

金平水电站气垫式调压室气室结构优化设计及计算

谭宜琴^{1,2}, 高宇¹

(1. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司 宜昌设计院, 湖北 宜昌 443002; 2. 三峡大学 水利环境学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要:金平水电站做为金汤河干流梯级开发的龙头工程, 采用混合式开发, 属于长引水、高水头电站。根据其引水系统的地形地质条件, 为保护环境, 节省投资, 最终决定采用气垫式调压室。介绍了金平水电站气垫式调压室气室结构的优化设计过程, 根据气垫式调压室所承受的等效水头压力值对气室结构进行了计算。

关键词:金平水电站; 气垫式调压室; 气室单体; 优化设计

中图分类号: TV7; TV22; TV554

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2015)增1-0068-03

1 概述

气垫式调压室的工作原理: 在岩体内由岩壁和水面围成封闭气室, 利用气室内的高压空气形成“气垫”用以抑制室内水位高度和水位波动, 从而控制水锤和涌波。其下部一般为2~5 m深且与引水隧洞相连的水体垫层, 上部则充满高压气体。电站运行过程中, 当负荷发生变化水位波动时, 气垫式调压室中的高压气体即起到“气垫”的作用并通过其体积的变化抑制涌浪。气垫式调压室适用于高水头、地形条件复杂、地质条件较好的水电站。金平水电站根据其水头、地形、地质条件综合考虑, 最终决定采用气垫式调压室。

建设中的金平水电站位于四川省甘孜藏族自治州康定县境内, 为高坝高水头混合式开发。水库正常蓄水位高程3 090 m, 主要建筑物包括沥青混凝土心墙堆石坝、竖井式溢洪道、引水建筑物及地下发电厂房等。最大坝高91.5 m, 引水系统长8.3 km, 电站装机两台, 装机容量100 MW, 额定水头为428 m。

2 气垫式调压室气室结构的优化设计

2.1 已建工程气垫式调压室结构

挪威已有数十座采用气垫式调压室的水电站建成投产, 这些电站的气垫式调压室所在位置岩石条件较好, 直接采用开挖成型的地下洞室岩壁形成气室。这些电站中的气垫式调压室位置的岩石情况及漏气量情况见表1, 从表1中可以看出, 气室的漏气量普遍较小; 虽然有的漏气量较大, 但经过处理后仍能保证电站的正常运行。

在国内, 已建成的自一里、小天都水电站的气垫式调压室的气室结构也采用了类似挪威已建工程的气室形式, 但自一里、小天都水电站气垫式调压室部位的岩石均为花岗岩, 且存在不均匀变质灰岩或断层分布, 岩石的完整性不及挪威的好, 故其密闭性不够理想, 漏气量较大。在已建成的金康水电站气垫式调压室的设计中, 将气室结构进行了优化, 采用混凝土包钢板的夹心单体结构作为密闭的气室(图1a)。随后, 在电站的设计及建设过程中, 又将气室的单体结构进行了改进, 例如岗曲河二级水电站的气室结构(图1b)。

气垫式调压室采用钢板单体结构密闭高压气体是我国气垫式调压室设计中的一个大的突破。目前, 国内已建成的气垫式调压室所采用的气室单体结构不论是钢板夹在中间, 还是将钢板布置在外侧都存在一个共同的缺点, 即混凝土浇筑量大, 施工复杂, 投资相对较大。

2.2 金平水电站气垫式调压室的结构优化

金平水电站气垫式调压室所处部位的围岩属泥盆系中统下段灰白~灰色厚层、含生物屑结晶灰岩、大理岩化白云岩, 局部夹深灰色千枚岩, 岩体较完整, 岩块饱和抗压强度为66~108 MPa, 洞室埋藏深度满足设置气垫式调压室的要求, 适合修建气垫式调压室。该气垫式调压室气室单体设计在国内已建工程的基础上进行了结构优化, 采用钢板为面板, 根据其所承担的内力设置工字钢作为主梁, 气室内的高压气体与外界水头压力所产生的压力差通过面板传递给工字钢梁, 由工字钢梁再传给紧贴岩壁浇筑的混凝土小柱, 混

收稿日期: 2015-01-07

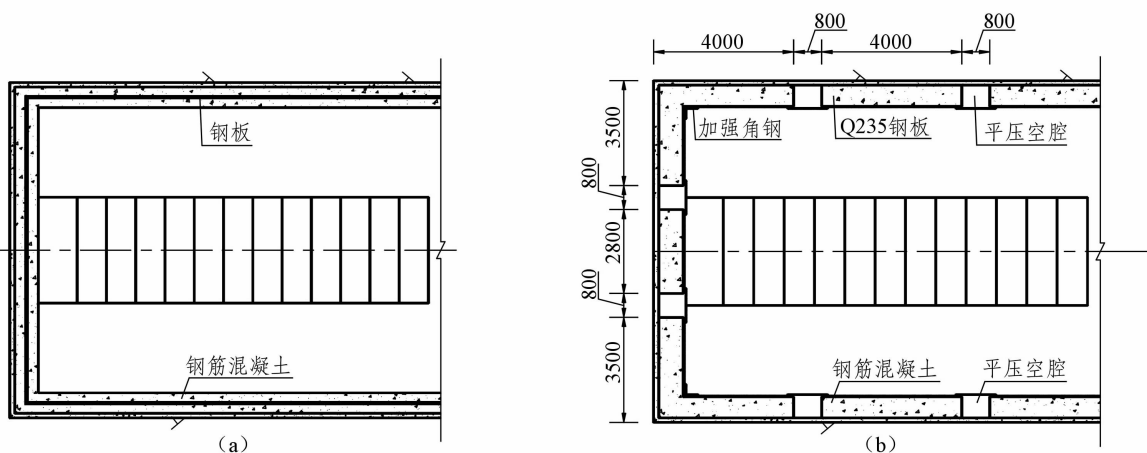


图1 国内已建气垫式调压室气室结构示意图

表1 挪威已建电站气垫式调压室岩石及漏气量情况表

电站名称	岩石类型	岩石天然渗透系数/ $m \cdot s^{-1}$	压力比(气室/天然地下水压)	漏气量/ $Nm^3 \cdot h^{-1}$	漏气量/ $\% \cdot d^{-1}$
Driva	带状片麻岩	—	0.6 ~ 0.7	0	0
Jukla	花岗片麻岩	1×10^{-10}	0.2 ~ 0.7	0	0
Oksla	花岗片麻岩	3×10^{-11}	1 ~ 1.2	<5	<0.01
Sima	花岗片麻岩	3×10^{-11}	0.8 ~ 1.2	<2	<0.01
Osa	片麻花岗岩	5×10^{-5}	1.3	900/70	11/1
Kvidall	混合片麻岩	2×10^{-9}	>1	240/0	0.2/0
Tafford	条带片麻岩	3×10^{-9}	1.8 ~ 2.1	150/0	5/0
Brattset	千枚岩	2×10^{-10}	1.5 ~ 1.6	11	0.2
Ulset	云母质片麻岩	—	1 ~ 1.2	0	0
Torpa	变质粉砂岩	1×10^{-9}	1.7 ~ 2	400/0	2/0

凝土小柱尺寸为 50 cm × 50 cm, 中心点间距为 300 cm, 从而使结构受力简单、明了, 同时大大地减少了钢筋混凝土的工程量, 其具体布置情况见图 2。这种气室罩体的设计较国内已经建成的气垫式调压室气室罩体其主要优点为施工较方便, 便于后期维护和检修, 投资亦较省。

3 气室罩体结构计算

3.1 面板厚度计算

面板采用 Q345R 钢板, 其厚度 δ 的计算公式:

$$\delta = a \cdot \sqrt{\frac{k \cdot q}{\alpha \cdot [\sigma]}} \quad (1)$$

式中 α 为弹塑性调整系数, 当 $b/a > 3$ 时, $\alpha = 1.4$; 当 $b/a \leq 3$ 时, $\alpha = 1.5$; a 、 b 分别为面板计算区格的短边和长边的长度 (cm), 从主梁的中心线算起, 顶拱段为弧长; q 为面板计算区格中心的水压力强度 (MPa), $q = \rho g h_i$ (h_i 为面板计算区格中心点处的等效水头值; $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; k 为弹性薄板支承长边中点弯应力系数, 按《水电站机电设计手册(金属结构)(一)》表 5 -

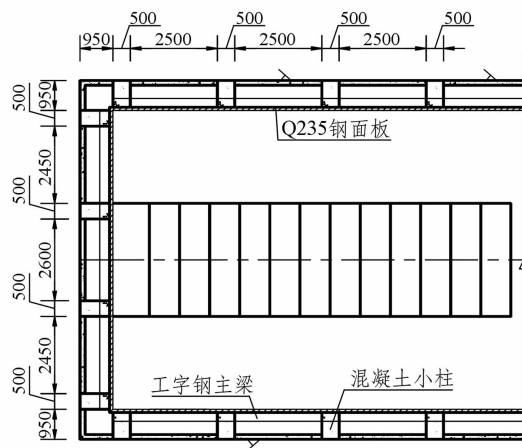


图2 金平水电站气垫式调压室气室结构示意图

17 采用; $[\sigma]$ 为钢材的抗弯容许应力 (MPa)。

3.2 主梁的计算

(1) 主梁高度初拟。

根据《水电站机电设计手册(金属结构)(一)》所述, 最小梁高计算公式为:

$$h_{\min} = \frac{5 [\sigma_1] \cdot l^2}{24E[f]} \quad (2)$$

式中 $[f]$ 为梁的容许挠度,按事故闸门主梁的最大容许挠度考虑; $[f] = \frac{1}{600}l$; $[\sigma_1]$ 为钢材的容许应力(MPa); l 为主梁的计算跨度,取 $1.05l_n$ (l_n 为主梁的净跨度); E 为钢材弹性模量,为 2.1×10^5 MPa。

(2) 主梁荷载强度计算。

根据调压室内高压气体等效水头压力值的分布情况,由式(2)计算结果选用的主梁的工字钢型号对主梁沿面板的间距进行了合理初拟,根据结构力学原理,对主梁所承受的荷载强度进行了计算,采用钢结构基本原理对其应力值和挠度值进行了校核验算,最终确定了工字钢梁的具体布置形式。

3.3 计算成果

(1) 按式(1)计算面板厚度值。

直墙段面板厚度的确定:

考虑到面板锈蚀 $\delta = \delta_{max} + 2 \text{ mm} = 11.57 \text{ mm}$,取 $\delta = 16 \text{ mm}$ 。

顶拱段面板厚度的确定:

考虑到面板锈蚀 $\delta = \delta_{max} + 2 \text{ mm} = 13.78 \text{ mm}$,取 $\delta = 16 \text{ mm}$ 。

(2) 按式(2)计算出梁的最小梁高为 250 mm,选用 I28b 型工字钢。

根据其承受的荷载强度值计算其内力及应力值和最大挠度值,经复核,其应力值和最大挠度值均在允许范围内。工字钢梁沿面板的具体布置情况见图3。

4 结语与思考

(1) 根据计算,金平水电站气垫式调压室气室罩体采用 Q345R 钢板作为面板,钢板厚度为 16 mm,沿面板不等距布置 I28b 型工字钢作为主梁承担气室内高压气体与外界水头压力所产生的等效水头压力差。该结构满足其安全运行的要求。

(2) 随着我国西部水电大开发的加速发展,

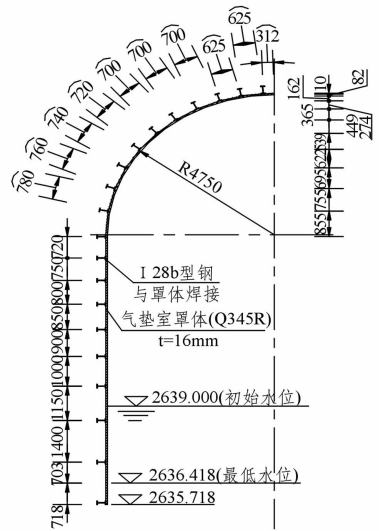


图3 气室罩体主梁分布图(单位:mm)

拟建工程区以深山峡谷和山高坡陡为特征,尤其是长引水、高水头电站,常规调压室多数建在半山腰,施工困难,从而使便于施工的气垫式调压室得到广泛应用。金平水电站气垫式调压室参考已建成的电站对气室罩体结构进行了优化设计,优化方案既方便施工且经济效益显著。笔者认为:在施工详图设计过程,还应对该调压室的结构进行更深入的研究,并在施工过程中注意积累经验,使气垫式调压室的结构设计更加合理。

参考文献:

- [1] 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(一)[M]. 北京:水利电力出版社,1988.
- [2] 沈祖炎,陈扬骥,陈以一. 钢结构基本原理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [3] 龙驭球,包世华. 结构力学教程[M]. 北京:高等教育出版社,1999.

作者简介:

谭宜琴(1983-),女,湖北长阳人,工程师,在读工程硕士研究生,研究方向:水电站厂房和水道设计;
高宇(1970-),女,湖北宜昌人,主任,教授级高级工程师,学士,从事水电站水道和厂房设计工作。(责任编辑:李燕辉)

成都院与老挝电力发电公司探讨融资合作模式

5月19日上午,成都院国际二部、海外事务部相关负责人等与老挝电力发电公司(EDL-GEN) CFO Bonsalong 就融资合作模式进行了深入的交流和探讨,工商银行万象分行代表出席会议。会上,Bonsalong 详细介绍了 EDL-GEN 的经营现状和财务状况,成都院向业主汇报了工作进度成果并得到业主肯定,海外事务部融资团队和工商银行就 EDL-GEN 提出的具体问题提供了专业的意见和建议。目前南碧梯级项目可研报告已完成,成都院正在开展复核工作并计划于6月初向业主反馈意见。为了进一步推动融资落地,会上双方明确了下一步工作的重点是尽快签署总承包合同,基于总承包合同,成都院将一如既往推动业主和中信保,中资银行的合作,实现融资早日落地。EDL-GEN 作为南碧梯级项目业主,希望以该项目为切入点,探寻一种可行的融资合作模式,带动南碧项目的融资和未来其他水电项目的深入合作。