

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

特种结构 (第4版)

T Z J G

朱彦鹏 主 编
邹银生 主 审



WUTP

武汉理工大学出版社

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

特种结构

(第4版)

主 编 朱彦鹏
主 审 邹银生

武汉理工大学出版社

内 容 提 要

特种结构是研究具有特殊用途、结构形式独特的支挡结构、贮液池、水塔、筒仓、烟囱等特殊结构的内力和变形,并根据其结构效应对结构进行强度、刚度和稳定性设计。由于本课程研究对象较复杂,解决问题的过程中遇到的疑难问题较多,本书试图根据《给水排水工程结构设计规范》、《钢筋混凝土筒仓设计规范》、《烟囱设计规范》、《建筑地基基础设计规范》等国家规范,力求深入浅出,循序渐进,理论联系实际,紧密结合工程实践,通过计算实例将支挡结构、贮液池、水塔、储料仓和烟囱等特种结构的荷载计算、地震作用计算以及结构的内力分析和设计方法介绍给学生。通过理论与实际结合,提高学生分析问题和解决问题的能力,并给学生自学提供方便。

本书可作为高等院校土木工程专业教材,也可供工程设计、施工和科研单位的工程技术人员参考。

作 者 简 介

朱彦鹏 男,1960年9月生,教授,博士生导师,兰州理工大学土木工程学院院长。1982年本科毕业于甘肃工业大学工业与民用建筑工程专业,1984年获重庆建筑工程学院结构工程硕士学位。兰州理工大学结构工程研究所所长,国家一级注册结构工程师,学科责任教授,结构工程博士点学科学术带头人,甘肃省跨世纪学科带头人。近年来致力于结构工程和岩土工程方面的研究工作,特别在高层建筑深基坑支护、黄土边坡支挡结构分析与设计、黄土地区建筑纠偏及工程事故分析与处理等方面,完成了一批具有实用意义的科研课题。先后承担了近80余项纵、横向科研课题。获省部级科技进步奖6项,厅局级科技进步奖10项。发表各类学术论文120余篇,其中EI检索15篇。主编《特种结构》、《钢筋混凝土与砌体结构》、《混凝土结构原理》、《混凝土结构设计》、《支挡结构设计》等教材7部,出版《支挡结构设计计算手册》专著1部。

E-mail:zhuyp@lut.cn

图书在版编目(CIP)数据

特种结构/朱彦鹏主编. —4版. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.7

ISBN 978-7-5629-3779-1

I. ①特… II. ①朱… III. ①建筑结构 IV. TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第174204号

项目负责人:蔡德民 刘永坚 田道全

责任编辑:高 英

责任校对:张明华

装帧设计:湖北语新文化书籍设计工作室

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路122号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:14.5

字 数:470千字

版 次:2012年7月第4版

印 次:2012年7月第1次印刷 总第11次印刷

印 数:42001—47000册

定 价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

第 4 版前言

《特种结构》第 1 版出版发行已有十多年,承蒙读者厚爱,使用情况良好。随着我国土木工程技术的快速发展,《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《建筑结构抗震设计规范》(GB 50011—2010)和《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)等规范颁布以后,本书第 3 版中有些内容已不能适应教学要求,本次修改主要在第 3 版的基础上,对与新规范不符及教学中发现的不妥之处进行了修改,希望能更好地适应目前的教学要求和工程技术人员的使用要求。

本书第 1 版由朱彦鹏主编,邹银生主审,参加编写的有朱彦鹏、何培玲、王秀丽、王世琪。本书第 2 版由主编朱彦鹏教授和编者王秀丽教授以及周勇等共同修改完成。本书第 3 版由主编朱彦鹏教授和编者王秀丽教授,以及周勇、谭坚贞、赵丹丹和叶帅华等共同修改完成。本书第 4 版是由主编朱彦鹏教授和研究生马晓瑞共同修改完成,在此对除作者以外的其他人员的辛勤劳动表示感谢。

再版前,中国矿业大学夏军武教授、厦门大学石建光教授等提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

另外,本次修改完成后,作者会尽快随书出版电子课件,以方便教学使用。

希望各位使用者能关注本书,多提宝贵意见,以便进一步完善。

编 者

2012 年 5 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 特种结构的研究内容	(1)
1.2 特种结构的学习方法	(1)
2 挡土墙	(2)
2.1 挡土墙设计的基本原理	(2)
2.1.1 挡土墙的分类及适用范围	(2)
2.1.2 挡土墙设计的基本原则	(4)
2.2 重力式挡土墙设计	(4)
2.2.1 重力式挡土墙的构造	(4)
2.2.2 重力式挡土墙的设计	(5)
2.3 悬臂式挡土墙	(10)
2.3.1 悬臂式挡土墙的构造	(10)
2.3.2 悬臂式挡土墙的设计	(10)
2.4 扶壁式挡土墙	(13)
2.4.1 扶壁式挡土墙的构造	(13)
2.4.2 扶壁式挡土墙的设计	(13)
2.5 挡土墙的抗震验算	(14)
2.6 护坡设计	(17)
2.6.1 护坡的设计原则	(18)
2.6.2 常用护坡类型及其设计	(18)
2.7 加筋土挡土墙	(22)
2.7.1 加筋土挡土墙的构造	(23)
2.7.2 加筋土挡土墙的设计	(23)
2.8 挡土墙设计实例	(25)
思考题	(30)
习题	(30)
3 深基坑支护结构设计	(32)
3.1 深基坑支护结构的类型及适用条件	(32)
3.2 深基坑支护结构的破坏形式	(33)
3.3 深基坑支护结构的设计原则	(34)
3.4 深基坑支护结构的设计原理与计算方法	(34)
3.5 深基坑支护结构的稳定性验算	(39)
3.6 土层锚杆技术	(40)
3.6.1 土层锚杆的构造	(40)
3.6.2 土层锚杆的承载力	(40)
3.6.3 锚杆的设计	(41)
3.7 按《建筑基坑支护技术规程》的设计计算方法	(43)
3.7.1 深基坑支护按我国深基坑支护规程的设计原则	(43)
3.7.2 排桩、地下连续墙支护结构的设计计算	(43)
3.7.3 土钉墙支护结构的设计计算	(48)

3.7.4	水泥土墙支护结构的设计计算	(55)
3.7.5	深基坑支护结构设计计算实例	(56)
	思考题	(59)
4	贮液池	(60)
4.1	贮液池的荷载及荷载组合	(60)
4.1.1	池顶荷载	(60)
4.1.2	池壁荷载	(61)
4.1.3	池底荷载及地基土反力	(62)
4.1.4	荷载组合	(62)
4.2	圆形贮液池	(63)
4.2.1	池壁计算	(63)
4.2.2	顶盖与底板计算	(68)
4.3	矩形贮液池	(68)
4.3.1	池壁计算	(69)
4.3.2	顶盖与底板计算	(73)
4.4	贮液池的设计与构造	(73)
4.4.1	圆形贮液池	(73)
4.4.2	矩形贮液池设计要点	(76)
4.5	计算例题	(78)
	思考题	(86)
	习题	(87)
5	水塔	(88)
5.1	水箱	(88)
5.1.1	平底式水箱	(88)
5.1.2	英兹式水箱	(89)
5.1.3	倒锥壳式水箱	(89)
5.1.4	水箱的防参与保温问题	(92)
5.2	水箱的设计与构造	(93)
5.2.1	截面设计	(93)
5.2.2	构造要求	(93)
5.3	塔身	(93)
5.3.1	支架式塔身	(93)
5.3.2	筒壁式塔身	(96)
5.3.3	塔身设计与构造	(98)
5.4	塔身抗震设计	(99)
5.5	水塔基础	(99)
5.5.1	水塔基础的类型	(99)
5.5.2	基础计算	(100)
5.5.3	构造要求	(104)
5.6	计算例题	(104)
	思考题	(115)
	习题	(115)
6	筒仓	(116)
6.1	概述	(116)
6.2	筒仓的布置原则	(117)

6.2.1	浅仓	(117)
6.2.2	深仓	(118)
6.3	荷载计算	(120)
6.3.1	荷载和荷载组合	(120)
6.3.2	贮料压力	(120)
6.4	筒仓的结构计算	(123)
6.4.1	一般规定	(123)
6.4.2	浅仓的计算	(124)
6.4.3	深仓的计算	(130)
6.5	筒仓的构造	(133)
6.5.1	一般规定	(133)
6.5.2	圆形筒仓的仓壁和筒壁	(133)
6.5.3	矩形筒仓仓壁	(133)
6.5.4	洞口	(134)
6.5.5	漏斗	(134)
6.5.6	抗震构造措施	(134)
6.6	计算例题	(135)
	思考题	(139)
7	烟囱	(140)
7.1	烟囱的计算原则	(140)
7.1.1	计算原则	(140)
7.1.2	计算内容	(143)
7.1.3	材料强度和弹性模量	(143)
7.2	温度计算	(146)
7.3	荷载及内力计算	(148)
7.3.1	结构自重	(148)
7.3.2	风荷载	(149)
7.3.3	地震作用	(149)
7.3.4	附加弯矩	(150)
7.3.5	筒身曲率	(153)
7.4	筒壁的强度设计	(154)
7.4.1	概述	(154)
7.4.2	烟囱筒壁承载能力极限状态计算	(155)
7.5	烟囱筒壁正常使用极限状态计算	(156)
7.6	烟囱的抗震设计	(163)
7.6.1	震害分析	(163)
7.6.2	抗震验算的范围	(163)
7.6.3	计算方法	(163)
7.6.4	抗震布置与构造要求	(165)
7.7	烟囱的构造	(166)
7.7.1	基础	(166)
7.7.2	筒壁	(166)
7.7.3	内衬及隔热层	(167)
7.7.4	附属设备	(167)
7.8	钢筋混凝土烟囱筒壁计算实例	(167)

思考题 (173)

习题 (174)

附录 I (175)

附录 II (204)

附录 III (206)

附录 IV (207)

附录 V (210)

附录 VI (219)

参考文献 (222)

1 绪 论

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结构研究对象以外的,在土木工程中有广泛用途的、功能比较特殊的,且结构的作用以及结构的形式比较复杂的工程结构。作为土木工程专业学生以及工程技术人员应该了解和掌握这种特殊结构的分析、设计和施工问题。

1.1 特种结构的研究内容

特种结构的研究对象很多,本书仅将土木工程中常见的挡土墙及护坡、深基坑支护结构、贮液池、水塔、筒仓和烟囱作为研究对象,考虑到目前除挡土墙外,其他结构大都采用钢筋混凝土结构的实际情况,本书主要研究钢筋混凝土特种结构。由于篇幅有限,除挡土墙外,对其他材料的特种结构不作研究。

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。很久以前人们就将挡土墙应用到路基、护坡、河堤、海堤、码头等工程当中,随着经济的不断发展,基础设施的建设步伐加快,挡土墙结构的用途就会越来越广,促使人们对它的研究也在不断深入,本书将对常见的几种挡土墙进行分析和介绍。

深基坑支护结构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,目前在工程中应用较广,但是对其研究还不很深入,目前采用的分析设计方法都比较粗糙,可以说实践超前于理论,本书将对基坑支护结构设计进行初步的讨论。

贮液池、水塔均为市政工程中用途很广的特种结构,对它们分析设计的研究也比较多,其设计理论相对比较成熟,本书将对贮液池、水塔进行比较详细的讨论。贮料仓是水泥、粮贮和矿山中用途很广的一种结构,本书也将对其进行讨论。

烟囱主要用在工厂、火电厂和北方居民生活区的供热系统的主要附属构筑物上,其设计、施工均较复杂,本书将对其进行比较深入的讨论。

1.2 特种结构的学习方法

“特种结构”是土木工程专业的一门专业课,它的前续课程有“材料力学”、“结构力学”、“混凝土结构设计原理”、“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。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的困难;另外其构造设计也较复杂,因此在学习特种结构时应注意以下几个问题:

(1)要结合相关规范掌握荷载及其他作用的计算方法和组合方法,使荷载及各种作用计算相对准确,为进行正确的结构分析打下良好的基础。

(2)要正确选用结构计算模型。计算模型的选取要考虑最主要因素,忽略次要因素,既要使计算结果能正确反映结构的主要受力特点,又要使计算方法简单易掌握。

(3)要采用简单可行的结构分析方法。既要使分析方法简单、省时、省力,又要使结构分析准确可靠。

(4)要结合各相关规范掌握各种特种结构设计的基本方法。设计中既要把结构分析的结果作为强度、刚度和稳定性设计的基本要求得到满足,又要使计算模型和计算方法中未考虑的因素和不足能够通过构造措施得到满足。

(5)学习本门课程要有较扎实的数学、力学和结构设计等方面的知识,并能理解各种相关规范的规定和要求。

(6)本课程为土木工程专业的一门选修课,学习时要注重方法的掌握和知识面的扩大,因此,一般学习时是以讲授与自学相结合。

2 挡 土 墙

本章提要

按照我国规范的要求,着重介绍了重力式挡土墙、悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙的分析与设计方法,简单介绍了挡土墙的抗震设计方法及护坡和加筋土挡土墙的设计方法。

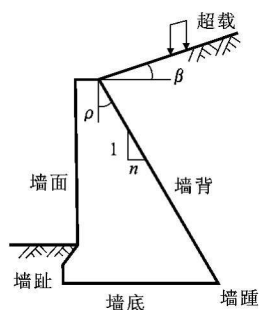


图 2.1 挡土墙

为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。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。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、建筑和市政工程当中挡土墙的应用越来越多,因此,对挡土墙的合理设计将直接影响工程的安全和经济效益。

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,墙面与基底的相交处称为墙趾。墙面、墙背的倾斜度是指两者与垂直面的夹角,通常,工程中常用单位竖直高度与斜面相应水平投影长度之比,如墙背倾斜度为 $1:n$ (图 2-1)。

图 2.1 挡土墙 墙背一侧较高的土体称为回填土。在墙背后不论是回填土,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(图 2.1)。

2.1 挡土墙设计的基本原理

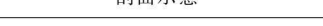
2.1.1 挡土墙的分类及适用范围

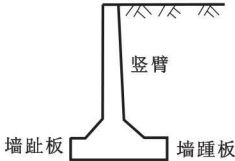
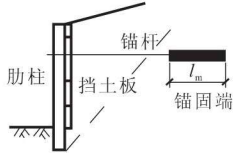
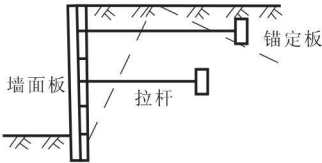
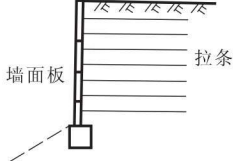
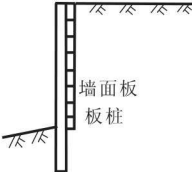
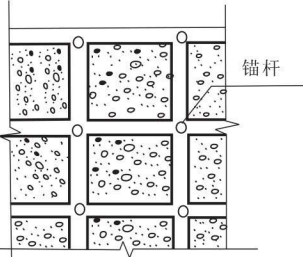
挡土墙的分类方法很多,一般可按结构形式、建筑材料、施工方法及所处环境条件等进行划分。按其结构形式及受力特点划分,常见的挡土墙形式可分为重力式、半重力式、衡重式、悬臂式、扶壁式、锚杆式、锚定板式、加筋土挡土墙、板桩式及地下连续墙等;若按材料类型可划分为木质、砖、石砌、混凝土及钢筋混凝土挡土墙;按所处的环境条件划分为一般地区、浸水地区和地震区挡土墙等。

挡土墙作为一种结构物,其类型是各式各样的,其适用范围将取决于墙址地形、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,各种挡土墙的特点及适用范围见表 2-1。

各种挡土墙的特点及适用范围

表 2.1

类型	剖面示意	特点及适用范围
重力式		1. 依靠墙自重承受土压力,保持平衡 2. 一般用块石砌筑,缺乏石料地区可用混凝土 3. 形式简单,取材容易,施工简便 4. 地基承载力低时,可在墙底设钢筋混凝土板,以减薄墙身,减少开挖量 一般适用于高度较低的挡土墙和地质情况较好的有石料地区

类型	剖面示意	特点及适用范围
半重力式		1. 适用于混凝土浇筑墙,在墙背设少量钢筋可减小墙厚 2. 墙趾展宽,或基底设凸榫以减薄墙身,节省材料 适用于地基承载力低、缺乏石料地区
悬臂式		1. 采用钢筋混凝土,由竖臂、墙趾板、墙踵板组成,断面尺寸较小 2. 墙较高,竖臂根部弯矩大,钢筋用量大 适用于石料缺乏、地基承载力低的地区。墙高可取 4~6m 之间
扶壁式		1. 由墙面板、墙趾板、墙踵板和扶壁组成 2. 墙可做很高,下部弯矩大,采用钢筋混凝土 适用于石料缺乏地区,挡土墙高度可大于 6m,较悬臂式经济
锚杆式		1. 由肋柱、挡土板、锚杆组成 2. 锚杆式挡土墙靠锚杆的拉力维持挡土墙的平衡,锚杆锚固在稳定土层 适用于挡土墙高大于 12m 的地方及为减少开挖量的挖方地区和石料缺乏地区
锚定板式		1. 结构特点与锚杆式相似,只是拉杆的端部用锚定板固定于稳定区 2. 填土压实时,钢拉杆易弯曲产生次应力 适用于缺乏石料的大型填方工程
加筋土式		1. 由墙面板、拉条及填土组成,结构简单,施工方便 2. 对地基承载力要求低 适用于大型填方工程
板桩式		1. 深埋的板桩间用挡土板拦挡土体 2. 桩可用钢筋混凝土桩或钢板桩 3. 桩上端可自由,也可用锚杆锚定 适用于土压力大、一般挡土墙无法满足时的高墙,要求地基密实且基础深埋
地下连续墙		1. 在地下挖狭长深槽,浇注水下钢筋混凝土墙 2. 由地下墙段组成地下连续墙,靠墙自身强度或靠水平支撑保证体系稳定 适用于大型地下开挖工程,较板桩墙可得到更大的刚度和更大的开挖深度
框架锚杆挡土墙		1. 做一定埋深的框架,让框架有一定的斜度,在框架间填毛石或钢筋混凝土板 2. 框架梁柱相交处加预应力锚杆或锚索 3. 施工顺序为:先施工框架,再填毛石,然后填土 适用于高度很高的挖方边坡支挡

2.1.2 挡土墙设计的基本原则

挡土墙应保证填土及挡土墙本身的稳定,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,挡土墙设计的基本原则是:

(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)对挡土墙的施工提出指导性意见。为保证挡土墙的耐久性,在设计中应对使用过程的维修给出相应规定。

2.2 重力式挡土墙设计

重力式挡土墙是以挡土墙自身重力来维持挡土墙在力的作用下的平衡和稳定。它是公路工程、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。重力式挡土墙可用石砌或混凝土浇筑,一般截面都做成梯形(图 2.2),它的优点是能就地取材,施工方便,经济效益好。

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,本地又有可用石料时,可首选重力式挡土墙。重力式挡土墙墙高一般适用于 6m 以下,当墙高大于 6m 时采用其他类型的挡土墙更为经济。重力式挡土墙可根据其墙背的坡度分为仰斜[图 2.2(a)]、垂直[图 2.2(b)]和俯斜[图 2.2(c)]三种类型。

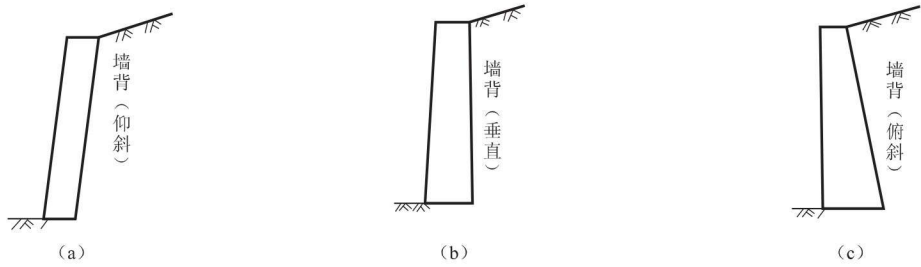


图 2.2 三种重力式挡土墙

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,垂直墙背位于两者之间。

2.2.1 重力式挡土墙的结构

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。重力式挡土墙墙面的面坡和墙背的背坡一般选在 $(1:0.2) \sim (1:0.3)$ 之间,但为了保证墙身稳定和避免施工困难,墙背坡不宜小于 $1:0.25$,墙面尽量与墙背平行(图 2.3)。

对于地面坡度较陡、墙背垂直时,墙面坡度可取 $(1:0.05) \sim (1:0.2)$;当地势平坦时,挡土墙的坡度可较缓,但不宜缓于 $1:0.4$ (图 2.4)。

采用混凝土块或石砌的挡土墙,墙顶宽不宜小于 0.4m;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,加设墙趾台阶也对挡土墙的抗倾覆稳定有利。墙趾的高度与高宽比,

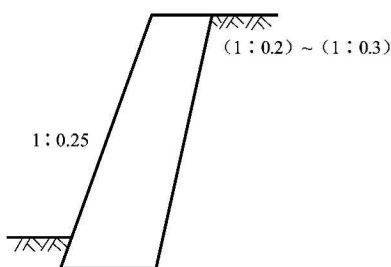


图 2.3 重力式挡土墙墙面与墙背构造

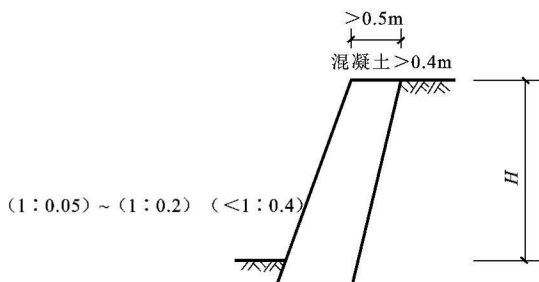


图 2.4 重力式挡土墙截面构造

应按材料的刚性角确定，墙趾台阶连线与垂直线之间的夹角 θ 应为：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 $\frac{1}{20}$ ，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(图 2.5)。

重力式挡土墙的基础埋置深度，应根据地基承载力，水流冲刷、岩石裂隙发育及风化程度等因素进行确定。在特强冻胀、强冻胀地区应考虑冻胀的影响，基础底面应埋在冻土深度以下。在土质地基中，基础埋深不宜小于 0.5m；在软质岩地基中，基础埋深不宜小于 0.3m。

重力式挡土墙应每隔 10~20m 设置一道伸缩缝，其宽度一般取 20mm。

重力式挡土墙应设墙面排水孔，排水孔间距为 3~4m，梅花形布置孔径 50mm，底排排水孔距地面 0.5m，材料宜采用 PVC 管，采用钢管时应内外防腐。

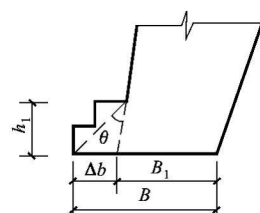


图 2.5 重力式挡土墙墙底构造

2.2.2 重力式挡土墙的设计

挡土墙在墙后填土压力作用下，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；验算墙身强度及地基承载力。

(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上的荷载分为：

a. 永久荷载

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、水压力、浮力、地基反力及摩擦力等。

b. 可变荷载

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、洪水压力及浮力、温度应力和地震作用等。

② 荷载效应组合

在考虑挡土墙不同的计算项目时，如整体稳定、墙身强度计算，应根据使用时的情况和工作条件，进行荷载组合。在荷载组合时应考虑如下原则：按实际可能同时出现的最不利组合考虑。进行挡土墙设计时，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：

$$\gamma_0 S \leqslant R \quad (2.1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，按其重要性分三级，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列式确定：

$$S = \gamma_G C_G G_k + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} C_{Qi} \psi_{ci} Q_{ik} \quad (2.2)$$

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 ;

$\gamma_{Q1}、\gamma_{Qi}$ ——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 ;

G_k ——永久荷载标准值;

Q_{1k} ——第 1 个可变荷载标准值,一般为最主要的可变荷载;

Q_{ik} ——第 i 个可变荷载标准值;

$C_G、C_{Q1}、C_{Qi}$ ——永久荷载、第 1 个和第 i 个可变荷载的效应系数;

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 。

③ 荷载计算

a. 挡土墙自重

$$G = \gamma_s V \tag{2.3}$$

式中 γ_s ——挡土墙的重力密度,可按表 2.2 取值;

V ——挡土墙每延米长度的体积(m^3/m)。

挡土墙用建筑材料的重力密度(kN/m^3) 表 2.2

材 料	钢筋混凝土	混凝土	浆砌粗料石	浆砌块石
重 度	25	23	25	23

b. 土压力

按《土力学与地基基础》教材中库仑土压力计算公式确定。

c. 静水压力

垂直作用于挡土墙某一点的静水压力强度为:

$$p = \gamma_w H_1 \tag{2.4}$$

式中 γ_w ——水的重力密度,取 $9.8kN/m^3$;

H_1 ——计算点到水面的垂直距离(m)。

d. 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:

$$p_d = K \gamma_w \omega \frac{v^2}{g} \frac{1 - \cos\alpha}{\sin\alpha} \tag{2.5}$$

式中 p_d ——作用于挡土墙上的动水压力;

K ——水流绕流系数,与挡土墙形状有关,一般可取 1.0 ;

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

α ——水流流向与挡土墙面之间的夹角;

v ——水流平均速度(m/s);

g ——重力加速度($9.8m/s^2$)。

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 $10m/s$ 时,尚应考虑水深的脉动冲击。

e. 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风速值、有效吹程、波浪要素、水面的风壅高度及根据波浪压力图形确定波浪压力,具体计算方法参见参考文献 2。

f. 浮力

作用于挡土墙基础上的压力,一般由浮力和渗透力两部分组成。浮力可由下式计算:

$$G_F = \gamma_w V_1 \tag{2.6}$$

式中 γ_w ——水的重力密度;

V_1 ——墙体水下部分的体积。

g. 渗透压力

对于一般挡土墙不设防水帷幕,则渗透压力图形如图 2.6 所示。

h. 公路荷载和铁路荷载

作用于公路上的各级公路车辆荷载按国家有关规范取值,也可参见参考文献 2 取值。铁路列车荷载采用中华人民共和国铁路标准活载的标准算式计算,计算方法参见参考文献 2、3。

(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》(GB 50007—2011)规定,验算挡土墙的稳定性,应用基本荷载组合进行计算,各分项系数取值应按照下列原则: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适当考虑被动土压力。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

挡土墙的整体稳定验算按照国家有关规范规定,根据一般地区挡土墙所受的力(图 2.7)进行验算。

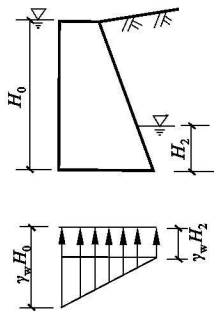


图 2.6 挡土墙墙底渗透压力图形

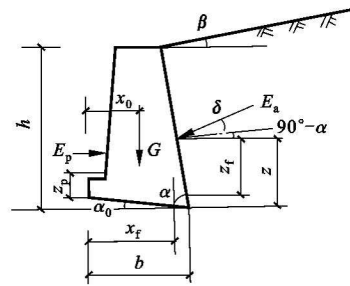


图 2.7 挡土墙受力图

稳定验算如下:

a. 抗滑移稳定验算

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

b. 抗倾覆稳定验算

$$K_l = \frac{Gx_0 + E_{az}x_1}{E_{ax}z_f} \geq 1.6 \quad (2.8)$$

式中 G ——挡土墙每延米自重;

x_0 ——挡土墙重心离墙趾的水平距离;

μ ——土对挡土墙基底的摩擦因数(表 2.3);

G_n ——垂直于基底的重力分力, $G_n = G \cos \alpha_0$;

G_t ——平行于基底的重力分力, $G_t = G \sin \alpha_0$;

E_{at} ——平行于基底的土压力分力, $E_{at} = E_a \sin(\alpha - \alpha_0 - \delta)$;

E_{an} ——垂直于基底的土压力分力, $E_{an} = E_a \cos(\alpha - \alpha_0 - \delta)$;

E_{ax} —— $E_{ax} = E_a \sin(\alpha - \delta)$;

E_{az} —— $E_{az} = E_a \cos(\alpha - \delta)$;

x_1 —— $x_1 = b - z \cot \alpha$;

z_f —— $z_f = z - b \tan \alpha_0$;

α_0 ——挡土墙的基底倾角;

δ ——土对挡土墙墙背的摩擦角(表 2.4);

b ——基底的水平投影宽度;

z ——土压力作用点离墙踵的高度。

土对挡土墙基底的摩擦因数 μ

表 2.3

土的类别		摩擦因数 μ
黏 性 土	可 塑	0.25~0.30
	硬 塑	0.30~0.35
	坚 硬	0.35~0.45
粉 土		0.30~0.40
中砂、粗砂、砾砂		0.40~0.50
碎 石 土		0.40~0.60
软质岩石		0.40~0.60
表面粗糙的硬质岩石		0.65~0.75

注：①对易风化的软质岩石和塑性指数 I_P 大于 22 的黏性土，基底摩擦因数 μ 还应通过试验确定；
②对碎石土，可根据其密实度、填充物状况、风化程度来确定。

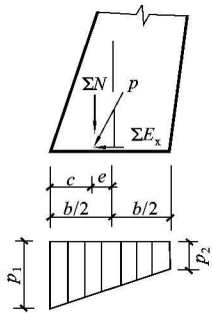
土对挡土墙墙背的摩擦角 δ

表 2.4

挡 土 墙 情 况	摩擦角 δ
墙背平滑，排水不良	$(0 \sim 0.33) \varphi_k$
墙背粗糙，排水良好	$(0.33 \sim 0.5) \varphi_k$
墙背很粗糙，排水良好	$(0.5 \sim 0.67) \varphi_k$
墙背与填土间不可能滑动	$(0.67 \sim 1.0) \varphi_k$

注： φ_k 为墙背填土的内摩擦角。

c. 基底合力的偏心距(图 2.8)



$$e = \frac{b}{2} - c$$
$$= \frac{b}{2} - \frac{\sum M_y - \sum M_0}{\sum N} \leq \begin{cases} \frac{b}{6} & (\text{土质地基}) \\ \frac{b}{4} & (\text{岩石地基}) \end{cases} \quad (2.9)$$

式中 e ——基底偏心距；
 c ——基底合力点距墙趾端点的距离。

d. 基底应力验算

图 2.8 挡土墙基底受力图

当 $e \leq \frac{b}{6}$ 时(图 2.8)

$$p_{\min}^{\max} = \frac{\sum N}{b} \left(1 \pm \frac{6e}{b} \right) \quad (2.10)$$

当 $e > \frac{b}{6}$ 时

$$p_{\max} = \frac{2 \sum N}{3c} \quad (2.11)$$

偏心荷载作用下,承载力应满足

$$p_{\max} \leq 1.2 f_a \quad (2.12)$$

$$\frac{p_{\max} + p_{\min}}{2} \leq f_a \quad (2.13)$$

式中 $p_{\max}$ ——基底最大压应力；
 $p_{\min}$ ——基底最小压应力；
 f_a ——修正后的地基承载力特征值。

e. 软弱下卧层验算

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (2.14)$$

式中 p_z ——软弱下卧层顶面处的附加应力设计值；

p_{cz} ——软弱下卧层顶面处的自重应力设计值；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值。

f. 当基底下受力层范围内有软弱土层时,应按滑移面进行验算

$$K_s = \frac{M_R}{M_S} \geq 1.2 \quad (2.15)$$

式中 M_R ——作用于滑移体上对滑动中心的抗滑移力矩；

M_S ——作用于滑移体上对滑动中心的滑移力矩；

K_s ——抗滑移稳定系数。

③浸水地区挡土墙的稳定验算

浸水地区挡土墙后填土采用岩块或砂土,且留有足够泄水孔时,可不考虑墙前、后的静水压力及墙后的动水压力,主要考虑水位以下挡土墙及填料的浮力。挡土墙的计算水位采用最不利水位。浸水地区稳定验算如下:

a. 抗滑移稳定验算

$$K_s = \frac{\sum N \cdot \mu}{E'_{ax}} = \frac{(G' + E'_{az})\mu}{E'_{ax}} \geq 1.3 \quad (2.16)$$

b. 抗倾覆稳定验算

$$K_t = \frac{\sum M'_y}{\sum M'_0} = \frac{G'x_0 + E'_{az}x_f}{E'_{ax}z_f} \geq 1.6 \quad (2.17)$$

c. 基底应力验算

其一是偏心距的验算

$$e = \frac{b}{2} - c = \frac{b}{2} - \frac{\sum M'_y - \sum M'_0}{\sum N'} \leq \frac{b}{6} \text{ (土质地基)} \quad (2.18)$$
$$\leq \frac{b}{4} \text{ (岩石地基)}$$

其二是基底应力应满足

当 $e \leq \frac{b}{6}$ 时

$$p_{\min}^{\max} = \frac{\sum N'}{b} \left(1 \pm \frac{6e}{b} \right) \leq 1.2f_a \quad (2.19)$$

$$\frac{p_{\max} + p_{\min}}{2} \leq f_a \quad (2.20)$$

当 $e > \frac{b}{6}$ 时

$$p_{\max} = \frac{2 \sum N'}{3c} \leq 1.2f_a \quad (2.21)$$

以上各式中:

G' ——考虑浮力后墙自重；

E'_{ax}, E'_{az} ——考虑浮力后主动土压力分力；

$\sum N'$ ——考虑了浮力的竖向合力；

$\sum M'_y$ ——考虑了浮力的抗倾覆力矩；

$\sum M'_0$ ——考虑了浮力后倾覆力矩。

④挡土墙截面强度验算

挡土墙截面强度验算包括偏心受压承载力验算、弯曲承载力验算和抗剪承载力验算。

a. 偏心受压承载力验算

按砌体结构偏心受压构件计算,其偏心受压构件承载力计算公式为:

$$N \leq \varphi A f \quad (2.22)$$