

某电站水轮机尾水锥管里衬反复出现裂纹 原因分析及处理

赵海英, 冯永祥, 阳新峰, 尹志富

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610051)

摘要:尾水锥管里衬裂纹是水轮机运行过程中常见缺陷之一,若不能及时对其进行正确处理,可能会导致里衬钢板拉裂,从而严重影响水轮机的安全稳定运行和电站的经济效益。结合某电站#3水轮机尾水锥管里衬反复出现裂纹的情况,从锥管里衬材质、水轮机运行方式、裂纹处理及接触灌浆工艺等方面分析了尾水锥管里衬反复出现裂纹的原因,介绍了所采取的处理措施及取得的效果,可为预防和处理同类缺陷提供参考。

关键词:尾水锥管;里衬;裂纹;原因;处理

中图分类号:TV7;TV738;[TV734.1]

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)05-0094-03

1 概述

某电站安装了六台型号为 HLF497-LJ-625.7 的大型混流式水轮发电机组,以发电为主,担任电网调峰调频任务。水轮机额定工作水头 165 m,额定流量 371 m³/s,额定转速 142.9 r/min,安装高程 1 002.5 m,吸出高度为 -8.4 m,大轴中心自然补气,采用金属窄高型弯肘尾水管。整个尾水管高 19 545 mm,自锥管进口开始延伸到肘管的水平部分装设有厚度为 25 mm 的金属里衬,其中锥管里衬上部 500 mm 段采用 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板制成,其余采用 Q235-B 碳钢板制成,锥管上端设置 1 000 mm × 800 mm 进入门,以便进入尾水管实施检查和工作。

2 问题的提出

在复杂水力工况下工作的尾水管,其里衬管壁强度受水压脉动影响而减弱,出现裂纹的情况较常见,如天生桥一级、安康、潘家口、大东江等水电站尾水管里衬均出现过裂纹,宝珠寺电站尾水管里衬亦曾出现过空蚀拉裂的严重缺陷^[1,2]。

该电站六台机组于 1998 年 8 月至 1999 年 12 月陆续投入商业运行。2012 年 6 月,发现#3 水轮机尾水管进入门左上方混凝土和钢衬之间漏水较大,检查发现#3 水轮机尾水锥管里衬七处脱空,其中尾水管进入门上上部里衬不锈钢段有两处脱空,在脱空区域发现一条穿透性裂纹。尾水管进入门钢衬漏水情况见图 1,尾水管进入门上方脱

空区域见图 2。



图1 尾水管进入门钢衬漏水情况

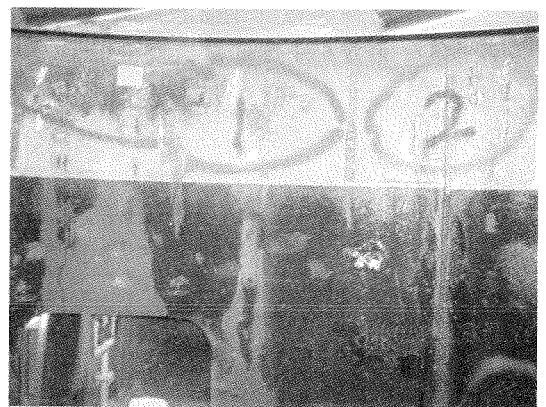


图2 尾水管进入门上方脱空区域

自机组投产以来,该电站每年均利用年度机组 C 修机会对各台机组尾水锥管组合焊缝、尾水锥管与基础环连接焊缝进行渗透探伤,对尾水管

收稿日期:2014-07-09

进入门上部长度3 m区域里衬进行超声波探伤,对所发现的裂纹等缺陷及时进行处理;对尾水检修平台以上部位的尾水锥管里衬进行敲击探测脱空检查,对检查出来的单块脱空面积达0.5 m²及以上区域及时用水泥进行接触灌浆处理。通过以上措施,及时恢复了尾水锥管的性能和受力状态,

确保了尾水管安全运行。

截至2012年6月,六台水轮机尾水锥管里衬出现裂纹共15条,其中#3水轮机尾水锥管里衬出现裂纹7次,共8条,且有3条为穿透性裂纹。#3水轮机尾水锥管里衬出现的裂纹情况见表1。

该电站#2至#6机组尾水锥管里衬均出现过

表1 #3水轮机尾水锥管里衬裂纹统计表

序号	确认日期	裂纹部位	长度 /mm	备注
1	20020117	尾水管进入门左上方	50	
2	20020117	尾水管进入门右上方	800	
3	20050416	尾水管进入门正上方	690(表面长365)	穿透性裂纹
4	20060302	尾水管进入门正上方	840(表面长245)	
5	20080218	尾水管进入门正上方	550(表面长250)	
6	20111004	尾水管进入门正上方(距锥管上沿60 mm)	620(表面长265)	穿透性裂纹
7	20111228	尾水管进入门左上方(距锥管上沿55 mm)	45	内部裂纹(距锥管表面19 mm)
8	20120625	尾水管进入门上方(距锥管上沿45 mm)	260	穿透性裂纹

裂纹,其中#4和#6机组出现过一次,#2和#5机组出现过2次,经处理后再未出现。但是,#3水轮机尾水锥管里衬裂纹在处理1~3 a内又重新出现,且裂纹均集中在尾水管进入门附近。小区域内长期反复出现裂纹,将严重损伤里衬母材的均质性,降低里衬母材强度,甚至出现里衬钢板拉裂,从而严重影响机组的安全运行。

3 裂纹反复出现原因的分析

3.1 尾水锥管里衬材质分析

从表1中可以看出,#3水轮机尾水锥管里衬裂纹均出现在尾水管进入门附近,且以尾水管进入门上方居多。尾水锥管里衬裂纹均出现在里衬上部不锈钢段,高度方向是距离锥管上沿60 mm范围内,经超声波探伤检测得知,所有裂纹均为非组合焊缝裂纹。六台水轮机尾水锥管上段均采用相同的不锈钢材质,且其它锥管里衬出现裂纹相对较少,说明材质牌号选择没有问题。但是,相比其它机组尾水锥管,#3水轮机尾水锥管里衬出现裂纹次数最多,且其第一次出现裂纹的时间最早并距机组投产时间最短。2011年,通过超声波探伤发现#3水轮机尾水锥管里衬内部裂纹(距锥管表面19 mm,裂纹中心距锥管上沿55 mm、距进入门中心线423 mm),说明#3水轮机尾水锥管里衬可能存在某些内部缺陷或薄弱因素,从而导致里衬裂纹萌生。

3.2 水轮机运行方式分析

该电站是所在电网中的大型骨干电厂,担任系统调峰调频任务,机组出力调整频繁,常在非最优工况的低负荷区运行。机组出力调整时的过渡过程以及偏离最优工况运行时会出现涡带振动的情况。尾水管中存在的涡带会引起低频压力脉动,周而复始的压力脉动会使整个尾水管甚至水轮机振动加剧。尾水管进入门上方恰好处于涡带的旋转压力场区,且尾水管进入门及其周边区域无混凝土支撑,在旋转压力场作用下,尾水管产生击鼓样的振动,使尾水管进入门附近的支撑混凝土受力增加,在振动荷载的反复作用下,局部薄弱部位尾水锥管里衬钢板与支撑混凝土脱离,使得尾水锥管里衬钢板受力不匀,导致尾水锥管里衬开裂。尾水锥管里衬一旦出现穿透性裂纹后必然漏水,随着漏水量的加大,又加剧了对支撑混凝土的侵蚀,当尾水锥管里衬与混凝土之间的间隙越来越大时,里衬振幅加大,其结果必然导致里衬疲劳和裂纹进一步加大。

3.3 对尾水锥管里衬裂纹采取的处理工艺分析

穿透性裂纹处理工艺为:(1)用电加热片对裂纹区域加温到110℃~150℃;(2)从裂纹两端部开始,用电弧气刨逐步刨除裂纹,在刨至距底部5 mm厚度后,采用风动直磨机对裂纹进行打磨,并保证其根部留有2~4 mm的厚度,裂纹刨除和打磨均采用单“U”形坡口,坡口开度不小于45°并在根部有10 mm长的弧度,将渗碳层打磨掉,露

出金属本色,将焊接面打磨光滑平整;(3)通过渗透探伤检查确认长度方向已无裂纹;(4)将施焊区预热至 $110\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后开始焊接,并在焊接全过程中将温度始终保持在 $110\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;(5)采用 $\varphi 2.6$ 焊条打底,单面焊、双面成型并保证背面充分熔透。打完底层后,用 $\varphi 2.6$ 焊条再焊接一层后,用 $\varphi 3.2$ 焊条焊接至表面高于母材原表面 $3\sim 5\text{ mm}$ 。在整个焊接过程中,每焊接完一层后清除飞溅物和焊渣,并对焊肉用风铲进行锤击以消除焊接应力;(6)焊接完毕,将其加热到 $200\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 240\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温 8 h ,用隔热材料覆盖自然冷却;(7)表面打磨,表面粗糙度为 12.5 ,处理完毕进行渗透探伤检查。

该电站所有尾水锥管裂纹均采用相同的工艺进行处理,处理过的裂纹部位均未再次开裂,说明裂纹处理工艺合理,效果良好。

3.4 对尾水锥管里衬脱空采取的处理工艺进行分析

查阅历年敲击探测脱空检查记录,发现#3水轮机尾水管检修平台以上的锥管段每年都有脱空缺陷发生,脱空部位少则两、三处,多则七、八处。脱空部位多集中在靠近尾水管进入门附近,脱空面积最大为 1.6 m^2 。机组检修期间对脱空面积大于 0.5 m^2 的区域均按照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》进行水泥接触灌浆处理。

#3水轮机尾水锥管段反复出现脱空现象,说明机组安装期间尾水锥管里衬与外部混凝土结合方面可能存在施工缺陷。后期进行的水泥接触灌浆仅对脱空面积大于 0.5 m^2 的区域进行了处理,且由于机组小修时间短,灌浆后水泥浆没有足够的强度增长期,从而未能彻底恢复锥管里衬与混凝土联合受力的结构;而对于脱空面积小于 0.5 m^2 区域的存在,在振动荷载的反复作用下,脱空面积逐渐扩大,进一步恶化了锥管里衬的受力条件,进而反复出现裂纹。

4 结论及采取的处理措施

综上所述,#3水轮机尾水锥管里衬反复出现裂纹的主因为:(1)里衬可能存在某些内部缺陷或薄弱因素,易萌生裂纹;(2)机组出力调整频繁,水轮机长期偏离最优工况运行,恶化了尾水管

水流流态,加速了锥管里衬裂纹的萌生与发展;(3)机组安装期间存在施工缺陷,使锥管里衬与混凝土接触面间密实性较差,后期进行的水泥接触灌浆对恢复锥管里衬与混凝土接触强度的作用有限。

针对水泥接触灌浆难以达到恢复锥管里衬与混凝土接触强度的问题,2012年11月,采用流动性好、固化快、强度高的环氧树脂材料对#3水轮机尾水锥管里衬脱空面积大于 0.3 m^2 的部位进行了化学接触灌浆处理。经过近2a时间的运行,#3水轮机尾水管进入门附近未再出现渗漏水,尾水锥管里衬经化学接触灌浆部位结合良好,锥管里衬未出现裂纹,说明化学接触灌浆效果显著。

5 结语

水轮机尾水锥管部位结构复杂,施工时难以做到锥管里衬与二期混凝土接触紧密,在复杂的水力条件下,容易造成运行期水轮机尾水锥管里衬裂纹。机组长期在不良工况下运行,会造成尾水锥管里衬与混凝土接触面脱空,是尾水锥管里衬产生裂纹的重要因素。因此,在电站运行过程中,应优化机组运行方式,尽量避免或减少机组在振区运行及频繁调整出力。因尾水锥管里衬脱空面积小,后期的水泥接触灌浆受技术条件和机组归调时限等因素的限制,并不适合于尾水锥管里衬脱空缺陷处理,应采用可灌性好、早期强度增长快、粘结强度高的化学接触灌浆技术进行处理。

参考文献:

- [1] 周波.改善水电机组运行稳定性[J].电器工业,2004,5(5):42-45.
- [2] 刘有全.宝珠寺水电站3号机组尾水锥管里衬修补处理[J].西北水电,2010,29(1):34-37.

作者简介:

- 赵海英(1973-),女,四川渠县人,高级工程师,注册安全工程师,从事水电厂技术与管理工作;
- 冯永祥(1967-),男,甘肃永昌人,教授级高级工程师,从事大坝安全管理工作;
- 阳新峰(1975-),男,河南新县人,高级工程师,注册安全工程师,从事水电厂安全生产技术与管理工作.
- 尹志富(1982-),男,湖北鄂州人,助理工程师,从事水电厂设备检修维护工作.

(责任编辑:李燕辉)