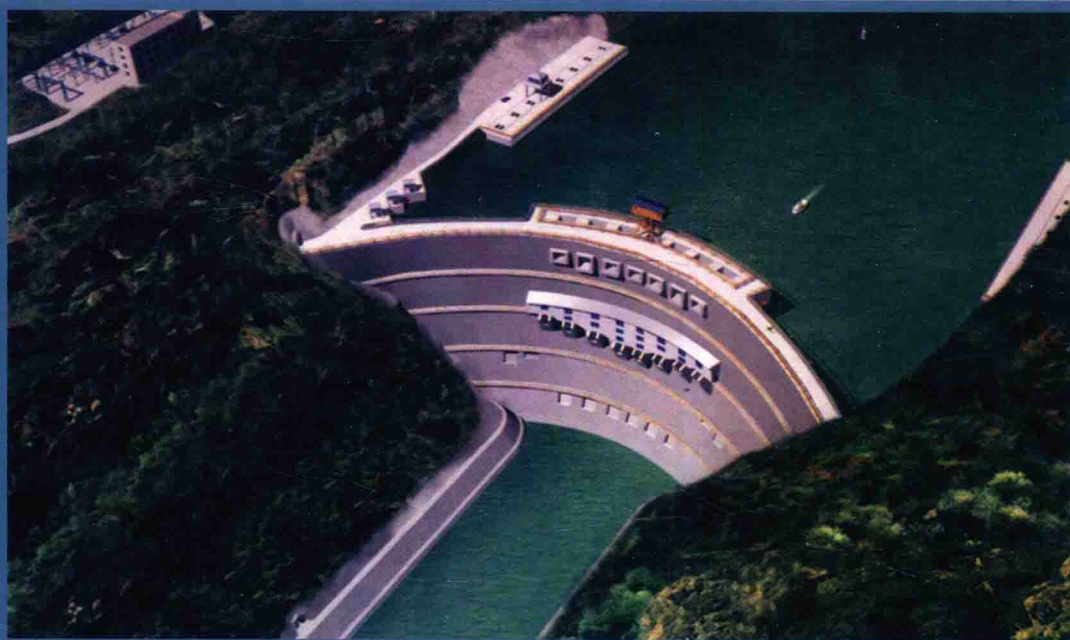


大型地下洞室群 围岩稳定性分析与评价

张倬元 陶连金 李攀峰 宋建波 刘 军 著



地质出版社

大型地下洞室群围岩 稳定性分析与评价

张倬元 陶连金 李攀峰 宋建波 刘 军 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

西部大开发带动着水电工程的快速发展。在水电工程开发中大型地下洞室群是水工结构的核心工程,由于地质条件复杂、岩体破碎,在高地应力、高烈度地震作用下,其稳定性决定了工程的成败。此外,大型地下空间开发是 21 世纪土木工程的主流方向,同样也面临着地下洞室群的稳定性分析与评价方面的挑战。

本书以金沙江的溪洛渡水电工程及黄河的拉西瓦水电工程的大型地下厂房为例,开展大型复杂地下洞室群围岩的稳定性评价。在勘察阶段,采用系统工程地质的研究思想,通过精细化的地质调查与测绘,采用理论分析、数值模拟等方法,对大型地下洞室群稳定性的关键问题进行了系统的研究,包括洞室群基础地质条件、洞室群围岩岩体结构调查、洞室群围岩岩体质量分类、坝区地应力场分析及数值模拟、洞室群围岩稳定性分析、洞室围岩稳定性分类体系等内容。在此基础上,提出了不稳定围岩的处理措施及建议,为大型洞室群的设计与施工提供了科学依据。

经工程施工验证,研究成果对工程的设计和施工起到了有效的指导作用。

本书可为水电工程、隧道工程、矿山工程及土木工程领域的研究、设计与施工人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

大型地下洞室群围岩稳定性分析与评价 / 张倬元等著.
—北京:地质出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-116-09545-8

I. ①大… II. ①张… III. ①水电站厂房-地下洞室
-围岩稳定性-研究 IV. ①TV731.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 292315 号

责任编辑:孙亚芸

责任校对:王洪强

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话:(010)66554528 (邮购部); (010)66554633 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554686

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787mm×1092mm $\frac{1}{16}$

印 张:35

字 数:850 千字

版 次:2015 年 12 月北京第 1 版

印 次:2015 年 12 月北京第 1 次印刷

定 价:128.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-09545-8

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前言

随着西部大开发战略的实施，可再生、清洁水能资源开发，成为能源开发的主流。在金沙江、雅砻江、澜沧江以及黄河上游，已建或在建的水电站数量众多，如金沙江的向家坝、溪洛渡、白鹤滩水电站，雅砻江的锦屏一级水电站，澜沧江的小湾水电站，黄河的拉西瓦水电站等。这些建于峡谷地区的水电工程，由于山体雄厚、河谷狭窄，建设场地狭小，不能布设坝后式厂房，只能将发电厂房建设在地下。于是，必须在两岸的山体内，开挖出规模宏大的主厂房、主变室、尾水调压室等纵向大型甚至超大型地下洞室群，同时还必须开挖出与这些主要洞室群相连接的引水洞、尾水洞、母线洞、交通洞等以横向为主的洞室群，形成规模巨大、纵横交错的地下洞室群。已竣工的溪洛渡水电站，两岸规模巨大、结构复杂的洞室群，如图 1 所示。主厂房长 436m，跨度 33.8m，边墙高 57.4m；主变开关室长 343m，跨度 17m，边墙高 31.6m；尾水调压室长 300m，跨度 26m，边墙高度最高达 93.5m，施工开挖的洞室总长近 200km。拉西瓦水电站的地下厂房洞室群规模小于溪洛渡的洞室群，但也是大型洞室群，预可行性研究阶段给出的主要洞室规模为：主厂房 $316.8\text{m} \times 29.0\text{m} \times 74.9\text{m}$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 高），主变室 $235.0\text{m} \times 27.5\text{m} \times 42.9\text{m}$ ，尾水闸门操作室 $188.5\text{m} \times 8.0\text{m} \times 76.0\text{m}$ 。其结构也是纵横交错，极其复杂，如图 2 所示。

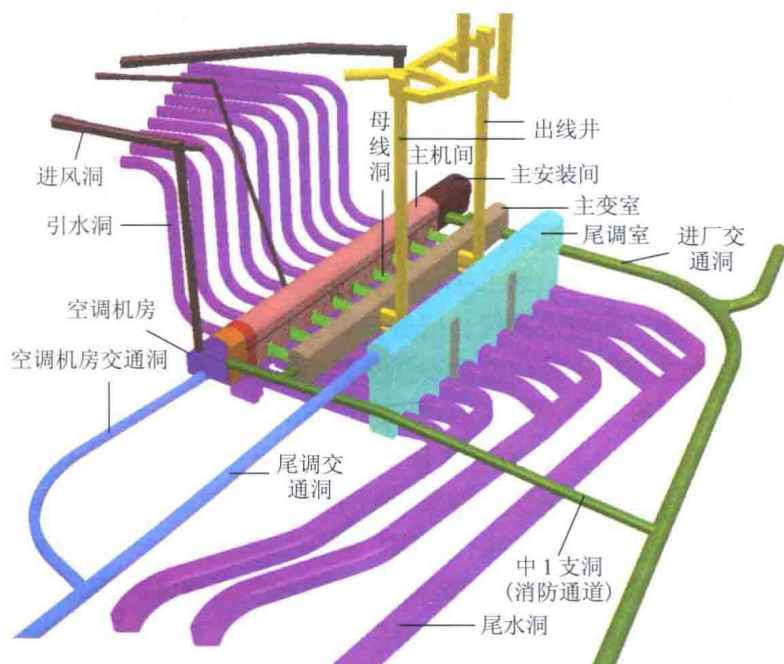


图 1 溪洛渡水电站地下厂房洞室群结构图
(据李金河等, 2013)

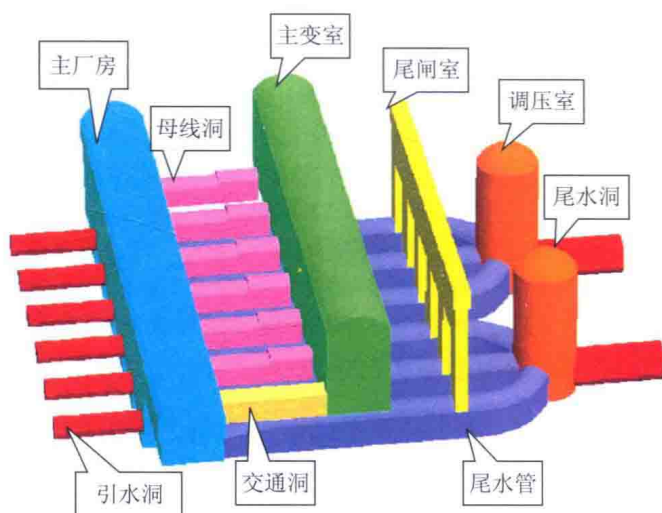


图2 拉西瓦水电站地下厂房洞室群结构图
(据陈景涛, 2006)

正是由于洞室规模极其巨大（其最大跨度为铁路、公路隧洞的3~4倍，最大边墙高度约为铁路边墙高度的7倍），结构极其复杂，而且总长度很大的数十个洞室密集地分布于两岸数百米范围内的地下岩体之中，其围岩稳定性问题的严重性、错综复杂性异常显著，一旦失稳破坏必将产生有可能包括人员伤亡的重大地质灾害。

保证地下洞室群围岩稳定、确保施工和运营安全这一艰巨任务，主要由负责该项工程设计、施工的工程技术人员承担，但又不能由这些工程技术人员独立承担，必须有工程地质科技工作者与之密切合作，才能圆满完成任务。之所以如此，是由于负责工程设计、施工的工程技术人员都是岩土工程师，而现有岩土力学理论却有如沈珠江院士所归纳的4点不足，即：①对多节理裂隙岩体缺乏有效分析手段；②未考虑地应力的影响；③未考虑逐渐破坏（progressive failure）过程；④难于测定天然岩土材料的计算参数。而工程地质科技工作者恰恰是以多节理裂隙岩体的岩体结构分析为切入点，充分考虑到其赋存的天然应力场和工程干扰产生的感生应力场的影响，也会考虑到逐渐破坏过程（我们称之为“累进性破坏”），以此来分析评价地下洞室群的围岩稳定性；也可以说工程地质科技工作者是以岩体结构和地应力场作为围岩稳定性的主控因素来分析评价地下洞室群的围岩稳定性。后者的研究内容、途径或技术路线，恰好弥补了前者的不足。

受中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司委托，成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室，于1999~2001年开展了“金沙江溪洛渡水电站地下厂区围岩稳定性研究”的专项研究。受中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司委托，成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室，于2001~2003年开展了“黄河拉西瓦水电站地下厂房洞室群围岩稳定性研究”的专项研究。

洞室开挖之后，必然形成围岩中各类结构面或不连续面（discontinuities）的“临空面”，同时也为围岩向洞内变形或塌落、滑落提供了空间，如不及时采取支护处理措施，必然发生两类围岩稳定性问题。其一是围岩整体向洞内变形形成松弛圈，其厚度随延迟支护时间的增长而不断增大，任其发展不予支护处理，其严重后果就是位于不利的工程部位（例如顶拱或高边墙）和处于不利感生应力场（例如张应力分布区）之中的部分围岩失稳

破坏,这就是洞室围岩变形稳定性问题。其二是围岩中不同优势方位的多组结构面相互交切,在洞室周边某些部位形成可移动块体,如果某些可移动块体位于不利的部位,又处于不利的感生应力场之中,这些可移动块体一经施工揭露,有可能立即失稳塌落或滑落,这就是洞室围岩块体稳定性问题。由此可见,控制洞室围岩稳定性的主控因素,既有工程因素又有地质因素。工程因素之中,最重要的是工程规模。洞室规模越大,周边临空面也越大,这两类稳定性问题也就越严重,保证大型洞室群围岩稳定、确保施工和运营安全的任务也就越为艰巨。地质因素中最重要的是:①围岩岩体结构特征(包括围岩中各级各类结构面的空间分布、组数、各组的优势方位,各类结构面的迹长、间距等),围岩岩体结构越复杂,围岩岩体质量越差,则洞室围岩稳定性问题也就越严重;②围岩所处的地应力场(包括初始地应力场和工程开挖干扰形成的感生应力场),感生应力场越不利,围岩稳定性问题也就越严重。

对洞室围岩稳定性进行工程地质分析与评价的研究思路是:首先通过围岩岩体结构特征详细调查及结构面几何参数的量化研究,获得合理的围岩岩体质量分类;继而通过与实测地应力点拟合的三维数值模拟确定天然(初始)地应力场,再通过数值模拟,预测洞室群中的三大洞室开挖后的感生应力场和位移场;进而预测得出可能失稳块体和由于较强烈变形而可能失稳的地段;以此预测为依据,进行工程各部位围岩稳定性分类;最后提出不稳定围岩处理措施建议。

根据上述研究思路,接受委托进行的两个专项研究的研究内容和所遵循的技术路线如下:

1) 洞室群围岩基础地质条件研究。查明厂房区的地层岩性、地质构造、水文地质条件等,并测定多点的地应力。此项研究内容由委托部门的工程地质科技人员完成。

2) 洞室群围岩岩体结构特征调查及量化研究。在对地表和勘探平洞内岩体结构大范围、大面积详细调查的基础上,量化研究结构面的特征(包括各组结构面的优势方位、迹长、间距和工程特性)及各类结构面的空间分布规律;利用 RQD、 v_p 和 k_v 值,确定不同工程部位岩体的完整性,划分出围岩的岩体结构类型。

3) 洞室群围岩岩体质量分类及评价。以我国水电分类和国内外常用的 RMR 和 Q 系统分类的方法和标准为基础,进行围岩分类;结合具体工程的特殊情况,探索对上述分类方法作适当修正的途径和方法,以便提出更适合本工程的围岩岩体质量分类;建立围岩岩体质量的量化指标与岩体力学参数之间的相关性;选取围岩力学参数指标。

4) 坝区地应力场分析及数值模拟。主要包括:对坝区地应力已有研究成果及存在问题的分析和对地应力场测试数据的分析,地应力场三维有限元的模拟和与前期测定的地应力的拟合。

5) 围岩岩体稳定性分析。主要包括:以 Unwedge 2.5 分析方法和以地下围岩工程块体稳定性分析系统(UBAS)分析块体稳定性和预测可能失稳块体;通过洞室开挖后围岩二次应力场数值模拟和围岩变形及破坏区的数值模拟分析评价围岩的变形稳定性。

6) 洞室围岩稳定性分类。为了为洞室群围岩支护设计提供依据,提出了以围岩质量分类、块体稳定性状况、开挖位移及屈服区、岩爆烈度(仅限于拉西瓦)为分类指标的围岩稳定性分类方案,并做出了围岩稳定性分类。

7) 不稳定围岩处理措施的建议。根据块体及变形稳定性的分析结果,针对不同稳定

性类别的围岩体,提出不同型式的喷锚支护建议。

以上是两个专项研究基本相同的研究内容和技术路线。但是,溪洛渡水电站坝区与拉西瓦水电站坝区岩体结构特征显著不同,两水电站坝区又分别处于中等地应力场和高地应力场之中,所以两者又各有其不同的研究内容。溪洛渡地下洞室群围岩中仅有4条确定性分布的Ⅰ级结构面,即缓倾的层内错动带 C_3 — C_6 。(实质上是不同喷发旋回的界面经层间错动构造改造而成),无断裂和中陡倾长大裂隙。其特有的结构面为多组缓倾、随机分布、全迹长一般为数十米的层内错动带。围岩中随机分布的缓倾或陡倾的基体裂隙,全迹长一般仅为几米(绝大多数 $<5\text{m}$)。根据这种独特的岩体结构,就可以做出判断:洞室群围岩块体稳定性并非其重要工程地质问题,高边墙围岩不可能有可移动块体;分布于洞室群顶拱以上的缓倾角层内错动带安全埋高,则是其特有的重要工程地质问题。通过安全埋高分析,可以确定顶拱上可移动块体的分布范围,通过超前地质预报和系统的喷锚加固,可以有效控制小于安全埋高部分可移动块体的稳定性。拉西瓦地下洞室群围岩处于高地应力场环境之中,围岩为高强度的花岗岩体,岩爆必然是围岩失稳的主要方式之一。岩爆预测与防治建议理所当然地成为重要的研究内容。其围岩体结构特征为:整体块状花岗岩体,被许多中陡倾居多的长大断裂和大量多组以中陡倾为主的长大裂隙所切割。顶拱和边墙块体稳定性也就成为该专项研究必须分析与评价的重要工程地质问题。

两个专项研究的结题报告,分别于2001年和2003年提交委托部门使用。当时并未将之付诸出版社,作为专著出版。因为我们认为:这两项研究做出的结论和预测是否符合实际,必须经过工程施工验证,我们必须等待工程的竣工。由于溪洛渡水电站地下厂房洞室群为当前世界上已建和在建水电工程中最大规模的地下厂房洞室群,直到2008年底才完成主厂房的全部开挖任务,整个工程竣工于2011年。2012年我们得到如下的施工验证信息:研究成果应用于溪洛渡、拉西瓦水电站地下厂房洞室群的设计和施工成效颇为显著,为大型地下洞室群优化设计和施工方案制定提供了科学依据;围岩稳定性分类和为不同稳定性类别围岩提出的支护与加固措施建议、岩爆灾害的预测和预防措施,保证了工程的正常、顺利和安全施工。于是,我们才开始筹划,以稍加修改和增补的两个专项研究结题报告作为本书的两篇,以《大型地下洞室群围岩稳定性分析与评价》为书名,交付出版社出版,供从事地下洞室群或地下空间利用的勘察、设计、施工的科技工作者参考。这里需要说明的是:修改仅限于文字方面的修改,以及部分插图的清绘。增补包括:两篇各增加最后一章,即“研究成果的施工验证”;两篇之前增补“绪言”,简要说明研究项目的来源、研究内容和所遵循的技术路线。

作为主要内容两项研究成果是作者们与中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司合作的结晶。研究工作得到了这两个单位的院领导、分院及项目部的大力支持与协作。感谢成都勘测设计研究院刘克远总工、李文纲总工和杨建宏总工的具体指导;特别感谢王蜀康指挥长、罗晋华副指挥长、宋云副指挥长的支持与协助;特别感谢在现场与我们一起进行野外工作的成都勘测设计研究院地下洞室组的张绍成队长、常六云工程师和郭劲松工程师等。对西北勘测设计研究院的领导、勘测总院的刘昌副院长和地质所赵桢书记、杨永明所长、杨天俊主任、王连福高工、卢金高工等人员的大力支持和密切协作表示真诚的感谢!

研究工作培养了一批工程地质和岩土工程方面的人才。参加研究工作的有博士后2

人、博士研究生 4 人、硕士研究生 3 人。他们的扎实、创新的研究工作为本书提供了坚实、翔实的基础。参加“金沙江溪洛渡水电站地下厂区围岩稳定性研究”的研究人员是：张倬元教授、刘汉超教授、陶连金教授、邓荣贵教授、柴贺军研究员，刘军、胡斌、李攀峰、刘宏博士研究生，王明华硕士研究生。参加“黄河拉西瓦水电站地下厂房洞室群围岩稳定性研究”的研究人员是：张倬元教授，宋建波博士后，刘军、李攀峰博士研究生，王毅硕士研究生。

本书的出版得到了成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室的资助。感谢成都理工大学黄润秋教授的鼎力支持。

课题研究得到了国家自然科学基金（编号：41572276、41272337、51038009）及北京市教委重点项目（编号：KZ200910005009）的支持。

感谢任志国、张倍、王焕杰、王会胜、张恒、田治旺等帮助描绘了部分插图。

目 录

前 言

第一篇 金沙江溪洛渡水电站地下洞室群围岩稳定性研究

第 1 章 绪言	(3)
1.1 工程概况及研究目标	(3)
1.2 研究技术路线	(4)
第 2 章 洞室群围岩基础地质条件研究	(7)
2.1 地形地貌	(7)
2.2 地质概况	(8)
2.3 地层岩性特征	(9)
2.4 围岩岩体(石)和结构面的强度与变形特征	(10)
2.5 岩体结构总体特征	(13)
2.6 水文地质条件	(17)
2.7 地震	(19)
2.8 构造体系及构造应力场基本特征	(20)
第 3 章 洞室群围岩岩体结构	(23)
3.1 结构面的类型和调查方法	(23)
3.2 层间错动带的工程地质特征	(25)
3.3 层内错动带的工程地质特征	(26)
3.4 基体结构面研究	(43)
3.5 围岩岩体结构类型的工程地质分段	(49)
3.6 本章小结	(52)
第 4 章 基于勘探平洞的洞室群围岩工程地质分类	(54)
4.1 概述	(54)
4.2 洞室围岩工程地质分段	(55)
4.3 岩体质量分类指标的选取	(55)
4.4 围岩质量分类结果	(57)
4.5 各分类系统间的相关性分析	(74)
4.6 本章小结	(75)

第 5 章 坝区地应力场测试成果分析及数值模拟拟合	(77)
5.1 概述	(77)
5.2 坝区地应力场演化	(77)
5.3 坝区地应力场已有研究成果简介	(79)
5.4 坝区地应力场测试数据的统计分析	(79)
5.5 坝区地应力场三维弹性有限元 (3D- σ) 模拟与拟合	(99)
5.6 坝区地应力场三维弹塑性有限元模拟与拟合	(121)
5.7 本章小结	(156)
第 6 章 洞室群围岩块体稳定性分析	(161)
6.1 概述	(161)
6.2 块体稳定性分析	(161)
6.3 顶拱层间错动带安全埋高研究与计算	(176)
6.4 边(隔)墙围岩稳定性 SMR 分析	(196)
6.5 本章小结	(199)
第 7 章 洞室群围岩稳定性数值模拟	(200)
7.1 左岸地下洞室群围岩稳定性评价	(200)
7.2 右岸地下洞室群围岩稳定性评价	(224)
7.3 本章小结	(246)
第 8 章 洞室群围岩稳定性分类及围岩支护	(248)
8.1 概述	(248)
8.2 洞室群围岩稳定性分类指标与分类体系	(248)
8.3 地下洞室群的围岩稳定性分类结果	(255)
8.4 围岩的处理措施建议	(257)
8.5 本章小结	(264)
第 9 章 结论和今后工作建议	(266)
9.1 结论和认识	(266)
9.2 今后工作建议	(269)
第 10 章 研究成果的施工验证	(271)
10.1 岩体结构特征	(271)
10.2 地应力场	(272)
10.3 围岩工程地质分类	(272)
10.4 围岩稳定性	(272)
10.5 支护处理	(275)

第二篇 黄河拉西瓦水电站地下洞室群围岩稳定性研究

第 1 章 绪言	(279)
1.1 工程概况	(279)

1.2	研究目标	(280)
1.3	技术路线	(280)
1.4	主要研究成果	(281)
第2章	研究区工程地质条件概况	(284)
2.1	区域地质概况	(284)
2.2	坝区地形地貌	(285)
2.3	坝址区地层岩性特征	(285)
2.4	坝址区地质构造	(288)
2.5	岩石物理力学性质	(289)
2.6	水文地质条件	(290)
2.7	地震	(291)
2.8	新构造运动及河谷高边坡发育史	(292)
第3章	洞室群围岩岩体结构特征	(294)
3.1	概述	(294)
3.2	结构面类型及其调查方法	(294)
3.3	岩体结构总体特征	(297)
3.4	各勘探平洞岩体结构特征	(299)
3.5	优势方位结构面基本特征	(304)
3.6	岩体结构形成和演化历史	(308)
3.7	本章小结	(312)
第4章	地下厂房区结构面工程地质特性研究	(313)
4.1	结构面工程地质分级	(313)
4.2	结构面工程类型划分方案	(316)
4.3	I级结构面工程地质特性研究	(318)
4.4	II级结构面工程地质特性研究	(321)
4.5	III级结构面工程地质特性研究	(325)
4.6	结构面抗剪强度参数确定方法	(356)
4.7	地下厂房区主要结构面提取	(358)
4.8	本章小结	(362)
第5章	地下厂房洞室群围岩岩体质量分类	(364)
5.1	概述	(364)
5.2	岩体分类指标的选取	(364)
5.3	沿洞身岩体结构分段	(367)
5.4	岩体质量分类结果	(371)
5.5	各分类系统间相关性分析	(371)
5.6	本章小结	(382)
第6章	坝区应力场三维数值模拟	(384)
6.1	坝区地应力测试概况	(384)

6.2	坝区地应力测试结果分析	(386)
6.3	坝区地应力场的三维数值模拟拟合	(389)
6.4	坝区地应力场的空间分布特征	(405)
6.5	本章小结	(411)
第7章	洞室群围岩稳定性数值模拟	(413)
7.1	模型简介	(413)
7.2	二次应力场的模拟结果及分析	(416)
7.3	位移场的模拟结果及分析	(451)
7.4	破坏区的模拟结果及分析	(470)
7.5	本章小结	(481)
第8章	地下厂房洞室群岩爆预测与防治建议	(485)
8.1	概述	(485)
8.2	岩爆形成的基本地质条件	(486)
8.3	岩爆预测预报方法综述	(488)
8.4	地下厂房洞室群岩爆趋势预测及其强度分级	(491)
8.5	岩爆防治措施初步建议	(497)
8.6	本章小结	(499)
第9章	洞室群围岩块体稳定性分析	(500)
9.1	概述	(500)
9.2	块体稳定性分析	(500)
9.3	洞室轴线方向优选	(509)
9.4	本章小结	(510)
第10章	洞室群围岩稳定性分类及不稳定围岩支护处理建议	(517)
10.1	洞室群围岩稳定性分类指标与分类体系	(517)
10.2	洞室群围岩稳定性分类	(521)
10.3	地下洞室群不稳定围岩支护建议	(521)
10.4	本章小结	(525)
第11章	研究结论和建议	(527)
11.1	地下厂房洞室群赋存基本地质环境	(527)
11.2	地下厂房洞室群围岩岩体结构特征	(527)
11.3	地下厂房洞室群岩体结构形成演化历史	(528)
11.4	厂房区结构面工程地质特性	(528)
11.5	地下厂房洞室群围岩岩体质量分类	(529)
11.6	坝区地应力场三维数值模拟	(530)
11.7	洞室群围岩稳定性数值模拟	(530)
11.8	洞室群岩爆预测与防治建议	(532)
11.9	洞室群围岩块体稳定性	(533)
11.10	洞室轴线方向优化方案建议	(533)

11.11 围岩稳定性分类及不稳定围岩支护处理建议 (534)

第 12 章 研究成果的施工验证 (535)

12.1 岩体结构特征 (535)

12.2 围岩稳定性分类 (535)

12.3 围岩稳定性 (536)

主要参考文献及资料 (539)

第一篇

金沙江溪洛渡水电站 地下洞室群围岩稳定性研究

第1章 绪 言

1.1 工程概况及研究目标

拟建的溪洛渡水电站是金沙江干流攀枝花至宜宾段梯级开发规划中的第三梯级电站。工程枢纽位于四川省雷波县和云南省永善县接壤的溪洛渡峡谷（图 1.1.1），对外交通比较方便。该水电站是继三峡工程之后，我国的又一巨型水利枢纽，其装机 13600MW，双曲拱坝高为 285.5m。按可行性研究报告，拟采用全地下式厂房方案，两岸布置基本对称，每岸主厂房尺寸为 426m × 28.4m × 75.1m（长 × 宽 × 高），主变室尺寸为 325.52m × 19.8m × 25.5m，尾调室尺寸为 300m × 23m × 94m。左右岸各布置 3 条内径 20m 的尾水洞、9 条内径 10m 的引水洞以及 3 条最大净断面积达 $14 \times 17\text{m}^2$ 的泄洪洞。由此可见，主厂房、主变室和尾调室三大地下洞室与进水压力管道及尾水洞紧密布置在两岸坝肩附近，构成庞大而复杂的地下洞室群，这在国内外已建和拟建的工程中是十分罕见的。

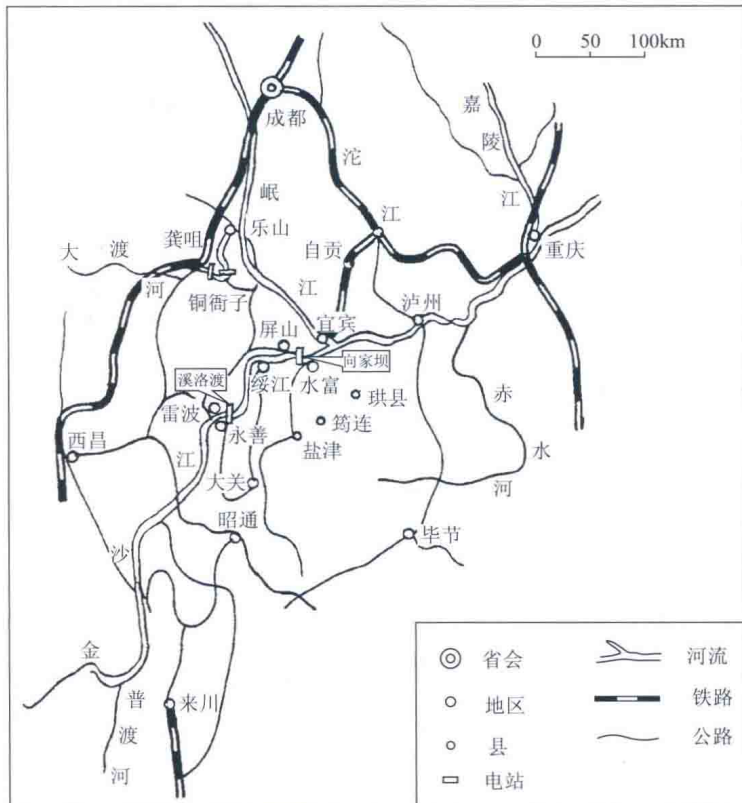


图 1.1.1 金沙江溪洛渡水电站地理位置示意图

地下厂房各主要洞室布置于二叠系上统的峨眉山玄武岩 $P_2\beta_2 \sim P_2\beta_6$ 岩流层中。根据现有的主厂房探洞及上层平洞揭露的地层情况看,地下厂房区岩体质量较好。但由于多期的构造作用,在厂房区岩层中发育有层间错动带、层内错动带和基体裂隙等不同级别的结构面,局部出现层内错动带的集中分布,使岩体强度降低、质量下降,对今后厂房开挖及围岩稳定有一定的影响。从已有的地应力测试和拟合成果看,最大主应力在 20MPa 以内,但从钻孔有岩心饼裂现象看,该地区有高地应力活动的迹象。据国家地震局地质研究所研究,溪洛渡水电站坝区的基本地震烈度为Ⅷ度。

如何在已有的勘探工作基础上,查清地下厂房洞室群赋存的工程地质环境条件,建立合理的岩体结构模型,预测厂房开挖后围岩整体以及局部的块体稳定性,成为溪洛渡工程前期研究的一个重要课题。同时,针对如此复杂的大型地下洞室群,开挖方式和开挖顺序的合理与否,将直接影响到洞室群的稳定性以及相关的支护处理措施。为此,受中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司(原国家电力公司成都勘测设计研究院,以下简称“成勘院”)委托,成都理工大学(原成都理工学院)地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室于 1999~2001 年开展了关于“金沙江溪洛渡水电站地下厂区围岩稳定研究”的专项研究,主要研究目标如下:

- 1) 洞室群基础地质条件研究;
- 2) 洞室群围岩岩体结构调查;
- 3) 洞室群围岩岩体质量分类;
- 4) 坝区地应力场分析及数值模拟;
- 5) 洞室群围岩稳定性分析;
- 6) 洞室围岩稳定性分类体系;
- 7) 不稳定围岩的处理措施及建议。

1.2 研究技术路线

1.2.1 总体原则

本项目研究的技术路线体现以下总体原则:始终贯穿系统工程地质的路线和方法,以扎实详尽的野外现场调查资料为基础,以建立确定性模型为指导,广泛采用最新的数据处理技术,岩体结构模型与围岩稳定性评价相结合,围岩稳定性分析与加固处理相结合,宏观分析与局部研究相结合,平面分析与空间分析相结合。

1.2.2 技术路线

根据上述研究目标及总体原则,制订具体的研究路线如图 1.1.2 所示。其要点如下:

1) 洞室群基础地质条件研究:查明厂房区的地层岩性、岩体结构、地应力场特征及水文地质条件等,并分析其对围岩稳定性的影响。

2) 洞室群围岩岩体结构调查:在对地表和洞内层间、层内错动带及基体结构面大范围、大面积的调查基础上,研究结构面随洞室、高程的变化规律,划分围岩的岩体结构类