

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2015 年工程建设标准规范制订、修订计划(第一批)〉的通知》(建标[2014]189 号)的要求,标准编制组经过广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订了本标准。

本标准的主要技术内容是:1. 总则;2. 术语和符号;3. 基本规定;4. 极限状态设计原则;5. 结构上的作用和环境影响;6. 材料和岩土的性能及几何参数;7. 结构分析和试验辅助设计;8. 分项系数设计方法。

本标准修订的主要技术内容是:1. 与《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153-2008 进行了全面协调;2. 调整了建筑结构安全度的设置水平,提高了相关作用分项系数的取值,并对作用的基本组合,取消了原标准当永久荷载效应为主时起控制作用的组合式;3. 增加了地震设计状况,并对建筑结构抗震设计,引入了“小震不坏、中震可修、大震不倒”设计理念;4. 完善了既有结构可靠性评定的规定;5. 新增了结构整体稳固性设计的相关规定;6. 新增了结构耐久性极限状态设计的相关规定等。

本标准中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本标准由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送中国建筑科学研究院有限公司(地址:北京市北三环东路 30 号;邮政编码:100013)。

本标准主编单位:中国建筑科学研究院有限公司

本标准参编单位:中国建筑东北设计研究院有限公司

重庆大学
中南建筑设计院股份有限公司
中国建筑西南设计研究院有限公司
大连理工大学
浙江大学
国家建筑工程质量监督检验中心

本标准主要起草人员：史志华 肖从真 陈 凯 朱爱萍
刘 斌 戴国欣 徐厚军 杨学兵
贡金鑫 金伟良 滕延京 罗开海
邸小坛 白生翔
本标准主要审查人员：娄 宇 刘西拉 张同亿 刘琼祥
郑文忠 吴 体 王立军 李元齐
张新培 薛慧立

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	9
3	基本规定	11
3.1	基本要求	11
3.2	安全等级和可靠度	12
3.3	设计使用年限和耐久性	13
3.4	可靠性管理	13
4	极限状态设计原则	15
4.1	极限状态	15
4.2	设计状况	16
4.3	极限状态设计	16
5	结构上的作用和环境的影响	18
5.1	一般规定	18
5.2	结构上的作用	18
5.3	环境的影响	20
6	材料和岩土的性能及几何参数	21
6.1	材料和岩土的性能	21
6.2	几何参数	22
7	结构分析和试验辅助设计	23
7.1	一般规定	23
7.2	结构模型	23
7.3	作用模型	23
7.4	分析方法	24

7.5 试验辅助设计	24
8 分项系数设计方法	25
8.1 一般规定	25
8.2 承载能力极限状态	26
8.3 正常使用极限状态	30
附录 A 既有结构的可靠性评定	32
附录 B 结构整体稳固性	38
附录 C 耐久性极限状态设计	41
附录 D 质量管理	46
附录 E 结构可靠度分析基础和可靠度设计方法	48
附录 F 试验辅助设计	55
本标准用词说明	59
引用标准名录	60

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	9
3	Basic Requirements	11
3.1	Basic Principles	11
3.2	Class of Safety and Reliability	12
3.3	Design Working Life and Durability	13
3.4	Reliability Management	13
4	Principles of Limit States Design	15
4.1	Limit States	15
4.2	Design Situations	16
4.3	Limit State Design	16
5	Actions on Structures and Environmental Influences	18
5.1	General Requirements	18
5.2	Actions on Structures	18
5.3	Environmental Influences	20
6	Properties of Materials, Geotechnics and Geometrical Quantities	21
6.1	Properties and Geotechnics of Materials	21
6.2	Geometrical Quantities	22
7	Structural Analysis and Design Assisted by Testing	23
7.1	General Requirements	23
7.2	Structural Modelling	23
7.3	Actions Modelling	23

7.4	Method of Structural Analysis	24
7.5	Design Assisted by Testing	24
8	Method of Partial Factors Design	25
8.1	General Requirements	25
8.2	Ultimate Limit States	26
8.3	Serviceability Limit States	30
Appendix A	Assessment of Existing Structures	32
Appendix B	Structural Integrity	38
Appendix C	Design of Durability Limit States	41
Appendix D	Quality Management	46
Appendix E	Basis for Reliability and Method of Structural Reliability Design	48
Appendix F	Design Assisted by Testing	55
	Explanation of Wording in This Standard	59
	List of Quoted Standards	60

1 总 则

1.0.1 为统一各种材料的建筑结构可靠性设计的基本原则、基本要求和基本方法，使结构符合可持续发展的要求，并符合安全可靠、经济合理、技术先进、确保质量的要求，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于整个结构、组成结构的构件以及地基基础的设计；适用于结构施工阶段和使用阶段的设计；适用于既有结构的可靠性评定。既有结构的可靠性评定，可根据本标准附录 A 的规定进行。

1.0.3 本标准依据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的原则制定，是建筑结构可靠性设计的基本要求。

1.0.4 建筑结构设计宜采用以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法；当缺乏统计资料时，建筑结构设计可根据可靠的工程经验或必要的试验研究进行，也可采用容许应力或单一安全系数等经验方法进行。

1.0.5 制定建筑结构荷载标准、各种材料的结构设计标准以及其他相关标准时，应符合本标准规定的基本准则，并应制定相应的具体规定。

1.0.6 建筑结构设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 结构 structure

能承受作用并具有适当刚度的由各连接部件有机组合而成的系统。

2.1.2 结构构件 structural member

结构在物理上可以区分出的部件。

2.1.3 结构体系 structural system

结构中的所有承重构件及其共同工作的方式。

2.1.4 结构模型 structural model

用于结构分析、设计等的理想化的结构体系。

2.1.5 设计使用年限 design service life

设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按预定目的使用的年限。

2.1.6 设计状况 design situations

表征一定时段内实际情况的一组设计条件，设计应做到在该组条件下结构不超越有关的极限状态。

2.1.7 持久设计状况 persistent design situation

在结构使用过程中一定出现，且持续期很长的设计状况，其持续期一般与设计使用年限为同一数量级。

2.1.8 短暂设计状况 transient design situation

在结构施工和使用过程中出现概率较大，而与设计使用年限相比，其持续期很短的设计状况。

2.1.9 偶然设计状况 accidental design situation

在结构使用过程中出现概率很小，且持续期很短的设计状况。

2.1.10 地震设计状况 seismic design situation

结构遭受地震时的设计状况。

2.1.11 荷载布置 load arrangement

在结构设计中,对自由作用的位置、大小和方向的合理确定。

2.1.12 荷载工况 load case

为特定的验证目的,一组同时考虑的固定可变作用、永久作用、自由作用的某种相容的荷载布置以及变形和几何偏差。

2.1.13 极限状态 limit states

整个结构或结构的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要求,此特定状态为该功能的极限状态。

2.1.14 承载能力极限状态 ultimate limit states

对应于结构或结构构件达到最大承载力或不适于继续承载的变形的状态。

2.1.15 正常使用极限状态 serviceability limit states

对应于结构或结构构件达到正常使用的某项规定限值的状态。

2.1.16 不可逆正常使用极限状态 irreversible serviceability limit states

当产生超越正常使用要求的作用卸除后,该作用产生的后果不可恢复的正常使用极限状态。

2.1.17 可逆正常使用极限状态 reversible serviceability limit states

当产生超越正常使用要求的作用卸除后,该作用产生的后果可以恢复的正常使用极限状态。

2.1.18 耐久性极限状态 durability limit states

对应于结构或结构构件在环境影响下出现的劣化达到耐久性能的某项规定限值或标志的状态。

2.1.19 抗力 resistance

结构或结构构件承受作用效应和环境影响的能力。

2.1.20 结构整体稳固性 structural integrity; structural ro-

bustness

当发生火灾、爆炸、撞击或人为错误等偶然事件时，结构整体能保持稳固且不出现与起因不相称的破坏后果的能力。

2.1.21 关键构件 key member; key element

结构承载能力极限状态性能所依赖的结构构件。

2.1.22 连续倒塌 progressive collapse

初始的局部破坏，从构件到构件扩展，最终导致整个结构倒塌或与起因不相称的一部分结构倒塌。

2.1.23 可靠性 reliability

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。

2.1.24 可靠度 degree of reliability; reliability

结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率。

2.1.25 失效概率 p_f probability of failure p_f

结构不能完成预定功能的概率。

2.1.26 可靠指标 β reliability index β

度量结构可靠度的数值指标，可靠指标 β 为失效概率 p_f 负的标准正态分布函数的反函数。

2.1.27 基本变量 basic variable

代表物理量的一组规定的变量，用于表示作用和环境的影响、材料和岩土的性能以及几何参数的特征。

2.1.28 功能函数 performance function

关于基本变量的函数，该函数表征一种结构功能。

2.1.29 概率分布 probability distribution

随机变量取值的统计规律，一般采用概率密度函数或概率分布函数表示。

2.1.30 统计参数 statistical parameter

在概率分布中用来表示随机变量取值的平均水平和离散程度的数字特征。

2.1.31 分位值 fractile

与随机变量概率分布函数的某一概率相应的值。

2.1.32 名义值 nominal value

用非统计方法确定的值。

2.1.33 极限状态法 limit state method

不使结构超越某种规定的极限状态的设计方法。

2.1.34 容许应力法 permissible stress method, allowable stress method

使结构或地基在作用标准值下产生的应力不超过规定的容许应力的设计方法。

2.1.35 单一安全系数法 single safety factor method

使结构或地基的抗力标准值与作用标准值的效应之比不低于某一规定安全系数的设计方法。

2.1.36 作用 action

施加在结构上的集中力或分布力和引起结构外加变形或约束变形的原因。前者为直接作用，也称为荷载；后者为间接作用。

2.1.37 外加变形 imposed deformations

结构在地震、不均匀沉降等因素作用下，边界条件发生变化而产生的位移和变形。

2.1.38 约束变形 constrained deformations

结构在温度变化、湿度变化及混凝土收缩等因素作用下，由于存在外部约束而产生的内部变形。

2.1.39 作用效应 effect of action

由作用引起的结构或结构构件的反应。

2.1.40 单个作用 single action

可认为与结构上的任何其他作用之间在时间和空间上为统计独立的作用。

2.1.41 永久作用 permanent action

在设计使用年限内始终存在且其量值变化与平均值相比可以忽略不计的作用；或其变化是单调的并趋于某个限值的作用。

2.1.42 可变作用 variable action

在设计使用年限内其量值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略不计的作用。

2.1.43 偶然作用 accidental action

在设计使用年限内不一定出现,而一旦出现其量值很大,且持续期很短的作用。

2.1.44 地震作用 seismic action

地震动对结构所产生的作用。

2.1.45 土工作用 geotechnical action

由岩土、填方或地下水传递到结构上的作用。

2.1.46 固定作用 fixed action

在结构上具有固定空间分布的作用。当固定作用在结构某一点上的大小和方向确定后,该作用在整个结构上的作用即得以确定。

2.1.47 自由作用 free action

在结构上给定的范围内具有任意空间分布的作用。

2.1.48 静态作用 static action

使结构产生的加速度可以忽略不计的作用。

2.1.49 动态作用 dynamic action

使结构产生的加速度不可忽略不计的作用。

2.1.50 有界作用 bounded action

具有不能被超越的且可确切或近似掌握界限值的作用。

2.1.51 无界作用 unbounded action

没有明确界限值的作用。

2.1.52 作用的标准值 characteristic value of an action

作用的主要代表值。可根据对观测数据的统计、作用的自然界限或工程经验确定。

2.1.53 设计基准期 design reference period

为确定可变作用等取值而选用的时间参数。

2.1.54 可变作用的组合值 combination value of a variable action

使组合后的作用效应的超越概率与该作用单独出现时其标准值作用效应的超越概率趋于一致的作用值；或组合后使结构具有规定可靠指标的作用值。可通过组合值系数对作用标准值的折减来表示。

2.1.55 可变作用的频遇值 frequent value of a variable action

在设计基准期内被超越的总时间占设计基准期的比率较小的作用值；或被超越的频率限制在规定频率内的作用值。可通过频遇值系数对作用标准值的折减来表示。

2.1.56 可变作用的准永久值 quasi-permanent value of a variable action

在设计基准期内被超越的总时间占设计基准期的比率较大的作用值。可通过准永久值系数对作用标准值的折减来表示。

2.1.57 可变作用的伴随值 accompanying value of a variable action

在作用组合中，伴随主导作用的可变作用值。可变作用的伴随值可以是组合值、频遇值或准永久值。

2.1.58 作用的代表值 representative value of an action

极限状态设计所采用的作用值。它可以是作用的标准值或可变作用的伴随值。

2.1.59 作用的设计值 design value of an action

作用的代表值与作用分项系数的乘积。

2.1.60 作用组合 combination of actions；**荷载组合** load combination

在不同作用的同时影响下，为验证某一极限状态的结构可靠度而采用的一组作用设计值。

2.1.61 环境影响 environmental influence

环境对结构产生的各种机械的、物理的、化学的或生物的不利影响。环境影响会引起结构材料性能的劣化，降低结构的安全性或适用性，影响结构的耐久性。

2.1.62 材料性能的标准值 characteristic value of a material property

符合规定质量的材料性能概率分布的某一分位值或材料性能的名义值。

2.1.63 材料性能的设计值 design value of a material property
材料性能的标准值除以材料性能分项系数所得的值。

2.1.64 几何参数的标准值 characteristic value of a geometrical parameter

设计规定的几何参数公称值或几何参数概率分布的某一分位值。

2.1.65 几何参数的设计值 design value of a geometrical parameter

几何参数的标准值增加或减少一个几何参数的附加量所得的值。

2.1.66 结构分析 structural analysis

确定结构上作用效应的过程或方法。

2.1.67 一阶线弹性分析 first order linear-elastic analysis

基于线性应力-应变或弯矩-曲率关系，采用弹性理论分析方法对初始结构几何形体进行的结构分析。

2.1.68 二阶线弹性分析 second order linear-elastic analysis

基于线性应力-应变或弯矩-曲率关系，采用弹性理论分析方法对已变形结构几何形体进行的结构分析。

2.1.69 有重分布的一阶或二阶线弹性分析 first order or second order linear-elastic analysis with redistribution

结构设计中对内力进行调整的一阶或二阶线弹性分析，与给定的外部作用协调，不做明确的转动能力计算的结构分析。

2.1.70 一阶非线性分析 first order non-linear analysis

基于材料非线性变形特性对初始结构的几何形体进行的结构分析。

2.1.71 二阶非线性分析 second order non-linear analysis

基于材料非线性变形特性对已变形结构几何形体进行的结构分析。

2.1.72 一阶或二阶弹塑性分析 first order or second elasto-plastic analysis

基于线弹性阶段和随后的无硬化阶段构成的弯矩-曲率关系的结构分析。

2.1.73 刚性-塑性分析 rigid plastic analysis

假定弯矩-曲率关系为无弹性变形和无硬化阶段，采用极限分析理论对初始结构的几何形体进行的直接确定其极限承载力的结构分析。

2.1.74 既有结构 existing structure

已经存在的各类建筑结构。

2.1.75 评估使用年限 assessed working life

可靠性评定所预估的既有结构在规定条件下的使用年限。

2.1.76 荷载检验 load testing

通过施加荷载评定结构或结构构件的性能或预测其承载力的试验。

2.2 符 号

2.2.1 大写拉丁字母：

A_d ——偶然作用的设计值；

C ——设计对变形、裂缝等规定的相应限值；

F_d ——作用的设计值；

F_r ——作用的代表值；

G_k ——永久作用的标准值；

P ——预应力作用的有关代表值；

Q_k ——可变作用的标准值；

R_d ——结构或结构构件抗力的设计值；

S ——结构或结构构件的作用效应；

S_{A_d} ——偶然作用设计值的效应；

S_d ——作用组合的效应设计值；

$S_{d,dst}$ ——不平衡作用效应的设计值；

- $S_{d, stb}$ ——平衡作用效应的设计值;
- S_{G_k} ——永久作用标准值的效应;
- S_P ——预应力作用有关代表值的效应;
- S_{Q_k} ——可变作用标准值的效应;
- T ——设计基准期;
- X ——基本变量。

2.2.2 小写拉丁字母:

- a_d ——几何参数的设计值;
- a_k ——几何参数的标准值;
- f_d ——材料性能的设计值;
- f_k ——材料性能的标准值;
- p_f ——结构构件失效概率的运算值。

2.2.3 大写希腊字母:

- Δ_a ——几何参数的附加量。

2.2.4 小写希腊字母:

- β ——结构构件的可靠指标;
- γ_0 ——结构重要性系数;
- γ_F ——作用的分项系数;
- γ_G ——永久作用的分项系数;
- γ_L ——考虑结构设计使用年限的荷载调整系数;
- γ_M ——材料性能的分项系数;
- γ_Q ——可变作用的分项系数;
- γ_P ——预应力作用的分项系数;
- ψ_c ——作用的组合值系数;
- ψ_f ——作用的频遇值系数;
- ψ_q ——作用的准永久值系数。

3 基本规定

3.1 基本要求

3.1.1 结构的设计、施工和维护应使结构在规定的设计使用年限内以规定的可靠度满足规定的各项功能要求。

3.1.2 结构应满足下列功能要求：

- 1 能承受在施工和使用期间可能出现的各种作用；
- 2 保持良好的使用性能；
- 3 具有足够的耐久性能；
- 4 当发生火灾时，在规定的时间内可保持足够的承载力；
- 5 当发生爆炸、撞击、人为错误等偶然事件时，结构能保持必要的整体稳固性，不出现与起因不相称的破坏后果，防止出现结构的连续倒塌；结构的整体稳固性设计，可根据本标准附录B的规定进行。

3.1.3 结构设计时，应根据下列要求采取适当的措施，使结构不出现或少出现可能的损坏：

- 1 避免、消除或减少结构可能受到的危害；
- 2 采用对可能受到的危害反应不敏感的结构类型；
- 3 采用当单个构件或结构的有限部分被意外移除或结构出现可接受的局部损坏时，结构的其他部分仍能保存的结构类型；
- 4 不宜采用无破坏预兆的结构体系；
- 5 使结构具有整体稳固性。

3.1.4 宜采取下列措施满足对结构的基本要求：

- 1 采用适当的材料；
- 2 采用合理的设计和构造；
- 3 对结构的设计、制作、施工和使用等制定相应的控制措施。

3.2 安全等级和可靠度

3.2.1 建筑结构设计时,应根据结构破坏可能产生的后果,即危及人的生命、造成经济损失、对社会或环境产生影响等的严重性,采用不同的安全等级。建筑结构安全等级的划分应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 建筑结构的安全等级

安全等级	破坏后果
一级	很严重:对人的生命、经济、社会或环境影响很大
二级	严重:对人的生命、经济、社会或环境影响较大
三级	不严重:对人的生命、经济、社会或环境影响较小

3.2.2 建筑结构中各类结构构件的安全等级,宜与结构的安全等级相同,对其中部分结构构件的安全等级可进行调整,但不得低于三级。

3.2.3 可靠度水平的设置应根据结构构件的安全等级、失效模式和经济因素等确定。对结构的安全性、适用性和耐久性可采用不同的可靠度水平。

3.2.4 当有充分的统计数据时,结构构件的可靠度宜采用可靠指标 β 度量。结构构件设计时采用的可靠指标,可根据对现有结构构件的可靠度分析,并结合使用经验和经济因素等确定。

3.2.5 各类结构构件的安全等级每相差一级,其可靠指标的取值宜相差 0.5。

3.2.6 结构构件持久设计状况承载能力极限状态设计的可靠指标,不应小于表 3.2.6 的规定。

表 3.2.6 结构构件的可靠指标 β

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

3.2.7 结构构件持久设计状况正常使用极限状态设计的可靠指标，宜根据其可逆程度取 0~1.5。

3.2.8 结构构件持久设计状况耐久性极限状态设计的可靠指标，宜根据其可逆程度取 1.0~2.0。

3.3 设计使用年限和耐久性

3.3.1 建筑结构的设计基准期应为 50 年。

3.3.2 建筑结构设计时，应规定结构的设计使用年限。

3.3.3 建筑结构的设计使用年限，应按表 3.3.3 采用。

表 3.3.3 建筑结构的设计使用年限

类别	设计使用年限（年）
临时性建筑结构	5
易于替换的结构构件	25
普通房屋和构筑物	50
标志性建筑和特别重要的建筑结构	100

3.3.4 建筑结构设计时应对环境的影响进行评估，当结构所处的环境对其耐久性有较大影响时，应根据不同的环境类别采用相应的结构材料、设计构造、防护措施、施工质量要求等，并应制定结构在使用期间的定期检修和维护制度，使结构在设计使用年限内不致因材料的劣化而影响其安全或正常使用。

3.3.5 环境对结构耐久性的影响，可通过工程经验、试验研究、计算、检验或综合分析等方法进行评估；耐久性极限状态设计可根据本标准附录 C 的规定进行。

3.3.6 环境类别的划分和相应的设计、施工、使用及维护的要求等，应符合国家现行有关标准的规定。

3.4 可靠性管理

3.4.1 为保证建筑结构具有规定的可靠性水平，除应进行设计计算外，还应对结构的材料性能、施工质量、使用和维护进行相

应的控制。控制的具体措施，应符合本标准附录 D 和有关的勘察、设计、施工及维护等标准的专门规定。

3.4.2 建筑结构的设计必须由具有相应资格的技术人员承担。

3.4.3 建筑结构的设计应符合国家现行的有关荷载、抗震、地基基础和各种材料结构设计标准的规定。

3.4.4 建筑结构的设计应对结构可能受到的偶然作用、环境影响等采取必要的防护措施。

3.4.5 对建筑结构所采用的材料及施工、制作过程应进行质量控制，并按国家现行有关标准的规定进行验收。

3.4.6 建筑结构应按设计规定的用途使用，并应定期检查结构状况，进行必要的维护和维修；当需变更使用用途时，应进行设计复核并采取相应的技术措施。

4 极限状态设计原则

4.1 极限状态

4.1.1 极限状态可分为承载能力极限状态、正常使用极限状态和耐久性极限状态。极限状态应符合下列规定：

1 当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认定为超过了承载能力极限状态：

- 1) 结构构件或连接因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承载；
- 2) 整个结构或其一部分作为刚体失去平衡；
- 3) 结构转变为机动体系；
- 4) 结构或结构构件丧失稳定；
- 5) 结构因局部破坏而发生连续倒塌；
- 6) 地基丧失承载力而破坏；
- 7) 结构或结构构件的疲劳破坏。

2 当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认定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；
- 2) 影响正常使用的局部损坏；
- 3) 影响正常使用的振动；
- 4) 影响正常使用的其他特定状态。

3 当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认定为超过了耐久性极限状态：

- 1) 影响承载能力和正常使用的材料性能劣化；
- 2) 影响耐久性能的裂缝、变形、缺口、外观、材料削弱等；
- 3) 影响耐久性能的其他特定状态。

4.1.2 对结构的各种极限状态，均应规定明确的标志或限值。

4.1.3 结构设计时应按结构的不同的极限状态分别进行计算或验算；当某一极限状态的计算或验算起控制作用时，可仅对该极限状态进行计算或验算。

4.2 设计状况

4.2.1 建筑结构设计应区分下列设计状况：

- 1 持久设计状况，适用于结构使用时的正常情况；
- 2 短暂设计状况，适用于结构出现的临时情况，包括结构施工和维修时的情况等；
- 3 偶然设计状况，适用于结构出现的异常情况，包括结构遭受火灾、爆炸、撞击时的情况等；
- 4 地震设计状况，适用于结构遭受地震时的情况。

4.2.2 对不同的设计状况，应采用相应的结构体系、可靠度水平、基本变量和作用组合等进行建筑结构可靠性设计。

4.3 极限状态设计

4.3.1 对本标准第 4.2.1 条规定的四种建筑结构设计状况，应分别进行下列极限状态设计：

- 1 对四种设计状况均应进行承载能力极限状态设计；
- 2 对持久设计状况尚应进行正常使用极限状态设计，并宜进行耐久性极限状态设计；
- 3 对短暂设计状况和地震设计状况可根据需要进行正常使用极限状态设计；
- 4 对偶然设计状况可不进行正常使用极限状态和耐久性极限状态设计。

4.3.2 进行承载能力极限状态设计时，应根据不同的设计状况采用下列作用组合：

- 1 对于持久设计状况或短暂设计状况，应采用作用的基本组合；

2 对于偶然设计状况,应采用作用的偶然组合;

3 对于地震设计状况,应采用作用的地震组合。

4.3.3 进行正常使用极限状态设计时,宜采用下列作用组合:

1 对于不可逆正常使用极限状态设计,宜采用作用的标准组合;

2 对于可逆正常使用极限状态设计,宜采用作用的频遇组合;

3 对于长期效应是决定性因素的正常使用极限状态设计,宜采用作用的准永久组合。

4.3.4 对每一种作用组合,建筑结构的设计均应采用其最不利的效应设计值进行。

4.3.5 结构的极限状态可采用下列极限状态方程描述:

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad (4.3.5)$$

式中: $g(\cdot)$ ——结构的功能函数;

$X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ——基本变量,指结构上的各种作用和环境
影响、材料和岩土的性能及几何参数
等;在进行可靠度分析时,基本变量应
作为随机变量。

4.3.6 结构按极限状态设计应符合下列规定:

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0 \quad (4.3.6)$$

4.3.7 当采用结构的作用效应和结构的抗力作为综合基本变量时,结构按极限状态设计应符合下列规定:

$$R - S \geq 0 \quad (4.3.7)$$

式中: R ——结构的抗力;

S ——结构的作用效应。

4.3.8 结构构件的设计应以规定的可靠度满足本标准第 4.3.6 或第 4.3.7 条的要求。

4.3.9 结构构件宜根据规定的可靠指标,采用由作用的代表值、材料性能的标准值、几何参数的标准值和各相应的分项系数构成的极限状态设计表达式进行设计;有条件时也可根据本标准附录 E 的规定,直接采用基于可靠指标的方法进行设计。

5 结构上的作用和环境影晌

5.1 一般规定

5.1.1 建筑结构设计时,应考虑结构上可能出现的各种直接作用、间接作用和环境影晌。

5.2 结构上的作用

5.2.1 结构上的各种作用,当在时间上和空间上可认为是相互独立时,则每一种作用可分别作为单个作用;当某些作用密切相关且有可能同时以最大值出现时,也可将这些作用一起作为单个作用。

5.2.2 同时施加在结构上的各单个作用对结构的共同影响,应通过作用组合来考虑;对不可能同时出现的各种作用,不应考虑其组合。

5.2.3 结构上的作用可按下列性质分类:

1 按随时间的变化分类:

- 1) 永久作用;
- 2) 可变作用;
- 3) 偶然作用。

2 按随空间的变化分类:

- 1) 固定作用;
- 2) 自由作用。

3 按结构的反应特点分类:

- 1) 静态作用;
- 2) 动态作用。

4 按有无限值分类:

- 1) 有界作用;

2) 无界作用。

5 其他分类。

5.2.4 结构上的作用随时间变化的规律，宜采用随机过程的概率模型进行描述，对不同的作用可采用不同的方法进行简化，并应符合下列规定：

1 对永久作用，可采用随机变量的概率模型。

2 对可变作用，在作用组合中可采用简化的随机过程概率模型。在确定可变作用的代表值时可采用将设计基准期内最大值作为随机变量的概率模型。

5.2.5 当永久作用和可变作用作为随机变量时，其统计参数和概率分布类型，应以观测数据为基础，运用参数估计和概率分布的假设检验方法确定，检验的显著性水平可取 0.05。

5.2.6 当有充分观测数据时，作用的标准值应按在设计基准期内最不利作用概率分布的某个统计特征值确定；当有条件时，可对各种作用统一规定该统计特征值的概率定义；当观测数据不充分时，作用的标准值也可根据工程经验通过分析判断确定；对有明确界限值的有界作用，作用的标准值应取其界限值。

5.2.7 建筑结构按不同极限状态设计时，在相应的作用组合中对可能同时出现的各种作用，应采用不同的作用代表值。对可变作用，其代表值包括标准值、组合值、频遇值和准永久值。组合值、频遇值和准永久值可通过对可变作用的标准值分别乘以不大于 1 的组合值系数 ψ_c 、频遇值系数 ψ_f 和准永久值系数 ψ_q 等折减系数表示。

5.2.8 对偶然作用，应采用偶然作用的设计值。偶然作用的设计值应根据具体工程情况和偶然作用可能出现的最大值确定，也可根据有关标准的专门规定确定。

5.2.9 对地震作用，应采用地震作用的标准值。地震作用的标准值应根据地震作用的重现期确定；地震作用的重现期可根据建筑抗震设防目标，按有关标准的专门规定确定。

5.2.10 当结构上的作用比较复杂且不能直接描述时，可根据作

用形成的机理，通过数学模型来表征作用的大小、位置、方向和持续期等性质。结构上的作用 F 的大小可采用下列数学模型：

$$F = \varphi(F_0, \omega) \quad (5.2.10)$$

式中： $\varphi(\cdot)$ ——所采用的函数；

F_0 ——基本作用，通常具有随时间和空间随机的或非随机的变异性，但与结构的性质无关；

ω ——用以将 F_0 转化为 F 的随机或非随机变量，它与结构的性质有关。

5.2.11 当结构的动态性能比较明显时，结构应采用动力模型描述。此时，结构的动力分析应考虑结构的刚度、阻尼及结构上各部分质量的惯性。当结构容许简化分析时，可计算“拟静态作用”响应，并乘以动力系数作为动态作用的响应。

5.2.12 对自由作用应考虑各种可能的荷载布置，并与固定作用等一起作为验证结构某特定极限状态的荷载工况。

5.3 环境影响

5.3.1 环境影响可分为永久影响、可变影响和偶然影响。

5.3.2 对结构的环境影响应进行定量描述；当没有条件进行定量描述时，可通过环境对结构的影响程度的分级等方法进行定性描述，并在设计中采取相应的技术措施。

6 材料和岩土的性能及几何参数

6.1 材料和岩土的性能

6.1.1 材料和岩土**的强度、弹性模量、变形模量、压缩模量、内摩擦角、黏聚力等物理力学性能**，应根据国家现行有关试验方法标准经试验确定。

6.1.2 当利用标准试件的试验结果确定结构中实际的材料性能时，尚应考虑实际结构与标准试件、实际工作条件与标准试验条件的差别。结构中的材料性能与标准试件材料性能的关系，应根据相应的对比试验结果通过换算系数或函数来表示，或根据工程经验判断确定。结构中材料性能的不定性，应由标准试件材料性能的不定性和换算系数或函数的不定性两部分组成。

6.1.3 材料性能宜采用随机变量概率模型描述。材料性能的各种统计参数和概率分布类型，应以试验数据为基础，运用参数估计和概率分布的假设检验方法确定，检验的显著性水平可取 0.05。

6.1.4 材料强度的概率分布宜采用正态分布或对数正态分布。

6.1.5 材料强度的标准值可按其概率分布的 0.05 分位值确定。材料弹性模量、泊松比等物理性能的标准值可按其概率分布的 0.5 分位值确定。

6.1.6 当试验数据不充分时，材料性能的标准值可采用有关标准的规定值，也可根据工程经验，经分析判断确定。

6.1.7 岩土性能指标和地基承载力、桩基承载力等，应通过原位测试、室内试验等直接或间接的方法测定，并应考虑由于钻探取样的扰动、室内外试验条件与实际建筑结构条件的差别以及所采用公式的误差等因素的影响，结合工程经验综合确定。

6.1.8 岩土性能的标准值宜根据原位测试和室内试验的结果，

按有关标准的规定确定；当有条件时，岩土性能的标准值可按其概率分布的某个分位值确定。

6.2 几 何 参 数

6.2.1 结构或结构构件的几何参数宜采用随机变量概率模型描述。几何参数的各种统计参数和概率分布类型，应以正常生产情况下对结构或结构构件几何尺寸的观测数据为基础，运用参数估计和概率分布的假设检验方法确定。

6.2.2 当观测数据不充分时，几何参数的统计参数可根据有关标准中规定的公差，经分析判断确定。

6.2.3 当几何参数的变异性对结构抗力及其他性能的影响很小时，几何参数可作为确定性变量。

6.2.4 几何参数的标准值可采用设计规定的公称值，或根据几何参数概率分布的某个分位值确定。

7 结构分析和试验辅助设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 结构分析可采用计算、模型试验或原型试验等方法进行。
- 7.1.2 结构分析的精度，应能满足结构设计要求，必要时宜进行试验验证。
- 7.1.3 在结构分析中，宜考虑环境对材料、构件和结构性能的影响。

7.2 结构模型

- 7.2.1 结构分析采用的基本假定和计算模型应能合理描述所考虑的极限状态下的结构反应。
- 7.2.2 根据结构的具体情况，可采用一维、二维或三维的计算模型进行结构分析。
- 7.2.3 结构分析所采用的各种简化或近似假定，应具有理论或试验依据，或经工程验证可行。
- 7.2.4 当结构的变形可能使作用的影响显著增大时，应在结构分析中考虑结构变形的影响。
- 7.2.5 结构计算模型的不定性应在极限状态方程中采用一个或几个附加基本变量来考虑。附加基本变量的概率分布类型和统计参数，可通过按计算模型的计算结果与按精确方法的计算结果或实际的观测结果相比较，经统计分析确定，或根据工程经验判断确定。

7.3 作用模型

- 7.3.1 对与时间无关的或不计累积效应的静力分析，可只考虑发生在设计基准期内作用的最大值和最小值；当动力性能起控制作用时，应有详细的过程描述。

7.3.2 当不能准确确定作用参数时，应对作用参数给出上下限范围并进行比较，以确定不利的作用效应。

7.3.3 当结构承受自由作用时，应根据每一自由作用可能出现的空间位置、大小和方向，分析确定对结构最不利的荷载布置。

7.3.4 当考虑地基与结构相互作用时，土工作用可采用适当的等效弹簧或阻尼器来模拟。

7.3.5 当动力作用可被认为是拟静力作用时，可通过把动力作用分析结果包括在静力作用中的方法或将静力作用乘以等效动力放大系数的方法等，来考虑动力作用效应。

7.3.6 当动力作用引起的振幅、速度、加速度使结构有可能超过正常使用极限状态的限值时，应根据实际情况对结构进行正常使用极限状态验算。

7.4 分析方法

7.4.1 结构分析应根据结构类型、材料性能和受力特点等因素，采用线性、非线性或试验分析方法；当结构性能始终处于弹性状态时，可采用弹性理论进行结构分析，否则宜采用弹塑性理论进行结构分析。

7.4.2 当结构在达到极限状态前能够产生足够的塑性变形，且所承受的不是多次重复的作用时，可采用塑性理论进行结构分析；当结构的承载力由脆性破坏或稳定控制时，不应采用塑性理论进行分析。

7.4.3 当动力作用使结构产生较大加速度时，应对结构进行动力响应分析。

7.5 试验辅助设计

7.5.1 对没有适当分析模型的特殊情况，可按本标准附录 F 规定的方法，通过试验辅助设计进行结构分析。

7.5.2 采用试验辅助设计的结构，应达到相关设计状况采用的可靠度水平，并应考虑试验结果的数量对相关参数统计不定性的影响。

8 分项系数设计方法

8.1 一般规定

8.1.1 结构构件极限状态设计表达式中所包含的各种分项系数，宜根据有关基本变量的概率分布类型和统计参数及规定的可靠指标，通过计算分析，并结合工程经验，经优化确定；当缺乏统计数据时，可根据传统的或经验的设计方法，由有关标准规定各种分项系数。

8.1.2 基本变量的设计值可按下列规定确定：

1 作用的设计值 F_d 可按下列式确定：

$$F_d = \gamma_F F_r \quad (8.1.2-1)$$

式中： F_r ——作用的代表值；

γ_F ——作用的分项系数。

2 材料性能的设计值 f_d 可按下列式确定：

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (8.1.2-2)$$

式中： f_k ——材料性能的标准值；

γ_M ——材料性能的分项系数，其值按有关的结构设计标准的规定采用。

3 几何参数的设计值 a_d 可采用几何参数的标准值 a_k 。当几何参数的变异性对结构性能有明显影响时，几何参数的设计值可按下列式确定：

$$a_d = a_k \pm \Delta_a \quad (8.1.2-3)$$

式中： Δ_a ——几何参数的附加量。

4 结构抗力的设计值 R_d 可按下列式确定：

$$R_d = R(f_k/\gamma_M, a_d) \quad (8.1.2-4)$$

8.2 承载能力极限状态

8.2.1 结构或结构构件按承载能力极限状态设计时，应考虑下列状态：

1 结构或结构构件的破坏或过度变形，此时结构的材料强度起控制作用；

2 整个结构或其一部分作为刚体失去静力平衡，此时结构材料或地基的强度不起控制作用；

3 地基破坏或过度变形，此时岩土の强度起控制作用；

4 结构或结构构件疲劳破坏，此时结构的材料疲劳强度起控制作用。

8.2.2 结构或结构构件按承载能力极限状态设计时，应符合下列规定：

1 结构或结构构件的破坏或过度变形的承载能力极限状态设计，应符合下式规定：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (8.2.2-1)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，其值按本标准第 8.2.8 条的有关规定采用；

S_d ——作用组合の效应设计值；

R_d ——结构或结构构件の抗力设计值。

2 结构整体或其一部分作为刚体失去静力平衡の承载能力极限状态设计，应符合下式规定：

$$\gamma_0 S_{d,dst} \leq S_{d,stb} \quad (8.2.2-2)$$

式中： $S_{d,dst}$ ——不平衡作用效应的设计值；

$S_{d,stb}$ ——平衡作用效应的设计值。

3 地基の破坏或过度变形的承载能力极限状态设计，可采用分项系数法进行，但其分项系数的取值与本标准式 (8.2.2-1) 中所包含的分项系数的取值可有区别；地基の破坏或过度变形的承载力设计，也可采用容许应力法等方法进行。

4 结构或结构构件の疲劳破坏の承载能力极限状态设计，

可按现行有关标准的方法进行。

8.2.3 承载能力极限状态设计表达式中的作用组合，应符合下列规定：

- 1 作用组合应为可能同时出现的作用的组合；
- 2 每个作用组合中应包括一个主导可变作用或一个偶然作用或一个地震作用；
- 3 当结构中永久作用位置的变异，对静力平衡或类似的极限状态设计结果很敏感时，该永久作用的有利部分和不利部分应分别作为单个作用；
- 4 当一种作用产生的几种效应非全相关时，对产生有利效应的作用，其分项系数的取值应予以降低；
- 5 对不同的设计状况应采用不同的作用组合。

8.2.4 对持久设计状况和短暂设计状况，应采用作用的基本组合，并应符合下列规定：

- 1 基本组合的效应设计值按下式中最不利值确定：

$$S_d = S\left(\sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} G_{ik} + \gamma_P P + \gamma_{Q_1} \gamma_{L_1} Q_{1k} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q_j} \psi_{cj} \gamma_{L_j} Q_{jk}\right) \quad (8.2.4-1)$$

式中： $S(\cdot)$ ——作用组合的效应函数；

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值；

P ——预应力作用的有关代表值；

Q_{1k} ——第 1 个可变作用的标准值；

Q_{jk} ——第 j 个可变作用的标准值；

γ_{G_i} ——第 i 个永久作用的分项系数，应按本标准第 8.2.9 条的有关规定采用；

γ_P ——预应力作用的分项系数，应按本标准第 8.2.9 条的有关规定采用；

γ_{Q_1} ——第 1 个可变作用的分项系数，应按本标准第 8.2.9 条的有关规定采用；

γ_{Q_j} ——第 j 个可变作用的分项系数，应按本标准第

8.2.9 条的有关规定采用;

γ_{L_1} 、 γ_{L_j} ——第 1 个和第 j 个考虑结构设计使用年限的荷载调整系数,应按本标准第 8.2.10 条的有关规定采用;

ψ_{cj} ——第 j 个可变作用的组合值系数,应按现行有关标准的规定采用。

2 当作用与作用效应按线性关系考虑时,基本组合的效应设计值按下式中最不利值计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} S_{G_{ik}} + \gamma_P S_P + \gamma_{Q_1} \gamma_{L_1} S_{Q_{1k}} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q_j} \psi_{cj} \gamma_{L_j} S_{Q_{jk}} \quad (8.2.4-2)$$

式中: $S_{G_{ik}}$ ——第 i 个永久作用标准值的效应;

S_P ——预应力作用有关代表值的效应;

$S_{Q_{1k}}$ ——第 1 个可变作用标准值的效应;

$S_{Q_{jk}}$ ——第 j 个可变作用标准值的效应。

8.2.5 对偶然设计状况,应采用作用的偶然组合,并应符合下列规定:

1 偶然组合的效应设计值按下式确定:

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + A_d + (\psi_{f1} \text{ 或 } \psi_{q1}) Q_{1k} + \sum_{j > 1} \psi_{qj} Q_{jk}) \quad (8.2.5-1)$$

式中: A_d ——偶然作用的设计值;

ψ_{f1} ——第 1 个可变作用的频遇值系数,应按有关标准的规定采用;

ψ_{q1} 、 ψ_{qj} ——第 1 个和第 j 个可变作用的准永久值系数,应按有关标准的规定采用。

2 当作用与作用效应按线性关系考虑时,偶然组合的效应设计值按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_P + S_{A_d} + (\psi_{f1} \text{ 或 } \psi_{q1}) S_{Q_{1k}} + \sum_{j > 1} \psi_{qj} S_{Q_{jk}} \quad (8.2.5-2)$$

式中： S_{A_d} ——偶然作用设计值的效应。

8.2.6 对地震设计状况，应采用作用的地震组合。地震组合的效应设计值应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

8.2.7 当进行建筑结构抗震设计时，结构性能基本设防目标应符合下列规定：

- 1 遭遇多遇地震影响，结构主体不受损坏或不需修复即可继续使用；
- 2 遭遇设防地震影响，可能发生损坏，但经一般修复仍可继续使用；
- 3 遭遇罕遇地震影响，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

8.2.8 结构重要性系数 γ_0 ，不应小于表 8.2.8 的规定。

表 8.2.8 结构重要性系数 γ_0

结构重要性系数	对持久设计状况和短暂设计状况			对偶然设计状况和地震设计状况
	安全等级			
	一级	二级	三级	
γ_0	1.1	1.0	0.9	1.0

8.2.9 建筑结构的作用分项系数，应按表 8.2.9 采用。

表 8.2.9 建筑结构的作用分项系数

适用情况 作用分项系数	当作用效应对承载力不利时	当作用效应对承载力有利时
γ_G	1.3	≤ 1.0
γ_P	1.3	≤ 1.0
γ_Q	1.5	0

8.2.10 建筑结构考虑结构设计使用年限的荷载调整系数，应按表 8.2.10 采用。

表 8.2.10 建筑结构考虑结构设计使用年限的荷载调整系数 γ_L

结构的设计使用年限 (年)	γ_L
5	0.9
50	1.0
100	1.1

注：对设计使用年限为 25 年的结构构件， γ_L 应按各种材料结构设计标准的规定采用。

8.3 正常使用极限状态

8.3.1 结构或结构构件按正常使用极限状态设计时，应符合下式规定：

$$S_d \leq C \quad (8.3.1)$$

式中： S_d ——作用组合的效应设计值；

C ——设计对变形、裂缝等规定的相应限值，应按有关的结构设计标准的规定采用。

8.3.2 按正常使用极限状态设计时，宜根据不同情况采用作用的标准组合、频遇组合或准永久组合，并应符合下列规定：

1 标准组合应符合下列规定：

1) 标准组合的效应设计值按下式确定：

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + Q_{1k} + \sum_{j > 1} \psi_{ej} Q_{jk}) \quad (8.3.2-1)$$

2) 当作用与作用效应按线性关系考虑时，标准组合的效应设计值按下式计算：

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_P + S_{Q_{1k}} + \sum_{j > 1} \psi_{ej} S_{Q_{jk}} \quad (8.3.2-2)$$

2 频遇组合应符合下列规定：

1) 频遇组合的效应设计值按下式确定：

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + \psi_{fl} Q_{1k} + \sum_{j > 1} \psi_{qj} Q_{jk}) \quad (8.3.2-3)$$

2) 当作用与作用效应按线性关系考虑时，频遇组合的效应设计值按下式计算：

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_P + \psi_{11} S_{Q_{1k}} + \sum_{j > 1} \psi_{1j} S_{Q_{jk}} \quad (8.3.2-4)$$

3 准永久组合应符合下列规定：

1) 准永久组合的效应设计值按下式确定：

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + \sum_{j \geq 1} \psi_{1j} Q_{jk}) \quad (8.3.2-5)$$

2) 当作用与作用效应按线性关系考虑时，准永久组合的效应设计值按下式计算：

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_P + \sum_{j \geq 1} \psi_{1j} S_{Q_{jk}} \quad (8.3.2-6)$$

8.3.3 对正常使用极限状态，材料性能的分项系数 γ_M ，除各种材料的结构设计标准有专门规定外，应取为 1.0。

附录 A 既有结构的可靠性评定

A.1 一般规定

A.1.1 本附录适用于按有关标准或行业规则建造既有结构的可靠性评定。

A.1.2 在下列情况下宜进行既有结构的可靠性评定：

- 1 结构的使用时间超过规定的年限；
- 2 结构的用途或使用要求发生改变；
- 3 结构的使用环境恶化；
- 4 出现构件损伤、材料性能劣化或其他不利状态；
- 5 对既有结构的可靠性有怀疑或有异议。

A.1.3 既有结构的可靠性评定可分为承载能力评定、适用性评定、耐久性评定和抵抗偶然作用能力评定。

A.1.4 既有结构的可靠性评定应采取以现行结构标准的基本规定为基准，对建筑结构能力的状况或发展趋势予以评价的方式。

A.1.5 既有结构宜采取保全结构，延长结构使用年限的处理措施。

A.2 承载能力评定

A.2.1 既有结构承载能力的评定可分成结构体系和构件布置、构件的连接和构造、作用与作用效应的分析、构件与连接的承载力等评定分项。

A.2.2 既有结构的结构体系和构件布置，应以现行结构设计标准的规定为依据对实际状况进行评定。

A.2.3 既有结构的连接和与构件承载力相关的构造，应以现行结构设计标准的规定为依据对实际状况进行评定。

A.2.4 结构构件的承载能力应以本标准规定的可靠指标为基

准，对构件承载力与作用效应之间的关系予以评价。

A. 2. 5 结构构件和连接的承载力可采取下列方法进行评定：

- 1 基于结构良好状态的评定方法；
- 2 基于材料强度系数的方法；
- 3 基于抗力系数的评定方法；
- 4 基于可靠指标的构件承载力分项系数的评定方法；
- 5 重力荷载检验的评定方法等。

A. 2. 6 同时满足下列要求的既有建筑结构，可依据结构的良好状态评定结构构件的承载力是否符合现行设计标准的规定：

- 1 结构的体系符合大震不倒的设防规定；
- 2 结构不存在爆炸和碰撞等偶然作用的影响；
- 3 结构未出现影响结构适用性的变形、裂缝、位移、振动等；
- 4 在评估使用年限内，结构上的作用和环境不会发生显著的变化。

A. 2. 7 基于系数的构件承载力的评定应符合下列规定：

- 1 构件承载力计算模型的选取和相关参数的取值应符合下列规定：
 - 1) 构件承载力计算模型应符合构件承载能力极限状态的破坏模式；
 - 2) 计算模型的几何参数宜取构件的实际值；
 - 3) 在计算构件承载力时，应考虑构件不可恢复性损伤对构件承载力的不利影响。
- 2 采用现行标准中材料强度系数的评定应符合下列规定：
 - 1) 构件材料强度的标准值，应以实测数据为依据，按现行结构检测标准规定的方法确定；
 - 2) 在计算承载力时，对标准公式中反映模型不定性的参数应予保留。
- 3 当采用现行标准抗力系数评定时，可采取下列措施：
 - 1) 材料的强度可取现场测试的平均值或最小值；

- 2) 当对计算模型进行过相关的研究时,可以利用现行标准公式的模型不定性储备;
- 3) 经过验证后,在计算模型中可增补对抗力有利因素的实际作用。

A.2.8 当可确定某类构件承载力的变异系数 $\delta_{R,i}$ 时,可采用下列基于可靠指标的构件承载力分项系数的评定方法:

- 1 将可靠指标 β 分解为作用效应的可靠指标 β_s 和构件承载力的可靠指标 β_R ;

- 2 该类构件承载力的分项系数 γ_R 可按式确定:

$$\gamma_R = 1/(1 - \beta_R \delta_R) \quad (\text{A.2.8})$$

- 3 分析构件承载力变异系数 δ_R 的模型可以作为构件承载力的计算模型;

- 4 计算模型中的材料强度和几何参数可以采用实测数值;

- 5 计算模型宜采用模型不定性的保守措施。

A.2.9 对具备检验条件的结构或结构构件,可采用基于荷载检验的评定方法,荷载检验应符合下列规定:

- 1 检验荷载的形式应与结构承受的主要作用的情况基本一致;

- 2 除与有关方专门协商之外,检验荷载不宜大于荷载的设计值;

- 3 构件系数或材料强度系数对应的检验荷载的检验结果,可通过分析的方法确定。

A.2.10 既有结构构件承受的荷载可按国家现行相关标准的规定确定,并宜按下列规定进行符合实际情况的调整:

- 1 建筑构配件等的自重荷载宜以现场实测数据为依据分析确定;

- 2 当楼面均布活荷载出现过大于有关标准限定的标准值时,应采用曾出现的最大值与该类构件所属面积的乘积作为评定楼面均布活荷载的代表荷载;

- 3 对于雪荷载敏感的结构,应取当地记录到的最大地面雪

压和重现期 100 年的雪压值中的较大值作为基本雪压；

4 对于风荷载敏感的结构，应取瞬时风速换算的风压和重现期 100 年的风压中的较大值作为基本风压。

A. 2. 11 构件的作用效应，应按下列规定计算确定：

1 结构构件的作用效应宜在荷载或作用组合后计算确定；

2 在计算分析既有结构的作用效应时宜考虑构件的轴线偏差、尺寸偏差、安装偏差和不可恢复性变形等的不利影响；

3 在作用效应的计算后，应考虑由结构分析模型造成的作用效应的不定性；

4 当不能确定作用效应的不定性时，可采用所有可能出现不利组合效应的包络作为作用效应的评定值。

A. 3 适用性评定

A. 3. 1 既有结构的适用性应包括正常使用极限状态和结构维系建筑功能的能力等分项。

A. 3. 2 结构构件正常使用极限状态应以现行结构设计标准限定的变形和位移值为基准对结构构件的状况进行评定。

A. 3. 3 结构构件的变形和位移等状况可通过现场检测确定；现场检测时应区分施工偏差和构件的变形或位移。

A. 3. 4 当结构构件的变形或位移不能通过现场检测确定时，应采用结构分析的方法计算确定。

A. 3. 5 当结构的位移或变形对建筑的使用功能构成影响时，应评定为结构构件维系建筑功能的能力不足。

A. 4 耐久性评定

A. 4. 1 既有结构的耐久性评定，应以判定结构相应耐久年限与评估使用年限之间的关系为目的。

A. 4. 2 既有结构耐久性极限状态的标志或限值应按有关标准的规定确定。

A. 4. 3 既有建筑结构耐久性的评定应实施下列现场检测：

- 1 确定已出现耐久性极限状态标志的构件和连接；
- 2 测定构件材料性能劣化的状况；
- 3 测定有害物质的含量或侵入深度；
- 4 确定环境侵蚀性的变动情况。

A.4.4 对于已经出现耐久性极限标志的构件或连接，应进行构件承载力的评定和适用性评定，在评定时应考虑不可恢复性损伤对承载力和适用性的实际影响。

A.4.5 对于未出现耐久性极限状态标志和未达到限值的构件和连接，可推定耐久年数。

A.4.6 结构构件的耐久年数可采取下列方法推定：

- 1 经验的方法；
- 2 依据实际劣化情况验证或校准已有劣化模型的方法；
- 3 基于快速检验的方法；
- 4 其他适用的方法等。

A.5 抵抗偶然作用能力的评定

A.5.1 既有建筑结构的偶然作用包括其可能遭受的罕遇地震、洪水、爆炸、非正常撞击、火灾等。

A.5.2 既有结构抵抗偶然作用的能力，宜从结构体系与构件布置、连接与构造、承载力、防灾减灾和防护措施等方面综合评定。

A.5.3 对于罕遇地震可采取下列方法予以评定：

- 1 按现行标准对建筑物的总高度、层数、高宽比等限制要求和结构构造措施进行抗倒塌能力的评定；
- 2 采取结构分析的方法对结构整体的变形限值和薄弱层变形限值予以评定。

A.5.4 对于可能受到洪水影响的既有结构，除应考虑洪水的冲击作用和浸泡作用外，还应考虑洪水对地基的影响。

A.5.5 对于发生在内部的爆炸等偶然作用应进行下列三种境况的评定：

1 爆炸发生时和发生后，避免结构出现整体倒塌的能力或个别构件破坏后避免结构出现连续倒塌的能力；

2 爆炸发生时，避免建筑内部人员受到严重伤害的防护措施；

3 减小爆炸对周边建筑影响的措施。

A. 5. 6 当既有建筑结构周边有爆炸源时，应评价避免爆炸造成人员受到伤害的防护措施和结构及围护结构避免破坏的能力。

A. 5. 7 对于发生在建筑内部和外部的撞击，应进行下列评定：

1 防止撞击发生的措施和减小撞击作用效应的措施；

2 结构局部破坏或个别构件丧失承载力，避免结构出现局部坍塌或连续倒塌的能力。

A. 5. 8 对于发生在建筑内部的火灾，可进行下列评定：

1 对于未设置喷淋设施的建筑，可评价可燃物全部燃烧的持续时间与结构构件耐火极限的关系；

2 对于设置喷淋设施的建筑，应评价烟感和喷淋设施的有效性；

3 建筑内的排烟措施和疏散措施。

A. 5. 9 在具有较多可燃物附近的建筑结构，应进行下列评定：

1 建筑的防火间距；

2 建筑的结构和外围护结构的可燃性和防火能力；

3 人员疏散的通道。

附录 B 结构整体稳固性

B.1 一般规定

B.1.1 本附录适用于偶然荷载引起的结构整体稳固性的设计。对于与火灾、极度腐蚀等非荷载相关的结构整体稳固性，可按相关标准的规定执行；对于设计、施工、使用中可能出现的错误和疏忽，应通过严格管理控制。

B.1.2 进行结构整体稳固性设计时，应区分与结构整体稳固性有关的偶然作用的类型。当几个偶然作用同时出现或相继出现时，应考虑这些偶然作用的联合影响和后续影响。

B.1.3 影响结构整体稳固性的偶然作用类型可按下列形式划分：

- 1 由自然或一般人类活动引起的危险；
- 2 蓄意破坏和恐怖袭击等故意的或人为制造的危险；
- 3 错误和疏忽；
- 4 其他引起结构连续倒塌的作用。

B.2 设计原则

B.2.1 结构设计前应分析结构各种潜在的危险源。结构选址应避免各种危险源。对于结构附近可能有危险源或结构使用中存在危险源的情况，设计中应考虑采取相应的防控措施，避免或控制偶然事件的发生，或减轻偶然作用的强度。

B.2.2 应对结构进行概念设计，选取对整体稳固性有利的结构形式，并采取有效的构造措施。

B.2.3 结构应具有较高的冗余度和多条明确的荷载传递路径，一条荷载传递路径失效后，应具有将荷载传递到其他路径的

能力。

B. 2. 4 结构、结构构件或连接应具有保持结构整体稳定需要的变形能力和延性性能。

B. 2. 5 结构设计应明确关键构件和非关键构件，关键构件应能承受规定的偶然荷载或采取适当的保护措施。

B. 2. 6 对于允许发生局部破坏的结构，局部破坏应控制在不引起结构整体倒塌的程度和范围内。

B. 3 设计方法

B. 3. 1 结构整体稳固性设计应包括概念设计、构造处理和计算分析，并可采用下列方法：

- 1 控制事件法；
- 2 抵抗特定荷载法；
- 3 替代路径法，包括提供拉杆等；
- 4 减轻后果法；
- 5 其他保持结构整体稳固性的方法。

B. 3. 2 采用抵抗特定荷载法进行设计时，应验算偶然作用使结构关键构件失效后，受损的结构仍具有保持整体稳固性的能力，其中作用效应设计值应按本标准式（8. 2. 5）确定；偶然事件发生后受损结构整体稳固性验算宜包括结构承载力和变形验算，作用效应设计值可按本标准式（8. 2. 5）确定。

B. 3. 3 考虑材料性能的线性和非线性、结构几何性能的线性和非线性时，结构整体稳固性可采用线性静力方法、非线性静力方法和非线性动力方法进行计算。采用线性静力方法和非线性静力方法进行计算时，应考虑动力效应的影响。结构材料性能可按动态性能考虑，针对不同的情况材料性能可采用设计值、标准值或平均值。

B. 3. 4 可按本标准表 3. 2. 1 规定的安全等级对结构进行整体稳固性设计。安全等级为三级的结构，可只进行概念设计和构造处理；安全等级为二级的结构，除应进行概念设计和构造处理外，

可采用线性静力方法进行计算；安全等级为一级的结构，除应进行概念设计和构造处理外，宜采用非线性静力方法或非线性动力方法进行计算，也可采用线性静力方法进行计算。

B.4 安全管理与评估

B.4.1 结构使用过程中应进行安全管理，控制和避免各种偶然事件的发生或减轻偶然事件对结构整体稳固性的影响。

B.4.2 结构维修、加固不应削弱已有的荷载传递路径，结构用途变更应对结构的整体稳固性重新进行评估。

B.4.3 结构整体稳固性评估可根据不同的目的在结构设计、建造和不同的使用阶段进行。结构整体稳固性评估应包括偶然事件评估和结构抗连续倒塌能力评估。

B.4.4 偶然事件评估应包括可能发生偶然事件的类型、偶然事件可能发生的位置及偶然作用可能的强度或等级，当有条件时应采用概率方法进行评估。

B.4.5 结构抗连续倒塌评估可根据假想的结构连续倒塌情景进行，包括针对所考虑偶然事件结构发生局部破坏的可能性、破坏的形式、破坏的范围及造成的人员伤亡、经济损失和社会影响。

B.4.6 根据结构不同阶段的整体稳固性评估结果，应对结构采取相应的抗连续倒塌措施。

附录 C 耐久性极限状态设计

C.1 一般规定

C.1.1 结构的设计使用年限应根据建筑物的用途和环境的侵蚀性确定。

C.1.2 结构的耐久性极限状态设计，应使结构构件出现耐久性极限状态标志或限值的年限不小于其设计使用年限。

C.1.3 结构构件的耐久性极限状态设计，应包括保证构件质量的预防性处理措施、减小侵蚀作用的局部环境改善措施、延缓构件出现损伤的表面防护措施和延缓材料性能劣化速度的保护措施。

C.2 设计使用年限

C.2.1 结构的设计使用年限，宜按本标准表 3.3.3 的规定采用。

C.2.2 必须定期涂刷的防腐蚀涂层等结构的设计使用年限可为 20 年~30 年。

C.2.3 预计使用时间较短的建筑物，其结构的设计使用年限不宜小于 30 年。

C.3 环境影响种类

C.3.1 结构的环境影响可分成无侵蚀性的室内环境影响和侵蚀性环境影响等。

C.3.2 当把无侵蚀性的室内环境视为一个环境等级时，宜将该等级分为无高温的室内干燥环境和室内潮湿环境两个层次。

C.3.3 根据环境侵蚀性的特点，宜按下列作用分类：

1 生物作用；

- 2 与气候等相关的物理作用;
- 3 与建筑物内外人类活动相关的物理作用;
- 4 介质的侵蚀作用;
- 5 物理与介质的共同作用。

C.3.4 当结构构件出现下列损伤时宜归为生物作用:

- 1 木结构的虫蛀和腐朽等;
- 2 植物根系造成的损伤;
- 3 动物粪便和细菌等造成的损伤。

C.3.5 结构构件出现下列损伤时宜归为与气候等相关的物理作用:

- 1 构件或材料出现冻融损伤;
- 2 出现因风沙造成的磨损和水的流动造成的损伤;
- 3 太阳辐射及相应的高温造成聚合物材料的老化;
- 4 温度、湿度等的变动使结构构件出现变形和开裂;
- 5 温度、湿度等的变动使结构构件中的介质膨胀;
- 6 随水分进入构件材料内部的介质结晶造成的损伤等。

C.3.6 结构构件出现的下列损伤时宜归为与人类生产相关的物理作用:

- 1 高速气流或水流造成的空蚀;
- 2 人员活动造成的磨损;
- 3 撞击造成的损伤;
- 4 设备高温、高湿等造成的损伤;
- 5 设备设施等造成的有机材料的老化等。

C.3.7 介质的侵蚀作用可分成下列几种类型:

- 1 环境中或生产过程中的酸性介质或碱性介质直接造成的损伤;
- 2 环境中或生产过程中的介质与构件出现化学不相容的现象;
- 3 环境中或生产过程中的介质加速高分子聚合物材料的老化或性能劣化等。

C.4 耐久性极限状态

C.4.1 各类结构构件及其连接,应依据环境侵蚀和材料的特点确定耐久性极限状态的标志和限值。

C.4.2 对木结构宜以出现下列现象之一作为达到耐久性极限状态的标志:

- 1 出现霉菌造成的腐朽;
- 2 出现虫蛀现象;
- 3 发现受到白蚁的侵害等;
- 4 胶合木结构防潮层丧失防护作用或出现脱胶现象;
- 5 木结构的金属连接件出现锈蚀;
- 6 构件出现翘曲、变形和节点区的干缩裂缝。

C.4.3 对钢结构、钢管混凝土结构的外包钢管和组合钢结构的型钢构件等,宜以出现下列现象之一作为达到耐久性极限状态的标志:

- 1 构件出现锈蚀迹象;
- 2 防腐涂层丧失作用;
- 3 构件出现应力腐蚀裂纹;
- 4 特殊防腐保护措施失去作用。

C.4.4 对铝合金、铜及铜合金等构件及连接,宜以出现下列现象之一作为达到耐久性极限状态的标志:

- 1 构件出现表观的损伤;
- 2 出现应力腐蚀裂纹;
- 3 专用防护措施失去作用。

C.4.5 对混凝土结构的配筋和金属连接件,宜以出现下列状况之一作为达到耐久性极限状态的标志或限值:

- 1 预应力钢筋和直径较细的受力主筋具备锈蚀条件;
- 2 构件的金属连接件出现锈蚀;
- 3 混凝土构件表面出现锈蚀裂缝;
- 4 阴极或阳极保护措施失去作用。

C.4.6 对砌筑和混凝土等无机非金属材料的结构构件，宜以出现下列现象之一作为达到耐久性极限状态的标志或限值：

- 1 构件表面出现冻融损伤；
- 2 构件表面出现介质侵蚀造成的损伤；
- 3 构件表面出现风沙和人为作用造成的磨损；
- 4 表面出现高速气流造成的空蚀损伤；
- 5 因撞击等造成的表面损伤；
- 6 出现生物性作用损伤。

C.4.7 对聚合物材料及其结构构件，宜以出现下列现象之一作为达到耐久性极限状态的标志：

- 1 因光老化，出现色泽大幅度改变、开裂或性能的明显劣化；
- 2 因高温、高湿等，出现色泽大幅度改变、开裂或性能的明显劣化；
- 3 因介质的作用等，出现色泽大幅度改变、开裂或性能的明显劣化。

C.4.8 对具有透光性要求的玻璃构配件，宜以出现下列现象之一作为达到耐久性极限状态的标志：

- 1 结构构件出现裂纹；
- 2 透光性受到磨蚀的影响；
- 3 透光性受到鸟类粪便影响等。

C.4.9 结构构件耐久性极限状态的标志或限值及其损伤机理，应作为采取各种耐久性措施的依据。

C.5 耐久性极限状态设计方法和措施

C.5.1 建筑结构的耐久性可采用下列方法进行设计：

- 1 经验的方法；
- 2 半定量的方法；
- 3 定量控制耐久性失效概率的方法。

C.5.2 对缺乏侵蚀作用或作用效应统计规律的结构或结构构

件，宜采取经验方法确定耐久性的系列措施。

C.5.3 采取经验方法保障的结构构件耐久性宜包括下列技术措施：

- 1 保障结构构件质量的杀虫、灭菌和干燥等技术措施；
- 2 避免物理性作用的表面抹灰和涂层等技术措施；
- 3 避免雨水等冲淋和浸泡的遮挡及排水等技术措施；
- 4 保障结构构件处于干燥状态的通风和防潮等技术措施；
- 5 推迟电化学反应的镀膜和防腐涂层等技术措施以及阴极保护等技术措施；
- 6 作出定期检查规定的技术措施等。

C.5.4 具有一定侵蚀作用和作用效应统计规律的结构构件，可采取半定量的耐久性极限状态设计方法。

C.5.5 半定量的耐久性极限状态设计方法宜按下列步骤确定环境的侵蚀性：

- 1 环境等级宜按侵蚀性种类划分；
- 2 环境等级之内，可按度量侵蚀性强度的指标分成若干个级别。

C.5.6 半定量设计方法的耐久性措施宜按下列方式确定：

- 1 结构构件抵抗环境影响能力的参数或指标，宜结合环境级别和设计使用年限确定；
- 2 结构构件抵抗环境影响能力的参数或指标，应考虑施工偏差等不定性的影响；
- 3 结构构件表面防护层对于构件抵抗环境影响能力的实际作用，可结合具体情况确定。

C.5.7 具有相对完善的侵蚀作用和作用效应相应统计规律的结构构件且具有快速检验方法予以验证时，可采取定量的耐久性极限状态设计方法。

C.5.8 当充分考虑了环境影响的不定性和结构抵抗环境影响能力的不定性时，定量的设计应使预期出现耐久性极限状态标志的时间不小于结构的设计使用年限。

附录 D 质量管理

D.1 质量控制要求

D.1.1 材料和构件的质量可采用一个或多个质量特征表达。在各类材料的结构设计与施工标准中，应对材料和构件的力学性能、几何参数等质量特征提出明确的要求。

D.1.2 材料和构件的合格质量水平，应根据本标准规定的结构构件可靠指标确定。

D.1.3 材料宜根据统计资料，按不同质量水平划分等级。等级划分不宜过密。对不同等级的材料，设计时应采用不同的材料性能的标准值。

D.1.4 对建筑结构应实施为保证结构可靠性所必需的质量控制。建筑结构的各项质量控制要求应由有关标准作出规定。建筑结构的质

- 量控制应包括下列内容：
- 1 勘察与设计的质量控制；
 - 2 材料和制品的质量控制；
 - 3 施工的质量控制；
 - 4 使用和维护的质量控制。

D.1.5 勘察与设计的质量控制应符合下列规定：

- 1 勘察资料应符合工程要求，数据准确，结论可靠；
- 2 设计方案、基本假定和计算模型合理，数据运用正确；
- 3 图纸和其他设计文件符合有关规定。

D.1.6 为进行施工质量控制，在各工序内应实行质量自检，各工序间应实行交接质量检查。对工序操作和中间产品的质量，应采用统计方法进行抽查；在结构的关键部位应进行系统检查。

D.1.7 材料和构件的质量控制应包括生产控制和合格控制，并应符合下列规定：

1 生产控制：在生产过程中，应根据规定的控制标准，对材料和构件的性能进行经常性检验，及时纠正偏差，保持生产过程中质量的稳定性；

2 合格控制：在交付使用前，应根据规定的质量验收标准，对材料和构件进行合格性验收，保证其质量符合规定。

D.1.8 合格控制可采用抽样检验的方法进行。各类材料和构件应根据其特点制定具体的质量验收标准，其中应明确规定验收批量、抽样方法和数量、验收函数和验收界限等。质量验收标准宜在统计理论的基础上制定。

D.1.9 对生产连续性较差或各批间质量特征的统计参数差异较大的材料和构件，在制定质量验收标准时，必须控制用户方风险率。计算用户方风险率时采用的极限质量水平，可按各类材料结构设计标准的有关规定和工程经验确定；仅对连续生产的材料和构件，当产品质量稳定时，可按控制生产方风险率的条件制定质量验收标准。

D.1.10 当一批材料或构件经抽样检验判定为不合格时，应根据有关的质量验收标准对该批产品进行复查或重新确定其质量等级，或采取其他措施处理。

D.2 设计审查及施工检查

D.2.1 建筑结构应进行设计审查与施工检查，设计审查与施工检查的要求应符合国家现行有关标准的规定。

附录 E 结构可靠度分析基础和可靠度设计方法

E.1 一般规定

E.1.1 当按本附录方法确定分项系数和组合值系数时,除进行分析计算外,尚应根据工程经验对分析结果进行判断并进行调整。

E.1.2 按本附录进行结构可靠度分析和设计时,应具备下列条件:

- 1 具有结构极限状态的方程;
- 2 基本变量具有准确、可靠的统计参数及概率分布。

E.1.3 当有两个及两个以上可变作用时,应进行可变作用的组合,并可采用下列规定之一进行:

1 设 m 种作用参与组合,将模型化后的作用 $Q_i(t)$ 在设计基准期 T 内的总时段数 r_i ,按顺序由小到大排列,即 $r_1 \leq r_2 \leq \dots \leq r_m$,取任一作用 $Q_i(t)$ 在 $[0, T]$ 内的最大值 $\max_{t \in [0, T]} Q_i(t)$ 与其他作用组合,得出 m 种组合的最大作用 $Q_{\max, j}$ ($j = 1, 2, \dots, m$),其中作用最大的组合为起控制作用的组合;

2 设 m 种作用参与组合,取任一作用 $Q_i(t)$ 在 $[0, T]$ 内的最大值 $\max_{t \in [0, T]} Q_i(t)$ 与其他作用任意时点值 $Q_j(t_0)$ ($i \neq j$) 进行组合,得出 m 种组合的最大作用 $Q_{\max, j}$ ($j = 1, 2, \dots, m$),其中作用最大的组合为起控制作用的组合。

E.2 结构可靠指标计算

E.2.1 结构或构件可靠指标宜采用考虑基本变量或综合基本变量概率分布类型的一次二阶矩方法计算,也可采用其他方法。

E.2.2 当采用一次二阶矩方法计算可靠指标时,应符合下列

规定:

1 当仅有作用效应和结构抗力两个相互独立的基本变量且均服从正态分布时, 结构构件的可靠指标可按下式计算:

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

式中: β ——结构构件的可靠指标;

μ_S, σ_S ——结构构件作用效应的平均值和标准差;

μ_R, σ_R ——结构构件抗力的平均值和标准差。

2 当有多个相互独立的非正态基本变量且极限状态方程为本标准式 (4. 3. 5) 时, 结构构件的可靠指标应按下列公式迭代计算:

$$\beta = \frac{g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial g}{\partial X_j} \big|_P (\mu_{X'_j} - x_j^*)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_j} \big|_P \sigma_{X'_j} \right)^2}} \quad (\text{E. 2. 2-2})$$

$$\alpha_{X'_i} = - \frac{\frac{\partial g}{\partial X_i} \big|_P \sigma_{X'_i}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_j} \big|_P \sigma_{X'_j} \right)^2}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{E. 2. 2-3})$$

$$x_i^* = \mu_{X'_i} + \beta \alpha_{X'_i} \sigma_{X'_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{E. 2. 2-4})$$

$$\mu_{X'_i} = x_i^* - \Phi^{-1}[F_{X_i}(x_i^*)] \sigma_{X'_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{E. 2. 2-5})$$

$$\sigma_{X'_i} = \frac{\varphi\{\Phi^{-1}[F_{X_i}(x_i^*)]\}}{f_{X_i}(x_i^*)} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{E. 2. 2-6})$$

式中: $g(\cdot)$ ——结构构件的功能函数, 包括计算模式的不定性;

X_i ($i = 1, 2, \dots, n$)——基本变量;

x_i^* ($i = 1, 2, \dots, n$)——基本变量 X_i 的验算点坐标值;

$\frac{\partial g}{\partial X_i} \big|_P$ —— 功能函数 $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 的一阶偏导数在验算点 $P(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ 处的值;

$\mu_{X'_i}$ 、 $\sigma_{X'_i}$ —— 基本变量 X_i 的当量正态化变量 X'_i 的平均值和标准差;

$f_{X_i}(\cdot)$ 、 $F_{X_i}(\cdot)$ —— 基本变量 X_i 的概率密度函数和概率分布函数;

$\varphi(\cdot)$ 、 $\Phi(\cdot)$ 、 $\Phi^{-1}(\cdot)$ —— 标准正态随机变量的概率密度函数、概率分布函数和概率分布函数的反函数。

3 当有多个非正态相关的基本变量且极限状态方程为本标准式 (4.3.5) 时, 将式 (E.2.2-2) 和式 (E.2.2-3) 用下列公式替换后进行迭代计算:

$$\beta = \frac{g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial g}{\partial X_j} \big|_P (\mu_{X'_j} - x_j^*)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_k} \big|_P \frac{\partial g}{\partial X_j} \big|_P \rho_{X'_k X'_j} \sigma_{X'_k} \sigma_{X'_j} \right)}} \quad (\text{E.2.2-7})$$

$$\alpha_{X'_i} = - \frac{\sum_{j=1}^n \frac{\partial g}{\partial X_j} \big|_P \rho_{X'_i X'_j} \sigma_{X'_j}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial g}{\partial X_k} \big|_P \frac{\partial g}{\partial X_j} \big|_P \rho_{X'_k X'_j} \sigma_{X'_k} \sigma_{X'_j}}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{E.2.2-8})$$

式中: $\rho_{X'_i X'_j}$ —— 当量正态化变量 X'_i 与 X'_j 的相关系数, 可近似取变量 X_i 与 X_j 的相关系数 $\rho_{X_i X_j}$ 。

E.3 结构可靠度校准

E.3.1 结构可靠度校准是用可靠度方法分析按传统方法所设计结构的可靠度水平, 也是确定设计时采用的可靠指标的基础, 校

准中所选取的结构构件应具有代表性。

E. 3. 2 结构可靠度校准可采用下列步骤：

1 确定校准范围，选取结构物类型或结构材料形式，根据目标可靠指标的适用范围选取代表性的结构构件和构件的破坏形式；

2 确定设计中基本变量参数的取值范围；

3 对传统设计方法的表达式和其中的设计参数取值进行分析；

4 计算不同构件的可靠指标 β_i ；

5 根据结构构件在工程中的应用数量和重要性，确定一组权重系数 ω_i ，应满足下式要求：

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1 \quad (\text{E. 3. 2-1})$$

6 按下式确定所校准结构构件可靠指标的加权平均值：

$$\beta_m = \sum_{i=1}^n \omega_i \beta_i \quad (\text{E. 3. 2-2})$$

E. 3. 3 结构安全等级采用目标可靠指标进行表达时，二级结构或结构构件的目标可靠指标 β_t 应根据可靠度校准的 β_m 经综合分析和判断确定；一级和三级结构或结构构件的可靠指标宜在二级结构或结构构件的目标可靠指标的基础上提高和降低 0.5 确定。

E. 4 基于可靠指标的设计

E. 4. 1 根据目标可靠指标进行结构或结构构件设计时，可采用下列方法之一：

1 所设计结构或结构构件的可靠指标应符合下式规定：

$$\beta \geq \beta_t \quad (\text{E. 4. 1-1})$$

式中： β ——所设计结构或构件的可靠指标；

β_t ——所设计结构或构件的目标可靠指标。

当不满足式 (E. 4. 1-1) 的要求时，应重新进行设计，直至满足要求为止。

2 对某些结构构件的截面设计,当抗力服从对数正态分布时,可按下式直接求解结构构件的几何参数:

$$R(\mu_f, a_d) = \sqrt{1 + \delta_R^2} \exp\left(\frac{\mu_R}{r^*} - 1 + \ln r^*\right) \quad (\text{E. 4. 1-2})$$

式中: $R(\cdot)$ ——抗力函数;

μ_R ——迭代计算求得的当量正态化抗力的平均值;

r^* ——迭代计算求得的抗力验算点值;

δ_R ——抗力的变异系数;

μ_f ——材料性能平均值;

a_d ——几何参数的设计值。

E. 4. 2 当按可靠指标方法设计的结果与传统方法设计的结果有明显差异时,应分析产生差异的原因,当证明了可靠指标方法设计的结果合理后方可采用。

E. 5 分项系数的确定方法

E. 5. 1 结构或结构构件设计表达式中作用和抗力分项系数的确定应符合下列规定:

1 结构上的同种作用采用相同的作用分项系数,不同的作用采用各自的作用分项系数;

2 不同种类的构件有各自的抗力分项系数,同一种构件在任何可变作用下,抗力分项系数不变;

3 对各种构件在不同的作用效应比下,按所选定的作用分项系数和抗力分项系数进行设计,使所得的可靠指标与目标可靠指标 β_c 具有最佳的一致性。

E. 5. 2 对安全等级为二级的结构或结构构件,当永久作用起不利作用时,结构或结构构件设计表达式中的作用和抗力分项系数可按下列步骤确定:

1 选定代表性的结构或结构构件或破坏方式、一个永久作用和一个可变作用组成的简单组合;

2 对安全等级为二级的结构或结构构件,重要性系数 γ_0 取

为 1.0；

3 对选定的结构或结构构件，确定作用分项系数 γ_G 和 γ_Q 下简单组合的作用效应设计值；

4 对选定的结构或结构构件，确定抗力分项系数 γ_R 下简单组合的抗力标准值；

5 计算选定结构或结构构件简单组合下的可靠指标 β ；

6 对选定的所有代表性结构或结构构件、所有作用分项系数 γ_G 和 γ_Q 的范围以 0.1 或 0.05 的级差，优化确定 γ_R ；选定一组使按分项系数表达式设计的结构或结构构件的可靠指标 β 与目标可靠指标 β_t 最接近的分项系数 γ_G 、 γ_Q 和 γ_R ；

7 根据以往的工程经验，对优化确定的分项系数 γ_G 、 γ_Q 和 γ_R 进行判断，并进行调整。

E. 5.3 对安全等级为二级的结构或结构构件，当永久作用起有利作用时，结构或结构构件分项系数表达式中的永久作用应取负号，根据第 E. 5.2 条已经选定的永久作用起不利作用时的可变作用分项系数 γ_Q 和抗力分项系数 γ_R ，以 0.1 或 0.05 为级差优化确定永久作用分项系数 γ_G 。

E. 6 可变作用组合值系数的确定方法

E. 6.1 可变作用组合值系数的确定应符合下列原则：

对两种或两种以上可变作用参与组合的情况，基于已确定的可变作用分项系数 γ_G 、 γ_Q 和抗力分项系数 γ_R ，组合值系数的确定应使按分项系数表达式设计的结构或结构构件的可靠指标 β 与目标可靠指标 β_t 具有最佳的一致性。

E. 6.2 可变作用组合值系数可按下列步骤确定：

1 以安全等级为二级的结构或结构构件为基础，选定代表性的结构或结构构件或破坏方式、由一个永久作用和两个或两个以上可变作用组成的组合和常用的主导可变作用标准值效应与永久作用标准值效应的比值、伴随可变作用标准值效应与主导可变作用标准值效应的比值；

- 2 根据已经确定的作用分项系数 γ_G 、 γ_Q ，计算不同结构或结构构件、不同作用组合和常用作用效应比下的抗力设计值；
- 3 根据已经确定的抗力分项系数 γ_R ，计算不同结构或结构构件、不同作用组合和常用作用效应比下的抗力标准值；
- 4 计算不同结构或结构构件、不同作用组合和常用作用效应比下的可靠指标 β ；
- 5 对选定的所有代表性结构或结构构件、作用组合和常用的作用效应比，优化确定组合值系数 ψ_c ，使按分项系数表达式设计的结构或结构构件的可靠指标 β 与目标可靠指标 β_t 具有最佳的一致性；
- 6 根据以往的工程经验，对优化确定的组合值系数 ψ_c 进行判断，并进行调整。

附录 F 试验辅助设计

F.1 一般规定

F.1.1 试验辅助设计应符合下列规定：

- 1 在试验进行之前，应制定试验方案。试验方案应包括试验目的、试件的选取和制作，还应包括试验实施和评估等所有必要的说明。
- 2 制定试验方案前，应预先进行定性分析，确定所考虑结构或结构构件性能的可能临界区域和相应极限状态标志。
- 3 试件应采用与构件实际加工相同的工艺制作。
- 4 按试验结果确定设计值时，应考虑试验数量的影响。

F.1.2 应通过换算或修正系数考虑试验条件与结构实际条件的不同。换算系数 η 应通过试验或理论分析确定。影响换算系数 η 的主要因素应包括尺寸效应、时间效应、试件的边界条件、环境条件、工艺条件等。

F.2 试验结果的统计评估原则

F.2.1 统计评估应符合下列基本原则：

- 1 在评估试验结果时，应将试件的性能和失效模式与理论预测值进行对比，当偏离预测值过大时，应分析原因，并做补充试验；
- 2 应根据已有的分布类型及参数信息，以统计方法为基础对试验结果进行评估；本标准附录给出的方法仅适用于统计数据或先验信息取自同一母体的情况；
- 3 试验的评估结果仅对所考虑的试验条件有效，不宜将其外推应用。

F.2.2 材料性能、模型参数或抗力设计值的确定应符合下列基

本原则：

- 1 可采用经典统计方法或贝叶斯法推断材料性能、模型参数或抗力的设计值：先确定标准值，然后除以一个分项系数，必要时要考虑换算系数的影响；
- 2 在进行材料性能、模型参数或抗力设计值评估时，应考虑试验数据的离散性、与试验数量相关的统计不定性和先验的统计知识。

F.3 单项性能指标设计值的统计评估

F.3.1 单项性能指标设计值统计评估，应符合下列规定：

- 1 单项性能 X 可代表构件的抗力或提供构件抗力的性能；
- 2 本标准附录 F 第 F.3.2 条、第 F.3.3 条的所有结论都是以构件的抗力或提供构件抗力的性能服从正态分布或对数正态分布给出的；
- 3 当没有关于平均值的先验知识时，可基于经典方法进行设计值估算，其中“ δ_x 未知”对应于没有变异系数先验知识的情况，“ δ_x 已知”对应于已知变异系数全部知识的情况；
- 4 当已有关于平均值的先验知识时，可基于贝叶斯方法进行设计值估算。

F.3.2 当采用经典统计方法时，应符合下列规定：

- 1 当性能 X 服从正态分布时，其设计值 X_d 可按下式计算：

$$X_d = \eta_d \frac{X_{K(n)}}{\gamma_m} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \mu_x (1 - k_{nk} \delta_x) \quad (\text{F.3.2-1})$$

式中： η_d ——换算系数的设计值，换算系数的评估主要取决于试验类型和材料；

γ_m ——分项系数，具体数值应根据试验结果的应用领域来选定；

k_{nk} ——标准值单侧容限系数；

μ_x ——性能 X 的平均值；

δ_x ——性能 X 的变异系数。

2 当性能 X 服从对数正态分布时, 其设计值 X_d 可按下列公式计算:

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \exp(\mu_y - k_{nk} \sigma_y) \quad (\text{F. 3. 2-2})$$

其中, 变量 $Y = \ln X$ 的平均值 μ_y , 可按下列式计算:

$$\mu_y = m_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (\text{F. 3. 2-3})$$

变量 $Y = \ln X$ 的标准差 σ_y 可按下列式计算:

当 δ_x 已知时,

$$\sigma_y = \sqrt{\ln(\delta_x^2 + 1)}; \quad (\text{F. 3. 2-4})$$

当 δ_x 未知时,

$$\sigma_y = S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - m_y)^2} \quad (\text{F. 3. 2-5})$$

式中: x_i ——性能 X 的第 i 个试验观测值。

F. 3. 3 当采用贝叶斯法时, 应符合下列规定:

1 当性能 X 服从正态分布时, 其设计值 X_d 可按下列式确定:

$$X_d = \eta_d \frac{X_{K(n)}}{\gamma_m} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} (m'' - k_{nv} \sigma'') \quad (\text{F. 3. 3-1})$$

其中:

$$k_{nv} = t_{p,v''} \sqrt{1 + \frac{1}{n''}} \quad (\text{F. 3. 3-2})$$

$$n'' = n' + n \quad (\text{F. 3. 3-3})$$

$$v'' = v' + v + \delta(n') \quad (\text{F. 3. 3-4})$$

$$m'' n'' = m' n' + m_x n \quad (\text{F. 3. 3-5})$$

$$[(\sigma'')^2 v'' + (m'')^2 n''] = [(\sigma')^2 v' + (m')^2 n'] + [(\sigma_x)^2 v + (m_x)^2 n] \quad (\text{F. 3. 3-6})$$

式中: $t_{p,v''}$ ——自由度为 v'' 的 t 分布函数对应分位值 p 的自变量值, $P_t\{x > t_{p,v''}\} = p$;

m' 、 σ' 、 n' 、 v' ——先验分布参数。

2 先验分布参数 n' 和 v' 的确定, 应符合下列原则:

- 1) 当有效数据很少时, 应取 n' 和 ν' 等于零, 此时贝叶斯法评估结果与经典统计方法的“ δ_x 未知”情况相同;
- 2) 当根据过去经验可取平均值和标准差为定值时, 则 n' 和 ν' 可取 50 或更大;
- 3) 在一般情况下, 可假定只有很少数据或无先验数据, 此时 $n' = 0$, 这样可能获得较佳的估算值。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 2 《工程结构可靠性设计统一标准》 GB 50153