

现代隧道设计与施工

易萍丽 编著

张 弥 审校

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 9 7 年 · 北 京

(京)新登字 063 号

图书在版编目(CIP)数据

现代隧道设计与施工/易萍丽编著. - 北京:中国铁道出版社,1996

ISBN 7-113-02482-3

I. 现… II. 易… III. ①隧道工程-设计 ②隧道工程-工程施工 IV. 045

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 19813 号

内 容 简 介

本书介绍了现代隧道工程中先进的设计与施工方法,并与传统方法简要地进行了比较,还介绍了德国隧道工程界的部分规定、规范。有较高的学术参考价值,可供从事该专业的有关人员参考使用。

中国铁道出版社出版发行
(北京市宣武区右安门西街 8 号)

各地新华书店经售

北京顺义燕华印刷厂印

*

开本:787×1092 1/32 印张:12.375 字数:271

1997 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1-1500 册

定价:24.00 元

目 录

1 绪 论

- § 1.1 隧道的定义及构造 (1)
- § 1.2 隧道的分类 (4)
- § 1.3 隧道建造的一般流程 (5)
- § 1.4 隧道施工技术的发展——新奥地利建造法(NATM)
..... (8)

2 初步设计

- § 2.1 选线分析 (14)
- § 2.2 地质分析 (15)
 - § 2.2.1 地质调查 (16)
 - § 2.2.2 地质状态评价及分类 (18)
- § 2.3 纵断面的选择 (24)
- § 2.4 横截面的选择 (26)
 - § 2.4.1 各类隧道的横截面形状 (27)
 - § 2.4.2 地质条件 (33)
 - § 2.4.3 建造方式 (35)
- § 2.5 工程报告 (35)
- § 2.6 工程预算 (37)

3 结构设计

§ 3.1 开挖方式	(44)
§ 3.1.1 明挖	(44)
§ 3.1.2 半明挖	(46)
§ 3.1.3 封闭式开挖——暗挖	(49)
§ 3.2 支护结构	(63)
§ 3.2.1 种类及类形	(63)
§ 3.2.2 明挖及半明挖的围护结构	(90)
§ 3.2.3 暗挖的初次支护结构——外壳	(101)
§ 3.3 二次衬砌——内壳	(114)
§ 3.3.1 构造型式	(115)
§ 3.3.2 结构型式	(117)
§ 3.4 密封防水系统	(118)
§ 3.4.1 外层密封	(119)
§ 3.4.2 中层密封	(122)
§ 3.4.3 内层密封	(129)
§ 3.5 排水系统	(130)
§ 3.5.1 纵向积水管道	(131)
§ 3.5.2 主排水管(沟)	(133)
§ 3.6 通风系统	(135)
§ 3.6.1 自然通风	(135)
§ 3.6.2 机械通风	(136)
§ 3.6.3 通风设计	(138)
§ 3.7 照明系统	(142)
§ 3.8 附属设施	(143)
§ 3.8.1 交通安全设施(德国规范)	(143)

§ 3.8.2	安全通讯设施	(144)
§ 3.8.3	其它设施	(144)
§ 3.8.4	附属设施的选择	(145)
§ 3.9	截面设计实例	(146)
§ 3.10	洞门及其附属结构设计	(148)
§ 3.10.1	前切面	(149)
§ 3.10.2	前切面侧墙	(150)
§ 3.10.3	洞门顶部防止落石的女儿墙	(152)
§ 3.10.4	洞门抗剪力及侧向力的边墙	(152)
§ 3.10.5	考虑光线变化的因素	(152)
§ 3.10.6	密封、排水及附属设施	(155)
§ 3.10.7	洞门整体结构形式	(157)

4 受力计算

§ 4.1	作用于隧道上的荷载	(160)
§ 4.1.1	荷载的分类	(160)
§ 4.1.2	荷载的计算	(162)
§ 4.2	隧道围岩的应力及变形分布	(177)
§ 4.2.1	应力分析	(177)
§ 4.2.2	变形分析	(189)
§ 4.3	隧道承重结构内力计算	(195)
§ 4.3.1	结构模型	(196)
§ 4.3.2	解析方法	(197)
§ 4.3.3	数值方法	(211)
§ 4.4	隧道承重结构强度检算	(264)

5 施 工

§ 5.1 开挖方式	(276)
§ 5.1.1 机械开挖	(277)
§ 5.1.2 爆破开挖	(290)
§ 5.2 支护结构	(301)
§ 5.2.1 喷混凝土制作工艺	(301)
§ 5.2.2 钢筋网、钢拱和钢锚杆的安装	(309)
§ 5.2.3 临时支撑	(314)
§ 5.3 承重结构——内壳	(315)
§ 5.3.1 模注混凝土施工工艺	(316)
§ 5.3.2 预制件内壳制作工艺	(319)
§ 5.4 施工过程中的地下水控制	(322)
§ 5.4.1 地下水的出现	(323)
§ 5.4.2 控制措施	(327)
§ 5.5 施工过程中的通风	(336)
§ 5.6 施工进度安排及循环作业	(339)
§ 5.7 超挖和坍方	(343)
§ 5.7.1 超挖和坍方的定义	(343)
§ 5.7.2 影响坍方的因素及预防措施	(346)
§ 5.7.3 坍方的预测	(351)
§ 5.7.4 坍方的控制	(352)

6 量 测

§ 6.1 位移量测	(355)
§ 6.1.1 覆盖表面位移量测	(355)
§ 6.1.2 断面相对位移量测	(357)

§ 6.1.3 围岩的位移量测	(360)
§ 6.2 应力及应变量测	(364)
§ 6.2.1 混凝土应力及应变量测	(364)
§ 6.2.2 钢拱应力及应变量测	(366)
§ 6.3 钢锚杆受力量测	(369)
§ 6.4 施工量测	(371)
§ 6.5 运营量测	(373)

7 保 养 与 维 修

§ 7.1 隧道运营阶段的保养	(375)
§ 7.2 旧隧道的维修及加固措施	(382)

1 绪 论

隧道——地下人工建筑,是人类社会发展的产物,人类智慧的结晶。古代,人类利用洞穴栖息。最早的人工坑道,可追溯到古代战争时期,作为转移通道,作为破坏固定结构通道、蔽护等。此外,古代人还利用坑道,作为引水设施。在近代坑道及隧道被广泛用于探矿、交通以及军事设施中,随着现代交通的不断发展,隧道在交通运输中的地位及重要性不断提高。用于交通运输的隧道几乎遍及世界上各大城市,青函海底隧道及英、法海峡海底隧道的修建,更是人类隧道建造史上的伟大创举。

§ 1.1 隧道的定义及构造

地下人工建筑的结构形式。根据其不同用途有多种多样。当地下结构为空间封闭结构形式,宽度在 10m 内时,通常称为“洞室”;宽度在 10~35m 之间时,称为“地下厅”;大于 35m 时,称为“地下广场”。当地下结构垂直地层表面时($\alpha = 90^\circ$),称为“竖井”;当倾斜角 $\alpha > 45^\circ$ 时称之为“斜井”,如图 1.1。当人工建筑处于地表下,结构沿长度方向的尺寸大于宽

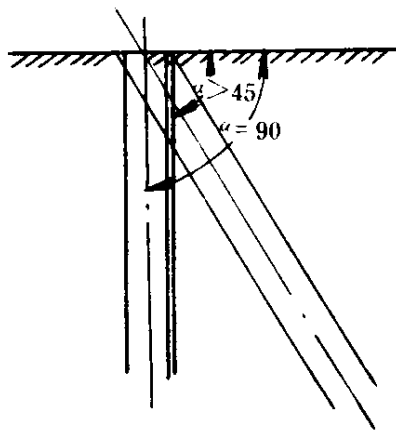


图 1.1 井道

度和高度并具有联通 A、B 两点的功能时,可称为“地道”,如图 1.2。当地道的横截面积较小时,通常认为截面积在 30m^2 以内时,称为“坑道”,当截面积较大时,称之为“隧道”。

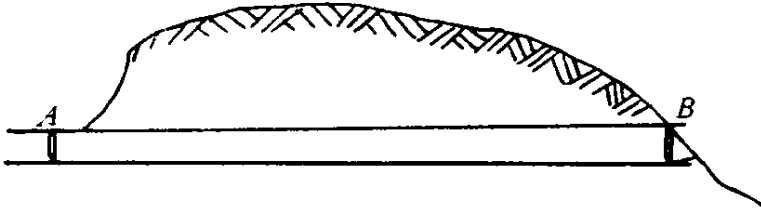


图 1.2 地道

隧道的构成形式可用结构物在“纵断面”及“横截面”上的形状来反映。纵断面的构造形式,可由图 1.3 所示的示意图来

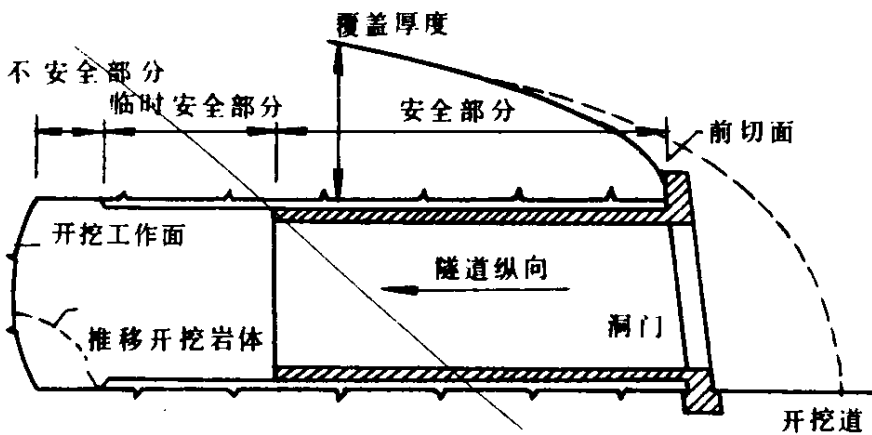


图 1.3 隧道纵断面的构成形式

表示。图中隧道的进口外称为洞门,洞门上被挖掉的原覆盖物体的部分称为“仰坡”。仰坡面延长线与隧道底线的交点称为“开挖点”。隧道顶部至地表面的距离称为“覆盖层厚”。已建承重结构的部分,称为“安全部分”;兴建临时支撑结构的部

分,称为“临时安全”部分;未建支撑结构的开挖工作面,称为“不安全”部分;从未支撑处正向前开挖的部分,称为“开挖工作面”。

隧道的横截面的构成,可分为未开挖和开挖后的两种形式。未开挖的截面称为“开挖孔洞”,开挖孔洞的约上 1/3 部分,称为“拱部”;约中部 1/3 的部分,称为“洞身”;约下 1/3 的部分,称为“洞底”。洞身及洞底的对称中心部分,称为“核心土”。开挖后对应于拱部的上边缘人工结构的弧线部分,称为“拱圈”;孔身对应的人工结构弧线边沿部分,称为“侧墙”;孔底边对应的下边缘人工结构的弧线部分,称为“仰拱”。

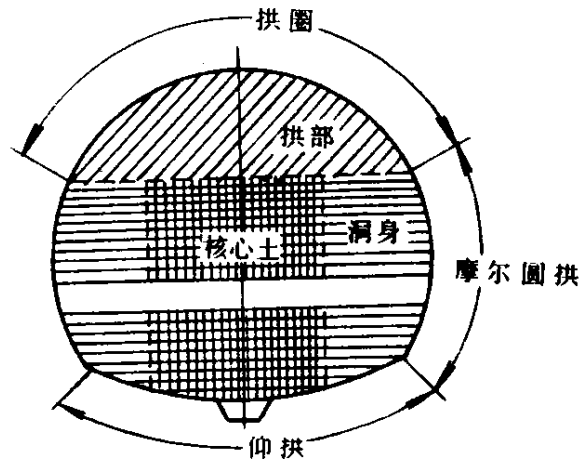


图 1.4 开挖前截面

隧道横截面在开挖后所建的人工结构,包括支护结构及承重结构。而支护及承重结构的结构型式,可分为传统的和现代两种。图 1.5 右半边为传统的砖石隧道结构的构造型式,其支护结构为临时性的木支架或钢支架,在承重的砖石结构砌筑后,被拆除。承重结构则主要由回填层、砖石拱圈、侧边墙

及支承基座构成。图 1.5 左半部分则为现代隧道结构的构造型式,它为包括钢锚杆在内的永久性的支撑结构——初次支护及二次衬砌的复合式结构。

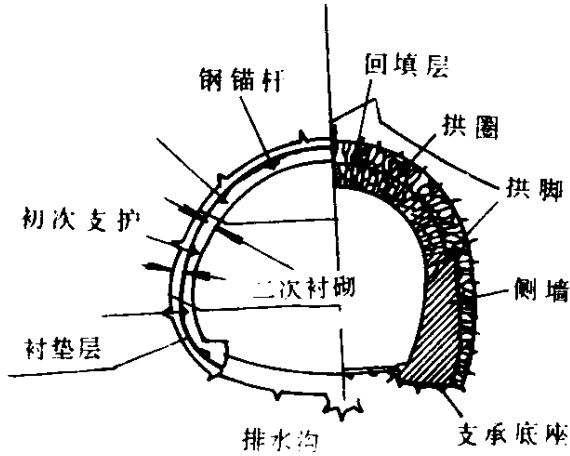


图 1.5

§ 1.2 隧道的分类

隧道可根据不同用途、地理位置、横截面的形状等分类。

按用途可分为：

△交通隧道,其中包括公路、铁路、地铁、人行隧道,人行隧道常被称为“人行通道”；

△运输隧道,如输送饮水、废水、液体、气体等；

△航运隧道,用于过往船只。

按地理位置可主要分为：

△地下隧道,隧道处于地表平面以下；

△山脊隧道,隧道处于山背上；

△基底隧道,隧道处于山底处；

△傍山隧道,隧道沿山坡行走；

△水底隧道,隧道处于水面以下。

按截面形状可分为:

△圆形截面(图 1.6a);

△椭圆形截面(图 1.6b);

△马蹄形截面(图 1.6c、d);

△矩形截面(图 1.6e、f);

△双孔隧道(图 1.6g);

△孪生隧道(图 1.6h);

△双层隧道(图 1.6i)。

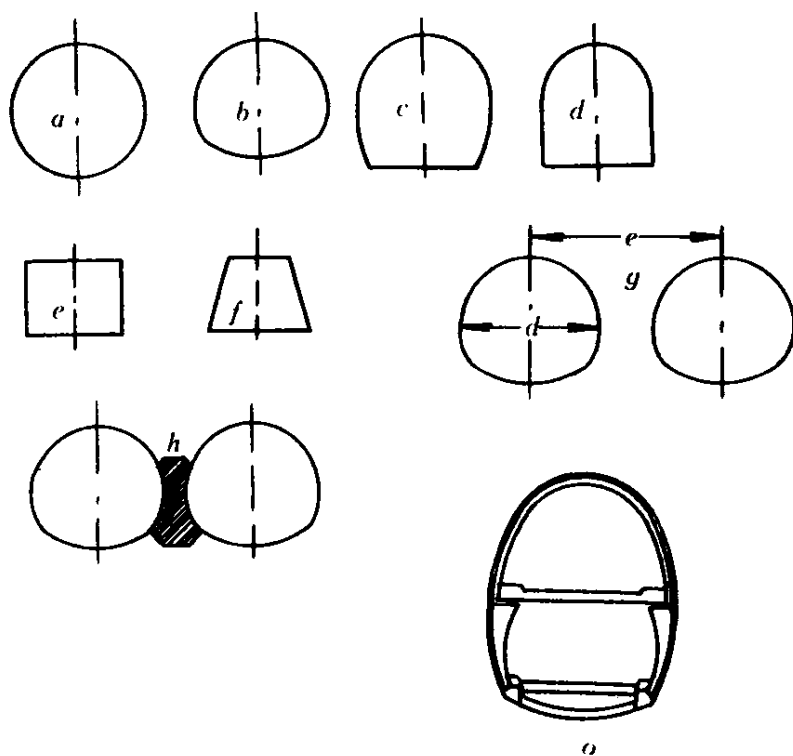


图 1.6 截面几何形状

§ 1.3 隧道建造的一般流程

从计划修建隧道到建成投入使用,要经过很多过程,其主

要步骤可由同一流程图加以说明。

首先需确定修建隧道的必要性,即有必要开辟一条穿越自然障碍的地下隧道,以使人或货物的运输,不受障碍限制并以最优方式到达目的地。自然障碍可为多种形式。如山脉、水流、住宅区、商业或工业区等。

在确定修建隧道的必要性时,需考虑工程的优缺点、工程造价等多方面的内容。

隧道结构的优点通常为:

△可直线穿越障碍物,实现人类的意向,如公路、铁路隧道;

△与障碍物间无冲突并节省土地,输送速度快,输送能力大,如地铁隧道。

与其它工程结构相比较,隧道工程属于最难的人工建筑物之一,其缺点为:

△影响因素多,隧道受地质、水文状态等多方面影响;

△难保证计算准确性,与其它结构不同,没有精确的计算隧道结构受力的方法,计算结果的准确性,受力学模型的限制;

△施工难度大,可发生如塌方、地下水涌出等多种意外情况;

△造价高、波动大,在不同地质情况下,造价的波动大约为5倍,有时可达9~10倍。

由于受到以上不利因素的限制,以往人们只有在其它结构无法代替的情况下,才修建隧道。但随着新建筑材料的发展及人类在隧道建筑技术上的进步,隧道工程的不利面将不断减小。以往的隧道,多为铁路隧道,用于列车穿越山脉。而现在修建的范围不断扩大,如高速公路,为了减小坡度,需修建

穿山隧道；对于城市公路，为了少占土地及减少局部地面车辆堵塞，需修建地下隧道；在大城市中需要有运输能力大、与地面矛盾小、节省土地的地下快速交通系统。因此，世界上各大城市，都建有地下铁道网。由此可见，隧道已逐步成为重要的交通手段并以其特有的优点造福于人类。

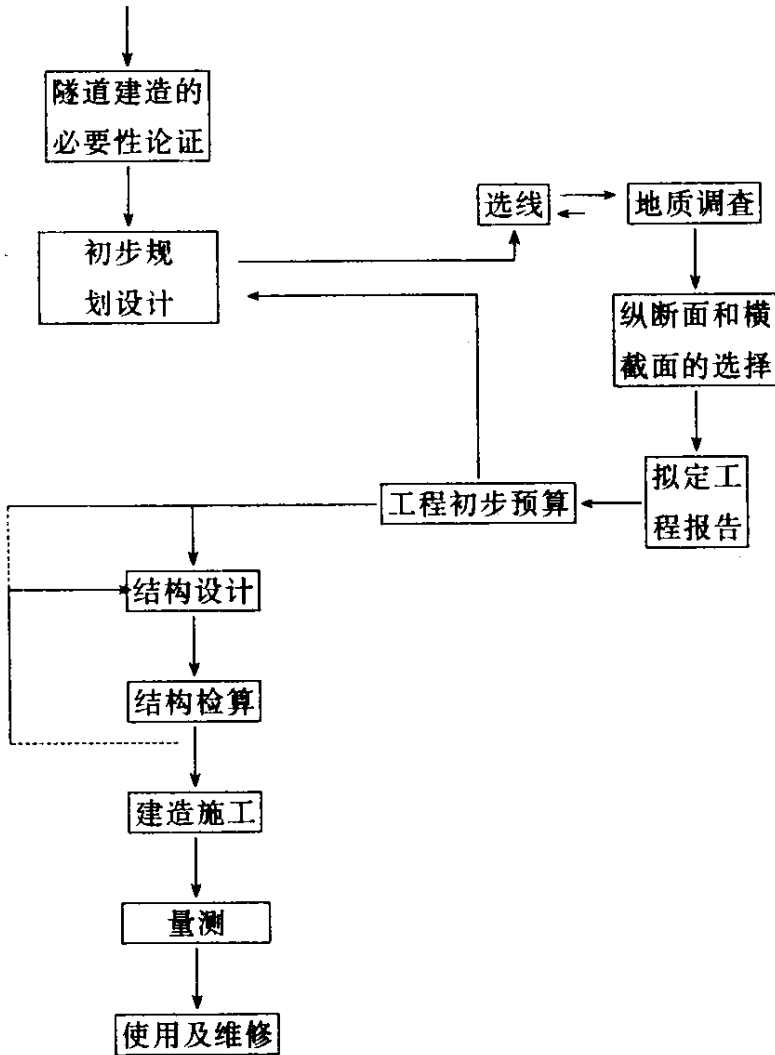


图 1.7 隧道建造一般流程

在以下各章中，将按图 1.7 所示的流程，分别介绍初步设计、结构设计、受力计算、施工方法、量测方法、保养维修等

内容。

§ 1.4 隧道施工技术的发展 ——新奥地利建造法(NATM)

在传统的隧道建造中,建筑材料为木材,砖石料,受到建筑材料承载能力的限制。通常承重结构的拱墙厚度都较大,由于砖石材料需在拱圈封顶后才能受力。因此,开挖后需先建造

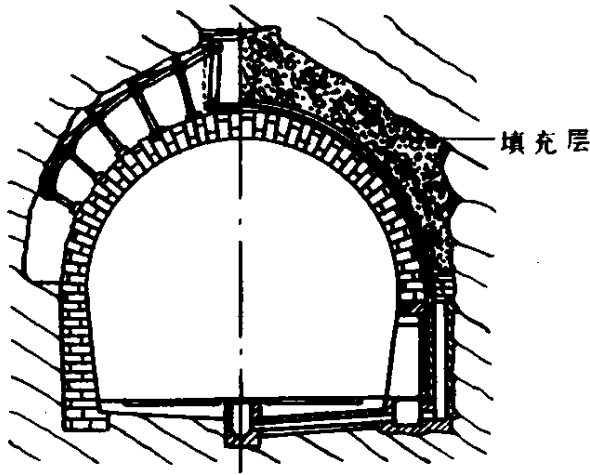


图 1.8 传统隧道建造方法

木支架或钢拱支架作为临时的支撑结构,在修建砖石承重结构后,拆除支撑,将留下的围岩与砖石结构之间的空隙,用砂石料回填。这种施工方法,需加大开挖面积,而且施工的作业空间很小,同时隧道承重结构与孔洞周边的岩石,又称“洞周岩体”或简称“围岩”,不能密贴,从而逐步形成松动,导致产生新的地层压力,对结构受力不利,从而影响结构寿命。另外,从开挖到建成承重结构的施工过程时间较长,不能及时稳定洞周岩体的位移,故经常会造成塌方。最后,传统方法建造的防

水结构常易被腐蚀和破坏。由于传统隧道建造方法的种种缺点,其使用范围被限制。如今,传统隧道建造方法已被现代隧道建造方法所代替。

在 50~60 年代,随着新型建筑材料的产生,作为主要隧道建筑材料的木、砖、石料被新建筑材料——喷射混凝土、钢锚杆及钢材所代替。由于新材料具有强度高、受力快等特点,从而使人们产生了新的隧道建造方法的构思,在不同的现代隧道建造方法中,新奥地利隧道建造法,简称“新奥法”,可称为代表作。新奥法最早的论点由奥地利土木工程师在 1948 年提出。该理论认为,通过建造一个临时的、薄壁型的安全支撑结构,允许洞周岩体产生位移,同时设法将洞围的高应力延伸到周围岩体深处去。从而使作用在最终承重结构上的压力变小,承重结构可做成较薄的结构形式。

1963 年奥地利土木工程师又设计了建立在使用新建筑材料前提下及安全及经济的隧道开挖方式及支护结构型式,并特定为“新奥地利隧道建造法”,简称“新奥法”。

初期的新奥法只涉及到开挖及支撑方式,其基本构思为:在岩石被开挖后,先建一个过渡性的,不再被拆除的安全支撑结构,又称“初次支护”,其主要功能为保证开挖后孔洞的稳定性,在经过一个相对较长的时间后,再建造永久性的承重结构——“内层衬砌”。新奥法的初次支护通常由喷射混凝土、钢锚杆和钢格栅拱构成。

新奥法的重要出发点为,尽可能的利用围岩整体的自承能力,即在孔洞被开挖后,立即建造一个受力合理的支撑结构,以使孔洞围岩原有的自承能力尽可能不被降低地保留下来。作为该方法的另一个重要组合部为连续的、伴随着建筑过程的、系统的测量围岩整体性态,以控制支护结构的变形和受

力状态。

新奥法自产生后,就被实践证明建筑效果好、适应性强等特点,因此较快地被推广,并逐步得以完善,隧道建造大师 Leopold Müller-Soitoburg 在 1987 年从哲学的理论观点出发,重新描述了新奥法,并归纳为 22 条基本原则,被认为是新奥法的实质及理论基础,从而从理论上完善了新奥法,使其在建造方式上更加通用化。由于新奥法完全改变了传统的隧道施工方法,使隧道建造产生了跳跃性的发展。经过近 30 年的实践,新奥法已成为当今世界上主要的隧道建造方法。

下面先介绍 Müller 22 条的基本观点,由于这 22 条贯穿着新奥法设计、施工的全过程,因此,简短的文字描述比较抽象化。接下来的各章节将进一步详细地具体介绍新奥法有关结构形式、施工处理等方面的内容。

Müller 所描述新奥法的基本原则为:

△围岩是隧道结构的主要承重部分。

△开挖后在围岩中将产生应力重分布,因此需对围岩进行加固,以使围岩在卸载后不失去原有的强度。

△围岩承受卸载位移的能力比承受附加荷载的能力差得多,因此必须在隧道支护过程中,尽量减少卸载位移的程度。

△出于结构承重的要求,一方面允许围岩产生一定的变形位移,以便在开挖曲面上产生拱膜效应,从而产生受力环区或称“保护区”;另一方面,又必须限制围岩位移的程度,以避免围岩石变形过大而产生松动卸载。

△为此需在开挖后建造安全的支撑结构即初次支护,增强围岩的抗力、扩大岩体的承力范围和控制围岩位移。初次支护主要作用不是用来承担围岩所失去的承载力,而是保持围岩的承载状态,防止松动和卸载。