DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2018.04.28

调压室阻抗孔尺寸选择的研究

童 祥, 张晓宏, 张俊发
(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘 要: 为了更深入研究阻抗式调压室阻抗孔尺寸与压力引水道断面尺寸的比值关系对调节保证计算结果的影响,采用非恒定流计算特征线法,以3条引水支管共用阻抗式调压室的工程实例为研究对象,进行了水电站压力引水系统仿真计算研究。通过对调压室涌浪水位、机组最大转速升高率和蜗壳末端最大水锤相对升压值计算成果的分析,得出调节保证计算参数均满足设计规范要求的前提下,阻抗式调压室阻抗孔面积与压力引水道断面面积比值的合理取值范围为28% ~46%。该结论对指导类似工程建设具有一定的实际意义。

关键词: 调压室; 阻抗孔; 断面设计; 调节保证计算; 压力引水道
中图分类号:TV732.5 **文献标识码**: A **文章编号**: 1672-643X(2018)04-0168-04

Research on the size selection of impedance hole of surge chamber for hydropower station

TONG Xiang, ZHANG Xiaohong, ZHANG Junfa
(*Faculty of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an* 710048, *China*)

Abstract: In order to study more deeply on the influence of the relationship between the impedance ratio of the impedance surge chamber and the size of the pressure channel cross section on the adjustment guarantee calculation results, this paper takes the three water diversion branch common impedance surge chamber as example, and uses the non-steady flow characteristic line method to simulate the pressure diversion system of the hydropower station. Through analysis of surge water level of surge tank, maximum rate of increase of unit speed, and relative pressure increase value of the maximum water hammer at the end of the volute, we concluded that the reasonable range of the ratio of the impedance hole area to the section area of the pressure channel is 28% ~46% under the condition that the parameters of the regulation guarantee meet the requirements of the design specification. This conclusion can guide the construction of similar projects.

Key words: surge chamber; impedance hole; section design; adjustment guarantee calculation; pressure channel

1 研究背景

为了获得更多的水能,有些水力发电工程需要修建较长的有压引水隧洞,由此会引起一系列水力过渡过程问题[1-3]。为了合理解决这些问题,保证引水系统和机组的正常运行,工程中广泛应用的是阻抗式调压室[4-8]。而阻抗孔尺寸的选择对于保障水力系统稳定有着不可或缺的重要性,前人的成果多是集中在对与阻抗孔过流特性等方面进行了较为深入地研究[9-11],而将阻抗孔尺寸与引水道面积关联起来进行系统化研究的成果较少。本文结合具体的某工程实例,研究了阻抗孔尺寸对调压室涌浪水位、机组最大转速升高率和蜗壳末端最大相对升压[12-15]的影响,进而分析得出阻抗孔面积与引水道断面面积比的合理区间。

2 工程概况

某水电站位于陕西省岚皋县,是具有发电、养殖和旅游等综合效益的一座大型水利枢纽工程。共安

收稿日期:2018-03-16; **修回日期**:2018-05-29
基金项目:国家自然科学基金项目(51279162)
作者简介:童 祥(1993-),男,安徽安庆人,在读硕士研究生,研究方向为水电站水力过渡过程研究。
通讯作者:张晓宏(1962-),男,陕西西安人,博士,教授,硕士生导师,研究方向为水电站水力过渡过程研究。

装 3 台 24 MW 的水轮发电机组。水库上游校核洪水位为 512.5 m,设计洪水位为 511.1 m,正常蓄水位为 512.0 m,水电站设计水头为 97 m,下游洪水位为 414.4 m,引水洞及压力管道总长 2.94 km,压力引水隧洞长 2715.213 m,设计引用流量为 93 m^3/s,最大发电流量为 102.1 m^3/s。

调压室型式为阻抗式,竖井开挖断面尺寸为 16.0 m,设计内径为 14.0 m,阻抗孔口直径 2.9 m,底板高程为 469.524 m。竖井顶部地面高程为 532.00m,竖井静高 76.393 m。

有压引水隧洞洞径 6 m,调压室后接压力埋管,钢衬,开挖洞径为 6.9 m,内径为 5.5 m。压力钢管主管长 134.281 m。在进入厂房前约 102m 处分为 3 条支管,支管内径为 3.0 m。支管后接主厂房。发电系统采用“三机一室一洞”的布置形式。

该水电站引水发电系统用过渡过程计算软件模拟如图 1 所示,其中 J1 为上游水库,水位取校核洪水位 512.5 m。J11、J12、J13 为 3 台水轮发电机组,导叶总关闭时间[16-17]为 12 s,采用先快后慢的关闭规律。J2 为上游阻抗式调压室,直井面积为 154 m^2。调压室后接 3 条支管连接水轮发电机组,对应的下游水位为 414.4 m。

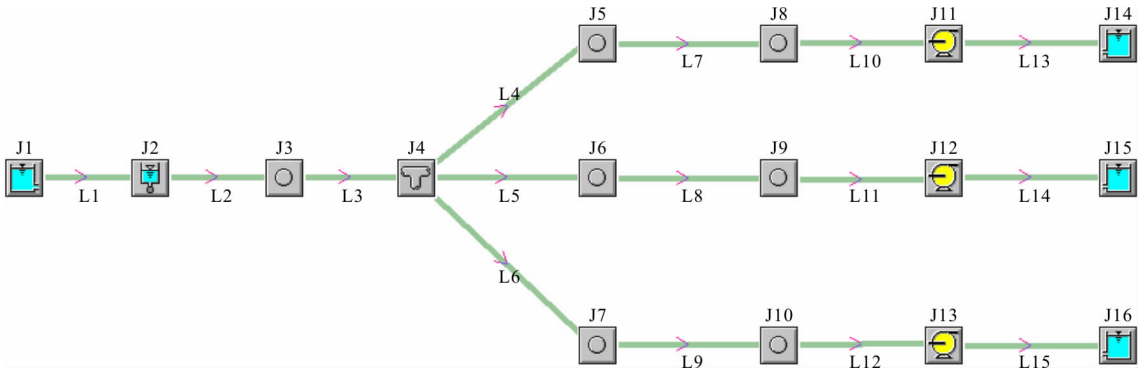

图 1　某水电站引水发电系统仿真图形

本文取调压室 J2 和机组 J11 为研究对象,计算工况取校核洪水位 512.5 m,下游取对应的 414.4 m 水位。3 台机组同时甩负荷。假设 J1 到 J2 为 D_1,J2 到 J11 为 D_2,D_1 为上游水库到调压室的距离,D_2 为调压室到水轮发电机组的距离。研究在调压室前后移动[18](即 D_2 的长度变化)的情况下,改变阻抗孔尺寸对调压室涌浪水位、机组最大转速升高率和蜗壳末端最大水锤相对升压的影响。前提是保证 $D_1 + D_2 = \text{Constant}$,即改变 D_2 时,D_1 也随之改变。

3　计算结果分析

根据相关文献[19-20],只有当阻抗孔面积与压力引水道断面面积比值在一定范围内时,才能有效地抑制调压室的波动振幅及加速波动的衰减。本文初步研究拟定阻抗孔直径 d 为 3.00、3.29、3.55、3.79、4.02、4.24 m(相应的阻抗孔面积 A 与引水道断面面积 S 的比值分别为 0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50)。对 6 组数据进行分析。D_2 的取值为 231.3~431.3 m,每隔 50 m 递增进行计算,各特征参数见表 1。

3.1　阻抗孔尺寸与调压室断面波动振幅及衰减的关系

取 D_2 为 231.3 m 为研究对象,分析不同阻抗孔面积与引水道断面面积比条件下的波动振幅及衰减情况。阻抗孔尺寸与调压室断面波动及衰减的关系如表 2。

由表 2 可以看出,随着阻抗孔面积与引水道断面面积比值的减小,波动振幅抑制作用越显著,衰减率明显增大。

3.2　阻抗孔尺寸与调压室涌浪水位的关系

不同阻抗孔尺寸下,D_2 与调压室涌浪水位关系见图 2。

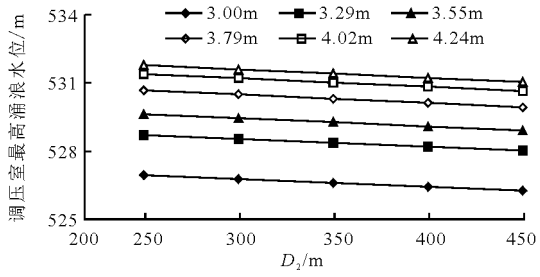

图 2　阻抗孔直径改变对于不同 D_2 时的调压室最高涌浪水位

在阻抗式调压室中,水流进出调压室的水头损失分为两种,一种是由引水隧洞进入阻抗孔时突然收缩的局部水头损失,另一种是由阻抗孔进入直井时突然扩大的局部水头损失。

由图2可知,当D_2增大时,最高涌浪水位降低,说明调压室涌浪水位与有压引水道的长度有关;当阻抗孔直径变大时,调压室阻抗减小,最高涌浪水位升高,水位波动幅度变大,说明增大阻抗孔直径能够更有效地发挥调压室的作用,但调压室最高涌浪水位差值会随着阻抗孔直径的增大而越来越小。

根据《水电站调压室设计规范》[21]推荐,在校核工况下,调压室最高涌浪水位以上的安全超高不宜小于0.5 m。

以上数据中阻抗孔直径为4.24 m(A/S = 50%)不满足规范要求,需重新拟定比值范围。故选择直径为4.07 m(A/S = 46%)、4.11 m(A/S = 47%)、4.15 m(A/S = 48%)和4.20 m(A/S = 49%)4组数据见表3。

表1 阻抗孔直径变化在不同D_2下对应的各项特征数据

D_2/m	特征参数	阻抗孔面积与引水道断面面积的比值(A/S)					
		0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
231.3	Z_T/m	526.93	528.71	529.63	530.68	531.40	531.79
	β/%	33.80	32.04	30.79	30.11	29.93	29.7
	ζ	0.475	0.42	0.408	0.403	0.391	0.386
281.3	Z_T/m	526.77	528.53	529.45	530.49	531.21	531.6
	β/%	34.63	34.83	33.75	31.24	30.79	30.6
	ζ	0.50	0.442	0.417	0.401	0.393	0.390
331.3	Z_T/m	526.6	528.36	529.27	530.3	531.02	531.41
	β/%	35.69	33.48	32.79	32.35	32.06	31.72
	ζ	0.515	0.461	0.431	0.41	0.402	0.398
381.3	Z_T/m	526.44	528.18	529.09	530.12	530.83	531.22
	β/%	36.54	34.43	33.69	33.31	33.01	32.66
	ζ	0.532	0.476	0.445	0.419	0.413	0.406
431.3	Z_T/m	526.27	528.01	528.91	529.93	530.65	531.03
	β/%	37.13	35.23	35.08	34.68	34.18	33.92
	ζ	0.551	0.490	0.462	0.434	0.425	0.415

注:Z_T为调压室最高涌浪水位;β为机组最大转速升高率;ζ为最大水锤相对升压值。

表2 阻抗孔尺寸变化与调压室波动振幅及衰减率的关系

A/S	分析项目	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
0.25	波动振幅/m	526.93	516.63	514.55	513.61
	衰减率/%		71.38	85.50	92.31
0.30	波动振幅/m	528.71	518.13	515.68	514.13
	衰减率/%		65.27	80.38	89.94
0.35	波动振幅/m	529.63	520.08	516.70	515.44
	衰减率/%		55.75	75.48	82.84
0.40	波动振幅/m	530.68	521.13	517.17	515.97
	衰减率/%		52.53	74.32	80.91
0.45	波动振幅/m	531.46	522.36	517.82	516.48
	衰减率/%		48.00	71.94	79.01
0.50	波动振幅/m	531.79	523.50	518.77	517.11
	衰减率/%		42.98	67.50	76.10

注:Z_i为不同时段调压室中的波峰值;$Z_{稳}$为对应工况的稳定水位值。衰减率 = $1-(Z_i-Z_{稳})/(Z_1-Z_{稳})$。

表3 阻抗孔直径变化时不同D_2下的最高涌浪水位(A/S = 46% ~ 49%)

D_2/m	阻抗孔直径d/m			
	4.07	4.11	4.15	4.20
231.3	531.46	531.54	531.62	531.71
281.3	531.26	531.35	531.43	531.51
331.3	531.08	531.16	531.24	531.33
381.3	530.89	530.97	531.06	531.14
431.3	530.70	530.79	530.87	530.95

由表3可以看出,调压室最高涌浪水位仍是随着阻抗孔直径d的增大而减小,且伴随D_2(调压室到水轮发电机组的距离)的增大而减小。从满足规范要求来看,宜选d = 4.07 m(A/S = 46%)作为合理比值的区间边界。

3.3　阻抗孔尺寸与蜗壳末端最大水锤相对升压的关系

不同阻抗孔尺寸下,D_2 与最大水锤相对升压关系见图 3。

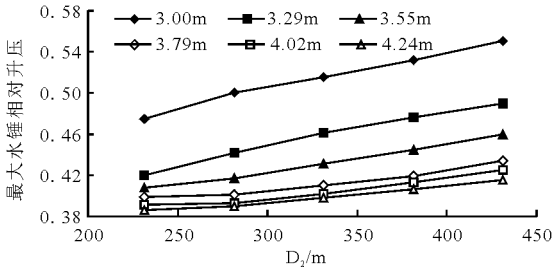

图 3　阻抗孔直径改变对于不同 D_2 时的最大水锤相对升压

由图 3 可以看出,随着 D_2 的递增,最大水锤相对升压会随之递增;随着阻抗孔直径的递增,最大水锤相对升压呈现递减趋势,各项数据的差值会随着直径的递增而越来越小,说明最大水锤相对升压随着阻抗孔直径的增大而越来越不敏感;但当直径为 3 m(A/S = 25%)时,其最大水锤相对升压值最大且与其他数据差值较大;说明当阻抗孔面积与压力引水道面积占比为 25% 时,压力管道末端及调压室底部的水锤压力急剧恶化,且其值超过规范允许范围,不宜作为合理比值范围边界,需重新拟定比值范围。故拟定阻抗孔直径为 3.06 m(A/S = 26%)、3.12 m(A/S = 27%)、3.17 m(A/S = 28%)和 3.23 m(A/S = 29%)作比选(如表 4)。

表 4　阻抗孔直径变化对不同 D_2 下的最大水锤相对升压(A/S = 26% ~29%)

D_2 /m	阻抗孔直径 d /m			
	3.06	3.12	3.17	3.23
231.3	0.465	0.453	0.443	0.437
281.3	0.481	0.473	0.466	0.456
331.3	0.495	0.488	0.481	0.475
381.3	0.510	0.495	0.486	0.481
431.3	0.525	0.513	0.501	0.498

从表 4 可以看出,最大水锤相对升压随着阻抗孔直径 d 的增大而减小;当 D_2 增大时,最大水锤相对升压呈现增大趋势。由 ζ 值宜为 0.3 ~ 0.5 的范围来看,宜选 d =3.17 m(A/S = 28%)作为比值区间的边界。综上所述,该工程阻抗孔面积与引水道面积比宜为 28% ~46% 。该结论与相关规范和学者的研究成果相近,具有较强的普适性。

4　结　论

阻抗孔尺寸的选择在调压室设计中至关重要,结合某水电站工程实例的水力过渡过程,探讨了阻抗孔尺寸变化对有压引水系统的影响。得出了以下两个重要的结论:

(1)随着阻抗孔尺寸占引水道面积比值的逐渐增大,调压室涌浪水位值逐渐增大,最大水锤相对升压值和机组最大转速升高率逐渐减小,但随着该比值增加到一定程度,对上述 3 个值影响的敏感性越来越弱。

(2)调压室涌浪水位、最大水锤相对升压和机组最大转速升高率三者不仅需要满足设计规范,还需综合考虑,在这种情况下,阻抗孔面积与引水道断面面积的比值存在一定的合理范围,考虑到施工条件和经济效益,该范围宜为 28% ~46% 。

参考文献:

[1] 陈捷平,杨建东,郭文成,等. 超长引水隧洞水电站调压室水力设计的探讨[J]. 武汉大学学报(工学版),2016,49(2):212 -217.

[2] 崔 忠. 长引水隧洞阻抗式调压室过渡过程分析[J]. 中国水运(下半月),2013,13(9):218 -219 +221.

[3] 陈启卷,郭海峰,李俊益,等. 长引水隧洞高水头大容量机组负荷调节特性优化[J]. 广东电力,2014,27(8):1 -6.

[4] 杨建东,詹佳佳,鲍海艳. 调压室位置对调保参数的影响[J]. 水动力学研究与进展(A 辑),2007,22(2):162 -167.

[5] 鲍海艳,付 亮,杨建东. 基于调节保证的上游调压室最佳位置的确定[J]. 水利水电技术,2013,44(6):117 -120.

[6] 狄清华,鞠小明. 上下游双调压室调节保证计算及稳定性分析[J]. 东北水利水电,2012,30(1):10 -11 +57 +71.

[7] 贾 岩,张晓宏,刁雪芬,等. 水电站尾水调压室断面面积敏感性分析研究[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(6):129 -133.

[8] 陈 剑,杨校礼,张 健. 带连接管的阻抗调压室流量系数及水力损失特性研究[J]. 水电能源科学,2014,32(11):164 -167.

[9] 张晓宏,刁雪芬,张俊发. 调压室阻抗孔过流特性分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(7):143 -148.

[10] 应晓丽,蔡付林,花玉龙,等. 尾水管长度对调压室阻抗孔尺寸影响研究[J]. 中国农村水利水电,2012(11):62 -65.

[11] 何东阳,张 健,俞晓东,等. 长廊式尾水调压室阻抗孔波动特性的影响分析[J]. 水电能源科学,2016,34(11):171 -174 +186.

(下转第 176 页)

[3] 李明思,蓝明菊,吕廷波. 滴灌加压泵站离心泵并联总流量分析模型[J]. 农业工程学报,2012,28(13):72 -76.
[4] 马志毅. 变频泵供水系统的运行效率探讨[J]. 水资源与水工程学报,2006,17(6):79 -80 +84.
[5] 李明思,吕廷波,蓝明菊. 滴灌泵站调速工况等效性理论分析[J]. 中国农村水利水电,2013(5):137 -140 +144.
[6] 汪书苹,盛明珺,胡 丹. 风机泵类高压变频改造的节能分析及计算方法[J]. 电力自动化设备,2011,31(3):117 -120.
[7] 王全锋,杨 璐,马会珍,等. 折引特性曲线法在扬黄灌溉泵站更新改造中的应用[J]. 中国农村水利水电,2017(9):207 -209 +214.
[8] 刘永华,陈志明,王念春. PLC 及变频调速恒压喷灌系统的设计[J]. 节水灌溉,2009(1):44 -45 +49.
[9] 刘 宏,翟庆志. 水泵变频驱动的农田灌溉系统仿真研究[J]. 中国农业大学学报,2014,19(6):201 -207.
[10] 周东让,何芳侠. 变频恒压自动供水控制系统及其在坡地喷灌中的应用[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(4):163 -165.
[11] 田 云,史 洁,金东琦. PLC 变频调速节能灌溉系统的设计[J]. 农机使用与维修,2014(5):13 -16.
[12] 孙洪义. 转油站掺水变频节能技术研究及应用[J]. 科学技术与工程,2011,11(14):3280 -3283.
[13] 苏丽秋,李振平. 变频器在中央空调节能系统中的应用[J]. 电机与控制应用,2013,40(8):61 -65.
[14] 李开来,朱满林,李小周,等. 井群泵站经济运行方案研究[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(6):173 -176.
[15] 郭 昕,贾敏智,徐晨晨. 泵站群控系统的节能优化调度研究[J]. 中国农村水利水电,2017(3):160 -164.
[16] 徐存东,王亚楠,谢利云,等. 梯级泵站的提水效率评估模型与方法[J]. 水利水电技术,2014,45(4):47 -49.
[17] 李加念,洪添胜,倪慧娜. 基于太阳能的微灌系统恒压供水自动控制装置研制[J]. 农业工程学报,2013,29(12):86 -93.
[18] 邱明权,李 伟,邱志鹏,等. 恒压控制在喷灌系统中的应用[J]. 中国农机化学报,2014,35(4):135 -139.

(上接第 171 页)

[12] 李高会,刘子乔,高 悦,等. 连接管对调压室涌波水位和水锤压力的影响[J]. 人民长江,2017,48(15):81 -85.
[13] 吴世勇,周济芳,申满斌. 锦屏二级水电站复杂超长引水发电系统水力过渡过程复核计算研究[J]. 水力发电学报,2015,34(1):107 -116.
[14] 洪振国,刘浩林. 水电站阻抗式受力复杂调压井设计[J]. 水利与建筑工程学报,2014,12(6):148 -153.
[15] 化 卓,张永良. 带有调压室的长距离引水系统水力特性研究[J]. 黑龙江大学工程学报,2016,7(4):1 -7 +13.
[16] 芦 月,屈 波,何中伟. 抽水蓄能电站不同水头下导叶关闭规律研究[J]. 水力发电,2016,42(12):85 -89.
[17] 徐晓燕,张晓宏,李建斌. 水轮机导叶关闭过程的探讨研究[J]. 电网与清洁能源,2015,31(2):135 -138.
[18] 占小涛,张晓宏,张俊发. 调压室位置和面积变化对尾水管压力的影响研究[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(1): 125 -129.
[19] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程调压室设计规范:SL 655 -2014 [S]. 北京:中国水利水电出版社,2014.
[20] 龚 娟,张 健,俞晓东. 高扬程输水系统空气罐阻抗孔尺寸优化[J]. 水电能源科学,2013,31(5):166 -169.
[21] 国家能源局. 水电站调压室设计规范:NB/T 35021 -2014 [S]. 北京:中国电力出版社,2014.