

超高堆石坝枢纽工程 施工导截流关键技术研究及应用 论文汇编

《超高堆石坝枢纽工程施工导截流关键技术研究及应用论文汇编》编委会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

超高堆石坝枢纽工程 施工导截流关键技术研究及应用 论文汇编

《超高堆石坝枢纽工程施工导截流关键技术研究及应用论文汇编》编委会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目（C I P）数据

超高堆石坝枢纽工程施工导截流关键技术研究及应用
论文汇编 / 《超高堆石坝枢纽工程施工导截流关键技术
研究及应用论文汇编》编委会编. — 北京：中国水利水
电出版社, 2010. 12
ISBN 978-7-5084-8268-2

I. ①超… II. ①超… III. ①堆石坝—水利枢纽—水
利工程—工程施工—导流—文集②堆石坝—水利枢纽—水
利工程—工程施工—截流—文集 IV. ①TV641.4
②TV551

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第263389号

书 名	超高堆石坝枢纽工程施工导截流关键技术研究及应用论文汇编
作 者	《超高堆石坝枢纽工程施工导截流关键技术研究及应用论文汇编》编委会 编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京盛兰兄弟印刷装订有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 21.5 印张 510 千字
版 次	2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	78.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《超高堆石坝枢纽工程施工导截流 关键技术研究及应用论文汇编》

编 委 会

顾 问：马洪琪 钟登华

主 任：张宗亮

副主任：李仕奇 刘兴国 和孙文 张社荣 徐卫亚 唐先奇

委 员：杨世源 刘兴宁 陈及新 陈贵斌 曹军义 周家文
刘东海 王丹伟 王海军 杨令强 周宜红 黄宗营
徐 萍 杨保才 朱耀邦 杨玺成 陈炎和 刘 琪
吴长勇 李春雁 龚有贵 林海涛

编 辑：杨建敏 马淑君 梁礼绘 王娟娟 徐 建

前 言

我国西部水能资源丰富，在交通运输不便、经济不发达、外来物资运输供应困难的金沙江、澜沧江、怒江、雅砻江、大渡河以及西藏的雅鲁藏布江等地区，有许多水电开发点只宜建设土石坝枢纽，如正在开展前期设计的澜沧江古水（坝高 310m）、如美（坝高 315m）、怒江马吉（坝高 280m）及近期即将开工建设的雅砻江两河口（坝高 295m）、大渡河双江口（305m）等水电站均采用心墙堆石坝或混凝土面板堆石坝这两种适应西部地区地质条件复杂、工程泄洪和导流设施规模大、天然建筑材料丰富等特殊条件的当地材料坝，这进一步预示了堆石坝设计、施工技术广阔的发展和应用前景。

在水利水电工程设计中，施工导截流工程不仅影响到整个工程的施工安全、施工工期和工程造价，也是工程总体设计的重要组成部分，是选定枢纽布置、枢纽建筑物形式、施工程序以及安排施工总进度的主要因素之一，是枢纽工程施工组织设计的中心环节，是编制施工总进度计划的主要依据。在工程建设中，施工导流贯穿枢纽工程建设的全过程，导流工程需解决施工过程中挡水、泄水问题，对河道水流进行控制，确保枢纽工程建设顺利进行。

中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院（以下简称昆明院）自 1957 年成立至今，承担了 220 多个水利水电工程项目的勘测设计，特别是在土石坝枢纽工程设计方面，自 20 世纪 70 年代成功实践了当时被誉为“亚洲第一土坝”的毛家村水库心墙坝（最大坝高 82.5m）起，80 年代的鲁布革水电站心墙堆石坝（最大坝高 103.8m）、90 年代的天生桥一级水电站混凝土面板堆石坝（最大坝高 178m）以及 21 世纪初期糯扎渡水电站的心墙堆石坝（最大坝高 261.5m），都代表了当时我国土石坝勘察设计科研的领先水平。随着天生桥一级、马鹿塘二期、龙马、苏家河口、洒南江、茄子山、那兰、云鹏等工程的建成，糯扎渡、梨园工程的建设，以及古水、泸水等一批高堆石坝枢纽工程的设计、科研工作的开展，昆明院近 20 年在土石坝枢纽工程设计方面积累了丰富的勘测设计经验，堆石坝施工导截流工程的设计水平、施工技术也得到不断创新和发展。同时，昆明院结合所承担工程，与国内著名高等学校、科研院

所本着“强强联合、优势互补、互惠互利、共同发展”的原则，有组织、多层次、全方位地进行科技合作，开展了大量的工程科研工作，取得了诸多有特色的创新性研究成果，产学研成果大大提升了昆明院水电工程设计、施工技术水平，为我国水电工程技术发展发挥了较大的作用。

本书涉及高堆石坝枢纽工程施工导截流设计、施工的方方面面，着重于堆石坝枢纽工程中较为重要的大断面导流隧洞优化设计与不良地质段施工技术，大流量、高落差截流设计，高土石围堰设计，深厚覆盖层条件下围堰基础混凝土防渗墙设计与施工，堆石坝坝身过流保护设计等关键技术，特别是总结了糯扎渡、天生桥一级等堆石坝枢纽工程导截流设计、科研、施工成功的经验，成果融先进性、可靠性与实用性于一体，既有重大的理论意义又有很强的工程背景，有利推广、应用，可为其他工程借鉴。资料弥足珍贵，足资借鉴，特结集刊印，以资交流。

**《超高堆石坝枢纽工程施工导截流
关键技术研究及应用论文汇编》**

编委会

2010年12月

目 录

前言

第一篇 工 程 设 计

天生桥一级水电站导流隧洞设计与施工	3
天生桥一级水电站导流隧洞新奥法设计实践	11
天生桥一级水电站导流隧洞堵头结构设计与实践	19
天生桥一级水电站导流洞出口优化研究	24
天生桥一级水电站坝面过水设计和施工实况	27
天生桥一级水电站导流隧洞勘察与施工	33
天生桥一级水电站导流隧洞围岩失稳分析与塌方处理	38
天生桥一级水电站 1 号导流隧洞塌方成灾分析	44
糯扎渡水电站工程施工导流设计概述	52
大型导流隧洞复合衬砌结构设计简介	56
高土石坝施工导流探讨	62
那兰水电站施工导流设计	67
面板堆石坝的施工导流问题	76
龙马水电站导流洞堵头设计	85
戛洒江一级水电站导流洞改建泄洪与放空冲沙洞研究	90
水电工程围堰截流建设征地处理研究	97

第二篇 科 研 与 试 验

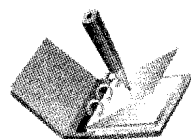
糯扎渡水电站 1 号导流隧洞三维非线性有限元开挖模拟分析	103
超大型地下洞室围岩锚杆支护方式的优化设计	114
糯扎渡水电站 2 号导流洞三维非线性有限元反分析	122
利用施工导流洞优化尾水调压室体型试验研究	136
考虑三维应力旋转的隧洞衬砌支护时机研究	143
大型水电站导流洞围岩稳定分析	151
导流洞围岩的流变分析与险情预报	158

施工导流过程三维动态可视化图形仿真研究	164
基于遗传算法的施工导流建筑物优化	172
面向结构图的分汊河道截流过程仿真与优化研究	182
基于最大龙口流速指标的立堵截流施工风险随机模拟研究	190
基于 GIS 的施工导流管理决策支持系统	197
数字化截流及其三维动态可视化仿真	204
施工导流超标洪水风险率估计的水文模拟方法	211
基于日径流模拟的围堰实时挡水风险率估计	216
基于 Monte - Carlo 方法的施工截流风险率估计方法研究	223
施工导流建筑物优化设计研究	231
施工截流系统风险率研究	236
过水围堰导流标准的多目标风险决策	241
导流围堰施工计划的动态概率设计方法	248
施工截流标准的合理确定——上游有已建成的水利枢纽	252
可视化仿真技术在施工截流中的应用研究	257

第三篇 工 程 施 工

糯扎渡水电站大江截流施工技术	267
矩形断面变城门洞型渐变段开挖支护施工技术	272
糯扎渡水电站导流洞出口围堰拆除施工	280
糯扎渡水电站 3 号导流洞 F ₃ 断层施工技术	285
糯扎渡水电站右岸 3 号导流洞特大洞室开挖支护综合施工技术	290
糯扎渡水电站 3 号和 4 号导流洞及泄洪洞出口高边坡治理	296
糯扎渡水电站围堰复合土工膜施工	300
糯扎渡水电站围堰防渗墙生产性试验施工	305
糯扎渡水电站导流洞边坡梯段爆破开挖	314
糯扎渡水电站导流洞渐变段悬吊锚筋桩参数选择	319
龙马水电站围堰高压旋喷灌浆施工	324
光面爆破技术在洪家渡水电站导流洞工程中的应用	331

第一篇



工程
设计

天生桥一级水电站导流隧洞设计与施工

古瑞昌

(中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院 昆明 650051)

摘 要:天生桥一级水电站导流隧洞开挖尺寸高宽达 16m, 所在岩层为中三叠统边阳组 T_{2b} 泥、砂岩互层, 岩性软弱, 具明显的失水崩解和流变特性。本文概述了导流隧洞按“新奥法”设计与施工情况, 还介绍了在堵头位置预留堵头外形的设计及水力学试验情况。

关键词:天生桥一级; 施工导流; 导流隧洞; 新奥法设计与施工; 堵头设计

1 概况

天生桥一级水电站位于黔桂两省(自治区)界河南盘江干流上, 左岸是贵州省安龙县, 右岸是广西壮族自治区隆林县。下游约 7km 是天生桥二级水电站首部枢纽, 上游约 62km, 是南盘江支流黄泥河上的鲁布革水电站厂房。

电站主要建筑物, 见图 1。

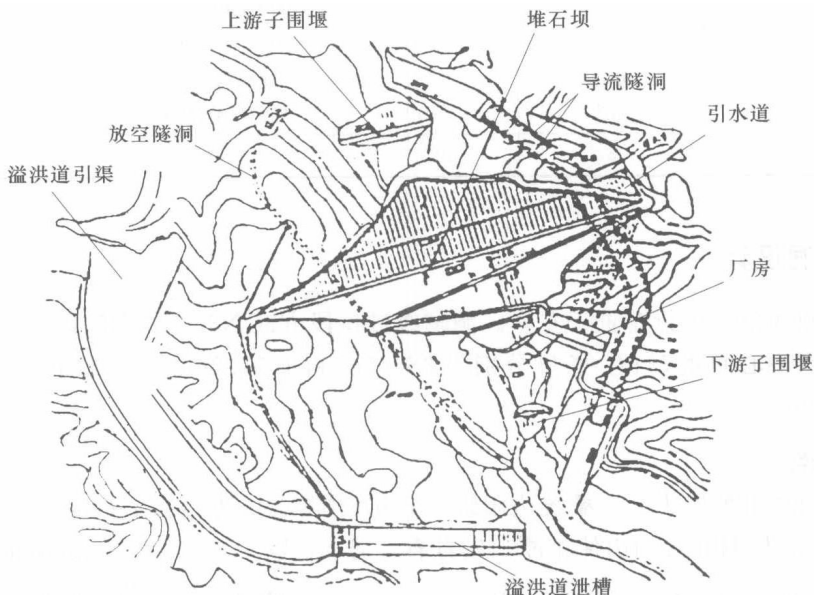


图 1 天生桥一级水电站枢纽布置示意图

本文原刊于《云南水力发电》1995 年第 2 期。

混凝土面板堆石坝，最大坝高 178m，坝顶总长 1137m；开敞式岸边溢洪道，设五孔宽 13m 高 20m 的弧形闸门，最大下泄流量 $21750\text{m}^3/\text{s}$ ；放空隧洞，有压段为圆形，内径 9.6m；无压段为方圆形，宽 8m，高 11m；隧洞全长 1059m；设计流量 $1642\text{m}^3/\text{s}$ ；引水道，由四条内径 9.6m 的隧洞组成，其后接钢板衬砌段，其中一条最长的引水道长 652.86m；地面厂房，内装四台容量为 300MW 的混流式机组。坝顶高程 791.00m，正常高水位 780.00m。

2 施工导流设计

天生桥一级水电站坝体施工期采用围堰截流，隧洞导流方式。截流后第二年汛期，由坝面和导流隧洞宣泄洪水；第三年当坝体可以拦洪时，由导流隧洞和放空隧洞共同泄洪。其后当导流隧洞下闸封堵时，则由放空隧洞给下游放水。

各个施工期的导流标准及导流建筑物如表 1 所示。

上游子围堰为溢流式土石围堰，最大堰高 18m。

下游子围堰亦为溢流式土石围堰，最大堰高 13.5m。

表 1 各个施工期的导流标准及导流建筑物

项 目			设计洪水频率 P (%)	设计导流流量 (m^3/s)	导流建筑物	水位 (m)	
						上游	下游
截流			5	1070*	1 号、2 号导流隧洞	648.00	
施 工 导 流 期	导流 阶段	枯水期	5	1670	1 号、2 号导流隧洞	650.50	643.70
		汛期	3.33	10800	1 号、2 号导流隧洞 与坝面联合过水	658.60	657.30
	坝体挡水		1	8724	1 号、2 号导流	710.11	656.10
			0.33	9550	隧洞与放空	722.00	656.60
			0.2	9840	隧洞联合泄流	727.06	656.90
	下闸封堵		5	1070*	放空隧洞		

* 旬平均流量。

3 导流隧洞设计

导流隧洞两条，平行布置于左岸。洞轴线进口段方向 $\text{N}36^\circ\text{E}$ ，中间段 $\text{N}60^\circ\text{E}$ ，出口段 $\text{N}70^\circ\text{W}$ 。两洞中心间距 50m，长度分别为 986.3m 和 1054.2m。进口底板高程 637.00m，隧洞底坡 $i=0.4\%$ 。

3.1 地质条件

导流隧洞通过地层为中三叠统边阳组 (T_2b) 中厚层、厚层泥岩砂岩，泥岩约占 2/3，砂岩约占 1/3。隧洞通过的山体雄厚，发育有 6 号、8 号、10 号冲沟，隧洞上覆岩层厚度 25~140m。岩层产状 $\text{N}50^\circ\sim 70^\circ\text{E}/\text{NW}\angle 35^\circ\sim 55^\circ$ ，与隧洞中段线路方向近乎平行，单层厚度一般 0.5~2m，少数达 4m。沿线断层不发育，设有一级结构面，二级结构面有 F_{19} ， F_{20} 两条，以 NE 向陡倾角与洞线斜交，破碎带宽 1m 以下。此外在进出口还有 20 余条规模小、陡倾角断层或密集或分散分布。按围岩分类，隧洞围岩约 2/3 为Ⅲ类，其余为Ⅳ、

V类,地质条件属中等偏差。

泥岩为均一泥质结构,物质组成以黏土矿物绿泥石、伊利石为主,湿抗压强度 15~20MPa,具明显的失水崩解性,而且流变性比较突出。

砂岩强度较高,湿抗压强度 50~70MPa。隧洞通过的砂岩岩层构造裂隙相对发育,使地下水具有一定的储存位移空间,形成多层次的裂隙含水层,汛期地下水位高出洞顶 20~80m。

室内试验表明,泥岩、砂岩层间结合性差,其流变性较岩石自身更为显著。

3.2 导流隧洞建筑物组成

导流隧洞建筑物组成如图 2 所示。

(1) 进口引渠。渠底高程 637.00m,底坡 $i=0$,底宽 70.14m,总长 310m。

引渠断面为复式梯形断面,每隔 11~12m 高度设置马道,马道间的边坡 1:0.4。除进水塔前 25m 范围的底板作 0.5m 厚的混凝土衬砌外,整个引渠不作支护。为了保护边坡的稳定和防止泥岩的失水崩解,整个边坡均作喷锚支护,喷混凝土层厚 10cm。

(2) 进水塔。导流隧洞进口设置进水塔,塔内设两孔平板闸门,孔口 6.5m×13.5m (宽×高)。

当坝体填筑到挡水高程时,进水塔下库断流,在水库蓄水的同时进行导流隧洞堵头施工。

塔顶高程 682.00m,系由汛末下闸,翌年汛前 ($P=10\%$) 水库蓄水高程决定,当时堵头施工已经结束。

进水塔 682.00m 高程平台上,设置启门排架,高 12.5m,在纵横方向形成双层双跨框架结构。

(3) 隧洞洞身。在堆石坝的各个施工期,两洞导流流量为 1070~8536m³/s,隧洞流态为明流、满流和明满流的过渡状态。洞内最大平均流速 28.3m/s。

隧洞断面为平底马蹄形,过水净空尺寸高宽均为 13.5m。按常规的结构力学方法比较过圆形、马蹄形、方圆形断面型式,最后从内力合理,方便施工,投资较小的角度出发,选用目前的平底马蹄形型式。

施工期为保护泥岩开挖面免于失水崩解及维持隧洞围岩稳定,洞壁须及时进行喷锚支护——一次支护。在隧洞导流运行期,为满足各种流态的过流要求,减少糙率,须有钢筋混凝土衬砌——二次支护过流面。这样,隧洞衬砌便确定为“喷锚+钢筋混凝土”的复合衬砌型式。

为了解在以泥岩为主的软弱地层,开挖跨度达 16m 的隧洞成洞的可能性,除在现场左岸开挖平洞(方圆形,开挖跨度 5m)进行长期的围岩变形观测试验外,还委托国内科研单位进行有限元计算分析。分析成果表明,隧洞按上下台阶两期开挖,跨度 16m,对Ⅲ、Ⅳ类围岩,在 24h 内可以自稳;24h 之后,要进行锚喷支护,约束围岩变形,可以认为施工期隧洞是稳定的,不会出大问题,对于 V 类围岩及 F_{19} 、 F_{20} 等断层破碎带,建议施工时进行专门研究,采用特殊的开挖程序与支护措施。

在以上大量科研工作的基础上,1990 年招标设计阶段作了隧洞支护型式设计(图 3)

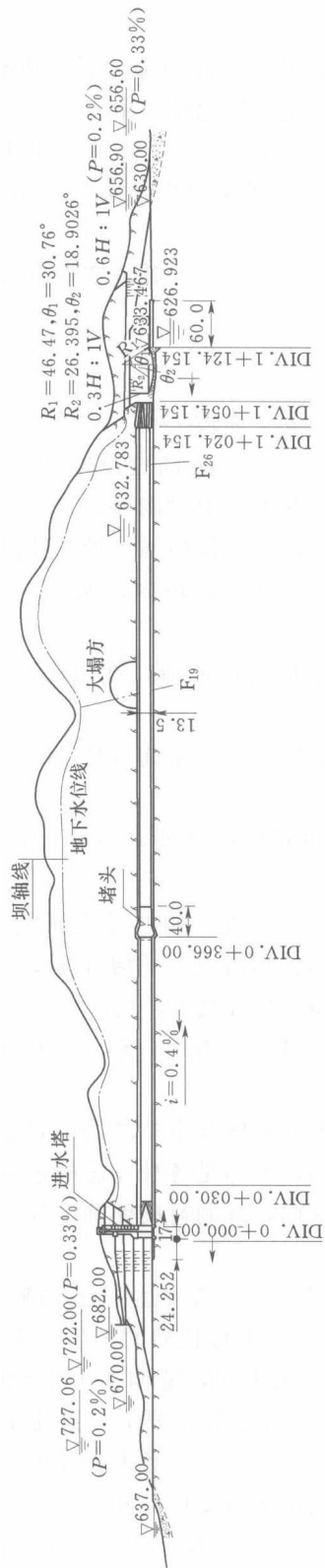


图 2 2 号导流隧洞纵剖面(单位:m)

并提出了按“新奥法”施工的设计。

一次支护锚喷参数：喷混凝土层厚 20cm，锚杆长度 4m， $\phi 25$ ，间距 2m，系统布置。随机锚杆视岩层情况而定。

二次支护，按围岩类别及运行期荷载组合，分为四型：边拱混凝土厚度分为 0.6m、0.8m 及 1.0m，底板厚度分为 1.0m 及 1.2m。

(4) 堵头段。在堵头位置将隧洞断面按堵头的外形尺寸开挖、衬砌，以便在下闸封堵，进行堵头施工时，不用对隧洞衬砌炸除，围岩不用再扩挖，这样简便了施工，缩短了工期。

堵头主体段长 18m，形似瓶塞，其大头在高宽方向（原设计）较隧洞大 8m。为了解在导流过水时堵头段：①局部水头损失；②空化情况；③明流过渡到满流后，在大头顶部形成气囊的可能性及其对衬砌的影响，进行过常规及减压箱水工模型试验。试验结果：

1) 局部水头损失系数 $\xi=0.110$ ，相应算得在截流期的水头损失 $h_j=0.28\text{m}$ ，只提高截流期水位 0.28m，对上游子堰高程影响很小。

2) 在常规试验中，堵头底板流线分离，存在涡漩现象，但在减压箱试验中，却未发现空化现象。

3) 在隧洞流态由明流过渡到满流后，原设计大头顶部存在气囊，其大小、位置随库水位变化而变化，在 $P=0.33\%\sim 0.2\%$ 的流量下其压力在 17.10~27.92m 水柱之间，各级水位下均未测得负压。在顶部体型优化后，气囊消除。

试验结果表明，堵头段的预留设计，在水力学上是可以通过的。

实际施工时，为减小难度，堵头段大头尺寸只比隧洞大 2m，以上问题更小。

(5) 出口消能段。导流隧洞出口为高 12.4m，宽 13.5m 的方圆形断面，其截面积比洞身平底马蹄形断面小 9.1%。

消能段长 60m，采用平底挑流坎型式。挑流坎高 4m，其迎水面为斜面，与水平夹角为 25° 。

消能段横截面为梯形，为钢筋混凝土衬砌，边坡 1:0.3。两洞出口消能段平行布置，其间以岩体相隔。

(6) 出水渠。消能段后为出水渠，两洞共用。渠底高程 633.00m，底宽 66m，梯形，长约 260m。

出水渠只在消能段后 60m 为钢筋混凝土衬砌，其余地段不作衬护，只在边坡较陡的岩石地段作喷锚支护。

4 导流隧洞的施工

导流隧洞由武警水电一总队和水电十四工程局承担施工。以隧洞桩号 0+510（1 号隧

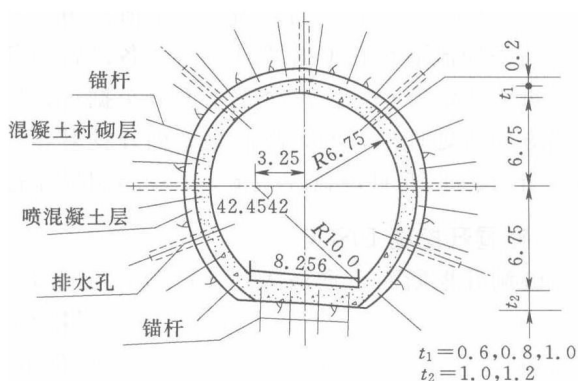


图 3 隧洞衬砌初始设计（单位：m）

洞)及0+526(2号隧洞)为界,上游段由一总队施工,下游段由水电十四工程局施工。

两条导流隧洞在上游段及下游段各设置一条施工支洞,于1991年6月动工,1992年初,进入主洞开挖,由八个掌子面分头掘进;1994年初,除1号隧洞上游120m左右洞段因塌方尚待处理外,两条隧洞全断面开挖基本完成。1994年底,2号隧洞二次支护完成。1994年12月25日南盘江截流,2号隧洞导流过水。

4.1 隧洞开挖施工序次

隧洞开挖断面高宽最大达15.9m,在施工中按三个序次进行开挖(见图4)。现将1号隧洞下游段(桩号0+510.00~0+986.247)的施工情况介绍如下。

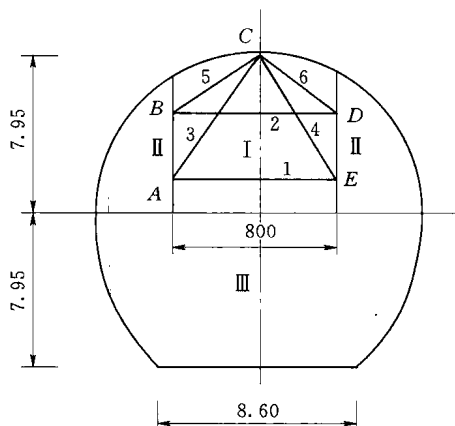


图4 施工开挖分块及上中导洞观测断面测线布置(单位:m)

(1) 开挖方法:钻爆法。采用NH—178型三臂液压台车钻孔,非电毫秒雷管起爆,2号抗水岩石炸药爆破。

(2) 铲运机械:爆破后用PC300和PC120反铲处理安全,966D装载机和15t三菱自卸车清运石碴。

(3) 标准的开挖施工程序大致如下:

钻孔(必要时打超前随机锚杆)—装药一起爆—处理安全—清运石碴—喷锚(必要时挂网)。

各期开挖的施工日期大致如下:

I期(上中导洞),1992年2~11月。

II期(上部扩挖),1992年11月~1993年5月。

III期(下部开挖),1993年5~11月。

施工中,I、II期的塌方次数较多,超挖方量较大,根据施工单位竣工报告数字:实际开挖总量 $63.772 \times 10^3 \text{ m}^3$,设计开挖总量 $52.572 \times 10^3 \text{ m}^3$ 。两者相比,超挖量为 $11.20 \times 10^3 \text{ m}^3$,为设计开挖量的21.3%。在这超挖量中,塌方量为 $3.314 \times 10^3 \text{ m}^3$,占29.6%。

4.2 “新奥法”的实施

根据天生桥一级水电站的地质情况,设计强调一次支护的重要性。为使支护参数更符合实际,要求进行施工监测,将围岩变形测量数据反馈设计,修改一次支护参数。这就是“新奥法”的意识。

(1) 导流隧洞的施工,基本上按“新奥法”的原则进行:初始设计—开挖—喷锚—变形监测—反馈分析—修正设计。

但在初期,导流隧洞是否按“新奥法”施工,各方认识还不一致。直到1992年4月,在工地召开了国内隧洞工程专家咨询会议以后,“新奥法”意识才基本确定。而对围岩变形观测和喷锚的认真实施,则是在中导洞开挖掘进中,大小塌方屡次出现之后。

隧洞开挖过程中,大于 10 m^3 的塌方有十几次,其中超过 100 m^3 的有5次,超过 1000 m^3 的4次,超过 10000 m^3 的1次(2号隧洞内),塌顶的一次(1号隧洞进口段)。以上塌方大都发生在I期、II期开挖时,特别是I期的开挖过程中。从现在来看,对天生桥

一级水电站的岩层,导流隧洞采用上中号洞先行贯通的方式是不妥当的。因为掘进中只对顶部进行支护,边墙不作喷锚(Ⅱ期要炸除),一次支护没有起到封闭岩石,阻止围岩变形发展的作用,这就是发生许多大塌方的主要原因之一。

隧洞一些地段,开挖之初,岩石新鲜、完整,若不及时进行锚喷支护,数星期之后,岩面裂纹出现、发展而导致坍塌发生。

在Ⅲ期施工中,由于顶拱(Ⅰ期、Ⅱ期)进行了全面喷锚,对围岩变形不收敛地段进行了补强,而且对新开挖的岩壁及时喷锚,因此隧洞全线在形成高宽达16m的断面后一年之久的时间里,没有出现塌方情况。围岩的稳定,给二次支护顺利进行打下了基础。

(2)隧洞施工各期,布置观测断面二三十个,但观测资料以Ⅰ期、Ⅱ期比较完全。Ⅲ期由于断面尺寸过大,没有登高设备,只量测到腰线以下的一组数据,不能据以了解全断面的变形收敛情况。

通过Ⅰ期、Ⅱ期观测数据的分析计算,天生桥一级水电站的泥、砂岩层有以下特性:

1)开挖后围岩顺层面的剪切流变明显,可以持续很长时间,即使观测断面离开掌子面已在三倍洞径这外,变形还在继续,相对位移速率仍可达 $0.2\sim 0.3\text{mm/d}$ 。

2)围岩允许应变较小,厚层泥岩发生小的位移,即会松动失稳,《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GBJ 86—85)确定允许相对收敛值,Ⅲ类围岩为 0.3% ,Ⅳ类围岩为 0.5% ,而本水电站导流隧洞的围岩收敛允许值则在 0.3% 以下。

Ⅰ期、Ⅱ期的围岩收敛变形观测点及回归曲线见图5、图6。

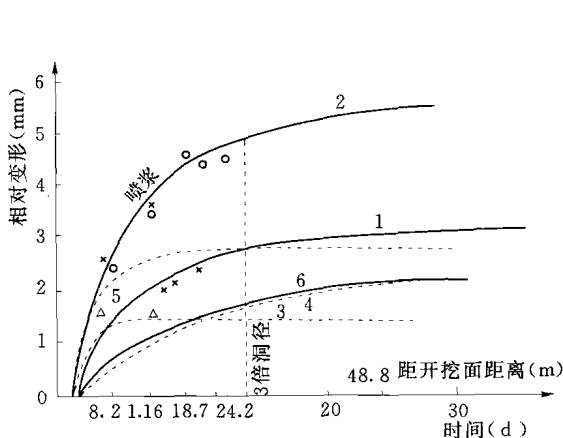


图5 上中洞1号0+829.80
断面量测变形回归曲线

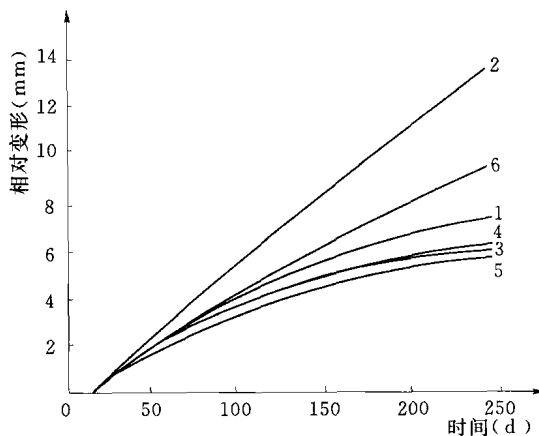


图6 上半部扩挖2号0+563.50
断面量测变形回归曲线

3)喷锚支护,对约束泥、砂岩变形,维持围岩稳定是行之有效的手段。

(3)根据施工监测的反馈分析,设计对一次支护作了修改设计,根据不同区段,喷混凝土厚度分为12cm、16cm及20cm,锚杆规格及施工方向也作了调整(见图7)。

对构造不利,变形速率过大,可能失稳地段,由设计通知作一次支护补强,或由施工单位不失时机地自行布置随机锚杆。