

二台子水电站过流部件泥沙磨损的原因和解决方案

何兆品,魏世全

(国电大渡河检修安装有限公司,四川 乐山 614900)

摘要:在分析水轮机过流部件泥沙磨损机理的基础上,介绍了二台子水电站2013—2014年度检修中,1号、2号机组过流部件磨损情况,从机组运行环境和过流部件材质两方面分析了机组过流部件磨损原因,指出造成二台子水电站过流部件严重破坏的主要原因是泥沙磨损,并提出了在闸首上游河道修建沉砂池和改善过流部件材质的建议。

关键词:水轮机;过流部件;泥沙磨损;二台子水电站

中图分类号:TK730.8 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2014)S2-0055-03

水电站水轮机过流通道的水流中若含有足够数量的悬浮泥沙,坚硬的泥沙颗粒撞击过流表面,使其疲劳损坏,这个过程称为水轮机泥沙磨损^[1]。

水轮机泥沙磨损是一种物理性的破坏过程,并且是一种渐变的破坏过程。水流中泥沙随水流运动,具备一定的动量。在机组运行时,泥沙以一定的方向不断冲击水轮机过流部件表面,撞击会产生一种高频冲击波,金属材料应力集中处会出现微小的疲劳裂纹。每当高动量的沙粒撞击时,裂纹就周期性地张开与闭合,并不断地向纵深扩展。金属材料表面上的这种交变应力,形成了金属的疲劳磨损,造成微小的金属粒被剥落。随着机组运行时间增加,长期受到冲击部位表面将变得凹凸不平,从而进一步加剧流道表面的磨损。

水流中泥沙含量、泥沙硬度、过流部件材质等都直接影响着水轮机过流部件的磨损。因此,水轮机磨损与以下因素有关:①水流特性,如水的流速、泥沙含量、泥沙颗粒形状及大小、泥沙硬度等;②水轮机过流部件金属材质特性,如材料的硬度、冲击韧性、表面光洁度等。

通常来说,水流速度越大、泥沙含量越高、泥沙颗粒越硬、过流部件材质越软、表面越粗糙,水轮机过流部件遭受泥沙磨损破坏的程度(一般以金属失重体积损失表示)就越严重,可用以下关系式表示:

$$S = KU^m \tag{1}$$

式中: S 为单位时间内单位被磨损表面的金属失重; K 为相对于磨损表面的水流平均流速; U 为取决于

各种因素的系数,其中包括泥沙浓度、粒径、硬度以及其他与磨损相关的因素; m 为指数, $m = 2.7 \sim 3$ 。式(1)建立了金属失重与流速之间的关系,可见流速增大,过流部件磨损将随之加剧。因此,在其他条件相同或相近的情况下,高水头的水轮机过流部件泥沙磨损破坏较低水头水轮机要严重得多;同时,水流中泥沙含量增大,将加剧过流部件磨损程度。

1 二台子水电站概况

二台子水电站位于四川省甘孜州九龙县湾坝乡境内,系湾坝河干流猪鼻沟口以上河段水电规划“两级开发方案”的第二级电站,上接大台子水电站(规划中)。电站为低坝引水式,引水隧洞具有日调节性能,闸、厂相距约11 km。电站于2012年10月投产发电。

电站主要建筑物包括首部枢纽、引水系统和厂区枢纽,总装机49 MW,装机2台立轴悬式混流式机组。

发电机主要技术参数:生产厂家为重庆水轮机厂有限责任公司,型号SF24.5-8/3050,额定容量30 625 kV·A,额定电压10.5 kV,额定电流1 683.9 A,额定功率因数0.8(滞后),额定励磁电压119 V,额定励磁电流785 A,额定转速750 r/min,飞逸转速1 212 r/min,空气系数23 mm,发电机飞轮力矩 $GD^2 \geq 90 \text{ t} \cdot \text{m}^2$ 。

水轮机主要技术参数:生产厂家为重庆水轮机厂有限责任公司,型号HLA542-LJ-150,额定出力

24.5 MW,额定流量 8.16 m³/s,额定水头 330 m。

2 过流部件检查情况及磨损原因分析

2.1 检查情况

2013—2014 年度检修(2013 年 12 月至 2014 年 4 月)中,对二台子水电站 1 号、2 号机组进行 A 级检修工作。顶盖及导叶拆卸后,经检查发现该机组顶盖抗磨面及迷宫环、底环护板(抗磨面)、活动导叶轴颈处及导叶迎水面存在多处不同程度的鱼鳞波纹状、鱼鳞坑、槽,顶盖及底环过流面磨损最深处深度达 6~7 mm;与顶盖和底环比较,导叶轴颈磨损程度较轻;转轮及叶片完好,无磨损及气蚀现象。其过流部件磨损情况如图 1~3 所示。



图 1 顶盖磨损情况

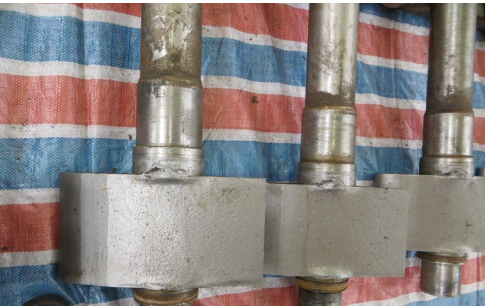


图 2 导叶轴颈磨损情况



图 3 底环磨损情况

2.2 磨损原因分析

2.2.1 机组运行环境因素

湾坝河属于多泥沙河流,其泥沙成分主要为大颗粒金刚砂。由于沿河两岸山体陡峭且植被稀疏,山体地质松散,导致整个汛期河水泥沙含量急剧增加。电

站为低坝引水式电站,无库容量,不具备调节功能,水流中的泥沙及大粒径石粒不能够充分沉降,造成汛期水轮机过流部件的运行环境极其复杂和恶劣。

二台子水电站额定水头 330 m,属于高水电站。由式(1)可知,在含沙水流和水流速度的双重作用下加剧了二台子水电站机组水轮机过流部件磨损破坏。

2.2.2 过流部件材质因素

二台子水电站转轮为组焊结构,叶片、上冠、下环均采用不锈钢 ZG00Cr13Ni5Mo 材料。顶盖为箱型钢板焊接结构,过流面上设有 1Cr18Ni9Ti 材料作为护板,以抵抗气蚀和磨损。底环采用 ZG230-450 铸钢整体结构,过流面铺焊有 1Cr18Ni9Ti 材料作为护板。导叶采用 ZG00Cr13Ni5Mo 材料,为整铸结构。

ZG00Cr13Ni5Mo 是低碳型高强度不锈钢,其组织特征为马氏体。ZG00Cr13Ni5Mo 属于铸造低碳马氏体不锈钢,具有优良的力学性能和良好的抗磨蚀性能,特别是抗泥沙的磨蚀性能。该材料的淬透性很好,浇注后即使冷却 20 d 仍能获得高位错密度的板条马氏体组织。淬火态的硬度通常不小于 HB300,低温回火后的硬度通常不小于 HB260。1Cr18Ni9Ti 是普通不锈钢,其组织特征为奥氏体型,布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度分别为小于或等于 187HB、90HRB 和 200HV。表 1 是按照 GB/T 6967—2009《工程结构用中高强度不锈钢铸件》执行的几种典型的低碳铸造马氏体不锈钢的力学性能^[2]。可见,低碳板条马氏体不但强度、硬度比较高,而且具有较好的韧性^[3]。

表 1 典型的低碳铸造马氏体不锈钢的力学性能

类别	材料	$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A/%	Z/%	A_{KV}/J	HB
低碳	ZG06Cr13Ni4Mo	550	750	15	35	50	221~286
	ZG06Cr13Ni6Mo	550	750	15	35	50	221~286
	ZG06Cr16Ni5Mo	588	785	15	35	40	221~286
低碳 a ^①	ZG00Cr13Ni5Mo	750	850	16	50	60	221~330
	ZG00Cr16Ni5Mo	800	900	16	50	60	221~330

注:①a 采用 AOD、VOD 等精炼方法。

实践证明,ZG00Cr13Ni5Mo(通称 13-5)不锈钢使用性能能够满足水轮机转轮用钢的技术要求。日本日立公司制造的大型水轮机转轮多采用 ZG00Cr13Ni5Mo 不锈钢,近年来 ZG00Cr13Ni5Mo 已常用于国内大中型水电站转轮,如岩滩和三峡等水电站^[3]。表 2 列出了 ZG00Cr13Ni5Mo 铸造不锈钢的力学性能技术要求和应用。

近年来各国研究人员对铸造低碳马氏体不锈钢的抗磨蚀性能做了大量研究,结果表明铸造低碳马氏体不锈钢中的马氏体组织因其高强度,使其表面塑性变形和空蚀针孔产生困难,故具有良好的抗磨

表2 ZG00Cr13Ni5Mo 铸造不锈钢的力学性能技术要求和应用

类别	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A/\%$	$Z/\%$	A_{KV}/J	HB	用 途
I	≥ 550	≥ 750	≥ 15	≥ 35	≥ 50	240 ~ 280	磨蚀轻微的大中型水轮机转轮和叶片
II	≥ 620	≥ 800	≥ 13	≥ 35	≥ 35	280 ~ 320	磨蚀较严重的大中型水轮机转轮、叶片和导叶等过流部件
III	≥ 700	≥ 850	≥ 12	≥ 30	≥ 27	≥ 300	磨蚀严重的水轮机导叶、止漏等过流部件

蚀性能^[4]。通过二台子水电站检修过程中对过流部件的检查发现,材料为 ZG00Cr13Ni5Mo 的转轮及叶片完好,而材料为 1Cr18Ni9Ti 的顶盖护板和底环护板严重磨损,进一步证实 ZG00Cr13Ni5Mo 性能优于 1Cr18Ni9Ti。过流部件材料性能是造成其泥沙磨损程度的又一重要因素。

3 过流部件磨损处理及建议

3.1 过流部件磨损处理

底环及顶盖过流面受到严重泥沙磨损,导致导叶端面间隙增大,使机组漏水量增大,机组在关闭导叶的情况下不能正常停机。同时,由于导叶端面间隙增大,致使水力不平衡,将严重影响机组稳定运行。在检修过程中,用碳弧气刨的方法铲除破坏区域的金属,露出基体金属光泽;用砂轮将高点和毛刺磨掉;采用含 Cr 在 12% 以上的焊条进行堆焊,堆焊完成后底环按照图纸进行车削加工,顶盖用砂轮打磨光滑,最后与转轮组配调整。

3.2 建议

二台子水电站水头较高(330 m),因此流速较大;又由于水流中存在大量泥沙(油槽冷却器及发电机空气冷却器在清扫打压过程发现部分铜管被泥沙堵塞),尤其是汛期雨水大,对周围山体冲刷,使水中长时间含有大量泥沙,从而使得水流对过流部件磨损大大增加。为减轻过流部件泥沙磨损程度,提出如下建议:

a. 在闸首上游河道修建沉砂池。在河道内修建一定数量的沉砂池(河道内挖深坑或修建挡水墙形成水池),使得水流在经过沉砂池时,流速减缓,水流中泥沙有一定的时间沉降,从而减少进入引水隧洞的泥沙含量,从一定程度上降低泥沙对过流部件的磨损破坏。

b. 改善过流部件材质。机组投运 1 a 后检查发现,材料为 ZG00Cr13Ni5Mo 的转轮及叶片完好,未受到泥沙磨损,而材料为 1Cr18Ni9Ti 的顶盖护板和底环护板严重磨损,磨损严重部位有深达 6 ~ 7 mm 的坑。从材料试验性能及二台子水电站过流部件暴露出的问题,证实 ZG00Cr13Ni5Mo 性能优于 1Cr18Ni9Ti,具有更好的抗磨蚀性能。故建议将顶盖及底环护板换成抗磨蚀性能更好的 ZG00Cr13Ni5Mo。

参考文献:

[1] 戴均,王洪云. 中小型混流式水轮发电机组机械检修及主要易损部件的修复技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.
[2] 马贵兴,刘秀杰. 大型水轮机用 ZG00Cr13Ni5Mo 不锈钢的性能研究[J]. 大机电技术,1997(3):33-40.
[3] JB/T 10384—2002 中华人民共和国机械行业标准[S].
[4] 薛伟,陈昭运. 水轮机空蚀和磨蚀理论研究[J]. 大机电技术,1999(6):44-48.

(收稿日期:2014-08-26 编辑:熊水斌)

(上接第 41 页)

[4] 沈振中,陈允平,王成,等. 大坝安全实时监控和预警系统的研制和开发[J]. 水利水电科技进展,2010,30(3):68-72.
[5] 王逸民,王士军,董福昌,等. 山美水库大坝安全监控系统[J]. 水利水电科技进展,2007,27(4):77-79.
[6] 王平,童颢,贾化萍,等. 大坝安全监测系统硬件集成研究及应用[J]. 河海大学学报:自然科学版,2007,35(1):26-29.
[7] 王仁钟,李雷,彭雪辉. 透水覆盖层上土石坝渗流量观测设计方案综合评价方法[J]. 水利水电科技进展,2011,31(1):42-44,73.
[8] 金可礼,顾昭明,李永祥,等. 光纤传感器在茜坑水库土坝渗流监测中的应用[J]. 水利水电科技进展,2005,25(4):53-55.

[9] 王润英,方卫华. 大坝安全监测自动化系统的 LEMP 防护[J]. 河海大学学报:自然科学版,2001,29(3):99-102.

(收稿日期:2014-09-29 编辑:熊水斌)

