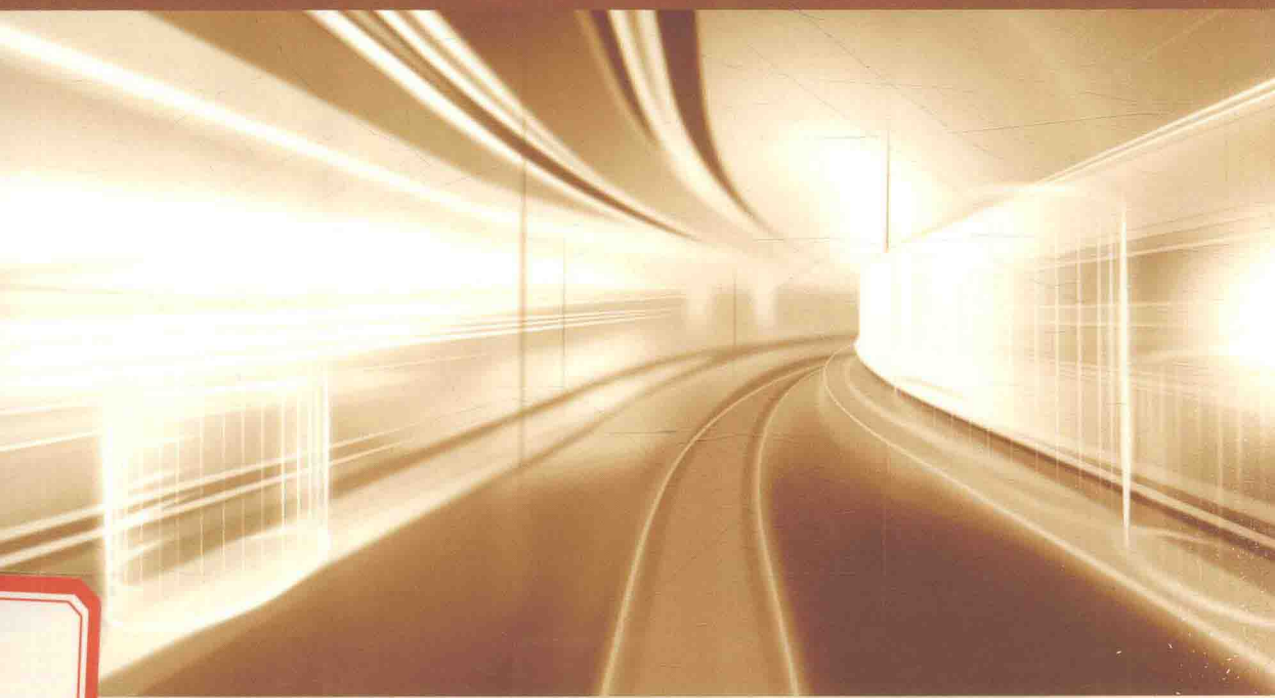


中交路桥科技有限公司
中铁城际规划建设有限公司 资助出版

隧道施工超前地质预报 方法技术

孟表柱 朱金富 赵淑兰 魏广宾 编著



地质出版社

隧道施工超前地质预报方法技术

孟表柱 朱金富 赵淑兰 魏广宾 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书概述了隧道的施工方法以及施工过程中常见的地质灾害,提出了隧道施工超前地质预报涉及的地质理论及物探理论;详细论述了隧道施工不良地质现象预测的地质及物探方法技术,以及隧道超前地质预报对围岩分级分类及施工预警的指导作用。

本书可作为从事隧道及其他地下工程施工、监理及工程技术人员,特别是隧道超前地质预报技术人员重要的工具书,也可供高校相关专业师生、设计单位相关工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

隧道施工超前地质预报方法技术 / 孟表柱等编著.

—北京:地质出版社,2017.6

ISBN 978-7-116-10355-9

I. ①隧… II. ①孟… 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(2017)第117429号

Suidao Shigong Chaoqian Dizhi Yubao Fangfa Jishu

责任编辑:李凯明

责任校对:王洪强

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010)66554646(邮购部);(010)66554581(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554582

印 刷:北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13.75

字 数:350千字

版 次:2017年6月北京第1版

印 次:2017年6月北京第1次印刷

定 价:50.00元

书 号:ISBN 978-7-116-10355-9

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

公路隧道、铁路隧道和城市地铁是一种复杂的地下工程，其施工过程受各种因素影响。随着隧道等地下工程建设的快速发展，其建设难度越来越大，因此，准确预报开挖面前方的地质情况，采取合适的预防措施及加固技术，避免地下工程施工地质灾害的发生，是地下工程建设成功的关键。超前地质预报是保障地下工程安全、快速施工的重要方法，从2005年开始，我国在隧道及地铁建设中普遍开展施工超前地质预报工作，到目前为止，超前地质预报已经成为地下工程建设必不可少的工序，而且贯穿于工程建设的全部施工期，对地下工程建设起到了重要的指导作用。

然而，当前国内外的超前地质预报还存在很多难题，除了与技术突破相关的难题外，利用地质理论来指导超前预报几乎处于盲目的工作状态。如果缺乏系统的地质理论及物探理论知识的指导，不但会漏报或错报地质现象，而且无法判定物探成果解译的正确性，从而不能有效地指导地下工程的施工。本书的出版，将为隧道施工超前预报相关技术人员提供地质理论、物探理论及综合的超前预报技术等学习的途径，从而指导地质与物探相结合的超前地质预报工作。

本书在编著过程中，得到了中铁城际规划建设有限公司、中交路桥科技有限公司隧道及地下空间办公室的大力支持和资助，北京市市政工程研究院副院长、地下工程研究中心主任、北京交通大学教授级高工叶英专家等对本书的编著做了大量的工作，在此一并表示衷心的感谢。

由于时间所限，书中难免存在错漏，敬请读者批评指正！

作者

2017年3月20日

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第二章 隧道施工方法简介	(10)
第一节 矿山法	(10)
第二节 新奥法	(13)
第三节 盾构法	(15)
第四节 浅埋暗挖法	(18)
第五节 盖挖法	(20)
第三章 隧道施工中常见的地质灾害	(25)
第一节 断层破碎带引起的地质灾害	(25)
第二节 隧道涌水	(27)
第三节 岩爆	(31)
第四节 瓦斯爆炸	(34)
第五节 软岩引起的地质灾害	(36)
第六节 不整合接触带引起的地质灾害	(39)
第四章 隧道施工灾害地质原理	(41)
第一节 矿物岩石学基础	(41)
第二节 地层学理论基础	(61)
第三节 岩石变形力学基础	(64)
第四节 构造地质学理论基础	(76)
第五节 煤及瓦斯地质理论基础	(84)
第六节 地下水及岩溶地质理论基础	(91)
第七节 工程地质学理论基础	(99)
第五章 隧道施工超前地质预报物探原理	(108)
第一节 弹性波预测理论	(108)
第二节 电磁波探测原理	(119)
第三节 红外探测原理	(122)
第六章 隧道施工超前地质预报方法	(127)
第一节 宏观地质调查方法	(127)
第二节 赤平投影分析技术	(131)
第三节 断层参数预测法	(138)
第四节 超前钻探方法	(142)

第五节	物探技术方法	(144)
第七章	隧道施工超前地质预报物探技术	(148)
第一节	TSP 探测解释技术	(148)
第二节	TGP 探测解释技术	(155)
第三节	TST 预报技术	(158)
第四节	探地雷达探测解释技术	(170)
第五节	红外探测解释技术	(176)
第八章	隧道围岩分级	(181)
第一节	围岩的概念及工程特性	(181)
第二节	围岩稳定性	(184)
第三节	围岩分级及修正	(187)
第九章	隧道施工地质灾害监测与预警	(194)
第一节	塌方监测与预警	(194)
第二节	突水监测与预警	(200)
第三节	突泥监测与预警	(203)
第四节	瓦斯爆炸和煤与瓦斯突出监测与预警	(204)
第五节	岩爆监测与预警	(206)
第六节	片帮与掉块监测	(208)
主要参考文献		(211)

第一章 绪 论

一、隧道超前地质预报的定义

近年来,随着我国国民经济的迅速发展,以及高速铁路、高速公路、城市轨道交通等工程大规模建设,长大隧道数量也越来越多。但隧道施工进度经常成为制约整个工程进展的瓶颈。隧道快速掘进的主要难题是如何超前了解掌子面前方的地质情况和岩石力学参数,其中隧道轴线的地质界面可能会在施工掘进中发生严重的问题,如塌方、突泥、突涌水等灾害,尤其是当这些灾害交叉发生时,问题会更加严重。隧道超前地质预报就是解决这个难题行之有效的办法。

隧道超前地质预报是通过物探、钻探或导坑,并配合地质测绘或地质调查等手段收集的资料,对隧道的某个段落,或某个部位及其前方一定范围内的围岩地质特征、结构特征和完整状态、围岩级别及隧道开挖后的稳定性进行预测,并提出隧道前方开挖和支护建议的报告。力图在施工前掌握前方的岩土体结构、性质、状态,以及地下水、瓦斯等的赋存情况、地应力情况等地质信息,指导隧道施工,以避免施工及运营过程中发生涌水、瓦斯突出、岩爆、大变形等地质灾害,保证施工的安全。

二、隧道超前地质预报的目的与意义

隧道工程属于隐蔽工程,常常会受到各种不良地质体的影响,在隧道施工前或者施工过程中如果不能准确地对可能遇到的不良地质体进行预报或预测,就有可能影响施工的进度,甚至会引发灾难性事故。

不良地质体包括施工地段岩性不同的岩体、断层裂隙构造带、强富水透水地层、岩溶等。不同岩性的岩体可能会对施工机械造成损害,也有可能发生冒落、塌方等事故,这不仅增加了建造及维护维修成本,还会影响工期,造成较大的损失;断层裂隙构造带对工程影响很大,破碎带可能将上下岩层的水系导通,在岩层间形成润滑层。断层裂隙面极易滑动,造成岩层失稳,引发山体滑坡及泥石流涌动。所以在断层裂隙构造带附近施工时,要随时观察构造的联系及导通情况,防止透水和由岩层失稳引起的事故发生;在强富水透水层以及岩溶区,主要是防止透水事故的发生,以及透水后因地层减压造成的岩层失稳。

开挖前对地质情况的了解,对于隧道建设有着十分重要的作用。通过超前地质预报,及时发现异常情况,预报掌子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的可能性,为正确选择开挖断面、支护设计参数和优化施工方案提供依据,并为预防隧道涌水、突泥、突气等可能形成的灾害性事故及时提供信息,使工程单位提前做好施工准备,保证施工安全,同时还可节约大量资金。所以隧道超前预报对于安全科学施工、提高

施工效率、缩短施工周期、避免事故损失、节约投资等具有重大的社会效益和经济效益。

隧道工程超前地质预报工作属于浅层地质工作，其物探工作属于工程物探的范畴，隧道工程的地质保障工作需贯穿于隧道工程的设计、施工等整个过程中。

随着科技的进步，地质勘探的精度越来越高。现在在 1000m 深度以内，三维地震勘探已能探测断距为 5m 以上的断层，对断层和褶皱等构造的探测能力也达到了空前的高度。近年来，经过不断的研究和创新，在岩性解释方面也取得了长足的进步，利用三维地震勘探的相干体和波阻抗反演技术，对煤层中侵入体、采空区、陷落柱和煤层火烧区进行探测，效果明显。

超前地质预报应达到下列目的：

(1) 进一步查清隧道开挖工作面前方的工程地质和水文地质条件，指导工程施工的顺利进行。主要包括：①断层及其影响带和节理密集带的位置、规模和性质；②软弱夹层（含煤层）的位置、规模及其性质；③岩溶发育位置、规模及其性质；④膨胀岩的膨胀力、膨胀量及主要矿物成分；⑤围岩不同风化程度的分界位置；⑥隧道围岩级别变化及其分界位置。

(2) 降低地质灾害发生的几率和危害程度。主要包括：①不良地质体（带）的成灾可能性；②隧道涌水、突水及突泥位置、水压及水量；③岩爆灾害程度分析；④瓦斯突出、有害气体含量、成分及动态变化；⑤工程地质灾害可能发生的位置和规模。

(3) 为优化工程设计提供地质依据。主要提供的成果包括：①各种地质图件及分析化验数据；②物探解译成果及数据。

(4) 为编制竣工文件提供地质资料。隧道掌子面前方可能存在影响施工人员安全、施工进度（工期）、工程结构稳定的不良地质体（带），采用各种隧道超前地质预报方法对其位置、规模、性质及其成灾可能性进行科学预测，并提出切实可行的施工对策，以确保工程施工的安全。

综上所述，隧道施工中超前地质预测预报工作关系到施工中的机械和人身安全，地质预测预报工作扎实到位，可有效地防止事故的发生，否则，安全事故是无法避免的！为了杜绝一切可能的重大事故，加强隧道施工过程中超前地质预报工作是十分必要的。

三、隧道施工超前地质预报研究现状

隧道施工超前地质预报技术对于查清隧道不利地质条件、预报掌子面前方的地质构造和含水性、保障施工安全具有重要作用，已成为隧道施工必要的技术环节。物探法超前预报观测布置在隧道内，面对的是复杂的三维波场，回波来自四面八方，纵波、横波、面波、直达波、反射波、转换波等震相复杂，地震记录每一个分量上都包含纵波和横波振动，观测与资料处理技术难度极大。超前预报技术开发和应用仅有十余年，还很不成熟，正在发展之中。目前的应用良莠不齐，绝大多数的预报缺乏严谨的科学依据，观测与资料处理等方面还存在着严重的技术缺陷。特别是目前应用的陆地声呐、TSP203、TGP206 等技术，问题更加明显。例如，不能区分不同方向的回波和消除侧向干扰波，不能准确确定掌子面前方围岩波速分布和反射体的准确位置，在没有滤除干扰波的前提下进行纵横波分离和偏移成像，使偏移图像包含虚假信息。这些技术缺陷导致预报位置不准确，构造图像不真实，给超前预报工作带来更大的风险。

我国 75% 的国土为山地和丘陵,以往山区公路建设中较多采用的是大填大挖或盘山绕行的方案。近年来,随着我国交通的发展,隧道的建设规模越来越大。采用隧道方案能够较大地提高线路线形标准,缩短行车里程,还可避开山区滑坡、崩塌、碎落等常见灾害,改善行车条件,并且可以避开大面积开挖扰动山体,减少对植被的破坏,避免产生大量弃渣土石填充山谷河滩,有效地保护生态环境。总之,隧道方案的优越性在实践中已经得到了充分的证明。我国西南地区和西北地区多为山区或丘陵区,地质条件极为复杂,在山岭高速公路隧道建设中经常遇到岩溶、断层、煤层、采空区、滑坡、富水断层破碎等不良地质体和特殊地质现象。为确保施工安全,保证施工质量和进度,必须对不良地质体和特殊地质现象进行超前探测预报研究。

国内外隧道超前预报技术的开发与应用仅有十余年的历史,是一个正在发展中的技术,特别是早期开发的技术很不成熟。目前国内外应用的隧道地质超前预报方法有陆地声呐、负视速度法、HSP 水平剖面方法、TSP203、TGP206、TRT、TST 等,都属于地震法超前预报技术,是以地震反射或散射理论为基础,通过隧道内的地震观测反演掌子面前方的地质情况。要达到准确、可靠预报的目标,必须有科学的观测方案、可靠的资料处理方法、有效的反演方法和合理的技术流程,这些就构成了超前预报的技术核心,也称超前预报的核心理论。这些理论问题的内容包含如下 5 个部分:

(1) 科学设计观测方案,使记录资料满足掌子面前方围岩速度分析、波场分离与滤除侧向干扰波和尽量减少面波干扰的要求。

(2) 建立科学有效的三维波场分离方法,即滤除侧向回波与面波干扰,仅保留前方回波,保证纵横波分离科学可靠。

(3) 建立有效的围岩波速分析方法,使围岩速度分布、地质构造位置和规模的预报误差小于 10%。

(4) 采用先进的地震成像技术,充分运用地震波的运动学和动力学信息。

(5) 运用地震散射理论,提高偏移成像与速度分析分辨率,减少斜交构造和孤立地质体漏报的几率。

这 5 个基本理论问题是超前预报技术的科学基础,是地震法超前预报技术的关键组成部分。这些科学问题的解决应遵循如下的技术流程:首先进行合理的观测方案设计,保证资料满足方向滤波和速度分析处理技术的要求;对观测资料进行预处理,包括带通滤波、剔除噪音;接下来最重要的步骤是进行三维波场分离,滤除侧向波和面波,保留前方回波;然后进行纵横波分离,确保纵横波是来至前方的回波;然后进行围岩速度扫描分析,确定围岩的速度分布;最后是在围岩波速的基础上进行地质构造的偏移成像。这样的流程可保证地质超前预报结果的真实、准确、可靠。

国内外隧道施工超前地质预报技术的开发与应用时间不长,正处于一个发展中状态,存在很多不成熟的地方。为了对不良地质情况进行有效控制,减小对工程安全、质量和进度的不利影响,最关键的问题是要找到切实有效的技术对地质灾害进行超前预报。目前,国内外隧道工程界采用的预报方法主要分为地质分析、物探和超前钻探三大类,其中国内使用较多的有 TSP203 系统、探地雷达、红外探测、陆地声呐和大地电磁法,但预报效果好的范例不多。

四、隧道施工超前地质预报的内容

隧道施工超前地质预报有广义和狭义之分,广义的超前预报包括工程可行性研究阶段预报、勘察设计阶段预报和施工阶段预报;狭义的超前地质预报指隧道施工期的超前地质预报。虽然名称有所不同,但这些预报工作都是为保证隧道的顺利施工,避免事故发生,确保隧道施工安全。同时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,对隧道前方可能遇到的不良地质体及由此可能引发的地质灾害的性质、分布位置、规模进行预测。

隧道超前地质预报包括隧道所在地区不良地质体宏观超前预报、隧道洞体内不良地质体的超前预报、隧道洞体内超前钻探和临近警报四部分内容或四个步骤。隧道施工超前预报的内容一般包括:

(1) 不良地质预报及灾害地质预报:预报掌子面前方一定范围内有无突水、突泥、岩爆及有害气体等,并查明其范围、规模、性质,提出施工措施或建议。

(2) 水文地质预报:预报洞内突涌水量的大小及其变化规律,并评价其对环境地质、水文地质的影响。

(3) 断层及其破碎带的预报:预报断层的位置、宽度、产状、性质、填充物的状态,是否为充水断层,并判断其稳定程度,提出施工对策。

(4) 围岩类别及其稳定性预报:预报掌子面前方的围岩类别与设计是否吻合,并判断其稳定性,随时提供修改设计、调整支护类型、确定二次衬砌时间的建议等。

(5) 预测隧道内有害气体含量、成分及动态变化。

综合利用地质分析、超前钻探及地球物理方法,做好隧道超前地质预报综合预测,对隧道掌子面前方可能存在的影响施工人员安全、施工进度(工期)、工程结构稳定的不良地质体(带),采用各种隧道超前地质预报方法对其位置、规模、性质及其成灾可能性进行科学预测,并提出切实可行的施工对策,以确保工程施工的安全。

五、隧道施工超前地质预报的方法

由于隧道及其他地下工程深埋于地下,工程岩体的水文地质与工程地质条件复杂多变,根据现有的地质勘探技术水平及手段,对所取得的资料不能完全满足施工要求,因此,这些问题的解决还有待在施工中开展深入的超前地质预报工作。

目前在隧道施工期间采用的超前地质预报方法从专业技术方面可分为常规地质法和物探法两大类,具体有以下几种:①正洞地质素描法;②断层参数预测法;③地质体投射法;④超前水平钻孔法;⑤超前导坑法;⑥弹性波法;⑦电磁波法;⑧红外探水法。

(一) 地质预报方法

1. 正洞地质素描法

隧道施工中,及时对其开挖面(掌子面、边墙面和拱顶面)上的各种地质现象进行测绘和记录,利用已挖洞段地质情况来预报前方可能出现的不良地质现象。该方法分为:

①岩层岩性和层位预测法；②地质体延伸预测法。

该法是对开挖面地质情况如实而准确的反映。其主要内容包括地层岩性、构造和节理裂隙发育情况、地下水状态、围岩稳定性及初期支护采用方法等。其优点是预报时间很短，设备简单，不干扰施工，预报效果较好，而且为整个隧道提供了完整的地质资料；缺点是对于与隧道夹角较大的向前倾的结构面容易产生漏报。

2. 断层参数预测法

利用断层影响带的特殊节理或集中带的分布规律，通过对断层影响带的系统编录得出经验公式，来预报隧道断层破碎带的位置和规模。由于大多数不良地质现象与断层破碎带有密切的关系，故依据断层破碎带推断其他不良地质体的位置和规模。

3. 地质体投射法

在地表准确鉴别不良地质体的性质、位置、规模和岩体质量，以及精确测定不良地质体产状的基础上，应用地质界面和地质体透射公式进行预报。

4. 超前水平钻孔法

在隧道内安放水平钻机进行水平钻进，根据钻孔资料来推断隧道前方的地质情况。钻孔数量、角度及钻孔深度可人为设计和控制。由钻进速度的变化、钻孔取心鉴定、钻孔冲洗液颜色、气味、岩粉及遇到的其他情况来预报。此法可以反映岩体的大概情况，比较直观，施工人员可根据实际地质情况进行后续施工。

水平钻孔主要布置在开挖面及其附近，既可在超前导洞内布置钻孔，也可在主洞工作面上进行钻探，以获得准确可靠的地质资料，确保施工。该法可获得工作面前方一定距离的岩心，也可由钻孔出水情况判断前方有无地下水和前方何处有地下水，从而可以得到开挖面前方的地质情况。该法是施工预报最有效方法之一，但也存在不足之处：①对垂直隧道轴线的地质结构面预报效果较好，与隧道轴线平行的结构面预报较差；②需占用较长的施工作业时间，费用较高。

5. 超前导坑法

按导坑与正洞的相互位置分为平行导坑和正洞导坑。其中，平行导坑与正洞平行，断面小且和正洞之间有一定距离，通过对导坑开挖中遇到的构造、结构面或地下水等情况做地质记录与分析，进而对正洞地质条件进行预报。该法的优点是：预报成果比较直观、精度高、预报的距离长、便于施工人员安排施工计划和调整施工方案，还可以起到减压放水、改善通风条件和探明地质构造条件的作用，同时，还可用作排除地下水、断层注浆处理、扩建成第二条隧道之用。正洞导坑布置在正洞中，是正洞的一部分，其作用与平行导坑相比，效果更好。超前导坑的缺陷为：一是成本太高，有时需要全洞进行平导开挖；二是施工工期较长。

（二）物探预报方法

1. TSP 超前预报技术

TSP 超前预报系统是利用地震波在不均匀地质体中产生的反射波特性来预报隧道掌子面前方及周围邻近区域的地质情况。该法属多波多分量探测技术，可以检测出掌子面前方

岩性的变化,如不规则体、不连续面、断层和破碎带等。它可以在钻爆法或TBM开挖的隧道中使用,而不必接近掌子面。数据采集时在隧道一边侧墙等间隔钻制20余个炮孔,而在两侧壁钻取2个检波器孔,使检波器置入套管中,依次激发各炮,从掌子面前方任一波阻抗差异界面反射的信号及直达波信号将被2个三分量检波器接收,该过程所需时间约1h。然后利用TSPwin软件处理可得P波和S波波场分布规律,其分析过程为:数据调整→带通滤波→首波拾取→拾取处理→炮能量平衡→直达波损耗系数(Q)估算→反射波提取→P波、S波分离→速度分析→纵向深度位置搜索→反射界面提取等,最终显示掌子面前方与隧道轴线相交的反射同相轴及其地质解译的二维或三维成果图。由相应密度值,可算出预报区内岩体物理力学参数,进而可划分该区围岩工程类别。实践表明该法有效预报距离为100~200m。

通过分析反射波速度,即可进行时深转换,由隧道轴的交角及洞面的距离来确定反射层所对应界面的空间位置和规模,再结合P波和S波的动力学特征,遵循以下原则来推断地质体的性质:①正反射振幅表明进入硬岩层,负反射振幅表明进入软岩层;②若S波反射较P波强,则表明岩层饱水;③ v_p/v_s 增大或泊松比突然增大,常常是由流体的存在而引起的;④若 v_p 下降,则表明裂隙或孔隙度增加。

2. 地质雷达探测技术

利用高频电磁波以宽频带短脉冲的形式,由掌子面通过发射天线向前发射,当遇到异常地质体或介质分界面时发生反射并返回,被接收天线接收,并由主机记录下来,形成雷达剖面图。由于电磁波在介质中传播时,其路径、电磁波场强度以及波形将随所通过介质的电磁特性及其几何形态而发生变化,因此,根据接收到的电磁波特征,即波的旅行时间、幅度、频率和波形等,通过雷达图像的处理和分析,可确定掌子面前方界面或目标体的空间位置或结构特征。当前方岩体完整的情况下,可以预报30m的距离;当岩石不完整或存在构造的条件下,预报距离变小,甚至小于10m。地质雷达探测的效果主要取决于不同介质的电性差异,即介电常数,若介质之间的介电常数差异大,则探测效果就好。由于该法对空洞、水体等的反映较灵敏,因而在岩溶地区用得较普遍。缺点是洞内测试时,由于受干扰因素较多,往往造成假异常,形成误判。此外,它预报的距离有限,一般以不超过30m,且要占用掌子面的工作时间。

应用地质雷达进行超前预报,在钻爆法施工的隧道中使用相对较多,如太平驿水电站引水隧道、海南高速公路东线大茅隧道等工程中应用,均取得了较好的应用效果。由于探测时需要占用掌子面的工作时间,故在掌子面上测试时需要停机进行,因而TBM法施工的隧道中应用时需作特殊处理。

3. 红外探测技术

由于所有物体都发射出不可见的红外线能量,该能量大小与物体的发射率成正比。而发射率的大小取决于物体的物质和它的表面状况。当掌子面前方及周边介质单一时,所测得的红外场为正常场,当存在隐伏含水构造或有水时,它们所产生的场强要叠加到正常场上,从而使正常场产生畸变,据此判断掌子面前方一定范围内有无含水构造。

现场测试有两种方法:一是在掌子面上,分上、中、下及左、中、右六条测线的交点测取9个数据,根据这9个数据之间的最大差值来判断是否有水;二是在已挖洞段按左边

墙、拱部、右边墙的顺序进行测试,每5m或3m测取一组数据,共测取50m或30m,并绘制相应的红外辐射曲线,根据曲线的趋势判断前方有无含水。

掌子面上9个数据的最大差值大于 $10\mu\text{W}/\text{cm}^2$,就可以判定有水;红外辐射曲线上升或下降均可以判定有水,其他情况判定无水。红外探测的特点是可以实现对隧道全空间、全方位的探测,仪器操作简单,能预测到隧道外围空间及掘进前方30m范围内是否存在隐伏水体或含水构造,而且可利用施工间歇期测试,基本不占用施工时间。但这种方法只能确定有无水,至于水量大小、赋水状态、具体位置不能进行定量解释。

4. TRT 超前地质预报

TRT 为真正反射层析成像的简称,是由美国 NSA 工程公司提出的一种方法。TRT 从本质上说仍为弹性波方法,其技术原理在于当地震波遇到波阻抗差异(密度和波速的乘积)界面时,一部分信号被反射回来,一部分信号透射进入前方介质。波阻抗的变化通常发生在地质岩层界面或岩体内不连续界面。反射的地震信号被高灵敏地震信号传感器接收,通过分析,被用来了解隧道工作面前方地质体的性质(软弱带、破碎带、断层、含水等)、位置及规模。

TRT 作为一种新型的隧道地质超前预报系统,具有如下优点:①不使用炸药作为激发震源,减少了对隧道本身的损坏,降低了超前预报的风险;②采用三维数据处理,能直观地反映地质体异常情况,能更有效地对反射异常区域进行识别与解释;③在采集方式上实现无线数字接收地震信号,能最有效地采集地震数据。TRT 超前预报系统也存在一些问题。TRT 系统要在三维空间内布置传感器,必须使用升降设备将传感器安装在隧道的拱顶、拱腰等位置,且必须测量出 TRT 的三维大地坐标(精确到10cm以内),这给预报作业又增加了一定的难度。另外,TRT 采用锤击震源激发地震波,只有其传感器灵敏度高,才能更好地接受地震波信号,但是传感器接收到的外界干扰噪声的能量与采集信号的灵敏度高是成正比的,如何消除干扰是有待解决的问题。

(三) 地质-物探综合分析法

要推动隧道超前预报的发展,提高预报准确度,就必须将地质调查方法与多种物探方法有机结合起来,对地质物探资料进行系统处理和综合分析。其工作方法和主要内容如下。

1. 收集、熟悉地质资料

了解工程区内宏观的地质环境、大型构造形迹的发育分布规律,以及工程围岩所处的具体构造部位、岩体的结构特征、节理裂隙发育程度、岩体完整性、岩石(体)强度、地下水状态等;掌握全隧道的地质背景,指出存在的不良地质问题和地段,还要知道各段围岩的稳定程度、可能发生地质灾害的位置、规模、性质和防治措施,目的在于保证隧道施工设计、施工方法和措施能根据地质情况的变化适时做出调整和修改。

2. 施工地质编录

对已开挖洞段地质状态做详细真实的描述,可作为超前预报的依据,该内容包括岩性、岩石坚硬程度及完整情况、断层及破碎带、节理裂隙、地下水状态、不良地质现象等进行编录。

3. 围岩特性测试

根据工程需要,对岩石物理力学特性进行补充测试,如岩石点荷载强度、岩石回弹值、岩体弹性模量、软弱面剪切强度等,有时还应进行初始地应力和二次应力场的测试等。上述数据是预报围岩稳定性的重要参数。

4. 地球物理探测

根据岩体不同物理性质测一定距离内的物理力学参数的变化,据此判断出隧道工作面前方的地质情况。采用多种物探仪器进行超前探测,常用的物探方法有地震反射、声波反射、地质雷达、TSP203 隧道超前地质预报系统等技术。

5. 地质-物探综合分析

组成以地质工程师为主,物探及相关工程技术人员参加的施工地质组,对上述地质和物理探测资料进行整理和综合分析,最后做出施工面前方不良地质现象的预测预报。

隧道施工中的地质超前预报方法,在不断的开发和实践摸索中,有其不同的适用范围和条件,需要在隧道施工中以互相补充和验证,根据隧道地形勘查的调查数据分析,选取适合的超前预报方法,结合传统预报技术与新型预报技术的特点,研发出适用于隧道特殊施工环境的超前预报方法,在不断的应用实践中,进行拓展和技术创新,为隧道施工提供准确可靠的地质预报数据,尽力避免隧道施工中的人身及设备安全事故,在实际的运用中积累技术和经验。

六、隧道施工超前地质预报发展方向

目前,在我国的隧道施工中,施工地质工作特别是超前地质预报工作,虽然已经有了一个良好开端,但距离普及和高水平的预报还相差甚远。然而,很多开展了施工地质工作或超前地质预报工作的施工单位,都取得了巨大的经济效益。因此,我们完全可以相信隧道施工地质工作或超前地质预报必将很快在我国隧道施工中开展起来,虽然还存在很多困难,但前景是无限光明的。

在仪器探测方面,研制准确、远距离、更先进的探测设备是首选。对于当前国内外最先进的长期超前地质预报设备 TSP、TGP(隧道地震勘探)来说,虽然探测距离可以达到掌子面前方 300~500m,但目前有效解译预报距离却只在掌子面前方 100m、最多 150m 范围内,150~500m 范围内只能为无效解译预报范畴(有较大误差);所以,如何增加 TSP 技术的有效解译预报距离,是当前 TSP 探测的主要努力方向之一。除此之外,当前应用探测断层破碎带等不良地质体已经较成熟;但是,对于探测地下水问题(如水带的类型、性质、涌水量等),以及如何应用 TSP、TGP 的探测成果预报围岩级别等,尚不够成熟,需要进一步研究和总结经验,也是今后努力的方向。

根据超前预报技术的 5 项科学问题,下面对国内外现有的超前预报技术优点和缺陷进行客观评价:①陆地声呐法缺乏技术含量,属于非专业化技术,没有应用价值。②负视速度法、水平剖面法资料处理以走时分析为主,对波速分析、波场识别等方面没有技术应对,技术缺陷较多,为初级技术。③TSP203、TGP206 的资料处理采用偏移成像技术,运用了运动学和动力学信息,是其优点;但采用垂直剖面观测方式不能准确确定围岩波速,不能进行波场分离和滤除侧向波和面波干扰,纵横波分离不真实等问题,导致偏移图像位

置不真实,包含虚假成分等技术缺陷,属于中等技术。④TRT 技术采用三维观测系统,但概率成像缺少波速围岩波速分析功能,没有三维波场分析和滤除侧向波及面波的功能,偏移图像包含太多的虚假成分,应用中误报几率较大,存在一定的风险,属于中级技术。⑤TST 技术满足 5 项科学要求,从理论的严谨性、预报的准确性、可靠性等方面都是目前最好的,属于高级技术,应该大力推广应用。

对于超前地质预报的发展方向来说,国外主要侧重仪器探测。然而,根据我们的经验,无论是长期还是短期超前地质预报和临近警报,仪器探测离不开准确的地质资料,仪器探测成果的解译离不开地质分析,仪器探测更要与各种地质预测方法紧密结合,才是高质量、高精度、高水平超前地质预报的必由之路,也是隧道超前地质预报的真正发展方向。

在工程地质预报方面,全新的断层破碎带隧道超前地质预报理论、参数预测及其预测公式虽然得到了很好的应用,但是预测方法及技术应用还需进一步完善和提高。新的工程地质预测方法和理论,仍然是隧道超前地质预报发展方向的首选。

当然,无论是仪器探测法还是工程地质预测法,都有待于提高。基于完善的地质理论基础及地质分析成果,结合各种物探成果的综合解译,以地质成果为主,物探技术为辅的综合隧道超前地质预报方法,可有效地提高预报精度,避免灾害的发生。

第二章 隧道施工方法简介

依据隧道所在区域的地质情况,包括隧道埋藏深度、隧道围岩状况、隧道工程地面情况等,隧道施工必须选择合适的方法,才能保证隧道施工进度及施工安全。目前隧道施工方法主要有以下几种。

第一节 矿 山 法

矿山法是指用开挖地下坑道的作业方式修建隧道的施工方法,是暗挖法的一种,主要用钻眼爆破方法开挖断面,因借鉴矿山开拓巷道的方法而得名。用矿山法施工时,将整个断面分部开挖至设计轮廓,并随之修筑衬砌。当地层松软时,则可采用简便挖掘机具进行,并根据围岩稳定程度,在需要时应边开挖边支护;分部开挖时,断面上最先开挖导坑,再由导坑向断面设计轮廓进行扩大开挖,主要是为了减少对围岩的扰动,分部的大小和多少视地质条件、隧道断面尺寸、支护类型而定;在坚实、整体的岩层中,对中、小断面的隧道,可不分部而将全断面一次开挖。如遇松软、破碎地层,隧道开挖后受爆破影响,会导致岩体破裂形成松弛状态,随时都有可能坍塌,造成工程灾害,基于松弛荷载理论依据,须分部开挖,并配合开挖及时设置临时支撑,以防止土石坍塌。

一、矿山法的分类

矿山法按衬砌施工顺序,可分为先拱后墙法及先墙后拱法两大类。后者又可按分部情况,细分为漏斗棚架法、台阶法、全断面法和上下导坑先墙后拱法。在松软地层中,或在大跨度洞室的情况下,还有一种特殊的先墙后拱施工法——侧壁导坑先墙后拱法。此外,结合先拱后墙法和漏斗棚架法的特点,还有一种居于两者之间的蘑菇形法。

1. 先拱后墙法

本法也称支承顶拱法,适用于松软岩层,但其抗压强度应能承受拱座处较高的支撑应力;也适用于坚硬岩层中跨度或高度较大的洞室施工,以简化修筑顶拱时的拱架和灌注混凝土作业。在稳定性较差的松软岩层中,为了施工安全,先开挖拱部断面并即砌筑顶拱,以支护顶部围岩,然后在顶拱保护下开挖下部断面和砌筑边墙。在开挖边墙部分的岩层之前,必须将顶拱支撑好,开挖两侧边墙部分的岩层时(俗称挖马口),须左右交错分段进行,以免顶拱悬空而下沉。该法施工顺序(图2-1a,图中阿拉伯数字为开挖顺序,罗马数字为衬砌顺序,下同)。施工时,须开挖上下两个导坑,开挖上部断面时的大量石碴,可通过上下导坑之间的一系列漏碴孔装车后从下导坑运出,既提高出碴效率,又减少施工干扰。当隧道长度较短、岩层又干燥时,可只设上导坑。在此种场合,为避免运输和施工

的干扰,可先将上半断面完全修筑完毕,然后再进行下半断面的施工。

2. 漏斗棚架法

此法曾广泛应用于修建铁路隧道,也称下导坑先墙后拱法,适用于较坚硬稳定的岩层。施工时先开挖下导坑,在导坑上方开始由下向上做反台阶式的扩大开挖,直至拱顶;随后在两侧由上向下做正台阶式的扩大开挖,直至边墙底;全断面完全开挖后,再由边墙到顶拱修筑衬砌(图2-1b)。此法在下导坑中设立的漏斗棚架,是用木料架设的临时结构。横梁上铺设轻便钢轨,在下导坑运输线路上方留出纵向缺口,其上铺横木,相隔一定间距,留出漏斗口供漏碴用。在向上扩大开挖时,棚架作工作平台用。爆出的石碴全落在棚架上,经漏斗口卸入下面的斗车运出洞外。这种装碴方式可减轻劳动强度。下导坑的宽度,一般由双线斗车运输决定。由于宽度较大,在棚架横梁下可增设中间立柱作临时加固用。设立棚架区段的长度,由装碴的各扩大开挖部分的延长加上一定余量来决定。用漏斗棚架装碴优点显著。

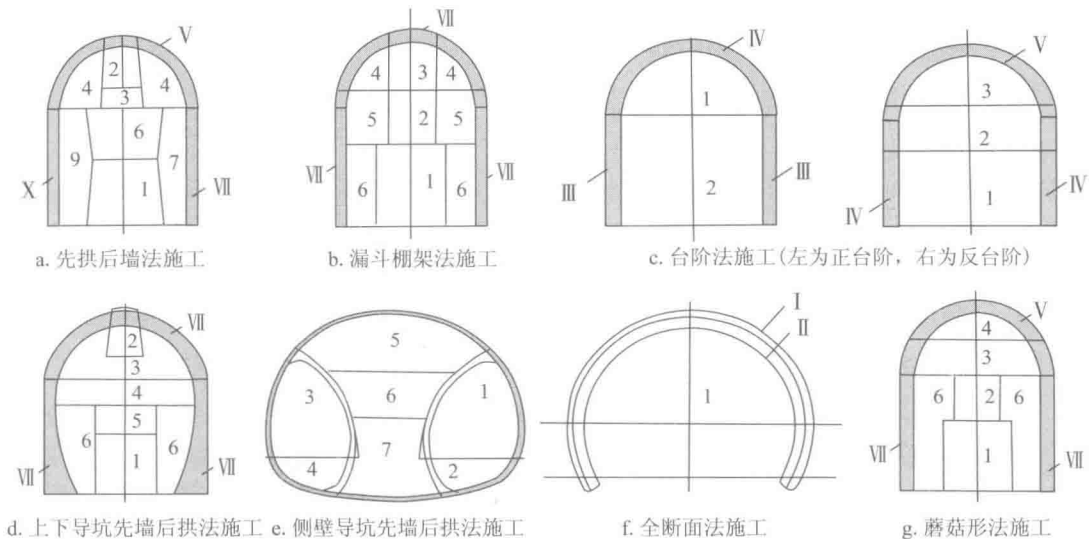


图2-1 隧道施工方法示意图

3. 台阶法

又有正台阶法和反台阶法之分(图2-1c)。①正台阶法系在稳定性较差的岩层中施工时,将整个坑道断面分为几层,由上向下分部进行开挖,每层开挖面的前后距离较小而形成几个正台阶。上部台阶的钻眼作业和下部台阶的出碴,可以平行进行而使工效提高。全断面完全开挖后,再由边墙到顶拱筑衬砌。在坑道顶部最先开挖的第一层为一弧形导坑,需要钻较多的炮眼,导坑超前距离很短,可使爆破时石碴直接抛落到导坑之外,以减轻扒碴工作量,从而提高掘进速度。如坑道顶部岩层松动,应立即在导坑内用锚杆或钢拱架作临时支护,以防坍塌。②反台阶法则用于稳定性较好的岩层中施工,也将整个坑道断面分为几层,在坑道底层先开挖宽大的下导坑,再由下向上分部扩大开挖。进行上层的钻眼时,须设立工作平台或采用漏斗棚架,后者可供装碴之用。

4. 上下导坑先墙后拱法

该法在国外称之为奥国法或称老奥法,在中国的隧道工程中未见采用,也称全断面分