

隧道工程 现场施工 技术



周爱国

主编

唐朝晖 方勇刚

副主编

乔国中 周建伟

于敦荣

主审

 人民交通出版社
China Communications Press



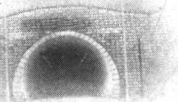
要 录 内

公路工程施工

本书以《公路工程施工技术规范》为依据，结合公路工程施工现场实际情况，对公路工程施工技术与管理进行了系统的阐述。全书共分八章，主要内容包括：公路工程施工组织设计、公路工程施工测量、公路工程施工材料、公路工程施工机械、公路工程施工安全、公路工程施工环境保护、公路工程施工质量管理、公路工程施工竣工验收。

隧道工程 现场施工 技术

ISBN 7-114-04952-8



周爱国
唐朝晖
乔国中
于墩荣

方勇刚
周建伟

主编
副主编
主审



主编 周爱国
副主编 唐朝晖
主审 于墩荣

ISBN 7-114-04952-8

北京和平里北街10号 101013

人民交通出版社
China Communications Press

830189

3

内 容 提 要

本书为“公路工程施工现场技术与管理丛书”之隧道工程部分。内容包括:隧道施工方法总论、公路隧道施工组织设计与管理、新奥法施工技术、掘进机法施工技术、盾构法施工技术、沉管法施工技术、明挖法施工技术、盖挖法施工技术、浅埋暗挖法施工技术、地下连续墙法施工技术。

本书从公路隧道施工现场技术人员角度出发,充分分析工程实践的具体要求,并结合实例阐明各施工法的技术要点,突出了“实用性、先进性、可操作性和示范意义”的原则。

本书适用于受过专业教育、具备一定的专业基础知识和认知能力,但现场实践经验有限,在施工中灵活、熟练、有效地处理实际问题能力不足的工程技术人员,亦可作为即将毕业的大中专学生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程现场施工技术 / 周爱国主编. —北京: 人民交通出版社, 2004.
ISBN 7-114-04952-8

I. 隧… I 周… III. 隧道工程—工程施工—施工技术 IV.U455

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第006327号

隧道工程现场施工技术

周爱国 主 编

唐朝晖 方勇刚 副主编

乔国中 周建伟

于敦荣 主 审

正文设计: 彭小秋 责任校对: 宿秀英 责任印制: 张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京明十三陵印刷厂印刷

开本: 787×960 1/16 印张: 37.5 字数: 681千

2004年4月 第1版

2004年4月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—5000册 定价: 49.00元

ISBN 7-114-04952-8

前言

20世纪90年代以来,我国公路交通事业进入了一个持续、快速、健康发展时期,公路基础设施的落后面貌得到了明显改善。特别是1998年以来,国家作出了扩大内需、加快基础设施建设的重大决策,为公路交通创造了一个难得的发展机遇。近年来,随着公路建设投资的大规模增加,我国的公路通车里程飞速增长,公路施工质量明显改善,施工工艺、技术也取得了显著进步。

与此同时,公路隧道的数量和总里程也在迅速增长。在改革开放之初的1979年,中国只有公路隧道374座,总里程为52km。经过20多年的快速建设,到2001年底,我国公路隧道总数已达1782座,总里程704km,分别是改革开放之初的4.7倍和13.5倍。我国已经是世界上公路隧道最多和隧道施工技术发展最快的国家。近10年来,我国交通部门每年投入大量科研经费,已摸索出一整套的隧道施工技术,其中某些方面已接近甚至达到国际先进水平。

本书是“公路工程施工现场技术与管理丛书”的一册。该套丛书面对的读者对象为:受过专业教育,具备一定的专业基础知识和认知能力,但现场实践经验有限,在施工中灵活、熟练、有效处理实际问题能力不足的工程技术人员。因此,编者是站在公路隧道施工现场技术人员的角度,充分分析他们的实际需求,力求用简单易懂的语言并结合实例阐明各个技术要点,突出“实用性、先进性、可操作性和示范意义”的原则,帮助现场技术人员迅速全面掌握隧道施工技术。希望广大工程技术人员通过对本书的阅读,可以更快地把施工技术应用于生产实践。

本书共分十章:第一章隧道施工方法、第二章公路隧道施工组织设计与管理、第三章新奥法现场施工技术、第四章沉管法现场施工技术、第五章盾构法现场施工技术、第六章掘进机法现场施工技术、第七章明挖法现场施工技术、第八章盖挖法现场施工技术、第九章浅埋暗挖法现场施工技术、第十章地下连续墙法现场施工技术。

本书由中国地质大学(武汉)周爱国教授担任主编,并负责全书结构设计 with 大纲制订,唐朝晖、方勇刚、乔国中、周建伟担任副主编。具体分工如

下:第一章由周爱国、唐朝晖编写;第二章由唐朝晖、周爱国、方勇刚编写;第三章由方勇刚、唐朝晖、周建伟编写;第四章由唐朝晖、方勇刚、周爱国编写;第五章由周建伟、岳敏、张琳编写;第六章由唐朝晖、乔国中、邢新丽编写;第七章由方勇刚、唐朝晖、乔国中编写;第八章由乔国中、唐朝晖、周建伟编写;第九章由方勇刚、周爱国、刘军编写;第十章由岳敏、周建伟、乔国中编写。中国地质大学(武汉)吴立博士审阅了书稿,提出了许多十分有益的修改意见和建议。本书由于敦荣教授主审。

由于作者理论水平和工程施工经验有所欠缺,本书难免存在不足之处,恳切希望读者批评指正,提出宝贵意见。

在本书的编写过程中,引用了大量隧道施工、设计方面的相关文献,以及许多未公开发表的隧道施工技术资料,由于时间仓促,未一一列举,敬请原谅。此外,还得到了有关领导、专家和同行的支持和帮助,人民交通出版社也给予了具体指导和帮助,在此一并致谢!

作 者
2004年1月

目 录

第一章 隧道施工方法总论	1
第一节 概述.....	1
第二节 隧道主要施工方法简介.....	3
一、新奥法	3
二、掘进机法	7
三、盾构法.....	12
四、沉管法.....	16
五、明挖法.....	23
六、盖挖法.....	24
七、浅埋暗挖法.....	25
八、地下连续墙法.....	29
第二章 公路隧道施工组织设计与管理	31
第一节 前期准备工作	31
一、现场调查与校核设计文件.....	32
二、施工机构的组建.....	33
三、现场物质、技术条件准备	34
第二节 隧道施工组织设计	34
一、隧道工程的施工特点.....	35
二、编制隧道施工组织设计的原则与依据.....	35
三、编制隧道施工组织设计的程序与内容.....	36
四、隧道各阶段施工组织设计及内容.....	38
五、编制隧道施工组织设计所必需的资料.....	40
第三节 隧道施工方案的选择	41
一、辅助坑道方案.....	42
二、山岭公路隧道与城市道路隧道施工方案选择.....	42
第四节 隧道施工的场地布置	43
一、弃渣场地及卸渣道路布置.....	44

二、大宗材料堆放场地和料库布置	45
三、隧道施工生产房屋和生产设施布置	45
四、隧道施工生活房屋布置	46
第五节 隧道施工进度计划	47
一、隧道施工流水作业原理	47
二、隧道施工进度计划的表现形式	49
三、施工进度计划的编制	53
第六节 隧道施工计划管理	57
一、隧道施工计划编制	57
二、隧道施工计划的执行、检查与调整	58
第七节 隧道施工技术管理	59
一、隧道施工技术管理工作任务及内容	59
二、隧道施工技术管理制	61
第八节 隧道施工质量管理	62
一、隧道施工全面质量管理	63
二、质量管理和质量保证系列标准简介	72
三、隧道施工工程质量和工期的保证措施	74
四、隧道施工工程质量检查与验收	75
第九节 隧道施工经济管理	76
一、隧道工程建设标准定额管理	76
二、隧道工程建设成本管理	77
第十节 隧道施工安全管理	80
一、隧道施工伤亡事故类别	80
二、隧道施工安全管理总要求	80
三、隧道施工安全保证措施	80
四、建立健全各项安全管理制度	81
第三章 新奥法施工技术	85
第一节 新奥法施工流程	85
第二节 新奥法施工技术要求	86
第三节 新奥法施工技术要点	88
一、开挖技术要点	88
二、出渣技术要点	102
三、初期支护技术要点	109
四、现场量测与监控技术要点	148
五、防水隔离层施工技术要点	214

六、二次衬砌技术要点	219
第四章 掘进机法施工技术	229
第一节 掘进机法施工流程	229
第二节 掘进机法施工技术要求	234
一、掘进机的用途	234
二、掘进机法的优缺点	234
三、掘进机分类	235
四、掘进机掘进系统	238
五、TBM 性能与不同岩石的相互关系	241
六、当代全断面掘进机的总体参数	241
第三节 掘进机法施工技术要点	246
一、掘进开挖施工管理	246
二、衬砌施工技术要点	248
三、不良地质地段施工	249
第五章 盾构法施工技术	252
第一节 盾构法施工流程	252
第二节 盾构法施工技术要求	253
一、盾构法施工的优缺点及适用范围	253
二、盾构分类与构造	255
三、盾构机的应用选型	272
四、盾构尺寸与千斤顶推力的确定	278
第三节 盾构法施工技术要点	282
一、盾构施工的准备工作的	282
二、盾构掘进	288
三、盾构衬砌施工技术要点	298
四、盾构法结构防水	305
五、盾构施工变形与沉降控制	312
六、特殊盾构施工法要点	319
第六章 沉管法施工技术	330
第一节 沉管法施工流程	330
第二节 沉管法施工技术要求	332
一、沉管法的优缺点	332
二、选择沉管法的原则	334
第三节 沉管法施工技术要点	339
一、干坞修筑技术要点	339

二、管节预制技术要点	351
三、基槽开挖技术要点	379
四、管节浮运与沉放技术要点	393
五、管节水下对接技术要点	415
六、基础处理技术要点	420
七、附属建筑及内部装修	439
第七章 明挖法施工技术	453
第一节 明挖法施工流程	453
第二节 明挖法施工技术要求	454
第三节 明挖法施工技术要点	455
一、敞口放坡基坑	455
二、围护结构基坑	458
三、基坑降水	468
四、基坑开挖与回填	472
五、结构防水层施工	473
六、主体结构施工	477
七、常见山岭隧道明挖施工技术要点	481
第八章 盖挖法施工技术	486
第一节 盖挖法施工流程	486
第二节 盖挖法施工技术要求	491
一、盖挖逆作法的技术特点	492
二、盖挖逆作法的优缺点	492
三、盖挖逆作法的适用范围	493
第三节 盖挖法施工技术要点	494
一、盖挖逆作法的施工计划	494
二、立柱结构的施工	497
三、逆作法的接头施工	501
四、结构防水层施工技术要点	508
第九章 浅埋暗挖法施工技术	511
第一节 浅埋暗挖法施工流程	511
第二节 浅埋暗挖法施工技术要求	512
一、暗挖法施工隧道的深度分界	512
二、浅埋暗挖法施工技术特点	513
三、浅埋暗挖法施工的适用条件及其优缺点	514
第三节 浅埋暗挖法施工技术要点	515

一、地层预加固和预支护	515
二、浅埋暗挖隧道开挖	519
三、浅埋暗挖法的初期支护	525
四、监控量测	535
五、浅埋暗挖法的二次衬砌	540
第十章 地下连续墙法施工技术	543
第一节 地下连续墙法施工流程	543
第二节 地下连续墙法施工技术要求	544
一、地下连续墙的适用条件及其特点	544
二、地下连续墙的分类	546
三、地下连续墙施工的挖槽机械	546
第三节 地下连续墙法施工技术要点	554
一、地下连续墙施工法概述	554
二、地下连续墙受力与破坏	555
三、导墙施工技术要点	558
四、泥浆护壁施工技术要点	561
五、槽段开挖施工技术要点	566
六、钢筋笼加工和吊放施工技术要点	572
七、水下混凝土浇筑施工技术要点	573
八、槽段间的接头处理施工技术要点	575
九、施工常见问题与处理对策	581
参考文献	586

第一章

隧道施工方法总论

第一节 概 述

公路是国民经济发展的命脉。公路运输以其明显的机动性和灵活性,发挥着其他运输方式所不可替代的重要作用。公路建设又是国家最主要的基础产业之一。它的迅猛发展,对于加快国民经济增长,带动其他相关产业发展具有非常重要的意义。

随着我国改革开放的不断深化,国民经济蓬勃发展,公路客货运输量大幅度增长,公路,特别是干线公路通行能力不足的问题日益突出。因此修建高等级公路和扩大干线公路的通行能力,已成为今后一个时期公路建设的重中之重。

我国地域辽阔,多山岭重丘,山区公路建设任务十分繁重。但在 20 世纪 80 年代以前的公路建设中,由于受资金限制及其他因素影响,在山峦耸立、地形起伏多变的地区,路线大都采用盘山绕行或高填深挖的做法,很少考虑修建隧道。在许多山岭路段,本来打一个不太长的隧道就能穿过,却往往习惯于用较大纵坡绕行和展线去翻越垭口,这样既延长了路线里程,降低了公路技术等级,又增加了养护和运输费用。以目前的技术条件来看,在这些地区修建公路,更为合理的方案应是隧道穿行。因为隧道既能保证最佳

道路线形便利行车;又可有效防止山地陡坡的滚石、泥石流等自然灾害,提高了行车的安全性和可靠性;同时又能和当地环境相协调并保全自然景观。今后,在新建和改建公路中,对于那些地形和地质条件适宜修建隧道的山区公路越岭路段,经调查研究、分析论证,若设置隧道能较多地缩短路线里程,提高公路技术标准,则应优先考虑修建隧道。这样尽管一次性建设投资较多,但是,由于缩短了营运里程,改善了交通运输条件,在较短时期内可收回投资,经济效益和社会效益都是十分显著的。

近年来,随着科学技术和经济的发展,交通、水利、水电、采掘和城市地下空间的利用等对隧道工程在数量、质量和难度上提出了更高的要求。一系列的城市地下工程、深埋管道工程、大跨度公(铁)路隧道的修建,大大促进了隧道施工技术的进步。岩石力学研究的发展促成现代支护理论的建立,并在此基础上产生了先进的新奥法、挪威法及浅埋暗挖法等施工方法。用现代技术装备的掘进机和盾构能够适应从坚硬岩层到软土含水地层的各种掘进条件,其可靠性、有效性、耐久性、机动性及掘进高速度,使其在隧道施工中得到广泛应用;冲击钻头的改进、全液压钻孔台车和液压衬砌台车的出现、大能力装渣机和运渣设备的开发、新型爆破器材的研制和爆破技术的完善以及支护技术的进步等,极大地改善了隧道施工环境并提高了掘进速度,使钻孔爆破法掘进技术得到更新;同时,水底沉管隧道施工技术的发展为穿越江河、海湾等建设隧道提供了更有效的手段。这些新技术、新方法的不断完善和发展,为合理地进行公路路线设计、有效地开发城市地下空间提供了更为广阔的前景。

1949年新中国成立以前,我国已建隧道工程规模较小,施工技术和管理水平落后。新中国成立后,随着社会主义各项建设事业的发展,在铁路建设中出现了大量隧道工程,施工工艺和技术水平也有了很大提高,但公路隧道则修建较少。

在20世纪50年代初,为了避免修建长隧道,常常尽可能地采用迂回展线来克服地形障碍,使线路靠近地表。宝成铁路翻越秦岭的一段线路,就是采用短小隧道群迂回展线的一个实例。在这段线路上有34座隧道,最长的秦岭隧道长度仅为2.363km。但是,根据当时的技术水平,修建这样一座长度在2km以上的隧道并不是一件容易的事。由于在施工中首次使用了风动凿岩机和轨道式矿车,使得宝成铁路秦岭隧道的修建成为我国从“人力开挖”过渡到“机械开挖”的标志。

我国隧道工程技术发展第二个阶段的代表性工程,是20世纪60年代中期修建的成都—昆明铁路。成昆铁路全长1085km,隧道里程占31%。其中关村坝隧道和沙马拉打隧道长度均在6km以上。在这些隧道的施工

中采用了轻型机具、分部开挖的“小型机械化”施工,修建速度达到了“百米成洞”(平均每月单口成洞 100m)的水平。

我国修建长度在 10km 以上的隧道的实践是从 14.295km 长的双线隧道——大瑶山隧道开始的。在这座隧道的施工中,以王梦恕院士为首的专家们,通过试验研究决定采用新奥法施工,采用凿岩台车、衬砌模板台车和高效能的装运工具等机具配套作业,实现了全断面开挖。大瑶山隧道是我国山岭隧道采用重型机具综合机械化施工的开端,将我国隧道工程的修建技术和修建长大隧道的能力提高到一个新的阶段,缩短了同国际隧道施工先进水平的差距。大瑶山隧道被称为我国隧道建设史上的第三个里程碑。

改革开放 20 余年来,随着公路建设的投入加大,特别是高等级公路的加速建设,我国公路隧道在数量与规模上有了很大发展,施工技术水平提高很快。目前,隧道工程矿山法施工中,已经普遍采用了新奥法原理;岩石隧道施工中一般应用钻爆法掘进,并开始采用先进高效的掘进机施工;城市道路浅埋隧道明挖或盖挖法施工中开始使用的地下连续墙,以及暗挖施工时采用的盾构法和浅埋暗挖法,都已具有较高的技术水平;过江过海隧道使用了沉管法施工,我国也是沉管修建水底隧道数量较多的国家之一。据统计,目前我国已建成的铁路隧道数量超过 4 000km,居世界第一位;公路隧道总计已达 1 782 座,总长度 704km,分别是改革开放之初的 4.7 倍和 13.5 倍,也是世界上公路隧道最多的国家。我国目前最长的铁路隧道是秦岭隧道,全长 18.46km;正在施工的双向分离式四车道终南山隧道是世界第二、亚洲第一的公路隧道。20 世纪后半叶,隧道修建技术与现代化管理方法的发展,为今后在各种复杂困难条件下修建长大公路隧道奠定了坚实的基础。

在我国,大规模的基础建设投资方兴未艾,东部的公路交通事业正蓬勃发展,西部大开发的战略也将推进广大内陆地区的公路建设,城市地下空间的开发利用尚处于起步阶段,而 21 世纪是地下空间的世纪。因此,隧道建设事业必将有更广阔的发展空间,隧道施工技术也必将在我国得到更长足的进步。

第二节 隧道主要施工方法简介

一、新奥法

新奥法是新奥地利隧道施工方法(New Austrian Tunneling Method, 简写 NATM)的简称。它是奥地利土木工程师 L. V. Rabcewicz 等在长期从事隧道施工实践中,于 20 世纪 60 年代从岩石力学的观点出发并在总结隧道建设

实践经验的基础上创立的。早在 1934 年, Rabcewicz 就提出了在隧道中应用“喷浆”的技术。1942~1945 年, 该技术在奥地利阿尔卑斯山深埋硬岩隧道结构施工中被采用。二战以后, 混凝土喷射机和促凝剂的出现使喷浆技术得到很大的发展。随着锚杆在工程中被采用, Rabcewicz 以喷锚支护的实践和岩体力学理论为基础, 提出了“NATM”。1963 年, 该方法在第一次国际土力学会议上被正式命名为“NATM”, 并获得专利。20 世纪 60 年代中期, Müller 把新奥法用于法兰克福、慕尼黑等城市地铁软岩(土)隧道中。Müller 强调, 硬岩隧道与软岩(土)隧道采用新奥法应有所区别。

新奥法是应用岩体力学原理, 以维护和利用围岩的自稳能力为基础, 将锚杆和喷射混凝土集合在一起作为主要支护手段, 及时进行支护, 以便控制围岩的变形与松弛, 使围岩成为支护体系的组成部分, 形成以锚杆、喷射混凝土和隧道围岩三位一体的承载结构, 共同支承山体压力; 通过对围岩的现场量测, 及时反馈围岩—支护复合体的力学动态及变化状况, 为二次支护提供合理的架设时机; 通过监控量测反馈的信息来指导隧道和地下工程的设计和施工。

由于新奥法在隧道工程中的成功应用, 当前已被国内外作为隧道结构设计和施工的重要方法。新奥法的理论基础是最大限度地发挥围岩的自承作用。以喷射混凝土、锚杆加固和量测技术为三大支柱的新奥法, 有一套尽可能保护隧道围岩原有强度、容许围岩变形, 但又不致出现强烈松弛破坏, 及时掌握围岩和支护变形动态的隧道开挖与支护原则, 使隧道围岩变形与限制变形的结构支护抗力保持动态平衡, 使施工方法具有很好的适用性和经济性。新奥法的基本原理如下:

- (1) 围岩是隧道结构的主要承载部分。
- (2) 开挖后需对围岩进行加固, 以使围岩在开挖卸载后不失去原有的强度。
- (3) 隧道围岩支护过程中, 一方面允许围岩有一定的位移, 从而产生受力环区; 另一方面, 又必须限制围岩位移的程度以避免围岩变形过大而产生严重松弛卸载。
- (4) 初次支护主要作用不是用来承担隧道围岩所失去的承载力, 而是保持围岩的自承状同, 防止严重的松弛和卸载。
- (5) 初次支护的建造应是适时的, 使围岩在开挖后延时一定时间来来得及变形并形成承力保护区, 以达到较好的支撑效果。
- (6) 围岩自稳时间, 一方面依靠对围岩地质条件的初步调查, 另一方面可通过在建造过程中量测隧道周边的位移来评定。
- (7) 由于喷射混凝土具有可填平洞壁不平整面、与围岩紧密结合等特

点,使围岩不发生严重的应力重分布,常被用来作为初次支护,必要时还使用锚杆、钢筋网和钢拱架。

(8)由于喷射混凝土本身具有强度高和轻度变形的特点,其整体的结构效应通常可视作薄壳,具有可塑性和收缩的能力。

(9)初次支护只要没有被腐蚀破坏,即可视为整体承重结构的一部分。

(10)孔洞从开挖到封闭所需的时间主要取决于施工方法,围岩的变化很难定量解释,可经过施工前的地质调查资料进行估计,施工过程中通过测量来控制 and 修改。

(11)从静力学角度来看,隧道横截面为圆形时受力条件最为有利,因此,设计的隧道横截面应尽可能接近圆形或椭圆形,严格限制超挖和欠挖,隧道开挖后需及时建造仰拱以形成封闭结构。

(12)应特别注意施工过程中工程荷载对隧道受力的影响。为了尽量限制开挖后隧道围岩二次应力重分布程度和松动圈的范围,应尽可能减少开挖次数,或拱部采用一次开挖方案。

(13)为了提高隧道结构的安全性及达到密封的效果,可建造薄层内衬砌,使结构内不产生过大的弯曲应力,内层与外层相互之间只传递压力。

(14)为了增加衬砌的强度,一般不增加其厚度而增加钢筋含量(即钢筋拱);增大整个结构的刚度可通过增加锚杆的个数或长度以形成围岩受力环区来实现。

(15)对整体结构系统的稳定性、安全度评价和设计结构需要加强的必要性以及设计结构刚度的大小,均根据建造过程中的应力及变形状态的测量结果来确定。

(16)外源水压和静水压力的控制可通过在外壳(必要时也在内壳)上设置软管及足够的密封排水装置来实现。

从新奥法的基本原理中,可以看到围岩加固设计理念上的重大进步,不再把围岩简单地看作作用在支护结构上的荷载,而是认识到围岩是隧道结构的主要承载部分。新奥法的另一重要施工要求是努力保持围岩的原有强度,从而更有效地发挥围岩的承载能力。隧道开挖过程中,应尽量防止围岩松动和大范围变形,避免围岩应力出现单轴或双轴应力状态。实现这一要求的手段是通过现场量测掌握围岩的变形,并通过适时支护达到控制围岩变形的目标。一方面允许围岩产生变形而发挥围岩的自承能力,另一方面通过即时支护保障围岩不因过大变形而出现有害的松弛。为了最大限度地发挥围岩的自承能力,最终支护既不要太早,也不能太迟。初期支护和永久支护必须是薄壳型柔性结构,以减少衬砌弯曲变形和挠曲断裂,其必要强度靠锚杆、钢筋网、钢拱架提供,而不是靠加厚衬砌或支护截面来达到。

因此,新奥法施工隧道的主要特点是:通过多种量测手段,对开挖后隧道围岩进行动态监测,并以此指导隧道支护结构的设计与施工。其理论是建立在岩体力学特性和岩体变形特征以及莫尔学说的基础上,并考虑到隧道掘进时的空间和时间效应对围岩应力与变形的影响。它集中体现在支护结构种类、构筑时机、岩体压力、围岩变形四者的关系上,贯穿在不断变更的设计与施工过程中。新奥法提出了与传统方法完全不同的新概念和新观点,指导喷锚支护的设计和施工,贯穿于构筑隧道的全过程。

新奥法不同于传统隧道工程中应用厚壁混凝土结构支护松动围岩的理论,而是把岩体视为连续介质,在粘弹性理论和塑性理论指导下,根据在岩体中开挖隧道后,从围岩产生变形到岩体破坏要有一个时间效应,适时地构筑柔性、薄壁且能与围岩紧贴的喷射混凝土和锚杆的支护结构来保护围岩的天然承载力,使围岩本身成为支护结构的重要组成部分,使围岩与支护结构共同形成坚固的支承环,共同形成长期稳定的支护结构。

新奥法施工的基本要点为:

(1)作业多采用光面爆破和预裂爆破,并尽量采用大断面或较大断面开挖,以减少对围岩的扰动。

(2)根据围岩特征采用不同的支护类型和参数,及时施作密贴于围岩的柔性喷射混凝土和锚杆初期支护,以控制围岩的变形和松弛。

(3)在软弱破碎围岩地段,使断面及早闭合,以有效地发挥支护体系的作用,保证隧道稳定。

(4)二次衬砌原则上是在围岩与初期支护变形基本稳定的条件下修筑的,围岩与支护结构形成一个整体,从而提高支护体系的安全度。

(5)尽量使隧道断面周边轮廓圆顺,避免棱角突出处应力集中。

(6)通过施工中对围岩和支护的动态观察、量测,合理安排施工程序,进行设计变更及日常的施工管理。

在我国,新奥法的引进是从锚杆和喷射混凝土的新型支护技术的推广使用开始的。很快,中国的隧道工程师就不但在实质上而且在名词上接受了新奥法。在国内举行的隧道及地下工程学术会议上,新奥法经常成为热门话题。

中国工程师从欧洲引进了新奥法,并且结合中国的实际情况对新奥法及其相关技术(诸如支护手段、量测和监控技术等)作了进一步的开发。作为新奥法的一项重要背景技术的喷射混凝土在中国已经被广泛使用。同国际上的情况一样,为了解决长期以来困扰着人们的粉尘污染环境、粒料回弹严重以及混凝土品质的不均匀性等问题,我国也在大力推行湿喷法施工。最近,铁道部科学研究院西南分院开发出一种“转子—活塞”型的新型喷射

机。这种机型采用湿喷工艺,往机器中加入按一定配合比制备好的成品混凝土拌和料,但物料输送又区别于一般的泵送式喷射机,采用稀薄流输送方式,因此机器结构紧凑,使用方便,目前已在国内推广。

可以毫不夸张地说,新奥法在我国的推行确实引起了矿山法修建技术在开挖方法、施工技术乃至隧道设计理念的重大变革。尽管如此,仍然应该说我国推行新奥法的情况并不尽如人意,在诸多工程中也不乏失败的实例。除了有施工管理、质量控制和相关技术的掌握等方面的因素外,主要原因在于隧道工程师们有时对新奥法的实质缺乏正确的理解。

对于“新奥法”一词的内涵,人们的认识有一个发展的过程。诚如它的词本身——New Austrian Tunneling Method 所表述的那样,新奥法的创始人最初是将它作为一种同新型支护相关的隧道修建方法提出来的。但后来发现,将新奥法拘泥于一种特定的施工方法或具体的支护技术将会使其推行受到很大的局限。于是,在一些文献中强调新奥法是一种“概念”、“哲学”、“原则”或“途径”,而不是一种固定不变的具体施工方法或技术。阐明这一点,有重要的现实意义。事实上,在一些工程中,由于照搬某些新奥法工程中具体施工方法,而不注意结合本工程的实际情况来体现新奥法的原则而遭到失败。如在软弱围岩中的特浅埋隧道使用新奥法施工,发生直通地表的大坍塌。其原因有很多种,其中有一条就是照搬某些高地应力地层中隧道的做法,片面强调支护的柔性,强调在初期支护后要尽可能让变形释放,而没有及时进行二次支护。

那么,什么是新奥法概念的内涵呢?有人归结为 22 条,有人归结为 7 条。其实,最重要的只有一条,那就是:保护围岩,调动和发挥围岩的自承能力。从这样一个原则出发,可以根据隧道工程的具体条件灵活地选择开挖方法、爆破技术、支护形式、支护施作时机和辅助工法。至于对围岩变形的控制,根据不同情况,有时应强调释放,有时应强调限制。其目的都是为了“保护围岩,调动和发挥围岩的自承能力”。

二、掘进机法

全断面岩石掘进机是国家统一规定的标准名称,又叫隧道掘进机或隧洞掘进机(TBM, Tunnel Boring Machine 的简写),简称掘进机。它是一种由电动机驱动主轴旋转、对刀盘施加一定压力、使其贴近岩壁、通过刀盘上装设的盘形滚刀破碎岩石、使巷道断面一次成型的大型工程机械,也是目前掘进岩石巷道最有发展潜力的机械之一。采用掘进机施工的方法,称为掘进机法。

近年来,全断面掘进机在隧道工程中的应用比例不断增加。到 1988