

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50153-2008

工程结构可靠性设计统一标准

Unified standard for reliability design of
engineering structures

2008-11-12 发布

2009-07-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 联合发布

中华人民共和国国家标准

工程结构可靠性设计统一标准

Unified standard for reliability design of
engineering structures

GB 50153-2008

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 0 9 年 7 月 1 日

中国建筑工业出版社

2008 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 156 号

关于发布国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》的公告

现批准《工程结构可靠性设计统一标准》为国家标准，编号为 GB 50153 - 2008，自 2009 年 7 月 1 日起实施。其中，第 3.2.1、3.3.1 条为强制性条文，必须严格执行。原《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 - 92 同时废止。

本标准由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2008 年 11 月 12 日

中华人民共和国国家标准
工程结构可靠性设计统一标准
Unified standard for reliability design of
engineering structures
GB 50153 - 2008

*

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
北京红光制版公司制版
北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:5 字数:144 千字
2009 年 5 月第一版 2009 年 7 月第二次印刷
定价:25.00 元

统一书号:15112·17221

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

根据建设部《关于印发〈二〇〇二~二〇〇三年度工程建设国家标准制订、修订计划〉的通知》(建标[2003]102号)的要求,中国建筑科学研究院会同有关单位共同对国家标准《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153-92进行了全面修订。

本标准在修订过程中,积极借鉴了国际标准化组织 ISO 发布的国际标准《结构可靠性总原则》ISO 2394:1998 和欧洲标准化委员会 CEN 批准通过的欧洲规范《结构设计基础》EN 1990:2002,同时认真贯彻了从中国实际出发的方针,总结了我国大规模工程实践的经验,贯彻了可持续发展的指导原则。修订后的新标准比原标准在内容上有所扩展,涵盖了工程结构设计基础的基本内容,是一项工程结构设计的基础标准。

修订后的新标准对建筑工程、铁路工程、公路工程、港口工程、水利水电工程等土木工程各领域工程结构设计的共性问题,即工程结构设计的基本原则、基本要求和基本方法作出了统一规定,以使我国土木工程各领域之间在处理结构可靠性问题上具有统一性和协调性,并与国际接轨。本标准把土木工程各领域工程结构设计的共性要求列入了正文;而将专门领域的具体规定和对专门问题的规定列入了附录。主要内容包括:总则、术语、符号、基本规定、极限状态设计原则、结构上的作用和环境影响、材料和岩土的性能及几何参数、结构分析和试验辅助设计、分项系数设计方法等。

本标准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对强制性条文的管理和解释,由中国建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。为了提高标准质量,请各单位在执行本标准的过程中,注意总结经验,积

累资料,随时将有关的意见和建议寄给中国建筑科学研究院(地址:北京市北三环东路30号;邮政编码:100013),以供今后修订时参考。

本标准主编单位:中国建筑科学研究院

本标准参编单位:中国铁道科学研究院、铁道第三勘察设计院集团有限公司、中交公路规划设计院有限公司、中交水运规划设计院有限公司、水电水利规划设计总院、水利部水利水电规划设计总院、大连理工大学、西安建筑科技大学、上海交通大学、中国工程建设标准化协会

本标准主要起草人:袁振隆、史志华、李明顺、胡德妍、陈基发、李云贵、邸小坛、刘晓光、李铁夫、张玉玲、赵君黎、杜廷瑞、杨松泉、沈义生、周建平、雷兴顺、贡金鑫、姚继涛、鲍卫刚、姚明初、刘西拉、邵卓民、赵国藩

目次

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1 总则	1
2 术语、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	12
3.4 可靠性管理	13
4 极限状态设计原则	14
4.1 极限状态	14
4.2 设计状况	15
4.3 极限状态设计	15
5 结构上的作用和环境影响	17
5.1 一般规定	17
5.2 结构上的作用	17
5.3 环境影响	19
6 材料和岩土的性能及几何参数	20
6.1 材料和岩土的性能	20
6.2 几何参数	21
7 结构分析和试验辅助设计	22
7.1 一般规定	22
7.2 结构模型	22
7.3 作用模型	22
7.4 分析方法	23

7.5 试验辅助设计	23
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 各类工程结构的专门规定	32
A.1 房屋建筑结构的专门规定	32
A.2 铁路桥涵结构的专门规定	34
A.3 公路桥涵结构的专门规定	36
A.4 港口工程结构的专门规定	40
附录 B 质量管理	46
B.1 质量控制要求	46
B.2 设计审查及施工检查	47
附录 C 作用举例及可变作用代表值的确定原则	48
C.1 作用举例	48
C.2 可变作用代表值的确定原则	49
附录 D 试验辅助设计	54
D.1 一般规定	54
D.2 试验结果的统计评估原则	54
D.3 单项性能指标设计值的统计评估	55
附录 E 结构可靠度分析基础和可靠度设计方法	57
E.1 一般规定	57
E.2 结构可靠指标计算	57
E.3 结构可靠度校准	59
E.4 基于可靠指标的设计	60
E.5 分项系数的确定方法	61
E.6 组合值系数的确定方法	62
附录 F 结构疲劳可靠性验算方法	64
F.1 一般规定	64
F.2 疲劳作用	65

F.3 疲劳抗力	67
F.4 疲劳可靠性验算方法	68
附录 G 既有结构的可靠性评定	72
G.1 一般规定	72
G.2 安全性评定	73
G.3 适用性评定	75
G.4 耐久性评定	75
G.5 抗灾害能力评定	76
本标准用词说明	77
附：条文说明	79

1 总 则

1.0.1 为统一房屋建筑、铁路、公路、港口、水利水电等各类工程结构设计的基本原则、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。

1.0.3 工程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，工程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。

1.0.4 各类工程结构设计标准和其他相关标准应遵守本标准规定的基本准则，并应制定相应的具体规定。

1.0.5 工程结构设计除应遵守本标准的规定外，尚应遵守国家现行有关标准的规定。

2 术语、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 working 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

代表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或耐久性能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极限状态的作用卸除后,该作用产生的超越状态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极限状态的作用卸除后,该作用产生的超越状态可以恢复的正常使用极限状态。

2.1.18 抗力 resistance

结构或结构构件承受作用效应的能力。

2.1.19 结构的整体稳固性 structural integrity (structural robustness)

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。

2.1.20 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。

2.1.21 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。

2.1.22 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。

2.1.23 失效概率 p_f probability of failure p_f

结构不能完成预定功能的概率。

2.1.24 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 与失效概率 p_f 的关系为 $\beta = -\Phi^{-1}(p_f)$, 其中 $\Phi^{-1}(\cdot)$ 为标准正态分布函数的反函数。

2.1.25 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。

2.1.26 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。

2.1.27 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。

2.1.28 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。

2.1.29 分位值 fractile

与随机变量概率分布函数的某一概率相应的值。

2.1.30 名义值 nominal value

用非统计方法确定的值。

2.1.31 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。

2.1.32 容许应力法 permissible (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(材料或岩土强度标准值除以某一安全系数)的设计方法。

2.1.33 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。

2.1.34 作用 action

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

2.1.35 作用效应 effect of action

由作用引起的结构或结构构件的反应。

2.1.36 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。

2.1.37 永久作用 permanent action

在设计所考虑的时期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。

2.1.38 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。

2.1.39 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。

2.1.40 地震作用 seismic action

地震对结构所产生的作用。

2.1.41 土工作用 geotechnical action

由岩土、填方或地下水传递到结构上的作用。

2.1.42 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。

2.1.43 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。

2.1.44 静态作用 static action

使结构产生的加速度可以忽略不计的作用。

2.1.45 动态作用 dynamic action

使结构产生的加速度不可忽略不计的作用。

2.1.46 有界作用 bounded action

具有不能被超越的且可确切或近似掌握其界限值的作用。

2.1.47 无界作用 unbounded action

没有明确界限值的作用。

2.1.48 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。

2.1.49 设计基准期 design reference period

为确定可变作用等的取值而选用的时间参数。

2.1.50 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($\psi_c \leq 1$)对作用标准值的折减来表示。

2.1.51 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($\psi_f \leq 1$)对作用标准值的折减来表示。

2.1.52 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($\psi_q \leq 1$)对作用标准值的折减来表示。

2.1.53 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。

2.1.54 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。

2.1.55 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。

2.1.56 作用组合(荷载组合) combination of actions (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。

2.1.57 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。

2.1.58 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。

2.1.59 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。

2.1.60 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位值。

2.1.61 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。

2.1.62 结构分析 structural analysis

确定结构上作用效应的过程。

2.1.63 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。

2.1.64 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。

2.1.65 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。

2.1.66 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。

2.1.67 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。

2.1.68 弹塑性分析 (一阶或二阶) elasto-plastic analysis (first or second order)

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。

2.1.69 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。

2.1.70 既有结构 existing structure

已经存在的各类工程结构。

2.1.71 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。

2.1.72 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 大写拉丁字母的符号:

A_{Ek} ——地震作用的标准值;

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 ——结构或结构构件的抗力;

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;

$S_{A_{Ek}}$ ——地震作用标准值的效应;

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;

$S_{d,dst}$ ——不平衡作用效应的效应设计值;

$S_{d,stb}$ ——平衡作用效应的效应设计值;

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 小写拉丁字母的符号:

a ——几何参数;

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 大写希腊字母的符号:

Δ_a ——几何参数的附加量。

2.2.4 小写希腊字母的符号:

β ——结构构件的可靠指标;

γ_0 ——结构重要性系数;

γ_1 ——地震作用重要性系数;

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适当的可靠度且经济的方式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,结构能保持必需的整体稳固性,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。

注:1 对重要的结构,应采取必要的措施,防止出现结构的连续倒塌;对一般的结构,宜采取适当的措施,防止出现结构的连续倒塌。

2 对港口工程结构,“撞击”指非正常撞击。

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 工程结构设计时,应根据结构破坏可能产生的后果(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。工程结构安全等级的划分应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 工程结构的安全等级

安全等级	破坏后果
一级	很严重
二级	严重
三级	不严重

注:对重要的结构,其安全等级应取为一级;对一般的结构,其安全等级宜取为二级;对次要的结构,其安全等级可取为三级。

3.2.2 工程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。对结构的安全性和适用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。

3.3 设计使用年限和耐久性

3.3.1 工程结构设计时,应规定结构的设计使用年限。

3.3.2 房屋建筑结构、铁路桥涵结构、公路桥涵结构和港口工程结构的设计使用年限应符合附录 A 的规定。

注:1 其他工程结构的设计使用年限应符合国家现行标准的有关规定;

2 特殊工程结构的设计使用年限可另行规定。

3.3.3 工程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。

3.3.4 环境对结构耐久性的影响,可根据工程经验、试验研究、计算或综合分析等方法进行评估。

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

3.4 可靠性管理

3.4.1 为保证工程结构具有规定的可靠度,除应进行必要的设计计算外,还应对结构的材料性能、施工质量、使用和维护等进行相应的控制。控制的具体措施,应符合附录 B 和有关的勘察、设计、施工及维护等标准的专门规定。

3.4.2 工程结构的设计必须由具有相应资格的技术人员担任。

3.4.3 工程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规范的规定。

3.4.4 工程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 对工程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竣工验收。

3.4.6 工程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,应进行设计复核和采取必要的安全措施。

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和正常使用极限状态，并应符合下列要求：

1 承载能力极限状态

当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认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 正常使用极限状态

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

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 结构设计时应对结构的不同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 工程结构设计时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，在抗震设防地区必须考虑地震设计状况。

4.2.2 工程结构设计时，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。

4.3 极限状态设计

4.3.1 对本章第 4.2.1 条规定的四种工程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；
- 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 基本组合，用于持久设计状况或短暂设计状况；
- 2 偶然组合，用于偶然设计状况；
- 3 地震组合，用于地震设计状况。

4.3.3 进行正常使用极限状态设计时，可采用下列作用组合：

- 1 标准组合，宜用于不可逆正常使用极限状态设计；
- 2 频遇组合，宜用于可逆正常使用极限状态设计；
- 3 准永久组合，宜用于长期效应是决定性因素的正常使用

极限状态设计。

4.3.4 对每一种作用组合,工程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要求:

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0 \quad (4.3.6-1)$$

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要求:

$$R - S \geq 0 \quad (4.3.6-2)$$

式中 R ——结构的抗力;

S ——结构的作用效应。

4.3.7 结构构件的设计应以规定的可靠度满足本章第 4.3.6 条的要求。

4.3.8 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响

5.1 一般规定

5.1.1 工程结构设计时,应考虑结构上可能出现的各种作用(包括直接作用、间接作用)和环境影响。

5.2 结构上的作用

5.2.1 结构上的各种作用,当可认为在时间上和空间上相互独立时,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(荷载组合)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来描述,但对不同的问题可采用不同的方法进行简化。

对永久作用,在结构可靠性设计中可采用随机变量的概率模型。

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。

注:可变作用的标准值可按本标准附录 C 规定的原则确定。

5.2.7 工程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 等折减系数来表示。

注:可变作用的组合值、频遇值和准永久值可按本标准附录 C 规定的原则确定。

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。地震作用的重现期宜采用 475 年,也可根据具体工程情况采用其他地震作用的重现期。

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,建立适当的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 的大小一般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的变异性(随机的或非随机的),但一般与结构的性质无关;

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、阻尼以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“准静态作用”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,也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，应根据有关的试验方法标准经试验确定。

6.1.2 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。

6.1.3 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反映，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。

岩土性能指标和地基、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确定，并应考虑由于钻探取样的扰动、室内外试验条件与实际工程结构条件的差别以及所采用公式的误差等因素的影响。

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。

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。

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。

6.1.5 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 α 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结构或结构构件几何尺寸的测试数据为基础，运用参数估计和概率分布的假设检验方法确定。

当测试数据不充分时，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。

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。

6.2.2 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。
- 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，应有比较详细的过程描述。

- 7.3.2 在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或对静力作用乘以等效动力放大系数等方法，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 对某些没有适当分析模型的特殊情况，可进行试验辅助设计，其具体方法宜符合附录 D 的规定。

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:

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

注: 根据需要, 也可从材料性能的分项系数 γ_M 中将反映抗力模型不定

性的系数 γ_{Rd} 分离出来。

8.2 承载力极限状态

8.2.1 结构或结构构件按承载力极限状态设计时,应考虑下列状态:

1 结构或结构构件(包括基础等)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 地基的破坏或过度变形,此时岩土の强度起控制作用;

4 结构或结构构件的疲劳破坏,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力极限状态设计时,应符合下列要求:

1 结构或结构构件(包括基础等)的破坏或过度变形的承载力极限状态设计,应符合下式要求:

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

式中 γ_0 ——结构重要性系数,其值按附录 A 的有关规定采用;

S_d ——作用组合の效应(如轴力、弯矩或表示几个轴力、弯矩の向量)设计值;

R_d ——结构或结构构件の抗力设计值。

2 整个结构或其一部分作为刚体失去静力平衡の承载力极限状态设计,应符合下式要求:

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

式中 $S_{d,dst}$ ——不平衡作用效应的设计值;

$S_{d,stab}$ ——平衡作用效应的设计值。

3 地基の破坏或过度变形的承载力极限状态设计,可采用分项系数法进行,但其分项系数的取值与式(8.2.2-1)中所包含の分项系数的取值可有区别。

注: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进行。

4 结构或结构构件の疲劳破坏の承载力极限状态设计,可按附录 F 规定の方法进行。

8.2.3 承载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の作用的组合;

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,该永久作用の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。

1 基本组合の效应设计值可按下式确定:

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

式中 $S(\cdot)$ ——作用组合の效应函数;

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值;

P ——预应力作用の有关代表值;

Q_{1k} ——第 1 个可变作用(主导可变作用)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,应按附录 A 的有关规定采用;

γ_P ——预应力作用的分项系数,应按附录 A 的有关

规定采用;

γ_{Q_1} ——第1个可变作用(主导可变作用)的分项系数,应按附录A的有关规定采用;

γ_{Q_j} ——第j个可变作用的分项系数,应按附录A的有关规定采用;

$\gamma_{L_1}, \gamma_{L_j}$ ——第1个和第j个考虑结构设计使用年限的荷载调整系数,应按有关规定采用,对设计使用年限与设计基准期相同的结构,应取 $\gamma_L = 1.0$;

ψ_{cj} ——第j个可变作用的组合值系数,应按有关规范的规定采用。

注:在作用组合的效应函数 $S(\cdot)$ 中,符号“ \sum ”和“+”均表示组合,即同时考虑所有作用对结构的共同影响,而不表示代数相加。

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可按式计算:

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

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(主导可变作用)标准值的效应;

$S_{Q_{jk}}$ ——第j个可变作用标准值的效应。

注:1 对持久设计状况和短暂设计状况,也可根据需要分别给出作用组合的效应设计值;

2 可根据需要从作用的分项系数中将反映作用效应模型不定性的系数 γ_{sd} 分离出来。

8.2.5 对偶然设计状况,应采用作用的偶然组合。

1 偶然组合的效应设计值可按式确定:

$$S_d = S \left[\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + A_d + (\psi_{1l} \text{ 或 } \psi_{1l}) Q_{1k} + \sum_{j \geq 1} \psi_{cj} Q_{jk} \right] \quad (8.2.5-1)$$

式中 A_d ——偶然作用的设计值;

ψ_{1l} ——第1个可变作用的频遇值系数,应按有关规范的规定采用;

ψ_{ql}, ψ_{qj} ——第1个和第j个可变作用的准永久值系数,应按有关规范的规定采用。

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可按式计算:

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

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。

1 地震组合的效应设计值,宜根据重现期为475年的地震作用(基本烈度)确定,其效应设计值应符合下列规定:

1) 地震组合的效应设计值宜按下式确定:

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + \gamma_1 A_{Ek} + \sum_{j \geq 1} \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad (8.2.6-1)$$

式中 γ_1 ——地震作用重要性系数,应按有关的抗震设计规范的规定采用;

A_{Ek} ——根据重现期为475年的地震作用(基本烈度)确定的地震作用的标准值。

2) 当作用与作用效应按线性关系考虑时,地震组合效应设计值可按式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_P + \gamma_1 S_{A_{Ek}} + \sum_{j \geq 1} \psi_{qj} S_{Q_{jk}} \quad (8.2.6-2)$$

式中 $S_{A_{Ek}}$ ——地震作用标准值的效应。

注:当按线弹性分析计算地震作用效应时,应将计算结果除以结构性能系数以考虑结构延性的影响,结构性能系数应按有关的抗震设计规范的规定采用。

2 地震组合的效应设计值,也可根据重现期大于或小于475年的地震作用确定,其效应设计值应符合有关的抗震设计规

范的规定。

8.2.7 当永久作用效应或预应力作用效应对结构构件承载力起有利作用时,式(8.2.4)中永久作用分项系数 γ_G 和预应力作用分项系数 γ_P 的取值不应大于1.0。

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,应符合下式要求:

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

式中 S_d ——作用组合的效应(如变形、裂缝等)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规范的规定采用。

8.3.2 按正常使用极限状态设计时,可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。

1 标准组合

1) 标准组合的效应设计值可按下式确定:

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

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可按下式计算:

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

2 频遇组合

1) 频遇组合的效应设计值可按下式确定:

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + \psi_{f1} Q_{1k} + \sum_{j > 1} \psi_{ej} Q_{jk}) \quad (8.3.2-3)$$

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可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_P + \psi_{f1} S_{Q_{1k}} + \sum_{j > 1} \psi_{ej} S_{Q_{jk}} \quad (8.3.2-4)$$

3 准永久组合

1) 准永久组合的效应设计值可按下式确定:

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

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可按下式计算:

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

注:标准组合宜用于不可逆正常使用极限状态;频遇组合宜用于可逆正常使用极限状态;准永久组合宜用在当长期效应是决定性因素时的正常使用极限状态。

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规范有专门规定外,应取为1.0。

附录 A 各类工程结构的专门规定

A.1 房屋建筑结构的专门规定

A.1.1 房屋建筑结构的的安全等级,应根据结构破坏可能产生后果的严重性按表 A.1.1 划分。

表 A.1.1 房屋建筑结构的的安全等级

安全等级	破坏后果	示 例
一级	很严重:对人的生命、经济、社会或环境影响很大	大型的公共建筑等
二级	严重:对人的生命、经济、社会或环境影响较大	普通的住宅和办公楼等
三级	不严重:对人的生命、经济、社会或环境影响较小	小型的或临时性贮存建筑等

注:房屋建筑结构抗震设计中的甲类建筑和乙类建筑,其安全等级宜规定为一级;丙类建筑,其安全等级宜规定为二级;丁类建筑,其安全等级宜规定为三级。

A.1.2 房屋建筑结构的设计基准期为 50 年。

A.1.3 房屋结构设计使用年限,应按表 A.1.3 采用。

表 A.1.3 房屋结构设计使用年限

类别	设计使用年限(年)	示 例
1	5	临时性建筑结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	标志性建筑和特别重要的建筑结构

A.1.4 房屋建筑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 A.1.4 的规定。

表 A.1.4 房屋建筑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

A.1.5 房屋建筑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。

A.1.6 在承载能力极限状态设计中,对持久设计状况和短暂设计状况,尚应符合下列要求:

1 作用组合的效应设计值应按式(8.2.4-1)及下式中最不利值确定:

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} G_{ik} + \gamma_P P + \gamma_L \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q_j} \psi_{ej} Q_{jk}) \quad (\text{A.1.6-1})$$

2 当作用与作用效应按线性关系考虑时,作用组合的效应设计值应按式(8.2.4-2)及下式中最不利值计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} S_{G_{ik}} + \gamma_P S_P + \gamma_L \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q_j} \psi_{ej} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A.1.6-2})$$

A.1.7 房屋建筑的结构重要性系数 γ_0 ,不应小于表 A.1.7 的规定。

表 A.1.7 房屋建筑的结构重要性系数 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

A.1.8 房屋建筑结构作用的分项系数,应按表 A.1.8 采用。

表 A.1.8 房屋建筑结构作用的分项系数

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
	对式(8.2.4-1)和式(8.2.4-2)	对式(A.1.6-1)和式(A.1.6-2)	
γ_G	1.2	1.35	≤ 1.0
γ_P	1.2		1.0
γ_Q	1.4		0

A.1.9 房屋建筑考虑结构设计使用年限的荷载调整系数,应按表 A.1.9 采用。

表 A.1.9 房屋建筑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规范的规定采用。

A.2 铁路桥涵结构的专门规定

A.2.1 铁路桥涵结构的安全等级为一级。

A.2.2 铁路桥涵结构的设计基准期为 100 年。

A.2.3 铁路桥涵结构的设计使用年限应为 100 年。

A.2.4 铁路桥涵结构承载能力极限状态设计,应采用作用的基本组合和偶然组合。

1 基本组合

1) 基本组合的效应设计值应按式确定:

$$S_d = \gamma_{sd} S \left(\sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} G_{ik} + \gamma_{Q_1} Q_{1k} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q_j} Q_{jk} \right) \quad (\text{A.2.4-1})$$

式中 γ_{sd} ——作用模型不定性系数,一般取为 1.0;

$S(\cdot)$ ——作用组合的效应函数,其中符号“ \sum ”和“+”表示组合;

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值;

Q_{1k} 、 Q_{jk} ——第 1 个和第 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;

γ_{Q_1} 、 γ_{Q_j} ——承载能力极限状态设计第 1 个和第 j 个可变作用的组合分项系数。

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应按式计算:

$$S_d = \gamma_{sd} \left(\sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} S_{G_{ik}} + \gamma_{Q_1} S_{Q_{1k}} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q_j} S_{Q_{jk}} \right) \quad (\text{A.2.4-2})$$

式中 $S_{G_{ik}}$ ——第 i 个永久作用标准值的效应;

$S_{Q_{1k}}$ 、 $S_{Q_{jk}}$ ——第 1 个和第 j 个可变作用标准值的效应。

2 偶然组合

1) 偶然组合的效应设计值可按下式确定:

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + A_d + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q_j} Q_{jk} \right) \quad (\text{A.2.4-3})$$

式中 A_d ——偶然作用的设计值。

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可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_{A_d} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q_j} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A.2.4-4})$$

式中 S_{A_d} ——偶然作用设计值的效应。

A.2.5 铁路桥涵结构正常使用极限状态设计,应采用作用的标准组合。

1 标准组合的效应设计值应按式确定:

$$S_d = \gamma_{sd} S \left(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + Q_{1k} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q_j} Q_{jk} \right) \quad (\text{A.2.5-1})$$

式中 γ_{Q_j} ——正常使用极限状态设计第 j 个可变作用的组合分项系数。

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应按下列式计算：

$$S_d = \gamma_{sd} \left(\sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_{Q_{1k}} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q_j} S_{Q_{jk}} \right) \quad (\text{A. 2. 5-2})$$

A. 2. 6 铁路桥涵结构正常使用极限状态的设计，应根据线路等级、桥梁类型制定以下各种限值：

1 桥跨结构在静活载作用下竖向挠度限值、梁端转角限值和竖向自振频率限值；

2 桥跨结构横向宽跨比限值、横向水平变位限值和桥梁整体横向振动频率限值；

3 对在列车运行速度不小于 200km/h 的线路上，桥梁结构尚应进行车桥耦合动力响应分析，列车运行应满足的安全性和舒适性限值；

4 钢筋混凝土和允许出现裂缝的部分预应力构件，在不同侵蚀性环境下的裂缝宽度限值；

5 混凝土受弯构件变形计算时应考虑刚度疲劳折减系数对构件计算刚度的影响。

A. 2. 7 铁路桥涵结构中承受列车活载反复应力的焊接或非焊接的受拉或拉压钢结构构件及混凝土受弯构件，应按下列要求进行疲劳承载力验算：

1 铁路桥涵结构的疲劳荷载可采用根据不同运量等级线路调查统计分析制定的典型疲劳列车及疲劳作用（应力）谱、标准荷载效应比谱；

2 铁路桥涵结构疲劳承载力极限状态验算，宜采用等效等幅重复应力法。

A. 3 公路桥涵结构的专门规定

A. 3. 1 公路桥涵结构的安全等级，应按表 A. 3. 1 的要求划分。

表 A. 3. 1 公路桥涵结构的安全等级

安全等级	类 型	示 例
一级	重要结构	特大桥、大桥、中桥、重要小桥
二级	一般结构	小桥、重要涵洞、重要挡土墙
三级	次要结构	涵洞、挡土墙、防撞护栏

A. 3. 2 公路桥涵结构的设计基准期为 100 年。

A. 3. 3 公路桥涵结构的设计使用年限，应按表 A. 3. 3 采用。

表 A. 3. 3 公路桥涵结构的设计使用年限

类 别	设计使用年限（年）	示 例
1	30	小桥、涵洞
2	50	中桥、重要小桥
3	100	特大桥、大桥、重要中桥

注：对有特殊要求结构的设计使用年限，可在上述规定基础上经技术经济论证后予以调整。

A. 3. 4 公路桥涵结构承载能力极限状态设计，对持久设计状况和短暂设计状况应采用作用的基本组合，对偶然设计状况应采用作用的偶然组合。

1 基本组合

1) 基本组合的效应设计值 S_d ，可按下列式确定：

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} G_{ik} + \gamma_{Q_1} \gamma_{L_1} Q_{1k} + \psi_c \gamma_{L_1} \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q_j} Q_{jk} \right) \quad (\text{A. 3. 4-1})$$

式中 $S(\cdot)$ ——作用组合的效应函数，其中符号“ \sum ”和“+”表示组合；

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值；

Q_{1k} ——第 1 个可变作用（主导可变作用）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，应按表 A. 3. 7 采用；

γ_{Q_1} ——第1个可变作用（主导可变作用）的分项系数，应按有关的公路桥涵结构规范的规定采用；

γ_{Q_j} ——第 j 个可变作用的分项系数，应按有关的公路桥涵结构规范的规定采用。

γ_L ——考虑结构设计使用年限的荷载调整系数，应按有关的公路桥涵结构规范的规定采用；

ψ_c ——可变作用的组合值系数，应按有关的公路桥涵结构规范的规定采用。

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 S_d ，可按下式计算：

$$S_d = \sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} S_{G_{ik}} + \gamma_{Q_1} \gamma_L S_{Q_{1k}} + \psi_c \gamma_L \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q_j} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 3. 4-2})$$

式中 $S_{G_{ik}}$ ——第 i 个永久作用标准值的效应；

$S_{Q_{1k}}$ ——第1个可变作用（主导可变作用）标准值的效应；

$S_{Q_{jk}}$ ——第 j 个可变作用标准值的效应。

2 偶然组合

1) 偶然组合的效应设计值 S_d ，可按下式确定：

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + A_d + (\psi_{11} \text{ 或 } \psi_{q1}) Q_{1k} + \sum_{j \geq 1} \psi_{qj} Q_{jk}) \quad (\text{A. 3. 4-3})$$

式中 A_d ——偶然作用的设计值；

ψ_{11} ——第1个可变作用的频遇值系数，应按有关的公路桥涵结构规范的规定采用；

ψ_{q1} 、 ψ_{qj} ——第1个和第 j 个可变作用的准永久值系数，应按有关的公路桥涵结构规范的规定采用。

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可按下列下式计算：

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_{A_d} + (\psi_{11} \text{ 或 } \psi_{q1}) S_{Q_{1k}} + \sum_{j \geq 1} \psi_{qj} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 3. 4-4})$$

式中 S_{A_d} ——偶然作用设计值的效应。

A. 3. 5 公路桥涵结构正常使用极限状态设计，应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。

1 标准组合

1) 标准组合的效应设计值 S_d ，可按下列下式确定：

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + Q_{1k} + \psi_c \sum_{j \geq 1} Q_{jk}) \quad (\text{A. 3. 5-1})$$

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 S_d ，可按下列下式计算：

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_{Q_{1k}} + \psi_c \sum_{j \geq 1} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 3. 5-2})$$

2 频遇组合

1) 频遇组合的效应设计值 S_d ，可按下列下式确定：

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + \psi_{11} Q_{1k} + \sum_{j \geq 1} \psi_{qj} Q_{jk}) \quad (\text{A. 3. 5-3})$$

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 S_d ，应按下列下式计算：

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + \psi_{11} S_{Q_{1k}} + \sum_{j \geq 1} \psi_{qj} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 3. 5-4})$$

3 准永久组合

1) 准永久组合的效应设计值 S_d ，可按下列下式确定：

$$S_d = S(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + \sum_{j \geq 1} \psi_{qj} Q_{jk}) \quad (\text{A. 3. 5-5})$$

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 S_d ，应按下列下式计算：

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + \sum_{j \geq 1} \psi_{qj} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 3. 5-6})$$

A. 3. 6 公路桥涵结构的结构重要性系数，不应小于表 A. 3. 6 的规定。

表 A.3.6 公路桥涵结构重要性系数 γ_0

安全等级	一级	二级	三级
结构重要性系数 γ_0	1.1	1.0	0.9

A.3.7 公路桥涵结构永久作用的分项系数,应按表 A.3.7 采用。

表 A.3.7 公路桥涵结构永久作用的分项系数 γ_G

编号	作用类别		当作用效应对结构的承载力不利时	当作用效应对结构的承载力有利时
1	混凝土和圬工结构重力 (包括结构附加重力)		1.2	1.0
	钢结构重力(包括结构附加重力)		1.1~1.2	
2	预加力		1.2	
3	土的重力			
4	混凝土的收缩及徐变作用		1.0	
5	土侧压力		1.4	
6	水的浮力		1.0	
7	基础变位 作用	混凝土和圬工结构	0.5	0.5
		钢结构	1.0	1.0

A.4 港口工程结构的专门规定

A.4.1 港口工程结构的安全等级,应按表 A.4.1 的要求划分。

表 A.4.1 港口工程结构的安全等级

安全等级	失效后果	适用范围
一级	很严重	有特殊安全要求的结构
二级	严重	一般港口工程结构
三级	不严重	临时性港口工程结构

A.4.2 港口工程结构的设计基准期为 50 年。

A.4.3 港口工程结构的设计使用年限,应按表 A.4.3 采用。

表 A.4.3 设计使用年限分类

类别	设计使用年限(年)	示例
1	5~10	临时性港口建筑物
2	50	永久性港口建筑物

A.4.4 港口工程结构持久设计状况承载能力极限状态设计的可靠指标,不宜小于表 A.4.4 的规定。

表 A.4.4 港口工程结构的可靠指标

结 构	安全等级		
	一级	二级	三级
一般港口工程结构	4.0	3.5	3.0

注:不包括土坡及地基稳定和防波堤结构。

A.4.5 对承载能力极限状态,应根据不同的设计状况采用作用的持久组合、短暂组合、偶然组合和地震组合进行设计。

1 持久组合

1) 港口工程结构作用持久组合的效应设计值,宜按下式确定:

$$S_d = S\left(\sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} G_{ik} + \gamma_P P + \gamma_{Q_1} Q_{1k} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q_j} \psi_{cj} Q_{jk}\right) \quad (\text{A.4.5-1})$$

式中 $S(\cdot)$ ——作用组合的效应函数,其中符号“ Σ ”和“+”表示组合;

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值;

P ——预应力的代表值;

Q_{1k} 、 Q_{jk} ——第 1 个和第 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,可按表 A.4.12 取值;

γ_P ——预应力的分项系数;

γ_{Q_1} 、 γ_{Q_j} ——第 1 个和第 j 个可变作用分项系数,可按表 A.4.12 取值;

ψ_{vj} ——可变作用的组合值系数,可取 0.7;对经常以界限值出现的有界作用,可取 1.0。

- 2) 当作用与作用效应按线性关系考虑时,作用持久组合的效应设计值可按式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} \gamma_{Gi} S_{G_{ik}} + \gamma_P S_P + \gamma_{Qi} S_{Q_{ik}} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Qj} \psi_{vj} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 4. 5-2})$$

- 3) 对某些情况,作用持久组合的效应设计值,亦可按下式确定:

$$S_d = \gamma_F S \left(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + \sum_{j \geq 1} Q_{jk} \right) \quad (\text{A. 4. 5-3})$$

式中 γ_F ——作用综合分项系数,由各有关设计规范中给出。

2 短暂组合

- 1) 港口工程结构作用短暂组合的效应设计值,宜按下式确定:

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1} \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_P P + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Qj} Q_{jk} \right) \quad (\text{A. 4. 5-4})$$

- 2) 当作用与作用效应按线性关系考虑时,可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} \gamma_{Gi} S_{G_{ik}} + \gamma_P S_P + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Qj} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 4. 5-5})$$

式中 γ_{Qj} ——第 j 个可变作用分项系数,可按表 A. 4. 12 中所列数值减小 0.1 采用。

- 3) 对某些情况,作用短暂组合的效应设计值,亦可按下式 (A. 4. 5-3) 确定。

3 偶然组合

偶然组合应符合下列要求:

- 1) 偶然作用的分项系数为 1.0;
2) 与偶然作用同时出现的可变作用取标准值。

4 地震组合

地震组合应符合下列要求:

- 1) 地震作用代表值的分项系数为 1.0;
2) 具体的设计表达式及各种系数,应按国家现行有关标准的规定采用。

A. 4. 6 对持久设计状况正常使用极限状态,根据不同的设计要求,可分别采用作用的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计,使变形、裂缝等作用效应的设计值符合式 (8. 3. 1) 的规定。

1 标准组合

- 1) 标准组合的效应设计值,可按下式确定:

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + Q_{ik} + \sum_{j \geq 1} \psi_{vj} Q_{jk} \right) \quad (\text{A. 4. 6-1})$$

- 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,可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_P + S_{Q_{ik}} + \sum_{j \geq 1} \psi_{vj} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 4. 6-2})$$

2 频遇组合

- 1) 频遇组合的效应设计值,可按下式确定:

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + \psi_1 Q_{1k} + \sum_{j \geq 1} \psi_{vj} Q_{jk} \right) \quad (\text{A. 4. 6-3})$$

- 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,可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_P + \psi_1 S_{Q_{1k}} + \sum_{j \geq 1} \psi_{vj} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 4. 6-4})$$

3 准永久组合

- 1) 准永久组合的效应设计值,可按下式确定:

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1} G_{ik} + P + \sum_{j \geq 1} \psi_{vj} Q_{jk} \right) \quad (\text{A. 4. 6-5})$$

- 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,可按下式计算:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + S_P + \sum_{j \geq 1} \psi_{ij} S_{Q_{jk}} \quad (\text{A. 4. 6-6})$$

式中 ψ_{ij} 、 ψ_i 、 ψ_{ij} ——可变作用的组合值系数、频遇值系数和准永久值系数。

A. 4. 7 承载力极限状态的作用组合，对海港工程计算水位应按下列规定确定：

1 持久组合：对设计高水位、设计低水位、极端高水位和极端低水位以及设计高水位与设计低水位之间的某一不利水位，及与地下水位相结合分别进行计算；

2 短暂组合：对设计高水位和设计低水位以及设计高水位与设计低水位之间的某一不利水位，及与地下水位相结合分别进行计算。

A. 4. 8 承载力极限状态的作用组合，对河港工程计算水位应按下列规定确定：

1 持久组合：对设计高水位、设计低水位及与地下水位相结合的某一不利水位分别进行计算；

2 短暂组合：对设计高水位和设计低水位分别进行计算，施工期间可按某一不利水位进行设计。

A. 4. 9 承载力极限状态的地震组合，计算水位应符合国家现行有关标准的规定。

A. 4. 10 正常使用极限状态设计采用的作用组合可不考虑极端水位。

A. 4. 11 港口工程结构重要性系数，应按表 A. 4. 11 采用。

表 A. 4. 11 港口工程结构重要性系数

安全等级	一级	二级	三级
结构重要性系数 γ_0	1.1	1.0	0.9

注：1 安全等级为一级的港口工程结构，当对安全有特殊要求时， γ_0 可适当提高；

2 自然条件复杂、维护有困难时， γ_0 可适当提高。

A. 4. 12 承载力极限状态持久组合的作用分项系数，应按表

A. 4. 12 采用。

表 A. 4. 12 作用分项系数

荷载名称	分项系数	荷载名称	分项系数
永久荷载（不包括土压力、静水压力）	1.2	铁路荷载	1.4
五金钢铁荷载	1.5	汽车荷载	
散货荷载		缆车荷载	
起重机械荷载		船舶系缆力	
船舶撞击力		船舶挤靠力	
水流力		运输机械荷载	
冰荷载		风荷载	
波浪力（构件计算）	1.4	人群荷载	
一般件杂货、集装箱荷载		土压力	1.35
液体管道（含推力）荷载		剩余水压力	1.05

注：1 当永久作用效应对结构承载力起有利作用时，永久作用分项系数 γ_G 取值不应大于 1.0；

2 同一来源的作用，当总的作用效应对结构承载力不利时，分作用均乘以不利作用的分项系数；

3 永久荷载为主时，其分项系数应不小于 1.3；

4 当两个可变作用完全相关，其中一个为主导可变作用时，其非主导可变作用的分项系数应按主导可变作用的分项系数考虑；

5 海港结构在极端高水位和极端低水位情况下，承载力极限状态持久组合的可变作用分项系数应减小 0.1；

6 相关结构规范抗倾、抗滑稳定计算时的波浪力分项系数按相关结构规范规定执行。

附录B 质量管理

B.1 质量控制要求

B.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规范中,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。

材料和构件的合格质量水平,应根据各类工程结构有关规范规定的结构构件可靠指标确定。

B.1.2 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。

B.1.3 对工程结构应实施为保证结构可靠性所必需的质量控制。工程结构的各项质量控制要求应由有关标准作出规定。工程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。

B.1.4 勘察与设计的质量控制应达到下列要求:

- 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。

B.1.5 为进行施工质量控制,在各工序内应实行质量自检,在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。

B.1.6 材料和构件的质量控制应包括下列两种控制:

- 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(验收):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,保证其质量符合要求。

B.1.7 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。

B.1.8 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规范的有关要求和工程经验确定。

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。

B.1.9 当一批材料或构件经抽样检验判为不合格时,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。

B.2 设计审查及施工检查

B.2.1 工程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有关规定。

注:对重要工程或复杂工程,当采用计算机软件作结构计算时,应至少采用两套计算模型符合工程实际的软件,并对计算结果进行分析对比,确认其合理、正确后方可用于工程设计。

附录 C 作用举例及可变作用代表值的确定原则

C.1 作用举例

C.1.1 永久作用可分为以下几类:

- 1 结构自重;
- 2 土压力;
- 3 水位不变的水压力;
- 4 预应力;
- 5 地基变形;
- 6 混凝土收缩;
- 7 钢材焊接变形;
- 8 引起结构外加变形或约束变形的各种施工因素。

C.1.2 可变作用可分为以下几类:

- 1 使用时人员、物件等荷载;
- 2 施工时结构的某些自重;
- 3 安装荷载;
- 4 车辆荷载;
- 5 吊车荷载;
- 6 风荷载;
- 7 雪荷载;
- 8 冰荷载;
- 9 地震作用;
- 10 撞击;
- 11 水位变化的水压力;
- 12 扬压力;
- 13 波浪力;
- 14 温度变化。

C.1.3 偶然作用可分为以下几类:

- 1 撞击;
- 2 爆炸;
- 3 地震作用;
- 4 龙卷风;
- 5 火灾;
- 6 极严重的侵蚀;
- 7 洪水作用。

注:地震作用和撞击可认为是规定条件下的可变作用,或可认为是偶然作用。

C.2 可变作用代表值的确定原则

C.2.1 可变作用标准值可按下述原则确定:

1 当可变作用采用平稳二项随机过程模型时,设计基准期 T 内可变作用最大值的概率分布函数 $F_T(x)$ 可按下式计算:

$$F_T(x) = [F(x)]^m \quad (\text{C.2.1-1})$$

式中 $F(x)$ ——可变作用随机过程的截口概率分布函数;

m ——可变作用在设计基准期 T 内的平均出现次数。

当截口概率分布为极值 I 型分布时 (如年最大风压):

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{x-u}{\alpha} \right) \right] \quad (\text{C.2.1-2})$$

其最大值概率分布函数为:

$$F_T(x) = \exp \left\{ -\exp \left[-\frac{x-(u+\alpha \ln m)}{\alpha} \right] \right\} \quad (\text{C.2.1-3})$$

2 可变作用的标准值 Q_k 可由可变作用在设计基准期 T 内最大值概率分布的统计特征值确定,最常用的统计特征值有平均值、中值和众值,也可采用其他的指定概率 p 的分位值,即:

$$F_T(Q_k) = p \quad (\text{C.2.1-4})$$

此时,对标准值 Q_k 在设计基准期内最大值分布上的超越概率为 $1-p$ 。

3 在很多情况下,特别是对自然作用,采用重现期 T_R 来表述可变作用的标准值 Q_k 比较方便,重现期是指连续两次超过作用值 Q_k 的平均间隔时间, Q_k 与 T_R 的关系如下:

$$F(Q_k) = 1 - 1/T_R \quad (C.2.1-5)$$

重现期 T_R 、概率 p 和确定标准值的设计基准期 T 还存在下述近似关系:

$$T_R \approx \frac{1}{\ln(1/p)} T \quad (C.2.1-6)$$

C.2.2 可变作用频遇值可按下述原则确定:

1 按作用值被超越的总持续时间与设计基准期的规定比率确定频遇值。

在可变作用的随机过程的分析中,将作用值超过某水平 Q_x 的总持续时间 $T_x = \sum_{i=1}^n t_i$ 与设计基准期 T 的比率 $\eta_x = T_x/T$ 来表征频遇值作用的短暂程度(图 C.2.2-1a)。图 C.2.2-1b 给出的是可变作用 Q 在非零时域内任意时点作用值 Q^* 的概率分布函数 $F_{Q^*}(x)$,超过 Q_x 水平的概率 p^* 可按下式确定:

$$p^* = 1 - F_{Q^*}(Q_x) \quad (C.2.2-1)$$

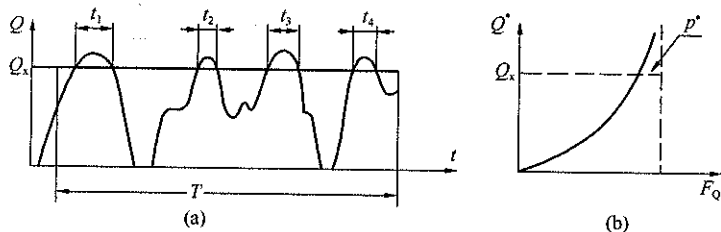


图 C.2.2-1 以作用值超过某水平 Q_x 的总持续时间与设计基准期 T 的比率定义可变作用频遇值

对各态历经的随机过程,存在下列关系式:

$$\eta_x = p^* q \quad (C.2.2-2)$$

式中 q ——作用 Q 的非零概率。

当 η_x 为规定值时,相应的作用水平 Q_x 可按下式确定:

$$Q_x = F_{Q^*}^{-1} \left(1 - \frac{\eta_x}{q} \right) \quad (C.2.2-3)$$

对与时间有关联的正常使用极限状态,作用的频遇值可考虑按这种方式取值,当允许某些极限状态在一个较短的持续时间内被超越,或在总体上不长的时间内被超越,就可采用较小的 η_x 值(不大于 0.1),按式 (C.2.2-3) 计算作用的频遇值 $\psi_1 Q_k$ 。

2 按作用值被超越的总频数或单位时间平均超越次数(跨阈率)确定频遇值。

在可变作用的随机过程的分析中,将作用值超过某水平 Q_x 的次数 n_x 或单位时间内的平均超越次数 $\nu_x = n_x/T$ (跨阈率)来表征频遇值出现的疏密程度(图 C.2.2-2)。

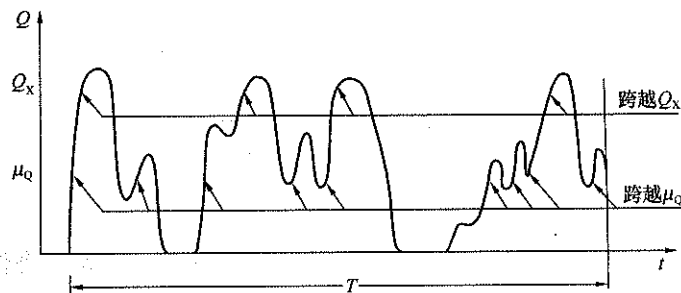


图 C.2.2-2 以跨阈率定义可变作用频遇值

跨阈率可通过直接观察确定,一般也可应用随机过程的某些特性(如谱密度函数)间接确定。当其任意时点作用 Q^* 的均值 μ_{Q^*} 及其跨阈率 ν_m 为已知,而且作用是高斯平稳各态历经的随机过程,则对应于跨阈率 ν_x 的作用水平 Q_x 可按下式确定:

$$Q_x = \mu_{Q^*} + \sigma_{Q^*} \sqrt{\ln(\nu_m/\nu_x)}^2 \quad (C.2.2-4)$$

式中 σ_{Q^*} ——任意时点作用 Q^* 的标准差。

对与作用超越次数有关联的正常使用极限状态,作用的频遇值 $\psi_1 Q_k$ 可考虑按这种方式取值,当结构振动时涉及人的舒适性、影响非结构构件的性能和设备的使用功能等的极限状态,都可采用频遇值来衡量结构的正常性。

C.2.3 可变作用准永久值可按下述原则确定:

1 对在结构上经常出现的部分可变作用, 可将其出现部分的均值作为准永久值 $\psi_q Q_k$ 采用。

2 对不易判别的可变作用, 可以按作用值被超越的总持续时间与设计基准期的规定比率确定, 此时比率可取 0.5。当可变作用可认为是各态历经的随机过程时, 准永久值 $\psi_q Q_k$ 可直接按式 (C.2.2-3) 确定。

C.2.4 可变作用组合值可按下述原则确定

1 可变作用近似采用等时段荷载组合模型, 假设所有作用的随机过程 $Q(t)$ 都是由相等时段 τ 组成的矩形波平稳各态历经过程 (图 C.2.4)。

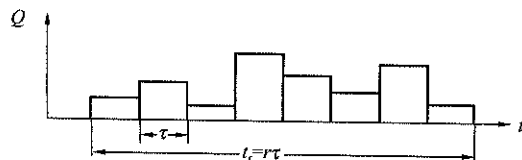


图 C.2.4 等时段矩形波随机过程

2 根据各个作用在设计基准期内的时段数 r 的大小将作用按序排列, 在诸作用的组合中必然有一个作用取其最大作用 Q_{max} , 而其他作用则分别取各自的时段最大作用或任意时点作用, 统称为组合作用 Q_c 。

3 按设计值方法的原理, 该最大作用的设计值 Q_{maxd} 和组合作用 Q_{cd} 各为:

$$Q_{maxd} = F_{Q_{max}}^{-1} [\Phi(0.7\beta)] \quad (C.2.4-1)$$

$$Q_{cd} = F_{Q_c}^{-1} [\Phi(0.28\beta)] \quad (C.2.4-2)$$

$$\begin{aligned} \psi_c &= \frac{Q_{cd}}{Q_{maxd}} = \frac{F_{Q_c}^{-1} [\Phi(0.28\beta)]}{F_{Q_{max}}^{-1} [\Phi(0.7\beta)]} \\ &= \frac{F_{Q_{max}}^{-1} [\Phi(0.28\beta)^r]}{F_{Q_{max}}^{-1} [\Phi(0.7\beta)]} \end{aligned} \quad (C.2.4-3)$$

对极值 I 型的作用, 还给出相应的公式:

$$\psi_c = \frac{1 - 0.78v \{0.577 + \ln [-\ln (\Phi(0.28\beta))] + \ln r\}}{1 - 0.78v \{0.577 + \ln [-\ln (\Phi(0.7\beta))] \}} \quad (C.2.4-4)$$

式中 v ——作用最大值的变异系数。

4 组合值系数也可作为伴随作用的分项系数, 按附录 E.5 和 E.6 的有关内容确定。

附录 D 试验辅助设计

D.1 一般规定

D.1.1 试验辅助设计应符合下列要求:

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,以及试验实施和评估等所有必要的说明;

2 为制定试验方案,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。

D.1.2 应通过适当的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来确定。影响换算系数 η 的主要因素包括尺寸效应、时间效应、试件的边界条件、环境条件、工艺条件等。

D.2 试验结果的统计评估原则

D.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。

D.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。

D.3 单项性能指标设计值的统计评估

D.3.1 单项性能指标设计值统计评估,应符合下列一般规定:

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 D.3.2 和 D.3.3 的所有结论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 若没有关于平均值的先验知识,一般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 若已有关于平均值的先验知识,可基于贝叶斯方法进行设计值估算。

D.3.2 经典统计方法

1 当性能 X 服从正态分布时,其设计值 X_d 可写成如下形式:

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

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, 式 (D. 3. 2-1) 可改写为:

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

式中 μ_y ——变量 $Y = \ln X$ 的平均值, 取 $\mu_y = m_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$;

σ_y ——变量 $Y = \ln X$ 的均方差;

当 δ_x 已知时, $\sigma_y = \sqrt{\ln(\delta_x^2 + 1)}$;

当 δ_x 未知时, 取 $\sigma_y = S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - m_y)^2}$;

x_i ——性能 X 的第 i 个试验观测值。

D. 3. 3 贝叶斯法

1 当性能 X 服从正态分布时, 其设计值可按式确定:

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

其中 $k_{nw} = t_{p, v'} \sqrt{1 + \frac{1}{n'}}$, $n'' = n' + n$,

$$v'' = v' + v + \delta(n'), m''n'' = m'n' + m_x n,$$

$$[(\sigma'')^2 v'' + (m'')^2 n''] = [(\sigma')^2 v' + (m')^2 n'] + [(\sigma_x)^2 v + (m_x)^2 n]$$

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, 则应取 n' 和 v' 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) 当根据过去经验几乎可以取平均值和标准差为定值时, 则 n' 和 v' 可取相对较大值, 如取 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。

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, 必要时进行调整。

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 具有结构的极限状态方程;
- 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, 并可采用下列规则之一进行:

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 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 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 结构或构件的可靠指标宜采用考虑随机变量概率分布类型的一次可靠度方法计算, 也可采用其他方法。

E. 2. 2 当采用一次可靠度方法计算可靠指标时, 应符合下列

要求:

1 当仅有作用效应和结构抗力两个相互独立的综合变量且均服从正态分布时, 结构或结构构件的可靠指标可按式计算:

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

式中 β ——结构或结构构件的可靠指标;

μ_S, σ_S ——结构或结构构件作用效应的平均值和标准差;

μ_R, σ_R ——结构或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式 (4. 3. 5) 时, 结构或结构构件的可靠指标按下面的公式迭代计算:

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

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

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

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

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

式中 $g(\cdot)$ ——结构或构件的功能函数, 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;

$\left. \frac{\partial g}{\partial X_i} \right|_P$ ——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;

μ_{X_i}, σ_{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式 (4. 3. 5) 时, 将式 (E. 2. 2-2) 和式 (E. 2. 2-3) 用下面的公式替换后进行迭代计算:

$$\beta = \frac{g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) + \sum_{j=1}^n \left. \frac{\partial g}{\partial X_j} \right|_P (\mu_{X_j} - x_j^*)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\left. \frac{\partial g}{\partial X_k} \right|_P \left. \frac{\partial g}{\partial X_j} \right|_P \rho_{X_k, X_j} \sigma_{X_k} \sigma_{X_j} \right)}} \quad (\text{E. 2. 2-7})$$

$$\alpha_{X_i} = - \frac{\sum_{j=1}^n \left. \frac{\partial g}{\partial X_j} \right|_P \rho_{X_i, X_j} \sigma_{X_j}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\left. \frac{\partial g}{\partial X_k} \right|_P \left. \frac{\partial g}{\partial X_j} \right|_P \rho_{X_k, X_j} \sigma_{X_k} \sigma_{X_j} \right)}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{E. 2. 2-8})$$

式中 ρ_{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 ρ_{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或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, 如选取结构物类型 (建筑结构、桥梁结

构、港工结构等)或结构材料形式(混凝土结构、钢结构等),根据目标可靠指标的适用范围选取代表性的结构或结构构件(包括构件的破坏形式);

2 确定设计中基本变量的取值范围,如可变作用标准值与永久作用标准值比值的范围;

3 分析传统设计方法的表达式,如受弯表达式、受剪表达式等;

4 计算不同结构或结构构件的可靠指标 β_i ;

5 根据结构或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 ,并满足:

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

6 按下式确定所校准结构或结构构件可靠指标的加权平均:

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

E. 3. 3 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_{ave} 经综合分析判断确定。

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满足下式要求:

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

式中 β ——所设计结构或结构构件的可靠指标;

β_t ——所设计结构或结构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,如钢筋混凝土构件截面配筋,当抗力服从对数正态分布时,可在满足(E. 4. 1-1)式的条件下按下式直接求解结构构件的几何参数:

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

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;

f_k ——材料性能标准值;

a_k ——几何参数的标准值,如钢筋混凝土构件钢筋的截面面积等;

k_R ——均值系数,即变量平均值与标准值的比值。

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。只有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分项系数的确定,应符合下列原则:

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 不同种类的构件采用不同的抗力分项系数,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系数进行设计,使所得的可靠指标与目标可靠指标 β_t 具有最佳的一致性。

E. 5. 2 结构或结构构件设计表达式中分项系数的确定可采用下列步骤:

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(如对建筑结构永久作用+楼面可变作用,永久作用+风作用)和常用的作用效应比(可变作用效应标准值与永久作用效应标准值的比值);

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,确定分项系数 γ_G 和 γ_Q 下简单组合的抗力设计值;

4 对选定的结构或结构构件,确定抗力系数 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 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,必要时进行调整;

8 当永久作用起有利作用时,分项系数表达式中的永久作用取负号,根据已经选定的分项系数 γ_Q 和 γ_R ,通过优化确定分项系数 γ_G (以 0.1 或 0.05 的级差);

9 对安全等级为一、三级的结构或结构构件,以上面确定的安全等级为二级结构或结构构件的分项系数为基础,同样以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 最接近为条件,优化确定结构重要性系数 γ_0 。

E.6 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:

在可变作用分项系数 γ_G 、 γ_Q 和抗力分项系数 γ_R 已确定的前提下,对两种或两种以上可变作用参与组合的情况,确定的组合值系数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的确定可采用下列步骤:

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作用效应比 (主导可变作用效应标准值与永久作用效应标准值的比值,伴随可变作用效应标准值与主导可变作用效应标准值的比值);

2 根据已经确定的分项系数 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;

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,必要时进行调整。

附录 F 结构疲劳可靠性验算方法

F.1 一般规定

F.1.1 本附录适用于工程结构的疲劳可靠性验算。房屋建筑结构、铁路和公路桥涵结构、市政工程结构中承受高周疲劳作用的结构,可按本附录规定对结构的疲劳可靠性进行验算。

F.1.2 在下列情况下应对结构或构造的疲劳可靠性进行验算:

- 1 结构整体或局部构造承受反复荷载作用;
- 2 结构或局部构造存在应力集中现象且为交变作用;
- 3 反复荷载作用的持续时间与结构设计使用年限相比占主要部分。

F.1.3 根据需要可分别对结构疲劳可靠性进行承载能力极限状态或正常使用极限状态验算。

F.1.4 对结构的某个或多个细部构造可分别进行疲劳可靠性验算。

F.1.5 结构的疲劳可靠性验算应按下列步骤进行:

- 1 根据对结构的受力分析,确定关键部位或由委托方明确验算部位;
- 2 根据对结构使用期间承受荷载历程的调研和预测,制定相应的疲劳标准荷载频谱;
- 3 对结构或局部构造上的疲劳作用和对应的疲劳抗力进行分析评定;
- 4 提出疲劳可靠性的验算结论。

F.1.6 本附录涉及的力学模型和内力计算,应符合第 7 章的有关规定。

F.1.7 结构的疲劳承载能力验算应以验算部位的计算名义应力不超过结构相应部位的疲劳强度设计值为准则。

F.1.8 疲劳强度设计值应根据结构或局部构造的疲劳试验结果,取某一概率分布的上分位值,以名义应力形式(非应力集中部位应力)确定。

F.1.9 疲劳验算采用的目标可靠指标可根据校准法确定。

F.2 疲劳作用

F.2.1 结构承受的变幅重复荷载,其荷载历程可通过实测或模拟等方法确定。根据荷载历程,采用“雨流计数法”或“蓄水池法”,可转换为表示荷载变程 $\Delta Q (\Delta Q = Q_{\max} - Q_{\min})$ 与循环次数 n 关系的荷载频谱(图 F.2.1)。根据“荷载频谱”可转换为结构、连接或局部构造关键部位的应力频谱。其中,应力变程 $\Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$,可根据荷载变程 ΔQ 计算确定。

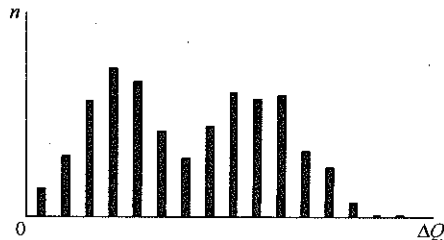


图 F.2.1 荷载频谱

F.2.2 根据结构构件(或连接)的应力频谱,采用“Miner 累积损伤准则”,可换算为指定循环次数的等效等幅重复应力,考虑必要的影响参数后可形成等效疲劳作用(必要时还应包括恒载)。在一般情况下,等效等幅重复应力的指定循环次数可采用 2×10^6 次。

钢结构和混凝土结构构造细节的疲劳作用计算方法如下:

1 钢结构疲劳作用

钢结构等效疲劳作用可按式(F.2.2-1)计算。

$$\Delta \sigma_{\text{sek}} = K_{a1} K_{a2} K_{a3} \cdots K_{ai} \Delta \sigma_{\text{ac}} = \left(\prod_{i=1}^m K_{ai} \right) \Delta \sigma_{\text{ac}} \quad (\text{F.2.2-1})$$

式中 $\Delta\sigma_{ack}$ —— 钢结构验算部位等效疲劳应力变程标准值;
 $\Delta\sigma_{ac}$ —— 荷载标准值作用下钢结构验算部位应力变程的标准值;
 K_{ai} —— 钢结构第 i 个疲劳影响参数, 其值由自身影响统计结果和 $\Delta\sigma_{ac}$ 的比值确定, 并与 $\Delta\sigma_{ac}$ 以及相应疲劳抗力标准值规定的循环次数相协调;
 m —— 钢结构疲劳影响参数的个数, 与结构有关。

2 混凝土结构疲劳作用

混凝土结构等效疲劳作用可按式 (F. 2. 2-2)、(F. 2. 2-3)、(F. 2. 2-4) 计算。

$$\sigma_{cek} = K_{c1} K_{c2} K_{c3} \cdots K_{ci} \sigma_{cc} = \left(\prod_{i=1}^n K_{ci} \right) \sigma_{cc} \quad (\text{F. 2. 2-2})$$

$$\Delta\sigma_{pek} = K_{p1} K_{p2} K_{p3} \cdots K_{pi} \Delta\sigma_{pc} = \left(\prod_{i=1}^n K_{pi} \right) \Delta\sigma_{pc} \quad (\text{F. 2. 2-3})$$

$$\Delta\sigma_{sek} = K_{s1} K_{s2} K_{s3} \cdots K_{si} \Delta\sigma_{sc} = \left(\prod_{i=1}^n K_{si} \right) \Delta\sigma_{sc} \quad (\text{F. 2. 2-4})$$

式中 σ_{cek} 、 $\Delta\sigma_{pek}$ 、 $\Delta\sigma_{sek}$ —— 分别为混凝土结构验算部位的混凝土等效疲劳应力标准值、预应力钢筋等效疲劳应力变程标准值、非预应力钢筋等效疲劳应力变程标准值;
 σ_{cc} 、 $\Delta\sigma_{pc}$ 、 $\Delta\sigma_{sc}$ —— 分别为荷载标准值作用下混凝土结构验算部位的混凝土应力标准值、预应力钢筋应力变程标准值、非预应力钢筋应力变程标准值;
 K_{ci} 、 K_{pi} 、 K_{si} —— 分别为混凝土结构验算部位混凝土、预应力钢筋、非预应力钢筋第 i 个疲劳影响参数, 其值分别由自身影响统计结果和相应的 σ_{cc} 、 $\Delta\sigma_{pc}$ 、 $\Delta\sigma_{sc}$

的比值确定, 并分别与 σ_{cc} 、 $\Delta\sigma_{pc}$ 、 $\Delta\sigma_{sc}$ 以及各自相应疲劳抗力标准值规定的循环次数相协调;
 n —— 混凝土结果影响参数的个数, 与结构形式有关。

F. 2. 3 疲劳作用中各影响参数的概率分布类型和统计参数可采用数理统计方法确定, 其标准值应取与静力作用相同的概率分布的平均值。

F. 3 疲劳抗力

F. 3. 1 疲劳抗力是指结构或局部构造抵抗规定循环次数疲劳作用的能力。

F. 3. 2 材料及非焊接钢结构的疲劳抗力与所受疲劳作用引起的最大应力 σ_{max} 和应力比 ρ 以及结构构造细节有关。焊接钢结构的疲劳抗力与所受疲劳作用引起的应力变程 $\Delta\sigma$ 和结构构造细节有关。钢结构和混凝土结构构造细节的疲劳抗力计算方法分述如下:

1 钢结构疲劳抗力

钢结构疲劳抗力表达式可通过式 (F. 3. 2-1) 所示的 S-N 疲劳曲线方程表述:

$$\Delta\sigma^m N = C \quad (\text{F. 3. 2-1})$$

式中 $\Delta\sigma$ —— 钢结构验算部位构造细节的等幅疲劳应力变程 (MPa);

N —— 疲劳失效时的应力循环次数;

m 、 C —— 疲劳参数, 根据结构或构件的构造和受力特征, 通过疲劳试验确定。

钢结构构件的疲劳抗力 Δf_{ack} 是指钢结构验算部位构造细节在指定循环次数、指定安全保证率下由式 (F. 3. 2-1) 确定的最大疲劳应力变程标准值。

2 混凝土结构疲劳抗力

1) 混凝土

影响混凝土结构中混凝土疲劳抗力的因素包括疲劳强度、疲劳弹性模量和疲劳变形模量。

混凝土的疲劳强度标准值可根据混凝土静载强度标准值乘以疲劳强度等效折减系数确定：

$$f_{cek} = K_{ce} f_{ck} \quad (\text{F. 3. 2-2})$$

式中 f_{cek} ——混凝土疲劳强度标准值；

K_{ce} ——混凝土疲劳强度折减系数，与混凝土应力最小值等因素有关；

f_{ck} ——混凝土静载强度标准值。

混凝土的疲劳弹性模量可通过试验确定。对适筋混凝土受弯构件，混凝土的疲劳弹性模量标准值可取静载弹性模量标准值乘以 0.7。

混凝土的疲劳变形模量可通过试验确定。对适筋混凝土受弯构件，混凝土的疲劳变形模量标准值可取静载变形模量标准值乘以 0.6。

2) 预应力钢筋或钢筋

混凝土结构中预应力钢筋或钢筋的疲劳强度可通过式 (F. 3. 2-1) 所示的 S-N 疲劳曲线方程确定。其疲劳抗力 Δf_{pek} 或 Δf_{sek} 是指混凝土结构验算部位预应力钢筋或钢筋在指定循环次数、指定安全保证率下由式 (F. 3. 2-1) 确定的最大疲劳应力变程标准值。

F. 4 疲劳可靠性验算方法

F. 4. 1 钢结构的疲劳可靠性一般按疲劳承载能力极限状态进行验算。根据需要可采用等效等幅重复应力法、极限损伤度法、断裂力学方法。

1 等效等幅重复应力法

1) 当等效等幅重复应力法以容许应力设计法表达时，疲劳验算应满足下式的要求：

$$\Delta \sigma_{aek} \leq \Delta f_{aek} \quad (\text{F. 4. 1-1})$$

2) 当等效等幅重复应力法以分项系数设计法表达时，疲劳作用的设计值可采用结构构件在设计使用年限内疲劳荷载名义效应的等效等幅重复作用标准值乘以疲劳作用分项系数。疲劳抗力可根据结构构造取与等效等幅重复作用相同循环次数的疲劳强度试验确定。此时，疲劳验算应满足式 (F. 4. 1-2) 的要求：

$$\gamma_0 \gamma_{aek} \Delta \sigma_{aek} \leq \frac{\Delta f_{aek}}{\gamma_{af}} \quad (\text{F. 4. 1-2})$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数；

γ_{aek} ——考虑等效等幅疲劳作用和疲劳作用模型不定性的分项系数；

γ_{af} ——疲劳抗力分项系数，当疲劳抗力取值的保证率为 97.7% 时， $\gamma_{af} = 1.0$ 。

2 极限损伤度法

1) 当极限损伤度法以疲劳损伤度为验算项目时，其量值为结构承受的不同疲劳作用和相应次数与该作用下破坏的次数之比的总和。根据 Palmgren-Miner 线性累积损伤法则，疲劳验算应满足式 (F. 4. 1-3) 的要求：

$$\sum \frac{n_i}{N_i} < D_c \quad (\text{F. 4. 1-3})$$

式中 n_i ——为疲劳应力频谱中在应力变程水准 $\Delta \sigma_i$ 下，实际施加的疲劳作用循环次数，当疲劳应力变程水准 $\Delta \sigma_i$ 低于疲劳某特定值 $\Delta \sigma_0$ 时，相应的疲劳作用循环次数取其乘以 $\left(\frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \sigma_0}\right)^2$ 折减后的次数计算；

N_i ——为在应力变程水准 $\Delta \sigma_i$ 下的致伤循环次数；

D_c ——为疲劳损伤度的临界值，理想状态下损伤度的临

界值为 1.0。

- 2) 当极限损伤度法以分项系数设计法表达时, 疲劳验算应满足下列公式的要求:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} < \frac{D_c}{\gamma_d} \quad (\text{F. 4. 1-4})$$

$$N_i = N_i \left(\gamma_d, \gamma_{\Delta\sigma_i} \Delta\sigma_i, \frac{\Delta f_{ask}}{\gamma_{ak}} \right) \quad (\text{F. 4. 1-5})$$

式中 γ_d ——考虑累积损伤准则、设计使用年限和失效后果不定性的分项系数;

$\gamma_{\Delta\sigma_i}$ ——考虑疲劳应力变程水准和疲劳作用模型不定性的分项系数;

γ_{ak} ——考虑材料和构造疲劳抗力模型不定性的分项系数。

3 断裂力学方法

当钢结构在低温环境下工作时, 应采用断裂力学方法。

F. 4. 2 对需要进行疲劳承载能力极限状态验算的混凝土结构, 应分别对混凝土和钢筋进行疲劳验算。可根据需要采用等效等幅重复应力法、极限损伤度法。

1 等效等幅重复应力法

- 1) 当等效等幅重复应力法以容许应力设计法表达时, 结构验算部位混凝土、预应力钢筋、钢筋的疲劳验算应满足式(F. 4. 2-1)~式(F. 4. 2-3)的要求:

$$\sigma_{cek} \leq f_{cek} \quad (\text{F. 4. 2-1})$$

$$\Delta\sigma_{pek} \leq \Delta f_{pek} \quad (\text{F. 4. 2-2})$$

$$\Delta\sigma_{sek} \leq \Delta f_{sek} \quad (\text{F. 4. 2-3})$$

- 2) 当等效等幅重复应力法以分项系数设计法表达时, 疲劳作用的设计值可采用结构构件在设计使用年限内疲劳荷载名义效应的等效等幅重复作用标准值乘以疲劳作用分项系数。疲劳抗力可根据结构构造取与等效等幅重复作用相同循环次数的疲劳强度试验确定。此时, 结构验算部位混凝土、预应力钢筋、

钢筋的疲劳验算应满足式(F. 4. 2-4)~式(F. 4. 2-6)的要求:

$$\gamma_0 \gamma_{cek} \sigma_{cek} \leq \frac{f_{cek}}{\gamma_{cf}} \quad (\text{F. 4. 2-4})$$

$$\gamma_0 \gamma_{pek} \Delta\sigma_{pek} \leq \frac{\Delta f_{pek}}{\gamma_{pf}} \quad (\text{F. 4. 2-5})$$

$$\gamma_0 \gamma_{sek} \Delta\sigma_{sek} \leq \frac{\Delta f_{sek}}{\gamma_{sf}} \quad (\text{F. 4. 2-6})$$

式中 γ_{cek} 、 γ_{pek} 、 γ_{sek} ——分别为考虑混凝土、预应力钢筋、钢筋的等效等幅疲劳作用和疲劳作用模型不定性的分项系数;

γ_{cf} 、 γ_{pf} 、 γ_{sf} ——分别为混凝土、预应力钢筋、钢筋的疲劳抗力分项系数。

2 极限损伤度法

混凝土结构按极限损伤度法进行疲劳承载能力极限状态可靠性验算方法与附录第 F. 4. 1 条中第 2 款所列钢结构的疲劳验算方法相同, 其中验算部位的材料为混凝土、预应力钢筋、钢筋。

F. 4. 3 当结构疲劳需要按使用极限状态进行可靠性验算时, 应首先建立正常使用极限状态约束方程。当疲劳作用效应需要且可以线性叠加时, 应在正常使用极限状态约束方程中体现。在疲劳使用极限约束值的计算中, 要考虑结构材料疲劳而可能引起的变形增大。

附录 G 既有结构的可靠性评定

G.1 一般规定

G.1.1 本附录适用于按有关标准设计和施工的既有结构的可靠性评定。

G.1.2 在下列情况下宜对既有结构的可靠性进行评定：

- 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 结构的使用环境出现恶化；
- 4 结构存在较严重的质量缺陷；
- 5 出现影响结构安全性、适用性或耐久性的材料性能劣化、构件损伤或其他不利状态；
- 6 对既有结构的可靠性有怀疑或有异议。

G.1.3 既有结构的可靠性评定应在保证结构性能的前提下，尽量减少工程处置工作量。

G.1.4 既有结构的可靠性评定可分为安全性评定、适用性评定和耐久性评定，必要时尚应进行抗灾害能力评定。

G.1.5 既有结构的可靠性评定，应根据国家现行有关标准的要求进行。

G.1.6 既有结构的可靠性评定应按下列步骤进行：

- 1 明确评定的对象、内容和目的；
- 2 通过调查或检测获得与结构上的作用和结构实际的性能和状况相关的数据和信息；
- 3 对实际结构的可靠性进行分析；
- 4 提出评定报告。

G.2 安全性评定

G.2.1 既有结构的安全性评定应包括结构体系和构件布置、连接和构造、承载力等三个评定项目。

G.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要求为依据进行评定。

G.2.3 既有结构的连接和与安全性相关的构造，应以现行结构设计标准的要求为依据进行评定。

G.2.4 对结构体系和构件布置、连接和构造的评定结果满足第 G.2.2 和 G.2.3 条要求的结构，其承载力可根据结构的不同情况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 基于分项系数或安全系数的评定方法；
- 3 基于可靠指标调整抗力分项系数的评定方法；
- 4 基于荷载检验的评定方法；
- 5 其他适用的评定方法。

G.2.5 当结构处于良好使用状态时，宜采用基于结构良好状态的评定方法，此时对同时满足下列要求的结构，可评定其承载力符合要求：

- 1 结构未出现明显的影响结构正常使用的变形、裂缝、位移、振动等适用性问题；
- 2 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。

G.2.6 当采取基于分项系数或安全系数的方法评定时，对同时满足下列要求的结构，可评定其承载力符合要求：

- 1 构件的承载力应按现行结构设计标准提供的结构计算模型确定，且应对模型中指标或参数进行符合实际情况的调整：
 - 1) 构件材料强度的取值，宜以实测数据为依据，按现行结构检测标准规定的方法确定；
 - 2) 计算模型的几何参数，可按构件的实际尺寸确定；

- 3) 在计算分析构件承载力时,应考虑不可恢复性损伤的不利影响;
 - 4) 经过验证后,在计算模型中可增补对构件承载力有利因素的实际作用。
- 2 作用和作用效应按国家现行标准的规定确定,并可进行下列参数或分析方法的调整:
- 1) 永久作用应以现场实测数据为依据按现行工程结构荷载标准规定的方法确定;
 - 2) 部分可变作用可根据评估使用年限情况采用考虑结构设计使用年限的荷载调整系数;
 - 3) 在计算作用效应时,应考虑轴线偏差、尺寸偏差和安装偏差等的不利影响;
 - 4) 应按可能出现的最不利作用组合确定作用效应。
- 3 按上述方法计算得到的构件承载力不小于作用效应或安全系数不小于有关结构设计标准的要求。

G.2.7 当可确定一批构件的实际承载力及其变异系数时,可采用基于可靠指标调整抗力分项系数的评定方法,此时对同时满足下列要求的一批构件,可评定其承载力符合要求:

- 1 作用效应的计算,应符合第 G.2.6 条的规定;
- 2 根据结构构件承载力的实际变异情况调整抗力分项系数;
- 3 按上述原则计算得到的承载力不小于作用效应。

G.2.8 对具备相应条件的结构或结构构件,可采用基于荷载检验的评定方法,此时对同时满足下列要求的结构或结构构件,可评定其承载力符合要求:

- 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,检验荷载不应使结构或构件出现不可逆的变形或损伤;
- 2 荷载检验及相应的计算分析结果符合有关标准的要求。

G.2.9 对承载力评定为不符合要求的结构或结构构件,应提出采取加固措施的建议,必要时,也可提出对其限制使用的要求。

G.3 适用性评定

G.3.1 在结构安全性得到保证的情况下,对影响结构正常使用的变形、裂缝、位移、振动等适用性问题,应以现行结构设计标准的要求为依据进行评定,但在下列情况下可根据实际情况调整或确定正常使用极限状态的限值:

1 已出现明显的适用性问题,但结构或构件尚未达到正常使用极限状态的限值;

2 相关标准提出的质量控制指标不能准确反映结构适用性状况。

G.3.2 对已经存在超过正常使用极限状态限值的结构或构件,应提出进行处理的意见。

G.3.3 对未达到正常使用极限状态限值的结构或构件,宜进行评估使用年限内结构适用性的评定。此时宜遵守下列原则:

1 评定时可采用现行结构设计标准提供的计算模型,但模型中的指标和参数应进行符合结构实际情况的调整;

2 在条件许可时,可采用荷载检验或现场试验的评定方法;

3 对适用性评定为不满足要求的结构或构件,应提出采取处理措施的建议。

G.4 耐久性评定

G.4.1 既有结构的耐久性评定应以判定结构相应耐久年数与评估使用年限之间关系为目的。

注:耐久年数为结构在环境作用下达到相应正常使用极限状态限值的年数。

G.4.2 结构在环境作用下的正常使用极限状态限值或标志应按下列原则确定:

1 结构构件出现尚未明显影响承载力的表面损伤;

2 结构构件材料的性能劣化,使其产生脆性破坏的可能性增大。

G.4.3 既有结构的耐久年数推定,应将环境作用效应和材料性能相同的结构构件作为一个批次。

G.4.4 评定批结构构件的耐久年数,可根据结构已经使用的时间、材料相关性能变化的状况、环境作用情况和结构构件材料性能劣化的规律推定。

G.4.5 对耐久年数小于评估使用年限的结构构件,应提出适宜的维护处理建议。

G.5 抗灾害能力评定

G.5.1 既有结构的抗灾害能力宜从结构体系和构件布置、连接和构造、承载力、防灾减灾和防护措施等方面进行综合评定。

G.5.2 对可确定作用的地震、台风、雨雪和水灾等自然灾害,宜通过结构安全性校核评定其抗灾害能力。

G.5.3 对发生在结构局部的爆炸、撞击、火灾等偶然作用,宜通过评价其减小偶然作用及作用效应的措施、结构不发生与起因不相称的破坏和减小偶然作用影响范围措施等评定其抗灾害能力。

减小偶然作用及作用效应的措施包括防爆与泄爆措施、防撞击和抗撞击措施、可燃物质的控制与消防设施等。

减小偶然作用影响范围的措施包括结构变形缝设置和防止发生次生灾害的措施等。

G.5.4 对结构不可抗御的灾害,应评价其预警措施和疏散措施等。

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,非这样做不可的用词:

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用词:

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用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行时,写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。