

中铁科学研究院“何发亮”专家工作室资助



# 隧道施工 地质不确定性

何发亮 卢松 李春林 李富明 肖洋 | 著



西南交通大学出版社

---

图书在版编目 ( C I P ) 数据

隧道施工地质不确定性 / 何发亮等著. —成都:  
西南交通大学出版社, 2021.3

ISBN 978-7-5643-7958-2

I. ①隧… II. ①何… III. ①隧道施工-不确定性  
IV. ①U455

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 271188 号

---

Suidao Shigong Dizhi Buquedingxing

## 隧道施工地质不确定性

何发亮 卢 松 李春林 李富明 肖 洋 著

---

责任编辑	韩洪黎
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	<a href="http://www.xnjdcbs.com">http://www.xnjdcbs.com</a>
印 刷	四川煤田地质制图印刷厂
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印 张	14
字 数	240 千
版 次	2021 年 3 月第 1 版
印 次	2021 年 3 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-7958-2
定 价	88.00 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 F<sub>9</sub> 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《地质复杂隧道施工地质预报研究与工程实践》《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》9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，江西武宁人，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，获国家发明专利2项、实用新型专利9项，外观设计专利1项，软件著作权4项，公开发表学术论文30余篇。



## 李春林

1983年生，湖北浠水人，高级工程师。2008年7月毕业于成都理工大学岩土工程专业，获工学硕士学位，同年进入中铁西南科学研究院有限公司工作。长期从事隧道工程、工程地质、隧道超前地质预报工作。

主持或主要参加完成中铁股份公司课题6项；在隧道围岩稳定性、隧道超前地质预报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二等奖2项，贵州省公路学会科学技术奖二等奖1项，中国施工企业管理协会科学技术奖二等奖1项，获实用新型专利2项，软件著作权2项，公开发表学术论文10余篇。



## 李富明

1986年生，四川双流人，高级工程师。2012年7月毕业于中国铁道科学研究院岩土工程专业，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。长期从事隧道工程地质、隧道超前地质预报、岩土工程咨询工作。

主要参加和完成科技部课题1项、股份公司重点课题3项，主持完成技术咨询项目6项。研究成果获中国铁道学会铁道科技三等奖1项，中国铁路工程总公司科学技术奖一等奖1项、二等奖1项，四川省机电冶煤工会优秀奖1项。获实用新型专利1项，软件著作权1项，发表论文5篇。



## 肖 洋

1987年生，四川南部人，高级工程师。2013年7月毕业于中国铁道科学研究院岩土工程专业，获工学硕士学位，同年进入中铁西南科学研究院工作。长期从事工程地质、隧道超前地质预报工作。

主要参加完成中铁股份公司重点课题4项；在隧道超前地质预报方面实现了技术突破，研究成果获中国铁路工程总公司科学技术奖一等奖1项，中国铁道学会科技奖三等奖1项，中国施工企业管理协会科技奖二等奖1项，获实用新型专利1项，软件著作权1项，参编行业协会标准1项，公开发表学术论文10余篇。



## 前 言

每每看到隧道工程施工事故责任调查报告中或“地质不清”或“实际地质与设计不符”的结论，面对当下隧道初步设计阶段、施工图设计阶段、施工阶段风险评估报告中以“地质不确定性”对隧道施工可能遭遇风险的原因一语概之和“地质不确定性”似乎成了隧道施工地质灾害发生罪魁祸首的现状，作为一个长期从事隧道工程地质研究的学者，心里总有话要说的感觉。

2017年6月，随中国代表团出席在挪威卑尔根举行的世界隧道大会，听完时任国际隧道与地下空间协会（ITA）主席哈坎·斯蒂尔（Hakan Stille）的“隧道工程中地质不确定性-风险评估与质量保证”报告，再一次催生了要就“地质不确定性”发声的愿望。

较之以地壳地质条件形成历经的数十亿年，隧道工程施工的几年甚至是几十年，不过是地壳地质条件形成漫漫长河中的一个点。尽管我深信，“5·12”汶川特大地震，确确实实改变了当时都（江堰）汶（川）公路都（江堰）映（秀）段高速公路和映（秀）汶（川）段二级公路在建隧道穿越位置的地质条件，但我更愿意相信，只要在隧道施工期间没有地震发生的条件下，隧道穿越位置的地质条件是不会改变的。隧道穿越位置的地质条件就摆在那里，正是因为隧道工程地质勘察造成的对隧道断面穿越位置及隧道开挖轮廓线外一定距离范围内存在的、因隧道施工开挖接近揭穿可能导致隧道施工地质灾害发生的不良地质体的遗漏，根据隧道工程地质勘察成果确定的隧道断面穿越位置及隧道开挖轮廓线外一定距离范围内存在的、因隧道施工开挖接近揭穿可能导致隧道施工地质灾害发生的不良地质体位置、性质及规模的偏差，隧道施工开挖揭穿通过隧道开挖断面内存在的不良地质体因暴露状态及性质的改变，当然还有隧道施工开挖接近可能导致隧道施工地质灾害发生的不良地质体前包括安全岩土盘留置、岩土盘加固及不良地质体本身处治在内的不良地质体处治或滞后或过弱或失当，才导致了隧道施工地质灾害的发生。

任由隧道工程施工事故责任调查中让地质背锅的现象继续、一味喊冤叫

屈，于事无补。作为隧道工程地质工作者，厘清“地质不确定性”的定义，找出“地质不确定性”产生的原因，探讨“地质不确定性”与隧道施工风险及隧道施工地质灾害的关系，提出“地质不确定性”问题的解决方法，才是我们的责任和义务。无论是从对今后隧道工程施工事故责任认定考虑，还是为避免隧道施工地质灾害发生、减少施工地质灾害损失、确保隧道施工安全考虑，“地质不确定性”问题的解决，将具有重要的现实意义。

本书以“不确定或不确定性与地质不确定或不确定性”开篇，从“地质条件的形成及其改变”“隧道施工地质不确定性与隧道施工风险”“隧道施工地质不确定性与隧道施工地质灾害”和“隧道施工地质不确定问题及其解决”等方面，论述了隧道施工地质不确定性，期望对今后的隧道施工地质工作、隧道风险评估工作有所帮助。

限于作者水平和成稿仓促，不足之处及疏漏难免，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

2020年冬于成都

# 目 录

绪 论	1
0.1 严重的隧道施工地质灾害	1
0.2 隧道施工地质灾害事故调查以“地质不确定”让地质背锅	7
0.3 隧道施工地质不确定或不确定性研究现状	9

## 第 1 篇 不确定或不确定性与地质不确定或地质不确定性

第 1 章 不确定或不确定性	15
1.1 不确定或不确定性定义	15
1.2 不确定或不确定性分类	16
1.3 不确定性分析	17
1.4 不确定性规避	17
第 2 章 地质不确定或不确定性	19
2.1 地质不确定或不确定性的定义和产生原因	19
2.2 地质不确定或不确定性的分类及其依据	23
2.3 地质不确定或不确定性及其带来风险的规避	25

## 第 2 篇 地质条件的形成及其改变

第 3 章 地质条件的形成	31
3.1 地球的形成	31
3.2 地质条件的形成	31
3.3 地质作用	32
第 4 章 地质条件的改变	81
4.1 人类生产活动及其诱发地质灾害对地壳表面及地壳浅表层的改造	81

4.2	地壳运动及其对地壳的改造 .....	87
4.3	地震与地震诱发地质灾害及其对地壳的改造 .....	89
4.4	地壳外动力地质作用及其对地壳表面及浅表层的改造 .....	90
4.5	不良地质体暴露后状态及性质的改变 .....	91

### 第3篇 隧道施工地质不确定性与隧道施工风险

第5章	隧道施工地质不确定性 .....	99
5.1	隧道工程及其工程地质勘察特点 .....	99
5.2	隧道特别是长大深埋隧道、下穿江河湖海隧道址区复杂的地质条件 .....	101
5.3	隧道施工地质与隧道施工地质不确定或不确定性 .....	121
5.4	隧道施工地质不确定或不确定性的分类及其依据 .....	124
第6章	隧道施工风险与隧道施工地质不确定 .....	126
6.1	风险与风险管理 .....	126
6.2	隧道施工风险及其管理 .....	126
6.3	隧道施工风险与隧道施工地质不确定 .....	127
6.4	隧道施工风险接受准则 .....	130
6.5	因隧道施工地质不确定引发的隧道施工风险应对措施及其构成 ..	131

### 第4篇 隧道施工地质不确定性与隧道施工地质灾害

第7章	隧道施工地质灾害 .....	139
7.1	隧道施工围岩塌方 .....	139
7.2	隧道施工围岩大变形 .....	140
7.3	隧道施工突涌水 .....	142
7.4	隧道施工突涌泥 .....	143
7.5	隧道施工洞内泥石流 .....	143
7.6	隧道施工突涌砂 .....	144
7.7	隧道施工煤与瓦斯突出、瓦斯燃烧爆炸 .....	144
7.8	隧道施工岩爆 .....	145
7.9	隧道洞内施工地质灾害诱发地面地质灾害 .....	146

第 8 章	隧道施工不良地质体介质构成及其工程特性 .....	149
8.1	不良地质体 .....	149
8.2	隧道施工不良地质体及其类型 .....	149
8.3	隧道施工不良地质体介质构成及其工程特性 .....	151
第 9 章	隧道施工地质不确定性与隧道施工地质灾害 .....	157
9.1	不良地质体事实存在而勘察遗漏导致的隧道施工地质灾害 .....	157
9.2	不良地质体位置偏差导致的隧道施工地质灾害 .....	159
9.3	不良地质体多重性质及性质错误导致的隧道施工地质灾害 .....	159
9.4	不良地质体规模偏差导致的隧道施工地质灾害 .....	160
9.5	不良地质体暴露后状态性质改变导致的隧道施工地质灾害 .....	160

## 第 5 篇 隧道施工地质不确定性问题及其解决

第 10 章	不良地质体遗漏型地质不确定问题及其解决 .....	166
10.1	不良地质体遗漏型地质不确定 .....	166
10.2	不良地质体遗漏型地质不确定问题产生的原因 .....	166
10.3	不良地质体遗漏型地质不确定问题解决 .....	168
第 11 章	不良地质体位置偏差型地质不确定性问题及其解决 .....	172
11.1	不良地质体位置偏差型地质不确定 .....	172
11.2	不良地质体位置偏差型地质不确定问题产生的原因 .....	172
11.3	不良地质体位置偏差型地质不确定问题的解决方法 .....	174
第 12 章	不良地质体多重性质及性质错误型地质不确定性问题 及其解决 .....	176
12.1	不良地质体多重性质及性质错误型地质不确定 .....	176
12.2	不良地质体多重性质及性质错误型地质不确定问题的 产生原因 .....	178
12.3	不良地质体多重性质及性质错误型地质不确定问题的 解决方法 .....	183
第 13 章	不良地质体规模偏差型地质不确定问题及其解决 .....	185
13.1	不良地质体规模偏差型地质不确定 .....	185
13.2	不良地质体规模偏差型地质不确定问题产生原因 .....	185
13.3	不良地质体规模偏差型地质不确定问题的解决方法 .....	187

第 14 章	不良地质体暴露后状态及性质改变型地质不确定问题 及其解决	189
14.1	不良地质体暴露后状态及性质改变型地质不确定	189
14.2	不良地质体暴露后状态及性质改变型地质不确定问题的 产生原因	190
14.3	不良地质体暴露后状态及性质改变型地质不确定问题的 解决方法	191

## 第 6 篇 隧道施工掌子面前方不良地质体探测

第 15 章	隧道施工掌子面前方不良地质体及其分布位置探测	195
15.1	隧道施工掌子面前方不良地质体探测	195
15.2	隧道施工掌子面前方不良地质体分布位置探测	197
第 16 章	隧道施工掌子面前方不良地质体含水富水充水性探测	199
16.1	隧道施工掌子面前方不良地质体含水富水充水后致灾 构造性质的改变	199
16.2	隧道施工掌子面前方不良地质体含水充水性探测	200
第 17 章	隧道施工掌子面前方不良地质体物质构成探测	204
17.1	不良地质体物质构成与不良地质体性质	204
17.2	隧道施工掌子面前方不良地质体物质构成探测现状	204
17.3	隧道施工掌子面前方不良地质体物质构成探测方法及其 探测内容	205