

土木工程实用手册

张家梅 唐世新 主编

黑龙江科学技术出版社

土木工程实用手册

张素梅 唐岱新 主编

黑龙江科学技术出版社

中国·哈尔滨

责任编辑 杨晓杰
封面设计 龙 岩

土 木 结 构 工 程 实 用 手 册

TUMU JIEGOU GONGCHENG SHIYONG SHOUCHE

张素梅 唐岱新 主编

出 版 黑龙江科学技术出版社

(150001 哈尔滨市南岗区建设街 41 号)

电话 (0451)3642106 电传 3642143(发行部)

制 版 哈尔滨德赛图文技术开发有限公司

印 刷 黑龙江新华印刷厂

发 行 全国新华书店

开 本 787×1092 1/16

印 张 53.5

插 页 4

字 数 1 243 000

版 次 2001 年 4 月第 1 版·2001 年 4 月第 1 次印刷

印 数 1-3 000

书 号 ISBN 7-5388-3675-6/TU·289

定 价 90.00 元

《土木工程实用手册》编写人员

主 编	张素梅	唐岱新				
编写人员	张素梅	哈尔滨工业大学	研究员	博士	博士生导师	编写前言、第三章
	计学国	哈尔滨工业大学	教授	博士生导师	一级注册结构工程师	编写第一章
	王景文	哈尔滨工业大学	副教授		一级注册结构工程师	编写第二章第一节~第五节、第八节、第九节
	杨熙坤	哈尔滨工业大学	副教授		一级注册结构工程师	编写第二章第六节
	郑文忠	哈尔滨工业大学	教授	博士		编写第二章第七节、第十节
	唐岱新	哈尔滨工业大学	教授	博士生导师	一级注册结构工程师	编写第四章第一节~第七节
	王用信	哈尔滨工业大学	副教授		一级注册结构工程师	编写第四章第八节~第十节
	陈彦江	哈尔滨工业大学	副教授			编写第五章第一节~第五节
	王永平	哈尔滨工业大学	教授			编写第五章第六节~第八节
	王幼青	哈尔滨工业大学	教授	博士		编写第六章第一节~第五节
	徐学燕	哈尔滨工业大学	教授	博士生导师	一级注册结构工程师	编写第六章第六节~第八节
	原长庆	哈尔滨工业大学	副教授		一级注册结构工程师	编写第七章
	刘宗仁	哈尔滨工业大学	教授	博士生导师		编写第八章
	杨晓林	哈尔滨工业大学	副教授	造价工程师	监理工程师	编写第九章
	潘景龙	哈尔滨工业大学	教授	博士生导师	一级注册结构工程师	编写第十章

前 言

随着国家教育体制与国际接轨、新专业目录的频布,土木结构工程师的工作领域正在扩大,新的土木工程专业包括原来的建筑工程专业,矿井建设专业、交通土建工程专业、城镇建设专业、工业设备安装工程专业、饭店工程专业、涉外建筑工程专业,这些旧专业毕业的人员都应适应这种变化,将专业面拓展到土木工程专业上来。本书可作为1999年以前进入大学的上述各专业的结构工程技术人员更新知识、拓宽专业面,以及执业过程中的工具书,亦可作为一般土木结构工程技术人员和注册结构工程师的学习参考书。

本书虽名为手册,但不同于传统意义上的以提供数据、图表为主的手册,而是突出表现在它是一本实用知识手册,内容涵盖了土木结构工程所涉及的各个方面,强调当前结构工程中的新方法、新技术、新材料和新思想。

考虑到我国实行的注册结构工程师执业制度,注册工程师执业上岗是国际社会的惯例,注册工程师的资格必须经过全国统一考试取得。本书共分十章,直接对应注册结构工程师专业考试的八个方面和基础考试的两个方面,可用于参加基础考试和专业考试的结构工程师复习、备考。

本书考虑到工程技术人员知识特点,一方面做到为工程技术人员准备参加注册结构工程师的考试提供方便,另一方面注意在工程中的实用性,做到深浅适度。

书中的缺点和不妥之处,敬请读者批评指正。

哈尔滨工业大学 张素梅

2001年1月

目 录

第一章 结构设计的一般知识

第一节 基本知识	(1)
一、对结构的功能要求	(1)
二、结构可靠度的概念	(1)
三、随机量及其分布	(2)
四、失效概率 P_f 和可靠度指标 β	(4)
五、钢筋和混凝土的黏结和锚固	(5)
第二节 结构材料	(6)
一、结构材料的基本力学性能	(6)
二、材料强度的标准值和设计值	(7)
三、材料的质量控制和验收	(8)
第三节 荷载	(9)
一、荷载的分类	(9)
二、荷载的代表值	(10)
三、荷载的设计值	(11)
第四节 概率极限状态设计	
原理	(11)
一、结构的极限状态及其分类	(11)
二、结构上的作用效应 S 和结构抗力 R	(12)
三、概率极限状态设计法与实用设计表达式	(13)
四、荷载组合	(13)
五、内力组合	(15)
第五节 房屋设计方案阶段的结构问题	(16)
一、构件外形与构件内力	(16)
二、房屋高度对结构的影响	(16)
三、房屋高宽比的影响	(17)
四、房屋结构的刚度中心和房屋的扭转	(18)
第六节 结构体系的基本知识	(19)
一、结构体系的概念	(19)
二、结构体系的构成	(21)
三、结构水平分体系的主要类型和	

特点	(22)
四、结构竖向分体系的主要类型和特点	(41)
五、提高高层结构体系整体承载力和抗侧移能力的有效措施	(51)
六、结构体系分析举例——北京朝阳体育馆	(57)
第七节 结构的防火与防腐	(59)
一、结构构件的耐火性能	(59)
二、建筑防火的技术措施	(59)
三、建筑结构耐火设计	(60)
四、几种常用结构的耐火性能比较	(60)
五、结构的防腐	(61)
参考文献	(62)

第二章 钢筋混凝土结构

第一节 概述	(63)
一、钢筋混凝土的基本概念	(63)
二、钢筋混凝土材料的力学性能	(64)
三、材料强度设计指标	(70)
四、钢筋混凝土基本构造规定	(71)
第二节 受弯构件承载力的计算	(71)
一、受弯构件正截面受力分析	(71)
二、受弯构件正截面承载力计算	(76)
三、受弯构件斜截面承载力的计算	(82)
四、受弯构件的构造	(86)
第三节 受扭构件承载力的计算	(90)
一、受扭构件受力分析	(90)
二、受扭构件承载力计算	(91)
第四节 受压构件承载力的计算	(94)
一、受压构件正截面受力分析	(94)
二、受压构件承载力计算	(95)

三、受压构件的基本构造要求	(104)	一、结构钢对材质的要求	(161)
第五节 受拉构件承载力的		二、钢材的品种	(162)
计算	(106)	三、钢材的规格	(162)
一、受拉构件受力状况	(106)	四、钢材强度设计值	(163)
二、受拉构件承载力计算	(106)	五、钢材的选用原则	(163)
第六节 结构受冲切承载力及疲劳		第二节 钢结构的连接	(164)
强度的计算	(109)	一、钢结构对连接的要求	(164)
一、结构受冲切承载力计算	(109)	二、钢结构连接方法分类	(164)
二、结构的疲劳强度验算	(111)	三、焊接连接	(164)
第七节 钢筋混凝土结构的裂缝控		四、对接焊缝的构造与计算	(167)
制与变形验算	(113)	五、角焊缝连接的构造与计算	(168)
一、结构构件的裂缝控制	(113)	六、不焊透的对接焊缝	(171)
二、受弯构件的变形验算	(114)	七、螺栓连接的构造与计算	(172)
第八节 钢筋混凝土梁板结构	(116)	第三节 钢结构构件计算	(176)
一、整体式单向板梁板结构	(116)	一、轴心受拉构件	(176)
二、整体式双向板梁板结构	(127)	二、轴心受压构件	(178)
第九节 单层厂房结构	(130)	三、受弯构件	(184)
一、单层厂房的结构组成及其结构		四、压弯构件和拉弯构件	(193)
体系	(130)	第四节 钢材的疲劳	(197)
二、单层厂房的变形缝	(132)	一、疲劳的概念	(197)
三、单层厂房结构的排架分析	(132)	二、疲劳的计算	(197)
四、单层厂房柱设计要点	(137)	三、影响疲劳强度的因素	(198)
第十节 预应力混凝土结构	(140)	四、疲劳的构造要求	(199)
一、基本概念及材料的选择	(140)	第五节 钢屋盖结构	(199)
二、张拉力取值与预应力损失		一、屋盖结构的布置和体系	(199)
计算	(140)	二、钢屋盖	(201)
三、等效荷载计算与预应力筋线型		三、钢屋架的荷载和杆件内力	
选择	(145)	计算	(204)
四、抗裂、裂缝及变形计算	(150)	四、钢屋架杆件的截面选择	(205)
五、部分预应力混凝土受弯构件无黏		第六节 钢结构防腐与防火	(208)
结筋的极限承载力	(152)	一、钢结构的防腐	(208)
六、预应力混凝土构件极限承载力		二、钢结构的防火	(212)
计算	(153)	第七节 钢结构制作、运输和	
七、局部受压设计及端部间接筋配置		安装	(215)
的若干问题	(154)	一、钢结构的制作	(215)
八、预应力混凝土结构构件的构造		二、钢结构的运输	(216)
规定	(157)	三、钢结构的安装	(216)
参考文献	(160)	第八节 钢结构塑性设计	(216)
第三章 钢结构		一、塑性设计的概念	(216)
第一节 钢结构材料	(161)	二、塑性设计的钢材	(217)
		三、结构体系的塑性分析	(217)

四、构件的塑性设计	(219)	二、墙梁结构承载力计算	(255)
第九节 钢-混凝土组合结构	(222)	三、墙梁结构的构造	(257)
一、钢-混凝土组合梁的组成及特点	(222)	四、挑梁设计	(257)
二、组合梁的分析方法	(222)	第七节 砌体结构抗震设计	(259)
三、施工条件对组合梁受力的影响	(222)	一、结构布置	(260)
四、组合梁材料的强度设计值	(223)	二、多层砖房抗震构造措施	(262)
五、组合梁中的钢筋混凝土翼板的计算宽度	(223)	三、多层砌块房屋构造措施	(264)
六、组合梁截面的塑性设计	(223)	四、多层砌体房屋的抗震计算	(265)
七、组合梁刚度验算	(225)	第八节 木结构的材性	(269)
八、连接件的计算	(225)	一、结构用材的种类和规格	(269)
九、疲劳验算	(225)	二、木材的构造和缺陷	(269)
参考文献	(226)	三、木材的物理力学性能及影响因素	(270)
第四章 砌体结构与木结构		四、承重木结构对木材质量的要求	(271)
第一节 砌体材料	(227)	第九节 木结构基本构件的受力特点及常用连接形式	(272)
一、块材	(227)	一、木结构构件的受力特点及计算方法	(272)
二、砂浆	(228)	二、常用木结构连接方式的工作特点及构造要求	(274)
第二节 砌体及其力学性能	(228)	第十节 木结构设计	(276)
一、砌体种类	(228)	一、木结构设计的一般原则	(276)
二、砌体的抗压性能	(229)	二、木屋盖的组成及屋面构造	(276)
三、砌体的抗拉、抗弯、抗剪性能	(230)	三、木屋架、钢木屋架的设计要点	(277)
四、砌体的变形性能	(230)	四、木屋盖的空间稳定	(278)
五、砌体结构的强度计算指标	(231)	五、胶合木结构的基本知识	(280)
第三节 砌体结构构件的承载力计算	(233)	六、木结构的防腐、防虫与防火	(281)
一、无筋砌体受压构件	(233)	七、木结构设计对施工质量的要求	(282)
二、砌体局部受压计算	(234)	参考文献	(283)
三、砌体受剪构件承载力计算	(237)	第五章 桥梁结构	
第四节 混合结构房屋墙、柱设计	(238)	第一节 总论	(284)
一、承重墙体的布置	(238)	一、桥梁的组成与分类	(284)
二、砌体房屋静力计算方案	(239)	二、桥梁的总体规划与设计要点	(288)
三、砌体房屋墙、柱设计计算	(241)	三、桥梁的设计荷载	(290)
四、砌体房屋构造措施	(244)	四、桥面布置与构造	(292)
第五节 配筋砌体结构设计	(249)	第二节 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥	(294)
一、网状配筋砖砌体	(249)	一、梁桥构造	(294)
二、组合砖砌体	(250)	二、简支梁桥的计算	(300)
三、配筋砌体的发展与应用	(253)		
第六节 墙梁及挑梁设计	(253)		
一、墙梁结构设计规定	(253)		

第三节 拱桥	(313)	第二节 土中应力与变形	(391)
一、拱桥的基本特点及其适用		一、土中应力分布	(391)
范围	(313)	二、土的变形特性	(398)
二、拱桥的组成及主要类型	(314)	三、地基的最终沉降量	(400)
三、拱桥的构造	(318)	第三节 土的抗剪强度与地基承	
四、拱桥设计与计算	(320)	载力	(406)
第四节 刚架桥	(329)	一、土的抗剪强度及其测定方法	(406)
一、刚架桥的类型与特点	(329)	二、土的强度理论与极限平衡	
二、刚架桥的计算	(330)	条件	(410)
第五节 斜拉桥和悬索桥	(333)	三、地基承载力理论	(412)
一、斜拉桥	(333)	第四节 土压力与边坡稳定	(419)
二、悬索桥	(335)	一、土压力计算	(419)
三、斜拉桥和悬索桥的风动力		二、挡土墙设计	(424)
特性	(337)	三、边坡稳定分析	(425)
第六节 桥梁墩台与基础	(338)	第五节 天然地基上浅基础	
一、桥梁的墩台	(338)	设计	(427)
二、桥梁的基础类型与构造	(348)	一、设计原则与步骤	(427)
第七节 常用桥梁施工	(358)	二、基础埋置深度选择	(429)
一、施工准备工作	(359)	三、地基承载力设计值	(432)
二、钢筋混凝土梁式桥的制造		四、基础底面尺寸确定	(437)
工艺	(360)	五、基础的结构与构造	(440)
三、预应力混凝土简支梁桥的制造		第六节 桩基础	(449)
工艺	(360)	一、单桩承载力的确定	(449)
四、装配式简支梁的运输与安装	(360)	二、群桩承载力的确定	(453)
五、大跨径预应力混凝土桥施工方法		三、桩基础设计	(455)
简介	(362)	四、单桩承载力检测	(475)
六、拱桥施工	(364)	第七节 地基与基础工程加固	
第八节 桥梁的结构设计	(369)	处理	(477)
一、钢筋混凝土及预应力混凝土的		一、地基处理目的与原理	(477)
桥涵结构设计	(369)	二、地基处理方法	(477)
二、砖石及混凝土砌体(圬工)结构		三、地基处理设计计算	(478)
设计	(372)	四、基础工程加固	(492)
三、钢结构设计	(373)	五、建筑物纠倾	(500)
参考文献	(374)	第八节 地震区的地基基础	(506)
第六章 土力学与地基基础		一、建筑基础上的地震荷载	(506)
第一节 土的工程性质与地基		二、地基基础抗震计算	(508)
勘察	(375)	三、地基基础抗震设计要点	(509)
一、土的生成与组成	(375)	参考文献	(514)
二、土的物理性质指标	(381)	第七章 高层建筑结构及高耸结构	
三、土的工程分类	(385)	第一节 高层建筑的结构方案	(515)
四、地基勘察	(388)		

一、高层建筑的受力特点	(515)	计算	(592)
二、高层房屋的结构体系	(516)	五、截面设计要点及构造要求	(606)
三、高层房屋的结构布置原则	(520)	第七节 筒体结构设计	(608)
第二节 高层建筑的荷载和地震		一、筒体结构布置	(608)
作用	(525)	二、筒体结构的受力特点	(609)
一、竖向荷载	(525)	三、筒体结构的近似计算要点	(609)
二、风荷载	(525)	四、截面设计要点及构造要求	(615)
三、地震作用	(528)	第八节 带转换层高层建筑	
第三节 高层建筑结构计算的一般		结构	(616)
原则及有关规定的	(537)	一、转换层结构按功能的分类	(616)
一、基本假定	(537)	二、转换层的结构形式	(617)
二、荷载效应和地震作用效应的		三、结构布置	(618)
组合	(538)	四、底层大空间结构设计的	
三、高层建筑结构的稳定和		基本要求	(620)
倾覆验算	(540)	第九节 高耸结构的设计要点	(621)
四、高层建筑结构水平位移限值	(541)	一、高耸结构的选型	(621)
五、罕遇地震作用下的抗震		二、荷载与作用	(622)
变形验算	(542)	三、基本规定	(628)
第四节 框架结构设计	(543)	四、高耸结构的主要构造	(630)
一、框架结构布置	(543)	参考文献	(632)
二、框架梁、柱截面尺寸初估及材料强度		第八章 建筑施工与管理	
等级	(544)	第一节 土方工程	(633)
三、计算单元及计算简图	(545)	一、土方工程的分类与施工特点	(633)
四、框架结构的内力及侧移计算	(547)	二、土方边坡与土体支护	(633)
五、框架结构的荷载效应组合及内力		三、降低地下水位	(636)
调幅	(558)	四、土方填筑与压实	(639)
六、截面、节点设计要点及构造		五、土方工程机械化施工	(641)
要求	(558)	六、爆破工程	(641)
第五节 剪力墙结构设计	(570)	第二节 桩基础工程	(645)
一、剪力墙的结构布置	(570)	一、钢筋混凝土预制桩施工	(646)
二、剪力墙最小厚度及混凝土强度		二、混凝土灌注桩施工	(651)
等级	(571)	第三节 钢筋混凝土工程	(653)
三、剪力墙结构的内力及侧移		一、模板工程	(654)
计算	(571)	二、钢筋工程	(658)
四、截面设计要点及构造要求	(583)	三、混凝土工程	(663)
第六节 框架-剪力墙结构		第四节 预应力混凝土工程	(674)
设计	(590)	一、预应力混凝土分类	(675)
一、框架-剪力墙的结构布置	(590)	二、预应力锚具和夹具	(675)
二、剪力墙的合理数量	(592)	三、预应力张拉机械	(679)
三、剪力墙的最小厚度	(592)	四、机械张拉先张法施工	(680)
四、框架-剪力墙结构内力及侧移		五、机械张拉后张法施工	(683)

第五节 结构安装工程	(688)	四、全面质量管理	(723)
一、索具设备	(688)	五、竣工验收	(723)
二、起重机械	(689)	参考文献	(725)
三、单层工业厂房结构安装工程	(690)	第九章 建筑经济与设计业务管理	
四、多层装配式房屋结构安装工程	(693)	第一节 建筑经济	(726)
第六节 砌筑工程	(694)	一、基本建设及其费用组成	(726)
一、脚手架	(694)	二、工程概预算和建筑工程定额	(729)
二、垂直运输机械	(695)	三、房地产开发程序	(753)
三、砖砌体施工	(695)	四、工程建设施工招投标	(754)
四、砌块砌体施工	(696)	五、工程建设监理	(757)
第七节 防水工程	(697)	第二节 设计业务管理	(759)
一、卷材防水工程	(697)	一、设计程序、设计内容和深度	(759)
二、涂膜防水工程	(701)	二、设计合同	(761)
三、刚性防水工程	(702)	三、民用建筑设计取费标准	(763)
第八节 装饰工程	(703)	四、工程设计招投标	(767)
一、抹灰工程	(703)	第三节 注册结构工程师和注册	
二、饰面工程	(704)	建筑师	(769)
三、涂料工程	(704)	一、注册结构工程师	(769)
四、裱糊工程	(705)	二、注册建筑师	(770)
第九节 施工组织设计	(705)	第四节 职业法规及规范	(771)
一、施工组织设计的分类与内容	(705)	一、建筑法	(771)
二、单位工程施工组织设计与施工方案	(706)	二、设计规范	(773)
三、单位工程施工组织设计施工进度计划	(707)	三、防火规范	(777)
四、单位工程施工组织设计施工平面图	(709)	参考文献	(780)
第十节 流水施工原理	(710)	第十章 结构试验	
一、主要流水参数	(711)	第一节 概述	(781)
二、流水施工的组织形式	(712)	一、结构试验的作用和意义	(781)
第十一节 网络计划技术	(713)	二、结构试验的基本方法	(781)
一、双代号网络图的基本符号	(713)	三、结构试验的分类	(781)
二、双代号网络图的绘制	(714)	四、结构试验的过程	(782)
三、网络计划时间参数的计算	(716)	第二节 结构试验设计	(782)
四、建筑施工网络计划	(719)	一、试件设计	(782)
五、网络计划优化	(720)	二、试验荷载设计	(785)
第十二节 项目管理	(720)	三、观测设计	(788)
一、项目管理	(720)	四、试验误差控制	(790)
二、进度管理	(721)	第三节 结构试验的加载设备与	
三、技术管理	(722)	试验装置	(790)
		一、加载设备	(790)
		二、结构试验装置	(796)
		第四节 结构试验的量测仪表	(798)

一、量测仪表的分类与特点	(798)	一、结构动力特性试验	(824)
二、结构试验常用的量测仪表	(799)	二、结构动力响应的试验测量	(827)
第五节 结构静载试验	(809)	第八节 结构模型试验	(830)
一、受弯构件试验	(809)	一、相似理论基本内容	(830)
二、柱与压杆试验	(811)	二、获得相似准数的方法	(832)
三、屋架试验	(811)	三、结构模型试验相似比关系	(833)
四、薄壳结构试验	(813)	四、模型材料	(836)
五、钢筋混凝土楼盖试验	(815)	第九节 非破损检测技术	(836)
六、足尺房屋结构整体试验	(815)	一、混凝土结构的非破损检测 技术	(836)
第六节 结构抗震试验	(816)	二、砖砌体结构的现场检测技术	(838)
一、低周反复荷载试验	(816)	三、钢结构现场检测技术	(839)
二、计算机联机试验	(820)	参考文献	(839)
三、地震模拟振动台试验	(823)		
第七节 结构动力试验	(824)		

第一章 结构设计的一般知识

第一节 基本知识

一、对结构的功能要求

结构是房屋建筑或构筑物的基本受力骨架。在房屋建筑或构筑物的整个使用期内,结构要承受各种可能出现的外部作用,包括荷载作用(恒载、活载、风载、水压力、土压力等)、变形作用(地基不均匀沉降、材料收缩变形、温度变化引起的变形、地震引起的地面变形等)、环境作用(阳光、风化、环境污染引起的腐蚀、火灾等),并保证房屋建筑或构筑物的安全可靠。

对结构的基本功能要求有:可靠、适用、耐久,以及在偶然事件发生后仍能保持结构的整体稳定。

可靠,就是要保证在整个使用期内,结构能够承受可能出现的各种作用,具有足够的承载能力,不失稳,不倾覆,不形成机动体系。

适用,就是在正常使用时不产生可能影响正常使用的变形(挠度、沉降、倾斜等),以满足生产、生活的要求;不产生影响美观的裂缝或局部损伤,也不产生影响正常生产或使人感到不舒服的振动。

耐久,房屋建筑或构筑物都有一个规定的设计基准期(我国规定为50年),结构长期承受荷载、变形以及环境的各种作用,会逐渐受到损伤,结构的承载力会逐渐降低,变形、裂缝会逐渐增大,结构材料会受到腐蚀、风化、冻融、溶解等。因此,结构材料必须具有足够的耐久性,例如耐火、耐水、耐日晒、耐腐蚀、耐冻融等。

在结构的使用期内偶然事件是难免的,例如偶然撞击、局部严重腐蚀、爆炸等。偶然事件往往会造成结构构件的局部损伤或局部破坏,若因此引起结构的整体倒塌,后果将十分严重。工程中通常应设计成超静定结构,或使各结构构件组合成完整的结构体系,即使个别构件破坏失效后,也能进行充分的内力重分布,保证结构整体稳定,不倒塌、不倾覆,把损失控制在局部范围内。

二、结构可靠度的概念

结构可靠度为结构在正常设计、正常施工和正常使用条件下,在预定的设计基准期[根据我国《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68-84)规定,我国结构的设计基准期定为50年]内,完成预期功能的概率。

根据可靠度理论,安全可靠是相对的,世界上没有绝对的安全可靠。只要失效(破坏)概率 P_f 小到人们可以接受的程度就可以认为是安全。失效概率 P_f 和可靠概率 P 、具有互补性,即

$$P_f + P_s = 1 \quad (1-1)$$

所以,结构的可靠度可用可靠概率来表达,也可用失效概率来表达。多大的失效概率才能为人们所接受呢?这要从以下几方面考虑:

(1) 失效(破坏)后果的严重性,即一旦结构破坏所造成的损失,具体地说,就是结构破坏后的社会政治影响,人员伤亡程度,经济损失大小等。通常根据结构破坏后果的严重程度,把建筑物分为三个安全等级。

一级为破坏后果严重的重要建筑物,例如供水、供电、供煤气建筑,以及重要的纪念性建筑等;

二级为破坏后果严重的一般建筑物,例如一般的工业与民用建筑;

三级为破坏后果不严重的次要建筑,例如临时性建筑等。

(2) 失效(破坏)前是否有明显的预兆。若结构延性好,破坏前有明显的变形和较宽的裂缝,这会引起人们的警觉,尽快撤离,这可大大减小破坏引起的损失;反之,若结构脆性断裂,没有明显的预兆,往往会造成生命财产的重大损失。

(3) 人们可以接受的失效(破坏)概率的大小。事实上,这是根据上述结构破坏后果的严重程度,以及结构破坏是否有明显预兆来综合确定的。安全等级高的建筑,脆性破坏的结构,人们可以接受的失效概率很小;反之,安全等级低,破坏前有明显预兆的延性结构,人们可以接受的失效(破坏)概率相对要放宽一点。

应当指出,上述结构可靠度的概念既适用于整个结构工程,也适用于某个具体的结构构件。以钢筋混凝土简支梁为例,适筋梁跨中正截面受弯破坏是由纵筋屈服引起的,延性很好,具有明显的破坏预兆,可靠度可以相对小一些,即可以接受的失效概率可以相对大一些;而支座附近斜截面受剪破坏属脆性破坏,无明显破坏预兆,可以接受的失效概率应该更小一些。可见在同一构件中各截面的可靠度也可以是不同的。这样,如果这根梁意外超载,跨中正截面由于可靠度较支座斜截面低,会首先发生延性破坏,避免了斜截面没有预兆的脆性断裂,从而减少损失。

三、随机量及其分布

(一) 随机量

工程中的“量”不像通常数学概念中的数字那样固定不变,而往往是在一定范围内变动的不确定量。例如,同一批号的钢材几个试件的强度并不完全一样,每立方米砌体的质量也不同,同一配合比的混凝土其试块强度相当离散。同一前提下,在一定范围内变动的不确定量称为随机量。随机量不是任意量,必须有一个相同的前提,上述举例中“同一批钢材”、“同一配合比的混凝土”、“每立方米砌体的质量”等就是随机量的前提。应当指出,工程中绝大多数量都是随机量,例如,材料的强度、结构上的荷载、构件的尺寸等。为较准确地计算结构的安全度,了解并掌握一些随机量的分布规律是必要的。

(二) 随机量的分布

随机量既然不是任意量,它的分布有一定的规律性。统计表明,随机量围绕其平均值分布,离平均值越远,其出现的概率越小。为了反映随机量的分布规律,通常用理想化的数学表达式来表示。工程中大部分随机量围绕其平均值的正偏差和负偏差基本对

称, 故工程中应用最多, 用来描述对称分布随机量的数学表达式为正态分布曲线 (图 1-1), 其表达式为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{(\mu-x)^2}{2\sigma^2}} \quad (1-2)$$

$$\mu = (\sum_{i=1}^n x_i) / n \quad (1-3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (1-4)$$

式中 $f(x)$ ——随机量的概率密度, 即随机量在 x 到 $x + dx$ 范围内出现的概率;

x ——随机量的值;

μ ——随机量的平均值;

σ ——随机量的标准差(均方差)。

正态分布曲线的特点是:

(1) 随机量绕平均值对称分布。对 $f(x)$ 求一次导数, 令 $f'(x) = 0$, 可以求得 $x = \mu$, 可见平均值 $x = \mu$ 处随机量出现的概率最大。

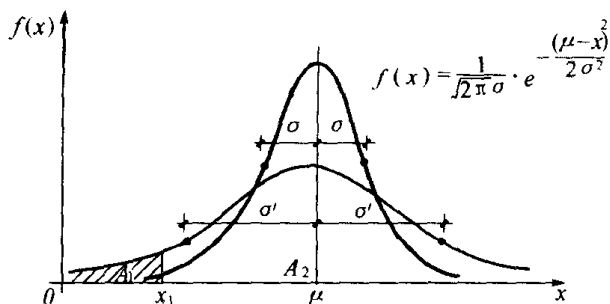


图 1-1 正态分布曲线

(2) 正态分布曲线的拐点位于平均值两侧 $x = \mu \pm \sigma$ 处。对 $f(x)$ 求二阶导数, 令 $f''(x) = 0$, 可求得 $x = \mu \pm \sigma$ 。

(3) 标准差(均方差) σ 反映随机量离散程度, σ 越大, 曲线分布越宽, 随机量越离散; σ 越小, 随机量分布越集中。工程中大家都希望 σ 小些, 例如对于材料强度, σ 越小表明材料质量均匀, 图 1-1 中的两条曲线若都表示材料强度, 很明显粗线代表的材料 σ 小, 质量均匀; 细线代表的材料 σ' 大, 质量不匀, 使用中将造成浪费。

(4) 正态分布曲线与横坐标间的面积为 1, 即

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (1-5)$$

它反映随机量全部出现的总概率为 100%。

(5) 正态分布曲线上 $x \leq x_1$ 段与横坐标之间的面积, 即

$$A_1 = \int_{-\infty}^{x_1} f(x) dx \quad (1-6)$$

它反映了随机量 $x \leq x_1$ 的出现概率。同理

$$A_2 = \int_{x_1}^{+\infty} f(x) dx \quad (1-7)$$

它反映随机量 $x > x_1$ 的出现概率。由图 1-1 可见 $A_1 + A_2 = 1$ 。

随机量的真实分布应根据大量实测数据统计得出, 用正态分布曲线来描述随机量的分布可以把问题大大简化。正态分布曲线方程只有平均值 μ 和均方差 σ 两个参数, 只要确定了 μ 和 σ , 曲线就可确定。当然 μ 和 σ 必须根据实测资料按公式 (1-3) 和公式 (1-4) 计算出来, 实测数据越多, 越接近真实情况。

四、失效概率 P_f 和可靠度指标 β

根据极限状态设计原理,当只考虑作用效应 S 和结构抗力 R 两个基本参数时,结构承载力极限状态设计应满足

$$S \leq R \quad (1-8)$$

$$\text{或} \quad R - S \geq 0 \quad (1-9)$$

$$\text{现引入功能函数} \quad Z = R - S \quad (1-10)$$

则 $Z = R - S > 0$, 结构处于承载力可靠状态;

$Z = R - S = 0$, 结构处于承载力极限状态;

$Z = R - S < 0$, 结构处于承载力失效状态。

由于 S 和 R 都可假定为正态分布的随机量,可见结构功能函数 $Z = R - S$ 也将是随机量,而且也将按正态分布,见图 1-2。

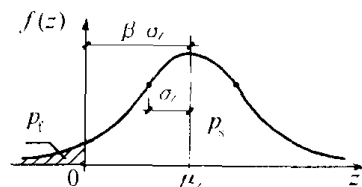


图 1-2 正态分布的结构功能函数

图 1-2 中 $Z < 0$ 区段和 Z 轴间的面积即为失效概率 P_f , $P_f = \int_{-\infty}^0 f(Z) dz$; 结构的可靠概率为 P_s , $P_s = \int_0^{+\infty} f(Z) dz = 1 - P_f$ 。作为正态分布功能函数 Z 的参数 μ_Z 和 σ_Z 可表达为

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S \quad (1-11)$$

$$\sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (1-12)$$

图 1-2 中 β 即为结构可靠度指标,则

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-13)$$

由数学知识,结构可靠度指标 β 与失效概率 P_f 在数值上有确定的对应关系, β 越大则 P_f 越小,结构就越可靠,故称 β 为结构可靠度指标。《建筑结构设计统一标准》(GBJ68-84) 根据结构安全等级、破坏性质以及我国国情规定了相应的结构可靠度指标 β 。实际上,极限状态设计中所用的材料强度设计值和荷载设计值都是按材料强度标准值和荷载标准值的失效概率(或可靠概率),根据结构可靠度指标 β 所对应的失效概率(或可靠概率)推算出来的。作为工程设计人员,只要直接应用材料强度设计值和荷载设计值进行设计,就能满足结构可靠度的要求。我国《建筑结构设计统一标准》(GBJ68-84) 规定的可靠度指标及其对应的失效概率 P_f , 见表 1-1。

表 1-1 结构可靠度指标 β 及其对应的失效概率

β	2.7	3.2	3.7	4.2
P_f	3.5×10^{-3}	6.9×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.3×10^{-5}
结构安全等级 及其破坏性质	三级、延性	二级、延性	一级、延性	
		三级、脆性	二、脆性	一级、脆性

应当指出,结构可靠度包含在材料强度取值,荷载取值,结构可靠度的取值等许多

方面,是一个完整的系统,设计规范必须配套使用,以避免可靠度的混乱和错误。

五、钢筋和混凝土的黏结和锚固

黏结和锚固是钢筋和混凝土共同工作的基础,它使钢筋和混凝土间传递应力,协调变形,共同抵抗外荷。在钢筋混凝土结构中,钢筋的应力都是通过黏结应力或锚头从混凝土中传来的。

(一) 黏结应力

黏结应力是钢筋和混凝土接触面上的剪应力,黏结应力使钢筋应力沿长度发生变化;反之,若沿钢筋长度应力不变,则就不会存在黏结应力。以承受均布荷载的简支梁为例,取出一小段纵筋来分析,见图 1-3。

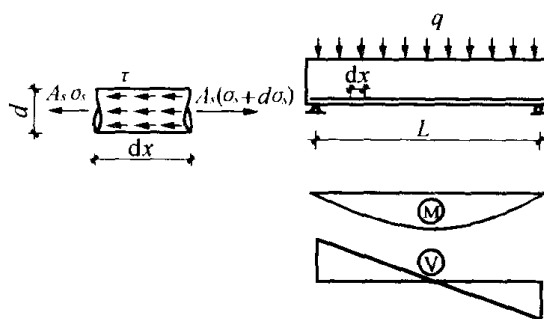


图 1-3 黏结应力

由 $\sum x = 0$ 得

$$A_s \cdot \sigma_s + \tau \cdot \pi d \cdot dx = A_s (\sigma_s + d\sigma_s) \quad (1-14)$$

$$\tau \cdot \pi d \cdot dx = \frac{\pi d^2}{4} \cdot d\sigma_s \quad (1-15)$$

$$\tau = \frac{d}{4} \cdot \frac{d\sigma_s}{dx} \approx \frac{d}{4} \cdot \frac{dM}{dx} = \frac{d}{4} \cdot V \quad (1-16)$$

可见黏结应力 τ 与截面剪力 V 成正比,即最大剪力 $V_{\max}$ 处黏结应力最大,最易发生黏结破坏。

(二) 黏结强度

钢筋和混凝土的黏结强度由水泥胶体的化学胶结力、钢筋和混凝土接触面上的摩擦力、粗糙表面的机械咬合力三部分组成。

1. 水泥胶体的化学胶结力

这部分胶结力数值不大,一旦钢筋和混凝土产生相对滑动,黏结力即被破坏,且不可恢复。一般在黏结计算中可以忽略不计。

2. 钢筋和混凝土接触面上的摩擦力

摩擦力与钢筋表面形态、是否生锈以及钢筋表面受到的垂直压应力有关。混凝土收缩、支座反力、侧向荷载都会形成垂直压应力。中等锈蚀状态的圆钢其黏结强度比未经锈蚀的圆钢要高三倍。

3. 粗糙表面的机械咬合力

变形钢筋的表面横肋可大大提高咬合作用,常见的变形钢筋有螺纹、人字纹、月牙纹等多种表面形状,目前我国主要生产月牙纹钢筋。机械咬合力是变形钢筋黏结强度的主要部分。

变形钢筋的黏结破坏主要是由钢筋横肋斜向挤压引起混凝土劈裂破坏(图 1-4),所以黏结强度只能是一段钢筋表面抗剪极限应力的平均值。黏结强



图 1-4 变形钢筋的劈裂破坏