

轴流转浆水轮机叶片的磨蚀处理

刘璘

国家电投集团黄河上游水电开发有限公司宁电分公司

DOI:10.18282/hwr.v2i4.1230

摘要:本文通过对青铜峡水电站轴流转浆水轮机叶片磨蚀处理实践经验的总结,阐述和探讨抗磨蚀材料在水轮机过流部件及叶片上的应用,为同类型、在相同环境或近似环境中运行的水轮机的磨蚀处理提供可以借鉴的经验。

关键词:轮机叶片;磨蚀;处理

1 轴流转浆式水轮机叶片磨蚀情况简介

青铜峡水电站是黄河中上游梯级开发的最后一座集发电、防凌和灌溉为一体的水利枢纽,电站布置8台水轮发电机组,始建于1958年,1967年首台机组发电,电站处于多泥沙的黄河干流上,多年平均输沙量2.2亿吨,最大年输沙量5.29亿吨,多年平均含沙量9.83Kg/M³。实测最大含沙量达431kg/m³,泥沙粒径为0.015~0.02mm,水轮机运行环境相对恶劣。

随着黄河上游来水中的含沙量不断增加,库区淤积的情况日趋严重,水轮机的运行环境逐步恶化,电站过流通道设计上的缺陷日益彰显。电站机组运行至八十年代中期,水轮机叶片及过流部件的汽蚀、磨损情况达到了最为严重的时期。其间,水轮机叶片在运行一个检修周期(5~6年)后,其背面的强汽蚀区域及其周围呈现蜂窝状蚀坑,蚀坑深度达到30~40mm,汽蚀面积约占叶片背面面积的60~70%(单个叶片背面面积约为5m²);叶片外缘磨蚀破坏呈锯齿状,磨蚀破坏使得叶片与中环间隙达到了20~30mm,远远超出了转轮叶片的设计间隙。叶片汽蚀区域的补焊所消耗的焊条最多时可达4000公斤左右,平均单个叶片的补焊重量达到900~1000公斤。

2 轴流转浆水轮机叶片磨蚀原因分析

2.1 设备制造技术水平落后,抗磨蚀能力不强

青铜峡水电站始建于50年代末,最后一台机组于70年代末投产发电,投运的水轮机存在空化系数低、防空蚀和抗磨损能力差、水轮机工作范围偏离高效区等问题;机械制造、金属冶炼等技术含量不高,叶片线性设计、制造技术欠缺,因而抗磨蚀性能总体水平较低。

2.2 水电建设技术相对落后,水轮机过流通道设计缺陷较多

青铜峡水电站的建设处于中国经济建设的初期,水电建设与其他新生事物一样方兴未艾,多数水电站的建设都处于初期,设计理念、思路都还没有完全成熟的模式可以借鉴,还处于不断实践,不断完善的阶段。因此,青铜峡水电站在设计建设期间,水轮机过流通道方面遗留了许多问题,主要体现在以下几个方面:

2.2.1 机组蜗壳包角偏小

青铜峡属低水头河床式电站,机组为闸墩式布置,考虑水库泄水排沙的需要,在蜗壳与尾水管之间设置了泄水管,因而河床7台机组蜗壳采用135度小包角,造成水轮机进口处的水流不均匀,转轮能量指标下降,空蚀恶化。

2.2.2 水轮机机坑开挖量不够,吸出高度偏大

青铜峡水电站水轮机吸出高度设计值应为-5.7m,但水轮机安装后的实际吸出高度只有-2.7m,不到设计值的50%,大大降低了水轮机的抗空蚀能力,加剧了水下过流部件的磨蚀破坏。

2.2.3 尾水管中墩前移

青铜峡水电站尾水管顶板同时也是泄水管的底板,为增加尾水管顶板强度,保证机组的安全运行,当初施工建设时迫不得已对尾水管中墩的位置进行改动,将尾水管中墩头部距机组中心线的距离由设计值的8.25m(转轮直径的1.5倍)减小为3m,中墩前移5.25m,致使做功后的旋转水流在下泄过程中过早地与尾水管中墩撞击,造成中墩左右两个通道水流分配不均匀,流态恶化,进而加剧了水轮机的汽蚀破坏。

2.2.4 汽蚀与泥沙磨损的双重作用

有研究表明,在具有高速含沙水流和空腔汽蚀的共同作用下,水轮机的磨蚀破坏程度是纯汽蚀或纯磨损的几倍到几十倍。汽蚀的宏观特征是蜂窝,磨损的宏观特征是蜂窝和鱼鳞坑兼有。在水轮机的运行过程中,一旦在材料表面形成汽蚀坑,高速含沙水流将迅速地对汽蚀坑进行切削,形成新的表面磨损,使得汽蚀更容易发生。如此周而复始,形成恶性循环,加剧水轮机叶片及过流部件的磨蚀。

3 轴流转浆水轮机叶片的磨蚀处理

青铜峡水电站早期投产运行的水轮机叶片为碳钢材质(ZG20MnSi),抗磨蚀能力非常低下,水轮机叶片在运行一个检修周期后,磨蚀破坏的程度几乎无法修复。八十年代中后期,水轮机叶片逐步更换为不锈钢材质(0Cr18Ni4Mo),虽然不锈钢叶片的抗空蚀能力有所提高,但抗磨损能力仍然不高,磨蚀破坏的程度依然比较严重,运行一个检修周期后,单个叶片的失重量基本在800KG左右,占到叶片总重量的16%。在进行大面积的补焊工作中,出现了叶片叶型变形,边缘产生裂纹等一系列的问题。

3.1 叶片出水角的修复处理

水轮机叶片出水角在运行一个检修周期后出现断裂、穿孔、脱落的情况,如何处理成为叶片磨蚀处理的一个难题。为此,在总结经验的基础上,提出进行接角处理,就是将报废叶片上完好的进水角或出水角用气割切割下来,在需要接角的叶片位置进行修正,修出焊接坡口,进行焊接。采用不锈钢叶片后,直接用相同厚度的不锈钢板下料进行对接,在需要堆焊的部位进行堆焊处理,实现叶片线型的平滑过渡。在焊接过程中采取双面焊或在焊接完成后采用单面加热的方式进行出水角焊接后的变形矫正处理。

3.2 叶片磨蚀区域的修复处理

青铜峡水电站水轮机叶片的磨蚀部位主要集中在叶片背面的脱流区及叶片外缘,需要进行大面积的补焊处理,补焊区域按照叶片的磨蚀情况集中在叶片进水边至出水边、叶片外缘至轮毂径向700mm范围内。

3.2.1 叶片表面无防护涂层的补焊修复

无防护涂层的叶片磨蚀损坏的情况比较严重,需进行大面积的补焊修复处理,在补焊修复中需要解决的关键问题有两个:(1)如何控制叶片的焊接变形问题;(2)如何控制叶片外缘的修复尺寸。

控制叶片补焊变形主要采取了三种措施,一是进行叶片的预热,就是在叶片补焊之前,将叶片放置在专用的支架上,四周用隔热石棉布覆盖,叶片下方布设3~4只电炉对叶片进行加热,并保持温度在30~40℃,然后进行叶片磨蚀区域的补焊工作。二是在叶片的正面布设刚性固定架,就是采用18~20mm厚的钢板,分割为150mm左右宽度,呈“井”形布焊于叶片正面,可以有效地防止叶片的焊接变形。当然,在补焊的过程中还要采取分段跳焊的方法加以控制,将补焊过程中的叶片变形量控制在最小的范围内。三是进行叶片焊接后的回火处理,就是在叶片磨蚀区域补焊结束后,割除刚性固定架,在叶片背面布设加热铝包带进行叶片的加热,加热温度控制在580~600℃,之后用隔热石棉布覆盖,自然冷却至室温,不但可以消除焊接应力,防止叶片变形;同时也可以改善叶片材质的金相组织,提高抗磨蚀性能。

控制叶片外缘的修复尺寸主要采取了两种措施,一是在焊接前以转轮轮毂为基准点画出补焊基准线,以测量的叶片外缘与中环间隙为依据给出补焊量进行焊接,之后进行打磨。这种方法的准确度不高,叶片外缘的修复尺寸控制难度较大。二是利用测圆装置进行叶片外缘的修复控制,测圆装置是在电站技术人员的设计下,由厂家利用摇臂钻改装而成的装置,有效地保证了转轮室及转轮叶片的圆度修复。此装置经过电站近几年的实际应用验证,具有非常好的

转轮叶片外缘修复尺寸的控制效果,可以使得转轮室及叶片外缘处理后的配合间隙控制在6~8mm,对于减小转轮叶片的间隙汽蚀发挥了极大的作用。

3.2.2 叶片表面有防护涂层的修复处理

青铜峡水电站4、5号机组分别与1999年、2000年更换为瑞士苏尔寿水轮机,转轮叶片表面有金属防护涂层,其磨蚀的主要特征是叶片背面脱流区局部磨蚀破坏,磨蚀面积较小,失重量少,修复的方法是进行局部的补焊处理。在修复的过程中,一是做好涂层的防护工作,一般采取的方法是用石棉板等材料对磨蚀损坏区域周围完好的涂层进行防护,防止补焊或修磨时损失涂层;二是进行磨蚀区域边缘涂层的熔边处理,就是用二氧化碳气体保护焊机,使用1.2mm焊丝进行边缘的补焊,目的是使涂层得到最大程度的保护,同时也可以实现磨蚀区域与涂层防护区域的平滑过渡。三是控制补焊温度,防止焊接温度过高损坏补焊区域周围及正面的涂层。就是在焊接时要求采用小电流、分区域、分时段、跳焊的方法进行补焊,同时使用红外线测温进行温度监视,控制焊接区域的焊接温度不超过300℃,叶片正面温度不超过150℃。

3.3 叶片裂纹的修复处理

青铜峡水电站水轮机叶片在运行过程中由于汽蚀破坏和机组震动等因素作用,在叶片的外缘、进水边、出水边等部位出现过裂纹,在补焊修复后也出现过裂纹。补焊后的裂纹主要由于没有进行回火处理,叶片应力过于集中造成的,在采取叶片补焊修复后的回火处理后,此问题基本上得到了解决。对于在叶片外缘等处产生的裂纹,采取的处理方法是进行钻孔、开槽、补焊,就是在裂纹的终止位置钻孔,使得裂纹不在延伸,顺着裂纹的方向,用碳弧气刨或角向磨光机进行开槽,直至裂纹完全消失,然后采用小电流、间断焊接的方法对形成的沟槽进行补焊,修复完成后用喷灯或气割进行加热退火处理。

参考文献:

- [1] 湛昀,周新,付青峰.水轮机叶片表面抗磨蚀技术研究现状[J].江西科学,2015,33(04):593-597.
- [2] 吴利国.轴流转桨式水轮机转轮磨蚀分析[D].南昌工程学院,2017,(06):55
- [3] 胡海龙.水轮机叶片耐磨蚀梯度涂层制备技术研究[D].哈尔滨工业大学,2015,(03):68

作者简介:

刘璘,(1973-11)工程师,本科学历,1995年参加工作,主要从事水轮发电机组检修及生产管理工作。