

本书受

国家科技支撑计划课题 (2006BAJ01B06-06)

教育部创新团队项目 (No.IRT0518)

资助

贡金鑫 车 轶 李荣庆 编著

混凝土结构设计

（按欧洲规范）

DESIGN
OF CONCRETE
STRUCTURES

中国建筑工业出版社

本书受

国家科技支撑计划课题 (2006BAJ01B06-06)

教育部创新团队项目 (No. IRT0518)

资助

混凝土结构设计

(按欧洲规范)

贡金鑫 车 轶 李荣庆 编著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构设计 (按欧洲规范) / 贡金鑫等编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2009
ISBN 978-7-112-10854-1

I. 混… II. 贡… III. 混凝土结构—结构设计
IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 043234 号

本书是在对欧洲规范和我国混凝土结构设计规范进行对比分析和研究的基础上, 按最近欧洲标准化协会 (CEN) 颁布的欧洲系列结构规范 (Eurocode) 编写的。介绍了欧洲混凝土建筑结构的设计方法, 主要内容包括: 结构设计基础、结构上的作用、混凝土和钢筋材料、混凝土结构的耐久性、结构分析与计算、受压和受弯构件承载力计算、构件受剪和受冲切承载力计算、构件受扭承载力计算、构件的裂缝和变形控制、钢筋锚固、连接和截断、楼板设计、地基与基础、混凝土结构抗震设计和建筑结构的抗连续倒塌设计。

本书可供混凝土结构研究人员、规范编制人员、工程设计人员及高等院校相关专业的教师和学生参考。

* * *

责任编辑: 郇锁林 张伯熙

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 王金珠 王雪竹

本书受

国家科技支撑计划课题 (2006BAJ01B06-06)

教育部创新团队项目 (No. IRT0518)

资助

混凝土结构设计

(按欧洲规范)

贡金鑫 车 轶 李荣庆 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京华艺制版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24½ 字数: 610 千字

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 56.00 元

ISBN 978-7-112-10854-1

(18101)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

尊敬的读者：

感谢您选购我社图书！建工版图书按图书销售分类在卖场上架，共设22个一级分类及43个二级分类，根据图书销售分类选购建筑类图书会节省您的大量时间。现将建工版图书销售分类及与我社联系方式介绍给您，欢迎随时与我们联系。

★建工版图书销售分类表（详见下表）。

★欢迎登陆中国建筑工业出版社网站www.cabp.com.cn，本网站为您提供建工版图书信息查询，网上留言、购书服务，并邀请您加入网上读者俱乐部。

★中国建筑工业出版社总编室 电 话：010—58934845

传 真：010—68321361

★中国建筑工业出版社发行部 电 话：010—58933865

传 真：010—68325420

E-mail: hbw@cabp.com.cn

建工版图书销售分类表

一级分类名称 (代码)	二级分类名称 (代码)	一级分类名称 (代码)	二级分类名称 (代码)
建筑学 (A)	建筑历史与理论 (A10)	园林景观 (G)	园林史与园林景观理论 (G10)
	建筑设计 (A20)		园林景观规划与设计 (G20)
	建筑技术 (A30)		环境艺术设计 (G30)
	建筑表现·建筑制图 (A40)		园林景观施工 (G40)
	建筑艺术 (A50)		园林植物与应用 (G50)
建筑设备·建筑材料 (F)	暖通空调 (F10)	城乡建设·市政工程· 环境工程 (B)	城镇与乡(村)建设 (B10)
	建筑给排水 (F20)		道路桥梁工程 (B20)
	建筑电气与建筑智能化技术 (F30)		市政给排水工程 (B30)
	建筑节能·建筑防火 (F40)		市政供热、供燃气工程 (B40)
	建筑材料 (F50)		环境工程 (B50)
城市规划·城市设计 (P)	城市史与城市规划理论 (P10)	建筑结构与岩土工程 (S)	建筑结构 (S10)
	城市规划与城市设计 (P20)		岩土工程 (S20)
室内设计·装饰装修 (D)	室内设计与表现 (D10)	建筑施工·设备安装技 术 (C)	施工技术 (C10)
	家具与装饰 (D20)		设备安装技术 (C20)
	装修材料与施工 (D30)		工程质量与安全 (C30)
建筑工程经济与管理 (M)	施工管理 (M10)	房地产开发管理 (E)	房地产开发与经营 (E10)
	工程管理 (M20)		物业管理 (E20)
	工程监理 (M30)	辞典·连续出版物 (Z)	辞典 (Z10)
	工程经济与造价 (M40)		连续出版物 (Z20)
艺术·设计 (K)	艺术 (K10)	旅游·其他 (Q)	旅游 (Q10)
	工业设计 (K20)		其他 (Q20)
	平面设计 (K30)	土木建筑计算机应用系列 (J)	
执业资格考试用书 (R)		法律法规与标准规范单行本 (T)	
高校教材 (V)		法律法规与标准规范汇编/大全 (U)	
高职高专教材 (X)		培训教材 (Y)	
中职中专教材 (W)		电子出版物 (H)	

注：建工版图书销售分类已标注于图书封底。

前 言

从 2000 年起,以“EN”为标准号的欧洲规范(Eurocode)正式颁布,代替了以“ENV”为编号的欧洲试行规范,标志着从 1975 年开始由欧洲共同体委员会筹备、后转交欧洲标准化协会(CEN)编制和管理的欧洲规范,正式成为欧共体国家结构设计共同遵守的规范。按照欧洲标准化协会的规定,欧洲规范具有与欧洲国家的国家标准同等的地位,最晚到 2010 年 3 月,与欧洲规范相抵触的国家标准将被废除。这意味着自该日起,欧共体国家的结构设计规范将由欧洲规范取代,下表示出了将被欧洲规范取代的与混凝土结构设计有关的英国标准。欧洲规范的颁布引起了国际上的广泛关注,除欧洲国家外,一些非洲国家的涉外工程项目也指定采用欧洲规范进行设计。

欧洲规范是一套相互配合使用的土木工程结构设计规范,这套规范由下面的具体规范组成(每一规范可能又包括几个部分):

- EN 1990 欧洲规范 0: 结构设计基础
- EN 1991 欧洲规范 1: 结构上的作用
- EN 1992 欧洲规范 2: 混凝土结构设计
- EN 1993 欧洲规范 3: 钢结构设计
- EN 1994 欧洲规范 4: 钢—混凝土组合结构设计
- EN 1995 欧洲规范 5: 木结构设计
- EN 1996 欧洲规范 6: 砌体结构设计
- EN 1997 欧洲规范 7: 土工设计
- EN 1998 欧洲规范 8: 结构抗震设计
- EN 1999 欧洲规范 9: 铝合金结构设计

本书是按照欧洲规范编写的关于混凝土结构设计方法的材料,除主要参考了欧洲规范 EN 1992 外,还涉及 EN 1990、EN 1991、EN 1997 和 EN 1998。

欧洲规范	英国标准	欧洲规范	英国标准
EN 1990	BS 5400-1	EN 1991-1-7	BS 5400-2
EN 1991-1-1	BS 6399-1; BS 678	EN 1991-2	BS 5400-1, 2
EN 1991-1-2		EN 1992-1-1	BS 8110-1, 2, 3; BS 5400-4, 7, 8
EN 1991-1-3	BS 6399-3; BS 5400-2	EN 1992-1-2	
EN 1991-1-4	BS 6399-2; BS 5400-2	EN 1992-2	BS 5400-4, 7, 8
EN 1991-1-5	BS 5400-2	EN 1997-1	BS 8000-1, 2; BS 8004
EN 1991-1-6		EN 1997-2	

自2002年起,本书第一作者分别参加了我国《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—92)、《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158—92)、《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267—98)、《水工混凝土结构设计规范》(DL/T 5057—1996)、《港口桩基设计规范》(JTJ 254—98)、《水运工程抗震设计规范》(JTJ 225—98)等多本国家标准和行业规范的修订工作,结合这些标准和规范的修订及承担的相关国内外规范对比分析专题,对欧洲规范的可靠性与设计基础(EN 1990)、荷载(EN 1991-1-1, EN 1991-1-2, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4)、混凝土结构设计(EN 1992-1-1)、地基与基础(EN 1997-1, EN 1997-2)及抗震(EN 1998-1, EN 1998-8)等方面的内容进行了研究,2007年又承担了国家支撑计划项目子课题“绿色建筑设计与施工标准规范研究-06”,针对我国、美国和欧洲建筑结构的可靠性设计理论、混凝土结构设计、结构抗震等方面的内容进行了对比研究,这些为本书的编写打下了基础。2008年,本书作者受国内多个大型设计院的邀请,进行了关于欧洲规范的讲座和学术交流,本书初稿先是为进行讲座编写的学习材料,考虑到国内设计单位参与国外工程项目的设计日益增多,经进一步补充和充实,形成了本书。由于作者水平有限,对欧洲规范的研究和理解不透彻,肯定会有一些不准确和不完善之处,敬请读者不吝指教。需要说明的是,本书只是帮助读者学习和理解欧洲结构设计规范的资料,不应直接当作设计规范使用。本书写作过程中受到了研究生魏巍巍、李颖、许晶、常莹莹、张娟、王雪婷、杜凤强和冯云芬等同学的帮助,在此向他们表示感谢;受到了我的导师赵国藩院士、我校前校长程耿东院士、现任校长欧进萍院士和土木水利学院院长李宏男教授及中国建筑科学研究院李云贵研究员的支持和鼓励,在此深表谢意。另外,本书还得到了教育部创新团队(No: IRT0518)和国家支撑计划项目第六子课题(2006BAJ01B06—06)的资助,在此也一并表示感谢。

目 录

前言	
第 1 章 结构设计基础	1
1.1 欧洲规范 EN 1990	1
1.2 应用条件和基本假定	1
1.3 基本要求	2
1.4 设计使用年限、基准期和重现期	2
1.4.1 设计使用年限	2
1.4.2 基准期	3
1.4.3 重现期	4
1.5 耐久性设计	4
1.6 设计状况	5
1.7 极限状态	6
1.7.1 承载能力极限状态	6
1.7.2 使用极限状态	7
1.8 作用及作用效应	8
1.8.1 作用及作用效应	8
1.8.2 作用分类	8
1.8.3 作用特征值	9
1.8.4 可变作用的其他代表值	11
1.9 抗力	13
1.10 分项系数设计法	13
1.10.1 设计值	13
1.10.2 荷载组合	16
1.10.3 极限状态校核	24
1.11 可靠性管理	27
1.11.1 可靠性分级	27
1.11.2 设计监督分级	28
1.11.3 施工中的检查	28
第 2 章 结构上的作用	29
2.1 结构构件自重及外加荷载	29
2.1.1 欧洲规范 EN 1991-1-1	29
2.1.2 重度	29
2.1.3 结构构件的自重	31
2.1.4 建筑结构的外加荷载	32
2.1.5 荷载布置和荷载工况	36
2.2 雪荷载	38
2.2.1 欧洲规范 EN 1991-1-3	38
2.2.2 屋面雪荷载计算	38
2.2.3 局部效应	44
2.3 风荷载	45
2.3.1 欧洲规范 EN 1991-1-4	46
2.3.2 风速和风压	46
2.3.3 拟静风压计算	52
2.3.4 风力的确定	56
2.4 偶然作用	65
2.4.1 撞击	65
2.4.2 内部爆炸	66
第 3 章 材料	71
3.1 混凝土	71
3.1.1 抗压强度	71
3.1.2 抗拉强度	72
3.1.3 强度设计值	73
3.1.4 弹性模量	75
3.1.5 泊松比和剪变模量	75
3.1.6 热膨胀系数	76
3.1.7 应力—应变关系	76
3.1.8 约束混凝土	79
3.1.9 不同龄期混凝土的性能	80
3.2 普通钢筋	87
3.2.1 品种、规格和牌号	87
3.2.2 强度	88
3.2.3 延性和强屈比	88
3.2.4 设计强度	89
3.2.5 弹性模量	89

3.2.6 应力—应变关系	89	第6章 构件受弯和受压承载力	151
3.3 预应力筋	90	6.1 基本假定	151
3.3.1 品种	90	6.2 混凝土应力图简化	151
3.3.2 强度	90	6.3 受弯构件承载力计算	153
3.3.3 弹性模量	91	6.3.1 计算方法	153
3.3.4 应力—应变关系	91	6.3.2 构造要求	159
第4章 耐久性	93	6.4 受压构件承载力计算	163
4.1 环境条件分类	93	6.4.1 轴心受压构件	163
4.2 对混凝土材料的要求	95	6.4.2 偏心受压构件	164
4.3 混凝土保护层厚度	97	6.4.3 构造要求	165
4.3.1 混凝土碳化	97	6.5 双向偏心受压构件承载力计算	171
4.3.2 氯离子渗透	98	第7章 构件受剪和受冲切承载力	175
4.3.3 混凝土保护层厚度的确定	98	7.1 受剪承载力	175
第5章 结构分析	104	7.1.1 计算截面	175
5.1 混凝土构件分类	104	7.1.2 无腹筋构件	175
5.2 杆系结构的模型化	105	7.1.3 有腹筋构件	180
5.3 线弹性分析	107	7.1.4 T形梁腹板和翼缘间的剪切	186
5.3.1 基本原则	107	7.1.5 构造要求	187
5.3.2 简化计算	108	7.2 剪切摩擦	196
5.4 有限重分布的线弹性分析	116	7.3 受冲切承载力	198
5.5 塑性分析	121	7.3.1 荷载分布和基本控制周长	198
5.5.1 不直接验算转动能力的条件	122	7.3.2 无抗冲切钢筋的板	200
5.5.2 塑性铰转动能力验算	122	7.3.3 有抗冲切钢筋的板	204
5.6 几何偏差	124	7.3.4 构造要求	205
5.6.1 用倾斜角度描述	124	第8章 构件受扭承载力	210
5.6.2 用偏心距描述	125	8.1 开裂扭矩	210
5.6.3 用横向力描述	125	8.2 纯扭构件的承载力计算	211
5.7 二阶效应	126	8.2.1 简单截面	211
5.7.1 二阶效应的概念	126	8.2.2 复杂截面	212
5.7.2 构件长细比和有效长度	128	8.3 复杂受力构件的承载力计算	213
5.7.3 徐变的影响	129	8.4 构造要求	214
5.7.4 考虑二阶效应的结构分析方法	134	8.4.1 截面控制条件	214
5.7.5 忽略构件二阶效应的准则	140	8.4.2 按构造配筋的条件	214
5.7.6 考虑二阶效应的强度验算	142	8.4.3 抗扭钢筋布置	215
5.8 结构整体的二阶效应	144	第9章 裂缝与变形控制	218
5.8.1 整体二阶效应的计算	144	9.1 换算截面及应力计算	218
5.8.2 忽略整体二阶效应的准则	148	9.1.1 截面开裂前	218
5.9 细长梁的侧向不稳定性	149	9.1.2 截面开裂后	219
		9.2 裂缝控制	220

9.2.1 裂缝控制的最小钢筋面积	220	第 11 章 楼板设计	270
9.2.2 应力限制	223	11.1 单向连续实心板	270
9.2.3 裂缝宽度计算	223	11.1.1 单跨板	271
9.2.4 不直接进行计算裂缝宽度的裂缝 控制	228	11.1.2 连续多跨板	272
9.3 裂缝宽度限值	232	11.2 双向实心板	274
9.4 温度和收缩裂缝控制	232	11.2.1 四边简支板	275
9.5 变形	233	11.2.2 四边固支板	277
9.5.1 短期变形和长期变形	233	11.3 无梁楼盖	279
9.5.2 长期变形的计算	236	11.4 肋形或空心楼板	285
9.6 不需计算变形的变形控制	245	11.5 楼梯板	290
9.7 挠度限值	248	11.5.1 横跨楼梯	290
		11.5.2 纵跨楼梯	291
第 10 章 钢筋构造要求	250	第 12 章 基础和地基承载力	294
10.1 钢筋间距	250	12.1 基础类型	294
10.2 冷弯钢筋的允许弯钩直径	250	12.1.1 简单无筋条形基础	294
10.3 纵向钢筋锚固	251	12.1.2 柱下基础	295
10.3.1 极限粘结应力	251	12.1.3 联合基础和筏式基础	295
10.3.2 基本锚固长度	252	12.1.4 桩基础	295
10.3.3 设计锚固长度	252	12.2 极限状态设计	295
10.4 箍筋的锚固	254	12.3 地基反力	297
10.5 用焊接筋锚固	254	12.3.1 单向弯曲	297
10.6 梁和框架中钢筋的锚固	255	12.3.2 双向弯曲	297
10.6.1 端部支座下部钢筋	255	12.3.3 偏心基础	298
10.6.2 中间支座下部钢筋	258	12.4 柱下基础	300
10.6.3 次梁钢筋	259	12.4.1 受弯	300
10.7 钢筋搭接	259	12.4.2 受剪和受冲切	301
10.7.1 一般原则	260	12.4.3 钢筋锚固	301
10.7.2 搭接长度	260	12.5 条形基础	304
10.7.3 搭接区的横向钢筋	260	12.6 桩基础	307
10.7.4 带肋焊接钢筋网	261	12.6.1 单桩竖向承载力	307
10.7.5 梁与梁节点的钢筋	262	12.6.2 桩侧负摩阻力	314
10.7.6 梁与柱节点的钢筋	263	12.6.3 单桩水平承载力	317
10.8 对粗钢筋的附加规定	264	12.6.4 桩帽设计	317
10.9 钢筋束	265	12.7 地基极限承载力	323
10.9.1 一般原则	265	12.7.1 不排水情况	323
10.9.2 钢筋束的锚固	266	12.7.2 排水情况	323
10.9.3 钢筋束的搭接	266	12.7.3 极限承载力	324
10.10 受弯构件纵向钢筋的弯起和 截断	266	第 13 章 抗震设计	328
10.10.1 纵向钢筋的弯起	266	13.1 性能要求与抗震设计原则	328
10.10.2 纵向钢筋的截断	266	13.1.1 性能要求	328

13.1.2 结构抗震设计与验算	329	措施	351
13.2 场地与反应谱	329	13.6 DCH 的设计	358
13.2.1 场地类别	329	13.6.1 材料要求和几何限制条件	358
13.2.2 地震区划与弹性反应谱	330	13.6.2 设计作用效应	358
13.2.3 设计反应谱	333	13.6.3 极限状态验算和构造措施	359
13.3 结构分析与地震作用	333	13.7 锚固和连接	365
13.3.1 结构分析	333	13.7.1 一般规定	365
13.3.2 地震作用计算方法	334	13.7.2 钢筋锚固	365
13.3.3 侧向力方法	335	13.7.3 钢筋连接	366
13.3.4 振型反应谱分析方法	337		
13.3.5 非线性方法	338	第 14 章 抗连续倒塌设计	372
13.3.6 地震作用分量的作用效应 组合	339	14.1 基本策略	372
13.3.7 位移计算	340	14.1.1 偶然作用能够判明的情况	372
13.4 混凝土结构的抗震设计规定	341	14.1.2 偶然作用不能判明的情况	373
13.4.1 概念设计与结构的规则性	341	14.2 抗连续倒塌设计方法	376
13.4.2 结构抗震性能	344	14.2.1 设置水平拉杆	376
13.4.3 抗震设计一般规定	346	14.2.2 设置竖向拉杆	378
13.4.4 低延性 (DCL) 结构设计	348		
13.5 中等延性 (DCM) 结构设计	348	附录 钢筋面积和周长	379
13.5.1 材料要求和几何限制条件	348		
13.5.2 设计作用效应	349	参考文献	381
13.5.3 极限状态下的验算和构造			

第 1 章 结构设计基础

工程结构是用不同建筑材料建造的各种建筑物和构筑物的统称。工程结构有着与其他人造产物不同的特点,即:建造费用高,小的要耗资千万元,大的要上千亿元;使用周期长,短的要几十年,长的要上百年。作为基础设施,工程结构不仅关系到国计民生,还会影响到一个国家的现代化进程,因此,保证结构在规定的使用期内能够承受设计的各种作用,满足设计要求的各项使用功能,及具有不需过多维护而能保持其自身工作性能的能力是至关重要的,即要保证结构的安全性、适用性和耐久性,这三个方面构成了工程结构可靠性的基本内容。

为保证结构的可靠性,首先要研究建造结构所使用材料的各项力学性能、结构上各种作用的特性,及结构的内力分析方法和结构的破坏机理,除此之外,还要做到精心设计,选取合理的结构布置方案和保证结构具有明确的传力路径;精心施工,严格按照施工规程进行操作;正常使用,按设计要求使用结构并进行正常维护。然而,即便如此,也不能保证结构绝对的安全或可靠,这是因为在结构的设计、建造和使用过程中,还存在着种种影响结构可靠性的不确定性,合理、正常的设计、施工和使用只是保证结构具有一定可靠性的前提和基本条件。具体还要对结构的设计、施工分别进行规范化,形成结构设计、施工标准和规范。而标准和规范的编制要根据科学的原理,建立统一的设计原则,这些构成了结构设计的基础。

1.1 欧洲规范 EN 1990

欧洲规范 EN 1990 是欧洲系列结构规范的第一本规范,该规范建立了所有材料结构设计时有关安全性、适用性和耐久性的原理和要求,为建筑、土木工程的设计和校核提供了基础和基本原则。与同类型的国际标准《结构可靠性总原则》ISO 2394 相比,具有更强的可操作性。EN 1990 的内容包括结构设计的安全等级,结构极限状态、设计状况、目标可靠指标,作用的分类、统计特性、代表值、效应组合,材料与岩土性能和结构几何参数的统计参数、特征值,结构分析与试验,极限状态设计表达式、分项系数,质量管理和控制等方面,是使用其他欧洲规范 EN 1991~EN 1999 必须参考和遵守的。

1.2 应用条件和基本假定

使用欧洲规范时要符合 EN 1990 规定的应用条件和基本假定,当不能满足这些要求的条件时,则不能保证使用者达到预期的目标。

欧洲规范《结构设计基础》(EN 1990: 2002)对结构设计、施工和使用的规定非常明确,具体如下:

- (1) 由具有相关资格和经验的人员选择结构体系和进行结构设计;
- (2) 由具有技能和经验的人员进行施工;
- (3) 在工程实施过程中,进行了适当的监督和质量控制,如在设计事务所、预制厂、车间和现场;
- (4) 使用欧洲规范 EN 1990 或 EN 1991~EN 1999 以及相关施工标准或参考材料和制品规程中规定的建筑材料和制品;
- (5) 对结构进行适当的维护;
- (6) 在设计规定的条件下使用结构。

1.3 基本要求

基本要求是指按规范进行设计时应达到的要求,根据不同的要求需采用不同的设计方法。欧洲规范的基本要求包括 4 个方面:

- (1) 能够承受施工和使用过程中可能出现的各种作用和影响;
- (2) 使用过程中具有良好的使用性能;
- (3) 正常维护下具有足够的耐久性能;
- (4) 在预计的偶然事件发生时及发生后(爆炸、撞击和人因差错)仍能保持必需的整体稳定性,不会出现与起因不相称的破坏。

除此之外,欧洲规范还对结构的抗火性提出了要求,要求当发生火灾时,在规定的时间内结构保持适当的承载力。

欧洲规范还提出了满足上述基本要求的具体措施:

- (1) 避免、消除或减少结构可能经受的危险;
- (2) 选择对考虑的危险反应不敏感的结构形式;
- (3) 选择的结构形式和设计应使当单个构件或结构的有限部分意外移除后,结构能够保存下来,或出现可接受的局部损坏;
- (4) 尽可能避免采用无破坏预兆的结构体系;
- (5) 保持结构的整体性。

1.4 设计使用年限、基准期和重现期

设计使用年限 (design working life)、基准期 (reference period) 和重现期 (return period) 是目前结构设计中常用到的三个关于时间的概念。图 1-1 示出了三个时间概念的区别。

1.4.1 设计使用年限

设计使用年限是指设计规定的结构或结构构件不需要进行大修即可按其预定目的使用

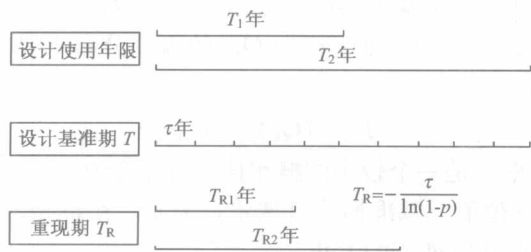


图 1-1 结构设计中的三个概念

的时间段。它不是一个固定值，各类工程结构的设计使用年限不是统一的，与结构的用途和重要性有关。设计使用年限长短对结构设计的影响可从两个方面考虑。

(1) 荷载方面：设计使用年限越长，结构使用中出现“大”荷载的可能性越大，所以，设计中应提高荷载设计值，以保证结构的安全；相反，设计使用年限越短，结构使用中出现“大”荷载的可能性越小，设计中可降低荷载设计值，以使设计经济；

(2) 耐久性方面：设计使用年限越长，对结构材料性能、设计、施工和养护的要求越高，初期建造费用和养护费用就越大。所以，耐久性是决定结构设计使用年限的主要因素。欧洲规范规定的不同结构的设计使用年限如表 1-1 所示。

EN 1990 规定的结构设计使用年限 表 1-1

类别	设计使用年限 (a)	示 例
1	10	临时性结构
2	10~15	可替换的结构构件，如门式大梁，支撑
3	15~30	农用及类似的结构
4	50	房屋建筑及其他普通结构
5	100	纪念性建筑、桥梁和其他的土木工程结构

1.4.2 基准期

在欧洲规范的定义中，基准期是一个时间段，根据荷载特性和设计需要可采用不同的值。基准期可用于定义荷载的特征值，图 1-2 所示为可变荷载 Q 随时间的变化历程，其中

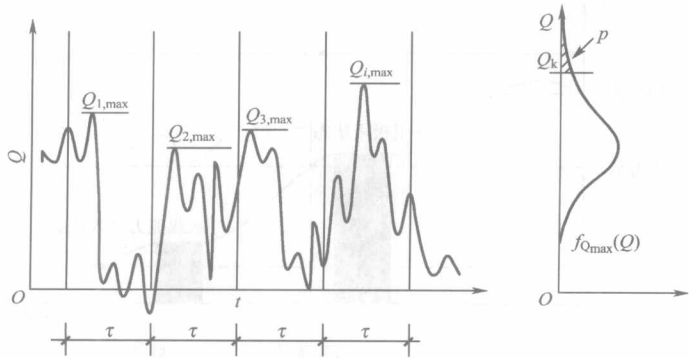


图 1-2 基准期及可变荷载特征值

的时间段 τ 为基准期，在每一个基准期内都会达到一个极值 $Q_{\max}$ ，这样可得到一个极值荷载序列 $Q_{1,\max}$ 、 $Q_{2,\max}$ 、 $Q_{3,\max}$ 、 $\dots$ 。如果已知 $Q_{\max}$ 的概率分布 $F_{Q_{\max}}(Q)$ ，则可根据下式定义可变荷载 Q 的特征值 Q_k ：

$$F_{Q_{\max}}(Q_k) = 1 - p \quad (1-1)$$

其中 p 为荷载的超越概率，是一个较小的概率值（如小于 0.1）。特征值 Q_k 也称为基准期 τ 内荷载概率分布的 p 分位值。基准期一旦选定，应是一个固定的值，基准期的长短与所取的分位值决定了可变荷载特征值的大小。

1.4.3 重现期

重现期俗称“若干年一遇”，从统计上讲，是某一量值的事件出现或发生的平均时间间隔。在工程结构设计中，可用来定义自然荷载的特征值。根据重现期 T_R 的这一定义，荷载超越特征值 Q_k 的概率为

$$F_{Q_{\max}}(Q_k) = 1 - \frac{1}{T_R} \quad (1-2)$$

重现期 T_R 与基准期 τ 都是根据作用的概率分布确定作用特征值的时间参数，但表达方式不同，两者具有下面的关系：

$$T_R = -\frac{\tau}{\ln(1-p)} \quad (1-3)$$

例如，荷载的超越概率为 $p=0.02$ ，基准期 $\tau=1a$ ，则根据上式，荷载特征值的重现期为：

$$T_R = -\frac{1}{\ln(1-0.02)} = 50a$$

1.5 耐久性设计

耐久性是结构可靠性的一个重要方面。耐久性问题是结构外部环境对结构材料的物理、化学、生物作用或结构材料内部的相互作用引起的结构性能劣化，这种过程一般是缓慢的，其最终结果是影响结构的使用性和安全性（图 1-3）。耐久性病害与结构的使用环境有关。对于混凝土结构，耐久性病害形式多样，如裂缝、钢筋锈蚀、化学侵蚀、渗漏和溶蚀、冻融破坏、碱-骨料反应等，其中比较典型的是混凝土中钢筋的腐蚀。

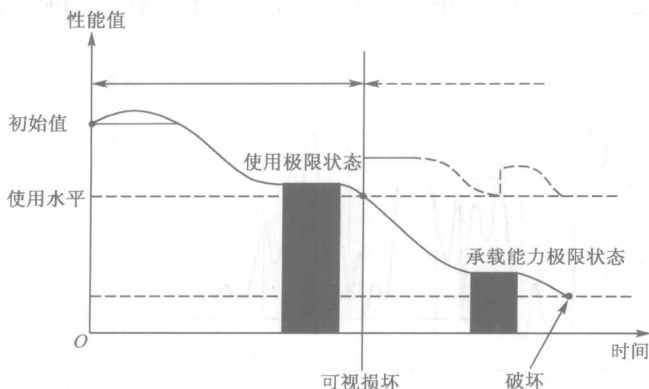


图 1-3 结构性能随时间的变化

欧洲规范对耐久性设计的规定较详细,除了考虑对结构的正常维护之外,还考虑了环境条件、制作质量和控制水平、结构体系的选择等对结构性能的影响,需要具体考虑以下因素:

- (1) 预期或可预见的使用;
- (2) 要求的设计准则;
- (3) 预期的环境条件;
- (4) 材料和制品的组成、特性和性能;
- (5) 结构体系的选择;
- (6) 构件形状和结构细部构造;
- (7) 制作质量和控制水平;
- (8) 特殊的防护措施;
- (9) 设计使用年限内要进行的维护。

欧洲规范要求在设计阶段就对环境状况进行评估,并做出保护结构所使用材料的规定。劣化程度可以通过计算、试验研究、以往的工程经验或在综合分析的基础上估计。

1.6 设计状况

设计状况表示在一特定时间段内出现的一组真实情况的物理条件,设计时必须验证在该时间段内不会超过相关的极限状态。根据不同种类的作用及其对结构的影响和结构所处的环境条件,EN 1990 将设计状况分为持久状况、短暂状况、偶然状况和地震状况。

(1) 持久设计状况。时间段与结构设计使用年限同一数量级的设计状况,一般指正常使用状况。

(2) 短暂设计状况。时间段比结构设计使用年限短得多且出现概率很高的设计状况。短暂设计状况指结构使用或暴露的暂时状况,如施工或维护期间的状况。

(3) 偶然设计状况。结构或构件暴露于异常条件下的设计状况,例如火灾、爆炸、撞击或局部失效。

(4) 地震设计状况。地震发生时,结构在这一意外事件下的设计状况。

图 1-4 为一个简单的民用建筑设计需要考虑的各种状况。

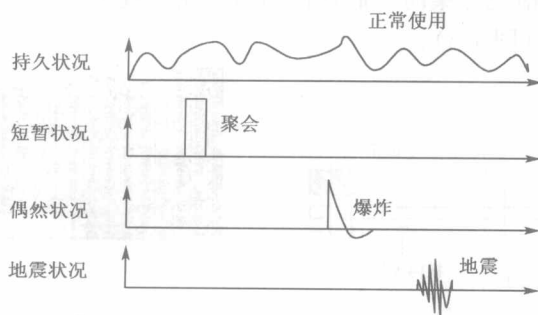


图 1-4 结构设计中要考虑的设计状况

1.7 极限状态

进行土木工程结构的安全性评估,必须检查结构的各种性能及失效或不能正常使用的各种可能性。所谓极限状态,就是结构可能出现的临界状态。

具体来讲,极限状态定义为:一个结构(整体或结构的某一部分)超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能的要求,此特定状态为该功能的极限状态。极限状态分为承载能力极限状态和使用极限状态。

1.7.1 承载能力极限状态

承载能力极限状态是结构达到极限承载力的状态。可能危及人身安全、结构安全或有潜在危险的各种情况都认为是达到了极限状态。具体来讲,当出现下列状态之一时,即认为已经达到了承载能力极限状态:

- (1) 结构整体或结构的一部分作为刚体失去平衡;
- (2) 受荷结构(或其主要部分)转变为机动体系而倒塌;
- (3) 结构构件丧失稳定(包括结构的整体失稳和局部失稳)。

承载能力极限状态也包含结构构件的粘结滑移破坏,在地震作用下由于缺乏延性(能量耗散)而导致的破坏,以及由于火灾、爆炸或撞击等突发事件使结构发生的破坏。

结构是否安全取决于结构所处的状态,承载能力极限状态主要研究作用引起的效应是否小于结构的抗力。EN 1990 将承载能力极限状态分为四类,每一类用三个英文字母的缩写表示。

静力平衡极限状态(EQU)。整个结构或结构的一部分作为刚体失去静态平衡。在这种情况下,材料的抗力一般不是主要因素,而集中作用或分布作用的几何变化才是至关重要的。一旦超出极限状态的限值,结构就会倒塌。对于不稳定作用(对结构平衡产生不利影响),设计中应采用较高的设计值以考虑其影响,而稳定作用(对结构平衡产生有利影响)应采用较低的设计值。稳定作用是结构中预期会发生的作用(例如,在施工阶段,需计算已完成的附属结构或安装的设备),应考虑各种作用组合。此外,还要慎重考虑非结构构件被替换或移除的可能性。

在结构使用过程中,达到 EQU 极限状态的情况很少,通常发生在结构的施工阶段。例如,在桥面板上安装滑曳导梁时,需在桥面另一端设置平衡重(图 1-5);挡土墙的倾覆也属于 EQU 极限状态(图 1-6)。

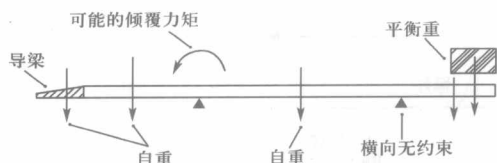


图 1-5 有滑曳导梁的桥梁施工

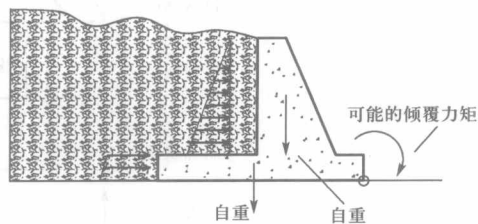


图 1-6 挡土墙的倾覆