

- 国家自然科学基金委员会、二滩水电开发有限责任公司雅砻江水电开发联合研究基金项目（项目批准号5039080）资助
- 国家高技术发展计划（863计划）项目（项目批准号2007AA11Z131）资助
- 国家“十一五”科技支撑计划（2006BAB04A06）资助

YANTI WENDUFA

SUIDAO SHIGONG ZHANGZIMIAN QIANFANG YONGSHUI YUBAO

电站尾水法

电站尾水法

何发亮 郭如军 李苍松 丁建芳 著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

- 国家自然科学基金委员会、二滩水电开发有限责任公司雅砻江水电开发联合研究基金项目（项目批准号 5039080）资助
- 国家高技术发展计划（863 计划）项目（项目批准号 2007AA11Z131）资助
- 国家“十一五”科技支撑计划（2006BAB04A06）资助

岩体温度法隧道 施工掌子面前方涌水预报

何发亮 郭如军 李苍松 丁建芳 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

岩体温度法隧道施工掌子面前方涌水预报 / 何发亮等著. — 成都: 西南交通大学出版社, 2009.4
ISBN 978-7-5643-0211-5

I. 岩… II. 何… III. 隧道工程—工程施工—涌水—预报 IV. U456.3
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 029163 号

岩体温度法隧道施工掌子面前方涌水预报

何发亮 郭如军 李苍松 丁建芳 著

责任编辑	李 涛
特邀编辑	唐 飞
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸	148 mm × 210 mm
印 张	4.562 5
字 数	108 千字
版 次	2009 年 4 月第 1 版
印 次	2009 年 4 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5643-0211-5
定 价	18.00 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，广西贺州人，中铁西南科学研究院有限公司教授级高级工程师、院副总工程师、工程地质预报中心/工程地质研究室主任、硕士研究生导师。生于1962年，1984年毕业于中山大学地质学系，主要从事隧道围岩分级、声波探测技术应用和隧道施工地质预报研究。

1995年任副研究员，2002年任教授级高级工程师，同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，是中国铁路工程总公司专家委员会专家、2008年国务院政府特殊津贴专家。

现任 IAEG 会员、中国地质学会工程地质专委会委员、中国岩石力学与工程学会地下工程分会理事、四川省岩石力学与工程学会理事兼副秘书长、四川省声学学会理事、《铁路地质与路基》编委、四川省评标专家库和四川省地质灾害评估专家库在库专家。

获铁道部科技进步奖四等奖1项、总公司科学技术奖一、二等奖各1项、铁道科学研究院科技成果三等奖1项。

主要论文著作:

《隧道地质超前预报》(西南交通大学出版社, 2006 年)

《隧道工程岩体分级》(西南交通大学出版社, 2007 年)

《隧道工程地质与声波探测技术》(西南交通大学出版社, 2005 年)

《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, 2008 年第 2 期)

《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, 2007 年第 2 期)

《隧道施工地质超前预报工作方法》(岩土工程学报, 2006 年)

《TBM 施工隧道围岩分级研究》(岩石力学与工程学报, 2002 年 9 月, 第 21 卷第 9 期)

《岩溶地区长大隧道涌水灾害预测预报技术》(水文地质工程地质, 2001 年第 5 期)

《声波探测技术的新发展及其应用》(中国铁道科学, 1999 年第 20 卷第 4 期)

《隧道施工期地质超前预报技术的发展》(现代隧道技术, 2001 年第 3 期)

《隧道施工期地质超前预报若干问题探讨》(第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集, 2004 年)

《HSP 及 CT 法隧道施工期岩溶地质预报》(隧道地质超前预报技术交流研讨会论文集, 2004 年)

《声波 CT 技术在泸定桥东桥台内部结构探测中的应用》(文物保护与考古科学, 2001 年第 13 卷第 1 期)

《泸定桥东桥台内部加固效果检测》(第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集, 2004 年)

《声波 CT 探测技术在古生物化石探测中的应用》(四川文物, 2000 年第 5 期)

作者简介



郭如军，中铁西南科学研究院有限公司工程地质预报中心助理工程师。生于1983年3月，2005年7月毕业于中国石油大学（华东）工程力学专业，获工学学士学位；2008年7月，铁道科学研究院岩土工程专业隧道施工地质预报方向研究生毕业，获工学硕士学位。主要从事隧道工程地质超前预报研究和技术咨询工作。

研究生学习期间及毕业后，先后参加了贵州镇胜高速公路五龙山、黄果树等隧道，锦屏二级水电站交通辅助洞、排水洞施工地质预报技术咨询服务，负责“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—岩体温度法隧道（洞）施工掌子面前方含水体预报”子项研究中室内模型试验和现场试验。

主要论文著作：

《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》，2008年第2期）

《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》，2007年第2期）

作者简介



李苍松，中铁西南科学研究院有限公司工程地质预报中心副主任，国际环境与工程地质学会中国国家小组会员。生于1971年，1990年9月考入原长春地质学院水文地质与工程地质系，1997年7月长春科技大学硕士研究生毕业，历任中铁西南科学研究院有限公司助理工程师、工程师、高级工程师，地质研究室、岩土工程检测中心、地质预报中心副主任。2005年11月西南交通大学桥梁与隧道工程博士毕业。

自1997年参加工作以来，作为主持或主要参加者，完成省部级以上重点科研项目6项，目前主持省部级重点科研项目1项，主持横向科研课题多项，获中铁总公司科技进步一等奖、二等奖各1项；发表论文40余篇，第一作者18篇，第二作者11篇，参与编写专著2部；在隧道施工期地质超前预报、岩溶地下水作用机理研究等方面有较深入的研究。

负责完成或正在开展的科研项目有：

铁道部重点科研课题“渝怀线圆梁山隧道高

水压富水区岩溶地下水作用机理研究”子项——“岩溶涌突水量水压预测模型研究”，2001—2003年

铁道部重点科研课题“渝怀线圆梁山隧道地质超前预报”子项——“HSP和声波CT技术在岩溶地质预报中的应用研究”，2001—2003年

TBM突破不良地质地段的地质超前预报及施工预案研究，2004—2007年

渝怀铁路武隆隧道，遂渝铁路荆竹岭隧道、龙凤隧道、桐子林隧道，都汶高速公路董家山隧道、龙溪隧道，贵州崇遵高速公路亮风垭隧道，贵城镇胜高速公路黄果树隧道、五龙山隧道等多座岩溶隧道工程施工期地质超前预报

主要论文著作：

《应用三重空隙介质理论进行圆梁山隧道岩溶涌水量及水压预测研究》(第一届全国岩土与工程学术大会论文集(下册)，2002年9月，1319~1328)

《HSP声波反射法应用于武隆隧道岩溶地质超前预报》(第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集，2004年10月，751~755)

《昆仑山隧道渗漏水连通试验研究》(现代隧道技术，2004年第5期)

《HSP声波反射法充填溶洞边界探测》(现代隧道技术，2005年第3期)

《渝怀线武隆隧道岩溶涌水量计算新方法》(中国铁道科学，2005年第5期)

《关于瓦斯隧道施工地质超前预报的探讨》(第二届全国岩土与工程学术大会论文集(上册)，2006年10月，30~36)

《岩溶围岩分级初步探讨》(工程地质学报，2006年第14卷第6期，808~814)

作者简介



丁建芳，中铁西南科学研究院有限公司工程地质预报中心工程师。生于 1979 年 12 月，2002 年 7 月毕业于西南交通大学岩土专业，获工学学士学位。主要从事隧道工程地质超前预报研究和技术咨询工作。

自参加工作以来，作为主要参加者，参与完成省部级以上重点科研项目 2 项，获中铁总公司科技进步二等奖 1 项；先后参加了遂渝铁路荆竹岭、龙凤、西山坪、桐子林隧道，崇遵高速公路凉风垭隧道，镇胜高速公路五龙山、黄果树等隧道，锦屏二级水电站交通辅助洞、排水洞，西攀高速公路徐家梁子隧道，都汶高速公路紫坪铺、龙溪等隧道，宜宾环城公路观斗山隧道的施工地质预报技术咨询服务。

主要论文著作：

《波反射技术在锚杆长度检测中的应用》（中国交通土建工程学术交流会论文集，2006 年）

《声波 CT 技术在桥梁病害评估中的应用》（声学技术，2008 年第 4 期）

自序

当今的隧道工程地质工作，进入了以隧道施工期地质超前预报和隧道施工掌子面前方地质灾害的预防和治理为标志的阶段。大量的隧道工程建设实践表明，由于地质勘察精度、经费等诸多条件的限制，根据地质勘察资料做出的设计与实际不符的情况屡有发生，特别是对隧道施工掌子面前方含水体位置的预报尚缺乏有效的方法，隧道洞内涌水及由此带来的隧道地表塌陷、水源枯竭及生态环境灾害，给隧道施工和人民生命财产造成极大的危害。在隧道施工期间，采用各种技术、手段和方法对隧道掌子面前方含水体位置进行及时准确的预报，是提前采取预防措施，避免隧道洞内涌水灾害的发生或在一定程度上减少因灾害造成的损失及保证隧道施工安全的需要，同时也是当今环境生态保护给隧道工程建设提出的重要研究课题。

20 世纪 50 年代川黔铁路凉风垭隧道工程便开展了根据隧道施工掌子面地质情况对掌子面

前方地质情况的预测预报,70年代根据矿巷施工进度和掌子面地质性状进行了矿巷前方断层及由此引发塌方预报,80年代大瑶山隧道工程采用地质结合声波探测开展了九号断层地质超前预报,军都山隧道采用超前水平钻孔开展了施工地质预报并编制了《军都山隧道快速施工超前地质预报指南》,80年代末90年代初天马山隧道工程采用地质声学法开展了隧道施工地质超前预报,近年乌鞘岭隧道工程更采用TSP法开展了施工地质超前地质预报会战。虽然隧道施工超前地质预报技术得到了长足的发展,隧道综合地质超前预报技术水平得到了一定的提高,引进、开发了一些先进的探测设备,总结出了一些理论和原则,积累了较丰富的隧道施工地质超前预报经验,但对隧道施工掌子面前方含水体即涌水位置的预报,基本采用的是物探结合地质方法进行,成功率低,亟待发现更加有效的方法。

2006年底,由国家自然科学基金委员会、二滩水电开发有限责任公司以雅砻江水电开发联合研究基金项目——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(项目批准号5039080)资助开展相关研究,其中岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体预报子项研究由中铁西南科学研究院有限公司承担。

应该说,本书是中铁西南科学研究院有限公司岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体预报研究课题组全体同事历经4年的研究成果。

在课题的立项及研究过程中,得到了前辈陈成宗研究员、王石春研究员的大力支持和悉心指导,丁建芳工程师、于维刚工程师、廖烟开助理工程师等在课题研究中做了大量的工作,隧道洞内岩体温度测试钻孔最佳深度试验研究工作得到了中铁五局集团贵州镇(宁)胜(境关)高速公路西段五龙山隧道项目部特别是刘建正高级工程师、北京振冲工程股份

有限公司刘文元教授级高级工程师的大力支持，锦屏现场试验研究工作得到了二滩水电开发有限公司、华东勘测设计研究院及有关施工单位的鼎力协助，在此向他们表示崇高的敬意和深深的谢意。

在本书的成稿过程中，谷婷工程师、李其凤助理工程师在资料的收集和图件的整理方面做了大量的工作，在此一并致谢。

由于作者水平有限，错漏在所难免，敬请各位同仁批评指正。

作 者

2008 年 12 月于成都

目
录

1 绪 论	1
1.1 岩体温度法隧道（洞）施工掌子面前方含水体预报定义	1
1.2 开展岩体温度法隧道（洞）施工掌子面前方含水体预报研究的意义	2
1.3 隧道（洞）施工掌子面前方含水体预报的技术方法	3
1.4 岩体温度法隧道（洞）施工掌子面前方含水体预报及应注意的问题	12
2 隧道（洞）施工掌子面前方含水体	14
2.1 岩溶含水体	14
2.2 向斜地下盆地含水构造	18
2.3 密集节理破碎和构造破碎 岩体含水带	19
2.4 与含水构造单元相连的 构造破碎带	20

3	隧道(洞)内岩体温度测试影响因素研究	22
3.1	区域地温场	22
3.2	地层岩石的热传导特性	23
3.3	地层岩体中节理裂隙(包括断层)发育分布状态及岩石的渗透性	26
3.4	地形效应	26
3.5	隧道(洞)内施工的干扰	27
3.6	地下热流	28
4	隧道(洞)内岩体温度测试钻孔深度试验研究	30
4.1	五龙山隧道工程简况及洞内钻孔岩体温度测试断面布置	30
4.2	测温元件的选择、标定和温度测试仪的研制	31
4.3	隧道岩体温度测试布置	34
4.4	孔内不同深度岩体温度测试试验及测试结果分析	36
5	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	41
5.1	模型制作	41
5.2	模型试验	42
5.3	试验结果	43
5.4	试验结果分析	50
5.5	隧道施工掌子面前方含水体空间分布与岩体温度变化曲线的关系	51
5.6	隧道施工掌子面前方含水体距隧道施工掌子面的距离	54

6 岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体 预报现场试验研究	57
6.1 锦屏水电站工程概况	57
6.2 已知条件(隧道洞内涌水点位置)下的岩体温度 测试试验(正演试验)研究	59
6.3 未知条件下的岩体温度测试试验 (反演试验)研究	61
6.4 岩体温度法隧道施工掌子面前方含水体及 涌水判别准则	67
7 含水体大小与岩体温度变化关系理论研究	69
7.1 不同岩石体的热传导特性	69
7.2 不同温度含水体对岩石体温度影响范围	71
7.3 含水体大小与岩体温度变化关系研究	72
7.4 结 论	75
8 岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体预报	76
8.1 岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体 预报理论	76
8.2 岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体 预报工作方法	78
8.3 岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体 预报关键	84
8.4 岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体 预报的优势	85
8.5 岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体 预报报告及其提交	86
8.6 验 证	87

9 岩体温度综合法隧道施工掌子面前方含水体及涌水预报	88
9.1 重点预报段的确定	89
9.2 物探方法的选择和掌子面前方界面的探测	93
9.3 界面位置及界面间介质性质预报	99
9.4 洞穴（包括管道、溶缝等）位置地质雷达探测预报	105
9.5 探测成果分析	106
9.6 岩体温度测试	107
9.7 综合分析	108
9.8 预报报告的内容及报告的提交	109
9.9 验证	110
10 隧道施工涌水量及水压预报	111
10.1 涌水量预报	111
10.2 水压预报	119
11 展 望	121
参考书目	122

1 绪 论

随着我国国民经济的迅猛发展及其对能源、交通建设事业的需求,特别是对环保型能源的需求,作为前沿产业的交通、水电建设近年来得到较大的发展。四川汶川“5·12”特大地震对震区道路工程破坏的事实证明,作为道路工程重要组成之一的隧道工程具有较强的抗震能力,是今后西部地震区道路工程建设中首先要注意的问题。可以预计,今后几年甚至十几年,交通、水电建设仍将作为带动国民经济发展的重要的基础产业;越来越多的长大、深埋铁路和公路隧道及水工隧洞将穿越 20 世纪五六十年代被前辈们视为隧道建设禁区的复杂地质地区,隧道(洞)施工过程中可能遇到的地质灾害将越来越复杂,其中隧道(洞)施工涌水灾害将对长大、深埋隧道(洞)工程建设造成极大的危害,甚至对工程建设的成败起到至关重要的决定作用;因隧道洞内涌水诱发的隧道上方地表水源枯竭造成的地表生态环境破坏,也是在日益重视生态环境保护的今天所不允许的。因此,在以人为本、人地协调、构建和谐社会的今天,作为隧道(洞)施工地质预报重要内容的隧道(洞)施工掌子面前方含水体的预报,在今后的长大、深埋铁路和公路隧道及水工隧洞施工中,将起到越来越重要的作用。

1.1 岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水 水体预报定义

严格地说,岩体温度法隧道(洞)施工掌子面前方含水体