

水电站气垫式调压室气密性研究

李云辉

(四川华能涪江水电有限责任公司, 四川 成都 610041)

摘要:火溪河“一库四级”水电站中有自一里、木座和阴坪三个水电站成功引进了气垫式调压室技术,三个电站采用了不同气密性技术,包括“灌浆+水幕”的闭气措施;“钢筋混凝土+钢板+钢筋混凝土”的“夹心式”钢罩闭气措施;“钢筋混凝土+钢板”的“外挂式”钢罩闭气措施。三种闭气型式的气垫式调压室运行良好,避免了常规调压室大开挖对周边环境的破坏,具有广泛的推广价值。

关键词:气垫式调压室;气密性;灌浆;水幕;钢包衬砌

中图分类号:TV732.5+6;TV74;D035.39

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2020)02-0108-03

Air Tightness Study on Air Cushion Surge Chamber in Hydropower Station

LI Yunhui

(Sichuan Huaneng Fujiang Hydropower Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

Abstract: Among the "one reservoir and four cascades" hydropower stations on Huoxi River, air cushion surge chamber technology has been successfully applied in Ziyili, Muzuo and Yinping hydropower stations, and different air tightness technologies have been adopted in these three hydropower stations, they are "grouting + water curtain" air closure measures, "sandwich type" steel cover measures of "reinforced concrete + steel plate + reinforced concrete", "External hanging" steel cover measures of "reinforced concrete + steel plate". These three types of air cushion surge chamber has worked well and avoided the damage to the surrounding environment caused by the large excavation of surge chamber, which has a wide range of promotion value.

Key words: air cushion surge chamber; air tightness; grouting; water curtain; ladle lining

0 引言

气垫式调压室首次于 1973 年在挪威运用于 Driva 水电站^[1],迄今为止已有十六座^[2]水电站运用气垫式调压室技术(其中挪威 10 座,国内 6 座)。挪威修建的 10 座气垫式调压室大多位于地质条件较好地区,采用不衬砌技术,而且漏气极少,满足工程运行^[3]。气垫式调压室受地形限制小,特别适用于高水头、长引水电站^[4]。国内修建的气垫式调压室所处地质条件均偏差,采用了固结灌浆、水幕和衬砌等型式对调压室进行了闭气处理^[5]。火溪河 3 个气垫式调压室采用的气密性技术不同,自一里水电站借用挪威经验较多,采用“灌浆+水幕”的闭气措施;木座水电站采用“钢筋混凝土+钢板+钢筋混凝土”的“夹心式”钢罩闭气措施;阴坪水电站采用“钢筋混凝土+钢板”的“外挂式”钢罩闭气措施。从火溪河 3 个电站气垫

式调压室运行情况来看,效果良好。

1 “灌浆+水幕”闭气措施

自一里水电站气垫式调压室采用“灌浆+水幕”闭气措施,气垫式调压室由气室、水幕廊道、连接井及交通洞组成,其布置型式见图 1。

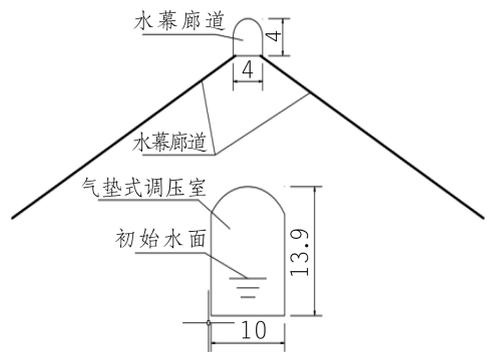


图 1 自一里气垫式调压室布置示意图(单位:m)

调压室水平埋深和垂直埋深均在 350 m 以

收稿日期:2020-02-16

上,实测岩体最小主应力为 σ_3 为4.89 MPa。围岩局部构造裂隙发育,透水性较大,局部阶撑压力较小、最小主应力偏低。气室断面为10 m×13.9 m(宽×高)的城门洞形,顶拱半径5.67 m,中心角 $123^\circ 51' 13.5''$,总长112 m,底板高程1 707 m,初始水面高程1 711 m。

气垫式调压室围岩主要为二云母花岗岩,局部夹二云母石英岩、石英片岩及变质砂岩捕掳体,岩石坚硬,以Ⅱ类围岩为主,局部为Ⅲ类围岩。Ⅱ类围岩不衬砌、表面不喷护,仅局部裂隙处设置锚杆,以防局部掉块;Ⅲ类围岩均进行系统锚杆加挂网喷混凝土支护,并对洞壁继续进行系统高压固结灌浆,灌浆压力4 MPa。气室内主要分布7条断层、3条挤压带和16条长大裂隙,均采用环氧树脂砂浆进行掏槽封堵,并在断层和挤压带的两侧进行裂隙灌浆,灌浆孔距3 m,孔深6 m,灌浆压力4 MPa。

水幕廊道断面为4 m×4 m(宽×高)的城门洞形,总长112 m,布置在气室上方,距气室最小距离14.1 m,底板高程1 735 m,水幕孔间距3 m,共112孔,孔径 $\Phi 70$ mm,孔深35 m,与水平夹角 30° ,水幕孔与气室最小距离为12.45 m。

由于在国内首次采用气垫式调压室,初次充水后,发现水幕廊道漏水量较大,两台水泵采用并联运行方式,过流量为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$,漏气量 $36 \text{ Nm}^3/\text{min}$,水幕廊道交通洞、气室交通洞和6号施工支洞“三洞室”的总漏水量约为 $180 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

依据发电需要,调压室进行了补强处理,主要处理措施有:

(1)对地质探洞、“三洞室”漏水处作局部裂隙灌浆和局部固结灌浆,灌浆孔孔距1.5 m,孔深4 m,灌浆压力4.5 MPa,裂隙表面采用环氧树脂砂浆封闭。

(2)对水幕廊道原水幕孔进行全面高压固结灌浆(灌浆压力4.5 MPa)后,在水幕廊道底板浇筑20 cm厚的C30素混凝土,随后在混凝土底板钻孔重新形成水幕孔(孔深25 m,间距6 m)。

(3)对水幕廊道边顶拱、端墙和底板进行浅孔固结灌浆。

(4)对水幕廊道堵头灌浆廊道进行深孔帷幕灌浆,对水幕廊道交通洞进行全断面钢筋混凝土衬砌、回填灌浆及系统固结灌浆,在水幕廊道堵头

10 m处增设三排斜向灌浆孔。

(5)对气室堵头灌浆廊道进行深孔帷幕灌浆,与水幕廊道堵头灌浆廊道的帷幕灌浆在空间上形成一道连续、封闭的防渗体。对气室交通洞进行全断面钢筋混凝土衬砌、回填灌浆及系统固结灌浆,在气室堵头10 m处增设三排斜向灌浆孔。

(6)在6号施工支洞堵头10 m处增设三排斜向灌浆孔,支洞堵头至与调交洞交点处进行增设固结灌浆,并将全断面钢筋混凝土衬砌延伸至与调交洞交点处。

(7)地质探洞向外采用C15混凝土封堵40 m,并进行顶部回填灌浆和封堵段末端固结灌浆。

自一里水电站气垫式调压室在进行补强处理后,气室运行情况好转,补气量有所减小。

2 “钢筋混凝土+钢板+钢筋混凝土”的“夹心式”钢罩闭气措施

木座水电站气垫式调压室采用“钢筋混凝土+钢板+钢筋混凝土”的“夹心”式钢罩闭气措施,气垫式调压室由气室、连接隧洞、交通洞组成,其布置型式见图2。

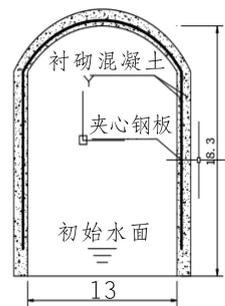


图2 木座气垫式调压室布置示意图(单位:m)

调压室上覆岩体厚323~368 m,除去强卸荷、弱风化岩体,上覆岩体厚299~260 m。侧向最小埋深200 m。围岩裂隙不甚发育,属弱~微透水岩体,高压压水试验显示岩体透水性微弱,阶撑压力均值为5.55 MPa。气室断面为城门洞形,断面尺寸为13 m×18.3 m(宽×高),圆心角为 $109^\circ 21' 46.8''$ (109.363°),总长72 m。气室初始水面高程1 264 m。

气垫式调压室围岩主要为黑云母变质岩,中一厚层状为主,局部为中厚—薄层,为微新岩

体,完整程度为较完整~完整,岩体以块状结构、Ⅱ类围岩为主,局部次块状结构、Ⅲ类围岩,其中断层带为Ⅳ类围岩。气室内主要分布3条断层、1条挤压带和4条裂隙。Ⅱ类围岩可不进行挂网喷混凝土支护,Ⅲ~Ⅴ类围岩必须进行挂网喷混凝土支护。

气垫式调压室闭气措施主要依靠钢板封闭气体,其关键的技术问题是平衡地下水压力和气室气体压力,解决的办法是设置“平压系统”。平压系统与城门洞形气室型式一致,呈连通的倒“U”布置。内、外采用钢筋混凝土衬砌。内外双层混凝土中设置钢板。钢板在制作厂预制成型后涂刷环氧金钢沙磁漆进行防腐。

3 “钢筋混凝土+钢板”的“外挂式”钢罩闭气措施

阴坪水电站气垫式调压室采用“钢筋混凝土+钢板”的“外挂式”式钢罩闭气措施,气垫式调压室由气室、连接隧洞、交通洞组成,其布置型式见图3。

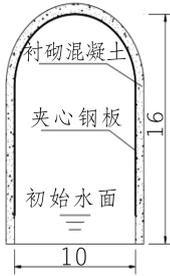


图3 阴坪气垫式调压室布置示意图(单位:m)

气垫式调压室铅直最小埋深370m,侧向最小埋深275m,除去强卸荷岩体最小埋深约240m。围岩裂隙发育,透水性强,阶撑压力多大于4MPa,但裂隙和断层发育地段阶撑压力较小。气室断面为10m×16m(宽×高)城门洞形,中心角180°,气室底板高程1006m,初始水面高程为1010m,初始水深4m,气垫式调压室的稳定面积为1000m²。气室设计气体压力2.48MPa,最大气体压力3.04MPa。

气室围岩为微新似斑状二云母花岗岩,属中等强度、较高弹模的岩石,整体~块状结构,属Ⅲ类围岩;局部断层及裂隙发育地段为Ⅳ~Ⅴ类围

岩,围岩以Ⅲ类为主。气室内主要分布2条断层、1条挤压带和2条裂隙。结构面延伸长大,顺结构面特别是断层带渗透性较强,靠岩体闭水、闭气难度很大。

气垫式调压室闭气措施采用罩式型式。闭气钢板拼焊成倒“U”形,内贴于混凝土拱表面。钢筋混凝土拱衬砌厚度70cm,拱间空腔围岩内设置两排平压孔,深入基岩,间距2m,矩形布置,拱间空间和气室里的水垫连通,拱间空腔和平压孔形成平压系统。拱内钢板厚度为14mm,拱间钢板厚度为18~22mm,材质为16MnR。

4 运行效果

自一里水电站气垫式调压室设计尺寸112m×10m×13.9m(长×宽×高),运行气体压力约3.1MPa,布置2台15m³空压机,空压机补气统计时段长20天,总计补气量约35860Nm³,漏气量约12.45Nm³/min;空压机耗电量约67730kWh,耗电量约3386.7kWh/d。

木座水电站气垫式调压室设计尺寸69.6m×10.6m×16.8m(长×宽×高),运行气体压力约1.96MPa,布置2台3.5m³空压机。空压机补气统计时段长23d,总计补气量约7390Nm³,漏气量约0.22Nm³/min;空压机耗电量约1530kWh,耗电量约66.5kWh/d。

阴坪水电站气垫式调压室气室体100m×10.6m×16.6m,运行气体压力约2.22MPa,布置2台3m³空压机和2台1.6m³空压机。空压机补气统计时段长23d,总计补气量约13390Nm³,漏气量约0.42Nm³/min;空压机耗电量约2950kWh,耗电量约134.2kWh/d。

不同闭气形式下气垫式调压室运行参数详见表1。

5 结语

气垫式调压室的运用避免了常规调压室大开挖对周边环境的破坏,三种闭气型式的气垫式调压室运行良好。从闭气效果来看,采用钢衬型式的气垫式调压室普遍优于采用固结灌浆、高压水幕型式的气垫式调压室的闭气效果^[6]，“夹心式”钢罩闭气措施略优于“外挂式”闭气措施。

从施工工艺来看,“外挂式”钢罩相较“夹心式”钢罩简单,从“夹心式”的两次浇筑混凝土简化

(下转第114页)

洗,把5号机组大轴补气润滑水供水管路内存在焊瘤的一段焊缝割除并重新配管焊接,用草酸进行反冲洗后,5号机大轴补气润滑水流量从0.8 m³/h提高至1.3 m³/h。同时,在5号机组大轴补气润滑水管路逆止阀后增加手动排污阀,当大轴补气润滑水流量接近低报警时,开启排污阀对管路进行冲洗排污,以提高大轴补气润滑水流量。通过以上措施,目前锦屏一级水电站各台机组的大轴补气润滑水流量基本稳定在1.1 m³/h。

5 结 语

锦屏一级水电站水轮机主轴中心补气系统在充分借鉴国内多个大型水电站运行经验的基础上进行设计,到目前为止,大轴补气浮球式补气阀动作可靠,大轴补气中心管密封良好。但是大轴补气系统也遇到了润滑水流量低、集水盆工艺不精并缺少水位监视功能、润滑水排水管法兰布置不合理等一系列问题。随着大轴补气系统的不断改造和优化,目前,锦屏一级水电站大轴补气系统整体运行安全可靠。锦屏一级水电站在大轴补气系统遇到的问题和改进措施为尾水水位相对较高的

立轴混流式水轮发电机组的中心补气系统提供了较大的参考价值。

参考文献:

[1] 郑源,鞠小明,程云山.水轮机[M].北京:中国水利水电出版社,2007.
 [2] 冯文贵,雷洪进.东风发电厂机组大轴中心补气装置改造[J].贵州水力发电,2005,19(3):54-56.
 [3] 蔡伟,邓国庆.溪洛渡水电站水轮机主轴中心补气系统设计优化[J].水力发电,2013,39(8):39-41.
 [4] 胡学龙,赖见令.浅析向家坝右岸地下电站主轴中心补气系统[J].水电站机电技术,2012,35(5):12-15.
 [5] 阮凡,李金明.水轮机大轴补气系统技术改造探讨[J].云南水力发电,2013,29(5):108-110.

作者简介:

杨自聪(1989-),男,四川宜宾人,工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;梁成刚(1996-),男,甘肃天水人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
 刘江红(1987-),男,四川自贡人,工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
 梅沈锋(1994-),男,湖北黄冈人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
 杨泽鹏(1995-),男,山西运城人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作。(责任编辑:吴永红、卓政昌)

(上接第110页)

表1 不同闭气形式下气垫式调压室运行参数

序号	闭气形式	运行气体压力 /MPa	空压机容量 /m ³	漏气量 /Nm ³ ·min ⁻¹	耗电量 /kWh·d ⁻¹
1	灌浆+水幕	3.1	30	12.45	3 386.7
2	夹心式钢罩	1.96	7	0.22	66.5
3	外挂式钢罩	2.22	7.6	0.42	134.2

为以外挂钢板为模板的一次浇筑混凝土施工,简化了施工工序,节省了工程量。

钢罩式闭气措施的应用,大大降低了气垫式调压室对周边地质的严苛要求,拓宽了气垫式调压室的适用范围,值得在中小型引水式电站推广应用。

参考文献:

[1] 刘德有,张健,索丽生.气垫调压室研究进展[J].水电能源科学,2000,18(4):1-5.
 [2] 方光达.水电站气垫式调压室应用现状和主要设计问题[J].水力发电,2005,31(2):44-47.

[3] 马吉明,黄子平.气垫式调压室及其工程实践[J].水利水电技术,1999,30(9):38-41.
 [4] 王波,张建梅,鞠小明,李新军.气垫式调压室的运行特性[J].人民黄河,2006,28(2):77-78.
 [5] 胡建永,张健,王慧清.水电站气垫式调压室应用研究综述[J].水电能源科学,2007,25(3):60-63.
 [6] 金家麟.挪威地下水电站的气垫调压室[J].四川水力发电,1991(1):43-47.

作者简介:

李云辉(1981-),男,湖南长沙人,工程师,从事水电站建设管理和环保水保工作。(责任编辑:吴永红、卓政昌)