

金沙水电站导流明渠设计及出口防冲措施研究

胡田清¹, 赵颖², 朱信波³

(1. 长江勘测规划设计研究院, 湖北武汉 430010; 2. 四川省能投攀枝花水电开发有限公司, 四川攀枝花 617068;

3. 长江三峡勘测研究院有限公司, 湖北武汉 430074)

摘要:金沙水电站采用明渠导流、工程分三期施工的方案。为了最大限度地缩小明渠规模,充分节省工程投资,同时避免出现施工期临时淹没,将导流明渠底宽确定为35 m以满足施工期上游水位不高于水库移民搬迁水位的要求。同时,导流明渠边坡地质条件复杂,岩体节理裂隙发育,分布花石崖1#、2#挠曲、F22断层、牛筋树堆积体等较大不良地质体,部分边坡含炭质粉砂质泥岩,边坡软岩变形及稳定问题突出。通过采取有针对性地工程措施,使边坡稳定满足要求;同时,导流明渠出口流速大,最大垂直平均流速达12.18 m/s,而下游河道,特别是冷轧厂堆积体基础为深厚砂砾石覆盖层,抗冲能力弱,动床模型试验表明:明渠出口冲坑最深达35.5 m,需采用合金网石兜、格宾石笼护脚加钢丝石笼护坡的防护方案,以满足明渠出口下游防冲刷问题。

关键词:金沙水电站;导流明渠;边坡;防冲保护;合金网石兜

中图分类号:TV7;TV22;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)02-0021-04

1 概述

金沙水电站位于金沙江干流中游末端的攀枝花河段,上距观音岩水电站坝址28.9 km,下距攀枝花中心城区10.3 km。正常蓄水位高程1 022 m,校核洪水位高程为1 025.3 m,相应静库容为1.08亿m³,电站装机容量为560 MW,最大坝高66 m,多年平均发电量为21.77亿kW·h。金沙水电站的主要开发任务为发电,兼有供水、改善城市水域景观和取水条件以及对观音岩水电站的反调节作用等^[1]。

金沙水电站坝址河谷开阔,呈不对称“U”型,具备分期导流的条件。该工程导流共分三期,一期进行右岸导流明渠施工,水流从原河床下泄;二期主河床截流,进行二期河床基坑施工,水流从导流明渠下泄;三期明渠截流,进行三期明渠基坑施工,水流从河床表孔下泄。

金沙水电站洪水由上游融雪(冰)水与中游暴雨洪水共同形成,6~10月为汛期,坝址区20 a一遇洪水流量为11 400 m³/s。导流明渠上游段岩体主要为大荞地T_{3dq}¹~T_{3dq}²段及丙南组T_{3b}⁵~T_{3b}⁷段泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩,下游段岩体为正长岩。其中明渠进口段为含炭质粉砂质泥岩,并分布F22断层及花石崖1#挠曲,挠曲挤压变形强烈,岩体破碎,性状较差,软岩变形及快速

崩解问题突出,边坡地质条件相对较差。同时,导流明渠边坡坝轴线附近上部分布有牛筋树堆积体和花石崖2#挠曲,堆积体厚度一般为5~18 m,体积约72万m³,需要清除。2#挠曲岩层倾向坡外,倾角30°~56°,为顺向坡,稳定性差,需进行加固处理。

2 导流明渠的设计研究

2.1 导流规模及布置

金沙水电站导流明渠为4级建筑物,设计标准为全年5%频率洪水,最大瞬时流量11 400 m³/s^[2]。

根据实际地形地质条件,将导流明渠布置在河床右岸。由于两岸山体高陡,为了充分节省工程投资,应最大限度地缩小明渠规模,但同时需满足施工期上游水位不高于水库移民搬迁水位的要求。受纵向围堰位置限制,导流明渠的规模主要受其底宽控制,明渠底宽越小,工程量越小,工程投资越小。水力学计算成果表明:导流明渠底宽越小,上游水位越高,平均流速越大。经过综合比选,导流明渠在底宽35 m、设计流量为11 400 m³/s工况下,上游水位高程达1 021.64 m,基本接近水库正常蓄水位高程1 022 m。为满足施工期上游水位不高于水库移民搬迁水位的要求,选定导流明渠底宽为35 m,单宽流量为326 m³/s/m,最大平均流速为15.85 m³/s。

根据所确定的导流明渠规模,导流明渠布置情况如图1所示。进口与主河床夹角约8°,出口

收稿日期:2018-02-10

与主河床夹角约 27° , 进口底高程为 993 m, 出口底高程为 992 m, 其中间为满足大坝溢流表孔结构要求底高程为 985 ~ 988 m, 明渠整体底宽 35 m, 进、出口略有扩大, 呈喇叭口型, 导流明渠轴线总长约 982 m。

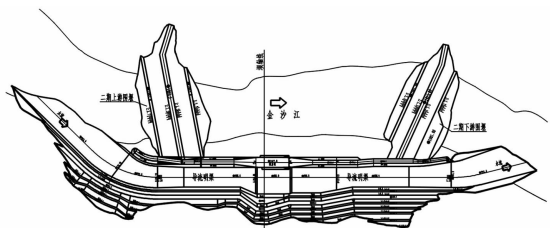


图1 导流明渠平面布置图

2.2 导流明渠结构设计

明渠采用横向平底结构, 典型断面如图 2 所示。明渠左侧为混凝土纵向围堰, 右侧为岩石边坡, 开挖边坡最大高度约 130 m, 边坡支护最高达 210 m (含牛筋树堆积体及花石崖 2# 挠曲处理)。上游段边坡岩体为泥质粉砂岩及细砂岩, 开挖坡比为 $1:0.3 \sim 1:1$, 下游段边坡岩体为正长岩, 开挖坡比为 $1:0.3$ 。边坡每 20 m 高设一级马道。坝顶高程 1 027 m 以下边坡及底板采用 C20 钢筋混凝土衬砌, 高程 1 027 m 以上的边坡采用喷锚支护, 边坡及底板设系统锚杆, 锚杆长 4.5 m。针对泥质粉砂岩、含炭质粉砂质泥岩等软岩段边坡通过采用调整边坡结构、设置预应力锚索、预应力锚杆、锚筋桩及贴坡混凝土等综合处理措施进行加固处理。将导流明渠边坡顶部牛筋树堆积体全部挖除, 清理后的坡面采用挂网喷混凝土加系统锚杆进行支护。在花石崖 2# 挠曲顶部设置被动防护网, 清理挠曲坡面并采用挂网喷混凝土加系统锚杆和锚索的支护措施进行处理。

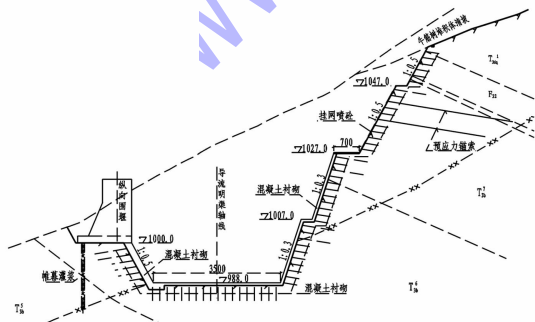


图2 导流明渠结构典型断面图

2.3 导流明渠边坡稳定性分析

根据导流明渠边坡工程地质条件, 分别选取

上游进口段及坝轴线典型断面进行边坡稳定性分析。计算采用岩土有限差分法 FLAC3D 软件分析岩体边坡应力应变、边坡变形及塑性区分布, 并采用强度折减法分析各工况下边坡潜在最危险滑移路径和强度储备安全系数^[3,4]。同时, 根据潜在滑移面采用 Morgenstern - Price 方法进行极限平衡分析。采用 Flac^{3D} 建立的准三维数值分析模型如图 3、4 所示, 各岩体均采用以 Mohr - Coulomb 准则为屈服函数的理想弹塑性模型。边坡表面自由, 底面固定约束, 其他各面均法向约束。经计算分析, 各工况条件下边坡稳定安全系数均能够满足要求(表 1)。

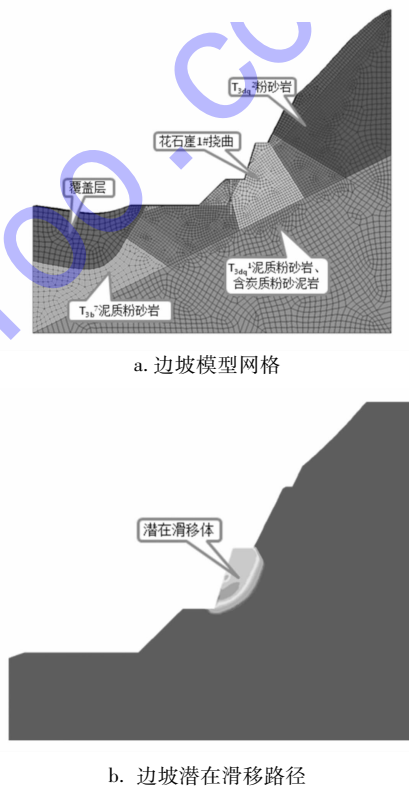
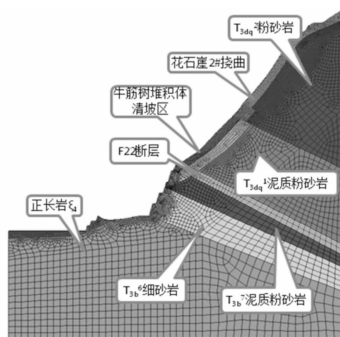
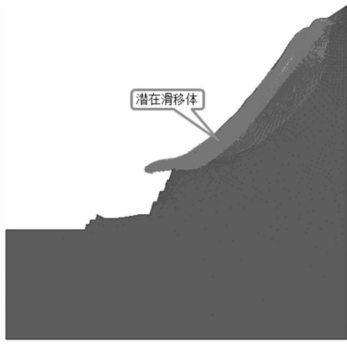


图3 上游进口段典型断面数值计算模型及结果图



a. 边坡模型网格



b. 边坡潜在滑移路径

图 4 右岸导流明渠坝轴线边坡数值计算模型及结果图

表 1 导流明渠典型断面稳定安全系数表

设计工况及作用组合	上游进口段典型断面		坝轴线断面		允许最小安全系数
	Flac ^{3D}	刚体极限平衡法	Flac ^{3D}	刚体极限平衡法	
持久工况 正常蓄水位	1.3	1.36	1.35	1.38	1.2
短暂工况 开挖	1.12	1.16	1.21	1.24	1.1
偶然工况 正常蓄水位 + 降雨	1.22	1.24	1.24	1.33	1.05
偶然工况 正常蓄水位 + 地震	1.18	1.2	1.2	1.24	1.05

3.2 模型试验

为研究施工期冷轧厂堆积体防冲保护措施,进行了 1:80 动床模型试验。试验结果表明:流量越大,明渠出口流速越大,设计流量为 11 400 m³/s 时,明渠出口最大垂线平均流速达 12.18 m/s,出导流明渠后,各断面主流流速沿程衰减,并在河床两岸形成回流(图 5)。

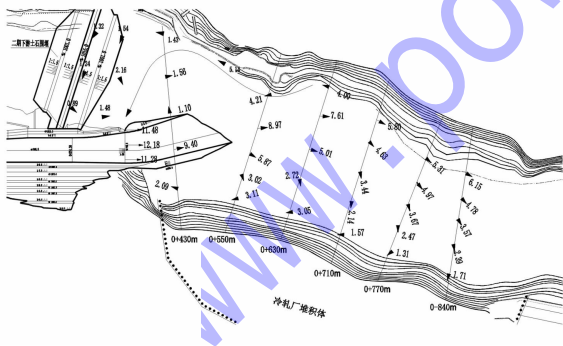


图 5 动床模型试验明渠出口及下游河床流速分布图 (Q = 11 400 m³/s)

各级试验工况下,明渠出口及下游河床均形成冲坑,冲坑形状基本相似,主冲坑有两处,分别位于河床中心处和左侧山体坡脚处。各级流量下,冲坑深度随流量的增大而增大,抛石的塌落范围及程度也随流量的增大而增大(表 2)。由试验结果可见:导流明渠出口下游防冲措施受大流量控制。

3 下游出口防冲措施研究

3.1 基本情况

导流明渠出口下游靠金沙江右岸分布一处冷轧厂堆积体,长 520 m 左右,横向宽 260 m 左右,平面面积 0.1 km²,其顶部布置众多工业厂房。堆积体物质主要为杂填土及炉渣,厚度为 30 ~ 55 m,体积约 290 万 m³。明渠出口下游河床覆盖层深厚,表部为厚 8 m 左右的卵石层,以下为中细砂与粉土,抗冲能力较差。导流明渠过流期间,会对下游河床及堆积体前缘进行冲刷,危及堆积体稳定及顶部人员和厂房安全,需采取有效的防护措施。

在设计流量 11 400 m³/s 条件下,两处主冲坑深度分别达 22.1 m、35.5 m。主冲坑左侧主体为淤积,局部回流区域略有淘刷。主冲坑右侧(冷轧厂侧)导流明渠出口下游防护范围内部分抛石落于冲坑中并形成稳定的护坡,未见坡脚裸露,高程 1 004 m 防护平台冲刷后剩余宽度均大于 8 m(图 6)。

表 2 各级流量下游冲刷情况表

流量 /m ³ · s ⁻¹	明渠出口流速 /m · s ⁻¹	主冲坑深度 /m		抛石平台最小剩余宽度 /m
		河床中心处	左侧山体坡脚处	
1 560	6.18	12.8	18	25
5 120	9.02	15.5	23	20
6 530	10.28	18.4	26.8	16.8
8 780	11.71	18.6	40	13.6
11 400	12.18	22.1	35.5	8



图 6 动床模型试验明渠出口及下游河床冲刷情况图 (Q = 11 400 m³/s)

3.3 防护方案

根据动床试验成果,施工期对导流明渠出口冷轧厂堆积体采用合金网石兜^[5,6]及格宾石笼平台压脚、上接钢丝石笼护坡方案。堆积体上游段200 m范围采用合金网石兜压脚,压脚平台顶高程为1 004 m,平台宽25 m。网石兜单个体积约4.5~5 m³,重7.5~8.5 t,分别由2~3个串联在一起。堆积体下游段320 m范围内采用格宾石笼压脚,平台顶宽8 m。压脚平台以上边坡采用30 cm厚钢丝石笼护坡。防护结构典型断面见图7。

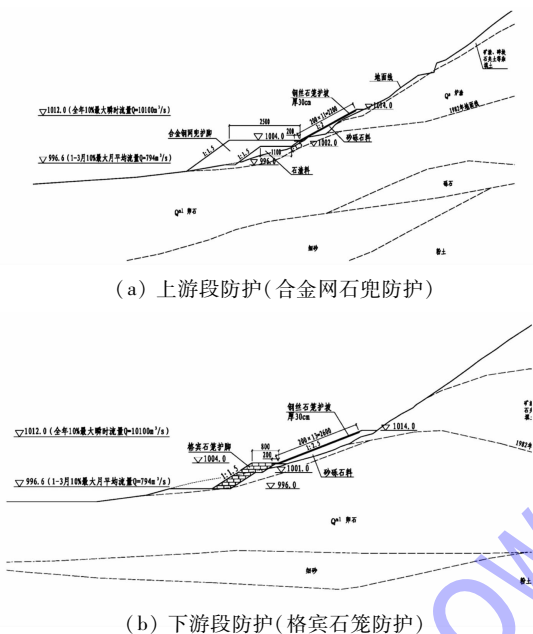


图7 冷轧厂堆积体防护结构典型断面图

4 结语

(1)金沙水电站采用三期导流方案,在河床右岸布置导流明渠。经综合研究比较且为最大限度地控制导流明渠规模,节省工程投资,同时满足施工期上游水位不高于水库移民搬迁水位的要求,将导流明渠底宽选定为35 m。

(上接第20页)

④用扎丝将格栅固定到网上,每m²固定4处。

5 结语

金沙水电站左岸狮子石自然边坡危岩治理已完工,其下方厂房永久边坡开挖正在进行中,已完成的防护设施在左岸边坡开挖施工中发挥出了巨大的作用。后期需建立完善的安全监测机制,对自然边坡危岩防护设施进行排查,及时清理被动

(2)导流明渠边坡地质条件复杂,开挖边坡最大高度约130 m,支护边坡最高约210 m,边坡岩体节理裂隙发育,分布花石崖1#,2#挠曲、F22断层、牛筋树堆积体等较大不良地质体,部分边坡含炭质粉砂质泥岩,边坡软岩变形及稳定问题突出。通过采取有针对性综合加固处理措施,边坡稳定满足要求。

(3)导流明渠出口流速大,最大垂直平均流速达12.18 m/s,下游河道冲刷严重,为保障下游冷轧厂堆积体稳定,通过动床模型试验,研究出采用合金网石兜、格宾石笼护脚加钢丝石笼护坡的防护方案,有效地解决了明渠出口下游防冲刷问题。

(4)目前金沙水电站导流明渠已投入运行,运行状况整体较好。金沙水电站在导流明渠设计、边坡支护、地质缺陷处理及出口冲刷防护方面取得的宝贵工程经验可为类似工程提供借鉴。

参考文献:

- [1] 水电工程施工组织设计规范,DL/T 5397-2007[S].
- [2] 郑颖人,赵尚毅. 有限元强度折减法在土坡与岩坡中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(19):3 381-3 388.
- [3] 张超,杨春和. 有限差分强度折减法求解边坡稳定性[J]. 土木工程与管理学报,2011,28(2):17-21.
- [4] 宁晶,张津,宁廷俊,等. 三峡工程明渠截流龙口护底模型试验与原型对比[J]. 水力发电学报,2009,28(2):106-109.
- [5] 高志华. 合金网石兜在三峡导流明渠截流中的应用[J]. 人民长江,2003,34(9):22-23.

作者简介:

胡田清(1988-),男,湖北黄冈人,工程师,硕士,从事水利水电工程设计工作;

赵颖(1986-),女,四川成都人,工程师,学士,从事行政管理工

作;朱信波(1986-),男,河北邢台人,工程师,学士,一级建造师,从事地质勘察工作。

(责任编辑:李燕辉)

网内拦截的石渣,对主动网破损及松弛处及时予以恢复,使其能充分发挥安全防护作用。

作者简介:

李昕(1989-),女,山东德州人,助理工程师,从事水电工程建设技术与管理工作;

展巍巍(1988-),男,河南驻马店人,工程师,学士,从事水电工程建设技术与管理工作;

赵颖(1986-),女,四川成都人,工程师,学士,从事行政管理工

(责任编辑:李燕辉)