

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TE ZHONG JIE GOU

特种结构

黄太华 主 编

袁 健 成洁筠 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TE ZHONG JIE GOU 特种结构

主 编 黄太华
副主编 袁 健 成洁筠
编 写 段绍伟 吴晓枫 汤拉娜
主 审 周先雁



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



特 种 结 构

IAOQAIL AUHIEU

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书共分5章，主要内容为绪论、重力式挡土墙、非重力式挡土墙、建筑基坑支护、水池以及附录。本书紧扣现有规范，与工程实践紧密联系，内容全面，通俗易懂，阐述透彻。

本书可作为普通高等院校土木工程专业的教材，也可作为道桥、岩土等其他相关专业的参考书，还可供工程设计、施工和科研单位的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

特种结构/黄太华主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8990-5

I. 特… II. 黄… III. 建筑结构-高等学校-教材
IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 100727 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年8月第一版 2009年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14.75印张 357千字

定价 24.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

改革开放以后的30年以来,尤其是近20年来,我国的基本建设发展极其迅猛,与之相伴的土木工程专业也得到了长足的发展。而作为土木工程专业选修课的《特种结构》教材在全国版本稀少,就算是这为数不多的几个版本也都存在很多问题,诸如不能与现有规范保持一致,说理不够详细透彻,不便于学生学习,内容不够全面,不便于工程应用等。为了适应发展,我们编写了本书。

本书与现有规范保持高度一致,与工程实践紧密联系,说理浅显易懂,针对特种结构较难学懂的特点配置了大量的算例,便于初学者加深印象和工程技术人员参考。本书仅对工程中极其常用的挡土墙、基坑支护、水池进行了详细介绍,而对于工程中用的较少的烟囱、水塔和筒仓没有纳入书中。

全书共分5章,第1章由黄太华编写;第2章及第3章的3.1节~3.3节由黄太华与袁健编写;第3章的3.4节~3.6节由汤拉娜与黄太华编写;第4章的4.1节、4.2节由段绍伟编写;第4章的4.3节~4.8节由成洁筠编写;第5章及相关附录由吴晓枫编写;其余的附录由袁健编写。全书由中南林业科技大学黄太华主编。书中工程实例由湖南中天建设集团有限公司提供。中南林业科技大学校长周先雁教授在百忙中审阅了全书。对为本书付出辛勤劳动的所有人员表示特别的感谢。

由于编者认识水平有限,不妥之处在所难免,在此衷心希望广大读者批评指正。

编者

2009年4月



目 录

前言

第1章 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
第2章 重力式挡土墙	3
2.1 各种重力式挡土墙概述	3
2.2 重力式挡土墙的一般计算原则	6
2.3 重力式挡土墙的计算	19
2.4 重力式挡土墙的构造	40
2.5 重力式挡土墙的抗震设计简介	42
2.6 标准图的使用	45
2.7 实际工程实例	45
思考题	49
习题	50
第3章 非重力式挡土墙	51
3.1 各种非重力式挡土墙概述	51
3.2 非重力式挡土墙的一般计算原则	53
3.3 悬臂式挡土墙的设计	53
3.4 扶壁式挡土墙的设计	65
3.5 加筋土挡土墙的设计	78
3.6 锚杆式挡土墙的设计	89
思考题	94
习题	95
第4章 建筑基坑支护	96
4.1 各种建筑基坑支护形式简介	96
4.2 建筑基坑支护的一般原则	102
4.3 基坑支护结构的稳定性验算	110
4.4 排桩、地下连续墙设计	113
4.5 水泥土墙设计	139
4.6 土钉墙设计	142
4.7 逆作拱墙	147
4.8 地下水控制	149
思考题	156
习题	157

第 5 章 水池	159
5.1 水池的荷载及荷载组合	159
5.2 圆形水池	163
5.3 矩形水池	176
5.4 圆形水池的设计与构造	185
5.5 矩形水池的设计与构造	189
思考题	192
习题	193
附录	194
附表 I 圆形水池池壁内力系数表	194
附表 II 池壁刚度系数 k_{Mp}	223
附表 III 四边支承双向板的边缘刚度系数及弯矩传递系数	223
附表 IV 两端固定圆锥壳壁在三角形分布水压作用下的 M_t 及 H_t 系数表	225
参考文献	228

第1章 绪 论

1.1 特种结构的研究内容

一般建筑物的结构设计可采用现有的商业化软件,商业化软件的大量应用,使工程技术人员从繁重的计算及工程制图中解脱出来,集中精力细致考虑结构的布局及结构体系的设计优化。然而,对于建筑工程及道路工程的附属挡土墙及其他构筑物,目前还缺乏较好的专业软件,主要通过查阅相关的标准图集来减轻设计工作量。

特种结构主要包括:挡土墙、基坑支护、储液池、槽罐结构、皮带通廊、塔类结构、炉窑结构、变电构架及支架、操作平台等。考虑各类结构在实际工程中的应用情况,本教材着重阐述常用的挡土墙、建筑基坑支护及水池。

挡土墙是实际工程中应用广泛的一种支挡结构,其结构类型较多,且不同类型挡土墙的差异显著。本教材按重力式挡土墙和非重力式挡土墙两个章节进行编写,便于读者阅读使用。其中重力式挡土墙部分主要介绍圬工材料的挡土墙;而非重力式挡土墙部分,主要介绍了钢筋混凝土悬臂式及扶壁式挡土墙、加筋土及锚杆式挡土墙。

建筑基坑支护主要应用于高层建筑地下室开挖时的土体支护,它是一项实践超前于理论的技术。在《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)中专门有章节对其进行了原则上的规定,《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—1999)中有更详细的规定,建筑基坑支护主要参照JGJ 120—1999编写,并考虑了GB 50007—2002中的一些规定。

水池主要应用于高层建筑的屋顶水箱或地下水池以及城市市政设施的大型水池,其尺寸规格受实际工程的场地情况限制,需在参考标准图的基础上进行设计计算,因此有必要对其受力特点进行分析。

筒仓主要用来储存水泥等粒状松散物体,也可作为长期存料的仓库,从经济、耐久性等方面考虑,工程中应用最为广泛的是整体浇筑的普通混凝土筒仓,因此有必要对筒仓的设计及基本构造进行讨论。

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选修课,它的前续课程为材料力学、结构力学、土力学与地基基础、砌体结构、混凝土结构等,其中土力学和混凝土结构与本课程的关系尤其密切。学好特种结构这门课程,关键在于正确掌握各类结构的受力特点及如何使用标准图。

特种结构的受力简图不像普通结构那么简单明了,作用在结构上的荷载难以确定,相关规范也不尽全面,结构分析不能借助成熟的商业软件完成,设计人员对结果的正确与否也难以判断,这给特种结构的学习和工程实践带来了较大的困难。

鉴于以上原因,在学习和工程实践中应注意以下一些问题:

(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,使荷载作用的计算尽

可能符合实际情况，荷载组合尽可能与规范的精神相符。

(2) 结构计算模型的建立应基本正确，选择计算模型时应考虑主要因素，忽略次要因素，既要使计算结果基本正确，又要使计算过程简便。

(3) 要采用简单可行又便于掌握的计算方法。

(4) 构造措施尤其重要，应引起注意。由于有些因素在计算模型中无法体现，因此有必要通过构造措施来弥补这方面的不足。

(5) 本课程实践性较强，必须将理论与实践相结合。

总之，工程实践中要认真考虑所建模型是否与实际情况相符，是否体现了真实的受力特点，若受力分析不正确，概念不清，必然会造成严重后果。通过学习本门课程的基本知识，从而更好地理解并运用规范，才能准确设计工程中所需的特种结构。在设计中，对于工程中常出问题的挡土墙和基坑支护，特别需要引起足够的重视。

第2章 重力式挡土墙

2.1 各种重力式挡土墙概述

重力式挡土墙是由墙身单独组成或由墙身和底板共同构成的,主要依靠自身重量以维持稳定的挡土构筑物。重力式挡土墙各部位名称如图 2-1 所示,其实物图见图 2-2。

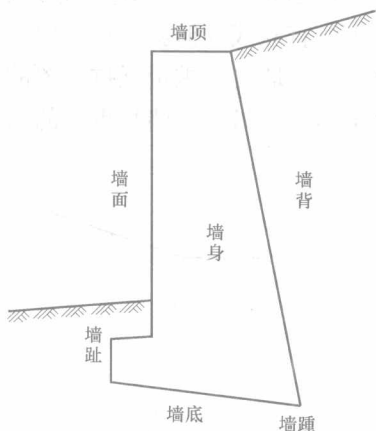


图 2-1 重力式挡土墙示意

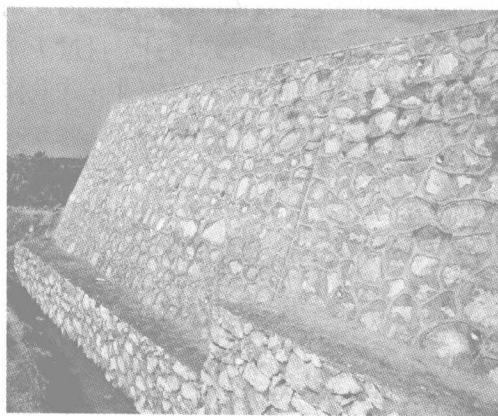


图 2-2 重力式挡土墙实物图

重力式挡土墙主要依靠墙自身的重量阻挡土体的移动,而衡重式及半重力式挡土墙还利用了部分土体的竖向重力来阻挡墙后土体。绝大多数的重力式挡土墙均采用石料砌筑,部分石料缺乏地区或遇紧急情况时也可采用素混凝土或砖砌体。其中,采用商品混凝土可明显加快工程进度,但工程造价较高;未经处理的砖块砌筑的挡土墙外观较好,但不足之处是耐久性差,且工程造价偏高。

按墙背的倾斜情况,挡土墙可细分为直立式、俯斜式及仰斜式挡土墙;若设置了卸荷平台则为衡重式挡土墙;将墙背做成折线并加大墙踵板的尺寸则为半重力式挡土墙。下面将分别对这几种挡土墙进行介绍。

参照《国家建筑标准设计图集——挡土墙》(04J008),选取墙高 6m,墙后填土面水平,墙后填土面均布荷载标准值 $q_k=10\text{kN/m}^2$,墙后填土内摩擦角标准值 $\varphi_k=30^\circ$,地基摩擦系数 $\mu=0.30$ 的俯斜式、仰斜式、直立式和衡重式挡土墙,比较其单位长度砌体体积、最大地基反力,具体情况见表 2-1。

表 2-1

四种重力式挡土墙的比较

挡土墙形式	挡土墙编号	单位长度砌体体积 (m^3)	最大地基反力 (kPa)
俯斜式	FJA6	11.51	214
仰斜式	YJA6	9.06	170
直立式	ZJA6	11.39	202
衡重式	HJA6	9.95	196

2.1.1 直立式挡土墙概述

直立式挡土墙的墙背垂直，墙面向后倾斜，如图 2-3 所示。直立式挡土墙的墙后土压力较俯斜式小，较仰斜式大。其墙体重心后移，能减小基底的最大压应力，地基承载力比较容易满足要求。由于其需要依靠自身重量维持墙体平衡，故砌体量较大。

直立式挡土墙施工时，挖方量较俯斜式少，较仰斜式多，墙背为挖方区或填方区的情况均适用。由于墙面倾斜，倾斜面所占土地不能加以利用，因此该类挡土墙的土地利用率偏低。

2.1.2 俯斜式挡土墙概述

俯斜式挡土墙的墙背向前倾斜，墙面垂直，如图 2-4 所示。由于主动土压力破裂面与墙背之间所围成的滑动土楔体体积最大，因此墙后土压力较直立式及仰斜式挡土墙大。俯斜式挡土墙的墙体重心前倾，导致墙身重量过于靠近墙趾，依靠墙自身重量抵抗倾覆的效果欠佳，故在相同情况下，所用材料也较直立式及仰斜式挡土墙多。另外，墙身重心的前倾也将导致基底最大压应力增大。

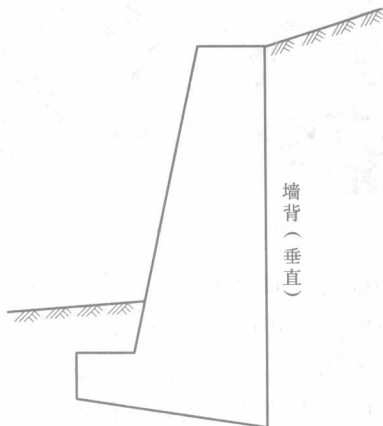


图 2-3 直立式挡土墙示意

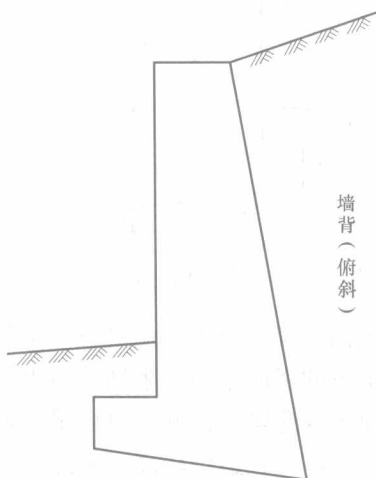


图 2-4 俯斜式挡土墙示意

俯斜式挡土墙的挖方量较直立式和仰斜式挡土墙大，一般适用于墙背土体为填方的情况。该类挡土墙的墙面近似垂直，具有不占用空间的特点，有利于场地的充分利用。

2.1.3 仰斜式挡土墙概述

仰斜式挡土墙的墙背与墙面均向后倾斜，呈现出上小下大的截面形式，既有利于施工，也能使墙身承载力更易于满足要求，如图 2-5 所示。由于主动土压力破裂面与墙背间的土体体积最小，故墙后土压力较直立式及俯斜式挡土墙小。仰斜式挡土墙墙身后倾，有利于抗倾覆稳定性，其圬工砌筑量较直立式及俯斜式挡土墙少，但基底最大压应力较大，因此要注意对地基承载力进行复核。

仰斜式挡土墙沿自然土坡倾斜，其挖方量较少，因此适用墙后土体为挖方的情况。但由于墙面倾斜，倾斜面所占空间不能得以利用，故土地的利用率偏低。

2.1.4 衡重式挡土墙概述

衡重式挡土墙是指墙背设有衡重台（减荷台）的重力式挡土构筑物，其稳定主要是靠墙身自重和衡重台上的填料重量维持，如图 2-6 所示。

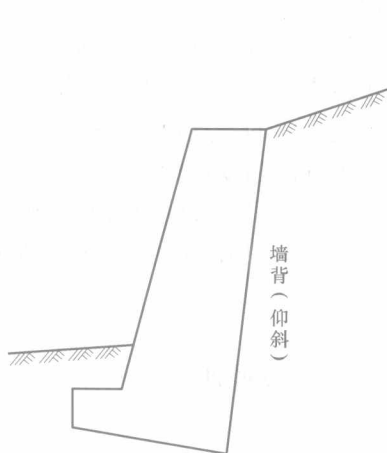


图 2-5 仰斜式挡土墙示意

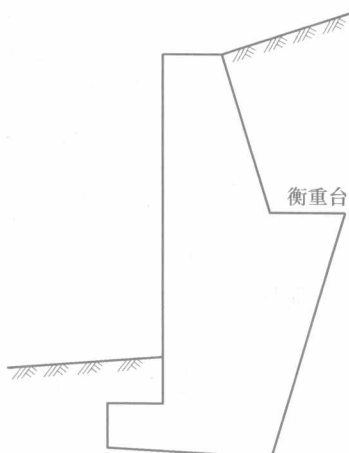


图 2-6 衡重式挡土墙示意

衡重式挡土墙兼有仰斜式及俯斜式挡土墙的优点，且弥补了这两种挡土墙的不足之处。衡重式挡土墙由于墙面直立，能充分利用场地。墙背的下段仰斜，既可减少其挖方量，又可使墙后的土压力减小；墙背的上段俯斜，能减少其圬工砌筑量，同时上段墙身承载力也较易满足要求。由于衡重台能减少土压力的作用，因此衡重式挡土墙断面比其他重力式挡土墙小。衡重台以上的土体有利于抗滑移及抗倾覆稳定，可用于高度较大的情况，根据《国家建筑标准设计图集——挡土墙》(04J008)，其最大适用高度可达 12m。由于其墙体重心较仰斜式前移，故材料用量仅较仰斜式稍大，尤其适用于挖方区的高挡土墙，若用于高度较小的挡土墙则工序稍显复杂。

因其底板较小，故对地基条件要求较高，因此在选用标准图时尤其要注意地基承载力的验算。若地基承载力验算不能满足要求，则可采用钢筋混凝土底板延长墙趾尺寸或采用放阶的措施延长墙趾尺寸。设置钢筋混凝土底板不会影响到开挖深度，但施工较为复杂；采用放阶的方法将导致开挖深度的加大，但施工相对简便。

衡重式挡土墙的墙身强度一般都能满足要求，其结构尺寸的拟定主要取决于结构稳定和地基条件，但仍需注意衡重台变截面处的墙身承载力验算。根据工程经验，衡重台宜设置在距离墙顶 0.4 倍墙高处，衡重台以上为梯形断面，衡重台以下设 4:1~5:1 的倒坡。由于衡重式挡土墙的底板平面尺寸较小，宜建造在良好的地基上。如果建筑在土质地基上，除了满足地基允许承载力的要求外，还应对底板前、后端基底的沉降变形进行比较分析。

2.1.5 半重力式挡土墙概述

半重力式挡土墙是指为减少圬工砌筑量而将墙背建造为折线型的重力式挡土构筑物，如图 2-7 所示。

半重力式挡土墙的墙背采用折线型，主要是考虑节省工程投资以及施工期的质量控制因素。无论采用砌石或混凝土等任何建筑材料，采用半重力式挡土墙都可节省工程量；对于混凝土结构而言，由于重力式挡土墙的

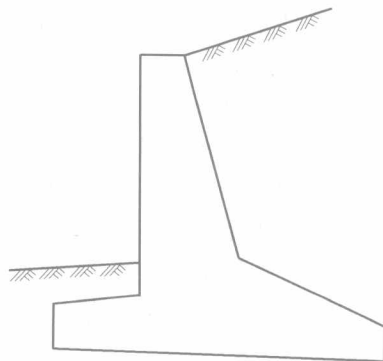


图 2-7 半重力式挡土墙示意

墙身属于大体积混凝土, 施工过程中的水化热难以释放, 容易形成温度裂缝, 影响工程质量, 采用半重力式挡土墙可大大减少这种影响。若在墙背配置少量钢筋, 则可进一步减小墙的断面尺寸。墙背上部土体产生的竖向压力, 有利于该类挡土墙的抗滑移及抗倾覆稳定。对于墙背做成折线型的半重力式挡土墙, 墙身断面沿高度方向的折点是墙身的薄弱环节, 因此除需核算墙身与底板连接处的强度外, 还应对墙身折点处的强度进行核算。

半重力式挡土墙通常采用素混凝土浇筑而成, 但由于需要安装模板从而使施工过程比较困难, 同时其造价也比石砌体高。一般情况下, 该类挡土墙使用较少, 但在地基承载力低、缺乏石料的地区则具有优越性。

2.2 重力式挡土墙的一般计算原则

2.2.1 荷载计算及荷载组合

作用在挡土墙上的荷载主要包括墙身自重、墙后的主动土压力及墙趾附近的被动土压力和水压力。墙后填料表面上的外加荷载不直接作用于挡土墙上, 而以墙后主动土压力的增大体现出来。

一、墙身自重

挡土墙的墙身自重是长期作用在挡土墙上的不变荷载, 属于永久荷载范畴。在进行挡土墙设计计算时, 一般取每延米长度的墙体为研究对象。挡土墙自重的标准值为

$$G_k = \gamma_s V \quad (2-1)$$

式中 γ_s ——挡土墙的重度, 可按表 2-2 取值;

V ——挡土墙每延米长度的体积, m^3/m 。

表 2-2

建筑材料的重度表

kN/m^3

材料名称	钢筋混凝土	素混凝土	浆砌粗石料	浆砌块石	浆砌片石
重 度	25	23	25	23	22

《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 及《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 对重力荷载的分项系数均无明确规定。根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 的相关规定可知: 由于其效应对结构有利, 进行抗倾覆、抗滑移稳定验算时, 采用基本组合, 墙身自重的荷载分项系数取 1.0; 地基承载力验算时, 采用标准组合; 墙身承载力验算时, 应取基本组合, 可变荷载效应控制时取 1.2, 永久荷载效应控制时取 1.35。

二、土压力

土压力包括墙后主动土压力和墙趾附近的被动土压力, 其中, 墙后的主动土压力是设计过程中需主要考虑的作用力, 墙后的主动土压力可能由土体自重产生, 也可能由汽车、人群、堆载等产生。其主要影响如下:

- (1) 可能使墙体绕墙趾转动而发生倾覆;
- (2) 可能使墙体沿墙底部与地基的接触面发生滑移;
- (3) 使竖向荷载的合力中心向墙趾方向移动, 导致最大地基反力加大而使地基承载力不能满足要求;
- (4) 使墙踵处的墙身压应力减小, 当墙较高时, 甚至可能出现拉应力。当拉应力超过砌

体的抗拉强度时,可能会使墙体发生拉裂破坏。

由土体自重产生的墙后主动土压力是作用在挡土墙上无太大变化的荷载,可归纳为永久荷载。进行抗倾覆、抗滑移验算时,采用基本组合,荷载分项系数取 1.0;地基承载力验算时,采用标准组合;墙身承载力验算时,可变荷载效应控制时取 1.2,永久荷载效应控制时取 1.35。

由墙后地面荷载所引起的墙后主动土压力,由于地面荷载的变异性较大,应归纳为可变荷载。进行抗倾覆、抗滑移验及地基承载力验算时,荷载分项系数均取 1.0;考虑到挡土墙的墙身的安全储备要求比一般建筑物略低,在进行墙身承载力验算时建议取 1.3。

墙趾附近的被动土压力有利于增强挡土墙的抗倾覆及抗滑移稳定,使挡土墙的地基承载力及墙身承载力较易得到满足。按土力学中的朗肯理论或库仑理论计算出的被动土压力一般都工程中的实际情况相差较远。由于计算被动土压力时,所采用的被动位移很大,因此实际工程中的被动土压力比计算得到的被动土压力要小。若计入墙趾附近的被动土压力影响,则会由于对该有利作用估计过高而使挡土墙偏于不安全,因此一般不考虑墙趾附近被动土压力的有利影响。

挡土墙后的主动土压力应按库仑理论进行计算,若挡土墙后有较陡的稳定岩石坡面。岩石的坡角 $\theta > 45^\circ + \varphi_k/2$ 时,滑移面为土岩结合面,按一般的库仑理论公式计算所得结果偏大,应按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)中有限范围填土公式计算。由于实际工程中墙后土体滑裂面一般不会形成,若计算取用的内摩擦角等于实际的内摩擦角,则计算的主动土压力将比实际作用的主动土压力小,结果将偏于不安全。由于工程中的内摩擦角计算时取用内摩擦角标准值,再加上稳定验算及地基承载力验算时均有一定的安全储备,故仍能保证挡土墙在使用时的安全。

根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)可得挡土墙墙后主动土压力的计算公式为

$$E_a = \psi_c \cdot \frac{1}{2} \gamma h^2 K_a \quad (2-2)$$

式中 E_a ——主动土压力;

ψ_c ——主动土压力增大系数,土坡高度小于 5m 时宜取 1.0;高度为 5~8m 时宜取 1.1;高度大于 8m 时宜取 1.2;

γ ——填料的重度;

h ——挡土墙结构的高度;

K_a ——主动压力系数,按式(2-3)进行计算。

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin^2 \alpha \sin^2(\alpha + \beta - \varphi - \delta)} \left\{ K_q [\sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha - \delta) + \sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)] + 2\eta \sin \alpha \cos \varphi \cos(\alpha + \beta - \varphi - \delta) - 2\sqrt{[K_q \sin(\alpha + \beta) \sin(\varphi - \beta) + \eta \sin \alpha \cos \varphi][K_q \sin(\alpha - \delta) \sin(\varphi + \delta) + \eta \sin \alpha \cos \varphi]} \right\} \quad (2-3)$$

式(2-3)中, $K_q = 1 + \frac{2q \sin \alpha \cos \beta}{\gamma h \sin(\alpha + \beta)}$, $\eta = \frac{2c}{\gamma h}$ 。 q 为地表均布荷载(以单位水平投影面

上的荷载强度计)。计算简图见图 2-8。

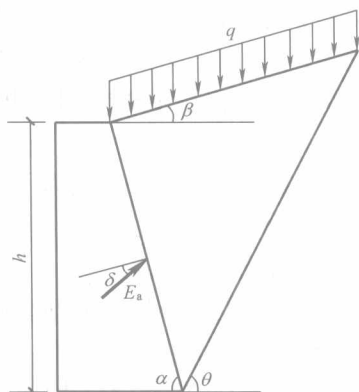


图 2-8 计算简图

式 (2-2) 中的主动压力系数 K_a 已包含了地表均布荷载的影响, 因此 h 为挡土墙的实际高度, 计算 h 时不应考虑地表均布荷载的换算土柱高度, 按式 (2-2) 计算得到的土压力作用点应为距离墙底 $h/3$ 处。由于地表荷载和黏聚力的存在, 土压力合力实际作用点的位置并不全位于 $h/3$ 。

当填料为无黏性土时, 主动土压力系数可按库仑理论确定。当支挡结构满足朗肯条件时, 主动土压力系数可按朗肯理论确定。此时, 土压力合力不应采用式 (2-2) 计算。黏性土或粉土的主动土压力也可采用楔体试算法图解求得。

若挡土墙的墙背为折线的情况, 主动土压力也可采用楔体试算法图解求得。

挡土墙后缘有较陡峻的稳定岩石 (土) 坡面, 坡角 $\theta > 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$ 时, 应按有限范围填土计算土压力, 取岩石 (土) 坡面为破裂面。根据稳定岩石 (土) 坡面与填料间的摩擦角按式 (2-4) 计算主动土压力系数

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \theta) \sin(\alpha + \beta) \sin(\theta - \delta_r)}{\sin^2 \alpha \sin(\theta - \beta) \sin(\alpha - \delta + \theta - \delta_r)} \quad (2-4)$$

式中 θ ——稳定岩石 (土) 坡面的倾角;

δ_r ——稳定岩石 (土) 坡面与填料间的摩擦角, 根据试验确定。当无试验资料时, 可取 $\delta_r = 0.33\varphi_k$, φ_k 为填料的内摩擦角标准值, 见表 2-3。

表 2-3

墙背填料物理力学指标

墙背填料种类		内摩擦角 φ_k 或综合内摩擦角 φ_0	重力密度 (kN/m^3)
细粒土	墙高 $H \leq 6\text{m}$	$35^\circ \sim 40^\circ$	17~18
	墙高 $H > 6\text{m}$	$30^\circ \sim 35^\circ$	17~18
砂类土		35°	18
砾石类土、碎石类土		40°	19
不易风化的石块		45°	19

注 若为建筑工程的挡土墙, 填土密实性可能达不到市政工程墙后填土的密实度, 按上表取值时应特别慎重。

三、水压力

当墙后有地下水存在时, 地下水将对挡土墙形成压力, 当水不流动时为静水压力, 当水流动时为动水压力。由于水的流向总是使墙后竖向土压力加大, 并使墙趾处的竖向土压力减小, 故动水压力总使墙后土的主动土压力增大, 使墙前的被动土压力减小。这两者均将使挡土墙的抗倾覆、抗滑移安全系数降低, 同时也将使地基反力加大, 从而使地基的安全储备降低。另外, 仍需考虑静水对挡土墙的作用, 故动水压力的存在对挡土墙总是不利的。

当墙后为静水压力时, 若为黏性土可采用水土合算, 水的存在将使土的总重度增大, 同时抗剪强度指标降低, 这两者均将引起墙后主动土压力增大; 若为砂土则采用水土分算, 尽管水浮力的存在会使土的重度减少 (采用浮重度), 但由于要加上水的侧压力, 当内摩擦角为 0 时, 侧压力系数为 1.0, 水的存在使抗剪强度指标降低也会引起土压力增大, 从而使墙

后总的侧压力增大。

总而言之,墙后水的存在,不论其为动水还是静水,均将使墙后土压力增大,其中动水的增加幅度更大些。

挡土墙后若有地下水存在,由于水位存在着变化的可能性,采用水土分算时,静水压力按可变荷载处理,荷载分项系数与前面阐述的由地面荷载所引起的主动土压力的荷载分项系数相同。垂直作用于挡土墙某一点的静水压力强度为

$$p_{wk} = \gamma_w h_w \quad (2-5)$$

式中 γ_w ——水的重度,取 9.8kN/m^3 ;

h_w ——计算点到水面的垂直距离, m。

综上所述,各类荷载分项系数取值汇总于表 2-4。

表 2-4 各类荷载分项系数取值

各 类 荷 载		自 重	主动土压力 1	主动土压力 2	静水压力
稳定验算		1.0	1.0	1.0	1.0
地基承载力验算		1.0	1.0	1.0	1.0
墙身承载力 验算	可变荷载控制	1.2	1.2	1.3	1.3
	永久荷载控制	1.35	1.35	1.0	1.0

注 1. 主动土压力 1 由土体自重产生, 主动土压力 2 由地面荷载产生;

2. 墙身承载力验算一般由永久荷载控制。

地面均布荷载的取值查相关规范或由建设单位提供。

当需考虑地震作用时,由于挡土墙与墙后土体的刚度相差较大,从而导致挡土墙与墙后土体的动力特性存在显著差异。当两者发生相反的运动时,墙后土压力将减小,此时有利于挡土墙的安全性。当两者发生相对运动时,墙后土压力将加大,此时挡土墙可能会变得不安全,工程技术人员在实际设计过程中必须予以考虑。

2.2.2 第二破裂面理论

对于衡重式挡土墙,若衡重台水平尺寸较大,同时上墙高度相对较小时,墙体在土的水平方向推力作用下将向前滑动。沿墙背侧土的滑动面可能与 AB 不重合,而位于与竖直线夹角更小的 BC 面,如图 2-9 所示,通常称 BC 面为第二破裂面,而 BD 面则为第一破裂面。第一破裂面即库仑理论中产生于土体内部的破裂面。

若为悬臂式或扶壁式挡土墙,当基底摩擦系数较小时,可能出现墙踵板尺寸较大而墙高相对较小的情况,也可能在土中出现第二破裂面。

一、第二破裂面形成的条件

根据《公路挡土墙设计与施工技术细则》的相关规定,出现第二破裂面的条件为:

(1) 墙背或假想墙背的倾角 α_1 大于第二破裂面的临界角 α_i , 即墙背不妨碍出现第二破裂面。

对于墙后填土为直线,同时墙后填土面无荷载

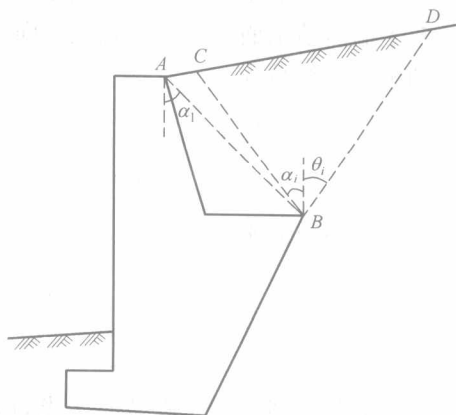


图 2-9 衡重式挡土墙破裂面示意

或满布均布荷载的挡土墙

$$\alpha_i = \frac{90^\circ - \varphi - \frac{\beta - \varepsilon}{2}}{2} \quad (2-6)$$

$$\theta_i = \frac{90^\circ - \varphi + \frac{\beta - \varepsilon}{2}}{2} \quad (2-7)$$

$$\varepsilon = \arcsin \frac{\sin \beta}{\sin \varphi} \quad (2-8)$$

式中 α_i ——第二破裂面与竖直面间的夹角；

θ_i ——第一破裂面与竖直面间的夹角；

φ ——填料的内摩擦角，当为黏性土填料时，应以综合内摩擦角 φ_0 替代内摩擦角 φ ；

β ——墙后填土面与水平面之间的夹角。

当墙后填土水平时， $\beta=0^\circ$ ， $\varepsilon=0^\circ$ ，此时

$$\alpha_i = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \quad (2-9)$$

$$\theta_i = 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \quad (2-10)$$

当墙后填土坡度达到最陡状态时， $\beta=\varphi$ ， $\varepsilon=90^\circ$ ，此时

$$\alpha_i = 0^\circ \quad (2-11)$$

$$\theta_i = 90^\circ - \varphi \quad (2-12)$$

式中 α_1 ——墙背的倾角，当为 L 形墙背时，为假想墙背（计算截面后墙踵点与墙背顶点的连线面；对于衡重式挡土墙，为衡重台后点与墙背顶点的连线）与竖直面之间的夹角。

(2) 作用于墙背上的下滑力小于墙背处的抗滑力。当未被支挡的土体中所选择的计算面与竖直线的夹角较大时，即计算面较平缓时，一般该面上的重力下滑分力会小于重力垂直分力所产生的摩擦阻力，故土体不会沿一个较平缓的面滑动。随着所选择的计算面与竖直线的夹角越来越小，即计算面的坡度越来越陡，到了某一临界面时，有可能出现重力的下滑分力大于重力产生的垂直分力所产生的摩擦力，此时的破裂面即为土体滑裂面。

二、第二破裂面土压力计算

第二破裂面的土压力计算公式是根据库仑理论公式推导出来的。

对于墙后填土面为直线，且填土面无荷载或满布均布荷载的情况，作用于第二破裂面上的主动土压力系数为

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha_i)}{\cos^2 \alpha_i \cos(\alpha_i + \varphi) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin 2\varphi \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha_i + \varphi) \cos(\alpha_i - \beta)}} \right]^2} \quad (2-13)$$

当墙后填土面水平时，式 (2-13) 可简化为

$$K_a = \frac{\tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{\cos \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)} \quad (2-14)$$

土压力作用线与第二破裂面法线的夹角为土的内摩擦角 φ ，土压力作用线与水平面的夹角为 $\alpha_i + \varphi$ 。

第二破裂面理论未提供黏性土的相关计算公式, 当为黏性土时, 应换算为等值内摩擦角 φ_0 代入公式。其中

$$\varphi_0 = \arctan\left(\tan\varphi + \frac{c}{\gamma H}\right) \quad (2-15)$$

式中 γ ——墙后填土的重度, kN/m^3 ;

φ ——试验所测定的内摩擦角, $(^\circ)$;

c ——试验所测定的黏聚力, kPa ;

H ——挡土墙高度, m 。

当填土内摩擦角 φ 较小, 黏聚力 c 较大或墙高 H 较大时, 应按工程经验对式 (2-15) 计算结果作适当调整。

当墙后填土面无地面荷载而且黏聚力 c 为零时, 土压力合力作用线位于墙高 $H/3$ 处; 当墙后填土面有地面荷载时, 土压力合力作用线位置应据实计算。

若墙后填土面不为直线或地面荷载为非满布均布荷载的情况, 上述破裂角计算公式及主动土压力系数计算公式不再适用, 读者可参考相关文献进行适当修正。

2.2.3 抗倾覆稳定验算

在土压力的水平分力作用下, 挡土墙可能绕墙基础底面的 O 点发生转动, 如图 2-10 所示。挡土墙的自重和土压力的竖向分力将阻止挡土墙发生转动, 若抵抗转动的力矩大于产生转动的力矩, 则不会发生倾覆破坏。为保证挡土墙有一定的安全储备, 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 规定抗倾覆力矩与倾覆力矩的比值不能小于 1.6。

如图 2-10 所示, G 为挡土墙每延米自重, x_0 为挡土墙重心离墙趾的水平距离, α 为挡土墙墙背的倾角, α_0 为挡土墙的基底倾角, δ 为土对挡土墙墙背的摩擦角, b 为基底的水平投影宽度, z 为土压力作用点离墙踵的高度。

E_a 的作用线同水平面的夹角为 $90^\circ - \alpha + \delta$, E_a 的水平分力 $E_{ax} = E_a \cos(90^\circ - \alpha + \delta) = E_a \sin(\alpha - \delta)$, E_a 的竖直分力 $E_{az} = E_a \sin(90^\circ - \alpha + \delta) = E_a \cos(\alpha - \delta)$ 。

E_a 的作用点到墙踵处的水平距离为 $z \cot \alpha$, 则 E_a 作用点到墙趾处的水平距离为 $x_f = b - z \cot \alpha$ 。墙趾处的 O 点离墙踵的高度为 $b \tan \alpha_0$, 则 E_a 作用点到墙趾 O 点的竖向距离为 $z_f = z - b \tan \alpha_0$ 。

综上所述, 可得抗倾覆稳定性验算式

$$K_t = \frac{Gx_0 + E_{az}x_f}{E_{ax}z_f} \geq 1.6 \quad (2-16)$$

若墙背光滑, 墙后滑动土楔体的土压力将垂直作用于墙背上。一般情况下, 墙背是不光

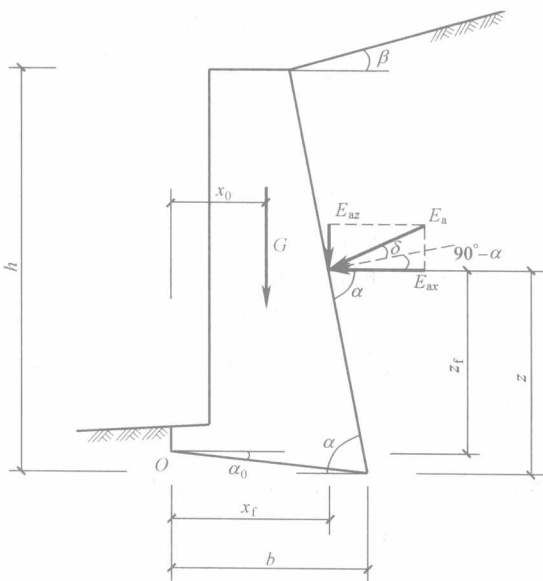


图 2-10 挡土墙稳定验算示意图