

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.05.027

金沙江溪洛渡水电站进水口分层取水措施设计

姜跃良,何 涛

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,四川 成都 610072)

摘要 :为保证金沙江溪洛渡水电站运行期不同工况下进水口均能取到库区上、中层水,提高下泄水温,降低低温水对鱼类生长繁殖的不利影响,在招标阶段审定的单层进水口布置方案的基础上,通过调整取水建筑物设计形式,在鱼类主要产卵期(3—6月)采用叠梁门取到库区上、中层水,使鱼类集中繁殖期增温效果较明显,同时具备工程量小、投资省、运行操作灵活等优点。

关键词 :低温水;叠梁门;分层取水;溪洛渡水电站;金沙江

中图分类号:TV671 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2011)05-0119-04

Design of stratified water withdrawal structure of Xiluodu Hydropower Station on Jinsha River

JIANG Yue-liang, HE Tao

(Hydrochina Chendu Engineering Corporation, Chengdu 610072, China)

Abstract : In order to ensure that the water withdrawal structure of the Xiluodu Hydropower Station can extract the surface water and middle layer water under different working conditions, raise the discharged water temperature, and reduce the adverse effects of the low temperature on the growth and reproduction of fish, based on the original design of single inlet, the water withdrawal structure is adjusted to extract the surface and middle layer water using the stop log gates, so that the temperature increases significantly in the fish reproduction period. This also has advantages of a small amount of work, low investment, and flexible operation.

Key words : low temperature water; stop log gates; stratified water intake; Xiluodu Hydropower Station; Jinsha River

水电站进水口分层取水结构在水电开发程度很高的美国很受青睐,已成为水电生态友好实践的重要组成部分^[1]。近年来,我国的光照、锦屏一级、溪洛渡、双江口等一些大型水电工程陆续开展了分层取水措施的相关研究和设计,对减缓深水型水库下泄低温水对下游水生环境造成的不利影响具有极其重要的意义^[1-3]。笔者就溪洛渡水电站进水口分层取水措施设计成果进行介绍,其经验可供类似水电工程项目借鉴。

1 工程概况

溪洛渡水电站^[4]是一座以发电为主,兼有防洪、拦沙和改善下游江段航运条件等综合利用的特大型水电

工程。电站总装机容量为 12 600 MW(18 × 700 MW),单层进水口方案电站进水口底板高程为 518 m。水库正常蓄水位为 600 m,死水位为 540 m,正常蓄水位相应库容为 115.7 亿 m³,死库容为 51.1 亿 m³,为不完全年调节水库。溪洛渡水电站可行性研究阶段水温预测结果表明,水库水温结构属稳定分层型,电站运行时下泄的低温水会改变下游河道天然水温的分布,会对下游鱼类繁殖产生不利影响。

原国家环境保护总局在《关于金沙江溪洛渡水电站环境影响报告书审查意见的复函》中明确要求,“应在设计阶段进一步优化枢纽建筑物设计和电站初期蓄水与运行方案,尽可能降低 4—5 月份水库运行水位、抬高进水口底板高程,以提高下泄水温,减

表 1 分层取水工程布置方案比选

方案	分层取水工程布置方案简要说明	特 点	综合比选结论
高低进水口方案	将左岸 1#~4#(右岸 15#~18#)进水口底板高程设为 542m。左岸塔基高程 539m(右岸 537m),左岸塔高 71m(右岸 73m),左右岸前部引渠底高程 540m;左岸 5#~9#(右岸 10#~14#)进水口底高程仍保持单层取水时的底板高程 518m,左岸塔基高程 515m(右岸 513m),左岸塔高 95m(右岸 97m),左右岸前部引渠底高程 516m	涉及进水口建基面的调整。在不同的库水位下,进水口需采用不同的开启运行方式,系统调度运行的灵活性较差,且会带来发电量及销售收入的损失,对溪洛渡电站经济效益的影响巨大	
双层取水口方案	进水口布置格局与原单层进水口大体一致,增加一道闸门,进水塔顺水流方向尺寸将增加约 20m	涉及进水口建基面的调整,受左右两岸厂房进水口的地形条件限制,不具备实施双层取水口方案的条件	从水工布置上比较,叠梁门方案基本可行
叠梁门方案	左岸在拦污栅栅墩处增加一道叠梁门门槽,右岸利用备用拦污栅槽作为叠梁门槽。叠梁门挡水闸门底高程为 518m,最大挡水高程为 566m,高程,门叶尺寸 3.8m×48m(宽×高),门叶分 4 节,每节高度 12m。每台机组进口前缘由栅墩分成 5 个过水栅孔,九台机组共设 45 个过水栅孔,挡水闸门数量亦为 45 扇,门叶共 180 节	不涉及进水口建基面的调整,工程量较小	

轻对坝下水生生态的影响”。受建设单位中国长江三峡工程开发总公司委托,中国水电顾问集团成都勘测设计研究院于 2008 年 3 月承担溪洛渡水电站进水口分层取水布置专题设计工作,专题成果于 2008 年 11 月通过审查。目前分层取水措施正处在施工阶段。

在招标阶段审定的单层进水口布置方案的基础上,通过调整取水建筑物设计形式,研究比选了高低进水口、双层取水口及叠梁门多层取水共 3 种分层取水工程布置方案。

比较结果表明,从工程布置上,采用叠梁门工程方案实现分层取水相对可行。方案比选详见表 1。

2 叠梁门分层取水水温预测及效果分析

研究^[5]对比了叠梁门单层门叶高度分别采用 12m、8m、6m 的 3 种方案,数值模拟结果表明,不同门叶高度方案对月均水温影响不大。考虑到施工、运输、运行等技术经济指标,叠梁门单层门叶高度推荐采用 12m。基于 3—6 月为鱼类主要产卵期,叠梁门运行时段为 3—6 月。结合历年水文资料和最小淹没水深要求(25m),最多采用 4 层叠梁门取水,最大挡水高度为 48m。下文针对溪洛渡水库单独运行和联合运行两种工况水温分布特点分别进行了分析。其中,单独运行工况指基于二滩水库已运行,溪洛渡水电站单独运行的工况,联合运行工况是基于二滩已建,考虑金沙江干流下游乌东德、白鹤滩联合运行的工况。两种工况均以平水年进行典型预测。

遇丰水年,水库高水位运行时,最多可能启用 4 层门叶挡水,最大挡水高度为 48m,分层取水升温效果将较平水年更明显。

2.1 单独运行工况

2.1.1 叠梁门逐旬启用情况

3—6 月启用叠梁门分层取水。以平水年(1982

年 6 月—1983 年 5 月)进行分析,水位在 567m 以上运行时,两层门叶挡水,挡水闸门顶高程为 542m;水库水位在 555~567m 之间时,吊起第一节叠梁门,用第二节门叶挡水,此时挡水闸门顶高程为 530m;水库水位降至 555m 以下时,继续吊起第二节叠梁门,无闸门挡水,取水方式与单层取水相同,取水口底高程 518m。平水年(1982 年 6 月—1983 年 5 月)叠梁门逐旬启用情况详见表 2。

表 2 平水年(1982 年 6 月—1983 年 5 月)叠梁门逐旬启用情况

时间	旬均水位/m	叠梁门顶高程/m	叠梁门层数	适用的最低水位/m
3 月上旬	573.3	542	2	567
3 月中旬	569.3	542	2	567
3 月下旬	564.3	530	1	555
4 月上旬	558.4	530	1	555
4 月中旬	552.7	—	0	—
4 月下旬	546.0	—	0	—
5 月上旬	541.0	—	0	—
5 月中旬	540.0	—	0	—
5 月下旬	540.2	—	0	—
6 月上旬	550.6	—	0	—
6 月中旬	560.0	530	1	555
6 月下旬	577.7	542	2	567

2.1.2 预测结果及分析

图 1 反映了该分层取水方案的水库坝前水温年内分布特征,表 3 反映了下泄水温、坝前表层水温、库底水温、坝址处天然水温及气温年内过程,并比较了该叠梁门取水方案与单层取水口方案及天然状况下的温度差异。

相对单取水口方案而言,叠梁门取水方案使 3—6 月鱼类主要产卵期平均水温升高了 0.3℃,其中 3 月份升高了 0.7℃,4 月份升高了 0.8℃,一定程度地减轻了低温水的负面影响。

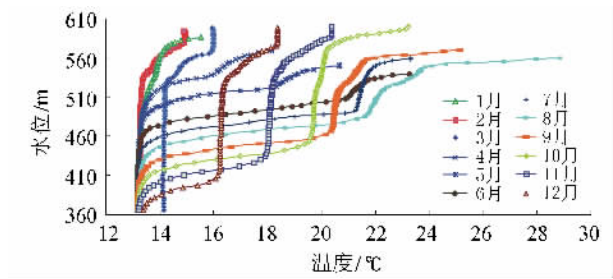


图 1 坝前逐月水温分布(单独运行,平水年)

表 3 单独运行时平水年水温及气温情况 °C

月份	月均下泄水温	坝址天然水温	月均下泄水温与天然水温差值	月均下泄水温与单层取水口水温差值	表层水温	库底水温	库区平均气温
1	14.3	12.8	1.5	-0.3	15.9	14.1	10.2
2	13.3	13.8	-0.5	-0.3	14.9	13.3	12.2
3	14.7	16.2	-1.5	0.7	15.5	13.2	17.0
4	17.4	19.2	-1.8	0.8	18.2	13.2	21.4
5	19.5	21.4	-1.9	-0.2	20.7	13.2	24.3
6	21.5	22.2	-0.7	0	23.3	13.2	25.4
7	21.9	22.5	-0.6	0.4	23.3	13.2	27.4
8	22.3	22.9	-0.6	-0.1	28.8	13.2	26.9
9	20.9	21.1	-0.2	-0.4	25.1	13.2	23.3
10	19.8	19.6	0.2	-0.1	23.2	13.2	19.5
11	18.2	16.6	1.6	-0.2	20.4	13.2	15.4
12	16.3	13.8	2.5	-0.1	18.4	13.4	11.5
年平均	18.3	18.5	-0.2	0	20.6	13.3	19.5

2.2 联合运行工况

2.2.1 叠梁门逐旬启用情况

3—6 月启用叠梁门分层取水。以平水年(1960 年 6 月—1961 年 5 月) 进行分析, 水位在 579 m 以上运行时, 三层门叶挡水, 挡水闸门顶高程为 554 m; 水库水位在 567 ~ 579 m 之间时, 吊起第一节叠梁门, 用其他门叶挡水, 此时挡水闸门顶高程为 542 m; 水库水位在 555 ~ 567 m 之间时, 吊起第二节叠梁门, 用最下层节门叶挡水, 此时挡水闸门顶高程为 530 m; 水库水位降至 555 m 以下时, 继续吊起最下层叠梁门, 无闸门挡水, 取水方式与单层取水相同, 取水口底高程 518 m。平水年(1960 年 6 月—1961 年 5 月) 叠梁门逐旬启用情况详见表 4。

表 4 平水年(1960 年 6 月—1961 年 5 月) 叠梁门逐旬启用情况

时间	旬均水位/m	叠梁门顶高程/m	叠梁门层数	适用的最低水位/m
3 月上旬	587.8	554	3	579
3 月中旬	587.0	554	3	579
3 月下旬	582.5	554	3	579
4 月上旬	576.7	542	2	567
4 月中旬	569.7	542	2	567
4 月下旬	570.2	542	2	567
5 月上旬	565.7	530	1	555
5 月中旬	550.9	530	1	555
5 月下旬	542.4	—	0	—
6 月上旬	540.0	—	0	—
6 月中旬	540.0	—	0	—
6 月下旬	548.1	—	0	—

2.2.2 预测结果及分析

图 2 反映了溪洛渡水库该方案的坝前水温年内分布特征, 表 5 反映了下泄水温、坝前表层水温、库底水温、坝址处天然水温及气温年内过程, 并比较了该叠梁门取水方案与单层取水口方案及天然状况下的温度差异。

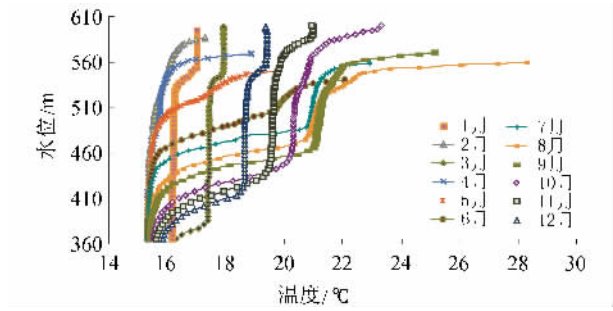


图 2 坝前逐月水温分布(联合运行,平水年)

表 5 联合运行时平水年水温及气温情况 °C

月份	月均下泄水温	坝址天然水温	月均下泄水温与天然水温差值	月均下泄水温与单层取水口水温差值	表层水温	库底水温	库区平均气温
1	17.5	12.8	4.7	0	17.9	16.3	10.2
2	16.3	13.8	2.5	0	17.0	16.2	12.2
3	16.5	16.2	0.3	0.6	17.3	15.3	17.0
4	17.0	19.2	-2.2	0.6	18.9	15.3	21.4
5	18.0	21.4	-3.4	0.1	19.8	15.3	24.3
6	20.3	22.2	-1.9	-0.1	22.1	15.3	25.4
7	21.3	22.5	-1.2	0	22.9	15.3	27.4
8	21.4	22.9	-1.5	0	28.2	15.4	26.9
9	21.5	21.1	0.4	0	25.1	15.4	23.3
10	20.6	19.6	1.0	0	23.3	15.5	19.5
11	19.6	16.6	3.0	0	21.0	15.6	15.4
12	18.7	13.8	4.9	0	19.4	15.8	11.5
年平均	19.1	18.5	0.6	0.1	21.1	15.6	19.5

相对单取水口方案而言, 叠梁门取水方案使 3—6 月鱼类主要产卵期平均水温升高了 0.3℃, 其中 3、4 月份均升高了 0.6℃, 一定程度地减轻了低温水的负面影响。

3 分层取水工程布置研究

3.1 发电引水进水口建筑物的设计标准

电站进水口建筑物的设计标准如下: 永久性主要建筑物, 按 1 级建筑物设计; 非雍水建筑物, 洪水设计标准按 500 年一遇洪水设计, 1 000 年一遇洪水校核, 其校核洪水位(千年一遇) 为 600.70 m, 设计地震裂度为 8 度, 地震水平加速度为 0.21g。

3.2 发电引水进水口的水力设计

经计算, 过栅流速为 1.14 m/s, 过水道水流竖向流速为 3.8 m/s, 进水口段水头损失约 0.95 m。

3.3 进水口结构布置

鉴于左岸竖井式进水口开挖已经完成, 故仅对

进水口拦污栅段进行调整。为保证能够分层取水,在栅墩上增加一道叠梁门槽,考虑到设置倾斜的叠梁门槽启闭困难,特将整个拦污栅段调整为直立式。由于拦污栅段改为直立式,栅墩后的斜坡上需回填大量的混凝土,考虑到回填混凝土自身稳定要求以及减小混凝土工程量,将斜坡上的回填混凝土调整为钢筋混凝土墙板结构,并设平压孔保证墙体内外水压平衡。

鉴于右岸岸塔式进水口开挖已经完成,故仅对进水口拦污栅进行调整。利用原备用拦污栅槽作为叠梁门槽,只需调整拦污栅胸墙高度,其余结构基本不变。

叠梁门挡水闸门底高程为 518 m,最大挡水高程为 566 m 高程,门叶尺寸 3.8 m×48 m(宽×高),门叶分 4 节,每节高度 12 m。每台机组进口前缘由栅墩分成 5 个过水栅孔,九台机组共设 45 个过水栅孔,挡水闸门数量亦为 45 扇,门叶共 180 节。

为了减小进水口取上层水时过水道水流的竖向流速,以便流经拦污栅段的水流均匀、平稳地进入隧洞,拦污栅段和隧洞段之间留有 4 m 间距。拦污栅段和隧洞段边墙之间采用纵撑连接,纵撑间水平净距 4.60 m,垂直向中心间距 8 m,断面尺寸 1.20 m×1.50 m(宽×高),以增强拦污栅段的抗震能力。

3.4 分层取水的闸门及启闭设备

3.4.1 左岸分层取水叠梁门方案

左岸进水口每台机组为单进口,进口底坎高程为 518 m,闸顶高程 610 m,引水建筑物的金属结构包括进水口的拦污栅、叠梁门(与备用拦污栅共槽)、检修闸门、快速闸门及启闭设备。

a. 进水口拦污栅及启闭设备布置。进口前缘由栅墩分成 5 个过水栅孔,每孔宽度 3.8 m、高度 71 m,拦污栅强度按 4 m 水位差设计,左岸进水口设工作栅 45 扇,备用栅 1 扇,每扇栅叶由 23 节组成,每节高度 3.12 m,采用滑道支承,用拉杆连接至顶 610 m 平台并锁定,拦污栅在前后水位差 $\Delta h \leq 1$ m 时可启吊。在单层取水时可进行一孔拦污栅清污或检修,将锁定在备用栅槽上的一层叠梁门吊运到空闲的储栅槽内,再下备用栅后方能提起工作栅,通过抓梁+拉杆+顶 3 节拦污栅起吊,其他 20 节拦污栅用抓梁分 5 次起吊。备用拦污栅平时分别存放在储栅槽内。吊起设备为 2 台 800 kN 双向门机。检修闸门、快速闸门及启闭机布置与单层取水相同,启闭机采用 1 台 2500 kN 双向门机。

b. 进水口叠梁门及启闭设备布置。门叶尺寸 3.8 m×48 m(宽×高),滑动支承,按 4 m 水压差设计,门叶分 16 节,每节高度 3 m,每 4 节用节间连接

板或工地焊接相连组成一层叠梁门,共四层。采用闸顶 800 kN 双向门机配合液压自动抓梁分层起吊。每台机组进口前缘由栅墩分成 5 个过水栅孔,9 台机组共设 45 个过水栅孔,叠梁门数量亦为 45 扇。在叠梁门槽上锁定一层叠梁门,其他三层叠梁门储存在其他三个叠梁门储门槽内。

3.4.2 右岸分层取水叠梁门方案

右岸岸塔式进水口每台机组为单进口,进口底坎高程为 518 m,闸顶高程 610 m,引水建筑物的金属结构包括拦污栅、叠梁门、检修闸门、快速闸门及启闭机。

右岸分层取水叠梁门方案与左岸相同,仅启闭机采用闸顶 2500 kN/320 kN/320 kN 双向门机 320 kN 回转吊配合+拉杆起吊顶节拦污栅,其余由回转吊配合液压抓梁、分节起吊拦污栅、分层启闭叠梁门。门机轨距 14.8 m,扬程 110 m,轨上扬程 18 m。右岸叠梁门门库均设置在备用栅槽后的联系梁格内。拦污栅清污或检修方式与左案相同。

4 分层取水叠梁门的运行调度管理

3—6 月鱼类主要产卵期,水位在 604 m 以上运行时,四层门叶挡水,挡水闸门顶高程为 579 m,水位在 579 m 以上运行时,三层门叶挡水,挡水闸门顶高程为 554 m,水库水位在 567~579 m 之间时,吊起第一节叠梁门,用其他门叶挡水,此时挡水闸门顶高程为 542 m,水库水位在 555~567 m 之间时,吊起第二节叠梁门,用最下层节门叶挡水,此时挡水闸门顶高程为 530 m,水库水位降至 555 m 以下时,继续吊起最下层叠梁门,无闸门挡水,取水方式与单层取水相同,取水口底高程 518 m。

其他月份,不启用叠梁门,使用单层取水方案。

因不同水文年入库水量和运行水位有所差异,运行时段应结合水库水位运行调度方案进行分层取水实时调度,灵活确定叠梁门挡水总高度,实现分层取水效果最大化。

5 新增土建工程量及工程投资估算

a. 新增土建工程量。与技施阶段单层进水口方案相比,进水口叠梁门分层取水方案投资合计新增主要工程量如下:新增混凝土(C25)6.9 万 m³、减少混凝土(C15)2.4 万 m³、新增塔体钢筋 5 228 t。

b. 新增投资估算。与技施阶段单层进水口方案相比,进水口叠梁门分层取水方案投资合计新增 2.61 亿元。其中,左岸工程新增 1.83 亿元,包括新增土建投资 0.67 亿元,新增金属结构投资 1.16 亿元。右岸工程新增 0.78 亿元, (下转第 126 页)

项环境保护规章制度,对施工人员进行水资源短缺的严重性和水环境保护的重要性宣传,使之养成自觉维护水环境的良好习惯;定期对废污水处理装置的出水进行监测,发现污染物浓度超标或造成水体功能受到实质性影响,立即采取有效措施对出现的问题进行处理;聘请第三方环境监理机构,对整个施工期可能对水环境的影响和破坏进行全程监控,并对施工单位的环境保护措施和投资的落实情况进行监督检查。

另外,还应建立垃圾站,对产生的生活垃圾统一收集并进行处理,严禁将河道作为倾倒垃圾的场所;在水库蓄水前,必须严格按照《水库库底清理办法》对库底的厕所、坟地、建筑物和文物等进行清理。总之,应通过各项水污染防治措施,保证工程所在区域及其下游河段水环境不受污染。

5 结 语

水利水电工程施工期对水环境的影响具有时间相对较短、源强较为集中的特点,如不采取有力措施

进行水环境污染防治,将对库区及下游的水环境造成严重污染,甚至破坏饮用水源。因此,在水利水电工程施工中应加强对水环境的保护,采取切实可行的措施对水环境污染进行防治,以促进工程与生态环境的协调发展。

参考文献:

[1] 张建花,兰芳.龙滩大法坪沙石加工系统废水处理技术[J].葛洲坝集团科技,2007(3):38-39.
[2] 杨斌,蒋红梅,吴东国,等.公路隧道施工废水处理工艺探讨[J].公路交通技术,2008,12(6):162-164.
[3] 张振中.浅议建筑施工中的节水管理[J].科学与科学技术管理,2007(12):199-200.
[4] 刘清海,王利华,毛新.DH 高效污水净化器技术在火电厂高浓度灰渣水处理中的应用[J].电力设备,2007,8(1):51-53.
[5] 金奔.水电水利工程的污水处理研究[J].水电站设计,2007,23(3):52-57.
[6] 高婷,王忠诚,罗玉红.施工生产废水的铝电解式处理[J].人民长江,2007,38(2):86-89.

(收稿日期 2011-04-14 编辑 徐 娟)

(上接第 122 页)

包括减少土建投资 0.09 亿元,新增金属结构投资 0.87 亿元。新增投资仅占溪洛渡工程总投资的 0.435%,增加量不大。

6 结 语

简言之,溪洛渡水电站进水口叠梁门分层取水方案是:在 3—6 月鱼类集中产卵期,在保证最小淹没水深 25 m 的前提下,尽量采用多层叠梁门取水,叠梁门最大挡水高度为 48 m(4 层门叶,单层门叶高 12 m);其余月份采用单层进水口取水。

从水温改善效果的角度分析,叠梁门分层取水方案一定程度地减轻了低温水的负面影响,是一种可行的分层取水方案。

从工程布置角度分析,采用叠梁门方案实现溪洛渡水电站发电进水口分层取水,仅需在左岸拦污栅栅墩处增加一道叠梁门门槽,右岸利用备用拦污栅槽作为叠梁门槽,不涉及进水口建基面的调整,增加工程量较小,方案可行。

从投资角度分析,叠梁门分层取水方案较原单进水口方案新增投资 2.61 亿元,仅占工程总投资的

0.435%,投资增加量不大。

溪洛渡水电站进水口叠梁门分层取水方案使鱼类集中繁殖期增温效果较明显,同时具备工程量小、投资省、运行操作灵活等优点,在对水资源合理开发的同时保证了水电建设项目与生态环境的和谐发展,其经验可供类似水电工程项目借鉴。

参考文献:

[1] 杜效鹄,喻卫奇,芮建良.水电生态实践:分层取水结构[J].水力发电,2008,34(12):28-32.
[2] 常理,纵霄,张磊.光照水电站水库水温分析预测及分层取水措施[J].水电站设计,2007,23(3):30-32,51.
[3] 刘欣,陈能平,肖德序,等.光照水电站进水口分层取水设计[J].贵州水力发电,2008,22(5):33-35.
[4] 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院.金沙江溪洛渡水电站环境影响报告书[R].成都:中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,2005.
[5] 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院.金沙江溪洛渡水电站进水口分层取水研究专题报告[R].成都:中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,2008.

(收稿日期 2011-04-14 编辑 徐 娟)