



“十四五”职业教育国家规划教材

土木工程概论

(第四版)



◎主编 陈克森 张 玲



以“互联网+教材”模式全新修订
扫码查看课件、视频、拓展阅读等教学资源



南京大学出版社

内容摘要

本书介绍了土木工程中的主要原材料、基本构件、工程类型及其特点、工程施工与项目管理等知识。全书共分为八个单元,分别为:背景知识、土木工程材料、地基与基础工程、建筑工程、交通工程、水利工程、土木工程施工、土木工程项目管理等。

本书主要作为高等职业院校工程造价、工程管理、工程监理等土建管理类各专业的教材,同时也适用于建筑工程、基础工程、水利工程、道路与桥梁工程、市政工程、给排水工程等专业少学时教学教材,也可作为有关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论 / 陈克森, 张玲主编. -- 4 版.
南京: 南京大学出版社, 2025. 8. -- ISBN 978-7-305-29321-4
I. TU
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025VQ9261 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
书 名 土木工程概论
TUMU GONGCHENG GAILUN
主 编 陈克森 张 玲
责任编辑 朱彦霖 编辑热线 025-83597482

照 排 南京开卷文化传媒有限公司
印 刷 南京新世纪联盟印务有限公司
开 本 787 mm×1092 mm 1/16 印张 16 字数 409 千
版 次 2025 年 8 月第 4 版
印 次 2025 年 8 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-305-29321-4
定 价 48.00 元

网 址: <http://www.njupco.com>
官方微博: <http://weibo.com/njupco>
官方微信号: njutumu
销售咨询热线: (025)83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前言

党的十八大以来这十年间,我们建成了世界最大的高速铁路网、高速公路网,机场港口、水利、能源、信息等基础设施建设取得重大成就。土木工程国民经济支柱产业地位更加牢固,建筑产业现代化程度大幅提升,工程质量稳步提高。

“土木工程概论”作为土建类各专业的前导课程,阐述了土木工程的重要性和它所包含的主要内容。本课程的学习可以使学生对土木工程有一个概貌的了解,为后续专业课程的学习做好铺垫,起到“引子”的作用,这即为编者编写本教材的出发点。

针对高等职业教育工程造价、工程管理、工程监理等土建管理类各专业学生的能力培养,以及建筑工程、基础工程、水利工程、道路与桥梁工程、市政工程、给排水工程等专业学生的能力拓展,本书在编写时着重把基本概念介绍清楚,同时尽可能地对各类工程的结构类型、适用条件、构造特点以及主要技术参数等作较为详细的介绍,力求构建一个能适应不同学时教学要求的、系统且全面的知识体系。教材内容按照单元、课题的体例编写,力求精练,注重理论联系实际,突出职业教育的教材特点。同时,全书编写依据党的二十大报告要求,贯彻党的教育方针,落实立德树人根本任务,引导学生树立正确的人生观、价值观、职业观,培养学生成为有责任、有担当的新时代青年。

本书介绍了土木工程中的主要原材料、基本构件、工程类型及其特点、工程施工与项目管理等知识。全书共分为八个单元,分别为:背景知识、土木工程材料、地基与基础工程、建筑工程、交通工程、水利工程、土木工程施工、土木工程项目管理。

本书为“十四五”职业教育国家规划教材、“十三五”职业教育国家规划教材,全书由山东水利职业学院陈克森、张玲任主编,山东水利职业学院郭青芳、李凌霄,九江职业大学徐雪枫,江门职业技术学院余文星,咸宁职业技术学院伍

根,滁州职业技术学院董波,山东兰德工程咨询有限公司张钊任副主编,由日照职业技术学院刘志麟负责主审。

本书在编写过程中,得到了编者所在单位领导、南京大学出版社领导和编辑的大力支持与帮助,在此表示深深的谢意。

本书参考和引用了有关教材、科技文献及部分网络资源内容,未能同作者一一联系,其中绝大部分已在本书参考文献中列出,但也难免有遗漏,编者在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏、错误和不妥之处,有些内容还不够完善,恳请广大读者提出宝贵意见,以便进一步提高本教材的质量。

编 者

2025 年 6 月

目 录

单元一 背景知识	1
课题一 土木工程的重要地位	1
课题二 土木工程发展简史	2
课题三 土木工程发展趋势	9
课题四 本课程的学习目的与方法	12
单元小结	13
复习思考题	14
单元二 土木工程材料	15
课题一 土木工程材料分类	15
课题二 石材、砖、瓦	16
课题三 石灰、水泥、砂浆	20
课题四 混凝土及钢筋混凝土	27
课题五 木材	36
课题六 其他材料	38
单元小结	43
复习思考题	43
单元三 地基与基础工程	44
课题一 岩土工程勘察	44
课题二 地基与基础	48
课题三 地基处理	55
单元小结	57
复习思考题	57
单元四 建筑工程	58
课题一 基础知识	58
课题二 基本构件	62
课题三 单层建筑结构	70
课题四 多层与高层建筑结构	77
课题五 特种结构	83

单元小结	86
复习思考题	86
单元五 交通工程	87
课题一 道路工程	87
课题二 铁路工程	101
课题三 桥梁工程	111
课题四 交通隧道	123
课题五 通航工程	131
单元小结	138
复习思考题	139
单元六 水利工程	140
课题一 水利综合知识	140
课题二 挡水及泄水建筑物	145
课题三 输水建筑物	170
课题四 治河防洪工程	187
单元小结	192
复习思考题	193
单元七 土木工程施工	194
课题一 基础知识	194
课题二 施工技术	195
课题三 装配式混凝土建筑施工技术	203
课题四 施工组织设计	205
单元小结	218
复习思考题	218
单元八 土木工程项目管理	219
课题一 建设程序与建设法规	219
课题二 工程项目管理	226
课题三 工程项目招标与投标	228
课题四 建设工程监理	235
课题五 建筑信息模型(BIM)	241
单元小结	245
复习思考题	245
参考文献	246

立体化资源目录

序号	资源标题	页码	序号	资源标题	页码
单元一	课题二	吉萨大金字塔	单元二	课题六	拉伸试验
		迪拜塔			碳素结构钢 (GB/T 700—2006)
		沪苏通长江公铁大桥			低合金高强度结构钢 (GB/T 1591—2018)
		北京大兴国际机场			沥青/石油沥青
		三峡大坝			岩土工程勘察规范 (GB 50021—2001) (2009 年版)
	课题三	穿越海峡“厦门地铁海底隧道工程”		课题一	岩土工程勘察报告案例
单元二	课题二	石材	单元三	课题二	建筑地基基础设计规范 (GB 50007—2011)
		砖			动画:桩基础施工全过程
		烧结普通砖			动画:沉井施工
		烧结多孔砖和多孔砌块 (GB 13544—2011)			动画:强夯法
		烧结空心砖和空心砌块 (GB/T 13545—2014)			动画:郑万高铁隧道软弱围岩富水段高压注浆施工工艺
		秦砖汉瓦		课题三	塔
	课题三	石灰消化试验			伟大工程巡礼之鸟巢
		水泥的历史			单向板双向板
		通用硅酸盐水泥 (GB 175—2023)	单元四	课题二	轴心受压柱偏心受压柱
		为什么白糖能阻抑水泥变硬			墙体的名称
		砂浆			桁架
	课题四	混凝土的定义		课题三	奥体中心体育馆网架结构
		混凝土搅拌车			虎门大桥
		普通混凝土拌合物性能试验方法标准 (GB/T 50080—2016)			景观膜结构赏析
		混凝土强度检验评定标准 (GB/T 50107—2010)		课题四	上海中心大厦
		高性能混凝土			西尔斯大厦
		钢筋混凝土		课题五	水塔的工作原理
	课题五	木材宏观构造			超能之核
		木材干缩变形			

续表

序号			资源标题			页码			
单元五	课题一	公路工程技术标准 (JTG B01—2014)	89	单元七	课题二	建筑基坑支护技术规程 (JGJ 120—2012)	196		
		道路	89			大体积混凝土施工规范	198		
	课题二	铁路	101			逆作法施工技术	198		
		铁路线路设计规范 (TB 10098—2017)	102		课题三		装配式混凝土建筑结构施工技术要求	203	
		高铁十大冷知识	107			装配式混凝土建筑技术标准 (GB/T 51231—2016)	204		
		地铁穿楼	108		课题四	流水施工的组织类型	205		
		城市轨道交通	109			流水施工工期计算及横道图	206		
		磁浮铁路技术标准 (TB 10630—2019)	110			工程网络计划技术规程 (JGJ/T 121—2015)	206		
	课题三	桥梁	111			施工组织总设计的编制程序	208		
		世界桥梁看中国	120		课题一	建设项目流程	219		
	课题四	隧道	123			基本建设程序	221		
		船闸的工作原理	131			建设法律法规	224		
	单元六	课题五	三峡升船机		136	单元八	课题二	工程项目管理的特点和主要内容	226
			超级升船机		138			工程项目管理现代化	227
课题一			拓展阅读:水库小知识	141	课题三		工程建设项目招标范围和规模标准规定	228	
		纪录片:大三峡	143	招标方式与分类			229		
		课题二	水利水电工程等级划分及洪水标准 (SL 252—2017)	144			工程项目招标投标程序	230	
重力坝			145	建筑工程投标文件范本			233		
土石坝			151	课题四	建设工程监理规范 (GB/T 50319—2013)		235		
亚洲最大的浆砌石拱坝:平桥石坝			156		建设工程监理合同示范文本 (GF—2012—0202)		236		
水闸		160	建设工程监理案例分析		238				
溢洪道		168	监理单位岗位职员及企业资质		238				
课题三		南水北调沙河渡槽	173	课题五	常用 BIM 软件下载		244		
		梁式渡槽	174						
单元七		课题四	防洪标准 (GB 50201—2014)	190					
			课题二	超高层建筑	195				
	既有建筑地基基础加固技术规范 (JGJ 123—2012)			196					

单元一

背景知识

学习目标

了解土木工程在国民经济建设中的地位和重要性；了解一些古今中外典型土木工程项目；了解土木工程的发展趋势；掌握土木工程概论课程的学习方法。

学习重点

土木工程在国民经济中的重要地位及其发展简史。

▶ 课题一 土木工程的重要地位 ◀

土木工程，一层含义是指与人类生活、生产活动有关的各类工程设施；另一层含义是指为了建造工程设施，应用材料、工程设备在工地上所进行的勘察、设计、施工等工程技术活动。它是工程建设的对象，即建造在地上或地下、陆地或水中的，直接或间接为人类生活、生产、军事、科学研究服务的各种工程设施，例如房屋、道路、铁路、隧道、河道、堤坝等各种工程设施。也指所应用的材料、设备和所进行的勘测设计、施工、保养、维修等技术活动。

土木工程为国民经济的发展和人民生活的改善提供了重要的物质技术基础，在国民经济中占有举足轻重的地位。人们的生活离不开衣、食、住、行，铁路、公路、水运、航空等发展都离不开土木工程。为改善人们的居住条件，国家每年在建造住宅方面的投资是十分巨大的。1978年，我国城镇人均住房建筑面积为 6.7 m^2 ，到2023年底，城镇人均住房建筑面积已突破 40 m^2 。各种工业建设，无论其性质和规模如何，首先必须兴建厂房才能投产。核电站核反应堆的基础和保护罩乃至核废料的处理，都牵涉到土木工程。截至2024年，我国在运和核准在建核电机组装机约1.13亿千瓦，规模升至世界第一。2025年，我国将核准开工一批条件成熟的沿海核电项目，稳步推进在建核电工程建设。即便水力发电，也需建坝和建造机房。露天采矿也不能没有办公用房和生活用房，采矿机械和运输车辆也不能长期露天放置。近海平台的设计和兴建，水下仓库、车库、水下和海底隧道无一不需土建人员的参加。宇宙火箭和航天飞机的发射基地和发射架，甚至太空试验站都有土木工程人员“用武之地”。

土木工程的建设，也称为各行各业的基本建设或工程建设，它既包括建筑安装工程，又包括建设单位及其主管部门的投资决策以及土地征用、工程勘察设计、工程监理等活动。工程建设是社会化大生产，有着产品体积庞大、建设场所固定、建设周期长、投资数额大、占据资源多的特点，它涉及建筑业、房地产业、工程勘察设计等行业，也带动了物业管理和工程咨

询等服务行业的发展。

土木工程虽然是古老的学科,但其领域随各种学科的发展而不断发展壮大。因此,土木工程从业者的知识面要更为广阔,学科间的相互渗透和促进的要求也更为迫切,而且要求从业者的知识不断更新,因此信息科学和国际交流对土木工程从业者也极其重要。土木工程从业者对专业的掌握应更为深入,设计建造和科学研究需更紧密联系。现代的土木工程不仅要求按计划完成,而且要按最佳方案并以最优方式来设计和建造。土木工程建设者的任务是光荣而艰巨的。

▶ 课题二 土木工程发展简史 ◀

土木工程从起源至今经历了漫长的发展过程,在漫长的演变和发展过程中,不断地注入了新的内涵。它与社会、经济、科学技术的发展密切相关,而就其本身而言,则主要围绕着材料、施工技术、力学与结构理论的演变而不断发展。

土木工程经历了古代、近代、现代三个历史时期。

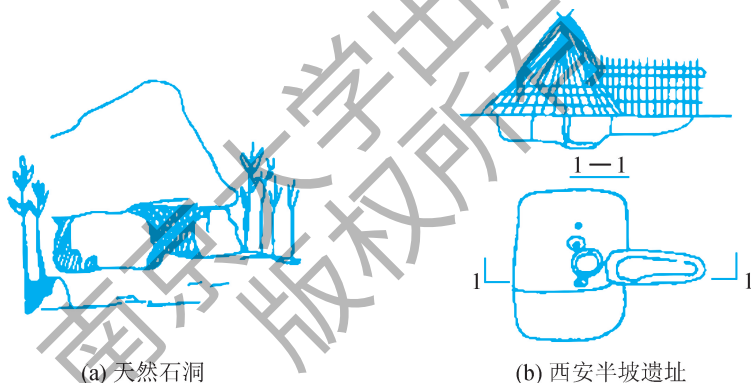


图 1-1 原始建筑物

▶▶ 一、古代土木工程

古代土木工程是从新石器时代开始,到公元 17 世纪工程结构有了定量的理论分析为止。这一时期,人类实践应用简单的工具,依靠手工劳动,没有系统的理论,但是在此期间人类发明了烧制的瓦和砖,这是土木工程发展史上的一件大事,同时,人类也建造了不少辉煌而伟大的工程。

随着历史的发展,人类社会的进步,人们开始掘地为穴、搭木为桥,开始了原始的土木工程。在中国黄河流域的仰韶文化遗址(约公元前 5000~前 3000 年)中,发现了遗存浅穴和地面建筑。西安半坡遗址(约公元前 4800~前 3600 年)中有很多圆形房屋,直径 5~6 m,室内竖有木柱来支撑上部屋顶,如图 1-1(b)所示。洛阳王湾的仰韶文化遗址(约公元前 3390~前 2390 年)中有一座面积为 200 m² 的房屋,墙下挖有基槽,槽内有卵石,这是墙基的雏形。

英格兰的索尔兹伯里的石环,距今已有四千余年,石环直径约 32 m,单石高达 6 m,采

用巨型青石近百块,每块重达 10 t,石环间平放着厚重的石梁,这种梁柱结构方式至今仍为建筑的基本结构体系之一。大约公元前 3 世纪出现了经过烧制的砖和瓦,在构造方面,形成了木构架、石梁柱等结构体系,还有许多较大型土木工程。

随着生产力的发展,私有制取代了原始的公有制,奴隶社会代替了原始社会。在奴隶社会里,奴隶主利用奴隶们的无偿劳动力,建造了大规模的建筑物,推动了社会文明的进步,也促进了建筑技术的发展。古代的埃及、印度、罗马等先后建造了许多大型建筑、桥梁、输水道等。

埃及的吉萨金字塔群(建于约公元前 2575~前 2465 年)如图 1-2 所示,它造型简单、计算准确、施工精细、规模宏大,是人类伟大的文化遗产。



吉萨大金字塔

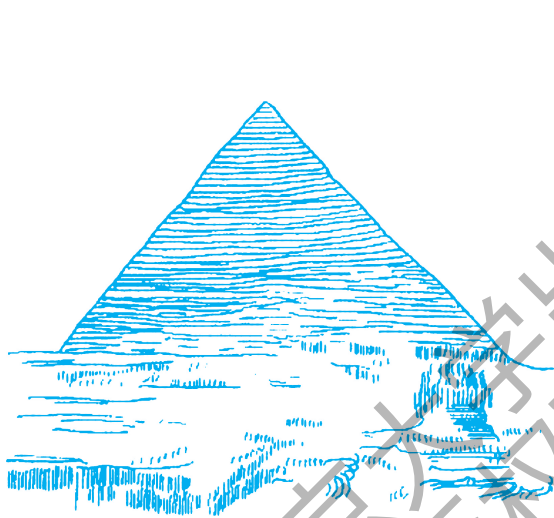


图 1-2 埃及吉萨金字塔群

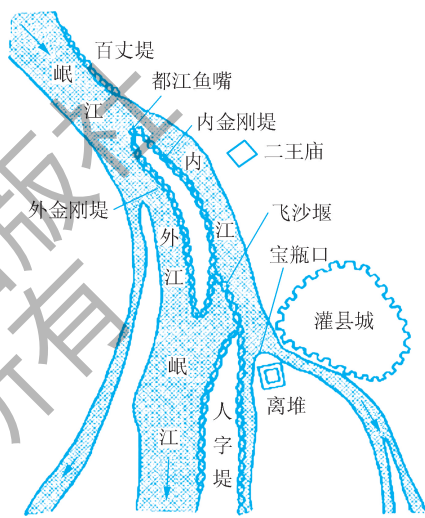


图 1-3 都江堰

公元前 5 世纪~前 4 世纪,在我国河北临漳,西门豹主持修筑引漳灌邺工程。公元前 3 世纪中叶,在四川灌县(今都江堰市),李冰父子主持修建都江堰,解决围堰、防洪、灌溉以及水陆交通问题,是世界上最早的综合性大型水利工程,如图 1-3 所示。长城原是春秋战国时各诸侯国为互相防御而修建的城墙。秦始皇于公元前 221 年统一全国后,为防御北方匈奴贵族的侵犯,于公元前 214 年在秦、赵、燕三国修建的土长城的基础上进行修缮。明代为了防御外族的侵扰,前后修建长城 18 次,西起嘉峪关,东至山海关,总长 8851.8 km,成为举世闻名的万里长城,如图 1-4 所示。

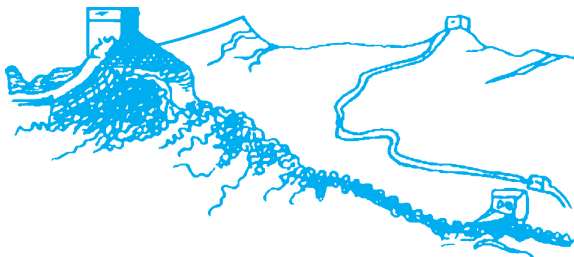


图 1-4 万里长城

欧洲以石拱建筑为主的古典建筑在这一时期就已达到了很高的水平。早在公元前 4 世纪,罗马采用券拱技术砌筑下水道、隧道、渡槽等土木工程;在建筑工程方面则继承和发展了古希腊的传统柱式,如万神庙(建于公元 120~124 年)的圆形正殿屋顶,直径 43.43 m。意大利的比萨大教堂建筑群(建于公元 11~14 世纪)、法国的巴黎圣母院教堂(建于公元 1163~1345 年),均为拱券结构。圣保罗大教堂(建于 17 世纪)是英国古典主义建筑的代

表,教堂内部进深 141 m,翼部宽 30.8 m,中央穹顶直径 34 m,顶端离地 111.5 m。

古希腊是欧洲文化的摇篮,公元前 5 世纪建成的以帕提农神庙为主体的雅典卫城,是最杰出的古希腊建筑,造型典雅壮丽,用白色大理石砌筑,庙宇宏大,石制梁柱结构精美,在建筑和雕刻上都有很高的成就,是典型的列柱围廊式建筑,如图 1-5 所示。

古罗马建筑对欧洲乃至世界建筑都产生了巨大的影响。古罗马大斗兽场在功能、形式与结构上做到了和谐统一,建筑平面成椭圆形,长轴 188 m,短轴 156 m,立面为 4 层,总高 48.5 m,场内有 60 排座位,80 个出入口,可容纳约 4.8~8 万名观众,如图 1-6 所示。

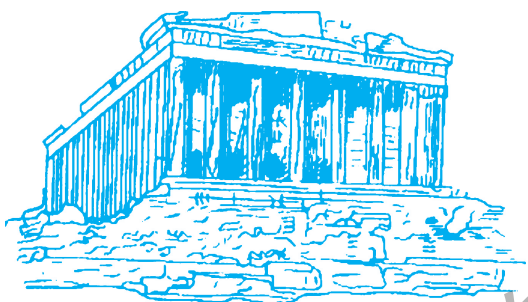


图 1-5 帕提农神庙



图 1-6 罗马大斗兽场

我国古代建筑的一大特点是木结构占主导地位。现存高层木结构实物,当以山西应县佛宫寺释迦塔(建于 1056 年)为代表,塔身外观 5 层,内有 4 个暗层,共有 9 层,高约 67 m,平面呈八角形,是世界上现存最高的木结构古建。

古代土木工程在建筑工程上取得巨大成绩的同时,在其他方面也取得了重大成就。秦朝在统一中国后,修建了以咸阳为中心的通向全国的驰道,形成了全国规模的交通网。在欧洲,罗马建设了以罗马为中心,包括 29 条辐射主干道和 322 条联络干道,总长达 78000 km 的罗马大道网。道路的发展推动了桥梁工程的发展,桥梁结构最早为行人的石板桥和木梁桥,后来逐步发展成石拱桥。现保存最完好的我国最早石砌拱桥为河北赵县的安济桥,又名赵州桥,如图 1-7 所示。它建于公元 595~605 年,为隋朝匠人李春设计并参加建造,该桥主要用石灰石建成,全长 50.83 m,净跨 37.02 m,矢高 7.23 m,矢跨比小于 $1/5$,桥面宽 9 m。该桥在材料使用、结构受力、艺术造型和经济上都取得了极高的成就。



图 1-7 赵州桥

在水利工程方面,灵渠建成于公元前 214 年,位于今广西壮族自治区兴安县境内,总长 36.4 km,落差 32 m,沟通湘江、漓江,联系长江、珠江水系,后建成使用“湘漓分流”的水利工

程。运河为人工开挖的水道,用以沟通不同的河流、水系和海洋,连接重要城镇和矿区,发展水上运输。公元7世纪初,我国隋朝开凿修建的隋朝大运河,现被称为京杭大运河,全长约2700 km,它北起北京,经天津市和河北、山东、河南、安徽、江苏、浙江,南至杭州,是世界历史上最长的运河,至今该运河的江苏、浙江段仍是重要的水运通道。这一时期,城市建设和工艺技术方面也都取得了很多成绩。后来人们在大量建造土木工程的同时,注意总结经验,促进意识的深化,编写了许多优秀的土木工程著作,出现了许多优秀的工匠和技术人才,如中国的《木经》《营造法式》(李诫著),意大利的《论建筑》(阿尔贝蒂著)等。

二、近代土木工程

从17世纪中叶到20世纪中叶的300年间,土木工程有了飞速迅猛的发展。伽利略在1638年出版的著作《关于两门新科学的谈话和数学证明》中,论述了建筑材料的力学性能和梁的强度。1687年牛顿总结的力学运动三大定律是土木工程设计理论的基础。瑞士数学家欧拉在1744年出版的《曲线的变分法》中建立了柱的压屈公式。1773年法国工程师库仑著的《建筑静力学各种问题极大极小法则的应用》一文说明了材料的强度理论及一些构件的力学理论。18世纪下半叶,瓦特发明的蒸汽机的使用推动了工业革命,为土木工程提供了多种建筑材料和施工机具,同时也对土木工程提出了新的要求。

1824年英国人约瑟夫·阿斯普丁发明了波特兰水泥,1856年转炉炼钢法取得成功,两项发明为钢筋混凝土的产生奠定了基础。1867年法国人约瑟夫·莫尼埃用铁丝加固混凝土制成了花盆,并把这种方法推广到工程中,建造了一座贮水池,这是钢筋混凝土应用的开端,1875年他主持建造成第一座长16 m的钢筋混凝土桥。1885年,在美国芝加哥建成的10层家庭保险公司大厦,被认为是现代高层建筑的开端。1889年在法国巴黎建成高300 m的埃菲尔铁塔。

工业革命还从交通方面推动了土木工程的发展。蒸汽轮船的出现推动了航运事业的发展,同时也推动了港口和码头的修建、运河的开凿。苏伊士运河建于1859~1869年,连接地中海和红海,从塞得港至陶菲克港,长161 km,连同深入地中海和红海的河段,总长173 km,河面宽160~200 m,河底宽60~100 m,可通行吃水11.6 m、满载6.5万吨或空载15万吨的海轮,使从西欧到印度洋间的航程比绕道非洲好望角缩短了5500~8000 km。第一期工程于1880年完成后,河面展宽至365 m,使吃水16 m、满载15万吨或空载35万吨海轮得以双向通行。1825年乔治·斯蒂芬森建成了从斯托克顿到达灵顿的长21 km的第一条铁路;1869年美国建成横贯北美大陆的铁路;20世纪初俄国建成西伯利亚铁路;1863年英国伦敦建成世界上第一条地铁,长6.7 km;1819年英国马克当筑路法明确了碎石路的施工工艺和路面锁结理论。在桥梁工程方面,1779年英国用铸铁建成了跨度30.5 m的拱桥;1826年英国人托马斯·特尔福德用锻铁建成了跨度177 m的梅奈悬索桥;1890年英国福斯湾建成两孔主跨达521.2 m的悬臂式桁架梁桥。19世纪,设计理论进一步发展并有所突破,土木方面的协会、团体也相继出现。

第一次世界大战以后,道路、桥梁、房屋大规模出现。道路建设方面,沥青混凝土开始用于高级路面。1931~1942年德国首先修筑了长达约3860 km的高速公路网。1918年加拿大建成魁北克悬臂桥,主跨达548.6 m。1937年美国旧金山建成金门悬索桥,主跨达1280 m,全长约2825 m。

随着工业的发展和城市人口的增多,大跨度和高层建筑相继出现。1925~1933年在法国、苏联和美国分别建成了跨度达60m的圆壳、扁壳和圆形悬索屋盖。中世纪的石砌拱终于被壳体结构和悬索结构取代。1931年美国纽约的帝国大厦落成,共102层,高381m,结构用钢5万多吨,内有电梯73部,可谓集当时技术之大成,它保持世界房屋最高纪录达40余年之久。

1886年美国人P·H杰克逊首次应用预应力混凝土制作建筑构件后,预应力混凝土开始应用于之后的一些工程中并得到进一步发展。超高层建筑相继出现,大跨度桥梁也不断涌现,至此土木工程开始向现代化迈进。

水利建设方面宏伟的成就是两条大运河的建成通航,一条是1869年开凿成功的苏伊士运河,将大西洋和印度洋连接起来,这样从欧洲到亚洲的航行不必再绕行南非;另一条是1914年建成的巴拿马运河,它将太平洋和大西洋直接联系起来,在全球运输中发挥了巨大作用。

必须看到,近代土木工程的发展是以西方土木工程的发展为代表的,这一时期的中国,由于清政府采取闭关锁国的政策,土木工程技术进展缓慢,直到清末洋务运动开始后,才引进了一些西方的先进技术,并建造了一些对中国近代经济发展有影响的工程。例如:1889年唐山设立水泥厂;1909年詹天佑主持的京张铁路建成,全长200多千米,达到当时世界先进水平;1934年上海建成24层的国际饭店,21层的百老汇大厦(今上海大厦);1937年已有近代公路约11万公里。中国土木工程教育事业开始于1895年的北洋大学(今天津大学)和1896年的北洋铁路官学堂(今西南交通大学)。1912年成立中华工程师学会,詹天佑为首任会长;20世纪30年代成立中国土木工程学会。

三、现代土木工程

现代土木工程以社会生产力的现代发展为动力,以现代科学技术为背景,以现代科学材料为基础,以现代工艺与机具为手段高速地向前发展。

现代土木工程是以第二次世界大战后为起点。由于经济复苏,科学技术得到飞速发展,土木工程也进入了新的时代。从世界范围来看,现代土木工程具有以下特点:

1. 土木工程功能化

现代土木工程的特征之一是工程设施同它的使用功能或生产工艺紧密地结合在一起。现代土木工程已超出了它的原始意义的范畴,随着各行各业飞速发展,其他行业对土木工程提出了更高的要求,土木工程必须适应其他行业的发展要求。土木工程与其他行业的关系越来越密切,它们相互依存、相互渗透、相互作用、共同发展。例如大型挡水坝的混凝土浇筑量达数千万立方米,有的高炉基础达数千立方米。满足土木工程特殊功能要求的特种工程结构也发展起来。如核工业的发展带来了新的工程类型。目前世界上已有30多个国家或地区建有核电站。根据国际原子能机构(IAEA)统计,截至2023年底,全球在役核电容量为371.5GW,由31个成员国的413座反应堆组成。这约占世界电力的10%,占2023年低碳发电总量的四分之一。核能发电量居前3位的分别是美国、中国、法国。

随着社会的进步,经济的发展,现代土木工程也要满足人们日益增长的对物质和文化生活的需要,现代化的公用建筑和住宅工程融各种设备及高科技产品成果于一体,不再仅仅是传统意义上的只是四壁的房屋。

2. 城市建设立体化

城市在平面上向外扩展的同时,也向地下和高空发展,高层建筑成了现代化城市的象征。美国的高层建筑数量最多,高度在 160~200 m 的建筑就有 100 多幢。1974 年在美国芝加哥建成高达约 443 m 的西尔斯大厦,如图 1-8 所示,其高度比 1931 年建造的纽约帝国大厦高出 62 m 左右。2010 年在阿拉伯联合酋长国建成高 828 m 的迪拜塔,目前世界最高,如图 1-9 所示。总高为 632 m 的上海中心大厦为中国第一高楼,位居世界第三。



迪拜塔

地铁、地下商店、地下车库和油库日益增多。道路下面密布着的电缆、给水、排水、供热、煤气、通信等管网构成了城市的脉络。现代城市建设已成为一个立体的、有机的整体,对土木工程各个分支以及它们之间的协作提出了更高的要求。



图 1-8 美国西尔斯大厦



图 1-9 阿拉伯联合酋长国迪拜塔

3. 交通运输高速化

市场经济的繁荣与发展,对运输系统提出了快速、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。现在人们常说“地球越来越小了”,这是运输高速化的结果。

高速公路出现于第二次世界大战前,但到战后才在各国大规模兴建。据不完全统计,全世界 80 多个国家和地区拥有高速公路,我国《国家公路网规划(2013 年—2030 年)》提出,未来我国公路网总规模约 580 万公里,其中国家公路约 40 万公里。在 40 万公里的国家公路中,普通公路网约 26.5 万公里,国家高速公路网约 11.8 万公里,还有 1.8 万公里的展望线。铁路运输在公路、航空运输的竞争中也开始快速化和高速化。速度在 150~200 km/h 以上的高速铁路先后在日本、法国和德国建成。截至 2024 年底,全国铁路营业里程达到 16.2 万公里,其中高铁 4.8 万公里,根据规划,预计到 2030 年,全国铁路运营里程将达到 18 万公里左右,其中高铁 6 万公里左右。上海引进磁悬浮高速铁道系统,其试验速度已达 500 km/h

以上,目前已建成并投入商业营运。飞机是最快捷的运输工具,但成本高、运输量小。二战以后飞机的容量愈来愈大,功能愈来愈多,因此,许多国家和地区相继建设了先进的大型航空港。1974年投入使用的巴黎戴高乐机场,拥有4条跑道,跑道面层混凝土厚400 mm,机场占地面积约 $2.995 \times 10^7 \text{ m}^2$,高峰时每分钟可起降2~3架飞机。美国芝加哥国际机场,年吞吐量7200多万人次,高峰时每小时起降200架次,居世界第一。我国在北京、上海、香港新建或扩建的机场均已跨入世界大型航空港之列。这种庞大的空中交通设施,对机场的导航系统、客货出入分流系统、安全检查系统、故障紧急救援系统均有很严格的要求,完成这样巨大的航空港建设没有现代土木工程技术是不可能实现的。

4. 工程设施建设大型化

为了满足能源、交通、环保及大众公共活动的需要,许多大型的土木工程在二战后陆续建成并投入使用。

古代建设交通道路是“逢山开路,遇水架桥”,但真的遇到大江大河或高山险岭,还是得绕行。如我国长江,直到1957年才有了第一座跨江大桥。有了现代化的施工技术,跨江河甚至跨海湾的大桥陆续建成。其中,日本明石海峡大桥,主跨1991 m,于1998年建成,它连接了日本的本州与四国岛,是目前世界上跨度最大的悬索桥。按跨径排名居世界第二位的是中国的杨泗港长江大桥,主跨1700 m,于2019年建成。按跨径排名第三大跨为中国的西堠门大桥,主跨1650 m,于2009年建成。

在拱桥方面,南斯拉夫克尔克混凝土拱桥跨度达390 m,在相当长的时间内位居世界第一。现在位居世界第一的是中国的广西天峨龙滩特大桥,主桥为计算跨径600 m的上承式劲性骨架混凝土拱桥,全长2488.55 m,建成于2024年;按跨径排名第二大跨的为中国的广西平南三桥,主跨575 m,全长1035 m,建成于2020年;按跨径排名居世界第三位的重庆朝天门长江大桥,主跨552 m,全长1741 m,建成于2009年。

斜拉桥是二战以后出现的新桥型。按跨径排名第一的是2012年建成的俄罗斯的俄罗斯岛大桥,主跨为1104 m;按跨径排名第二的是2020年建成通车的中国的沪苏通长江公铁大桥,主跨为1092 m;按跨径排名第三为2008年建成的中国的苏通长江大桥,主跨为1088 m。



沪苏通长江
公铁大桥

在隧道方面,近代开凿了许多穿过大山或越过大江、海峡的通道。目前世界最长隧道是瑞士的圣哥达基线隧道,是欧洲南北轴线上穿越阿尔卑斯山最重要的通道之一,全长约57 km;其次是布雷纳隧道,是一条穿越阿尔卑斯山,连接奥地利因斯布鲁克和意大利福尔泰扎的铁路隧道,全长55.6 km;第三是日本的青函海峡隧道,连接日本本州青森地区和北海道函馆地区,全长约53.9 km。

在高层建筑方面,1974年美国芝加哥建成的西尔斯大厦,110层,高约442 m。目前中国最高的建筑为上海中心大厦,127层,高632 m。国内其他有代表性的高层建筑有:上海金茂大厦,高420.5 m;深圳地王大厦,高约325 m;广州中天广场,高约322 m;广东国际会议中心,高约200 m。

在高耸结构方面,东京晴空塔,其高度为634 m,于2011年11月17日获得吉尼斯世界纪录认证为“世界第一高塔”,为世界之冠;2009年建成中国的广州塔,高600 m。在大跨度建筑方面,主要是体育馆、展览厅和大型储罐。如法国巴黎工业展览馆的屋盖平面呈三角形,每边跨度为218 m,由装配式薄壳组成;北京工人体育馆为悬索屋盖,直径

94 m;于2019年9月25日正式投入运营的北京大兴国际机场,占地140万平方米,相当于63个天安门广场的大小,屋顶投影面积相当于25个足球场,用钢量达到5.5万吨,等于一个北京鸟巢,是全球最大的单体航站楼;日本于1993年建成的预应力混凝土液化气储罐,容量达14万立方米。瑞典、挪威、法国等欧洲国家,在地下岩石中修建不衬砌的油库和气库,其容量高达几十万甚至上百万立方米。



北京大兴
国际机场

为了满足日益增加的能源要求,海上采油平台、核电站等也加快了建造速度。20世纪50年代才开始和平利用核能建造原子能电站,截至2024年年底,我国大陆地区并网运行核电机组共58台,装机容量为6088.094万千瓦;在建核电机组27台,总装机容量3030.9万千瓦,保持世界第一。预计2035年,核能发电量在我国电力结构中的占比将达到15%左右;到2060年,核能发电量在我国电力结构中的比例需要达到18%左右,与当前OECD国家的平均水平相当。再如海上采油平台,全世界已有1000多座,中国在渤海、东海和南海也建有多座采油钻井平台,正在开采海底石油。这种平台所处环境恶劣、荷载复杂、施工困难而功能要求很高,平台的建造可以显示其土木工程的技术水平。

水利工程中筑坝蓄水,对灌溉、航运、发电有许多益处。目前世界上最高的水坝为在建的我国的双江口水电站,建成后坝高315 m;其次为锦屏一级大坝,坝高305 m;第三为塔吉克斯坦的努列克大坝,坝高300 m。为了减小坝体断面,减少工程量,二战后发展了钢筋混凝土拱坝。当今世界上最高的双曲拱坝是我国的锦屏一级水电站大坝,其混凝土双曲拱坝高达305 m。我国贵州乌江渡坝为拱形重力坝,坝高165 m。在装机发电容量方面,位于刚果河上的英加水电站是世界上规模最大的水电站,设计总装机容量为4400万千瓦,工程建设共分六期,全部建成后将成为世界第一大水电站;第二是我国的三峡水电站,总装机容量2250万千瓦;第三是我国的白鹤滩水电站,总装机容量1600万千瓦。



三峡大坝

综观土木工程历史,中国在古代土木工程中拥有光辉成就,至今仍有许多历史遗存,有的已列入世界文化遗产名录,在近代却进展很慢,这与封建时代末期落后的制度有关。近20年来,中国的土木工程取得了举世瞩目的成就。以往在列举世界有名的土木工程时,只有长城、故宫、赵州桥等古代建筑,而现在无论是高层建筑、大跨桥梁,还是宏伟机场、港口码头,中国在前十名中均有建树,有的已列前三名,甚至第一名。这些成就均是改革开放以来取得的。

▶ 课题三 土木工程发展趋势 ◀

土木工程是一门古老的学科,它已经取得了巨大的成就,预测未来土木工程的发展前景,首先要考虑人类社会所面临的挑战和发展机遇。土木工程目前面临的形势是:

(1) 世界正经历工业革命以来的又一次重大变革,这便是信息(包括计算机、通讯、网络等)工业的迅猛发展,可以预计人类的生产、生活方式将会因此发生重大变化。

(2) 航空、航天事业等高科技事业快速发展,月球上已经留下了人类的足迹,对火星及

太阳系内外星空的探索已取得了巨大进步。

(3) 地球上居住人口激增,目前世界人口已超过 80 亿,预计到 21 世纪末,人口要接近百亿。而地球上的土地资源是有限的,并且因过度消耗而日益枯竭。

(4) 生态环境破坏严重,如:森林植被破坏、土地荒漠化、河流海洋水体污染、城市垃圾成山、空气混浊、大气臭氧层破坏等,工业在发展,技术在进步,而人类生存环境却在日益恶化。

人类为了争取生存,为了争取舒适的生存环境,必将推动土木工程向前快速发展。

1. 精密化的理论研究

未来土木工程的理论发展趋势集中在力学,物理、化学、计算机技术在土木工程方面的应用重点是解决数学分析与处理。现阶段,有些领域还不够完善,比如:复杂结构、流体介质等的受力分析,还需要进一步精密研究;对于土木工程中复杂的数值问题,还需要专门化的数学来解决。土木工程信息化,可以模拟更复杂的施工情况。

2. 土木工程材料的发展

土木工程的施工材料不仅要质量高、安全性高、使用寿命长,而且随着生态型建筑理念的发展,对建筑材料带来的污染、资源浪费等问题也日益重视,需要发展新型的、高新技术、生态建筑材料,以适应人和自然环境的协调发展。

(1) 生态建材的发展

为了实现绿色建筑,在保证工程质量的前提下,选用生态建材是最首要和有效的途径。比如选用环保材料、净化材料、可再生材料、循环使用材料等将成为未来发展的趋势。生态建材的发明和使用,大大提高了人们的居住品质,减少了对环境的破坏,有效降低建筑垃圾的产生,避免建筑材料的浪费,实现了用最少的资源实现最高品质的要求。新型生态材料的使用,在节水节电上进一步优化,节省资源,实现人与自然的可持续发展。

(2) 抗震强度高的钢材

随着高层建筑、大跨度结构建筑的不断增多,对抗震材料的要求也越来越高。因此,要求建筑结构使用的钢材逐渐向高强度化、极厚化、低屈服比、低屈服点等方向发展。日本的建筑抗震效果较好,值得借鉴。他们研究的具有高抗震设计的低屈服比和低屈服点的钢板,是采用调整化学成分和改进热处理工艺等方法制成的。生产出来的低屈服点钢材可辅助结构和减震控震装置。当地震发生时,钢材首先达到屈服点开始变形,吸收了地震能,从而防止主体结构的破坏。高强度的抗震材料的使用,不仅可以减少钢材的使用量,还为抗震提供了安全保障,是未来钢材发展的趋势。

(3) 智能化的混凝土

目前使用的高性能的混凝土,具有体积稳定性好、强度高、工作性强、耐久性好等优点。这些混凝土,具有高抗渗性、抗腐蚀性、抗冻性等优势,所以它们能够在恶劣的环境下较长时间地使用。最新设计的混凝土甚至可以使用 100 年或者 200 年以上。随着科学的不断进步和发展,智能化的混凝土将成为未来发展的趋势。智能化混凝土工程材料是指混凝土工程材料能够接受某些环境信息,主动进行逻辑判断,同时做出适应性调整。这种智能化的混凝土材料,可以根据工程的需要,维持和调整混凝土的性质,比如:流动性、保水性、粘聚性等,这样可以防止建筑受到侵害,或者对破坏进行修补,或者当有危险时也可以发出警报。这种

智能化的混凝土是未来建筑材料发展的关键技术,但目前还比较昂贵,研究的人也不多。相信随着信息科学、生命科学的不断进步,智能化材料也将逐渐进入到土木工程的市场。

3. 空间站、海底建筑、地下建筑

早在1984年,美籍华裔林铜柱博士就提出了一个大胆的设想,即在月球上利用它上面的岩石生产水泥并预制混凝土构件来组装太空试验站。这也表明土木工程的活动场所在不久的将来可能超出地球的范围。随着地上空间的减少,人类的注意力也越来越多地转移到地下空间,21世纪的土木工程将包括海底的世界。实际上东京地铁已达地下三层,除在青函海底隧道的中部设置了车站外,还建设了博物馆。

穿越海峡



厦门地铁海底
隧道工程

4. 结构形式

计算理论和计算手段的进步以及新材料新工艺的出现,为结构形式的革新提供了有利条件。空间结构将得到更广泛的应用,不同受力形式的结构融为一体,结构形式将更趋于合理和安全。

5. 土木工程信息化的发展

近年来,信息化已经普及,并且逐渐带动工业的信息化,必然也会对土木工程造成较大影响。土木工程的信息化的包括智能信息处理技术、计算机技术、自动化控制技术、网络技术等等,这些信息化技术不断渗透到土木工程中,并且涵盖了土木工程的全过程,不仅限于设计和施工,还有工程的物业管理、物流管理、设备维护和建筑全方位的实时监控等各个方面。可以利用计算机模拟管道空间布线,也可以利用信息化技术实现大型设备的整体吊装、大型桥梁悬索受力的控制、高温高压的焊接控制、建筑物的爆破等。

6. 防震与减灾

随着当前超大跨桥梁、高层建筑和大跨结构建筑物的兴起,结构设计呈现出更高、更长的发展趋势。在很多情况下,地震荷载已经成为结构设计的控制因素。所以大型复杂结构的抗震设计及其相对应的问题也得到了进一步的关注。相关的研究包括地震动的作用机理,建筑结构的抗震机理等。

7. 扩大对岩土锚固技术的应用

岩土锚固技术的应用领域要不断地进行扩展。岩土锚固技术除了在边坡工程、地下工程、深基坑工程、结构抗浮工程中保持着良好的发展状态外,在桥梁工程、重力坝加固工程、抗地震工程中则有着长远的进展;同时,锚杆锚固机理的技术仍然不成熟,仍然是土木工程界的难点。

党的二十大报告中提到“加快发展方式绿色转型”“推动形成绿色低碳的生产方式和生活方式”。更低碳环保的绿色建造,有助于推动形成绿色低碳的生产和生活方式,更好地助力美丽中国建设。通过以装配式、BIM、物联网、5G等技术为基础的“智能建造”,来推进“绿色建造”,促进建筑业建造方式、技术手段、管理模式的变革。

目前,我国土木工程的某些领域已处于世界先进行列,但我国土木工程的设计、施工和理论研究方面的总体水平与发达国家相比还有一定的差距。展望未来,不仅要加强新型结构形式、新型建筑材料、新的技术手段的理论探索和应用研究,更要加强土木工程二级学科间理论和技术的融合与渗透,实现土木工程的更大突破。

► 课题四 本课程的学习目的与方法 ◀

土木工程概论既是土木工程、建筑工程、工程造价专业的一门重要的专业基础课,又是一门实践性很强的应用型学科,它系统地阐述了土木工程的专业知识要点,表述了土木工程学科综合知识的构成及重要内容。

► 一、土木工程的知识、能力和素质要求

在土木工程学科知识的系统学习中,不仅要注意知识的积累,更应注意能力的培养。

1. 自主学习能力

高职只有三年,每门课从十几个学时到上百个学时,所学的东西总是有限的,土木工程专业内容广泛,新的技术又不断出现,因而自主学习,扩大知识面,自我成长的能力非常重要。不仅要向老师学、向课本学,而且要注意在实践中学习,善于查阅文献,善于在网上学习。

2. 综合解决问题的能力

在大学期间大多数课程是单科教学,有一些综合训练及毕业设计可训练综合解决问题的能力。实际工程问题的解决总是要综合运用各种知识和技能,在学习过程中要注意培养这种综合能力,尤其是设计、施工等实践工作的能力。

3. 创新能力

社会在进步,经济在发展,对人才创新要求也日益提高。所以在学习过程中要注意创新能力的培养。大学学习的主要任务是打好理论基础,强化动手操作能力培养。

4. 协调、管理能力

现代土木工程不是一个人能完成的,少则几个人、几百人,多则需成千上万人共同努力才能成功,为此培养自己的协调、管理能力非常重要。同学们毕业后,不论参加任何业务部分的工作,总会涉及管理工作。同学们在工作中一定要处理好上下左右的关系,对上级要尊重,有不同意见应当面提出讨论,要努力负责地完成上级交给的任务,使上级对你的工作“放心”;对同事要既竞争又友好;对下级要既严格要求又体贴关怀。总之,要有“厚德载物”的包容精神,做事要合理、合法、合情,要有团队精神,这样,工作才能顺利开展,事业才能更上一层楼。

► 二、主要教学方法及学习建议

大学的教学和训练与中学相比要多样化一些,主要的教学形式有课堂教学、实验课、设计训练和施工实习。下面对这几个环节做简要介绍。

1. 课堂教学

课堂教学是学校学习最主要的形式,即通过老师的讲授,学生听课而学习。课堂学习时,学生要注意记住老师讲授的思路、重点、难点和主要结论。在课堂上做一些笔记,记下老

师讲课的内容,有的学生记得极详细,几乎一字不漏;有的只记要点、难点和因果关系。编者建议采用后者,甚至可在教材的空白处旁记,并用自己约定的符号在书上划出重点和各内容之间的联系。

与大班课堂讲授相配套的可能还有小班的讨论课、习题课,以加深对课程的重点、难点的理解。参加这样的课时,同学们一定要积极思考,主动参加讨论,这不仅能巩固和加深所学知识,也是对表达能力的一种训练。

课堂教学后,要复习巩固,整理笔记,能用自己的语言表达所学内容。对于不懂的问题不要放过,可自己思索,也可与同学切磋,还不懂时,可记下来,适当的时候找老师讨论。

2. 实验教学

通过实验手段掌握实验技术,弄清科学原理。在土木工程、工程造价等专业中还开设材料实验、结构检验的实验课,这不仅是学习基本理论的需要,同时也是同学们熟悉国家有关实验、检测规程,熟悉实验方法及学习撰写实验报告的需要。不要有重理论轻实验的思想,应认真做好每一次实验,并努力做到自主设计、规划实验。

3. 设计训练

任何一个土木工程项目确定以后,首先要进行设计,然后才交付施工。设计是综合运用所学知识,提出自己的设想和技术方案,并以工程图及说明书来表达自己的设计意图的过程,可从根本上培养学生自主学习、自主解决问题的能力。

设计土木工程项目一定会受到多方面的约束,而不像单科习题那样只有一两个已知条件约束,这种约束不仅有科学技术方面的,还有人文经济等方面的。使土木工程项目“满足功能需要,结构安全可靠,成本经济合理,造型美观悦目”是设计的总体目的,要做到这一点必须综合运用各种知识,而其答案也不会是唯一的,这对培养学生的综合能力、创新能力有很大作用。

4. 施工实习

贯彻理论联系实际的原则,让学生到施工现场或管理部门学习生产技术和知识。通常一个工地往往很难容纳一个班(几十人)的学生,因此,施工实习通常在统一要求下分散进行。这不仅是对学生能否在实际中学习知识技能的一种训练,也是对学生的敬业精神、劳动纪律和职业道德的综合检验。

主动认真地进行施工实习,虚心向工地工人、工程技术人员请教,可以学习到在课堂上学不到的许多知识和技能,但如马马虎虎,仅为完成实习报告而走过场,则会白白浪费自己的宝贵时间。能否成为土木工程方面的优秀人才,施工实习至关重要。

单元小结

本单元主要介绍了:

(1) 土木工程在国民经济建设中的地位和重要性。土木工程为国民经济的发展和人民生活的改善提供了重要的物质技术基础,在国民经济中占有举足轻重的地位。

(2) 土木工程的发展和近、现代典型土木工程项目的基本知识。

(3) 土木工程的发展趋势。土木工程与社会、经济、科学技术的发展密切相关,而就其自身而言则主要围绕着材料、施工技术、力学与结构理论的演变等不断发展。

(4) 土木工程概论课程的学习方法。在土木工程学科知识的系统学习中,不仅要注意知识的积累,更应注意能力的培养。

▶ 复习思考题 ◀

1. 简述土木工程的内涵及其在国民经济发展中的重要地位。
2. 试简述土木工程的发展简史。
3. 现代土木工程有哪些主要特点?
4. 土木工程发展趋势如何?
5. 该课程的主要学习内容、学习方法与学习过程如何?

单元二

土木工程材料

学习目标

了解土木工程中使用的材料的种类、基本性能及应用状况,重点掌握砖、水泥、混凝土、钢材、建筑砂浆等材料的基本性能和用途,对其他材料作一般了解。

学习重点

砖、水泥、砂浆、混凝土、钢材等土木工程材料的分类;常用土木工程材料的技术性能、技术标准及选用原则。

▶ 课题一 土木工程材料分类 ◀

土木工程材料是指各类土木工程(建筑工程、交通工程、水利工程等)中所用的材料。土木工程材料是各项基本建设的重要物质基础,其质量直接影响工程的质量与寿命。一幢建筑物从主体结构到每一个细部和构件,都是由各种建筑材料经过设计、施工而成。因此,正确选择建筑材料的质量、品种、规格以及色彩,对建筑工程的安全、实用、耐久、美观及造价等均有重要意义。新型建筑材料的出现,对建筑形式、结构设计计算和施工技术都会有很大的促进作用。

由于建筑材料种类繁多,作用和功能各不相同,为便于掌握和使用,一般可把材料进行简单的分类。如:按基本成分分类,可分为金属材料和非金属材料,见表 2-1。非金属材料按化学组成又可分为无机材料和有机材料。按在建筑中的用途,可分为结构材料、构造材料、绝热材料、吸声材料、防水材料、装饰材料等。

表 2-1 建筑材料按基本成分的分类

金属材料		黑色金属	钢、铁	
		有色金属	铝、铜、铅及其合金等	
非金属材料	无机材料	天然石材	花岗岩、石灰岩、大理石等	
		烧土制品	砖瓦、陶瓷、玻璃等	
		胶凝材料	气硬性胶凝材料	石灰、石膏、水玻璃等
			水硬性胶凝材料	各种水泥
		以胶凝材料为基础的人造石		混凝土 砂浆 石棉水泥制品 硅酸盐建筑制品
	有机材料	木材、沥青、树脂和塑料、涂料、橡胶等		
复合材料		金属-非金属材料、非金属-金属材料 无机-有机材料、有机-无机材料		

▶ 课题二 石材、砖、瓦 ◀

早期使用的土木工程材料主要有石材、砖、瓦等，它们至今仍在土木工程材料中占有重要地位。目前在土木工程中，石材主要用作结构材料、装饰材料、混凝土集料和人造石材的原料等。

▶▶ 一、石材



石材

天然石材是最古老的土木工程材料之一。天然石材具有很高的抗压强度，良好的耐磨性和耐久性，经加工后表面美观富于装饰性，资源分布广，蕴藏量丰富，便于就地取材，生产成本低等优点，是古今土木工程中修建城垣、桥梁、房屋、道路及水利工程的主要材料。天然石材经加工后具有良好的装饰性，是现代土木工程的主要装饰材料之一。

石材具有良好的耐久性，用石材建造的结构物具有永久保存的可能。古代人早就认识到这一点，因此许多重要的建筑物及纪念性结构物都是使用石材建造的。

石材的耐水性好，抗压强度高。有的石材 1 m² 面积能承受 5000 t 的压力。所以在石块上叠砌石块，有可能建成大型的结构物。以石材为主的西欧建筑，威严雄浑，给人以庄重高贵的感觉。石材建筑是欧洲文化的象征。许多皇家建筑多采用石材。例如欧洲最大的皇宫——法国凡尔赛宫，占地面积达 100 多万平方米，其中建筑面积为 11 万平方米，宫殿中建筑物的墙体以及外部的地面全部使用石材建成，如图 2-1 所示。



图 2-1 法国凡尔赛宫

石材的种类:

1. 毛石

毛石也称片石,是采石场由爆破直接获得的形状不规则的石块。根据平整程度又将其分为乱毛石和平毛石两类。

毛石可用于砌筑基础、堤坝、挡土墙等,乱毛石也可作为毛石混凝土的骨料。

2. 料石

料石是人工或机械开采出的较规则的六面体石块略经凿琢而成。根据表面加工的平整程度分为毛料石、粗料石、半细料石和细料石四种。

料石一般由致密均匀的砂岩、石灰岩、花岗岩加工而成。料石主要用于砌筑墙身、踏步、拱、纪念碑和柱等。

3. 饰面石材

建筑物内外墙面、柱面、地面、栏杆、台阶等处装修用的石材称为饰面石材。饰面石材从岩石种类分主要有大理石和花岗岩两大类。饰面石材的外形有加工成平面的板材,或者加工成曲面的各种定型件。表面经不同的工艺可加工成凹凸不平的毛面,或者经过精磨抛光成光彩照人的镜面。

4. 色石渣

色石渣也称色石子,是由天然大理石、白云石、方解石或花岗岩等石材经破碎筛选加工而成,作为骨料主要用于人造大理石、水磨石、水刷石、干粘石、斩假石等建筑物面层的装饰工程。

5. 石子

在混凝土组成材料中,砂称为细骨料,石子称为粗骨料。石子除用作混凝土粗骨料外,也常用作路桥工程、铁道工程的路基道砟等。石子分碎石和卵石,由天然岩石或卵石经破碎、筛分而得到的粒径大于 5 mm 的岩石颗粒,称为碎石或碎卵石;岩石在自然条件作用下形成的粒径大于 5 mm 的颗粒,称为卵石。

二、砖

砖是一种最为常用的砌筑材料。砖、瓦的生产和使用在我国历史悠久。春秋战国时期陆续创制了方形砖和长形砖,秦汉时期制砖的技术、生产规模、质量和花式品种都有显著发展,史称“秦砖”。制砖的原料容易取得,生产工艺比较简单,价格低,体积小,便于组合,黏土砖还有防火、隔热、隔声、吸潮等优点,所以至今仍然广泛地用于墙体、基础、柱等砌筑工程中。但是由于生产传统黏土砖毁田取土量大、能耗高、自重大,施工生产中劳动强度高、工效低,因此有逐步改革并用新型材料取代的必要。有的城市已禁止在建筑物中使用黏土砖。



砖

(一) 砖的分类

砖按照生产工艺分为烧结砖和非烧结砖;实心砖按所用原材料分为黏土砖、页岩砖、煤矸石砖、粉煤灰砖、炉渣砖和灰砂砖等;按有无孔洞分为空心砖和多孔砖。

(二) 常用砖

1. 烧结普通砖

根据《烧结普通砖》(GB/T 5101—2017)的规定:烧结普通砖是以黏土、页岩、煤矸石或粉煤灰为主要原料,经制坯和焙烧而成的实心或孔洞率不大于15%的砖。



烧结普通砖

(1) 烧结普通砖的技术性能指标

① **规格**:烧结普通砖的外形为直角六面体,其标准尺寸是 $240\text{ mm} \times 115\text{ mm} \times 53\text{ mm}$ 。按技术指标分为优等品(A)、一等品(B)、合格品(C)3个质量等级。

② **强度等级**:烧结普通砖按抗压强度分为 MU30, MU25, MU20, MU15, MU10 共5个强度等级。

③ **抗风化性能**:抗风化性能是烧结普通砖主要的耐久性之一。它是指材料在干湿变化、温度变化、冻融变化等物理因素作用下,材料不破坏并长期保持其原有性质的能力。抗风化性能越强,耐久性越好。

④ **泛霜**:泛霜是指砖内可溶性盐类(如硫酸钠等)随着砖内水分蒸发,逐渐于砖的表面析出一层白霜的现象。严重泛霜的出现不仅有损建筑物的外观,而且对建筑结构的破坏较大。

⑤ **石灰爆裂**:烧结砖的原料中夹有石灰质,经过焙烧,石灰质变为生石灰,生石灰吸水熟化为熟石灰,体积膨胀,使砖因产生内应力而爆裂的现象。

(2) 烧结普通砖的应用

烧结普通砖是砌筑工程中的一种主要材料。它具有强度高、耐久性和隔热、保温性能好等特点,广泛用于砌筑建筑物的内外墙、柱、烟囱、沟道及其他建筑物。

2. 烧结多孔砖和烧结空心砖

可减轻建筑物自重,节约黏土资源,节省烧结时的燃料消耗,提高墙体施工工效,并能改善砖的隔热、隔声性能。推广使用多孔砖和空心砖是我国墙体材料改革的一项重要内容。

(1) 烧结多孔砖

烧结多孔砖是以黏土、页岩、煤矸石、粉煤灰、淤泥及其他废弃物等为主要原料烧制的主要用于结构承重的多孔砖。烧结多孔砖的孔洞率一般在 28% 以上。孔洞尺寸小而数量多,用于砌筑墙体的承重用砖。多孔砖形状见图 2-2。

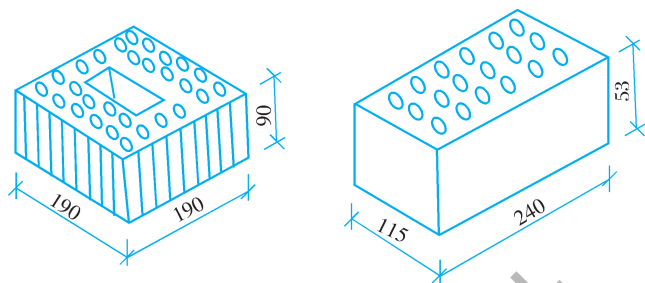


图 2-2 烧结多孔砖

GB 13544—2011



烧结多孔砖
和多孔砌块

(2) 烧结空心砖

烧结空心砖是以黏土、页岩、粉煤灰、煤矸石、淤泥、建筑渣土及其他固体废弃物为主要原料焙烧而成的空心砖。空心砖的孔洞率一般在 40% 以上,孔洞尺寸大而数量少。空心砖形状见图 2-3。

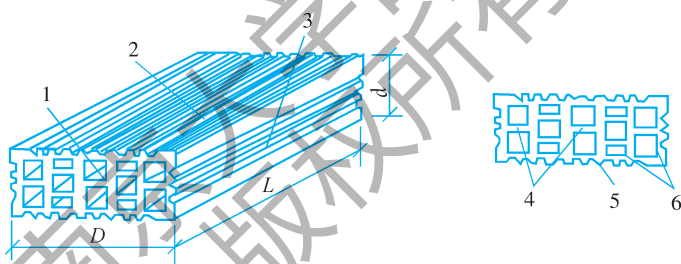


图 2-3 烧结空心砖

GB/T 13545—2014



烧结空心砖
和空心砌块

1—顶面;2—大面;3—条面;4—肋;5—凹线槽;6—外壁 L —长度; D —宽度; d —高度

烧结空心砖自重较轻,强度较低,多用于非承重墙,如多层建筑内隔墙或框架结构的填充墙等。

三、瓦

(一) 瓦的历史

瓦,一般指黏土瓦。以黏土(包括页岩、煤矸石等粉料)为主要原料,经泥料处理、成型、干燥和焙烧而制成。在中国,瓦的生产比砖早。从甲骨文字形中可以知道,3000 多年前的屋脊有高耸的装饰或结构构件,但尚未有实物陶瓦的发掘发现。春秋时期出现板瓦、筒瓦、瓦当等。到了战国时代,一般人的房子都能用上瓦了。秦汉形成了独立的制陶业,并在工艺上做了许多改进,如改用瓦榫头使瓦间相接更为吻合,取代瓦钉和瓦鼻。西汉时期工艺上又取得了明显的进步,如带有圆形瓦当的筒瓦由三道工序简化成一道工序,瓦的质量也有较大提高,史称“汉瓦”。



秦砖汉瓦

（二）常见的瓦

黏土瓦的生产工艺与黏土砖相似,但对黏土的质量要求较高,如含杂质少、塑性高、泥料均化程度高等。中国目前生产的黏土瓦有小青瓦、脊瓦和平瓦(图 2-4)。

黏土瓦只能应用于较大坡度的屋面。由于材质脆、自重大、片小,施工效率低,且需要大量木材等缺点,在现代建筑屋面材料中的比例已逐渐下降。

瓦,原本色泽灰黑无光,然而,紫禁城的瓦表面光滑如镜,这种瓦叫琉璃瓦(如图 2-5 所示)。琉璃瓦是中国帝王之家的专属用品,也是中国建筑的象征。最早的琉璃瓦实物见于唐昭陵。

一块色泽美丽的琉璃瓦,必须经过两座窑炉的煅烧方可制成。琉璃的制作工艺是采用两次烧成的方式,第一次是将制好的黑色瓦坯烧成洁白的素坯,第二次则是素坯施釉后烧成色彩缤纷的琉璃瓦。上釉的素坯需经过窑火的洗礼,火温稍有差异,出窑的琉璃瓦便呈现出不同的色彩,且具有良好的防水性和稳定性。

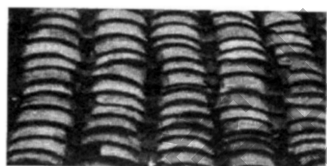


图 2-4 小青瓦及小青瓦屋顶

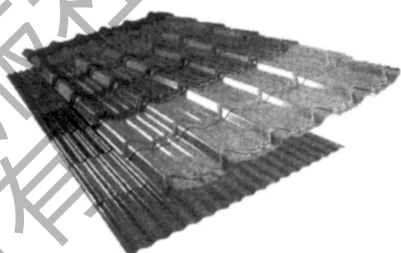


图 2-5 琉璃瓦

课题三 石灰、水泥、砂浆

胶凝材料又称胶结材料,凡是在物理作用或化学作用下,能把其他固体材料胶结成整体并具有一定强度的材料,统称为胶凝材料。

按胶凝材料的化学组成,可分为无机胶凝材料和有机胶凝材料两大类。无机胶凝材料根据硬化条件不同,又分为气硬性胶凝材料和水硬性胶凝材料。有机胶凝材料以天然合成的有机高分子化合物为基本成分,如沥青、各种合成树脂等。

气硬性胶凝材料只能在空气中硬化,并保持和发展其强度,常用的有石灰、石膏、水玻璃等。水硬性胶凝材料既可在空气中硬化也可在水中硬化,并保持和发展其强度,如各种水泥。

一、石灰

石灰是一种古老的建筑材料。由于其生产工艺简单,价格低廉,有良好的性能,因而在建筑工程中应用广泛。建筑工程中所指的石灰包括生石灰、生石灰粉和消石灰等。

（一）石灰的生产及分类

将主要成分是碳酸钙的天然石灰石在 $900\sim 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下煅烧,排除分解出的二氧化碳后,得到以氧化钙为主要成分的产品为生石灰。

煅烧生成的块状生石灰经过不同加工,可得到石灰的另外三种产品。

(1) **生石灰粉**:将块状生石灰磨细制成粉末,其主要成分是 CaO 。

(2) **消石灰粉**:将块状生石灰用适量水熟化而得到的主要成分是 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的白色粉末,又称熟石灰。

(3) **石灰膏**:将块状生石灰用过量水熟化,或将消石灰粉和水拌合,得到的具有一定稠度的膏状物,其主要成分是 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和水。

(二) 石灰的熟化

生石灰加水生成氢氧化钙的过程称为生石灰熟化或消解。生石灰熟化过程会放出大量的热,熟化时体积增大 1~2.5 倍。生石灰必须在充分熟化后才能使用,否则未熟化的生石灰将在使用后继续熟化,使材料表面凸起、开裂或局部脱落。



石灰消化试验

(三) 石灰的硬化

块状生石灰用过量水熟化,或将消石灰粉和水拌合,得到一定稠度的石灰膏,石灰膏会在空气中逐渐凝结硬化。其过程是氢氧化钙吸收空气中的二氧化碳,表面水分蒸发形成组织致密的碳酸钙薄膜,阻碍了空气中的二氧化碳的继续渗入,所以其过程十分缓慢。随着时间的延长,表面碳酸钙的厚度逐渐增加,整体强度逐渐增大。

(四) 石灰的性质

(1) **可塑性好**。生石灰熟化为石灰膏时,氢氧化钙表面吸附一层水膜,所以用石灰配置的砂浆具有良好的可塑性。

(2) **强度不高**。石灰浆体硬化后强度不高,配比为 1:3 的石灰砂浆 28 d 抗压强度通常只有 0.2~0.5 MPa。

(3) **硬化慢且体积收缩大**。由于空气中二氧化碳含量较少,表面硬化后,不利于内部水分的蒸发,因此硬化过程缓慢。体积收缩大,容易出现裂缝。

(4) **耐水性差**。硬化后的石灰受潮后,结晶析出的碳酸钙会再次微溶,所以石灰不宜用于潮湿环境,如基础工程。

(五) 石灰的用途

石灰在建筑工程中应用广泛,主要用途如下:

(1) **制造石灰乳涂料**。由消石灰粉或石灰浆掺入大量的水调制而成。用于粉刷墙面或顶棚。

(2) **配置砂浆**。可单独配置砂浆,称石灰砂浆,和水泥一起配置的,称水泥混合砂浆,用于砌筑和抹灰工程。用于抹灰工程的石灰砂浆,需加入纸筋等纤维材料,以克服收缩性大、易开裂的缺点。

(3) **拌制灰土和三合土**。在夯实状态下,灰土或三合土比黏土抗渗能力、抗压强度、耐水性均有所提高。灰土和三合土广泛用于建筑物基础的各种垫层。

(4) **生产硅酸盐制品**。石灰是生产粉煤灰砖、灰砂砖、硅酸盐砌块等硅酸盐制品的主要

材料。各类石灰在建筑上的用途见表 2-2。

表 2-2 各类石灰在建筑上的用途

品种名称	使用范围
生石灰	配置石灰膏;磨细成生石灰粉
石灰膏	用于调制石灰砌筑砂浆或抹面砂浆 稀释成石灰乳(石灰水)涂料,用于内墙和平顶刷白
生石灰粉 (磨细生石灰粉)	用于调制石灰砌筑砂浆或抹面砂浆 配置无熟料水泥(石灰矿渣水泥、石灰粉煤灰水泥、石灰火山灰水泥等) 制作硅酸盐制品(如灰砂砖等) 制作碳化制品(如碳化石灰空心板) 用于石灰土(灰土)和三合土
消石灰粉	制作硅酸盐制品;用于石灰土(石灰+黏土)和三合土

二、水泥

水泥是一种粉末状物质,与适量的水混合后,经过物理、化学作用由浆体变成坚硬的石状物,并能将散粒状材料胶结成整体。由于水泥浆体不仅可以在空气中硬化,而且能更好地在水中硬化,故水泥称为水硬性胶凝材料。水泥是重要的建筑材料之一,广泛应用于各类土木工程之中,如建筑、道路、铁路、水利、海港等工程。



水泥的历史

水泥的种类繁多。按其主要水硬性物质名称,分为硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥。按其用途和性能,又可分为通用水泥、专用水泥以及特性水泥三大类。通用水泥指用于建筑工程的水泥,如硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥以及复合硅酸盐水泥,即所谓六大水泥。专用水泥是指有专门用途的水泥,如砌筑水泥、道路水泥等。特性水泥是指某种性能比较突出的水泥,如快硬水泥、白色水泥、抗硫酸盐水泥、中热低热矿渣水泥以及膨胀水泥等。下面主要介绍常用的硅酸盐水泥。

(一) 硅酸盐水泥的生产

硅酸盐水泥是以石灰质原料(如石灰石)与黏土质原料(如黏土、页岩等)为主,有时辅以少量铁粉,按一定比例配合磨细成生料粉,送入回转窑或立窑,在 1450℃ 左右的高温下燃烧,使其达到部分熔融,得到以硅酸钙为主要成分的水泥熟料,再将熟料与适量石膏共同磨细而制成的水泥。硅酸盐水泥生产工艺流程如图 2-6 所示。

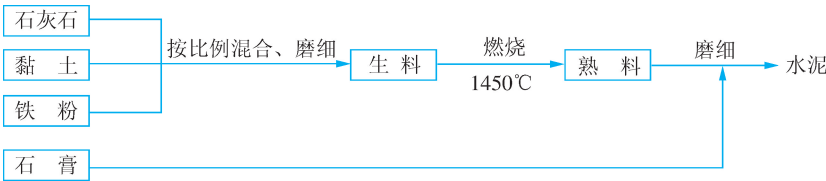


图 2-6 硅酸盐水泥生产工艺流程

生料在高温过程中,首先脱水、分解,生成氧化钙(CaO)、二氧化硅(SiO_2)、三氧化二铝(Al_2O_3)、三氧化二铁(Fe_2O_3),然后在更高的温度下, CaO 与 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 相结合,形成新的水泥熟料矿物化合物,即

硅酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$,简写为 C_3S);

硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$,简写为 C_2S);

铝酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$,简写为 C_3A);

铁铝酸四钙($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$,简写为 C_4AF)。

除上述四种主要熟料矿物外,水泥熟料中还含有少量的游离氧化钙(CaO)、氧化镁(MgO)、氧化钾(K_2O)、氧化钠(Na_2O)与三氧化硫(SO_3)等有害成分。熟料中所含的游离 CaO 和 MgO 均系过火石灰,一般在水泥硬化并具有一定强度后,才开始与水缓慢作用,并增大体积,使已硬化的水泥浆体开裂,造成水泥体积安定性不良。 Na_2O 与 K_2O 则能与某些作为混凝土骨料的岩石发生所谓“碱—骨料”反应,使水泥石胀裂,危害很大。 SO_3 数量过多,会引起水泥假凝、强度下降或水泥石开裂等不良后果。

水泥熟料是具有不同特性的多种熟料矿物的混合物,因此,如果熟料中各种矿物的相对含量不同时,水泥的性质也会发生相应的变化。例如,提高 C_3S 的含量,可以制成高强度水泥;提高 $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_3\text{A}$ 的总含量,可以制得快硬早强水泥;降低 C_3A 与 C_3S 的含量,提高 C_2S 的含量,则可制得低水化热水泥(如大坝水泥)等。

(二) 水泥的水化与凝结硬化

水泥加水拌和后,就开始了水化反应,成为可塑性的水泥浆。随着水化的不断进行,水泥浆逐步变稠,失去可塑性,但尚不具有强度的过程,称为水泥的凝结。随着水化的进一步进行,水泥浆将产生明显的强度并逐渐发展成为坚硬的人造石——水泥石的过程,称为硬化。水泥的水化是复杂的化学反应,凝结、硬化实质上是一个连续的、复杂的物理化学变化过程,是水化的外在表现,其凝结硬化阶段则是人为划分的。

硅酸盐水泥在一般使用情况下,是在少量水中进行水化作用的。其中 C_3S 水化时,会析出大量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。此外,水泥磨细时所掺的石膏也溶解于水,并与某些成分互相化合。故而,水泥的水化作用,基本上是在 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 CaSO_4 的饱和溶液或过饱和溶液中进行的,忽略水泥中一些次要的和少量的成分,可认为硅酸盐水泥的水化产物主要是水化硅酸钙与水化铁酸钙的凝胶,以及氢氧化钙、水化铝酸钙与水化硫铝酸钙的晶体。

经过一定时间,水化物凝胶体的浓度上升,凝胶粒子相互凝聚成网状结构,使水泥浆变稠、失去塑性,这种过程称为凝结。再过若干时间,生成的凝胶增多,被紧密填充在水泥颗粒间而逐渐硬化。图2-7为水泥凝结硬化过程示意。

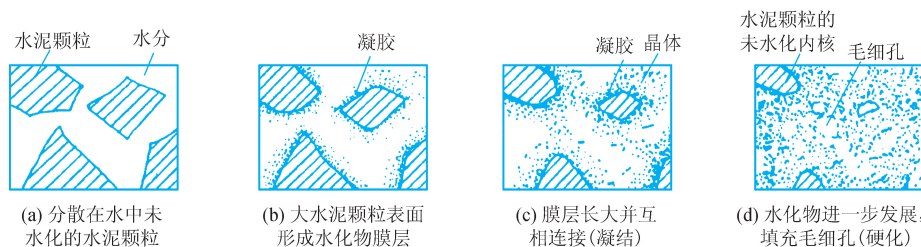


图2-7 水泥凝结硬化过程示意

硬化后的水泥石是由凝胶体、结晶体、未水化的水泥颗粒、水和孔隙构成。水泥石的性质主要取决于这些组成的性质、相对含量以及它们之间的相互作用。

(三) 水泥的技术性质

1. 细度

水泥颗粒越细,颗粒总表面积越大,水化反应越快、越充分,强度(特别是早期强度)越高,收缩也增大。

2. 凝结时间

为使混凝土与砂浆有充分时间进行搅拌、运输、浇灌和砌筑,初凝不能太早。当施工结束后,则要求混凝土或砂浆尽快凝结硬化并具有强度,终凝时间不能太迟。

国家标准规定:硅酸盐水泥的初凝时间不得早于 45 分钟,终凝时间不得迟于 6.5 小时。

3. 体积安定性

水泥在硬化过程中体积变化是否均匀的性质,称为体积安定性。国家标准规定:游离 MgO 的含量应小于 5%, SO_3 的含量不得超过 3.5%,以保证水泥在这两方面的体积安定性。用沸煮法检验水泥体积安定性,若用标准稠度水泥净浆做成的试饼煮沸 3 小时后,经肉眼观察未发现裂纹,用直尺检查没有弯曲,可认为体积安定性合格。

4. 强度

强度是选用水泥的主要技术指标。目前我国测定水泥强度的试验按照《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T 17671—2021)进行。按国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2023)规定,根据 3d,28d 的抗折强度及抗压强度,将硅酸盐水泥分为 42.5,52.5,62.5 三个强度等级。按早期强度大小及强度等级,又分为两种类型,冠以“R”是属于早强型。

5. 水化热

水泥的放热过程可以延续很长时间,但大部分热量在早期释放,特别是在前三天,水化热及放热速率与水泥的矿物成分及水泥细度有关。

(四) 其他品种水泥

在实际施工中,往往会遇到一些有特殊要求的工程,如紧急抢修工程、耐热耐酸工程、新旧混凝土搭接工程等。对这些工程,需要采用其他品种的水泥,如快硬硅酸盐水泥、高铝水泥、白色硅酸盐水泥等。

(1) **快硬硅酸盐水泥**。凡以硅酸盐水泥熟料和适量石膏磨细制成的,以 3d 抗压强度表示标号的水硬性胶凝材料称为快硬硅酸盐水泥(简称快硬水泥)。由于快硬水泥凝结硬化快,故适用于紧急抢修工程、低温施工工程和高标号混凝土预制件等。但储存和运输中要特别注意防潮,施工时不能与其他水泥混合使用。另外,这种水泥水化放热量大而迅速,不适合用于大体积混凝土工程。

(2) **快凝快硬硅酸盐水泥**。以硅酸钙、氟铝酸钙为主的熟料,加入适量石膏、粒化高炉矿渣、无水硫酸钠,经过磨细制成的一种凝结快、小时强度增长快的水硬性胶凝材料,称为快凝快硬硅酸盐水泥(简称为双快水泥)。

GB 175—2023



通用硅酸盐水泥

为什么白糖能
阻抑水泥变硬

双快水泥主要用于军事工程、机场跑道、桥梁、隧道和涵洞等紧急抢修工程。同样不得与其他品种水泥混合使用,并注意放热量大而迅速的特点。

(3) **白色硅酸盐水泥**。由白色硅酸盐水泥熟料加入适量石膏,磨细制成的水硬性胶凝材料,称为白色硅酸盐水泥(简称白水泥)。

白水泥强度高,色泽洁白,可配制彩色砂浆和涂料、白色或彩色混凝土、水磨石等,用于建筑物的内外装修。白水泥也是生产彩色水泥的主要原料。

(4) **高铝水泥**。高铝水泥是一种快硬、高强、耐热及耐腐蚀的胶凝材料。主要特性有:早期强度高、耐高温和耐腐蚀。高铝水泥主要用于工期紧急的工程,如国防、道路和特殊抢修工程等,也可用于冬季施工的工程。

(5) **膨胀水泥**。由硅酸盐水泥熟料与适量石膏和膨胀剂共同磨细制成的水硬性胶凝材料,称为膨胀水泥。按水泥的主要成分不同,分为硅酸盐、铝酸盐和硫铝酸盐型膨胀水泥;按水泥的膨胀值及其用途不同,又分为收缩补偿水泥和自应力水泥两大类。

上述各种水泥的共同点是在硬化过程中产生一定的收缩,可能造成裂纹、透水或产生不适于某些工程的特性。膨胀水泥在硬化过程中不但不收缩,而且有不同程度的膨胀。膨胀水泥除了具有微膨胀性能外,也具有强度发展快、早期强度高的特点。可用于制作大口径输水管和各种输油、输气管,也常用于有抗渗要求的工程、要求补偿收缩的混凝土结构、要求早强的工程结构节点浇筑等。

三、砂浆

砂浆是一种主要的土木工程材料,广泛应用于砌筑工程、抹面工程、修补工程。

砂浆是由胶凝材料、细骨料、掺和料和水按适当配合比例拌制并经硬化而成的材料。按所用的胶凝材料不同,砂浆可分为水泥砂浆、混合砂浆、石灰砂浆、聚合物砂浆等。



砂浆

(一) 砂浆的组成材料

(1) 胶凝材料是砂浆的重要组成材料,起胶结作用,影响着砂浆流动性、保水性和强度等技术性质。常用的有水泥、石灰等。

配制砂浆所选用的水泥品种有普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥等。选用的水泥强度等级一般是 32.5 级水泥。

可选用石灰作为胶凝材料配制成石灰砂浆,也可用石灰代替部分水泥配制混合砂浆。混合砂浆不但可以节约水泥,而且具有很好的和易性。配制砂浆所用的石灰应预先消化,并符合相应的技术要求。

(2) 细骨料在砂浆中所起的作用与混凝土中骨料的作用相同。但因砂浆层一般较薄,故对骨料的粒径要有所限制。

(3) 砂浆拌合水的技术要求与混凝土拌合水相同。应选用洁净无杂质的水。

(二) 砂浆的技术要求

1. 和易性

新拌砂浆应具有良好的和易性。砂浆拌合物的和易性包括流动性和保水性两方面。砂

浆的流动性是指砂浆在自重或外力作用下流动的特性,也称稠度。流动性应根据砂浆的用途、施工工艺及气候条件来选择。砂浆的保水性是指砂浆保持水分的能力。砂浆中的水分应不易流失,摊铺容易。

2. 强度

强度是指边长为 70.7 mm 的立方体试件,在标准养护条件下[温度为 $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 90%以上]养护 28d 的抗压强度平均值(单位为 MPa)。

砌筑砂浆的强度分为 M2.5, M5, M7.5, M10, M15 五个强度等级。

(三) 常用砂浆

1. 砌筑砂浆

将砖、石或砌块粘结成为砌体的砂浆,称为砌筑砂浆。它起着粘结砖、石或砌块构成砌体,传递荷载,协调变形的作用。砌筑砂浆的主要技术指标是强度,砌筑砂浆强度的选择由设计要求决定。

2. 抹面砂浆

抹面砂浆是指压抹在建筑物或构件表面的砂浆。可分为普通抹面砂浆、防水抹面砂浆和装饰抹面砂浆等。抹面砂浆的技术要求是具有良好的和易性和良好的粘结力。

普通抹面砂浆具有保护建筑物、提高耐久性、增强装饰等功能。普通抹面砂浆常选用水泥砂浆、水泥混合砂浆、石灰砂浆等。抹面一般分两层或三层施工,底层起粘结作用,中层起找平作用,面层起装饰作用。

3. 防水砂浆

用于防水层的砂浆称为防水砂浆。防水砂浆适用于堤坝、隧洞、水池、沟渠等具有一定刚度的混凝土或砖石砌体工程。对于变形较大或可能发生不均匀沉陷的建筑物防水层不宜采用。

为提高防水砂浆的防水性能,可掺入防水剂。常用的防水剂有氯化铁、金属皂类防水剂、有机硅防水剂等。防水砂浆的水泥用量较多,砂灰比一般为 2.5~3.0,水灰比为 0.5~0.55;水泥应选用 42.5 级以上的火山灰水泥、硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥;采用级配良好的中砂。防水砂浆的施工操作要求很高,施工时应将墙面清洁湿润,分多层涂抹,逐层压实,最后一层要压光,并且注意养护,以提高防水效果。

4. 装饰砂浆

装饰砂浆是指抹在建筑物内外墙表面,具有保护建筑物和美化装饰作用的砂浆。其胶凝材料可以使用白水泥、彩色水泥,或在常用水泥中掺入颜料,以达到彩色装饰效果。

5. 特种砂浆

(1) 隔热砂浆

是以水泥、石灰膏、石膏等胶凝材料与膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、火山渣或浮石砂、膨胀矿渣、陶粒砂等轻质多孔骨料按一定比例配制成的砂浆。具有轻质的优点和良好的隔热性能,用于屋面隔热层、隔热墙壁以及供热管道隔热层等。

(2) 吸声砂浆

是由轻质多孔骨料制成的具有吸声功能的砂浆。吸声砂浆同时具有隔热功能,主要用

于有吸声要求的室内墙壁和顶棚的抹灰。

(3) 耐酸砂浆

是用水玻璃与氟硅酸钠拌制而成具有耐酸功能的砂浆。有时可掺入一定量的石英岩、花岗岩等粉状细骨料。用作耐酸地面和耐酸容器的内壁保护层。

(4) 防辐射砂浆

是在水泥中掺入重晶石粉配制而成,具有防 X 射线等能力的砂浆。主要用于射线防护工程。

(5) 膨胀砂浆

是在水泥砂浆中掺入膨胀剂,或使用膨胀水泥配制而成的具有膨胀作用的砂浆。主要用于修补工程,或装配结构中的填充缝隙。

(6) 自流平砂浆

是在砂浆中掺入化学外加剂,使其在自身重力作用下能够自然流动成平面的砂浆。主要用于地面工程。

▶ 课题四 混凝土及钢筋混凝土 ◀

▶▶ 一、混凝土

混凝土是由胶凝材料、水、粗骨料和细骨料按适当比例配合,拌制成拌合物,经一定时间硬化而成的人造石材。按胶凝材料可分为水泥混凝土、沥青混凝土、聚合物混凝土等。



混凝土的定义

混凝土是一种最常用的建筑材料,具有许多优点:

- (1) 组成材料中的砂、石等材料取材方便。
 - (2) 在凝结硬化前具有良好的可塑性,可浇制成各种形状和大小结构物或构件。
 - (3) 硬化后具有较高的抗压强度与耐久性。
 - (4) 混凝土与钢筋之间有牢固的粘结力,能制作成钢筋混凝土结构或构件。
- 混凝土材料的缺点为抗拉强度低,受拉时变形能力小,容易开裂,自重大。

(一) 混凝土的类型

根据不同的分类标准,混凝土可分为以下种类:

1. 按胶凝材料分

- (1) **无机胶凝材料混凝土**,如水泥混凝土、石膏混凝土、水玻璃混凝土等;
- (2) **有机胶凝材料混凝土**,如沥青混凝土、聚合物混凝土等。

2. 按表观密度分

(1) **重混凝土**:干表观密度大于 2800 kg/m^3 ,采用特别密实和特别重的骨料(如重晶石、铁矿石、钢屑等)配制而成的。常用于防辐射工程或耐磨结构,也可用于工程配重。

(2) **普通混凝土**:干表观密度为 $2000 \sim 2800 \text{ kg/m}^3$,是以天然的砂、石作骨料配制而

成,在建筑工程中最常用,常用于房屋及桥梁的承重结构、道路路面、水工建筑物的堤坝等。

(3) **轻混凝土**:干表观密度小于 2000 kg/m^3 ,是用较轻和多孔的骨料(如浮石、煤渣等)制成。常用做绝热、隔声或承重材料。

3. 按使用功能分

防水混凝土、耐热混凝土、耐酸混凝土、耐碱混凝土、水工混凝土、港工混凝土等。

4. 按强度特征分

早强混凝土、超早强混凝土、高强混凝土、超高强混凝土、高性能混凝土(HPC)等。

5. 按坍落度大小分

低塑性混凝土、塑性混凝土、流动性混凝土、大流动性混凝土、流态混凝土。

6. 按维勃稠度值分

超干硬性混凝土、特干硬性混凝土、干硬性混凝土、半干硬性混凝土。

7. 按施工工艺分

普通浇筑混凝土、离心成型混凝土、喷射混凝土、泵送混凝土等。

8. 按配筋情况分

素混凝土、钢筋混凝土、纤维混凝土等。

本节主要讲解水泥混凝土,以下简称混凝土。

(二) 普通混凝土的组成材料

普通混凝土(简称混凝土)是由水泥、砂、石、水以及必要时掺入的化学外加剂、掺合料组成,经搅拌、成型、养护、硬化而成的一种人造石材。



混凝土搅拌车

1. 混凝土中各组成材料的作用

在混凝土中,砂、石起骨架作用,称为骨料;水泥与水形成水泥浆,水泥浆包裹在骨料表面并填充其空隙。在硬化前,水泥浆起润滑作用,赋予拌合物一定和易性,便于施工。在硬化后水泥浆起胶结作用,将骨料胶结成一个坚实的整体,并使混凝土具有一定的强度。混凝土的结构如图 2-8 所示。

2. 混凝土组成材料的技术要求

混凝土组成材料的性质及其含量对混凝土的技术性质有很大的影响,同时混凝土的施工工艺(搅拌、运输、养护等)对混凝土的技术性质也有影响。

(1) **水泥品种的选择**。配制混凝土时应根据工程性质、部位、施工条件、环境状况等,按各种水泥的特性做出合理的选择,参考表 2-3。水泥强度等级的选择应与混凝土的设计强度等级相适应。基本原则是:配制高强度等级的混凝土,选用高强度等级的水泥;配制低强度的混凝土,选用低强度等级的水泥。

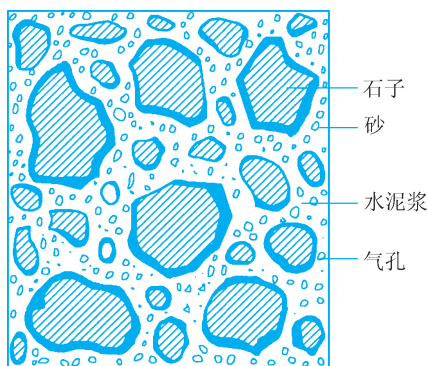


图 2-8 混凝土结构

表 2-3 通用硅酸盐水泥的选用

混凝土工程特点及所处环境条件			优先选用	可以选用	不宜选用
普通混凝土	1	在一般环境中的混凝土	普通水泥	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥	
	2	在干燥环境中的混凝土	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥、粉煤灰水泥
	3	在高湿环境中或长期处于水中的混凝土	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥	普通水泥	
	4	厚大体积的混凝土	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥		硅酸盐水泥
有特殊要求的混凝土	1	要求快硬、高强(>C40)的混凝土	硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥
	2	严寒地区的露天混凝土,寒冷地区处于水位升降范围内的混凝土	普通水泥	矿渣水泥(强度等级 ≥ 42.5)	火山灰水泥、粉煤灰水泥
	3	严寒地区处于水位升降范围内的混凝土	普通水泥(强度等级 > 42.5)		矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥
	4	有抗渗要求的混凝土	普通水泥、火山灰水泥		矿渣水泥
	5	有耐磨性要求的混凝土	硅酸盐水泥、普通水泥	矿渣水泥(强度等级 ≥ 42.5)	火山灰水泥、粉煤灰水泥
	6	受侵蚀介质作用的混凝土	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥		硅酸盐水泥

(2) 骨料。混凝土体积中骨料的体积占 60%~80%，骨料按粒径的大小分为粗骨料和细骨料。骨料的技术性能直接影响到混凝土的性能。

1) 细骨料。细骨料是指粒径在 0.15~5 mm 之间的砂。常用的砂有河砂、海砂及山砂。砂的要求有以下几方面：

① 有害杂质。砂中常含有云母、黏土、淤泥、粉砂等杂质，如果这些杂质的含量超过规定的标准，会影响混凝土的性能。工程中应严格控制砂的有害杂质的含量。

② 颗粒形状及表面特性。砂的颗粒形状及表面特征会影响砂与水泥的粘结及混凝土拌合物的流动性。表面粗糙带有棱角的山砂与水泥拌制的混凝土强度较高，但混凝土拌合

物的流动性较差;表面圆滑的河砂、海砂与水泥的粘结较差,拌制的混凝土强度较低,但拌合物的流动性较好。

③ 颗粒级配及粗细程度。颗粒级配就是大小颗粒的搭配情况。从图 2-9 可看出:在混凝土中,如果同样粗细的砂,空隙最大[图(a)];两种粒径的砂搭配起来,空隙减小了[图(b)];三种粒径的砂搭配,空隙就更小[图(c)]。可见,要想减小砂粒间的空隙,就要选用大小不同的粒径的砂搭配,以提高混凝土的强度。砂按粗细程度,通常有粗砂、中砂与细砂之分。在一般情况下,用粗砂拌制混凝土比用细砂所需的水泥浆少。

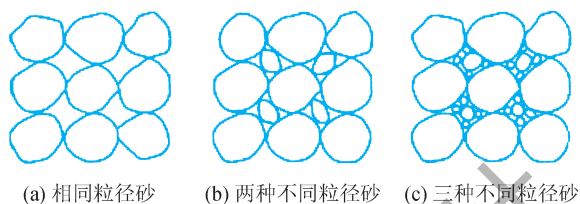


图 2-9 骨料颗粒搭配

④ 坚固性。砂的坚固性是指砂在气候、环境变化或其他物理因素作用下抵抗破裂的能力。砂在长期受到各种自然因素的综合作用下,其物理力学性能会逐渐下降,这些自然因素包括温度变化、干湿度变化和冻融循环等。因此,混凝土对砂的坚固性有相应要求。

2) 粗骨料。粗骨料是指粒径大于 5 mm 的骨料,俗称石。常用的有碎石与卵石。碎石是天然岩石经机械破碎、筛分得到的。卵石是由自然风化、水流搬运,分选得到的。配制混凝土的粗骨料有以下几个方面的要求:

① 有害杂质

粗骨料中常含有一些有害杂质,如黏土、淤泥、细屑、硫酸盐、硫化物和有机杂质。这些有害杂质会对混凝土的性能产生影响。在工程中同样需严格按照标准控制混凝土用粗骨料中有害杂质的含量。

② 颗粒形状及表面特征

粗骨料的颗粒形状及表面特征会影响粗骨料与水泥的粘结及混凝土拌合物的流动性。表面粗糙带有棱角的碎石,与水泥粘结较好,其混凝土强度较高,但拌制的混凝土的流动性较差;表面光滑的卵石,与水泥胶结较差,其混凝土强度较低,但拌制的混凝土的流动性较好。粗骨料的颗粒形状还有属于叶状和片状的,叶、片状颗粒过多,会使混凝土的强度降低及流动性减小。因此,叶、片状颗粒的含量不宜大于 10%。

③ 最大粒径及颗粒级配

粗骨料中公称粒级的上限称为该粒级的最大粒径。粗骨料的最大粒径应尽量选用得大些。但混凝土中粗骨料的选用还受到结构或构件截面最小尺寸、混凝土中布置钢筋的最小净距和混凝土施工工艺的控制。粗骨料的颗粒级配对混凝土的作用和细骨料大致相同。石子级配好坏,对节约水泥和保证混凝土具有良好的和易性有很大影响。

④ 强度

为了保证混凝土的强度要求,粗骨料也应质地致密,具有足够的强度。必要时应进行岩石抗压检验。

⑤ 坚固性

粗骨料的坚固性对混凝土的作用大致与细骨料相同。

3) 混凝土拌合水和养护用水。拌制和养护混凝土用水应选用饮用水、清洁的地表水、地下水以及经适当处理后的工业废水——中水。总的要求是:不得影响混凝土的凝结;不得有损于混凝土强度发展;不得降低混凝土的耐久性;不得加快钢筋腐蚀及导致预应力钢筋脆断;不得污染混凝土表面。因此,海水和其他含有害化学物质较多的水不能用。

4) 混凝土外加剂。它是指在拌制混凝土过程中掺入的用以改善混凝土某种性能的物质,其掺量一般不大于水泥用量的5%。混凝土外加剂对改善混凝土拌合物的和易性,调节凝结硬化时间,控制强度发展和提高耐久性等方面起着显著作用。近年来混凝土外加剂获得迅速发展和推广,已成为混凝土的第五组分。最常用的外加剂有减水剂、早强剂、引气剂(加气剂)、速凝剂、缓凝剂、防水剂、泵送剂等。

(三) 普通混凝土的主要技术指标

混凝土在未凝结硬化以前,称为混凝土拌合物。混凝土拌合物要求具有良好的和易性,以方便施工,获得良好的浇灌质量。混凝土拌合物凝结硬化后,要求具有足够的强度,并具有必要的耐久性。

1. 混凝土拌合物的和易性

也可称工作性,是指混凝土在搅拌、运输、浇灌、捣实等过程中易于工作,能保持质量均匀而不发生离析的性能。

(1) 和易性的概念。混凝土拌合物的和易性是一项综合性能,包括流动性、粘聚性和保水性三方面。流动性是指混凝土拌合物在本身自重或机械振捣作用下产生流动,能均匀密实地填满模板的性能;粘聚性是指混凝土拌合物在施工过程中各组成材料之间有一定的黏聚力,不产生分离和离析现象,保持整体均匀的性能;保水性是指混凝土拌合物在施工过程中,具有一定的保水能力,不致产生严重泌水现象(泌出的水会形成泌水通道,影响混凝土的密实,降低混凝土的强度、抗渗性和耐久性)。

(2) 和易性的测定和选择。目前还没有能够比较全面反映混凝土拌合物和易性的测定方法。通常采用坍落度测定混凝土拌合物的流动性,同时辅以直观经验评定粘聚性和保水性。

(3) 坍落度试验。将混凝土拌合物按规定的方法装入标准的坍落筒(无底)内,装满刮平后,垂直向上将筒提起,混凝土拌合物将在自身重力作用下产生坍落,坍落后拌合物最高点与坍落筒之间的高差(mm),即为该混凝土拌合物的坍落度。坍落度数值愈大表示流动性愈大,如图2-10所示。

测定坍落度的同时应观测混凝土拌合物的粘聚性和保水性。粘聚性测定方法是:用捣棒在已坍落的混凝土锥体侧面轻轻敲打,若锥体均匀下沉则表示粘聚性较好,若锥体出现崩坍则表示粘聚性不好。保水性测定方法则是当坍落度筒提起后,通过看锥体周围析出水泥浆多少来判定,析出水泥浆较少者,保水性好。

(4) 影响和易性的因素。主要是水泥浆的数量、稠度、砂率和外加剂。

① 水泥浆使混凝土拌合物产生流动性。在水灰比不变的前提下,单位体积混凝土拌合

GB/T 50080—2016



普通混凝土
拌合物性能
试验方法标准

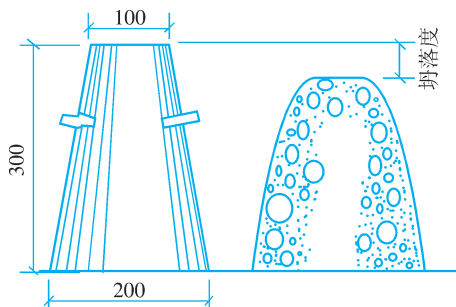


图2-10 混凝土拌合物坍落度的测定

物内,水泥浆愈多,拌合物的流动性愈大。但水泥浆不宜过多,否则将产生流浆现象。水泥浆数量也不宜过少,否则不能填满骨料之间的空隙。可见,混凝土拌合物中的水泥浆数量应以满足流动性为准。

② 水泥浆的稠度由水灰比决定,水灰比愈小,水泥浆愈稠,混凝土拌合物的流动性愈差,不利于混凝土浇筑。但水灰比太大,则会产生流浆等现象。可见水灰比不能过大或过小。

③ 砂率是指混凝土中砂的质量占砂、石质量的百分比,表示混凝土中砂与石子的组合关系。砂率愈大,混凝土中砂的比例愈高。所以砂率大的混凝土拌合物显得干稠、流动性差;而砂率过小,则砂的体积不足以填充石子之间的空隙,混凝土拌合物的流动性也不好,所以在配制混凝土时要合理选择砂率。

④ 外加剂可改变混凝土的性能,所以加入少量的引气剂、减水剂等外加剂,可使混凝土拌合物获得较好的和易性。

2. 混凝土的强度

混凝土拌合物经过硬化,应达到规定的强度要求。混凝土的强度包括抗压、抗拉、抗弯、抗剪强度等,其中抗压强度最大,故混凝土主要用来承受压力。

把混凝土制作成边长 150 mm 的立方体标准块,在标准条件下[温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度 95% 以上]养护到 28 d 龄期,测得的具有 95% 保证率的强度值为混凝土立方体试件抗压强度,简称立方体抗压强度。混凝土强度通常是指混凝土抗压强度。

混凝土强度等级是按混凝土立方体抗压标准强度标准值来划分的。混凝土强度等级采用符号 C 与立方体抗压强度标准值(单位为 MPa)来表示。混凝土强度分为 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80 十四个等级。混凝土强度等级是混凝土结构设计、施工质量控制和工程验收的重要依据。

影响混凝土抗压强度的因素很多,主要有组成材料的配合比、养护条件、龄期等。

混凝土的强度主要取决于水泥石的强度及其与骨料间的粘结力,两者均随水泥强度和水泥灰比而变。水灰比较小,混凝土中所加水分除去与水泥化合反应所需之外,剩余水分较少,混凝土内部结构密实,孔隙少,强度较高;水灰比较大,则剩余水分较多,在混凝土中形成较多的孔隙,强度明显下降。

骨料本身强度一般都比水泥石的强度高,不会直接影响混凝土的强度。若使用低强度的岩石,会使混凝土的强度降低,用碎石比用卵石配制的混凝土强度高。

养护条件主要是指环境的温度和湿度。当环境温度较高时,混凝土强度发展就较快。当温度低于 0°C 以下,混凝土强度不发展。当环境湿度较小时,混凝土会因环境干燥而失水,强度不继续发展。所以,为保证混凝土强度,周围环境需保持尽量高一点的温度和必要的湿度。

混凝土在正常养护条件下,强度随着龄期的增加而增长。最初的 7~14 d 内,强度增长较快,28 d 以后增长缓慢,增长过程可延续数十年。

3. 混凝土的耐久性

混凝土的耐久性是指抵抗环境介质作用并长期保持其良好的使用性能和外观完整性的

GB/T 50107—2010



混凝土强度
检验评定标准

能力。主要包括抗渗、抗冻、抗侵蚀、抗碳化、碱骨料反应等性能。

(1) 抗渗性

是指混凝土抵抗水、油等液体的压力作用不渗透的性能。抗渗性直接影响混凝土的抗冻性和抗侵蚀性,是耐久性性质中重要的指标。

(2) 抗冻性

在冰冻作用下,由于混凝土内部孔隙中的水结冰造成体积膨胀,导致混凝土产生裂缝,反复冻融使裂缝不断扩展从而使混凝土强度下降,直到局部或整体破碎。

(3) 耐腐蚀性

混凝土发生侵蚀,主要是在外界侵蚀介质作用下受到破坏所引起的。与所选用的水泥品种及混凝土本身的密实有关。

(4) 混凝土的碳化

是环境中的二氧化碳与水泥石中的氢氧化钙作用,减弱了混凝土对钢筋的防锈保护作用。碳化还将引起体积收缩,产生细微裂缝,引起强度下降。

(5) 碱骨料反应

是指硬化混凝土中所含的碱与骨料中活性成分发生反应,生成具有吸水膨胀性的产物,在有水的条件下吸水膨胀,导致混凝土开裂,影响耐久性。

(6) 干缩

混凝土因毛细孔和凝胶体中水分蒸发与散发而引起体积缩小,当干缩受到限制时,混凝土会出现干缩裂缝,从而影响耐久性。

(四) 特种混凝土

1. 轻骨料混凝土

又称轻集料混凝土,是指粗骨料选用轻骨料,细骨料选用轻骨料或普通砂,表观密度不大于 1950 kg/m^3 的混凝土。

轻骨料一般指多孔的人造陶粒、工业废渣、天然浮石等堆积密度不大于 1000 kg/m^3 的粗骨料,以及粒径不大于 5 mm ,堆积密度不超过 1100 kg/m^3 的轻砂。大部分轻骨料具有微小的气孔,表观密度小,所拌制的混凝土自重小。

与普通混凝土相比,轻骨料混凝土孔隙率高,表观密度小,吸水率大,强度低。可用于房屋维护结构或承重构件,同时具有轻质、保温、绝热等性能。

2. 高性能混凝土

1990年5月,美国国家标准与技术研究所(NIST)和美国混凝土协会(ACI)首先提出了高性能混凝土的概念。目前,各国对高性能混凝土的定义尚有争议。综合各国学者的意见,高性能混凝土是以耐久性和可持续发展为基本要求,适应工业化生产与施工,具有高抗渗性、高体积稳定性(低干缩、低徐变、低温度应变率和高弹性模量)、良好工作性能(高流动性、高黏聚性,达到自密实)的混凝土。

虽然高性能混凝土由高强混凝土发展而来,但高强混凝土并不是高性能混凝土,不能将其混为一谈。高性能混凝土比高强混凝土具有更有利于工程长期安全使用与便于施工的优



高性能混凝土

异性能,它 will 比高强混凝土有更为广阔的应用前景。

高性能混凝土在配制时通常应注意以下几个方面:

(1) 必须掺入与所用水泥具有相容性的高效减水剂,以降低水胶比、提高强度,并使其具有合适的工作性。

(2) 必须掺入一定量活性的细磨矿物掺合料,如硅灰、磨细矿渣、优质粉煤灰等。在配制高性能混凝土时,掺加活性磨细掺合料,可利用其微粒效应和火山灰活性,以增强混凝土的密实性,提高强度和耐久性。

(3) 选用合适的骨料,尤其是粗骨料的品质(如粗骨料的强度,针、片状颗粒含量,最大粒径等)对高性能混凝土的强度有较大影响。因此,用于高性能混凝土的粗骨料粒径不宜太大,在配制 60~100 MPa 的高性能混凝土时,粗骨料最大粒径不宜大于 19.0 mm。高性能混凝土是水泥混凝土的发展方向之一,它符合科学的发展观,随着土木工程技术的发展,它将广泛地应用于桥梁工程、高层建筑、工业厂房结构,港口及海洋工程水工结构等工程。

3. 防水混凝土

是指具有良好抗渗性并达到防水要求的混凝土。通常可以用改善骨料颗粒级配,适当增加水泥用量,掺加适当外加剂等方法使混凝土均匀密实,减少甚至杜绝混凝土内部的毛细管通路,以达到较高的抗渗、防水性能。

富水泥浆防水混凝土一般采用较小的水灰比,较高的水泥用量(不低于 300 kg/m^3),合理的砂率配制而成。富水泥浆防水混凝土适用于环境潮湿的地下结构的防水工程。

骨料级配防水混凝土是指严格控制砂、石级配及其混合比例,使骨料之间的空隙充分填充,混凝土获得最大的密实度,以提高抗渗性能,达到防水效果的混凝土。

外加剂防水混凝土是在混凝土中掺入外加剂来改善其内部结构,提高抗渗性的混凝土。常用的外加剂有密实剂、复合外加剂等。

4. 耐热混凝土

通常指长期经受高温(200°C 以上)作用,并能在高温下保持其物理力学性能不变的混凝土。根据所用胶凝材料不同可分为硅酸盐水泥耐热混凝土、铝酸盐水泥耐热混凝土等。

5. 纤维混凝土

是在普通混凝土中掺加各种纤维而成。如:钢纤维、碳纤维、尼龙、聚丙烯等。纤维的作用是提高混凝土的抗拉强度,降低脆性,提高抗裂性。在纤维混凝土中,纤维的含量以及纤维的特性对其性能有很大影响。主要应用于路面、桥面、机场跑道等工程中。

6. 泵送混凝土

是指坍落度在 100 mm 以上适用于用泵输送的混凝土。其拌合物具有较大的流动性、不离析的特性。要保证混凝土在泵送管道中顺利输送,就要求混凝土拌合物在输送中阻力小,不离析,不泌水,不阻塞。为此除对混凝土的组成材料有具体要求外,还应掺入泵送剂或减水剂,必要时还应掺入粉煤灰等拌合物。泵送混凝土已在高层建筑、大型的工业与民用建筑、桥梁工程、港口工程等领域广泛应用。

7. 装饰混凝土

是利用混凝土本身的水泥和骨料的颜色、质感而用作饰面工程的混凝土。常用的有彩

色混凝土、图案混凝土、图案花饰混凝土、清水混凝土等。

二、钢筋混凝土



钢筋混凝土

钢筋混凝土是在混凝土中配置钢筋形成的复合建筑材料,它既可以充分利用混凝土的抗压强度,又可以发挥混凝土对钢筋的保护作用,充分利用钢筋的抗拉、抗弯强度,因此钢筋混凝土结构广泛应用于建筑工程、桥梁工程等土木工程中。

(一) 钢筋混凝土的优点

(1) 合理发挥材料的性能

混凝土具有很高的抗压强度,但抗拉强度却很低,而钢筋是一种抗拉强度很高的结构材料,在构件的受压部分用混凝土,在构件的受拉部分用钢筋,大大提高了构件的承载力,充分发挥了材料的性能。

(2) 耐久性好

在钢筋混凝土结构中,混凝土的强度随着时间的增加而增长,钢筋受到混凝土的保护而不易锈蚀。

(3) 耐火性好

混凝土包裹在钢筋之外,起着保护钢筋的作用,避免钢材因达到软化温度而造成结构整体破坏。

(4) 整体性好

钢筋混凝土结构特别是现浇的钢筋混凝土结构整体性好。

(5) 就地取材

钢筋和混凝土两种材料都比较容易得到,价格也比较便宜。

(6) 灵活性强

可以根据构件的受力情况,合理配置钢筋和确定混凝土等级,经济合理。

(二) 钢筋混凝土的缺点

(1) 自重较大。普通钢筋混凝土本身自重比钢结构大,不宜用于大跨度、高层建筑。

(2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度及极限拉应变很小,所以在荷载的作用下,一般均带裂缝工作。

(3) 保温效果差。普通钢筋混凝土的导热系数较大,热量容易传递。

另外混凝土还有施工受气候条件限制,修复困难等缺点。

(三) 预应力钢筋混凝土

普通钢筋混凝土结构的裂缝过早出现,为克服这一缺点,充分利用高强度材料,可以设法在结构构件受外荷载作用前,预先对由外荷载引起的混凝土受拉区施加压力,用由此产生的预压应力来减小或抵消外荷载所引起的混凝土拉应力,从而使结构构件的拉应力减小,甚至处于受压状态。这种在构件受荷载以前预先对混凝土受拉区施加压应力的结构称为“预应力混凝土结构”。对于裂缝控制严格、密闭性或耐久性要求高、变形要求严格的结构物,宜采用预应力结构。

► 课题五 木 材 ◀

木材作为建筑材料,已有悠久的历史。在建筑工程中,木材可用做桁架、梁、柱、支撑、门窗、地板、桥梁、脚手架、混凝土模板及室内装修材料等。

作为建筑材料,木材的优点是轻质高强、弹性和韧性良好,能承受冲击和振动,导热性低,易于加工,纹理美观,装饰效果良好。木材的缺点有:构造不均匀、各向异性;含水率变化时胀缩显著,导致尺寸、形状的改变;易腐朽及虫蛀;易燃烧;有天然疵病等。但是经过一定加工和处理,这些缺点可以得到显著改善。

建筑用木材分为针叶树和阔叶树两大类。针叶树如松、杉、柏等,一般树干通直而高大,易得木材,纹理通顺,材质均匀,木质较软,易于加工,故又称软木材;胀缩变形较小,耐腐蚀性强,有较高的强度,为建筑工程的主要用材,广泛用于承重结构材料。阔叶树如榆木、水曲柳、柞木等,树干通直部分较短,材质较硬而重,难于加工,故又称硬木材;强度较大,胀缩、翘曲变形大,易于开裂,不宜做承重构件。经加工后,常有美观的纹理,故适用于内部装修、家具和胶合板。

► 一、构造

1. 宏观构造

木材的宏观构造是指用肉眼或放大镜所能观察到的木材组织。由于木材构造的不均匀性,研究木材宏观构造特征时,可从树干的3个切面来进行剖析,即横切面、径切面和弦切面,如图2-11所示。

横切面:与树干主轴重直的切面。

径切面:是顺着树干方向,通过髓心的切面。

弦切面:是顺着树干方向,与髓心有一定距离的切面。

从横切面上可以看到,树木由树皮、髓心和木质部组成。木质部是建筑材料使用的主要部分,木质部靠近髓心部分颜色较深,称为心材;靠近树皮的部分颜色较浅,称为边材。一般说,心材比边材的利用价值大些。

从横切面上还可以看到深浅相间的同心圆环,即所谓年轮,一般树木每年生长一轮。在同一年轮内,春天生长的木质色较浅、质松软,称为春材(早材);夏秋两季生长的木质色较深,质坚硬,称为夏材(晚材)。相同树种,年轮越密,材质越好;夏材部分越多,木材强度越高。

2. 微观构造

木材的微观构造是指借助显微镜才能见到的组织。用光学显微镜观察木材切片,可以看到木材是由无数管状细胞紧密结合而成,除少数细胞横向排列外,绝大多数细胞纵向排列。每个细胞都是由细胞壁和细胞腔两部分组成,细胞壁由细纤维组成,其纵向连接较横向



木材宏观构造

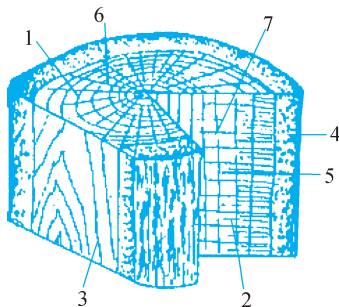


图2-11 树干的三个切面

1—横切面;2—径切面;
3—弦切面;4—树皮;5—木质部;
6—年轮;7—髓心

牢固,故细胞壁纵向强度高、横向强度低。细纤维间具有极小的空隙,能吸附和渗透水分。木材细胞壁越厚,腔越小,木材越密实,体积密度和强度也越大,但胀缩也大。春材细胞壁薄腔大,夏材则细胞壁厚腔小。

二、主要性质



木材干缩变形

当木材中仅细胞壁内充满吸附水,而细胞腔及细胞间隙中无自由水的含水率,称为纤维饱和点,纤维饱和点是木材物理力学性质发生变化的转折点。

1. 湿胀干缩

木材具有显著的湿胀干缩性,这是由细胞壁内吸附水含量变化所致。当木材由潮湿状态干燥到纤维饱和点时,其尺寸不变,继续干燥,即当细胞壁中吸附水蒸发时,则发生体积收缩。反之干燥木材吸湿时,将发生体积膨胀,直到含水量达到纤维饱和点时,其膨胀值达到最高,以后木材含水量继续增大,体积也不再膨胀。木材的收缩和膨胀对木材的使用有严重影响,它会使木材产生裂缝或翘曲变形,以致引起木结构的接合松弛或凸起、装修部件的破坏等。

2. 强度具有方向性

木材各向异性的特点,也影响了木材的力学性能,使木材的各种力学强度都具有明显的方向性。当顺纹受力(作用力方向与木纹方向一致)时,木材抗压、抗拉强度都高;当横纹受力(作用力方向与木纹方向垂直)时,木材的强度都低;而斜纹受力(作用力方向介于顺纹和横纹之间)时,木材强度随着力与木纹交角的增大而降低。表 2-4 列出木材各种强度间数值大小的关系。

表 2-4 木材各项强度值比较(以顺纹抗压强度为 1)

抗压		抗拉		抗弯	抗剪	
顺纹	横纹	顺纹	横纹		顺纹	横纹切断
1	1/10~1/3	2~3	1/20~1/3	3/2~2	1/7~1/3	1/7~1

影响木材强度的因素包括:

(1) 含水率

木材的含水率对木材强度影响很大,当细胞壁中水分增多时,木纤维相互间的粘结力减弱,细胞壁软化。因此,当木材含水率在纤维饱和点以内变化时,木材强度随之变化,含水率增大,强度下降,含水率降低,强度上升;而含水率在纤维饱和点以上变化时,木材强度不变。含水率在纤维饱和点以内变化时,对各种强度影响最大的是顺纹抗压强度,其次是抗弯强度,对顺纹抗剪强度影响较小,而对顺纹抗拉强度几乎没有影响。

(2) 温度

当环境温度升高时,木材纤维中的胶结物质逐渐软化,因而强度降低。温度超过 40℃ 时,木材开始分解颜色,变黑,强度明显下降;如果环境温度长期超过 50℃ 时,不宜采用木结构。当温度降至 0℃ 以下时,其水分结冰,木材强度增大,但木质变得较脆。一旦解冻,各项强度都低于未冻时的强度。

(3) 长期荷载

木材对长期荷载的抵抗能力低于对暂时荷载的抵抗能力。这是由于木材长期在外力作用下产生等速蠕滑,长时间以后,便急剧产生大量连续变形。木材在长期荷载下不致引起破坏的最大强度,称为持久强度。木材的持久强度比极限强度小得多,一般为极限强度的50%~60%。

(4) 疵病的影响

木材在生长、采伐、保管过程中,所产生的内部和外部的缺陷,统称为疵病。木材的疵病包括:木节、斜纹、裂纹、腐朽和虫害等。这些疵病都不同程度地降低了木材的物理力学性质,降低了木材的等级,甚至使木材失去使用价值。

▶ 课题六 其他材料 ◀

主要介绍土木工程中经常用到的其他两种原材料——钢材和沥青。

▶▶ 一、钢材

建筑钢材是指用于钢结构的各种型钢(如角钢、工字钢、槽钢、钢管等)和钢板,以及用于钢筋混凝土结构中的各种钢筋、钢丝和钢绞线等。

(一) 钢材的主要性能

钢材有两种完全不同的破坏形式:塑性破坏和脆性破坏。钢材在正常使用条件下,虽然有较高的塑性和韧性,但在某些条件下,仍然存在发生脆性破坏的可能性。

塑性破坏的主要特征是:破坏前具有较大的塑性变形,常在钢材表面出现明显的相互垂直交错的锈迹剥落线。只有当构件中的应力达到抗拉强度后钢材才会发生破坏,破坏后的断口呈纤维状,色泽发暗。由于塑性破坏前总有较大的塑性变形发生,且变形持续时间较长,容易被发现和抢修加固,因此不致产生严重后果。钢材塑性破坏前有较大的塑性变形能力。

脆性破坏的主要特征是:破坏前塑性变形很小,或根本没有塑性变形,可突然迅速断裂。破坏后的断口平直,呈有光泽的晶粒状或有人字纹。由于破坏前没有任何预兆,破坏速度又极快,无法察觉和补救,而且一旦发生常引发整个结构的破坏,后果非常严重,因此在结构的设计、施工和使用过程中,要特别注意防止这种破坏的发生。

钢材存在的两种破坏形式,和钢材的内在组织构造以及外部的工作条件有关。

1. 钢材在单向一次拉伸下的工作性能

钢材的多项性能指标可通过单向一次(也称单调)拉伸试验获得。试验一般都是在标准条件下进行的,即:试件的尺寸符合国家标准,表面光滑,没有孔洞、刻槽等缺陷;按规定的速度增加荷载,直到试件破坏。环境温度为20℃左右。钢材的单调拉伸应力-应变曲线如图2-12所示。由低碳钢的试验曲线看出,在比例极限以前钢材的工作是弹性的;比例极限以后,进入弹塑性阶段;达到了屈服点



拉伸试验

后,出现了一段纯塑性变形,也称为塑性平台;此后强度又有所提高,出现所谓强化阶段,直至产生颈缩而破坏。

钢材的一次拉伸应力-应变曲线提供了三个重要的力学性能指标:抗拉强度、伸长率和屈服点。抗拉强度是钢材一项重要的强度指标,它反映钢材受拉时所能承受的极限应力。伸长率是衡量钢材断裂前所具有的塑性变形能力的指标。屈服点是结构设计中应力允许达到的最大限度,因为构件中的应力达到屈服点后,结构会因过度的塑性变形而不适于继续承载。承重结构的钢材应满足相应国家标准对上述三项力学性能指标的要求。

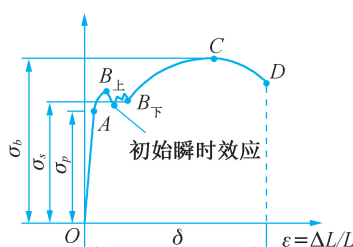


图 2-12 钢材的单调拉伸应力-应变曲线

2. 冷弯性能

钢材的冷弯性能由冷弯试验确定。试验时,根据钢材的牌号和不同的板厚,按国家相关标准规定的弯心直径,在试验机上把试件弯曲 180° 。以试件表面和侧面不出现裂纹和分层为合格。冷弯试验不仅能检验材料承受规定的弯曲变形能力的大小,还能显示其内部的冶金缺陷,因此是判断钢材塑性变形能力和冶金质量的综合指标。

3. 冲击韧度

由单调拉伸试验获得的塑性没有考虑应力集中和动荷载作用的影响,只能用来比较不同钢材在正常情况下的塑性好坏。冲击韧度也称缺口韧性,是评定带有缺口的钢材在冲击荷载作用下抵抗脆性破坏能力的性能,通常用带 V 形缺口的标准试件做冲击试验。以击断试件所消耗的冲击吸收功大小来衡量钢材抵抗在冲击荷载下发生脆性破坏的能力。

试验结果表明,钢材的冲击韧度值随温度降低而降低,但不同牌号和等级钢材的降低规律又有很大的不同。

4. 钢材的焊接性能

受碳含量与合金元素含量的影响。当碳含量在 $0.12\% \sim 0.20\%$ 范围内时,碳素钢的焊接性能最好;碳含量超过上述范围时,焊缝发热影响区容易变脆。钢材焊接性能的优劣除了与钢材的碳含量有直接关系之外,还与母材厚度、焊接方法、焊接工艺参数以及结构形式等条件有关。目前,国内外都采用实验的方法来检验钢材的焊接性能。

(二) 建筑钢材的应用

建筑钢材可分为钢结构用型钢和钢筋混凝土结构用钢筋。各种型钢和钢筋的性能主要取决于所用钢种及其加工方式。

1. 钢结构用钢材

钢结构用钢主要包括碳素结构钢和低合金高强度结构钢。

(1) 碳素结构钢

现行国家标准《碳素结构钢》(GB/T 700—2006)具体规定了它的牌号表示方法、代号和符号、技术要求、试验方法、检验规则等。

碳素结构钢的牌号由代表屈服点的字母 Q、屈服点数值(单位为 MPa)、

GB/T 700—2006



碳素结构钢

质量等级符号、脱氧方法符号等四个部分组成。碳素结构钢按屈服强度的数值分为 195, 215, 235, 275(MPa) 4 种;按硫、磷杂质含量由多到少分为 A, B, C, D 四个质量等级;按照脱氧方法不同分别用“F”表示沸腾钢,“b”表示半镇静钢,“Z”表示镇静钢和“TZ”表示特种镇静钢。在具体标注时“Z”和“TZ”可以省略。例如 Q235B 代表屈服点为 235MPa 的 B 级镇静钢。

(2) 低合金高强度结构钢

根据国家标准《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2018)规定,共有 8 个牌号。其牌号表示方法由屈服强度字母 Q、屈服强度数值、质量等级(分为 A, B, C, D, E 五级)3 部分组成,屈服强度数值分 345, 390, 420, 460, 500, 550, 620, 690(MPa)共 8 种,质量等级按照硫、磷等杂质含量由多到少分为 A, B, C, D, E 五级。

GB/T 1591—2018



低合金高强度结构钢

在钢结构中常采用低合金高强度结构钢轧制的型钢、钢板来建筑桥梁、高层及大跨度建筑。在重要的钢筋混凝土结构或预应力钢筋混凝土结构中,主要应用低合金钢加工成的热轧带肋钢筋。

(3) 钢结构用型钢

钢结构构件一般应直接选用各种型钢。构件之间可直接连接或附接钢板进行连接。连接方式有铆接、螺栓连接和焊接。所用母材主要是碳素结构钢及低合金高强度结构钢。型钢有热轧和冷轧成型两种。钢板也有热轧和冷轧两种。

1) 钢板

钢板有厚钢板、薄钢板、扁钢(或带钢)之分。厚钢板常用作大型梁、柱等实腹式构件的翼缘和腹板,以及节点板等;薄钢板主要用来制造冷弯薄壁型钢;扁钢可用来焊接组合梁、柱的翼缘板、各种连接板、加劲肋等。钢板截面的表示方法为在符号“—”后加“宽度×厚度”,如—200×20 等。钢板的供应规格如下:

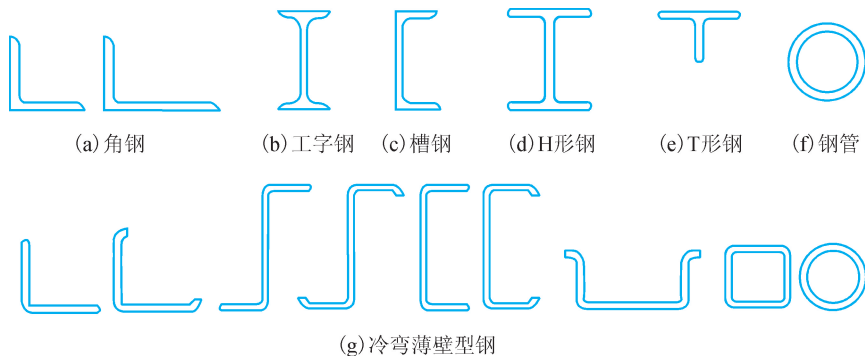
厚钢板:厚度 4.5~6.0 mm,宽度 600~3 000 mm,长度 4~12 m。

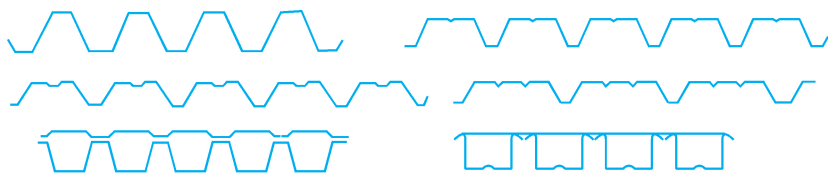
薄钢板:厚度 0.35~4 mm,宽度 500~1 500 mm,长度 0.5~4 m。

扁钢:厚度 4~60 mm,宽度 12~200 mm,长度 3~9 m。

2) 热轧型钢

常用的有角钢、工字钢、槽钢、T 型钢、H 型钢、L 型钢等,如图 2-13 所示。





(h) 压型钢板

图 2-13 型钢和冷弯薄壁型钢

3) 冷弯薄壁型钢

通常用 2~6 mm 的厚薄钢板冷弯或模压而成,有角钢、槽钢等开口薄壁型钢及方形、矩形等空心薄壁型钢,主要用于轻型钢结构中,如图 2-13 所示。

我国建筑用热轧型钢主要采用碳素结构钢 Q235A 钢,其强度适中,塑性及可焊性较好,成本低,适合建筑工程使用。在钢结构设计规范中,推荐使用的低合金钢主要有:Q345 (16 Mn)及 Q390(15 MnV)两种,用于大跨度、承受动荷载的钢结构中。

2. 钢筋混凝土结构用钢材

钢筋混凝土结构用的钢筋、钢丝和钢绞线,主要由碳素结构钢或低合金结构钢轧制而成。其主要品种有热轧钢筋、冷加工钢筋、热处理钢筋、预应力混凝土用钢丝和钢绞线。钢筋通常按直条交货,直径不大于 12 mm 的钢筋也可按盘卷(也称盘条)供货。直条钢筋长度一般为 6 m 或 9 m。

3. 钢材选用原则和建议

钢材的选用既要确保结构物的安全可靠,又要经济合理,必须慎重对待。为了保证承重结构的承载能力,防止在一定条件下出现脆性破坏,应根据结构的重要性、荷载特征(动载或静载)、连接方法(焊接、螺栓连接、铆接)、工作环境(常温或负温)、应力状态(拉、压、剪)和钢材厚度等因素综合考虑,选用合适牌号和等级质量的钢材。

一般而言,对于直接承受动力荷载的构件或结构、重要的构件或结构、采用焊接连接的结构以及处于低温下工作的结构,应采用质量较高的钢材。

承重结构采用的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服点和硫、磷含量的合格保证,对焊接结构尚应具有碳含量的合格保证。重要的承重结构采用的钢材,还应具有冷弯试验的合格保证。受动荷载作用时,应具有冲击韧度的合格保证。

二、沥青

沥青是一种褐色或黑褐色的有机胶凝材料,在建筑、公路、桥梁等工程中有着广泛的应用,其主要用途是生产防水材料和铺筑沥青路面等。

沥青按产源可分为地沥青(天然地沥青和石油地沥青)和焦油沥青(煤沥青、木沥青和页岩沥青)两大类。

1. 石油沥青

(1) 石油沥青的基本组成与结构

是由石油经蒸馏、吹氧、调和等工艺加工时得到的残留物,是石油中相对分子质量最大、组成及结构最为复杂的混合物。



• 沥青
• 石油沥青

石油沥青的组分:① 油分,起到赋予沥青流动性的作用;② 树脂(沥青脂胶),其中绝大部分属于中性树脂;③ 地沥青质(沥青质),是决定石油沥青温度敏感性、黏性的重要组成部分。

(2) 石油沥青的胶体结构

是以地沥青质为核心,和油分、树脂共同形成胶体结构。胶体结构可分为溶胶型、凝胶型和溶凝胶型三种类型。大部分优质道路沥青均为溶凝胶型结构。

(3) 石油沥青的主要性质

1) 防水性:石油沥青是憎水性材料,本身构造致密,所以石油沥青有良好的防水性,广泛用作建筑工程的防潮、防水材料。

2) 黏滞性:是指在外力作用下沥青粒子产生相互位移抵抗变形的能力。它是沥青材料的重要性质。

3) 塑性:指沥青材料在外力作用下产生变形,去除外力后,仍保持变形后形状的性质。它是沥青性质的重要指标。

4) 延性:是指当其受到外力作用时,所能承受的最大塑性变形,是沥青的内聚力大小的衡量标志。

5) 温度敏感性:是指沥青的黏滞性和塑性随温度升降而变化的性能,是沥青性质的重要指标。

6) 大气稳定性:是指沥青在热、阳光、氧气和潮湿等因素长期综合作用下抵抗老化的性能。

(4) 石油沥青的技术要求

1) 石油沥青的技术标准:在工程建设中常用的石油沥青可分为道路石油沥青、建筑石油沥青和普通石油沥青。

2) 石油沥青的应用:道路石油沥青牌号较多,一般拌制成沥青混凝土、沥青拌合料或沥青砂浆等使用。建筑石油沥青黏性较大,耐热性较好,但塑性较小,主要用作制造油毡、油纸、防水涂料和沥青胶。用于屋面防水工程,应注意温度敏感性,防止过分软化,产生流淌。普通石油沥青含蜡较多,温度敏感性大,故在工程中不直接单独使用,只能与其他种类石油沥青掺配使用。

2. 改性石油沥青

是在沥青中掺加橡胶、树脂、高分子聚合物、磨细的橡胶粉或其他填料等外掺剂(改性剂),或采取对沥青轻度氧化加工等措施,使沥青的性能得以改善。工程上常用的有:

(1) 矿物填料改性沥青

在沥青中加入一定数量的矿物填充料,可以提高沥青的黏性和耐热性,减小沥青的温度敏感性,主要用于生产沥青胶。

(2) 树脂改性沥青

用树脂改性石油沥青,可以改善沥青的耐寒性、耐热性、黏结性和不透水性。如氯丁橡胶改性沥青、丁基橡胶改性沥青、热塑性丁苯橡胶(SBS)改性沥青、再生橡胶改性沥青等。

3. 沥青混合料

沥青混合料是将石子、砂和矿粉经人工合理选择级配组成的矿质混合料与适量的沥青

材料经拌和所组成的混合物。沥青混合料的技术性质在工程上主要有以下几点要求:① 高温稳定性;② 低温抗裂性;③ 耐久性;④ 抗滑性;⑤ 施工和易性。

▶ 单元小结 ◀

土木工程材料是各类土木工程中所用的材料总称。石材、石灰、水泥、混凝土、钢材、木材等是重要的工程材料,广泛应用于水利、交通、房屋建筑、城市建设等基本建设中。本单元主要介绍了以下内容:

(1) 石材、砖、瓦三种材料的种类、性能及应用。

(2) 石灰、水泥、砂浆是重要建筑材料。石灰的品种很多,主要来源于氢氧化钙的结晶和碳化,石灰的强度很低。利用石灰的特性可将其用于拌制砂浆、灰土和三合土,制作石灰碳化板和硅酸盐制品等。水泥可用来生产各种混凝土、钢筋混凝土及其他水泥制品,学习后要掌握水泥的主要技术性质和应用,同时了解水泥的发展趋势。熟悉砂浆的分类、和易性、强度等级,能够根据工程特点选择砂浆品种。

(3) 混凝土的组成材料是水泥、水、砂和石子,另外外加剂也成为改善混凝土性质的有效措施之一,被视为混凝土的第五种组成材料。混凝土的主要技术性质包括混凝土拌合物的和易性、硬化混凝土的强度、耐久性。混凝土要求有良好的和易性、较高的强度、良好的耐久性。

(4) 木材的构造和主要技术性质。

(5) 建筑工程用钢材包括钢结构用钢和钢筋混凝土用钢两类。最常用的钢结构用钢有碳素结构钢、低合金钢及各种型钢、钢板、钢管等。

(6) 沥青是一种有机胶凝材料,它不溶于水,可溶于多种有机溶剂,是建筑工程中常用的一种重要的防水、防潮和防腐材料。工程中常用的沥青主要为石油沥青和煤沥青。

▶ 复习思考题 ◀

1. 根据课程中对各种材料的介绍,找到生活中这些材料在哪些场所应用?
2. 水泥、砖、钢材的种类有哪些?
3. 混凝土的材料组成、主要技术要求有哪些?
4. 根据材料的特点,思考其适用于土木工程中不同场所的原因。
5. 新型的建筑材料有哪些?
6. 什么是胶凝材料? 胶凝材料的类型和适用性如何?
7. 水泥的主要技术性能指标有哪些?
8. 叙述水泥的凝结硬化过程。

单元三

地基与基础工程

学习目标

了解岩土工程勘察的基本概念、勘察的等级划分、勘察方法与内容；掌握地基基础的基本概念及地基基础类型；了解地基处理的基本方法。

学习重点

地基基础的类型及特点。

▶ 课题一 岩土工程勘察 ◀

▶▶ 一、岩土工程勘察的基本知识

(一) 岩土工程勘察的相关概念

岩土工程也称为“地质技术工程”，是欧美国家于 20 世纪 60 年代在前人土木工程实践的基础上建立起来的一个新的技术体系，是主要研究岩体和土体工程问题的一门学科。岩土工程学科是以土力学、岩石力学、工程地质学和基础工程学的理论为基础，由地质、力学、土木工程、材料科学等多学科相结合形成的边缘学科，同时又是一门地质与工程紧密结合的学科。就其学科的内涵和属性来说，属于土木工程的范畴，在土木工程中占有重要的地位。

岩土工程的研究对象包括岩土体的稳定性，地基与基础，地下工程及岩土体的治理、改造和利用等。这些研究通过岩土工程勘察、设计、施工与监测、地质灾害治理及岩土工程监理等方面来实现。这是为工程建设全过程服务的体制，在房屋建筑与构筑物、道路桥梁、港口、航运、国防建设、地质工程等方面都占有重要地位。

岩土体作为一种特殊的工程材料，不同于混凝土、钢材等人工材料。它是自然的产物，随着自然环境的不同而表现出不同的工程特性。这就造成了岩土工程的复杂性和多变性，而且土木工程的规模越大，岩土工程问题就越突出、越复杂。在实际工程中，岩土问题、地基问题往往是影响投资和制约工期的主要因素，如果处理不当，就可能带来灾难性的后果。

随着土木工程规模的不断扩大，岩土工程有了不同的分支学科，岩土工程勘察就是岩土工程学科的一项重要分支学科。岩土工程勘察是根据建设工程的要求，查明、分析、评价建设场地的地质、环境特征和岩土工程条件，编制勘察文件的活动。

任何一项土木工程在建设之初,都要进行建筑场地及环境地质条件的评价。根据建设单位的要求,对建筑场地及环境进行地质调查,为建设工程服务,最终提交岩土工程勘察报告的过程就是岩土工程勘察的主要工作内容。

(二) 岩土工程勘察的目的和任务

岩土工程勘察是岩土工程技术体制中的一个首要环节。各项工程建设在设计和施工之前,必须按基本建设程序进行岩土工程勘察。它的基本任务就是按照工程建设所处的不同勘察阶段的要求,正确反映工程地质条件,查明不良地质作用和地质灾害,精心勘察、分析,提出资料完整、评价正确的勘察报告,为工程的设计、施工以及岩土体治理加固、开挖支护和降水等提供工程地质资料和必要的技术参数,同时对工程存在的有关岩土工程问题做出论证和评价。

所谓工程地质条件,是指与工程建设有关的各种地质条件的综合。工程地质条件复杂程度直接影响到工程建筑物地基基础方面投资的多少以及未来建筑物的安全运行。所以,任何类型的工程建设在进行勘察时必须首先查明建筑场地的工程地质条件。

岩土工程问题指的是拟建建筑物与岩土体之间存在的影响拟建建筑物安全运行的地质问题。岩土工程问题因建筑物的类型、结构和规模不同以及地质环境不同而异。例如,房屋建筑与构筑物主要的岩土工程问题是地基承载力和沉降问题等。在进行岩土工程勘察时,对存在的岩土工程问题必须给予正确的评价。

不良地质作用是指对工程建设可能造成危害的地球内、外动力地质作用;不良地质现象是指由地球内、外动力作用引起的各种地质现象,如岩溶、滑坡、崩塌、泥石流、土洞、河流冲刷以及渗透变形等。不良地质现象不仅影响建筑场地的稳定性,也会对地基基础、边坡工程、地下洞室等具体工程的安全、经济和正常使用产生不利影响。所以,在复杂地质条件下进行岩土工程勘察时必须查清它们的规模大小、分布规律、形成机制和形成条件、发展演化规律和特点,预测其对工程建设的影响或危害程度,并提出防治的对策与措施。

二、岩土工程勘察分级

进行任何一项岩土工程勘察工作,首先要进行的是对岩土工程勘察等级进行划分。岩土工程勘察等级划分是为了勘察工作的布置及勘察工作量的确定。显然,工程规模较大或较重要、场地地质条件以及岩土体分布和性状较复杂者,所投入的勘察工作量就较大,反之则较小。

按《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009 年版)规定,岩土工程勘察的等级在工程重要性等级、场地的复杂程度等级和地基的复杂程度等级等三项分级的基础上综合确定的。

(一) 工程重要性等级

工程重要性等级,是根据工程的规模和特征,以及由于岩土工程问题造成工程破坏或影响正常使用的后果来划分,可分为三个等级。见表 3-1。

GB 50021—2001
(2009 年版)



岩土工程
勘察规范

表 3-1 工程重要性等级

工程重要性等级	工程的规模和特征	破坏后果
一级	重要工程	很严重
二级	一般工程	严重
三级	次要工程	不严重

(二) 场地复杂程度等级

场地复杂程度等级是由建筑抗震稳定性、不良地质现象发育情况、地质环境破坏程度、地形地貌条件和地下水五个条件衡量的。根据场地的复杂程度,分为三个场地等级。划分时从一级开始,向二级、三级推定,以最先满足的为准。参见表 3-2。

表 3-2 场地复杂程度等级

场地复杂程度等级	一级(复杂场地)	二级(中等复杂场地)	三级(简单场地)
建筑抗震稳定性	危险	不利	有利(或地震 设防烈度≤6 度)
不良地质现象发育情况	强烈发育	一般发育	不发育
地质环境破坏程度	已经或可能强烈破坏	已经或可能受到一般破坏	基本未受破坏
地形地貌条件	复杂	较复杂	简单
地下水条件	多层水、水文地质条件复杂	基础位于地下水位以下	无影响

(三) 地基复杂程度等级

地基复杂程度依据岩土种类性质、特殊土的影响也划分为三级。划分时从一级开始,向二级、三级推定,以最先满足的为准。见表 3-3。

表 3-3 地基复杂程度等级

地基复杂程度等级	一级(复杂地基)	二级(中等复杂地基)	三级(简单地基)
岩土种类、性质	岩土种类多,性质变化大	岩土种类较多, 性质变化较大	岩土种类单一, 性质变化不大
特殊土	有特殊性岩土(5 类)	除一级以外的特殊土	无特殊性岩土

(四) 岩土工程勘察等级

综合上述三项因素的分级,可按下列条件划分岩土工程勘察等级:

- (1) 甲级:在工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级中,有一项或多项为一级;
- (2) 乙级:除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目;
- (3) 丙级:工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级均为三级。

三、岩土工程勘察的方法和内容

岩土工程勘察野外工作的方法或技术手段,主要有工程地质测绘与调查、岩土工程勘探

与取样、原位测试与室内试验、现场检验与监测等。

(1) 工程地质测绘是岩土工程勘察的基础工作,一般在勘察的初期阶段进行。这一方法的本质是运用地质、工程地质理论,对地面的地质现象进行观察和描述,分析其性质和规律,并借以推断地下地质情况,为勘探、测试工作等其他勘察工作提供依据。在地形、地貌和地质条件较复杂的场地,必须进行工程地质测绘;但对地形平坦、地质条件简单且较狭小的场地,则可采用调查代替工程地质测绘。工程地质测绘是认识场地工程地质条件最经济、最有效的方法,高质量的测绘工作能相当准确地推断地下地质情况,起到有效地指导其他勘察方法的作用。

(2) 岩土工程勘探工作包括槽探、钻探、坑探和物探等方法。它是被用来调查地下地质情况的,并且可利用勘探工程取样或进行原位测试和监测。应根据勘察目的及岩土的特性选用上述勘探方法。物探是一种间接的勘探手段,它的优点是较之钻探和坑探轻便、经济而迅速,能够及时解决工程地质测绘中难于推断而又急待了解的地下地质情况,所以常常与测绘工作配合使用。它又可作为钻探和坑探的先行或辅助手段。

(3) 原位测试与室内试验是为岩土工程问题分析评价提供所需的技术参数,包括岩土的物性指标、强度参数、固结变形特性参数、渗透性参数和应力-应变时间关系的参数等。原位测试一般都借助于勘探工程进行,是详细勘察阶段主要的一种勘察方法。

(4) 现场检验与监测是构成岩土工程系统的一个重要环节,大量工作在施工和运营期间进行;但是这项工作一般需在后期勘察阶段开始实施,所以又被列为一种勘察方法。它的主要目的在于保证工程质量和安全,提高工程效益。现场检验是指施工阶段对先前岩土工程勘察成果的验证核查以及岩土工程施工监理和质量控制。现场监测则主要包含施工过程和各类荷载对岩土反应性状的监测,施工和运营中的结构物监测,以及对环境影响的监测等方面。利用检验与监测所获取的资料,可以反求出某些工程技术参数,并以此为依据及时修正设计,使之在技术和经济方面优化。此项工作主要是在施工期间内进行,但对有特殊要求的工程以及一些对工程有重要影响的不良地质现象,应在建筑物竣工运营期间继续进行。

随着科学技术的飞速发展,高新技术被不断引进到岩土工程勘察领域中。例如,工程地质综合分析、工程地质测绘制图和不良地质现象监测中遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球卫星定位系统(GPS)即“3S”技术的引进;勘探工作中地质雷达和地球物理层成像技术(CT)的应用等,对岩土工程勘察的发展有着积极的促进作用。

四、岩土工程勘察成果整理

岩土工程勘察报告是岩土工程勘察的最终成果,是土木工程地基基础设计和施工的重要依据。报告是否能正确反映工程地质条件和岩土工程特点,关系到土木工程设计和施工能否安全可靠、措施得当、经济合理。不同的工程项目,不同的勘察阶段,报告反映的内容和侧重有所不同;有关规范、规程对报告的编写也有相应的要求。岩土工程勘察的成果包括报告书和各种图表。

(1) 岩土工程勘察报告书应包括:

- ① 场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质及其均匀性;
- ② 各项岩土性质指标,岩土的强度参数、变形参数、地基承载力的建议值;

- ③ 地下水埋藏情况、类型、水位及其变化；
- ④ 土和水对建筑材料的腐蚀性；
- ⑤ 可能影响工程稳定的不良地质作用的描述和对工程危害程度的评价；
- ⑥ 场地稳定性和适宜性的评价，并对岩土利用、整治和改造的方案进行分析论证，提出建议；
- ⑦ 对工程施工和使用期间可能发生的岩土工程问题进行预测，提出监控和预防措施。

(2) 勘察的各种图表主要有：勘探点平面布置图；工程地质柱状图；工程地质剖面图；原位测试成果图表；室内试验成果图表等。



岩土工程勘察
报告案例

▶ 课题二 地基与基础

▶▶ 一、地基土及工程分类

(一) 地基土

万丈高楼平地起，任何土木工程都建造在地壳表层的岩土体之上。为了使所修建的工程能够正常地发挥作用并达到预期的效益，不对周围的环境造成不良后果，土木工程人员必须根据实际需要深入研究地球表面岩土层的各类物理力学性质，并能解决土木工程中出现的工程地质问题。

承担上部各类土木工程荷载的这部分地球表面岩土层就叫地基。将上部结构荷载传递给地基、连接上部结构与地基的下部结构称为基础(如图 3-1)。远古先民在史前建筑活动中，就已创造了自己的地基基础工艺。我国西安半坡村新石器时代遗址和殷墟遗址的考古发掘，都发现有土台和基础。著名的隋朝匠师李春所建，现位于河北省赵县的赵州桥将桥台基础置于粗砂层上，据考证，1400 多年来沉降仅几厘米。

承担上部各类土木工程的地基可为坚硬岩石和松软土两类，由于松软土属于第四纪松散堆积物，分布于坚硬岩石之上，常成为绝大部分土木工程的地基。

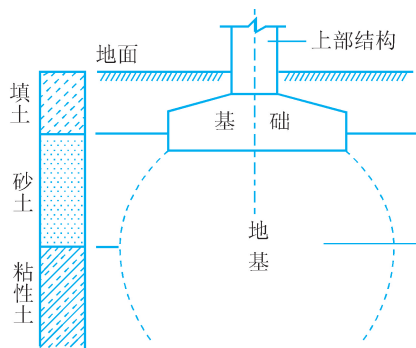


图 3-1 地基及基础示意图

(二) 地基土的工程分类

(1) 岩石指颗粒间牢固黏结的整体的或具有节理、裂隙的岩体。依据岩石的地质名称和风化程度，将岩石分为：

- ① 坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩、极软岩。
- ② 未风化、微风化、中等风化、强风化、全风化岩石。
- ③ 完整、较完整、较破碎、破碎、极破碎岩石。

GB 50007—2011



建筑地基
基础设计规范

(2) 土指颗粒间黏结很弱或者松散集合体。根据粒径分为:

① 碎石土:粒径大于 2 mm 的颗粒质量超过总质量 50% 的土。按粗细程度又分为块(漂)石、碎(卵)石、角(圆)砾。

② 砂土:粒径大于 2 mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%,粒径大于 0.075 mm 的颗粒质量超过总质量 50% 的土。按粗细程度又分为砾砂、粗砂、中砂、细砂、粉砂。

③ 粉土:粒径大于 0.075 mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%,且塑性指数等于或小于 10 的土。其工程性质介于下述黏性土和上述砂土之间。

④ 黏性土:塑性指数大于 10 的土。具有明显的黏性、可塑性、压缩性。

⑤ 人工填土:包括素填土、压实填土、杂填土、冲填土。其组成成分、工程性质复杂。

(三) 土的基本工程特性

1. 岩石

视风化程度的不同,工程地质性质不同。一般其承载能力在 200~4000 kPa。

2. 碎石土

颗粒粗大,主要由岩石碎屑组成,呈单粒结构,孔隙大,透水性极强,压缩性很低,内摩擦角大,抗剪强度也大。其承载力约在 200~1000 kPa,是一般土木工程的良好地基。只是在含水时,由于透水性强,开挖基坑过程中往往涌水量很大。作为坝基、渠道槽壁和底板时,也往往产生严重渗漏或潜蚀,常伴随发生槽壁坍塌、边坡失稳等现象。

3. 砂类土

砂粒的矿物成分以石英、长石及云母等原生残余矿物为主。砂类土一般都没有黏结,呈单粒结构,透水性强,压缩性低,且压缩过程甚快,内摩擦角较大,承载力较高。地基承载力在 140~500 kPa。大颗粒砂土是一般建筑物的良好地基,也是良好的混凝土骨料;主要问题是开挖时可能严重涌水。细颗粒砂土的工程地质性质较差,特别是受震动时易产生液化现象,开挖时也极易随地下水涌入基坑,形成流砂。

4. 黏性土

黏粒含量较多,含较多亲水性的黏土矿物,具有结合水黏结和团聚结构,有时有胶结黏结,孔隙较细而多。

随着含水率的不同,土表现出固态、塑态、流态等不同稠度状态。随着黏粒含量的增多,黏性土的塑性、收缩性和膨胀性、透水性、压缩性、抗剪性等有明显变化。具有较高的压缩系数和较低的抗剪强度,会引起地基的过量变形,边坡不稳定。

黏性土是常用的修筑堤坝的土料。一般地基承载力在 60~300 kPa。

5. 粉土

作为砂土和黏性土的过渡类型,其性质介于两者之间。

二、基础类型

(一) 基础形式分类

基础是连接上部结构与地基、并将上部结构荷载传递给地基的下部结构。基础的分类

有多种。

- (1) 按形式分,有条形基础、独立基础、筏板基础、桩基础、箱形基础;
- (2) 按埋置深度分,有深基础(埋深大于等于 5 m)和浅基础(埋深小于 5 m);
- (3) 按受力性能分,有刚性基础和柔性基础;
- (4) 按使用的材料不同分,有砖基础、毛石基础、灰土基础、灰浆碎砖三合土基础、素混凝土基础及钢筋混凝土基础等。

(二) 浅基础

通常把位于天然地基上、埋置深度小于 5 m 的一般基础(柱基或墙基)以及埋置深度虽超过 5 m,但小于基础宽度的大尺寸基础(如箱形基础),称为天然地基上的浅基础。

在桥梁结构中,对于无冲刷河流,埋置深度是指河底或地面至基础底面的距离;有冲刷河流是指局部冲刷线至基础底面的距离。

如果地基属于软弱土层(通常指承载力低于 100 kPa 的土层),或者上部有较厚的软弱土层,不适于做天然地基上的浅基础时,也可将浅基础做在人工地基上。

天然地基上的浅基础埋置深度较浅,用料较省,无须复杂的施工设备,在开挖基坑、必要时支护坑壁和排水疏干后对地基不加处理即可修建,工期短、造价低,因而设计时宜优先选用天然地基。当这类基础及上部结构难以适应较差的地基条件时才考虑采用大型或复杂基础形式,如连续基础、桩基础或人工处理地基。

浅基础按基础刚度分为刚性基础和扩展基础。按构造类型可分为单独基础、条形基础、筏板基础和箱形基础、壳体基础。

1. 刚性基础

刚性基础通常由砖、毛石、素混凝土和灰土等材料做成,是一种无筋扩展基础(图 3-2)。

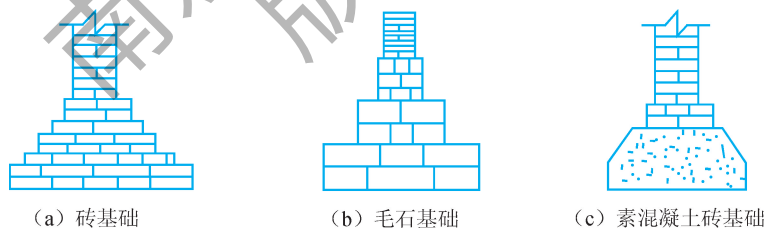


图 3-2 刚性基础

基础埋在土中,经常受潮,容易受侵蚀,而且破坏了也不容易发现和修复,所以必须保证基础的材料有足够的强度和耐久性,因此对基础的材料有一定的要求。

我国的华北和西北地区,气候比较干燥,广泛采用灰土做基础。灰土一般是用石灰和土按三分石灰和七分黏性土(体积比)配制而成,也称为三七灰土。石灰以块状生石灰为宜,经消化 1~2 d 后磨成粉末,并过 5~10 mm 筛子。土料宜用粉制黏土,不要太湿或太干。简易的判别方法是拌和后的灰土要“捏紧成团,落地开花”。灰土的强度与夯实的程度关系很大。

由于灰土在水中硬化慢、早期强度低、抗水性差以及早期的抗冻性差,所以灰土作为基础材料,一般适用于地下水位以上。在我国南方则用三合土基础,即在灰土中加入适量的水泥,可使强度和抗水性提高。

在桥梁结构中,刚性基础常用的材料有:混凝土、粗石料和片石、砖。砖的特点是可砌成任何形式的砌体,但其抗水腐蚀性(特别是盐碱地区)和抗冻性都比较差,若将基础四周最外层用浸透沥青的砖砌筑,可增加它的抗腐蚀能力。

2. 扩展基础

当刚性基础不能满足力学要求时,可以做成钢筋混凝土基础,称为扩展基础(如图 3-3)。

柱下扩展基础和墙下扩展基础一般做成锥形[图 3-4(a)]和台阶形[图 3-4(b)]。对于墙下扩展基础,当地基不均匀时,还要考虑墙体纵向弯曲的影响。这种情况下,为了增加基础的整体性和加强基础纵向抗弯能力,墙下扩展基础可采用有肋的基础形式[图 3-4(c)]。

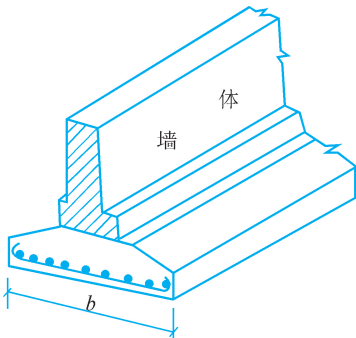


图 3-3 墙下钢筋混凝土扩展基础

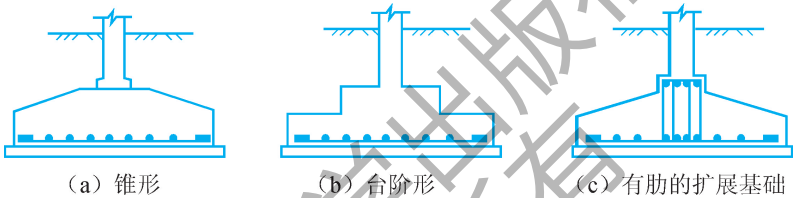


图 3-4 扩展基础的形式

3. 单独基础

在房屋建筑中,柱的基础一般为单独基础,如图 3-5 所示。这种基础形式常见于装配式单层工业厂房的基础。

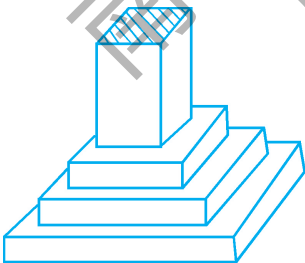


图 3-5 柱下单独基础

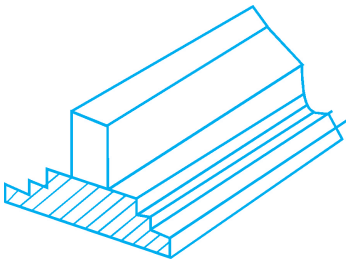


图 3-6 墙下条形基础

4. 条形基础

墙的基础通常连续设置成长条形,称为条形基础,如图 3-6 所示。条形基础在普通的砌体结构中应用相当广泛。

5. 筏板基础和箱形基础

当柱子或墙传来的荷载很大,地基土较软弱,用单独基础或条形基础都不能满足地基承载力要求时,往往需要把整个房屋底面(或地下室部分)做成一片连续的钢筋混凝土板,作为房屋的基础,称为筏板基础,如图 3-7 所示。

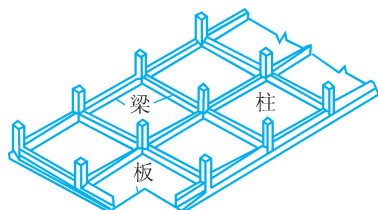


图 3-7 筏板基础

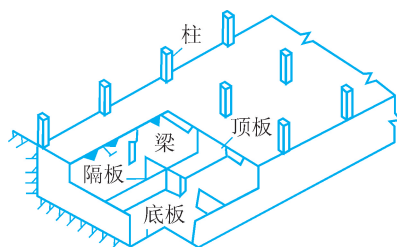


图 3-8 箱型基础

为了增加基础板的刚度,以减小不均匀沉降,高层建筑往往把地下室的底板、顶板、侧墙及一定数量的内隔墙一起构成一个整体刚度很强的钢筋混凝土箱形结构,称为箱形基础,如图 3-8 所示。

6. 壳体基础

为改善基础的受力性能,基础的形式可不做成台阶状,而做成各种形式的壳体,称作壳体基础(图 3-9)。这种基础形式对机械设备有良好的减振性能,因此在动力设备的基础中有着光明的发展前景。

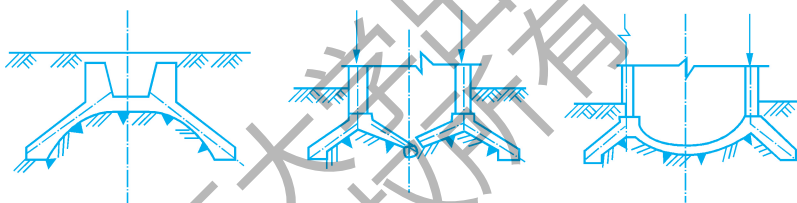


图 3-9 壳体基础

(三) 深基础

位于地基深处承载力较高的土层上,埋置深度大于 5 m 或大于基础宽度的基础,称为深基础,如桩基、地下连续墙、墩基和沉井等,如图 3-10、图 3-11 所示。

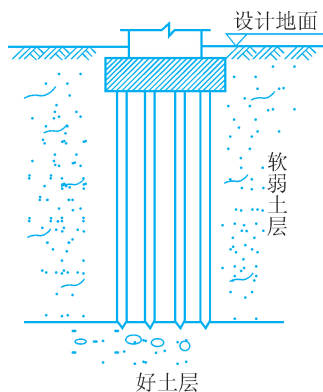


图 3-10 深基础



图 3-11 钢管桩基础

1. 桩基础

桩基是一种既古老又常见的基础形式。美国考古学家在 1981 年 1 月对在太平洋东南沿岸智利的蒙特维尔德附近的森林里发现的一间支承于木桩上的木屋,进行放射性碳 14 测定,认为其距今至少已有 12000 年至 14000 年历史。七、八千年前的新石器时代,人们就在湖上和沼泽地里打下木桩,在上面筑平台建所谓“湖上住所”以防止敌人和猛兽侵袭。

桩的作用是将上部结构荷载传递到深部较坚硬、压缩性小的土层或岩层上。由于桩基具有承载力高、稳定性好、沉降及差异变形小、沉降稳定快、抗震能力强,以及能适应各种复杂地质条件等优点而得到广泛使用。桩基除了在一般工民建筑中主要用于承受竖向抗压荷载外,还在港口、船坞、桥梁、近海钻采平台、高耸及高重建筑物、支挡结构以及抗震工程中,用于承受侧向风力、波浪力、土压力、地震力等水平荷载及竖向抗拔荷载。

根据桩的抗力性能和工作机理分为:竖向抗压桩、竖向抗拔桩、水平受荷桩和复合受荷桩。竖向抗压桩又可根据其荷载传递特征分为摩擦桩、端承摩擦桩、摩擦端承桩及端承桩四类。按桩身材料不同分为木桩、混凝土桩、钢筋混凝土桩、钢桩、其他组合材料桩等。按施工方法可分为预制桩(打入桩和静压桩)、灌注桩两大类。按成桩过程中挤土效应可分为挤土桩、小量挤土桩和非挤土桩。按成桩直径分为大直径桩、中等直径桩和小径桩。

动画



桩基础施工全过程

2. 沉井基础

为了满足结构物的要求,适应地基的特点,在土木工程结构的实践中形成了各种类型的深基础,其中沉井基础(图 3-12),尤其是重型沉井,深水浮运钢筋混凝土沉井和钢沉井,在国内外已有广泛的应用和发展。

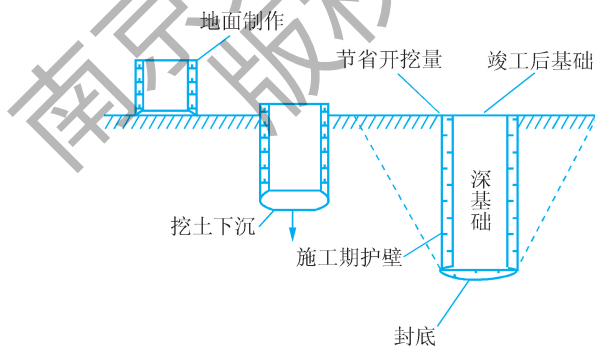


图 3-12 沉井基础施工示意图

沉井在施工期间,是一个无底无盖的井状结构物。施工过程中沉井为围护结构,竣工后沉井本身成为基础的组成部分,即沉井基础。如我国的南京长江大桥、天津永和斜拉桥、美国的圣路易斯雷大桥等均采用了沉井基础。目前,在其构造、施工和技术方面我国均已达到世界先进水平,并具有自己独特的特点。

沉井基础的施工:先在地面制作一个“井状”结构物,然后在井孔内挖土,使沉井靠自重作用克服井壁与四周之间的摩阻力而不断下沉直至设计高程为止(故称为“沉井”),最后封底,如图 3-12 所示。

在深基础工程施工中,由于场地条件和技术条件的限制,为了减少放坡大

动画



沉井施工

开挖和保证陡坡开挖的边坡稳定性,人们创造了沉井基础。初期,沉井多用于铁路和桥梁工程基础。此后在水工结构,特别是市政工程中的给、排水泵站中多有应用。而沉井应用到建筑工程则较晚。

沉井的主要用途可分为:

(1) 江河上的结构物

沉井的井筒不仅可以挡土,也可以挡水,因此适用于江河上的结构物。桥墩和桥台多采用沉井。例如,南京长江大桥的桥墩基础即为筑岛沉井。

(2) 重型结构物基础

沉井常用于平面尺寸紧凑的重型结构物,如烟囱、重型设备的基础等。

(3) 取水结构物

沉井可作为地下含水层和江河湖海取水的水泵站。如上海宝钢发电厂的水泵房即为大型沉井。

(4) 地下工程

地下工程包括地下仓库、地下厂房、地下油库、地下车道和车站以及矿用竖井等。如采用沉井法施工的矿用竖井,深度已超过 100 m。

(5) 邻近建筑物的深基础

在原有建筑物邻近新建深基础工程时,采用沉井开挖可防止原有浅基础的滑动。

(6) 房屋纠倾工作井

近年来,在房屋纠倾方法中,效果较好的冲土法和掏土法,即在房屋沉降小的一侧做一排用砖砌的小型沉井,工人在井中冲土或掏土。沉井既可挡土护壁,又可保护工人的安全。

3. 沉箱基础

沉箱基础又称气压沉箱基础,它是以气压沉箱来修筑的桥梁墩台或其他构筑物的基础。沉箱形似有顶盖的沉井。在水下修筑大桥时,若用沉井基础施工有困难,则改用气压沉箱施工,并用沉箱做基础。它是一种较好的施工方法和基础形式。它的工作原理是:当沉箱在水下就位后,将压缩空气压入沉箱内部,排出其中的水,这样施工人员就能在箱内进行挖土施工,并通过升降筒和气闸,把弃土外运,从而使沉箱在自重和顶面压重作用下逐步下沉至设计标高,最后用混凝土填实工作室,即成为沉箱基础,如图 3-13 所示。由于施工过程中通入压缩空气,使其气压保持或接近刃脚处的静水压力,故称为气压沉箱。

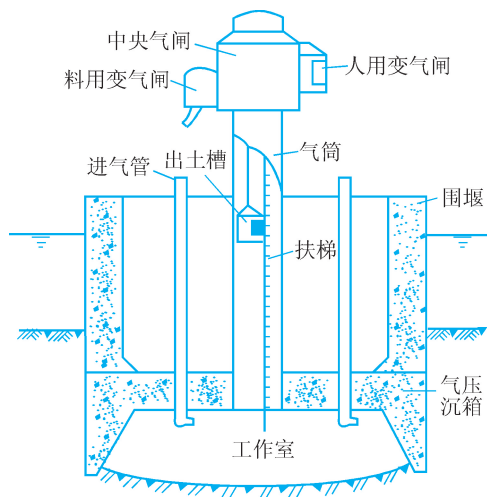


图 3-13 桥的沉箱基础

沉箱和沉井一样,可以就地建造下沉,也可以在岸边建造,然后浮运至桥基位置穿过深水定位。当下沉处是很深的软弱层或者受冲刷的河底时,应采用浮运式。

我国在深水急流中修建了不少桥梁,已积累了丰富的深水基础工程设计和施工技术。如采用大型管柱基础来取代气压沉箱的施工方法,管柱直径从 1.55 m 发展到 5.8 m。位于江苏省的江阴长江大桥,其支承悬索的北岸锚锭的沉井的平面尺寸达 69 m×51 m,埋深 58 m。

4. 其他深基础

深基础还有:地下连续墙和墩基础,它们也是土木工程中常用的基础工程形式。

用专门的挖槽机械开挖狭而深的基槽,在槽内分段浇筑而成的连续封闭的钢筋混凝土墙即为地下连续墙。此墙可作为挡土结构、防渗墙及高层建筑物地下室的外墙。如开挖期作为挡土防渗结构,使用期作为主体承重结构,则可节省大量护壁材料。

地下连续墙采用分单元槽段施工,即开挖导沟、修筑导墙、采用泥浆护壁、槽内挖土、放钢筋笼、浇筑混凝土后成墙。依次进行下一槽段的施工。待墙身完成后再进行墙内基坑挖土,继续完成基础结构及上部结构的施工(图 3-14)。

墩基础是在人工或机械成孔的大直径孔中浇筑混凝土(钢筋混凝土)而成,我国多用人工开挖,亦称大直径人工挖孔桩。

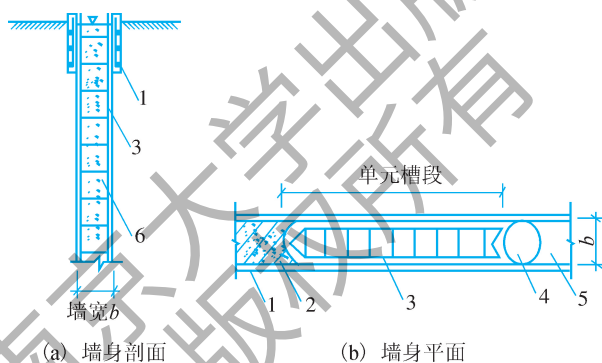


图 3-14 地下连续墙施工示意图

1—导墙;2—已完成墙段;3—钢筋笼;4—接头管;5—未开挖墙段;6—护壁泥浆

墩身施工:在护圈保护下开挖土方,支模板浇筑混凝土护圈,浇筑墩身混凝土。

▶ 课题三 地基处理 ◀

一、地基处理的对象与目的

地基处理就是为提高地基承载力、改善其变形性质或渗透性质而采取的人工处理地基的方法。

我国幅员辽阔、自然地理环境差异性、土质各异、地基条件地域性较强。随着现代土木工程技术的发展,当我们需要在地质条件不好的地方进行工程建设时,对天然的软弱地基进行处理,使其成为可能。

地基处理的对象是软弱地基和特殊土地基。软弱地基系指主要由淤泥、淤泥质土、冲填

土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。特殊土地基带有地区性的特点,它包括软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土和冻土等。

地基处理的主要目的是提高软弱地基的强度,保证地基的稳定性;降低软弱地基的压缩性,减少基础的沉降;防止地震时地基土的振动液化;消除特殊土的湿陷性、胀缩性和冻胀性。

二、地基处理方法与方案选择

1. 地基处理方法

目前国内外地基处理方法众多,如按时间可分为临时处理和永久处理;按处理深度可分为浅层处理和深层处理;按处理土性对象可分为砂性土处理和黏性土处理;按土的饱和度可分为饱和土处理和非饱和土处理;按作用机理主要有换填法(图 3-15)、预压法、强夯法、振冲法、土或灰土挤密桩法、砂石桩法、深层搅拌法、高压喷射注浆法等。

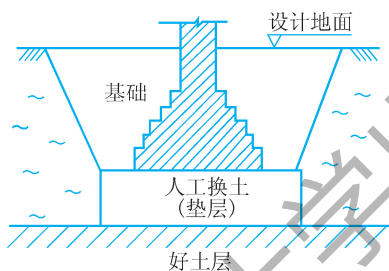


图 3-15 地基用换填法处理

动画



强夯法

2. 地基处理方案选择

地基处理的方法虽然很多,但许多方法还在不断发展和完善中。任何一种地基处理方法都不可能是万能的,都有它的适用范围和局限性,因而选用某一种地基处理方法时,一定要根据地基土质条件、工程要求、工期、造价、料源、施工机械条件等因素综合分析和对比,从中选择最佳的地基处理方案,也可采用两种或多种地基处理的综合处理方案。

地基处理技术发展十分迅速,老方法得到改进,新方法不断涌现。从如何提高土的抗拉强度这一思路中,发展了土的“加筋法”;从如何有利于土的排水和排水固结这一基本观点出发,发展了土工合成材料、砂井预压和塑料排水带;从如何进行深层密实处理的方法考虑,采用加大击实功的措施,发展了“强夯法”和“振动水冲法”等。

另外,现代工业的发展为地基工程提供了强大的生产手段,如能制造重达几十吨的强夯起重机械;潜水电机的出现,带来了振动水冲法中振冲器的施工机械;真空泵的问世,才能建立真空预压法;生产了大于 200 个大气压的压缩空气机,从而产生了“高压喷射注浆法”。

动画



郑万高铁隧道
软弱围岩富水段
高压注浆施工
工艺

▶ 单元小结 ◀

本单元主要介绍了：

(1) 岩土工程勘察的基本概念、勘察的等级划分。按《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009 年版)规定：岩土工程勘察的等级是在工程重要性等级、场地的复杂程度等级和地基的复杂程度等级等三项分级的基础上综合确定的。

(2) 地基基础的基本概念及地基基础类型。基础连接上部结构与地基，并将上部结构荷载传递给地基的下部结构。基础按埋置深度分为深基础(埋深大于等于 5 m)和浅基础(埋深小于 5 m)。

(3) 地基处理的基本方法。选用某一种地基处理方法时，一定要根据地基土质条件、工程要求、工期、造价、料源、施工机械条件等因素综合分析和对比，从中选择最佳的地基处理方案，也可采用两种或多种地基处理的综合处理方案。

▶ 复习思考题 ◀

1. 何谓岩土工程、岩土工程勘察？岩土工程包含哪些工作内容？
2. 岩土工程勘察的目的和任务有哪些？
3. 如何理解工程地质条件、岩土工程问题、不良地质作用等基本概念？
4. 看看身边的建筑、桥梁等，思考其基础的形式。
5. 由课程中的不同基础类型，想象其在土中放置后的具体位置和作用。
6. 地基、基础的作用是什么？
7. 刚性基础、柔性基础的区别有哪些？
8. 独立基础、条形基础、桩基础的形式有哪些？