

两叶片转轮在超低水头电站技术改造中的应用

程奇, 郑禄, 王承恩

(重庆航运建设发展有限公司, 重庆 401121)

摘要:介绍了对涪沱水电站水轮机组进行的改造,成功地将转轮的四叶片改为两叶片。机组改造后的试验和测试结果表明各项参数符合要求。电站多年的正常运行证明该机组改造是成功的。两叶片灯泡贯流式机组在超低水头电站中的改造成功,不仅扩展了灯泡贯流式机组的应用范围,还解决了振动、稳定性、可靠性等问题,将两叶片转轮首次应用到水轮机组中,为类似工程提供了很好的借鉴。

关键词:超低水头;灯泡贯流式机组;两叶片;涪沱水电站

中图分类号:TV7;TV737;TV738

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)05-0096-03

1 概述

涪沱水电站位于重庆市合川区涪沱镇涪江干流青竹扁滩,系涪江干流梯级开发中的最末一级,距涪江河口约23 km。电站厂房为河床式,上游正常水位高程为206 m,死水位高程205 m,下游最低水位高程为196.96 m,设计水头8.5 m,最大水头11 m,最小水头3 m,安装有两台灯泡贯流式机组,装机容量为 2×15 MW。该水电站始建于上世纪80年代末,于1992年11月建成投产。

2005年11月草街航电枢纽工程开工建设,该枢纽位于重庆市合川区草街镇附近的嘉陵江干流上,距涪江河口约27 km,上游回水至涪江上紧接涪沱水电站,水库正常蓄水位高程为203 m,死水位高程为200 m。该工程于2009年下闸蓄水,2010年首台机组发电,2011年四台机组全部投产发电。草街航电枢纽工程的建成投运对涪沱水电站运行产生了较大的影响。

2 涪沱水电站改造的必要性及可行性

草街航电枢纽工程蓄水后,上游回水至涪沱水电站,导致该电站尾水位增加到高程203.2 m,最低水位增加到高程202.5 m,上下游水头减至2~4 m,最大水头3.4 m,年加权平均水头仅为2.3 m。若对原机组不进行改造,则在此工况下不能发电,涪沱水电站将报废,并且还需继续对涪沱水电站船闸进行运行、维护和管理。为使国有资产保值、增值,充分、合理地利用涪沱水电站剩下的3 m左右水头,避免水力资源浪费,在一定程度上

缓解地方供用电紧张局面,充分发挥清洁能源的效用,对涪沱水电站进行改造是必要的。

涪沱水电站改造的关键在于水轮机组。如能利用原水轮机组流道,主要对水轮机组进行改造,其它不作大的调整,将充分发挥原有资产的效用,提高工程改造的可行性和能动性。

自20世纪30年代开始,西方国家开发使用灯泡贯流式机组。20世纪50~60年代,因能源危机西方国家进入重视开发低水头电站时期,在这一时期,灯泡贯流式机组技术达到成熟,至上世纪70年代,低水头水力资源开发在一些国家形成了高潮,大型灯泡贯流式机组相继问世,灯泡贯流式水电站建设也达到成熟发展的新阶段。目前世界上已开发出了许多性能优良的3叶片、4叶片、5叶片转轮,而对于超低水头领域的开发还处于起步阶段。最近,由法国和加拿大合作研究的超低水头小型水轮发电机组取得了新的突破。我国国内第一台灯泡贯流式水轮发电机组于1978年由重庆水轮机厂制造^[1],已成功用于涪沱水电站上游梯级的涪江安居水电站,运行至今。20世纪80年代以来,灯泡贯流式水轮发电机组在我国的应用日益普及,20 m水头段以下已进入实用性阶段。国内对超低水头领域的研究也逐步深入,对2~4 m水头的水轮发电机组已有研究和应用实例,但大多集中在潮汐发电站或采用在竖井贯流式水轮机组^[2],况且两叶片转轮灯泡贯流式机组还停留在理论研究中^[3-5],实际应用的实例还没有。

3 改造中的技术路线及方案比较

收稿日期:2017-01-10

技术路线:提出渭沱水电站水轮机组具体的改造方案,优化水轮机叶片,通过物理模型试验进行研究论证,最后对改造后的机组通过性能测试试验得以最终检验。

根据电站基本参数,且鉴于该河段仅有2~4 m水头,只有贯流式转轮可以选择。为满足运行要求,减小电站改造的投资,可以选择机组更换叶片和整体改换水轮发电机组方案进行改造。于是初拟了两套改造比选方案:方案一。利用现有流道及水轮发电机组,仅将水轮机由4叶片改为2叶片,两台机组引用流量仍为 $2 \times 200 \text{ m}^3/\text{s}$ 。方案二。利用现有的流道尺寸,将水轮发电机组全部更换,改为国内生产的水轮发电机组,两台机组引用流量为 $2 \times 148.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 。根据以上两个方案,经技术经济比较,方案一单位千瓦投资、单位电能投资均最省,遂最终推荐方案一。从两叶片机组的应用情况看,两叶片机组目前在全球范围内仅在小容量、小尺寸潮汐电站中应用,在内河及电站技改中无应用先例,特别是由四叶片机组改为两叶片机组,有很多技术难题需要研究解决。

4 改造方案的实施

根据该电站的实际情况,针对渭沱水电站流道及水力特征参数,在不改变原有水轮机流道、保持原额定转速93.75 r/min、发电机不作改造,将原水轮机四叶片更换为新研发出的两叶片,对不用的两个原叶片位置用同轮毂线性一致的轮毂盖密封,保留原水轮机轮毂,转轮直径仍为5.3 m不变。

对将原水轮机4叶片更改为两桨叶方案有关可靠性问题进行了详细的研究,并按照相关流道条件进行了模型试验。在上世纪90年代,原水轮发电机组供应商已针对渭沱水电站转轮改造进行过模型试验。试验是在四叶片转轮轮毂上安装两个三叶片转轮的叶片后进行的,流道条件完全相同,试验相对成功,只是效率略低,因此,由四叶片机组改为两叶片机组方案基本可行。

对于渭沱水电站转轮,通过在三叶片转轮叶片试验的基础上开发出了两叶片转轮叶片并进行了模型开发及测试工作,模型试验通过第三方验证,试验结果表明其容积损失减小,机组运行可靠,振动幅度小,稳定性好,实际效率将优于预计的效率图表,额定点原型机效率增加5个百分点以上。

通过进一步的论证和研究后认为:一是草街航电枢纽运行后,尾水位提高,正常尾水位抬高至高程203.2 m,但与改造前的校核洪水位比较相差不大,对水轮机结构不构成影响;二是改造后对主轴密封和检修密封不构成影响,故决定主轴密封和检修密封不作改造;三是原水轮机飞逸转速为302 rpm,改造后的水轮机飞逸转速为205 rpm,飞逸转速减小较大,机组运行相对安全;四是原水轮机最大水头时轴向最大水推力为 $+/-2500 \text{ kN}$,尾水位提高后,经初步验算,改造后水轮机最大水头时轴向最大水推力为 $+/-590 \text{ kN}$,轴向最大水推力减小较多,正、反推力轴承不须改造,可以满足电站运行需求;五是模型试验完全相同于渭沱电站流道条件,其流道型线和导水机构与渭沱电站一致,相对于原水轮机,流道的过流能力将受到一定影响,但仍能满足在2.4 m额定水头下过流 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 的要求,在此流量时导叶开度为97.5%;六是改造后水轮机协联关系发生改变,但在机组改造时仅作相应调整即可解决;七是改造后调速器操作油压不变,由于机组出力变小,调速功减小,原调速器不受影响,受油器不作改造;八是尾水位提高后,机组安装高程不改变,机组吸出高度降低,对机组抗空蚀损坏有利;九是对励磁系统参数进行了调整。

根据以上改造方案,2010年8月启动了改造工程,于2012年6月完成了两台机组的改造工作。

5 改造效果

改造完成后,安装单位对水轮发电机组、励磁系统、调速系统、机组流道等设备或单体进行了试验、检查和调试。完成了充水试验,手动开停机试验,机组热稳定试验,机组空载试验及过速试验,自动开停机试验,机组带负荷试验,模拟事故信号停机及机组甩负荷试验等,各项试验数据满足要求。

2012年7月,完成了机组无水和有水调试,2012年8月1日,两台机组通过改造后的启动验收。经过72 h试运行和商业运行,水轮发电机组运行安全稳定,机组振动、噪声、机组出力满足要求。

为了评估改造效果,2013年5月,我公司委托湖南省湘电试验研究院有限公司对渭沱水电站改造后的机组进行了水轮机出力及相对效率试

验、空蚀磨损测试试验、稳定性及水压脉动试验。测试结果表明:未发现明显的空蚀部位,机组空蚀状态良好,导水轴承摆度幅值在各工况下合格,机组灯泡头水平振动、发导径向水平振动、发导垂直振动、发导轴向水平振动、水导径向水平振动、水导垂直振动在各工况下合格;水压脉动满足保证值要求,机组无强振区。测试还发现:0~2 MW及3 MW以上负荷区间为振动较大区,建议电厂合理调度,避免机组在0~2 MW区间运行,在该区间运行机组效率较低,振动较大,在3 MW以上负荷区间运行时应加强对转轮室振动的监测,若出现大幅度变化(相同工况变化25%),应立即检查处理。

自2012年8月改造后的机组投入运行以来,机组已正常运行5 a,未发生大的事故。经了解,改造后的涪沱水电站年实际发电量约为5 500万kW·h,远远超过原设计多年平均发电量3 808万kW·h。

以上结果表明:对涪沱水电站进行的改造是成功的。不仅充分利用了水力资源,创造了一定的经济社会效益,还填补了国内外超低水头两叶片贯流式水轮机组应用的空白。

6 结语

两叶片、超低水头贯流式水轮发电机组运用在水电站改造中在国内外实属首次,无经验可借鉴。通过改造,实现了机组安全多年稳定运行,机组性能、振动和噪声满足预期目标和要求。改造

(上接第84页)

与稳定,必须考虑坝体反渗排水问题。

(2)开茂水库副坝施工前期,由于一系列原因没有重视以上问题,待坝体填筑完成后才对这一问题进行了考虑并加以解决,从一定程度上讲,安装逆止阀亦属于补救型技术措施。鉴于其他处理方案限制条件较多且施工成本大、施工时间较长,相应地突出了逆止阀安装方案的优势。

(3)市场上常用的逆止阀形式较多,通过对类似工程的查阅访问,各种逆止阀均不同程度地存在一定的缺点。压差放大式逆止阀采用弹性膜片等压力放大装置对水头差进行放大,并利用弹性膜的变形带动止水装置移动实现阀门启闭的逆止阀,无论从原理和性能上均较其他产品有较大

后的机组成功运行也为我国充分利用超低水头的残余水力资源创造了可能。

涪沱水电站改造的成功,为今后超低水头贯流式水轮发电机组运行提供了成功的经验,扩大了水轮机组选型范围,为超低水头大流量水电站设计提供了借鉴,也为今后类似电站的改造提供了成功案例。同时,为充分利用水力资源,结合城市景观和防洪要求,超低水头灯泡贯流式机组的应用前景十分广阔,如松花江大顶子山航电枢纽工程采用三叶片灯泡贯流式机组已成功运行10余a。

参考文献:

- [1] 汤毅强. 灯泡贯流式和轴伸贯流式水轮机的发展现状[J]. 东方电气评论[J], 1990, 4(4): 274-278.
- [2] 杨春霞, 郑源, 等. 超低水头竖井贯流式水轮机模型试验[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(6): 87-90.
- [3] 张铮. 两叶片双向贯流式水轮机数值模拟[D]. 西安: 西安理工大学硕士学位论文, 2013.
- [4] 冯明哲. 贯流式水轮机两叶片转轮的适用性研究[D]. 西安: 西安理工大学硕士学位论文, 2012.
- [5] 周晨阳. 两叶片灯泡贯流式水轮机设计及流动分析[D]. 广州: 华南理工大学硕士学位论文, 2014.

作者简介:

程奇(1965-),男,重庆市人,高级工程师,硕士,从事水电及水运工程建设技术与管理工作;
郑禄(1965-),男,吉林舒兰人,高级工程师,学士,从事水电及水运工程建设机电设备技术与管理工作;
王承恩(1984-),男,四川通江人,高级工程师,硕士,从事水电及水运工程建设技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

改进,更符合本工程要求。

(4)根据开茂水库工程的实际需要,对现有逆止阀进行了比选,并选择了压差放大式高精度逆止阀产品做为副坝反渗排水装置。施工过程中,对厂家建议的施工进行了相应的改进和优化,不仅施工简便,而且效果较为理想,可为今后类似工程提供借鉴和参考。

作者简介:

李红良(1976-),男,陕西商洛人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
李旺盛(1987-),男,青海民和人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)