

中小型水电站水轮机增效扩容改造研究

田娅娟, 王鑫, 薛鹏, 陈锐, 彭忠年

(中国水利水电科学研究院 北京中水科水电科技开发有限公司, 北京 100038)

摘要: 针对中小型水电站水轮机主要存在的问题, 提出了水轮机增效扩容改造的基本步骤和优化设计方法, 为中小型水电站的增效扩容改造提供了技术支持。

关键词: 中小型水电站; 水轮机; 增效扩容改造; 优化设计

中图分类号: TV734

文献标识码: B

文章编号: 1000-0860(2014)02-0000-00

Study on improvement of efficiency increase and capacity expansion of hydro turbine for small-medium sized hydropower station

TIAN Yajuan, WANG Xin, XUE Peng, CHEN Rui, PENG Zhongnian

(Beijing IWHR Technology Co., Ltd., Chinese Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: In accordance with the main problems existed in hydro turbine of small-medium sized hydropower station, the basic steps and optimized design methods for the improvement of efficiency increase and capacity expansion of the hydro turbine are put forward herein, so as to provide the relevant technical support for the improvement concerned.

Key words: small-medium sized hydropower station; hydro turbine, efficiency increase and capacity expansion; optimized design

1 引言

水电是优质的清洁能源, 充分合理地利用好我国有限的水力资源是积极应对气候变化、建设资源节约型、环境友好型社会、实现可持续发展的必然要求。中小型水电站是我国农村经济社会发展的重要基础, 我国目前已建成农村小水电站约 45 000 座, 装机容量和年发电量均占我国水电装机和年发电量的 1/3。中小型水电在解决农村的无电缺电问题、推动农村经济发展、保护自然生态环境、促进节能减排、保障应急供电等方面一直发挥着重要作用。

由于需要承担防洪灌溉等公益性任务、上网电价偏低和体制机制不顺等多方面原因, 以及受当时技术水平和经济条件的制约, 早期建设的中小型水电站普遍存在技术水平不高、设备设施老化、能效逐年衰减等问题, 不仅造成宝贵水能资源的大量浪费, 还存在不少安全隐患。据统计, 我国 1995 年前投产运行具有增效扩容改造潜力的中小型水电站有 5 700 多座,

装机容量将近 800 万 kW。对这些老旧电站进行增效扩容改造, 不仅能提高水能资源利用效率, 促进我国能源结构调整和节能减排, 保护河流生态环境, 还能消除公共安全隐患, 同时还兼具不需移民、让当地农民群众受益等优点。

2 中小型水电站水轮机主要存在的问题

水轮机是水电站的核心设备, 承担着将水能转换成机械能的作用。水轮机性能的优劣直接影响着水电站的水能利用率和安全稳定性, 因此水轮机的技术改造是水电站增效扩容改造工作的重中之重。我国早期兴建的中小型水电站的水轮机及其运行条件存在的问题主要可归结为以下几点。

(1) 水轮机机型参数落后, 效率水平低、性能差。在 20 世纪 90 年代以前, 我国水轮机的水力模型开发能力还很弱, 主要依靠仅有的少量国外技术。我

收稿日期: 2013-02-17

作者简介: 田娅娟(1978—), 女, 工程师。

国水电站早期大量选用的 HL240、HL220、HL160、HL310、HL300、HL230、HL110 等型号水轮机转轮,均是原苏联或美国等国家 20 世纪 30~50 年代研制的机型(有的小企业至今仍在生产)。与现代技术水平相比,上述型号的转轮存在效率水平低(最优效率约低 3~7%)、高效率区范围小、空化性能与水力稳定性差等缺点。

(2) 机组材质较差,设备陈旧,因空蚀、泥沙等引起的损坏严重。受技术条件与经济条件的限制,我国早期用于制造水轮机的材质较差,转轮等过流部件很少采用不锈钢,而是大量采用 ZG30、ZG35 或 ZG20SiMn 等碳钢制造,这些材料的抗空蚀、抗泥沙磨损能力较差。有些电站的水轮机经过 40~50 年的运行,因空蚀或泥沙磨损进行多次大修。由于电站现场条件较差,转轮在现场补焊后难以进行焊后的热处理及整型,致使转轮叶片变形,水轮机效率、过流能力及水力稳定性等性能指标下降,机组出力降低,有些甚至引起水力不平衡或静不平衡,出现机组摆度大或振动现象。

(3) 选型不当,水轮机长期远离最优区运行。与火电站不同,水电站的最大特点是“个性”很强,不同水电站的水头、流量和机组台数各不相同,而且混流式水轮机转轮叶片角度不能调节,因此需要进行水轮机的型号、尺寸与机组同步转速间的优化匹配才能使转轮内部保持较好的水流状态。当水轮机工况远离最优区运行时,水流以非平顺的状态绕流叶片,则可能出现叶道涡、叶片头部正、背面脱流及尾水管涡带等影响水轮机效率与稳定性的水流状态。造成这些问题的原因有:一是由于我国早期编制的水轮机模型转轮型谱中可供选择的转轮型号少,水轮机的相关参数无法做到优化匹配,不少中小型水电站只能“套用”相近转轮,造成水轮机的性能参数偏离电站实际运行参数,水轮机长期处于低效率区运行;二是由于地方管理部门不够重视、部分设计单位技术水平不高等原因,一些水电站的水轮机转轮直径、额定水头或额定转速选择不当,造成机组性能参数与电站实际运行参数不匹配。有些水电站建成后,实际的来水量或水头等水文数据与设计资料出入很大,以致选用的水轮机性能参数与电站实际运行参数不适应,导致混流式水轮机工况远离最优运行区或可以运行区。水轮机长期在低效率区或非正常运行区运行,将造成电站汛期大量弃水和运行效率降低、出力不足、稳定性差、耗水量多、振动、噪声大及空蚀破坏严重、寿命降低等,有的机组甚至因此而不能运行,

水力资源不能高效利用。

(4) 电站汛期弃水严重。有些电站因无水库或调节库容有限,当汛期入库水量超过发电机组所能通过的流量上限时,多出的流量就不能用于发电,而直接通过其他通道下泄到下游,造成了水力资源的浪费。

(5) 水轮机在枯水期内长期运行于低效、不稳定区。有些中小型水电站汛期与枯水期来水量差别很大,又缺乏调节能力,在枯水期水轮机长期只能允许 20%~60% 额定负荷运行,造成水轮机远离最优工况区运行,同样存在发电效率低、机组稳定性差等问题。

3 技术改造的基本步骤

进行增效扩容改造的水电站受到诸多因素的影响,无法像新建电站一样进行设计和施工,而必须综合考虑各种限制条件,多方权衡。中小型水电站水轮机技术改造一般按如下步骤进行。

(1) 详细了解现场情况。首先需要了解当前的电站及其运行情况,主要包括:①原水轮机结构(图纸及其曾经的变化,含配合尺寸的实际测量等);②原有部件和土建情况;③引水系统结构形式;④导水机构的结构及导叶的调节范围;⑤电站的水量变化;⑥机组的运行方式及运行特点;⑦当地上网电价等。

(2) 分析原水轮机存在问题。根据了解的电站情况,分析原水轮机存在的主要问题,并初步提出改造目标。

(3) 明确机组改造限制条件。完善改造目标,进一步分析电站原有机组的各种限制条件:①机组结构、尺寸限制;②发电机容量的限制;③主轴和其他部件的强度限制;④导叶开度限制;⑤调速器容量限制;⑥飞逸转速限制;⑦土建限制。

(4) 水轮机组的优化设计。进一步明确技术改造目标,采用优化设计手段进行水轮机的选型开发研究:①水轮机转轮的水力设计;②水轮机内部流道的流动分析,如效率与空化性能的评估等;③水轮机的结构优化设计;④如有必要,还需进行优化设计方案的模型试验验证。

(5) 技术改造部件的制造。

(6) 技术改造后的水轮机组安装。

(7) 技术改造后的水轮机组运行。

(8) 技术改造工作总结。

4 水轮机优化设计的基本方法

对于中小型水电站的技术改造项目,一般可以直接利用成熟的计算机优化设计技术,进行技术改造方案的优化设计,这样可以达到节省改造费用、缩短改造周期的效果,并且可以有效保证改造方案的可靠性。水电站技术改造水轮机优化设计的主要流程如图1所示。

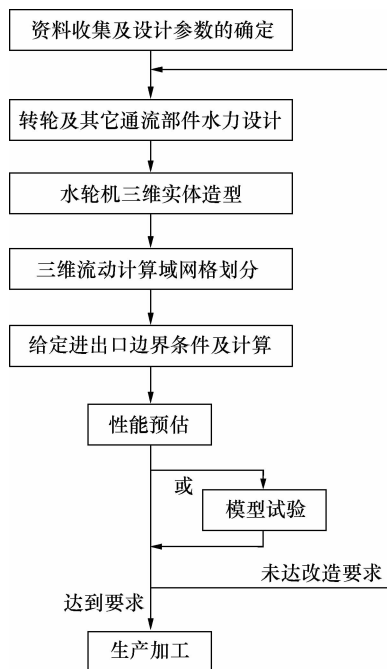


图1 水轮机优化设计流程

(1)收集水轮机运行的水头、流量、机组容量、水质及机组运行方式等原始资料。(2)综合电站水轮机运行可能的单位转速与单位流量范围(由转轮直径、转速、水头及过流量决定)和水轮机运行的效率加权系数分布表,根据经验确定水轮机水力设计最优工况点的单位转速和单位流量。(3)根据经验确定设计边界条件。(4)进行转轮(或其他通流部件)的水力设计。(5)以设计方案为计算域进行不同工况的流场模拟,分析转轮(或其他通流部件)区域的流动状态,预估转轮的汽蚀性能及效率水平。(6)根据流场模拟和水力损失计算结果及设计者的经验优化水力设计方案,修正设计边界条件及相关设计参数,重复步骤(4)~(5),逐次逼近直至满足要求,达到优化设计的目的。(7)如要求模型试验,则完成上述过程以后,将水轮机优化设计方案加工成模型,并在高精度水力机械模型通用试验台上进行各项性能试验与流态观测,验证水轮机优化设计方案的准确性与可靠性。

5 改造业绩

中国水利水电科学研究院水力机电研究所(北京中水科水电科技开发有限公司机电装备部)依托三峡、小浪底等重大工程项目,利用自主开发的水轮机通流部件优化设计系统和高精度水力机械模型试验设备,开发出的JF多系列混流式水轮机水力模型性能优异,适用水头覆盖了20~500 m范围。这些先进技术已被推广应用到100余座中小型水电站的增效扩容技术改造中,这些电站遍布国内20多个省和10多个国家,装机容量超过150万kW。如果按平均增效扩容20%、年平均发电3000 h计,则年平均增发电量9亿kW·h。以平均电价0.4元/kW·h计算,可增加发电收入3.6亿元,经济效益十分显著。每年新增水电发电量可替代标准煤30余万t,减少二氧化碳排放70余万t,产生的社会效益巨大。

6 结语

近年来,由于我国水电设备生产制造能力与技术水平的快速发展,以及中央政策和财政资金的支持,为开展中小型水电站水轮机技术改造提供了有利条件。对于存在发电效率低、出力不足、空蚀磨损严重、稳定性差等情况的中小型老旧水电站,通过对水轮机进行有针对性的优化设计和技术改造,可以有效地改善机组运行性能,达到提高效率、加大出力、减少或消除空蚀、减轻泥沙磨损和提高运行稳定性的目的,具有显著的经济效益和社会效益。本文通过总结笔者所在团队近20年所完成的水轮机技术改造工作,介绍了中小型水电站水轮机增效扩容改造的基本步骤和方法,希望可以为提高我国中小型水电站的能效和科技水平、保障安全生产提供参考。

参考文献:

- [1] 陈雷. 高度重视 精心组织 强化管理 扎实做好农村水电增效扩容改造工作[J]. 中国水利, 2011(20): 1-3.
- [2] 杨旭, 马素萍, 陈锐, 等. 小水电站节能增效的好途径—记晋门口二级水电站和漫海水电站技术改造[J]. 水利水电技术, 2009, 40(4): 76-78.
- [3] 陈锡芳. 水轮发电机组改造增容与优化运行[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [4] 彭忠年, 陈锐, 黄英尔. 爽岛水电站水轮机技术改造[J]. 水利水电技术, 2002, 30(10): 17-18.
- [5] 中国水力发电工程学会. 第十七次中国水电设备学术讨论会论文集[C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.

(责任编辑 郭利娜)