

高等学校教材

铁路隧道

北方交通大学	钟桂彤	主编
西南交通大学	麦倜曾	主审
	关宝树	

中国铁道出版社

1993年·北京

前 言

近年来，我国铁路隧道建设事业，在不断实践中取得丰富经验的基础上，又有了新的发
展，涌现出许多新理论、新技术和新方法，并且逐步地试行了科学管理。我们深感1983年出
版的《铁路隧道》试用教材已经落后于形势，不足以反映隧道工程的新貌。为此，在教材试
用过几遍取得了一些心得体会后，决定重新编写这本新的教材，以适用铁道工程专业学生的
学习。

在编写过程中，我们综合了各院校对教材的改进意见，调查和走访了有关的设计、施工
和科研单位，搜集了大量的素材，经过筛选，把它们系统起来，力图在《铁路隧道》新版中
能把我国铁路隧道建设事业的新水平显示出来。其特点是：在设计方面，已较深入地把岩体
力学的概念和理论，贯穿到全书的始终，成为解释和阐述各种现象的中心主线。在施工方
面，把过去习惯使用的传统老方法予以大量删除或精简，代以按新奥法精神，陈述了各阶段
中的施工技术和措施，着重介绍了日益显示其优越性的锚喷支护和复合衬砌。近期创制的许
多新机械，其中大部分已在我国隧道施工现场被采用，并取得了良好的效果，我们有选择地
把它们纳入到新教材中。此外，工程管理的重要性已逐渐为人们所认识，经过努力已把这方
面的内容补充进来，并引证了我国隧道工程中试用科学管理的实例，使学生对这一问题能有
一定的认识。为了扩大学生的知识面，引起学生学习隧道工程的兴趣，在本书末尾推荐了相
应的参考文献。

编写本教材一方面尽量把丰富的新内容表达出来，另一方面把陈旧的内容删除，力图在
教育计划规定的有限学时内，在出版计划所限定的篇幅内，把更多更新的知识奉献给学生，
让他们在学习了本课程以后，能够掌握隧道工程的新技术，跟上形势的新发展，而不致有过
重的负担。

本教材由北方交通大学钟桂彤主编，西南交通大学麦倜曾、关宝树主审。参加编写的有
钟桂彤（绪论、第一、二、三、十章），张弥（第四、五、六、七章），倪锡清（第七、十
章），赵幸源（第八、九章）。

编 者

1987年8月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是在1983年出版的《铁路隧道》试用教材的基础上,重新编写的。

书中分为三篇共十章。全面地介绍了铁路隧道工程的勘测、构造、设计和施工的系统知识。按照当前隧道建设事业的新发展,增加了相应的新内容。书中,把岩体力学的概念和理论贯穿到全书的始终;以“新奥法”的精神和原则,阐述了设计和施工中的各项内容;着重讲述了目前已广为采用的锚喷支护;此外,还介绍了近年来已为人们越来越认识其重要性的工程科学管理方法。

本书是铁道工程专业本科大学生适用的教科书,也可供铁路工程技术人员参考。

高等学校教材

铁 路 隧 道

北方交通大学 钟桂彤 主编

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 刘桂华 封面设计 王毓平

北京顺义燕华印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16.5 插页: 1 字数: 410 千

1990年4月第1版 1993年6月第2次印刷

印数: 3001—6500 册

ISBN 7-113-00559-4/TU·135 定价: 4.40 元

目 录

绪 论	1
第一篇 隧道位置选择及构造设计	9
第一章 隧道位置选择	9
第一节 按地形及地质条件进行选择	9
第二节 按线路类别进行选择	13
第三节 隧道方案比较	15
第四节 隧道洞口位置的选定	18
第二章 隧道平纵断面设计	21
第一节 隧道平面设计	21
第二节 隧道纵断面设计	22
第三节 复杂地形情况下的隧道选线设计	25
第三章 隧道构造设计	28
第一节 隧道横断面设计	28
第二节 隧道洞身支护结构的构造	32
第三节 隧道洞门结构的构造	38
第四节 明洞的构造	41
第五节 隧道通风建筑物的构造	44
第六节 隧道附属建筑物的构造	46
第二篇 支护体系设计	51
第四章 隧道工程地质环境	51
第一节 概 述	51
第二节 围岩的工程性质	52
第三节 围岩的初始应力场	58
第四节 隧道围岩分类	69
第五章 <u>隧道结构体系分析基础知识</u>	81
第一节 基本概念	81
第二节 围岩的二次应力场和位移场	83
第三节 隧道围岩与支护结构的共同作用	95
第四节 支护结构的设计原则	100
第五节 隧道结构体系的计算模型	102
第六章 隧道结构体系设计计算方法	106
第一节 结构力学法	106

第二节	衬砌截面强度检算	133
第三节	岩体力学法	134
第四节	施工监测与信息反馈	142
第三篇	隧道施工与施工管理	153
第七章	隧道施工方法	153
第一节	概 述	153
第二节	新奥地利隧道施工法	155
第三节	传统的矿山法	162
第四节	其它施工方法	166
第五节	辅助施工措施	168
第八章	隧道掘进技术	174
第一节	钻爆开挖	174
第二节	掘进机与盾构	195
第三节	出碴与运输	199
第四节	施工辅助作业	205
第九章	支护技术	214
第一节	概 述	214
第二节	钢木支撑	214
第三节	锚喷支护	215
第四节	模筑混凝土衬砌	230
第五节	支护结构的防水	237
第十章	隧道工程的现代化管理	242
第一节	隧道工程组织设计	242
第二节	隧道工程的现代化管理	248
参 考 文 献		258

绪 论

一、隧道的基本概念及工程概述

为达到各种不同的使用目的,在山体内或地面下修建的建筑物,统称之为“地下工程”。在地下工程的广泛范围中,用以保持地下空间作为交通孔道的,称之为“隧道”。由于隧道发展得最早,用途很广泛,因而有些地下开辟的通道,只是为了输水、送电、灌溉,也都划归隧道的范围了。

一般说来,隧道的修建总是首先在地下开挖出一个洞穴并延伸成为一个长形的孔道,称之为“导坑”。然后,以导坑为基地逐步扩大到所需要的空间。由于地层被挖开后,容易变形、塌落或是有水涌入,所以除了在极为稳固的地层中而且没有地下水的地方以外,大都要在坑道的周围修建支护结构,或称之为“衬砌”。衬砌的内轮廓应能满足使用上的要求,同时也无需无谓的放大;衬砌的形状和尺寸,应能使结构受力状态最为合理,既不浪费又能稳固。通常以圆形、椭圆形、马蹄形和卵形为多。衬砌的用料应适合施工和养护的要求。通常用坚固、耐久、少腐蚀、能防水、防火、价廉、便于就地取材的材料。

以交通为用途的隧道,两端将自地面引入。隧道端部外露面,一般都修筑为保护洞口和排放流水的挡土墙式结构,称为“洞门”。此外,为了保证隧道的正常使用,还需设置一些附属建筑物:如为工作人员在隧道内进行维修或检查时,能及时避让驶来的列车而在隧道两侧开辟的“避车洞”;为了排除隧道内渗入的地下水,保证列车正常运行而设置的防水设备及排水设备;为了净化隧道内机车所排出的烟尘和有害气体而设置的通风系统等。

隧道工程的修建,首先是把施工地区的地质和水文地质的情况勘察清楚。将勘察到的资料结合工程使用的要求,进行结构设计和施工方法的抉择。通过施工组织设计的指导,有步骤地进行施工。并在施工的进程中,随时进行各种量测,不断有针对性地修正支护结构设计和施工方案,使之更趋于合理。在隧道建成交付使用以后,还要定期检查,并按检查出的问题或病害,作出养护计划,分轻重缓急予以维修或大修,务使工程建筑物时刻处于良好状态,正常地发挥它的工作效能。

二、隧道的种类及其作用

隧道的种类繁多,从不同的角度来区分,就有不同的分类方法。从隧道所处的地质条件来分,可以分为土质隧道和石质隧道,从埋置的深度来分,可以分为浅埋隧道和深埋隧道,从隧道所在的位置来分,可以分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道。分类比较明确的还是按照它的用途来划分,可以有以下的分类:

(一) 交通线上的隧道

这是隧道中为数最多的一种。它们的作用是提供运输的孔道。其中有:

1. 铁路隧道——我国内地大多是山区。那里,地势起伏、山峦纵横。铁路穿越这些地

区时, 往往会遇到高程障碍。而铁路限坡平缓, 无法拔起需要的高度, 同时, 限于地形又无法绕避, 这时, 开挖隧道直接穿山而过最为合理。它既可使线路顺直, 避免许多无谓的展线, 使线路缩短; 又可以减小坡度, 使运营条件得以改善, 从而提高牵引定数, 多拉快跑。所以, 在铁路线上, 尤其是在山区铁路线上, 隧道的方案常为人们所选用, 修建的数目也越来越多。我国铁路采用隧道克服山区地形的范例是很多的, 例如, 川黔线上的凉风垭隧道, 使跨越分水岭时, 拔起高度小、展线短、线路顺直、造价也低。越岭高度降低了 96m、线路长度缩短了 14.7km, 并避开了不良地质区域。宝成线宝鸡至秦岭一段线路上就密集地设有 48 座隧道, 总延长为 17.1km, 占线路总延长的 37.75%。可以想见, 在山区地带铁路线上隧道的作用了。

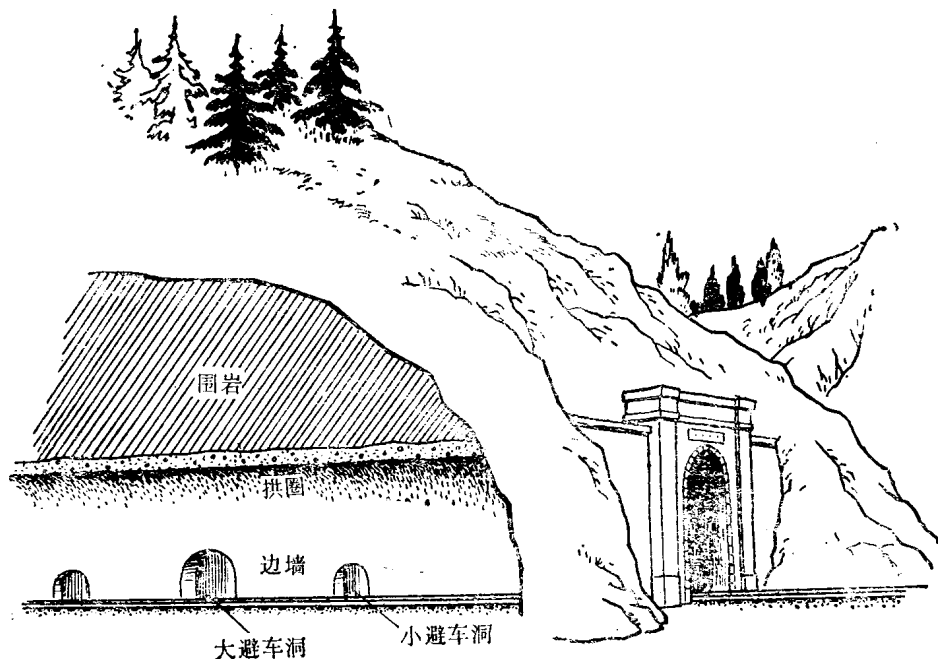


图 1 隧道概貌

2. 公路隧道——公路的限制坡度和限制最小曲线半径都没有铁路那样严格。所以, 在山区的公路为节省工程造价, 常常是宁愿绕行, 多延长一些距离, 而不愿修建费用昂贵的隧道。因此, 过去公路隧道为数不多。但是, 随着社会生产的发展, 高速公路逐渐出现。它要求线路顺直、平缓、路面宽敞, 于是在穿越山区时, 也常采用隧道方案。此外, 在城市附近, 为避免平面交叉, 利于高速行驶, 也常采用隧道方式通过。目前, 公路隧道也逐渐发展起来。我国较长的公路隧道有: 河南省辉陵公路的向阳隧道, 长为 1400m; 林石公路的太行隧道, 长为 960m。它们在改善公路技术状态和提高运输能力方面起到很好的作用。

3. 水底隧道——当交通线需要横跨河道时, 一般可以架桥或是轮渡通过。但是, 如果在城市区域以内, 河道通航需要较高的净空, 而桥梁受两端引线高程的限制, 一时无法抬起必要的高度时, 就难以克服这一矛盾。此时, 采用水底隧道可以得到解决。它不但避免了风暴天气轮渡中断的情况, 而且在战时不致暴露交通设施的目标, 是国防上的较好选择。我国上海横跨黄浦江, 全长 2793m 的越江水底隧道, 把黄浦江两岸的交通联接起来了。

4. 地下铁道——地下铁道是解决大城市中交通拥挤、车辆堵塞问题, 而能大量快速运送

乘客的一种城市交通设施。它可以使很大一部分地面客流转入地下而不占用地面面积。它没有平面交叉,而各走上下行线,因而可以高速行车,且可缩短车次间隔时间,节省了乘车时间,便利了乘客的活动。在战时,还可以起到人防的功能。我国首都北京已经建成两条地下铁道线路,为改善首都交通状况、减少交通事故起到了有力的作用。

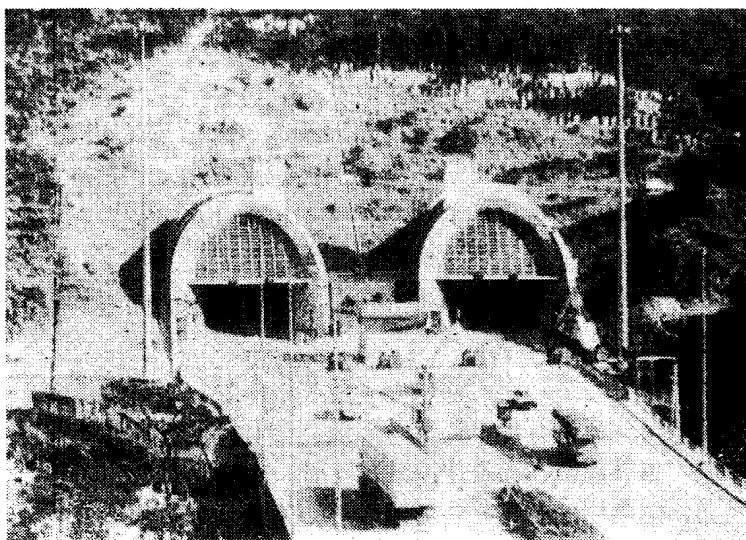


图2 公路隧道

5. 航运隧道——当运河需要越过分水岭时,克服高程障碍成为十分困难的问题。一般需要绕行很长的途程。如果层层设立船闸则建设投资很大,运转和维修的费用也很高,而且过往船只延误时间很多。如果修建航运隧道,把分水岭两边的河道沟通起来,既可以缩短航程,又可以省掉船闸的费用,迅速而顺直地驶过,航运条件就大为改善了。

6. 人行地道——城市闹区中,行人众多,往来交错,而且与车辆混行,偶有不慎便会发生交通事故。在横跨十字路口处,既或有指示灯和人行横道线,但快速的机动车,也不得不频频地减速,甚至要停车避让。为了提高交通运送能力及减少交通事故,除架设街心高跨桥以外,也可以修建人行地道。这样可以缓解地面交通互相交叉的繁忙景象,也大大减少了交通事故。

(二) 水工隧道

它是水利枢纽的一个重要组成部分。水工隧道有:

1. 引水隧道——它把水引入水电站的发电机组,产生动力资源。引水隧道有的内部充水因而内壁承压,有的只是部分过水,因而内部只受大气压力而无水压。分别称之为有压隧

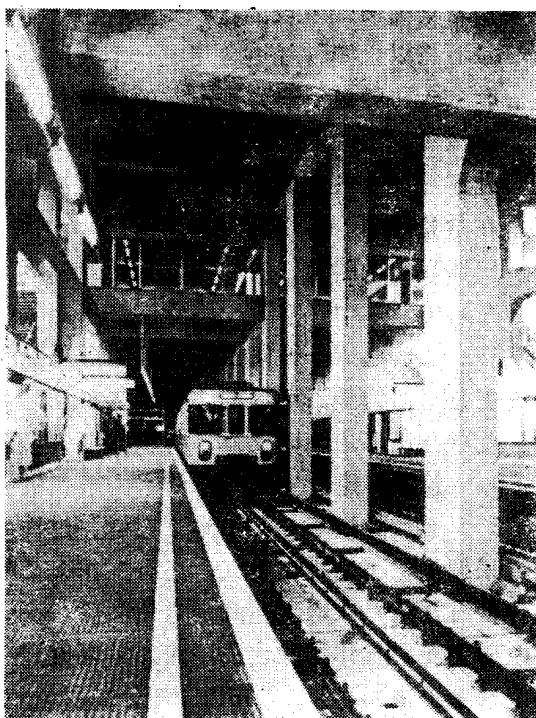


图3 地下铁道

道和无压隧道。

2. 尾水隧道——它是把发电机组排出的废水送出去的隧道。

3. 导流隧道或泄洪隧道——它是水利工程中的一个重要组成部分。由它疏导水流并补充溢洪道流量超限后的泄洪作用。

4. 排沙隧道——它是用来冲刷水库中淤积的泥沙，把泥沙裹带送出水库。有时也用来放空水库里的水，以便进行库身检查或修理建筑物。

（三）市政隧道

它是城市中，为安置各种不同市政设施的地下孔道。由于城市不断发展，工商各业日趋繁荣，人民生活水平逐步提高，对公用事业的要求也越来越高。许多城市不得不利用地下空间，把它们安置在地下，既可不占用地面面积，又不致扰乱高空位置和损伤了市容的整齐。市政隧道有：

1. 给水隧道——城市自来水管网遍布市区，必须有地下的孔道来容纳安置这些管道。既不占用地面，也避免遭受人为的损坏。

2. 污水隧道——城市污水，除一部分可以净化返用外，仍有大部分的污水需要排放到城市以外的河流中去。这就需要有地下的排污隧道。这种隧道可能是本身导流排送，此时隧道的形状多采用卵形，也可能是在孔道中安放排污管，由管道排污。一般排污隧道的进口处，多设有拦碴隔栅，把漂浮的杂物拦在隧道之外，不致涌入造成堵塞。

3. 管路隧道——城市中，供给煤气、暖气、热水等，都是把管路放置在地下的孔道中。经过防漏及保温措施，把这些能源送到人民家中去。

4. 线路隧道——城市中，输送电力的电缆以及通讯的电缆，都安置在地下孔道中。既可以保证不为人们的活动所损伤或破坏，又免得悬挂高空，有碍市容观瞻。这些地下孔道多半是沿着街道两侧敷设的。

也有将以上四种隧道合建成一个大隧道，称之为“共同沟”。

5. 人防隧道——为了战时的防空目的，城市中需要建造人防工程。在受到空袭威胁时，市民可以进入安全的蔽护所。人防工程除应设有排水、通风、照明和通讯设备以外，在洞口处还需设置各种防爆装置，以阻止冲击波的侵入。同时，并要做到多口联通、互相贯穿，在紧急时刻，可以随时找到出口。

（四）矿山隧道

在矿山开采中，常设一些隧道，从山体以外通向矿床。其中有：

1. 运输巷道——向山体开凿隧道通到矿床，并逐步开辟巷道，通往各个开采面。前者称为主巷道，为地下矿区的主要出入口和主要的运输干道。后者分布如树枝状，分向各个采掘面。此种巷道多用临时支撑，仅供作业人员进行开采工作的需要。

2. 给水隧道——送入清洁水为采掘机械使用，并将废水及积水，通过泵抽，排出洞外。

3. 通风隧道——矿山地下巷道穿过许多地层，将会有多种地下气体涌入巷道中来，再加上采掘机械不断排出废气，还有工作人员呼出气体，使得巷道内空气变得污浊。如果地下气体含有瓦斯，在含量达到一定浓度后，将会发生危险。轻者致人窒息，重则引起爆炸。必须及时把有害气体排除出去。因此需要设置通风巷道。用通风机把污浊空气抽出去，并把新鲜空气补进来。

三、隧道的沿革及其发展

隧道的发生和发展是随着人民生活水平的提高和生产能力的发展而发展的。古代的隧道都是修筑在可以自身稳定而无需支撑的岩层里,靠人民的双手和原始简单工具开挖成的。一座隧道往往需要十几年或几十年的漫长时间才能完成。自从我国发明火药以后,人们就进一步用爆破的方法取代了人工挖凿。机械钻孔工具出现以后,又进一步以钻机钻取炮眼,取代人力锤击钢钎这种落后方式。建筑材料中出现了混凝土,支护坑道的方法就由砌筑的砖石结构改为就地浇灌的混凝土衬砌。铁路的兴起,推动了铁路隧道的发展。许多国家都在铁路跨越山岭的地方,以隧道的方式穿过。有效地改善了铁路路线的技术条件,提高了运输能力。以后,由于贸易的发展,国际间内河交通日趋联系密切,于是航运隧道应运而生。城市交通越来越繁忙以致经常堵塞,又出现了地下铁道和水底隧道。近期,为了充分利用地下空间,又出现了各种用途的地下工程。在人们居住的地下,又开辟了一层新的世界。

(一) 隧道工程的历史

早在上古时代,人们就已经会利用天然洞穴作为棲身之所了,并且逐步会在平原地区自己挖掘类似天然洞穴的窑洞来居住。封建时期,帝王将相在地下修建一些坟墓陵寝。如长沙的楚墓、洛阳的汉墓。明朝的定陵更是壮丽堂皇,成为今人游览的名胜。我国古籍《左传》中,曾有“隧而相见”和“晋候…以隧”的记载,说明当时已经有过通道式的隧道了。随着农业的发展,灌溉上的需要,修建了一些为贯通水道而设的灌溉给水隧道。如陕南褒城的石门隧道。经济发展,贸易日盛的年月,水上运输亟待开发,为了把分水岭两侧的水系联贯起来,又出现了一些航运隧道。十九世纪以来,帝国主义争相在我国修建铁路,于是出现了铁路隧道。第一座铁路隧道是修建在我国领土台湾,从基隆到台南的铁路线上一座长仅261m的窄轨净空隧道。1907年在京包线上修建了八达岭隧道。这是由我国工程师詹天佑主持施工的。他是我国铁路工程界中最早的卓越人才。解放前,我国经济不发达,隧道修建得不多。解放后,隧道建设事业才有了长足的进展。尤其是解放后,技术有了飞跃的进步,隧道的修建才得到蓬勃的发展。

(二) 建国以来隧道工程的发展和成就

建国之初,处于国民经济恢复时期。在短短的三年内,把全国原有铁路线上被破坏了和发生了病害的所有隧道都一一予以修复。在成渝线上修复了13座隧道,在宝天线上改建了136座隧道,并完成了天兰线上的48座隧道,使当时支离破碎,断断续续的铁路完全修整好,全国铁路畅通无阻。

1952年修建沙丰一线,线路通过险峻的山区,需要修建密集的隧道。该线全长100.6km,就有56座隧道,总延长为27.03km,占全线长的27%。稍后,在宝成线上修建了总延长为84.4km的304座隧道。其中在三个马蹄形和一个8字形的复杂展线区段,就集中了48座隧道,占全线长的37.7%,成为以隧道克服山区高程障碍,完成复杂展线的典型范例。

以后,修建隧道的技术又有进步。过去不敢尝试的长隧道,一个接一个地打通了。宝成线上的秦岭隧道长达2363m;上鹰线上的夹马石隧道长为2387m;川黔线上的凉风垭隧道长为4270m;成昆线上的沙木拉达隧道长为6379m;京原线上的驿马岭隧道长为7032m;京广线上大瑶山隧道长达14,295m。一个比一个长,一个比一个质量好。

在克服不良地质的困难条件方面,已经取得了修建各种隧道的主动权。在海拔2000m的

高原上修建了乌鞘岭隧道；在零下40℃的严寒地区修建了枫叶岭隧道；在黔桂线上，克服了2000m³/h大量涌水的困难，修建了东山坪隧道；在京广线上，克服了流沙滚冒的困难，修通了长沙隧道；在贵昆线上，防止了瓦斯量达60m³/h的威胁，修成了岩脚寨隧道。实践证明，我国已经能够在各种不良地质条件下修建隧道了。

在隧道施工机械化方面，早已抛弃了原始的人工开凿方法，机械钻孔已由人力持钻进到支腿架钻，又进而采用风动和液压的钻孔台车。修建衬砌已由砖石垒砌，进而用混凝土就地模筑，混凝土泵挤送，又进而采用喷射混凝土的柔性衬砌，近期，又出现了双层衬砌。开挖程序已由小导坑超前，进而采用少分块的大断面开挖；从木支撑、钢木支撑，进而采用锚杆支撑。施工方法上，从矿山法逐步过渡到新奥法，以量测信息指导并调正施工。地下铁道使用了盾构和机械化盾构。

在隧道工程的理论方面，分析结构内力的方法，已经从结构力学计算转到以矩阵分析的方式用电子计算机计算，并进一步用有限元方法进行分析；从把地层压力视为外力荷载，到把围岩和支护结构组成受力统一体系的作用理论；从过去认为地层岩体为松散介质，进而考虑岩体的弹性、塑性和粘性，以及各种性质的转变，拟出各种能进一步体现岩性的模型，进行受力的分析。

隧道工程发展的近期，除了以交通为目的隧道以外，又扩大到其它多方面用途的地下工程。由于地下建筑物不占地面面积，具有抗震稳定性，国防上有隐蔽性等优点，于是充分利用地下空间的途径逐渐为人们所重视。在工业方面建成了许多地下仓库，地下工厂、地下电站、地下武器库、地下停车场、地下粮仓等。在人民生活方面，建造了形成网络的防空洞、地下影院、地下招待所、地下游乐场、地下体育中心、地下街、地下餐厅、地下会堂、地下战备医院和地下养殖场等。到目前为止，地下工程已经发展到国民经济的各个部门中去，成为人们活动的又一层世界。

（三）国外隧道的发展概况

在国外，最早的地下工程是矿山的开采。用于交通线上的第一座隧道是纪元前2180年在巴比伦城中幼发拉底河下修造的一条地下人行道。以后，为了灌溉农田，修了少量的给水隧道。随着生产工具和生产资料的进步，修建隧道的技术也跟着提高。又为内河运输的需要，继续修建了一些航运隧道。位于法国的马赛至罗纳的水路干线，本来需要绕道地中海，航程几十公里而且风浪很大安全也无保证。修了一条罗佛(Rove)航运隧道以后，航程缩短为7km，而且快速平稳，巨型内河航船可以双向行驶，十分便利。

铁路事业兴起以后，对交通隧道起了很大的推动作用。蒸汽机车牵引的第一座铁路隧道，就是1826~1830年在美国利物浦至曼彻斯特的铁路上修建的隧道，全长1190m。嗣后，陆续出现了更多的铁路隧道。火药的改进和钻眼工具的创制，促使修建隧道的技术有了显著的提高。以前不敢修的长隧道也一一完成了。1857~1871年间，建成了联接法国和意大利的仙尼斯山隧道，长为12,850m；1898年意大利又修建了辛普伦隧道，长达19,700m；1971年日本新干线上修建了大清水隧道，全长为22,230m。在目前是世界上最长的铁路隧道。

除了山区的铁路隧道以外，又发展修建了一些在城市附近跨越河海的水底隧道。美国修了宾西发尼亚东河水底隧道，长为7190m；日本修建了新关门隧道，长达18,675m。近朝又修了自本洲青森至北海道的函馆间的青函海底隧道，长达53,850m，海底部分就有23,300m。这是目前世界上最长的水底隧道。

由于欧洲汽车运输量急剧增长，迫切需要扩大公路网，因而随之出现了不少的公路隧

道。奥地利修了阿尔贝格公路隧道，长为13,980m；瑞士修了圣哥达公路隧道，长为16,285m。这是目前最长的公路隧道。

自从城市发展以来，城区交通繁忙，车辆拥挤，人车混行，安全难保。又因新开挖工具——盾构的出现，地下铁道随之兴起。1863年英国伦敦修筑了第一条地下铁道。据《隧道译丛》的报导截止到1982年底为止的统计，目前世界上已有30个国家和地区的80座城市已经建成或正在建成地下铁道。美国纽约的地下铁道已修了393.5km，英国伦敦也修了总长为387.9km的地下铁道。而且把地上、地下的交通联接起来，成为城市中的立体交通网。地下铁道的建筑，也一天比一天规模宏大、雄伟壮观。德国慕尼黑地下铁道的卡尔广场车站建筑就上下深达六层。第一层是人行通道及商店餐厅；二层做为货栈及仓库；三、四层为地下停车场，可同时容纳800辆汽车；五、六层才是车站集散厅及车道。华盛顿的地下铁道已经用电脑指挥和控制列车运行。时速高的是旧金山的地下铁道，平均时速为80km/h，最高可达120km/h。最大客运量是莫斯科地下铁道，1977年统计年运送21.6亿人次。

近期以来，隧道工程的科学技术得到了相应的发展。在原有的技术基础上，采用钢拱支撑、喷射混凝土衬砌，锚杆加固围岩，已是普遍使用。引进新奥法来指导并调整施工，也已大量推广。用有限元的方法来分析地下结构的受力状态，也已为人们所乐于使用。

在钻进工具方面，出现了联合掘进机，使用液压凿岩，它能以最佳工况适用于各种岩石，效率高、噪音低，能改善工作环境。以后又加上了高压射水，以高压水结合滚刀综合破岩，大大地提高了机械效率，而且由于不需要太大的推力，有可能把掘进机的机身变得轻巧。

最近欧洲开始使用预切施工法，以链条式的切割机切出沟槽，然后在其内部断面进行爆破开挖。与此类似，有所谓扩挖法。先爆破出80%的断面，然后用履带式的扩孔机挖出整齐的周边，既可减少超挖，又可最少地扰动围岩。在日本采用冻结法的实例很多。在城市地区，为了不危及邻近建筑物的安全，常常人工地把围岩冻结起来，再进行开挖。瑞士的苏黎士城公路隧道，在密集的建筑群的地底下仅6~8m的薄薄土层下面，开挖了一个断面面积为 $12.1\text{m} \times 14.3\text{m}$ 并且不允许地面有较大沉陷条件下的公路隧道，就是采用了冻结法的成功范例。近年来，日本还研制出一种静态破碎剂，可以进行安全而无公害的爆破。对于在城市建筑物群中，拆除某建筑物或地下洞室扩挖时，使用它最为合宜。它不发生爆破冲击的噪音，不产生有破坏力的震动，可以破碎任何种类的岩石。

自1974年起，成立了国际隧道协会（ITA），汇集了各国的专家学者，集思广义，切磋交流有关隧道的各种问题。每年召开一次年会，宣读并讨论各国提供的论文。1985年曾经在我国首都北京召开学术讨论会，收获很大。

科研方面正在探讨如何解决城市内开挖地下工程所引起的地层沉陷问题以及地下工程施工对城市繁华街道的干扰如何减至最小的问题和如何保护环境的问题。

最后应该指出，尽管近年来隧道工程已经取得了一定的成就和相应的发展，但是还存在着许多问题和缺点。从总体来看，隧道结构还比较粗大厚实，施工环境还很恶劣，工人劳动强度还很大，工程进度不快和工程造价较高。具体说，截止到目前，我们对围岩的性质还没有深入地摸清楚，对计算模型的选用和计算的理论还不完全符合实际，施工技术水平和管理工作还比较落后，人力和物力的消耗和浪费都较大，所有这些都有待隧道工作者去研究和解决。今后应当加强隧道环境和地质的现场量测及实验室的试验，以便对各种不同性质的围岩能拟出较为符合实际的计算模型和计算理论；施工方面要进一步提高开挖技术和支护方法，

配备完善的施工机械，从目前的半机械化程度，提高到全机械化，再进一步达到洞内无人，洞外遥控的高度安全化；要提倡采用科学的管理方法，用调查的信息，制订施工计划，又用实测的信息反馈，不断调正计划达到最优方案，使之实现质量高、进度快、浪费少，造价低的目的。总之，认识事务并改造事务使之对人类服务是我们责无旁贷的任务，只要我们不断地实践，不停地向前探索，一定会把隧道的建设事业推向前进的。

第一篇 隧道位置选择及构造设计

第一章 隧道位置选择

铁路隧道是铁路线上的一种建筑物，它的位置与线路是互为相关的。在一般的情况下，当一段线路的方案比选一旦确定以后，区段上隧道的位置就只能依从于线路的位置大体决定，最多是在上、下、左、右很小幅度内作些少的移动而已。但是，如果隧道很长，工程规模很大，投资很多，工期时间很长，技术上也有一定的困难，属于本区段的重点控制工程，那么这一区段的线路就得依从于隧道所选定的最优位置，然后线路以相应的引线凑到隧道的位置上来。所以，隧道位置的选定是与线路的选定同时考虑的，不可分开而又按隧道工程的大小有所依从的。

隧道具体位置的选择与当地的地质条件、水文地质条件、地形地貌条件、工程难易程度、投资的数额、工期的要求，以及施工技术现有的水平和今后运营条件等因素有关。其中，最为重要的是地质条件和地形条件。

第一节 按地形及地质条件进行选择

一、按地形条件进行选择

隧道是克服地形障碍的有利手段。隧道位置的选择在很大程度上受着地形的制约。地形障碍有高程障碍和平面障碍两方面：

(一) 高程障碍

铁路线前进方向如果遇到高山，由于铁路的坡度有严格的限制，不能在一定的距离内拔起越过山峰，于是，高山就成了铁路线上的高程障碍。要克服这种障碍，可以有三种方案供选择：

1. 绕行方案

当附近地形开阔，山坡地带宽敞时，可以避开前方的山峰，迂回绕行而过。若是上述条件具备，这是一个比较简易的办法。工程容易，工期较短，工程费用也会少。可是，绕行势必路线要延长，今后长期的运程必然增加；路线弯道增多，曲线半径也可能减小，使长期的运行条件变坏，行车速度和牵引定数都会有所降低。尤其是今后随着国民经济的发展，对运输任务提出更高的要求时，就会给技术改造带来困难。此外，绕行方案靠近山坡，地质条件复杂，工程困难程度较大。所以，从长远的利益来看，这一方案是不甚可取的，只有具体条件相宜时，才好采用。

2. 深堑方案

当地形比较开阔，有山谷台地可资展线时，就可以尽量地把线路展长，坡度用足以争取把线路标高抬起到可能的高度。然后把高程尚有不足之处，在山顶部位开凿深路堑通过。若

是上述条件具备，这也不失为一个可供比较的方案。它展线比绕行方案略少一点，至于急弯陡坡就不一定好多少，前述的缺点依然存在。但是，在山顶开挖深路堑，往往工程量很大，施工困难，边坡切削太甚，易于引起坍方落石，防护需要加强。若地下水发育，还会引起滑坡，给今后的运行和养护遗留下防不胜防的隐患。这一方案在展线方面是改良性质的，而在劈山方面仍包含着不利因素。所以，这也不是太好的方案。

3. 隧道方案

当地形紧迫，山坡陡峭，不具备上述条件时，开凿隧道，穿山直过，就成为唯一可行，而且是比较有利的方案。修建隧道可能工程要大一些，工期也会长一些，但是，它能使线路平缓顺直，不需较大的坡度，不需设置太多、太急的曲线。今后在长期的运营中，由于技术条件好，可以牵引更大的重量，可以使行驶速度提高，缩短运程，还不受外界干扰，战争时期将是良好的掩护所。因此，从全局和长期考虑，隧道方案往往是比较合理的。

(二) 平面障碍

铁路进入山区，这里山峦起伏，河谷蜿蜒，线路不得不依山傍河迂回前进。有时走行在凹岸，则须注意是否受到河水冲刷。如果走行在凸岸山咀，则沿山坡绕行，凸度较大时，曲线半径势必很小，行车条件恶化。若是山咀伸出太急，线路就无法随之环绕。这就出现了平面障碍。解决平面障碍有以下两种方案：

1. 沿河傍山绕行方案

沿着山体自然弯曲傍山绕行，如果地形条件尚能允许，则可采用。在不得已时，只得大量劈坡，或高层填土，上设御土墙，下设护坡护岸，有时还须跨谷建桥，有时为防滚石坠落，还需设置防护明洞。由于线路走行在山坡表层内，地质多为风化松散带，施工时极易坍方。行车后，也难保安全。至于遇急弯猛拐处，线路条件也较差，行车不能多拉、快跑。因此，这种方案只有在条件允许时，才能采用。

2. 隧道直穿方案

如果在平面障碍的前方，开凿隧道，穿山而过，虽然初期工程略大一些，但线路顺直平缓，可不设急弯，没有陡坡，路线行程缩短，运营条件改善，而且不受山坡坍方落石的威胁。如图 1—1 所示。从长远的利益来看，隧道方案往往是比较合理的。

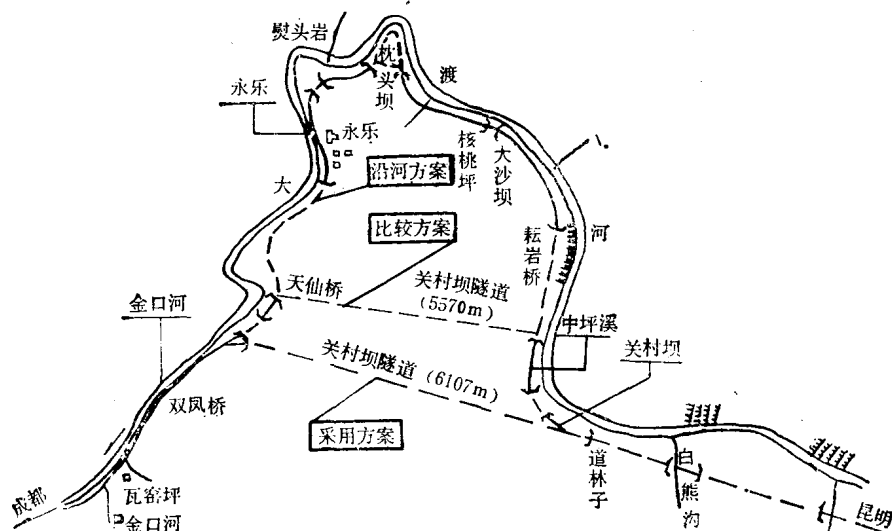


图 1—1

二、按地质条件进行选择

隧道是埋置在地层内的结构物，它受着地层岩体的包围。周围地层的地质条件，对结构物应具备的构造型式和适宜的施工方法都有着决定性的影响。如何避开不良地质区域，或是如何拟定克服不良地质的措施，是选择隧道位置时，必须审慎考虑的问题。

在单斜构造的地区，地层各层间，有的是紧密贴附的，有的是出现裂缝又为一些细碎物质所填充了的。不管是哪一种情况，层间接触面比之岩层实体总是较为薄弱的，称之为软弱结构面。从力学观点来看，一种岩体的强度常常不是由岩石本身的强度来控制，而是由它的软弱结构面的强度来控制的。

单斜构造的层次大体平行而有同一倾角。当层间的抗剪强度不足时，地层在外力作用下将会发生层间相对错动。如果隧道的位置恰在层间软弱面上，地层滑动将使隧道结构受到很大的剪力，以致把结构物损坏。如果隧道恰在层间软弱面的上方，地层滑动会使隧道的某一段发生横向推移，而与邻段断开。如果层间软弱面正在隧道的上部，或是距上部不太厚的地方，常会把隧道的拱部挤裂，如图 1—2 所示。因此，在单斜构造的地质条件下，必须事先把地层的构造和倾角大小调查清楚，一定要尽可能避开软弱结构面。特别是不要把隧道中线设成与软弱结构面的走向一致或平行，至少要成一定的交角。

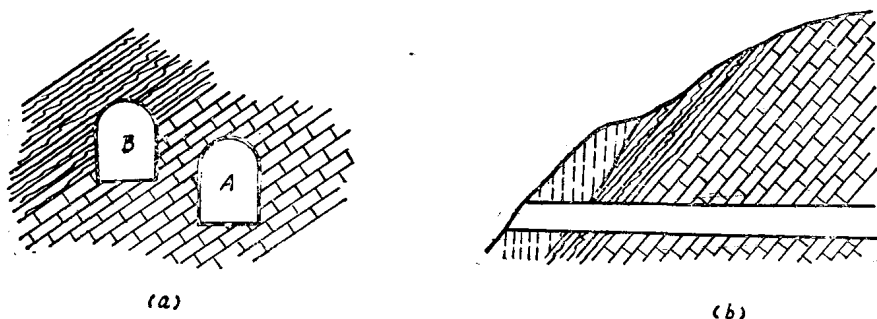


图 1—2

在褶曲构造的地区，地层一部分翘起成为背斜，另一部分下挠成为向斜。背斜的地层受弯而在上面出现开裂，切割岩体成为上大下小的楔块。楔块受到两侧邻块的挟持，使得楔块的重量由邻块分担，因而只产生小于原重的压力。与此相反，向斜地层受弯而在下面开裂，切割岩体成为上小下大的楔块。这种楔块在重力作用下，极易脱离母岩而坠落，于是产生较大的压力，也就是给结构物以较大的荷载，而且在施工时，极易发生掉块或坍方，对工程产生不利影响。此外，地下水积聚凹底，也将增加施工的困难。所以，隧道穿过褶曲构造时，宁可选在背斜中，比在向斜中有利。如果恰在褶曲的两翼，将受到偏侧压力，结构须加强，如图 1—3 所示。



图 1—3

在断层构造的地区，断层带中的岩体呈破碎状态，称为断层泥。它的强度很低，而且往往是地下水的通道。施工时，遇到这种地质条件，十分困难。选择隧道位置时，应尽可能避开。不得已时，也要与断层带隔开足够的安全距离。切忌隧道中线与断层方向一致。万不得

已时,也宜正交跨过。施工时,还应作好各种支护及防水措施。

从地质条件进行隧道位置选择时,最重要的影响因素是不良地质。不良地质是指滑坡、崩塌、岩堆、泥石流、溶洞和含瓦斯地区等而言。它们各有其特点,也各有其影响。

(一) 不良地质的影响

1. 滑坡地区——山坡地区,由于地下水的活动,或是河流冲刷坡脚,以及人为切坡等原因,山坡土体在重力作用下,沿某一软弱面有整体下滑的趋势,形成了滑坡。隧道通过这种地段时,将会受到突然的土体推力,有时会把结构物挤压破坏,或是剪切断开,有时甚至可以把整个隧道建筑物随土体而下移。所以,选择隧道位置时,应尽可能避开。如果对滑坡面的位置已经了解清楚,可以把隧道置于滑坡面以下的稳定岩体中。如果确知滑坡是多年静止了的死滑坡或古滑坡,则在不得已时,也可以把隧道置于滑坡体之内,但要上部减载和加强排水。我国爱德3号隧道,傍山浅埋,进口段通过古滑坡区。开挖后,支撑受压变形移位,洞顶出现纵向裂纹,河侧坡脚下坍,情况危急。后经上方挖去大部土石,使之减载,方才保住了山坡及隧道的稳定。

2. 崩塌地区——山坡陡峻的地段,山体裂隙受风化而崩解,脱离母岩,成块地从斜坡翻滚坠落。它的出现是突然的,冲击力很大,不易防范。选择隧道位置时,最好不要沿这类山坡通过。不得已时,也不要把隧道置于地表不厚的傍山位置,应当尽可能地深进山体之中,穿过稳定的岩层。岩体崩塌的情形不太严重,而洞口又必须落在崩塌地区,则可设置一段明洞来解决。

3. 岩堆地区——岩石经过风化作用,分解和剥离成为大小不一的块体,从山坡上方滚下,或冲刷夹持而堆积在山坡较平缓处或坡脚处,形成无粘结力的堆积体。隧道通过这类地区,开挖时极易发生坍方,给施工带来极大困难。这时,宜把隧道位置放在岩堆以下的稳定岩体之中。爱德2号隧道进出口部分通过岩堆地区,开挖时几乎百分之八十的导坑支撑发生折断,山顶出现纵向裂缝,数次坍方堵了洞口,给施工造成极大困难。

4. 泥石流——山顶积聚的土壤和各种砾石、岩块受到水的浸融成为流体,顺山沟或峡谷流淌而下,来势凶猛,破坏力极大。有时可能摧毁铁路路基,甚至掩埋了铁路、堵塞了隧道。因此,在选择隧道位置时,务必躲开泥石流泛滥区。如躲避不开,也应选在泥石流下切深度以下的基岩中。要查明泥石流冲积扇范围,不可把洞口放在冲积扇范围以内。

5. 溶洞地区——石灰岩质地区,岩石受流水的化学作用,溶蚀而形成空穴。穴中有的积水,有的被土石填充,均为不可承重的虚地基。选择隧道位置时,应尽可能避开。如无法避开时,应探明溶洞的所在,隧道与溶洞应有足够的安全距离。实在无法做到而又在坚硬的岩类中,则可在隧道内建桥跨过。

6. 瓦斯地区——在产煤的地区中,蕴藏着有害气体,如甲烷(CH_4)和二氧化碳(CO_2)。隧道开挖时,有害气体逸出。轻则致人窒息,重则引起爆炸,危害甚大。选择隧道位置时,最好能避开。不得已时,应做好通风稀释的措施。

(二) 不良水文地质的影响

1. 地下水——地下水多是由地表水的渗透或地下水源补给的。例如岩层裂隙中的裂隙水,或溶洞中储藏的溶洞水。它们有时是流动的,有时是静止的,有时还有压力水头。它们的存在,使岩石软化、强度降低,层间夹层软化或稀释,促成了层间的滑动。裂隙中的水在开挖时涌入坑道,使施工发生困难,给以后养护也带来无止无休的灾害。我国西北地区的一座隧道断层水曾达 $10,000\text{t/d}$ 。贵昆线上一座隧道,在大雨之后,所有溶洞同时出水达