

# 大功率竖井贯流与灯泡贯流水轮发电机组的技术经济分析及应用

甘波

(四川嘉陵江小龍門航电开发有限公司,四川南充 637000)

**摘要:**小龍門水电站是目前国内最大的竖井贯流机组,该机组的投产、运行填补了大功率竖井贯流水轮发电机组在国内应用的空白,并通过竖井增速机组与灯泡贯流机组的技术、经济比较以及近6年的运行维护经验,指明了超低水头电站在应用大功率竖井贯流式机组的方向。

**关键词:**基本参数;安装调试;机型效率;建议

**中图分类号:** U455.8;TM923.3;TK733+.8

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2015)02-0106-03

## 0 引言

近年来,国内外对超低水头电站的兴趣日益增加,为减少高坝大库淹没损失与移民搬迁、减少土建、设备等费用,超低水头水电站成了热门的话题。目前适用于超低水头的机型有灯泡或竖井贯流式水轮发电机组,由于竖井贯流机组轮毂比小,过流量大,发电机转速高,经济指标好,因此竖井贯流式水轮发电机组更适合超低水头的电站。然而竖井贯流水轮发电机组起步较晚,此种机型国内应用较少,特别是在大功率竖井贯流机组更是少见,目前嘉陵江小龍門水电站为国内乃至亚洲最大的竖井贯流机组的电站,装机容量 $4 \times 1.3$  MW,该工程以航运和发电为主,于2003年开始兴建,2008年8月首台机组开始发电运行,到目前为止已运行有6年,由于该竖井机组单机容量大,在设计、制造、安装和运行方面积累了前所未有的经验和科技成果,本文以小龍門水电站工程为例,对大功率竖井贯流、灯泡贯流水轮发电机组进行了技术经济分析,并说明了大功率竖井贯流水轮发电机组在运用中需要注意的问题。

## 1 机型基本参数对比分析

小龍門水电站最大水头6.31 m,额定水头5.0 m,最小水头3.0 m,根据运行水头适合的机型有竖井贯流式和灯泡贯流式,但是,竖井贯流机组与灯泡贯流机组各具有其特点。

小龍門水电站工程在初步设计中推荐采用灯泡贯流式机组。但在施工设计阶段,遇到了诸多困

难,比如:水轮发电机组采购时,由于机组运行水头超低、转速低、发电机尺寸大、生产周期长、制造难度大、交货时间不能满足电站的施工工期要求,同时大件运输也较困难等。于是对竖井贯流式和灯泡贯流式两种机型主要性能参数进行比较。

表1 两种机组性能基本参数比较表

项目	竖井贯流机组	灯泡贯流机组
水轮机型号	GZ1180 - WS - 650	GZ1026 - WP - 680
额定转速 r/min	75	65.2
转轮直径 m	6.5	6.8
轮毂比	0.3	0.35
水轮机重量相对值	1	1.12
发电机型号	SFWG13 - 8 /1800	SFWG13 - 92 /7350
额定转速(r/min)	750	65.2
飞逸转速(r/min)	2 230	210
定子槽数	108	450
定子铁芯外径(mm)	1 800	7 200
定子铁芯长度(mm)	1 700	950
转子磁级个数	8	92
发电机重量相对值	1	3.83

由表1参数可知,在超低水头、相同出力条件下,灯泡贯流式转轮直径比竖井贯流式大0.3 m,转速低15%,水轮机重量多12%,水轮机流道尺寸也略大。水轮机最大起吊重量多12%,厂房起吊高度增加5%。而竖井贯流式发电机增加了一套变速系统,但发电机的重量仅是灯泡机的1/4,故机组重量轻。对发电机而言,若选用灯泡贯

收稿日期:2015-03-16

流式机型,按照水轮机参数,发电机转速为 65.22 r/min,转子磁极数为 92 个。根据电磁计算,发电机定子需选择 450 槽,发电机结构尺寸相对而言较大,其经济性指标明显下降,随之带来的是运输难度增大,发电机无法整体运输,灯泡头、锥体、定子机座等部件均需分瓣才能完成。同时,定子还需要在工地完成叠片、下线等工作,转子要采用叠片磁轭结构,也需在工地现场进行组装。

从表中可以看出竖井贯流式机型,通过增设一个增速齿轮箱将发电机转速提高到 750 r/min,发电机结构尺寸大为减小,定子槽数减为了 108 槽,转子磁极数仅为 8 个,发电机可实现在制造厂总装配后整体运至工地。显然,给制造和运输带来极大的方便。

## 2 机型安装调试、周期的对比分析

由于灯泡贯流式机组结构紧凑,故安装工作要在狭小的空间里进行。而总体上这种机型,特别是对于尺寸较大的机组,其大部件刚性又相对较弱,这样,要满足机组重要部位设计精度的需要,其安装难度、调整工作量大、工作周期长是显而易见。但对竖井贯流式发电机组而言,情况则完全不一样,竖井贯流机组的发电机部分可在制造厂内进行总装,并在完成转动部件的静、动平衡试验后,如齿轮箱一样,整体运至工地可直接吊入竖井内就位后安装。另外,直锥尾水管的里衬在第一阶段安装,并作为后续工程的基准和支持面,导水机构在安装场预组装,待厂房土建工作结束后整体吊装就位,接着是安装主轴、转子、增速器和发电机,仔细地对中调直,使其在一条直线上,这样可大大减小安装场地,缩短安装周期。

## 3 机型维护检修的对比分析

一般竖井外形除了迎水面做成圆弧形外,沿水面均为平面。灯泡贯流式机组发电机部分的维护工作较少,但维护操作则较为困难,发电机大修时流道需要进行排水,所需维修所需的时间较多。竖井贯流式机组发电机部分的维修操作则较为方便,不需要对流道部分实行排水。当然,增加了一个齿轮箱的维护,增速器一般指齿轮传动,需要我们对齿轮箱的选择给予足够重视,选用可靠的、高质量的产品,就完全可以将在齿轮箱的故障率和机组总体噪音降到很低程度。由此看来,竖井机组也可以提高设备的运行可靠性和安全性,减少维

护工作和费用。

## 4 机型效率的对比分析

通常,人们可能认为竖井贯流式机组由于增加了一个齿轮箱,效率要比灯泡贯流式机组低。事实上,一台高质量的行星齿轮效率满负荷时效率约为 99%,行星齿轮效率损失可从高速发电机的效率提高得到补偿。在做具体分析后,我们会发现,实际上两机型的效率几乎相差不大,详见表 2 相关数据。

表 2 两种机组效率比较表

项 目	竖井贯流机组	灯泡贯流机组
水轮机效率(%)	92.4	93.7
发电机效率(%)	98.1	96.2
增速器效率(%)	98.2	—
机组整体效率(%)	89	90

由表 2 中两组数据可以看出,两种形式机组的综合效率相差不多。此外,竖井贯流式发电机还因无需采用强迫通风冷却,从而能有效减少厂用电负荷。

## 5 两种机型价格的对比分析

两种机型的水轮机结构基本相同,制造过程也大致一样。但灯泡式水机转轮直径大,重量重,故竖井贯流式水轮机比灯泡贯流机的造价有明显优势。

对发电机而言,竖井贯流式发电机转速较高,转动部件材料的机械性能要求比灯泡贯流机高,若仅从吨价来看,竖井贯流式发电机的吨价比灯泡贯流机高,但由于发电机转速的提高,发电机的总重量也大大减轻,加上增加的齿轮箱带来的投资,其发电机总体价格具有较大优势。若以灯泡贯流式机组的造价为 100%,两种机型的价格统计分析见表 3。

表 3 两种机型价格的比较

项 目	竖井贯流机组	灯泡贯流机组
水轮机(进口叶片)(%)	59	72
发电机(%)	9	28
齿轮箱(进口)(%)	14.8	—
齿轮箱油站系统(进口)(%)	1.4	—
总 计(%)	84.2	100

从表 3 中可以看出,灯泡贯流机组的价格约是竖井贯流机组的 1.187 倍,竖井贯流机组实际采购价格比灯泡贯流机组约少 2 300 万元,能节

省电站的机电投资。

### 6 建议

小龙水电站大功率竖井贯流机组已成功运行了 6 年,在近几年运行中发现了不少问题,根据此机组在应用中曾出现过的问题,笔者建议大功率竖井贯流机组应在以下几方面引起足够的重视:

(1)水轮机,增速器、发电机的同轴度要严格按照设计要求进行安装;

(2)增速器油泵控制系统中油温、油位及油压均要满足增速器运行要求,才允许机组启动;

(3)增速器润滑油选用高质量、性能优的润滑油;

(4)增速器选用品质优良,口碑好,售后好的厂商;

(5)增速器振动情况的监察;

(6)合理调整导叶紧急关闭规律、调速器轮叶协联关系以及调速器的关机时间和两段关闭拐点,减少反水锤对增速器推力轴承的冲击;

(7)机组运行过程中增速器各部的油温,定  
~~~~~  
(上接第 105 页)

单宽功率。分析原因为原型观测中导流洞分流能力比模型分流能力差,导致原型与模型单宽功率接近。说明在河道截流施工中会具有更大的龙口单宽功率,故在山区河道截流中需考虑更大的截流难度。

(4)在施工中,根据工程现场的实际情况,及时果断决策是模型试验成果促使截流成功的关键。2011 年 4 月 2 日,根据大渡河临近汛期、来水量逐步加大的情况,及时决策启动了截流各项工作;4 月 5 日上午,根据截流龙口的实际条件,及时调整了抛投方向和适当向上游侧加宽右岸戗堤,从而避开了左岸戗堤的薄弱部位,确保了截流顺利成功。分析观测资料可知,主要是选择在临近汛期前实施围堰分流,上游由于下雨及冰雪融化,流量在 5 日 8 时,来水突涨并超过 570 m<sup>3</sup>/s,

期对增速器邮箱内的油质进行检查;

(8)发电机集电环碳刷选用适宜高转速水轮机、硬度合适的产品。

### 7 结语

小龙水电站是目前国内最大的竖井贯流机组,该机组的投产、运行填补了大功率竖井贯流水轮发电机组在国内应用的空白,并通过竖井增速机组与灯泡贯流机组的技术、经济比较以及近 6 年的运行维护经验,指明了超低水头电站在应用大功率竖井贯流式机组的方向。

同时,我们也应该清楚地认识到,竖井贯流机组特别是大功率竖井贯流机组起步较晚,目前虽取得了前所未有的进步,但还需要在今后的运行维护中不断总结和完善,也有可能应用中暴露出更多的问题需要我们去探索和完善。

#### 作者简介:

甘波(1982-),男,四川资中人,硕士,工程师,从事水电厂运行维护技术工作。

(责任编辑:卓政昌)

且一直持续。

(5)导流洞分流效果不明显。在截流戗堤处,河道主流位于河床中央,在天然情况下导流洞分流比约占总流量的 9.4%。而观测结果显示,导流洞分流 7.00 m<sup>3</sup>/s,分流比仅为 2.62%,分流效果不明显。分析得出导致实际分流困难的原因是导流洞残埂增加了过水难度。

#### 作者简介:

宋方刚(1984-),男,陕西西安人,硕士,工程师,处长,现在国电大渡河流域水电开发有限公司从事大型水电站施工管理工作;

马旭东(1984-),男,四川达州人,工学博士,现在四川大学水利水电学院从事博士后研究工作;

戴光清(1954-),男,四川成都人,工学博士,四川大学教授(博导),主要从事水工水力学,流体量测技术领域研究;

丁治平(1985-),男,陕西安康人,硕士,现在国电大渡河电力工程有限公司从事项目管理工作。(责任编辑:卓政昌)

## 金沙江水电开发质量检查专家组检查乌东德筹建工程建设

2015 年 3 月 23 至 27 日,由中国工程院院士张超然、郑守仁、马洪琪等 13 位专家组成的金沙江水电开发质量检查专家组来到乌东德工地实地检查筹建工程建设质量,这是专家组第二次赴乌东德检查工程筹建情况。专家组集中查勘了筹建工程现场,查阅大量基础资料,认真听取了参建各方的汇报,分组与参建各方进行了专题交流,对质量保证体系建设和执行、以及筹建工程质量进行了全面检查。同时,专家组还针对部分筹建工程项目的重大技术问题进行了专题咨询,提出了指导性的意见和建议。