

(第二版)

# 隧道工程施工要点集

关宝树 编著

- 保护围岩
- 内实外美
- 重视环境
- 动态施工



人民交通出版社

China Communications Press

# 隧道工程施工要点集

(第二版)

关宝树 编著

人民交通出版社

# 前言

本书第一版于2003年1月出版,2010年花了几个月的时间对本书进行了修订,增加了若干新的内容,希望本书对读者有所帮助。

《隧道工程施工要点集》是作者针对我国隧道工程施工中存在的问题编写的一本供工程技术人员参考使用的著作。在编写过程中,作者根据多年从事科研和实践工作的体会和经验,把隧道施工的基本理念归纳为四点,即:保护围岩、内实外美、重视环境和动态施工,整个图书内容的编写就是围绕这四点展开的,并尽量通过国内外的施工实例加以说明,同时也适当地介绍了国外一些技术发展的概况。

我国的隧道施工技术虽然有了长足的进步,但与国外相比差距还是很明显的,如何缩短这个差距,作者也提出了一些见解,供广大技术人员参考。

因为写的是“施工要点”,不可能面面俱到,可能有很多没有涉及的要点对被遗漏了,只好以后有机会补上,也希望读者能够提出建议,供今后修订时借鉴。

关宝树

2011年3月于北京

# 目 录

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第一部分 概述                          | 1   |
| 隧道工程施工基本认识                       | 1   |
| 隧道工程施工的现状与存在的问题                  | 2   |
| 隧道工程施工的基本理念                      | 6   |
| 第二部分 施工阶段的地质判释技术                 | 8   |
| 施工要点一 施工阶段围岩级别的评定                | 8   |
| 施工要点二 数码相机摄影及图像处理方法在地质判释中的应用     | 25  |
| 施工要点三 高地应力问题                     | 32  |
| 施工要点四 涌水问题                       | 35  |
| 施工要点五 几个特殊的地质问题                  | 37  |
| 第三部分 坚硬围岩中的隧道施工                  |     |
| ——保护围岩、控制对遗留岩体的损伤                | 45  |
| 施工要点一 加强光面爆破和预裂爆破,控制对围岩固有支护能力的损伤 | 45  |
| 施工要点二 非爆破的机械施工方法                 | 55  |
| 施工要点三 导坑超前+扩挖方法                  | 61  |
| 第四部分 软弱围岩中的隧道施工                  |     |
| ——保护围岩、控制围岩的松弛                   | 63  |
| 施工要点一 软弱围岩隧道开挖后的变形实态             | 67  |
| 施工要点二 稳定掌子面的方法                   | 71  |
| 施工要点三 控制地层松弛的加固地层方法              | 77  |
| 施工要点四 断面的及时封闭(闭合)                | 86  |
| 施工要点五 控制拱脚下沉的技术                  | 98  |
| 第五部分 地下水控制对策                     |     |
| ——施工中的止水和排水                      | 107 |
| 施工要点一 止水方法                       | 107 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 施工要点二 排水方法·····             | 148 |
| <b>第六部分 地下水控制对策</b>         |     |
| ——结构的防水和排水·····             | 163 |
| 施工要点一 自防水技术·····            | 166 |
| 施工要点二 施工缝、变形缝的防水·····       | 169 |
| 施工要点三 防水板·····              | 172 |
| 施工要点四 喷膜防水层·····            | 183 |
| 施工要点五 隧道排水·····             | 193 |
| <b>第七部分 实现内实外美</b>          |     |
| ——支护、衬砌技术要点·····            | 197 |
| 对坑道稳定性和支护的基本认识·····         | 197 |
| 施工要点一 普通喷射混凝土·····          | 202 |
| 施工要点二 钢纤维喷射混凝土·····         | 214 |
| 施工要点三 高强度喷射混凝土·····         | 215 |
| 施工要点四 锚杆·····               | 221 |
| 施工要点五 格栅与钢支撑·····           | 230 |
| 施工要点六 混凝土衬砌·····            | 239 |
| 施工要点七 模板·····               | 245 |
| 施工要点八 混凝土的运送、灌注、捣固及养生·····  | 249 |
| 施工要点九 质量检查·····             | 255 |
| 施工要点十 衬砌背后空洞及回填·····        | 256 |
| 施工要点十一 二次衬砌的开裂与治理·····      | 260 |
| <b>第八部分 实现内实外美</b>          |     |
| ——施工过程中的质量控制·····           | 264 |
| 施工要点一 隧道表面状态检测方法·····       | 265 |
| 施工要点二 混凝土及喷射混凝土强度的检测方法····· | 271 |
| 施工要点三 衬砌厚度及背后空洞状态的检测方法····· | 275 |
| 施工要点四 锚杆灌浆密实度的检测方法·····     | 282 |
| <b>第九部分 地下施工作业环境</b> ·····  | 288 |
| 施工要点一 长距离独头坑道施工通风·····      | 294 |
| 施工要点二 集尘机与施工通风技术·····       | 300 |
| 施工要点三 振动与噪声·····            | 307 |
| 施工要点四 照明及视线的改善·····         | 309 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 施工要点五 作业环境的测定·····                | 316        |
| 施工要点六 瓦斯隧道的有害气体防治·····            | 320        |
| <b>第十部分 控制施工对周边环境和结构物的影响·····</b> | <b>330</b> |
| 施工要点一 地层变异和地下水变动·····             | 331        |
| 施工要点二 控制对周边结构物的影响·····            | 336        |
| <b>第十一部分 动态施工中的若干问题·····</b>      | <b>360</b> |
| 施工要点一 隧道施工的动态管理·····              | 360        |
| 施工要点二 量测与观察·····                  | 366        |
| 施工要点三 施工管理·····                   | 375        |
| <b>第十二部分 坍方、大变形、岩爆·····</b>       | <b>385</b> |
| 施工要点一 坍方·····                     | 385        |
| 施工要点二 大变形·····                    | 404        |
| 施工要点三 岩爆·····                     | 418        |
| <b>第十三部分 大断面隧道和双联拱隧道·····</b>     | <b>446</b> |
| 施工要点一 大断面隧道·····                  | 446        |
| 施工要点二 双联拱隧道·····                  | 468        |
| <b>参考文献·····</b>                  | <b>476</b> |

# 第一部分 概 述

## 隧道工程施工基本认识

地下结构物是多种多样的,构筑地下结构物的施工技术也是多种多样的。这些施工技术的形成和发展与地下结构物的施工特性有关。因此,首先要充分了解地下施工的特性。

概括地说,地下施工具有以下特性:

- 隐蔽性大;
- 作业的循环性强;
- 作业空间有限;
- 作业的综合性很强;
- 施工是动态的,施工过程的力学状态是变化的,围岩的物理力学性质也是变化的;
- 作业环境恶劣;
- 作业的风险性大。

各种施工技术必须考虑这些特性,才能够发挥其作用。

地下结构物竣工后,我们只能看到外观,而其内部及结构物背后的状态是隐蔽的。严格地说,地下工程就是一个隐蔽工程。我们要求结构物做到“内实外美”,就是说,要把隐蔽的工程做到实处,不留后患。

一般的地下结构物都是纵长的,施工是严格地按照一定的顺序循环作业的。如开挖就是按照“钻孔—装药—爆破—通风—出渣”的循环,一步一步地循环开挖,直到最后隧道贯通。这种循环性是地下施工最具特色的一点,也是我们组织施工的基本原则。

地下结构物通常都是在地下一定深度修筑的,结构物的尺寸受到极大限制,这也就决定了施工空间的尺寸和形状。在有限的空间内进行施工,投入的人力和机械,都不能够“畅所欲为”,要考虑有限空间这个特点。因此,像地面工程中使用的大型机械,是很难在地下工程中发挥其作用的,必须采

用适合地下工程有限空间的施工机械和施工方法。

地下施工由多种作业构成,开挖、支护、出渣运输、通风及除尘、防水及排水、供电、供风、供水等作业缺一不可。每一项作业搞得不好都会影响全局。因此,地下施工的综合性很强。这就要求我们必须有良好的施工管理和施工组织经验,才能使工程有序快速地进展。

地下结构的力学状态是极为复杂的,其复杂程度直到目前,还有许多不清楚的地方。我们只能在修筑地下结构物的整个过程中,逐渐地去认识和了解它的力学状态变化,并通过各种手段尽力控制和调整结构的力学状态变化。施工过程,从力学角度看,就是控制和调整这个力学状态变化的过程,施工技术也就是控制和调整这个力学状态的手段和方法。理解这一点是极为重要的。

地下施工的作业环境比较差,黑暗、潮湿、粉尘多,在恶劣的地质条件下,还有安全的问题。因此,如何创造一个安全、舒适和工厂化的作业环境,就成为地下施工技术要解决的重要课题。

最后,风险性与隐蔽性是关联的,施工人员必须经常关注隧道施工的风险性。特别是在不良地质条件下,更要有风险意识和应变意识。

目前,在地下工程中,也包括隧道施工中出现的问题,许多是由于对上述地下施工特性认识不充分或没有认识所造成的。因此,提高对地下施工特性的认识是十分必要的。

## 隧道工程施工的现状与存在的问题

改革开放以来,特别是最近的十几年间,我国铁路、公路、水电站等山岭隧道工程的发展又进入了一个新的时期。到2000年我国已有公路隧道1684座,总长达628km,到2010年底铁路运营隧道约10174座,总长达7500km。除隧道的数量增加外,隧道的长度也有所突破,如正在修建的长度超过32km的关角铁路隧道、具有世界领先水平的锦屏水电站隧道群,已经建成投入运营的长达18km的终南山公路隧道、长达80余公里的大伙房输入隧洞,以及小浪底水电工程中的地下工程群体。另一方面的突破表现在施工技术的现代化上,如秦岭的I线隧道是我国首次采用直径8.8m的全断面掘进机(TBM)修建的,这标志着我国铁路隧道施工技术的进步和成熟。在铁路隧道中,已不再单纯地依靠钻爆法修建隧道,也采用非钻爆的机械开挖法进行隧道的修建。正在修建和预计修建的长度超过4km的公路

隧道,包括大断面(3 车道或 4 车道、双连拱隧道等)的公路隧道也不断出现。特别是在加强铁路、公路建设的新高潮中,不同长度、不同类型的山岭隧道大量涌现。因此,隧道技术的发展,面临一个新的机遇和挑战。从目前的工程实际出发,在今后很长一段时期内,矿山法仍然是修建山岭隧道的主流方法,是其他方法不可能代替的。因此,改造和完善矿山法及其相关施工技术,仍然是刻不容缓的,必须及时总结经验、适应形势发展的要求,不断提高矿山法山岭隧道的施工技术水平。

在隧道施工中最重要的是选择合理的施工方法。在长期的工程实践中,我国已经积累了相当丰富的经验和理论,逐渐形成了具有中国特色的隧道施工方法体系。

隧道施工过程和方法是多种多样的,目前在我们经常采用的矿山法中,基本上分为全断面法、台阶法和分部开挖法三大类。

在当前的施工实践中,采用最多的方法是台阶法,包括台阶法的各种变化方案,其次是全断面法。在大断面隧道中,单侧壁导坑(中隔壁法)和双侧壁导坑(眼镜法)也多有采用。由于施工机械的开发和辅助工法的采用,施工方法有向更多地采用全断面法,特别是全断面法与超短台阶法结合的发展趋势。也就是说,施工方法有向全地质型方法转变的趋势。因此,目前选择施工方法,并不完全决定于地质条件。地质条件仅仅是选择施工方法的一个因素,而更应强调的是:施工方法必须符合快速、安全、质量及环境的要求。其中环境因素有时成为选择施工方法的决定性因素。

因此,选择施工方法时需考虑的基本因素大体上可归纳为:

(1)施工条件:实践证实,施工条件是决定施工方法的最基本因素,它包括一个施工队伍所具备的施工能力、素质以及管理水平。目前我国隧道施工队伍的素质和施工装备水平,有高有低,参差不齐,因此,在选择施工方法时,不能不考虑这个因素的影响。

(2)围岩条件:也就是地质条件,其中包括围岩级别、地下水及不良地质现象等。围岩级别是对围岩工程性质的综合判定,对施工方法的选择起着重要的甚至决定性的作用。从施工技术的发展趋势看,地质条件虽然是重要的,但基本施工方法的变化却不显著。例如全断面法和超短台阶法的结合以及全地质型掘进机和自由断面掘进机等的开发都说明了这一点。

(3)隧道断面:隧道尺寸和形状,对施工方法选择也有一定的影响。目前隧道断面有向大断面方向发展的趋势,如公路上已开始修建 3 车道甚至 4 车道的大断面隧道,水电工程中的大断面洞室更是屡见不鲜。在这种

情况下,施工方法必须适应其发展。在单线和双线的铁路隧道、双车道公路隧道中,越来越多地采用了全断面法及台阶法;而在更大断面的隧道工程中,先采用各种方法修小断面的导坑,再扩大形成全断面的施工方法极为盛行。

(4)埋深:隧道埋深与围岩的初始应力场及多种因素有关,通常将埋深分为浅埋和深埋两类,有时将浅埋又分为超浅埋和浅埋两类。在同样地质条件下,由于埋深的不同,施工方法特别是辅助的施工方法也将有很大差异。

(5)工期:作为设计条件之一的施工工期,在一定程度上会影响基本施工方法的选择。特别是辅助坑道的设置,其工期决定了在均衡生产的条件下,对开挖、运输等综合生产能力的基本要求,即对施工均衡速度、机械化水平和管理模式的要求。

(6)环境条件:当隧道施工对周围环境产生如爆破震动、地表下沉、噪声、地下水条件的变化等不良影响时,环境条件也应成为选择隧道施工方法的重要因素之一,在城市条件下,甚至会成为选择施工方法的决定性因素。

在施工方法中应该澄清一个问题,就是对新奥法的认识问题。目前大家对新奥法的认识并不完全一致,有人认为它是一种施工方法,有人认为它是一种概念、理念或原则。我认为这种争论是没有什么实质性意义的。地下工程的修建已经有了很长的历史,我们积累的经验和教训是十分丰富的,像日本的“隧道十训”、奥地利的“22点原理”等,以及英国法、法国法、德国法、比利时法等等,这些方法虽然是依当时的技术条件和技术理论形成的,但它也同样体现了隧道施工的基本原则——充分利用围岩的自支护能力、支护要及时。

大家知道,暗挖法是针对明挖法而言的,矿山法则是暗挖法中的一种方法,而新奥法则是矿山法中的一种方法。因此,从严格的意义上说,新奥法与过去所谓的上下导坑法、漏斗棚架法等是同类的方法,但它是以新发展的施工技术(喷混凝土、锚杆等)为依托的方法,这也是新奥法命名的精髓所在,别无其他。正像挪威法是以钢纤维喷混凝土作为永久支护为依托的方法一样。

在长期的工程实践中,不管是哪种方法,都必须正确地坚持隧道施工的基本原则。这些原则是在长期的施工实践中积累起来的经验教训的结晶,而且也是得到理论研究证实的。

归纳起来,施工中不管采用哪种方法,都必须遵循的基本技术原则是:

(1) 围岩是隧道的主要承载单元,所以要在施工中充分保护围岩。避免过度破坏和损伤遗留围岩的强度,使暴露的围岩尽量保留既有的质量,是最重要最基本的原则。这在任何施工方法中都是一样的,像古老的黄土窑洞、无衬砌的岩石洞室等的修建就完全遵守了这个原则。

(2) 为了充分发挥围岩的结构作用,应容许围岩有可控制的变形。一方面容许变形达到不在围岩中形成松弛的量级,一方面必须限制它,使围岩不会过度松弛而丧失或大幅降低承载能力;而在浅埋或地表下沉受到控制的条件下,及时控制变形和松弛及其发展是非常重要的。

(3) 变形的控制主要是通过支护阻力(即各种支护结构)的效应达到的。因此,在施工中必须合理地确定支护结构的类型、支护结构参与工作的时间、各种支护手段的相互配合、断面封闭时间、一次掘进长度等。

(4) 在施工中,必须进行实地观察、量测和监控,及时提出可靠的、足够数量的量测围岩变化、支护变异等情报,以指导施工和设计。有人认为,量测是新奥法的重要组成部分。实际上,在新奥法之前,量测监控的技术早已存在。例如,量测木支撑的横梁弯曲(挠度),用锤击法判定支柱的受力状况等。即使从今天的眼光看,这些技术仍然有其实用价值。

(5) 在选择支护手段时,一般应选择能大面积的、牢固地与围岩紧密接触的、能及时施设和应变能力强的支护手段。因此,多采用喷混凝土并与锚杆、金属网联合使用,有时也要与钢架等配合使用构成多种形式的初期支护体系,达到控制开挖后变形的目的。

(6) 要特别注意,隧道施工过程是围岩力学状态不断变化的过程。减少开挖分部,也就有可能减少因分部过多而引起的围岩内的应力变化和围岩松弛。因此,在有可能的条件下,应尽量采用全断面或大断面分部的开挖方法。这也是矿山法隧道施工方法发展的主流趋势。

(7) 在任何情况下,使隧道断面能在较短时间内闭合都是极为重要的。在岩石隧道中,因围岩的结构作用,隧道断面能够“自封闭”。而在软弱围岩中,则必须利用多种手段,坚持“预支护、快挖、快支、快封闭”的原则,使隧道开挖断面在较短时间内或较短距离内及早封闭,这是非常重要的。

(8) 隧道结构的耐久性,主要体现在二次衬砌的耐久性上,必须从施工技术上确保二次衬砌与初期支护的密贴和混凝土质量。

(9) 在隧道施工过程中,必须建立设计—施工检验—地质预测—量测反馈—修正设计的一体化的施工管理系统,以不断地提高和完善隧道施工技术。

在实际施工过程中,这些原则也不是一成不变的,应该结合实际情况进行完善和提高。

我国近 3 000km 的铁路隧道和近 700km 的公路隧道,基本上是采用矿山法修筑的,目前出现的主要问题集中在以下几个方面:

- (1)施工阶段的地质判释技术不完善,缺乏有效的判释方法和手段。
- (2)隧道施工方法,特别是针对软弱破碎围岩的施工方法的工厂化程度有待提高。
- (3)在施工中没有牢固树立“保护围岩、爱护围岩”的观点和理念,不能有效地控制对遗留围岩的损伤和松弛。
- (4)“重外美、轻内实”,结构存在隐患,如:衬砌背后充填不密实,甚至留有空洞;衬砌厚度不足,有的严重不足;衬砌初期开裂普遍存在;基底处理不彻底,运营不久出现翻浆冒泥现象等。
- (5)地下水处理始终是薄弱环节,防水工程质量欠佳,渗水、漏水现象时有发生。
- (6)环境意识薄弱,洞内施工作业环境欠佳,减少对周边环境和结构物影响的措施不力。
- (7)施工阶段工程质量的检测体制不完善,更为重要的是缺乏有效的检测手段和方法。
- (8)应变能力不强,一旦出现施工灾害,有时束手无策。
- (9)没有真正地实现动态施工和管理。

实质上,这几点也就是衡量隧道施工技术水平的重要标志。我国与一些发达国家相比,在技术上的差距,也就在于此。

出现这些问题主要与施工技术和施工管理有关。当然隧道工程中存在的问题是多方面的,有设计、施工方面的,也有业主、监理方面的;有深层次的问题,也有表面的问题。但总体来看,高水平的施工技术和严格的施工管理是关键。

## 隧道工程施工的基本理念

作者根据自己的体会,针对目前存在的问题,将隧道施工的技术要点归纳为四点:保护围岩、内实外美、重视环境和动态施工。这也就是隧道施工的四大理念。

所谓“保护围岩”有两层含义:一层含义是不损伤或少损伤遗留围岩的

固有支护能力,这可以通过采用机械开挖技术和控制爆破技术予以解决;另一层含义是通过各种手段和方法,如采用支护技术、加固或预加固技术以及各种辅助施工技术增强围岩的自支护能力等。这些技术形成了隧道施工的核心技术。

所谓“内实外美”,关键是内实。而内实的关键就是要做到“四密实”,即混凝土密实、喷混凝土密实、喷混凝土与围岩密实(贴)、二次衬砌与初期支护密实(贴)。这牵涉混凝土、喷混凝土、回填、支护接触等技术。

所谓“重视环境”,也有两层含义:一层含义是指内部环境,即施工作业环境;另一层是对外部环境,即对周边环境的影响。重视环境是时代的要求,许多环境技术都是因时代的变迁而得到发展的,许多基准都是因环境的要求而制定的。

根据暴露出来的围岩状态采取对策,是隧道施工的基本原则。这里所谓的“动态施工”是指:隧道施工过程中的地质条件是不断变化的,其力学状态也是不断变化的,因此,施工过程就不可能是一成不变的。我们在施工过程中采用的各种施工方法和技术都是为了适应这种“状态”变化的。因此,隧道施工的各种决策都要在施工阶段的地质技术、施工阶段的观察量测技术和施工阶段的质量控制技术的基础上进行管理。这也就是动态施工的基本含义。

归根结底一句话,就是必须不断地提高隧道施工的工厂化技术和施工管理的水平。

本施工要点集,就是根据以上几方面存在的问题、施工的基本原则和作者的经验和,分析存在问题的原因和提出解决问题的方法和途径,供现场技术人员参考。

## **第二部分 施工阶段的地质判释技术**

隧道施工人员在施工中会遇到各种地质现象。隧道施工,通俗地说,就是“与山斗”、“与水斗”、“与地质斗”。因此,了解山与水,认识地质,就成为隧道技术人员的“基本功”。在施工过程中,不可能完全依靠地质人员来解决地质问题,要把解决问题的“主动权”控制在自己手中。前面我们提到,保护围岩是隧道施工的最重要的原则,而其前提是要充分认识和了解围岩。因此,如何认识和了解围岩,也就成为施工技术人员的重要而迫切的任务。

我们的工程技术人员,由于学校教育的局限性和现场管理体制的不同,最感到欠缺的是地质知识和经验。而隧道和地下工程又正是天天与地质环境打交道的工程。因此,对工程技术人员来说,必须加强这方面的锻炼,在实际工作中,不断地积累和获取这方面的知识,不断地提高对各种地质现象的判释水平。下面扼要地说明与我们关系密切的几个地质问题。

### **施工要点一 施工阶段围岩级别的评定**

在施工中,因围岩级别的变动而变更设计(支护结构参数、施工方法等)的情况是屡见不鲜的,应该说这是正常的,这充分反映了地质条件的复杂性。但有的隧道,在施工过程中,变更设计过多,不仅延误了工期,也提高了施工成本,同时给工程质量也造成一定的影响。造成这种现象的原因是多方面的,但主要是施工前的地质工作不到位、缺乏有效的围岩级别判定的方法,而更为重要的是,我们对施工中的地质工作缺乏足够的认识,也缺乏有效的判释方法和手段。

由于隧道的特殊性,近年来,各国都非常重视施工阶段的地质勘察工作。因为大家认识到,只有开挖暴露出来的地质状态,才能使我们比较客观、可靠地了解在施工过程中出现的一些现象和问题,才能使我们采取最符合地质状态的施工和支护措施。如何根据暴露出来的地质状态来评价围岩

的动态,又成为施工中的关键。

在隧道施工中,根据施工准备阶段的调查进行的设计,都属于预设计。其正确性、与实际的符合程度,都有待施工中检验。因此,在施工过程中,要进行地质调查、掌子面观察及量测,对暴露的围岩进行评价,并将其结果有效地利用于下述工作:

- 确认和修正围岩级别并迅速而合理地反映到施工中;
- 确认施工中隧道结构物的稳定性,同时确保施工的经济性;
- 积累资料,作为类似条件下隧道施工的参考。

这就是施工中地质工作的任务和要求。

目前的关键问题是,如何根据施工中的调查、观察及量测等对围岩进行评价,采用什么样的方法、根据什么准则来进行评价。

施工阶段围岩级别的评定方法,目前主要有两类:一类是根据开挖暴露出来的掌子面观察的方法;一类是根据量测的方法。目前,国内外在隧道及地下工程施工中进行围岩评价,主要是根据掌子面的观察来进行的,这是比较简便而现实的方法。量测方法也是判定围岩状态的好方法,但量测结果的处理需要一定的时间,因而当地质条件变化频繁时很难适应。此外,量测也需要投入大量的仪器,对施工作业有一定的干扰。地质超前预报的方法是在必要时采取的方法,没有普遍性。因此,利用掌子面观察的方法,就成为进行围岩评价的主要方法。工程技术人员应该掌握这种方法的实质和内涵。

洞内观察是为掌握地质状况,确认支护效果及决定支护参数等而实施的。掌子面观察是当新的掌子面出现后首先进行的观察。要绘制掌子面观察(素描)图,进行摄影等。在施工中应充分利用观察到的资料,及时判释,来完善支护体系和施工方案。这种观察主要通过目视,也可以采用摄影的方法观察掌子面的地质状态和地质的变化状况。

观察中应具体地记录以下各项,并描绘掌子面地质素描图:

- 地质状况及其分布、性质和掌子面自稳性;
- 围岩的软硬、裂隙间距及方向等围岩状态;
- 断层的分布、走向、黏土化程度等;
- 涌水地点、涌水量及其状态;
- 软弱层的分布;
- 其他。

应该说,工程技术人员通过掌子面地质观察技术的积累,会不断地丰富自身的地质知识和经验,从而提高自身的地质工作素质。

在掌子面观察中,一个关键的问题,就是对观察到的地质情报进行分类和分级。表 2-1 是铁路隧道施工阶段的掌子面观察记录表。

掌子面地质观察记录表

表 2-1

| 工程名称   |                                      |         | 位置                               |              | 里程                  |            |                | 评定                                     |       |  |  |  |
|--------|--------------------------------------|---------|----------------------------------|--------------|---------------------|------------|----------------|----------------------------------------|-------|--|--|--|
|        |                                      |         |                                  |              | 距洞口距离(m)            |            |                |                                        |       |  |  |  |
| 岩性指标   | 岩石类型(名称)                             |         | 黏聚力 $c =$ (MPa); $\varphi =$ (°) |              |                     |            |                |                                        | · 硬岩  |  |  |  |
|        | 单轴抗压极限强度 $R_b =$ (MPa)               |         |                                  |              | 点荷载强度 $I_b =$ (MPa) |            |                |                                        | · 中硬岩 |  |  |  |
|        | 变形模量 $E =$ (GPa)                     |         |                                  |              | 泊松比 $\nu =$         |            |                |                                        | · 软岩  |  |  |  |
|        | 天然重度 $\gamma =$ (kN/m <sup>3</sup> ) |         |                                  |              | 其他                  |            |                |                                        | · 极软岩 |  |  |  |
| 岩体完整状态 | 地质构造影响程度                             |         | 轻 微                              |              | 较 重                 | 严 重        | 很严重            | · 完整<br>· 较完整<br>· 较破碎<br>· 破碎<br>· 松散 |       |  |  |  |
|        | 地质结构面                                | 间距(m)   | >1.5                             | 0.6~1.5      | 0.2~0.6             | 0.06~0.2   | <0.06          |                                        |       |  |  |  |
|        |                                      | 延伸性     | 极差                               | 差            | 中等                  | 好          | 极好             |                                        |       |  |  |  |
|        |                                      | 粗糙度     | 明显、台阶状                           |              | 粗糙、波纹状              | 平整光滑       | 平整光滑、有擦痕       |                                        |       |  |  |  |
|        |                                      | 张开性(mm) | 密闭 <0.1                          | 部分张开 0.1~0.5 | 张开 0.5~1.0          | 无充填张开 >1.0 | 黏土充填           |                                        |       |  |  |  |
|        | 风化程度                                 |         | 未风化                              | 微风化          | 弱风化                 | 强风化        | 剧风化            |                                        |       |  |  |  |
|        | 说明                                   |         |                                  |              |                     |            |                |                                        |       |  |  |  |
| 地下水    | 渗水量<br>[L/(min·10m)]                 |         | <10<br>干燥或湿润                     |              | 10~25<br>偶有渗水       |            | 25~125<br>经常渗水 | · 干燥或湿润<br>· 偶有渗水<br>· 经常渗水            |       |  |  |  |
| 初始应力状态 | 埋深 $H =$ (m)                         |         |                                  |              |                     |            |                | · 极高地应力                                |       |  |  |  |
|        | 地质构造应力状态                             |         |                                  | 其他           |                     |            |                | · 高地应力<br>· 一般地应力                      |       |  |  |  |
| 围岩级别   | VI                                   | V       | IV                               | III          | II                  | I          |                |                                        |       |  |  |  |
| 备注     |                                      |         |                                  |              |                     |            |                |                                        |       |  |  |  |
| 记录者    |                                      |         | 复核者                              |              |                     |            | 日期             |                                        |       |  |  |  |

表 2-2 是日本 2009 年版《公路隧道观察、量测指南》建议采用的掌子面观察的记录格式;表 2-3 是南非的掌子面观察结果示例,可资参考。掌子面观察,原则上每个掌子面记录一次。基于洞内的观察记录,利用其平面和纵断面,立体地表现掌子面地质状态的变化。

掌子面观察记录及评价表

表 2-2

| 观 察 项 目                           |               | 评 价 级 别                       |                                  |                                    |                                   |                     |            |
|-----------------------------------|---------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------|
| A<br>抗压强度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 单轴抗压强度        | 100 以上                        | 100 ~ 50                         | 50 ~ 25                            | 25 ~ 10                           | 10 ~ 3              | 3 以下       |
|                                   | 点荷载试验         | 4 以上                          | 4 ~ 2                            | 2 ~ 1                              | 1 ~ 0.4                           | 0.4 以下              |            |
|                                   | 锤击强度<br>大致标准  | 岩片置于<br>地面,用锤<br>强烈打击<br>难以崩裂 | 岩片置于<br>地面,用锤<br>强烈打击<br>可崩裂     | 用手拿着,<br>用锤打击,<br>可崩裂              | 岩片轻打<br>能崩裂                       | 两手可局<br>部掰裂         | 用指甲可<br>划裂 |
|                                   | 评价级别          | 1                             | 2                                | 3                                  | 4                                 | 5                   | 6          |
| B<br>风化变质                         | 风化大致标准        | 新鲜                            |                                  | 沿裂隙风化<br>变质                        | 除岩芯外风<br>化变质                      | 土砂状风化、<br>未固结土砂     |            |
|                                   | 热水变质等<br>大致标准 | 没有看到变质                        |                                  | 变质,裂隙夹<br>有黏土                      | 变质,岩芯强<br>度降低                     | 显著变质,全体<br>土砂状、黏土化  |            |
|                                   | 评价级别          | 1                             |                                  | 2                                  | 3                                 | 4                   |            |
| C<br>裂隙间隔                         | 裂隙间隔          | $d \geq 1\text{m}$            | $1\text{m} > d \geq 50\text{cm}$ | $50\text{cm} > d \geq 20\text{cm}$ | $20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$ | $5\text{cm} > d$    |            |
|                                   | RQD           | 80 以上                         | 80 ~ 50                          | 60 ~ 30                            | 40 ~ 10                           | 20 以下               |            |
|                                   | 评价级别          | 1                             | 2                                | 3                                  | 4                                 | 5                   |            |
| D<br>裂隙状态                         | 裂隙开口          | 裂隙密着                          | 裂隙局部开口<br>(宽度小于1mm)              | 裂隙多开口<br>(宽度小于1mm)                 | 裂隙多开口<br>(宽度1~5mm)                | 裂隙开口,宽度<br>在5mm 以上  |            |
|                                   | 裂隙夹持物         | 无                             | 无                                | 无                                  | 夹有薄层黏土<br>(5mm 以下)                | 夹有厚层黏土<br>(5mm 以上)  |            |
|                                   | 裂隙粗糙度         | 粗糙                            | 裂隙面平滑                            | 部分平滑                               | 有摩擦痕迹                             |                     |            |
|                                   | 评价级别          | 1                             | 2                                | 3                                  | 4                                 | 5                   |            |
| F<br>涌水量                          | 状态            | 无,渗水<br>1L/min 下              | 滴水程度<br>1 ~ 20L/min              |                                    | 集中涌水<br>20 ~ 100L/min             | 全面涌水<br>100L/min 以上 |            |
|                                   | 评价级别          | 1                             | 2                                |                                    | 3                                 | 4                   |            |
| G<br>劣化                           | 水的劣化          | 无                             | 没有产生松弛                           |                                    | 软化                                | 流出                  |            |
|                                   | 评价级别          | 1                             | 2                                |                                    | 3                                 | 4                   |            |

掌子面观察结果示例

表 2-3

| 开挖地点的围岩状态 |       |       |                |                |            |                |
|-----------|-------|-------|----------------|----------------|------------|----------------|
| A         | 掌子面状态 |       | 自稳             | 有掉块            | ※留核心土      | 需采取大规模支护措施     |
| B         | 岩石强度  | 拱脚附近  | 锤击反弹,强烈锤击沿裂隙裂开 | ※锤击易裂开,呈小片、薄片状 | 锤击易崩裂,呈岩片状 | 不能锤击,用指甲也会崩成岩片 |
|           |       | 掌子面正面 | 锤击反弹,强烈锤击沿裂隙裂开 | ※锤击易裂开,呈小片、薄片状 | 锤击易崩裂,呈岩片状 | 不能锤击,用指甲也会崩成岩片 |