

土建学科高等职业教育专业委员会规划推荐教材

Dijiyu
Jichu

地基与基础

(建筑工程类专业适用)

本教材编审委员会组织编写



中国建筑工业出版社
China Architecture & Building Press

土建学科高等职业教育专业委员会规划推荐教材

地 基 与 基 础

(建筑工程类专业适用)

本教材编审委员会组织编写

杨太生 主编

胡兴福 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地基与基础/杨太生主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004

土建学科高等职业教育专业委员会规划推荐教材
(建筑工程类专业适用)

ISBN 7-112-06140-7

I. 地... II. 杨... III. ①地基—高等学校: 技术学校—教材 ②基础 (工程)—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 115609 号

土建学科高等职业教育专业委员会规划推荐教材

地 基 与 基 础

(建筑工程类专业适用)

本教材编审委员会组织编写

杨太生 主编

胡兴福 主审

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13¼ 字数: 332 千字

2004 年 1 月第一版 2004 年 1 月第一次印刷

印数: 1—8000 册 定价: 19.00 元

ISBN 7-112-06140-7

TU·5407 (12153)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是土建学科高等职业教育专业委员会规划推荐教材之一。内容是根据本课程的教学基本要求并按照国家颁布的有关设计新规范、新标准编写的。

全书共分十章，包括土的物理性质及工程分类，地基中的应力计算，土的压缩性与地基沉降计算，土的抗剪强度与地基承载力，土压力与土坡稳定，建筑场地的工程地质勘察，天然地基上浅基础设计，桩基础设计，地基处理，区域性地基等内容。

本书可作为土建学科高等职业学校、高等专科学校建筑工程专业及相关专业的教学用书，也可作为有关工程技术人员参考书。

* * *

责任编辑：朱首明

责任设计：孙 梅

责任校对：张 虹

本教材编审委员会名单

主任委员：杜国城

副主任：杨力彬 张学宏

委员（按姓氏笔画为序）：

丁天庭 王武齐 危道军 朱勇年 朱首明

杨太生 林 密 周建郑 季 翔 胡兴福

赵 研 姚谨英 葛若东 潘立本 魏鸿汉

序 言

高等学校土建学科教学指导委员会高等职业教育专业委员会（以下简称土建学科高等职业教育专业委员会）是受教育部委托并接受其指导，由建设部聘任和管理的专家机构。其主要工作任务是，研究如何适应建设事业发展的需要设置高等职业教育专业，明确建设类高等职业教育人才的培养标准和规格，构建理论与实践紧密结合的教学内容体系，构筑“校企合作、产学结合”的人才培养模式，为我国建设事业的健康发展提供智力支持。在建设部人事教育司的领导下，2002年，土建学科高等职业教育专业委员会的工作取得了多项成果；编制了土建学科高等职业教育指导性专业目录；在“建筑工程技术”、“工程造价”“建筑装饰技术”、“建筑电气技术”等重点专业的专业定位、人才培养方案、教学内容体系、主干课程内容等方面取得了共识；制定了建设类高等职业教育专业教材编审原则；启动了建设类高等职业教育人才培养模式的研究工作。

近年来，在我国建设类高等职业教育事业迅猛发展的同时，土建学科高等职业教育的教学改革工作亦在不断深化之中，对教育定位、教育规格的认识逐步提高；对高等职业教育与普通本科教育、传统专科教育和中等专业教育在类型、层次上的区别逐步明晰；对必须背靠行业、背靠企业，走校企合作之路，逐步加深了认识。但由于各地区的发展不尽平衡，既有理论又能实践的“双师型”教师队伍尚在建设之中等原因，高等职业教育的教材建设对于保证教育标准与规格，规范教育行为与过程，突出高等职业教育特色等都有着非常重要的现实意义。

“建筑工程技术”专业（原“工业与民用建筑”专业）是建设行业对高等职业教育人才需求量最大的专业，也是目前建设类高职院校中在校生人数最多的专业。改革开放以来，面对建筑市场的逐步建立和规范，面对建筑产品生产过程科技含量的迅速提高，在建设部人事教育司和中国建设教育协会的领导下，对该专业进行了持续多年的改革。改革的重点集中在实现三个转变，变“工程设计型”为“工程施工型”，变“粗坯型”为“成品型”，变“知识型”为“岗位职业能力型”。在反复论证人才培养方案的基础上，中国建设教育协会组织全国各有关院校编写了高等职业教育“建筑施工”专业系列教材，于2000年12月由中国建筑工业出版社出版发行，受到全国同行的普遍好评，其中《建筑构造》、《建筑结构》和《建筑施工技术》被教育部评为普通高等教育“十五”国家级规划教材。土建学科高等职业教育专业委员会成立之后，根据当前建设类高职院校对“建筑工程技术”专业教材的迫切需要；根据新材料、新技术、新规范急需进入教学内容的现实需求，积极组织全国建设类高职院和建筑施工企业的专家，在对该专业课程内容体系充分研讨论证之后，在原高等职业教育“建筑施工专业”系列教材的基础上，组织编写了《建筑识图与构造》、《建筑力学》、《建筑结构》（第二版）、《地基与基础》、《建筑材料》、《建筑施工技术》（第二版）、《建筑施工组织》、《建筑工程计量与计价》、《建筑工程测量》、《高层建

筑施工》、《工程项目招投标与合同管理》等 11 门主干课程教材。

教学改革是一个不断深化的过程，教材建设是一个不断推陈出新的过程，希望这套教材能对进一步开展建设类高等职业教育的教学改革发挥积极的推进作用。

土建学科高等职业教育专业委员会

2003 年 7 月

前 言

本书是根据高等学校土建学科教学指导委员会高等职业教育专业委员会制定的建筑工程技术专业教育标准、培养方案及主干课程教学基本要求，并按照国家颁布的《建筑地基基础设计规范》(GB 5007—2002)等有关设计新规范、新标准编写的。

编写过程中，编者结合长期教学实践的经验，以培养技术应用能力为主线，对基本理论的讲授以应用为目的，教学内容取材以必须够用为原则，注意针对性和实用性，强调基本概念、基本原理和基本方法，并尽力做到理论与工程实际相联系，力求反映高等职业教育的特点。

本书由杨太生任主编，王秀兰任副主编。参加本书编写工作的有杨太生（绪论、第一、二章）、苏德利（第三、四章）、袁萍（第五章、土工试验指导书）、陈鹏（第六、八章）、王秀兰（第七章）、陈松才（第九、十及章实践教学内容与要求）。

本书由四川建筑职业技术学院胡兴福副教授担任主审，并提出了许多宝贵意见，编者非常感谢主审胡兴福严谨、认真的审稿工作。在本书的编写过程中得到了山西建筑职业技术学院、黑龙江建筑职业技术学院、四川建筑职业技术学院、大连水产学院职业技术学院、湖北城建职业技术学院、泰州职业技术学院等单位的大力支持，并参考了一些公开出版和发表的文献，在此一并致谢。

限于编者的理论水平和实践经验，加之编写时间仓促，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者和同行专家批评指正。

目 录

绪论	1
第一章 土的物理性质及工程分类	4
第一节 土的成因	4
第二节 土的组成	5
第三节 土的物理性质指标	8
第四节 土的物理状态指标	11
第五节 地基岩土的工程分类	14
复习思考题	17
习题	17
第二章 地基中的应力计算	18
第一节 土体自重应力的计算	18
第二节 基底压力的计算	20
第三节 竖向荷载作用下地基附加应力计算	24
复习思考题	30
习题	30
第三章 土的压缩性与地基沉降计算	32
第一节 土的压缩性	32
第二节 地基最终沉降量的计算	37
第三节 建筑物的沉降观测与地基允许变形值	44
复习思考题	46
习题	46
第四章 土的抗剪强度与地基承载力	48
第一节 概述	48
第二节 土的抗剪强度	48
第三节 土的抗剪强度试验方法	53
第四节 地基承载力	57
复习思考题	61
习题	61
第五章 土压力与土坡稳定	62
第一节 土压力的类型与影响因素	62
第二节 静止土压力计算	63
第三节 朗肯土压力理论	63

第四节 库伦土压力理论	66
第五节 特殊情况的土压力计算	69
第六节 挡土墙设计	71
第七节 土坡稳定分析	75
复习思考题	77
习题	77
第六章 建筑场地的工程地质勘察	79
第一节 概述	79
第二节 工程地质勘察报告	81
第三节 基槽检验与地基的局部处理	88
复习思考题	91
第七章 天然地基上浅基础设计	92
第一节 概述	92
第二节 基础埋置深度的确定	99
第三节 基础底面尺寸的确定	104
第四节 无筋扩展基础设计	108
第五节 扩展基础设计	111
第六节 钢筋混凝土梁板式基础简介	120
第七节 减少不均匀沉降的措施	126
复习思考题	129
习题	129
第八章 桩基础设计	130
第一节 概述	130
第二节 桩的承载力	137
第三节 桩基础设计	146
复习思考题	159
习题	159
第九章 地基处理	161
第一节 软弱土的种类及性质	161
第二节 机械压实法	162
第三节 强夯法	164
第四节 换土垫层法	165
第五节 排水固结法	167
第六节 挤密法和振冲法	170
第七节 化学加固法	174
复习思考题	178
习题	179
第十章 区域性地基	180
第一节 湿陷性黄土地基	180

第二节 膨胀土地基	183
第三节 红黏土地基	186
第四节 山区地基	187
第五节 地震区的地基基础问题	190
复习思考题	193
土工试验指导书	194
实践（案例）教学内容与要求	204
主要参考文献	208

绪 论

一、土力学、地基与基础的概念

土是地壳岩石经过物理、化学、生物等风化作用的产物，是各种矿物颗粒组成的松散集合体，是由固体颗粒、水和空气组成的三相体系。土从大类上可以分成颗粒间互不连接、完全松散的无黏性土和颗粒间虽有连接，但连接强度远小于颗粒本身强度的黏性土。土的最主要特点是它的松散性和三相组成，这是它在强度、变形等力学性质上与其他连续固体介质根本不同的内在原因。

土力学是运用力学基本原理和土工测试技术，研究土的生成、组成、密度或软硬状态等物理性质以及土的应力、变形、强度和稳定性等静力、动力性状及其规律的一门学科。由于土与其他连续固体介质的根本不同，仅靠具备系统理论和严密公式的力学知识，尚不能描述土体在受力后所表现的性状及由此引起的工程问题，而必须借助经验、现场实验、室内试验辅以理论计算，因此也可以说土力学是一门依赖于实践的学科。

土层受到建筑物的荷载作用后，其原有的应力状态就会发生变化，使土层产生附加应力和变形，并随着深度增加向四周土中扩散并逐渐减弱。我们把土层中附加应力和变形所不能忽略的那部分土层称为地基，把埋入土层一定深度的建筑物向地基传递荷载的下部承重结构称为基础。由于土的压缩性比建筑材料大得多，我们通常把建筑物与土层接触部分的断面尺寸适当扩大，以减小接触部分的压强。

地基具有一定深度与范围，当地基由两层及两层以上土层组成时，将直接与基础接触的土层称为持力层，持力层以下的土层称为下卧层，对承载力低于持力层的下卧层称为软弱下卧层。上部结构、地基与基础的相互关系如图 0-1 所示。

良好的地基一般应具有较高的承载力与较低的压缩性，以满足地基基础设计的两个基本条件（强度条件与变形条件）。软弱地基的工程性质较差，需经过人工地基处理才能达到设计要求。我们把不需处理而直接利用天然土层的地基称为天然地基；把经过人工加工处理才能作为地基的称为人工地基。人工地基施工周期长、造价高，因此建筑物一般宜建造在良好的天然地基上。

基础根据不同的分类方法可以有多种形式（在后续章节中将详细介绍），但不论是何种基础形式，其结构本身均应具有足够的强度和刚度，在地基反力作用下不发生破坏，并具有改善沉降与不均匀沉降的能力。

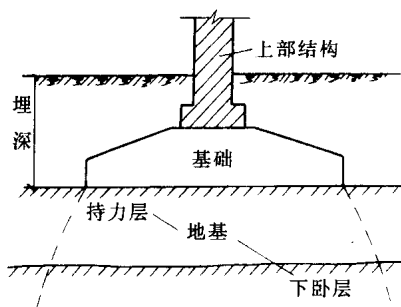


图 0-1 上部结构、地基与基础示意图

二、地基基础在建筑工程中的重要性

由房屋荷载传递路径可知，上部结构荷载将通过墙、柱传给基础，再由基础传给地基。由此可见，没有一个坚固而耐久的地基基础，上部结构即使建造的再结实，也是要出问题的。基础是建筑物十分重要的组成部分，应具有足够的强度、刚度和耐久性以保证建筑物的安全和使用年限。地基虽不是建筑物的组成部分，但它的好坏却直接影响整个建筑物的安危。实践证明，建筑物的事故很多是与地基基础有关的，轻则上部结构开裂、倾斜，重则建筑物倒塌，危及生命与财产安全。例如：著名的意大利比萨斜塔，由于地基不均匀沉降，使南北两侧沉降差达 1.8m；加拿大特朗斯康谷仓，由于地基强度破坏发生整体滑动使谷仓倾倒；我国重点文物保护单位苏州虎丘塔，由于地基不均匀沉降，塔身向东北方向严重倾斜，塔顶偏离中心线 2.3m；唐山某学院书库，1976 年地震时地基液化失效，使一层楼全部沉入地面以下，室外地面与二层楼地面相近。地基基础事故的例子在建筑工程史上为数不少，应引以为鉴。

地基基础设计要充分掌握地基土的工程性质，从实际出发作多种方案比较，更不能盲目套用，以免发生工程事故。并且地基基础位于地面以下，系隐蔽工程，一旦发生质量事故，补救和处理往往比上部结构困难的多，有时甚至是不可能的。地基基础工程的造价和工期占建筑总造价和总工期的比例与多种因素有关，一般约占 20% ~ 25%，对高层建筑或需地基处理时，则所需费用更高，工期更长，因此搞好地基基础设计具有很重要的意义。

三、本课程的基本内容与特点

“地基与基础”是土木建筑专业的一门重要课程，其任务是保证各类建筑物安全可靠，使用正常，不发生上述各种地基基础工程质量事故。为此需要学习和掌握土力学的基本理论与地基基础设计原理，运用这些原理和概念并结合建筑物设计方法和施工知识，分析和解决地基基础的工程问题。

本课程是一门理论性和实践性均较强的课程。由于地基土形成的自然条件不同，因而它们的性质是千差万别的，不同地区的土有不同的特性，即使是同一地区的土，其特性也存在较大差异。所以，在设计地基基础前，必须通过各种测试和试验，获得地基土的各种计算资料，从某种意义上讲，一个优秀的地基基础设计更依赖于完整的地质、地基土资料和符合实际情况的周密分析。读者在学习本课程时要特别注意理论联系实际，注意理论的适用条件和应用范围，不可不问具体情况，盲目照搬硬套，要学会从实际出发分析问题和解决问题。

本课程是一门综合性很强的课程，它涉及到工程地质、土力学、建筑力学、建筑结构、建筑材料、施工技术 etc 学科领域。因此在学习本课程时，即要注意与其他学科的联系，又要注意紧紧抓住土的应力、强度和变形这一核心问题。学会阅读和使用工程地质勘察资料，掌握土的现场原位测试和室内土工试验。并应用这些基本知识和原理，结合建筑结构和施工技术 etc 知识，解决地基基础工程问题。

本教材共分十章，第一章“土的物理性质及工程分类”是本课程的基础，要理解它们的物理意义，要熟练掌握土的物理性质指标的换算方法，了解六大类岩土的分类依据。第

二章至第四章是土力学的基本理论部分，也是本课程的重点内容，要求掌握土中三种应力的分布规律及计算方法；学会常用的两种沉降计算方法，了解地基容许变形值和土的压缩性指标等概念；掌握土的抗剪强度定律、抗剪强度测定方法和工程应用，掌握地基承载力的概念和应用。第五章“土压力与土坡稳定”，要求了解影响土压力的因素，掌握各种土压力产生的条件、计算方法和工程应用，掌握重力式挡土墙设计和土坡稳定分析原理。其余五章是关于地基基础勘察、设计的内容，其中一般建筑物的基础设计是本课程的又一重点内容。要求了解工程地质勘察的目的、方法，并能阅读和应用建筑场地的工程地质勘察报告，掌握天然地基浅基础设计及各种基础的构造，掌握各类软弱地基处理的方法和适用条件，了解区域性地基基础的特点。

读者在学习本课程时，要特别注意土的特性，搞清概念，抓住重点，掌握原理，理论联系实际，学会设计、计算与工程应用。

第一章 土的物理性质及工程分类

第一节 土的成因

一、土的生成

土是岩石经风化、剥蚀、破碎、搬运、沉积等过程的产物，是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散体系。在漫长的地质历史中，地壳岩石在相互交替的地质作用下风化、破碎为散碎体，在风、水和重力等作用下，被搬运到一个新的位置沉积下来形成“沉积土”。

风化作用与气温变化、雨雪、山洪、风、空气、生物活动等（也称为外力地质作用）密切相关，一般分为物理风化、化学风化和生物风化三种。由于气温变化，岩石胀缩开裂，崩解为碎块的属于物理风化，这种风化作用只改变颗粒的大小与形状，不改变矿物成分，形成的土颗粒较大，称为原生矿物；由于水溶液、大气等因素影响，使岩石的矿物成分不断溶解水化、氧化，碳酸盐化引起岩石破碎的属于化学风化，这种风化作用使岩石的矿物成分发生改变，土的颗粒变的很细，产生次生矿物；由于动、植物的生长使岩石破碎的属于生物风化，这种风化作用具有物理风化和化学风化的双重作用。

在地质学中，把地质年代划分为五大代（太古代、元古代、古生代、中生代和新生代），每代又分若干纪，每纪又分若干世。上述“沉积土”基本是在离我们最近的新生代第四纪（Q）形成的，因此我们也把土称为第四纪沉积物。由于沉积的历史不长（见表 1-1），尚未胶结岩化，通常是松散软弱的多孔体，与岩石的性质有很大的差别。根据不同的成因条件，主要的第四纪沉积物有残积物、坡积物、洪积物、冲积物、海洋沉积物、湖泊沉积物、冰川沉积物及风积物等。

第四纪地质年代

表 1-1

纪	世		距今年代（万年）
第四纪 Q	全新世	Q ₄	2.5
	更新世	晚更新世 Q ₃	15
		中更新世 Q ₂	50
		早更新世 Q ₁	100

二、土的结构和构造

土的结构是指在土生成过程中所形成土粒的空间排列及其连接形式，通常认为有单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种。

单粒结构是由砂粒或更粗大的颗粒在水或空气中沉积形成。由于颗粒自重大于颗粒之间的引力，每个颗粒在自重作用下单独下沉达到稳定状态。如图 1-1 所示，松散的单粒结构是不稳定的，在荷载作用下变形较大；密实的单粒结构是良好的天然地基。

蜂窝结构是由粉粒（粒径在 $0.005 \sim 0.075\text{mm}$ ）在水中下沉时形成的。由于颗粒之间的引力大于自重，下沉的颗粒遇到已沉积的颗粒时，就停留在最初的接触点上不再下沉，形成具有较大空隙的蜂窝结构，如图 1-2 所示。

絮状结构是由黏粒（粒径 $\leq 0.005\text{mm}$ ）集合体组成。这些颗粒不因自重而下沉，长期悬浮在水中，在水中运动时形成小链环状的土集粒而下沉，碰到另一个小链环被吸引，形成空隙很大的絮状结构，如图 1-3 所示。

在上述三组结构中，以密实的单粒结构土的工程性质最好，后两种结构土，如因扰动破坏天然结构，则强度低、压缩性大，不可作为天然地基。

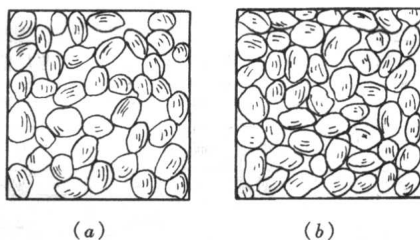


图 1-1 单粒结构
(a) 松散；(b) 密实

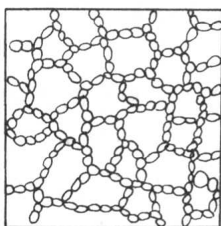


图 1-2 蜂窝结构

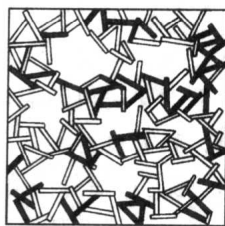


图 1-3 絮状结构

土的构造是指土体中各结构单元之间的关系，是从宏观的角度研究土的组成，其主要特点是土的成层性和裂隙性。成层性是指土粒在沉积过程中，由于不同阶段沉积的物质成分、颗粒大小等不同，沿竖向呈现出成层特征；裂隙性是指土体被许多不连续的小裂隙所分割，破坏了土的整体性，强度低，渗透性高，工程性质差。有些坚硬和硬塑状态的黏性土具有此种构造。

第二节 土的组成

土是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散体系。固体颗粒构成土的骨架，是三相体系中的主体，水和气体填充土骨架之间的空隙，土体三相组成中每一相的特性及三相比例关系对土的性质有显著影响。

一、土中固体颗粒

土中固体颗粒的大小、形状、矿物成分及粒径大小的搭配情况是决定土的物理力学性质的主要因素。

(一) 粒组的划分

自然界的土都是由大小不同的土粒所组成，土的粒径发生变化，其主要性质也相应发生变化。例如土的粒径从大到小，则可塑性从无到有；黏性从无到有；透水性从大到小；毛细水从无到有。工程上将各种不同的土粒按其粒径范围，划分为若干粒组，见表 1-2。

(二) 土的颗粒级配

土粒粒组的划分

表 1-2

粒组统称	粒组名称	粒径范围 (mm)	一般特性
巨粒	漂石(块石)粒	$d > 200$	透水性很大, 无黏性, 无毛细水
	卵石(碎石)粒	$60 < d \leq 200$	
粗粒	砾粒 粗粒 细粒	$20 < d \leq 60$ $2 < d \leq 20$	透水性大, 无黏性, 毛细水上升高度不超过粒径大小
	砂粒	$0.075 < d \leq 2$	易透水, 无黏性, 遇水不膨胀, 干燥时松散, 毛细水上升高度不大
细粒	粉粒	$0.005 < d \leq 0.075$	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, 易冻胀
	黏粒	$d \leq 0.005$	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, 但速度慢

土的颗粒级配是指大小土粒的搭配情况, 通常以土中各个粒组的相对含量(即各粒组占土粒总量的百分数)来表示。

天然土常常是不同粒组的混合物, 其性质主要取决于不同粒组的相对含量。为了了解其颗粒级配情况, 就需进行颗粒分析试验, 工程上常用的方法有筛分法和密度计法两种。《土的分类标准》规定: 筛分法适用于粒径在 0.074 ~ 60mm 的土。它用一套孔径不同的标准筛, 按从上至下筛孔逐渐减小放置, 将称过重量的烘干土样放入, 经筛析机振动将土粒分开, 称出留在各筛上的土重, 即可求出占土粒总重的百分数; 密度计法适用于粒径小于 0.074mm 的土, 根据粒径不同, 在水中下沉的速度也不同的特性, 用密度计进行测定分析。

将试验结果绘制颗粒级配曲线如图 1-4 所示。图中纵坐标表示小于(或大于)某粒径的土粒含量百分比; 横坐标表示土粒的粒径, 由于土体中粒径往往相差很大, 为清楚表示, 将粒径坐标取为对数坐标表示。

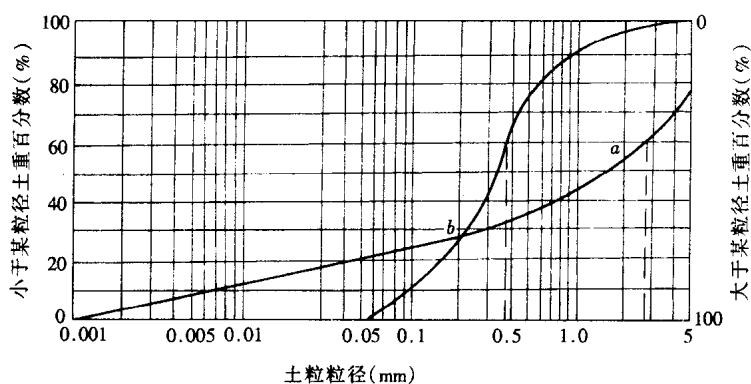


图 1-4 颗粒级配曲线

从级配曲线 a 和 b 可看出, 曲线 a 所代表的土样所含土粒粒径范围广, 粒径大小相差悬殊, 曲线较平缓; 而曲线 b 所代表的土样所含土粒粒径范围窄, 粒径较均匀, 曲线较陡。当土粒粒径大小相差悬殊时, 较大颗粒间的孔隙被较小的颗粒所填充, 土的密实度较好, 称为级配良好的土, 粒径相差不大, 较均匀时称为级配不良的土。

为了定量反映土的级配特征, 工程上常用两个级配指标来描述: