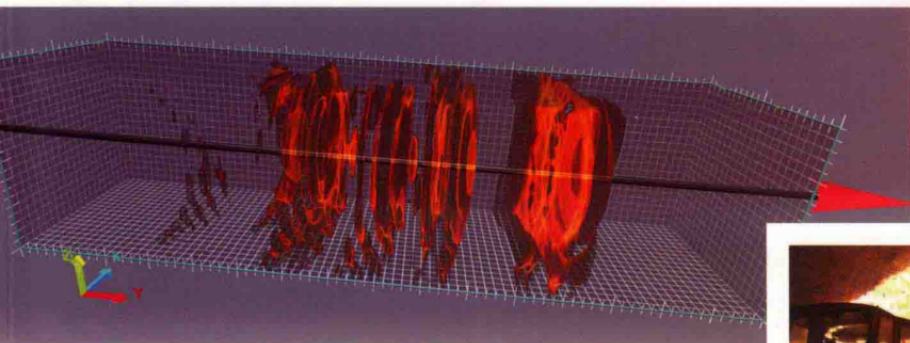


中铁科学研究院“何发亮”专家工作室资助



地质复杂隧道 施工预报研究与工程实践

何发亮 卢松 丁建芳 郭如军 李苍松 | 著



西南交通大学出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

地质复杂隧道施工预报研究与工程实践 / 何发亮等
著. —成都: 西南交通大学出版社, 2019.10
ISBN 978-7-5643-7152-4

I. ①地… II. ①何… III. ①隧道施工 IV.
①U455

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 201072 号

Dizhi Fuzha Suidao Shigong Yubao Yanjiu yu Gongcheng Shijian

地质复杂隧道施工预报研究与工程实践

何发亮 卢松 丁建芳 郭如军 李苍松 著

责任编辑	杨勇
封面设计	曹天擎
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区二环路北一段111号 西南交通大学创新大厦21楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川煤田地质制图印刷厂
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印 张	25.5
字 数	450 千
版 次	2019年10月第1版
印 次	2019年10月第1次
书 号	ISBN 978-7-5643-7152-4
定 价	98.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

作者简介

何发亮

1962年11月生，广西贺州人。1984年毕业于中山大学地质系地质学专业，理学学士，教授级高级工程师，享受国务院政府特殊津贴专家，中国铁道科学研究院博士研究生导师，中国铁路工程总公司专家、首批有突出贡献的中青年专家，中铁科学研究院有限公司首席专家、学术委员会委员、“何发亮”工作室带头人，中铁西南科学研究院有限公司副总工程师、学术委员会委员，国家科学技术进步奖、中国博士后基金项目、中国施工企业协会科学技术奖评审专家，中国施工企业协会科学技术委员会首批专家，四川省人民政府评标专家库、四川省国土资源厅地质灾害防治工作技术专家库、四川省文物局专家库、成都市文物工程评标专家库、成都市科技评估专家信息库专家，四川省咨询业协会工程地质水文地质高级咨询师，国际工程地质与环境学会（IAEG）会员，中国地质学会工程地质专委会委员，中国铁道学会标准化专业委员会地勘专业委员，中国岩石力学与工程学会地下工程分会、四川省古迹遗址保护协会理事，四川省岩石力学与工程学会理事，四川省声学学会常务理事，《中国地质灾害与防治学报》《现代隧道技术》《铁路地质与路基》编委。



历任中铁西南科学研究院有限公司（原铁道部科学研究院西南研究所、铁道科学研究院西南分院）工程地质研究室实习生、助理工程师、助理研究员、副研究员、教授级高级工程师，曾任中铁西南科学研究院有限公司工程地质研究室/岩土工程检测中心副主任，工程地质研究室/地质预报中心主任，中铁成都勘察设计院总工程师。

长期从事铁路隧道工程地质、铁路隧道围岩分级、隧道施工地质超前预报、声波探测技术应用、地质灾害防治研究及技术咨询服务和文物加固勘察

设计技术咨询服务工作，在隧道施工地质超前预报、铁路隧道围岩分级、地质灾害防治、声波探测技术及文物加固工程技术研究及应用等方面有较高的造诣，做出了突出的贡献。

30年来，主持完成：

(1) 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目“深长隧道突水突泥重大灾害致灾机理及预测预警与控制理论”第一课题“深长隧道突水突泥致灾构造及其地质判别特征方法”子项“深长隧道突水突泥致灾构造及其构成和突水突泥特征”研究。

(2) 国家 863 项目“隧道施工期大涌水等地质灾害超前实时预报系统与装备”子项“涌水灾害分级及突发性地质灾害实时预警预报及施工预案专家系统研究”。

(3) 国家自然科学基金“高压大流量岩溶裂隙水与不良地质情况的超前预报和治理”子项“岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方涌水预报研究”。

(4) 科技部“转制科研院所创新能力专项资金”项目“复杂地质隧道地质预报技术及设备系统研究”。

(5) 铁道部重大课题“岩溶地区铁路长隧道涌漏水综合治理技术研究”子项“岩溶地区铁路长隧道涌漏水规律研究”。

(6) 铁道部重大课题“TBM 施工需要的裂隙围岩等级划分及地质参数确定研究”。

(7) 声波探测技术隧道施工地质预报研究。

首次提出了岩溶地下水动力剖面分带中混流带的新概念；首次提出的岩体温度隧道施工涌水预报理论及方法，实现了隧道施工涌水预报理论和方法的重大突破；提出的 TBM 施工围岩等级划分方法，被《铁路隧道全断面岩石掘进机法技术指南》(铁建设〔2007〕106号)引用；首次系统提出了隧道施工突水突泥成灾理论及 2 类 7 种突水致灾构造、4 类 7 种突泥致灾构造、3 种隔水隔泥岩土盘类型、4 种隔水隔泥岩土盘破坏模式、间歇(阵发)突泥时间模式、致灾构造构成及治理工程适宜性分类、岩溶(废弃矿巷)充水体突水致灾构造类型转换治理新理念及以隧道开挖通过后隧道周边突水突泥致灾构造探测、隧道施工开挖揭露围岩级别确定、初期支护及二次衬砌参数调整、初期支护及二次衬砌及时施工、隧道初期支护及二次衬砌质量检测及质量问题处理、隧道围岩及初期支护变形监控量测和隔水隔泥岩土盘及突水突泥致灾构造处理为主要手段的隧道施工突水突泥灾害防控体系；提出了集浅孔岩

体温度法隧道掌子面前方含水体三维预报、HSP 声波反射层析成像法地质预报为一体的复杂地质隧道地质预报技术。

参与完成：

(1) 铁道部重大科研课题“铁路隧道工程岩体(围岩)分级研究”。

(2) 铁道部重大科研课题“大瑶山隧道工程岩体力学特性研究及F₉断层攻关”。

(3) 铁道部重大科研课题“青藏铁路察尔汗盐湖路基下盐岩溶洞探测”。

(4) 皖赣铁路下坑隧道运营监测。

作为主持人或主要完成者，获得：

(1) 2011 年国家科学技术进步二等奖 1 项(隧道含水构造等不良地质超前预报定量识别及其灾害防治关键技术)。

(2) 1995 年铁道部科技进步奖四等奖 1 项(岩溶地区铁路长隧道涌漏水综合治理技术研究)。

(3) 2001 年中国铁路工程总公司科学技术奖一等奖 1 项(TBM 施工需要的裂隙围岩等级划分及地质参数确定研究)。

(4) 2013 年中国铁路工程总公司科学技术奖一等奖 1 项(岩体温度隧道施工掌子面前方涌水预报仪研发及推广应用)。

(5) 2017 年中国铁路工程总公司科学技术奖一等奖 1 项(复杂地质隧道地质预报技术及设备系统研究)。

(6) 2010 年中国铁路工程总公司科学技术奖二等奖 1 项(岩体温度隧道施工掌子面前方涌水预报)。

(7) 2007 年中国铁路工程总公司科学技术奖二等奖 1 项(大伙房特长输水隧洞不良地质预报及施工预案研究)。

(8) 2016 年中国铁路工程总公司科学技术奖二等奖 1 项(隧道仰拱质量检测技术研究)。

(9) 2016 年成都市科学技术进步奖三等奖 1 项(隧道仰拱质量检测技术研究)。

(10) 2012 年全国建筑工程勘察一等奖 1 项(中国中铁映秀幼儿园)。

(11) 中国铁道学会铁道科技奖三等奖 1 项(岩体温度隧道施工掌子面前方涌水预报仪研发及推广应用)。

(12) 铁道科学研究院科技进步奖三等奖 1 项(铁路隧道工程岩体(围岩)分级建议)。

获实用新型专利 1 项。

参与完成的研究成果“隧道施工掌子面前方不良地质预报”获铁道部科技进步三等奖、“既有隧道地下水变化规律及其对环境生态平衡影响的评估”获铁道部科技进步三等奖。

主持完成：

- (1) 乐山大佛佛脚平台拓展工程勘察设计。
- (2) 乐山大佛载酒亭围岩加固。
- (3) 北门环境改造工程勘察设计。
- (4) 泸定铁索桥桥台病害整治工程勘察设计。

作为四川省人民政府评标专家库、四川省国土资源厅地质灾害防治工作技术专家库、四川省文物管理局专家库专家，成都市文化局专家咨询委员会文物专家库专家，参加过大量岩土工程、地质灾害防治工程及文物保护工程的勘察、设计与检测项目评标。

作为国家文物局 5·12 震后文物抢救保护专家组专家，主持和参与了大量震后文物抢救保护方案评审、咨询及竣工验收。

2002 年被评为中国铁路工程总公司首批有突出贡献的中青年专家，同时被聘为中国铁路工程总公司专家委员会专家。

2003 年被遴选为中国铁道科学研究院岩土工程专业隧道施工地质预报方向硕士研究生导师。培养并已毕业硕士研究生 5 名。

2010 年获文物系统汶川地震灾后文物抢救保护工作特别贡献奖。

2009 年 4 月，被授予 2008 年度享受国务院政府特殊津贴专家。

2012 年被遴选为中国铁道科学研究院岩土工程专业博士研究生导师。在培博士研究生 1 名。

2012 年被评为 2011 年度中国施工企业管理协会科学技术奖技术创新先进个人。

作为主要编写者，参与完成《工程岩体分级标准》(GB/T 50218—2014)、《铁路隧道超前地质预报技术规程》(Q/CR 9217—2015)、《铁路隧道超前地质预报技术指南》(铁建设〔2008〕105 号)和《铁路隧道全断面岩石掘进机法技术指南》(铁建设〔2007〕106 号)的编写。

著有《四川石窟及摩崖造像病害与治理工程实践》《隧道施工地质灾害与致灾构造及其致灾模式》《隧道工程地质学》《隧道地质超前预报》《岩体温度法隧道施工掌子面前方涌水预报》《隧道施工地质灾害与不良地质体及其预

报》《隧道工程地质与声波探测技术》和《隧道工程岩体分级》8部专著；发表了《岩体温度法隧道施工涌水预报》《TBM 施工隧道围岩分级方法研究》《隧道施工地质超前预报工作方法》《铁路隧道风险评估若干问题探讨》《岩溶地区长大隧道涌水涌泥及地表塌陷灾害预测预报技术》《铁路隧道施工地质超前预测预报技术》《隧道施工期地质超前预报技术的发展》《声波探测技术的新发展及其应用》等70余篇论文。

卢松

1985年生，江西省武宁县人，高级工程师。2010年7月毕业于中国地质大学（武汉）地球物理工程专业，获工学硕士学位，同年进入中铁西南科学研究院工程地质研究所工作，长期从事工程地质、隧道超前地质预报、工程物探工作。

主持或主要参加完成省部级以上重点科研项目6项、中铁股份公司二级公司课题3项；在TBM施工隧道超前地质预报、隧道地下水探测和声波CT探测等方面实现了多项技术突破，研究成果获中国铁路工程总公司科学技术奖一等奖4项、二等奖2项，中国铁道学会科技奖二等奖2项，中国公路学会科学技术奖二等奖1项，成都市科学技术进步奖三等奖1项，获国家实用新型专利9项，外观设计专利1项，软件著作权3项。发明专利2项，软件著作权4项，公开发表学术论文30余篇。



主要论文著作：

- 隧道超前地质预报信息化管理平台开发（公路交通技术）
- HSP法在引汉济渭TBM隧道地质预报中的应用（隧道建设）
- 地铁隧道上覆地层缺陷瑞雷波法探测（现代隧道技术）
- 弹性波CT在铁路路基病害注浆效果检测中的应用（路基工程）
- 1万焦耳电火花震源在大距离地层CT中的应用（声学技术）
- 引水隧洞复杂地质段地质超前预报综合评价（工程地球物理学报）
- 沉积微相和测井相研究及自动识别系统——以曲流河环境沉积为例（工程地球物理学报）
- 锚杆声波检测数据的S变换时频分析（声学技术）
- ZDF-3型大功率电火花震源声学特征分析（声学技术）
- 高密度电阻率法在地铁无损探测中的应用（全国工程物探与工程检测年会）
- 岩溶路基注浆加固质量无损检测方法应用研究（路基工程）
- 瑞雷面波法在地铁隧道上覆地层探测中的应用（路基工程）
- 瑞雷波法在路基岩溶注浆质量检测中的应用（铁道建筑）
- 声波CT技术在桥墩病害检测中的应用（铁道建筑）
- 瞬态面波法在岩溶路基注浆质量检测中的应用研究（铁道建筑）
- 曲流河环境沉积微相和测井相特征分析（天然气工业）
- 复杂地质隧道地下水综合预报技术探讨（中国公路）

丁建芳

1979年生，河南商丘人，教授级高工。2002年毕业于西南交通大学土木工程专业，同年进入中铁西南科学研究院工程地质研究所工作，长期从事工程地质、隧道超前地质预报、工程物探工作。

近年来主持或参加完成自然科学基金、科技部、铁道部和中国中铁课题 10 余项。在 TBM 施工隧道超前地质预报、隧道地下水探测和声波 CT 探测等方面实现了多项技术突破，获中铁工程总公司科学技术一等奖 4 项，获中国铁道学会、中国公路学会、中施企等科技二等奖 5 项，获成都市科技进步三等奖 2 项。

在《现代隧道技术》《声学技术》《工程地质学报》《工程地球物理学报》等刊物发表论文 10 余篇，参加了《岩体温度法隧道施工掌子面前方涌水预报》《隧道工程地质学》等专著的编写工作。



郭如军

1983年3月生，中铁西南科学研究院有限公司经营开发部（法律合规部）副部长、高级工程师。2008年7月，毕业于铁道科学研究院岩土工程专业，获工学硕士学位。主要从事隧道工程地质超前预报研究、物探新技术研发和技术咨询工作。

获中国铁路工程总公司科学技术奖一等奖4项、二等奖2项，中国质量评价协会科技创新优秀奖1项，铁道学会科技二等奖2项，中国施工管理协会一等奖、二等奖各1项，专利1项，软件著作权2项。



在中文核心期刊公开发表论文6篇（第一作者）。

主要论文著作：

岩体温度法隧道施工掌子面前方涌水预测预报探讨（现代隧道技术）

岩体温度法隧道施工掌子面前方含水体预报模型试验研究（现代隧道技术）

岩体温度法隧道施工掌子面前方涌水预报正、反演试验研究（现代隧道技术）

综合预报技术在隧道岩溶探测预报中的应用研究（现代隧道技术）

隧道施工突泥致灾构造及其分类（工程地质学报）

隧道施工突水致灾构造及其分类（现代隧道技术）

岩体温度法隧道施工掌子面前方涌水预报（西南交通大学出版社）

隧道工程地质学（西南交通大学出版社）

李苍松

汉族，工学博士，中铁西南科学研究院有限公司副总工程师，教授级高级工程师。1994年7月长春地质学院水文地质工程地质专业本科毕业，1997年7月长春科技大学环境水文地质专业硕士，2007年1月获西南交通大学桥梁与隧道工程博士学位。中国中铁股份有限公司青年科技拔尖人才、茅以升铁道工程师奖获得者、中国中铁股份有限公司有突出贡献的中青年专家、四川省评标专家、环境保护部环境影响评价专家库专家、中国施工企业管理协会科学技术奖评审专家、中国中铁专家、四川省学术和技术带头人后备人选、四川省有突出贡献的优秀专家。



长期从事隧道工程地质、环境水文地质及工程物探技术等研究工作，在隧道施工期地质超前预报、岩溶及地下水作用机理研究方面有较深造诣。主持或主要参加完成省部级以上重点科研项目10余项。其中，主持国家自然科学基金面上项目研究1项，主要参加完成国家自然科学基金委联合研究基金项目1项、国家863项目1项，主持横向科研课题及隧道施工地质超前预报生产项目多项。研究成果获中国铁路工程总公司科学技术奖特等奖1项、一等奖2项、二等奖4项，中国铁道学会科技奖二等奖2项，贵州公路学会科学技术奖特等奖1项，获国家发明专利2项、实用新型专利2项。

现任中国物理学会铁道分会委员，中国铁道学会标准化（地质勘察）专委会委员，中国地球物理学会工程物探专委会会员，国际环境与工程地质学会（IAEG）中国国家小组会员，中国岩石力学与工程学会四川省分会等多个省级学会会员，多次参加国内大型学术会议和技术专题会议。公开发表学术论文近100篇（第一作者近40余篇，EI收录3篇、SCI论文1篇），出版第一作者专著2部，参与编写专著4部。

前 言

隧道，指修建于地面以下地层土、石中的线性洞室，可分为交通隧道、水工隧道、市政隧道和矿山隧道。交通隧道中，穿越山区特别是穿越山脉的深埋长、特长隧道，往往是交通工程建设中的控制性工程。

我国是一个山区面积广大的国家，山区面积占全国总面积的 2/3，高原、山岭、平原、丘陵、盆地等形态各异的地形，以山脉为骨架，交错分布。

高原，指海拔高度在 500 m 以上、地势相对平坦或者有一定起伏的广阔地区。它是大面积地壳长期连续抬升的产物，或宽广平坦，或山峦起伏。

山岭，指连绵的高山。

山脉，指沿一定方向延伸、包括若干山岭和山谷组成的山体。我国广袤的国土上分布着众多的山脉，包括东西走向的天山、阴山、秦岭、南岭、大别山、大巴山、昆仑山、巴颜喀拉山、燕山、祁连山等山脉，南北走向的贺兰山、横断山、六盘山等山脉，北东—南西走向的大兴安岭、太行山、雪峰山、巫山、长白山、阿尔金山、吕梁山、武陵山、武夷山、罗霄山、幕阜山、千山、乌蒙山、台湾、五指山等山脉，北西—南东走向的喀喇昆仑山、阿尔泰山、冈底斯山、祁连山、巴颜喀拉山、小兴安岭等山脉和喜马拉雅山、唐古拉山、宁镇山等山脉。

地壳内动力地质作用造成的地壳大面积连续抬升，造就了高原的形成；地壳抬升和构造运动导致的地层褶皱、地层断裂、地块隆起和地块陷落，与包括对出露于地面岩体的风化破碎、对地面风化破碎岩体和出露于地面的构造破碎带破碎岩体的剥蚀搬运及搬运物沉积等在内的地壳外动力地质作用的共同作用，造就了山峦起伏的高原、山岭、山脉、平

原、丘陵、盆地以及江、河、湖、海。

较之于平原、盆地区受构造变动较小的广泛出露的新生届地层，以中生界、古生界和上原古届地层为主的山岭和山脉，地质条件复杂，地层褶皱严重，地层中断裂构造极为发育，地表、地下水活动强烈，可溶岩地层中岩溶强烈发育，形成了众多的可能因隧道施工接近、揭穿导致诸如突涌水、突涌泥、隧道洞内泥石流、煤与瓦斯突出、隧道围岩失稳塌方等隧道施工地质灾害发生的不良地质体-隧道施工致灾构造。

随着我国国民经济发展对交通工程建设需求的进一步提升，特别是西部交通工程建设的进一步发展，穿越山区特别是穿越山脉的深埋长、特长隧道工程建设越来越多，面临的隧道施工地质问题越来越复杂。

隧道施工遭遇不同类型的不良地质体-隧道施工致灾构造，产生不同类型的隧道施工地质灾害；不良地质体-隧道施工致灾构造在隧道施工掌子面前方及隧道开挖轮廓线外分布位置及其性质的准确的探测预报，是隧道施工提前采取合理工程措施选择在恰当时机进行包括岩土盘和不良地质体-隧道施工致灾构造处治的前提；选用针对性强的隧道施工地质预报技术进行不良地质体-隧道施工致灾构造预报，是确保隧道施工地质预报准确率的基础。

中华人民共和国成立以来，我国交通工程建设取得了迅猛的发展，尽管还不能说是隧道强国，但算得上是实实在在的隧道大国。尽管我们在隧道工程建设中取得了令世人瞩目的成就，但也遭遇了严重的隧道施工地质灾害问题。在隧道工程地质，特别是隧道施工致灾构造及其预报研究方面，我们和同行们开展了大量的工作，但距离隧道工程特别是地质复杂隧道工程建设对隧道施工致灾构造及其预报研究的高要求，仍有大量的艰苦卓绝的工作要做。因此，总结以往隧道工程地质研究，特别是隧道施工致灾构造及其预报研究和隧道施工地质预报实践的经验与教训，对于提高我国隧道施工地质预报技术水平、服务隧道工程施工，无疑具有极为重要的现实意义。

本书以复杂地质条件的形成作为开篇，从地质复杂隧道施工地质灾害与致灾构造、隧道施工地质预报技术、地质复杂隧道施工地质预报工作方法和典型复杂地质类型及其施工预报要点，论述了地质复杂隧道施工地质预报，系统介绍了中铁西南科学研究院近年来在隧道施工地质预

报技术研究和技術咨询服务方面的工作。期望对今后的地质复杂隧道施工地质预报工作有所帮助。

限于作者水平和成稿仓促，不足之处和疏漏难免，敬请各位同行提出宝贵意见，我们一定在今后的工作中加以改进。

作 者

2019 年秋于成都

目 录

第 1 篇 隧道地质复杂程度分级与复杂地质条件形成

第 1 章 绪 论	003
第 2 章 隧道地质复杂程度分级	022
2.1 隧道地质复杂程度分级目的	022
2.2 隧道地质复杂程度分级原则	022
2.3 地质复杂隧道分级	023
第 3 章 复杂地质条件形成	027
3.1 风化作用	027
3.2 剥蚀作用	029
3.3 搬运作用	029
3.4 沉积作用	031
3.5 成岩作用	038
3.6 地下水作用	040
3.7 节理（裂隙）	041
3.8 断 层	042
3.9 褶 皱	043
3.10 地壳表面的隆起及陷落	045
3.11 岩石的熔化、蚀变、变质作用	045
3.12 地震地质作用	046
3.13 负荷地质作用	046
第 4 章 复杂地质条件与中国主要构造体系	048
4.1 巨型纬向构造体系	048
4.2 经向构造体系	053
4.3 新华夏构造体系	055
4.4 山字形构造体系	055
4.5 青藏歹字形构造体系	058

4.6	构造体系联合、复合、叠合、交接和穿插造成构造体系内地质复杂化	058
4.7	构造体系中强烈的岩浆活动更加剧了地质条件的复杂程度	059
4.8	复合作用成就高山峡谷地区复杂地质条件	061

第 2 篇 地质复杂隧道地质灾害与致灾构造

第 5 章	围岩变形失稳塌方灾害与变形失稳塌方致灾构造	065
5.1	隧道施工围岩变形与变形致灾构造	065
5.2	隧道施工围岩塌方灾害	066
5.3	隧道施工塌方致灾构造	067
第 6 章	隧道施工围岩大变形与围岩大变形致灾构造	070
6.1	软 岩	070
6.2	隧道施工围岩大变形	070
6.3	隧道施工软岩大变形致灾构造	072
第 7 章	隧道施工突涌水灾害与突涌水致灾构造	074
7.1	隧道施工突涌水灾害	074
7.2	隧道施工突涌水灾害产生原因	076
7.3	隧道施工突涌水灾害危害	076
7.4	突涌水致灾构造	077
第 8 章	隧道施工突涌泥灾害与突涌泥致灾构造	081
8.1	隧道施工突涌泥灾害	081
8.2	隧道施工突涌泥灾害产生原因	081
8.3	隧道施工突涌泥灾害危害	082
8.4	突涌泥致灾构造	082
第 9 章	隧道施工瓦斯及有害气体灾害与致灾构造	085
9.1	瓦斯及有害气体	085
9.2	隧道施工瓦斯及有害气体灾害	086
9.3	瓦斯来源	087
9.4	隧道施工瓦斯及有害气体灾害致灾构造	087
第 10 章	隧道施工洞内泥石流灾害与致灾构造	089
10.1	隧道施工洞内泥石流灾害	089
10.2	隧道施工洞内泥石流产生原因	090

10.3	隧道施工洞内泥石流的危害	090
10.4	隧道施工洞内泥石流灾害致灾构造	091
第 11 章	隧道施工岩爆灾害与发生部位	092
11.1	隧道施工岩爆及其发生条件	092
11.2	隧道施工岩爆特点与危害	092
11.3	隧道施工岩爆灾害发生部位	093

第 3 篇 地质复杂隧道施工地质预报

第 12 章	地质复杂隧道施工地质预报特点、目的、必要性及内容	097
12.1	地质复杂隧道施工地质预报的特点	097
12.2	地质复杂隧道施工地质预报目的	098
12.3	地质复杂隧道施工地质预报必要性	098
12.4	地质复杂隧道施工地质预报内容	101
第 13 章	地质复杂隧道施工地质预报技术方法	103
13.1	地质调查分析法	103
13.2	超前钻孔法	105
13.3	超前导坑法	107
13.4	波反射法	108
13.5	跨孔声波透射成像法	118
13.6	地面地球物理探测法	119
13.7	岩体温度法隧道施工掌子面前方含水/水体探测涌水预报	124
13.8	激发极化法隧道施工掌子面前方含水/水体探测涌水预报	128
13.9	红外探水预报	130
13.10	瞬变电磁法	131
第 14 章	地质复杂隧道施工地质预报工作方法	133
14.1	重点预报段确定	133
14.2	预报技术方法选择与预报体系建立	134
14.3	地质复杂隧道施工地质预报实施大纲编制	136
14.4	地质复杂隧道施工地质预报实施细则编制	142
14.5	跟踪预报与相互验证	144
14.6	钻孔验证	144
14.7	洞内地质调查	144