拉毛。此外，联结头在安装过程中还存在容易和阀杆

及活塞杆咬死的情况，且咬死后很难拆除。

为了有效解决高调门活塞杆与阀杆连接上的问题，将原设计中阀杆与油动机活塞杆的连接方式由螺纹连接更改为法兰连接，法兰连接克服了运行中的激振力集中到销子及螺纹上的缺点，改进后的新的连接方式有如下优点：a) 活塞杆通过螺纹与上法兰连接，并在头部用契口锁紧点焊死；阀杆通过卡扣和下法兰连接；上法兰和下法兰通过四根螺栓连接拧紧；在阀杆和活塞杆之间通过一可修配厚度的垫片塞紧；工作时，活塞杆通过法兰和四根螺栓提起阀杆，通过调整垫片和螺栓关下阀杆，蒸汽室中的汽流激振力全部转移在上下法兰上，只要四只螺栓有足够的紧力，门杆始终不受任何扭力。b) 螺纹连接改成法兰和螺栓连接，加工方便，通用性强；增加调整垫片，现场磨准，保证运动件成为一个整体；对中的要求更低，防止作用力方向偏移导致的连接部件损坏；连接部位的承载能力增加。c) 阀杆上加工出契口防转，活塞杆上加工出契口，靠装在法兰上的止转块定位，板式防转结构比销子承载力更大，抗弯增加 20%，防转板加工方便，不会出现螺纹咬死等情况。见图 5。



图5 原联结方式与新型联结方式的防止转

4.3 改进方案的实施

在 2015 年、2016 年 401B 及 302B 检修中，分别对 #4 机、#3 机高压调节阀进行了改进（见图 6），改进时无需更换阀壳，仅现场更换阀门内部零件，凡尔线密封位置不变，无需更换油动机杆，油系统、控制逻辑不变，但法兰连接要求一定要保证四个螺栓具有相同的拧紧量，以使门杆与油动机新型连接后，法兰连接部位承载能力大幅度提高，避免机组运行过程中阀杆卡涩断裂、防转销断裂等事故的发生。机组运行半年以来，未发生高调门运行异常事件。



图 5 改进后的法兰连接

5 总结与建议

(1) 高调门阀杆材质大多是合金钢，热处理工艺、冶金性能都很好，但阀杆长时间在高温高压环境中，长期受到交变冲击力、激振力及涡流扭力的作用，容易产生疲劳应力；如果运行人员能够保证一种稳定的工况，检修人员能够按正确的检修工艺装配，这将会大大延长高调门的使用寿命。

(2) 出现问题不可怕，怕的是坐井观天、闭门造车；高调门第一次出现问题的时候，我们认为这是一种正常的设备损坏现象，没有多加思考，等到第二次出现问题的时候，我们咨询了许多厂家，请教了许多专家，终于了解到该门杆还存在自身设备缺陷。

(3) 搞创新改进绝不能迷信于所谓权威的厂家，不能崇洋媚外，只要对一个设备或零件有足够的了解或熟悉，通过充分的论据论证，就可以对其

作出改进，任何设备都有一定的改善空间。

参考文献：

- [1] 靳智平,王毅林.电厂汽轮机原理及系统[M].北京:中国电力出版社,2004.
- [2] 陈庚.单元机组集控运行[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [3] 上海汽轮机有限公司. 330MW 中间再热凝器式汽轮机说明书[Z].
- [4] 曾丹苓,敖越,张新铭,等.工程热力学[M]. 北京:高等教育出版社,2002.

作者简介：

钱老保，南京华润热电有限公司技术支持部汽机工程师，

E-mail: qianglb@crpjs.net。