



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

地下建筑结构

DIXIA JIANZHU JIEGOU

陈建平 吴立 闫天俊 许文锋 编著



人民交通出版社
China Communications Press

TU93
C8



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

地下建筑结构

DIXIA JIANZHU JIEGOU

陈建平 吴立 闫天俊 许文锋 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书结合了当前不同应用领域对地下建筑工程设计与施工的要求,适应新形势下地下建筑工程学科本科教学特点。以岩体结构和支护(衬砌)结构为主线,分析其结构构成、力学特征和结构设计方法;对土体中的支护结构也作了相关分析。

本书可作为地下建筑工程学科方向的本科生教材,也可供相关专业的教师、研究生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下建筑结构 / 陈建平等编著. —北京:人民交通出版社,2008.8

ISBN 978 - 7 - 114 - 07294 - 9

I. 地… II. 陈… III. 地下建筑物 - 建筑结构 - 高等学校 - 教材 IV. TU93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 108505 号

书 名: 地下建筑结构

著 者: 陈建平等

责任编辑: 高 培

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 廊坊市长虹印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 12.5

字 数: 307 千

版 次: 2008 年 8 月 第 1 版

印 次: 2008 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 114 - 07294 - 9

定 价: 25.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

21 世纪是地下空间发展的时代,人类对地下空间利用和开发的规模和速度前所未有。目前我国交通、市政、水利水电、矿山等工程技术的发展,大大推动了地下建筑工程技术的进步与发展,各种类型的地下结构越来越多,新工艺新技术日新月异,设计理论与方法也取得长足进步。为适应新形势下地下建筑工程学科本科教学特点,并结合当前不同应用领域对地下建筑工程设计与施工的要求,特编著了本教材。

地下工程是以岩土体为作用介质的隐蔽性工程,而地下建筑结构则是人工支护结构及其周围的岩土体(尤其是岩体)结构共同构成的承载结构。本教材以岩体结构和支护(衬砌)结构为主线,分析其结构构成、力学特征和结构设计方法;对土体中的支护结构也作了相关分析。

本书由中国地质大学(武汉)陈建平任主编,吴立、闫天俊及国家海洋局第三海洋所许文锋为副主编。书中第 2、3、5、7 章由陈建平编写,第 4、6 章由吴立编写,第 9、10、11 章由闫天俊编写,第 1、8 章由许文锋编写。另左昌群博士、侯东波硕士等也参加了有关章节的编写和整理。全书由陈建平统稿。

本书可作为地下建筑工程学科方向的本科生教材,也可供相关专业的教师、研究生和工程技术人员参考。

由于编著者学术水平和时间有限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 4 月于武汉

目 录

第 1 章 地下建筑结构概述	1
1.1 地下建筑结构的定义	1
1.2 地下建筑结构体系的组成	1
1.3 地下建筑工程的特点	2
1.4 地下支护结构的类型	3
1.5 地下建筑物的用途	6
1.6 地下建筑结构的功能与要求	6
思考题	7
第 2 章 地下工程岩体结构与力学性质	8
2.1 地下岩体结构类型	8
2.2 结构面类型与特征	9
2.3 岩体结构面统计与模拟	12
2.4 岩体结构力学特征	21
思考题	27
第 3 章 地下洞室围岩稳定性分析	28
3.1 概述	28
3.2 围岩的初始应力场	28
3.3 围岩重分布应力计算	32
3.4 围岩的变形分析	36
3.5 围岩压力计算	41
3.6 岩体破坏机理分析	46
思考题	51
第 4 章 地下建筑结构设计方法	52
4.1 概述	52
4.2 地下建筑结构计算理论的发展历史	52
4.3 地下建筑结构的设计内容	54
4.4 常用的地下建筑结构设计方法	55
思考题	61
第 5 章 围岩分级与初期支护结构设计	62
5.1 围岩分级概述	62

5.2	Q 系统围岩分级法与经验设计	63
5.3	岩体 RSR 分级与经验设计	69
5.4	RMR 法分级与经验设计	71
5.5	我国公路隧道围岩分级方法	73
5.6	岩体锚喷支护理论分析法设计	78
5.7	软岩锚喷支护结构设计方法	80
	思考题	87
第 6 章	隧道衬砌结构计算	89
6.1	概述	89
6.2	隧道衬砌上的荷载与分类	90
6.3	半衬砌结构计算	90
6.4	曲墙式衬砌结构计算	95
6.5	直墙式衬砌计算	99
6.6	衬砌截面强度检算	104
6.7	曲墙式衬砌算例	105
6.8	隧道洞门结构简介	109
	思考题	111
第 7 章	数值分析法在地下工程中的应用	112
7.1	概述	112
7.2	有限元法在地下工程中的应用	112
7.3	有限元法应用实例	122
	思考题	126
第 8 章	基坑支护结构	127
8.1	支护结构的作用与构成	127
8.2	支护结构的选型	128
8.3	荷载与抗力计算	129
8.4	水泥土墙式支护结构	132
8.5	排桩与板墙式支护结构	134
8.6	土钉墙和喷锚的设计	142
	思考题	144
第 9 章	盾构衬砌结构与顶管	145
9.1	概述	145
9.2	盾构衬砌分类	145
9.3	管片结构设计与内力计算	147
9.4	衬砌管片设计实例	157
9.5	顶管结构	164

思考题.....	169
第 10 章 沉管结构	170
10.1 概述.....	170
10.2 沉管结构设计简介.....	172
思考题.....	176
第 11 章 地下建筑结构可靠度理论	177
11.1 概述.....	177
11.2 地下结构可靠度基本理论.....	177
思考题.....	190
参考文献	191

第 1 章

地下建筑结构概述

1.1 地下建筑结构的定义

传统地下结构理论认为,地下建筑结构是建筑在岩土体内的人工结构物。而地下结构工程新理论,如新奥法理念则认为,地下建筑结构可以看成是建筑在岩土体内的人工结构与围岩(土)体结构共同构成的结构物。因为在岩体中开挖不支护或以锚杆支护为主体的地下结构物,如在土体中开挖窑洞及地道等,均可看做是地下建筑结构。所以,现代理念的地下建筑结构应该是由地下支护结构与地层(或岩土体)结构组成。含有地下建筑结构的工程称为地下建筑工程。

地下建筑结构涵盖各种隧道、隧洞、地下洞室(地下厂房)、矿山巷道及地下采场、地下通道、基坑等。

本书内容主要是以隧道为主体的地下建筑结构,重点是岩体中建设的地下结构。

1.2 地下建筑结构体系的组成

与楼房、桥梁等地面结构物一样,地下结构物也是一种结构体系,但地下与地面结构体系之间在赋存环境、力学作用机理等方面都存在着明显的差异。在荷载方面,除了自重力外,地面结构的荷载都是来自结构外部,如其他结构、设备、车辆、人群及自然力等;而地下建筑结构是一种包括支护结构和地层结构的复合结构体,其中,支护结构埋入地层中,周围都与地层结构紧密接触。

地下建筑结构与地层接触,两者组成共同且相互作用的受力变形体系。理论与实践已经证明,各类地层介质都具有一定程度的自支承能力,因而洞室围岩(土)体能与地下结构共同承受荷载。

地下支护结构承受的荷载来自于洞室开挖后引起周围地层的变形和坍塌区产生的压力,同时结构在荷载作用下发生的变形又受到地层给予的约束。洞室地层结构在承受自重应力的同时,也承受地应力荷载的作用。在地层稳固的情况下,开挖洞室后的地层结构可以承受自重与地应力而不设支护结构,如在完整的岩体中修建的洞室、隧道,以及我国西北的黄土窑洞,是可以在无支护下存在的结构。

地下建筑结构的稳定性,首先取决于支护结构周围地层能否保持持续稳定。地层自承能力较强时,地下支护结构将少受地层压力的荷载作用,否则将承受较大的荷载,直至几乎独立承受全部荷载作用。地层结构是否稳定不仅取决于岩石强度,而且取决于地层构造的完整程度。相比之下,周围地层构造的完整性对洞室稳定更有影响。地层既是承载结构的基本组成

部分,又是形成荷载的主要来源。其实,洞室周围的地层在很大程度上是地下建筑结构体系中承载的主体,应充分利用和更好地发挥围岩的承载能力。在需要设置支护结构时,支护结构能够阻止围岩的变形,使其达到稳定的作用,这种合二为一的作用机理与地面结构是完全不同的。

1.3 地下建筑工程的特点

地下建筑工程是在岩石或土体中构筑的结构,与地面工程相比,地下建筑工程在很多方面具有完全不同的特点,主要表现在以下几个方面。

(1) 工程受力特点不同

① 地面结构是先有结构,后有荷载

地面工程结构是经过工程施工,形成结构后,承受自重、风、雪以及其他静力或动力荷载。因此,这类工程是先有结构,后承担荷载。

② 地下结构是先有荷载,后有结构

地下工程是在处于自然状态下的岩土地质体内开挖的,因此,在工程开挖之前就存在着应力环境(地应力)。所以,地下结构是先有荷载,后形成结构。且地下结构与岩土体结合紧密,结构本身不能完全独立,离开岩土体的地下建筑结构是不存在的。

(2) 工程材料特性的不确定性

地面工程材料多为人工材料,如钢筋混凝土、钢材、黏土砖等。这些材料虽然在力学与变形性质等方面存在变异性,但是,与岩土材料相比,不仅变异性小得多,而且,人们可以加以控制和改变。地下工程材料所涉及的材料,除了支护材料性质可控制外,其工程围岩均属于难以预测和控制的地质体。

由于地质体是经历了漫长的地质构造运动的产物,因此,地质体不仅包含大量的断层、节理、夹层等不连续介质,而且还存在着较大程度的不确定性。其不确定性主要体现在空间分布和随时间的变化方面。

① 空间上的不确定性

对于地下工程围岩,不同位置围岩的地质条件(岩性、断层、节理、地下水条件、地应力等)都存在着差异。这就是地下工程地质条件和力学特性的空间不确定性。因此,人们通过有限的地质勘察、取样试验,很难全面掌握整个工程岩体的地质条件和力学特性,仅是对整个工程岩体的特性进行抽样分析、研究。

② 时间上的不确定性

即使对于同一地点,在不同的历史时期,其地应力、力学特性等也发生变化。这就是时间上的不确定性。尤其开挖后的工程岩体特性除随时间的变化外,更重要的还与开挖方式、支护类型、施工时间及工艺密切相关。这常常是一个十分复杂的变化过程。

(3) 工程荷载的不确定性

对于地面结构,所受到的荷载比较明显。尽管某些荷载(如风载、雪载、地震荷载等)也存在随机性,但是,其荷载量值和变异性与地下工程相比相对较小。

对于地下结构,工程围岩的地质体不仅会对支护结构产生荷载,同时它又是一种承载体。因此,不仅作用到支护结构上的荷载难以估计,而且,此荷载随着支护类型、支护时间与施工工艺的变化而变化。所以,对于地下工程的计算与设计,一般难以准确地确定作用到结构上的荷

载类型、量值。

(4) 破坏模式的不确定性

工程的数值分析与计算的主要目的在于,为工程设计提供评价结构破坏或失稳的安全指标(如安全系数、可靠性指标等)。这种指标的计算是建立在结构的破坏模式基础之上的。

对于地面工程,其破坏模式一般较容易确定,在结构力学和土力学中,已经了解诸如强度破坏、变形破坏、旋转失稳等破坏模式。

对于地下工程,其破坏模式一般难以确定,它不仅取决于岩土体结构、地应力环境、地下水条件,而且还与支护结构类型、支护时间与施工工艺密切相关。

(5) 地下建筑工程信息的不完备性和模糊性

地下建筑工程中,地质力学与变形特性的描述或定量评价,取决于所获取信息的数量与质量。然而,人们常常只能获得局部的有限工程面和露头信息。因此,所获取的信息是有限的、不充分的,且可能存在错误资料或信息。这就是地下工程信息的不完备性。

此外,地下建筑工程围岩的力学与变形特征的描述,对地下工程设计与分析是重要的。但影响岩体工程特性的材料与参数如节理特征、充填物以及岩性的描述等多数是定性的,又都具有模糊性。

(6) 地下支护结构形式的多样性

常用的地下支护结构的断面形式有马蹄形、圆形、直墙拱形、矩形、梯形等。决定地下支护结构断面形式,主要根据结构的最佳受力状态、施工的难易性、最佳功能要求及用途等综合考虑。

另外,地下支护结构空间比较狭小,光线比较昏暗,空气湿度大,环境相对地表较差,一般情况下,不适宜人长期居住和工作。

以上特点决定了地下建筑工程设计与施工的困难性和复杂性。

1.4 地下支护结构的类型

总体来看,地下支护结构有临时支护结构与永久支护结构,有单一支护结构和两种支护结构组成的复合支护结构。支护结构有两个最基本的使用要求:一是满足结构强度、刚度要求,以承受诸如水、围岩压力以及一些特殊使用要求的外荷载;二是提供一个能满足使用要求的工作环境,以便保持隧道内部的干燥和清洁。这两个要求是彼此密切相关的。

(1) 按设计与施工要求分类

地下支护结构可以分为:

①整体浇筑结构。施工时,将地下支护结构整体浇筑,一次性施工完成,形成整体型承载结构体。如传统衬砌结构多为整体浇筑结构。

②锚喷支护结构。由锚杆、喷射混凝土结构组成的支护结构体。在地层条件差时,该结构中还会增加钢筋网或钢拱架结构,形成加强型锚喷支护结构。这种结构在大跨度交通隧道中常用。

③复合式衬砌结构。该结构由初期支护结构(锚喷支护)和二次衬砌组成,是应用新奥法理论产生的支护结构,也是我国目前钻爆法中应用最广的支护结构。

④管片支护结构。该结构是盾构法或掘进机法施工中常用的支护结构,环状结构体由数个管片组合构成环形闭合承载结构体。

(2)按用途与功能分类

地下结构可分为下列9类:

①交通隧道。具有车辆、人员通行功能的隧道结构,如铁路隧道、公路隧道、城市地下铁道及越江、海底隧道等。

②水工隧洞。具有通水功能(包括有压水与无压水)的隧洞结构,如水力发电站的各种输水隧洞,为农业灌溉开凿的引水隧洞以及给水排水隧洞等。

③矿山巷道。具有运输与开采功能的巷道结构,如各类矿山水平巷道、竖井、斜井等作为运输及开采的井巷。

④城市地下建筑结构。具有城市市政功能特点的地下结构物,如储藏粮食、水果、蔬菜等的地下仓库;用于民用与公共建筑的地下商店、图书馆、体育馆、展览厅、影剧院、旅馆、餐厅及其综合建筑体系——城市地下街等;作为城市给水工程、污水、管路、线路、废物处理的地下市政工程等。

⑤地下工厂。如水力或火力发电站的地下厂房以及各种轻、重工业的地下厂房等。

⑥基坑工程。如建筑物附属地下设施、大型深基坑等。

⑦军事与国防工程。用于军工与国防建设的地下结构工程,如飞机库、舰艇库、武器库、弹药库、作战指挥所、通信枢纽和各类野战工事、永备筑城工事以及人防隐蔽部、疏散干道、连接通道、医院、救护站及大楼防空地下室等。

图 1-1~图 1-10 为典型地下结构图。

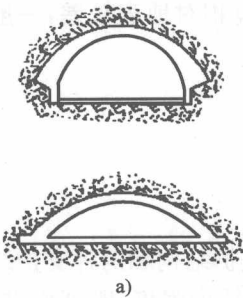


图 1-1 传统隧道结构

a)落地拱;b)直墙拱形衬砌

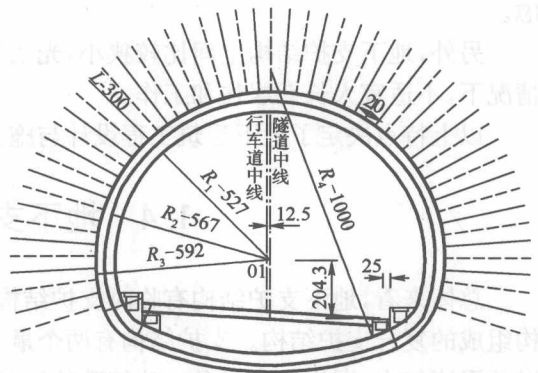


图 1-2 公路隧道常用的马蹄形复合式

支护断面图(尺寸单位:cm)

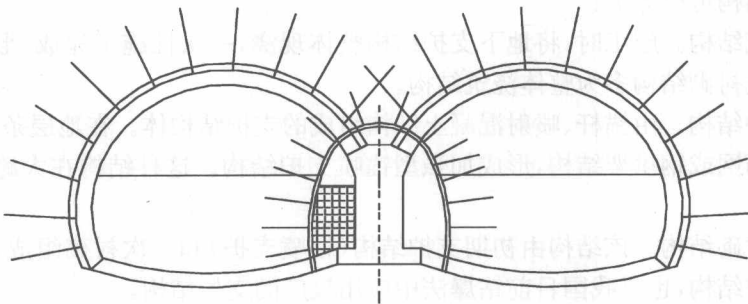


图 1-3 公路双连拱隧道结构图

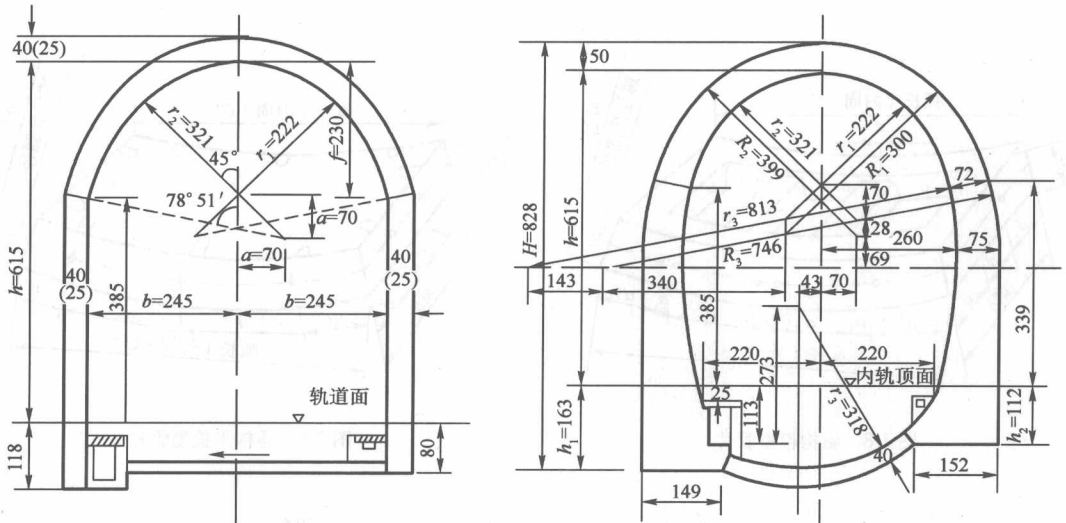


图 1-4 铁路隧道常用的马蹄形衬砌结构断面图(尺寸单位: cm)

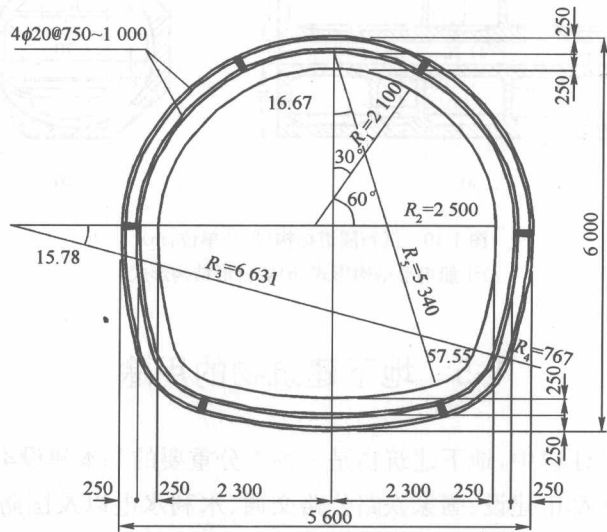


图 1-5 铁路隧道常用复合衬砌构造(锚杆省略)(尺寸单位: mm)

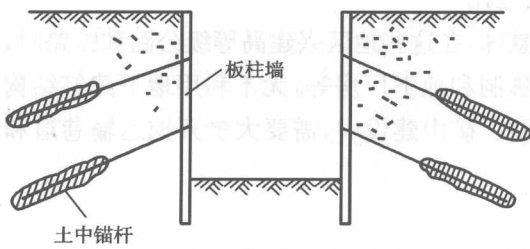


图 1-6 基坑板桩墙或连续墙结构图

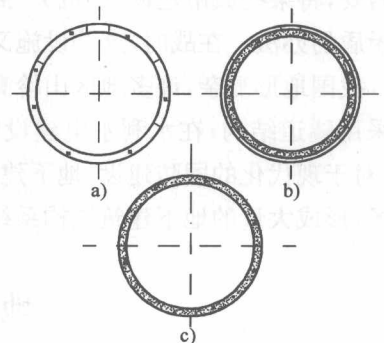


图 1-7 盾构法修建的隧道衬砌结构
a) 单层装配式衬砌; b) 双层衬砌; c) 挤压混凝土整体衬砌

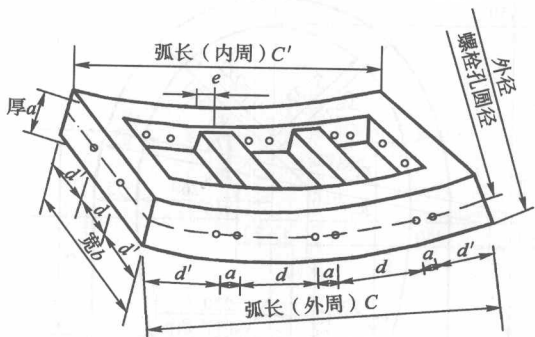


图 1-8 盾构箱型管片

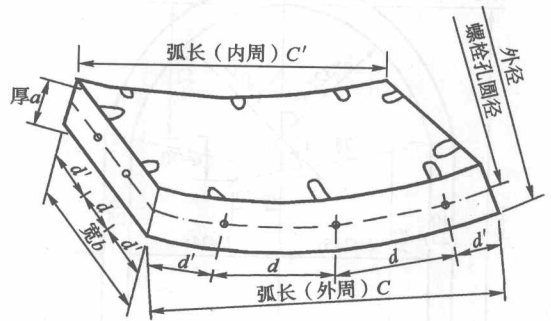


图 1-9 盾构平板型管片

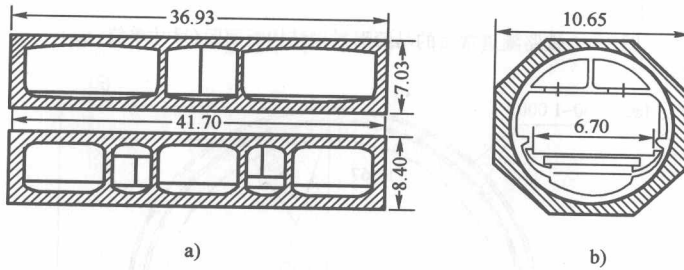


图 1-10 沉箱隧道结构(尺寸单位, m)
a) 干船坞形结构形式; b) 船台形结构形式

1.5 地下建筑物的用途

在一个国家的基本建设中,地下建筑物是一种十分重要的基本建设类型。

地下建筑物在现代都市建设、国家铁路公路交通、水利水电以及国防、民防等领域里都有极其广泛的用途。城市建设发展到一定阶段,地面建设势必难以满足市民在交通和居住方面的需要,将某些城市建设,如机关、商场、快速交通线、停车场和特殊工厂等移到地下,是一种解决矛盾的办法。在战时,这些设施又可供民防之用。

我国地形复杂,许多地区山岭高耸,高差悬殊,在这些地区兴建高等级公路和铁路时,将大量采用隧道结构;在水利水电建设中的输水隧洞和地下厂房等,无不利用地下建筑结构。此外,对于现代化的国防建设,地下建筑尤其需要。矿山建设中,需要大量开挖运输巷道和地下采场,形成大量的地下建筑结构系统。

1.6 地下建筑结构的功能与要求

地下建筑结构设计时,必须充分了解所设计结构的所有功能。表 1-1 列出了不同的地下建筑结构的功能与要求。

各类地下建筑结构的功​​能​​与要求

表 1-1

地下结构类型	一般功能与要求
无压输水隧道	维护围岩稳定;保证通水能力,流通时无有害的水力冲击,水流速度平稳,无渗出、渗入和气穴现象;净断面大于过水断面要求
有压输水隧道	有些输水隧道要求不出现急拐弯或交叉点;洞内衬砌必须保证无大的动力损失,这类损失由有害水力或流动造成;净断面满足过水量要求
储藏洞室	维护围岩稳定;提供合适的储藏空间,空间无渗漏水,空气湿度与温度符合储藏要求,无污染和变质现象
铁路隧道	维护围岩稳定;提供合适的通风、照明和排水设施;线路坡度平稳,避免拐弯半径过大,并使两者与列车动力匹配;断面符合设计要求
公路隧道	提供适宜的运营通风系统,使车辆废气有效排出;提供良好照明与排水设施;线路坡度和拐弯半径与行驶的车辆相适应;内衬材料与路面材料有良好的防火性,无需经常维修;断面符合设计要求
地铁隧道	维护围岩稳定;提供运营所需的通风、排水和照明设施;线路坡度和拐弯半径与行驶的车辆相适应;断面符合设计要求
矿山洞室与巷道	维护开采与运输期间围岩稳定;提供施工所需的通风、排水和照明设施;巷道坡度和拐弯半径与行驶车辆相适应;断面符合设计要求
基坑	维护基坑边坡稳定,控制地下水渗漏,结构形式与深度满足建筑结构功能要求

思考题

1. 说明地下建筑结构体系的组成内容及其各自的作用。
2. 怎样理解围岩是隧道承载结构的主要部分?
3. 分析地下建筑结构的特点以及地下工程发展受到的制约因素。
4. 地下支护结构的类型有哪些?

第 2 章

地下工程岩体结构与力学性质

岩体是地质体的组成部分,是漫长地质发展史的产物。岩体是由岩块和分割它们的不连续面组成的地质体。不连续面,也被称为结构面,在空间的分布与产出状态构成了岩体的结构。国际岩石力学学会将岩体中的断层、软弱层面、大多数节理、软弱片理和软弱带等各种力学因素形成的破裂面和破裂带定义为结构面。

地下工程岩体是指开挖有各类地下工程及隧道(包括建筑、水利、矿山、交通等领域的工程)的岩体。地下工程岩体的稳定性研究主要包括洞室、隧道等地下工程周围岩体的变形、破坏,以及如何控制其变形发展等问题。因这种工程所处的地质环境复杂,与其他结构工程相比,具有两个明显的特点:首先岩体中存在各种结构面,使岩体形成特定的结构,不同结构的岩体不仅具有不同的稳定特性,而且具有不同的应力传播及分布特性;另一个明显的特点是,岩体始终处于一定的地应力和渗流作用下,工程岩体的稳定性主要受这方面的影响和控制。

2.1 地下岩体结构类型

2.1.1 岩体的结构

岩体结构(Rockmass Structure)指岩体中结构面与结构体的排列组合关系。基本的岩体结构单元有两类四种(图 2-1)。

结构体指岩体中被结构面切割围限的岩石块体。它不同于岩块的概念。结构体的规模取决于结构面的密度,密度越小,结构体的规模越大,与结构面对应,划分为五级。

常用块度模数(单位体积内 IV 级结构体数)或结构体体积来表示结构体规模。

结构体常见的形状:柱状、板状、楔形、菱形,见图 2-2。

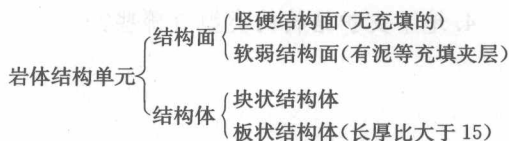


图 2-1 岩体结构单元

2.1.2 岩体结构类型

地下岩体结构面是由各种地质原因形成的,有的是原生的结构面如原生节理、层面等,有的是次生的结构面如构造、风化裂隙等(图 2-3)。

结构面的存在使岩体力学参数和变形的各向异性特征极为显著,不均质性也很突出。结构面使完整岩体变成不同岩块的组合体,从而赋予岩体不同的结构形态或破碎状态。根据它们对岩体力学性质和围岩稳定性的影响(称为岩体的结构效应),工程地质学将岩体划分为 4 种结构类型。

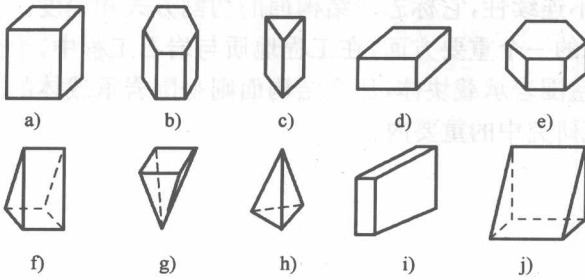


图 2-2 结构体形状典型类型示意图(孙广忠,1982)

a)、b)柱状结构体;d)、e)菱形或板状结构体;c)、f)、g)、h)、j)楔、锥形结构体;i)板状结构体

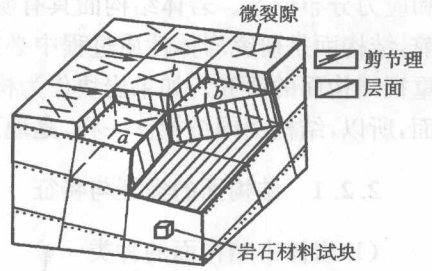


图 2-3 岩体结构示意图

a-方块状结构体;b-三棱柱状结构体

(1) 整体与块状结构

主要为均质、巨块状岩浆岩、变质岩,巨厚层、厚层沉积岩、正变质岩、块状岩浆岩、变质岩;主要结构形状为巨块状、块状、柱状;以原生构造节理为主,只具有少量贯穿性较好的节理裂隙,一般不超过1~2组,多呈闭合型,裂隙结构面间距大于0.7m,基本无危险结构面组成的落石掉块,偶有少量分离体。整体性好,强度高,结构面互相牵制,岩体稳定,可视为均质弹性各向同性体,可能发生的岩土工程问题为不稳定结构体的局部滑动或坍塌,以及深埋洞室的岩爆。

(2) 层状结构

主要为多层近似平行的薄层及中厚层状沉积岩、副变质岩;主要结构形状为层状、板状、透镜体;有层理、片理、节理,常有层间错动。接近均一的各向异性体,其变形及强度特征受层面及岩层组合控制,可视为弹塑性体,稳定性较差,可能发生的岩土工程问题为不稳定结构体可能产生滑塌,特别是岩层的弯张破坏及软弱岩层的塑性变形。

(3) 碎裂状结构

含镶嵌结构、层状碎裂结构和碎裂结构,为构造影响严重的破碎岩层;主要结构形状为块状;断层、断层破碎带、片理、层理及层间结构面较发育,裂隙结构面间距0.25~0.5m,结构面组数一般在2组以上,由许多分离体形成。完整性很差,整体强度很低,并受断裂等软弱结构面控制,多呈弹塑性介质,稳定性很差。应力的传播与岩体结构特征关系十分密切,并具有不连续性。但这种不连续性是有限度的,随着围岩压力的提高很快消失,随之转化为连续。可能发生的岩土工程问题为易引起规模较大的岩体失稳,地下水量大,岩体失稳。

(4) 散体状结构

主要为构造影响剧烈的断层破碎带,强风化带,全风化带;主要结构形状为碎屑状、颗粒状;断层破碎带交叉,构造及风化裂隙密集,结构面及组合错综复杂,并多充填黏性土,形成许多大小不一的分离岩块。完整性遭到极大破坏,稳定性极差,岩体属性接近松散体介质,可能发生的岩土工程问题为易引起规模较大的岩体失稳,地下水量增多,岩体失稳。

2.2 结构面类型与特征

岩体结构面是指岩体内开裂的和易开裂的面,如层理、节理、断层、片理等,又称不连续面。

结构面是在地质历史发展过程中,岩体内形成的具有一定方向、一定规模、一定形态和特征的地质界面,由于结构面的存在,不仅破坏了岩体的完整性,而且直接影响岩体的力学性质

和应力分布形态。岩体结构面具有明显的不连续性,它标志着结构面的切割方式和程度。目前,结构面是研究岩体性质过程中必须考虑的一个重要方面,在工程地质与岩石工程中,十分重视结构面的研究。如果岩块作为构成洞室围岩承载块体,那么结构面则是围岩承载体的弱面,所以,结构面同结构体一样,是地下建筑研究中的重要内容。

2.2.1 结构面的类型与特征

(1) 岩体中结构面的种类

岩体中有 3 类结构面:原生结构面、次生结构面和构造结构面。

①原生结构面:又称成岩结构面,它是岩石在成岩过程中形成的结构界面,如:岩浆岩的流层、流纹,冷却、缩胀裂隙及侵入接触面;沉积岩的层理层面、龟裂;变质岩的片理、板理等。

按成因不同又分 3 种:沉积结构面、火成结构面、变质结构面。

沉积结构面的地质特征:层面、层理、沉积间断面(不整合面、假整合面)、原生软夹层,沉积结构面产状与岩层一致,层面结合良好,风化后才沿层面剥落。

火成结构面特征:岩浆侵入,冷凝形成,结构面产状受侵入岩体与围岩接触面控制,延伸较广,原生节理粗糙、柱状节理等。

变质结构面特征:片理、片麻理、板理、软夹层。

②次生结构面:又称风化结构面、非构造结构面,是岩石受外动力地质作用(风、水、生物等)产生的,如由风化作用产生的风化裂隙等,这类节理在空间分布上常局限于地表浅部岩石中,对地下水的活动及工程建设有一定影响。

③构造结构面:指各类岩体在构造运动作用下形成的各种结构面,如劈理、节理、断层、层间错动等。

构造结构面中,含有压性、张性及扭性结构面(图 2-4~图 2-6),断层可深切地壳大到几十公里,小到地表数十米。对于工程而言,断层是延展性较好的结构面,结构面中的充填物多呈破碎状。

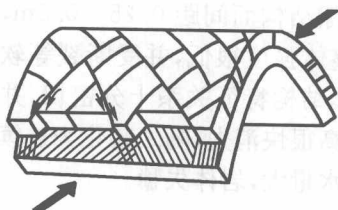


图 2-4 压性结构面

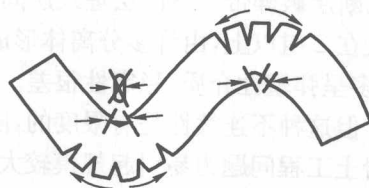


图 2-5 张性结构面

(2) 结构面分级

按发育程度和规模将结构面分为 5 级(图 2-7)。

I 级:对区域起控制作用的断层,至少穿越一个构造层。其规模延伸数十公里以上,宽度在数十米左右。

II 级:延展性强,宽度有限的地质界面,如不整合、假整合面等。其规模延伸数百米以上,宽度 1~5m。

III 级:层部断裂,如延展数十米的小断层。其规模延伸数百米以内,宽度小于 1m。

IV 级:结构面延展性差、无明显宽度的节理面。其规模延伸数十米以内,无明显宽度。

V 级:结构面延展性甚差,无宽度差别、随机分布的节理面。其规模延伸数米内。