

苏布雷微型电站金属结构设计

贾爱军，吕念东，李焰

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川 成都 610072)

摘 要:苏布雷微型电站采用的是灯泡贯流式机组,针对该机组特点,在设计时对金属结构布置作了专门研究,同时也对拦污栅的水头损失、主梁设计、抗振等方面作了详细研究,创新设计出一种弹簧平盖式充水阀,应用于进水口检修闸门和尾水闸门,收到良好的效果。

关键词:灯泡贯流式机组;拦污栅;水头损失;振动;充水阀

中图分类号:TV74;TF578.3+3;S219.02 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)01-0111-03

The Design of Metal Structure of Soubre Micro Power Station

JIA Aijun, LV Niandong, LI Yan

(Chengdu Engineering Co., Ltd, Power China, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: The bulb tubular generator is used in Soubre Micro Power Station. According to the characteristics of the generator, the layout design of the metal structure is specially studied; meanwhile, the head loss, the main beam design, the anti-vibration and other aspects of the trash rack are also studied in detail, a kind of spring flat cover water filling valve is innovatively designed, which is applied to the intake bulkhead gate and the tail-race gate, and good results has achieved.

Key words: bulb tubular generator; trash rack; head loss; vibration; water filling valve

1 电站概况

苏布雷水电站位于科特迪瓦西南部,萨桑德拉河中下游河段纳瓦(Nawa)瀑布附近,是该河上的第二个梯级。苏布雷水电站的主要任务是发电,电站总装机 275.1 MW,是科特迪瓦目前最大的水电站。

苏布雷水电站设有一个主电站和一个微型电站。主电站装设 3 台额定功率为 90 MW 混流式水轮发电机组;微型电站装设 1 台额定功率为 5.31 MW 的灯泡贯流式机组。

微型电站虽然规模不大,但金属结构的设计很有特点。为适应灯泡贯流式机组,拦污栅采用了非常规的设计方式;为增强充水阀的封水效果,对进水口检修闸门和尾水闸门的充水阀做了创新设计,并申请了专利。

微型电站布置于大坝溢洪道右侧,电站左侧为厚闸墩,将溢洪道与电站隔开;右侧为混凝土挡墙,将心墙堆石坝与电站隔开。电站顺水流方向依次为进水渠、挡水段、主机间、尾水闸墩和尾水渠。

微型电站的正常蓄水位为 152.00 m,设计洪水位为 153.40 m,最低水位为 151.26 m。电站的金属结构包括进水口拦污栅、进水口检修闸门和尾水事故闸门及其启闭设备。

2 拦污栅的设计特点

对于灯泡贯流式机组,因其水头低、流量大、流道短,水头损失对发电效益的影响很大,所以对拦污栅结构及清污问题需要仔细研究^[1]。

2.1 拦污栅结构布置

为加大引用流量,优化进口的水流条件,机组进水口采用喇叭口型式,形状按圆弧曲线扩展。贯流式机组拦污栅一般采用倾斜布置,本工程按与水平线夹角 80°布置。

拦污栅宽度为 5.566 m,孔口斜长为 9 m。拦污栅栅叶需分 3 大节制造、运输,如果按常规活动式拦污栅设计,每节设置 2 根主梁,共需 6 根主梁。而将主梁设计为固定式,只需 2 根主梁即可安装 3 节栅片,减少主梁有利于降低水头损失,故本电站采用固定式主梁设计。每大节栅叶再沿宽度方向分为 5 片,单片宽度 1.04 m,高度约 3 m。

栅片和主梁之间通过螺栓组连接。栅条截面设计为矩形,规格为 $20\text{ mm}\times 200\text{ mm}$,栅条净距为 80 mm ,用开有槽口的条形肋片及角钢和栅条焊接成栅片。单个栅片大小尺寸适中,采用焊接结构利于栅片的整体稳定。

2.2 水头损失

当水流通过拦污栅时,因受栅条及主梁的阻拦,水流断面收缩将产生水头损失;当水流通过拦污栅后由于断面扩大,流速又减缓,因而又产生水头损失^[2]。水流通过了拦污栅时的水头损失按下式计算:

$$\Delta h = \xi \frac{V_1^2}{2g} + \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

式中: g 为重力加速度; V_1 为栅前流速, V_2 为栅后流速,流速的计算方法为流量除以过水面积。 ξ 为栅条的损失系数,计算公式如下:

$$\xi = \beta_k \sin \alpha \left(\frac{\delta}{l} \right)^{\frac{4}{3}}$$

式中: β_k 为栅条形状系数; α 为栅叶与水平面的夹角; δ 为栅条厚度; l 为栅条净距。

从公式可以看出,在流量恒定的情况下,影响水头损失的主要因素就是拦污栅的挡水面积。拦污栅设计采用固定式主梁,减少了常规设计需要的主梁数,有效减小了拦污栅的净面积,增加过流面积,进而减少了栅后水头损失。

经计算,在额定流量 $50\text{ m}^3/\text{s}$ 下,水头损失为 0.064 m ,低于业主合同要求的 0.1 m 。

2.3 主梁设计

贯流式机组多为喇叭型进水口,水流通过拦污栅时流线方向不一,将拦污栅的主梁设计为流线型断面,各主梁顺水流按正常蓄水位时相应的流线定向,有利于减少水头损失。前苏联水工科学研究院对拦污栅进行的流体动力学试验结果表明,横梁结构对斜向水流的阻力系数影响很大。流线型程度高的断面,水阻力系数比较小^[3]。苏布雷微型电站机组发电引用流量为生态放水量,要求水轮机在任何工况下运行,过流量均保持在 $50\text{ m}^3/\text{s}$,因此,通过进水口的水流变幅不大,水流流线稳定,采用流线型主梁效果会很好。

为提高流线型梁的刚性,微型电站拦污栅主梁设计为钢板包裹混凝土的型式。采用 16 mm 和 25 mm 厚的钢板焊接为流线型梁,两端固定在

预埋在一期混凝土的锚板上,钢梁上方留灌浆孔,现场安装后再灌装混凝土。

主梁设计为流线型,对提高贯流式机组的发电效益很有好处。如有条件开展水工模型试验,能对拦污栅进行试验研究和优化设计,效果会更好。本电站因受投资和工期限限制,未做试验研究,流线型主梁的型式及流向布置均为经验设计。

2.4 拦污栅抗振设计

灯泡贯流式机组的进水流道短且平直,进水口动能差相对较大,进水喇叭口的水流流态差^[4]。拦污栅距离机组较近,受到的水流吸力很大。同时,水轮机导水叶片开度的变化也会对拦污栅造成冲击。贯流式机组前拦污栅损坏的事例很多,如王甫洲水电站发生栅条断落^[5]、马迹塘水电站发生栅间连接板断裂、焊缝开裂等。这些破坏大都是因为拦污栅出现强烈振动造成的。所以,防止栅叶因共振而引起疲劳破坏是本电站拦污栅设计的一个重点。

拦污栅结构流激振动是流、固耦合的相互作用,取决于结构的自振频率与所承受的水力激振力。当过栅流速增大到某一范围时,栅条尾部将出现交替的涡流脱落。当涡流脱落产生的干扰频率 f 与结构自振频率 f_n 一致时,拦污栅将会因结构激振加剧而发生共振。避免拦污栅激振的关键是让栅条固有自振频率 f_n 远离涡流脱落干扰频率 f 。为避免栅叶振动,闸门设计规范规定 $f_n/f > 2.5$ ^[6-7]。

栅叶设计时,经计算复核,单根栅条的固有振动频率为 $f_n = 112.2\text{ Hz}$ 。在正常发电工况下,涡流脱落干扰频率 $f = 10\text{ Hz}$;在机组飞逸工况下, $f = 30.9\text{ Hz}$ 。两种工况下, f_n/f 均大于 2.5 ,栅叶不会发生强烈的流激共振。

2.5 清污机设计

微型电站机组运行额定水头 11.9 m ,最高水头 13 m ,最低水头仅有 4.36 m ,水头十分宝贵。设置清污机不定时清理拦污栅前的污物,有利于降低栅后的水头损失,对于维持机组出力,提升发电效益意义显著。

结合微型电站进水口检修闸门和大坝溢洪道检修闸门的需要,在进水口顶部设置1台 $2\times 200\text{ kN}/2\times 125\text{ kN}$ 双向门机。在门机的主起升机构上设置1台 35 kN 清污抓斗,抓斗可沿坝顶至孔

口上方的导轨下行抓取栅叶前的污物,抓取的污物卸放到拦污栅孔口左侧的卸污平台,然后再通过汽车将污物运走。拦污栅前后设有液位传感器,传感器将水位信号送至中控室,中控室可根据水位信号发出压差报警和清污提示信号。

3 检修闸门及尾水闸门的布置方案

为便于灯泡贯流式机组的检修和事故保护,常用的布置方案为在进水口拦污栅之后、机组前设置检修闸门,在尾水管出口设置事故闸门。苏布雷微型电站也采用这种布置方式。

进水口检修闸门的孔口尺寸为 $5.566\text{ m} \times 6.013\text{ m}$,设计水头为 21.91 m ,门型为潜孔平面滑动叠梁闸门,操作方式为静水启闭。闸门设计为 3 节,顶节设置充水阀,启门时先提升充水阀充水,待平压后再分节提起闸门。检修闸门由双向门机的副起升机构通过机械抓梁操作。

尾水事故闸门有两种运行工况:一是机组停机检修时静水闭门挡下游水;二是机组发生事故、导叶不能正常关闭时,动水闭门。因此,事故闸门设计为双向止水型式。闸门采用设在上游面的双 P 型头水封,用外侧 P 型头挡下游水,用内侧 P 型头挡上游水。

闸门的孔口尺寸为 $5.566\text{ m} \times 4.673\text{ m}$,底槛高程为 132.164 m ,上游正常蓄水位为 152.00 m ,下游最低尾水位为 139.00 m ,最高尾水位为 146.50 m 。设计最大挡水水头为 14.336 m ,最大动水下门水压差为 13 m ,门型为潜孔平面闸门,上游设滑道支撑,下游为定轮支撑。门叶设计为 2 节,上节设充水阀,在现场用螺栓连接为一体。门叶梁格内另设加重块以便靠自重动水闭门。

闸门由 $2 \times 320\text{ kN}$ 固定卷扬式启闭机进行操作,可在中控室或现地启闭机房内操作启闭闸门。机组正常运行时,闸门悬挂在闸顶孔口上方附近,处于待命状态,在紧急情况下闸门可在 5 min 之内关闭。

4 充水阀创新设计的成效

在检修闸门及尾水闸门的设计过程中,针对现有国内常规充水阀的缺点,设计了一种新型的弹簧平盖式充水阀装置。

充水阀一般分为平盖式、闸阀式和柱塞式三类,在低水头闸门中常用平盖式充水阀。常规的平盖式充水阀在关闭时依靠压盖自重和作用在压

盖上的水压来封闭充水管口。在充水阀关闭时,如果压盖自重和盖上水压不足,就会造成压盖关闭不严,充水阀漏水的现象;另外常规设计需采用单独的导向轴,充水阀占用空间较大。

针对上述存在的问题,设计了一种结构简单且重量较轻的弹簧式充水阀装置,解决了压盖不能可靠封水的问题。新型弹簧平盖式充水阀装置见图 1。

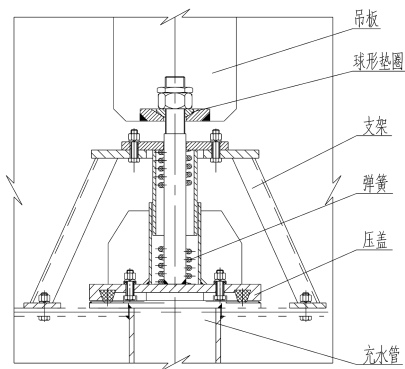


图 1 新型弹簧平盖式充水阀装置图

该装置的工作原理是:当充水阀处于开启状态时,弹簧受吊板拉力处于压缩状态;充水完毕关闭充水阀时,借助弹簧的回推力压紧压盖,使压盖能够可靠封水。同时安装在压盖上的导向杆既可作为弹簧的支撑体,也可作为压盖的导向装置,并能根据吊耳位置调整长短。另外在导向杆与吊板的连接处采用了球形垫圈,可适应吊板的小范围偏转,避免因吊板倾斜产生的扭力造成压盖翘起而影响封水效果。

新型的设计克服了常规平盖式充水阀结构的缺陷,结构简单,封水可靠,阀体体型较小。新型弹簧平盖式充水阀装置已申请专利。

5 结 语

为提高灯泡贯流式机组的发电效益,苏布雷微型电站拦污栅采用了大孔口倾斜布置,并设置了清污机设备。为降低过栅流速,减小水头损失,防止栅叶发生共振破坏,对主梁及栅叶结构做了专门研究和设计。在闸门设计过程中,对弹簧平盖式充水阀作了创新设计,保证了充水阀封水严密。

苏布雷工程电站于 2017 年 12 月初投入商业运行,经过 2 年多的运行,金属结构设备经历了各

(下转第 138 页)

合同管理人员并入项目公司相关职能部门,减少中间环节,直接行使管理职能。

(3)项目公司组织编制移民工程建设管理办法(试行),明确由项目公司代建的移民工程均按照枢纽工程的管理模式和思路实施建设管理。

6 结 语

项目法人单位将大部分精力放在枢纽工程建设上,对移民工程建设管理的重视程度不够,导致移民工程可能成为制约电站下闸蓄水的关健。合理选择移民工程代建管理模式,能够极大提高移民工程建设管理的质量和效率,解决移民工程的难点问题。该水电站建设管理团队结合各单项移民工程的特殊性,充分考虑各种类型代建管理模式的优缺点,科学选择了最适用的移民工程代建管理模式,实现了水电站按期下闸蓄水的建设目标,能够为类似水电站移民工程代建管理提供有益借鉴。

参考文献:

[1] 程 军,陈绍军,陈宇航.开发性移民再定义及其中中国实践模式[J].水力发电,2018,44(11):6—9+63.
[2] 黄雪峰.水利水电工程移民安置实施进度管理的问题与对

(上接第 113 页)

种工况的考验,运行情况良好。该工程的金属结构设计成果可供国内外相似工程借鉴。

参考文献:

[1] 田树棠等.贯流水式水轮发电机组实用技术[M].北京:中国水利水电出版社,2010:136—137.
[2] 水电站机电设计手册编写组.水电站机电设计手册 金属结构(二)[M].北京:水利电力出版社,1988:205—206.
[3] 卜建欣.三峡电站进水口拦污栅设计[J].人民长江,1998,(10):53—62.
[4] 倪建潮.灯泡贯流式水电站进水口拦污栅的设计研究[J].小水电,2004,(5):53—62.
[5] 宋一乐.王甫洲水电厂进水口拦污栅振动观测和技术改造

(上接第 131 页)

择、进场后严格管理等措施,与监理单位相互支持、共同克服困难,监理服务达到了合同要求,在工程建设中发挥了重要作用,为水电行业监理管理提供了有益的借鉴。

参考文献:

[1] 刘学鹏,周洪波.关于当前大型水电工程监理工作的几点思

策[J].水利建设与管理,2018,38(09):57—60.

[3] 付荣华.水电工程移民安置代建项目的实施风险分析与思考[J].四川水力发电,2017,36(01):116—119.
[4] 何 良,潘 勇,张伟锋.浅论水电移民安置工程代建项目风险及预控措施[J].水电站设计,2016,32(02):33—36.
[5] 吴 上,施国庆.水库移民分享水电工程效益的制度逻辑、实践困境及破解之道[J].河海大学学报(哲学社会科学版),2018,20(04):45—51+92.
[6] 于占海,顾文斌.水利移民工程质量管理存在问题及对策[J].山东水利,2018(08):50—51.
[7] 李湘峰,周洪彦,郭俊峰.关于水电建设移民工程项目推行代建制的探讨[J].水力发电,2015,41(11):5—8.
[8] 纪祥洲.大岗山水电站移民项目“代建”管理模式初探[J].水力发电,2015,41(07):93—95.
[9] 许秀贞,王国栋.水电工程移民安置点建设环境影响及保护措施——以乌东德水电站江边集镇安置点为例[J].人民长江,2018,49(21):94—98.
[10] 金鑫.楼庄子水库工程征地移民规划及安置设计[J].水科学与工程技术,2018(04):52—54.

作者简介:

张 岩(1981-),男,辽宁锦州人,高级工程师,现于国电大渡河流域水电开发有限公司从事水电工程技术管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

[J].湖北水力发电,2006,(1):53—54.

[6] 申永康.大型拦污栅结构液固耦合流激振动分析[J].振动与冲击,2014,(21):137—141.
[7] 中华人民共和国能源行业标准,NB 35055—2015 水电工程钢闸门设计规范[C],北京:中国电力出版社,2016.

作者简介:

贾爱军(1979-),男,山西晋城人,硕士,高级工程师,从事水利水电工程金属结构设计工作;
吕念东(1979-),男,四川仪陇人,硕士,高级工程师,从事水利水电工程金属结构设计工作;
李 焰(1971-),女,四川成都人,学士,高级工程师,从事水利水电工程金属结构设计工作。

(责任编辑:卓政昌)

考[J].建设监理,2008,(8):7—9.

[2] 王继敏.建设锦屏精品工程 促进流域水电开发[J].人民长江,2009,(18):1—4
[3] DL/T 5111—2012 水电水利工程施工监理规范[S].

作者简介:

吴火兵(1982-),男,湖北孝感人,高级工程师,在雅砻江流域水电开发有限公司从事水电工程技术与管理工。

(责任编辑:卓政昌)