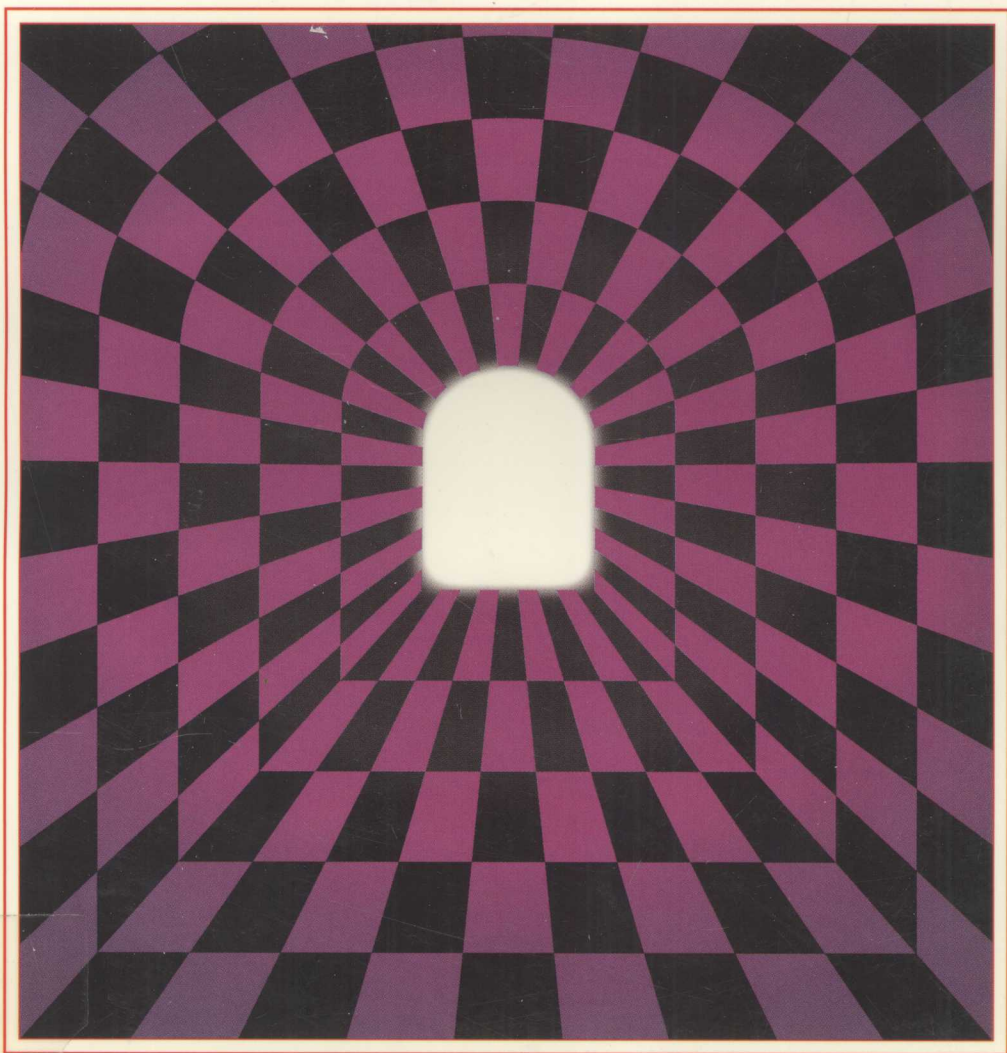


隧道工程

王毅才 主编



人民交通出版社

湛师图书馆

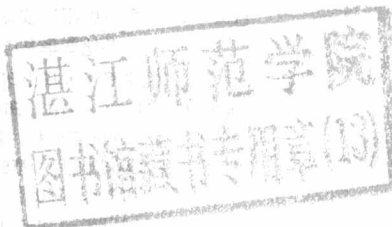


A1407514

Suidao Gongcheng

隧道工程

王毅才 主编



人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了隧道的勘测设计, 经济分析方法、通风与照明设计、衬砌结构计算, 山岭隧道施工方法、软土隧道的设计与施工方法以及隧道的运营与养护等内容。

本书可供从事隧道工程建设的各级技术人员学习参考, 并可作为高等院校相关专业师生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程/王毅才主编—北京: 人民交通出版社,
2000. 8

ISBN 7-114-01620-4

I. 隧… II. 王… III. 隧道工程 IV. U45

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第67927号

隧道工程

王毅才 主编

责任印制: 张 凯

人民交通出版社出版发行

(100011 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号)

各地新华书店经销

北京平谷大华山印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 29 字数: 742千

2000年8月 第1版

2006年5月 第8次印刷

印数: 25051—27050册 定价: 38.00元

ISBN7-114-01620-4

U · 01077

上 册

目 录

第一篇 总 论

绪论	1
第一章 道路隧道的勘测设计	4
第一节 道路隧道的工程调查	4
一、概述	4
二、文献资料的收集	4
三、地形地质的初步调查	5
四、地质详查	5
五、气象调查	7
六、环境调查	8
七、施工条件调查	8
八、其它调查	8
第二节 道路隧道定位及洞口位置选择	8
一、路线和隧道位置的选择	8
二、线形讨论	10
三、洞口位置选择	10
四、施工方法与场地设备	12
五、工期及工程概算	12
第三节 道路隧道的几何设计	12
一、概述	12
二、平面线形	13
三、纵断线形	13
四、与平行隧道或其它结构物的间距	14
五、引线	14
六、净空断面	14
七、断面设计要点	16
第四节 道路隧道勘测设计文件的内容和组成	19
第二章 道路隧道结构构造	21
第一节 衬砌材料与构造	21
一、衬砌材料	21
二、洞身衬砌类型	22
三、衬砌基本尺寸拟定	24
第二节 洞门	27
一、概述	27

二、洞门型式	28
第三节 明洞	30
一、拱式明洞	31
二、棚式明洞	31
第四节 内装、顶棚及路面	31
一、内装	31
二、顶棚	32
三、路面	33
四、噪声的消减	33
第五节 隧道的附属设施	35
一、紧急停车带与方向转换场	35
二、公用隧管	36
第六节 防排水设施	36
第三章 长大公路隧道的经济分析	37
一、概述	37
二、隧道经济分析的前提条件和范围	38
三、成本估算和资金筹措	38
四、经济效果	39
五、路线的交通经济分析方法	40
第四章 道路隧道的运营通风	42
第一节 概述	42
第二节 空气中有有害物质的容许浓度	43
一、CO 容许浓度	44
二、烟雾容许浓度	45
三、其它有害物	47
第三节 新风量计算	48
一、交通量和交通流组成	48
二、按稀释 CO 计算新风量	48
三、按稀释烟雾浓度计算新风量	50
第四节 通风方式的选择	51
一、综述	51
二、自然通风	52
三、关于空气气流的假定条件	54
四、纵向式通风	55
五、半横向式通风	57
六、全横向式通风	57
七、混合式通风	58
第五节 通风机的选择	58
一、通风机的类型	58
二、通风机的台数	58

三、通风机的选择	60
四、通风机的运转等级	60
五、通风用附属设施	61
第五章 道路隧道的运营照明	61
第一节 概述	61
第二节 道路照明质量	63
一、司机的视觉	64
二、影响视觉的主要因素	65
三、道路照明的质量	71
第三节 亮度曲线的组成	75
一、照明区段的划分	76
二、亮度曲线的组成	80
第四节 减光建筑与植被的减光作用	80
一、遮阳棚	81
二、遮光棚	81
三、植被的减光作用	81
第五节 照明设计	82
一、概述	82
二、光源	83
三、灯具	84
四、照明计算	86

第二篇 山岭道路隧道

第六章 围岩分类与围岩压力	90
第一节 影响坑道围岩稳定性的因素	90
一、地质因素	91
二、人为因素	93
第二节 隧道围岩分类	93
第三节 其它一些围岩分类方法简介	96
一、岩石坚固性系数分类法	96
二、泰沙基围岩分类法	98
第四节 围岩压力	99
第五节 隧道围岩压力的确定	100
一、深埋隧道围岩压力的确定	101
二、浅埋隧道围岩压力的确定	103
三、其它一些确定围岩压力的方法	106
四、围岩压力量测简介	110
第七章 隧道结构计算	111
第一节 概述	111
一、简况	111

二、隧道衬砌上的荷载与分类	112
第二节 半衬砌的计算	112
一、计算图式、基本结构及正则方程	112
二、单位变位及荷载变位的计算	113
三、拱脚位移计算	114
四、计算各截面内力并校核计算正确性	116
第三节 曲墙式衬砌计算	117
一、计算图式	117
二、主动荷载作用下的力法方程和衬砌内力	118
三、最大抗力值的计算	119
四、在 $\sigma_h = 1$ 抗力图作用下的内力	121
五、衬砌最终内力计算及校核计算结果的正确性	121
第四节 弹性地基上直梁的计算公式	121
一、基本计算公式的建立	121
二、梁上有分布荷载作用的情况	124
第五节 直墙式衬砌计算	125
一、计算原理	125
二、边墙的计算	126
第六节 衬砌截面强度检算	130
第七节 衬砌计算中存在的问题	132
第八章 隧道衬砌结构矩阵分析	133
第一节 导论	133
一、计算模型简述	133
二、计算简图和基本结构图式	134
三、非节点荷载的处理	136
四、直接刚度法的简述	137
第二节 单元刚度矩阵	138
一、衬砌单元刚度矩阵	138
二、链杆单元刚度矩阵	143
三、墙底弹性支座单元刚度矩阵	144
四、刚性单元	146
第三节 结构刚度方程	146
一、结构刚度方程的形成	146
二、结构刚度矩阵的特点	149
三、直接刚度法的求解	149
四、方程的解与改进	151
第四节 整体式隧道衬砌源程序分析	153
一、程序框图	153
二、过程说明与源程序解释	153
第九章 锚喷支护结构的设计与施工	156

第一节 锚喷支护的概况	156
第二节 锚喷支护的受力分析和结构计算	157
一、锚杆支护结构	157
二、喷混凝土支护结构	160
三、新奥法中锚喷联合支护的应用	161
第三节 锚喷支护的施工	170
一、锚杆的安设	170
二、喷射混凝土的施工	171
第四节 锚喷支护的主要物理力学性能和支护检测	176
一、锚喷支护的主要物理力学性能	176
二、锚喷支护检测	178
第十章 山岭道路隧道施工方法	180
第一节 概述	180
第二节 矿山法修筑道路隧道的基本施工方法	181
一、漏斗棚架法	181
二、反台阶法	183
三、正台阶法	183
四、全断面开挖法	183
五、上下导坑先拱后墙法	184
六、下导坑先拱后墙法	185
七、品字形导坑先拱后墙法	186
八、侧壁导坑法	186
九、复合衬砌施工方法(新奥法)	187
第三节 洞口及不良地质条件下隧道施工	188
一、洞口段施工	188
二、塌方的预防及处理	189
三、岩溶区隧道设计施工要点	191
四、遇流砂时的一般施工方法	191
五、瓦斯隧道施工	192
第十一章 矿山法施工基本作业	193
第一节 开挖	193
一、导坑开挖	193
二、扩大爆破	200
三、光面爆破和预裂爆破	200
四、钻眼机具及压缩空气设备	203
第二节 隧道支撑	203
第三节 装渣运输	205
一、装渣	205
二、调车	207
三、运输	208

四、卸车	208
第四节 模筑混凝土衬砌施工	208
一、清理场地, 架设模板	209
二、混凝土工艺	209
三、养护及拆模	210
第十二章 隧道施工辅助作业	211
第一节 施工通风	211
一、隧道施工作业区应符合的卫生标准	211
二、通风方式	211
三、风量与风压计算	211
四、防尘	216
第二节 压缩空气供应	216
第三节 施工给排水及供电照明	218
一、给水	219
二、排水	219
三、供电与照明	220
第四节 施工用辅助坑道	221
一、横洞	221
二、平行导坑	222
三、斜井	223
四、竖井	224
附录 I	226
附录 II	245

第一篇 总 论

绪 论

一、隧道的概念及作用

隧道通常指用作地下通道的工程建筑物。一般可分为两大类：一类是修建在岩层中的，称为岩石隧道；一类是修建在土层中的，称为软土隧道。岩石隧道修建在山体中的较多，故又称山岭隧道；软土隧道常常修建在水底和城市立交，故称为水底隧道和城市道路隧道。埋置较浅的隧道，一般采用明挖法施工，埋置较深的隧道则多采用暗挖法施工。用作地下通道的有道路隧道、水底隧道、城市道路隧道、地下铁道、铁路隧道和航运隧道等。本书所研究的是道路隧道、水底隧道和城市道路隧道。

隧道在山岭地区可用做克服地形或高程障碍，改善线形，提高车速，缩短里程，节约燃料，节省时间，减少对植被的破坏，保护生态环境；还可做克服落石、坍方、雪崩、雪堆等危害。在城市可减少用地，构成立体交叉，解决交叉路口的拥挤阻塞，疏导交通。在江河、海峡、港湾地区，可不影响水路通航。修建隧道既能保证路线平顺、行车安全、提高舒适性和节省运费，又能增加隐蔽性、提高防护能力和不受气候影响。

隧道是地下工程建筑物，为保持坑道岩体的稳定，保证行车安全，通常需要修筑主体建筑物和附属建筑物。前者包括洞身衬砌和洞门，后者包括通风、照明、防排水、安全设备等。

洞身衬砌的作用是承受围岩压力、结构自重及其它荷载，防止围岩风化、崩塌和洞内的防水、防潮等。洞门的主要作用是防止洞口坍方落石、保持仰坡和边坡的稳定。通风照明、防排水、安全设备等的作用是确保行车安全、舒适。

隧道衬砌在结构计算理论和施工方法两方面与地面结构相比有很多不同之处。最主要的是埋置在地层内的衬砌结构所承受的荷载比地面结构复杂。所以在设计衬砌时除计算复杂多变的围岩压力外，还要考虑衬砌与围岩的相互作用。

隧道施工与地面建筑物也不同，空间有限，工作面狭小、光线暗，劳动条件差，给施工增加了难度。

隧道在勘测设计时地质条件是重要依据之一。通常应在较大的范围内作详细的地质调查和水文地质调查，以便选择合理的隧道位置、断面形状和施工方法。

二、道路隧道教材的主要内容

本教材由四部分组成，即总论、山岭隧道、软土隧道、运营管理与养护。主要内容为：

1. 道路隧道的勘测设计原则、内容和要领。
2. 道路隧道的结构构造、运营通风与运营照明。
3. 道路隧道的经济分析。

4. 荷载计算。
5. 常用衬砌的设计与计算。
6. 主要施工方法。
7. 运营管理与养护。

本教材以常用道路隧道的勘测设计为主,着重论述设计原理和计算方法,同时注意对实际知识的叙述,达到能应用基本原理和计算方法,对常用隧道进行设计与计算的目的。为使设计臻于完善,符合工程实际,对施工的基本方法也做适当介绍。

三、隧道工程的发展简况

人类很早就知道利用自然洞穴作为住处。当社会发展能制造挖掘工具时,就出现了人工挖掘的隧道。

在我国最早有文字记载的地下人工建筑物,出现在东周初期(约公元前七百年)。《左传》中有“…掘地及泉,隧而相见…”的记载。最早用于交通的隧道为“石门”隧道,位于今陕西省汉中县褒谷口内,建于东汉明帝永平九年(公元66年)。用作通道的还有安徽亳县城内的古地下道,建于宋末元初(约十三世纪),是我国最早的城市地下道。

在其他古代文明地区有很多著名的古隧道,如公元前2180~2160年前后,在古巴比伦城幼发拉底河下修筑的人行隧道,是迄今已知的最早用于交通的隧道,为砖砌构造物。古代最大的隧道建筑物可能是拿不勒司与普佐利(今意大利境内)之间的婆西里勃隧道,完成于公元前36年,至今仍可使用。它是在凝灰岩中凿成的垂直边墙无衬砌隧道。

约于公元七世纪,我国隋末唐初时的孙思邈在《丹经》一书中记载了黑火药的制法。1225年以后传入伊斯兰国家,十三世纪后期传到欧洲,十七世纪初(1627年),奥地利的工业家首先开始用于开矿。1866年瑞典人诺贝尔发明黄色炸药达纳马特,为开凿坚硬岩石提供了条件。

近代隧道兴起于运河时代,从十七世纪起,欧洲陆续修建了许多运河隧道。其中法国的兰葵达克(Languedoc)运河隧道,建于1666~1681年,长157m,它可能是最早用火药开凿的公用隧道。1830年前后,铁路成为新的运输手段。随着铁路运输事业的发展,隧道也越来越多。1895~1906年已出现了长19.73km穿越阿尔卑斯山的最大铁路隧道。目前最长的铁路隧道已达53.85km。较为完善的水底道路隧道建于1927年,位于纽约哈德逊河底(Holland隧道)。现在世界上的长大道路隧道(2km以上)和长大水底隧道(0.5~2.0km)将近百条,最长的为位于瑞士中部卢塞恩湖南侧的圣哥达(St. Gotthard)汽车专用隧道,全长16.3km。

目前,世界上的科技发展正在开拓着两个新的领域,一个是宇宙空间,一个是地下空间。看来,隧道工程将会起着越来越重要的作用。

隧道工程的施工条件是极其恶劣的,体力劳动强度和施工难度都相当大。为减轻劳动强度,人们曾经做过不懈的努力。古代一直使用“火焚法”和铁锤钢钎等原始工具进行开挖,直到上个世纪才开始采用钻爆作业,至今大约有一百多年的历史。在此期间发明了凿岩机,经过将近一个世纪的努力,发展成为今天的高效率大型多头摇臂钻机,工人们已经从繁重的体力劳动中解放出来了。和钻爆开挖法完全不同的还有两种机械开挖法。一种是用于软土地层的盾构机,发明于1818年,经过一个半世纪的不断改进,已经从手工开挖式盾构,发展到半机械化乃至全机械化盾构,能广泛用于各种复杂的软土地层的掘进。另一种是用于中等坚

硬岩石地层的岩石隧道掘进机。首次试掘成功的隧道掘进机，诞生于1881~1883年，到现在刚好一个世纪。目前，已经发展成断面（直径10m以上）的带有激光导向和随机支护装置的先进的掘进机，机械化程度大大提高，加上辅助的通风除尘装置，使工作环境得到很大改善。目前应用高压水的射流破岩技术已经过关，它能以很快速度在花岗岩中打出炮眼，再在隧道周边用高压水切槽，然后爆破破岩。优点是减少超挖，可以开凿任意断面形状的隧道，保护围岩，降低支护成本，并能增加自由面以降低炸药消耗和炮眼数量。但消耗功率较大，设备成本较高，技术上还未达到十分成熟的程度。

隧道工程的专门著作，可能要推1556年德国人乔治·包尔（Georg Bauer）所著的《采矿冶炼手册》（*De Re Metallica*）为最早，虽然那时还没有开始用火药开矿。

地层压力的研究开始于十四世纪。此后随着采矿和隧道工程的发展，地层压力理论也在相应的发展着。这种研究基本上沿两个方向进行。一个是把地层视为松散构造的散粒体理论，另一个是把地层视为连续弹性体弹塑性理论。近百年来，从理论上和工程实践中对地层压力进行了极广泛的研究，获得了不少成果，但仍未得到系统、圆满、严密的理论，直到今天仍在不断的进行着新的探索。

七十多年以前，普氏（Протдьяконов）以均质松散体为基础，提出了地层压力的计算方法^{*}，但他把岩石假定为松散体，并把复杂的岩体之间的联系用一个似摩擦系数描写，这种做法显然过于粗糙，在工程实践中也常常出现失败的情况。不过，直到现在普氏理论还在应用着，因为这个方法比较简单。即使对不熟悉地质或不了解现场地质条件的人，也能运用普氏系数来进行设计。本书从历史发展的角度还是介绍了普氏理论，以资参考。

我国著名学者陈宗基教授，在1958年首次把岩石力学作为一门边缘学科来发展，过去基本上是把岩石当作材料进行研究的。他强调必须用力学的观点，以地质为基础来解决工程实际问题。在研究中，既要重视岩石的变形强度特性、结构关系的理论研究，又要解决工程实际提出的各种问题，并指出现场试验与室内试验是相辅相成和不可分割的，强调问题的关键在于要有正确的概念。他最先引用流变理论研究岩石的流变特性，指出即使在坚硬岩石中修建地下洞室，也要考虑流变对长期稳定的影响。还从板块运动、地应力的产生，分析了对高地应力地区工程建设的影响，用封闭地应力的概念解释了工程中各种特殊现象，如岩爆等。还从微观结构分析了膨胀岩的破坏机制，等等。所有这些都给地下工程的研究、设计和施工以巨大的推动和提供了新的理论依据。

新奥法是本世纪四十年代开始发展起来的，它是以喷混凝土和锚杆为主要支护手段的一种方法。这种方法把坑道的衬砌支护与围岩看作是相互作用的一个整体，既发挥围岩的自承能力，又使支护起到加固围岩的作用。在确保坑道稳定的基础上，使设计更加合理、经济。目前这种方法还处于经验设计阶段，需在实施过程中根据现场测量数据加以修正。新奥法与传统的矿山法相比，更能结合实际地质条件。随着理论上的日臻完善，将会在地下工程中得到更加广泛的应用。

四、我国道路隧道发展前景

目前我国铁路隧道的总长为1800多公里，其中绝大多数（1700多公里）是1949年新中国成立以后修建的。道路隧道的总长度只有50多公里，接近400座，远不能满足交通运输上的

* 见第六章：围岩分类与围岩压力

实际需要。我国是个多山国家,山地面积约占全国面积的 $1/3$,有的省份素有“天无三日晴,地无三尺平”的说法。可见发展交通事业时隧道将会起到多么重要的作用。从长远看修建隧道是经济的,特别是能节省大量的燃油,这在节省能源的今天,是非常可贵的。目前,道路隧道正日益增多,并修筑了一些长大道路隧道,虽然技术标准还比较低,但随着国家建设事业的发展,相信一定会出现更多的,标准更高的道路隧道。

道路隧道是一门综合性学科,需要具备相当多的基础知识,除一般土木工程知识外,还应具备一定的交通工程、通风、照明、机电、医学、经济管理等方面的知识。为了更好的掌握本学科的内容,希望读者在有关学科中获得必要的补充知识。

第一章 道路隧道的勘测设计

第一节 道路隧道的工程调查

一、概 述

进行道路隧道的规划、设计、施工和维护管理,应预先获得各种有关资料,因此需要进行调查。包括地形调查、地质调查、气象调查、环境调查、施工条件调查以及与工程有关的法令调查等。这些调查作得越广泛、深入细致、准确,所起的作用就越大。调查时应首先明确调查的目的、各阶段的任务和调查顺序。由于在规划、设计、施工等各阶段,调查目的、内容及精度不同,所以通常按收集已有文献资料,初步调查和详细调查的顺序进行。各阶段的调查工作完成之后,应把所获得的资料整理成册,作为依据,并归档妥善管理。

二、文献资料的收集

指对已有资料的收集,包括地形、地质、工程、气象、用地、灾害及环境等。用于规划路线和制定以后的调查计划。收集资料应以所设隧道为中轴,并取较大范围。

地形资料:通常指地形图和航空照片。一般情况下应从国家测绘系统收集到 $1/50,000 \sim 1/25,000$ 及 $1/5,000 \sim 1/1,000$ 两种比例尺的地形图,前者主要用于路线规划,后者主要用于隧道比较方案的选择。航空照片,一般控制比较严格,收集困难,主要用于重要的长大隧道。地形资料是进行路线选择、线形确定、用地以及自然环境、地形地质判读的基本资料。应当指出,随着国家建设事业的发展,地形地貌可能变化很大,一般均需在现场核查。

地质资料:指地质图和说明书。一般应从地质部门收集 $1/200,000 \sim 1/50,000$ 比例尺的地质图。长大隧道还应参考航空照片以及遥感资料。

工程资料:在隧道附近的工程往往可以提供不少资料,如道路边坡的岩石露头和其它土木工程所记录的工程地质与水文地质资料。这些资料可以由施工记录和工程报告总结等文件中得到。

气象资料:包括气温、气压、降水、风、雾、水温、地温等。可由气象台站和各种资料期刊、汇编、年鉴等处获得,不足时可以由观测取得资料。

用地及环境资料:用地包括工程用地和施工用地。环境资料包括自然环境(动植物的生态、地形、地质、水文等),文物古迹、自然保护区、居民环境等。

灾害资料:隧道所在地区历史上的暴雨、台风、地震、滑坡等发生的规模、频度,可通

过查阅资料、地方志和对居民访问等方法获得。

收集到的资料，应汇总、分析研究其对隧道规划设计、施工与维护管理的影响，以及对进一步调查所起的作用等。

三、地形地质的初步调查

在收集资料的基础上，进行初步调查。其目的是查明地形、地质条件对路线线形、隧道位置（洞口及长度）、引道、以及对施工道路、其它附属工程的影响。

地形地质初步调查应由有经验的地质工程师以现地踏勘的方式进行，主要查明崖锥、滑坡、崩塌、断层、破碎带、地下水以及其它地质特征，做好调查记录。参加调查的人员应包括设计、施工的主要具体负责人，如果有必要还应有气象、农业、生物及环境等方面专家参加。

调查的范围，根据隧道的规模、已有资料的精度、露头的多少等决定，一般可在路线中线两侧各约500~2000m左右范围内进行。调查时可以使用1/25,000~1/10,000的地形图。通过调查应掌握所在地区的地形地质的全貌。调查的有效路线是与地层和断层的走向、褶曲轴的方向成正交的路线，以及沿河川、洼地、山谷和新建道路的路线。

调查的实际情况应随时标记在地形图上和记入野外记录本上。调查完毕后进行归纳整理分析研究，写出调查报告书，并附上调查路线图、地质平面图和地质剖面图。

四、地质详查

（一）项目

根据实际需要，可以进一步用踏勘、弹性波探测、钻探等作地质详查。根据隧道的规模和地质情况，在完成地形地质等的初步调查之后，对于大部分隧道来说，可以决定出大致的路线走向，在此基础上进一步作地质详查，获得最终的隧道定位、设计与施工等所需资料。其调查项目有岩性、地质构造、地下水及地表水、地下资源等。

岩性调查包括岩石的种类和岩石特征，松散堆积物，岩石的物理、力学性质，风化以及变质情况等。地质构造包括地层、褶皱、断层与破碎带、节理及围岩结构完整状态。地下水与地表水的涌水及枯水状态，含水层与隔水层。地下资源包括矿物资源、天然气、温泉、地热等。对上述事项应逐个研究和说明，着重对隧道的设计与施工等的影响，不必作理论上的详细讨论。调查时一般按踏勘、弹性波探测、钻探试验、归纳调查成果的顺序进行。为了克服主观性增加客观性，可采取多组比较和综合的方法。详查可在中线两侧各200~500m、和洞口外延长线上100m范围内进行。调查区的地质情况和露头的多少、调查者本身的水平、费用的多少、调查时间的长短等，对调查精度有直接影响。通常使用1/5,000~1/1,000比例的地质图。另外对物理探测、钻探、探坑等所得数据，认真分析，提高精度也是非常必要的。

应该指出，花岗岩、玢岩和斑岩、蛇纹岩、温泉变质作用的安山岩和凝灰岩、泥岩和粉砂岩、片岩类、粘板岩和千枚岩、崖锥堆积物等，都应加以特别注意。例如花岗岩往往有深部风化，有的变成花岗岩风化砂土，沿断层易风化，花岗岩中的断层难以发现，风化带和变质带的宽度不同，波及范围大等。膨胀性岩石（如硬石膏盐岩及某些以蒙脱石为主的粘土岩类等）给工程往往带来巨大危害。

另外，从调查时起就应当对岩石的流变现象给以充分的注意，岩石的流变从坑道开挖时

刻起直到以后很久的漫长时间里都对工程有影响。

(二)方法

在物理探测方面最常用的有电阻法与弹性波法(亦称震波法)两种。这两种方法均可用来探测土与石的分界。在人烟稠密区用电阻法为宜,以免动用炸药。这两种方法是测定断层、软弱带、地质构造的好方法,但应与钻探配合、对照。电阻法及震波法是根据各种物质中电阻及波速(纵波)的不同,来判断物质的属性。电阻法在土质隧道中可在一定范围内探明砂砾层(含水层)。还可以在钻孔内对透水层的分布、以及地下各含水层情况给出明确结果。

钻探是最常用的地下探测法,种类很多。其中以合金钻性能最好,可探测地层内部很大深度处的情况,并可取得较佳岩芯,岩芯回收率也较高,即使小孔也能取得岩芯,钻孔壁光滑平整,能钻探坚硬岩石,钻机本身也轻便和易于转移,成本也比较低。此外还有简易钻探法,如螺旋钻、冲击钻等。

近年来出现的钻孔摄影仪能放入钻孔内,将所需观察地段的孔壁四周摄成连续照片。还出现了钻孔电视,能将孔内的全部情况反映在电视屏幕上。此外还有在深孔中测定方位的钻孔测向仪等。现代遥感技术在工程地质测绘中可以更客观更全面地看到在地球上观测时看不到或看不清楚的现象,同时,由于在同一时间、同一条件下观察到广大面积的资料,不受时间季节及观察条件的影响,有利于对大面积资料进行分析对比。遥感遥测仪器一般是装在飞行器(飞机、人造卫星、载人飞船或天空实验室)上进行观测的,其基本原理是通过观测近地表地物和地形所发射(或反射)的从紫外线到微波段某些波长范围内的电磁波谱获取必要的地质信息,通过解释来解决问题。利用航空照片可以判读地貌、地质构造、岩性组成以及鉴定不良物理地质现象的发育情况和寻找建筑材料等。卫星照片由色调特征信息和形态特征信息识别地质体。

涌水及枯水调查本来是同一问题的两个方面,但设计与施工中应分别考虑。涌水可以使岩质软化,使软岩山体松弛,并使其强度降低;促使围岩中软弱夹层泥化;减少层间阻力,易于造成岩体滑动;使某些岩类溶解和膨胀,使山体出现附加压力;厚含水层出现大量涌水时,将产生动水压力,出现流砂及渗透压力;含有害化合物的地下水(硫酸、二氧化碳等)对衬砌结构将产生侵蚀作用;另外只要充满地下水(即使只有一层薄的水膜),理论上也存在静水压力,作用于衬砌。涌水是造成坍方和使围岩丧失稳定的重要原因之一。枯水可能影响隧道上方和使四周的井和泉干涸。目前对隧道涌水和涸水的定量掌握是困难的,只有砂砾石层中的地下水涌水,利用矿床水文地质学中矿床坑道疏干公式计算其涌水量的把握较大,在查明区域地质条件后预测断裂带涌水量也有可能。岩溶地下水则难以预报,过去虽然有利用均衡法计算成功预报的先例,但很困难。

涌水可分为集中涌水和稳定涌水。集中涌水有时以突然发生大量涌水的形式出现,往往造成停工和人身伤亡事故。突然大量涌水发生在隧道通过溶洞发育的石灰岩地段时,尤其遇到地下暗河,涌水量可达几百~几千 t/h ;穿过厚含水砂砾石层时,涌水量可达几百 t/h ;遇有大的断层破碎带,尤其是与地表水有连通关系时,涌水量一般也可达到几十~几百 t/h 。隧道集中涌水主要是估计对工程安全有影响的涌水位置、涌水压力和涌水量等。预测时可根据地质踏勘、弹性波探测及钻探等分析地质构造,了解含水层的位置、规模和透水性等。稳定涌水受隧道长度、埋深、位置、含水层规模和透水性等影响,并与流域的枯水流量有密切关系,所以预测是可能的。调查时,根据地质踏勘、弹性波探测、钻探等,查明流域范围的

地形、地质构造、地下水状况，并测定迳流范围的涌泉、溪流、河川等的枯水流量。枯水调查的目的是事先了解因隧道的开挖可能引起附近的枯水问题，并制定相应措施。调查时应对应水源种类(井、泉、溪流、贮水池等)、用途与用量(饮用、农业、工业、渔业等)、降水量、地下水水位及流量等的季节变化，作出观测。具体调查项目有：向隧道内涌水状况(位置、涌水量、水压、随时间的变化等)，水质，水温，井和溪流等地表水的水位和流量。(一)

(三)地质详查应提供的资料

- 1.概况：调查目的、场所、范围、项目、方法、时间及参加人等。
- 2.地形地质概况：地形概况、区域地质概况、地质组成和地质构造等。
- 3.岩石种类：时代、岩相、风化及变质情况、物理力学性质及对工程的影响；地层分布，成层状态、褶曲、断层、破碎带、层理、片理、节理等及其对工程的影响。
- 4.调查中遗留的问题，对今后进一步调查的建议等。
- 5.地质平面图、地质断面图及纵断面图：地质平面图(比例尺1/5,000~1/1,000)，包括地质时代、岩相及地层划分，并能进行地质构造判读；地质断面图包括钻探、挖探、电探、弹性波探测等的结果；纵断面图包括沿隧道中线的纵断面上，隧道路面的标高、地质构造、岩性、涌水等(比例1/5,000~1/1,000，洞口附近1/500~1/100)。
- 6.选线、设计及施工时应注意的问题。
- 7.围岩分类情况等。

五、气象调查

在隧道选线、设计、洞外设施计划、工程管理及附属设备的设计等方面，气象资料非常重要。

隧道选线，特别是隧道洞口位置的选择，对车辆安全行驶影响极大，例如洞口附近的崩塌、洪水、阵风、风吹雪、雪崩、路面冻结、挂冰、雾、洞外亮度、海岸或山顶的阵风等，都直接影响路线的选定。在工程中，混凝土的防冻、混凝土骨料及用水的保温、施工道路的选择等。还有洞口附近的风向风速对隧道通风的影响，洞口附近的防风挡墙、预防风吹雪构造物、植树带的位置、通风塔位置对环境的影响，洞口排出废气的流动方向等。上述问题都受气象条件影响。一般应调查下列内容：

降雨：年降雨量、月平均降雨量、日最大降雨量、小时最大降雨量。

降雪：最大降雪日、最大积雪量、积雪期、最大日降雪量、雪密度、雪温。

气温、地温：年平均气温、绝对最高最低气温、日温差，冻结期、冻结深度、多年冻土深度，水温。

风向、风速：频率分布(年间、月间、日间)。

雾：发生日数(频度)滞留时间及其程度(能见度)。

雪崩、风吹雪：场所、规模、频度、时期、种类。

洪水：洪水量、水位、时期。

制定气象观测计划时，应根据目的和用途选择观测项目、场所、时间、精度和仪器。观测场所应具有代表性，按适当的时间间隔进行。观测精度由观测目的决定，但往往受到仪器的限制。