

XIANDAI SUIDAO GONGCHENG LILUN
YU SUIDAO SHIGONG

现代隧道工程理论 与隧道施工

陈小雄 主编

麦倜曾 主审



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

U455

6

2006

现代隧道工程理论与 隧道施工

陈小雄 主编
麦侗曾 主审

西南交通大学出版社

·成都·

内 容 提 要

本书主要介绍现代隧道工程理论——“围岩承载理论”的基本概念、力学原理和理论要点；现代隧道支护结构——“复合衬砌”的设计原理、设计程序及其组合形式和选择原则；现代隧道施工方法——“新奥法”的基本原则、技术措施及其选择原则和技术要点，以及施工组织与管理。次要介绍隧道施工的风水电等辅助作业，膨胀岩、溶洞、瓦斯、流砂等特殊地质地段的施工原则，盾构法等特殊施工方法。

本书主要适用于高职高专层次的交通土建、土木工程、铁道工程、公路工程、隧道工程、地下工程等专业的隧道工程课程教学，也可作为大学本科隧道及地下工程专业课程的配套教材，并且适用于与隧道工程有关的各种职业资格专业培训和继续教育岗位培训。任课教师可针对不同层次的教学需求对教材内容作适当取舍。

图书在版编目 (C I P) 数据

现代隧道工程理论与隧道施工 / 陈小雄主编. — 成都:
西南交通大学出版社, 2006.11
ISBN 7-81104-214-2

I. 现... II. 陈... III. ①隧道工程—高等学校—
教材②隧道工程—工程施工—高等学校—教材
IV. U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 004443 号

Xiandai Suidao Gongcheng Lilun Yu Suidao Shigong

现代隧道工程理论与隧道施工

陈小雄 主编

*
责任编辑 张 波

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×230 mm 印张: 26.25 插页: 2

字数: 575 千字 印数: 1—3 000 册

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-214-2

定价: 39.80 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

本书是为了适应我国高等教育改革发展趋势,满足高职高专教学、职业资格培训的需求,根据高职高专隧道工程课程教学大纲编著的。本书组织了5所高校的多年从事隧道课程教学的教师和多年从事隧道施工的高级工程师,历时一年半,共同完成。由陈小雄副教授任主编,麦倜曾教授任主审。

总结和整理前人的工作经验,研究隧道及地下工程学科的基础理论,引领更多的人进入开拓地下空间的工程领域,是隧道及地下工程专业课教师的光荣使命和神圣职责。我们深信:一本好书(教材)不仅应该准确表述学科的基本概念、基本理论、基本原则、发展趋势;而且应该简明介绍实用方法及其适用范围,更应该适当留白,以启迪学生的学习兴趣和对问题的探索研究……

本书力图遵循以上准则,主要对章节编排、内容取舍、问题解释、资料数据等方面,做了大幅度的修改,并对现代隧道工程理论体系进行整合。全书以现代隧道工程“围岩承载理论”和“设计施工程序”为“脉”,以隧道施工的“基本方法”和“基本技术”为“络”,来编排章节和决定内容取舍。

全书共分为十六章,其中第一、三、四、五、七、八、九章由西安铁路工程职工大学陈小雄编写,第二、六章由陕西铁路工程职业技术学院刘杰编写,第十章由西安铁路工程职工大学黎明编写,第十二章由湖北交通职业技术学院陈方晔编写,第十一、十五章由西安铁路职业技术学院刘峻峰编写,第十三、十四章由西安铁路职业技术学院戚昌宪编写,第十六章由长安大学陈建勋编写。2003级工程班弓祎明同学帮助绘制了部分插图。

衷心感谢各位参编人员耐心细致和辛勤的编写工作。衷心感谢各位参编人员的家人对这项工作的理解和支持……

由于篇幅较大,涉及内容较多,加之学识和经验所限,书中可能存在错误、疏漏或不妥之处,衷心希望读者对本书提出宝贵意见。

陈小雄

2006年11月

目 录

第一章 绪 论	1
第二章 隧道构造	18
第一节 隧道支护结构的构造	18
第二节 隧道洞门结构的构造	28
第三节 明洞的构造	32
第四节 隧道附属设施的构造	35
第五节 隧道通风设施的构造	40
第三章 岩体的工程性质与围岩的稳定性分级	44
第一节 概 述	44
第二节 岩体的工程性质	45
第三节 岩体的原始应力状态	51
第四节 围岩的应力历程及稳定性分析	53
第五节 围岩的稳定性分级	59
第四章 隧道结构设计简介	67
第一节 隧道横断面设计	67
第二节 隧道支护结构设计	76
第五章 隧道施工方法简介	95
第一节 隧道施工方法的分类、适用条件及选择原则	95
第二节 传统矿山法	97
第三节 新 奥 法	99
第四节 明 挖 法	103
第五节 盖 挖 法	104
第六节 盾构法 (Shield)	105
第七节 掘进机法 (TBM)	108
第八节 沉埋法 (ITT)	109
第六章 坑道开挖与出渣运输	112
第一节 开挖方法	112

第二节	掘进方式	121
第三节	钻眼机具和爆破材料	126
第四节	爆破方法	137
第五节	出渣运输	156
第七章	锚喷支护、超前支护及注浆加固	165
第一节	初期支护的施工原则	165
第二节	锚 杆	168
第三节	喷射混凝土	175
第四节	钢拱架	185
第五节	超前支护	191
第六节	注浆加固	195
第八章	超前地质预报及量测与监控	204
第一节	超前地质预报	205
第二节	量测目的、仪器和内容	208
第三节	量测方法	210
第四节	量测计划	219
第五节	量测数据分析与反馈	224
第九章	模筑混凝土衬砌与隧道防排水	228
第一节	模筑混凝土衬砌	228
第二节	隧道防排水	235
第十章	辅助作业与通风防尘	240
第一节	压缩空气供应	240
第二节	施工供水与排水	243
第三节	供电及照明	248
第四节	通风与防尘	254
第十一章	浅埋隧道施工	265
第一节	概 述	265
第二节	明挖法施工	266
第三节	地下连续墙施工	269
第四节	盖挖法施工	279
第五节	浅埋暗挖法施工	282
第六节	洞口段及明洞施工	286

第十二章 特殊地质地段的施工	291
第一节 概 述	291
第二节 瓦斯地层	292
第三节 溶 洞	295
第四节 流砂突泥	299
第五节 松散地层	300
第六节 膨 胀 岩	301
第七节 黄 土	304
第八节 坍 方	306
第九节 岩 爆	309
第十节 高 地 温	310
第十三章 盾构法施工	313
第十四章 掘进机法施工	337
第十五章 沉埋法施工	344
第一节 沉埋法施工程序	344
第二节 干坞修筑	345
第三节 管段预制	346
第四节 基槽开挖与航道疏浚	348
第五节 管段浮运	349
第六节 管段沉放	351
第七节 管段水下连接	358
第八节 基础处理	360
第十六章 施工组织与管理	366
第一节 施工准备	366
第二节 施工组织设计	368
第三节 施工方案选择	373
第四节 施工场地布置	380
第五节 施工进度计划	383
第六节 隧道施工管理	391
参考文献	411

第一章 绪 论

一、隧道的定义及其结构组成

1. 有关隧道的定义

(1) 隧道——建筑在地下的通道建筑物。工程中还常将未加支护的毛洞称为坑道。

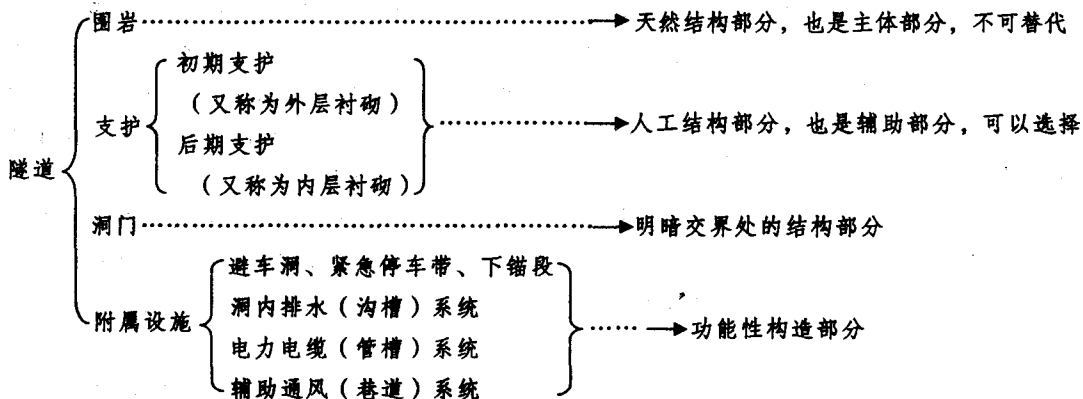
(2) 围岩——指坑道周围一定范围内，对坑道稳定有影响的那部分岩体。或表述为：坑道周围一定范围内，受隧道工程施工和使用中车辆荷载影响的那部分岩体。

(3) 支护——为维护围岩稳定而施作的人工结构。

2. 隧道结构组成

隧道结构组成是指隧道作为单位工程其结构是由哪些部分组成的，以及每一部分在总体中各起什么作用。按照现代隧道工程理论，隧道结构是由围岩、支护、洞门、附属设施4部分组成。围岩是天然（且不可替代）的结构部分，也是隧道结构的主体。支护是帮助围岩获得稳定的人工结构部分，支护结构又分为初期支护和后期支护。洞门是明暗交界处的结构部分。附属设施是功能性构造部分，附属设施包括（铁路隧道）大小避车洞或（公路隧道）紧急停车带、洞内排水（沟槽）系统、电力电缆（管槽）系统、辅助通风（巷道）系统。隧道结构组成可用表 1.1 来表示。

表 1.1 隧道结构组成



二、隧道的种类、规模和工程特点

1. 隧道的种类

隧道的种类很多，从不同的角度来区分，有不同的分类方法。按隧道所处地质条件来分，可以分为土质隧道和石质隧道；按埋置深度来分，可以分为浅埋隧道和深埋隧道；按隧道所在位置来分，可以分为山岭隧道、水底隧道、水下隧道和地铁隧道等。习惯上常按隧道的作用将其划分为交通隧道、输水隧道、市政隧道、矿山隧道4类。以下介绍各类隧道时，举出了一些具有代表性的实例。

(1) 交通隧道。绝大多数隧道都是为交通而建的，交通线上的隧道是提供交通运输的地下通道。交通线上的隧道又分为：铁路隧道、公路隧道、航运隧道3种。

交通线上的隧道绝大多数是山岭隧道，多数水底隧道和水下隧道也是为铁路或公路交通而建，地铁隧道则是指建筑在城市地下铁路线上的隧道。

① 山岭隧道。是指建筑在铁路、公路交通线上山岭区段的隧道。绝大多数铁路、公路隧道是位于山岭地区的。铁路隧道如已竣工的京广铁路大瑶山隧道（双线，长14.295 km），正在修建的兰新铁路乌鞘岭隧道（2座单线隧道，各长20.050 km）等。公路隧道如正在修建的西康公路秦岭终南山特长隧道（东线、西线隧道，各长18.020 km）。

② 水下隧道。是指建筑在河床或海床以下地层中的交通隧道。当交通线需要横跨河道或海峡，但水道通航需要较高的净空，而桥梁又受两端引线高程的限制，无法抬起必要的高度而不适合采用桥梁通过时，或者受天气条件限制不宜采用轮渡或桥梁通过时，可采用水下隧道通过。它不但可以避免限制水道通航和天气条件对交通的影响，而且在战时有较好的隐蔽性，是国防上的较好选择。

水下隧道多采用盾构法施工或掘进机法施工。盾构法（Shield）主要适用于软岩地层施工，掘进机（TBM）法主要适用于硬岩地层施工。

如布鲁诺于1843年首次在伦敦泰晤士河下采用高6.8 m×宽11.4 m的矩形盾构建成了全长458 m的世界上第一条水下隧道。1890年，在美国和加拿大之间的圣克莱河下采用直径6.4 m的圆形盾构建成一条长1800余 m的水下铁路隧道。我国上海于1969年采用直径10.2 m的圆形盾构建成长2793 m的上海第一条黄浦江打浦路越江公路隧道；1984年上海采用直径11.32 m的圆形盾构建成了黄浦江延安东路越江公路隧道。

又如，日本于1984年在津轻海峡建成54 km长的海底铁路隧道。英法两国采用隧道掘进机，在英吉利海峡建成海底铁路隧道（2座铁路隧道，1座服务隧道，各长约50 km）。

③ 水底隧道。是指用沉埋法建筑在河床或海床上的交通隧道或输水隧道，也称为沉管隧道或沉埋隧道。

自从美国波士顿于1894年建成一条城市水底污水隧道以来，宣告了一种新的隧道建筑形式——沉埋法成功诞生；底特律于1904年又建成水底铁路隧道。1959年加拿大迪斯（Deas）

隧道工程中，成功地采用水力压接法进行管段水下连接，使得沉埋施工技术变得更加成熟，并很快就被世界各国推广采用。

我国台湾省于 1984 年首先建成了高雄海底沉管隧道，1993 年在广州珠江建成我国第一条沉管隧道（地铁、公路、市政管道共用，长 1.23 km），1995 年又在宁波甬江建成我国第二条沉管隧道。我国香港特别行政区穿越维多利亚海湾连接九龙半岛与香港岛的通道中，已建成 5 座沉管隧道，而没有修建一座桥梁。这样既解决了交通问题，又不影响海湾船舶通航，同时，也很好保持了海湾的自然景观的美感。

④ 地铁隧道。是建筑在城市地下铁路线上的隧道。地下铁道是缓解大城市交通拥挤、车辆堵塞问题的一种城市交通方式，它能够快速、高效、大量运送乘客。地下铁道主要建在地下，因此地铁隧道在地铁线路中所占的比重就很大。如我国北京已经建成 1 号线和 2 号环线 2 条地下铁道线路，全长 38.2 km，主体全部在地下。又如英国伦敦地铁全长 408 km，地下 167 km；美国纽约地铁全长 443 km，地下 280 km。

⑤ 航运隧道：是建筑在水运交通线上的隧道。在河道受山岭阻碍迂回曲折，流程较长而落差不大的条件下，可以用隧道穿越山岭，截弯取直河道，缩短船只通航航程。显然这种隧道既过水又过船。

(2) 输水隧道。输水隧道是指用于输送水流的隧道，主要用在水利工程中。输水隧道分为引水隧道、尾水隧道、泄洪隧道、排沙隧道。

① 引水隧道分为两种：一种是把江河之水引入用于农业灌溉、城市生活、工业生产或水库蓄能的输水隧道；另一种是把蓄水引入水力发电机组，驱动水力发电机发电的输水隧道，也称为进水隧道。

如正在修建的陕西省南水北调引乾（佑河）济石（砭峪水库）工程中的秦岭终南山输水隧道，全长 18 km 多，是目前我国最长的输水隧道。

② 尾水隧道是把从水力发电机排出的尾水输送出去的输水隧道。

③ 泄洪隧道是用于在洪水期间疏导排泄洪水的隧道。

④ 排沙隧道是利用水流的冲刷携带作用排泄水库中淤积的泥沙或排空水库里的水，以保持水利设施正常工作和便于进行水坝检修的输水隧道。

输水隧道按照水在隧道中的充满状态又分为有压隧道和无压隧道：有压隧道因隧道内部充满水而使隧道衬砌既承受围岩压力又承受向外的水压力；无压隧道因隧道内部不充满水，因此隧道衬砌过水部分既承受围岩压力又承受向外的水压力，不过水部分只承受围岩压力。

(3) 市政隧道。市政隧道是城市中为供给城市用水、排放城市污水、安置各种市政设施、战时蔽护人员和重要财产等的地下孔道，市政隧道分为给排水隧道、城市管沟、人行地道及人防隧道。

① 给排水隧道。给水隧道是用于城市供水的隧道；排水隧道是用于引流排放城市污水的隧道。

② 城市管沟。城市中，供给燃气、暖气的管道，以及电力、通信电缆等，都是放置在地下的管沟中的。这些地下管沟多设置在街道两侧人行道地面以下。城市管沟既可以保护各种管线不被破坏和稳定输送，又简化了城市街道地面公共设施，美化了市容。根据管线功能和安全的需要，可将不同管线安设在不同的管沟中，也可将以上几种管线安设于一个大的“共同沟”中。

③ 人行地道。是建筑在城市地下专供人员通行的隧道，也称为过街地道。它主要是在城市交通繁忙地区，为改变车辆人车混行状况，保证行人安全、提高车辆通过能力而修建的立体交叉地下人行通道。

④ 人防隧道。是为战争时期用于掩护人员、重要设备和财产免受袭击破坏的需要，建造于城市（或乡村）的隧道。人防隧道工程除设有给排水、通风、照明和通信设备以外，在洞口处还设置有防爆装置，以阻止冲击波的侵入；并且常做成多口连通，互相贯穿，在紧急时刻，可以随时找到出入口的复杂结构形式。

(4) 矿山隧道。矿山隧道又称为矿山坑道或巷道，是用于穿越地层通向矿床，以便开采矿体的隧道。矿山隧道又分为运输巷道、通风巷道。

① 运输巷道。是从地面向地下开凿的通向矿床的运输通道，通过运输巷道到达矿体后再开辟采掘工作面。运输巷道一般应设置永久支撑，而采掘面只需按采掘工作的需要提供临时支撑。

运输巷道不仅是主要的运输通道，通常情况下也将给排水管道安装在运输巷道中，以便送入清洁水供采掘机械使用，并将废水和地下水排出洞外。同时运输巷道还可以与通风巷道或与通风机加管道构成空气对流的回路。

② 通风巷道。通风巷道是为了补充新鲜空气，排除机械废气、工作人员呼出的气体，以及地层中释放的各种易燃、易爆、有毒、有害气体，防止燃烧、爆炸、窒息，保证坑道工作环境条件和人员设备安全而设置的巷道，通风巷道应与运输巷道或与通风机加管道构成空气对流的回路。

2. 隧道的规模

隧道工程的规模大小，一般可从长度和断面两个方面来加以区分。

(1) 我国铁路（公路）隧道的长度等级划分为：

- ① 短隧道（ < 500 m）；
- ② 中长隧道（铁路 $500 \sim 3\,000$ m；公路 $500 \sim 1\,000$ m）；
- ③ 长隧道（铁路 $3\,000 \sim 10\,000$ m；公路 $1\,000 \sim 3\,000$ m）；
- ④ 特长隧道（铁路 $\geq 10\,000$ m；公路 $\geq 3\,000$ m）。

(2) 我国铁路隧道的开挖断面等级划分为：

- ① 断面积在 10 m^2 及以下为小断面；
- ② 断面积在 10 m^2 以上至 50 m^2 为中等断面；

③ 断面积在 50 m^2 以上至 100 m^2 为大断面；

④ 断面积在 100 m^2 以上为特大断面。

3. 隧道工程的特点

隧道工程的特点可归纳如下：

(1) 隧道工程主体结构埋设于地面以下，因此，隧道周围区域的工程地质和水文地质条件对隧道施工是否能够顺利进行，起着重要的、甚至是决定性的作用。

例如，瑞士圣哥达铁路阿尔卑斯山隧道遇到高温 (41°C) 和涌水 (660 L/min)，给施工带来很大的困难，最后延期 2 年才完成。我国在渝怀铁路圆梁山隧道工程中，虽然进行过长时间大量的地质勘察和预报，但仍然突发岩溶性爆喷射型突泥 ($4\ 200 \text{ m}^3$)、突水 ($14.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ，持续 8 min)。同样兰新铁路乌鞘岭隧道也遇到了强流变地层（累计变形量达到 $50\sim 70 \text{ cm}$ ），实际采用的初期支护参数比原设计参数要大得多。

因此，隧道工程必须在勘测阶段做好详细的地质调查和勘探，尽可能准确地掌握隧道工程范围内的岩层性质、岩体强度、完整程度、地应力场、自稳能力、地下水状态、有害气体和地温状况等资料，并根据这些资料，初步选定合适的施工方法，确定相应的施工措施和配套的施工机具。此外，由于地质条件的复杂性和勘探手段的局限性，在施工中出现意外的地质情况是不可避免的，因此，在长大隧道的施工中，还可采取超前试验导坑（如日本青函隧道）、超前水平钻孔、超前声波探测等技术措施，进一步查清掘进前方的地质条件，预先掌握工程地质及水文地质的变化情况，以便及时修改施工方法和采取必要的技术措施。

(2) 隧道是一个狭长的建筑物，它不像桥梁、线路等工程可以将作业全面铺开，而是只有进口与出口 2 个工作面（一般情况如此，即使开设辅助坑道增设工作面，也十分有限），因此，隧道工程的施工速度比较慢，工期也比较长，往往使一些长大隧道成为新建线路上起控制性作用的关键工程。

如何在有限的施工空间中最大限度地发挥施工管理的作用，是影响施工进度关键性问题。因此，在隧道尽可能多地将施工工序沿隧道纵向展开，进行平行作业，并解决好顺序作业与平行作业之间的关系，是节省时间、加快速度、缩短工期的有效途径。而对于长大隧道工程，则可以考虑设置适当数量的平行导坑、横洞、斜井或竖井等辅助导坑来增加工作面，以加快施工速度，缩短总工期。

(3) 地下工程的施工环境较差，在施工过程中还可能进一步恶化，例如爆破产生有害气体、喷射混凝土产生粉尘等。必须采取有效措施加以改善，如人工通风、照明、防尘、排水等，使施工场地符合卫生条件，以保证施工人员的身体健康，提高劳动生产率。

(4) 隧道大多穿越崇山峻岭，工地一般都位于偏僻的深山峡谷之中，往往远离已有交通线，运输不便，物资供应困难，这些也是规划隧道工程时应当考虑的问题之一。

(5) 隧道是一种埋设于地下的大型隐蔽工程，它建成困难，建好困难，一旦建成要更改就更困难。所以，在规划和设计中，应认真研究隧道与线路之间的关系、详细调查隧道区域

地质等问题；在施工过程中，要每一道工序都严格按有关规定进行，确保隧道工程质量达到标准要求，当工期与质量发生冲突时，应优先保证工程质量。

(6) 与桥梁和线路工程相比，隧道施工可以不受或少受昼夜更替、季节变换、气候变化等自然条件的影响，可以常年全天候稳定地安排施工。

三、隧道工程简史及现状

1. 世界隧道工程建设简史

从各国不同时期建成的具有代表性的隧道工程，可以窥见世界隧道工程历史的脉络。世界隧道工程建设历史上，最著名的隧道工程有：日本于 1984 年建成的穿越津轻海峡的青森—函馆的海底铁路隧道（长 53.85 km，铁路双线+平行导坑）；英、法两国于 1991 年联合建成的穿越英吉利海峡加来—多佛的海底铁路隧道（长 49.600 km，2 座铁路单线隧道，1 座服务隧道）；瑞士、意大利于 1906 年和 1921 年建成的米兰—伯尔尼穿越阿尔卑斯山的辛普伦 I 号、II 号山岭隧道（两座铁路单线隧道，长 19.800 km 和 19.820 km）。这些长大隧道工程，其结构和地质条件之复杂，应用新技术之多，规模之大，投入的人力、物力、财力之巨，耗时长，无不代表着 20 世纪世界隧道施工的领先水平。

2. 中国隧道工程建设简史

同样地，中国隧道工程建设历史悠久，但在 1949 年以前，隧道设计水平和施工技术比较落后，建成的隧道规模也较小。我国最早建成的铁路隧道是 1907 年由詹天佑主持建成的京张铁路八达岭隧道。中华人民共和国建立后，随着各项事业的发展，建成了大量的隧道，设计水平和施工技术也有了很大提高。尤其是 20 世纪后半叶，随着改革开放政策的实施和经济的发展，在各种复杂地质条件下建成了一大批长大铁路隧道、公路隧道、输水隧道、城市地铁。这标志着我国隧道工程建设无论是设计水平还是施工技术，无论是施工质量还是施工速度，无论是工程成本还是管理能力等各方面都有了长足的进步和发展。某些方面也已达到世界先进水平。为长大隧道工程建设积累了大量宝贵的经验，也为今后更大规模地开发利用地下空间奠定了坚实的基础。

3. 我国隧道工程建设规模

铁路隧道部分 我国拥有的铁路隧道总长已超过 4 000 km，居世界第一位。1987 年竣工的京广铁路大瑶山隧道（双线，长 14.295 km），1995 年开始修建到 2003 年竣工的西康铁路秦岭隧道（I 线长 18.452 km，II 线长 18.456 km），2003 年竣工的青藏铁路羊八井隧道（高海拔、严寒、永久冻土），即将建成的兰新铁路乌鞘岭隧道（单线长 20.050 km）等长大隧道，在修建技术上取得新的重大突破。已动工修建的石家庄—太原高速铁路客运专线太行山隧道设计断面为 100 m² 余，长 27 km 余，以及武汉—合肥客运专线大别山隧道设计断面为 93.67 m²，长度 13.254 km；武汉—广州高速铁路客运专线大瑶山隧道设计断面为约 100 m²，

长度 10 km 多；郑州—西安客运专线张茅隧道设计断面为 100 m^2 ，长度 8.460 km。

计划修建的京沪客运专线在跨越或穿越长江时，也将长 16.674 km 的大断面沉管隧道作为过江的比选方案。这些隧道工程建设，必将使我国隧道工程建设水平提高并接近世界先进水平。

公路隧道 随着我国公路建设的发展，特别是高等级公路在我国的兴起，我国公路隧道在数量与规模上有很大发展，特别是在复杂地质条件下的修建技术，也有了很大提高。正在修建的西康公路秦岭终南山特长隧道（东线已贯通，东、西线隧道各长 18.020 km，均为双车道隧道），代表着我国公路隧道修建技术的最新水平。

2005 年 9 月已开工修建的中国内地第一条大断面海底隧道——厦门翔安公路海底隧道，总长 5.900 km，其中跨海 3.200 km，断面面积 180 m^2 ，净空高度 8.350 m。

地铁隧道 我国城市地铁建设起步较晚。1965 年 7 月 1 日北京市地铁一期线路动工兴建，到 1998 年北京、香港、天津、广州、上海已建成了总长 132.100 km 的地下铁道。截止 2003 年，除前述城市继续增建 2 号、3 号线以外，又有深圳、南京正在新建地铁 1 号线，总长约 130 km。其中区间隧道和地下车站长度超过线路总长度的 60% 以上。还有青岛、长春、沈阳、重庆、大连、武汉、成都、西安等 11 个城市计划并申请修建的地铁和轻轨，总长超过 1 000 km，其中区间隧道及地下车站的数量之多，规模之大，也是前所未有的。

输水隧道 我国北京引深入京、兰州引大入秦等引水工程和二滩电站、三门峡电站等水电站工程中都建有大量的输水隧道。尤其是正在建设中的陕西南水北调工程（引乾佑河之水入石砭峪水库）中的秦岭终南山输水隧道，虽然断面不到 20 m^2 ，但隧洞全长达 18 km 多，也是罕见的。

总之，伴随着 20 世纪后半叶世界科学、技术、经济、文化的发展和交通运输、水利水电、地下采矿等大规模的地下工程建设，特别是城市地下交通及地下空间的开发利用等，极大地促进了隧道工程技术的进步，使之达到了令人瞩目的水平（表 1.2）。

表 1.2 我国部分已建、在建铁路、公路长大隧道及水下隧道基本参数表

类别	隧道名称	所在线路或所在地	长度/m	竣工年	车道×洞数	运营通风方式
铁路 秦岭 隧道	乌鞘岭隧道	兰新铁路	20 050	计划 2005	1×2	射流纵向式
	羊八井隧道	青藏铁路		2003		高海拔严寒永久冻土
	秦岭隧道 I 线/II 线	西康铁路	18 456	2000/2003	1×2	射流纵向式
	长梁山隧道	朔黄铁路	12 782	2000	2×1	
	五指山隧道	京九铁路	11 000	1995	2×1	
	军都山隧道	大秦铁路	8 460	1988	2×1	
	大瑶山隧道	京广铁路	14 295	1987	2×1	

续表 1.2

类别	隧道名称	所在线路或所在地	长度/m	竣工年	车道×洞数	运营通风方式
公路山岭隧道	华蓥山隧道	四川	4 706	1999	2×2	射流纵向式
	二郎山隧道	四川	4 160	1999	2×1	平导半横向式
	大溪—湖雾岭隧道	浙江台州	4 116	1998/1999	2×2	竖井送排式
	尖山子隧道	重庆	4 020	2001	2×2	射流纵向式
	牛郎河隧道	山西晋城	3 922	1999	2×1	射流纵向式
	支台山隧道	江苏连云港	3 800	1992	2×2	射流纵向式
	猫狸岭隧道	浙江温州	3 600	1999	3×1	射流纵向式
	凉峪沟隧道	北京八达岭	3 400	1997	2×2	射流纵向式
	大风丫口隧道	云南元江	3 290	2001	2×2	射流纵向式
	飞鸾岭隧道	福建	3 155	1997/1999	2×2	射流及竖井单吸式
	靠椅山隧道	广东韶关	2 981	2000	3×2	射流纵向式
秦岭终南山隧道	陕西西安	18 020	已贯通	2×2		
盾构隧道	打浦路隧道	上海	2 261	1992/1997	2×2	全横向及射流
	延安东路隧道	上海	2 761	1985	2×1	半横向通风
沉埋隧道	珠江隧道	广东	1 238	1994	2×2	射流纵向式
	甬江隧道	浙江	1 019	1995	2×1	射流纵向式
输水隧道	秦岭终南山输水隧道	陕西西安(引乾济石砭)	18 000		单洞 20 m ²	钻爆法施工
	Ⅲ标段 7#输水隧道	山西万家寨(引黄如晋)	43 700	2001	直径 4.94 m	双护盾 TBM 施工
海底隧道	厦门翔安海底隧道	福建厦门	总长 5 900 跨海 3 200	2005.9 开工 计划 2008.8 竣工		中国内地第一条 大断面海底隧道

4. 隧道施工方法现状

与世界隧道工程的现状基本同步,目前我国山岭隧道工程已普遍采用了“新奥法”施工(如西康铁路秦岭隧道Ⅱ线和在建的兰新铁路乌鞘岭隧道等);在坚硬岩体隧道工程中也已开始采用“掘进机法”施工(如西康铁路秦岭隧道Ⅰ线等);城市地铁浅埋隧道工程中,其区间隧道已由“浅埋明挖法”施工转为“浅埋暗挖法”、“浅埋盖挖法”、“地下连续墙法”施工,并继而转向主要采用“盾构法”施工;地铁车站则有由“浅埋明挖法”施工转为采用“浅埋盖挖法”施工的趋势。值得关注的是我国已有广州珠江沉管隧道、宁波甬江沉管隧道等数座过江隧道采用了“沉埋法”施工。

5. 隧道施工技术现状

在隧道施工技术方面,由于控制爆破技术、盾构掘进技术、深基坑围护技术、管段浮运

技术、管段沉埋技术、水下地基加固技术、量测监控技术的应用，以及（系统锚杆、超前锚杆）锚杆加固技术、（素喷或加钢筋网、钢纤维）喷射混凝土加固技术、管棚超前支护技术、（超前小导管或长钢管）预注浆加固技术、电渗固结技术、冷冻固结技术等新支护技术及加固技术的应用，导致了新奥法、浅埋暗挖法、盖挖法、地下连续墙法、掘进机法、盾构法、沉埋法等先进施工方法的提出和完善。

这些技术和方法为在各种地质条件和建筑环境条件下修建不同功能和用途的隧道及地下工程提供了有效的技术保证，无论是穿越山岭地层还是穿越水底地层，无论是水中穿越江河还是穿越海湾，无论是穿越软土地层还是穿越坚硬地层或是冻土地层，无论是穿越地下管线和建筑基础密布的城市地层还是穿越瓦斯和溶洞地层，无论隧道埋置是深还是浅、断面是大还是小、长度是长还是短、形状是曲还是直，无论隧道是单孔还是连拱或多跨，无论是平身分岔还是上下叠置或多层。

6. 隧道施工机械和建筑材料现状

在隧道施工机械和建筑材料方面，由于盾构保护技术、机械破岩技术、土压平衡技术、泥水加压技术和快速衬砌技术的成功应用，使得隧道盾构掘进机能够完成从坚硬石质地层到含水软弱土质地层等多数地质条件下的隧道施工任务。盾构的适应性、可靠性、安全性、高速度、耐久性及机动性，使其在隧道工程施工中得到日益广泛的应用。

由于新型高强合金钢柱齿刃冲击钻头、液压凿岩机、全液压凿岩台车的应用，以及高性能炸药、非电导爆管等新型爆破器材的应用，从而提高了爆破质量和掘进速度。

由于轨道走行和轮台走行的大功率装渣、运渣机械的应用，从而提高了出渣运输速度。

由于注锚机、混凝土喷射机，以及早强剂、早强锚杆、早强喷射混凝土、钢筋网、型钢拱架或格栅钢架（花钢拱架）的应用，可以快速获得有效支护和保证施工安全。

由于水泥、水玻璃等岩体胶结材料，以及深孔钻机和注浆机的应用，可以从根本上改变围岩破碎、松散、软弱性状，增强围岩的稳定性，能进一步保证施工安全。

由于整体模板台车、混凝土输送泵、早强模筑混凝土的应用，使得混凝土衬砌结构施工进度大大提高。

由于大功率轴流式通风机和大直径胶布通风管的应用，以及高性能供电系统的应用，极大地改善了隧道内的工作环境。

由于抗渗混凝土、塑料防水板、无纺渗滤布、弹簧排水盲沟的应用，极大地提高了隧道及地下工程的防水条件。

7. 隧道工程理论现状

在隧道工程理论方面，传统的理论是“松弛荷载理论”，但在长期的隧道工程实践中，随着人们对地下工程理论和实际问题的不懈探索 and 理解的加深，也由于在对隧道围岩和支护结构（地质、岩体和结构）的力学研究中应用了弹塑性理论和有限元方法，以及在隧道施工过程中对围岩应力应变动态的量测和分析，导致了现代“围岩承载理论”的提出和隧道及地下

工程理论体系的建立,并表现出广阔的发展前景和应用空间。现代围岩承载理论是对传统松弛荷载理论的继承和发展。同样地,现代隧道工程施工方法、施工技术等也是对传统方法、技术的继承和发展。

8. 隧道施工管理现状

伴随着我国建设投资渠道、经营管理模式、招标投标制度、工程监理制度向着现代化、国际化发展的进程,在隧道工程施工管理方面,已全面实行了与上述模式和制度相适应的,以项目独立核算的施工企业管理模式。只是管理水平与发达国家相比还存在一些差距。

四、隧道工程的几个基本概念

1. 隧道工程设计

出于开拓并持续安全应用地下通道空间的目的,勘察地形、地质、地物等环境条件,确定隧道位置,并根据隧道围岩自稳能力的强弱,选择确定为保持隧道稳定所需提供帮助的多少——即需要的加固范围,以及选择确定支护的材料种类、结构形式、力学性能、参与时机、施作方法、监测方法、质量标准等支护技术参数,并评估支护的有效性和经济性的一系列工程规划活动。

隧道工程设计阶段可以分为建筑设计、结构设计、施工设计3个阶段。各阶段的设计内容为:

隧道建筑设计包括选择隧道方案,确定隧道位置,洞口位置、隧道平面、纵断面及横断面设计。

隧道结构设计主要是指隧道支护结构设计。

隧道施工设计包括施工方案选择、施工方法选择、施工技术选择、量测监控方法选择、施工程序设计,以及施工质量控制措施、施工安全控制措施、环境保护措施的制定等。

2. 隧道工程施工

隧道工程施工是指按照规定的使用目的、规定的设计要求、规定的技术标准,使用适当的人员、资金、机械、材料,运用适当的施工方法、施工技术和施工管理,在指定的地层中修建隧道及地下洞室建筑物的建筑活动。

3. 隧道施工方法

广义的讲,建筑工程施工方法是按照建筑物的结构组成将其建造过程分解为一系列工序(作业),然后将这些工序按照时间、空间、功能和技术关系进行适当的组合,使各项作业按照一定的程序完成,继而完成工程建筑的方法。

隧道施工方法是开挖和支护等工序的组合,或者定义为:为达到规定的使用目的、规定的设计要求、规定的技术标准,使用一定的人员、材料、机械、资金,运用一定的技术措施和管理措施,遵循一定的作业程序,修建隧道及地下洞室建筑物的方法。