

二滩水电站水轮机空蚀情况与修复

史宝平, 程文, 檀晓龙

(二滩水力发电厂, 四川 攀枝花 617000)

摘要:水轮机的空蚀是始终存在的, 尽管我们不能消除它, 但要减轻水轮机的空蚀破坏, 就必须从设计、制造、运行等多个方面采取积极措施, 如设计合理的型线, 采用抗空蚀材料, 提高冶炼铸造和加工工艺水平, 提高检修质量和安装工艺, 改善水轮机运行条使机组在合理的工况下运行。只有这样, 才能减少水轮机的空蚀, 延长检修周期, 更好地发挥机组的经济效益。

关键词:水轮机空蚀; 空蚀原因; 空蚀修复; 抗空化

中图分类号:TV7;TK73;TV131.3+2

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)02-0132-04

二滩电站坐落于四川省攀枝花市境内的雅砻江上, 距攀枝花市区约46 km, 是雅砻江流域的梯级电站之一。二滩电站安装6台550 MW发电机组, 水库库容57.9亿 m^3 , 属季调节水库, 设计多年平均发电量170亿kWh, 保证出力1000 MW, 年利用小时5162h。二滩电站单机容量大, 调节性能好, 是川渝电网的主力电站, 承担系统调频、调压、调峰、断面潮流及事故备用任务。

1 空蚀的产生^[1]

我们通常讲的气蚀现象, 实际上包括了空化和空蚀两个过程。空化乃是在液体中形成空穴使液相流体的连续性遭到破坏, 它发生在压力降低到某一临界值的流动区域中, 在空穴中主要充满着液体的蒸汽和从溶液中析出的气体, 当这些空穴进入压力较低的区域时, 就开始发育长成为较大的气泡, 然后气泡被流体带到压力高于临界值的区域, 气泡就将溃灭, 这个过程称为空化, 它包括空穴的初生、发育、成长到溃灭的整个过程。空蚀是指由于空泡的溃灭, 引起过流表面的材料损坏, 在空泡溃灭的过程中伴随着机械、电化、热力、化学等过程的作用, 是一个综合作用的结果。空蚀是空化的直接后果, 空蚀只是发生在固体边界上。

按空化和空蚀发生的部位通常可分为翼型空化和空蚀、间隙空化和空蚀、局部空化和空蚀和空腔空化这四种基本类型。

2 二滩水电站空蚀情况

收稿日期: 2014-04-01

二滩水电站在1998年投产运行后, 顶盖下环板及顶盖减压板逐渐出现空蚀, 并逐年加重。其中#6机组于1998年8月投产发电, 自2000年9月至12月扩大性大修后, 每年进行一次“以故障诊断和设备体检为主”的C修, 机组整体运行良好, 但近几年6号机组C修检查发现水轮机顶盖空蚀情况逐年加剧。2012年3月6号机组C修, 检查发现空蚀部位主要有: 顶盖下环板(下平面)、顶盖减压板(上表面及内外侧面)、顶盖减压板立筋。其中顶盖下环板的空蚀最为严重, 空蚀区域类似椭圆形状, 用自制工具测量最深达43 mm(顶盖下环板厚度75 mm)。

在2013年机组A修中对水轮机作全面检查, 具体空蚀情况如下。

2.1 转轮

13个叶片进水边背水面靠近下环的位置、叶片之间上冠过流面靠近出口边的位置均发现有不同程度空蚀, 部分叶片出水边与下环R角位置亦有面积较小的空蚀。转轮叶片空蚀见图1所示

2.2 顶盖

从泄水锥内检查发现顶盖底板均存在不同程度的空蚀, 11号~12号导叶对应顶盖底板空蚀最深达46 mm, 顶盖吊出机坑放置于安装间翻身, 对底板空蚀进行了全面的测量, 17号~18号导叶对应顶盖底板汽蚀最为严重, 深度达到54 mm。而3号~4号与13号~14号导叶对应顶盖底板空蚀最为轻微, 最深分别为9 mm与11 mm, 且这



图1 转轮叶片空蚀

两个位置均在顶盖组合缝(顶盖组合缝处减压板筋板较近的两块,其余位置均为一块)沿水流方向的下游侧。减压板与顶盖底板对应的位置亦存在不同程度的空蚀,最深 21 mm。全部 12 块减压板筋板垂直端面内外侧亦存在不同程度空蚀。顶盖底板空蚀见图 2 所示。

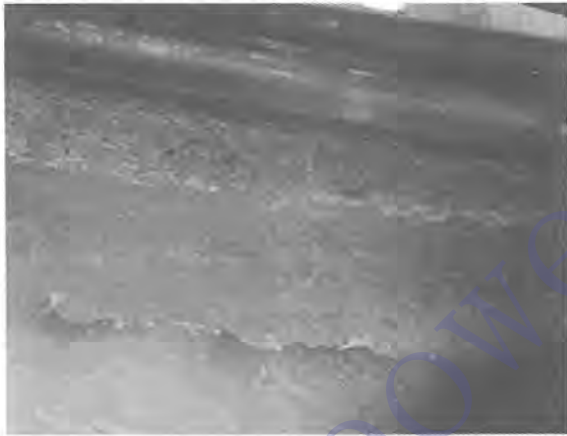


图2 顶盖底板空蚀

2.3 底环

底环抗磨板内环由于导叶金属密封块与之高程差的影响,均存在轻微空蚀。底环抗磨板见图 3 所示。

3 二滩水电站空蚀原因分析^[2-3]

转轮叶片的空蚀属于翼型空蚀。液体绕流翼型时,翼型背面的压力往往为负压,当背面低压区的压力降低到环境气化压力以下时,将会导致空化区的出现,在空化区的末端将出现最严重的空蚀区并向上下游扩展。

3.1 顶盖和底环部位的空蚀属于间隙空蚀

当水流通过狭小通道或间隙是引起局部流速升高,压力下降到一定程度时便会出现空化和空蚀现象。机组在振区运行时尾水管中产生真空



图3 底环抗磨板空蚀

蜗带,该真空蜗带有时会延伸到水轮机转轮出口处,通过转轮上冠处的八个均布的减压孔进入顶盖内减压板上部被筋板隔离出来的一个个狭小空间,继而导致从上止漏环间隙的漏水进入该区域后,在此真空蜗带的影响下高速流经顶盖表面,压力下降,因而在此区域便会产生空蚀。

3.2 尾水锥管部位的空蚀属于空腔空蚀

空腔空蚀是由于反击式水轮机在非设计工况运行时转轮出口水流存在一定的圆周速度分量,在该圆周速度分量的作用下,在转轮后产生涡带,涡带中心形成很大的负压,这种涡带一般低于水轮机转速频率在尾水管中旋转,造成尾水管种的流速场和压力场也发生周期性变化,并将引起机组的振动和噪音,严重时将引起硬性不稳定及在尾水管进口段边壁处引起空蚀。

4 二滩水电站空蚀处理措施

空蚀处理主体工作分为空蚀测量、打磨清根、补焊、打磨修型、探伤检查五个部分,以顶盖的空蚀处理为例,具体过程如下:

4.1 空蚀深度及面积测量

将顶盖底板空蚀区域按照导叶对应位置进行分区标记,测量顶盖底板空蚀区域左边界离左筋

板距离、空蚀区域外边界离顶盖止漏环距离、空蚀区域长度与宽度,将测量结果列表记录,并绘制空蚀区域在顶盖本体上的分布图。利用自制工具对顶盖底板下平面空蚀深度进行测量,根据测量结果绘制顶盖底板空蚀径向及周向剖面图。6号机顶盖汽蚀测量绘图见图5所示,顶盖底板空蚀径向及周向剖面图。

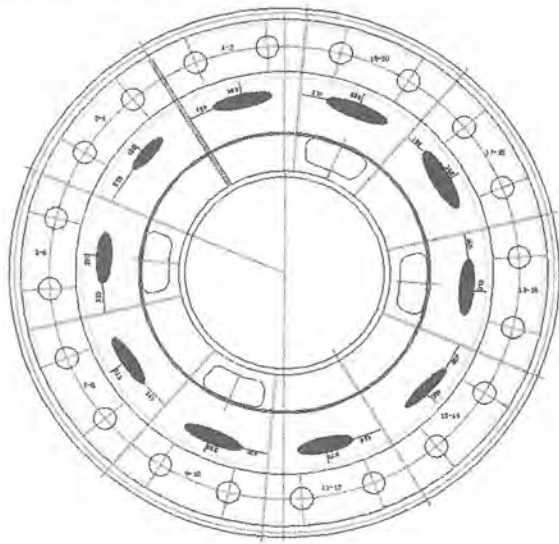


图4 6号机顶盖汽蚀测量绘图

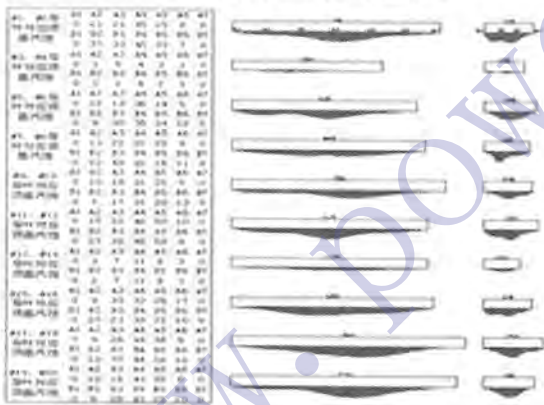


图5 顶盖底板空蚀径向及周向剖面图

4.2 空蚀区域打磨清根

用风动砂轮机对顶盖空蚀区域进行主体打磨,主体露出顶盖本体金属光泽,用风动直磨机对主体打磨之外的细小空蚀进行彻底清根,并露出顶盖本体金属光泽,测量最大深度。空蚀区域打磨清根后见图7所示。

4.3 空蚀部位补焊

在对称的四个顶盖导叶中轴孔内及顶盖抗磨板表面架设百分表,在焊接过程中全程监视焊接



图6 空蚀区域打磨清根后

变形。在施焊空蚀区域对应位置导叶中轴孔架设自制工装,将钢琴线布置可靠,在焊接前后测量导叶上轴套相对于导叶中轴套的偏移。焊接前对焊接区域加热至70℃,按照之前标记的区域,由最深的对称两个区域开始焊接,过程中注意焊接变形。依次将顶盖底板所有区域焊接完毕。空蚀区域补焊后见图8所示。

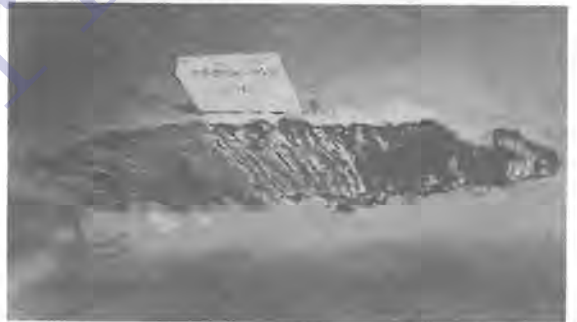


图7 空蚀区域补焊后

4.4 空蚀补焊后打磨

用风动砂轮机将顶盖空蚀补焊后高出本体的部分进行打磨,打磨过程先粗磨找平,再精磨修型。对打磨过程中出现低点的位置进行补焊后重新打磨。空蚀区域补焊打磨后见图9所示。

4.5 探伤检查

对精磨后的顶盖底板进行表面渗透探伤,探测补焊部分内部有无裂纹或缺陷。

5 水轮机抗空化的措施^[1,4,5]

空蚀不仅会使水力机械的金属材料被大量剥蚀,出现穿孔或掉边的现象,还会伴随着产生噪音和压力脉动,尤其是尾水管中的脉动涡带,当其频率一旦与相关部件的自振频率相吻合,则必然引



图8 空蚀区域补焊打磨后

起共振,造成机组的振动、出力的摆动等,严重威胁着机组的安全运行。同时,当水轮机中的空化发展达到一定阶段时,叶片的扰流情况将会变坏,从而减少了水力距,促使水轮机功率下降,效率降低。因此,改善水轮机的空蚀性能有着极其重要的意义。

目前,我国在水轮机防蚀方面的经验主要有以下几个方面:

5.1 改善水轮机的水力设计

翼型空蚀:空化系数明显地受翼型厚度和最大厚度位置的影响,翼型越厚,空化系数越大,所以在满足强度和刚度的条件下,叶片要尽量薄。另外,翼型扰度的增大在其他条件相同的情况下会引起翼型上速度的上升,所以翼型最大扰度点移向进口边并减小出口边附近的扰度,可降低空化系数。其次,叶片进水变的绕流条件对翼型的空化性能也有很大影响,进水变修圆,与叶片正背面型线的连接要光滑,以获得良好的绕流条件,使得在宽阔的工作范围内负压尖峰的数值和变化幅度减小,能延迟空化的发生。

间隙空化:尽可能采用小而均匀的间隙来减小间隙空化。

空腔空化:改进尾水管及转轮上冠的设计能有效减轻空腔空化,加长尾水管的直锥管部分和加大扩散角,有利于提高转轮下部锥管上方的压力,以削减涡带的形成。此外,加长转轮的泄水锥,控制尾水管进口的流速,影响涡带的形成和压力脉动。

5.2 提高加工工艺水平,采用抗蚀材料

叶片表面的粗糙度、波浪度不够标准,叶片出水边厚薄不均、相邻叶片开口不等,材料夹砂、气孔、裂缝等这都将导致叶片空化和空蚀的加剧。需要注意的是安装后的安装孔和螺钉头很容易造

成局部空蚀。

抗蚀材料应具有:韧性强、硬度高、抗拉力强、疲劳极限高、应变硬化好、晶格细、好的可焊性等综合性能,以镍镉为基础的各类高强度合金不锈钢。

5.3 改善运行条件并采用适当的运行措施

5.3.1 规定合理的运行范围

运行水头高的水轮机受到的空蚀强度较大,同一水轮机,偏离额定水头越远,空蚀强度越大。

5.3.2 确定合理的检修时间

在空蚀加剧期,空蚀量随着发电时间急剧增加,因此,一般应在空蚀加剧期来临之前进行大修。

5.3.3 合理选择安装高度

实际的吸出高度越小,其空化和空蚀的程度越轻。

5.3.4 补气法

在运行过程中采用补气的办法减小或消除水轮机尾水管中产生的空腔空蚀。这种方法对破坏空腔空蚀、吸收空蚀所产生的振动有一定的作用。

6 结 语

水轮机的空蚀是始终存在的,尽管我们不能消除它,但要减轻水轮机的空蚀破坏,就必须从设计、制造、运行等多个方面采取积极措施,如设计合理的型线,采用抗空蚀材料,提高冶炼铸造和加工工艺水平,提高检修质量和安装工艺,改善水轮机运行条件使机组在合理的工况下运行。只有这样,才能减少水轮机的空蚀,延长检修周期,更好地发挥机组的经济效益。二滩水电站检修人员通过对二滩水电站水轮机实际运行中空蚀情况的分析以及空蚀处理技术的探讨和研究,有效解决了二滩水电站水轮机的严重空蚀问题,发挥了水轮机的出力和效率,延长了二滩水电站机组的使用寿命,提高了机组安全可靠与经济运行水平,争取了二滩水电站最大的经济效益。

参考文献:

- [1] 刘大恺主编. 水轮机-3版. 北京:中国水利水电出版社, 2000
- [2] 张可危. 流体机械原理. 北京:机械工业出版社, 2000.
- [3] 方超群. 三峡700MW水轮机叶片空蚀现象及修复. 湖北:水电与新能源, 2010. 06

(下转第153页)

对地质因素引起的风险,在项目管理中需高度重视,切实按相关规范及规定做好地质勘探工作,为设计、估算编制提供完备的技术支撑。

为减少设计成果对投资估算的影响,一方面,建议业主给予设计方充足的设计时间,使之做更加具体的论证研究工作,透彻研究各种重要参数,比如装机容量、正常蓄水位、道路选线布置等,为作出相对准确的投资估算做好基础性工作;另一方面,建议规范中加深环保专项设计深度,减少因为环保政策要求带来的工程量变化。

4 结 语

根据在设计单位从事水电工程造价工作的实践,笔者深知水电工程投资估算对水电工程造价管理的重大意义。在水电工程各阶段造价文件中,投资估算是预可行性研究报告的重要篇章,是工程投资的最高限额,是项目决策的重要经济指标和依据。如何对水电工程投资估算进行科学、有效、规范管理显得尤为重要。



(上接第 135 页)

- [4] 段生孝.我国水轮机空蚀磨损破坏状况与对策,北京:中国学术期刊电子出版社,2001
- [5] 韦强.浅谈龙羊峡电厂水轮机的空蚀问题,陕西:陕西水力发电,1993

作者简介:

史宝平(1985-),男,陕西杨凌人,重庆大学电气工程及其自动化专业毕业,工程师,现于雅砻江流域水电开发有限公司从事电

(上接第 143 页)

站运行管理工作;程文(1987-),男,陕西咸阳人,西安理工大学水电站动力设备与管理专业毕业,助理工程师,现于雅砻江流域水电开发有限公司从事电站运行管理工作;檀晓龙(1989-),男,湖北襄阳人,武汉电力职业技术学院机电专业毕业,助理工程师,现于雅砻江流域水电开发有限公司从事电站运行管理工作。

模量偏低,邓肯模型参数中 K_1, K_2 偏低,面板坝对变形极为敏感,为保证大坝的安全,建议提高其压实度,通过试验提高 K_1, K_2 等模量参数。
(6)混凝土防渗墙与面板结合部位的是覆盖层上建造面板坝的关键技术,必须做好结合部位的止水,以防止产生集中渗漏。应合理选择面板施工时间,在坝体填筑半年后进行,以改善面板和止水设施工作条件。

(7)因大坝所处地形为“V”形河谷,两坝肩

水电工程涉及面广,影响因素多,工程特性复杂,个案千差万别,与其他行业投资估算有着明显差别,无疑给造价管理工作带来的难度相对较大。做好水电工程投资估算是一项系统工程,需要不断发现、分析和总结影响投资估算的各种因素,尽可能削弱这些因素对投资估算的不利影响,明确投资估算计算思路,提高造价工作人员对估算总投资的把控能力等等,这些都尤为重要。

参考文献:

- [1] 周尚洁.水电站造价管理的回顾与思路[J].第四届全国工程造价优秀论文集.
- [2] 康健民.水电工程建设征地移民安置费用控制的几点思考[J].中国水利,2010(16):55-56.
- [3] 牟文,徐玖平.项目成本管理[M].北京:经济管理出版社,2008.

作者简介:

孙晨希(1983-),女,湖北孝感人,三峡大学工程管理专业(本科)毕业,四川大学项目管理领域工程(硕士),工程师,从事水电工程造价工作。(责任编辑:卓政昌)

站运行管理工作;

程文(1987-),男,陕西咸阳人,西安理工大学水电站动力设备与管理专业毕业,助理工程师,现于雅砻江流域水电开发有限公司从事电站运行管理工作;

檀晓龙(1989-),男,湖北襄阳人,武汉电力职业技术学院机电专业毕业,助理工程师,现于雅砻江流域水电开发有限公司从事电站运行管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

对坝体有一定拱效应,须做好垂直缝设计,尤其是两岸的张性缝设计。

(8)通过计算分析,说明在深厚覆盖层,尤其是砂卵石层上建面板堆石坝是可行的,但应着重处理好坝体、坝基、趾板及面板的稳定、应力及变形问题,以及采取相应的基础处理设计和细部结构设计。

作者简介:

李胜东(1978-),男,四川达县人,工程师,水工专业本科毕业,从事水利水电工程设计工作。(责任编辑:卓政昌)

四川毛滩水电站4台机组同时并网发电

3月21日11时27分,国电四川毛滩水电开发有限公司毛滩水电站四台机组同时并网发电,机组有功105 MW,达到最高额定设计出力,电站建成投产后首次实现满负荷运行。据悉,毛滩水电站四台机组于今年1月6日全部建成投产以来,由于枯水期来水量小,发电负荷一直较低,部分机组停机备用。进入三月后,随着天气转暖和上游降雨、来水量逐渐增加,该电站根据来水情况,于21日及时申请调度四台机组并网发电,实现满负荷运行,机组设备运行平稳。