



高等学校城市地下空间工程专业规划教材

基坑与边坡工程

JIKENG YU BIANPO GONGCHENG

周勇 郝哲 李永靖◎主编



本书带二维码
提供配套视频



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

基坑与边坡工程

周 勇 郝 哲 李永靖 主 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是“高等学校城市地下空间工程专业规划教材”系列教材之一,结合新规范、规程,系统地从基本概念、基本理论和一般设计方法介绍了常见的基坑与边坡工程相关成果,旨在培养城市地下空间开发利用的设计、研究、开发利用、施工等领域的技术和管理人才。

全书共八章,内容包括:绪论、土钉墙支护技术、排桩与地下连续墙支护技术、内支撑支护技术、框架预应力锚杆支护技术、基坑降水、基坑和边坡工程监测、边坡支护设计与施工。

本书适用于城市地下空间工程专业的本科生,也可供城市地下商业与工业空间、基础工程、地下铁道、地下隧道与管廊、地下储库等工程的设计、研究、施工、管理、开发等部门相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基坑与边坡工程 / 周勇,郝哲,李永靖主编. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017.9
高等学校城市地下空间工程专业规划教材
ISBN 978-7-114-14130-0

I. ①基… II. ①周… ②郝… ③李… III. ①市政工程—地下工程—基坑工程—高等学校—教材②市政工程—地下工程—边坡—高等学校—教材 IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 213542 号

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

书 名: 基坑与边坡工程
著 者: 周 勇 郝 哲 李永靖
责任编辑: 张征宇 赵瑞琴
出版发行: 人民交通出版社股份有限公司
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)59757973
总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 16.25
字 数: 394 千
版 次: 2017年9月 第1版
印 次: 2017年9月 第1次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-14130-0
定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

编 委 会

主任委员:张向东

副主任委员:宗 兰 黄 新 马芹永 周 勇
金 奕 齐 伟 祝方才

委 员:张 彬 赵延喜 郝 哲 彭丽云
周 斌 王 艳 叶帅华 宁宝宽
平 琦 刘振平 赵志峰 王 亮

序 言

近年来,我国城市建设以前所未有的速度加快发展,规模不断扩大,人口急剧膨胀,不同程度地出现了建设用地紧张、生存空间拥挤、交通阻塞、基础设施落后等问题,城市可持续发展问题突出。开发利用城市地下空间,不但能为市民提供创业、居住环境,同时也能提供公共服务设施,可极大地缓解城市交通、购物等困难。

为适应城市地下空间工程的发展,2012年9月,教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录》(以下简称专业目录)中,将城市地下空间工程专业列为特设专业。目前国内已有数十所高校设置了城市地下空间工程专业并招生,而在这个前所未有的发展时期,城市地下空间工程专业系列教材的建设明显滞后,一些已出版的教材与学生实际需求存在较大差距,部分教材未能反映最新的规范或标准,也没有形成体系。为满足高校和社会对于城市地下空间工程专业教材的多层次要求,人民交通出版社股份有限公司组织了全国十余所高校编写“高等学校城市地下空间工程专业规划教材”,并于2013年4月召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路,于2014年4月召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,目前这套规划教材陆续出版。

这套教材包括《地下工程概论》《地铁与轻轨工程》《岩体力学》《地下结构设计》《基坑与边坡工程》《岩土工程勘察》《隧道工程》《地下工程施工》《地下工程监测与检测技术》《地下空间规划设计》《地下工程概预算》和《轨道交通线路与轨道工程》12门课程,涵盖了城市地下空间工程专业的主要专业核心课程。该套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,充分考虑知识体系的完整性、准确性、正确性和适用性,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例,做到通俗易懂,图文并茂。

为方便教师的教学和学生的自学,本套教材配有多媒体教学课件,课件中除教学内容外,还有施工现场录像、图片、动画等内容,以增加学生的感性认识。

反映城市地下空间工程领域的最新研究成果、最新的标准或规范,体现教材的系统性、完整性和应用性,是本套教材力求达到的目标。在各高校及所有编审人员的共同努力下,城市地下空间工程专业系列规划教材的出版,必将为我国高等学校城市地下工程专业建设起到重要的促进作用。

高等学校城市地下空间工程专业规划教材编审委员会
人民交通出版社股份有限公司

前 言

在城市地下商业与工业空间、基础工程、地下铁道、地下隧道与管廊、地下储库等项目建设时均面临深基坑开挖工程,在山区修建铁路与公路时也会遇到大量边坡开挖与回填问题,为防止滑坡或可能诱发的滑坡灾害,必然要用结构对基坑与边坡工程进行支挡。近年来,随着我国土木工程建设的快速发展,基坑与边坡工程也取得了长足进步,原有基坑与边坡工程建设理念已经不能完全适应当前社会发展的需求,迫切需要在传统设计、施工和监测技术的基础上,融入最新规范要求,将一些新型支挡结构、设计方法和设计理念进行梳理,以促进基坑与边坡工程又好又快发展。

作为应用型的专业基础课,为适应土木工程专业的教学需要,本书参照土木工程专业教学指导委员会的教学大纲,并结合我国现行的各种最新规范编写而成,除系统介绍基坑与边坡工程的基本概念、体系和基本设计计算理论外,还介绍了常见支挡结构在基坑与边坡工程中的工程实例,同时每章后均附有复习思考题。本课程具有涉及面广、实践性强、发展迅速的特点。在编写过程中,主要结合本科教学及工程实际需要,力求理论清晰,框架合理,不少内容均来源于编者系统的理论研究和丰富的工程实践。

在选择内容时,兼顾了基础知识与专业知识的结合,做到专业方向知识的全面性和系统性。本课程应在学习《材料力学》《土力学》《水力学》《工程结构荷载与可靠度设计原理》之后开设。学习本课程前应具备微分方程和一般结构的受力、变形强度等基本知识及基本计算技能,能正确使用国际单位制。本课程的后续课程是《地下结构设计》《地下工程施工技术》《隧道工程》《路基路面》《桥梁工程》等。

全书共分为八章,周勇、郝哲、李永靖担任主编。5所高校老师为主共同完成,编写分工如下:

第一章、第三章由郝哲(沈阳大学)完成,第二章由李永靖(辽宁工程技术大学)完成,第四章、第五章、第八章由周勇(兰州理工大学)完成,第六章由刘熙媛(河北工业大学)完成,第七章由乔京生(唐山学院)完成,全书由周勇统稿。

本书在编写过程中,得到了国内很多兄弟院校的支持和编者研究生的帮助,在此表示诚挚的谢意。

由于基坑与边坡工程发展迅速,加之编者水平所限,不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2017年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 基坑和边坡工程支护常用方法	11
第三节 基坑和边坡工程的设计原则与要求	17
第四节 基坑与边坡工程支护设计的内容与流程	23
第五节 本课程学习的重点和难点	26
思考题与习题	27
第二章 土钉墙支护技术	28
第一节 概述	28
第二节 土钉墙支护体系的工作性能分析	31
第三节 土钉墙支护的特点和适用性	34
第四节 土钉墙支护设计	35
第五节 复合土钉墙支护设计	42
第六节 土钉墙施工规范与要求	50
第七节 土钉墙与复合土钉墙支护实例	54
思考题与习题	57
第三章 排桩与地下连续墙支护技术	59
第一节 概述	59
第二节 支点力和嵌固深度计算	60
第三节 桩(墙)内力与变形计算	65
第四节 锚杆设计计算	72
第五节 设计要求	75
第六节 施工要求	79
第七节 桩锚支护基坑设计、施工和监测实例	82
思考题与习题	101
第四章 内支撑支护技术	103
第一节 概述	103
第二节 内支撑支护结构的组成	104
第三节 内支撑支护结构的设计原则	106
第四节 水平支撑的计算方法	114
第五节 竖向支撑的设计	120
第六节 施工要求	127

第七节 内支撑支护设计实例·····	131
思考题与习题·····	134
第五章 框架预应力锚杆支护技术·····	135
第一节 概述·····	135
第二节 框架预应力锚杆支护结构设计计算·····	137
第三节 框架预应力锚杆支护结构整体稳定性验算·····	141
第四节 框架预应力锚杆支护结构构造要求·····	148
第五节 设计、施工注意事项·····	151
第六节 框架预应力锚杆支护设计实例·····	153
思考题与习题·····	161
第六章 基坑降水·····	162
第一节 概述·····	162
第二节 降水设计与计算·····	163
第三节 基坑降水方法及其施工·····	173
第四节 基坑降水对周围环境的影响及其防治措施·····	185
思考题与习题·····	193
第七章 基坑和边坡工程监测·····	194
第一节 概述·····	194
第二节 基坑和边坡支护结构监测·····	196
第三节 监测工程实例·····	211
思考题与习题·····	219
第八章 边坡支护设计与施工·····	220
第一节 概述·····	220
第二节 重力式挡土墙·····	220
第三节 悬臂式挡土墙·····	227
第四节 扶壁式挡土墙·····	236
第五节 边坡支护工程实例·····	243
思考题与习题·····	246
参考文献·····	247
本书配套数字教学资源·····	248

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、基坑工程的基本概念、历史发展及展望

1. 基本概念

基坑:为进行建(构)筑物地下部分的施工由地面向下开挖出的空间。

基坑工程:为保证基坑的开挖、主体地下结构的施工和周围环境的安全,而采取的土方开挖、支护和降水工程。

深基坑工程:一般指开挖深度超过 5m(含 5m)的基坑土方开挖、支护、降水工程;或开挖深度虽未超过 5m,但地质条件、周围环境和地下管线复杂,影响毗邻建(构)筑物安全的基坑土方开挖、支护、降水工程。

基坑支护:为保证地下结构施工及基坑周边环境的安全,对基坑侧壁及周边环境采用的支挡、加固与保护的措施。支护结构一般包括具有挡土、止水功能的围护结构和维持围护结构平衡的支、锚体系两部分。

基坑工程施工如图 1-1、图 1-2 所示。



图 1-1 央视 CCTV 基坑工程(排桩 + 土钉墙)



图 1-2 国家大剧院基坑工程(排桩 + 地下连续墙)

2. 基坑的类型

基坑的类型主要包括以下几种:

1) 高层、超高层建筑基坑

我国已建和在建高层、超高层建筑的基坑深度,已由 6~8m 发展到 20m 以上,如:福州新世纪大厦基坑达 24m,天津津塔挖深 23.5m,苏州东方之门最大挖深 22m。基坑的平面尺寸也



越来越大,如上海仲盛广场基坑开挖面积为5万 m^2 ,天津市117大厦基坑面积为9.6万 m^2 ,上海虹桥综合交通枢纽工程开挖面积达35万 m^2 等。

2) 地铁站基坑

北京、上海、广州、天津、青岛、南京、沈阳等均有地铁在建,这些地铁沿线地下车站百余座多采用明挖法施工,如:广州地铁2号线海珠广场站基坑最大深度达26.4m,上海地铁4号线董家渡修复基坑则深达41m。上海徐家汇地铁车站为亚洲最大地铁车站,开挖宽23m、长660m。

3) 市政工程地下设施基坑

近几年来各地兴建了许多大型市政地下设施,例如:上海人民广场地下车库和商场,建筑面积5万 m^2 ;上海合流污水治理工程彭约浦泵站是目前世界最大的污水治理泵站,基坑深达26.45m;哈尔滨奋斗路地下街长300m、宽16m;屹立在黄浦江畔的亚洲第一电视塔“东方明珠”,基坑深12.5m,基底面积约为2700 m^2 ;石家庄站前地下商场建筑面积4万 m^2 ;北京王府井大型三层地下商业街长780m、宽40m,与地铁4个车站及东安商场、东方广场的地下室分别相通。

4) 工业基坑

我国目前已有不少规模较大的工业深基坑,例如:宝钢热扎厂铁皮坑深32m,上海世博500kV地下变电站挖深34m,浦东耀华皮尔金顿浮法玻璃溶窖坑,亚洲最高烟囱北仑港电厂240m的高烟囱深基坑。

这些深、大基坑通常都位于密集城市中心,常常紧邻建筑物、交通干道、地铁隧道及地下管线等,施工场地紧张、施工条件复杂、工期紧迫。这导致深基坑工程的设计和施工难度越来越大,重大恶性基坑事故不断发生,工程建设的安全生产形势越来越严峻。

3. 基坑工程的内容和特点

1) 基坑工程的内容

基坑工程的内容包括基坑工程勘察;支护结构的设计和施工;基坑土方工程的开挖和运输;地下水位控制;基坑土方开挖过程中的工程监测和环境保护等。基坑工程涉及土力学、基础工程、结构力学、工程结构、施工技术、监测技术等多学科领域,其理论性和实践性都很强。

基坑开挖工艺有两种:放坡开挖(无支护开挖)和在支护体系保护下开挖(有支护开挖)。前者简单且经济,在空旷地区或周围环境允许时能保证边坡稳定的条件下应优先选用。但事实上,在城市中心地带、建筑物稠密地区、很难具备放坡开挖的条件。因为放坡开挖需要基坑平面以外有足够的空间供放坡之用,如在此空间内存在临近建(构)筑物基础、地下管线、运输道路等,都不允许放坡,此时就只能采用在支护结构保护下进行垂直开挖的方法。采用支护结构开挖基坑,基坑工程的费用要提高,一般工期亦要延长。但在一定条件下又是必需的,因此对支护结构应进行精心的设计和施工。

对地下水位较高的软土地区,支护结构一般都要求降水或挡水。在开挖基坑土方过程中坑外的地下水在支护结构阻挡下,一般不会进入坑内。但基坑土方本身有较高的含水率,在软土地区往往呈饱和状态,该类地区的深基坑工程在坑内一般都采取帷幕止水措施,以便基坑土方开挖和有利于保护环境。

2) 基坑工程的特点

基坑工程是当前岩土工程领域十分关注的工程热点和难点,给岩土工程施工提出了许多技术难题。基坑工程一般具有下述特点:

(1) 基坑支护体系是临时结构,安全储备较小,具有较大的风险性

一般情况下,基坑支护是临时措施,地下室主体施工完成时支护体系即完成任务。与永久性结构相比,临时结构的安全储备要求可低一些。基坑支护体系安全储备较小,因此具有较大的风险性。基坑工程施工过程中应进行监测,并应有应急措施。在施工过程中一旦造成安全事故,容易发生群死群伤。

(2) 基坑工程的区域性及土压力特点

岩土工程区域性强,岩土工程中的基坑工程区域性更强。同一城市不同区域也有差异。基坑工程的土方开挖,特别是支护体系设计与施工要因地制宜,根据本地情况进行,外地的经验可以借鉴,但不能简单搬用。

基坑支护在考虑地下水对土压力的影响时,是采用水土压力分算,还是水土压力合算较符合实际情况,在学术界和工程界认识还不一致,各地对此制定的技术规范也有差异。结构承受的土压力一般介于主动土压力和静止土压力之间或介于被动土压力和静止土压力之间。目前土压力理论还很不完善,在考虑地下水对土压力的影响时,是采用水土压力分算,还是水土压力合算较符合实际情况,还未取得共识。各地对此制定的技术规范也有差异。

(3) 基坑工程具有明显的环境效应

基坑工程的安全可靠性不仅影响基坑工程本身,而且往往会影响周边环境。基坑开挖势必引起周围地基中地下水位的变化和应力场的改变,导致周围地基土体的变形,与基坑相邻建筑物、构筑物及市政地下管线的位置等变化。有时,保护相邻建(构)筑物和市政设施的安全是基坑工程设计与施工的关键。

(4) 基坑工程是综合性很强的系统工程

基坑工程涉及土力学中稳定、变形和渗流三个基本问题,三者融合在一起,需要综合处理。土方开挖的施工组织是否合理将对基坑支护能否成功可能会产生重要影响。不合理的土方开挖方式、步骤和速度可能导致支护结构过大的变形,甚至引起支护体系失稳。在施工过程中应加强监测,力求实行信息化施工。

(5) 基坑工程具有较强的时空效应

土体是蠕变体,特别是软黏土具有较强的蠕变性,蠕变能使作用在支护结构上的土压力随时间增大,使土体强度降低,土坡稳定性变小,可见基坑工程具有很强的时间效应。同时,基坑的深度和平面形状对支护体系的稳定性和变形亦有较大影响,在基坑支护体系设计中要注意基坑工程的空间效应。

(6) 基坑支护的非唯一性

基坑支护实施途径的非唯一性主要表现在:①支护方案的非唯一性:目前我国工程实践中应用的基坑支护形式不少于数十种,如果从构成基坑支护方案的各子项的组合来看,支护方案多达160多种,采用何种支护方案直接影响支护工程的成败和投资的效益。②设计理论的非唯一性:从设计准则上看,有强度和稳定性设计准则、变形控制设计方法和极限分析理论;从设计方法上看,有常规设计方法、弹性地基梁法和有限元法等。不同



的设计理论和方法有不同的适用条件,相应设计结果也可能相差悬殊,特别是基坑支护工程实践往往超越其设计理论的发展,从而导致实施过程中一些设计理论的失败。③支护结构参数的非唯一性:同一支护方案,由于设计参数的选用不同,既可能失败也可能成功,或偏于保守造成浪费。

由于基坑工程的不确定性和非唯一性,在基坑工程设计中应采用优化设计。深入讨论基坑支护设计方法,对更好地设计基坑支护结构,减少基坑工程事故的发生有着重要的意义。

4. 基坑工程的历史发展

基坑工程是基础工程和地下工程中一个古老的传统课题。最早的放坡开挖和简易木桩围护可以追溯到远古时代,人类的土木工程活动促进了基坑工程的发展。1943年, Terzaghi 和 Peck 提出了预估挖方稳定程度和支撑荷载大小的总应力法;1956年, Bjerrun 和 Eide 给出了分析深基坑底板隆起的方法;20世纪60年代开始,在奥斯陆和墨西哥城软黏土深基坑中使用了仪器进行监测。随着大量高层、超高层建筑以及地下工程等的不断涌现,基坑的开挖深度和面积逐渐加大,基坑围护与开挖技术的复杂程度也在不断提高,促使工程技术人员以新的眼光去审视基坑工程这一古老课题,使许多新理论和新技术得以出现和成熟。

深基坑工程在我国起步较晚,20世纪70年代以前的基坑深度较小,国内只有少数开挖深度达10m以上的基坑工程;进入80年来以来,随着北京、深圳、上海、广州、天津等城市的大规模建设,高层、超高层建筑和市政设施及地铁的建设,基坑开挖深度不断地增大,复杂程度也不断提高,并积累了很多的设计和施工经验。进入90年代,许多地区已经开始编制深基坑支护设计与施工的有关技术规范和法规。近20年来,我国万幢高楼拔地而起(10层以上的建筑物已逾1亿 m^2),其中高度逾百米者已有200多座。上海金茂大厦高420m,深圳地王大厦高325m,广州中天大厦高322m,广州国际金融中心高442m,上海环球金融中心建筑高度492m,上海中心大厦总高632m,它们已跻身于世界百座超级巨厦之列;一些大城市,如北京、上海、广州、武汉、重庆、沈阳地铁工程相继全面展开;各大中城市大型市政地下设施也屡见不鲜。因此,深基坑工程的深度随之迅速增加,目前深度超过20m基坑已为数不少,一些工业基坑深度甚至超过30m。

当前,深基坑工程出现的问题越来越多,深基坑的设计与施工不仅引起了业内和职能部门的高度重视,也引起了社会各界的广泛重视。随着土工试验技术的进步以及先进监测技术的应用与计算机技术的普及,设计方法不断革新,施工工艺也日益完善,但深基坑工程出现的问题也越来越复杂,迫切要求深基坑工程的理论研究与施工方法进一步革新。

5. 基坑工程的发展展望

1) 基坑工程规模向更大、更深方向发展

基坑工程的发展反映在基坑工程本身的规模、支护体系设计理论的发展、施工技术和监测技术的进步等方面。深基坑工程中的“深”已经在规模上反映了基坑工程的发展方向。随着高层和超高层建筑的发展和人们对地下空间的开发和利用日益增多,深基坑工程不仅数量会增多,而且会向更大、更深方向发展。

2) 土压力的空间和时间效应将得到进一步的重视

深基坑设计理论的发展关键是如何正确计算作用在支护结构上的土压力。常规设计中土压力一般取静止土压力或极限状态下的主动土压力和被动土压力,而作用在支护结构上的实际土压力一般介于它们之间。实际土压力是与支护结构位移、支护结构空间形状有关,而且还与土体扰动、固结、蠕变有关。人们将重视发展考虑空间效应和时间效应的土压力理论。另外,在支护结构设计中人们将更加重视考虑土与结构相互作用,以及土与结构变形的正确估算。

3) 基坑支护结构选型将更加合理

基坑开挖及基础工程的费用,在整个工程成本中占有很大的比例。合理选择支护形式,采用相应的施工工艺,协调好安全、经济、可行三者之间的关系,是岩土工程界进行深基坑支护设计的关键。深基坑地基土的类别、地下水位的高低,以及周边环境等,都是深基坑支护结构选型时需要考虑的十分重要的因素。如果支护结构形式选择合理,就可以做到整个基坑以及整个建筑物的安全可靠,还可以带来可观的经济与社会效益;如果支护结构形式选择不合理,不但会危及基坑及整个建筑物的安全,还会影响周边环境。所以,基坑工程发展的一个必然趋势就是如何使支护结构选型更加合理。

4) 新技术的推广应用

(1)人工冻结围护深基坑技术。通过在拟开挖场地周围土体中插入冻结管,以冻结土体形成具有一定结构强度墙体作为基坑施工的围护结构。该技术具有土体强度提高幅度大、防渗性好、适应性强、环境影响小等优点。目前,国内许多常规支护方法的基坑都不同程度地出现过基坑倒塌失稳事故,造成了巨大经济损失。而人工冻结施工的冻结墙体兼具有结构强度和防渗性双重作用,特别是对于挖深超过 10m 的深基坑,其造价显著低于常规方法,而且效果很好。此方法在国外广泛使用,目前国内采用还很少,应该大力推广,以促进我国基坑工程技术的发展。

(2)SMW 工法。于 20 世纪 70 年代在日本问世的 SMW (Soil Mixing Wall) 工法,又称劲性水泥土搅拌桩,是把水泥土的止水性能和芯材(一般为 H 型钢,也可为混凝土等其他劲性材料)的高强度特性有效地组合而成的一种抗渗性好、刚度高、经济的围护结构。如何考虑桩体组合结构的复合刚度,在确保工程安全性基础上最大限度地利用 SMW 刚度是工程设计中的一个难点。

5) 基坑工程对周围环境的影响更受重视

大量深基坑工程集中在市区,施工场地狭小,施工条件复杂,如何减小基坑开挖对周围建(构)筑物、道路和各种市政设施的影响,发展控制基坑开挖扰动环境的理论和方法将引起人们进一步的关心和重视。人们将更加重视深基坑工程对周围环境的影响研究,包括基坑开挖前周围建筑及市政设施的初始应力场、位移状态的调查评价,基坑开挖对它们引起的附加应力的计算,以及它们抵抗破坏的能力与受害等级的划分等。

6) 信息化施工进一步推广

鉴于深基坑工程事故的增多,以及由此造成的严重的损失,所以在今后应该大力普及信息化施工。实现信息化施工,可以通过计算机对基坑施工过程中的变形进行监测,提供支护体系及环境的受力状态以及变形数据,并可以及时反馈数据。通过分析数据,适时地进行加固,实现毫米级的变形控制,可以保证基坑工程的稳定安全,发挥它的真正作用。



二、边坡工程基本概念、稳定分析及发展展望

1. 基本概念

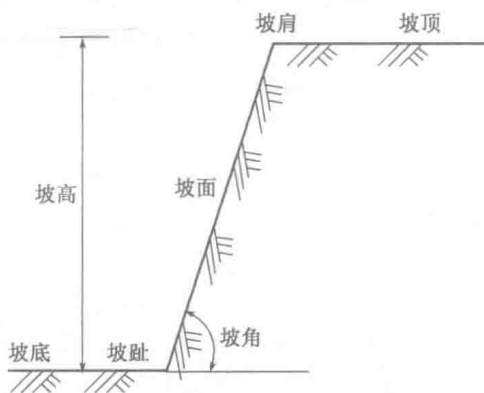


图 1-3 边坡构成要素

边坡:一般指天然边坡(自然斜坡、河流水岸坡、台塬塬边、崩滑流堆积体)以及人工边坡(交通道路、露天采矿、建筑场地与基础工程等所形成)等坡体形态的总称;也可以广义定义为地球表面具有倾向临空的地质体,主要由坡顶、坡面、坡脚及下部一定范围内的坡体组成。

边坡横断面外形和各部位名称如图 1-3 所示。

边坡工程:为满足工程需要而对自然边坡和人工边坡进行改造,称为边坡工程。

图 1-4 ~ 图 1-7 为不同行业的边坡工程。



图 1-4 水利边坡

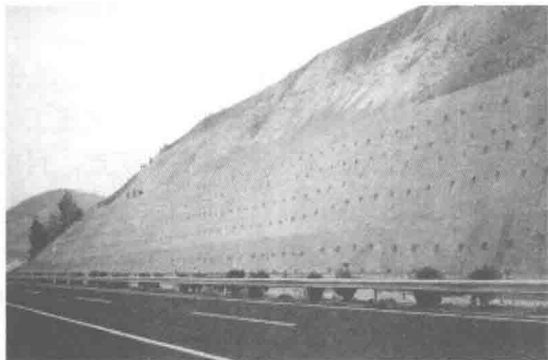


图 1-5 公路边坡

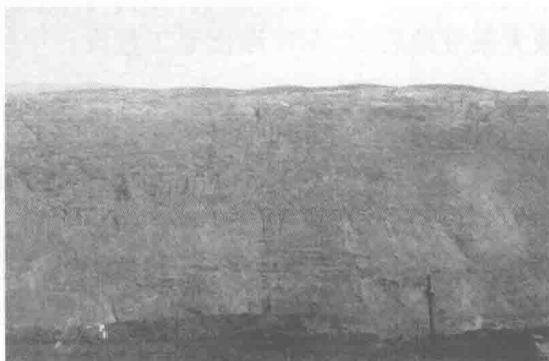


图 1-6 露天矿边坡



图 1-7 建筑边坡

高边坡工程:不同行业高边坡的界定标准是不同的。对于建筑边坡,根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)的规定:对于土质边坡高度大于 20m、小于 100m 或岩质边坡高度大于 30m、小于 100m 的边坡,其边坡高度因素将对边坡稳定性产生重要作用和影响,其边

坡稳定性分析和防护加固工程设计应进行个别或特别设计计算,被称为高边坡。

2. 边坡的形态与分类

在实际工程中,为满足不同工程用途的需要,边坡形态多种多样,如图 1-8 所示,其分类通常有以下几种:

(1)按照边坡的成因,可分为天然边坡和人工边坡。天然边坡是自然形成的山坡和江河湖海的岸坡。

(2)按照构成边坡坡体的岩土性质,可分为黏性土类边坡、碎石类边坡、黄土类边坡和岩石类边坡。

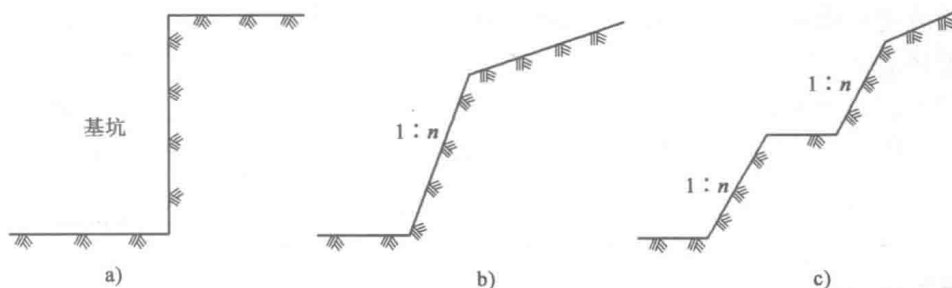


图 1-8 边坡基本形态

a) 直立式边坡; b) 倾斜式边坡; c) 台阶式边坡

(3)按照边坡的稳定性程度,可分为稳定性边坡、基本稳定边坡、欠稳定边坡和不稳定边坡。这种分类方法一般根据边坡的稳定性系数的大小进行划分,但无严格的规定。

(4)按照边坡的高度,可分为高边坡和一般边坡。

(5)根据边坡的断面形式,可分为直立式边坡、倾斜式边坡和台阶式边坡,如图 1-8 所示。根据这三种形式可构成复合形式的边坡,如图 1-9 所示。

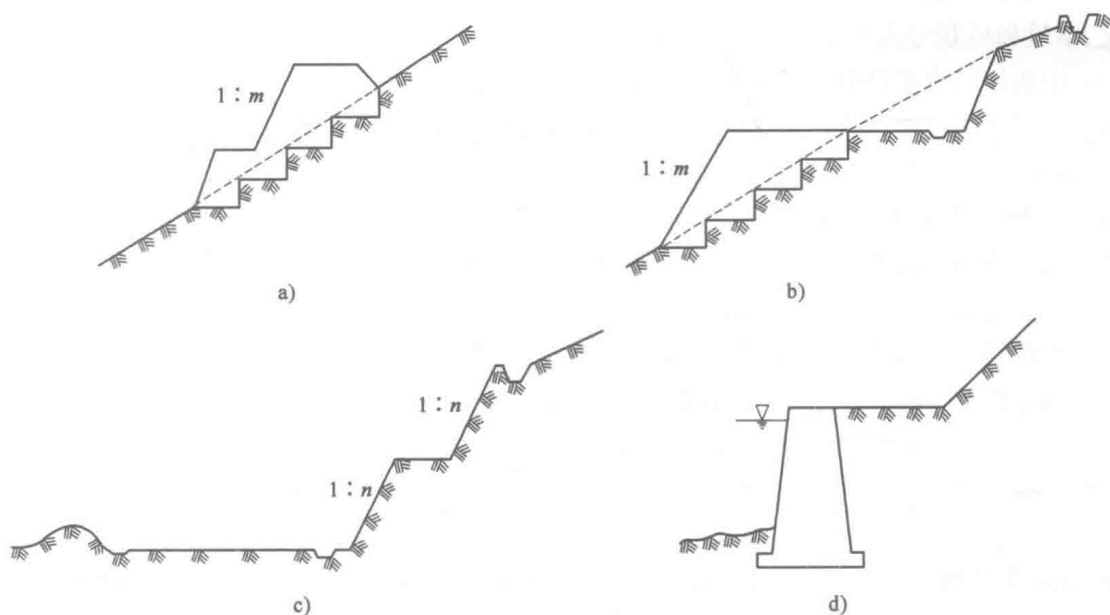


图 1-9 复合形态边坡



(6) 根据使用年限,分为临时性边坡和永久性边坡。临时性边坡是指工作年限不超过 2 年的边坡,基坑边坡就属于临时性边坡;永久性边坡是指工作年限超过 2 年的边坡。

3. 边坡稳定问题

边坡稳定问题是工程建设中经常遇到的问题,例如水库的岸坡、渠道边坡、隧洞进出口边坡、拱坝坝肩边坡以及公路或铁路的路堑边坡等,都涉及稳定性问题。边坡的失稳,轻则影响工程质量和施工进度;重则造成人员伤亡和国民经济的重大损失。因此,不论土木工程还是水利水电工程,边坡的稳定问题经常成为需要重点考虑的问题。

边坡按组成物质可分为岩质边坡和土质边坡。岩质边坡失稳与土质边坡失稳的主要区别在于土质边坡中可能滑动面的位置并不明显,而岩质边坡中的滑动面则往往较为明确,无须像土质边坡那样通过大量试算才能确定。岩质边坡中结构面的规模、性质及其组合方式在很大程度上决定着岩质边坡失稳时的破坏形式;结构面的产状或性质稍有改变,岩质边坡的稳定性将会受到显著影响。因此,要正确解决岩质边坡稳定性问题,首先需搞清结构面的性质、作用、组合情况以及结构面的发育情况等,在此基础上不仅要判断破坏方式,而且对其破坏机制也必须进行分析,这是保证岩质边坡稳定性分析结果正确性的关键。

边坡是否稳定受多种因素的影响,主要有:①岩土性质的影响,包括岩土的坚硬程度、抗风化能力、抗软化能力、强度、组成、透水性等;②岩层的构造与结构的影响,表现在节理裂隙的发育程度及其分布规律、结构面的胶结情况、软弱面和破碎带的分布与边坡的关系、下伏岩土界面的形态以及坡向坡角等;③水文地质条件的影响,包括地下水的埋藏条件、地下水的流动及动态变化等;④地貌因素,如边坡的高度、坡度和形态等;⑤风化作用的影响,主要体现为风化作用将减弱岩土的强度,改变地下水的动态;⑥气候作用的影响,气候引起岩土风化速度、风化厚度以及岩石风化后的机械、化学变化,同时引起地下水(降水)作用的变化;⑦地震作用除了使岩土体增加下滑力外,还常常引起孔隙水压力的增加和岩土体的强度的降低;⑧人类活动的开挖、填筑和堆载等人为因素同样可能造成边坡的失稳。

一个边坡的失稳往往是多种因素共同作用的结果,这些因素可归结为两大类:一是外界力的作用破坏了岩土体原来的应力平衡状态,如路堑或基坑开挖、路堤填筑或边坡顶面上作用外荷载,以及岩土体内水的渗流力、地震力的作用等,改变原有应力平衡状态,使边坡坍塌;另一是边坡岩土体的抗剪强度由于受外界各种因素的影响而降低,促使边坡失稳破坏,如气候等自然条件使岩土时干时湿、收缩膨胀、冻结融化等,水的渗入、软化效应、地震引起砂土液化等,均将造成强度降低。

边坡在自然与人为因素作用下的破坏形式主要表现为滑坡、滑塌、崩塌和剥落。①滑坡(slides)是斜坡部分岩土体在重力作用下,沿一定的软弱面,缓慢地整体向下移动,具有蠕动变形、滑动破坏和渐趋稳定三个阶段,有时也具有高速急剧移动现象。②滑塌(slip-slumps)是因开挖、填筑、堆载引起斜坡的滑动或塌落,一般较突然,黏性土类边坡有时也会出现一个变形发展过程。③崩塌(fall-slumps)是整个岩土体块脱离母体,突然从较陡的斜坡上崩落、翻转、跳跃、堆落在坡脚,规模巨大的称为山崩,规模较小的称为塌方。④剥落(falls)是斜坡岩土长期遭受风化、侵蚀,在冲刷和重力作用下,岩(土)屑(块)不断沿斜坡滚落堆积在坡脚。

由于地质条件复杂,加之设计施工方法不当,因边坡稳定造成灾害的事故频繁发生,给运

营安全留下重大隐患。边坡失稳与破坏的形式很多,这些在表面上看似斜坡岩土体运动的不同表现形式,随时都有可能带来严重的破坏,甚至是灾难。美国布法罗的煤矿废物泥浆挡坝的倒塌造成 125 人死亡;1963 年北意大利的 Vaiont 水库左岸滑坡,使得 25000 万 m^3 的滑体以 28m/s 的速度下滑到水库,形成 250 多米高的涌浪,造成下游 2500 多人丧生。1980 年我国湖北运安盐池河磷矿发生山崩,100 万 m^3 的岩体崩落,摧毁了矿务局和坑道的全部建筑物,造成 280 人死亡。1989 年 7 月 10 日,华蓥市溪口镇因崩塌形成的滑坡、泥石流造成 222 人死亡。1994 年宜宾市兴文县久庆镇,因建设切坡脚,诱发滑坡,导致楼房倒塌,赶集村民一次死亡 48 人,伤 40 人。1995 年 10 月,330 国道青田县茅洋村路段边坡崩塌,途经此地至金华大客车被埋,车内 37 人全部身亡,车辆报废。1998 年美姑县乐约乡特大滑坡,导致 150 余人失踪。1999 年,古蔺县滑坡、泥石流灾害死亡 41 人。2001 年 5 月 1 日重庆市武隆县县城江北西段发生山体滑坡,造成一栋 9 层居民楼房垮塌,死亡 79 人,阻断了 319 国道新干道,几辆停靠和正在通过的汽车也被掩埋在滑体中。世界上每年由于人工边坡或自然边坡失稳造成的经济损失数以亿计,如 1978 年 Schuster 收集的资料显示,在美国仅加利福尼亚州由于边坡失稳造成的损失每年可达 33 亿美元,除此之外,在美国平均每年至少有 25 人死于这种灾害;1984 年英国的 Carsington 大坝滑动,使耗资近 1500 万英镑的主堤几乎完全破坏。在我国,据不完全统计,1998 年以来福建省先后发生的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等 21300 多起,涉及 40 多个县(市、区),造成 300 余人死亡,伤 500 余人,毁房 500 余间,经济损失高达 10 多亿元;四川省近 10 年以来,每年地质灾害造成的损失达数亿元,死亡人数在 300 人左右;三峡库区的最新统计表明,1982 年以来库区两岸发生滑坡、崩塌、泥石流 70 多处,规模较大的 40 多处,死亡 400 人,直接经济损失数千万元。云南省的公路边坡灾害调查数据显示,1990—1999 年,云南公路边坡发生大、中型崩塌、滑坡、泥石流 135 ~ 144 次,造成 1000 余座桥梁被毁,经济损失达 168 余亿元,并对全省 2220km 公路的运营构成严重威胁。

4. 边坡稳定分析方法

1) 极限平衡法

土力学和岩石力学的成就与发展决定了对岩土边坡研究的完善程度。第二次世界大战后,边坡稳定分析主要借鉴土力学的理论,采用圆弧法计算边坡稳定性。圆弧法早在 1916 年由瑞典人 Perttson 首先提出,之后由 Fellenius 和 Taylors 等人不断改进,逐渐完善成为现在通称的所谓简单条分法或瑞典圆弧法。它是基于平面应变假定,视滑面为一个圆筒面,分析时通常将滑体分成许多竖条,以条为基础进行力的分析,各条之间的力大小相等,其方向平行于滑面,以整个滑面的稳定力矩与滑动力矩之比作为安全系数。此后,许多学者在土力学及其工程研究中对极限平衡方法做了进一步研究,建立了 Bishop 法(1955 年)、Janbu 法(1957 年)、Morgenstern - Price 法(1965 年)、Spener 法(1967 年)及 Sarma 法(1973)等,各种方法的主要区别是破坏面形状的不同以及划分条块后条间力的处理不同。极限平衡法计算简单、实用性强、能够直接提供坝体稳定性的定量结果,所以应用较广,积累了丰富的工程经验。但极限平衡法是建立在滑体是沿假定的简单滑面滑动,忽略了内部的变形和破坏,同时假定滑面的安全系数为常数,而且必须给出孔隙水压力,没有考虑变形和孔隙压力的耦合作用。因此,极限平衡方法缺乏必要的物理基础,基本上是经验方法,因此只能达到对坝体的稳定性作出粗略的估计。