

何发亮 李苍松 陈成宗 | 编著

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50539080）资助

隧道地质 超前预报

SUIDAO DIZHI
CHAOQIAN YUBAO



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 50539080)资助

隧道地质超前预报

何发亮 李苍松 陈成宗 编著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

隧道地质超前预报 / 何发亮, 李苍松, 陈成宗编著.
成都: 西南交通大学出版社, 2006.10
ISBN 7-81104-325-4

I. 隧... II. ①何...②李...③陈... III. 隧道工程—工程地质—预报 IV. U452.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 058037 号

隧道地质超前预报

何发亮 李苍松 陈成宗 编著

| | |
|---------|---|
| 责任编辑 | 刘莉东 |
| 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 | 170 mm × 230 mm |
| 印 张 | 13.375 |
| 字 数 | 270 千字 |
| 版 次 | 2006 年 10 月第 1 版 |
| 印 次 | 2006 年 10 月第 1 次印刷 |
| 书 号 | ISBN 7-81104-325-4 |
| 定 价 | 35.00 元 |

图书如有印装问题 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,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,地质预报中心/工程地质研究室室主任,硕士研究生导师。生于1962年11月,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超前预报研究。

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。

现任 IAEG 会员、中国地质学会工程地质专委会委员、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。

获铁道部科技进步奖四等奖1项、总公司科学技术奖一等奖1项、铁道科学研究院科技成果三等奖1项。

主要论文著作:

《隧道工程地质与声波探测技术》(西南交通大学出版社,2005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)

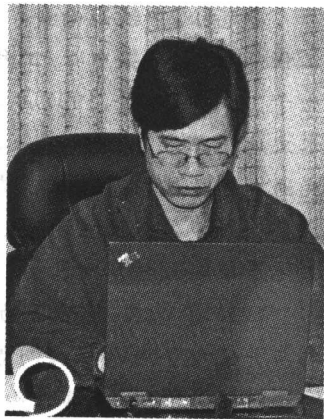
隧道施工期地质超前预报若干问题探讨(第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集,2004年)

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)

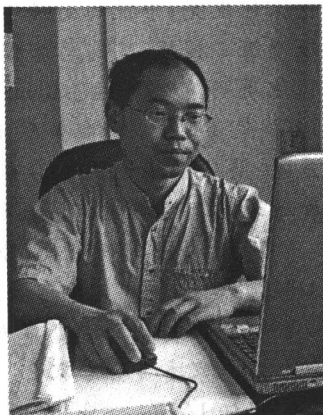
泸定桥东桥台内部加固效果检测(第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集,2004年)

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

李苍松, 中铁西南科学研究院有限公司高级工程师, 地质预报中心/工程地质研究室副主任。生于1971年8月, 1997年毕业于长春地质学院水文地质工程地质学专业, 硕士学位, 现为西南交通大学桥梁与隧道工程专业在读博士研究生。主要从事声波探测技术、隧道地质灾害和隧道施工地质超前预报研究。



1997年以来, 作为现场负责人和项目负责人参与并完成了深圳坪西高等级公路雷公山隧道, 渝怀铁路武隆隧道、圆梁山隧道、甘溪沟隧道, 遂渝铁路荆竹岭隧道、西山坪隧道和龙凤隧道, 贵州崇遵高速公路凉风垭隧道, 镇胜高速公路黄果树等6座隧道, 都汶高速公路及二级路董家山等5座隧道, 西攀高速公路徐家梁子隧道等施工地质预报研究和现场试验。

获中国铁路工程总公司科学技术奖一等奖1项。

主要论文著作:

HSP 声波反射法充填溶洞边界探测(现代隧道技术, 2005年)

武隆隧道岩溶地质超前预报综合技术(水文地质工程地质, 2005年)

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)

岩溶地区铁路工程地质研究(铁道工程学报, 2005年)

昆仑山隧道渗(漏)水水力联系及水动力参数试验研究(地球与环境, 2005年)

昆仑山隧道渗漏水连通实验研究(现代隧道技术, 2004年)

长大岩溶隧道施工地质预报方法综述(中国交通土建工程学术暨建设成果论文集, 2003年)

长大岩溶隧道围岩特性初步研究(现代隧道技术—隧道及地下工程分会第12届年会论文集)

作者简介

陈成宗, 中铁西南科学研究院有限公司研究员, 地质预报中心/工程地质研究室资深技术顾问。生于1935年8月, 1955年毕业于南京大学工程地质学专业, 主要从事岩体工程特性、声波探测技术、隧道地质灾害和隧道施工地质超前预报研究。

早在上世纪五十年代, 作为隧道工程地质勘察和配合施工技术人员, 即在当时我国第一铁路长隧道—川黔铁路凉风垭隧道采用地质法开展隧道施工掌子面前方地质预测工作。

1990年被评为铁道部有突出贡献的中青年专家, 1991年享受政府特殊津贴是中国铁路工程总公司专家委员会专家。

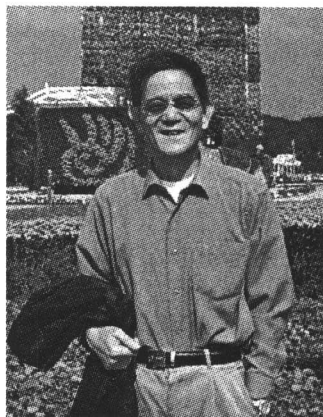
曾任国际岩石力学学会会员、IAEG会员、中国地质学会工程地质专委会第3~6届副主任委员、中国岩石力学学会第1、2届理事。

获国家科技进步二等奖、铁道部科技进步奖一等奖1项, 铁道部科技进步奖四等奖2项, 国家文物局科技进步二、三等奖各1项。

主要论文著作:

《岩体声波探测技术》(中国铁道出版社, 1990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)



作者自序

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。隧道工程设计的基本依据是地质勘察资料，而隧道施工的依据主要是设计文件。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，由此而来的隧道洞内塌方、涌水、涌泥、涌沙、岩爆、瓦斯爆炸等灾害时有发生，给隧道施工造成极大的危害。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地质条件(情况)进行及时准确的预测，是提前采取预防措施、避免灾害的发生或在一定程度上减少因灾害造成的损失、保证隧道施工的安全的需要，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。

自 20 世纪 50 年代川黔铁路凉风垭隧道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，到 70 年代根据矿巷施工进度和掌子面地质性状进行的矿巷前方断层及由此引发塌方预报；自 80 年代大瑶山隧道九号断层地质超前预报、军都山隧道施工地质预报及《军都山隧道快速施工超前地质预报指南》、80 年代末 90 年代初天马山隧道地质声学法隧道施工地质超前预报，直至近年乌鞘岭隧道 TSP 施工地质超前地质预报会战和其他公路、铁路隧道施工地质超前预报，均有了长足的发展。及时引进、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。

1991 年由中国地质学会工程地质专业委员会发起，中国地质学会工程地质专业委员会、中国铁道工程学会工程地质及路基专业委员会、中国

水力发电工程学会地质及勘探专业委员会及中国金属学会岩石力学专业委员会曾联合召开了“地下工程建设中地质灾害的预测预报方法及防治学术讨论会”。2004年,针对即将开工的宜万铁路隧道可能遭遇前所未有的岩溶地质灾害,由铁道部工程管理中心主办、中铁西南科学研究院承办了隧道地质超前预报技术交流研讨会。两会交流、研讨了隧道及地下工程建设中地质灾害的发生规律、预测预报方法,总结了隧道及地下工程中地质超前预报和地质灾害防治的经验和教训,为当今隧道施工地质超前预报技术的发展和水平的提高起到了积极的推动作用。

但近年来,片面强调并强行规定使用某一种物探设备进行施工地质超前预报、忽视了隧道施工期地质工作,由于缺乏地质工程师靠几个毫无地质基础知识的仅仅经过仪器操作和分析软件使用培训的人员便开展隧道施工地质预报及这种片面理解隧道地质超前预报的现象普遍存在,更有甚者,期望隧道施工地质超前预报仪器如同傻瓜照相机、只需要几个经过使用操作培训的高中生便可开展隧道施工地质超前预报的言论仍不时可以听到,有时甚至出自某些专家。

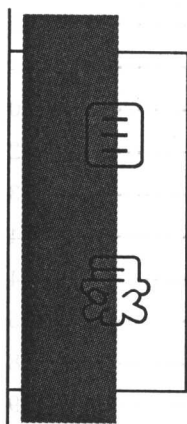
作者长期从事隧道施工地质超前预报工作,出于总结经验及汲取教训、澄清时下某些对隧道施工地质超前预报有关问题的偏见、纠正时下某些对隧道施工地质超前预报工作的错误认识的目的,编著出版本书。

应该说,本书是中铁西南科学研究院有限公司工程地质室暨地质预报中心全体同事数十年来在隧道地质预报研究和生产实践方面成果的一个总结,其中有王石春研究员、张可诚研究员,高长翟副研究员、齐贺年副研究员、陈光中副研究员等老一辈工程地质工作者的无私奉献,也有粟健研究员、谷明成教授级高级工程师的辛勤工作,同时也包含了丁建芳工程师、于维刚助理工程师、廖烟开助理工程师等年轻一代的努力,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,谷婷助理工程师、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。

2006年5月于成都



| | | |
|----------|---|----|
| 1 | 隧道地质超前预报概论 | 1 |
| 1.1 | 定 义 | 1 |
| 1.2 | 开展隧道地质超前预报的必要性 | 2 |
| 1.3 | 隧道地质预报的特点 | 6 |
| 1.4 | 国内外现状 | 7 |
| 1.5 | 隧道地质超前预报的主要内容 | 9 |
| 2 | 铁路隧道施工地质超前预测、预报技术进展 | 10 |
| 2.1 | 预报内容的扩展、技术方法的完善 | 10 |
| 2.2 | 仪器多样化和分析处理软件专业化 | 11 |
| 2.3 | 隧道地质预报研究及实践取得的重大进展 | 12 |
| 2.4 | 以地质法为基础，以地球物理探测方法为手段的隧道 综合地质超前预报方法成为隧道工程界的共识 | 21 |
| 3 | 隧道地质超前预报方法分类及主要方法简介 | 23 |
| 3.1 | 分类的作用 | 23 |
| 3.2 | 预报分类的方法 | 25 |
| 3.3 | 预报分类 | 25 |
| 3.4 | 隧道地质超前预报主要方法简介 | 30 |
| 4 | 隧道地质超前预报工作方法 | 33 |
| 4.1 | 资料收集、勘察成果整理分析、熟悉设计文件、资料 和图纸 | 33 |
| 4.2 | 补充地质调查 | 35 |
| 4.3 | 洞内地质调查和掌子面地质素描 | 36 |

| | | |
|----------|--------------------------------|------------|
| 4.4 | 物探方法的选择和现场实施掌子面探测 | 40 |
| 4.5 | 探测成果分析 | 44 |
| 4.6 | 隧道工程岩体分级 | 50 |
| 4.7 | 预报报告的内容及报告的提交 | 52 |
| 4.8 | 验证 | 53 |
| 5 | 隧道地质 | 54 |
| 5.1 | 岩类 | 54 |
| 5.2 | 地层 | 56 |
| 5.3 | 地质构造 | 58 |
| 5.4 | 地下水 | 59 |
| 5.5 | 特殊岩类及其工程地质特性 | 60 |
| 5.6 | 岩层、节理面、断层产状 | 61 |
| 5.7 | 不同结构类型岩体水文地质特征、变形破坏特征及主要工程地质问题 | 62 |
| 5.8 | 不同地质构造与隧道组合的主要工程地质问题 | 64 |
| 5.9 | 特殊工程地质问题 | 70 |
| 6 | 隧道地质灾害、预报及其处理 | 76 |
| 6.1 | 隧道地质灾害类型 | 76 |
| 6.2 | 隧道地质灾害成因 | 77 |
| 6.3 | 地质灾害预报 | 79 |
| 6.4 | 隧道地质灾害处理 | 83 |
| 7 | 隧道地质超前预报方法 | 88 |
| 7.1 | 地质法地质超前预报 | 88 |
| 7.2 | 超前水平钻孔法 | 90 |
| 7.3 | 超前导坑(平行导坑、隧道)法 | 91 |
| 7.4 | 波反射法隧道施工期超前地质预报 | 93 |
| 7.5 | 声波透射法及CT层析成像法 | 110 |
| 7.6 | 地震波反射层析成像法 | 112 |
| 8 | 隧道涌水预报 | 116 |
| 8.1 | 隧道涌水水压预测 | 116 |
| 8.2 | 涌水量预测计算 | 118 |
| 8.3 | 涌水位置预测预报 | 124 |
| 9 | 隧道地质超前预报若干问题的讨论 | 127 |

| | | |
|-----------|---------------------------|------------|
| 9.1 | 地质工作在隧道地质超前预报中的作用 | 127 |
| 9.2 | 地质与物探的结合 | 130 |
| 9.3 | 界面位置探测结果的产状修正 | 131 |
| 9.4 | 隧道施工期地质超前预报的准确率 | 132 |
| 9.5 | 预报与预报探测设备仪器 | 134 |
| 9.6 | 隧道地质超前预报存在的问题与展望 | 135 |
| 10 | 典型预报实例 | 136 |
| 10.1 | 圆梁山隧道毛坝向斜区岩溶涌水水压预测预报..... | 136 |
| 10.2 | 遂渝铁路武隆隧道岩溶涌水水量预测预报..... | 145 |
| 10.3 | 矿巷位置预报..... | 164 |
| 10.4 | 岩溶预报..... | 175 |
| 10.5 | 断层及其破碎带探测预报..... | 193 |
| 10.6 | 煤层位置探测预报..... | 198 |
| | 参考文献 | 199 |



隧道地质超前预报概论

1.1 定 义

严格意义而言，广义的隧道地质超前预报指根据隧道洞内外地质调查、掌子面素描及隧道开挖揭示的洞身围岩条件的变化趋势、洞内外构造相关分析结果，或采用地球物理探测手段对隧道施工掌子面进行探测，运用地质学、数学、物理学、逻辑学、概率论、计算机科学等各学科知识，结合预报人员经验，对隧道工程可能遇到的各种不良地质体及因此可能发生的各种地质灾害的性质、分布位置、规模的判断和预报，并根据判断和预报结果提出应采取地质灾害预防和处理的措施。因此，隧道地质超前预报包括隧道工程可行性研究阶段、勘察设计阶段和施工阶段的预报。

隧道工程可行性研究阶段的地质超前预报是根据所收集的资料对隧道施工可能遇到的各种不良地质体及由此可能发生的地质灾害的预判断。

隧道工程勘察设计阶段的地质超前预报是根据勘察资料及研究成果，对隧道施工可能遇到的各种不良地质体及由此可能发生的地质灾害的性质、分布位置、规模的判断，并反映在隧道工程设计文件中。

隧道工程施工阶段的地质超前预报是根据隧道开挖揭示的洞身围岩条件的变化趋势和采用各种地球物理探测手段对隧道施工掌子面前方地质情况的探测结果，结合洞内外地质调查、掌子面素描结果和预报人员地质经验，对隧道施工掌子面前方可能遇到的不良地质体及由此可能发生的地质

灾害的性质、分布位置、规模的预测。

应该指出的是,涌水量及涌水水压预测预报是隧道地质超前预报的重要内容之一。

狭义的隧道地质超前预报是指隧道施工期地质超前预报。

1.2 开展隧道地质超前预报的必要性

隧道工程设计的基本依据是地质勘察资料,而隧道施工的依据主要是设计文件。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,由此而来的隧道洞内塌方、涌水、涌泥、涌沙、岩爆、瓦斯爆炸等灾害时有发生,从而给隧道施工造成极大的危害。因此,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地质条件(情况)进行及时准确的预测,是提前采取预防措施、避免灾害的发生或在一定程度上减少因灾害造成的损失、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。

一般而言,隧道在勘测设计各阶段,对隧道地质背景(条件)进行的地质调查、勘探,是对隧道地质条件的预估和预评价。对地质条件单一的短隧道而言,这一工作已足以提供设计与施工所需,无须在施工期实施超前预报工作,或只需在施工阶段采用地质法进行常规地质预报工作,完成施工地质资料的收集,建立完整的隧道工程地质资料。

近年来随着我国国民经济的飞速发展和隧道工程技术的进步和铁路隧道工程建设在以前的“地质禁区”修建,隧道修建越来越长,在复杂地质条件下修建的隧道越来越多,所遇到的隧道工程地质问题越来越复杂。因此,对下列情况应进行地质超前预报,特别是施工期地质超前预报。

- (1) 深埋长大隧道。
- (2) 地质复杂的隧道。
- (3) 水下隧道。
- (4) 可能存在大断层、岩溶、大量涌水涌泥、岩爆、废弃矿巷、瓦斯突出等严重工程地质灾害的隧道。
- (5) 可能因开挖造成环境生态破坏的隧道。

(6) 覆盖层太厚、植被良好不易进行地质调查和勘探的隧道，等等，则应进行地质超前预报，特别是施工期地质超前预报。

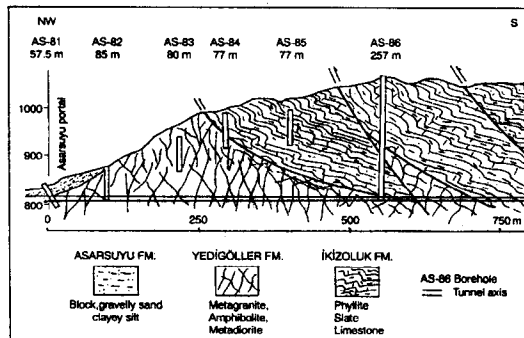
其原因：

- ① 勘测设计阶段的地质工作量投入所限。
- ② 勘测设计阶段的地质预估预评价是对隧道所处地质背景的宏观把握，不可能对复杂的地质情况做出微观的把握。
- ③ 复杂长隧道的地质变化对施工方法及工期有决定性影响。
- ④ 人为作用（施工开挖）引起地质的变化只有在施工期才显现出来。
- ⑤ 施工期要求对地质的掌握不能只是停留在定性评价上，要有定量的评价。

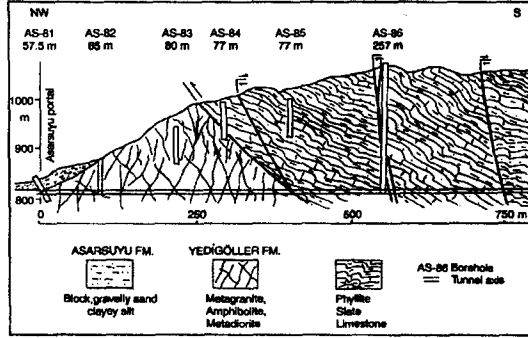
⑥ 作为地质工作的全过程的组成部分，是隧道施工根据实际地质、水文条件变化及时调整施工方法和采取相应技术措施的需要，是完善设计地质资料、优化施工方案、指导施工决策和保证施工人员和设备的安全的需要，也是隧道运营阶段地质灾害治理的依据。

在我国，由于可行性研究阶段和勘察阶段投入的限制，依据既有地质资料和有限的钻孔地质资料、水文地质资料、物探资料及钻孔岩芯岩石物理力学试验资料所做出的施工设计与实际不符的情况不在少数，特别是在火成岩地区的隧道工程更是如此。

即便在国外，尽管可行性研究和勘察工作深度远较国内深，且勘察阶段进行了大量的地球物理勘探，但设计与实际不符的情况仍在所难免。图 1-1 是土耳其伊斯坦布尔几座高速公路隧道和几座排污隧道设计与实际地质剖面对比情况。

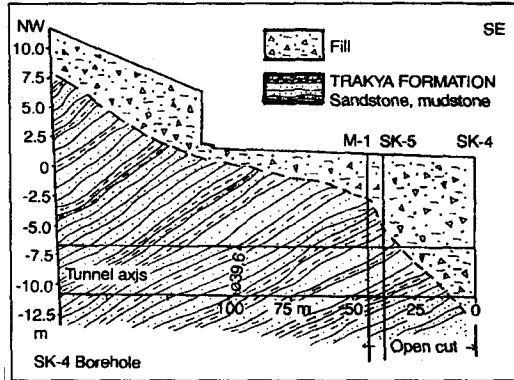


预测地质断面

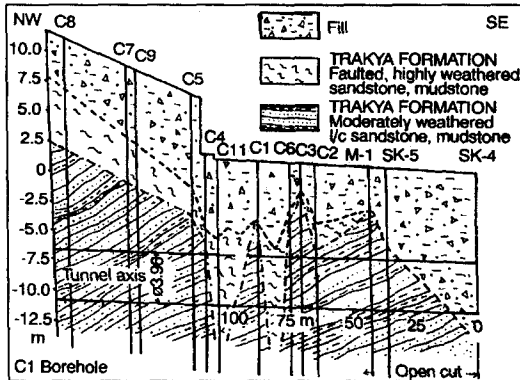


实测地质断面

(a) Bulu 隧道

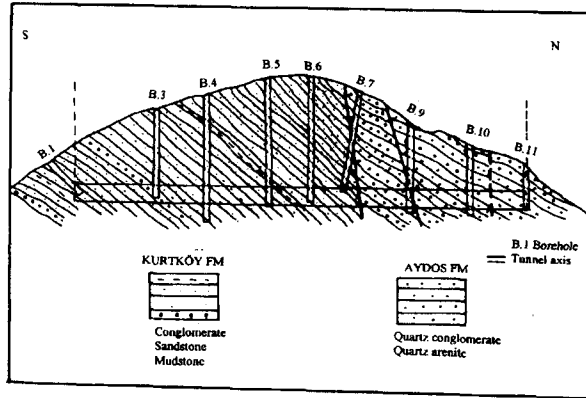


预测地质断面

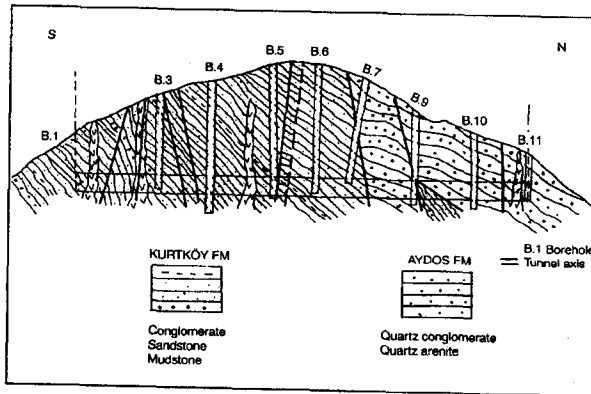


实测地质断面

(b) Moda 废水隧道

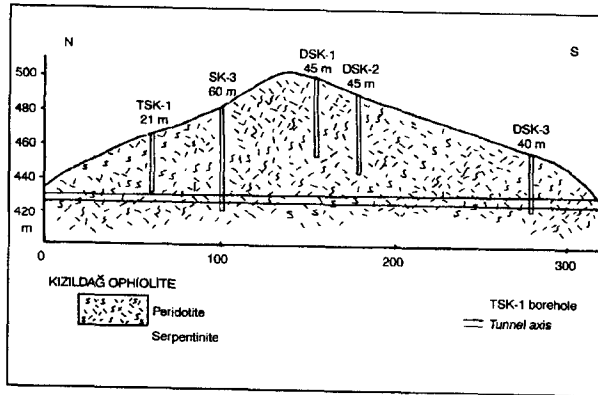


预测地质断面图

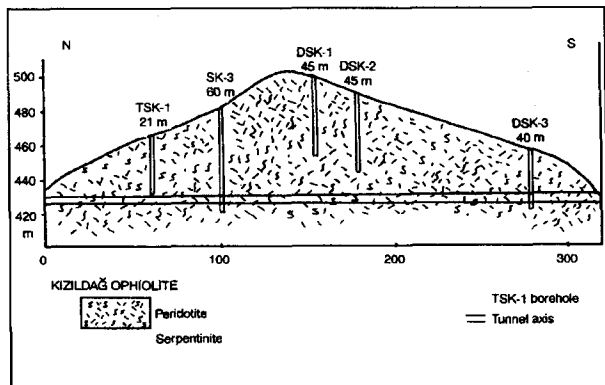


实测地质断面图

(c) Beykoz 隧道



预测地质剖面图



实测地质剖面图

(d) Yayladagi 隧道

图 1-1 土耳其伊斯坦布尔几座隧道设计与实际地质剖面对比

1.3 隧道地质预报的特点

由于隧道施工期地质预报是在隧道施工阶段采用各种方法、手段对隧道施工掌子面前方业已存在的但未知的地质条件做出科学的正确判断。因此，隧道施工期地质预报具有较强的综合性、系统性、未知性、实用性（指导性）和客观性。

(1) 综合性。学科、专业的相互渗透、相互融合是现代科学发展的重要趋势。隧道地质预报也不例外，除了需要博采地质学各专业之长，还要广泛汲取诸如数学、物理学、概率论、计算机科学等相关学科的理论，在预报实施中采用多种方法、手段，要熟练掌握各种地球物理探测方法的使用原理、适用条件，要对各种隧道地质灾害的预防、治理措施有较系统和深入的认识。

(2) 系统性。隧道地质预报的对象——地质体非常复杂，软夹层、断层及其破碎带、煤系地层、岩溶及其充填物、废弃矿巷及其充填物，等等，需要对其宏观分布、微观性质等进行全面系统的研究，以准确揭示其分布规律。

(3) 未知性。隧道掌子面前方地质体的分布、性质，在施工开挖揭示前是未知的，施工开挖后的变化也是未知的，需要通过科学的预测法