

高职高专土建系列规划教材

地基与基础工程施工

DIJI YU JICHU
GONGCHENG SHIGONG

主 编 / 谭正清 夏念恩 汪耀武



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地基与基础工程施工 / 谭正清, 夏念恩, 汪耀武主
编. — 成都 : 电子科技大学出版社, 2016. 5
高职高专土建系列规划教材
ISBN 978-7-5647-3651-4

I. ①地… II. ①谭… ②夏… ③汪… III. ①地基—
工程施工—高等职业教育—教材②基础(工程)—工程施
工—高等职业教育—教材 IV. ①TU47②TU753

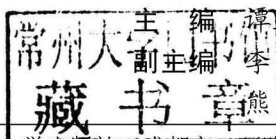
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 103470 号

内 容 简 介

本书是按照“基于工作过程”的教学模式开发的项目化教材, 以满足高等职业院校建筑工程技术、工程监理、工程造价等专业培养技能型人才的需求。为配合国家骨干院校重点专业建设, 本书在编写过程中深入开展建筑工程技术行业岗位(群)调查, 在内容上融入现行职业资格标准——《建筑与市政工程施工现场专业人员职业标准》(JGJ/T 250—2011), 加强关键能力和职业迁移能力的培养。本书共开发了土工试验与工程地质勘察报告阅读、土方工程施工、基坑工程施工、特殊(软弱)地基处理工程施工、浅基础工程施工、桩基础工程施工、BIM 技术在基础工程中的应用等 7 个学习情境。每个学习情境又开发了若干项目进行编写, 结合具体的工程实践项目, 注重对学生专业技能的训练, 以更易于培养学生的职业素养。本书可用于高职高专院校建筑工程技术、工程监理、道桥、工程造价等专业的课程教学, 也适用于在职建筑工程技术人员的岗位培训, 还可作为广大建筑工程管理人员自学的参考书籍。

高职高专土建系列规划教材

地基与基础工程施工



主 编 谭正清 夏念恩 汪耀武
副主编 李 延 贾海艳 程明龙
熊 熙 杜 敏

出 版:	电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)	电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn
主 页:	www.uestcp.com.cn	责任编辑: 王 坤
策划编辑:	郭蜀燕 罗 雅	印 次: 2016 年 5 月第一次印刷
版 次:	2016 年 5 月第一版	印 刷: 成都市火炬印务有限公司
发 行:	新华书店经销	字 数: 472 千字
印 张:	18	成品尺寸: 185 mm×260 mm
书 号:	ISBN 978-7-5647-3651-4	
定 价:	42.00 元	

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

本书是按照“基于工作过程”的教学模式开发的项目化教材，以满足高等职业技术学院建筑工程技术、工程监理、工程造价等专业培养技能型人才的需求。为配合国家骨干院校重点专业建设，本书在编写的过程中深入开展建筑工程技术行业岗位（群）调查，在内容上融入现行职业资格标准——《建筑与市政工程施工现场专业人员职业标准》（JGJ/T 250—2011），加强关键能力和职业迁移能力的培养。本书的内容安排符合职业教育特点，贯彻了理论“适度、够用”、技能培养为主的基本思想。整个学习领域共开发了土工试验与工程地质勘察报告阅读、土方工程施工、基坑工程施工、特殊（软弱）地基处理工程施工、浅基础工程施工、桩基础工程施工、BIM 技术在基础工程中的应用等 7 个学习情境，每个学习情境又开发了若干项目进行编写，结合具体的工程实践项目，注重对学生专业技能的训练，使得对学生职业素养的培养更加容易。

本书由黄冈职业技术学院建筑学院谭正清、夏念恩，咸宁职业技术学院汪耀武担任主编；由滁州职业技术学院李延，黄冈职业技术学院贾海艳、程明龙、熊熙，大连鲁班公司杜敏担任副主编。绪论及学习情境一由谭正清修订编写，学习情境二由程明龙、李延修订编写，学习情境三由夏念恩修订编写，学习情境四由贾海艳修订编写，学习情境五由熊熙修订编写，学习情境六由汪耀武修订编写，学习情境七由杜敏修订编写。全书由谭正清、夏念恩统一修订、补充。感谢夏念恩、汪耀武提供和编辑大量工程实践项目，感谢贾海艳、程明龙、熊熙提供很多素材，感谢杜敏提供和编辑大量 BIM 应用工程实践项目。

本书编写的主要依据是《地基基础工程施工课程标准》，同时参考了《建筑与市政工程施工现场专业人员职业标准》（JGJ/T 250—2011），《建筑施工手册》（第四版），《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图（独立基础、条形基础、筏形基础及桩基承台）》（11G101-3），建筑工程相关规范、标准以及其他大量出版文献、资料，在此对相关作者与编写者诚表衷心的感谢。同时，对为本书付出辛勤劳动的编辑老师表示深切的感谢。

由于编写时间及编者水平有限，书中不足及疏漏之处在所难免，恳请广大专家、同行和读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	1
项目一 “地基与基础工程施工”发展进程	1
项目二 “地基与基础工程施工”学习领域设计开发	2
项目三 “地基与基础工程施工”工程实例	4
学习情境一 土工试验与工程地质勘察报告阅读	8
项目一 土的物理性质指标的测定	8
项目二 土的物理状态指标的测定	20
项目三 土的工程分类与鉴别	26
项目四 土的压缩性指标测定	28
项目五 土的抗剪强度指标测定	36
项目六 岩土工程勘察报告及应用	40
本情境实训任务一 ××工程土的室内物理力学性质指标的测定	45
本情境实训任务二 工程地质勘察报告阅读和使用	45
学习情境二 土方工程施工	46
项目一 土方施工基础知识	46
项目二 土方工程量计算	48
项目三 施工准备与辅助工作	56
项目四 土方机械化施工	60
项目五 填土与压实	64
本情境实训任务 ××工程土方工程量计算	66
学习情境三 基坑工程施工	68
项目一 基坑工程的认知	68
项目二 基坑支护结构施工工艺	70
项目三 地下水控制	95
本情境实训任务 基坑支护施工方案阅读和使用	103
学习情境四 特殊（软弱）地基处理工程施工	104
项目一 换填地基工程施工	104
项目二 夯实地基工程施工	112
项目三 挤密桩地基工程施工	123
本情境实训任务一 “换填砂石法”地基处理施工方案设计	135

本情境实训任务二 “灰土挤密桩”地基处理施工方案编制	136
学习情境五 浅基础工程施工	138
项目一 浅基础认知	138
项目二 砖砌大放脚基础施工	142
项目三 钢筋混凝土独立基础工程施工	151
项目四 墙下钢筋混凝土条形基础工程施工	163
项目五 筏板基础施工	170
项目六 识读基础施工图	177
本情境实训任务 ××办公楼工程基础识图及钢筋下料单计算	178
学习情境六 桩基础工程施工	180
项目一 桩基础认知	180
项目二 灌注桩基础工程施工	185
项目三 预应力桩基础工程施工	196
本情境实训任务一 预制管桩施工专项方案阅读和使用	202
本情境实训任务二 人工挖孔桩施工专项方案阅读和使用	202
学习情境七 BIM 技术在基础工程中的应用	204
项目一 BIM 技术认知	204
项目二 BIM 技术在基础工程中的应用	205
本情境实训任务 《××项目地下基坑围护与主体结构碰撞报告》展示阅读	224
附录一 ××市××职业中等专业学校岩土工程勘察报告（详勘）	235
附录二 ××市××新技术开发区基坑支护施工方案	245
附录三 ××小区6号楼静压预制管桩基础专项施工方案	259
附录四 ××高速公路人工挖孔桩施工方案	270
参考文献	281

绪 论

项目一 “地基与基础工程施工” 发展进程

国家教育部、高职高专教育司于 2006 年启动实施“国家示范性高等职业院校建设计划”以来,高职院校推进教学改革的思想,积极探索校企合作、工学结合,主动服务社会,精神面貌焕然一新:突破传统本科“压缩饼干”教学模式,确定了校企合作、工学结合人才培养模式的改革方向;强化实践教学,通过生产性实训和顶岗实习增强学生就业能力,提高了毕业生就业率和企业的认可度;强化以服务为宗旨、以就业为导向的办学理念,提升了服务社会的能力和水平;服务于国家战略实施全局,服务于区域经济。为了能更好地服务区域经济,“地基与基础工程施工”学习领域的开发和整合变得更具有意义。

“地基与基础工程施工”要解决所有的地基基础工程施工问题,开发该学习领域的思路就是开发学习情境、项目和任务,设计教学,改变学生传统学习理念和模式,探索符合高职高专学生自身基础情况的一种新的教学模式。

黄冈职业技术学院(以下简称“我院”)建筑工程技术专业为湖北省教学改革试点专业,“地基与基础工程施工”是建筑工程技术专业的主干课程,其中所涉及的内容也是该专业的核心领域之一。

“地基与基础工程施工”课程由建筑工程技术专业学科体系下的“土力学地基基础”、“建筑施工”、“高层结构施工”3 门课程整合而成。课程在整合的过程中紧紧围绕建筑工程专业人才培养目标,突出技能性、应用性、实践性,精心构建课程结构、课程内容,明确课程的教育目标以及知识、能力、素质结构,并融合了近年来的课程改革和建设中的新思想、新观念。

1985 年~2003 年,这一阶段的本课程是采用本科院校的课程体系并按学科建立的,有关地基与基础方面的知识是教授“土力学地基基础”、“建筑施工”中的“土方工程施工”章节,知识结构松散,学生感觉学习的知识太抽象,不能马上用于实践。

2003 年~2006 年,随着当前建筑工程地上、地下的发展趋势,本课程中加入了“高层结构施工”内容,里面涉及的地基与基础章节有“基坑支护”、“基坑降水”、“地基处理技术”。

2006 年~2009 年,我院在全国土建指导委员会多次探讨研究,建筑工程技术专业积极推动教学改革,旧的教学模式和课程体系已经不能符合高职高专人才培养的需要。我院将“土力学地基基础”、“建筑施工”和“高层结构施工”中地基与基础相关章节按照工作过程整合成“地基与基础工程施工”学习领域。在整合过程中,我院不断探索研究。2006 年,我院最初开始教学改革,“地基与基础工程施工”只教授施工方面的知识,学生对土力学知识一点不了解,形成很大的知识盲区,导致到工作岗位上去后,简单的工程问题都不会分析。2007

年,我院重新整合了课程,加入“基础平法图纸识读”、“基础钢筋下料单的计算”、“土力学和基础设计”的知识,在拓展学生知识和能力上有了很大的提高。2009年,我院结合实际施工工作过程引入“塔吊基础设计”的知识。此后又经过几年的努力,最终形成了目前的“地基与基础工程施工”学习领域。

项目二 “地基与基础工程施工”学习领域设计开发

一、“地基与基础工程施工”学习领域设计与开发过程

首先以面向建筑企业一线从事技术管理工作的施工员岗位为出发点,从职业岗位的现状和发展趋势入手,开展职业岗位的职责、任务、工作过程调研和分析,确定典型工作任务,归纳行动领域,将其转换成学习领域,并以施工过程为导向,按照典型工作任务设置课程,构建符合工作过程系统化的课程体系。然后针对每一学习领域设计学习情境,编制教学资料。学习情境是一个案例化的学习单元,它把理论知识、实践技能与实际应用环境结合在一起。学习情境设计根据完整思维及职业特征分解,每个学习情境都是完整的工作过程。

新的课程体系以新的教学组织方式实现其培养目标。“行动导向”教学通过完整的实际工作过程训练使得学生掌握职业能力、获得实际工作经验,有利于培养学生针对工作任务具备独立地计划、独立地实施和独立地评价的能力、“行动导向”教学有利于使学科体系与行动体系相互结合,各职业学院可以因地制宜,采取相应的个性化措施,通过不同的教学方法来具体实现。

“行动导向”的教学设计重点体现以下内容:

- ①以典型的实际施工任务为载体组织教学内容,体现教学内容与工作内容一致的原则;
- ②整个行动过程从信息收集、计划、决策、实施、检查到评估,均以学生独立实现为主;
- ③整个行动过程有明确的学习目标、学习内容、典型工作任务、工作方法要求和完成时间要求。

“地基与基础工程施工”学习领域的学习将使使学生掌握地基与基础施工所需的基本理论知识(包括增加的土力学知识、基础设计知识、基础平法识图知识和基础钢筋下料知识)、地基与基础施工的基本操作技能、质量标准和质量检验的基本方法,具备正确选择地基与基础施工材料、施工工艺、施工方法和施工机具,编制施工方案,并能在保证环境和安全(特别是用电安全)的条件下组织施工,进行施工质量检查验收,编制施工技术文件并进行归档的能力。整个学习领域开发了7个学习情境:土工试验与工程地质勘察报告阅读、土方工程施工、基坑工程施工、特殊(软弱)地基处理工程施工、浅基础工程施工、桩基础工程施工、BIM技术在基础工程中的应用。学习领域开发和教学坚持“工学结合”、“工学交替”的教学模式,按照“行动导向”6步教学法开发情境、项目、任务和执行教学任务。跟其他院校开发的“地基基础工程施工”学习领域相比,我院的创新之处有以下几个方面。

【创新1】学习情境一 土工试验与工程地质勘察报告阅读

开发6个项目:

项目一 土的物理性质指标的测定

项目二 土的物理状态指标的测定

项目三 土的工程分类与鉴别

项目四 土的压缩性指标测定

项目五 土的抗剪强度指标测定

项目六 岩土工程勘察报告及应用

这样的学习情境和项目设计符合工程地质勘察报告阅读的基本程序,符合工程建设程序,跟实际施工更接近,符合事物认知基本规律,而且也将土力学中土的压缩性和土的抗剪强度理论整合到了课程中。

【创新 2】学习情境三 基坑工程施工

按照“行动导向”教学思想,开发具体基坑支护设计方案项目,将土力学中郎肯土压力、库仑土压力理论和规范法计算土压力整合到了课程中。

【创新 3】学习情境五 浅基础工程施工

按照“行动导向”教学思想,开发刚性基础设计项目,增加了基础设计计算、基础结构施工图绘制的内容;开发扩展基础设计项目,增加了基础设计计算、基础结构施工图绘制的内容;同时,补充了开发项目——基础平法识图。

【创新 4】学习情境六 桩基础工程施工

根据工程施工实际情况,在桩基础工程施工中补充了项目——塔吊基础施工和设计。

【创新 5】学习情境七 BIM 技术在基础工程中的应用

结合国家建设部发展纲要,引入 BIM 技术在基础工程中的应用。

二、“地基与基础工程施工”学习领域教学资源丰富

(1) 视频动画、工程图片及照片资料

为了更形象展现项目教学内容,将一些施工工艺制成 flash 动画,到工地现场录像、拍照,以及从互联网下载典型施工图片、照片,再做成项目完成辅助资料。

(2) 工程图纸

根据开发项目,准备施工图纸,完成识图、施工方案设计、施工技术交底、质量检测与控制工作。

(3) 国家、地方标准规范

为了配合学生完成项目,提供整个建筑工程结构设计规范、建筑施工手册、建筑质量验收统一标准。

(4) 国家和地方标准图集

提供地基基础相关平法图集,如 11G101、12G901 系列图集等。

三、学生的学习方法

我院推行的是“行动导向”教学模式中的“项目教学”,即将一个相对独立的项目交由学生自己处理,信息的收集、方案的设计、项目的实施到最终的评价,都由学生自己负责。教师是组织者、主持者和伴随者,而不是单一的知识传授者。教师负责教学的组织,根据实际情况开发学习领域,选择好项目,布置教学任务。在整个过程中,教师并不处于教学的核心地位,而是让学生自行探索、发现。在试图解决问题的过程中,教师要允许学生走弯路、错路,只有在学生难以进展、出现过程障碍时,才给予适当的指导和鼓励。学生通过有目的的、

系统化的组织,在实际或模拟的专业环境中参与设计、实施、检查和评价等职业活动过程,发现、探讨和解决职业活动中出现的问题,体验并反思学习行动,最终获得完成相关职业活动所需要的知识和能力。学生完成整个项目过程中的每一环节,自己动手解决问题,其各项能力也在完成项目过程中得到提高。“行动导向”教学模式是基于工作过程的教学方法,设计为六步教学法:“信息、计划、决策、实施、检查、评估”。在教学中,教师与学生互动,师生共同确定行动计划,学生通过主动和全面的学习,“独立地获取信息、独立地制订计划、独立地实施计划、独立地评估计划”,主动掌握职业技能、学习专业知识,从而构建属于自己的经验、知识体系及各项能力。

在教学改革过程中,我院的建工专业教师一直参与全国建筑院校学习领域体系开发研讨,取得很多的教学成果;此外,我院在教学实施过程中意识到如果学生的思想形态跟不上,没有认真领会到这种教学方法的精髓,不会主动解决项目任务,而是停留在传统学习习惯和模式上,缺乏主动学习和自主学习能力,教学效果也会不好。因此,我院从“行动导向”教学模式完整的“行动”过程来探讨学生应怎样改变角色、改变传统的学习方式和方法,使学生跟上改革的步伐、提高学习效果,使其到工作岗位上能够真正解决工作中的实际问题,实现“零距离”上岗。“行动导向”完整工作过程的结构即是“获取信息、制订计划、做出决策、实施计划、检查控制、评估反馈”。

学生在“行动导向”教学模式中需要注意以下几点。

(1) 学习时首先要改变学习方法,不是像在传统教育中的那样老老实实坐在教室听,而是一定要学会主动学习,完成角色的转变。“地基与基础工程施工”这一学习领域实践性强、所需知识量大,要经常复习以往所学的制图与识图(特别是平法)、建筑构造、建筑结构。

(2) 准备好要用的参考资料,教学所用的教材只是其中一本参考书籍,不清楚的问题应多查找资料。

(3) 一定要把教师布置的任务独立完成,而且要按时按量地去完成,要当成自己的事在做,而不是在完成教师布置的任务。转换好思想,就会有激情和动力了。

(4) 要学会解决疑难问题,可以向老师咨询,也可以自己找资料,对于施工中不懂的问题可以到工地实践。

项目三 “地基与基础工程施工”工程实例

一、赵州桥

赵州桥(如图 0-3-1 所示)又名安济桥(宋哲宗赐名,意为“安渡济民”),坐落在河北省南部的洺河上,被誉为“华北四宝”之一。此桥建于隋代大业年间,由著名匠师李春设计和建造,距今已有约 1400 年的历史,是当今世界上现存最早、保存最完善的古代敞肩石拱桥。1961 年,赵州桥被国务院列为第一批全国重点文物保护单位。1991 年,美国土木工程师学会将赵州桥选定为第 12 个“国际历史土木工程里程碑”,并在桥北端东侧建造了“国际土木工程历史古迹”铜牌纪念碑。



0-3-1 赵州桥

赵州桥长 64.40m，跨径 37.02m，券高 7.23m，是当今世界上跨径最大、建造最早的单孔敞肩型石拱桥。因桥两端肩部各有两个小孔，不是实的，故称敞肩型（没有小孔的称为满肩型或实肩型），这在世界造桥史上是一个创新。

砌筑拱洞有两种砌筑法：一是横向联式砌筑法，另一是纵向并列式砌筑法。横向联式砌筑的拱洞是一个整体，比较结实，但这种砌筑法要搭大木架，而且必须整个拱洞竣工才能拆除木架，施工期较长。纵向并列式砌筑法是把整个大桥沿宽度方向用数道独立拱券并列组合起来，每道拱券单独砌筑，砌完一道拱后，移动承受拱券重量的木架，再砌相邻的一道拱，一道一道地砌筑，合龙后自成一体。这种砌筑法的优点是既节省搭木架的材料，又便于移动木架分别施工，并且以后容易维修。因为每道拱券都能独立承受重压，数道拱券拼成一个大拱券，如果某一道拱券损坏了，可以部分施工维修，不影响整个桥身安全。但是，纵向并列砌筑法，并列的拱券之间缺乏联系，整体结构并不结实。

赵州桥的施工方案采用纵向并列式砌筑法砌筑拱洞，极为科学巧妙。李春之所以大胆采用这种砌筑法，是充分考虑到洺河水文情况和施工进度的矛盾。在当时的生产水平条件下，建造这座大石桥不可能短期竣工。洺河冬枯夏涨，如果采取横向联式砌筑法，工程进行到一半，遇上洪水，木架和已砌成的部分就要被冲毁；而采取纵向并列式砌筑法，即使遇上洪水，工程也不会太受影响。李春为了克服纵向并列式砌筑法整体结构不结实的缺点，先用 9 条两端带帽头的铁梁横贯拱背，串连住 28 道拱券，加强横向联系，再用双银锭形的腰铁卡住两块毗邻的拱石，然后在桥的两侧各用 6 块长 1.8m、外头向下延伸 5cm 的钩石钩住主拱券，拱券外还有护拱石，这样，整个桥身就结合在一起。此外，李春还利用拱脚比拱顶宽 0.6m 的少量“收分”来防止拱券倾斜。

经过约 1400 年的考验，赵州桥的这种施工方案被证明是极其科学、极有成效的。

二、比萨斜塔

比萨斜塔（如图 0-3-2 所示，意大利语：Torre pendente di Pisa 或 Torre di Pisa）是意大利比萨城大教堂的独立式钟楼，位于比萨大教堂的背后，是奇迹广场的三大建筑之一。比萨斜塔始建于 1173 年，设计为垂直建造，但是在工程开始后不久便由于地基不均匀和土层松软而倾斜，1372 年完工时，塔身倾斜向东南。比萨斜塔是比萨城的标志，1987 年它和相邻的大教

堂、洗礼堂、墓园一起，因对 11 世纪～14 世纪意大利建筑艺术的巨大影响而被联合国教育科学文化组织评选为世界遗产。



0-3-2 比萨斜塔

比萨斜塔的建设工程曾间断了两次很长的时间，历经约 200 年才完工。它的建造完全遵循了最初的设计，但它的设计者至今未知。比萨斜塔之所以会倾斜，是由于它地基下面土层的特殊性造成的。比萨斜塔下有好几层不同质地的土层，各种软质粉土的沉淀物和非常软的黏土相间形成，而在深约 1m 的地方则是地下水层。这个结论是后来研究人员在对地基土层成份进行观测后得出的。最新的挖掘表明，比萨斜塔建造在了古代的海岸边缘，因此土质在建造时便已经沙化和下沉。

比萨斜塔在建造的过程中就已出现倾斜，原本是一个建筑败笔，却因祸得福成为世界建筑奇观，伽利略的自由落体试验更使其蜚声世界而成为世界著名旅游观光圣地，每天都吸引着成千上万的游客，因而它也是比萨市的经济支柱。但随着时间的推移，比萨斜塔的倾斜角度逐渐加大，到 20 世纪 90 年代，它已濒于倒塌。1990 年 1 月 7 日，意大利政府关闭了比萨斜塔对游人的开放，并着手对其进行修复。

斜塔的拯救曾历经很多的方案，但都未见效。最终拯救比萨斜塔的是一项看似简单的新技术——地基应力解除法。其原理是：在斜塔倾斜的反方向（北侧）塔基下面掏土，利用地基的沉降使塔体的重心后移，从而减小倾斜幅度。该方法最早于 1962 年由意大利工程师 Terracina 针对比萨斜塔的倾斜恶化问题提出，当时称为“掏土法”，由于显得不够深奥而遭长期搁置，直到该法在墨西哥城主教堂的纠偏中成功应用，才被重新得到认识和采纳。地基应力法拯救工程于 1999 年 10 月开始，采用斜向钻孔的方式，从斜塔北侧的地基下缓慢向外抽取土壤，使北侧地基高度下降，斜塔重心在重力的作用下逐渐向北侧移动。比萨斜塔之前与垂直线之间的角度为 5.5° ，2001 年 6 月，在历经 11 年的修复工作后，比萨斜塔的倾斜角度缩小为 3.99° ，回到安全范围之内。

作为经典范例，比萨斜塔的拯救也使地基应力解除法摆脱了人们的偏见，得到了一致认

可和广泛应用，目前已成为建筑界最常规的纠偏方法之一。在比萨斜塔的拯救过程中，我国建筑专家刘祖德教授曾多次向比萨斜塔拯救委员会建议采用地基应力解除法。刘祖德教授在1989年用地基应力解除法成功“移动”武汉市汉口取水楼长航宿舍的8层楼房，将其倾斜率从1.3%降为0.63%，沉降速度减慢一半。在此后的18年里，刘祖德教授和他的课题组用地基应力解除法成功地使149座高楼纠偏扶正，他们的足迹踏遍湖北、广东等全国15个省、市、自治区，为国家挽回了经济损失近5亿元。

三、上海“楼脆脆”事件

2009年6月27日清晨5时30分左右，上海闵行区某小区内，一栋在建的13层住宅楼全部倒塌（如图0-3-3所示），所幸由于倒塌的高楼尚未竣工交付使用，并没有酿成居民伤亡事故。

针对此次倒楼事件的官方调查结果及专家组的分析显示：原勘测报告经现场补充勘测和复核符合规范要求，大楼所用PHC管桩经检测质量符合规范要求；楼房倾倒的主要原因是其两侧的水平力超过了桩基的抗侧能力；事故的主要原因是施工不当，倒覆楼盘的一侧有近10m高的土方堆起，对楼盘地基形成压迫力，而楼房的另一侧在开挖基坑（地下车库），由于基坑围护措施不到位，大楼在双重作用力的作用下造成倒塌。



0-3-4 上海市“楼脆脆”事件

地基与基础属于隐蔽工程，对其施工技术要求很高，对其勘察设计及施工要给予充分的重视，因为一旦出问题便很难补救，损失巨大。一般来说，地基与基础的工程造价占比约为土建总造价的20%左右，甚至更高，所以，专业人员要科学严谨地学习相关知识，为以后的规范施工打下坚实的基础。

学习情境一 土工试验与工程地质勘察报告阅读

- 【学习目标】能进行土工室内试验操作检测；能根据土工试验结果判断土的种类、名称及土的分类；能进行土的压缩性指标测定；能进行土的抗剪强度指标测定；能阅读和运用工程地质勘察报告。
- 【主要内容】土的物理性质指标测定；土的工程分类与鉴别；土的压缩性指标测定；土的抗剪强度指标测定；岩土工程勘察报告及应用。
- 【学习重点】土的物理性质指标测定；岩土工程勘察报告及应用。
- 【学习难点】阅读和运用工程地质勘察报告。

项目一 土的物理性质指标的测定

一、土的三相组成

土是由固相、液相、气相组成的三相分散系。

固相——包括多种矿物成分组成土的骨架，骨架间的空隙被液相和气相填满，这些空隙是相互连通的，形成多孔介质。

液相——主要是水（溶解有少量的可溶盐类）。

气相——主要是空气、水蒸气，有时还有沼气等。

（一）土的固相

1. 土的矿物成分和土中的有机质

土的固相物质分无机矿物颗粒和有机质，共同构成土的骨架。

（1）原生矿物和次生矿物

矿物颗粒由原生矿物和次生矿物组成。原生矿物是岩石经物理风化作用后破碎形成的矿物颗粒，与母岩的矿物成分是相同的，常见的有石英、长石和云母等。次生矿物是岩石经化学风化作用后发生化学变化而形成的新的矿物颗粒，常见的有高岭石、伊利石（水云母）和蒙脱石（微晶高岭石）等 3 大黏土矿物。另外，还有一类易溶于水的次生矿物，称水溶盐。水溶盐的矿物种类很多，按其溶解度可区分为难溶盐、中溶盐和易溶盐 3 类。难溶盐主要是碳酸钙（ CaCO_3 ），中溶盐常见的是石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ），易溶盐常见的是各种氯化物（如 NaCl 、 KCl 、 CaCl ）以及易溶的钾与钠的硫酸盐和碳酸盐等。

（2）土中的有机质

土中的有机质是动植物的残骸及其分解物质经生物化学作用生成的物质，其颗粒极细，粒径小于 0.1mm，其成分比较复杂，主要是植物残骸、未完全分解的泥炭和完全分解的腐殖

质。当土的有机质含量超过 5%时，称为有机土。

2. 土的粒组划分

颗粒的大小及其含量直接影响着土的工程性质。例如：颗粒较粗的卵石、砾石和砂粒等，其透水性较大，无黏性和可塑性；而颗粒很小的黏粒则透水性较小，黏性和可塑性较大。土颗粒直径大小以粒径来表示。土的粒径与土的性质之间有一定的对应关系，土的粒径相近时，土的矿物成分接近，所呈现出的物理力学性质基本相同。因此，将土颗粒粒径大小接近、矿物成分和性质相似的土粒归并为若干组别即称为粒组。把土在性质上表现出有明显差异的粒径作为划分粒组的界限粒径。

界限粒径是划分粒组的分界尺寸。常用界限粒径组是 200mm、60mm、20mm、2mm、0.075mm、0.005mm，把土粒分为漂石（块石）颗粒组、卵石（碎石）颗粒组、圆砾（角砾）颗粒组（包括粗砾、中砾、细砾）、砂粒组（包括粗砂、中砂、细砂）、粉粒组、黏粒组 6 大粒组。土粒粒组划分如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 土粒粒组划分

粒组名称		粒径 d 范围 (mm)	主要特征
漂石（块石）颗粒组		$d>200$	透水性很大，无黏性，无毛细水
卵石（碎石）颗粒组		$200\geq d>60$	透水性很大，无黏性，无毛细水
圆砾（角砾）颗粒组	粗砾	$60\geq d>20$	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
	中砾	$20\geq d>5$	
	细砾	$5\geq d>2$	
砂粒组	粗砂	$2\geq d>0.5$	易透水，当混入云母等杂质时透水性减小而压缩性增加，无黏性，遇水不膨胀，干燥时松散，毛细水上升高度不大，随粒径变小而增大
	中砂	$0.5\geq d>0.25$	
	细砂	$0.25\geq d>0.075$	
粉粒组		$0.075\geq d>0.005$	透水性小，湿时稍有黏性，遇水膨胀小，干时稍有收缩，毛细水上升高度较大、速度较快，极易出现冻胀现象
黏粒组		$d<0.005$	透水性很小，湿时有黏性、可塑性，遇水膨胀大，干时收缩显著，毛细水上升高度大，但速度较慢

3. 土的颗粒级配

在自然界里，绝大多数的土都是由几种粒组混合搭配而成的，而土的性质取决于不同粒组的相对含量。土中各粒组的相对含量用各粒组占土粒总质量的百分数表示，称为土的颗粒级配。颗粒级配是通过颗粒大小分析试验来测定的。

(1) 颗粒大小分析试验

土的颗粒大小分析试验简称“筛分”试验。常用的“筛分”试验方法有筛分法和密度计法两种。筛分法适用于粒径大于 0.075mm 的粗粒土，使用的是一套孔径由小到大依次垒叠的标准筛。密度计法适用于粒径小于 0.075mm 的细粒土。

若土中粗细粒组兼有时，可将土样用振摇法或水冲法过 0.075mm 的筛子，使其分为两部分，大于 0.075mm 的土样用筛分法进行分析，小于 0.075mm 的土样用密度计法进行分析，然后将两种试验结果组合在一起。

(2) 颗粒级配表达方式

以小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比为纵坐标，以粒径的对数为横坐标，在单对数坐标上绘制的反映颗粒大小分布的曲线称为土的颗粒级配曲线。

颗粒级配曲线能表示土的粒径范围和各粒组的含量。若级配曲线平缓，表示土中各种粒径的土粒都有，颗粒不均匀，级配良好；若级配曲线陡峻，则表示土粒均匀，级配不好。如图 1-1-1 所示为 a、b 两种土样的颗粒级配曲线，图中曲线 b 较平缓，故土样 b 的级配较土样 a 的级配好。

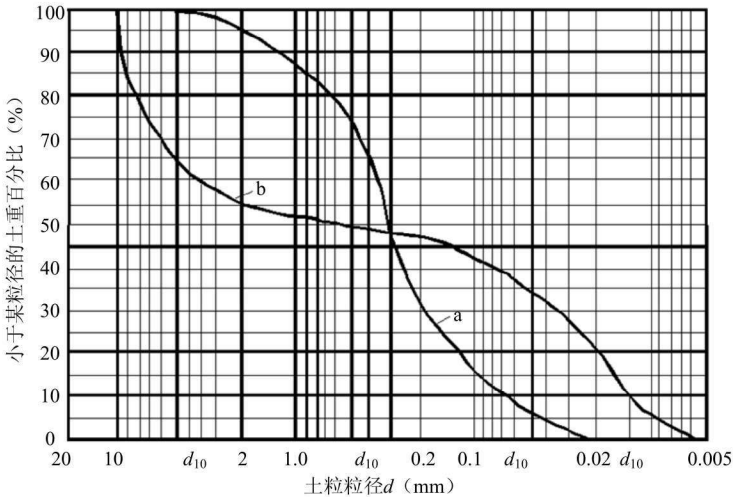


图 1-1-1 颗粒级配曲线

级配良好的土，粗细颗粒搭配较好，粗颗粒间的孔隙有细颗粒填充，易被压实到较高的密度，因而渗透性和压缩性较小，强度较大。所以颗粒级配常作为选择筑填土料的依据。

如果曲线的坡度是渐变的，则表示土的颗粒大小分布是连续的，称为连续级配；如果曲线中出现水平段，则表示土中缺乏某些粒径的土粒，称为不连续级配。

(3) 级配指标

在颗粒级配曲线上，可根据土粒的分布情况，定性地判别土的均匀程度或级配情况。为了定量地衡量土的颗粒级配是否良好，常用不均匀系数 c_u 和曲率系数 c_c 。

① 不均匀系数 c_u

计算公式为

$$c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1-1)$$

式中：

d_{60} ——限制粒径，位于颗粒级配曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的 60%；

d_{10} ——有效粒径，位于颗粒级配曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的 10%。

不均匀系数 c_u 是反映级配曲线坡度和颗粒大小不均匀程度的指标。 c_u 值越大，表示颗粒级配曲线的坡度越平缓，土粒粒径的变化范围越大，土粒就越不均匀；反之， c_u 值越小，表示颗粒级配曲线的坡度越陡，土粒粒径的变化范围越小，土粒也就越均匀。工程上常将 $c_u < 5$ 的土视为均匀土，其级配不好；将 $c_u \geq 10$ 的土视为不均匀土，其级配良好。

②曲率系数 c_c

计算公式为

$$c_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10}d_{60}} \quad (1-1-2)$$

式中:

 d_{30} ——颗粒级配曲线上的某粒径, 小于该粒径的土含量占总质量的 30%。

曲率系数 c_c 描述的是累积曲线的分布范围, 反映曲线的整体形状。一般地, c_u 大于或等于 5, 且 c_c 为 1~3 的土称为级配良好的土。

(二) 土中的水

由于土的颗粒表面通常带有负电荷, 因此水在带电固体颗粒之间受到表面电荷电场的作用, 水分子和水化阳离子就会向颗粒周围聚集, 如图 1-1-2 所示。根据受颗粒表面静电引力作用的强弱, 土孔隙中的水可以划分为结合水和自由水两种。

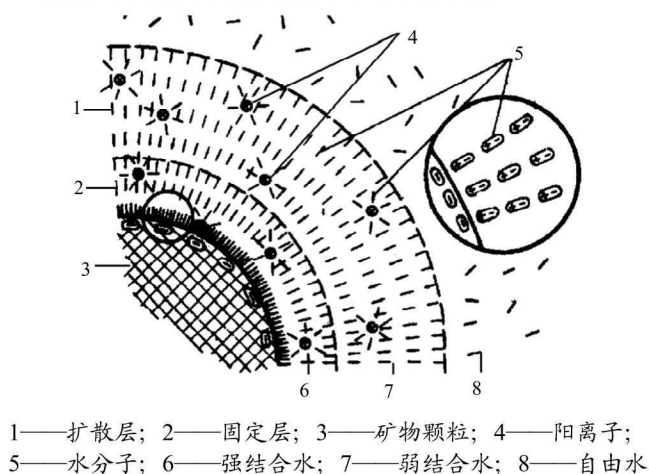


图 1-1-2 土中的水的一般图示

1. 结合水

由于大多数黏土颗粒表面带有负电荷, 因而围绕土粒周围形成了一定强度的电场, 使孔隙中的水分子极化, 这些极化后的极性水分子和水溶液中所含的阳离子 (如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等), 在电场力的作用下定向地吸附在土颗粒周围, 形成一层不可自由移动的水膜, 该水膜称为结合水。

(1) 强结合水

强结合水是指被强电场力紧紧地吸附在土粒表面附近的结合水膜。这部分水膜因受电场力作用大, 与土粒表面结合得十分紧密, 所以分子排列密度大, 一般为 $1.2g/cm^3 \sim 2.4g/cm^3$, 冰点很低, 可达 $-78^\circ C$ 都不冻结, 沸点较高, 在 $105^\circ C$ 以上才蒸发, 而且很难移动, 没有溶解能力, 不传递静水压力, 失去了普通水的基本特性, 物理性质接近于固体, 具有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。

(2) 弱结合水

弱结合水是指分布在强结合水外围的结合水。这部分水膜由于距土粒表面较远, 受电场力作用较小, 与土粒表面的结合不如强结合水紧密, 密度为 $1.0g/cm^3 \sim 1.7g/cm^3$, 冰点低于 $0^\circ C$,

不传递静水压力,也不能在孔隙中自由流动,只能以水膜的形式由水膜较厚处缓慢移向水膜较薄处,并且这种移动不受重力影响。弱结合水的存在对黏性土的性质影响很大。

2. 自由水

(1) 重力水

受重力作用在土的孔隙中流动的水称为重力水。重力水常处于地下水位以下。与一般水一样,重力水可以传递静水和动水压力,具有溶解能力,可溶解土中的水溶盐,使土的强度降低、压缩性增大,可以对土颗粒产生浮托力,使土的重力密度减小,还可以在水头差的作用下形成渗透水流,并对土粒产生渗透力,使土体发生渗透变形。

(2) 毛细水

土中存在着很多大小不同的孔隙,这些孔隙有的可以相互连通形成弯曲的细小通道(毛细管),由于水分子与土粒表面之间的附着力和水表面张力的作用,地下水将沿着土中的这些细小通道逐渐上升,形成一定高度的毛细水带。这部分存在于地下水位以上的透水层中的自由水称为毛细水。毛细水与地下水位无直接联系的称为毛细悬挂水,与地下水位相连的称为毛细上升水。

土孔隙中局部存在毛细水时,毛细水的弯液面和土粒接触处的表面引力反作用于土粒上,使土粒之间由于这种毛细压力而挤紧,土呈现出黏聚现象,这种力称为毛细黏聚力,也称为假黏聚力。在施工现场可见到稍湿状态的砂性地基可开挖成一定深度的直立坑壁,就是因为砂粒间存在着假黏聚力。当地基饱和或特别干燥时,不存在水与空气的界面,假黏聚力消失,坑壁就会塌落。在工程中,应特别注意毛细水上升的高度和速度,因为毛细水的上升对建筑物地下部分的防潮措施和地基土的浸湿与冻胀有重要影响。

(三) 土中的气体

土中的气体可分为两种基本类型:与大气连通的气体 and 封闭气体。与大气连通的气体对土的工程力学性质影响不大。封闭气体可以使土的弹性增大,延长土的压缩过程,使土层不易压实;此外,封闭气体还能阻塞土内的渗流通道,使土的渗透性减小。

二、土的物理性质指标

(一) 土的三相图

土是由固体颗粒、水和空气 3 部分组成的。组成土的这 3 部分之间的不同比例反映了土的各种不同状态,对土的物理力学性质有直接的影响。要研究土的物理性质,就必须掌握土的 3 个组成部分的比例关系。表示这 3 部分之间关系的指标称为土的物理指标。为了便于说明和计算,用如图 1-1-3 所示的土的三相简图表示土的 3 个组成部分。

设 m 为土体的总质量, m_s 为固体颗粒的质量, m_w 为水的质量, v 为土体的总体积, v_s 为固体颗粒的体积, v_v 为土中孔隙的体积, v_a 为土中空气的体积, v_w 为土中水的体积,则质量满足关系式

$$m = m_s + m_w$$

体积满足关系式

$$v = v_s + v_v = v_s + v_a + v_w$$