

水电站过渡过程计算中尾水系统糙率的取值研究

李文欣, 张晓宏, 陈建国

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 在水电站水力过渡过程计算中, 为了满足调节保证计算的要求, 管道各项参数指标的正确选择是至关重要的, 合理的参数取值是水电站得以安全正常运行的基本保证。结合某水电站工程实例, 采用过渡过程通用软件, 通过分别改变调压室前管道的糙率和调压室后管道的糙率, 对水电站过渡过程计算中尾水系统糙率的取值进行了深入研究。研究表明: 在机组丢弃负荷过程中, 在其他条件不变的条件下, 尾水系统糙率的变化对尾水调压室最低涌浪水位、蜗壳末段最大压力和尾水管进口最小压力皆有影响, 在水电站过渡过程计算中, 尾水调压室前、后段糙率均应采用可能的最小值较为合理。这些成果对于同类工程的建设具有一定的参考意义。

关键词: 水电站尾水系统; 糙率; 水力过渡过程; 最低涌浪水位; 尾水管进口最小压力

中图分类号: TV732.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)03-0175-05

Choosing roughness value of tailrace system in transition process calculation of a hydropower station

LI Wenxin, ZHANG Xiaohong, CHEN Jianguo

(Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In the calculation of hydraulic transition process of hydropower stations, for the purposes of regulation and calculation, it is very important to set appropriate values for various pipeline parameters, which is also the primary requirement for safe and regular operation of hydropower stations. In this paper, choosing the right roughness value for the tailrace system in the transition process calculation of a hydropower station is deeply studied by changing the roughness values of the pipelines in front of and behind the surge chamber respectively with the commonly used software designed for the calculation of the transition process. From the calculation results it can be seen that the changes of the roughness values had an impact on the lowest surge level in the tailrace surge chamber, the maximum pressure at the end of the volute and the minimum pressure at the inlet of the draft tube during the discarding load process of the equipment unit when the other conditions remained unchanged. In the calculation of hydropower station transition process, it is suggested that the minimum possible roughness values of the pipelines should be adopted regarding to the perimeter of the surge chamber. These findings can provide some reference for the construction of similar projects.

Key words: tailrace system; roughness; hydraulic transition process; lowest surge level; minimum pressure at draft tube inlet

1 研究背景

依靠较长距离的有压引水发电系统, 有压引水式水电站水轮发电机组获得了较大的水能和电能^[1-5], 在其水电站水力过渡过程计算中, 如何合理选取输水

系统的糙率, 准确计算沿程水头损失, 不仅会影响水电站水力过渡过程的计算结果^[6-10], 更重要的是直接影响到整个有压输水系统及水轮发电机组过渡过程的安全运行问题^[11-17]。而“水力过渡过程中尾水系统糙率如何合理取值”这一方面的研究成果较少, 本文选取具

收稿日期: 2019-11-28; 修回日期: 2019-12-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(51279162)

作者简介: 李文欣(1995-), 男, 陕西西安人, 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。

有较复杂发电尾水系统的雅砻江干流河段某地下式厂房水电站^[18-20],采用过渡过程通用软件,重点计算和分析了调压室前、后管道的不同糙率取值对调压室最低涌浪水位、蜗壳末端最大压力和尾水管进口最小压力等因素间的影响关系^[21-28]。

2 工程概况

雅砻江干流河段上的某水电站位于四川省凉山彝族自治州西昌市、盐源县的交界处,该电站装有4台单机容量600 MW的水轮发电机组,总装机容量2400 MW。上游正常蓄水位1330.00 m,设计洪水位1330.18 m,校核洪水位1330.44 m。2台机运行时,下游尾水位为1206.40 m,1台机运行时,下游尾水位为1204.01 m。

该水电站引水部分采用单机单管供水,尾水部分采用“两机一室一洞”^[29-30]的布置格局。引水发电系统共有两个水力单元,其中每个水力单元都是由一个进水口、2条长压力管道、两台机组公用的一個阻抗长廊式尾水调压室、两条尾水连接管和一条尾水洞组成,两个尾水调压室在高程1229.5 m处连通。本文取尾水部分作为研究对象,调压室前尾水管为L1段,长度约为81.15 m,调压室后到出口闸门的管道为L2段,管道长度约为560.22 m。该水电站引水发电系统平面布置如图1所示。

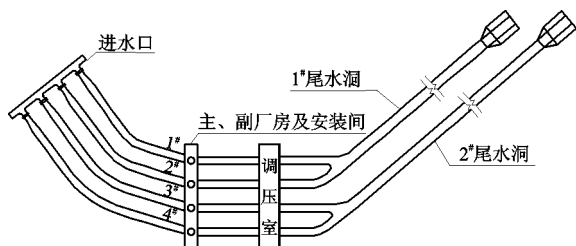


图1 雅砻江干流河段某水电站引水发电系统平面布置图

3 机组基本参数

所研究的水电站机组基本参数如表1所示。

表1 水电站机组基本参数

基本参数	数值
水轮机额定出力/MW	611
额定水头/m	115
额定流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	583.6
额定转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	100
最大飞逸转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	192
尾水管进口直径/m	7.25
安装高程/m	1197.80

在水力过渡计算过程中,根据《水力发电厂机电设计技术规范》(DL/T 5186-2004)^[31]规定,主要考虑施工质量的影响,计算采用的管道糙率最小值、最大值和平均值分别为0.012、0.016和0.014。

4 电站尾水系统管道糙率对水力过渡过程的影响计算及成果分析

4.1 计算工况

计算工况为:下游尾水位1206.40 m,额定水头,额定流量,导叶采用折线关闭,同水力单元内2台机同时甩全部负荷。

4.2 电站尾水系统管道糙率变化对水力过渡过程的影响

在其他管道参数不变的条件下,为了充分研究糙率取值的影响,先假设L1段管道糙率取值不变,改变L2段管道糙率进行过渡过程计算;再假设L2段管道糙率取值不变,改变L1段管道糙率进行过渡过程计算,计算结果如表2所示。

由表2可以看出,无论改变调压室前还是调压室后的管道糙率,调压室的最低涌浪、最高涌浪、蜗壳末端最大压力及尾水管进口最小压力都发生了变化。当调压室后管道糙率不变时,随着调压室前管道糙率的逐渐增大,调压室最低涌浪水位逐渐升高,最高涌浪水位降低,蜗壳末端压力逐渐降低,尾水管进口最小压力逐渐升高。当调压室前管道糙率不变时,随着调压室后管道糙率的逐渐增大,调压室最低涌浪水位逐渐升高,最高涌浪水位降低,蜗壳末端压力逐渐降低,尾水管进口最小压力升高。两种情况所研究的参数变化规律一致。

通过分析表2不难看出,L1和L2段管道糙率的取值对蜗壳末端压力影响较小,简化计算时输水管道可以按照光滑管计算。

4.3 电站尾水系统管道糙率变化对调压室最低涌浪水位的影响

L1、L2段管道糙率变化对调压室最低涌浪水位的影响见图2。

由图2可以看出,L1段管道糙率和L2段管道糙率的取值均对调压室涌浪振幅有明显影响,随着糙率的变大,调压室最低涌浪水位都会升高。在L2段管道糙率为定值的情况下,随着L1段管道糙率的逐渐增加,调压室最低涌浪水位升高值变化较小(图2(a));然而在L1段管道糙率为定值的情况下,随着L2段管道糙率的逐渐增加,调压室最低涌浪水位升高值相对变化较大(图2(b))。且关系曲

线间距也表明,L2 段管道糙率的变化对最低涌浪的影响远大于 L1 段管道糙率的影响。

表 2 电站尾水系统管道糙率变化对水力过渡过程的影响

序号	L2 段糙率	L1 段糙率	调压室最低涌浪水位/m	调压室最高涌浪水位/m	蜗壳末端最大压力/9.81kPa	尾水管进口最小压力/9.81kPa
1	0.012		1198.20	1210.33	149.88	-1.56
2	0.014	0.012	1198.29	1210.31	149.87	-1.20
3	0.016		1198.37	1210.30	149.85	-0.74
4	0.012		1198.25	1210.28	149.84	-1.53
5	0.014	0.014	1198.33	1210.26	149.83	-1.13
6	0.016		1198.41	1210.25	149.77	-0.70
7	0.012		1198.26	1210.22	149.74	-1.51
8	0.014	0.016	1198.35	1210.20	149.67	-1.09
9	0.016		1198.44	1210.19	149.58	-0.64

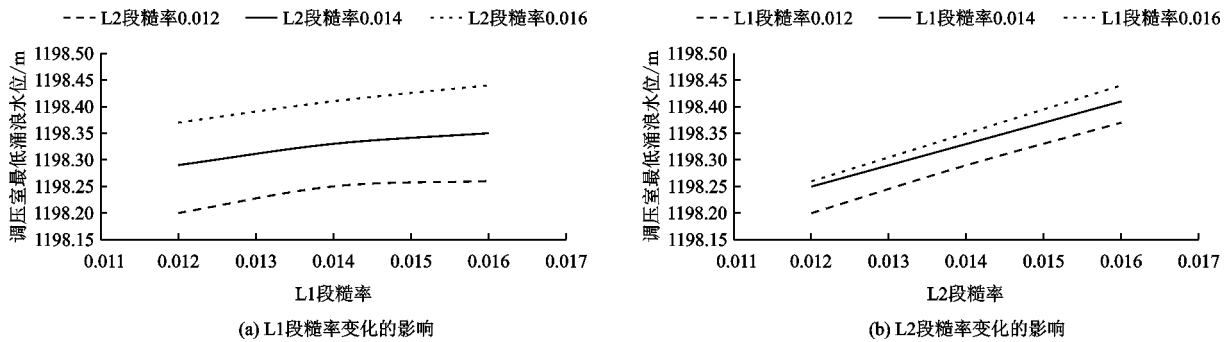


图 2 电站尾水系统糙率对调压室最低涌浪水位的影响

4.4 电站尾水系统管道糙率变化对尾水管进口最小压力的影响

L1、L2 段管道糙率变化对尾水管进口最小压力的影响见图 3。

由图 3 可知,L1 段管道糙率和 L2 段管道糙率取值对尾水管进口最小压力也有一定影响,随着这两段管道糙率的增大,尾水管进口最小压力逐渐升高。在 L2 段管道糙率为定值的情况下,随着 L1 段管道糙率的逐渐增加,尾水管进口最小压力增大幅

度比较缓慢(图 3(a));在 L1 段管道糙率为定值的情况下,随着 L2 段管道糙率的逐渐增加,尾水管进口最小压力明显增大(图 3(b))。且关系曲线间距也表明,L2 段管道糙率变化对尾水管进口最小压力的影响远比 L1 段管道糙率变化的影响大。

4.5 电站尾水系统管道糙率变化对调压室水位振幅及衰减率的影响

计算电站尾水系统管道糙率变化与调压室振幅及衰减率的关系,其结果见表 3。

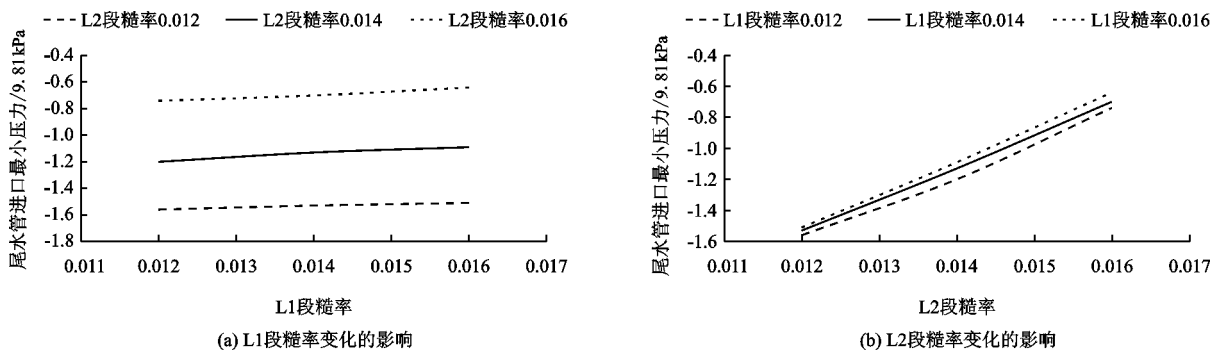


图 3 电站尾水系统糙率对尾水管进口最小压力的影响

表3 尾水系统管道糙率变化与调压室振幅及衰减率关系

序号	L1 段糙率	L2 段糙率	分析项目	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
1	0.012		波动振幅/m	1210.33	1208.32	1207.70	1207.58
			衰减率/%		71.28	93.26	97.52
2	0.014	0.012	波动振幅/m	1210.31	1208.28	1207.65	1207.57
			衰减率/%		72.50	95.00	97.85
3	0.016		波动振幅/m	1210.30	1208.26	1207.63	1207.56
			衰减率/%		73.12	95.70	98.21
4	0.012		波动振幅/m	1210.28	1208.23	1207.62	1207.55
			衰减率/%		74.01	96.03	98.56
5	0.014	0.014	波动振幅/m	1210.26	1208.21	1207.62	1207.55
			衰减率/%		74.55	96.03	98.55
6	0.016		波动振幅/m	1210.25	1208.20	1207.61	1207.54
			衰减率/%		74.82	96.35	98.91

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

由表3可以看出,随着L1和L2段管道糙率的增大,调压室振幅有所降低,衰减率增大。在L2段管道糙率不变的情况下,随着L1段管道糙率的逐渐增加,衰减率增加缓慢;在L1段管道糙率不变的情况下,随着L2段管道糙率的逐渐增加,衰减率增加幅度明显增大。

上述成果是由于管道的水头损失对调压室的最低涌浪影响较大,而水头损失主要表现为沿程损失,所以管道长度和管道糙率的变化均会对调压室水位产生影响,而在该水力过渡过程中,调压室前管道长度远小于调压室后管道长度,所以调压室后端管道糙率对调压室涌浪的影响较为明显。

5 结论

通过对某水电站尾水系统实例水力过渡过程的计算研究,得出以下结论:

(1)水电站尾水系统管道糙率(尾水调压室前管道及尾水调压室后管道)取值对蜗壳末端最大压力的影响甚微,简化计算时可以不考虑其影响。

(2)水电站尾水系统管道糙率(尾水调压室前段管道及尾水调压室后段管道)取值对调压室最低涌浪水位有一定影响,调压室最低涌浪水位随着糙率的增大而升高,为了保证调压室底部满足应有的埋设水深,在过渡过程计算中调压室前、后段管道糙率取可能的最小值较为合理。

(3)水电站尾水系统管道糙率(尾水调压室前段管道及尾水调压室后段管道)取值对尾水管进口最小压力也有一定影响,尾水管进口最小压力随着

糙率的增大而升高,为了控制水轮机的运行工况,在过渡过程计算中调压室前、后段管道糙率应采用可能的最小值较为合理。

参考文献:

- [1] 李高会. 水力过渡过程仿真软件开发及其在抽水蓄能电站中的应用[C]//中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会. 抽水蓄能电站工程建设文集2017. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [2] 靳文修. 官地水电站尾水调压室混凝土施工方案调整分析[J]. 四川水利, 2019, 40(3): 47-49.
- [3] 周海舟, 魏运水, 曹林宁. 尾水调压室位置对抽水蓄能电站过渡过程的影响[J]. 中国农村水利水电, 2019(1): 193-197.
- [4] 葛佩明, 张健, 陈胜. 双尾水调压室抽水蓄能电站过渡过程研究[J]. 人民黄河, 2018, 40(10): 104-108.
- [5] 刘春燕, 韩伶俐. 水电站调节保证计算工况的选取[J]. 水力发电, 2018, 44(9): 59-63.
- [6] 占小涛. 尾水调压室不同布置形式的过渡过程计算研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.
- [7] 童祥. 阻抗式调压室孔口特性研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- [8] 程鹏. 摩阻对长距离输水管道水力过渡过程的影响研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [9] 贾岩. 带有泄洪支洞的压力引水系统过渡过程分析研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [10] 彭玮, 张小康, 鲍海艳. 官地水电站尾水调压室与尾水洞连接岔洞的体型优化研究[J]. 水电站设计, 2010, 26(4): 7-12.
- [11] 周振忠, 苟东明, 易忠有, 等. 水电站双机相继甩负荷与

- 尾水管最小压力分析[J]. 水电站机电技术, 2013, 36(5): 1-3+11+71.
- [12] 赵秀红, 朱满林, 张言禾, 等. 摩阻对压力输水管道水力过渡过程计算的影响[J]. 人民黄河, 2008, 30(4): 86-87.
- [13] 朱永忠. 水电站水击和调压室涌浪的随机数学模型及其求解[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [14] 孙万功. 输水管道设计中的糙率选取问题研究[J]. 太原理工大学学报, 2003, 34(3): 371-372+375.
- [15] 王洋, 王玲花. 水电站过渡过程研究历史及现状综述[J]. 吉林水利, 2014(9): 29-33.
- [16] 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]. 黑龙江大学学报, 2016, 7(4): 1-7+13.
- [17] 王康生, 熊涛, 杨建东, 等. 尾水支管长短对相继尾负荷尾水管进口最小压力的影响[J]. 水电能源科学, 2016, 34(11): 168-170+167.
- [18] 王刚, 史宝平, 王伟, 等. 大型水电站施工用电系统设计问题分析与预防措施[J]. 水电与抽水蓄能, 2018, 4(3): 91-93.
- [19] 穆祥鹏. 长距离输水系统的过渡过程数值计算及水力特性研究[D]. 天津: 天津大学, 2004.
- [20] 魏媛媛. 长距离有压引水式电站过渡过程研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2017.
- [21] 黄昌清. 长距离高水头输水系统水力过渡过程分析与设计[J]. 小水电, 2019(5): 20-23+27.
- [22] 廖功磊, 钟林涛, 蒋辉霞, 等. 长距离输水管道水力过渡分析及水锤防护措施研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(9): 177-180.
- [23] 郭宇. 盖孜水电站引水系统水力过渡过程分析[J]. 吉林水利, 2019(4): 30-33+46.
- [24] 王梦浩. 长有压引水电站过渡过程计算研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2019.
- [25] 龙斌, 杨珉. 小型水电站施工阶段调压室的优化及水力过渡过程复核[J]. 小水电, 2019(1): 37-39+61.
- [26] 陆云才. 哈拉军水电站引水发电系统水力过渡过程分析[J]. 水利科技与经济, 2018, 24(11): 72-78.
- [27] 孙江河, 范征. 长距离输水管道水力过渡过程中控制指标的探讨[J]. 水利规划与设计, 2018(8): 110-114.
- [28] 葛曦, 黄正财, 杨超, 等. 冗各水电站水力过渡过程研究[J]. 水利规划与设计, 2018(5): 97-100.
- [29] 刘启钊, 胡明. 水电站(第四版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017.
- [30] 宋方略. 有压引水式电站过渡过程仿真[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2018.
- [31] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 水力发电厂机电设计技术规范: DL/T 5186-2004[S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

(上接第174页)

- [8] 王善龙. 绿色施工节水节电指标及控制措施研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.
- [9] 刘冰泉. 基于 Delphi 法的评价量表的研制[J]. 教育现代化, 2016, 3(8): 178-181.
- [10] 闫潇. 绿色建筑及绿色施工评价体系的研究与实践[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2012.
- [11] HUBERMAN N, PEARLMUTTER D. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert [J]. Energy & Buildings, 2008, 40(5): 837-848.
- [12] 罗党, 孙慧芳, 毛文鑫. 基于三角模糊数-TOPSIS 的绿色施工评标方法[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016, 37(2): 73-77.
- [13] 汪妮, 方正, 解建仓. 改进的熵权法在再生资源价值评价中的应用[J]. 西安理工大学学报, 2012, 28(4): 416-420.
- [14] 马纪, 刘希喆. 基于 G2-熵权法的低压配网台区状态特性评估[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(1): 41-46.
- [15] 贾博婷, 赵天威, 祝志川, 等. 基于熵值修正 G2 赋权的综合评价方法及实证[J]. 统计与决策, 2019, 35(8): 30-35.
- [16] 裴鑫. 基于 G2 赋权 TOPSIS 法的第三方逆向物流服务商评价[J]. 物流技术, 2015, 34(3): 145-147+160.
- [17] 蒋诗泉, 刘思峰, 刘中侠, 等. 基于“功能驱动”和“差异驱动”原理的灰关联贴近度决策方法[J]. 控制与决策, 2016, 31(1): 84-90.
- [18] 王义保, 杨婷惠, 王世达. 基于组合赋权和灰色关联的城市公共安全感评价[J]. 统计与决策, 2019, 35(18): 45-50.
- [19] 李远远, 黄兆炜. 绿色施工方案的选择与优化研究——基于综合赋权-TOPSIS-数据挖掘的系统模型[J]. 系统科学学报, 2020, 28(1): 78-82.
- [20] 刘东, 龚方华, 付强, 等. 基于博弈论赋权的灌溉用水效率 GRA-TOPSIS 评价模型[J]. 农业机械学报, 2017, 48(5): 218-226.
- [21] 雷勋平, ROBIN Q, 刘勇. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域土地利用绩效评价及障碍因子诊断[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 243-253.