

21

世纪高等职业技术教育规划教材

土木工程类

孙立功 刘杰 主编

隧道工程

Suidao Gongcheng



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

隧 道 工 程

孙立功 刘 杰 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

隧道工程 / 孙立功, 刘杰主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2006.8

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 土木工程类
ISBN 7-81104-298-3

I. 隧... II. ①孙...②刘... III. 隧道工程—高等学校: 技术学校—教材 IV. U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 051169 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

隧 道 工 程

孙立功 刘杰 主编

*

责任编辑 王 旻

责任校对 李 梅

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 13.5 插页: 2

字数: 343 千字 印数: 1—3 000 册

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-298-3

定价: 24.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562



前言

为全面贯彻、落实教育部《21世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》，本着“能力为主，需要为准，够用为度”的原则，强调针对性和实用性，充分体现以适应社会需要为目标，以“应用”为主旨和特征构建课程与教学内容体系。我们组织编写了此教材。

本教材系统介绍了隧道的基本知识、隧道施工方法、隧道施工组织管理及隧道施工测量等方面的内容，共分十二章。

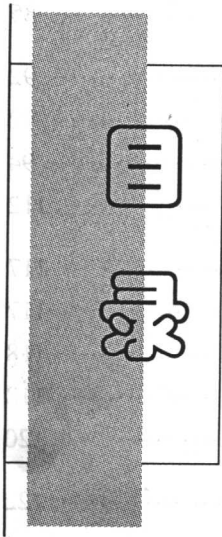
参加编写的有陕西铁路工程职业技术学院宋秀清（第一章、第四章、第十章、第十一章、第十二章），张碧（第五章、第八章），刘杰（第二章、第六章、第七章），孙立功（第三章、第九章）。本教材由孙立功、刘杰统稿并任主编。

本教材可供高职高专“铁道工程技术”专业、“道路桥梁工程技术”专业、“工程监理”专业教学使用，也可供从事铁路及公路施工的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，难免有疏漏或不当之处，恳请读者斧正。同时感谢西南交通大学出版社的全体员工及陕西铁路工程职业技术学院铁道工程系各位同仁给予的大力帮助。

编者

2006年3月



绪论	1
第一章 隧道勘测设计	5
第一节 隧道勘测	5
第二节 隧道位置选择	7
第三节 隧道断面设计	11
第二章 围岩分级及围岩压力	19
第一节 围岩分级	19
第二节 围岩压力	26
第三节 围岩压力确定	29
第三章 铁路隧道构造	37
第一节 铁路隧道净空	37
第二节 洞身衬砌结构类型	42
第三节 洞门与明洞	47
第四节 铁路隧道附属构筑物	54
第四章 隧道施工方法	60
第一节 概述	60
第二节 施工方法	60
第三节 洞口和明洞施工	65
第五章 隧道开挖	69
第一节 炸药与爆炸的基本理论	69
第二节 隧道爆破设计	75
第三节 光面爆破	82

第六章	装渣运输	85
第七章	支 护	92
第一节	构件支撑	92
第二节	锚喷支护	94
第三节	模筑混凝土衬砌	112
第八章	辅助坑道	117
第一节	横 洞	117
第二节	平行导坑	118
第三节	斜 井	118
第四节	竖 井	120
第九章	辅助作业	122
第十章	特殊地质地段隧道施工	143
第一节	膨胀土围岩	143
第二节	黄 土	145
第三节	溶 洞	147
第四节	松散地层	150
第五节	塌 方	156
第六节	流 沙	158
第七节	岩 爆	159
第八节	高地温	161
第九节	瓦斯地层	162
第十一章	隧道施工测量	166
第一节	导坑延伸时的简易测量	166
第二节	用偏角法跨越曲线控制点测设中线	171
第三节	侧移中线	174
第四节	隧道开挖断面控制	180
第五节	洞口仰坡与洞口放样	182
第十二章	隧道施工组织管理	188
第一节	概 述	188
第二节	准备工作	188
第三节	施工组织与管理	190
第四节	施工组织实例	193
参考文献		209

绪 论

一、概 述

隧道通常是指修建在地层中的地下通道。它被广泛地应用于公路、铁路、矿山、水利、市政和国防等方面，因此，单纯理解为“地下通道”的隧道概念，也可扩大到地下空间利用的各个方面。即也可以把各种用途的地下通道和洞室都称之为隧道。

1970年，OECD（国际经合组织）将隧道定义为，以某种用途在地面下用任何方法按规定形状和尺寸修筑的断面面积大于 2 m^2 的洞室。

铁路隧道是指专供铁路运输使用的地下建筑结构物；公路隧道则是指专供公路运输使用的地下工程结构物。

随着我国经济的高速发展，隧道将势必在公路、铁路等交通运输，以及城市地下空间利用这两个大的方面获得长足的发展，并将发挥越来越重要的作用。为此，它也是岩土工程的重要研究内容。

二、隧道在铁路上的应用和分类

在铁路上，隧道常用来穿越山岭和河流障碍，以及作为解决城市中繁忙的交通运输问题的一种手段。按照其穿越障碍或作用的不同，位于铁路线上的隧道，可分为山岭隧道、水底隧道及地下铁道三种。

穿越山岭的隧道称为山岭隧道。在山区进行铁路建设，修建山岭隧道有明显的优点，它可以克服平面和高程障碍，改善线路条件，缩短里程，节省运费，提高运输能力，使铁路平缓顺直，从而能更好地满足现代化高速行车的要求，并取得理想的经济效果。例如，衡广段复线工程中，在坪石与乐昌之间，由于修建了长度为 14.295 km 的大瑶山隧道，可使铁路长度较既有线路缩短约 15 km ，这一数字几乎为坪石至乐昌间既有铁路长度的 $1/3$ 。大瑶山隧道的长度目前在我国的双线铁路隧道中居于首位。

世界上已建成的水底隧道(包括铁路和公路)，其数量已超过百座。日本青函海底隧道(穿越津轻海峡)，长度达 53.85 km ，是当前世界上最长的铁路水底隧道，它把日本的本州与北海道两大岛联结在一起。1993年完工的英吉利海峡隧道全长 49.2 km （多佛—加莱），有两条直径各为 7.3 m 的铁路隧道与一条直径 4.5 m 后勤隧道组成。其中 37.5 km 在海底， 11.2 km 在两端的陆地下面。它将孤悬的英国与欧洲大陆紧密地联系在一起，对欧盟的发展，欧洲单一市场的形成和国际经济、文化合作交流，都会有重大促进。

地下铁道的应用也很广泛，它是解决大城市中繁忙的地面交通运输问题的重要手段之一。当前，包括我国的北京、上海、广州、天津、香港等城市在内，世界上已有80座以上的城市修建有地下铁道，并投入了使用。

本课程主要讲述有关铁路山岭隧道(简称“铁路隧道”)的基本知识。

为了设计、施工及养护管理上的方便，我国铁道部新颁布施行的《铁路隧道设计规范》，按隧道长度，把铁路隧道分为四种，即：

短隧道——全长 500 m 及以下；
 中隧道——全长 500 m 以上至 3 000 m；
 长隧道——全长 3 000 m 以上至 10 000 m；
 特长隧道——全长 10 000 m 以上。

关于铁路隧道的分类，为了反映其不同方面的特点，还可以有其他的分类方法。

三、铁路隧道建筑物的组成部分

隧道能充分利用岩土地层的固有性质，达到最有效修建隧道的目的，从而获得良好的社会效益和经济效益。隧道建筑物可分为主体建筑物和附属建筑物两大部分。

主体建筑物为洞身衬砌(简称“衬砌”)和洞门。衬砌是一种永久性的支护结构，用它来加固隧道洞身，防止洞身周围地层发生风化剥落或坍塌，洞门则用来加固隧道的出入口。两者共同组成隧道主体建筑物来保证列车在隧道中的运行。

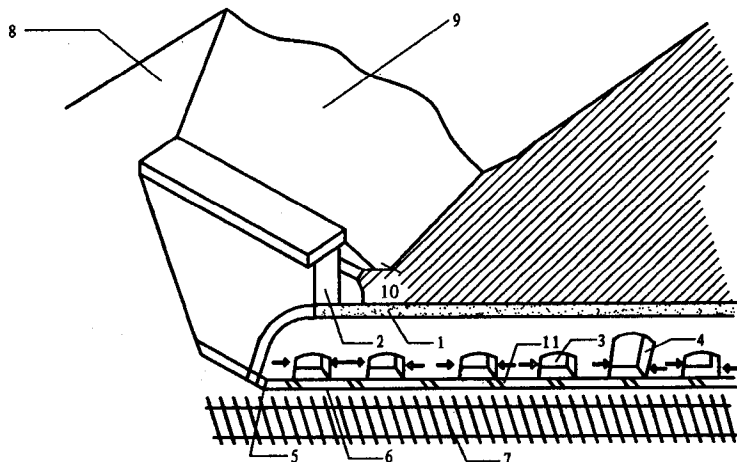


图 0-1

- 1—衬砌；2—洞门；3—小避车洞；4—大避车洞；5—洞内排水沟
 6—水沟盖板；7—洞内线路；8—洞口路堑边坡；9—洞口仰坡
 10—洞门墙顶排水沟；11—避车洞标志

隧道的附属建筑物主要包括大、小避车洞及防排水设施；在隧道较长通风不良时，还要修建通风建筑物。此外，在隧道内还可能由于铁路电气化或通信信号等方面的需要而修建相应的附属建筑物(如电缆槽、无人增音站洞及绝缘避车洞等各种洞室)。

四、隧道施工方法简介

隧道施工方法有传统矿山法、新奥法、掘进机法、沉管法、盾构法等。

矿山法是用一般的地下开挖方法来进行隧道施工的。当隧道穿经岩石地层时，通常均用钻眼爆破法进行开挖；在进行必要的临时支护及清除开挖出来的石渣之后再修建永久性支护结构——衬砌。隧道的横断面视具体条件可分几部分挖成，亦可一次挖成。由于这种施工方

法与矿山地下巷道的施工方法相类似，故常称之为传统矿山法。

新奥法——New Austrian Tunnelling Method，它是以控制爆破或机械开挖为主要掘进手段，以锚杆、喷混凝土为主要支护方法，理论、量测和经验相结合的一种施工方法。其核心是保护和爱护岩体，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”。新奥法是目前国内隧道设计、施工的主流方法。从我国隧道发展的趋势来看，在今后很长一段时间内，仍以新奥法为主。

岩石隧道掘进机法是利用岩石隧道掘进机在岩石地层中暗挖隧道的一种施工方法。英文名称是 Tunnel Boring Machine，简称TBM。它是利用刀具一次便将隧道整个断面切削成型，掘进同时，还兼有出渣及自动推进的功能。1999年建成的18.457 km长秦岭隧道的1号线隧道则是用直径为8.8 m的全断面掘进机开挖，实现了隧道施工机械化。岩石隧道掘进机的断面外径大可达10 m多，小仅1.8 m，并且岩石掘进机和辅助施工技术日臻完善以及现代高科技成果的应用（液压新技术、电子技术和材料科学技术等）大大提高了岩石掘进机对各种困难条件的适应性。

盾构法主要应用于软土、流砂、淤泥等特殊地层。盾构法隧道的基本原理是用一件有形的钢质组件沿隧道设计轴线开挖土体而向前推进。这个钢质组件在初步或最终隧道衬砌建成前，主要起防护开挖出的土体作用，以及保证作业人员和机械设备安全的作用，这个钢质组件被简称为盾构。盾构的另一个作用是能够承受来自地层的压力，防止地下水或流砂的侵入。上海、广州地铁的施工表明，盾构施工不仅不受地面交通、河道、潮汐、气候条件的影响，而且盾构的推进、出土、衬砌拼装等可实行自动化、智能化和施工远程控制信息化，掘进速度较快，施工劳动强度较低；并具有显著的环保功能。

沉管法是将预制好的隧道管段拖航浮运到隧址，沉入基槽并进行水下连接，从而形成隧道。珠江和甬江这两座水下隧道的成功修建标志着我国已具备了用管段沉放法修建水下隧道的能力并掌握了相关技术。这就大大激励了中国工程师用沉管隧道来穿越江河的勇气。以规划中的京沪客运专线南京长江隧道为例，全长6 180 m，其中江中沉管段为2 090 m由19节110 m长的管段组成，地基为细砂层及粉砂层，流水速度可达1.2 m/s，其规模和预期的修建难度都将超过珠江和甬江隧道。这将是一项面向21世纪的雄伟工程。

正在规划研究的水底沉管隧道工程还有：连接辽东半岛和胶东半岛的渤海海底隧道，长约57 km；连接上海和南通的长江水底隧道，长度约7 km；上海至宁波的杭州湾水底隧道，最长的隧道方案长约52 km，隧道建成后沪甬两地的运输距离较经杭州钱塘江大桥缩短约250 km。台湾海峡隧道目前由清华大学进行可行性研究。

五、我国隧道技术发展状况

1. 秦岭隧道

西康线秦岭隧道工程由1号线和2号线两座隧道组成，通过混合片麻岩及花岗岩。其中2号线隧道是用钻爆法开挖的。采用轨行门架三臂钻孔台车、挖掘装载机、大容积梭式矿车等重型机具先开挖断面为26~30 m²的导坑，平均月进尺达264 m。值得指出的是，在2号线导坑的开挖中采用直径1.3 m的风管，110 kW风机创造了单台风机独头通风距离6 000 m

的记录。超过 6 000 m 后，再串联一台风机，到独头通风距离为 9 500 m 时，作业面空气仍符合标准要求。

秦岭隧道的 1 号线隧道则是用直径为 8.8 m 的全断面掘进机开挖的。它遇到的是强度超过 200 MPa 的硬岩，其困难是可想而知的。

“钻爆法和掘进机，孰优？”曾经引起隧道工程师们的讨论。结论很明显：尽管中国人发明了火药，足以让我们引以为自豪，但是我们并不认为钻爆法是开挖岩石隧道的唯一手段。英吉利海峡隧道使用掘进机的经验给了我们重要参考。实际上，在中国的一些水工隧道的开挖中已经取得了不少使用掘进机的成功经验。这些经验对于秦岭隧道掘进机施工十分有价值。

山岭隧道矿山法修建技术的发展仅仅是隧道工程技术进步的一个侧面。现代隧道技术的内容应涵盖适用于不同条件的各种不同修建方法。

2. 大瑶山隧道

我国修建长度 10 km 以上的铁路隧道的实践是从修建 14.295 km 长的双线隧道——大瑶山隧道开始的。在这座隧道的施工中，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，实行全断面开挖。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。

在此以后修建的许多长大隧道基本上都是按“大瑶山模式”施工的。例如，南昆铁路上长度为 9 388 m 米花岭隧道，就创造了单口月成洞 502.2 m 的好成绩。

我国在隧道及地下工程方面已经取得快速发展和举世瞩目的成就，并成为世界上隧道数目最多、建设规模最大、发展速度最快的国家，进入了一个快速发展的新时期。

截至 2003 年底，我国拥有铁路隧道 7 400 余座，总长度达 4 200 km；公路隧道拥有 1 970 余座，总长度达 1 000 km。从最近几年的建设规模和难度来看，单洞长度达多 20 km 的特长铁路隧道和连拱、单洞双车道以及单洞四车道的公路隧道、双层水下公路隧道均脱颖而出。在发展速度方面，铁路隧道和公路隧道分别以每年约 300 km 和 150 km 的速度在增长。

第一章 隧道勘测设计

隧道勘测的目的在于查明隧道所处位置的工程地质条件和水文地质条件,以及隧道施工和运营对环境的影响。为规划、设计、施工提供所需的勘察资料,并对存在的岩土工程问题、环境问题进行分析评价,提出合理的设计方案和施工措施,从而使隧道工程经济合理和安全可靠。

第一节 隧道勘测

隧道勘测的方法主要有收集与研究既有资料,调查与测绘、勘探,试验与长期观测等几种。随着科学技术的进步,越来越多的新技术在隧道勘察工作中得到发展和应用。

一、收集与研究既有资料

隧道工程地质勘察各阶段的准备工作,是根据勘测任务的要求,配备必要的专业人员,收集与研究有关资料,了解现场情况,并做好勘察仪器的准备。其中,收集和研究隧道所处地区的既有的有关资料,不仅是外业工作之前准备工作的重要内容,也是隧道勘察的一个主要方法。

收集的资料一般应包括以下几个主要方面的内容:

- (1) 地域地质资料。如地层、地质构造、岩性、土质等。
- (2) 地形、地貌资料。如区域地貌类型及主要特征,不同地貌单元与不同地貌部位的工程地质评价等。
- (3) 区域水文地质资料。如地下水的类型、分带及分布、埋藏深度、变化规律等。
- (4) 各种特殊地质地段及不良地质现象的分布情况,发育程度与活动特点等。
- (5) 地质资料。如沿线及附近地区的历史地质情况,地震烈度、地震破坏情况及其地貌、岩性、地质构造的关系等。
- (6) 气象资料。如气温、降水、蒸发、温度、积雪、冻积深度及风速、风向等。
- (7) 其他有关资料 如气候、水文、植被、土壤等。
- (8) 工程经验。区内已有公路、铁路等其他土建工程的工程地质问题及其防治措施等。

上述资料,应包括政府和生产、科研、教学等部门所提供的一切有参考价值的地质图、文献调查报告及与工程有关的法令、法规、方针、政策等。对外收集到的资料进行分析研究和判断,可以初步掌握隧道所经地区的工程地质条件的概况和特点,粗略判定可能遇到的主要工程地质问题,并了解这些问题的研究现状和工程经验。这对于做好准备工作和外业工作是十分必要的。在隧道勘察工作中,正确运用这种方法,可以减少外业工作的盲目性,提高工程质量。

二、调查和测绘

调查与测绘是工程地质勘察的主要方法。通过观察和访问，对隧道通过地区的工程地质条件进行综合性的全面研究，将查明的地质现象和获得的资料，填绘于有关的图表与记录本中，这种工作统称为调查测绘（调绘）。隧道工程地质测绘，一般可在沿线两侧带状范围内进行，通常采用沿线调查的方法，对不良地质地段及地质条件复杂的路段，应扩大调绘范围，以提出完整可靠的地质资料。

1. 工程地质调查

工程地质调查主要是直接观察和访问当地群众的方法，需要时可配合适量的勘探和试验工作。

(1) 直接观察。直接观察是工程地质调查最重要和最基本的方法。它主要利用自然迹象和露头，进行由此及彼，由表及里的观察分析工作，以达到认识路线及隧道通过地带工程地质条件的目的。

在隧道工程地质调查中，常采用地貌学和地植物学的方法观察分析有关自然现象。前者根据地貌的形态特征，推断其形成原因和条件，并评价其工程地质条件；后者根据植物群落的种属、分布及其生态特征，推断当地的气候、土质及水文地质等条件。有些对土质、水分、盐分等条件要求特别严格的植物，可以作为指示植物加以利用。采用地植物学的方法，在潮湿茂密的林区是十分必要的，而在植物缺少的沙漠地区则更加准确。

(2) 访问群众。访问当地群众是工程地质调查常用的方法。对沿线居民调查访问，可以了解有关问题的历史情况，多年情况及当地与自然灾害作斗争的经验，这对于直接观察，往往是必不可少的补充。在某些情况下，这种方法尤其显得重要。例如，对历史地震情况的调查，对沿线洪水水位的调查，对风沙、雪害、滑坡、崩塌、泥石流等不良地质的发生情况、活动过程和分布规律的调查都离不开调查访问。

为使调查访问获得较好的结果，一般应注意以下几点：

- ① 选择合适的对象。通常应是年纪大的，对所调查的问题有切身经历的人，要多找几个，以避免错误。
- ② 进行仔细的询问，认真听取各处意见，需要对应到现场边看边问。
- ③ 对所提供的情况，应进行核对、分析和判断。

2. 工程地质测绘

工程地质测绘与工程地质调查的不同之处是：工程地质测绘的范围往往比较大，并且要求把调查研究结果填绘在一定比例尺的地形图上，以编制工程地质图。测绘范围以能满足工程技术要求为前提，并应包括与工程地质环境有关的范围。测绘的比例尺可以在以下范围内选用：可行性研究阶段 1:5 000~1:50 000，初勘阶段 1:200~1:2 000。为了达到测绘精度要求，实测所用地形图的比例尺必须大于或等于提测图（实测图中提取的图）比例尺。

3. 调查测绘内容

工程地质调查测绘的内容应视要求而定。调查测绘的重点也因勘测设计阶段及工程类型的不同而各有所侧重，但基本内容主要有以下几个方面：

(1) 地形、地貌。地形、地貌的类型、成因、特征与发展过程；地形、地貌与岩性、构造等地质因素的关系；地形、地貌与工程地质条件的关系，对线路布置及路基工程的影响等。

(2) 地层、岩性。地层的层序、厚度、时代、成因及其分布情况；岩性、风化破碎程度及风化层厚度；土石类别，工程性质及对工程的影响等。

(3) 地质构造。断裂、褶曲的位置，构造线走向、产状等形态特征和地质力学特征；岩层的产状和接触关系，软弱结构面的发育情况及其路线的关系，对路基的稳定影响等。

(4) 第四纪地质。第四纪沉积物的成因类型，土的工程分类及其在水平与垂直方向上的变化规律；土的物理、化学、力学性质；特殊土及地区性土的研究和评价。

(5) 地表水及地下水。河、溪的水位，流量，流速，冲刷，淤泥，洪水位与淹没情况；地下水的类型、化学成分与分布情况，地下水的补给与排泄条件，地下水的埋藏深度，水位变化规律与变化幅度，地面水及地下水对隧道工程的影响。

(6) 特殊地层、不良地层。各种不良地质现象及特殊地质问题的分布范围，形成条件、发育程度、分布规律及其对隧道工程的影响。

(7) 地震。根据沿线地震基本烈度的区域资料，结合岩性、构造、水文地质等条件，通过访问、确定 ≥ 7 的地震烈度界线。

(8) 工程经验。对所在地区既有地下工程及其他建筑物的稳定情况和工程措施进行调查访问，以便借鉴。

第二节 隧道位置选择

隧道是交通土建工程线路上的一种地下建筑物，它的位置与线路是互为相关的。在一般情况下，当一段线路的方案确定以后，区段上隧道的位置就只能依从线路的位置大体决定，最多是在上、下、左、右很小幅度内做些少量的移动而已。但是，如果隧道很长、工程规模很大、投资很大、工期很长、技术上也有一定困难、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与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，不可分开而且还依从于隧道工程的大小。

隧道具体位置的选择与当地的工程地质条件、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。

一、地形条件与隧道位置选择

隧道是克服地形障碍的有力手段。隧道位置的选择在很大程度上受地形的制约。一般山区修建的隧道，就地形而言，可分为越岭隧道和河谷线隧道。隧道位置选择时，应贯彻宁里勿外、早进晚出的原则，越岭线不要怕长隧道，河谷线也应做长隧道，避免隧道群。地形障碍有高程障碍和平面障碍。

1. 越岭隧道

穿越分水岭的隧道，称为越岭隧道。越岭隧道通过分水岭的高程是越岭线选择中的重要问题，它直接控制着线路的长短，以及隧道两侧引线工程量的大小。而分水岭垭口的高低，垭口两侧的沟谷地势，山体的厚薄，山坡的陡缓，山前台地分布情况以及水文地质条件等均

与隧道平面位置及里面位置的选择有密切关系。因此选择越岭隧道位置时，应进行大面积多方案研究，综合考虑隧道长度、坡度与展线的关系，对可能穿越的垭口，拟订不同的越岭高程及其相应的展线方案，通过区域工程地质调查、测绘，结合线路条件以及施工、运营条件等，进行全面技术经济比选来确定。

(1) 平面位置选择（选择垭口）。越岭隧道平面位置选择，主要是指穿越分水岭的不同高度垭口的选择。分水岭越高大，垭口选择的范围越宽广。应选择最有利的垭口，穿越最有利的地层，确保隧道安全，并考虑施工条件和工期要求等因素。选择越岭垭口一般利用小比例尺的地形图，根据线路航空方向和克服高程的不同要求及条件，进行大面积纸上选线，寻找可供越岭的垭口、河谷进行比选。越岭垭口、越岭隧道长度、高程和两侧引线条件互相联系，但是其相互间又要根据不同的自然地形、地质条件确定比选重点。在越岭方案有长、短隧道的比选时，需结合工期统筹考虑。

(2) 立面位置选择（选择高程）。越岭隧道立面位置的选择，也就是越岭隧道高程的选择。越岭隧道按其高程位置不同，可分为高位置隧道（即山顶隧道）和低位置隧道（即山麓隧道）两种。当隧道位置较低时，一般展线短，线路拔起高度小，运营条件好，当隧道位置较高时，则情况正好相反。因此在选择越岭隧道立面位置时，考虑运营条件的改善和通过能力的提高，宜采用低位置隧道，另外在选定隧道立面位置时，必须充分考虑到山岭的地形特点（山岭的厚薄、山坡的陡缓、两端沟谷高低等）。在比选不同走向的方案时，要重视坡度缓、线路直。

2. 河谷线隧道

线路进入山区，这里山峦起伏、河谷蜿蜒，当线路以隧道穿越山嘴、沟谷时，称为河谷线隧道。山区河谷受地质构造和水流冲刷等影响，河道弯曲，沟谷发育，并常常伴有崩塌、滑坡、岩堆、泥石流等不良地质现象，地形、地质情况较复杂。隧道线路平面位置受河谷地形限制，可移动的幅度不大。因而常出现沿河绕行的浅埋隧道和隧道群，往往是桥、隧相连。

因此河谷线隧道位置的选择，应处理好地形与地质的关系，尽量避开各种不利地形及不良地质对隧道的危害。沿河傍山地段、地质不良隧道位置适当向山侧内靠，宁里勿外，避免隧道洞壁过薄、河流冲刷和不良地质对其稳定的影响。采用隧道群应与长隧道方案比选，并应优先选用长隧道。洞口位置的选定应考虑环境保护的要求，早进洞，晚出洞。

二、地质条件与隧道位置选择

一般情况下，隧道位置应尽可能选择在地质构造简单、节理裂隙不发育、岩性好且较稳固地层中通过。尽量避免穿过工程地质、水文地质较为复杂和严重不良地质地段及有放射性危害的地层。

1. 地质构造与隧道位置选择

(1) 隧道通过单斜构造时，常遇到不均匀的地层压力或者有顺层滑动等现象。隧道中线以垂直岩层走向穿越为利。当隧道与倾斜的岩层走向不一致时，则要注意岩层层理、片理构造面、软弱夹层或不同岩层的接触带的层间结合情况。尽量避开不同岩层接触带和软弱构造面。特别是岩层倾角较大时，容易产生偏压、顺层滑动和坍塌现象。

当线路可能沿两种不同岩性的岩层中修建隧道时，其位置应选择在岩性好、稳定性高的单一岩层中通过有利，如图 1-1 (a) 中 A 的位置不利，为避开两种不同岩层的软弱构造面，选择在图中 B 的位置较好。

当隧道可能通过几种不同的水文地质构造时，宜将隧道置于不透水层中。

(2) 褶曲构造地段，一般节理裂隙发育，大都有地下水，其中向斜构造较背斜构造严重。选择隧道位置时，洞身不宜顺沿褶曲构造轴部通过，如图 1-1 (c) 中 B、C 所示位置。遇向斜构造要设法避开。若必须通过时，则以垂直或大角度穿越构造轴部为宜。

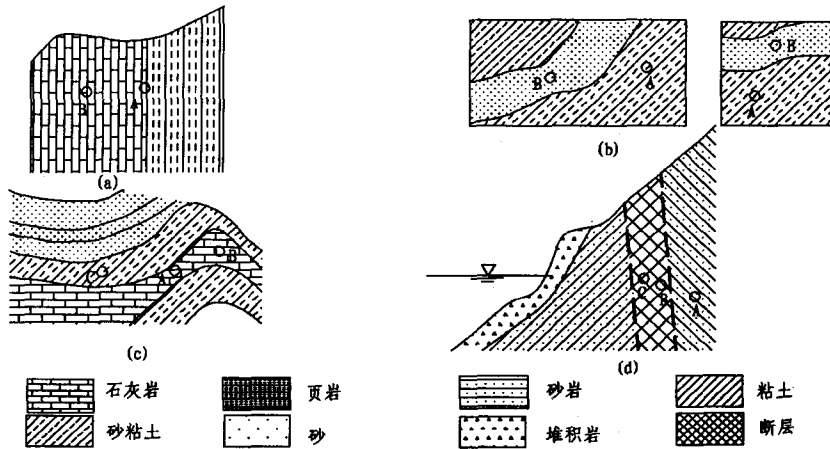


图 1-1 地质构造区隧道位置选择

(3) 一般断裂构造带，隧道施工时极易坍方，并有突然涌水发生。因此隧道位置要尽量避开严重破碎带，切勿与断裂走向平行或接近平行。如必须通过断裂带时，应使隧道与断裂走向垂直或以大角度斜交通过。特别对于区域大断裂，尤应注意。如图 1-1 (a) 中应取 A 方案位置。

(4) 地下水对隧道的危害很大，隧道位置宜选择在岩性较好或透水性差的地层通过，以确保施工安全和便利养护工作。

2. 不良地质与隧道位置选择

不良地质，是指滑坡、崩塌、岩堆、泥石流、岩溶、陷穴、流砂、断层、涌水及第四纪堆积层等特殊地质现象，此外，还有岩爆、高温、有害气体等。

在不良地质地区的隧道设计，力求做到绕避合理，措施得当。依山傍河线坚持宁里勿外、早进晚出的方针，尽量不修短隧道群、明洞群，绕避偏压体、滑动体、断层带；涌水长隧道采用人字坡，以利施工排水或利用辅助坑道截排地下水。

隧道位置的选择，原则上应选在稳固的岩层中通过，尽量避免穿越情况严重的不良地质地段。如不能避免时，要加强调查研究，摸清不良地质地区的特征和规律，提出通过方案和措施，做到经济上合理，技术上安全可靠，避重就轻，不留后患。

3. 洞口位置的选择

洞口是隧道进出的咽喉，又是隧道施工中的主要通道。洞口位置选择是否合理，将对隧道的施工工期、造价、运营安全等有重大的影响。所以在隧道线路设计中，洞口位置的选择是一项很重要的工作。

隧道的进、出口是隧道建筑物唯一的暴露部分，也是整个隧道的薄弱环节。由于洞口所处的地质条件差，多为严重风化的堆积体；覆盖层厚度较薄，若地形倾斜又易造成浅埋偏压；

还受地表水的冲刷，加上隧道一旦开挖，山体受扰动等原因，容易造成山体失稳，产生滑动和坍塌。如洞口位置选择不当，可能招致洞口坍方而无法进洞，或病害整治工程量过大，甚至遗留后患。对此，在以往的隧道工程中有过不少教训。

根据我国多年的实践经验，总结出“早进晚出”的原则。即在决定隧道洞口位置时，为了确保施工、运营的安全，宁可早一点进洞，晚一点出洞，这样做虽然隧道长了一些，造价高了一点，但对今后的运营却是安全可靠的。从长远利益上看是值得的。

理想的洞口位置应选择地质条件良好，地势开阔，施工方便，施工造价合理之处。但在实际工程中难以完全满足这些要求。为此，在选择隧道洞口位置时应注意以下几个原则：

(1) 洞口尽可能设在山体稳定、地质条件好、地下水不太丰富的地方。洞口部分在地质上通常是不稳定的。应当考虑避开滑坡、崩塌、泥石流等不良地质地段。确定洞口位置时，对边、仰坡稳定应着重考虑，并结合洞外相关工程和施工难易，通过技术经济比较确定，以免造成难以整治的病害，危及施工和运营安全。

(2) 洞口不宜设在垭口沟谷的中心或沟底低洼处，不要与水争路。因为，在一般情况下，垭口沟谷在地质构造上是最薄弱的一环，常会遇到断层带或褶曲带、古坍方、冲积土等松散地质。此外，地面流水都汇集在沟底，再加上洞口路堑的开挖，破坏了山体原有的平衡，更容易引起塌方，甚至不能进洞。所以，洞口最好放在沟谷一侧，让出沟心，留出泄水的通路。

(3) 洞口应尽可能设在线路与地形等高线相垂直的地方，使隧道正面进入山体，洞门结构物不致受到偏侧压力。傍山隧道，限于地形，有时无法做到上述要求，只能斜交进洞时，也应使交角不要太小，而且要有相应的补救措施，如采用斜洞门或台阶式洞门。切忌隧道中线与地形等高线平行。《铁路隧道设计规范》规定：当地形等高线与线路中线斜交角在 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间，地面横坡较陡，地质条件较好（单线 I~III、双线 I~II 级围岩）时可采用斜交洞门，其端墙与线路的交角不应大于 45° 。

(4) 当线路位于有可能被淹没的河滩上或水库回水影响范围以内时，隧道洞口高程应在洪水水位以上，并加上波浪的高度，以防洪水倒灌隧道中去。

(5) 为了保证洞口的稳定和安全，边坡及仰坡均不宜开挖过高，不宜使山体扰动太大，也不宜使新开出的暴露面太大。

(6) 若洞口附近遇有水沟或水渠横跨线路时，应慎重处理，当线路横沟进洞时，设置桥涵净空不宜太小，以免后患。当地形条件不适于设置桥涵时，应结合地形、地质情况、水流大小，经过技术经济比较，采取相应的工程措施，如扩大洞门墙顶水沟，将水引离隧道；利用明洞洞顶做过水渡槽引接；当洞顶水沟流量大，对隧道施工、运营不利时，应结合地形、地质条件，改沟排出。

(7) 若洞口前方岩壁陡立，基岩裸露，此时，最好不刷动原生坡面，不挖开山体。因为山体经过若干年的地质构造运动，内力已经自行调整，达到了稳定的平衡。如不扰动，它是稳定的。一旦开挖，尤其是刷方太甚，原有的平衡遭到破坏，反到会产生移动，出现坍方。所以，天然平衡不宜破坏，尽管纵坡超出限值，仍以不动为好。此时，可以贴壁进洞，只把洞门墙留出一定的空当，用以拦截小量的剥落碎块即可。

(8) 洞口以外必须留有生产活动的场所。隧道洞口一般都在山地沟谷中，地势狭窄，而施工有许多工序是在洞外进行的，需要一定的场地。尤其是隧道不断深入，就不断地出渣，堆卸以后，地面就更显得狭小。因此，在选顶洞口位置时，要考虑到场地的布置。例如，需

要有布置运输便道的位置,弃渣的地点,材料堆放的位置,生产设施的用地以及生产、生活的房屋面积,都要预先估计到。

三、两个单线隧道与一个双线隧道的方案比选 (隧道方案比选)

我国资源丰富,随着国民经济的迅速发展,原有的单线铁路已不能满足铁路运量日益增长的需要,因而需要将单线铁路改建为双线铁路;此外,新建铁路时也有—次建成复线或预留复线位置的问题。这样,在铁路勘测设计时,常常会遇到是修建一个双线隧道还是修建两个单线隧道的问题,因而需要在这两个方案之间进行技术经济比选,以及对单线隧道间的最小间距做—适宜安排。

1. 两个单线隧道方案具有的优点

(1) 单线隧道的拱跨较双线隧道的拱跨小,故围岩压力小,施工时较易保持围岩的稳定。
 (2) 对近期不修建第二线但有建设第二线规划的新建铁路来说,先修建一座单线隧道而预留出第二线隧道的位置,不仅可以减少—次性投资,而且工期也可大为缩短。在这种情况下,当第一线隧道需采用平行导坑施工时,可考虑开挖第二线隧道的导坑作为平行导坑使用,这样不仅可以节约投资,而且对Ⅱ线隧道的施工也极为有利。

2. 一座双线隧道的主要优点

(1) 一座双线隧道的断面较两座单线隧道的断面之和小,故其开挖及圻工数量—般均较小。
 (2) 双线隧道的净空大,有利于大型机械施工、通风和养护。

总的来说,选择两座单线隧道方案还是一座双线隧道方案,应根据铁路运量极其发展要求,并结合地形、地质及施工条件综合分析比较选项。—般情况下,当—次或近期需建成双线时,常以采用—座双线隧道为宜;在较远期间才有Ⅱ线修建规划时,则以采用两座单线隧道为宜。在运营铁路线上增建Ⅱ线时,为改善线路的技术条件或缩短原有线路的长度,往往将原有线路的某—段废弃,另外修建—段双线铁路。在这种对原有线路截弯取直的情况下,也往往将原有铁路线上的单线隧道—并废弃而另建—座双线隧道。此外,当遇松软地层、不良地质或在黄土地区修建双线铁路时,则以采用两座单线隧道较为有利。

两相邻隧道的最小净距,应按围岩地质条件、隧道断面尺寸及施工方法等因素来决定。—般应使其位于隧道围岩的松弛范围以外,以免它们互相影响。—般可以采用表 1-1 的数值。

表 1-1 两相邻单线隧道的最小净距 (单位: m)

围岩级别	I	Ⅱ~Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ
净距	(1.5~2.0)B	(2.0~2.5)B	(2.5~3.0)B	(3.0~3.5)B	>5.0B

注: B为隧道开挖断面的宽度(m)。

第三节 隧道断面设计

隧道内的线路是整条线路中的一个区段,设计时,首先要满足露天线路的各种技术指标。而隧道内的环境比露天要差,无论是列车运行,还是维修养护,都处于不利的条件下。所以,