

隧道工程设计

要点集

关宝树 编著



人民交通出版社

China Communications Press

华北水利水电学院图书馆



207236070

U452.2

G540

隧道工程设计

• 要点集

关宝树 编著



人民交通出版社
(00001540 010 7号01 请读者注意) (10001)
隧道工程
陈南河主编
于2002年1月10日
2002年1月10日
2002年1月10日

人民交通出版社

723607

内 容 提 要

本书针对隧道工程设计中的重点问题、疑难问题、关键技术、应引起足够重视而我们经常忽略的问题,以要点的形式一一加以提取,并给出深入细致的解决办法。本书总体把握与细部分析相结合,介绍了许多国内外的先进经验,实用性强,对于提升工程师的设计技术水平,增强解决实际问题的能力非常有益。

本书适合隧道工程技术人员使用,同时也是一本极好的中、高级培训用书,适合企业培训之用和在校学生、工程硕士研究生选用。

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程设计要点集/关宝树编著. —北京:人民交通出版社, 2003.11

ISBN 7-114-04839-4

I. 隧… II. 关… III. 隧道工程-设计
IV. U452.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第088906号

Tunnel Engineering Design Points Collection

隧道工程设计要点集

关宝树 编著

正文设计:姚亚妮 责任校对:刘 芹 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本:787×980 1/16 印张:32.25 字数:535千

2003年12月 第1版

2003年12月 第1版 第1次印刷

印数:0001~5000册 定价:42.00元

ISBN 7-114-04839-4

前言

从“施工要点”到“设计要点”，写了近百万字的“要点”，其目的当然是希望大家提供一些有价值的东西，这也是笔者的努力所在。至于效果如何，还有待读者检评。但我想，这两本书中大部分应该是有实际应用价值的，至少可以作为参考或是用以知道一些别人的作法的。当然，有的虽然提出了问题，但缺少进一步地说明，望有识之士明示，以便再版时增补。总的说来，这两本书还是费了一些心血的，也花了一些时间。可以自慰的是，大家对《隧道工程施工要点集》一书的反映还不错，这也鼓励我继续写作本书。

就隧道施工和设计要点来说，这两本书是很不全面的。首先这两本书是以矿山法技术为主体展开的，对隧道工程的另外两大类方法——明挖法和盾构法基本上没有涉及；而在地下工程中得到一定应用的顶推法、基础托换法、地基处理方法以及降低地下水位方法等技术的设计施工问题均没有涉及。

其次，这两本书是以土建工程为主体展开的，对隧道中的设备、设施以及机械等都省略了，一方面是不熟悉，另一方面也限于篇幅。

第三，从书的名称可以看出，这两本书是以设计、施工为主体的。实际上，除了设计、施工，还有维修管理。近期技术发展的一个重要方面，就是各国都加强了工程结构物维修管理的研究，而且都予以规范化。因此，在设计、施工中，不考虑维修管理是不合适的。但这两本书只是在某些地方提了一下，没有展开。以后有机会可以再写一本隧道工程维修管理要点集，这是一个愿望。

最后，这两本书谈的是要点，很多资料取自国外的一些我认为有参考价值的素材，目的是让读者了解我们与国外的一些差距和不足。其中有许多我们也认识到了，但没有做到；有的还没有认识到，更谈不上去做。然而，从工程实践的角度看，我们的经验应该是最丰富的，最富于启发性的，很多问题国外也没有遇到过。因此，我们理所当然地应该成为隧道及地下工程技术发展的新的发源地。笔者希望能够更多地出现我们自己的技术来充实这两本书的内容。

这两本书是相互补充的，因为严格地说，隧道的设计施工是很难截然分

开的。但既然已经分开来写,就必然有所侧重。因此,在参考时,应该都看看,互相借鉴、补充,以免“顾此失彼”。

从要点来说,虽然写了很多,但难免“挂一漏万”,许多要点可能遗漏了,希望读者指出,以便有机会补充上去。

最后,衷心感谢读者和编辑们的鼓励。

联系方式:(610031)四川省成都市二环路北一段西南交通大学土木工程学院 028-87603955。

关宝树

2003年9月于成都

目 录

第一部分 概述	1
一、隧道工程设计的基本认识	1
二、隧道设计的现状和存在的问题	4
三、隧道设计的基本理念	6
第二部分 隧道设计基础知识	8
设计要点一 初始地应力场及其评价	8
设计要点二 毛洞的围岩力学状态	16
设计要点三 支护后围岩的应力状态	30
设计要点四 开挖后的围岩特征曲线	34
设计要点五 围岩的工程性质评价	36
设计要点六 围岩压力(荷载)的确定方法	42
设计要点七 围岩的物理力学参数	58
第三部分 隧道设计方法	69
概述	69
设计要点一 设计方法的选择和适用条件	71
设计要点二 类比设计	75
设计要点三 标准设计	86
设计要点四 荷载—结构模式解析方法中的几个问题	108
设计要点五 岩石力学解析方法中的几个问题	116
设计要点六 结构计算中的水压力问题	142
设计要点七 极限状态设计方法	159
设计要点八 特征曲线法	174
设计要点九 初期支护的力学评价	189
设计要点十 膨胀性围岩隧道设计方法	202
设计要点十一 结构耐久性设计方法	211
第四部分 隧道预设计	224
设计要点一 隧道净空断面的确定	226

设计要点二	支护结构的功能和作用机理	231
设计要点三	喷混凝土	239
设计要点四	锚杆	248
设计要点五	钢支撑和格栅	261
设计要点六	超前支护	267
设计要点七	二次衬砌	274
设计要点八	洞口设计	287
设计要点九	地表下沉问题	295
第五部分	修正设计	304
设计要点一	观察、经验的方法	306
设计要点二	量测反馈方法	312
设计要点三	量测基准值的设定	314
设计要点四	位移反馈经验方法	319
设计要点五	应力等反馈方法	325
设计要点六	解析与量测结合的方法	327
设计要点七	根据围岩变形系数和埋深选定支护模式的方法	340
第六部分	隧道专项设计	343
设计要点一	洞口景观设计	343
设计要点二	防冻害设计	357
设计要点三	单层衬砌	394
设计要点四	喷钢纤维混凝土衬砌	407
设计要点五	装配式衬砌	432
设计要点六	抗震与减震	448
设计要点七	耐火设计	471
设计要点八	防排水设计	479
设计要点九	高速铁路隧道设计	489
参考文献		505
编辑后记及相关图书推荐		506

第一部分 概 述

一、隧道工程设计的基本认识

隧道工程设计与其他工程设计有着截然不同的性质,其设计方法、设计思路、设计程序都有其自身固有的特点。因此,了解和认识隧道工程的设计特点是极为重要的。

1. 工程环境的特殊性

众所周知,隧道工程所处的环境条件与地面工程是全然不同的。

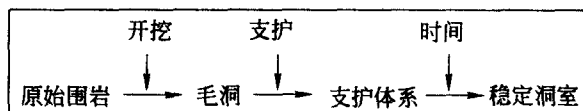
隧道是处在各种地质环境中的地下结构物,因此,它必将受到周围地质环境的强烈影响。这里所谓的地质环境包括:地质体的形成及其经历;初始地应力场(包括构造应力场在内);各种地质体的物理、力学、构造和时间特性及其分类等等。科学地认识地质环境对地下结构体系的影响是正确进行结构设计和施工的前提。

2. 结构体系及其形成

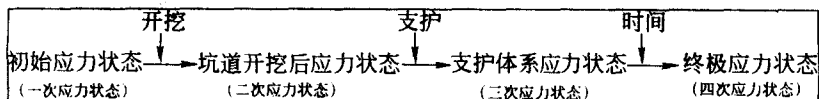
设计的基本目的是在各类地质体(围岩)中修筑为各种目的服务的、长期稳定的洞室结构体系。从结构角度看,这个结构体系是由周围地质体和各种支护结构构成,即:

洞室结构体系 = 周围地质体 + 支护结构

它的形成则是通过一定的施工过程或者说是一定的力学过程来实现的。这个过程大体上可作如下表达:



与之相适应的力学过程如下所示:



因此,认识和了解从毛洞(即无支护坑道)的形成到其破坏的全部过程,即坑道开挖后的围岩力学动态和过程,各种因素(开挖、支护及时间等)对这个过程的影响,则成为设计的主要内容和理论基础。也就是说,隧道的设计不仅仅是结构设计,它还包括施工方法、施工支护以及无支护坑道的稳定性等设计。

图 1-1 表达了隧道及地下工程设计、施工的基本思路和方法。

3. 经验、实践与设计

实际上,隧道工程是一个经验性极强的学科,长期以来都是凭经验设计施工的。这些大量的、丰富的经验中有许多都是符合科学的,有一定的理论基础。因此把这些行之有效的经验提高到理论上来认识和理解,是隧道设计的一个重要任务,它也是隧道设计的实践基础。

前已指出,洞室的形成是通过开挖和支护两个施工阶段完成的。因此,采用的施工方法及支护方法也必然对整个坑道的稳定给予一定的、甚至是极为重要的影响。例如,全断面开挖及分部开挖、爆破开挖及非爆破开挖、木支撑与钢支撑、初期支护及二次支护、仰拱的及时封闭、一次掘进进尺等都对坑道及结构的应力状态产生相应的影响。因此,在隧道设计中,施工技术的研究也是很重要的。

但长期以来都是沿用适应于地面工程的理论和方法来解决在地下工程中所遇到的各类问题,因而常常不能正确地阐明地下工程中出现的各种力学现象和过程,使地下工程长期处于“经验设计”和“经验施工”这种举步不前的局面。这种局面与迅速发展的地下工程的现实是极不相称的。

4. 荷载·结构·材料的不可分割性

隧道工程象地面工程一样,也是一个结构体系。以水塔为例(图 1-2a),它是由结构及基础构成的,承受着风荷载、水压力……等外载;而地下结构(图 1-2b)则是围岩和支护结构组成的结构体系,荷载主要来自围岩,而这种

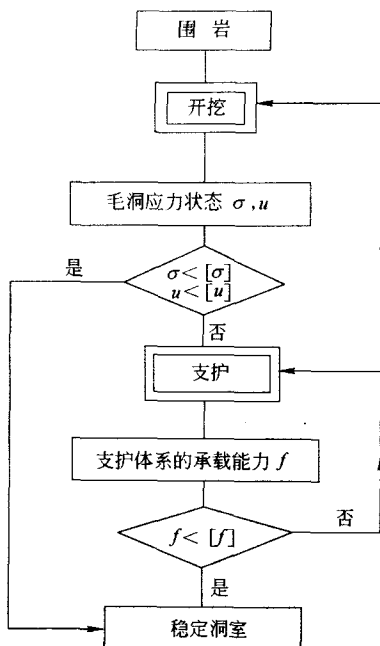


图 1-1 隧道设计施工的基本思路

结构体系的主要材料是由绝大部分的围岩构成的,混凝土及其他支护材料只占很小一部分。

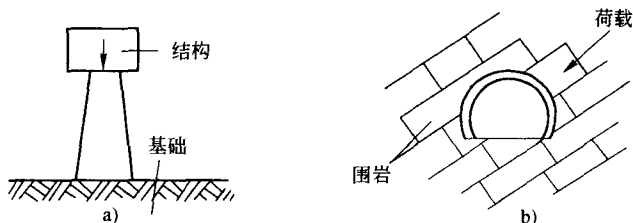


图 1-2 结构体系概念图示

a)地面结构(水塔等);b)地下结构(隧道等)

因此,围岩既是承载结构的一个重要组成部分,也是构成承载结构的基本建筑材料,它既是承受一定荷载的结构体,又是造成荷载的主要来源,这种三位(荷载、材料、承载单元)一体的特征与地面工程是完全不同的。因此研究三者的内在联系非常重要。

由此可见,隧道的设计和计算的对象应该是围岩,过去我们并没有充分地认识到围岩的这些作用,而把重点放在衬砌结构的设计和计算上,显然是不合适的。

从这一力学特点出发,必须把研究和计算的重点转移到围岩这方面来,这首先要我们搞清楚围岩的工程性质,以便更好地发挥围岩的结构作用。例如围岩的承载条件是不断变化的,在开挖前它处在三维应力状态条件下,围岩具有较高的承载能力;在开挖过程中,承载条件有了改变,从三维应力状态变成二维应力状态,使围岩的承载能力有了显著的降低。其次,开挖过后,围岩发生松弛、变形,而使其性质变异(强度降低,粘结力或者摩擦角变小),从而降低了它的承载能力。当施加支护措施后,改善了围岩的承载条件,围岩的承载能力又有所提高。因此,研究围岩承载条件(开挖、支护造成的)的变化及其对围岩强度的影响是十分重要的,尤其对地下工程来说,更是如此。

围岩既然是主要承载单元,那么在设计中,就必须树立充分发挥围岩承载作用,即最大限度地利用周边围岩支护功能的基本观点。从这一点出发,修筑一个长期稳定的洞室结构,虽然开挖和支护都是重要的,但搞好开挖作业,提高开挖作业的质量远较支护作业重要。也就是说,要“保护”和“爱护”围岩,开挖是个关键。好的开挖作业会大大减小对遗留围岩的破坏,从而也

降低了对支护作业的要求和减少支护工作量,这已为大量工程实践所证实。例如,目前隧道的施工方法正从传统的爆破技术转向控制爆破(光面爆破、预裂爆破)或无爆破(掘进机等)技术,从分部开挖转向大断面或全断面开挖,从过大的一次掘进进尺(深孔爆破)转向较小的进尺以便及时闭合断面等等,都是基于隧道工程的这一力学特点。

5. 设计、施工的一体化

隧道施工的特性是:仅仅依靠施工前的调查结果想完全掌握地质条件、涌水等状况是很困难的,在预设计阶段涉及的问题是很广泛的。此外,在地下工程中,观察和量测是很重要的,常常要根据施工中的观察和量测来修正或变更设计。如在施工阶段发生大幅度变更设计的情况,不可避免地要损失工期、增加成本。为此,对开挖工法、施工顺序等问题要充分研究调查,使之尽量减少或不变更设计。

施工中的观察和量测结果对设计、施工的反馈是很重要的。因此,在修正设计时,不仅仅是修正支护构件,也要修正一次掘进长度、开挖断面、断面闭合时间等。

特别是净空位移很大时,要充分研究变形富裕量的大小。净空位移的控制,采用锚杆、喷混凝土等不能处理时,要根据最终位移的预测,来研究变形富裕量、开挖断面的闭合时间等问题。

因为预设计一般都是偏于安全的,如认为安全上没有问题,应力求使支护构件、一次掘进长度等变得更经济些。

因此,在隧道工程中,设计与施工是密不可分的,特别是要建立“施工中设计”的基本观点,研究和建立施工中设计的基本原则、方法和模式,实现设计施工的一体化体制。

二、隧道设计的现状和存在的问题

我国实施的建筑体制是设计、施工分离的,工程设计由具有法人资格的设计单位(设计院等)负责,而施工单位要完全按照设计意图进行施工,甚至是施工的变更设计也必须通过设计单位。在这种体制下,建国后我们设计修建了近 3000km 的铁路隧道,约 700km 的公路隧道和 200km 的地下铁道,成绩是肯定的,经验是丰富的,设计技术有了长足的进步。

以铁路隧道为例,1951 年 7 月铁道部发布中华人民共和国铁路建筑标准图,其中包括隧道建筑限界,坚石、次坚石、松石、泥土衬砌断面,避车洞和

石砌洞门等图,之后几经修改、补充、完善,形成了包括衬砌、洞门、避车洞、辅助坑道等结构,防水、排水、运营通风及支护、拱架、模板等施工设备的图纸,对贯彻铁路技术政策、统一技术标准和规格,起了很大的作用。

1975年确立的以围岩稳定性为基础的铁路隧道围岩分级方法,一直应用到今天,形成了一个从设计阶段的预分级到施工阶段修正分级的完整的分级体系,并逐渐实现了从完全依靠经验,向半定量或完全数值定量方法的转变。

隧道结构设计的方法不断地推陈出新,前后四次修改铁路隧道设计规范,从容许应力设计方法到极限状态设计方法直到可靠度设计方法的应用,使设计质量显著提高。有限元设计方法也开始应用于个别工程的设计中。隧道设计思想有了重大转变,从过去单纯依靠衬砌承载的观点,改变为主要依靠围岩,即充分利用围岩自身承载能力的观点。

隧道设计理论和方法在传统理论和方法的基础上,发展了各种设计模式,采用各种有限元数值方法和程序进行研究和设计,使隧道结构的形式和参数更趋合理、经济,并具有良好的施工性。

考虑维修养护管理条件的耐久性设计方法也开始得到应用。

因此,在隧道衬砌结构上,从过去单一的砖石结构、混凝土结构、钢筋混凝土结构逐步发展到以喷锚支护为初期支护,同时与二次衬砌构成组合(复合)式的支护体系。支护主要采用喷混凝土、锚杆、喷钢纤维混凝土及格栅等,从而发展了各种形式的支护结构,满足了不同需求。

1994年我国颁布了《工程岩体分级标准》(GB 50218—94),为地下工程岩体统一分级,奠定了实质性的基础。

为了适应不同类型地下工程建设的需求,各部门相继制定了有关的规范,如铁路隧道设计规范(TB 10003—2001)、施工规范(TB 10204—2002);公路隧道设计规范(JTJ 026—90)、施工规范(JTJ 042—94);地下铁道设计规范(GB 50157—92)等,以及各种技术标准,如地下工程防水技术规范(GB 50108—2001)等,为设计、施工的规范化、标准化奠定了基础。

考虑初始地应力场、温度场及渗流场耦合作用的设计理论以及考虑施工阶段影响的三维效应的设计方法也都在发展之中。

在公路隧道中考虑周边环境的洞口景观设计,以及地下铁道出入口的景观设计等也得到了一定的发展。

我国设计长大隧道的能力有了显著的提高,如长度超过12km的长梁山隧道,西(安)(安)康线上长18.6km的秦岭隧道,正在修建的长达18km的

终南山公路隧道以及长 20.5km 的乌鞘岭铁路隧道;长度超过 4km 以上的,包括大断面(3 车道或 4 车道、双联拱隧道等)的公路隧道也不断出现。特别是在加强铁路、公路建设的新高潮中,不同长度、不同类型的山岭隧道将大量涌现。因此,隧道设计技术的发展,面临一个新的机遇和挑战,必需及时总结经验,适应形势发展和要求,不断提高山岭隧道设计技术的水平。

目前隧道设计中存在的主要问题是:

(1)无论是铁路隧道还是公路隧道,施工前的地质调查是不到位的,因此,预设计有较大的盲目性,再加上施工阶段的地质工作也不到位,施工中大幅度变更设计的现象屡有发生;

(2)公路隧道设计的标准化程度还有待提高;

(3)在结构设计上,“重衬砌,轻初期支护或超前支护”的观念,没有根本改变;

(4)软弱破碎围岩的设计方法不完善,如稳定掌子面的超前支护的设计方法还没有建立;

(5)防排水设计始终是薄弱环节,设计观念陈旧,质量欠佳,渗水、漏水现象时有发生;

(6)环境意识薄弱,缺乏对周边环境和结构物影响的有效评估方法;

(7)目前设计、施工分离的体制,制约了隧道施工技术的发展,不能充分发挥施工单位采用新技术、新方法、新工艺、新材料的积极性;

(8)没有真正地实现动态设计,必须建立设计—施工检验—地质预测—量测反馈—修正设计一体化的设计施工管理系统,以不断地提高和完善隧道设计施工技术。

三、隧道设计的基本理念

根据作者的体会,针对目前存在的问题,对于隧道设计的要点,归纳起来就是 4 句话:“围岩是主题”、“支护是手段”、“实践是基础”和“解析是验证”。这也就是隧道设计的四大理念。

“围岩是主题”的含义是:设计的一切考虑,都要围绕“围岩”这个“主题”来做文章。例如,在坚硬围岩中,就要采用不损伤或少损伤遗留围岩固有支护能力的方法,而在软弱破碎围岩中就要采用各种手段和方法增强围岩的自支护能力的方法。

“支护是手段”的含义是:隧道结构的设计,实质上就是支护结构的设

计。隧道支护包括围岩自身、初期支护、超前支护、衬砌等,除了围岩以外都是辅助围岩的手段,有的是提高围岩强度的,有的是防止围岩掉块、风化的,有的是减少围岩松弛的,有的是提高结构安全度的,等等。

“实践是基础”的含义是:应该说到目前为止,隧道的预设计仍然是以“经验设计”或“类比设计”为基础的。实践不断地丰富了经验设计和类比设计的内容和方法。其次,隧道施工过程中的地质条件是不断变化的,其力学动态也是不断变化的,因此,设计就不可能一成不变。变更设计,就是根据暴露出来的围岩状态采取的对策,这是隧道设计的基本原则。

“解析是验证”的含义是:解析方法在某些条件下是重要而不可缺少的,特别是在分析趋势和定性评价方面有独到之处。在通常的设计中,它只能起着验证的作用。

本设计要点集,就是根据以上几方面存在的问题,根据设计的基本原则和作者的经验,分析所存在问题的原因并提出解决问题的方法和途径,供现场技术人员参考。

第二部分 隧道设计基础知识

设计要点一 初始地应力场及其评价

正确地掌握和了解地质环境对隧道工程力学行为的作用和影响是合理进行隧道工程设计的前提和基础。毫不夸大地说,离开地质环境来谈隧道工程是没有实际意义的。

隧道的地质环境从理论上说是指初始地应力场、渗流场和温度场,但从实用角度说则主要指初始地应力场。

隧道工程的一个重要力学特性就是:隧道是修筑在具有一定应力履历和一定应力场的围岩中的结构物。我们称这种应力场为初始地应力场,它在坑道开挖前是客观存在的。在这种围岩中修建隧道工程就必须了解它的状态及其影响以及其中发生的一切力学现象。因此,了解它的状态和影响是极为重要的。

这里所指的初始地应力场泛指坑道开挖前的围岩的初始静应力场,它的形成与围岩构造、性质、埋藏条件以及构造运动的历史有密切关系,问题比较复杂。

围岩的初始地应力状态与施工引起的附加应力状态是不同的,它对坑道开挖后围岩应力分布、变形和破坏有着极其重要的影响。可以说,不了解围岩初应力状态就无法对坑道开挖后一系列力学过程和现象做出正确的评价。

围岩的初应力状态一般受到两类因素的影响:

第一类因素有重力、温度、围岩的物理力学性质及构造、地形等经常性的因素。

第二类因素有地壳运动、地下水活动、人类的长期活动等暂时性的或局部性的因素。

因此,初始地应力场由两种力系构成,即

$$\sigma = \sigma_y + \sigma_T \quad (2-1)$$

式中 σ_y ——自重应力分量;

σ_T ——构造应力分量。

在上述因素中,目前主要研究的是由围岩的体力或重力形成的应力场,而其他因素只认为是改变了由重力造成的初始地应力场。一般来说,重力应力场的估计可以采用连续介质力学的方法,它的可靠性则决定于对岩石的物理力学性质及围岩的构造——力学性质的研究,其误差通常是很大的。而其他因素造成的初始地应力场,主要是用实验(现场试验)方法完成的。

一、重力应力场

我们研究上覆围岩自重所产生的应力场。

我们研究具有水平成层、地面平坦的情况,如图 2-1 所示。

设围岩是线性变形介质,在 xy 平面内是均质的,沿 y 轴方向是非均质的。设 E 、 μ 分别为沿垂直方向的围岩弹性模量和泊松比, E_1 、 μ_1 为沿水平方向的围岩弹性模量和泊松比,则因围岩的变形性质沿深度而变,故可假定: $E = E(y)$ 、 $\mu = \mu(y)$ 、 $E_1 = E_1(y)$ 、 $\mu_1 = \mu_1(y)$,同时单位体积重力也认为是沿深度而变,即 $\gamma = \gamma(y)$ 。这样,距表面 h 深处一点的应力状态可表示如下:

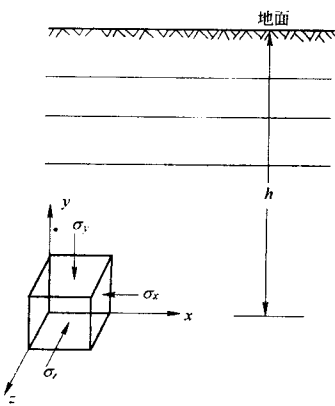


图 2-1 地表水平时的自重应力场

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y &= \int_0^h \gamma(y) dy \\ \sigma_x &= \sigma_x(y) \\ \sigma_z &= \sigma_z(y) \\ \tau_{xy} &= \tau_{xz} = \tau_{yz} \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

大多数研究者认为,处于静力平衡状态的围岩内,沿水平方向的变形等于零,故

$$\sigma_x = \sigma_z = \frac{E}{E_1} \frac{\mu_1}{1 - \mu} \sigma_y \quad (2-3)$$

当 $E = E_1 = \text{常数}$, $\mu = \mu_1 = \text{常数}$ 时,则得出大家熟知的公式

$$\sigma_x = \sigma_z = \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_y \quad (2-4)$$

设 $\lambda = \mu/(1 - \mu)$, 并谓之侧压力系数, 则上式可写成

$$\sigma_z = \sigma_x = \lambda \sigma_y \quad (2-5)$$

显然, 当垂直应力已知时, 水平应力的大小决定于围岩的泊松比。大多数围岩的泊松比变化在 0.15 ~ 0.35 左右。因此, 在自重应力场中, 水平应力通常是小于垂直应力的。

深度对初始地应力场有着重大影响。随着深度的增加, σ_y 和 σ_x (σ_z) 都在增大。但围岩本身的强度是有限的, 因此当 σ_y 和 σ_x (σ_z) 增加到一定值后, 各向受力的围岩将处于隐塑性状态。在这种状态下, 围岩物理性质指标 (E 和 μ) 是变化的, λ 值也是变化的, 并随着深度的增加, λ 值趋于 1, 即与静水压力相似, 此时围岩接近流动状态。

由此可见, 围岩的初始地应力场是随深度而变的, 其应力状态可视围岩的不同, 分别处在弹性、隐塑性及流动三种状态。围岩的隐塑性状态在坚硬围岩中约在距地面 10km 以下, 也有可能在浅处产生, 如在岩石临界强度低 (如泥岩等) 的地段。通常情况下, 在隧道所涉及的范围, 都可视初始地应力场为弹性的, 这一点亦可由部分量测资料所证实。

上述各式所表达的应力场是理论性的。实际上由于地壳运动, 岩层会产生各种变态, 如变成各种倾斜状的、弯曲的等等。在这种情况下, 围岩的初始地应力场也有所变化。如以垂直成层为例, 由于各层的物理力学性质不同, 在同一水平面上的应力分布可能是不同的。又如在背斜情况下, 由于岩层成拱状分布, 使上覆岩层重量向两翼传递, 而直接处在背斜轴下面的岩层则受到较小的应力 (图 2-2)。在被断层分割的楔形岩块情况中 (图 2-3), 也可观察到类似情况。下窄上宽的楔形围岩移动时, 受到两侧岩块的夹制, 使应力减小; 反之, 下宽上窄的岩块, 则受到附加荷载的作用。大量的实测资料表明, 地质构造形态改变了重力应力场的初始状态, 这在实际工作中有时是不容忽视的。

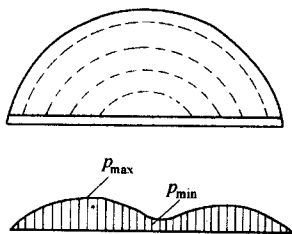


图 2-2 背斜构造的
自重应力场

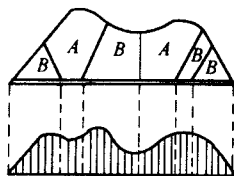


图 2-3 断层构造的自重应力场