

26

743
G536

按 2000 年新版《考试大纲》编写

新编一、二级注册结构工程师专业考试教程

(学习指导·重点难点·模拟试题)

同济大学 龚绍熙 主编

屠成松 高大钊 陈忠延 何敏娟 编著



A0964234

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

新编一、二级注册结构工程师专业考试教程/龚绍熙主编.-北京:中国建材工业出版社,2002.2
ISBN 7-80159-239-5

I. 新… II. 龚… III. ①建筑结构-工程师-资格考试-自学参考资料 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 003202 号

新编一、二级注册结构工程师专业考试教程

龚绍熙 主编

责任编辑 宋彬

*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路 11 号 100831)

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

北京丽源印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:51.5 字数:1250 千字

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 4 月第 2 次印刷

印数:5001~10000 册 定价:80.00 元

ISBN 7-80159-239-5/TU·117

前 言

我国实施注册结构工程师执业资格制度,自 1996 年全国考试试点至今已 5 年,积累了较丰富的经验。众多从事结构设计及相关工作的工程技术人员通过历年全国注册考试,依法获得中华人民共和国一级或二级注册结构工程师执业资格并注册从事结构设计工作。这对提高工程设计质量,确保结构工程能安全可靠和经济合理地进行,保障人民的生命财产安全,维护社会公众利益发挥了重大作用。

2000 年 9 月 1 日全国注册工程师管理委员会(结构)公布修订后的一级和二级注册结构工程师专业考试大纲,进一步明确对专业考试的基本要求和各科题量、分值、时间分配及题型特点。一级注册结构工程师考试涉及的 6 科和二级注册结构工程师考试涉及的 5 科共 80 道考题均为必答题,由连锁计算题、独立单选题组成。其中概念型选择题对一级注册结构工程师不超过 15 道,对二级注册结构工程师不超过 20 道。2001 年 6 月已按 2000 年版新大纲和新题型进行全国注册考试。为了帮助参加注册考试的结构工程师掌握、熟悉和了解工程结构各科的基本理论和专业知识,深入理解和熟练运用结构规范,我们组织同济大学土木工程学院学术造诣较高、教学经验丰富的资深教授,在他们近 5 年来给一、二级注册结构工程师专业考试复习班授课讲稿的基础上,按 2000 年新版考试大纲和题型特点新编了这本一、二级注册结构工程师专业考试教程。

本书根据新版考试大纲的基本要求,围绕考试时可随时查阅的有关结构规范和各科的基本理论及专业知识进行讲解;力求叙述简明扼要,基本概念明确,解题步骤清晰,突出重点难点,尽量体现考试大纲对有关内容的“掌握”、“熟悉”、“了解”的不同要求。在援引规范时,除必要内容外,一般不摘录整段条文,不重复规范中可查到的图表,以减少篇幅。读者在阅读本书时必须同时对照阅读有关规范。这也有助于读者在复习应试中始终以规范为中心,加深对规范设计概念的理解和规范条文的应用。由于计算型选择题在考试中占 60~65 道以上,如何正确运用规范解题是考试成功的关键,本书详细列出计算步骤,并给出实例。新大纲增加了“掌握常用结构的静力计算方法”的要求,考题中内力计算也占有一定分量,为此本书增加了内力分析方法的内容。在第一章中除概率极限状态设计的基本概念、荷载的分类和组合及结构抗力和材性等内容外,还给出建筑防火和防水工程的基本知识。关于各类结构的施工技术的基本知识则在各章中反映。

本书既适合于一级注册结构工程师阅读,也适合于二级注册结构工程师阅读。因为两类考试大纲大部分的基本要求是相同的,只是一级结构工程师注册考试的深度和广度要求更高。两类考试大纲的区别在于:二级结构工程师不考桥梁结构;钢结构考试内容不包括钢与混凝土组合结构,疲劳计算和塑性设计,对钢结构的体系和轴心受力构件、拉弯、压弯构件计算只要求熟悉而不是掌握;对高层建筑结构的概念设计,内力与位移计算,高耸结构设计等只要求了解而不是熟悉;对钢筋混凝土结构构件裂缝和挠度验算和预应力混凝土构件设计只要求了解而不是掌握;对地基基础的土坡稳定和挡土墙设计以及基坑液化只要求了解而不是掌握或熟悉。但是,混凝土结构大部分内容及砌体结构和木结构的基本要求对一级注册

工程师和二级注册工程师都是相同的。且二级结构工程师注册考试这两科的题量各增加到 20 道,分量更重。请读者注意:凡目录中有 * 号的内容,只属于一级注册结构工程师的考试要求。

本书每章最后一节都根据 2000 年新版考试大纲的要求和 2001 年考试新题型选择了一部分模拟试题,共 277 道题,供读者复习和应试参考。模拟试题的参考解答与分析则集中于第 8 章。读者在复习和掌握每章基本内容的基础上,不妨自己进行模拟考试,再对照阅读第 8 章的参考解答。

本书由龚绍熙主编。各章编著分工如下:

第一章 概论	龚绍熙教授;
第二章 混凝土结构	龚绍熙教授等;
第三章 钢结构	何敏娟教授等;
第四章 砌体结构与木结构	龚绍熙教授等;
第五章 建筑地基基础	高大钊教授;
第六章 高层建筑结构、高耸结构及横向作用	屠成松教授;
第七章 桥梁结构	陈忠延教授;
第八章 模拟试题参考解答与分析	各作者共同完成。

本书在编写过程中得到上海市工程建设执业资格注册中心以及同济大学教务处、土木工程学院和建筑工程系的领导与有关同志的支持和帮助,在此一并致谢! 由于时间仓促,难免存在缺点和疏漏之处,恳请广大读者提出宝贵意见和建议。

作者

2001 年 12 月于同济大学

目 录

前言

第一章 概论	(1)
第一节 概率极限状态设计的基本概念和方法	(1)
一、结构设计方法的演变	(1)
二、结构的功能要求和极限状态	(2)
三、可靠度及其分析方法	(3)
四、极限状态设计表达式	(6)
第二节 建筑结构的作用和荷载的分类与组合	(7)
一、作用和荷载	(7)
二、荷载的代表值	(8)
三、常用荷载、作用及其组合	(9)
第三节 结构的抗力和材料性能指标	(13)
一、结构的抗力	(13)
二、材料性能的标准值和设计值	(13)
三、材料性能的质量要求与控制	(15)
第四节 建筑防火及结构构件的耐火性能	(16)
一、建筑防火对策及建筑材料高温性能	(16)
二、建筑构件的耐火性能	(18)
三、建筑耐火设计	(19)
第五节 防水混凝土与防水工程	(22)
一、防水混凝土	(22)
二、其他防水工程	(25)
第六节 本章模拟试题	(26)
本章参考文献	(27)
第二章 混凝土结构	(28)
第一节 结构材料的基本性能	(28)
一、基本概念和特点	(28)
二、钢筋的力学性能	(29)
三、混凝土的强度	(31)
四、混凝土的变形	(32)
五、材料的选用	(34)
第二节 承载能力极限状态计算——正截面承载力	(35)
一、一般规定	(35)

二、正截面受弯承载力计算	(38)
三、正截面受压承载力计算	(48)
四、正截面受拉承载力计算	(65)
第三节 承载能力极限状态计算——其他承载力	(69)
一、斜截面受剪承载力计算	(69)
二、扭曲截面承载力计算	(73)
三、受冲切承载力计算	(80)
四、局部受压承载力计算	(80)
五、疲劳强度验算	(81)
第四节 正常使用极限状态验算	(83)
一、变形控制和裂缝控制的目的和要求	(83)
二、受弯构件的挠度验算	(84)
三、裂缝宽度验算	(87)
第五节 构造设计	(90)
一、伸缩缝	(90)
二、混凝土保护层	(90)
三、钢筋与混凝土的粘结和锚固	(91)
四、钢筋的接头	(94)
五、纵向钢筋最小配筋率	(95)
六、预埋件及吊环	(96)
第六节 常用结构体系的设计要点	(98)
一、楼盖结构	(98)
二、框架结构	(110)
三、单层厂房排架结构	(118)
第七节 预应力混凝土构件设计	(128)
一、基本概念与分类	(128)
二、施加预应力的方法、张拉控制应力及预应力损失	(129)
三、预应力混凝土轴拉构件计算	(132)
四、预应力混凝土受弯构件计算要点	(136)
五、构造规定	(140)
第八节 钢筋混凝土结构构件抗震设计	(141)
一、抗震设计的一般规定	(141)
二、框架结构	(143)
三、单层厂房排架结构	(148)
第九节 混凝土结构施工与检验	(150)
一、模板工程	(150)
二、钢筋工程	(152)
三、混凝土工程	(156)
四、预应力混凝土工程	(160)

五、装配式混凝土结构工程	(164)
六、预制构件的检验	(166)
第十节 本章模拟试题	(169)
一、概念型选择题	(169)
二、计算型选择题	(174)
本章参考文献	(184)

第三章 钢结构 (185)

第一节 钢结构的材料	(185)
一、钢材的机械性能	(185)
二、影响钢材力学性能的因素	(186)
三、钢材的破坏	(188)
四、钢材的品种和规格	(188)
五、钢材的选用	(188)
第二节 钢结构设计原则和主要构造	(189)
一、设计原则	(189)
二、钢结构设计强度的有关规定	(190)
三、结构变形的规定	(190)
四、钢结构一般构造要求	(191)
第三节 受弯构件	(191)
一、受弯构件的类型和截面型式	(191)
二、受弯构件的设计内容	(191)
三、受弯构件的强度	(192)
四、受弯构件的整体稳定	(194)
五、受弯构件的局部稳定和加劲肋设计	(196)
第四节 轴心受力构件	(199)
一、轴心受力构件的特点和截面形式	(199)
二、轴心受拉构件的计算	(199)
三、轴心受压构件的设计内容	(200)
四、轴心压杆的整体稳定	(200)
五、实腹式轴心压杆的局部稳定	(203)
六、格构式轴压构件的柱肢或缀材计算	(204)
七、轴压构件的柱脚设计	(205)
八、轴心受力构件的构造要求	(207)
第五节 拉弯和压弯构件	(208)
一、拉弯和压弯构件的特点和截面型式	(208)
二、拉弯、压弯构件的截面强度和刚度	(208)
三、实腹式压弯构件的整体稳定	(209)
四、实腹式压弯构件的局部稳定	(211)

五、格构式压弯构件·····	(212)
六、双向压弯构件·····	(214)
第六节 钢结构的连接·····	(215)
一、钢结构的连接方法·····	(215)
二、钢结构焊接连接特性·····	(216)
三、对接焊缝的构造和计算·····	(216)
四、角焊缝的构造和计算·····	(219)
五、普通螺栓连接的构造和计算·····	(223)
六、高强度螺栓连接的构造和计算·····	(226)
* 第七节 钢与混凝土组合结构·····	(228)
一、组合结构类型与特点·····	(228)
二、组合结构梁的设计与构造·····	(229)
三、组合楼板设计与构造·····	(230)
* 第八节 钢结构疲劳计算·····	(231)
一、钢结构的疲劳特征·····	(231)
二、钢结构的疲劳计算·····	(231)
* 第九节 钢结构的塑性设计·····	(232)
一、塑性设计的适用条件与方法·····	(232)
二、塑性设计与构造要求·····	(233)
第十节 钢结构的防腐、隔热与防火·····	(234)
一、钢结构的防锈·····	(234)
二、钢结构的隔热与防火·····	(235)
第十一节 钢结构的施工·····	(235)
一、钢结构的制作·····	(235)
二、钢结构的运输·····	(235)
三、钢结构的安装·····	(236)
四、钢结构的验收·····	(237)
第十二节 本章模拟试题·····	(238)
一、概念型选择题·····	(238)
二、计算型选择题·····	(241)
本章参考文献·····	(246)

第四章 砌体结构与木结构····· (247)

第一节 砌体材料及其力学性能·····	(247)
一、基本概念和特点·····	(247)
二、砌体种类及材料的强度等级·····	(248)
三、砌体的受压性能和抗压强度·····	(249)
四、砌体的抗拉、抗弯和抗剪强度·····	(251)
五、砌体强度的标准值与设计值·····	(253)

六、砌体的变形性能和变形模量	(254)
第二节 砌体房屋的静力计算	(255)
一、砌体房屋的静力计算方案	(255)
二、刚性方案房屋的静力计算	(256)
三、弹性方案房屋的静力计算	(258)
四、刚弹性方案房屋的静力计算	(259)
五、墙、柱的受荷范围和计算截面	(261)
第三节 无筋砌体构件的承载力计算	(263)
一、受压构件	(263)
二、局部受压	(267)
三、轴心受拉构件、受弯构件和受剪构件	(272)
第四节 配筋砌体构件的承载力计算	(272)
一、网状配筋砖砌体构件	(272)
二、组合砖砌体构件	(275)
第五节 构造要求	(277)
一、墙、柱的允许高厚比	(277)
二、一般构造要求	(280)
三、防止和减轻墙体开裂的主要措施	(281)
第六节 圈梁、过梁、墙梁和挑梁	(283)
一、圈梁	(283)
二、过梁	(284)
三、墙梁	(285)
四、挑梁	(292)
第七节 砌体房屋的抗震设计	(296)
一、多层砌体房屋	(296)
二、底层框架和多层内框架砖房	(301)
第八节 砌体结构施工	(303)
一、基本规定和砌筑砂浆	(303)
二、砌砖工程	(305)
三、混凝土砌块工程	(307)
四、配筋砌体工程	(308)
第九节 木结构	(308)
一、木材的基本物理力学性能和材料选用	(308)
二、木结构构件计算	(311)
三、木结构连接的计算和构造	(312)
四、木屋架	(315)
五、对施工的质量要求	(316)
六、防腐、防虫和防火	(317)
第十节 本章模拟试题	(317)

一、概念型选择题·····	(317)
二、计算型选择题·····	(320)
本章参考文献·····	(327)
第五章 建筑地基基础·····	(328)
第一节 工程勘察与建筑物的工程地质条件·····	(328)
一、设计对工程勘察的要求·····	(328)
二、场地稳定性评价·····	(330)
三、地基土的物理性指标与土的工程分类·····	(331)
四、地基土的力学指标·····	(336)
五、工程勘察报告的阅读与利用·····	(341)
第二节 地基设计原则·····	(343)
一、地基设计的基本要求·····	(343)
二、荷载规定·····	(344)
三、基础埋置深度·····	(345)
第三节 地基计算·····	(345)
一、地基承载力计算·····	(345)
二、地基变形计算·····	(351)
第四节 浅基础设计·····	(354)
一、概述·····	(354)
二、浅基础的类型·····	(354)
三、刚性基础·····	(358)
四、钢筋混凝土独立基础·····	(358)
五、墙下条形基础和柱下条形基础·····	(359)
六、十字交叉形基础·····	(361)
七、箱形、筏形基础·····	(362)
第五节 桩基础设计·····	(373)
一、概述·····	(373)
二、桩基选型与布置·····	(373)
三、桩基的构造要求·····	(375)
四、桩基竖向承载力计算·····	(377)
五、桩基沉降计算·····	(381)
六、承台计算·····	(383)
第六节 软弱地基处理·····	(388)
一、概述·····	(388)
二、换填法·····	(388)
三、预压法·····	(391)
四、强夯法·····	(392)
五、深层密实法·····	(395)

六、化学加固法·····	(396)
第七节 土压力计算·····	(399)
一、土压力的概念·····	(399)
二、朗肯土压力理论·····	(400)
三、库仑土压力理论·····	(401)
四、土压力计算的规范方法·····	(402)
五、挡土墙设计·····	(404)
第八节 地基抗震·····	(404)
一、建筑场地类别划分·····	(404)
二、地基基础的抗震验算·····	(405)
三、液化判别·····	(407)
四、抗液化措施·····	(409)
第九节 本章模拟试题·····	(411)
本章参考文献·····	(416)

第六章 高层建筑结构、高耸结构及横向作用····· (417)

第一节 高层建筑结构设计总则·····	(417)
一、概述·····	(417)
二、高层建筑结构设计特点·····	(426)
三、高层建筑结构的抗震设计总思路·····	(431)
四、房屋体型及其结构布置·····	(434)
五、缝的划分、设置与措施·····	(438)
第二节 荷载和横向作用·····	(441)
一、永久荷载·····	(441)
二、楼面(屋面)活荷载·····	(441)
三、风荷载·····	(442)
四、地震作用·····	(447)
五、荷载效应与地震作用效应的组合·····	(457)
第三节 高层建筑结构体系的受力特性与计算要点·····	(458)
一、受荷传力途径·····	(458)
二、结构计算的一般原则·····	(460)
* 三、总侧向力在各榀抗侧力结构间的分配·····	(461)
四、框架结构体系·····	(463)
五、剪力墙结构体系·····	(475)
六、框架-剪力墙结构体系·····	(494)
七、高层建筑结构水平位移的限值·····	(503)
第四节 截面设计和结构构造·····	(504)
一、一般规定·····	(504)
* 二、延性和延性结构·····	(506)

三、框架结构.....	(509)
四、剪力墙结构.....	(522)
第五节 高耸结构设计要点.....	(528)
一、高耸结构的范围、特点和设计要求.....	(528)
二、荷载与作用.....	(529)
三、钢筋混凝土圆筒形塔.....	(536)
* 四、钢筋混凝土烟囱.....	(538)
第六节 本章模拟试题.....	(545)
一、概念型选择题.....	(545)
二、计算型选择题和作业题.....	(549)
本章参考文献.....	(558)
* 第七章 桥梁结构.....	(559)
第一节 设计总论.....	(559)
一、设计基本原则和构造要求.....	(559)
二、总体规划和规定.....	(559)
三、桥面构造和附属设施.....	(561)
四、桥梁设计方案的编制与比选.....	(561)
五、桥梁设计的荷载及组合.....	(563)
六、我国现行公路桥涵设计规范 (JTJ023-85) 的计算原则	(573)
第二节 桥梁结构构件的计算.....	(575)
一、钢结构构件的计算.....	(575)
二、钢筋混凝土构件的计算.....	(580)
三、预应力混凝土受弯构件的计算.....	(619)
第三节 桥梁上部结构的构造和施工.....	(636)
一、混凝土简支梁桥的构造和施工.....	(636)
二、预应力混凝土连续梁桥的构造和施工.....	(645)
三、弯梁桥的构造和施工特点.....	(654)
四、混凝土梁式桥的病害及分析.....	(660)
第四节 混凝土梁式桥的计算.....	(665)
一、行车道板的计算.....	(665)
二、整体式板桥的计算.....	(668)
三、装配式简支梁 (板) 桥的计算.....	(670)
四、预应力连续梁桥的计算特点.....	(682)
五、梁桥支座.....	(687)
第五节 桥梁基础与墩台.....	(688)
一、桥梁基础.....	(688)
二、桥梁墩台.....	(699)
第六节 桥梁抗震设计要点.....	(707)

一、一般规定	(707)
二、抗震措施和对策	(710)
三、抗震强度和稳定性验算	(714)
第七节 本章模拟试题	(716)
一、概念型选择题	(716)
二、计算型选择题	(718)
本章参考文献	(721)
第八章 模拟试题参考解答与分析	(722)
第一节 概论	(722)
第二节 混凝土结构	(724)
一、概念型选择题	(724)
二、计算型选择题	(728)
第三节 钢结构	(737)
一、概念型选择题	(737)
二、计算型选择题	(739)
第四节 砌体结构与木结构	(744)
一、概念型选择题	(744)
二、计算型选择题	(748)
第五节 建筑地基基础	(753)
第六节 高层建筑结构、高耸结构及横向作用	(760)
一、概念型选择题	(760)
二、计算型选择题和作业题	(762)
* 第七节 桥梁结构	(795)

注：凡有*的内容，只属于一级注册工程师的考试要求

第一章 概 论

第一节 概率极限状态设计的基本概念和方法

一、结构设计方法的演变

为了人们生活、生产或其他社会活动的需要而建造各类房屋和构筑物,以提供既能承受各种外界作用,又能满足各项功能和环境要求的空间。狭义地讲,各种房屋及构筑物称为建筑。建筑结构是组成工业与民用建筑包括基础在内的承重骨架体系。建筑结构和公路、铁路、桥梁、港口、堤坝等其他土木工程结构一起,统称为工程结构。

在建筑设计中要贯彻“适用、安全、经济、美观”的方针。而结构设计要解决的基本问题是如何使工程结构既满足安全可靠的要求,又满足经济合理的要求。结构设计理论正是围绕如何解决安全可靠与经济合理这一主要矛盾而发展演变的。从公元前 2250 年古巴比伦王汉谟拉比用强制法典保证房屋安全,到公元 1103 年(宋崇宗二年)李诫主编《营造法式》,人们长期依靠实践经验建筑房屋。直到公元 1638 年伽利略进行木梁强度试验,开始了建筑力学发展的历史,从此进入对结构构件定量分析和设计的阶段。

在结构设计理论的发展和工程实践中,形成两类设计方法:

(一)定值设计法

基本变量作为非随机变量的设计计算方法。其中,采用以经验为主确定的安全系数来度量结构的可靠性。主要有三种方法:

1. 容许应力设计法:以结构构件截面计算应力不大于规范规定的材料容许应力的原则,进行结构构件设计计算的方法。

2. 破坏强度设计法:考虑结构材料破坏阶段的工作状态进行结构构件设计计算的方法,又称荷载系数设计法、破坏阶段设计法。

3. 极限状态设计法:以防止结构或构件达到某种功能要求的极限状态作为依据的结构设计计算方法。

极限状态设计法的提出是结构设计理论的重大进展。本法按结构功能要求规定了结构设计的承载能力、变形和裂缝等三种极限状态。采用三个系数分别考虑荷载、材料性能和工作条件的变异,在确定某些荷载和材料强度时作了数理统计分析,因而比前两种方法更符合实际。

(二)概率设计法

基本变量作为随机变量的设计计算方法。其中,采用概率理论为基础所确定的失效概率来度量结构的可靠性。

从定值设计法可以看出,结构构件是否可靠,主要看荷载可能的最大综合效应 S 是否小于结构可能的最小抗力 R ,即下述不等式是否成立?在多大程度上成立?

$$\frac{S}{(\max)(?) (\min)} < R \quad (1-1-1)$$

定值设计法将 S 和 R 看作确定值。(1-1-1) 式是否成立, 取决于 S 是否扩大或 R 是否缩小一个给定倍数——定值安全系数。结构可靠性将唯一地由是否满足定值安全系数而确定。此处结构可靠与不可靠是绝对的。

事实上, 荷载效应 S 是随机的, 结构抗力 R 也是随机的, (1-1-1) 式在多大程度上成立也是随机的。研究这种随机现象只有用概率论和数理统计的方法, 才能对结构可靠度进行科学的分析与计算。概率设计法是当前国际上公认的结构设计理论的发展方向。根据发展的阶段又可以分为三个水准:

1. 水准 I——半概率法: 对影响结构可靠度的荷载效应和结构抗力的某些参数进行统计分析, 结合工程经验引入某些安全系数, 故不能对结构可靠度作出定量的估计。我国《钢筋混凝土结构设计规范》TJ10-74 等老规范采用的是多系数分析单一系数表达的半经验半概率极限状态设计方法。

2. 水准 II——近似概率法: 对结构可靠度赋予概率定义, 以可靠指标度量结构可靠度, 建立其与极限状态方程之间的数学关系。对荷载效应和结构抗力的概率分布作某些近似假定, 可对结构可靠度进行近似计算。我国《建筑结构设计统一标准》GBJ 68-84 (以下简称《统一标准》) 规定现行国家标准采用近似概率极限状态设计方法。

3. 水准 III——全概率法: 对结构采用较精确的概率分析。对各基本变量, 如荷载、材料性能、几何尺寸、计算精度等分别采用随机变量或随机过程概率模型描述, 求得结构的最优失效概率直接度量结构可靠性。由于对基本变量的客观规律了解不足, 采用全概率法还存在一定困难。目前仅对某些特殊重要结构如核电站等采用全概率法进行研究分析和设计。

二、结构的功能要求和极限状态

(一) 结构的功能要求

《统一标准》规定, 建筑结构必须满足下列各项功能要求:

1. 安全性要求

- (1) 能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种作用;
- (2) 在偶然事件发生时及发生后, 仍能保持必需的整体稳定性。

2. 适用性要求 在正常使用时具有良好的工作性能。

3. 耐久性要求 在正常维护下具有足够的耐久性能。

注: 建筑结构的耐久性能和耐火性能应符合有关规范的规定。

总称为结构的可靠性, 即结构在规定的时间内, 在规定的条件下, 完成预定功能的能力。规定的时间称为设计基准期 T , 可取 50 年; 规定的条件指正常设计、正常施工、正常使用、正常维护; 预定功能指结构必须满足的全部功能要求。

(二) 结构的工作状态

结构的工作状态, 指结构在设计基准内的工作状况, 可用“可靠”与“失效”两种状况来评价。“可靠”指结构能满足上述功能要求而良好地工作。“失效”指不能满足某一功能要求, 不能可靠地工作。

设 S 代表结构的作用效应, R 代表结构的抗力; 引入功能函数 Z 以定量描述结构工作状

态:

$$Z = g(R, S) = R - S \quad (1-1-2)$$

当 $Z > 0$, 或 $R > S$ 时, 结构可靠;

当 $Z < 0$, 或 $R < S$ 时, 结构失效;

可在 $R-S$ 平面上划分为可靠区和失效区(图 1-1-1)。

一般情况下, 影响结构工作状态的随机变量为 $X_1, X_2, \dots, X_n$, 则功能函数为

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1-1-3)$$

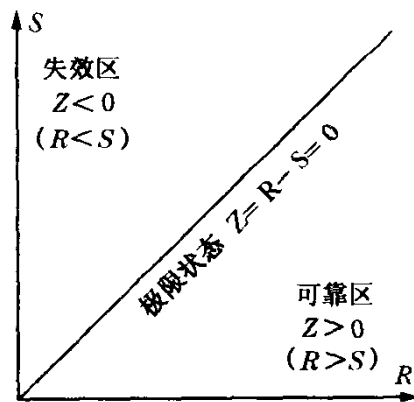


图 1-1-1 结构的
工作状态分区

(三) 结构的极限状态

“可靠”与“失效”的界限是“极限状态”, 即结构或构件能满足设计规定的某一功能要求的临界状态, 超过这一特定状态, 结构或构件便不再满足对该功能的要求。

当功能函数 $Z = 0$ 或 $R = S$, 则结构达到极限状态, 在 $R-S$ 平面上为通过原点的 45° 斜线(图 1-1-1)。由此引出极限状态方程:

$$Z = g(R, S) = R - S = 0 \quad (1-1-4)$$

一般情况下, 当随机变量为 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 时, 极限状态方程为:

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad (1-1-5)$$

(四) 极限状态的分类

1. 承载能力极限状态: 结构或构件达到最大承载能力, 或达到不适于继续承载的变形的极限状态。当出现下列状态之一时, 即认为超过了承载能力极限状态:

(1) 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡, 如挑梁的倾覆, 挡土墙的滑移等;

(2) 结构构件或连接因材料强度被超过而破坏, 包括疲劳破坏; 或因过度的塑性变形而不适于继续承载;

(3) 结构转变为机动体系, 如连续梁、框架、双向板形成破坏机构等;

(4) 结构或构件丧失稳定, 如墙、柱压屈等。

2. 正常使用极限状态: 结构或构件达到使用功能上允许的某一限值的极限状态。当出现下列状态之一时, 即认为超过了正常使用极限状态:

(1) 影响正常使用或外观的变形, 如超过挠度或水平变位限值等;

(2) 影响正常使用或耐久性的局部损坏, 如不满足抗裂要求, 或超过裂缝宽度限值等;

(3) 影响正常使用的振动;

(4) 影响正常使用的其他特定状态。

三、可靠度及其分析方法

(一) 结构可靠与失效概率

1. 结构可靠度: 结构或构件在规定的时间内, 在规定的条件下完成预定功能的概率; 称为结构可靠度。因此, 结构可靠度是结构可靠性的概率度量, 就是可靠概率, 可用 P_s 表示。

2. 失效概率: 结构或构件在规定的时间内, 在规定的条件下不能完成预定功能的概率, 称为失效概率, 可用 P_f 表示。

如前所述, 结构的工作状态只有“可靠”与“失效”两类, “结构可靠”和“结构失效”是对

立的事件,故有:

$$P_f = 1 - P_s \quad (1-1-6)$$

通过(1-1-6)式可将结构可靠度 P_s 的计算转化为失效概率 P_f 的计算。即结构可靠度也可用失效概率来度量。

(二) 分析结构可靠度的一次二阶矩法

设结构抗力 R 和荷载效应 S 均为正态分布随机变量,且相互统计独立,即 $R \sim N(\mu_R, \sigma_R)$, $S \sim N(\mu_S, \sigma_S)$ 。则功能函数 $Z = R - S$ 也为正态分布随机变量,即 $Z \sim N(\mu_Z, \sigma_Z)$ 。

其概率密度函数为:

$$f(Z) = \frac{1}{\sigma_Z \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z} \right)^2 \right] \quad (1-1-7)$$

则结构的失效概率为:

$$P_f = P[Z < 0] = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sigma_Z \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z} \right)^2 \right] dZ \quad (1-1-8)$$

图 1-1-2(a) 所示 $f(Z)$ 与横坐标 Z 之间所夹面积的阴影部分,即表示失效概率 P_f ,空白部分即为结构可靠度 P_s 。

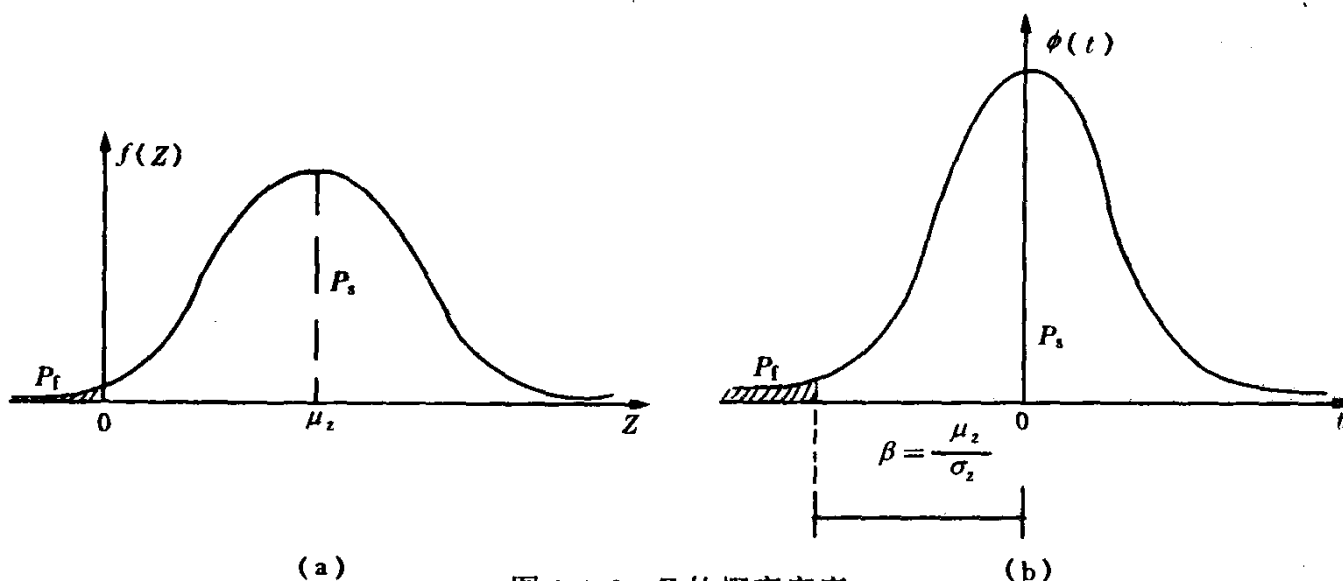


图 1-1-2 Z 的概率密度
(a) 正态分布 (b) 标准正态分布

为便于利用标准正态分布表进行计算,引入变量 $t = \frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z}$, 有 $dZ = \sigma_Z dt$, 则

$$P_f = P[Z < 0] = P \left[\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z} < -\frac{\mu_Z}{\sigma_Z} \right] = \int_{-\infty}^{-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{t^2}{2} \right] dt = \Phi \left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z} \right) \quad (1-1-9)$$

式中 $\Phi \left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z} \right)$ —— 标准正态分布函数,在《概率论与数理统计》书上附表均可查到。

由于 $Z = R - S$, 则 $\mu_Z = \mu_R - \mu_S$, $\sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$, 设 $\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z}$, 则

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-1-10)$$

β 是标准正态分布反函数在可靠概率处的函数值,并与失效概率 P_f 有一一对应关系,如图 1-1-2(b) 和表 1-1-1 所示。故可采用 β 作为度量结构可靠性的数量指标,称为可靠指标。