

水口枢纽坝下水位下跌治理方案研究

黄永葛

(福建省港航局, 福建 福州 350002)

摘要: 在对水口枢纽坝下水位下跌原因分析的基础上,提出了解决水口坝下水位持续下跌的6种方案.根据物理模型、数学模型及船模试验结果,分析比较了各方案的通航水流条件、施工条件和工程投资,以及各方案对电站出力、水库淹没和防洪的影响,推荐了首选整治方案.

关键词: 水位下跌; 治理方案; 水口枢纽; 模型试验

中图分类号: TV85:TV212.52 文献标识码: A 文章编号: 1009-640X(2007)03-0051-06

Regulation scheme of water level falling downstream of Shuikou Dam

HUANG Yong-ge

(Waterway Engineering Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Based on the cause analyses of the water level falling downstream of Shuikou Dam, six schemes are developed to solve the problems of the durative falling of water level. According to the results of physical model tests, mathematical model and ship model tests, the navigation conditions, construction conditions and project investment of each scheme are analyzed and compared. Furthermore, effects on the output of power station, reservoir flood and flood control of each scheme are analyzed. Finally, the best regulation scheme is recommended.

Key words: falling of water level; regulation scheme; Shuikou project; model test

水口枢纽位于闽江下游,是一座以发电为主,兼有防洪、航运功能的大型水利水电工程.枢纽建成后坝下河床持续下切,造成船闸及升船机门槛水深大幅下跌,在设计流量 $308\text{ m}^3/\text{s}$ 条件下,船闸门槛水深下跌了 3.22 m ,门槛露出水面 0.22 m ,严重影响正常航运;另外,坝下水位大幅度下跌,导致电站水轮机组严重损伤,影响正常发电;同时也危及坝下河段堤防安全.研究治理方案,采取有效的工程措施,充分发挥水口枢纽航运效益,已迫在眉睫.

1 坝下河段水文分析

1.1 枢纽建成后水沙条件的变化

竹岐水文站下距闽江南北港分流口约 16.5 km ,上距水口电站约 44 km ,为闽江下游干流主要控制站.水口电站蓄水前后竹岐站实测资料见表1^[1].

表1 水口电站蓄水前后竹岐站水沙资料

Tab.1 Discharge and sediment data at Zhuqi Station before and after water storage of Shuikou Power Station

年份	径流量/(亿 m ³)	平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	输沙量/(×10 ⁴ t)	平均含沙量/(kg·m ⁻³)
1984~1992	510.0	1 615.8	584.6	0.109
1993~2004	538.9	1 716.3	206.7	0.0347

由表1可见,水口电站蓄水前、后闽江平均来水量变幅不大,而平均年输沙量及平均含沙量则大幅减小,分别为电站建成前的35%和32%.

水口电站为不完全季调节电站,对电站下游水、沙的年际分配影响不大,仅枯水期的水、沙年内分配权重略有增加.

1.2 坝下水位变化过程

电站最小下泄流量为308 m³/s时,相应坝下历年水位见图1.由图1可见,电站建设初期(1987~1991年),电站下游水位已下降了1.02 m;1991年至1996年11月,7台机组全部发电,坝下水位仅下降0.45 m,下降幅度明显减缓.发电运行期(1996年11月~2005年12月),坝下水位共下降了1.75 m,年均下降约0.19 m,2001~2005年间水位下降幅度增大,与这期间河段大量采挖砂有直接关系.现坝下水位仍有下降的趋势.

1.3 坝下水位下降原因分析^[2,3]

电站建设初期坝下水位下跌主要原因是,从电站下游高淮滩等高滩地取河卵石等骨料350万m³以上用于电站建设,导致这期间电站下游水位迅速下降了1.02 m.电站大坝截流后,蓄水拦沙,清水下泄,电站日调节影响坝下不均匀下泄流的峰谷变化.水口坝下河床为易冲的沙质河床,必然产生冲刷下切,导致水位持续下降.坝下河道经过十几年的清水冲刷,河床已基本粗化而且趋于平缓,冲刷速率减缓,其自然状态下继续冲刷的幅度有限.然而近年来坝下水位仍出现大幅下跌,其主要原因是坝下河段近几年大规模无序采沙活动,加剧了坝下水位下降.

2 治理方案的提出

治理方案着眼于解决水口枢纽通航建筑物因门槛水深不足而导致的船舶过闸问题.在此基础上,尽可能对坝下水位下降所引发一系列问题进行综合治理,使其成为水资源节约型和环境生态保护型的治理工程.同时,要充分考虑投资及工程效益.

2.1 船闸改造方案

水口三级船闸上下游设计水位差为57.36 m,第1级船闸最大设计水头▽41.74 m,第2级船闸最大设计水头▽31.49 m,而第3级船闸最大设计水头仅为▽15.62 m.就设计水头而言,第3级船闸改造有较大余地.通过改造第3级船闸泄水系统,按照门槛水深3.0 m,富裕水深0.6 m的要求,降低第3级闸室底板高程及第4个闸首门槛高程.

2.2 船闸加中间渠道方案

在水口大坝右岸通航建筑物下游导流墩以下的高滩蒲附近高滩,开挖兴建另一座船闸及下游引航道,封堵原导流墩,连接中间渠道与原有的通航建筑物.船闸加中间渠道方案枢纽工程通航建筑物为IV级船闸,分为中间渠道、上闸首、闸室、下闸首、下游引航道、口门区及连接段等部分.工程布置见图2.

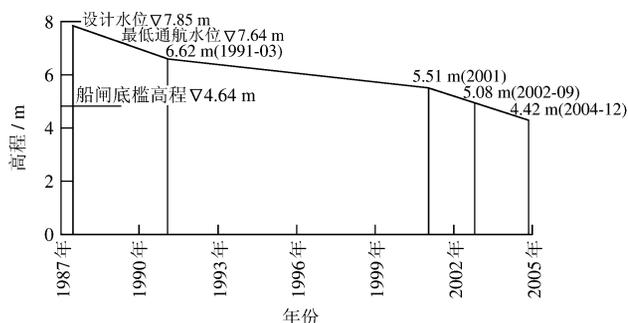


图1 水口枢纽最小流量(308 m³/s)下历年坝下水位变化
Fig.1 Variation in water level downstream of Shuikou Dam during the minimum discharge ($Q=308 \text{ m}^3/\text{s}$)

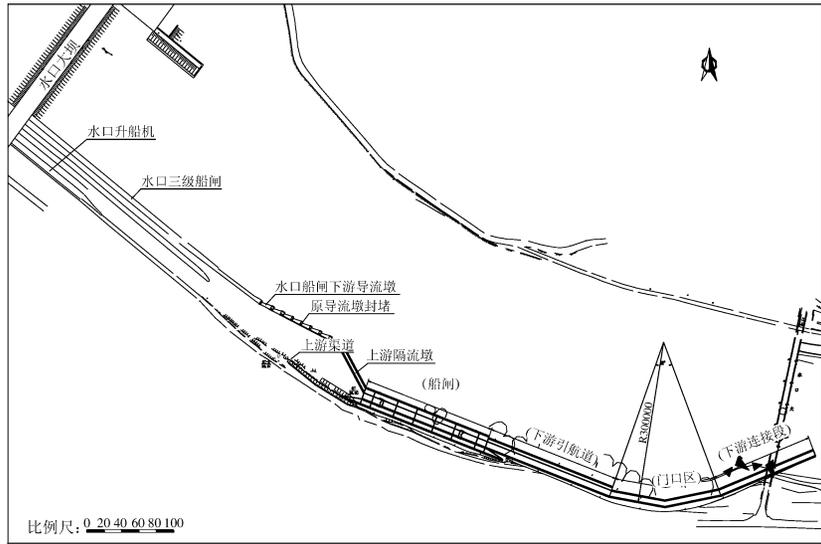


图2 船闸加中间渠道方案平面布置示意图

Fig. 2 Plan sketch of the scheme with lock and intermediate canal

该方案为在现有通航建筑物下游增加一级船闸,故设计通航水位主要为枢纽下游设计最高和最低通航水位,分别为▽ 22.50 m 和▽ 3.82 m. 船闸闸室的有效尺度为 135 m×12 m×3.0 m,下闸首门槛高程▽ 0.82 m.

2.3 潜坝整治方案

在水口枢纽坝下修建系列潜坝,利用潜坝群逐级抬高坝下水位,使设计流量下船闸门槛水深满足通航要求.从枢纽坝下河段的平面形态、断面形态及水力特性,潜坝群布置在大箬弯道以下河段内,该河段距水口大坝约 5.3 km.

物理模型试验^[3,4]表明,潜坝壅水影响能够达到坝下.在设计流量 308 m³/s 条件下,该方案至少需要 27 条复式潜坝逐级分解集中水位差,抬高坝下水位 3.11 m.

2.4 明渠及溢流坝治理方案

利用低水头拦河坝抬高枯水期的上游水位,使枯水期船闸底槛水深满足通航要求;边滩缓流区开挖明渠,将枯水水流引入明渠,明渠枯水期能够满足四级航道尺度要求.

该方案的拦河坝位置选择在坝下约 6 km 处,中枯水河宽约 405 m,在左岸深槽布置低水头溢流坝抬高枯水期的上游水位,溢流坝长 280 m,与明渠口门以圆弧线平顺衔接,连接段长 110 m.在右岸边滩缓流区开挖明渠,明渠底宽 50 m,边坡 1:3,明渠进口底高程为▽ 4.72 m,纵坡 1.5‰,长度 1 500 m,将枯水水流引入明渠(方案布置见图 3).

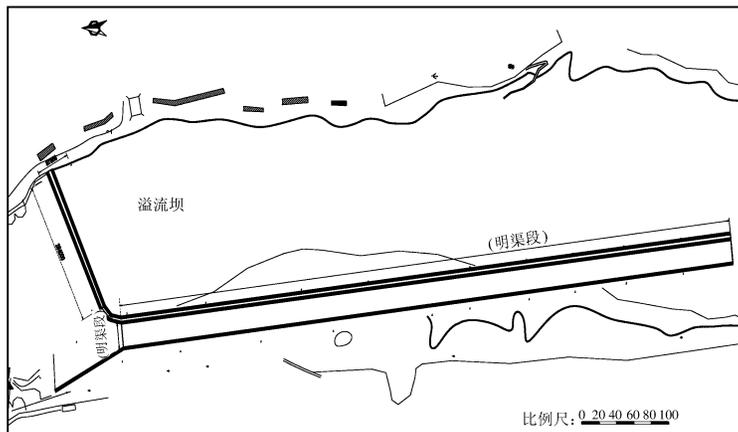


图3 明渠及溢流坝治理方案平面布置示意图

Fig. 3 Plan sketch of the regulation scheme with open canal and overflow dam

物理模型试验结果^[3]表明,在溢流坝顶高 $\nabla 7.32$ m时,设计流量 $308\text{ m}^3/\text{s}$ 条件下,船闸门槛水深达到 2.88 m,可基本满足 500 t 级船舶过闸要求。

2.5 梅溪口枢纽方案和大箬枢纽方案^[5,6]

梅溪口坝址位于水口电站下游约 14 km ,坝址以上集水面积 $53\,832\text{ km}^2$.作为水口枢纽反调节水库,梅溪口水库是一个集航运、发电、防洪、供水等综合效益的枢纽工程,采用常态砼闸坝型式,按 100 年一遇洪水设计, $1\,000$ 年一遇洪水校核.泄水闸布置在河床中部,正对主河道,共 22 孔,每孔净宽 18 m ,泄水闸坝段总宽度 476.5 m ,闸顶高程 $\nabla 30.8\text{ m}$.通航建筑物为IV级船闸,布置在左岸,分为上游引航道、上闸首、闸室、下闸首和下游引航道等 5 个部分.枢纽多年运行特征值见表2.

大箬坝址位于水口电站下游约 5 km ,坝址选择主要考虑避开库区形成后对铁路造成的淹没影响.枢纽建筑物包括泄水闸、左右岸砼挡水重力坝、船闸、发电厂房和开关站等.泄水闸布置在河床中部,正对主河道,共 17 孔,每孔净宽 18 m ,泄水闸坝段总宽度 369 m ,闸顶高程 $\nabla 33.40\text{ m}$.通航建筑物为IV级船闸,布置在左岸,分为上游引航道、上闸道、闸室、下闸首和下游引航道等 5 个部分.枢纽多年运行特征值见表2.

表2 枢纽多年运行特性对比

Tab.2 Comparison of operational parameters

序 号	项 目	特 征 值	
		梅溪口枢纽	大箬枢纽
1	正常蓄水位/ m	10.50	7.64
2	最低水位/ m	7.20	7.64
3	上游最高通航水位/ m	20.39	22.40
4	上游最低通航水位/ m	7.20	7.64
5	下游最高通航水位/ m	19.75	21.75
6	下游最低通航水位/ m	2.05	3.23
7	船闸过船吨位/ t	500	500
8	设计船队	2×500 顶推船队	2×500 顶推船队
9	船队尺寸/ m	108.3×10.8×1.6	108.3×10.8×1.6
10	船闸闸室有效尺度	160 m×12 m×3.0 m	160×12×3.0
11	设计年货运量/ (10^4t)	700	700
12	电站装机容量/ MW	60	15
13	年电能/ ($10^4\text{kW}\cdot\text{h}$)	26.506	7.250
14	装机年利用小时数/ h	4 418	4 833

3 方案效果与评价

根据各方案的特点,对壅水整治建筑物工程措施、人工明渠航道与低水头引水堰、船闸改造方案和船闸加中间渠道等 4 个方案进行了物理模型试验研究,其中人工明渠航道与低水头引水堰方案还进行数学模型试验研究.对枢纽工程方案的研究着重体现综合治理的效果,并尽量减少对库区淹没和水口枢纽的不利影响.

3.1 潜坝整治方案

物理模型试验表明,实施潜坝整治工程后最大水面比降为 0.55‰ ,最小为 0.15‰ ,平均为 0.34‰ ;坝顶最大表面流速为 1.71 m/s ,最小为 1.49 m/s ,平均为 1.63 m/s ;利用复式潜坝抬高水口枢纽下游枯水位,工程河段水流流态没有恶化.

实施方案后基本满足通航水流条件,但实施该方案至少需要 27 道潜坝,筑坝工程量较大.阻止河床的进一步冲刷下切需要的潜坝数量将越来越多,且今后要进行经常性的潜坝维护工程,维护量较大.同时,该方案不能从根本上解决河床的进一步冲刷下切问题.

3.2 明渠及溢流坝方案

根据模型验证资料,明渠内各级流量下沿程水位、流速变化见表 3 和表 4.

表 3 明渠内各级流量沿程水深

Tab. 3 Water depths along the flow in the open canal under different discharges

坝顶高程 / m	明渠河底高程/ m			流 量 / (m ³ · s ⁻¹)	上段水深 / m	中段水深 / m	下段水深 / m
	上 段	中 段	下 段				
7.32	4.72	3.82	2.44	308	2.49	2.53	1.64
				1 430	2.78	3.11	3.74
				2 000	3.98	4.81	6.14
				4 000	5.96	6.84	8.17
				6 000	7.15	8.02	9.33
				8 000	8.10	8.97	10.28
				10 000	8.74	9.68	10.96
				14 000	10.08	11.05	12.23

表 4 明渠内各级流量流速

Tab. 4 Velocities along the flow in the open canal under different discharges

坝顶高程 / m	流 量 / (m ³ · s ⁻¹)	进口最大斜流流速 / (m · s ⁻¹)	平均流速 / (m · s ⁻¹)	$V_{y\max}$ / (m · s ⁻¹)	$V_{x\max}$ / (m · s ⁻¹)
7.32	308	1.31	2.60	3.26	0.25
	1 430	1.83	2.74	4.35	0.24
	2 000		1.54	3.55	0.23
	4 000		1.68	2.55	0.14
	6 000		2.02	2.88	0.24
	8 000		2.19	3.26	0.29
	10 000		2.78	3.81	0.36
	14 000		3.36	4.14	0.43

模型试验表明,明渠内的通航水流条件差,枯水期明渠口门形成“剪刀水”,上段流急、比降大,下段水浅、流急、比降大;中洪水期明渠进口斜流,明渠内纵向流速较大,亦不能满足船舶上下行通航要求,不利于船舶安全航行.同时该方案对河床冲刷演变的适应性较差,明渠下游可能继续冲刷下切影响通航.在不考虑淹没影响的情况下工程静态总投资 4.2 亿.

3.3 船闸改造方案

该方案将改造第 3 级船闸输水系统,涉及到二闸室泄水系统及三闸首,存在改造工艺、施工技术难度大等问题,同时只能解决船闸的门槛水深.工程实施后升船机门槛水深仍不能满足要求,今后过船建筑物的货物通过能力不能达到设计要求.

3.4 船闸加中间渠道方案

该方案实施后,口门及连接段通航水流条件得到较大改善.各级流量下游引航道口门区及连接段通航水

流条件见表 5. 当下游水位达到 $\nabla 7.2$ m 以上时, 新建船闸敞开闸门, 任过坝船舶自由进出, 基本可满足过货要求. 该方案对水口电站设计出力、淹没、防洪无影响, 但方案实施后每年需要相应的管理费用, 工程投资约 4.3 亿元.

表 5 各级流量下游引航道口门区及连接段流速

Tab. 5 Velocities in the entrance area and connection section of downstream approach channel under different discharges

部 位	项 目	流 量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)							
		308	1 430	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	14 000
口门区	$V_{x\max}$	0.04	0.15	0.26	0.21	0.22	0.19	0.35	0.48
	$V_{y\max}$	0.06	0.53	0.61	0.80	0.94	1.02	1.76	1.34
连接段	$V_{x\max}$	0.05	0.17	0.19	0.16	0.13	0.29	0.38	0.49
	$V_{y\max}$	0.15	1.04	1.03	1.09	1.98	2.53	2.86	3.53

3.5 梅溪口枢纽方案和大箬枢纽方案

这 2 个方案能解决水口枢纽船闸和升船机门槛水深不足问题, 枢纽新建船闸通过增加富裕水深 (1.0 m), 可以适应下游河床一定幅度的下切.

梅溪口枢纽工程实施后可改善两个枢纽间 14 km 航道的航行条件. 同时, 对水口枢纽调峰发电的不稳定流进行再调节, 使下泄水流均匀稳定, 确保下游航道船舶的安全航行, 也可减轻对下游河床及堤防等防护工程的冲刷. 该方案的发电、航运和用水等效益明显, 但涉及铁路淹没和移民问题, 水位调节不合理时将影响水口电站的出力, 工程投资大, 约为 15 亿元 (其中需资本金约 12 亿元).

大箬枢纽工程实施后, 在枯水期, 适当抬高水口坝下水位, 可确保水口电站水轮机组安全运行, 又可提高发电效益. 工程实施后既无库区淹没问题, 也不影响水口电站出力. 工程投资较大, 约 7.6 亿元 (其中需资本金约 7.1 亿元).

4 结 语

通过对潜坝整治方案、明渠及溢流坝方案、船闸改造方案、船闸加中间渠道治理方案、梅溪口枢纽方案和大箬枢纽方案等 6 个方案的治理效果分析, 后 3 个方案能有效解决目前条件下水口枢纽坝下河床下切造成的船闸及升船机底槛水深不足问题, 并可适应下游河床一定幅度的下切. 从建设水资源节约型和环境保护型的综合性治理工程角度出发, 梅溪口枢纽方案最优, 大箬枢纽方案其次, 船闸加中间渠道治理方案仅能解决通航问题, 但梅溪口枢纽工程方案涉及铁路淹没和移民问题, 且工程投资大, 经综合分析比选, 推荐大箬枢纽方案为治理水口枢纽坝下水位下降工程措施首选方案.

参 考 文 献:

- [1] 蒋文芳, 林国雄. 闽江水口坝下河床演变分析[R]. 福州: 福建省港航勘察设计院, 2005.
- [2] 陈一梅. 水口电站运行以来对坝下航道影响研究[J]. 水利水电快报, 1999, (7): 5-8.
- [3] 王义安. 治理方案物理模型试验报告[R]. 天津: 天津水运工程科学研究所, 2005.
- [4] 王义安, 于广年. 整治建筑物壅水规律研究[R]. 天津: 天津水运工程科学研究所, 2005.
- [5] 江信敬, 陈春鸣, 陈志铭. 闽江下游枢纽工程方案设计报告[R]. 福州: 福建省水利水电勘测设计研究院, 2005.
- [6] JTJ220-98, 渠化工程枢纽总体布置设计规范[S].
- [7] 林金裕, 蒋文芳. 治理方案数学模型试验报告[R]. 福州: 福建省港航勘察设计院, 2005.