



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪土木工程系列教材

土木工程施工

(第2版)

刘宗仁 主编

王士川 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪土木工程系列教材

土木工程施工

(第2版)

刘宗仁 主 编

王士川 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内 容 提 要

本教材为新世纪土木工程系列教材之一,是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第1版的基础上修订而成的。本版在章节编排方面保持了第1版的基本体系和特色,作者听取和采纳了各方面的使用意见,对教材内容进行了必要的修改,使之更为适用。

本教材共分17章,内容包括土方工程、深基础工程、砌体工程、混凝土结构工程、预应力混凝土工程、房屋结构安装工程、桥梁工程、道路工程、防水工程、建筑装饰装修工程、脚手架工程、建筑节能技术、施工组织概论、流水施工原理、网络计划技术、单位工程施工组织设计、施工组织总设计。

本教材可作为全国高等学校土木工程专业教材,也可作为土木工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程施工/刘宗仁主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2009.1

ISBN 978-7-04-024883-8

I. 土… II. 刘… III. 土木工程—工程施工—高等学校—教材 IV. TU7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 185154 号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 葛 心 封面设计 王 隼 责任绘图 尹 莉
版式设计 张 岚 责任校对 刘 莉 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京未来科学技术研究所
有限责任公司印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 32.75

字 数 800 000

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2003年2月第1版

2009年1月第2版

印 次 2009年1月第1次印刷

定 价 47.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24883-00

教育部高等教育出版社土建类系列教材

编辑委员会委员名单

主任委员：沈蒲生(湖南大学)

副主任委员：(按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(兰州大学)

强士中(西南交通大学)

委 员：(按姓氏笔画排序)

卫 军(中南大学)

王清湘(大连理工大学)

江见鲸(清华大学)

刘 明(沈阳建筑大学)

张印阁(东北林业大学)

吴胜兴(河海大学)

杨和礼(武汉大学)

周 云(广州大学)

梁兴文(西安建筑科技大学)

焦兆平(广州大学)

霍 达(北京工业大学)

王 健(北京建筑工程学院)

叶志明(上海大学)

关宝树(西南交通大学)

朱彦鹏(兰州理工大学)

张家良(辽宁工学院)

沙爱民(长安大学)

尚守平(湖南大学)

赵明华(湖南大学)

黄醒春(上海交通大学)

廖红建(西安交通大学)

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100120

购书请拨打电话：(010) 58581118

出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单地以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审订教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系

统的专业系列教材，以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材第1版出版之后，在教学实践基础上，将组织修订出版第2版、第3版，希望在不断修订过程中更新内容、消除疏漏，更加适应教学需要。

本系列教材的编写大纲和初稿、修订稿都经过了编委会的审阅，以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处，请读者批评指正！

高等教育出版社

建筑与力学分社

2006年3月

第 2 版前言

本教材为新世纪土木工程系列教材之一。第 1 版于 2003 年 2 月出版，距今已经五年，为了适应我国经济体制改革的需要，力求科学地反映土木工程施工的发展情况，在第 2 版中做了以下的修改：

1. 将第 1 版中的第 1 章土方工程的 1.2.2 土壁支护改为基坑支护。
2. 第 8 章道路工程按现行新规范对相关内容作了修改。
3. 第 9 章防水工程中增加了 9.1.3 坡屋顶防水屋面工程这一节内容；增加了第 11 章脚手架工程和第 12 章建筑节能技术两章内容。

参加本教材修订的作者有：哈尔滨工业大学刘宗仁（第 1 章），周威（第 3 章），姜庆远（第 4 章），杨跃（第 5 章），郭祖辛（第 7、8 章），邹心勇（第 9 章），王绍君（第 11 章）；哈尔滨职业技术学院马旭（第 10 章）；哈尔滨职工大学张士平（第 12 章）；西安建筑科技大学王士川（第 2、6 章），赵平（第 13、14 章），胡长明（第 15、16、17 章）。全书由刘宗仁教授和王士川统稿。同济大学赵志缙教授审阅了本书，在此表示衷心的感谢。

限于作者的水平，不妥之处在所难免，诚请读者批评指正。

编 者

2008 年 7 月

第 1 版前言

土木工程施工课程是土木工程专业的主要专业课之一，在培养学生独立分析和综合运用土木工程专业知识和基本能力方面起着重要作用。

土木工程施工是研究土木工程施工的主要工种、工程施工技术和施工组织计划规律的技术课程。它实践性强，涉及的知识面广，技术发展迅速。

本书为新世纪土木工程系列教材之一，是依据教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》和高等学校土木工程专业指导委员会制定的《土木工程施工》课程教学大纲编写的。本书较为系统、全面地介绍了土木工程施工的基本知识和基本理论，结合土木工程施工的新技术、新工艺、新材料及新颁布的土木工程设计规范和施工质量及验收规范，增加了建筑基坑支护、地下连续墙、钢结构安装、桥梁工程、道路工程等内容，删除和精简了部分过时的陈旧内容，力求做到科学地反映出当前土木工程施工的高科技施工水平，培养学生对现行规范、规程的了解和运用，加强土木工程施工理论与应用的研究，以促进土木工程施工的发展。

本书由哈尔滨工业大学刘宗仁任主编并编写第 1、5、10 章；西安建筑科技大学王士川任副主编并编写第 2、6 章；姜庆远编写第 3、4 章；郭组辛编写第 7、8 章；毛文英编写第 9 章；赵平编写第 11、12 章；胡长明编写第 13、14、15 章。全书由刘宗仁、王士川统稿。本书承同济大学赵志缙教授审阅。

限于编者水平，不足之处和有待探讨的问题，诚请读者提出宝贵意见。

本书编写过程中，得到哈尔滨工业大学、西安建筑科技大学的大力支持和土木工程界人士的热情帮助，在此表示衷心感谢。

编 者

2002 年 11 月

目 录

绪论	1	第 6 章 房屋结构安装工程	200
第 1 章 土方工程	5	6.1 起重机械	200
1.1 概述	5	6.2 单层工业厂房结构安装	211
1.2 土方边坡与基坑支护	7	6.3 钢结构安装	227
1.3 场地平整施工	30	第 7 章 桥梁工程	242
1.4 排水、降水施工	37	7.1 桥梁结构施工常用机具与设备	242
1.5 土方填筑与压实	55	7.2 混凝土结构桥梁施工方法	242
1.6 土方工程机械化施工	59	7.3 钢桥施工	266
第 2 章 深基础工程	64	第 8 章 道路工程	270
2.1 钢筋混凝土预制桩	64	8.1 路基工程	270
2.2 混凝土及钢筋混凝土灌注桩	69	8.2 路面分类与等级	278
2.3 地下连续墙施工	76	8.3 路面工程	279
2.4 沉井基础、管柱基础	80	第 9 章 防水工程	295
第 3 章 砌体工程	84	9.1 屋面防水工程	296
3.1 砌筑砂浆	84	9.2 地下防水工程	321
3.2 砖砌体工程	89	第 10 章 建筑装饰装修工程	331
3.3 砌块砌体工程	94	10.1 抹灰工程	331
3.4 石砌体工程	97	10.2 饰面板(砖)工程	338
第 4 章 混凝土结构工程	101	10.3 涂饰工程	347
4.1 模板工程	102	第 11 章 脚手架工程	351
4.2 钢筋工程	123	11.1 多立杆式脚手架及其构件	351
4.3 混凝土工程	137	11.2 碗扣式钢管脚手架	361
第 5 章 预应力混凝土工程	160	11.3 门式脚手架	362
5.1 预应力混凝土分类和材料	160	11.4 桥式脚手架	363
5.2 预应力张拉锚固体系	163	11.5 悬挑(挂)式脚手架	367
5.3 预应力张拉设备	166	第 12 章 建筑节能技术	373
5.4 先张法施工	170	12.1 建筑节能技术的基础知识	373
5.5 后张法施工	180		

12.2	建筑保温材料	375			
12.3	建筑节能墙体的施工	378			
第13章	施工组织概论	394			
13.1	工程项目施工组织原则	394			
13.2	施工项目的施工准备工作	395			
13.3	施工组织设计	402			
第14章	流水施工原理	406			
14.1	流水作业的基本概念	406			
14.2	流水作业的主要参数	410			
14.3	组织流水作业的基本方法	416			
第15章	网络计划技术	424			
15.1	网络图的基本概念	424			
15.2	双代号网络图	425			
15.3	单代号网络图	440			
15.4	搭接网络计划	445			
15.5	网络计划的优化	453			
15.6	网络计划的实施与计算机管理	463			
			第16章	单位工程施工组织设计	468
			16.1	施工方案	469
			16.2	施工进度计划与资源需要量 计划	473
			16.3	施工平面图设计	478
			16.4	单位工程施工组织设计实例	482
			第17章	施工组织总设计	494
			17.1	施工部署	495
			17.2	施工总进度计划	496
			17.3	资源需要量计划	498
			17.4	全场性暂设工程	498
			17.5	施工总平面图	505
			17.6	技术经济指标	508
			附录	Q235 - A 钢轴心受压构件的 稳定系数	510
			参考文献	511	

0.1 土木工程施工课程的研究对象、任务和土木工程施工的特点

土木工程施工是建造各类工程设施的科学技术总称。它既指与人类生活、生产活动有关的各种工程设施,如建筑工程、公路与城市道路工程、铁路工程、桥梁工程、隧道工程等,也指应用材料、设备在土地上进行勘测、设计、施工等工程技术活动。

土木工程施工由施工技术与施工组织(单列学科为工程项目管理)两大部分组成。

一个工程设施的建成,从下部基础施工开始,到上部主体结构施工,直至内外墙装饰完毕,是由许多工种工程(土方工程、基础工程、混凝土工程、结构安装工程、装饰工程等)组成的。施工技术是以各工种工程施工的技术为研究对象,以施工方案为核心,结合具体施工对象的特点,选择该工程各工种工程最合理的施工方案,决定最有效的施工技术措施。

施工组织是以科学编制一个工程设施或群体的施工组织设计为研究对象,结合具体施工对象,编制出指导施工的施工组织设计,合理地使用人力、物力、空间和时间,着眼于各工种工程施工中关键工序的安排,使之有组织、有秩序地施工。

土木工程施工课程是一门主要专业课程。本课程的任务就是使学生了解土木工程施工领域国内外的新技术和发展动态,掌握工种工程和单个工程设施施工方案的选择和施工组织设计的编制,具有解决一般土木工程施工技术和组织计划问题的初步能力。

土木工程具有以下特点:

(1) 社会性 土木工程随社会不同历史时期的科学技术和管理水平而发展。

(2) 综合性 土木工程是运用多种工程技术,进行勘测、设计、施工工作的成果。

(3) 实践性 由于各种影响土木工程的因素众多且错综复杂,使得土木工程对实践的依赖性很强。

(4) 技术、经济和艺术统一性 土木工程是为人类需要服务的,它必然是每个历史时期技术、经济、艺术统一的见证。

0.2 我国土木工程施工发展的进程

0.2.1 古代土木工程施工

我国土木工程施工历史悠久,技术卓越,成就辉煌。

著名的万里长城,东起山海关,西至嘉峪关,长达5 000多公里,是古代世界历史上伟大的土木工程之一,是中国人民勤劳勇敢和高度智慧的结晶。

河北赵县的赵州桥为单孔圆弧弓形石拱桥，全长 64.40 m，桥面宽 10 m，单孔跨度 37.02 m，矢高 7.23 m，用 28 条并列的石条拱砌成，拱肩上有 4 个小拱，既可减轻桥的自重，又便于排泄洪水，且显得美观。

四川灌县的都江堰水利工程，为秦昭王（公元前 306 年—公元前 251 年）时由蜀太守李冰父子主持修建，是我国水利工程的杰作。

北京故宫又称紫禁城。故宫是非常壮丽的古代建筑，占地 720 000 m²，由宫墙围成一个方形。重重殿宇，层层楼阁，万户千门，目迷五色，宫殿布局雄伟华丽，气象万新。

0.2.2 近代土木工程施工

自鸦片战争至新中国成立，可谓“百年苦难”。外国殖民主义者的侵入掠夺，使土木工程发展缓慢，停滞不前，但是我国的爱国志士也在土木工程方面创建了有影响的工程。

1909 年詹天佑主持修建的京张铁路，全长 200 km。当时，外国人认为中国人依靠自己的力量根本不可能建成。詹天佑的成功大长了中国人的志气，他的业绩至今令人缅怀。

1937 年，茅以升先生主持建造了钱塘江大桥，这是公路、铁路两用的双层钢结构桥梁，也是我国近代土木工程的优秀成果。

0.2.3 现代土木工程施工

现代科学技术的迅猛发展，为土木工程的发展开拓了强大的物质基础和技术手段。

1. 土木工程功能化

社会经济建设对土木工程施工提出了日益复杂和高标准的要求。公共和住宅建筑要求周边环境、结构布置、水电煤气供应、室内温湿度调节控制、弱电设施等应结合成整体。工业建筑提出恒温、恒湿、防微振、防腐蚀、防辐射、防爆、防磁等要求。并向大跨度、灵活空间方向发展。

2. 城市建设立体化

随着经济发展和人口增长，城市人口密度迅速加大，造成城市用地紧张、交通拥挤、地价昂贵，这就迫使房屋建筑向高层发展，使得高层建筑的兴建几乎成了城市现代化的标志。不少国家的高层建筑几乎占整个城市建筑面积的 30%~40%。

城市为了解决交通问题，光靠传统的地面交通已无能为力，要求修建地下交通网，另一方面又修建高架公路网或轨道交通。随着地下铁道的兴建，地下商业街、地下停车场、地下仓库、地下工厂、地下旅店等也陆续发展起来。

高架道路的造价比地下铁道要经济得多，因而大中城市纷纷建设高架公路、高架轨道交通。高架道路与城市立交桥的兴建不仅缓解了城市交通问题，而且还为城市的面貌增添了风采。

3. 交通工程高速化

由于市场经济的繁荣与发展，对运输系统提出了快捷、高效的要求，而现代化技术的进步也为满足这种要求提供了条件。

大规模修建高速公路；铁路运输逐步实现电气化和快速化；发展航空运输，选择大容量飞机，形成庞大的空中交通运输体系，航空港的建设实现了现代化的土木工程技术；长距离的海

底隧道建设等。

4. 工程设施大型化

为了满足能源、交通、环保、人们公共活动的需要，大型的土木工程陆续建成。

高层建筑环球金融中心高 492 m，高耸结构广州电视塔高 610 m，大跨结构跨度超过 200 m。

现代土木工程施工在我国得到了飞跃发展，取得了举世瞩目的成就，反映了我国经济的发展，中华民族开始复兴。

0.3 土木工程的发展

0.3.1 工程项目向高空、地下和海洋方面发展

21 世纪是信息经济迅猛发展，人类生存竞争非常激烈的时代。为了解决土地供需的矛盾，满足人类生产生活和商业聚集的需要，土木工程应向高空、地下和海洋方面进军。

1. 向高空或太空发展

在地面上建设高层建筑；航空、航天事业等高科技技术的发展，可在太空建设太空站，到月球、火星上从事土木工程事业的开发，扩展人类生活的空间。

2. 向地下发展

修建地下停车场、地下商业街、地下仓库、地下旅店、地下工厂、地下铁道等地下建筑和地下交通网。以解决土地紧张而引发的地价猛涨，交通阻塞等社会问题。

3. 向海洋发展

海洋面积占地球表面积的 70% 左右，可以填海造地，解决陆地上土地少的矛盾。修建海上人工岛、海洋平台、海洋浮动城市、在其上兴建生活区、工作区、机场等土木工程设施。

0.3.2 工程材料向轻质、高强、多功能方面发展

1. 传统土木工程材料改善性能

传统材料的性能都存在一定的缺陷，可通过科学技术方法改善其性能。如混凝土是应用最广的土木工程材料，但其自重大、强度低、易开裂，今后发展轻质高强的混凝土、掺外加剂的多功能混凝土，以满足工程建设需要。又如木材是非常受欢迎的土木工程材料，但其易燃、易腐蚀，经过处理后变成不燃、耐腐蚀的木材。

2. 发展复合材料

利用多种材料组合，按其各自的优点开发新型产品。如钢管混凝土、压型钢板楼盖，可以充分发挥钢材受拉性能好，混凝土抗压性能好的优越性。利用层压技术组合传统材料，开发具有建筑装饰、受力、热工、隔声、绝缘、防火、防水等新性能的复合材料，创建土木工程材料广阔的新市场。

3. 应用化学合成材料

化学工业制品具有的耐高温、耐高压、耐磨、耐火、保温、隔热、隔声等优良性能，用在土木工程上将为材料发展开拓崭新的领域。

0.3.3 大力发展信息和智能化技术

计算机技术已经在土木工程设计、计算、施工、研究和开发领域中广泛应用。

1. 信息化施工

所谓信息化施工是在施工过程中所涉及的各部分、各阶段广泛应用计算机信息技术，对工期、人力、材料、机械、资金、进度等信息进行收集、存储、处理和交流，并加以科学地综合利用，为施工管理及时准确地提供决策依据。信息化施工还可以通过网络与其他国家和地区的工程数据库联系，在遇到新的疑难问题时及时查询解决。信息化施工可大幅度提高施工效率和保证工程质量，减少工程事故，有效控制成本，实现施工管理现代化。

2. 计算机仿真系统

计算机仿真技术可以在计算机上模拟原型大小的工程结构在灾害荷载作用下从变形到倒塌的全过程，从而揭示结构不安全的部位和因素。用此技术指导施工可大大提高工程结构的可靠性。

0.4 土木工程施工课程的教学方式和学习方法

本课程与建筑材料、材料力学、结构力学、混凝土结构学及钢结构等课程均有密切的关联，在学完这些课程的基础上才能学习本课程。本课程又是一门实践性强的课程，有些内容直接来自工程施工的经验总结。因此，学习本课程必须坚持理论联系实际的学习方法。除对于课堂讲授的基本理论、基本知识加以理解和掌握之外，还需经常阅读有关建筑施工方面的书刊杂志，随时了解国内外最新动态，并对相关的教学环节，如现场参观教学以及生产实习等予以足够的重视。

第 1 章

土方工程

土方工程是土木工程施工的主要工种工程。高层建筑大规模的建设，土方工程施工的重要性日益为工程界所认识。采用先进的施工工艺和施工方法，选择合理的施工方案，保证工程质量与安全，以求获得最佳的经济效益。

1.1 概述

土方工程一般包括场地平整，基坑和基槽的开挖，人防工程及地下建筑物的开挖，回填工程等。

1.1.1 土方工程施工特点

土方工程施工的特点是工程量大，施工条件复杂。新建一个大型工业企业，其场地平整、房屋及设备基础、厂区道路及管线的土方工程量往往可以达几十万至数百万立方米以上。合理地选择土方机械、组织机械化施工，对于缩短工期，降低工程成本具有很重要的意义。土方工程多为露天作业，土、石又是天然物质，种类繁多，施工受到地区、气候、水文地质和工地质等条件的影响。在地面建筑物稠密的城市中进行土方工程施工，还会受到施工环境的影响。因此，在施工前应做好调查研究，并根据本地区的工程及水文地质情况以及气候、环境等特点，制订合理的施工方案组织施工。

1.1.2 土的工程性质

1. 土的密度

与土方工程施工有关的是土的天然密度 ρ 和土的干密度 ρ_d 。天然密度是指土在天然状态下单位体积的质量，它与土的密实程度和含水量有关。在选择运土汽车时，往往要将载重量折算成体积，此时必然用到天然密度。

土的干密度是指单位体积土中固体颗粒的质量，即土体孔隙内无水时的单位土重，干密度一定程度上反映了土颗粒排列的紧密程度，可作为填土压实质量的控制指标。

2. 土的含水量

土的含水量 w 是土中所含的水与土的固体颗粒间的质量比，见式 (1-1)。

$$w = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中： G_1 ——含水状态时土的质量；

G_2 ——烘干后土的质量。

土的含水量随外界雨雪、地下水的影响而变化。当土的含水量超过 25% ~ 30% 时，采用机械施工就很困难。一般情况下，地面土含水量超过 20% 时就会使运土汽车打滑或陷入泥坑。回填土夯实时若含水量过大则会产生橡皮土现象，无法夯实。土的含水量对土方边坡稳定性也有直接影响。

3. 土的渗透性

土的渗透性是指土的透水性能。土体孔隙中的自由水在重力作用下会发生流动，当基坑开挖至地下水水位以下，地下水的平衡破坏后，地下水会不断流入基坑。地下水在土中渗流时受到土颗粒的阻力，其大小与土的渗透性及地下水渗流路程长短有关。

4. 土的可松性

自然状态下的土，经开挖后，其体积因松散而增加，以后虽经回填压实，仍不能恢复成原来的体积。

土的可松性的大小用可松性系数表示，见式 (1-2)。

$$K_s = \frac{V_2}{V_1}, \quad K'_s = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-2)$$

式中： K_s ——最初可松性系数；

K'_s ——最终可松性系数；

V_1 ——土在自然状态下的体积；

V_2 ——土经开挖后松散状态下的体积；

V_3 ——土经回填压实后压实状态下的体积。

土的最初可松性系数及最终可松性系数见表 1-1。土的可松性对土方的平衡调配，基坑开挖时留、弃土量及运输工具数量的计算均有直接影响。

表 1-1 土的可松性系数

土的类别	K_s	K'_s
一类土	1.08 ~ 1.17	1.01 ~ 1.03
二类土	1.14 ~ 1.24	1.02 ~ 1.05
三类土	1.24 ~ 1.30	1.04 ~ 1.07
四类土	1.26 ~ 1.45	1.06 ~ 1.20
五类土	1.30 ~ 1.50	1.10 ~ 1.30
六类土	1.45 ~ 1.50	1.28 ~ 1.30

例 1-1 建筑物外墙为条形毛石基础，基础平均截面面积为 3.0 m^2 。基坑深 2.0 m ，底宽为 1.5 m ，地基为亚粘土。计算 100 延米长的基槽土挖方量、填方量和弃土量（边坡坡度 $1:m = 1:0.5$ ； $K_s = 1.30$ ； $K'_s = 1.05$ ）。