

700米级高陡边坡 及堆积体开挖与锚固 施工技术

中国水利水电建设集团公司
中国水利水电第四工程局
中国水利水电第八工程局



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

700米级高陡边坡

及堆积体开挖与锚固 施工技术

中国水利水电建设集团公司 楚跃先

中国水利水电第四工程局 戚志军

中国水利水电第八工程局 尹岳降



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

本书是“700 米级高陡边坡及堆积体开挖与锚固施工技术研究”科研课题的成果总结,在该研究成果的基础上,经过总结、提高、升华提炼而成成本专著。

该研究成果获得 2006 年度电力科技一等奖。

“700 米级高陡边坡及堆积体开挖与锚固施工技术研究”是中国水利水电建设集团公司 2003 年度立项的科研课题项目。该研究课题以小湾复杂地质高陡边坡开挖与支护工程为研究对象,从研究对象施工技术入手。其研究目的是,通过结合工程现场生产施工,进行大量的现场试验及专题施工技术研究工作,以总结一套较为完整的适合本工程及其他类似高陡边坡工程开挖与支护施工工艺及施工技术的研究成果,以便加快施工进度、降低工程成本,并在其他类似高边坡工程中得到推广应用。

该课题研究是高陡边坡开挖及锚固施工较为完整的一项研究成果,技术上总体达到了国际领先水平。

该课题所研究的 700 米级高陡边坡为目前国内外水电工程的最高开挖边坡。该课题研究的堆积体锚索施工为支护施工中技术难题最大的项目之一。

该课题的研究成功确保了小湾工程边坡安全,为小湾工程大坝提前一年浇筑混凝土创造了条件。

该课题研究的内容是目前水电工程中常遇到的施工技术难题,其成果有较好的推广应用前景。

本书读者对象为工程技术人员、科研人员、工程设计和在校的工科学生。

图书在版编目 (CIP) 数据

700 米级高陡边坡及堆积体开挖与锚固施工技术/中国水电建设集团公司著. —北京:中国电力出版社, 2007
ISBN 978-7-5083-5250-3

I. 7... II. 中... III. 水利工程-边坡-工程施工
IV. TV551

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 030349 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京盛通彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 6 月第一版 2007 年 6 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 6.75 印张 177 千字 4 彩页

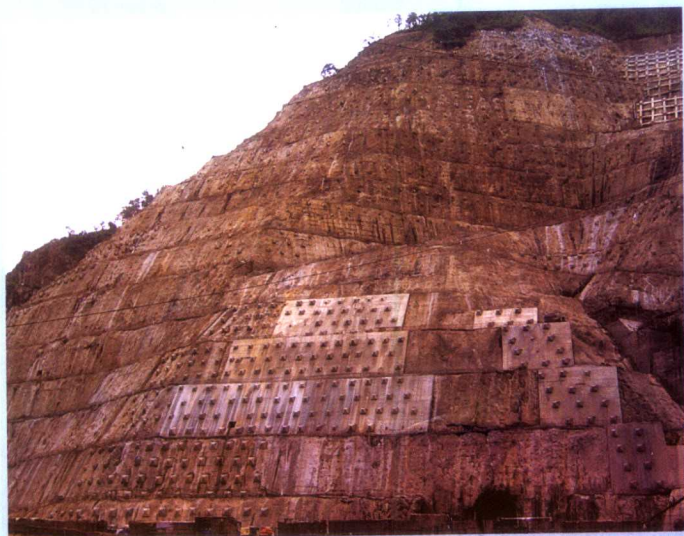
印数 0001—2000 册 定价 25.00 元

敬告读者

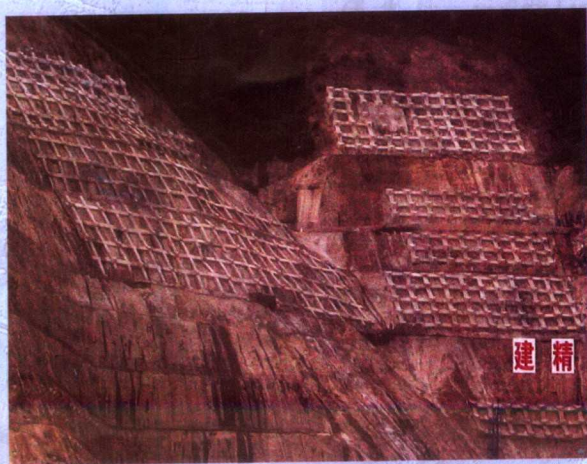
本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



右岸 1245m 高程以上 B、C 区锚索施工



右岸 1365m 高程以上中部堆积体边坡网格梁、网板锚索施工



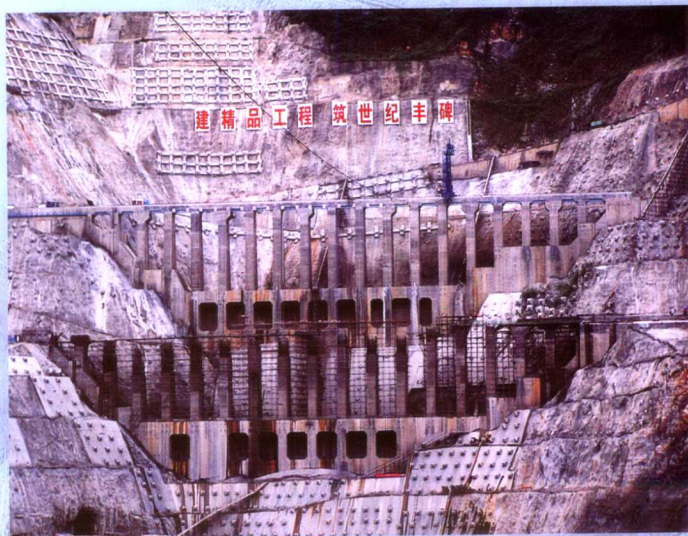
高缆边坡锚固全景



下游 A、B 区边坡锚固全景



左岸2号山梁抢险锚索施工



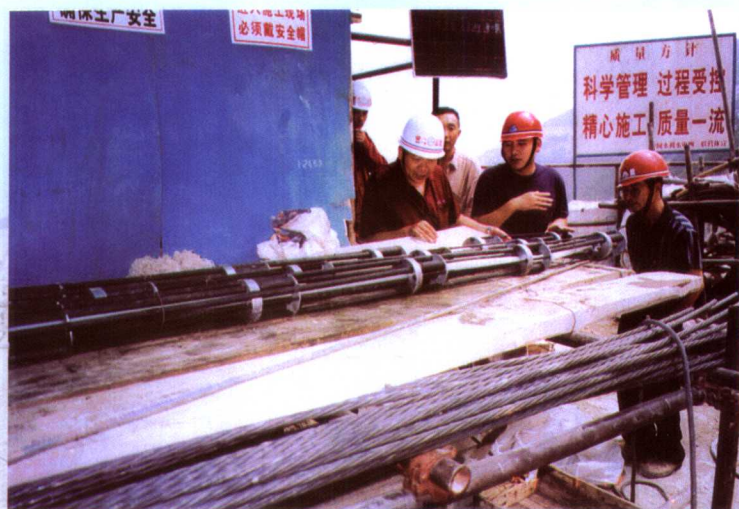
右岸1245m高程以上中部堆积体边坡锚索施工



螺旋钻杆

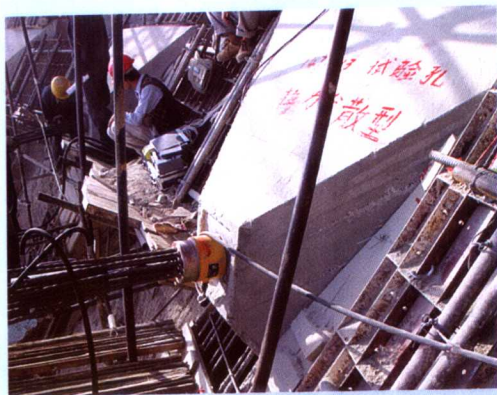


普通冲击钻杆

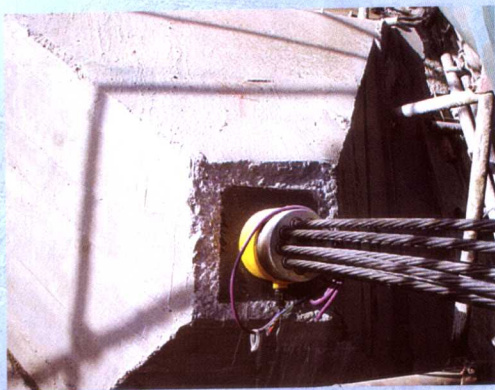


岩锚工作组试验人员现场指导生产

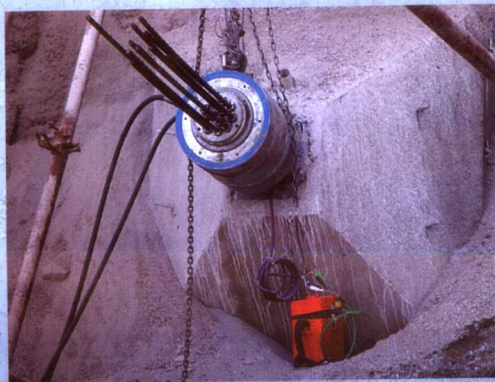
测试中的拉力分散型锚索



张拉完成后的监测锚索



张拉过程中的试验锚索





对监测锚索进行组装



普通直钎头



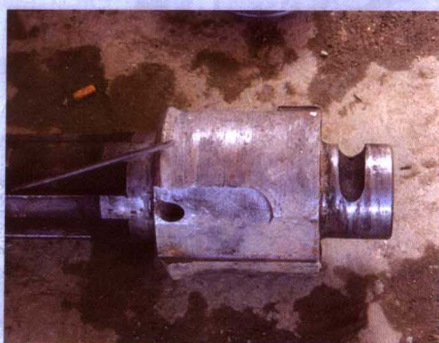
偏心钻具



YG80 型钻机



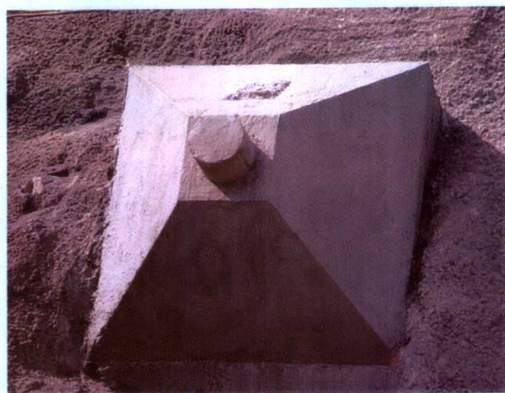
破损管靴



破损花键体



部分报损钻具



已施工完成锚索



堆积体锚索造孔所用套管

目 录

Contents

第一章 绪论	1
第一节 工程概况	1
第二节 课题立项概况	2
第三节 小湾水电站高边坡基本情况	3
第四节 国内外研究动态	10
第五节 课题研究成果	11
第六节 完成情况及创新点	12
第二章 高边坡开挖	18
第一节 基本情况	18
第二节 土石方开挖主要特点	19
第三节 开挖施工方法	20
第四节 深孔梯段爆破中的几种边界问题	26
第五节 拱坝坝基开挖	31
第六节 爆破试验研究	42
第七节 几点体会	66
第三章 高边坡及堆积体锚固技术	69
第一节 基本情况	69
第二节 预应力锚索施工方法	74
第三节 预应力锚索生产性试验	77
第四节 预应力锚索成孔施工技术	90
第五节 预应力锚索钻孔配套机具研究	100

第六节	预应力锚索防腐施工技术	112
第七节	预应力锚索结构型式研究	141
第八节	高边坡常规系统支护加固施工	163
第九节	高边坡锚固及施工技术总结	173
第四章	高边坡安全监测	175
第一节	基本情况	175
第二节	边坡监测方案及方法	176
第三节	监测仪器布置	183
第四节	监测成果分析	184
第五节	安全措施	207

第一章 绪 论

第一节 工程概况

小湾水电站位于云南省大理州南涧县与临沧地区凤庆县交界澜沧江与黑惠江交汇点下游 1.5km 处,是澜沧江水电基地的龙头水库和龙头电站,是云南解放以来单个工程项目固定资产投资最大的建设项目,是国家实施“西电东送”战略和云南西部大开发的标志性工程。小湾水电站是云南省澜沧江水电开发的骨干工程,系澜沧江中下游河段规划八个梯级中的第二级,永久性主要水工建筑物为 1 级建筑物。

小湾水电站混凝土双曲拱坝高 292m,是目前世界最高的混凝土双曲拱坝。大坝建成后,水库正常蓄水位为 1240m,总库容为 149.14 亿 m^3 ,有效库容量达 98.95 亿 m^3 ,属多年调节水库。装机容量 420 万 kW,年发电量 188.9 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。小湾水电站以发电为主,兼有防洪、灌溉、拦沙、环保、航运和旅游等综合效益,发电效益巨大,梯级调节效果明显。小湾水电站工程技术难度为世界所罕见。

小湾水电站于 2002 年 1 月 20 日开工,原计划 2010 年首台机组发电,2012 年全部建成。两岸边坡开挖与支护工程,合同总工期为 53 个月。根据 2002 年 6 月业主提出小湾水电站提前一年发电的目标要求,在参建各方的共同努力下,两岸坝肩 1000m 高程以上开挖与支护工程于 2005 年 3 月底完成开挖工程,实际开挖施工工期为 37 个月。拱坝坝基基础 953m 高程于 2005 年 8

第二节 课题立项概况

月初开挖完成。小湾水电站大坝坝址河水面以上主体建筑物边坡开挖与清理的土石方约 2000 万 m^3 ，自拱坝基础最低处 953m 高程至边坡顶部开口线间的最大开挖坡高，左岸为 692m，右岸为 577m。招标阶段左岸设计以“少挖多锚”为原则，施工期间改为“多挖少锚及挖锚相结合”。左岸边坡 2 号山梁主要为堆积体开挖，4 号山梁主要为岩质边坡开挖。2004 年 1 月，2 号山梁 1245m 高程以上边坡出现蠕变险情，随后抢险施工与主体工程同时紧张有序进行。右岸采取了“弱开挖、强支护”的设计原则。工程项目于 2002 年 3 月 18 日开工，经过 3 年的艰苦施工，高低缆机基础边坡于 2003 年 8 月施工完成，进水口边坡于 2004 年 12 月完工，1000m 高程以上坝肩及水垫塘边坡于 2005 年 3 月底完工。两岸边坡开挖与锚固工程量巨大，施工项目主要包括土石方明挖、预应力锚索、普通砂浆锚杆、锚筋桩、预应力锚杆、网喷、抗滑桩及混凝土挡墙等，两岸高边坡施工采取了“挖、排、锚、挡”等多种综合措施。

小湾水电站两岸边坡山高谷深，地势陡峻，地质条件复杂，枢纽区岩质边坡风化、卸荷等地质物理现象发育，岩体陡倾卸荷张拉裂隙和顺坡中缓倾角剪切裂隙发育且分布范围广。两岸分布有较大规模的崩塌堆积体、堆积体，左岸有饮水沟堆积体；右岸有大椿树沟堆积体，分布宽度在 80~200m，铅直厚度在 30~60m。岩质边坡设计开挖坡度在直立坡至 1:0.75 之间；堆积体边坡开挖设计坡度在 1:0.5~1:1 之间，工程边坡普遍偏陡，加之地质条件复杂，边坡稳定问题较为突出。如何实现高陡边坡安全快速施工，是一个非常关键和现实的问题。一方面，开挖边坡要在开挖方式及方法、爆破规模、爆破安全控制标准加以严格控制；另一方面，为减小对边坡的扰动，两岸永久支护结合了初期浅层防护支护手段，均以预应力锚索加固为主。锚索施工由于

受地质条件的制约,施工难度较大,特别是对崩塌坡积体、堆积体边坡进行锚固,从设备选型、机具研制、锚固体系选择、施工方法及工艺确定均需要做大量的技术攻关研究工作。

“700 米级高陡边坡及堆积体开挖与锚固施工技术研究”是中国水利水电建设集团公司 2003 年度立项的科研课题项目。由中国水利水电四局三局联营体,中国水利水电八局七局联营体承担该科研课题,结合小湾水电站的施工进行技术研究工作。科研课题施工技术的研究规划、组织实施由水电四局三局联营体具体负责。该研究课题以小湾复杂地质高陡边坡开挖与支护工程为研究对象。其研究目的是:结合工程现场生产施工,进行大量的现场试验及专题施工技术研究工作,以总结一套较为完整的适合本工程及其他类似高陡边坡工程开挖与支护施工工艺及施工技术研究成果,以便加快施工进度、降低工程成本并推广应用。

第三节 小湾水电站高边坡基本情况

(一) 地形地貌条件

小湾水电站坝址区澜沧江深切,河谷呈基本对称的 V 型,枯水期河水面高程约 988m。河床与两岸最邻近的山峰高差达 1000m 以上,两岸山势雄浑,谷坡高陡。在高程 1600m 以下两岸岸坡坡度一般为 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$,平均坡度为 40° ,1600m 高程以上地形渐缓。左岸边坡从上游至下游分别为 0 号山梁、饮水沟、2 号山梁、龙潭干沟、4 号山梁、F₅ 沟及 6 号山梁。其中,2 号山梁、4 号山梁为主要开挖边坡,开挖范围为坝基基础 953 ~ 1645m 高程,高差达 692m;右岸边坡从上游至下游分别为 1 号山梁、大椿树沟、3 号山梁、豹子洞干沟、5 号山梁、修山大沟。除豹子洞干沟、修山大沟局部为清坡范围外,均为开挖边坡,开挖范围为坝基基础 953 ~ 1530m 高程,高差达 577m。

两岸冲沟发育,呈现典型的沟梁相间地貌形态,冲沟底部一般都有第四系堆积物分布。其中,左岸饮水沟至 2 号山梁山脊之间

的山坡上分布有饮水沟堆积体,分布高程为 1130~1600m,厚度一般为 30~37m,最大为 60.63m,平均 35m。右岸大椿树沟内 1170~1770m 高程分布有大椿树沟堆积体,厚度一般为 20~30m,最厚达 50.70m。堆积体是当地山坡崩塌堆积物和坡积物的混合物,总体上中等密实,但局部地段较为疏松,并存在架空现象,渗透性较强。

此外,两岸 1130m 高程以下的大部分山坡地段分布有第四系覆盖层,厚度一般为 5~31m。

(二) 水文条件

小湾水电站坝址位于澜沧江中游河段,在干流河段与支流黑惠江交汇处下游 1.5km 处,属亚热带过渡性气候区,立体气候显著,气温和降水量随地势高度变化及水汽来向的迎风坡、背风坡等地形影响明显。根据小湾气象站观测统计资料,多年平均降水量为 976.4mm,澜沧江径流以降雨补给为主,有部分冰雪融水补给。径流 1~2 月最小,自 3 月初起逐渐增加,但主要集中在 5~10 月,河流区段多年平均流量为 $1230\text{m}^3/\text{s}$ 。澜沧江洪水由暴雨形成,多为区域性组成的洪水。

(三) 地质条件

小湾水电站主体边坡主要集中在 3km^2 的范围内,位于高地震烈度区,地形狭窄、岸坡陡峻、边坡高差大。坝址地段分布岩层为时代不明的中深变质岩系 (m) 和第四系 (Q)。基岩岩性主要为黑云花岗片麻岩和角闪斜长片麻岩。枢纽区岩层呈单斜构造横河向分布,陡倾上游,片麻理及片理总体产状为 $N75^\circ\sim 85^\circ W$ 、 $NEL75^\circ\sim 90^\circ$ 。由于枢纽区经受多期构造活动,破裂结构面较发育。已查明枢纽区无 I 级断层分布,II 级断层仅有一条 F_7 ,对边坡稳定有影响的 III 级断层有 F_3 、 F_5 、 F_{10} 、 F_{11} 、 F_{19} 、 F_{20} 、 F_{22} 、 F_{23} 、 F_{30} 等 10 条。其他为 IV、V 级结构面。

F_7 断层在坝前右岸大椿树沟至左岸饮水沟一线通过。横穿两岸缆机平台,与坝踵之间最近距离 50m,总体产状为 EW 、 $NL74^\circ\sim 90^\circ$,破碎带总宽 18.6~37m。其中,主裂带宽度一般为