

# 庙林电站首部枢纽拦河坝冲沙研究和结构布置

李晓平 田 辉 李现飞

(云南省水利水电勘测设计研究院, 云南 昆明 650021)

**【摘 要】** 本文采用准二维恒定非均匀流输沙数学模型计算泥沙淤积形态和库前冲沙漏斗,根据输沙数学模型计算成果,提出首部枢纽拦河坝泄水建筑物的结构布置形式和水库调度运行方案,成功解决了庙林电站首部枢纽冲沙泄洪、减少过机泥沙的关键技术问题。经几年的运行观测,拦河坝排沙效果较好,拦河坝上游均未出现泥沙淤积,淤积形态优于设计预期,有效延长了水库的使用寿命,使水库和发电机组效益最大化。

**【关键词】** 庙林水电站; 拦河坝; 关键技术; 研究; 实践

中图分类号: TV554

文献标识码: B

文章编号: 1005-4774(2017)09-0019-05

## Sand flushing research and structure layout in the first water control barrage of Miaolin Power Station

LI Xiaoping, TIAN Hui, LI Xianfei

(Yunnan Institute of Water and Hydropower Engineering Investigation, Design and Research, Kunming 650021, China)

**Abstract:** In the paper, quasi two-dimensional steady non-uniform flow sediment transfer mathematical model is adopted for calculating the sediment deposition morphology and reservoir erosion upstream funnel. The structure layout form of first water control barrage release structure and reservoir scheduling operation plan are proposed according to the calculation results of the sediment transfer mathematical model. Key technical problems in first water control project of Miaolin Power Station are solved, such as flood release and reduction of sediment passing through the turbine. The sand discharge effect of the barrage is excellent, sediment accumulation is not discovered on the upstream area of the barrage, and the sediment deposition morphology is better than the design expectation according to operation observation for several years. The service life of the reservoir is prolonged effectively, and the benefits of the reservoir and power generator set are maximized.

**Keywords:** Miaolin Power Station; barrage; key technologies; research; practice

### 1 前 言

庙林电站位于云南省昭通市彝良县、大关县境内,金沙江一级支流横江的支流洛泽河下游河段。取水坝距彝良县城约 9.9km。取水坝正常蓄水位 1815.00m,正常库容 999 万  $\text{m}^3$ 。

电站采用有压引水式开发,首部枢纽的拦河坝为混凝土重力坝,最大坝高 52m,总库容 1158.4 万  $\text{m}^3$ 。总装机容量 65MW。电站枢纽工程为Ⅲ等,电站规模为中型。

挡水建筑物的设计洪水标准为 100 年一遇,相应



洪峰流量  $2866\text{ m}^3/\text{s}$ ,校核洪水标准为 1000 年一遇,相应洪峰流量  $4283\text{ m}^3/\text{s}$ 。地震设防烈度为Ⅶ度。

坝址为 U 字形峡谷,谷底宽约 50m,两岸地形坡度较陡,依次出露灰岩、砂质页岩、长石石英砂岩。

拦河坝坝顶轴线长 127m,坝身布置有泄洪、冲沙孔、溢流表孔等建筑物。电站进水口位于大坝右岸坝段,采用侧向取水。

该工程由于河道来水来沙量较大,坝轴线处两岸地形陡峻狭窄,宽度仅为 50m,在如此狭窄的地段解决泄洪排沙是庙林电站首部枢纽拦河坝结构布置的关键技术问题,由于坝身需布置的孔口多达 8 个,在坝体的平面和空间均布满孔口,各类孔口在平面和空间的布置上有特别的要求,两表孔泄洪排悬移质,三低孔泄洪排推移质,电站进水口、排污口及生态放水口,既要解决泄洪排沙的问题又要使大坝稳定安全,根据泥沙数学模型计算成果,采用特殊的隔孔布置方案解决库区和库尾的泥沙淤积及减少过机泥沙的关键技术问题。

## 2 庙林电站泥沙分析

庙林电站取水坝坝址处悬移质多年平均输沙量为 336 万 t ( $280\text{ 万 m}^3$ ),推移质为 67 万 t,多年平均总输沙量为 430 万 t,多年平均悬移质含沙量为  $1.86\text{ kg/m}^3$ 。库沙比仅为 3.6,远远小于其设计基准期,属泥沙问题严重电站。泥沙分析主要计算内容包括入库沙量、淤积量、淤积形态等,采用经验方法预测坝前局部冲刷漏斗的形态,为拦河坝结构布置提供依据。

### 2.1 基础资料情况

庙林电站邻近站点:豆沙关水文站位于横江(洛泽河和洒渔河交汇后)上,径流面积  $9410\text{ km}^2$ ,具有泥沙系列资料(1965—2003 年);牛街水文站位于横江支流白水江(于豆沙关下游交汇横江)上,径流面积  $2838\text{ km}^2$ ,具有泥沙系列资料(1966—2003 年)。上述水文站均为国家基本水文站,资料可靠。

汛期 6—9 月来沙量占全年的 97.5%,10 月至次年 5 月仅占 2.5%。

拦河坝死水位 806.00m,死库容  $522\text{ 万 m}^3$ ;排沙水

位 809.00m,相应库容  $665\text{ 万 m}^3$ ;正常水位 815.00m,正常库容  $999\text{ 万 m}^3$ 。

### 2.2 泥沙分析计算

泥沙分析采用武汉水利电力大学河流模拟教研室编制的《sused-2》准二维恒定非均匀流输沙模型。该模型曾运用于麻栗坝、青山嘴等大型水库及一些中型水库泥沙分析计算,庙林电站邻近流域洒渔河上高桥电站也曾利用该模型计算泥沙淤积。

#### 2.2.1 计算边界条件

a. 水沙资料。综合电站资料情况,考虑按典型年法模拟庙林电站的来水来沙情况。

径流系列采用庙林电站确定工程规模时  $P=50\%$  径流量  $56.1\text{ m}^3/\text{s}$  近似代替多年平均情况。来沙计算以庙林下游具有日系列的豆沙关沙量资料为基础,按类比法推算出庙林电站来沙,选择接近多年平均情况的典型年份。根据电站坝址和豆沙关多年平均分配情况,选择豆沙关来沙总量与多年平均来沙量最为接近、同时各月来沙量分配也最为接近的年份。经分析,选取 1966 年为典型年。

b. 泥沙分组。根据悬沙和床沙组成情况,计算中采用非均匀沙分组计算,共分成九组: $d_1=0.0013\sim 0.0044\text{ mm}$ , $d_2=0.0044\sim 0.021\text{ mm}$ , $d_3=0.021\sim 0.046\text{ mm}$ , $d_4=0.046\sim 0.1\text{ mm}$ , $d_5=0.1\sim 0.5\text{ mm}$ , $d_6=0.5\sim 5\text{ mm}$ , $d_7=5\sim 20\text{ mm}$ , $d_8=20\sim 60\text{ mm}$ , $d_9>60\text{ mm}$ 。前四组计算悬移质,后 5 组计算推移质。

#### 2.2.2 计算成果

a. 冲淤平衡年限。电站取水坝正常蓄水位以下库容  $999\text{ 万 m}^3$ ,年均来沙量  $298\text{ 万 m}^3$ ,库沙比仅为 3.6,平衡年限极短,约 10 年后达到冲淤平衡,目前,悬移质输沙率基本平衡,淤积量约  $762\text{ 万 m}^3$ ,库区总体形态趋于稳定。

b. 淤积形态。电站达到冲淤平衡前,库区以三角洲淤积为主。随着三角洲推行至坝前,库区即达到冲淤平衡,淤积形态为锥体淤积。淤积形态如图 1 所示。

c. 冲刷漏斗对取水口的影响估算。取大坝汛期部分时段降低水位至 809.00m 排沙,冲沙孔底板高程

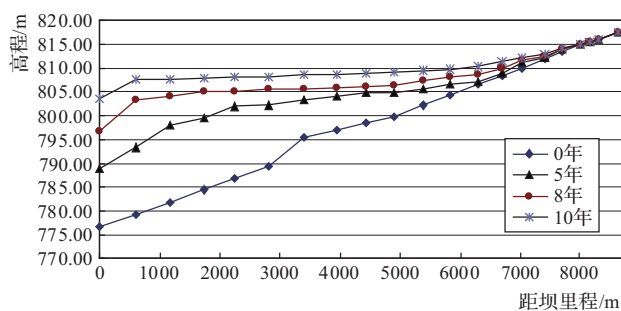


图1 庙林电站取水坝纵向淤积形态图

793.00m,将存在以冲沙底孔底板高程为顶点的冲刷漏斗。在计算冲刷漏斗时,采用经验方法估算冲刷漏斗及对电站取水口的影响。经估算,冲刷漏斗顺水流方向坡降1:5,纵向长80~90m,侧向边坡1:3。从取水口的布置情况看,纵向上距冲沙底孔10m,横向上距冲沙底孔约13m,取水口底板高程793.00m,相应泥沙淤积高程792.30m。因此,取水口处底板高程793.00m高于冲刷漏斗相应处淤积高程0.7m,即取水口位置基本在冲刷漏斗范围外,取水时能保持“门前清”。

d. 水库冲沙调度运行方案。根据泥沙冲淤的计算成果,电站取水坝7—8月降低水位至排沙水位809.00m运用,6月和9月若来水来沙较小,则至正常水位815.00m运用,否则降至排沙水位809.00m运用,其余月份则至正常水位815.00m运用。

### 3 拦河坝枢纽结构布置及确定冲沙孔和电站进水口底板高程

依据泥沙的计算成果,从淤积形态和大坝上游冲沙漏斗的情况看,计算的冲刷漏斗为三维形态,经估算,冲刷漏斗顺水流方向坡降1:1.5,纵向长80~90m,侧向边坡1:3。由于拦河坝距彝良县9.9km,如库位泥沙淤积,洪水将威胁整个县城,因此,拦河坝结构布置需具有强烈的拉沙效果,结合调洪演算,需布置总净宽22m的溢流表孔和冲沙孔泄洪冲沙。对应拦河坝上游的地形条件,结合淤积形态和冲沙漏斗的形成规律,把冲沙孔尽量布置在冲沙漏斗范围内,需排完来沙,采用表孔排泄泥沙的悬移质,冲沙孔排泄泥沙的推移质,冲沙孔和溢流表孔隔孔布置,一个冲沙孔布置在河道正

中,溢流表孔分开布置在冲沙孔两侧,溢流表孔旁再布置冲沙孔,共计3个冲沙孔、2个溢流表孔相互隔孔布置。经观察,在工程运行期间,拉沙效果较好,库内未出现泥沙淤积,库尾的泥沙淤积也未见上翘,淤积形态略好于设计值。

电站进水口尽量布置在冲沙漏斗以外,坝址处地形狭窄,正好利用隔孔布置的岸边冲沙孔实现“门前清”,经三年的运行观察,泥沙并未进入水轮机。

混凝土重力坝坝顶长127m,坝顶宽度6m,坝体从左至右分为六个坝段。隔孔布置形成的各坝段内分布纵、横向基础排水廊道。

溢流表孔共2孔,分别布置在第三、第四坝段,溢流单孔净宽11m,相邻与冲沙孔隔孔布置,溢流总净宽22m。两孔全开时,最大泄量为 $1449.35\text{m}^3/\text{s}$ 。冲沙底孔共3孔,进口底板高程均为786.00m,单孔孔口尺寸为 $6\text{m}\times 7\text{m}$ ,冲沙底孔全开时最大泄量为 $2337.51\text{m}^3/\text{s}$ 。为较好发挥拉沙效果,相邻与溢流表孔隔孔分别布置于第三、第四、第五坝段。

三坝段上部布置一个排污孔。生态放水孔布置在第五坝段。

为减少泥沙进入电站进水口,改善进口水流条件,尽量布置在冲沙漏斗以外,坝址处地形狭窄,正好利用隔孔布置靠右岸的冲沙孔,使其紧靠电站进水口布置,实现“门前清”。

结合发电洞线布置和泥沙行进规律,进水口纵轴线与坝轴线交角为 $107^\circ$ ,进水口最大引用流量 $112.2\text{m}^3/\text{s}$ ,过栅流速 $0.87\text{m/s}$ 。

由于泥沙含量较大,进水口布置时,在不影响水能指标的情况下,为起到取水防沙的作用,需尽量抬高进口底板高程。另外,为尽量增大调节库容,以提高电站的经济性和运行灵活性,需尽量降低进口底板高程。考虑到取水流量较大、来沙量大等因素,经泥沙淤积估算,库区冲淤平衡后进水口前泥沙淤积高程为792.30m,为防止推移质泥沙进入发电引水系统,在满足取水防沙的前提下,尽可能的增大调节库容,初步确定进口底板高程为793.00m。

隔孔布置的溢流表孔和冲沙底孔下游消能方式的



选择对解决泄洪排沙的关键技术问题极为重要,它不仅影响建筑物布置的合理性,还直接影响枢纽建筑物的安全运行和下游泥沙冲淤情况。溢流表孔和冲沙底孔及排污孔泄流出坝后,汇集进入主河道。考虑到各孔口出流与下游水流的衔接和排沙,出口处做成综合

调节水池,水池出口采用倒坡与主河槽相连,既调节了各孔口出流与下游水流的衔接,又使泥沙顺利进入主河槽。经过五年观察,下游未见泥沙淤积。庙林电站拦河坝上游立视图如图2所示,其平面总体布置图如图3所示。

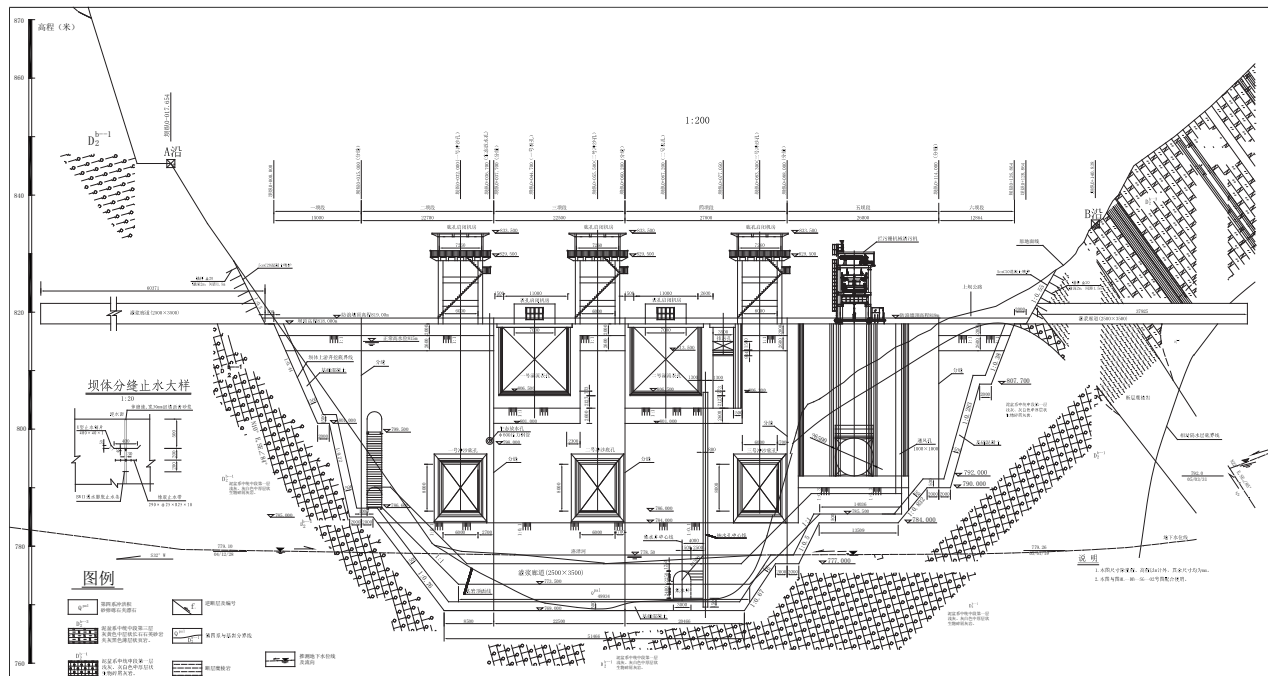


图2 庙林电站拦河坝上游立视图

#### 4 结构设计计算

针对泥沙问题而采用隔孔布置的坝体结构进行坝体强度、稳定和承载力极限状态计算,包括坝体及坝基强度计算、坝体与坝基接触面抗滑稳定计算、坝体应力计算和坝体上游、下游面拉应力正常使用极限状态计算。

荷载组合主要考虑以下各种工况组合:④基本情况组合,正常蓄水位情况(关闸),自重+静水压力+扬压力+泥砂压力+浪压力;⑤特殊情况组合1,校核洪水位情况,自重+静水压力+扬压力+泥砂压力+浪压力;⑥特殊情况组合2,地震情况,自重+静水压力(正常蓄水位)+扬压力+泥砂压力+浪压力+Ⅶ度地震荷载。

在选择最大坝高断面及设置帷幕灌浆情况下,采用《混凝土重力坝设计规范》(DL 5108—1999)规定的

作用效应函数与相应的抗压强度极限状态抗力函数和抗滑稳定抗力函数进行以上三种情况坝体的抗滑稳定计算和应力分析。

经计算,非溢流坝段和溢流坝段沿建基面的作用力均小于结构抗力;非溢流坝和溢流坝沿建基面产生的最大应力均小于坝体混凝土和基岩允许的抗压强度承载力,抗滑稳定和承载力均满足设计和规范要求。

根据以上三种荷载组合,分别计算电站进水口和冲沙孔各个坝段的抗滑稳定分析及各个层面的坝体应力,均满足规范要求。

#### 5 观测

水库建成后除进行常规观测外,还专门对泥沙的淤积情况进行观测。经五年的运行观测,拦河坝排沙效果较好,拦河坝上下游均未出现泥沙淤积,库尾的淤积形态与建库前相同。





图3 庙林电站拦河坝平面总体布置

## 6 结 语

从以上结构布置和运行期观测,可以得到如下结论:

a. 根据泥沙淤积形态和坝前冲沙漏斗而采取的

冲沙孔与溢流表孔隔孔布置方案使拦河坝库区内不存在泥沙淤积问题,库前的拉沙效果较好。

b. 冲沙孔和溢流表孔联合泄洪,下游出口处设置综合调节水池,既调节了各孔口出流与下游水流的衔接,又使泥沙顺利进入主河槽。(下转第41页)

表2 工程软件稳定计算结果

| 工 况                  |       | 最小安全系数 |       | 允许值  |
|----------------------|-------|--------|-------|------|
|                      |       | 上游坡    | 下游坡   | 4    |
| 稳定蓄水位渗流期<br>(下游坝坡稳定) |       | 2.225  | 1.523 | 1.25 |
| 库水位降落期<br>(上游坝坡稳定)   | 总应力法  | 1.525  | 1.519 | 1.25 |
|                      | 有效应力法 | 1.554  | 1.528 |      |
|                      | 小值组合法 | 1.254  | 1.281 |      |
| 竣工期<br>(下游坝坡稳定)      |       | 2.378  | 1.978 | 1.15 |

4 结 语

水库坝体的渗透问题关系到大坝的安全运行和经济效益,对坝坡的渗流与稳定分析是工程安全使用的关键。在反调节水库坝坡上游铺设土工膜大坝防渗体后,分析渗流与稳定数值变化,结果表明:在坝坡上游铺设土工膜防渗体,其渗流与稳定数值均在规范要求范围内。正常蓄水位稳定渗流期及库水位降落期的最大渗透比降均低于建议允许比降,表明大坝不会发生渗漏;在正常蓄水位稳定渗流期及库水位降落期、竣工

(上接第23页)

经五年观察,下游未见泥沙淤积。

c. 为解决工程的泄洪、冲沙和排污等问题,整个坝体已被各类孔洞占满,大坝隔孔布置的结构稳定计算满足规范要求,控制大坝稳定的是溢流坝段和冲沙孔坝段。

d. 为减少泥沙进入电站进水口,改善进水口水流条件,电站进水口布置在冲沙漏斗以外,利用隔孔布置的岸边冲沙孔紧靠电站进水口实现“门前清”,经五年的运行观察,泥沙的推移质并未进入水轮机。

庙林电站工程于2006年6月开工建设,2009年9月30日大坝下闸蓄水,2012年3月完成竣工验收,2009年12月第一台机组发电。到目前为止大坝已安全运行五年。经过五年的运行观测,拦河坝排沙效果较好,拦河坝上下游及库尾均未出现泥沙淤积,该工程

期得出的最小稳定安全系数均高于规范要求,表明大坝安全稳定。◆

参考文献

[1] 孙秀玲. 基于朱隈水库大坝的除险加固措施研究[J]. 中国水能及电气化,2016(8):25-28.

[2] 蔡小麟. 水库黏土斜墙坝渗流分析及解决方案[J]. 中国水能及电气化,2016(8):67-70+42.

[3] 崔世忠,薛小曼. 复合土工膜在李家梁水库防渗中的应用[J]. 水利建设与管理,2010(7):9-10.

[4] 何川,马晓立. 新疆奎屯市东郊水库坝型比选方案[J]. 水利建设与管理,2015(10):34-36.

[5] 李锦玉. 浅谈复合土工膜在人工湖防渗工程中的应用及施工[J]. 水利规划与设计,2011(4):73-75.

[6] 束一鸣,吴海民,姜晓桢. 中国水库大坝土工膜防渗技术进展[J]. 岩土工程学报,2016,38(s1):1-9.

[7] 许玲玲. 大区域渗流场地下结构物的简化分析方法[D]. 广州:华南理工大学,2012.

[8] 张文华. 全库盆土工膜防渗水库的基础处理设计与探讨[J]. 水利规划与设计,2016(9):98-101.

[9] 刘学明. 土工膜防渗施工中应注意的几个问题[J]. 水利技术监督,2014,22(6):64-65.

针对冲沙的大坝结构布置是成功的,可为其他类似工程提供借鉴。◆

参考文献

[1] 武汉水利电力学院水力学教研室. 水力计算手册[M]. 北京:水利出版社,1983.

[2] 张宏科,安小敏,唐仁辉. 新疆克孜尔水库泥沙淤积成因分析及水库调沙运用方式的探究[J]. 水利建设与管理,2010,30(4):55-57.

[3] 李晓东. 伊逊河城区段河道水环境建设泥沙治理探讨[J]. 水利建设与管理,2015,35(4):51-52.

[4] 苏秀颖. 闹德海水库泥沙淤积问题及对策探析[J]. 水利建设与管理,2015(6):67-69.

[5] 孟佳佳,赵伟,陶娟. 淮安市古黄河水利枢纽工程初设方案泥沙冲淤计算研究[J]. 水利建设与管理,2015,35(7):19-24.