

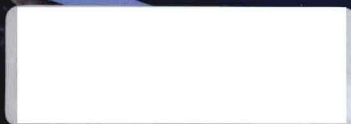


“十二五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

中铁隧道勘测设计院有限公司

隧道超前地质预报技术指南

张先锋 等 编著



人民交通出版社
China Communications Press



“十二五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

中铁隧道集团有限公司

隧道超前地质预报技术指南

张先锋 等 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书结合一些成功范例详细介绍了隧道超前地质预报的理论基础、预报大纲的编制原则、超前地质预报在各种地质条件下的实施要点。全书共分七章,内容包括:绪论、隧道超前地质预报概论、隧道超前地质预报工作的基本原则、隧道超前地质预报方案设计、隧道超前地质预报实施及其常用方法和综合预报实例。

本书可供隧道工程相关技术人员阅读使用,也可供高等院校相关专业学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

隧道超前地质预报技术指南/张先锋

等编著. —北京:人民交通出版社, 2013. 3

ISBN 978-7-114-10070-3

I. ①隧… II. ①张… III. ①隧道工程—工程地质—
预报 IV. ①U452.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 213553 号

书 名: 隧道超前地质预报技术指南

著 作 者: 张先锋 等

责任编辑: 卢 珊

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市盛通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 15.75

字 数: 369 千

版 次: 2013 年 3 月 第 1 版

印 次: 2013 年 3 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10070-3

定 价: 89.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



中铁隧道勘测设计院有限公司系列丛书

编 委 会

主 任 张先锋

副 主 任 杜道龙 王洪勇 宋 仪 徐福东 朱世友 张 存
吕剑英 李彦军 王社成 赵晋友

委 员 (按姓氏笔画排序)

王 宁 王怀东 王昌洪 韦秀燕 刘卫国 刘永中
刘建飞 孙俊利 孙晓科 邢永辉 闫高翔 张金伟
张美琴 杨军生 杨祝华 陈长江 陈海军 陈 燚
周书明 周华贵 段悟哲 费曼利 贺维国 徐玉峰
袁真秀

本书编委会

主 编 张先锋

副 主 编 王洪勇 李彦军 闫高翔

参 编 杨军生 袁真秀 侯爱君 韦秀燕 许亚军 詹龙飞
贾祥雨 李立功 马克利 杨仁春 余林辉 于 强
赵 鹏 田洪义 韩振武 赵正蓉 焦 娟

序

隧道工程修建的重点和难点之一是对拟穿越的围岩特性进行了解。受自然地质条件的影响,围岩经常发生塌方、突涌水、涌泥沙等突发性地质灾害,这给隧道施工带来极大阻碍。而目前国内外地质勘察的精度都满足不了施工过程中对不良地质情况的准确预见,因此造成了许多重大地质灾害,影响了地下工程建设工期,甚至成为隧道能否安全建成并运营的关键。隧道建设迫切需要能够准确预报施工前方地质条件的科学技术方法,从而科学地指导施工。随着人类对自然界认识水平的提高,科学技术的不断发展,超前地质预报技术作为一门学科逐渐兴起,在一定程度上对预防地质灾害的发生起到了积极作用。

国外在20世纪40、50年代就开展了隧道施工超前地质预报工作,日、法、英、前苏联、德、美等国早已将其列为隧道工程建设必须开展的工作之一。我国隧道施工超前地质预报研究开始于20世纪50年代末,正式应用于隧道工程建设始于20世纪70年代。20世纪80年代以来,由于铁路建设大发展的需要,铁路系统各设计院、科研单位均对隧道施工超前地质预报技术进行了研究与实践。进入21世纪,隧道施工超前地质预报技术在国内得到了飞速发展。以渝怀铁路圆梁山隧道、宜万铁路各岩溶隧道为代表,科研人员针对施工中存在的岩溶、高压突泥涌水、软弱破碎带等工程地质问题,开展了以地质分析为基础,弹性波反射、电磁波反射、红外探测等物探方法与超前钻孔探测相结合的综合超前地质预报方法的探索,奠定了目前超前地质预报的基本思路与方法,为隧道安全施工起到了保驾护航的作用。

超前地质预报是地质勘察工作在施工阶段的延续,是涉及物理探测、地质、钻探、试验等多专业的一个综合学科。在施工中进行超前地质预测预报工作,既是保证施工安全的需要,也是保证工期、节约工程造价的需要。

作为一项超前的安全施工措施,超前地质预报可以降低地质灾害发生的几率,确保隧道施工安全。进行超前地质预报,可进一步查清因前期地质勘察工作的局限而难以探查的、隐伏的重大地质问题,能够提前了解开挖面前方围岩的地质情况,并在施工中有针对性地采取预防措施,由此,便能够有效防止突泥、涌水、涌沙、坍方等地质灾害的发生,从而避免或减少由此造成的人员及设备的损伤。

超前地质预报还可作为动态设计基础资料的获取手段,进而保证设计的质量。通过地质预报,可以获知开挖面前方存在的特殊地质现象,以及岩层的物理性质和力学参数,为设计支护参数的合理变更提供必要的依据。

超前地质预报能够及时了解隧道前方围岩存在的地质情况,提前对软弱岩层进行预加固,合理变更施工参数,确保隧道连续掘进,防止灾害发生,基于此,须将其作为必要工序列入施工组织之中,保证隧道安全、顺利建成。

在长期的理论研究与现场大量应用实践过程中,超前地质预报综合配套理论和应用,已成为中国中铁隧道集团有限公司、中铁隧道勘测设计院有限公司的一项核心技术。超前地质预报技术的实施,具有广泛的适用性,在隧道超前地质预报策划实施中,要根据隧道的工程情况与水文地质条件选择不同的超前地质预报方法。预报方法的选择,既要考虑预报技术人员的技术条件、仪器设备的保有量、现场的施做条件等因素,也要结合隧道的地质条件复杂程度、设备对隧道地质条件的适用性等因素。中铁隧道勘测设计院有限公司在工程实践中总结出了多层次、多手段的综合超前地质预报方法,并将其贯穿于施工全过程。

中铁隧道勘测设计院有限公司在施工超前地质预测预报领域已形成了一套较为完善的理论体系。本书是对隧道超前预报技术进行的一次系统全面的概括总结,对预报技术的基础理论、设计、施工、管理进行了全面的论述,在一定程度上为隧道超前地质预报技术人员提供了操作的方法、依据和实例。希望本书的出版能够在不断巩固现有技术水平的基础上,促使广大技术工作者大胆探索、积极攻关,在技术进步与仪器研发领域再上新台阶,为我国的隧道建设作出更大的贡献。

中国工程院院士



2012年2月

前言

本书为中铁隧道设计院有限公司系列丛书之一,是为有效指导隧道施工超前地质预报工作编写的,论述的主要内容有:绪论、隧道超前地质预报技术概论、隧道超前地质预报工作的基本原则、隧道超前地质预报方案设计、隧道超前地质预报实施和超前地质预报常用方法及综合预报实例。本书阐述超前地质预报工作在地下工程施工过程中对安全的重要作用,详细介绍了超前地质预报的理论基础、预报大纲的编制原则、超前地质预报在各种地质条件下的实施要点,并通过一些成功范例为有效开展超前地质预报工作提供参考。

本书按内容分为四部分。第一部分绪论主要介绍了开展隧道超前地质预报工作的重要意义及写作由来;第二部分(第一章至第四章)主要论述了超前地质预报技术的产生、发展过程,超前预报方案设计及超前预报实施要点;第三部分(第五章)论述了超前地质预报各种方法的理论基础及操作要点;第四部分(第六章)介绍了国内铁路建设中的重、难点及隧道在建设过程中利用超前地质预报技术解决重大不良地质问题的范例。

全书由张先锋任主编,王洪勇、李彦军、闫高翔任副主编。具体编写分工如下:绪论由李彦军编写,第一章由闫高翔、袁真秀编写,第二章由侯爱君、李立功编写,第三章由韦秀燕、余林辉编写,第四章由杨军生、袁真秀编写,第五章由王洪勇、李彦军、杨军生、闫高翔、许亚军、詹龙飞、贾祥雨编写,第六章由杨仁春、马克利、赵鹏、田洪义、于强等编写。全书图片由中铁隧道勘测设计院有限公司各超前地质预报项目部绘制。

西南交通大学王磊教授对本书的编写提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中的缺点、错误在所难免,热忱欢迎读者提出批评和指正。

编者

2011年12月

目录

绪论	1
第一章 隧道超前地质预报概论	3
第一节 隧道超前地质预报的意义	3
第二节 隧道超前地质预报发展状况	5
第三节 隧道超前地质预报的特点及主要内容	6
第四节 隧道超前地质预报方法	8
第五节 隧道超前地质预报存在的问题与研究方向	11
第二章 隧道超前地质预报工作的基本原则	14
第三章 隧道超前地质预报方案设计	16
第一节 设计依据	16
第二节 设计原则	17
第三节 设计内容及要求	20
第四章 隧道超前地质预报实施	21
第一节 隧道超前地质预报实施大纲编制	21
第二节 隧道施工超前地质预报施作	23
第三节 隧道超前地质预报技术的理论基础	26
第四节 超前地质预报技术的物探理论	32
第五章 隧道超前地质预报常用方法	35
第一节 工程地质调查法	35
第二节 超前水平钻孔法	42
第三节 超前导洞(坑)法	61
第四节 TSP 探测法	62
第五节 地质雷达法	89
第六节 高分辨电法	113
第七节 红外探测法	124
第八节 其他物探方法	142
第六章 综合预报实例	160

附录..... 222

 附录 A 地质年代表 222

 附录 B 地层符号 223

 附录 C 第四系沉积成因分类符号 226

 附录 D 土和岩石图例 227

 附录 E 全新活动断裂分级 229

 附录 F 矿物硬度表 229

 附录 G 岩土体工程分级基本条件 230

 附录 H 岩土施工工程分级 232

 附录 I 隧道围岩分级 233

参考文献..... 236

编后记..... 238

绪论

在隧道建设中,对工程地质及水文地质条件的认知和掌握程度是确保隧道快速、安全修建的决定性因素之一。隧道超前地质预报技术就是在分析既有地质资料的基础上,采用地质调查、物探、超前地质钻探、超前导洞(坑)等手段,对隧道开挖工作面前方的工程地质与水文地质条件及不良地质体的工程性质、位置、产状、规模等进行探测、分析判释及预报,并提出技术措施建议。在以往的隧道建设中,地质预报技术运用较少,且手段单一,对隧道施工指导作用极其有限。2003年,世界性地质难题——渝怀铁路圆梁山隧道胜利贯通。在圆梁山隧道的施工过程中,利用综合超前地质预报技术,成功准确地预报出了宽大断层、大型溶洞、岩溶突泥突水、石油天然气等诸多地质难题,为隧道的最终胜利贯通起到了保驾护航的作用。由此,铁路隧道综合超前地质预报技术愈来愈引起铁道部、隧道各参建方及社会各界的高度重视。

超前地质预报技术是地质勘察工作在施工阶段的延续,是在复杂地质情况、工程安全事故多发条件下,为满足施工安全的需要而新兴的一门学科,是工程地质学的一部分,是覆盖物理探测、地质、钻探、试验等专业的一个综合学科。超前地质预报技术的实施具有广泛的适用性,在隧道超前地质预报策划实施中,要根据隧道的工程与水文地质条件选择不同的超前地质预报方法。目前国内外采用的超前地质预报方法主要分为地质分析法、超前导洞(坑)预报法、超前钻探预报法、物探方法四种。地质分析法包括地质素描法、地层分界线及构造线地下和地表相关性分析法、地质作图法、数码成像技术、位移向量分析法等;超前导洞(坑)预报法包括平行导坑法、正洞导坑法;超前钻探预报法包括深孔水平钻探(需要时孔内摄影)、5~8m加深炮孔探测;物探方法包括地震波反射法、声波反射法、地质雷达、红外探测、跨孔CT、高分辨率电法、声监测法、电测法、核磁共振法、陆地声呐法、TRT真地震反射成像技术、水平声波剖面法(HSP)、TST超前预报技术、地震负视速度法等。

隧道超前地质预报方法的选择,既要考虑预报技术人员的技术条件、仪器设备的保有量、现场的施作条件因素,也要结合隧道的地质条件复杂程度、设备对隧道地质条件的适用性等因素。目前国内外在现场方案制订中,方法选择的依据主要有地质条件复杂程度与在隧道地质条件下适用哪种方法两个因素。在长期的理论研究与现场实践过程中,中铁隧道勘测设计院有限公司确定了超前地质综合预报的方法组合原则,即坚持隧道洞内探测与洞外地质勘探相结合、地质方法与物探方法相结合、多种物探方法相结合、物探方法与超前水平钻探相结合、辅助导坑与主洞探测相结合,开展多层次、多手段的综合超前地质预报,并贯穿于施工全过程。

近十年来,在施工超前地质预测预报领域取得了卓越成绩。①参与了多项铁路、公路、水利水电隧道及地下储气库工程的超前地质预报工作。包括:衡广铁路复线大瑶山隧道

(14.295km)、渝怀线圆梁山隧道(11.068km,被地下工程界公认为“具有世界性难题的隧道”,涌水量高达 $14.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,水压高达 4.9MPa)、龙厦线象山隧道(15.898km)、宜万新建铁路线野三关隧道(13.841km)、襄渝Ⅱ线新大巴山隧道(10.638km)、新疆铁路吐库二线 SK2 标段中天山隧道(22.467km)、厦深铁路大南山隧道(12.679km)、西格二线关角隧道(32km)、山西中南部铁路通道南吕梁山隧道(23.441km)、厦门翔安海底隧道(我国修建的第一座海底隧道)等几十座长大复杂隧道及汕头 LPG 地下储气洞库工程(我国修建的第一座地下大型储气洞库工程)的超前地质预报工作。内容涉及岩溶高压富水、突水突泥、硬岩岩爆、软岩变形、煤层瓦斯突出、放射性、采空区、特殊岩土等多种复杂地质课题,累计完成隧道工程约 200km,在建约 300km。②创造了大批超前地质预报科研成果。吸引了一大批科研、生产人才,培养了一批中青年专家,共发表相关论文逾百篇。参与完成的“高压、富水、岩溶特长隧道修建技术”研究,获得河南省科技进步一等奖,“直流电法三极超前探测在隧道内超前探水的应用研究”获得科技进步二等奖。带动了全国几十家相关单位开展此项工作。在总体上达到了国内领先水平,并形成了一套较为完善的理论体系。2006 年,铁道部建设管理司委托对“铁路隧道工程超前地质预报技术”开展技术攻关,进行科学研究。经过技术人员艰苦努力,2007 年 10 月,“铁路隧道工程超前预报技术”研究通过建设管理司鉴定验收,与会专家认为该技术达到国内领先水平。之后,建设管理司又委托在此研究成果基础上,主持编写《铁路隧道超前预报技术指南》(铁建设[2008]105 号)。该指南已于 2008 年 8 月 1 日起施行。该指南填补了国内隧道及地下工程领域超前预报专项技术标准的空白。至此,隧道超前预报技术做到了有章可循。目前,铁路、公路、市政、水利等诸多行业的隧道施工中,隧道超前预报技术的开展,基本都以《铁路隧道超前预报技术指南》(铁建设[2008]105 号)为基础。③积极开展了国际间交流合作。2009 年,派遣多名技术骨干赴瑞士参观考察了瑞士安伯格技术公司,并与之签订战略合作协议,就 TSP 技术的发展开展合作。2010 年,安伯格技术公司派遣技术人员在中铁隧道院贵广项目工地进行了三大岩类的测试,并与技术人员进行了交流。

中铁隧道勘测设计院有限公司经多年的技术创新和实际应用,已将隧道超前地质预报技术发展为中国中铁隧道集团有限公司、中铁隧道设计院的一项核心技术。为进一步引导相关工程技术人员将该方法正确应用于隧道领域,由中铁隧道院院长张先锋发起,众多同仁附议,应对隧道超前预报技术进行一次系统全面的概括总结,以满足科研和生产的需要。

基于此,中铁隧道院总结多年的工程实践经验和理论研究成果,历时一年,完成此部专著,对预报技术的基础理论、设计、施工、管理进行全面的论述。希冀此书对相关从业人员起到一定的指导和借鉴作用。

第一章

隧道超前地质预报概论

第一节 隧道超前地质预报的意义

一、隧道超前地质预报的必要性

随着我国国民经济和社会的高速发展,铁路、公路、水利等关系到国计民生的基础建设迎来了新的建设高潮。特别是在铁路建设方面,以客运专线、高速铁路为主的铁路建设更是掀起了前所未有的新高潮,四纵四横、区域城际轨道交通及重要路段客运专线相继开工或即将开工建设,部分区段已建成并投入运营。

“逢山凿洞,遇河架桥”,隧道作为道路的重要工程,在项目中所占比例越来越大。在目前已建设的铁路工程中,隧道工程所占比例一般在 20%~30%,有的高达 50%以上。隧道工程的规模也在不断扩大,长度大于 10km 的隧道随处可见。在建的大瑞铁路中,最长的高黎贡山隧道达到了 39.6km。

随着隧道工程的广泛应用,建设过程中遇到的地质条件也越来越复杂,曾经被认为是隧道修建难以逾越的禁区的高压富水岩溶隧道、过江隧道、过海隧道等相继建成。

但在这些复杂地质条件隧道成功建成的同时,建设过程中安全事故时有发生,隧道建设安全形势严峻。由于受勘探技术水平、工期、资金等限制,对隧道所处地区的工程地质条件及水文地质条件了解不清,经常会因遇到大规模断层、软弱围岩、溶洞暗河、高地应力、采空区、松散堆积体、有害气体等不良地质体而导致塌方、涌水、突泥、岩爆冒顶、瓦斯爆炸等地质灾害发生。这些灾害的出现,轻则影响施工进度,导致施工工期延长,工程投资增加;重则造成人员伤亡,给国家和人民生命财产带来巨大损失。如雅砻江锦屏二级电站地质探洞施工中曾三次遇到大规模高压涌水,造成施工设施被冲毁,地表泉水被疏干,使用该泉水发电的电站被迫关闭;衡广复线南岭隧道施工,多次发生涌水突泥,导致地表塌陷,井水枯竭,河水断流;2005 年,都汶公路某隧道施工发生瓦斯爆炸,造成 44 人死亡,11 人受伤;2006 年 1 月,宜万铁路某隧道发生突水、突泥,突水总量约 18 万 m^3 ,事故造成 10 人死亡,1 人失踪;2006 年 6 月,大理至丽江铁路某隧道发生局部塌方,致使正在进行施工作业的一台挖掘机和一名驾驶员被困,经紧急抢救,被困驾驶员获救;2007 年 3 月,甘肃静宁隧道施工发生坍塌,造成 3 死 5 伤,附近村民房屋倒塌;2007 年 4 月,太中银铁路某隧道发生塌方,塌方量约 8 m^3 ,造成 4 人死亡,1 人受伤;2007 年 8 月,宜万铁路某隧道发生突水、突泥,总突水量约 15 万 m^3 ,突泥量 5.4 万 m^3 ,事故造成 3

人死亡,7人失踪。

分析上述事故发生的原因,除了在隧道建设施工过程中存在安全防范意识不强、安全管理体系运行不良等管理缺陷外,最重要的还是没能查明隧道所处地区的工程地质及水文地质条件,特别是可能引起重大地质灾害的重大不良地质隐患。

隧道所处地区的工程地质条件及水文地质条件难以完全查明的原因有如下两个原因。

(1)深埋长大隧道、过江过海等水下隧道、穿越岩溶区等复杂地质条件隧道的修建越来越广泛,隧道修建所遇到的地质问题越来越复杂。由于人们对地球认知还存在一定局限,再加上我国幅员辽阔,各地地质条件变化差异很大,这就在客观上决定了不可能完全查明隧道所处地区的工程地质条件与水文地质条件。

(2)隧道勘察受勘察手段及勘察技术水平所限,同时受经费、工期、地形条件等因素影响,勘察工作量投入及勘察精度有限,勘察仅能做到对隧道所处的地质背景进行宏观把握,不可能对地质情况作出微观的把握。

针对隧道施工可能遇到的重大不良地质情况,如何从源头上消除或降低发生安全事故的风险?理论上认为,一是通过优化选线方案对重大不良地质地段予以绕避;二是对于无法绕避或绕避代价太大的重大不良地质地段,通过加强勘察投入,以详细查明其规模、性质及对施工的影响程度,从而在源头上消除或降低发生安全事故的风险。

但是,即便在国外,勘察工作投入力量与勘察精度远比国内大,灾害性地质事故的发生仍难完全避免。日本东海道干线旧丹那隧道施工时,曾遭遇6次大规模高压突涌水,致使该隧道施工工期严重滞迟,建设工期长达16年之久;日本的万之赖川引水隧道,施工时遇到严重涌水,致使5次改变施工方案,工期延误近2年;穿越阿尔卑斯山的辛普伦隧道,施工时发生大规模涌水,涌水量达 $13.4\text{m}^3/\text{s}$,水温高达 $47\sim 56^\circ\text{C}$ 。

现实情况表明,要在勘察阶段完全查明隧道施工可能遇到的所有重大不良地质问题,存在着一定的难度。

如何弥补隧道勘察精度的不足,最大限度地查明隧道的工程地质及水文地质条件,减少隧道施工中地质灾害的发生及降低灾害损失,从而确保隧道施工安全成为隧道工程施工的难点。随着科技的进步,隧道施工超前地质预报技术作为一门新兴学科逐渐发展起来。

隧道超前地质预报是指通过地质调查、钻探、物探等探测手段获得的隧道掌子面前方的地质信息,以地质学理论为基础,借助于物理学、数学、逻辑学、计算机科学等多学科手段,通过综合分析判断,对隧道施工可能遇到的岩体的工程特性和分布位置作出判断,并给出指导施工意见的一门新兴学科。此技术可进一步探明开挖面前方围岩地质情况,有效弥补因前期地质勘察工作的局限而难以探查的隐伏的重大问题。因此,在隧道施工中开展超前地质预报十分必要。

二、隧道超前地质预报的重要作用

1. 为安全施工创造条件

通过超前地质预报,可及时发现开挖面前方地质异常情况,对于可能引起隧道涌水、突泥、突气等重大不良地质情况的,可以及早采取有针对性的施工措施及制订可行的应急预案,从而避免和减少地质灾害损失,为安全施工创造条件。

2. 为信息化设计提供基础地质资料

超前地质预报可对开挖面前方不良地质体的位置、产状及其围岩结构的完整性与含水性进行预测,以此为正确选择支护参数和优化施工组织提供依据。

3. 为编制竣工文件和运营维护提供基础资料

系统的超前地质预报工作,既可对开挖面前方的地质条件进行探测,又可对隧道开挖揭露的实际地质情况进行详实客观的记录,这为编制完整、客观地反映隧道实际地质状况的竣工文件提供了基础资料,为将来的运营维护提供了第一手资料,同时也为地区类似工程提供了可借鉴的宝贵地质资料。

综上所述,开展有效的超前地质预报工作,可指导隧道安全科学施工,从而提高施工效率,节约工程投资。

第二节 隧道超前地质预报发展状况

国外早在 20 世纪 40 年代就开展了隧道施工超前地质预报工作,日、法、英、前苏联、德、美等国早已将其列为隧道工程建设必须开展的工作。目前,超前水平钻孔法主要用于水工隧道的施工超前地质预报工作,国外应用已较为普遍,如英吉利海峡隧道、日本青函海底隧道,均大量采用了超前水平钻孔进行施工超前地质预报工作。日本在 20 世纪 80 年代末开始了采用物探方法进行超前地质预报工作的研究。

我国隧道施工超前地质预报研究开始于 20 世纪 50 年代末,正式应用于隧道工程建设始于 20 世纪 70 年代。

大秦线一期工程军都山隧道采用地质分析法在隧道施工超前地质预报方面进行了大量的工作,取得了较好的效果;西康线秦岭隧道采用超前平行导洞(坑)法,利用二线隧道施工所得的岩体资料对一线隧道将要遇到的岩体状况进行预测,为一线隧道掘进机的施工提供了科学的依据。我国也一直致力于采用物理探测方法进行施工超前地质预报的研究。早在瑶山隧道、南岭隧道、军都山隧道和其他一些隧道的施工中,就采用物探方法进行了超前地质预报的试验和研究。如在大瑶山隧道施工中首次成功地采用了钻孔声波测井及跨孔声波透射法超前探测,同时结合超前导坑以及洞内素描和赤平投影等方法进行隧道超前地质预测预报;在军都山隧道施工过程中,采用以地质素描为基础配合钻速测试和声波测试,进行掌子面前方短距离超前地质预报;采用声波反射法,在侯月线云台山隧道 1 号揭煤点、南昆线康牛隧道 DK555+801 断层、四川巴彭公路铁山隧道及深圳坪西一级公路雷公山隧道施工中开展的超前地质预报工作,均取得了较理想的效果。

进入 21 世纪后,隧道施工超前地质预报技术在我国取得了飞速发展。以渝怀铁路圆梁山隧道施工为代表,针对该隧道施工中存在的岩溶、高压突泥涌水、软弱破碎带等工程地质问题,施工中开展了以地质分析(地质素描为主)为基础,弹性波反射(TSP 探测法)、电磁波反射(地质雷达法)、红外探测等物探方法与超前钻孔探测相结合的综合超前地质预报方法,奠定了目前超前地质预报的基本思路与方法。

隧道施工地质超前预报技术方法基本经历了这样几个发展阶段:地质分析法阶段→超前平行导洞(坑)法阶段→超前水平钻孔法阶段→超前钻孔声波测井及跨孔声波透射阶段→综合

超前地质预报阶段。我国施工地质超前预报工作在大力开展的同时,也带动了施工超前地质预报技术手段的发展。

在仪器设备方面,地质分析法、超前导洞(坑)法和超前水平钻孔法基本沿用了地质工作中的地质素描、地面地质调查及相关分析方法,前两者仅仅采用了地质工作中最简单的工具——罗盘、铁锤和放大镜,后者则采用了地质勘察工作中最常用的工具——钻机和钻速测定仪,当然也不可避免地要使用隧道施工机具;超前钻孔声波测井及跨孔声波透射法中,钻孔施工主要利用了钻孔凿岩台车,声波测孔可利用超前水平钻孔方法的设备,预报实施采用了孔中发射接收换能器、声波信号采集系统——声波测定仪,及声波信号储存系统——便携式计算机;综合超前地质预报法广泛应用了现代化测试仪器,包括:信号采集系统——声波测定仪、地震仪(TSP系列测定仪等)、地质雷达测定仪、瞬变电磁仪、高分辨电法仪等,及信号储存系统——高性能便携式计算机,实现了信号采集系统的计算机控制和信号储存计算机化,改变了早期探测原始波形、波谱照相储存、数据现场判读、记录的状况。

在数据处理技术方面,随着计算机成图软件的迅速发展,我国目前已实现了隧道掌子面地质素描图、探测原始波形及波谱图、计算分析图件的计算机成图;专用软件的开发,大大加快了探测数据分析处理的速度和精确度。

随着近年来超前地质预报技术越来越广泛地应用于隧道工程中,我国超前地质预报技术在引进、吸收国外先进设备的基础上进一步发展和进步,目前已达到了国外同行的水平。但在隧道施工超前地质预报队伍建设方面,还存在明显的不足,突出表现在施工队伍中普遍缺乏专业施工超前地质预报技术人员,多数需要聘请专业人员协助完成施工中的超前地质预报工作。

第三节 隧道超前地质预报的特点及主要内容

一、隧道超前地质预报的特点

隧道超前地质预报是基于地质学的基本理论,利用物探、钻探等手段对隧道开挖面前方未知的地质条件进行判断,其具有以下特点。

1. 综合性

学科和专业的相互渗透、相互融合是现代科学发展的必然趋势,隧道超前地质预报除了需要掌握丰富的地质学知识外,还需要掌握地球物理学等相关理论,并在预报工作中借助于数学、概率学等学科的分析手段,因而决定了该技术具有综合性的特点。

2. 系统性

隧道超前地质预报的对象是复杂的地质体,其表现形式多种多样,如破碎带、软弱夹层、空洞、岩溶、有害气体等。从宏观上来讲,这些不良地质体的形成及其工程性质特征遵循一定的客观规律,对其进行预测预报需要采用多种方法、多种手段,相互验证、系统论证,因而使得隧道超前地质预报又具有系统性的特点。

3. 时效性

隧道超前地质预报的主要任务与目的,是通过对隧道开挖面前方地质条件的超前探测,指导施工方案及应急预案的制订。把探测信息及时向施工、设计等部门传递,确保信息传递的时

效性具有十分重要的意义,特别是对于重大异常信息的快速反馈更是如此,因而具有时效性成为隧道超前地质预报的又一特点。

4. 实用性

隧道超前地质预报直接服务于隧道施工,隧道超前地质预报的有效开展对于保证隧道施工安全、提高施工效率、节约工程投资具有现实意义。这决定了超前地质预报实用性特点。

二、隧道超前地质预报的主要内容

隧道超前地质预报属于工程地质学三大基本部分之一的工程地质勘察,它可以定义为狭义的工程地质勘察的延续,也可以定义为广义的工程地质勘察中的施工地质勘察。它是利用地质理论、物探方法、钻探方法等技术手段,预测隧道工作面前方工程地质及水文地质条件,特别是工作面前方不良地质的性质、规模等,以指导隧道施工,确保隧道施工安全的一项新兴技术手段。

严格意义上讲,隧道超前地质预报的工作内容是:根据掌握的隧道所处区域工程地质和水文地质条件、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、隧道施工掌子面及已施工的地球物理探测结果、超前钻孔揭示的隧道施工掌子面前方的地质情况、超前导坑揭示的地质情况(施工阶段),运用地质学、数学、物理学、逻辑学、概率学、计算机科学、工程机械学等各学科知识,结合预报人员经验,对隧道施工掌子面前方可能遇到的各种不良地质体及其对工程的影响进行判释,并根据判释结果提出指导施工的建议。具体内容如下。

1. 地层岩性预报

地层岩性的预报包括对地层岩性的种类、岩体的完整性及均一性、岩石的坚硬程度的预测预报,重点是对软弱夹层、破碎地层、煤层及特殊岩土预测预报。

2. 地质构造预报

地质构造预报主要预测预报构造的种类,如断层、褶皱、节理密集带等;构造的性质,如断层是张性、压性还是压扭性等;构造的规模,如断层破碎带、影响带的宽度;构造的空间分布,如断层、褶皱的产状及与隧道的相对位置关系等。

3. 不良地质预报

不良地质预报包括岩溶、人为坑洞、瓦斯、硬岩岩爆、软岩变形、不均匀风化等的预报,主要预报其规模、空间分布位置等。对于有害气体,主要预报其成分、含量、赋存位置、动态变化等。

4. 地下水预报

地下水的赋存受地层岩性、地质构造等控制。地下水预报主要是对岩溶水、富水断层、富水褶皱、富水地层中的裂隙水进行预报,包括洞内突、涌水量的大小及其变化规律。

大量的隧道工程建设实践表明,由于受勘察精度、经费等诸多条件的限制,隧道施工中揭示的地质条件与实际不符的情况屡有发生,由此导致的隧道塌方、涌水、涌泥、涌沙、岩爆、瓦斯爆炸等地质灾害时有发生,给隧道施工安全带来极大危害。因此,在隧道施工期间,通过超前地质预报对隧道工作面前方地质条件(情况)进行及时的预测判定,以便及时调整施工方案和采取预防措施,避免灾害发生或在一定程度上减少因灾害造成的损失,是保证隧道施工安全的需要,同时也是隧道施工生态环境保护的需要。

隧道超前地质预报的定位是勘察阶段的地面综合勘探在施工阶段、施工场地条件下的延

续,是为规避施工风险对能引起较大型工程地质灾害的不良地质体的空间位置和空间形态进行探查而增加的一道施工工序。

隧道施工超前地质预报,应重点做好以下隧道的地质预报工作:

- (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)可能因开挖造成生态环境破坏的隧道;
- (6)覆盖层太厚、植被良好等不易进行地质调查和勘探的隧道。

第四节 隧道超前地质预报方法

隧道施工超前地质预报的主要内容是掌子面前方围岩的工程地质特征,包括地层岩性、构造、地下水状况、地应力状况和围岩级别等。隧道超前地质预报的重点对象是给施工带来不利影响的不良地质体,如断层破碎带、溶洞、暗河、煤层等。隧道施工超前地质预报的技术方法针对对象特征产生,目前可以分为地质分析法、现场测试法、地球物理方法和数值模拟法 4 大类。

一、地质分析法

地质分析中常用方法包括工程地质调查法、超前导洞(坑)法、超前水平钻孔法、断层参数预测法四种。

1. 工程地质调查法

工程地质调查法是隧道施工超前地质预报中最早使用的方法。该方法通过调查与分析地表和隧道内的工程地质条件,了解隧道所处地段的地质结构特征,从而推断前方的地质情况。这种预报方法在隧道埋深较浅、构造不太复杂的情况下有很高的准确性,但是在构造比较复杂的地区和隧道埋深较大的情况下,该方法工作难度较大,准确性较差。

2. 超前导洞(坑)法

超前导洞(坑)法,包括超前平行导洞(坑)法和超前正洞导洞(坑)法。超前平行导洞(坑)法是在与隧道正洞轴线相距一定距离的位置,平行于隧道正洞开挖一导洞(坑),一般为施工和运营的服务洞,地质情况特别复杂时也有为探明地质情况而设的地质探洞。利用该方法预测正洞地质条件非常直观,准确率也比较高,是我国隧道工程中常用的一种预报方法。在大秦线上 12 座 15km 以上的隧道中有 9 座采用了平行导坑;秦岭隧道为了保证Ⅰ线隧道 TBM 安全、顺利的施工,在Ⅱ线隧道中线位置上先期利用平行导坑贯通,对Ⅰ线正洞作出了直观、高精度的地质超前预报。

超前正洞导洞(坑)法则是先沿隧道正洞轴线开挖小导洞(坑),探明前方的地质情况后,再将导洞(坑)扩为隧道断面。在国外,在一些特殊地段为了探明地质情况往往不惜花费高昂代价,利用正洞导洞(坑)来进行超前地质预报,但在国内采用正洞导坑法的并不多见。北京八达岭高速公路隧道部分地段的施工过程中采用了超前正洞导洞(坑)法。