

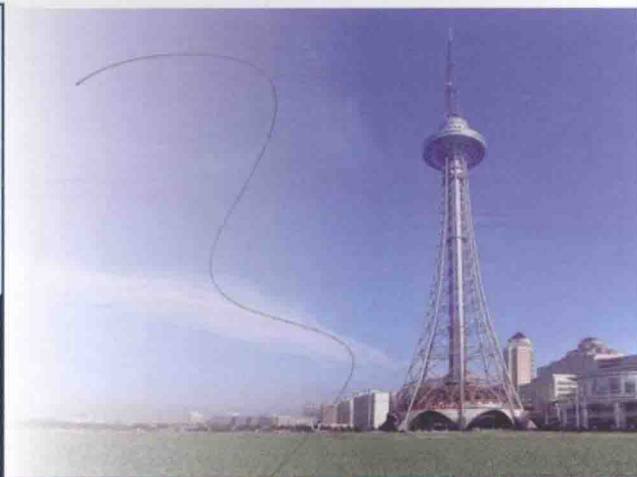


21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

特种结构

主 编 孙 克

提供电子课件



教材预览、申请样书



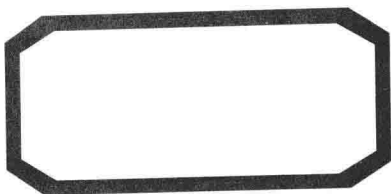
微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土

人才培养规划教材



特种结构

主编 孙 克

主审 史三元



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书主要研究挡土墙、建筑深基坑、贮液池、水塔、筒仓、电视塔等特种结构的内力和变形，并对其强度、刚度及稳定性进行设计；从作用、荷载组合、内力分析、内力组合、截面设计及构造要求上进行详尽讲解，以提高学生的分析能力及解决工程问题的能力。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材，也可作为土木工程设计、施工、科研及管理等相关人员的学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

特种结构 / 孙克主编. —北京: 北京大学出版社, 2016. 5
(21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)
ISBN 978-7-301-27067-7

I. ①特… II. ①孙… III. ①建筑结构—高等学校—教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 079140 号

- 书 名** 特种结构
Tezhong Jiegou
- 著作责任者** 孙克 主编
- 策划编辑** 卢东
- 责任编辑** 伍大维
- 标准书号** ISBN 978-7-301-27067-7
- 出版发行** 北京大学出版社
- 地 址** 北京市海淀区成府路 205 号 100871
- 网 址** <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
- 电子信箱** pup_6@163.com
- 电 话** 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
- 印刷者** 北京大学印刷厂
- 经 销 者** 新华书店
- 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 12 印张 278 千字
2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷
- 定 价** 30.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题，请与出版部联系，电话: 010-62756370

前 言

特种结构是指除普通的工业与民用建筑结构、交通土建工程、矿山、码头和水利水电工程研究对象以外，在土木工程中有广泛用途、功能比较特殊，且结构的作用及结构的形式比较复杂的工程结构。本书结合特种结构的发展趋势，按照土木工程专业本科教育人才培养目标及教学大纲要求，根据最新规范及土木工程对技术人才的需求情况，结合编者多年的教学经验编写。

本书注重先进性与实用性相结合，注重新规范和新成果的引用，通过具体算例和设计方法来阐述实际问题的解决思路，力求重点突出，简明实用。全书具有以下特色。

(1) 注重对基本概念及理论的准确掌握，通过例题来讲解设计方法的运用，以提高学生解决实际问题的能力。

(2) 力图对新设计方法和理论进行讲述，以加强学生对新规范及相关概念的理解和运用。

(3) 本书根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)等最新规范编写。

(4) 每章详细介绍了结构形态、设计原理、计算方法及构造要求，既有整体的系统性，又有各章的独立性，适应多层次、不同专业方向的教学需要。

本书由河北工程大学孙克主编，由河北工程大学史三元教授主审。编者在编写过程中参阅了大量文献，在此特向相关作者表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中的不足和疏漏之处恳请广大同仁及读者批评指正。

编 者

2015年12月

目 录

第1章 绪论	1	3.5 基坑支护结构设计	49
1.1 特种结构的研究对象与内容	2	3.5.1 悬臂式支护结构	49
1.2 特种结构的学习方法	5	3.5.2 单锚式支护结构	54
本章小结	5	3.5.3 多层锚拉支护结构	58
思考题	5	3.6 基坑稳定性分析	62
第2章 挡土墙	6	3.6.1 整体抗滑移稳定性分析	62
2.1 挡土墙概述	7	3.6.2 抗倾覆稳定性分析	63
2.1.1 挡土墙的分类及适用范围	7	3.6.3 基底抗隆起稳定性分析	64
2.1.2 挡土墙设计的基本原则	7	本章小结	66
2.2 重力式挡土墙	8	思考题	67
2.2.1 重力式挡土墙的构造特点	9	习题	67
2.2.2 重力式挡土墙的设计计算	9	第4章 贮液池	68
2.3 悬臂式挡土墙	14	4.1 贮液池概述	69
2.3.1 悬臂式挡土墙的构造特点	14	4.1.1 贮液池的定义、应用及尺寸的 确定	69
2.3.2 悬臂式挡土墙的设计计算	15	4.1.2 贮液池的类别	69
2.4 扶臂式挡土墙	20	4.1.3 贮液池功能要求	70
2.4.1 扶臂式挡土墙的构造特点	20	4.1.4 贮液池稳定性要求	71
2.4.2 扶臂式挡土墙的设计计算	21	4.2 贮液池的荷载及其组合	72
2.5 挡土墙的抗震验算	22	4.2.1 贮液池的荷载计算	72
2.6 挡土墙计算例题	25	4.2.2 贮液池设计时的荷载组合	74
本章小结	32	4.3 圆形贮液池	74
思考题	33	4.3.1 圆形贮液池的构造特点	74
习题	33	4.3.2 池壁与顶底板的连接计算简化 方法	76
第3章 建筑深基坑	34	4.3.3 抗震构造要求	77
3.1 建筑深基坑概述	35	4.3.4 圆形水池池壁的内力计算	78
3.2 支护结构的类型及特点	35	4.3.5 顶盖与底板计算	85
3.3 基坑支护设计原则与内容	38	4.3.6 池壁截面设计	85
3.4 支护结构上的荷载及水、土压力 计算	39	4.3.7 计算例题	86
3.4.1 土压力理论	39	4.4 矩形贮液池	91
3.4.2 水压力计算	48	4.4.1 矩形贮液池的分类	91

4.4.2 矩形贮液池的结构布置原则	92	6.4.3 深仓的计算	144
4.4.3 矩形贮液池池壁的计算	92	6.5 筒仓构造	145
4.4.4 顶盖与底板计算	101	6.6 计算例题	146
4.4.5 矩形贮液池的构造要求	101	本章小结	153
4.4.6 计算例题	103	思考题	153
本章小结	107	习题	153
思考题	107	第7章 电视塔	154
习题	108	7.1 电视塔概述	155
第5章 水塔	110	7.2 电视塔所用的材料	157
5.1 水箱	111	7.3 混凝土电视塔结构设计的基本原则	158
5.1.1 平底式水箱	111	7.3.1 基本规定	158
5.1.2 英兹式水箱	113	7.3.2 承载能力极限状态的计算要求	158
5.1.3 倒锥壳式水箱	113	7.3.3 正常使用极限状态的验算要求	160
5.2 水箱构造与设计	114	7.3.4 电视塔上的作用及计算	160
5.2.1 水箱构造	114	7.4 塔体的变形和内力计算	165
5.2.2 水箱设计	115	7.4.1 概述	165
5.3 塔身	119	7.4.2 塔体变形和内力计算	166
5.3.1 塔身构造	119	7.4.3 钢筋混凝土塔筒承载力的计算	167
5.3.2 支架式塔身计算	120	7.4.4 圆形筒塔的附加弯矩计算	168
5.3.3 筒壁式塔身计算	123	7.5 塔楼的变形与内力计算	170
5.3.4 塔身抗震设计	125	7.6 电视塔地基与基础计算	171
5.4 水塔基础	126	7.6.1 地基计算	171
5.5 计算例题	126	7.6.2 基础计算	173
本章小结	127	7.7 构造要求	175
思考题	128	7.7.1 钢筋混凝土	175
习题	128	7.7.2 预应力混凝土	176
第6章 筒仓	129	7.7.3 塔体	177
6.1 筒仓的类别及结构	130	7.7.4 塔楼	177
6.2 筒仓的布置原则	131	7.7.5 基础	178
6.2.1 浅仓的布置	132	7.8 计算例题	178
6.2.2 深仓的布置	132	本章小结	182
6.3 筒仓的荷载及效应组合	134	思考题	182
6.3.1 荷载分类及效应组合	134	习题	182
6.3.2 贮料压力的计算	134	参考文献	183
6.4 筒仓结构计算	138		
6.4.1 一般规定	138		
6.4.2 浅仓的计算	138		

第1章

绪论

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
特种结构的概念	重点掌握	特种结构的研究对象、应用情况、特种结构的概念解释
研究的内容	掌握	对挡土墙、贮液池等有清楚的认识
学习的方法	了解	建筑物及构筑物相关规范、相关课程等

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
对混凝土结构设计原理、工程力学等知识综合应用	掌握	解决建筑物及构筑物的设计计算

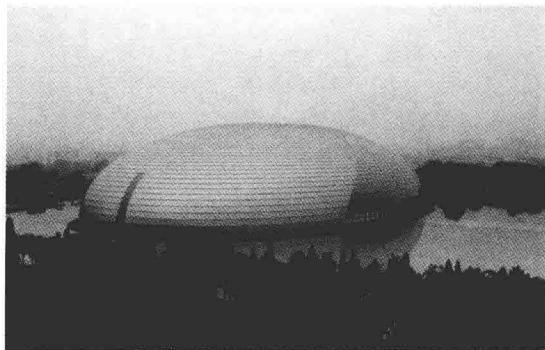


导入案例

壳体是特种结构设计中常用的一种形式,如大跨度建筑物顶盖、中小跨度屋面板、工程结构与衬砌、各种工业用管道压力容器与冷却塔、反应堆安全壳、无线电塔、贮液罐等。工程结构中采用的壳体多由钢筋混凝土制成。壳体的曲面也称无筋扁壳,可由直线或曲线旋转而形成,其大部分是正高斯曲率,或由直线或曲线平移而形成,也可根据特殊情况而形成复杂的曲面。壳体的内力和变形计算比较复杂,为了简化,对薄壳通常采用以下假设:材料是弹性的、均匀的,按弹性理论计算;壳体各点的位移比壳体厚度小得多,按照小挠度理论计算。

著名的中国国家大剧院也是壳体结构,位于天安门广场西侧、西长安街以南,由国家大剧院主体建筑及南北两侧的水下长廊、人工湖和绿地组成,是亚洲最大的剧院。

剧院外部为钢结构壳体,呈半椭圆形,由多块钛金属板拼接而成;中部为渐开式玻璃幕墙,由多块超白玻璃巧妙拼接而成。壳体外环绕人工湖,各种通道和入口都设在水面下,行人需从一条 80m 长的水下通道进入演出大厅。整个建筑造型新颖、前卫,构思独特。每当夜幕降临时,透过渐开的“帷幕”,金碧辉煌的歌剧院尽收眼底,仿佛湖中的一颗明珠,璀璨夺目,是“北京新十六景”之一。



国家大剧院采用壳体结构图

国家大剧院内部共五层，分别设置有歌剧院、音乐厅、戏剧场和小剧场。游人可从北门入口进入，经东西两侧展厅，乘坐直达电梯抵达各演出厅。

特种结构，是指除普通的工业与民用建筑结构、交通土建工程、矿山、码头和水利水电工程研究对象以外，在土木工程中有广泛用途、功能比较特殊，且结构的作用及结构的形式比较复杂的工程结构。从事土木工程专业的人员，掌握特种结构的分析及设计施工是十分必要的。

1.1 特种结构的研究对象与内容

挡土墙、建筑深基坑、贮液池、水塔、筒仓、烟囱等，其结构大多采用钢筋混凝土结构（混凝土在行业用语中又称为“砼”），本课程主要讲述特种钢筋混凝土结构。

挡土墙是建筑工程、道路工程、桥梁工程、矿山工程和码头工程中应用很广的一种支挡结构，有自重式、薄壁式、板桩式等。

建筑深基坑结构（图 1.1）是随着城市高层建筑的大量修建而发展起来的一种新型特种结构，目前对其研究不是很深入，其实践超前于理论，设计方法还有待逐步完善，但其应用较广，本课程对其中较常用的结构进行分析讲解。

贮液池是市政工程中用途很广的特种结构，是可以贮存石油、水等液体的构筑物。对它分析设计的研究也比较多，其设计理论相对成熟。常用的水池多建造在地面和地下，按材料分为钢水池、钢筋混凝土水池、钢丝网水泥水池、砖石水池等，其中钢筋混凝土水池具有耐久性好、节约钢材、构造简单等优点，应用最广；按施工方法分为预制装配式水池和现浇整体式水池。目前推荐用预制圆弧形壁板与工字形柱组成池壁的预制装配式圆形水池；预制装配式矩形水池则用 V 形折板作池壁。作为一种水池，泳池是建筑工程中的一个重要部分。

随着人们生活水平的提高，现在别墅带私家泳池已不是新鲜事。泳池（图 1.2）采用不规则形状的池沿，再配合风景如画的环境，可以形成类似天然池塘或礁湖的效果。

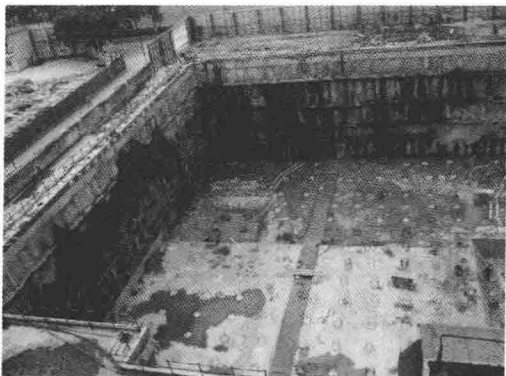


图 1.1 建筑深基坑结构



图 1.2 泳池

水塔是储水和配水的高耸结构，是给水工程中常用的构筑物，用来保持和调节水管网中的水量和水压，由水箱、塔身和基础三部分组成。水塔一样用于储水，不同于水池的是水塔用支架或支筒支承，按建筑材料分为钢筋混凝土水塔、钢水塔、砖石塔身与钢筋混凝土水箱组合的水塔。水箱也可用钢丝网水泥、玻璃钢和木材建造，过去欧洲曾建造过一些具有城堡式外形的水塔。法国有一座多功能的水塔，在最高处设置水箱，中部为办公用房，底层是商场。我国也有烟囱和水塔建在一起的双功能构筑物。

水塔（图 1.3）的形式常有圆柱壳式和倒锥壳式，在我国这两种形式应用最多，此外还有球形、箱形、碗形和水珠形等多种。

塔身一般用钢筋混凝土或砖石做成圆筒形，塔身支架多用钢筋混凝土刚架或钢构架。

水塔基础有钢筋混凝土圆板基础、环板基础、单个锥壳与组合锥壳基础和桩基础。当水塔容量较小、高度不大时，也可用砖石材料砌筑的刚性基础。

由我国援建的阿尔及利亚水塔容积 2500m^3 ，总高度为 47.46m ，球壳外径为 18.6m ，采用了三种不同的厚度（图 1.4）。

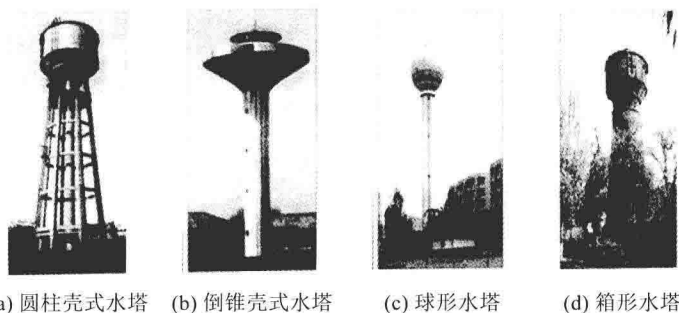


图 1.3 圆柱壳式、倒锥壳式及球形和箱形水塔

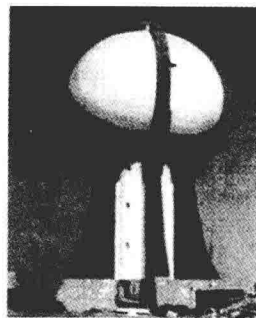


图 1.4 阿尔及利亚水塔

筒仓是贮存粒状和粉状松散物体（如谷物、面粉、水泥、碎煤、精矿粉等）的构筑物，是水泥、粮储和矿山中用途很广的一种结构。根据所用的材料，筒仓可做成钢筋混凝土筒仓、钢筒仓和砖砌筒仓。钢筋混凝土筒仓又可分为整体式浇筑和预制装配、预应力和非预应力的筒仓。从经济、耐久和抗冲击性能等方面考虑，我国目前应用最广泛的是整体浇筑的普通钢筋混凝土筒仓。

按照平面形状的不同，筒仓可做成圆形、矩形（正方形）、多边形和菱形，目前国内使用最多的是圆形和矩形（正方形）筒仓。按照贮料高度与直径或宽度的比例关系，可将筒仓划分为深仓和浅仓。深仓主要供长期贮料用，从深仓中卸料需用动力设施或人力；浅仓主要作为短期贮料用，可以自动卸料。

烟囱是工业中常用的构筑物，是把烟气排入高空的高耸结构，能改善燃烧条件，减轻烟气对环境的污染，主要用在工厂和北方的居民生活区供热系统的主要附属构筑物上，其设计、施工均较复杂。烟囱按建筑材料可分为砖烟囱、钢筋混凝土烟囱和钢烟囱三类。

钢筋混凝土烟囱多用于高度超过 50m 的烟囱，外形多为圆锥形，一般采用滑模施工。

其优点是自重较小，造型美观，整体性、抗风性和抗震性好，施工简便，维修量小。按内衬布置方式的不同，可分为单筒式、双筒式和多筒式。目前我国最高的单筒式钢筋混凝土烟囱为 210m，最高的多筒式钢筋混凝土烟囱是秦岭电厂 212m 高的四筒式烟囱。现在世界上已建成的高度超过 300m 的烟囱达数十座，例如米切尔电站的单筒式钢筋混凝土烟囱高达 368m。如图 1.5 所示为秦山核电站烟囱。

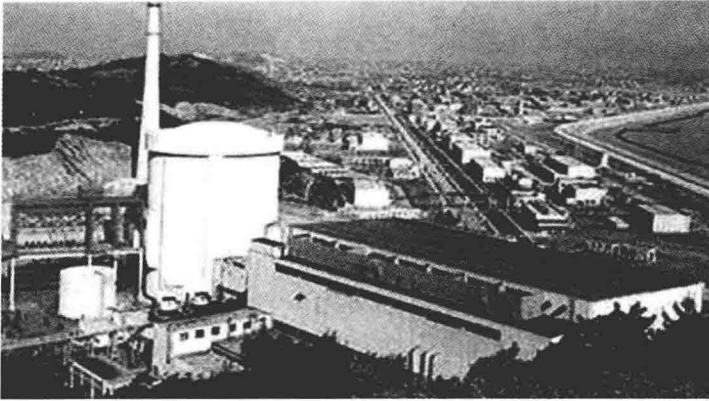


图 1.5 秦山核电站烟囱

电视塔中常见的混凝土电视塔（图 1.6），是塔体部分或全部由混凝土构成的电视塔，其组成包括塔体、桅杆、塔基础。塔基础顶面以上竖向布置的受力结构称为塔体。塔楼以上的塔体部分称为桅杆，主要用于安装发射天线，由混凝土和钢结构构成。塔体的中部或顶部的建筑由单层或多层空间组成，部分或全部挑出塔体外部的称为塔楼。在塔体和地基间承受塔体各种作用的结构称为塔基础。

其他特种构筑物包括核电站。如图 1.7 所示为大亚湾核电站。



图 1.6 上海电视塔

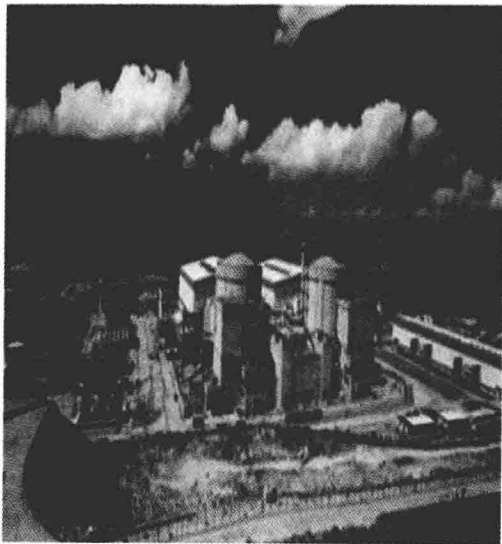


图 1.7 大亚湾核电站

1.2 特种结构的学习方法

“特种结构”是土木工程的一门专业课，它的前续课程有“材料力学”“结构力学”“钢筋混凝土结构”“土力学与地基基础”“工程结构抗震设计”等，只有学习了相关的前续课程才能够学习特种结构，前续课程是后续课程知识的基础。特种结构由于结构形式较为复杂，对结构的各种作用较难确定，因此给结构分析带来了较多困难。结构分析是一个关键环节，对研究结构工程专业方向的人员尤为重要，分析中应结合其复杂的构造设计。因此在学习特种结构时，应注意以下问题：

(1) 掌握荷载及其他作用的计算方法和组合方法，使得荷载及各种作用计算相对准确；

(2) 正确选用结构计算模型，考虑主要因素，忽略次要因素，以便使分析方法简便易行；

(3) 采用简单可行的结构分析方法，以提高分析速度，又使结果相对准确；

(4) 结合相关规范掌握各种特种结构设计的基本方法，既要满足强度、刚度、稳定性等基本要求，又要使计算模型和计算方法未考虑的因素和不足之处通过构造措施来解决；

(5) 学好本门课要有扎实的数学、力学和结构设计方面的知识；

(6) 注重用理论结合实践的方法来掌握特种结构知识，并使知识面扩大，以便解决工程实际问题。

本章小结

本章介绍了特种结构的概念和本课程研究的内容，包括挡土墙、基坑支护、贮液池、水塔、筒仓、电视塔等。此外，还介绍了相关学习方法。

重点掌握特种结构的概念，以及课程的学习内容和方法。

思考题

- 1.1 特种结构的概念是什么？
- 1.2 特种结构研究的内容是什么？
- 1.3 特种结构有何特点？

第2章

挡土墙

本章教学要点

知识模块	掌握程度	知识要点
挡土墙的概念	掌握	工程作用、受力机理、应用情况、设计原则、分类
自重式挡土墙 悬臂式挡土墙 扶壁式挡土墙	掌握	受力机理、应用范围、特点
	掌握	构造要求：墙身的高度、墙顶宽度的规定，墙面及墙背坡度的规定
	重点掌握	设计计算内容：侧压力计算、强度计算、地基承载力验算、稳定性验算、扶壁式挡土墙的扶壁设计
	了解	抗震计算

本章技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
计算模型建立	掌握	将结构及构件抽象为计算模型、荷载的统计及组合、截面的设计

导入案例

挡土墙 (Retaining Wall) 为一种建于坡地的构筑物,用以加固土坡或石坡,防止山崩,防止土块和石块落下,以保护行人和附近建筑物的安全,也可防止水土侵蚀。护土墙材料可以是石头、木材、砖或钢铁,有多种形式。挡土墙中常有排水设计,以防止水在护土墙后积聚,以免水压过大使护土墙倒塌。由于重力式挡土墙靠自重维持平衡稳定,因此体积、重量都大,在软弱地基上修建往往受到承载力的限制。如果墙太高,则耗费材料多,不经济。当地基较好,挡土墙高度不大,本地又有可用石料时,应当首先选用重力式挡土墙。重力式挡土墙一般不配钢筋或只在局部范围内配以少量的钢筋,墙高在 6m 以下,在地层稳定、开挖土石方时不会危及相邻建筑物安全的地段,其经济效益明显。



自重式挡土墙图



挡土墙坍塌图

2.1 挡土墙概述

保持结构物两侧的土体、物料有一定高差的结构，称为支挡结构。其中以刚性较大的墙体支承填土和物料并保证其稳定的称为挡土墙，是用来抵挡和防止土体坍塌的构筑物。凡土体有突变的地方，都需要做挡土墙。

挡土墙在土木工程中得到广泛的应用，如公路、铁路、桥台、水利、港湾工程、水闸岸和建筑周围等。随着我国基本建设步伐的加快，在道路、水利、建筑和市政工程中挡土墙的应用越来越多，因此，挡土墙的设计是否合理，直接影响工程的安全和经济效益。

2.1.1 挡土墙的分类及适用范围

挡土墙的分类方法很多，一般可按结构形式、建筑材料、施工方法及所处环境条件等进行划分。

按其结构形式及受力特点，常见的挡土墙可分为重力式、半重力式、衡重式、悬臂式、扶臂式、锚杆式、锚定板式、加筋土式、板桩式及地下连续墙等；按材料类型，可分为木质、砖、石砌、混凝土及钢筋混凝土挡土墙；按所处的环境条件，可分为一般地区、浸水地区和地震区等挡土墙。

挡土墙作为一种结构物，其类型是各式各样的，其适用范围取决于墙址地形、工程地质、水文地质、建筑材料、墙的用途、施工方法、技术经济条件及当地的经验积累等因素。

2.1.2 挡土墙设计的基本原则

挡土墙应保证填土及本身的稳定，另外墙身应具有足够的强度，以保证挡土墙的安全使用，同时设计中还要做到经济合理。因此，挡土墙的设计应遵循以下基本原则。

(1) 挡土墙必须保证结构安全正常使用，因此应满足以下要求：

- ①挡土墙不能滑移；
- ②挡土墙不能倾覆；
- ③挡土墙墙身要有足够的强度；
- ④挡土墙的基础要满足承载力的要求。

(2) 根据工程要求以及地形地质条件，确定挡土墙结构的平面布置和高度，选择挡土墙的类型及截面尺寸。

(3) 在满足规范要求的前提下使挡土墙结构与环境协调。

(4) 为保证挡土墙的耐久性，在设计中还需对使用过程的维修给出相应规定。

2.2 重力式挡土墙

重力式挡土墙一般由砖、石、混凝土制成，由土压力所引起的倾覆力矩靠挡土墙自重产生的抵抗力矩来平衡和稳定，同时对砖、石砌体又不允许出现受拉面，致使结构的体积庞大。但此类挡土墙不需要钢材，且能就地取材。重力式挡土墙是公路工程、铁路工程、水利工程、港口工程、矿山工程和建筑工程中常见的一种挡土墙，可用石砌或混凝土浇筑，一般截面都做成梯形，如图 2.1 所示。它的优点是能就地取材，施工方便，经济效益好。

墙背一侧较高的土体称为回填土。在墙背后，不论是填充土还是未经扰动的土体或其他物料，均称为回填土。墙背填土表面的荷载称为超载。挡土墙回填土一侧称为墙背，墙的另一侧为墙面，墙背与基底的相交处称为墙踵，墙面与基底相交处称为墙趾。墙面、墙背的倾斜度是指两者与垂直面的夹角，通常工程中常用单位垂直高度与斜面相应水平投影长度之比来表示，如墙背侧斜度为 $1:n$ (图 2.1)。

由于重力式挡土墙靠自重维持平衡，因此体积和重量都较大，在较弱地基上修建往往受到承载力的限制。当地基情况较好，挡土墙高度不大，本地又有可用的石料时，可首选重力式挡土墙。重力式挡土墙高一般适用于 6m 以下，当墙高大于 6m 时采用其他形式的挡土墙更为经济。重力式挡土墙可根据其墙背的坡度，分为仰斜式 [图 2.2(a)]、垂直式 [图 2.2(b)] 和俯斜式 [图 2.2(c)] 三种类型。

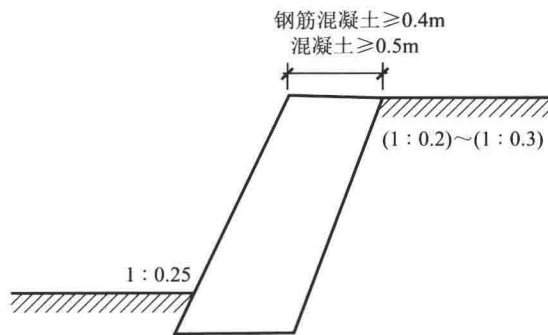


图 2.1 自重式挡土墙

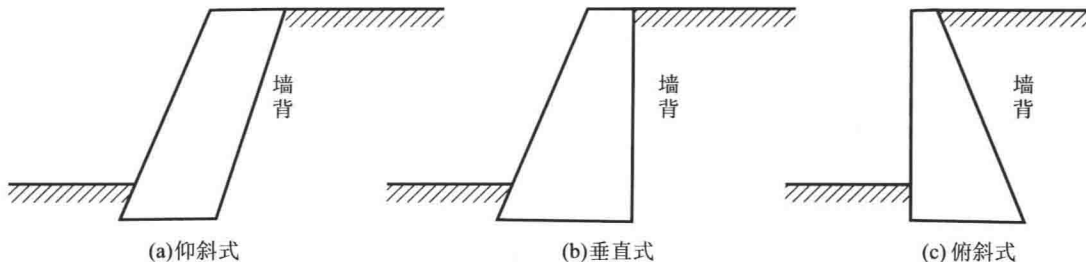


图 2.2 挡土墙的三种形式

按照土压力理论, 仰斜墙背的主动土压力最小, 而俯斜墙背的主动土压力最大, 垂直墙背介于两者之间。

2.2.1 重力式挡土墙的构造特点

重力式挡土墙的截面尺寸随墙的截面形式和墙的高度而变化。墙面坡度和墙背坡度一般选在 (1:0.2) ~ (1:0.3) 之间, 但为了保证墙身稳定和避免施工困难, 墙背坡度不宜小于 1:0.25, 墙面宜尽量与墙背平行 (图 2.1)。

当地面坡度较陡、墙背垂直时, 墙面坡度可取 (1:0.05) ~ (1:0.2); 当地势平坦时, 挡土墙的坡度可较缓, 但不宜缓于 1:0.4。

采用混凝土块或石砌的挡土墙, 墙顶宽不宜小于 0.5m; 对整体浇筑的素混凝土墙, 墙顶宽不应小于 0.4m; 对钢筋混凝土挡土墙, 墙顶宽不应小于 0.2m。而墙底宽应根据计算最后确定。

当墙身高度超过一定限度时, 基底压应力往往是控制截面尺寸的重要因素。为了使基底压应力不超过地基承载力, 可在墙底加设墙趾台阶, 这也对挡土墙的抗倾覆稳定有利。墙趾的高度与高宽比, 应按材料的刚性角确定, 墙趾台阶连线与竖直线之间的夹角 θ 对石砌挡土墙不大于 35° , 混凝土挡土墙不大于 45° 。一般趾宽不大于墙高的 1/20, 也不应小于 0.1m, 墙趾高度应按刚性角确定, 但不宜小于 0.4m。

伸缩缝为每隔 10 ~ 20m 设置一道。

2.2.2 重力式挡土墙的设计计算

1. 作用于挡土墙上的荷载

1) 作用于挡土墙上的荷载分类

按其作用性质, 可将作用在挡土墙的荷载分为以下两种。

(1) 永久荷载。是指长期作用在挡土墙上的不变荷载, 如挡土墙的自重、土压力、浮力、地基反力及摩擦力等。

(2) 可变荷载。主要是指作用在挡土墙上的活荷载、动荷载、波浪压力、洪水水压力及浮力、温度应力和地震作用等。

2) 荷载计算

(1) 挡土墙自重。计算公式为

$$G = \gamma_s V \quad (2.1)$$

式中: γ_s ——挡土墙的重度 (kN/m^3);

V ——挡土墙每延米长度的体积 (m^3/m)。

(2) 土压力。按库仑土压力计算公式确定。

(3) 静水压力。垂直作用于挡土墙某一点的静水压力强度为

$$p = \gamma_w H_1 \quad (2.2)$$

式中： γ_w ——水的重度，取为 9.8 kN/m^3 ；

H_1 ——计算点到水面的垂直距离 (m)。

(4) 动水压力。当水流流经挡土墙时，由于流向流速的改变，水流将对挡土墙产生动水压力作用，一般可由下式计算：

$$p_d = k\gamma_w\omega\cdot(v^2/g)\cdot(1-\cos\alpha)/\sin\alpha \quad (2.3)$$

式中： p_d ——作用于挡土墙上的动水压力 (kN)；

k ——水流绕流系数，与挡土墙形状有关，一般可取为 1.0；

ω ——水流作用于挡土墙的面积 (m^2)，当取 1m 宽计算时 $\omega=1\times H$ ， H 为水深；

α ——水流流向与挡土墙面之间的夹角 ($^\circ$)；

v ——水流平均速度 (m/s)；

g ——重力加速度，取为 9.8 m/s^2 。

动水压力分布，可假定为倒三角形，其合力作用点到水平面为水深的 1/3。当流速大于 10 m/s 时，尚应考虑水深的脉动冲击。

(5) 波浪压力。濒临湖海、水库及较大的江河的挡土墙或护岸，波浪的冲击压力及波浪滚退时的动水压力作用，常是挡土墙等构筑物破坏的重要因素。计算波浪压力需要确定计算风速值、有效吹程、波浪要素、水面的风高度及波浪压力图形，具体计算方法可参见相关文献。

(6) 浮力。作用于挡土墙基础上的浮力可由下式计算：

$$G_F = \gamma_w V_1 \quad (2.4)$$

式中： γ_w ——水的重度；

V_1 ——墙体水下部分的体积。

3) 荷载效应组合

挡土墙必须具有足够的整体稳定性和结构强度。设计时应验算挡土墙在土压力作用下和其他外荷载作用下沿基底的滑移稳定性，验算墙身抗倾覆稳定性，验算墙身强度及地基承载力。在考虑挡土墙不同的计算项目时，如整体稳定、墙身稳定计算，应根据使用时的情况和工作条件进行荷载组合。在荷载组合时应遵循如下原则：按实际可能同时出现的最不利组合考虑。挡土墙设计时，应根据使用过程中在结构上可能出现的荷载，按承载力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载效应组合。

对于承载力极限状态，应采用荷载效应的基本组合和偶然组合进行设计，其表达式为

$$\gamma_0 S \leq R \quad (2.5)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，按其重要性分为三级，分别取为 1.1、1.0、0.9；

S ——荷载效应组合的设计值；

R ——结构抗力设计值。

对挡土墙的基本组合，其荷载效应组合的设计值应按下式确定：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (2.6)$$

式中： γ_G ——永久荷载的安全分项系数，在进行挡土墙墙身强度计算时可取 $\gamma_G = 1.0$ ，对

抗滑移、抗倾覆有利的永久荷载取 0.9;

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——分别为第 1 个和第 i 个可变荷载的安全分项系数, 一般不利时取 1.4;

S_{Gk} ——永久荷载标准值产生的效应;

S_{Q1k} ——第 1 个可变荷载标准值产生的效应, 一般为最主要的可变荷载;

S_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值;

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载组合系数, 当与风荷载组合时取 0.8, 当无风荷载参与组合时取 1.0。

2. 挡土墙的稳定验算

1) 作用在挡土墙上的荷载效应组合

根据《建筑地基基础设计规范》规定, 验算挡土墙的稳定, 应用基本荷载组合进行计算, 各分项系数取值按照下列原则: 当为自重与土压力组合进行计算时, 分项系数按有利时取 0.9, 不利时取 1.0, 而可变荷载分项系数取 1.4。挡土墙的被动土压力一般不予考虑, 当基础较深, 地基稳定, 不受水流冲刷和扰动破坏时, 结合墙身的稳定条件可考虑被动土压力。在浸水和地震等特殊情况下, 按偶然作用组合考虑。

2) 一般地区挡土墙的稳定验算

挡土墙的整体稳定应按照国家有关规范, 根据一般地区挡土墙的受力进行验算。具体验算如下。

(1) 抗滑移稳定验算。验算公式为

$$K_s = (G_n + E_{an})\mu / (E_{at} - G_t) \geq 1.3 \quad (2.7)$$

(2) 抗倾覆稳定验算。验算公式为

$$K_1 = (Gx_0 + E_{az}x_f) / E_{ax}z_f \geq 1.6 \quad (2.8)$$

抗滑移和抗倾覆效应如图 2.3 所示。

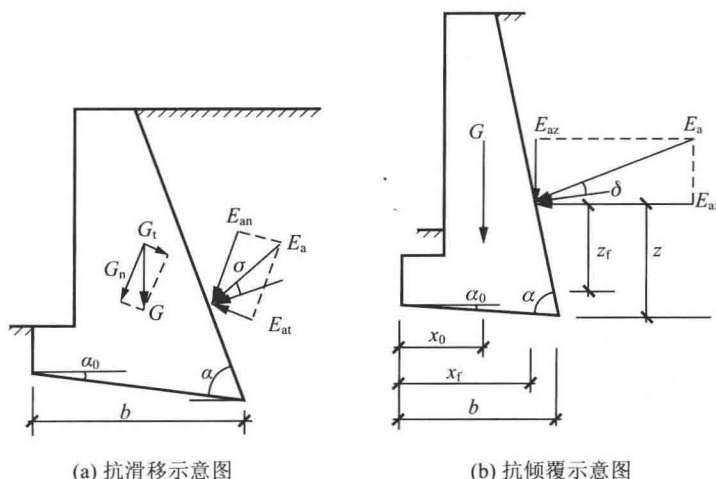


图 2.3 抗滑移和抗倾覆效应

式中: G ——挡土墙每延米自重;

E_a ——挡土墙每延米土压力;