

复杂地质条件 隧洞超前地质 预报技术

FUZA DIZHI TIAOJIAN
SUIDONG CHAOQIAN DIZHI
YUBAO JISHU

主 编 谭天元
副主编 王 波 楼加丁 叶 勇



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

复杂地质条件 隧洞超前地质 预报技术

FUZA DIZHI TIAOQIAN
SUIDONG CHAOQIAN DIZHI
YUBAO JISHU

主 编 谭天元

副主编 王 波 楼加丁 叶 勇



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书共 6 章，第 1 章为绪论，介绍超前地质预报方法的必要性和发展历程；第 2 章为超前地质预报理论基础，侧重介绍与超前地质预报有关的地质学基础理论和应用地球物理学理论；第 3 章为预报方法与技术，重点介绍地质综合分析技术、地质雷达探测技术、TSP 探测技术、BEAM 探测技术、红外线探测技术、超前探孔等技术；第 4 章为复杂地质条件预报体系的建立，讲述从水文地质条件、地质作用等地质因素出发，结合预报目的、预报方法，详细阐述复杂地质条件下预报体系的建立；第 5 章为复杂地质条件预报现场技术，重点介绍复杂地质条件隧洞超前地质预报现场技术；第 6 章为技术成果运用，通过实例证实综合方法在复杂地质条件隧洞超前地质预报工作中取得的良好应用效果。

本书主要供从事隧洞工程建设、勘察、设计、施工和管理的技术人员阅读，也可作隧洞超前地质预报技术人员的培训教材和大专院校相关专业的师生学习参考。

图书在版编目（C I P）数据

复杂地质条件隧洞超前地质预报技术 / 谭天元主编
— 北京：中国水利水电出版社，2018.2
ISBN 978-7-5170-6331-5

I. ①复… II. ①谭… III. ①隧道工程—工程地质—
预报 IV. ①U451.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第035233号

书 名	复杂地质条件隧洞超前地质预报技术
作 者	FUZA DIZHI TIAOJIAN SUIDONG CHAOQIAN DIZHI YUBAO JISHU
出版发行	主编 谭天元 副主编 王波 楼加丁 叶勇 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、68545874 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	北京博图彩色印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 10.75 印张 264 千字 5 插页
版 次	2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	65.00 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



喀斯特峰丛、峰林及孤峰



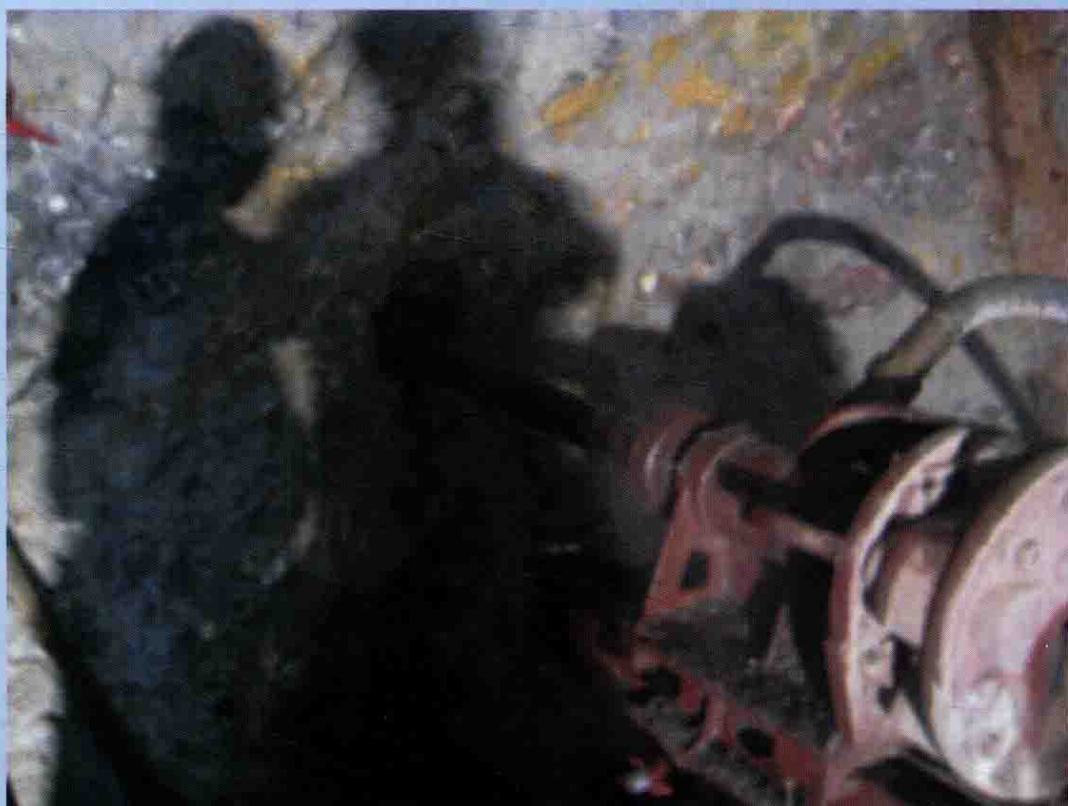
喀斯特陡峭山峰



隧洞超前预报地表调查



隧洞超前预报掌子面地质编录



隧洞超前预报掌子面地质钻探



隧洞超前预报预测的岩溶管道开挖揭露情况



隧洞超前预报地表调查（落水洞）



隧洞超前预报地表调查（地表塌陷）



输水隧洞超前地质预报



输水隧洞超前地质预报地表岩溶调查



输水隧洞超前预报 TSP 现场测试



输水隧洞超前预报地质雷达现场测试



输水隧洞涌水洞段地质雷达现场测试



超前预报预测的地下暗河开挖揭露情况



隧洞洞顶塌方现场工作会



引水隧洞岩溶探测



隧洞超前预报 TSP 现场交流



隧洞超前预报 TSP203 与 TSP303 对比现场试验

《复杂地质条件隧洞超前地质预报技术》

编写人员名单

主 编 谭天元

副主编 王 波 楼加丁 叶 勇

参 编 文豪军 张 伟 李永铭 杨震中 韩道林

皮开荣 杜 松 孙永清 杜兴忠 杨彰才

刘骅标 黄 易 欧 琦 庄志凯

序 一

时值中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司（下称贵阳院）即将迎来建院 60 周年之际，看到贵阳院送审的《复杂地质条件隧洞超前地质预报技术》这本专著，并邀请为之作序，我非常高兴。60 年风雨兼程，贵阳院从当年的贵州省猫跳河水电工程筹建处下属的一支设计队，一路艰辛走来，上下求索，几经磨炼，现已成为当今国内多元经营、国际知名的百强水电工程的设计企业，这是贵阳院几代人为之奋斗、辛勤耕耘的硕果，在此衷心为之祝贺！

我国岩溶地区分布广泛，贵州省不仅是岩溶分布面积最广的地域，且岩溶类型众多，结构与形态均十分复杂，为国内外所瞩目。岩溶与各项水电建设，与民众日常生活密切相关。在岩溶给人们带来绚丽多姿的自然风光与山清水秀景观的同时，也给水电隧洞工程建设带来了很多难点。纵观水利水电工程、公路及铁路工程中因岩溶造成的地质灾害事件屡见不鲜，特别是在地下洞室工程实施中，一旦遇到岩溶地下暗河或“岩溶管道”，发生涌水突泥事件，可能会给工程造成一定的危害，乃至会付出灾难性代价。为此，在洞室工程，特别是又长又大的隧洞工程施工中，如何提前预知开挖掌子面前方的工程地质境域，特别是不良地质体的展布、规模及可能构成灾害事件等情况，就显得更加重要。为此，为避免地质灾害事件的发生，采用当代多元先进技术和方法对隧洞施工区（块）进行超前预报就日显重要。

贵阳院自建院以来，一直在岩溶地质环境中从事水电水利工程勘测与设计工作。在猫跳河梯级、南盘江天生桥、北盘江光照、乌江洪家渡、思林等大中型水电工程中，为解决复杂的岩溶地质问题，伴随着贵阳院一起成长的物探队伍，在技术上、理论上不断提高，实践经验日益丰富。在隧洞施工超前地质预报方面，通过四川锦屏水电站、贵广高铁、黔中水利枢纽等大型工程深埋、长、大隧洞的预报实践，积淀了丰富的经验，形成了自己的技术体系。

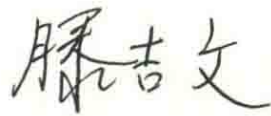
本书参编人员都是在生产一线多年从事物探工作，并参与过多座大中型隧洞工程的超前地质预报工作，积累了丰富经验。该专著从超前地质预报基础理论、超前地质预报方法与技术、复杂地质条件下隧洞超前地质预报实施技术、隧洞前方超前地质预报技术运用和复杂地质条件下隧洞施工超前预报

技术体系的形成等方面进行了系统总结，取得了重要成果。应当指出的是，在预报方法与技术章节中，在传统方法应用基础上着重突出了新技术、新方法的应用与创新；在现场预报技术方面，从数据采集、数据处理、结构刻画、结果解译，以及数据成果的表现形式等诸多方面，详细地阐述了预报的主要方法技术及要点；在技术成果应用方面紧密结合国内有代表性的工程实际，通过对断层、溶洞、涌水突泥等不良地质体的实例分析，从预报方法的选择，预报工作的实施，多种方法所得成果的综合分析、解释，以及开挖后的验证对比等方面进行了详细介绍。

本书在成书过程中特别注意从工程实际出发，突出对现场预报工作的指导性和可操作性，从理论和实践方面，对一线从事施工中预报工作的专业技术人员具有较高的参考价值和指导作用。在此，我诚希贵阳院的工程技术人员在国家战略需求和创新方针的指导下，在该技术领域不断深化、创新，不断引入当代高新科技，且在实际应用中不断提升，不断取得新的成绩。

是为序。

中国科学院院士



2017年10月于北京

序 二

六十年甲子弹指一挥间，在中国电建集团贵阳勘测设计研究所（下称贵阳院）即将迎来60年华诞之际，喜闻《复杂地质条件隧洞超前地质预报技术》一书即将出版，作为在贵阳院工作了一生的老同志，倍感欣慰。这是贵阳院的一项重要成果，也是参编人员不懈努力、辛勤耕耘的结果，谨在此表示衷心的祝贺！

广布祖国西南地区的碳酸盐岩地层，在温湿多雨降水充沛的自然气候长期影响下，岩溶强烈发育，造就了地表地下多姿多彩的岩溶地貌——路南石林、兴义万峰湖、荔波小七孔、织金洞、龙宫、桂林山水等绚丽景观。然而，自然风光的绚丽多姿与山清水秀难以掩饰地下的岩溶构造和暗流涌动，尤其对于建设大型水利水电工程，更是面临着巨大挑战。

由于岩溶发育的复杂性，地质测绘调查分析难以查明发育规模，更难精确定位；钻探、洞探等重型勘探施工工期长、成本高，且只能解决点的问题。对于地下洞室施工中可能遇到的岩溶、地质断裂带来的失稳、涌水突泥预测预报，传统手段更加困难。纵观水利水电、公路、铁路等地下洞室工程施工中发生的地质灾害，多数均为没预报、或预报不准确及不重视预报造成，给工程带来巨大损失和人员伤亡，教训十分惨痛。为此，为规避可能造成的地质灾害，利用先进手段，开展隧洞施工超前地质预报工作就显得更加重要和必要。

贵阳院成立伊始，就在岩溶强烈发育的地质环境中从事水电水利勘测设计工作，为解决复杂的岩溶地质问题，物探技术得到了足够的重视，一直跟踪最新技术，持续的经费投入，鼓励技术创新、重视人才培养，在针对复杂地质问题的工程物探技术方面，积累了丰富的工程经验，一直执业界之牛耳；特别在隧洞施工超前地质预报方面，积淀了丰富的经验，在国内同行中一直处于领先地位。

本书编者长期从事水电水利工程物探工作，经历了我国水电发展的黄金时期，主导了贵阳院新设备、新技术的引进、应用和消化吸收，成功进行了应用软件编制、仪器设备研发制造等工作，主编了《水电水利物探规程》等多部标准和规程规范，具有丰富的工程经历，优秀的业务素质和科学严谨的治学精神。

本书分别以绪论、超前地质预报理论基础、预报方法与技术、复杂地质条件预报体系的建立、复杂地质条件预报现场技术、技术成果运用 6 个篇章进行论述，系统地总结了复杂地质条件下隧洞超前地质预报方法技术和运用成果，是一部较全面、系统的隧洞工程施工超前地质预报技术的专著，对从事一线工作的专业技术人员和有关院校相关专业的师生有参考和指导作用。希望本书的出版能起到抛砖引玉的作用，促进隧洞施工超前地质预报技术的不断创新和发展。

是为序。



2017 年 9 月于贵阳

前 言

中国岩溶地区分布广泛，特别是西南部的云、桂、渝、黔地区，岩溶分布面积达50多万 km^2 ，岩溶类型众多。由于碳酸盐岩裸露于地表，受地面水和地下水的溶蚀作用，发育着各种类型的岩溶地貌和岩溶形态，给工程建设带来一定的复杂性。

为总结、提炼贵阳院最近十多年来在复杂地质条件下的岩溶地区超前地质预报工作的经验，特编写本专著。全书共分6章，第1章为绪论；第2、第3章以介绍超前地质预报基础理论和预报方法为主；第4~6章介绍超前地质预报问题分析、实施和工程实例。根据作者专长，统一分工，负责编写和校审，会议集体讨论修改，最后由主编统稿。资料收集力求全面，以贵阳院承担的项目为主，并尽可能利用各兄弟单位的成功经验。

第1章“绪论”，介绍了隧洞工程建设中存在的主要工程地质问题，隧洞超前地质预报发展历史和现状以及本书的主要内容。

第2章“超前地质预报理论基础”，从超前地质预报的必要性和特点出发，叙述其依托的地质学和地球物理学基本理论，对地质学的基础理论和地球物理学中的电磁学和弹性波基础理论进行简要介绍。

第3章“预报方法与技术”，系统总结超前地质预报方法，从探测方法原理、观测系统、图像特征、数据采集技术、资料分析与判释等方面作了详细叙述。

第4章“复杂地质条件预报体系的建立”，叙述在实施隧洞超前预报之前，应根据已有隧洞水文及工程地质资料并结合隧洞施工可能存在的风险因素，将该隧洞复杂程度分为“复杂”“较复杂”“中等复杂”“简单”四个等级，再根据划分的四个等级，将隧洞的预报重视程度分为“重点预报”“加强预报”“常规预报”三级预报等级，最后针对不同预报对象从预报要达到的目的、预报方法的选择和预报体系的建立三个方面进行了详细阐述。

第5章“复杂地质条件预报现场技术”，从超前地质预报现场采集准备、数据采集、数据处理、数据解译、数据成果的表现形式等方面详细的叙述了预报的一些主要方法、现场技术及注意事项，保证现场数据采集的可靠性，保障解释成果的准确性。

第6章“技术成果运用”，主要依托贵广铁路工程和锦屏水电枢纽辅助洞工程两个项目，通过对断层及涌水突泥预报、涌水预报、岩性分界面预报、空腔型岩溶预报等实例预报，从预报方法的选择，预报工作的实施，多种方法的成果综合分析解释以及开挖后的验证对比等方面进行了详细介绍。

本书前言和绪论由谭天元编写；第2章由叶勇、李永铭编写；第3章由叶勇、杨震中编写；第4章由文豪军编写；第5章、第6章由张伟编写。

本书校审责任人：第1章：楼加丁；第2—3章：杨彰才、杜兴忠、皮开荣；第4章：杜松、韩道林；第5章：孙永清；第6章韩道林、庄志凯。编写过程中多次相互校对，以尽量减少谬误，最后由谭天元主持定稿。

本书在编写过程中得到了主编单位贵阳院现任院长潘继录、总工程师范福平等领导的关心支持和指导；院科技信息部杨桃萍副主任等为本书的编著给予了悉心指导，并力促本书立项；院物探中心黄易承担了大量事务管理；武汉大学教育科学学院欧琦老师对本书在编排、语言修辞上悉心指导；昆明西普瑞格公司总工程师吴世林为本书提供了大量的参考资料；本书的插图由叶勇、杨震中、刘骅标完成。在此对为本书提供指导和帮助的领导、专家，表示衷心的感谢！

由于资料收集未能全面，加之作者水平所限，错漏难免，敬请读者指正！

编者

2017年10月

目 录

序一	
序二	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 隧洞工程建设中存在的主要工程地质问题	1
1.2 隧洞超前地质预报发展历史与现状	2
1.3 本书主要内容	4
第 2 章 超前地质预报理论基础	6
2.1 超前地质预报概论	6
2.2 地质学基础	7
2.3 地球物理学技术	40
第 3 章 预报方法与技术	46
3.1 地质综合分析技术	46
3.2 TSP 探测技术	52
3.3 地质雷达探测技术	60
3.4 TRT 地震反射层析成像技术	70
3.5 BEAM 探测技术	74
3.6 岩体温度法测试（红外线探测）	77
3.7 超前水平钻探	80
3.8 其他探测技术	82
第 4 章 复杂地质条件预报体系的建立	85
4.1 地质条件	85
4.2 复杂地质条件分类	86
4.3 预报的基本思路	88
4.4 预报的工艺流程	91
4.5 预报体系的建立	92
第 5 章 复杂地质条件预报现场技术	96
5.1 TSP 现场技术	96
5.2 地质雷达现场技术	111
5.3 BEAM 现场技术	117
5.4 岩体温度测试现场技术	117