



厦门翔安海底隧道 超前地质预报

Geological Prediction of
Xiang'an Subsea Tunnel in Xiamen

罗利锐 刘志刚 张志波 著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

厦门翔安海底隧道超前地质预报

罗利锐 刘志刚 张志波 著

中国铁道出版社

2012年·北京

图书在版编目(CIP)数据

厦门翔安海底隧道超前地质预报 / 罗利锐, 刘志刚, 张志波著.
北京: 中国铁道出版社, 2012. 11
ISBN 978 - 7 - 113 - 15194 - 2

I. ①厦… II. ①罗… ②刘… ③张… III. ①水下隧道 - 隧道
工程 - 工程地质 - 预报 - 厦门市 IV. ①U459. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 239255 号

书 名: 厦门翔安海底隧道超前地质预报
作 者: 罗利锐 刘志刚 张志波

策划编辑: 许士杰
责任编辑: 许士杰
责任校对: 龚长江
责任印制: 陆 宁

编辑部电话: (010) 51873204

电子信箱: syxu99@163.com

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

版 本: 2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

开 本: 720 mm × 1 000 mm 1/16 印张: 9 字数: 165 千

印 数: 1 ~ 3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-15194-2

定 价: 40.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部联系调换。

电 话: 市电 (010) 51873170, 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

前 言

目前,我国多条海底隧道处于拟建和修建的过程中,海底隧道与山岭隧道最大的区别是隧道大部分洞身位于海底之下,其地质勘探工作比山岭隧道困难得多,而且准确性还较低,施工时遇到未勘探到的不良地质体的可能性较大。此外,海底隧道所采用的超前地质预报手段和方法也与其他山岭隧道存在一些区别。如何针对海底隧道的特性,提出一套完整的超前地质预报技术体系,以便为今后海底隧道的超前地质预报工作提供指导性的建议是目前亟待解决的一个问题。本书正是在这种背景下,通过两年多时间对我国第一条海底隧道——厦门翔安海底隧道的超前地质预报工作进行大量的调研、总结和归纳,在此基础上著述的。

本书共计八章,由罗利锐、刘志刚、张志波著。第一章介绍超前地质预报的研究现状、研究意义和存在的问题;第二章介绍厦门翔安海底隧道超前地质预报技术体系包含的内容;第三至第七章以施工现场为依托,详细介绍超前地质预报的应用情况;第八章介绍现场发生的地质灾害的一些治理措施。

本书在撰写过程中,得到了石家庄铁道大学刘春姣老师、孟硕老师的大力帮助,本书的出版得到了中冶建筑研究总院有限公司、中国京冶工程技术有限公司刘波副院长、地基分公司彭宣长总经理、柳建国总工程师和刘钟教授级高级工程师的大力支持,在此表示衷心感谢!

本书部分插图和少量内容参考和引用了其他有关著作,在此予以声明并致谢。

作 者
2012 年 8 月于北京

目 录

第一章 绪 论

1

- 第一节 隧道超前地质预报的研究意义/1
- 第二节 隧道超前地质预报的研究现状/2
- 第三节 国内隧道超前地质预报存在的问题/4

第二章 隧道超前地质预报技术体系研究

5

- 第一节 隧道超前地质预报技术体系组成/5
- 第二节 厦门翔安海底隧道超前地质预报的技术体系/26

第三章 厦门翔安海底隧道工程地质概况

31

- 第一节 厦门翔安海底隧道工程概况/31
- 第二节 厦门翔安海底隧道区域地质概况/31
- 第三节 厦门翔安海底隧道地质概况/32
- 第四节 厦门翔安海底隧道水文地质概况/34

第四章 厦门翔安海底隧道所在地区地质分析技术

35

- 第一节 富水砂层特征与隧道不良地质体分析/35
- 第二节 岩浆活动与隧道不良地质体分析/38
- 第三节 构造演化与隧道不良地质体分析/48

第五章 隧道不良地质体超前预报技术

79

- 第一节 TSP 探测技术/79
- 第二节 地质雷达探测技术/89
- 第三节 红外探测技术/91
- 第四节 隧道超前钻探技术/97

第五节 服务隧道穿越 F_3 风化槽时四种探测方法的结果/104

第六章 探测结果与实际情况对比

107

第一节 TSP-202 探测结果与实际情况对比/107

第二节 TSP-203 探测结果与实际情况对比/110

第三节 TGP-206 探测结果与实际情况对比/118

第七章 地质灾害临近警报技术

120

第八章 地质灾害治理

128

第一节 大变形治理/128

第二节 塌方治理/132

第三节 涌水坍塌治理/134

参考文献

136

第一章 绪 论

第一节 隧道超前地质预报的研究意义

目前,在铁路、公路和水电新建项目中,隧道及地下工程所占的比重很大,这也就意味着大量地下工程建设所导致的地质灾害发生的频率也显著增加,特别是在岩溶地区和海底修建隧道时,很容易发生大的地质灾害,以致造成严重的财产损失和人员伤亡。

一、岩溶隧道

我国岩溶地区面积达 130 多万平方公里,在广西、广东、福建、湖北、江西、四川等省广泛发育着岩溶地貌,其岩石多为石灰岩、白云岩、大理岩等碳酸类岩石。在岩溶隧道开挖过程中遇到的主要不良地质体有溶洞、暗河、岩溶淤泥带和岩溶陷落柱。其中,溶洞和暗河称为洞穴型岩溶,岩溶淤泥带和岩溶陷落柱称为填充型岩溶。岩溶淤泥带主要分布在我国南方,岩溶陷落柱主要分布在我国北方。岩溶隧道地质灾害的发生,往往会使洞内隧道、施工机具和运输轨道等被淹埋或淹没,造成施工中断,工期延误;洞外则因洞内岩溶涌水、涌泥、涌砂造成地表塌陷和地表水源枯竭,进而引发地表生态环境灾害。例如,渝怀铁路武隆隧道涌水、圆梁山隧道涌水涌泥、宜万铁路野山关隧道涌水等岩溶灾害严重影响了隧道施工进度。目前,避免岩溶地质灾害发生比较有效的方法是做好超前地质预报工作,提高预报的精度,准确预报出开挖前方不良地质体的类型、位置、规模和特征,并在此基础上制定出相应的地质灾害预防措施。

二、海底隧道

一些发达国家自 20 世纪 30 年代起,就开始修建海底隧道。国外比较著名的海底隧道有:①日本在 1936 年 9 月开始动工修建关门海底隧道,于 1994 年全部竣工,是世界上最早的海底隧道之一,此外还有青函海峡隧道、东京湾水下隧道;②英法海底隧道主要采用掘进机法(TBM)修建,隧道全长 50.4 km,海底地段长 37.0 km,水深 60 m,最小覆盖层厚度为 40 m;③挪威是世界上采用钻爆法修建海底隧道最多的国家,至今已累计建成 100 多 km 的海底隧道,比较著名的

有莱尔多隧道;④丹麦斯特贝尔海峡隧道。目前我国在海底隧道修建方面也已开始筹划和建设,已完工、在建、拟建的海底隧道有:中国第一条跨海隧道——厦门翔安海底隧道、胶州湾湾口海底隧道、广州生物岛—大学城隧道以及狮子洋海底铁路隧道、连接广东和海南两省的琼州海峡海底隧道、由大连到蓬莱的渤海湾海底隧道、连接香港、澳门与广州、深圳和珠海的伶仃洋海底隧道、由上海到宁波的杭州湾海底隧道及大连湾海底隧道和台湾海峡海底隧道等。

海底隧道与山岭隧道相比,隧道大部分洞身位于海底之下,其地质勘探工作比山岭隧道困难得多,而且勘探结果的准确性还较低,施工中遇到未探明不良地质体的可能性较大,所以在施工时必须做好超前地质预报工作,以防止地质灾害的发生,特别是如何解决好施工中“探水”、“治水”和“防塌”三大技术难点,是海底隧道顺利施工的关键。

综上所述,隧道超前地质预报是防止隧道开挖时发生突发性灾害,保证施工工期、施工质量和评判围岩稳定与否的积极手段。超前地质预报是隧道施工的“侦察员”。在进行隧道施工的过程中,施工人员必须对隧道围岩地质情况有一定的了解,而且了解的越详细,就越能保证施工的安全、优质、快速进行。

第二节 隧道超前地质预报的研究现状

一些隧道施工技术比较先进的国家,如瑞士、日本等,在进行隧道(特别是铁路、公路隧道)修建过程中,施工地质工作,其中主要是超前地质预报工作,被看作是一项十分重要的、不可缺少的工序,而且重视隧道施工地质工作已成为广大工程技术人员的一致。在施工过程中,他们在设计图纸的基础上进一步做好超前地质预报和围岩探测工作。

国内隧道超前地质预报技术正处于发展中,很多技术有待进一步提高。目前工程中常用的技术有 TSP、TGP、TST、GPR、红外探测、陆地声纳。

1991 年铁道部第一勘察设计院曾昭瑛在 TSP 系统的基础上提出了地震负视速度法,又称 VSP 法。该方法与 TSP 的不同之处在于 TSP 法为多点激发,一点接收,而负视速度法则是一点激发、多点接收。该方法认为,当反射面与测线垂直正交时,所接收到的反射波与直达波在记录图像上呈负视速度,其延长线与直达波延长线的交点即为反射面的空间位置。该方法具有明显的方向性,其预报距离可达 100 m 以上。

山东大学岩土与结构工程研究中心以李术才教授为首的科研团队对沪蓉西高速公路的齐岳山等高风险岩溶隧道超前地质预报工作进行研究,通过使用 TSP、陆地声纳、探地雷达、红外探测仪等对地质缺陷进行探测,分析了各种探测

方法的优缺点,研发出了陆地声纳第三代仪器和全新的地质雷达解译系统。此外,对反映地下水灵敏的电磁类方法进行了改进,在试验的基础上,研发了相关的应用软件。

石家庄铁道大学施工地质研究所刘志刚教授为首的科研团队开展超前地质预报工作较早,2000年6月,石家庄铁道学院桥隧施工地质技术研究所开始正式在一些铁路隧道和水电隧洞进行全面正规施工地质工作,并于2000年6月~2001年3月在公伯峡水电站右岸导流洞施工中,应用TSP-202探测技术和地质跟踪技术,开展隧洞施工地质工作,取得较好的工作成果:应用TSP-202探测技术,探明两个宽达30~50m的压性断层和两条断层交汇组成的断层破碎带,通过地质跟踪工作,及时发出塌方警报,极大地减少了两次大塌方和特大塌方造成的损失。2001年6月~2002年12月,石家庄铁道学院桥隧施工地质技术研究所在渝怀铁路的重点工程——歌乐山隧道施工中开展全面正规的隧道施工地质工作。歌乐山隧道岩溶淤泥带造成的岩溶塌陷和岩溶突水、涌水出现的强度和频率在我国隧道修建史上是罕见的(在2002年5月1日以前已开挖的不到300m的范围内,实见100~300t/h以上强涌水带就达4处之多)。由于隧道全面施工地质工作,特别是以TSP探测为主要手段的超前地质预报工作的开展,准确地发现了以岩溶淤泥带为主的岩溶塌陷和岩溶水组成的强富水带,加上超前钻探工作的有力配合,从而保障了隧道的快速、安全施工,取得较大的经济效益和社会效益。自2005年11月起石家庄铁道学院桥隧施工地质技术研究所对我国第一条海底隧道——厦门翔安海底隧道的超前地质预报科研任务进行攻关,结合厦门翔安海底隧道工程进行研究,通过两年多的时间对隧道内外的地质构造及岩浆演化进行大量的现场调研,掌握了隧道所在地的地质构造规律,解决了在海底隧道这种特殊地质条件和环境条件下施工的超前地质预报和施工地质灾害防治的技术难题,并形成一套海底隧道综合超前地质预报技术和实施细则。近几年来,石家庄铁道大学桥隧施工地质技术研究所应用TSP探测仪器分别对江西武吉高速公路、江西石吉高速公路、福建双永高速公路、福建向莆铁路和江西吉莲高速公路沿线多条隧道进行超前地质预报工作,均取得良好效果。

由铁道部建设管理司组织中国中铁隧道集团、中国中铁二院工程集团有限责任公司、中铁第四勘察设计院集团有限责任公司等单位编写的《铁路隧道超前地质预报技术指南》于2008年8月1日起正式实施,此指南的发布对于规范隧道超前地质预报工作,促进超前地质预报技术的快速发展起着重要的作用。

目前国内超前地质预报正处于一个发展中的阶段,很多情况下达不到现场施工需要的预报精度,也曾出现过由于误报、漏报而造成施工人员的伤亡和财产的大量损失。但是,由于大量地下工程建设的需要,使得投入到超前地质预报工

作中的科研人员越来越多,所做出的成果也越来越多,随着该技术的不断成熟,将来肯定会达到施工需要的预报精度。

第三节 国内隧道超前地质预报存在的问题

目前我国隧道超前地质预报的水平普遍偏低,因为超前地质预报工作的失误,以致造成很多地质灾害的发生。究其根本原因,主要有以下两点。

1. 从事超前地质预报的工程技术人员,地质知识缺乏,地质分析能力偏低,甚至不能进行地质分析工作。而地质分析在隧道超前地质预报中,无论是洞内探测还是成果解译,都占有特殊的、重要的地位,是不可或缺的工作步骤。因此,如何在地质理论指导下进行地质分析,如何应用地质分析的成果指导地球物理探测仪器的洞内探测和数据采集,都需要进行深入探讨和解决,特别是如何应用地质分析的成果指导各类物探成果的解译。

2. 在地球物理探测仪器的使用和成果解译方面,通常在探测时存在较多的干扰因素,出现数据处理结果的多变性,结果的相对性等一系列问题,因此要求探测人员具备良好的地球物理知识,并且能够正确理解各种物理参数的含义,能够排除一些常见的干扰因素,现在探测人员中多数缺乏这方面的知识,也是造成预报精度偏低的主要原因。

第二章 隧道超前地质预报技术体系研究

第一节 隧道超前地质预报技术体系组成

超前地质预报技术体系包括三大部分,分别是隧道所在地区地质分析技术、隧道不良地质体超前预报技术、重大施工地质灾害临近警报技术。

一、隧道所在地区地质分析技术

隧道所在地区地质分析技术,是以深入的地面地质调查为基础,通过区域不良地质分析,宏观预报洞体施工中可能遇到的不良地质体类型、规模、大约位置和方向;宏观预报施工地质灾害的类型和发生的可能性。只有在地质分析技术的指导下,才能更准确、更有效地实施不良地质体超前预报和施工地质灾害监测、判断及临近警报等后续预报工作,所以,地质分析技术是施工地质灾害超前预报不可或缺的一道工序,也是首要的工序。

(一)地质分析的作用

地质分析技术在隧道超前地质预报中占有非常重要的地位,没有了隧道所在地的地质分析,超前地质预报的精度就很难提高,其对隧道超前地质预报的影响主要有以下几个方面。

1. 在探测前进行地质分析,使探测做到有的放矢。通过地质分析,以明确待探测主要不良地质体的类型、特征、大致位置,避免盲目地进行探测。

2. 在现场探测时进行地质分析,正确确定出探测时的各种参数。比如使用 TSP、TGP 等仪器进行探测时,炮孔布置在隧道的哪一壁就需要通过地质分析来解决,首先利用地质分析判断出主要不良地质体的走向,然后将炮孔布置在首先遇到不良地质体的隧道壁上,如果同时遇到的话,则左右壁均可以布置。

3. 在数据处理时应用地质分析结论,解决仪器探测的多解性问题,从而得出正确的处理结果。由于仪器探测时多数情况下不管参数设置正确与否,都会得出一个结果,如果操作人员缺乏地质和地球物理知识,很容易得出错误的处理结果,例如在 TSP 探测仪器数据处理时,11 步数据处理中的关键参数如果修改一个,最后的结果相差很大,在良好的地球物理知识指导下,数据处理结果正确与否的验证依据就是地质分析结论,如果其与地质分析结论一致,则处理结果可

信,如果不一致,则需重新处理数据。

4. 在解译过程中,需要具体确定不良地质体的类型、走向和规模。但是仅利用仪器很难探测出不良地质体的类型,例如 TSP 探测仪器,不管是什么地质条件,解译结果均是红蓝相间的条带,所以必须利用地质知识对隧道围岩存在的不良地质体类型进行判断分析,才能正确地确定不良地质体的类型。

(二)地质分析需要收集的地质资料和分析目标

1. 隧址所在地区的区域地质分析

(1)研究资料,主要包括隧址所在地区各种比例尺的区域地质图、区域构造体系图及其说明书、隧址所在地区在中华人民共和国构造体系图和中国及其邻近海域岩石圈动力学图中的位置及其表现的区域地质特征。

(2)分析目标,是应用超前地质预报的地质理论,初步分析并宏观预报隧道所在地区的主要构造方位、力学性质和构造多期活动特征及其不同构造方位对隧道围岩稳定性的影响程度;主要地层类型(如煤系地层、灰岩、白云岩等可溶岩地层)特征及其对隧道围岩稳定性的影响程度;主要岩浆岩的类型(如侵入岩、喷出岩)、空间分布特征及其隧道围岩稳定性的影响程度;现今地应力特征及其与区域地壳运动的关系等。

2. 隧道不良地质体的地质和地貌分析

(1)研究资料,主要是隧道详细地质勘探资料或隧道地质平面图、地质剖面图和深入地面地质调查所取得的第一手地质资料。

(2)分析目标,是在区域地质分析的基础上,主要包括地层(地层层序和特殊岩层)分析,构造(构造体系、构造型式和构造分布规律)分析,岩浆岩(侵入体类型、产状)分析,岩溶(溶洞、暗河、岩溶陷落柱和岩溶淤泥带生成条件和展布规律)分析,地应力分析,瓦斯地质(煤层、瓦斯、采空区)分析等,应用超前地质预报理论进行分析并宏观预报隧道施工中可能遇到的断层破碎带、溶洞、暗河等不良地质体的大约位置、规模和产状(特别是走向),分析并宏观预报施工地质灾害的类型、发生的可能性和对隧道施工的影响程度。

(三)各种不良地质体的调查

1. 断层及其破碎带地面地质调查

断层及其破碎带是隧道施工中最常见的不良地质体,是造成隧道塌方的主要原因,所以,断层及其破碎带的调查在地面地质调查中占有突出重要的地位。

(1)调查的内容及目的

调查主要是调查隧道平面、剖面地质图中已经标画出的断层和被遗漏的、规模较大的断层。

对于已标画出的断层,要核实、修正断层及破碎带的位置、断层的产状和破

碎带的厚度,还要依据其形迹特征和上、下盘岩层的新旧,确定断层的力学性质及断层多期活动的特征;仔细观察断层破碎带的岩石组成、构造特征和含泥量;调查沿断层展布的泉水点和出水量特征等。不同性质的断层其破碎带的界定范围不同,张滑正断层为主的断层破碎带界定范围为断层面附近的断层角砾岩带;压冲逆断层为主的断层破碎带界定范围为断层面附近的断层泥、糜棱岩、构造透镜体及片理化岩石和强烈揉皱层理消失的岩石分布带;剪切平移断层为主的断层破碎带界定范围是断层面的糜棱岩带和断层面附近密集节理带(劈理带)。

对于被遗漏的、规模较大的断层,首先要确定其是否存在。如存在,调查的内容同上。

调查的目的是初步修正和确定断层穿过隧道的较准确位置、隧道中的断层破碎带宽度及影响长度。

(2) 调查的关键技术

断层及其破碎带调查的关键技术是确定断层的存在,然后是鉴别断层的力学性质和多期活动特征。

① 确定断层的存在

在地面地质调查中,确定断层的存在,主要依据以下标志。

a. 地貌标志

断层及其破碎带内的岩石与两侧岩石相比较,突出表现为岩石破碎、强度降低。这种现象在风化、流水冲刷等外地质应力作用下,常常形成负地貌,即表现为沟谷,山梁鞍部等特征,这种现象比比皆是,所以“逢沟必断层”这句话虽然不太科学,却形象地说明断层破碎带经常以负地貌出现的总体特征。但是,并不是所有断层破碎带都必然要以负地貌出现,因此,负地貌标志,只是断层存在的参考标志,不是必然标志。

b. 地层标志

发育于沉积岩、变质岩和部分火山岩等层状岩石中的断层,其两盘必然要出现不同时代不同层位或同一层位不同岩层“错位”或“相顶”现象,这是断层两盘相互错移的结果,沿着地层倾向,出现地层的不对称重复,是走向逆断层存在的地层标志;沿着地层倾向,出现地层的不对称缺失,是走向正断层存在的地层标志;沿着地层走向,同一层位岩层突然中断,与另一个层位岩层相遇,是斜向平移断层存在的地层标志;沿着地层走向,褶皱核部地层突然变宽或变窄,两盘地层不对称相遇,是横向正断层存在的地层标志。

发育于岩浆岩地区的断层,常常出现岩脉、相带和侵入边界被切错的现象,类似上述断层的地层标志。

断层的地层标志,是断层存在的必然标志,也是最重要的、不可或缺的标志。

c. 断层面标志

所有断层都有断层面,断层面是断层两盘沿其位移、错动的地质结构面。断层面的形态有的呈明显舒缓波状,有的呈不规则弯曲状,有的平直如刀切。断层面上常常留下两盘错移的滑动痕迹,即擦痕,有时还不止一期,见图 2-1,这是断层面的突出特征。断层面擦痕是由相互垂直的擦线和擦阶组成,它们可以用来判断断层两盘的位移方式和断层的性质。一般判断的原则如下:大多数擦阶陡坎指向断层对盘滑移的方向;大多数擦线由深到浅、由窄到宽的方向,指向断层对盘滑移的方向;总体手感光滑的方向,指向断层对盘滑移的方向。

垂直擦痕为擦线垂直断层面走向,若为垂直下滑擦痕,则代表正断层活动,若为垂直上冲擦痕,则代表逆断层活动。擦线平行断层走向时代表平移断层活动。多数擦线处于斜交断层走向的状态(斜擦痕),若为斜滑擦痕,代表正平移断层活动或平移正断层活动,若为斜冲擦痕,则代表逆平移断层活动或平移逆断层活动。

断层面上的擦痕有时不止一期,两期或两期以上的擦痕出现在同一个断层面上也是较常见的现象,代表在地史时期中,断层所在地区经历过地应力场的变化和地壳运动方式、方向的变化,可以用其来反演其所在地区的构造演化。判断多期擦痕的先后顺序,一般原则如下:后期擦痕明显,先期擦痕微弱甚至模糊;前期擦痕常常被截断;第一期擦痕,常常代表断层主期活动的性质。

规模较大的断层面常常不止一个,且多是在较窄的范围内以系列断层面出现,其中断距最大的断层面是主断层面(主断面)。

断层面标志是断层存在的最明显、必然的标志。但是,在野外的自然条件下,一条断层的主断面不一定都能被看得到(需要人工揭露),有时只能看到次断层面。

d. 岩石标志

所谓岩石标志,即断层构造岩标志,这是伴随断层两盘位移而同时出现的岩石强度降低的破碎岩石,也即断层破碎带。

破碎带的宽度有宽有窄、有厚有薄,它既与断层的力学性质有关,更与断层的规模(突出表现在断层断距上)有关,断距越大,破碎带越宽,断距越小,破碎

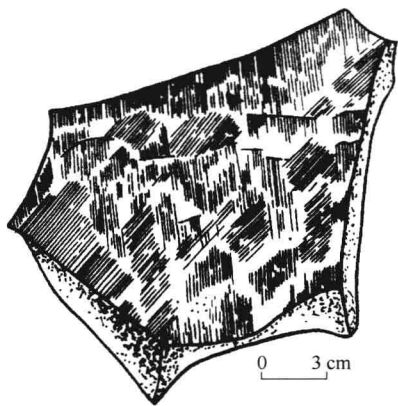


图 2-1 断层面上的两组擦痕

带越窄。

断层破碎带的特征和物质组成则主要与断层力学性质密切相关。

岩石标志,同样是断层存在的必然标志。但是,由于断层破碎带的岩石强度普遍低于正常岩石,其抗风化、抗剥蚀的能力弱,因而作为断层岩石标志的断层破碎带常常以负地貌出现,被残积物、坡积物甚至第四系沉积物所掩盖。在地面地质调查中,常常需要利用一定的山地工具来揭露(剥离、槽探或坑探)。

e. 矿物标志

很多断层,伴随断层两盘的位移,常在断层面上及其附近出现应力矿物,如滑石、叶腊石、绿泥石、云母、石墨、镜铁矿等,也常见矿物的相变,如长石相变为绿泥石等。

这里需要指出的是,不是所有断层都具有明显的矿物特征,矿物标志只是断层存在的参考标志。

f. 构造标志

断层面两侧常出现牵引褶皱、密集节理带、羽状节理或分支断裂、揉皱或地层层理消失等一系列小构造,均为断层存在的构造标志。不同性质的断层出现的构造标志不同。各类小构造的出现,是断层存在的可靠标志,但不是必然标志。

② 鉴别断层的力学性质

鉴别断层的力学性质是断层地面地质调查的另一个关键技术。因为不同力学性质的断层,其断层破碎带范围的界定标准不同,而断层破碎带的宽度又是决定隧道围岩稳定性、围岩级别的最主要因素之一,不同力学性质的断层破碎带物质组成、胶结疏松或紧密程度不同,这也是决定隧道围岩稳定性及是否容易造成塌方的另一个主要因素,不同力学性质断层的导水性能、赋水性能和赋水部位都不相同,而地下水的作用又是决定隧道围岩级别是否升级,升几级的重要因素。所以,确定断层的力学性质不论是地面地质调查还是洞内的观测、编录都是十分重要的。对断层力学性质的准确鉴别是地质工作者尤其是隧道施工地质工作者的重要基本功。

③ 断层多期活动鉴别与主期活动的确定

断层多期活动鉴别与主期活动的确定是断层地面地质调查的第三个关键技术。断层多期活动,也称断层复合,是指早期形成的断层在后期不同的地应力场作用下重新活动,而改变原有的断层性质和位移方式。自然界中的大多数断层都经历过正断层、逆断层或平移断层等多次交替。在我国的多数大地构造环境,很少存在单纯的正断层、逆断层和平移断层。

尽管如此,在断层的多期活动和演化过程中,必定有一期活动是主要的,也

称主期活动。主期活动决定该断层的基本特征。断层的第一期活动,往往是主期活动,断层的形变特征也大多反映第一期活动的特征。另外,断层的最后一期活动也很重要,决定了断层及其破碎带的地下水活动特征,对围岩稳定性起着重要的作用。上述两点也是研究断层多期活动性、区分主期活动和最后一期活动的真正目的所在。

(3) 断层调查的方法及工作步骤

野外调查断层的方法,主要采取区域地质测量中所采用的追索法,即以隧道线路为中心,沿断层向两侧追索,发现较好的露头时,进行详细观测,准确测量断层走向、倾向和倾角;观测破碎带的物质组成、结构特征及破碎带的宽度;确定断层的力学性质和多期活动特征,分析断层的构造演化;确定断层主期活动以及最后一期活动。同时,还要对断层的水文地质状况,如泉水点的数量、泉水的类型和涌水量大小进行调查。

上述调查的结果,都为评价隧道内断层及破碎带对围岩稳定性的影响奠定一定的基础。最后,在较准确地了解断层及破碎带位置、产状的前提下,将断层真倾角换算成隧道剖面上的视倾角,并在隧道纵向地质剖面图上向隧道投射,求得断层及其破碎带在隧道中的位置。这里既包括对设计图中已标画出断层的修正,又包括对新发现的规模较大的断层在隧道中位置的确定。

2. 褶皱地面地质调查

(1) 调查的内容及目的

① 测量背斜和向斜两翼岩层的产状和两翼岩层倾向转折端的位置,以确定褶皱轴面的产状、褶皱轴线的走向及与隧道线路相交的较准确位置,最终目的是确定褶皱轴部在隧道中的准确位置和褶皱的紧闭程度。背斜、向斜较紧闭褶皱的轴部(核部)都属于隧道中的不良地质体,同时也是隧道施工中地质灾害多发地带,特别是在煤系地层和岩溶发育地区。

② 调查背斜和向斜褶皱两翼岩石组成,查明两翼岩层的透水性、隔水性和封闭性。目的是通过地表调查,分析向斜褶皱核部在隧道中形成承压水的可能性大小,分析隧道穿过煤系地层中背斜核部有无发生煤与瓦斯突出的可能性等。

(2) 调查中的关键技术

关键技术是确定出背斜和向斜褶皱核部在隧道中的准确位置。实践证明,在褶皱发育地区,隧道地质纵剖面图中的褶皱核部在隧道中的位置多数不准确。究其原因有两个:①两翼岩层产状不具代表性,因而褶皱轴面产状确定得不准确;②没有将轴面产状中的真倾角换算成设计剖面图中的视倾角而向隧道投射。

(3) 调查的方法及工作步骤

褶皱构造的调查方法主要是穿越法。确定轴面产状时,多采用有代表性岩

层的两翼,用比例作图法求得轴面产状。然后依据换算公式,将轴面真倾角换算成在隧道纵剖面图上的视倾角,最后用视倾角由地表向隧道投射,求得褶皱核部在隧道中的较准确位置。

3. 岩浆岩体及侵入界面地面地质调查

岩浆岩体及侵入界面地面地质调查是在岩浆发育地区穿过的隧道必须进行而且十分重要的一项施工地质工作,因为岩浆岩体的接触界面本身,就是影响隧道围岩稳定性的软弱面和不良地质,其原因如下:①侵入的岩浆岩体通常与围岩在岩石性质和岩石强度方面有很大差异,地应力容易沿其接触界面集中,并为断层的形成创造条件,所以很多接触界面本身就是断层面;②有些岩浆岩,特别是脉状岩浆岩,大多沿断层及其破碎带侵入,而岩脉又很容易沿着侵入界面再次活动;③岩溶发育地区的岩浆岩与灰岩、白云岩的接触界面,特别是上盘,是溶洞发育的有利场所之一;④煤系地层中的岩浆岩侵入体,特别是以岩床或岩盖状侵入时,由于其封闭条件好,容易在接触界面之下聚集过量的高压瓦斯,这是发生煤与瓦斯突出或过量瓦斯涌出的场所之一。

4. 岩溶隧道地面地质调查

在岩溶发育地区施工的隧道,地面地质调查在隧道施工地质工作中占有突出的地位。

(1) 调查的内容及目的

① 调查大型溶洞的进口和周围的岩性、构造和地貌特征,目的是分析和预测该溶洞向深部发育延伸的情况。

② 调查暗河的进口、出口、岩溶洼地相对当地侵蚀基准面的位置,目的是分析和预测暗河的大致通道,查明暗河是属于季节性暗河,还是属于长期流水的暗河。

③ 调查岩溶淤泥带塌陷形成的冲沟、山谷与可溶岩褶皱构造及其发育的断层破碎带的关系,以及与侵蚀基准面的关系。

④ 依据岩溶陷落柱造成的岩溶洼地特征确认其是否存在。

(2) 调查的关键技术

① 掌握岩溶发育的基本条件

- a. 可溶性岩层(灰岩、白云岩)分布区;
- b. 岩层透水性好,即裂隙发育的灰岩、白云岩;
- c. 具有侵蚀性的地下水;
- d. 水在岩层中能够流动。

② 掌握岩溶发育的基本规律

- a. 岩溶发育的分带性