

# 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〉的通知》(建标〔2014〕189号)要求,标准编制组经过广泛调查研究,认真总结经验,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,对国家标准《铁路工程结构可靠度设计统一标准》GB 50216—94进行了全面修订。

本标准的主要技术内容是:总则、术语和符号、基本规定、极限状态设计原则、作用及环境影响、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、可靠性管理及评定等。

本标准修订的主要技术内容是:1.适用范围调整为铁路桥涵、隧道、路基、轨道等工程结构和构件的设计及其既有结构的可靠性评定。2.增加了评估使用年限、疲劳极限状态、分位值、特征值、岩土作用、环境影响等术语,删除了脆性破坏、延性破坏、疲劳承载力极限状态、疲劳正常使用极限状态等常识性或不再使用的术语。3.完善了铁路工程结构的安全等级划分和设计使用年限,给出了工程结构可靠性水平的设置、耐久性和维护的原则性规定。4.细化和完善了极限状态的分类,明确了铁路工程结构按承载能力极限状态、正常使用极限状态和疲劳极限状态进行设计。增加了地震设计状况的分类,给出了基于可靠指标设计的原则性规定。5.增加了列车竖向作用的相关规定。6.完善了材料性能的取值要求,明确了岩土性能标准值的确定方法。7.增加了试验辅助设计的相关规定。8.增加了铁路桥涵结构列车荷载作用分项系数的取值规定,完善了结构抗力和作用效应设计值的计算式,补充规定了结构重要性系数的取值。9.明确了全寿命周期的质量管理,增加

了既有结构可靠性评定的原则性要求。

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,由中国铁道科学研究院集团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,请寄送中国铁道科学研究院集团有限公司(地址:北京市海淀区大柳树路2号,邮政编码:100081)。

本标准主编单位:中国铁道科学研究院集团有限公司

本标准参编单位:中国铁路经济规划研究院有限公司

中铁第一勘察设计院集团有限公司

中国中铁二院工程集团有限责任公司

中国铁路设计集团有限公司

中铁第四勘察设计院集团有限公司

中铁工程设计咨询集团有限公司

本标准主要起草人员:刘晓光 潘永杰 张玉玲 徐升桥

周诗广 杨常所 余 鹏 许国平

王仲锦 林传年 刘 华 杜宝军

费建波 苏 伟 葛建军 高 策

高志伟 赵东平 罗一农 孙 立

蒋函珂 周勇政 简方梁 陈 潇

霍建勋 乔晋飞

本标准主要审查人员:李承根 史志华 薛吉岗 刘 燕

杨鹏健 江 成 赵万强 王召祜

李安洪 吴少海 张红旭 周四思

曾长贤 郜永杰 杜文山 柳墩利

李纹京 季文玉 杨 剑 宋玉香

杨彦海 范 佳 刘建瑞 吴 川

朱尔玉 徐 伟 韩晓强 王伟华

卢朝辉

# 目 次

1	总 则 .....	( 1 )
2	术语和符号 .....	( 2 )
2.1	术语 .....	( 2 )
2.2	符号 .....	( 7 )
3	基本规定 .....	( 11 )
3.1	基本要求 .....	( 11 )
3.2	安全等级和可靠度 .....	( 11 )
3.3	设计使用年限、耐久性和维护 .....	( 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 )
4.4	基于可靠指标的设计 .....	( 17 )
5	作用及环境影响 .....	( 18 )
5.1	一般规定 .....	( 18 )
5.2	作用的设计参数 .....	( 18 )
5.3	列车竖向作用 .....	( 19 )
5.4	环境影响 .....	( 21 )
6	材料和岩土的性能及几何参数 .....	( 22 )
6.1	材料和岩土的性能 .....	( 22 )
6.2	几何参数 .....	( 23 )
7	结构分析和试验辅助设计 .....	( 24 )
7.1	一般规定 .....	( 24 )
7.2	结构及构件分析模型 .....	( 25 )

7.3	试验辅助设计	(25)
8	分项系数设计方法	(27)
8.1	一般规定	(27)
8.2	基本变量的设计值	(27)
8.3	承载能力极限状态	(28)
8.4	正常使用极限状态	(31)
8.5	疲劳极限状态	(32)
9	可靠性管理及评定	(35)
9.1	可靠性管理	(35)
9.2	可靠性评定	(35)
附录 A	结构可靠性分析方法	(36)
附录 B	作用参数和概率分布的确定	(44)
附录 C	质量管理	(48)
附录 D	既有铁路工程结构的可靠性评定	(51)
	本标准用词说明	(58)
	引用标准名录	(59)



# Contents

1	General provisions	( 1 )
2	Terms and symbols	( 2 )
2.1	Terms	( 2 )
2.2	Symbols	( 7 )
3	Basic requirements	( 11 )
3.1	Basic principles	( 11 )
3.2	Safety class and reliability	( 11 )
3.3	Design working life, durability and maintenance	( 13 )
4	Principles of limit states design	( 14 )
4.1	Limit states	( 14 )
4.2	Design situation	( 15 )
4.3	Limit state design	( 15 )
4.4	Design methods based on reliability index	( 17 )
5	Actions on structures and environmental influences	( 18 )
5.1	General requirements	( 18 )
5.2	Design parameters of actions	( 18 )
5.3	Train load	( 19 )
5.4	Environmental influences	( 21 )
6	Material properties, geotechnical properties and geometrical parameters	( 22 )
6.1	Material and geotechnical properties	( 22 )
6.2	Geometrical parameters	( 23 )
7	Structural analysis and design assisted by testing	( 24 )
7.1	General requirements	( 24 )

7.2	Structural modelling	( 25 )
7.3	Design assisted by testing	( 25 )
8	Method of partial factor design	( 27 )
8.1	General requirements	( 27 )
8.2	Design values of basic variables	( 27 )
8.3	Ultimate limit states	( 28 )
8.4	Serviceability limit states	( 31 )
8.5	Fatigue limit states	( 32 )
9	Reliability management and assessment	( 35 )
9.1	Reliability management	( 35 )
9.2	Reliability assessment	( 35 )
Appendix A	Method of structural reliability analysis	( 36 )
Appendix B	Determination on actions and probability distribution	( 44 )
Appendix C	Quality management	( 48 )
Appendix D	Assessment of existing railway structures	( 51 )
	Explanation of wording in this standard	( 58 )
	List of quoted standards	( 59 )

# 1 总 则

**1.0.1** 为统一铁路工程结构可靠性设计的基本原则、基本要求和基本方法,使铁路工程符合可持续发展的要求,并做到安全可靠、技术先进、经济合理、确保质量,制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于铁路桥涵、隧道、路基、轨道等工程结构和构件的设计及其既有结构的可靠性评定。

**1.0.3** 铁路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,可根据可靠的工程经验或必要的试验研究,采用其他设计方法进行设计。

**1.0.4** 制定铁路工程结构的可靠性设计相关标准时,应符合本标准的规定。

**1.0.5** 铁路工程结构的勘察设计、施工、使用与维护应进行有效的质量管理与控制,使结构满足规定的可靠性要求。

**1.0.6** 铁路工程结构可靠性设计除应符合本标准要求外,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 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。

#### 2.1.2 可靠度 degree of 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。

#### 2.1.3 失效概率 probability of failure

结构在规定的时间内,在规定的条件下,不能完成预定功能的概率。

#### 2.1.4 可靠指标 reliability index

度量结构可靠度的数值指标,可靠指标 $\beta$ 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。

#### 2.1.5 设计使用年限 design working life

正常使用和维护条件下,设计规定的结构或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。

#### 2.1.7 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可继续使用的年限。

#### 2.1.8 安全等级 safety class

根据工程结构破坏所产生后果的严重性划分的具有不同可靠度设置水平的设计等级。

### 2.1.9 设计状况 design situation

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。

### 2.1.10 极限状态 limit state

结构或构件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。

### 2.1.11 极限状态方程 limit state equation

结构或构件处于极限状态时,各有关基本变量的关系式。

### 2.1.12 承载能力极限状态 ultimate limit state

结构或构件达到最大承载力或产生不适于继续承载的变形的状态。

### 2.1.13 正常使用极限状态 serviceability limit state

结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的状态。

### 2.1.14 可逆正常使用极限状态 reversible serviceability limit state

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

### 2.1.15 不可逆正常使用极限状态 irreversible serviceability limit state

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

### 2.1.16 疲劳极限状态 fatigue limit state

重复荷载作用导致结构或构件失效,不适于继续承载的极限状态。

### 2.1.17 结构重要性系数 importance factor of structure

根据结构安全等级所规定的对作用效应附加的调整系数。

### 2.1.18 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影响、材

料和岩土的性能以及几何参数的特征。

**2.1.19 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。

**2.1.20 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。

**2.1.21 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等的数字特征。

**2.1.22 分位值** fractile

与随机变量概率分布函数的某一概率对应的值。

**2.1.23 特征值** characteristic value

用统计方法确定的一定保证率或跨阈率下的值。

**2.1.24 名义值** nominal value

用非统计方法确定的值。

**2.1.25 校准法** calibration method

通过对现存结构或构件安全储备的反演分析,确定设计采用的目标可靠指标的方法。

**2.1.26 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)。

**2.1.27 岩土作用** geotechnical action

围岩、地基、坡体、地下水或地表水等传递到结构上的作用。

**2.1.28 作用效应** effect of action

作用引起的结构或构件的反应。

**2.1.29 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。

**2.1.30 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。

**2.1.31** 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的频率内的作用值。可通过频遇值系数( $\psi_f \leq 1$ )对作用标准值的折减来表示。

**2.1.32** 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。

**2.1.33** 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、组合值、频遇值或准永久值。

**2.1.34** 作用的设计值 design value of an action

作用代表值与作用分项系数的乘积。

**2.1.35** 作用组合(荷载组合) combination of actions(load combination)

结构或构件设计时，预计可能同时出现的几种不同作用(效应)的集合。

**2.1.36** 主导可变作用 leading variable action

在同一作用组合中，作用效应设计值最不利情况下起控制作用的可变作用。

**2.1.37** 标准组合 characteristic combination

正常使用极限状态设计时，采用永久作用标准值、主导可变作

用的标准值和(或)非主导可变作用的组合值的组合。

**2.1.38 频遇组合** frequent combination

正常使用极限状态设计时,采用永久作用标准值、主导可变作用的频遇值和(或)非主导可变作用的准永久值的组合。

**2.1.39 准永久组合** quasi-permanent combination

正常使用极限状态设计时,采用永久作用的标准值和可变作用的准永久值的组合。

**2.1.40 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。

**2.1.41 抗力** resistance

结构或构件承受作用效应的能力。

**2.1.42 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。

**2.1.43 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。

**2.1.44 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。

**2.1.45 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。

**2.1.46 限值** constraint value

结构或构件设计时,作为极限状态标志的应力、变形等的约束值。



### 2.1.47 疲劳荷载谱 fatigue load spectrum

反映结构设计使用年限内在指定列车运量条件下,在列车疲劳荷载作用下材料或连接的作用效应和频次的关系,可用表格或直方图表达。

### 2.1.48 等效等幅重复应力法 method of equivalent constant amplitude stress range

结构或构件在疲劳检算中,根据线性累积损伤法则或其他适当方法,将变幅重复应力转换为等幅重复应力进行设计的方法。

### 2.1.49 极限损伤度法 cumulative damage method

结构或构件在疲劳检算中,根据线性损伤理论,将累积损伤度作为检算内容的设计方法。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 结构可靠度:

$P_i$  —— 结构或构件失效概率的运算值;

$R$  —— 结构或构件的抗力;

$S$  —— 结构或构件的作用效应;

$T$  —— 设计基准期;

$w_i$  —— 第  $i$  种结构的权系数;

$X_i$  —— 第  $i$  个基本变量;

$X_i^*$  —— 基本变量  $X_i$  在分位概率为  $\Phi(\beta_{X_i})$  处的分位值;

$X_i^{* \prime}$  —— 基本变量  $X_i$  在分位概率为  $\Phi(\beta_{X_i})$  处的分位值导数;

$Z$  —— 结构或构件的功能函数;

$\alpha_{X_i}$  —— 基本变量  $X_i$  的灵敏度系数;

$\beta$  —— 结构或构件的可靠指标;

$\beta_{X_i}$  —— 基本变量  $X_i$  的分项可靠指标;

$\sigma_R$  —— 抗力的标准差;

$\sigma_S$  —— 作用效应的标准差;

$\sigma_{X_i}$  —— 基本变量  $X_i$  的标准差。

### 2.2.2 作用和作用效应：

- $F$  ——作用；  
 $F_k$  ——作用的标准值；  
 $F_r$  ——作用的代表值；  
 $G$  ——永久作用；  
 $G_k$  ——永久作用的标准值；  
 $S_{G_k}$  ——永久作用标准值的效应；  
 $Q$  ——可变作用；  
 $Q_k$  ——可变作用的标准值；  
 $Q_r$  ——可变作用的代表值；  
 $S_{Q_k}$  ——可变作用标准值的效应；  
 $\psi_c$  ——可变作用的组合值系数；  
 $\psi_f$  ——可变作用的频遇值系数；  
 $\psi_q$  ——可变作用的准永久值系数；  
 $\psi_c Q_k$  ——可变作用的组合值；  
 $\psi_f Q_k$  ——可变作用的频遇值；  
 $\psi_q Q_k$  ——可变作用的准永久值。

### 2.2.3 材料性能和几何参数：

- $a$  ——几何参数；  
 $a_{nom}$  ——几何参数的标准值或名义值；  
 $f$  ——结构材料性能；  
 $f_k$  ——结构材料性能  $f$  的标准值；  
 $\delta_f$  ——结构材料性能  $f$  的变异系数。

### 2.2.4 结构极限状态设计式：

- $a_d$  ——几何参数  $a$  的设计值；  
 $C_d$  ——设计对结构达到正常使用(如变形、裂缝等)所规定的相应限值；  
 $F_d$  ——作用  $F$  的设计值；  
 $f_d$  ——材料性能  $f$  的设计值；

$G_d$  ——永久作用  $G$  的设计值；  
 $Q_d$  ——可变作用  $Q$  的设计值；  
 $R_d$  ——结构抗力  $R$  的设计值；  
 $S_d$  ——作用效应的设计值；  
 $A_{Ek}$  ——地震作用的标准值；  
 $\beta_{nom}$  ——结构的目标可靠指标；  
 $\gamma_0$  ——结构重要性系数；  
 $\gamma_1$  ——地震作用重要性系数；  
 $\gamma_F$  ——作用的分项系数；  
 $\gamma_{sd}$  ——计算模型不定性系数；  
 $\gamma_m$  ——材料或产品性能的分项系数；  
 $\gamma_{Rd}$  ——抗力模型不定性系数；  
 $\gamma_M$  ——材料或产品性能的分项系数，考虑模型不定性和(或)几何参数偏差等影响；  
 $\gamma_L$  ——考虑结构设计使用年限的荷载调整系数；  
 $\gamma_R$  ——抗力分项系数；  
 $\gamma_G$  ——永久作用  $G$  的分项系数；  
 $\gamma_Q$  ——可变作用  $Q$  的分项系数；  
 $\Delta\alpha$  ——几何参数  $a$  的附加量。

### 2.2.5 结构疲劳极限状态验算式：

$\gamma_{fat}$  ——钢结构疲劳作用分项系数；  
 $\Delta\sigma_e$  ——钢结构验算部位等效等幅重复应力幅标准值(计入运营动力系数、离心力)；  
 $\Delta\sigma_0$  ——钢结构验算部位疲劳设计强度；  
 $\Delta f_{aek}$  ——钢结构验算部位材料(或构造细节)的等幅疲劳强度标准值；  
 $\gamma_{af}$  ——钢结构验算部位材料(或构造细节)的疲劳抗力分项系数；  
 $\gamma_{cek}$ 、 $\gamma_{pek}$ 、 $\gamma_{sek}$  ——分别为混凝土、预应力钢筋、钢筋的疲劳

作用分项系数；

$\gamma_{cf}$ 、 $\gamma_{pf}$ 、 $\gamma_{sf}$  ——分别为混凝土、预应力钢筋、钢筋的疲劳  
抗力分项系数；

$\sigma_{cek}$ 、 $\Delta\sigma_{pek}$ 、 $\Delta\sigma_{sek}$  ——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  
应力幅标准值、钢筋等效疲劳应力幅标准  
值(计入运营动力系数、离心力)；

$f_{cek}$ 、 $\Delta f_{pek}$ 、 $\Delta f_{sek}$  ——分别为混凝土结构验算部位的混凝土、预  
应力钢筋、钢筋的等幅疲劳强度标准值。

## 3 基本规定

### 3.1 基本要求

3.1.1 铁路工程结构的设计、施工和维护应使其在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 铁路工程结构应达到规定的可靠性水平,并满足下列功能要求:

1 承受在施工和使用期间可能出现的各种作用,即满足承载能力极限状态或疲劳极限状态要求;

2 保持良好的使用性能,并具有足够的耐久性能,即满足正常使用极限状态要求;

3 发生洪水、非正常撞击、列车脱轨等偶然事件时,结构保持必要的整体稳固性,不出现与起因不相称的破坏后果;发生火灾时,在规定的时间内可保持足够的承载力。

3.1.3 铁路工程结构设计时,应选择适宜的计算模型和合理的基本变量值,并按下列要求采取适当措施:

1 应避免、消除或减少结构可能受到的危害;

2 应采用对可能受到的危害反应不敏感的结构类型;

3 应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破坏时,结构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。

3.1.4 铁路工程结构的勘察设计、施工、使用与维护等应采取相应的可靠性管理措施。

### 3.2 安全等级和可靠度

3.2.1 铁路工程结构的设计根据结构破坏可能产生后果的严重

程度,应采用表 3.2.1 规定的安全等级。

表 3.2.1 铁路工程结构的安全等级

安全等级	破坏后果
一级	危及人的生命危险性很大,经济损失很大,社会和环境的影响很严重
二级	危及人的生命危险性大,经济损失大,社会和环境的影响严重
三级	危及人的生命危险性一般,经济损失一般,社会和环境的影响一般

3.2.2 铁路工程结构安全等级应按表 3.2.2 的规定划分。

表 3.2.2 铁路工程结构安全等级划分

专业	一级	二级	三级
桥梁	跨越大江、大河、山区深谷,且技术复杂、修复困难的特殊结构桥梁或重要桥梁等	一般特大桥、大桥、中桥、小桥,涵洞	其他附属结构或构件
隧道	特大跨度隧道、水下隧道或有特殊要求的隧道	一般隧道、明洞、棚洞及洞门,运营服务或防灾通道、泄水洞	用于施工、通风、排水等临时性辅助坑道
路基	特殊条件、技术复杂的路基支挡或地基处理工程、特殊地质条件下高边坡路基工程	一般路基支挡、地基处理工程,基床及以下路基本体,重要路基防护及排水结构	一级、二级之外的其他路基结构
轨道	桥上道岔区、伸缩调节器区正线轨道	其他正线、到发线轨道	其他站线轨道

注:对于有特殊要求的铁路工程结构,其设计安全等级可根据具体情况确定。

3.2.3 铁路工程结构各类构件的安全等级宜与结构的安全等级相同,必要时可对部分构件的安全等级进行调整。

3.2.4 可靠性水平的设置应根据结构或构件的安全等级、失效模式和经济因素等确定。

3.2.5 有充分的统计数据时,结构或构件的可靠性宜采用可靠指标 $\beta$ 度量。结构或构件设计采用的可靠指标,可根据对现有结构

或构件的可靠度分析,并结合使用经验和经济因素等确定。

**3.2.6** 铁路工程结构的破坏类型可分为延性破坏和脆性破坏,其中脆性破坏的可靠度应高于延性破坏的可靠度。

### **3.3 设计使用年限、耐久性和维护**

**3.3.1** 铁路工程结构设计时,应规定结构的设计使用年限。

**3.3.2** 铁路工程结构设计使用年限应按 100 年、60 年和 30 年分级。

**3.3.3** 铁路工程结构设计应考虑环境影响,根据不同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,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满足安全和正常使用的要求。

**3.3.4** 环境对铁路工程结构耐久性的影响,可通过工程经验、试验研究、理论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,应符合国家现行有关标准的规定。

## 4 极限状态设计原则

### 4.1 极限状态

4.1.1 铁路工程结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。承受重复荷载作用的构件尚应按疲劳极限状态进行检算。

4.1.2 结构或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、构件或连接超过材料强度,或过度变形不适于继续承载;

2 结构或结构一部分作为刚体失去平衡;

3 结构体系成为机动体系;

4 结构或构件失稳;

5 地基失去承载能力;

6 影响结构安全的其他特定状态。

4.1.3 结构或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 影响正常使用的变形;

2 影响正常使用或耐久性能的裂缝、局部损坏;

3 影响正常使用和舒适性的振动;

4 影响正常使用的其他特定状态。

4.1.4 结构或构件在重复荷载累积损伤作用下出现下列状态之一时,应认为超过了疲劳极限状态:

1 影响安全使用的疲劳裂纹;

2 影响安全使用的变形。

4.1.5 铁路工程结构设计应规定各种极限状态的标志或限值。



**4.1.6** 铁路工程结构或构件设计应对不同极限状态进行计算或验算,并确保结构构造合理。

**4.1.7** 铁路工程结构极限状态可采用以作用效应和抗力等组成的极限状态方程表达。

## **4.2 设计状况**

**4.2.1** 铁路工程结构设计应考虑下列设计状况:

1 持久设计状况,适用于结构使用时的正常情况,应考虑在设计基准期内承受的永久作用、列车作用、土压力、风、温度等相对持续时间长的作用;

2 短暂设计状况,适用于结构施工、运营、维修时承受的临时性或短暂情况,应考虑恒载、施工人员和施工机具、运架设备等作用;

3 偶然设计状况,适用于结构使用的异常情况,应考虑火灾、撞击、脱轨、断轨、落石冲击等作用;

4 地震设计状况,适用于结构遭受地震时的情况,应考虑结构在地震作用下的受力分析和结构验算。

**4.2.2** 铁路工程结构设计应根据每种设计状况采用相应的结构体系、可靠性水平、基本变量和作用组合等。

## **4.3 极限状态设计**

**4.3.1** 不同设计状况条件下,铁路工程结构设计应符合下列规定:

1 对持久设计状况,应进行承载能力和正常使用极限状态设计,必要时进行疲劳极限状态检算;

2 对短暂设计状况,应进行承载能力极限状态设计,可根据需要进行正常使用极限状态设计;

3 对偶然设计状况,应进行承载能力极限状态设计;

4 对地震设计状况,应进行承载能力极限状态设计,可根据

工程需要进行正常使用极限状态设计。

**4.3.2** 铁路工程结构承载能力极限状态设计,可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** 铁路工程结构正常使用极限状态设计,可根据具体情况采用下列组合:

- 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,宜用于长期效应为决定性因素的正常使用极限状态设计。

**4.3.4** 铁路工程结构设计应满足各种极限状态下最不利作用组合的要求。

**4.3.5** 铁路工程结构极限状态设计应符合下式规定:

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

式中:  $g(\cdot)$ ——结构的功能函数;

$X_i (i=1, 2, \dots, n)$ ——基本变量。在进行可靠性分析时,基本变量应作为随机变量。

**4.3.6** 结构功能函数将作用效应和结构抗力作为综合基本变量时,结构极限状态设计应符合下式规定:

$$g(R, S) = R - S \geq 0 \quad (4.3.6)$$

式中:  $R$ ——结构的抗力;

$S$ ——结构的作用效应。

**4.3.7** 铁路工程结构失效概率可按式(4.3.7-1)确定,也可根据结构可靠指标  $\beta$  按式(4.3.7-2)计算。

$$P_f = P[g(X_1, X_2, \dots, X_n) < 0] \quad (4.3.7-1)$$

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (4.3.7-2)$$

式中:  $\Phi(\cdot)$ ——标准正态分布函数。

**4.3.8** 根据铁路工程结构极限状态方程和随机变量的特征,可选用本标准附录 A.1 的一次二阶矩法(分位值法、JC 法)、蒙特卡罗法或其他适宜方法计算可靠指标。

**4.3.9** 铁路工程结构或构件的可靠指标,不应小于规定的目标可靠指标。目标可靠指标可按本标准附录 A.2 的校准法为基础确定。

**4.3.10** 铁路工程结构或构件承载能力极限状态的目标可靠指标应按安全等级进行分级。每相差一级,目标可靠指标的差值宜取 0.5,也可经综合分析确定。

**4.3.11** 铁路工程结构或构件宜根据规定的目标可靠指标,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分项系数构成的极限状态设计表达式进行设计,分项系数宜按本标准附录 A.3 的方法确定。

#### 4.4 基于可靠指标的设计

**4.4.1** 铁路工程结构有条件时可直接采用基于可靠指标方法进行设计。

**4.4.2** 铁路工程直接采用基于可靠指标方法进行设计时,所设计结构或构件的计算可靠指标应满足下式要求:

$$\beta \geq \beta_{\text{nom}} \quad (4.4.2)$$

式中:  $\beta$ ——所设计结构或构件的可靠指标;

$\beta_{\text{nom}}$ ——所设计结构或构件的目标可靠指标。

**4.4.3** 按可靠指标方法与传统方法设计的结果有明显差异时,应分析原因;只有当证明可靠指标方法设计结果合理后方可采用。

## 5 作用及环境影响

### 5.1 一般规定

5.1.1 铁路工程结构上的作用按随时间上的变化,可分为永久作用、可变作用和偶然作用。桥涵、隧道、路基、轨道结构设计应根据具体特点规定相应的作用。

5.1.2 结构上的各种作用在时间和空间上相互独立时,每一种作用可分别作为单个作用;某些作用密切相关且有可能同时以最大值出现时,可将这些作用一起作为单个作用。

5.1.3 铁路工程结构极限状态设计应根据结构特性和在结构上可能同时出现的作用,取最不利作用组合进行设计。组合值系数宜按本标准附录 A.4 的方法确定。

5.1.4 铁路工程结构设计应考虑结构上可能出现的各种作用和环境影响。

### 5.2 作用的设计参数

5.2.1 铁路工程结构上的作用随时间的变化规律宜采用随机过程概率模型描述,并应符合下列规定:

1 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。

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(或最小值)作为随机变量的概率模型。

3 作用概率分布模型及其参数应根据适量的实际观测或试验检验数据统计分析确定。

5.2.2 铁路工程结构设计在不同作用组合下应采用相应的作用

代表值。永久作用应采用标准值作为唯一代表值，永久作用的标准值和概率分布可按本标准附录 B.1 的方法确定。可变作用应采用标准值、组合值、频遇值和准永久值作为代表值。

**5.2.3** 可变作用的标准值可采用其设计基准期或设计状况持续期内极大值(或极小值)概率分布的某一分位值。作用的增大对结构不利时,可取其极大值概率分布的某一高分位值;作用的减小对结构不利时,可取其极小值概率分布的某一低分位值;观测数据不充分时,可变作用的标准值也可根据工程经验通过分析判断确定。可变作用的概率分布和准永久值、频遇值及组合值可按本标准附录 B.2 的方法确定。

**5.2.4** 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有关标准确定,也可根据观测和试验数据以及工程经验综合分析确定。

**5.2.5** 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。

**5.2.6** 铁路工程结构上的作用效应采用作用的函数式表达时,应根据试验、计算或经验确定其计算模型不定性系数。

### 5.3 列车竖向作用

**5.3.1** 铁路列车竖向作用标准值应根据线路类型按表 5.3.1 确定。

表 5.3.1 铁路列车荷载图式

线路类型	图式名称	荷载图式	
		普通荷载	特种荷载
高速铁路	ZK	<p>64(kN/m) 200 200 200 200 64(kN/m) (kN) 任意长度 0.8m   1.6m   1.6m   1.6m   0.8m 任意长度</p>	<p>250 250 250 250 (kN) 1.6m   1.6m   1.6m</p>

续表 5.3.1

线路类型	图式名称	荷载图式	
		普通荷载	特种荷载
城际铁路	ZC		
客货共线铁路	ZKH		
重载铁路	ZH		

5.3.2 有通过长大车辆要求的铁路工程结构,除应按本标准表 5.3.1 规定的作用进行设计外,尚应按长大重车检算图式(如图 5.3.2 所示)进行检算。

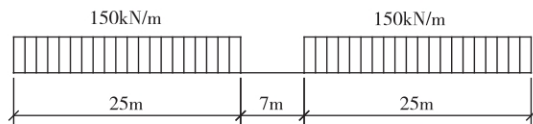


图 5.3.2 长大重车检算图式

5.3.3 铁路列车竖向作用效应标准值,应在考虑动力效应基础上,按铁路列车荷载图式在结构验算部位最不利情况加载确定。

5.3.4 铁路列车作用效应概率分布可按本标准附录 B.3 的方法确定。

## 5.4 环境影响

5.4.1 铁路工程结构设计,应在结构选材、材料规格、结构构件设计、构造要求中考虑环境对材料性能退化、结构耐久性降低等影响。

5.4.2 环境影响可用概率模型描述,也可采用单一环境对结构影响的分级描述,或若干环境影响的组合效应分级描述,并在设计中采取相应的技术措施。

住房和城乡建设部信息中心  
浏览专用

## 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** 材料性能宜采用随机变量概率模型描述。材料性能的统计参数和概率分布类型,应以实测或试验数据为基础,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  $\alpha$  可取 0.05。

**6.1.2** 材料强度随机变量的概率分布类型宜采用正态分布或对数正态分布。

**6.1.3** 材料物理力学性能的标准值应按规定的测试方法选取材料性能总体分布中的某一分位值确定,并宜符合下列规定:

- 1 材料强度,宜取概率分布的 0.05 分位值;
- 2 钢材疲劳强度,宜取概率分布的 0.023 分位值;
- 3 材料弹性模量、泊松比等物理性能,宜取概率分布的 0.5 分位值;
- 4 试验数据不足时,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。

**6.1.4** 材料性能可通过标准试件试验结果确定,试验应考虑下列情况:

- 1 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;
- 2 实际结构与标准试件材料性能的关系,应考虑尺寸、时变、温度、湿度等影响因素,根据相应的对比试验结果通过换算系数或函数反映;
- 3 结构中材料性能的不定性应考虑标准试件材料性能的不定性、换算系数或函数的不定性。



**6.1.5** 岩土性能宜根据试验结果采用随机变量概率模型来描述,也可采用多变量正态分布。岩土性能标准值应按下列方法确定:

1 根据概率分布的某一分位值确定;

2 试验数据不足、从有关标准或研究成果中可得到参数的上限、下限时,可用简化概率分布方法或  $3\sigma$  法( $\sigma$  为标准差)近似确定参数的均值和标准差。

**6.1.6** 通过原位测试、室内试验等直接或间接方法确定岩土性能指标和地基、桩基承载力等指标时,应考虑样品扰动、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误差等因素的影响。

## 6.2 几何参数

**6.2.1** 结构或构件的几何参数  $a$  宜采用随机变量概率模型描述,其概率分布类型应运用参数估计和概率分布的假设检验方法确定。

**6.2.2** 测试数据不足时,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** 几何参数的变异性对结构抗力及其他性能的影响很小时,几何参数的标准值可采用设计规定的名义值。

## 7 结构分析和试验辅助设计

### 7.1 一般规定

7.1.1 结构分析应包括作用效应和抗力以及其他性能分析。作用效应和抗力不能明确区分时,可按照作用的有利和不利情况分别对结构进行分析。

7.1.2 结构分析可采用理论计算、模型试验、原型试验或将上述方法相结合的方法。

7.1.3 结构理论计算应根据结构类型、材料性能和受力特点等因素,采用线性或非线形分析方法,并应符合下列规定:

1 结构性能始终处于弹性状态时,应采用弹性理论进行结构分析;

2 结构在达到极限状态前处于弹塑性状态时,宜采用弹塑性理论进行结构分析;

3 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,宜采用塑性理论进行结构分析;

4 结构的承载力由脆性破坏或稳定控制时,不应采用弹塑性理论分析。

7.1.4 动力作用对结构产生较大影响时,应对结构进行动力响应分析。

7.1.5 结构分析的精度应能满足结构设计要求,必要时应进行试验验证。

7.1.6 铁路工程结构存在下列情况之一时,可进行试验辅助设计:

1 缺乏理论模型或足够的数椐,不能按现行方法处理;

2 计算参数或计算结果不能正确反映实际条件;

- 3 使用新型结构或构件、新材料或建立新设计公式；
- 4 确认设计中的控制性假设。

## 7.2 结构及构件分析模型

- 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、二维或者三维计算模型进行结构分析。
- 7.2.3 结构分析模型与实际状况之间的差异,可通过结构极限状态方程中的模型不定性系数加以调整。
- 7.2.4 在不能利用统计分析确定作用参数时,应给出作用参数的上下限范围,并通过比较确定对结构不利作用的取值。
- 7.2.5 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。
- 7.2.6 动力作用引起的动力响应使结构有可能超过正常使用极限状态的限值时,应根据实际情况构建模型对结构进行正常使用极限状态验算。
- 7.2.7 铁路工程结构构建疲劳作用模型时,应按照下列特征之一确定其参数:

- 1 完整的应力幅历程；
- 2 应力幅以及相应的循环次数。

## 7.3 试验辅助设计

- 7.3.1 试验辅助设计可根据需要进行下列试验:
  - 1 确定作用或作用效应的试验；
  - 2 用规定的实验方法获得材料、岩土性能的试验；
  - 3 在给定荷载条件下,直接确定结构或构件极限承载力或使用性能的试验；

#### 4 结构或模型整体试验。

7.3.2 试验前应制定一个符合相关技术标准的试验方案,选择的试验环境和加载顺序应能正确预测实际结构的性能。原型试验宜做到与实际结构的几何尺寸、作用和环境条件等相符;模型试验中模型的相似性和边界条件等应能反映结构设计的极限状况。

7.3.3 以试验结果为基础进行设计时,应考虑实际构件质量控制、尺寸效应、时间效应、边界条件、工艺条件、环境条件等与试验的差异。

7.3.4 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性水平。

## 8 分项系数设计方法

### 8.1 一般规定

8.1.1 分项系数可分为作用分项系数和抗力分项系数。

8.1.2 分项系数宜根据有关基本变量的概率分布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。缺乏统计数据时,可根据传统的或经验的设计方法,采用有关标准规定的分项系数。

8.1.3 铁路工程桥涵结构列车荷载作用分项系数宜取 1.4~1.5。

### 8.2 基本变量的设计值

8.2.1 铁路工程结构作用  $F$  的设计值  $F_d$  可由下式确定:

$$F_d = \gamma_F F_r \quad (8.2.1)$$

式中:  $F_r$  ——作用的代表值;

$\gamma_F$  ——作用的分项系数。

8.2.2 材料或产品性能的设计值  $f_d$  可由下式确定:

$$f_d = f_k / \gamma_M \quad (8.2.2-1)$$

$$\gamma_M = \gamma_{Rd} \gamma_m \quad (8.2.2-2)$$

式中:  $f_k$  ——材料或产品性能的标准值;

$\gamma_M$  ——材料或产品性能的分项系数,考虑模型不定性和(或)几何参数偏差等影响;

$\gamma_{Rd}$  ——抗力模型不定性系数,一般取 1.0;

$\gamma_m$  ——材料或产品性能的分项系数。

8.2.3 几何参数的设计值确定应符合下列规定:

1 几何参数的设计值可采用名义值表达:

$$a_d = a_{nom} \quad (8.2.3-1)$$

式中： $a_d$ ——几何参数的设计值；

$a_{\text{nom}}$ ——几何参数的标准值或名义值。

2 几何参数的变异性对构件可靠度有重要影响时，几何参数的设计值可通过下式确定：

$$a_d = a_{\text{nom}} \pm \Delta a \quad (8.2.3-2)$$

式中： $a_d$ ——几何参数的设计值，代表几何缺陷时， $a_{\text{nom}} = 0$ ， $\Delta a \neq 0$ ；

$\Delta a$ ——几何参数的附加量。考虑使用名义值(或标准值)不利偏差的可能性，或考虑数个偏差同时发生的累积效果。

8.2.4 结构抗力的设计值  $R_d$  按材料性能确定时，结构抗力的设计值应按式(8.2.4-1)确定。结构抗力的设计值按岩土性能或静力平衡确定时，结构抗力的设计值也可按式(8.2.4-2)确定：

$$R_d = R(f_k / \gamma_M, a_d) \quad (8.2.4-1)$$

$$R_d = R(f_k, a_d) / \gamma_R \quad (8.2.4-2)$$

式中： $R(\cdot)$ ——抗力  $R$  的代表函数，括号内为该函数式的参变量。

### 8.3 承载能力极限状态

8.3.1 铁路工程结构或构件按承载能力极限状态设计应符合下列规定：

1 结构或构件(包括基础等)破坏或过度变形的承载能力极限状态设计，应满足下式要求：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (8.3.1-1)$$

式中： $S_d$ ——结构作用效应设计值；

$R_d$ ——结构抗力设计值。

2 整个结构或其一部分作为刚体失去静力平衡的承载能力极限状态设计，应满足下式要求：

$$\gamma_0 S_{d,\text{dst}} \leq S_{d,\text{stb}} \quad (8.3.1-2)$$

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。

**8.3.2** 铁路工程结构重要性系数  $\gamma_0$ ，应按表 8.3.2 采用。

**表 8.3.2 铁路工程结构重要性系数  $\gamma_0$**

安全等级	一级	二级	三级
重要性系数 $\gamma_0$	$\geq 1.1$	1.0	0.9

**8.3.3** 铁路工程结构按承载能力极限状态设计的作用组合可采用基本组合、偶然组合和地震组合。

**8.3.4** 持久设计状况和短暂设计状况可采用作用的基本组合，作用效应设计值的计算应符合下列规定：

1 作用效应设计值按下式确定：

$$S_d = \gamma_{sd} S \left( \sum_{i=1}^n \gamma_{Gi} G_{ki} + \gamma_{Q1} \gamma_{L1} Q_{k1} + \sum_{j=2}^m \gamma_{Qj} \psi_{cj} \gamma_{Lj} Q_{kj} \right) \quad (8.3.4-1)$$

式中： $\gamma_{sd}$  ——计算模型不定性系数，可取 1.0；

$\gamma_{Gi}$  ——第  $i$  个永久作用的分项系数；

$G_{ki}$  ——第  $i$  个永久作用的标准值；

$\gamma_{Q1}$  ——主导可变作用的分项系数；

$Q_{k1}$  ——主导可变作用的标准值；

$\gamma_{Qj}$  ——第  $j$  个其他可变作用的分项系数；

$\gamma_{L1}$ 、 $\gamma_{Lj}$  ——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，可取 1.0；

$\psi_{cj}$  ——第  $j$  个可变作用的组合值系数；

$Q_{kj}$  ——第  $j$  个其他可变作用（荷载）的标准值。

2 作用效应与作用可用线性关系表达时，作用效应设计值可按下列下式确定：

$$S_d = \gamma_{sd} \left( \sum_{i=1}^n \gamma_{Gi} S_{G_{ki}} + \gamma_{Q1} \gamma_{L1} S_{Q_{k1}} + \sum_{j=2}^m \gamma_{Qj} \psi_{cj} \gamma_{Lj} S_{Q_{kj}} \right) \quad (8.3.4-2)$$

式中:  $S_{G_{ki}}$  ——第  $i$  个永久作用标准值效应;

$S_{Q_{k1}}$  ——主导可变作用标准值效应;

$S_{Q_{kj}}$  ——第  $j$  个其他可变作用标准值效应。

**8.3.5** 偶然设计状况应采用作用的偶然组合,作用效应设计值的计算应符合下列规定:

1 作用效应设计值可按下式确定:

$$S_d = S \left( \sum_{i=1}^n G_{ki} \text{“+”} A_d \text{“+”} (\psi_{\text{fl}} \text{ 或 } \psi_{\text{q1}}) Q_{k1} \text{“+”} \sum_{j=2}^m \psi_{\text{qj}} Q_{kj} \right) \quad (8.3.5-1)$$

式中:  $A_d$  ——偶然作用的设计值;

$\psi_{\text{fl}}$  ——主导可变作用的频遇值系数;

$\psi_{\text{q1}}$ 、 $\psi_{\text{qj}}$  ——主导可变作用和其他可变作用的准永久值系数。

2 作用效应与作用可用线性关系表达时,作用效应设计值可按下式确定:

$$S_d = \sum_{i=1}^n S_{G_{ki}} + S_{A_d} + (\psi_{\text{fl}} \text{ 或 } \psi_{\text{q1}}) S_{Q_{k1}} + \sum_{j=2}^m \psi_{\text{qj}} S_{Q_{kj}} \quad (8.3.5-2)$$

**8.3.6** 地震设计状况应采用作用的地震组合,作用效应设计值的计算应符合下列规定:

1 地震组合的作用效应设计值宜根据重现期为 475 年的地震作用确定,其效应设计值应符合下列规定:

1) 作用效应设计值宜按下式确定:

$$S_d = S \left( \sum_{i=1}^n G_{ki} \text{“+”} \gamma_1 A_{\text{Ek}} \text{“+”} \sum_{j=1}^m \psi_{\text{qj}} Q_{kj} \right) \quad (8.3.6-1)$$

式中:  $\gamma_1$  ——地震作用重要性系数,应符合现行国家标准《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 的规定;

$A_{\text{Ek}}$  ——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) 作用与作用效应可用线性关系表达时,作用效应设计值



可按下式计算：

$$S_d = \sum_{i=1}^n S_{G_{ki}} + \gamma_1 S_{A_{Ek}} + \sum_{j=1}^m \psi_{uj} S_{Q_{kj}} \quad (8.3.6-2)$$

2 地震组合的作用效应设计值，也可根据重现期大于或小于 475 年的地震作用确定，并应符合有关抗震设计标准的规定。

3 当采用减隔震设计时，应考虑减隔震装置对作用效应的影响。

**8.3.7** 设计中应采用不同的分项系数来考虑永久作用的有利和不利影响。当永久作用对结构或构件的承载力起有利情况时，永久作用分项系数  $\gamma_G$  的取值不应大于 1.0。

## 8.4 正常使用极限状态

**8.4.1** 铁路工程结构按正常使用极限状态设计可按下式确定：

$$S_d \leq C_d \quad (8.4.1)$$

**8.4.2** 铁路工程结构按正常使用极限状态设计的作用组合可采用标准组合、频遇组合和准永久组合。

**8.4.3** 标准组合的作用效应设计值的计算应符合下列规定：

1 作用效应设计值可按下式确定：

$$S_d = \gamma_{sd} S \left( \sum_{i=1}^n G_{ki} + Q_{k1} + \sum_{j=2}^m \psi_{cj} Q_{kj} \right) \quad (8.4.3-1)$$

2 作用效应与作用可用线性关系表达时，作用效应设计值可按下式确定：

$$S_d = \gamma_{sd} \left( \sum_{i=1}^n S_{G_{ki}} + S_{Q_{k1}} + \sum_{j=2}^m \psi_{cj} S_{Q_{kj}} \right) \quad (8.4.3-2)$$

**8.4.4** 频遇组合的作用效应设计值的计算应符合下列规定：

1 作用效应设计值可按下式确定：

$$S_d = \gamma_{sd} S \left( \sum_{i=1}^n G_{ki} + \psi_{f1} Q_{k1} + \sum_{j=2}^m \psi_{uj} Q_{kj} \right) \quad (8.4.4-1)$$

2 作用效应与作用可用线性关系表达时，作用效应设计值可按下式确定：

$$S_d = \gamma_{sd} \left( \sum_{i=1}^n S_{G_{ki}} + \psi_{fl} S_{Q_{k1}} + \sum_{j=2}^m \psi_{Qj} S_{Q_{kj}} \right) \quad (8.4.4-2)$$

**8.4.5** 准永久组合的作用效应设计值的计算应符合下列规定：

1 作用效应设计值可按下式确定：

$$S_d = \gamma_{sd} S \left( \sum_{i=1}^n G_{ki} + \sum_{j=1}^m \psi_{Qj} Q_{kj} \right) \quad (8.4.5-1)$$

2 作用效应与作用可用线性关系表达时，作用效应设计值可按下式确定：

$$S_d = \gamma_{sd} \left( \sum_{i=1}^n S_{G_{ki}} + \sum_{j=1}^m \psi_{Qj} S_{Q_{kj}} \right) \quad (8.4.5-2)$$

## 8.5 疲劳极限状态

**8.5.1** 承受重复荷载作用的铁路工程结构应根据其设计使用年限选定适当的疲劳目标可靠指标，疲劳目标可靠指标可按本标准第 4.3.9 条规定的方法选定。

**8.5.2** 直接承受列车重复荷载作用的结构或构件，应根据设计基准期内变幅重复荷载或荷载效应的统计特征，制定相应的疲劳荷载谱和标准荷载效应比频谱，作为疲劳作用分项系数制定的依据。铁路列车疲劳荷载谱和标准荷载效应比频谱，可按本标准附录 B.4 规定的方法确定。

**8.5.3** 铁路工程钢结构或钢构件应按下列方法之一进行疲劳极限状态验算：

1 采用等效等幅重复应力法进行疲劳极限状态验算，应满足下式要求：

$$\gamma_{sd} \gamma_{fat} \Delta \sigma_e \leq \Delta \sigma_0 \quad (8.5.3-1)$$

式中： $\gamma_{sd}$  ——计算模型不定性系数；

$\gamma_{fat}$  ——钢结构疲劳作用分项系数，可取 1.0；

$\Delta \sigma_e$  ——钢结构验算部位等效等幅重复应力幅标准值（计入运营动力系数、离心力）；

$\Delta\sigma_0$  —— 疲劳设计强度,  $\Delta\sigma_0 = \frac{\Delta f_{ack}}{\gamma_{af}}$  ;

$\gamma_{af}$  —— 钢结构验算部位材料(或构造细节)的疲劳抗力分项系数;

$\Delta f_{ack}$  —— 钢结构验算部位材料(或构造细节)的等幅疲劳强度标准值。

2 采用极限损伤度法进行疲劳极限状态验算,应满足下式要求:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (8.5.3-2)$$

式中:  $n_i$  —— 应力谱为  $\Delta\sigma_i$  的循环次数;

$N_i$  —— 按应力幅  $\Delta\sigma_i$  所推导的致伤循环次数。

8.5.4 铁路工程混凝土结构应按下列方法之一进行疲劳极限状态验算:

1 采用等效等幅重复应力法进行疲劳极限状态验算,应满足下式要求:

$$\gamma_{sd} \gamma_{cek} \sigma_{cek} \leq \frac{f_{cek}}{\gamma_{cf}} \quad (8.5.4-1)$$

$$\gamma_{sd} \gamma_{pek} \Delta\sigma_{pek} \leq \frac{\Delta f_{pek}}{\gamma_{pf}} \quad (8.5.4-2)$$

$$\gamma_{sd} \gamma_{sek} \Delta\sigma_{sek} \leq \frac{\Delta f_{sek}}{\gamma_{sf}} \quad (8.5.4-3)$$

式中:  $\gamma_{cek}$ 、 $\gamma_{pek}$ 、 $\gamma_{sek}$  —— 分别为混凝土、预应力钢筋、钢筋的疲劳作用分项系数;

$\sigma_{cek}$ 、 $\Delta\sigma_{pek}$ 、 $\Delta\sigma_{sek}$  —— 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幅标准值、钢筋等效疲劳应力幅标准值(计入运营动力系数、离心力);

$f_{cek}$ 、 $\Delta f_{pek}$ 、 $\Delta f_{sek}$  —— 分别为混凝土结构验算部位的混凝土、预应力钢筋、钢筋的等幅疲劳强度标准值;

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

2 采用极限损伤度法进行疲劳极限状态验算,应符合本标准第 8.5.3 条第 2 款的规定,其中验算对象分别为验算部位的混凝土、预应力钢筋和钢筋。

## 9 可靠性管理及评定

### 9.1 可靠性管理

- 9.1.1 铁路工程结构的勘察设计、施工、使用和维护的可靠性管理,应符合本标准附录 C 的规定和有关标准的专门规定。
- 9.1.2 铁路工程结构设计应符合国家现行抗震、耐久性等相关标准的有关规定。
- 9.1.3 铁路工程结构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。
- 9.1.4 铁路工程结构的材料及施工过程应进行质量控制,按铁路现行有关标准的规定进行竣工验收。
- 9.1.5 铁路工程结构应按设计规定的运营条件使用,并进行必要的维护和维修。

### 9.2 可靠性评定

- 9.2.1 既有铁路工程结构出现下列情况之一时,应进行可靠性评定:
- 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。
- 9.2.2 既有铁路工程结构可靠性评定的评定内容、评定步骤和方法等,应符合本标准附录 D 的规定。

## 附录 A 结构可靠性分析方法

### A.1 结构可靠指标计算

A.1.1 采用分位值法计算结构可靠指标应符合下列规定：

1 结构的极限状态方程可采用下式表达：

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n) = 0 \quad (\text{A.1.1-1})$$

2 结构或构件的可靠指标  $\beta$  可按下式进行迭代计算：

$$\beta = \frac{g(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)}{\left[ \sum_i^n \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{p^*} X_i^{*'} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + \sum_i^n \beta_{X_i} \quad (\text{A.1.1-2})$$

式中： $\frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{p^*}$  ——函数  $g(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$  在设计验算点  $p^*$  处的偏导数，设计验算点的坐标为  $[X_1^*, X_2^*, \dots, X_i^*, \dots, X_n^*]$ ；

$X_i^*$  ——基本变量  $X_i$  在分位概率为  $\Phi(\beta_{X_i})$  处的分位值， $X_i^* = F_{X_i}^{-1}[\Phi(\beta_{X_i})]$ ；

$X_i^{*'}$  ——基本变量  $X_i$  在分位概率为  $\Phi(\beta_{X_i})$  处的分位导数， $X_i^{*'} = \frac{d}{d\beta_{X_i}} F_{X_i}^{-1}[\Phi(\beta_{X_i})]$ ；

$\beta_{X_i}$  ——基本变量  $X_i$  的分项可靠指标， $\beta_{X_i} = \alpha_{X_i} \beta$ ， $\alpha_{X_i}$  为基本变量  $X_i$  的灵敏度系数， $\alpha_{X_i} =$

$$\frac{-\frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{p^*} X_i^{*'}}{\left[ \sum_i^n \left( \frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{p^*} X_i^{*' \prime} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

结构或构件的可靠指标计算宜借助计算机编程实现(图 A.1.1)。

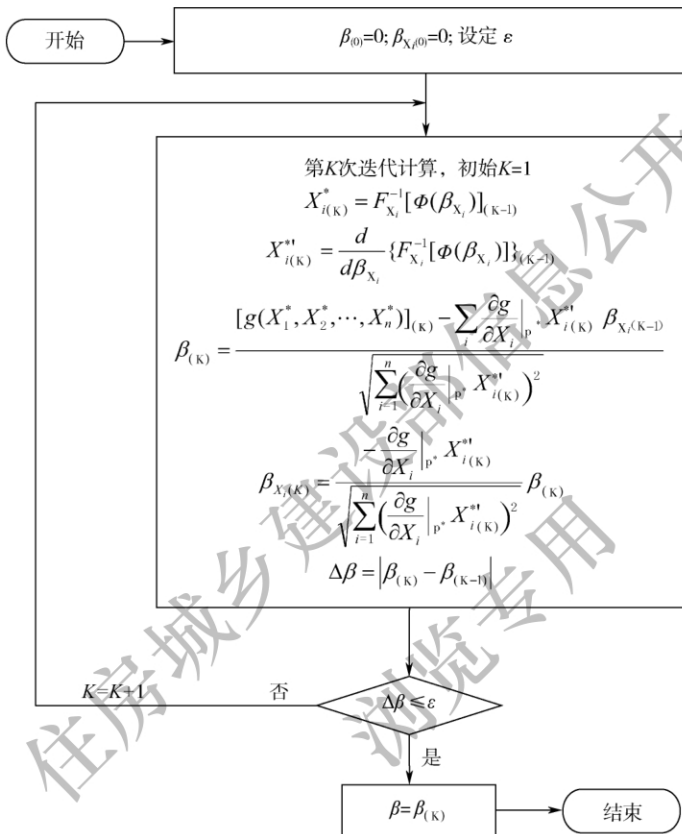


图 A. 1. 1 分位值法计算可靠指标框图

3 服从正态分布、对数正态分布、极值I型分布和三参数对数正态分布的随机变量  $X$  的分位值  $X_i^*$  和分位导数  $X_i^{**}$  可按表 A. 1. 1 计算。

表 A. 1. 1 随机变量  $X$  的分位值和分位导数计算公式

分布类型	分位值 $X_i^*$	分位导数 $X_i^{**}$
正态分布	$\bar{X} + \beta_{X_i} \sigma$	$\sigma$
对数正态分布	$\frac{\bar{X}}{\sqrt{1 + \delta^2}} \exp[\beta_{X_i} \sqrt{\ln(1 + \delta^2)}]$	$X_i^* \sqrt{\ln(1 + \delta^2)}$

续表 A. 1. 1

分布类型	分位值 $X_i^*$	分位导数 $X_i^{*'} $
极值 I 型分布	$u - \frac{\{\ln[-\ln\Phi(\beta_{X_i})]\}}{\alpha}$ 或 $\bar{X}\{(1 - 0.45006\delta) - 0.7797\delta\ln[-\ln\Phi(\beta_{X_i})]\}$	$\frac{-\exp\left[-\frac{(\beta_{X_i})^2}{2}\right]}{\sqrt{2\pi}\alpha\Phi(\beta_{X_i})\ln\Phi(\beta_{X_i})}$ 或 $-0.779706\bar{X}\frac{\exp\left[-\frac{(\beta_{X_i})^2}{2}\right]}{\sqrt{2\pi}\Phi(\beta_{X_i})\ln\Phi(\beta_{X_i})}$
三参数对数正态分布	$\frac{\bar{X} - \alpha}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\bar{X} - \alpha}\right)^2}} \exp(W\beta_{X_i}) + \alpha$ 式中: $W = \sqrt{\ln\left[1 + \left(\frac{\sigma}{\bar{X} - \alpha}\right)^2\right]}$	$\frac{\bar{X} - \alpha}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\bar{X} - \alpha}\right)^2}} \cdot W \exp(W\beta_{X_i})$

注:表中  $\bar{X}$  —— 平均值;  $\sigma$  —— 标准差;  $\delta$  —— 变异系数;  $\alpha$  —— 参数,  $\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}$ ;

$u$  —— 参数,  $u = X - \frac{0.5772}{\alpha}$ 。

**A. 1. 2** 结构极限状态方程由独立的任意分布随机变量构成时,可采用 JC 法按下列步骤计算结构可靠指标:

1 非正态分布随机变量  $X$ , 其均值为  $\mu_X$ , 标准差为  $\sigma_X$ , 可按下列原则将其转换为等效正态分布随机变量:

1) 在设计验算点  $X^*$  处, 等效正态变量  $X'$  的概率分布函数值  $F_{X'}(X^*)$  与原变量  $X$  的概率分布函数值  $F_X(X^*)$  相等, 即:

$$F_{X'}(X^*) = \Phi\left(\frac{X^* - \mu_{X'}}{\sigma_{X'}}\right) = F_X(X^*);$$

2) 在设计验算点  $X^*$  处, 等效正态变量  $X'$  的概率密度函数值  $f_{X'}(X^*)$  与原变量  $X$  的概率密度函数值  $f_X(X^*)$  相等, 即:

$$f_{X'}(X^*) = \frac{1}{\sigma_{X'}} \varphi\left(\frac{X^* - \mu_{X'}}{\sigma_{X'}}\right) = f_X(X^*);$$

3) 等效正态分布随机变量  $X'$  的平均值和标准差可用下式



表示：

$$\mu_{X'} = X^* - \Phi^{-1}[F_X(X^*)]\sigma_{X'} \quad (\text{A. 1. 2-1})$$

$$\sigma_{X'} = \frac{\varphi\left(\frac{X^* - \mu_{X'}}{\sigma_{X'}}\right)}{f_X(X^*)} = \frac{\varphi\{\Phi^{-1}[F_X(X^*)]\}}{f_X(X^*)} \quad (\text{A. 1. 2-2})$$

式中： $\mu_{X'}$ 、 $\sigma_{X'}$ ——等效正态分布随机变量  $X'$  的平均值和标准差；

$f_{X'}(\cdot)$ 、 $F_{X'}(\cdot)$ ——等效正态分布随机变量  $X'$  的概率密度函数和概率分布函数；

$\varphi(\cdot)$ 、 $\Phi(\cdot)$ 、 $\Phi^{-1}(\cdot)$ ——标准正态分布的概率密度函数、分布函数和分布函数的反函数。

2 等效正态分布随机变量  $X'$  的平均值和标准差确定后，可采用其他方法计算结构的可靠指标。

**A. 1. 3** 结构极限状态方程可采用蒙特卡罗(Monte-carlo)法按下列步骤计算可靠指标：

1 选取一组具有代表性的结构或构件，其结构功能函数为  $Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0$ ， $X_1, X_2, \dots, X_n$  为随机变量；

2 通过随机抽样产生已知分布变量的随机数， $x_1, x_2, \dots, x_n$ ；

3 计算功能函数值  $Z_i = g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ；

4 设抽样次数为  $N$ ，每组随机变量计算得到的功能函数值为  $Z_i$ ， $Z_i \leq 0$  的次数为  $L$ ，则在大批抽样之后，结构的失效概率  $P_f = L/N$ ；

5 由失效概率反求可靠指标。

## A. 2 结构目标可靠指标选定方法

**A. 2. 1** 结构按校准法确定目标可靠指标应按下列步骤计算：

1 选取一组具有代表性的结构或控制结构安全的构件作为校准法的计算对象。

2 在这一组结构或构件中，根据工程用量和重要性，确定各

结构的权系数  $\omega_i$ 。各结构权系数的总和应符合下式规定：

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

式中： $\omega_i$ ——第  $i$  种结构的权系数。

3 确定各结构或构件的作用效应和抗力中各基本变量的概率分布类型和设计参数。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 分别计算各结构或构件的可靠指标  $\beta_i$ 。

5 计算各结构或构件的加权平均可靠度值  $\beta_{ave}$ ：

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

6 根据加权平均可靠度值  $\beta_{ave}$ ，经过综合分析，确定结构的目标可靠指标  $\beta_{nom}$ 。

**A. 2. 2** 目标可靠指标的选择宜考虑结构或构件的失效后果和性质，涉及经济损失、社会和环境的影响、自然资源的可持续利用以及降低失效概率所要增加的成本。目标可靠指标也可采用风险水平类比法或费用效益分析法确定。

### A. 3 分项系数确定方法

**A. 3. 1** 结构或构件设计表达式中分项系数应按下列原则确定：

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

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

3 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，应使计算可靠指标与目标可靠指标  $\beta_{nom}$  具有最佳的一致性。

**A. 3. 2** 承载能力极限状态设计式中基本变量分项系数的选定应符合下列规定：

1 极限状态设计式中各基本变量理论分项系数应按下列步骤选定：

1) 结构的极限状态设计表达式可按式(A. 3. 2-1)表达。

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n) \quad (\text{A. 3. 2-1})$$

2) 式(A. 3. 2-1)中仅有一个可变作用(或组合可变作用)时,可按分位值法或其他适当的方法确定各基本变量的理论设计值。

3) 在目标可靠指标  $\beta_{\text{nom}}$  确定情况下,按分位值法确定理论设计值  $\bar{X}_{\text{id}}$  时,可采用迭代法(图 A. 3. 2)按下列公式计算确定。

$$\bar{X}_{\text{id}} = X_i^* = F_{X_i}^{-1}[\Phi(\beta_{X_i})] \quad (\text{A. 3. 2-2})$$

$$\beta_{X_i} = \frac{\left. \frac{\partial g}{\partial X_i} \right|_{p^*} X_i^{* \prime}}{\left[ \sum_i \left( \left. \frac{\partial g}{\partial X_i} \right|_{p^*} X_i^{* \prime} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \beta_{\text{nom}} \quad (\text{A. 3. 2-3})$$

$$X_i^{* \prime} = \frac{d}{d\beta_{X_i}} \{ F_{X_i}^{-1}[\Phi(\beta_{X_i})] \} \quad (\text{A. 3. 2-4})$$

4) 各基本变量的理论设计值  $\bar{X}_{\text{id}}$  与相应标准值之比求理论分项系数  $\bar{\gamma}_{X_i}$ , 其中理论作用分项系数为作用理论设计值与作用标准值之比,理论抗力分项系数为抗力标准值与抗力理论设计值之比。

2 设计分项系数可按下列步骤选定：

1) 结构设计计算工况的选定,可选择极限状态设计式可行域内具有代表性的若干种设计计算工况,确定各自常用的作用效应比；

2) 理论分项系数的计算,可采用第 A. 3. 2 条第 1 款规定的分位值法或其他适当的方法,求得给定目标可靠指标和各种设计计算工况下各基本变量  $X_i$  的理论分项系数  $\bar{\gamma}_{X_i}$ ；

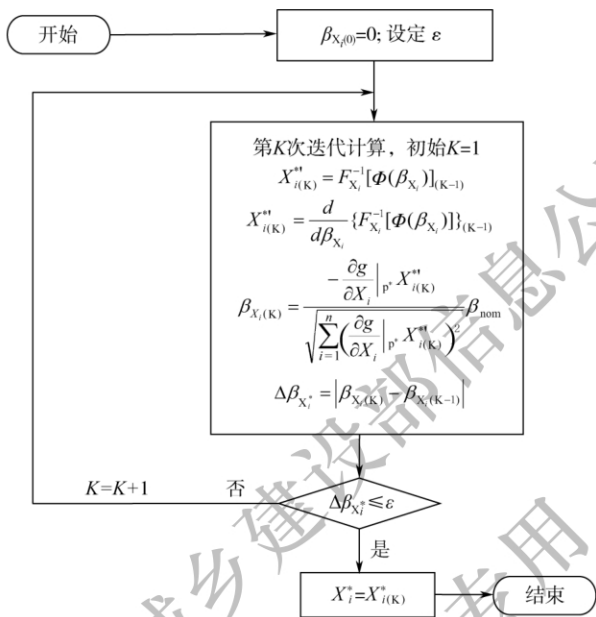


图 A. 3. 2 分位值法确定理论设计值的计算框图

3) 设计分项系数的选定, 根据各基本变量的理论分项系数, 采用加权平均的方法, 选定设计分项系数的初值, 试算各种设计计算工况下的结构可靠指标。调整各分项系数以实现计算可靠指标与目标可靠指标的最佳的一致性, 据此确定最终的设计分项系数。

3 铁路工程结构中, 涉及材料性能的抗力分项系数, 也可根据工程经验或有关标准等综合分析确定。

#### A. 4 组合值系数确定方法

A. 4. 1 确定的组合值系数应使按分项系数表达式设计的结构或构件的可靠指标  $\beta$  与目标可靠指标  $\beta_{nom}$  具有最佳的一致性。

A. 4. 2 可变作用的组合值系数  $\psi_c$  可按下列步骤进行选定:

1 选择安全等级为二级的具有代表性的若干种设计计算工况,按其对应结构的工程造价和重要性确定其权系数。

2 按特克斯特拉(Turkstra)组合方法,求得各种设计计算工况下各个可变作用组合成的组合可变作用效应  $S_{M,J}$  在设计基准期内最大值  $S_{MT,J}$  的概率分布函数。

3 将组合可变作用效应  $S_{MT,J}$  作为一个单一的可变作用效应,根据既定的目标可靠指标按本标准附录 A.3.2 提供的方法或其他适当的方法,求得各种设计计算工况下结构承载能力极限状态设计式中各个永久作用效应的理论设计值  $S_{G_{id,j}}$  和组合可变作用效应的理论设计值  $\bar{S}_{MT_{d,j}}$ 。

4 根据采用组合可变作用效应理论设计值  $\bar{S}_{MT_{d,j}}$  的作用效应理论设计值与采用组合值系数的作用效应理论设计值相等的原则,确定各种设计计算状况下的理论组合值系数  $\bar{\psi}_{c,j}$ ,相应的组合值系数  $\bar{\psi}_{c,j}$  可按下式求得:

$$\bar{\psi}_{c,j} = \frac{\sum_{i=1}^m S_{G_{id,j}} + \bar{S}_{MT_{d,j}} - \sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} S_{G_{k_i}} - \gamma_{Q_1} S_{Q_{k_1}}}{\sum_{j=2}^n \gamma_{Q_j} S_{Q_{k_j}}} \quad | \quad J \quad (A.4.2)$$

式中:  $\gamma_{G_i}$ 、 $\gamma_{Q_1}$  ——永久作用  $G_i$  和主导可变作用  $Q_1$  的设计分项系数;

$\gamma_{Q_j}$  ——可变作用  $Q_j$  ( $j = 2, 3, \dots, n$ ) 的设计分项系数。

5 根据各种设计计算工况求得的理论组合值系数  $\bar{\psi}_{c,j}$ ,采用加权平均的方法确定可变作用组合值系数  $\psi_c$ 。

## 附录 B 作用参数和概率分布的确定

### B.1 永久作用的标准值和概率分布

**B.1.1** 永久作用标准值可按下列原则确定：

1 结构自重标准值可按结构的设计尺寸和材料平均单位重量计算；变异性较大的结构自重可视其对结构产生的不利状态，取其概率分布为 5% 的低分位值或概率分布为 95% 的高分位值作为标准值；

2 非承载结构部件重量标准值可按结构自重同一原则制定。当取消非承载结构部件的重量使所属结构处于不利状态时，该值可取为零；

3 土压力标准值应根据土的平衡状态和(或)工程经验，按最不利的原则确定。当土可迁移时，土压力的消失应作为一种特殊的设计工况进行验算；

4 预加应力标准值应考虑时间效应影响，采用永存预应力；

5 结构施工或材料收缩、焊接等所引起的强制变形，其标准值可规定为单一值。当取消该值为不利时，该值可取为零；

6 由不均匀沉降引起的作用标准值应按最不利组合工况确定。

**B.1.2** 永久作用  $G$  的概率分布类型可假设符合正态分布，其平均值  $\bar{G}$  和变异系数  $\delta_G$  可根据观测资料采用统计推断的方法确定。

### B.2 可变作用的概率分布和准永久值、频遇值及组合值

**B.2.1** 可变作用在设计基准期内极大值(或极小值)的概率分布类型和分布参数，可根据观测资料通过统计推断的方法确定，宜按下列步骤进行：

- 1 选择一个适当的单位观测期  $t_0$ ；
- 2 记录每一个单位观测期可变作用的极大值(或极小值)  $Q_i$ ；
- 3 以所有记录的可变作用极大值(或极小值)为基础,用概率论和数理统计学的方法,判定其概率分布类型并估计其分布参数；
- 4 将判定的概率分布作为初始分布,用极值统计方法估算可变作用在设计基准期内极大值(或极小值)的概率分布类型和分布参数。

**B. 2. 2** 可变作用的准永久值  $\psi_q Q_k$  可按下列方法确定：

- 1 记录在选定设计基准期  $T$  内可变作用值超过  $\psi_q Q_k$  的总持续时间  $\sum t_i$ ；

- 2 若  $\sum t_i$  与  $T$  之比  $\eta$  符合规定值,则  $\psi_q Q_k$  即可作为准永久值。 $\eta$  可根据不同性质的作用和不同的设计状况取值,并不应大于 0.5。

**B. 2. 3** 可变作用的频遇值  $\psi_f Q_k$  可按下列方法之一确定：

- 1 按准永久值的取值方法确定频遇值,但  $\eta$  应取相当小的值；

- 2 按平均跨阈率(单位时间平均超越次数)确定频遇值。对铁路桥梁,可将平均跨阈率规定为每若干次列车中平均超越 1 次计算。

**B. 2. 4** 可变作用的组合值  $\psi_c Q_k$  可按下列方法之一确定：

- 1 根据本标准 A. 4 确定的组合值系数直接计算；

- 2 可变作用的组合值  $\psi_c Q_k$  可按下式确定：

$$\psi_c Q_k = \frac{F_{Q_{\max}}^{-1} \{ [\Phi(0.28\beta_{\text{nom}})]^r \}}{F_{Q_{\max}}^{-1} [\Phi(0.7\beta_{\text{nom}})]} Q_k \quad (\text{B. 2. 4})$$

式中： $F_{Q_{\max}}^{-1}(\cdot)$ ——可变作用设计基准期内最大值概率分布函数的反函数；

$r$ ——设计基准期内可变作用的等时段数。

3 当不能给出可变作用的随机过程概率模型或任意时点(或时段)概率分布时,组合值可根据工程经验或有关标准综合分析确定。

### B.3 铁路列车作用效应概率分布

**B.3.1** 以当前行车条件为基础,结构验算部位列车作用效应的概率分布函数的估算应按下列步骤进行:

1 选择代表性的铁路区段进行调查,统计分析每趟列车通过时结构验算部位的最大作用效应  $S_{\text{dyn},1}$  的概率分布函数  $F_{\text{sdyn},1}(x)$ ;分析应考虑机车车辆类型及其组合,机车车辆的自重、装载量及其组合,动力系数和计算模型不定性等因素;

2 将结构验算部位产生的最大作用效应  $S_{\text{dyn},1}$  的概率分布函数  $F_{\text{sdyn},1}(x)$  作为初始分布,可计算铁路列车在当前行车条件下设计基准期内最大作用效应  $S'_{\text{dyn},T}$  的概率分布函数  $F'_{\text{sdyn},T}(y)$ ;

3 考虑设计基准期内机车车辆的可能发展,可按当前行车条件下求得的设计基准期内最大作用效应  $S'_{\text{dyn},T}$  乘以发展系数,以确定设计基准期内最大作用效应  $S_{\text{dyn},T}$  的概率分布函数  $F_{\text{sdyn},T}(y)$ ,不同结构物可采用不同的发展系数。

**B.3.2** 根据预估行车条件,结构验算部位作用效应概率分布函数的估算步骤应符合下列规定:

1 根据我国铁路技术发展政策或其他有效的预估方法,对设计基准期内的行车条件进行预估,并估算在预估行车条件下,每趟列车通过时验算部位产生的最大作用效应  $S_{\text{dyn},1}$  的概率分布函数  $F_{\text{sdyn},1}(x)$ ;估算中应考虑机车车辆的自重、装载量及其组合的变异性,动力系数(包括其变异性)和计算模型不定性等因素,其中机车车辆的静活载效应是有上界和下界的;

2 将结构验算部位产生的最大作用效应  $S_{\text{dyn},1}$  的概率分布函数  $F_{\text{sdyn},1}(x)$  作为初始分布,通过极值统计方法求得列车最大作用效应  $S_{\text{dyn},T}$  的概率分布函数  $F_{\text{sdyn},T}(y)$ ;必要时在  $S_{\text{dyn},T}$  的概率分



布函数的估算中,可引入适当的计算模型不定性变量。

## **B.4 铁路列车疲劳荷载谱和标准荷载效应比频谱**

**B.4.1 铁路列车疲劳荷载谱和标准荷载效应比频谱可通过疲劳列车法,按下列步骤确定:**

1 选择具有代表性的铁路线路进行运营列车的调查,将各种类型的列车归纳成几种典型的疲劳列车(如煤车、油罐车、普通货车和客车等),并根据需要分别规定各种疲劳列车的车辆数、轴重、轴距和行车速度。对不同特征的线路,应根据其荷载特征和设计基准期内的年运量以及通过的车种(考虑发展)定出疲劳列车的组成和通过次数,形成铁路列车疲劳荷载谱。

2 选择具有代表性的铁路结构物,计算出在设计基准期内各种疲劳列车通过时,结构或构件的荷载效应和相应的重复次数。采用雨流法等进行数据处理,编制成疲劳荷载效应谱表,以反映不同量级的荷载效应与重复次数的关系。

3 在实际设计使用中,可将疲劳荷载效应谱中各级重复荷载效应除以结构承载能力极限状态设计中采用的铁路列车作用效应标准值,得到按疲劳列车求得的各级重复荷载效应与列车标准作用效应的比值,称为荷载效应比,并将荷载效应比与重复次数的关系编制成标准荷载效应比频谱。

**B.4.2 有条件时,铁路列车疲劳荷载谱或标准荷载效应比频谱可通过实测法确定,实测法应包括下列内容:**

1 选择具有代表性的结构物,进行铁路列车作用或作用效应的测定;

2 通过统计分析,得出结构或构件在设计基准期内各级荷载或荷载效应循环次数,并在考虑发展系数的基础上,编制相应的疲劳荷载谱或标准荷载效应比频谱。

## 附录 C 质量管理

**C.0.1** 铁路工程结构勘察设计、施工、使用和维护以及所涉及的材料和构件,应实行有效的质量管理和控制,并避免人为差错和其他不测事件。质量控制的内容、步骤和方法应在有关生产、施工和验收等规范中明确规定。

**C.0.2** 铁路工程结构质量管理周期,应为从勘察设计、工程实施、竣工验收、使用、维护和修复直至失效的全寿命周期过程。

**C.0.3** 铁路工程结构应按表 C.0.3 进行质量管理。

表 C.0.3 铁路工程结构质量管理主要内容

关键阶段		主要内容
勘察设计		初步设计和施工图设计;关于结构性能的可接受性和可操作性;关于材料、构件功能准则的规定;施工图文件的质量和深度;实施和维护的初步规定等
工程实施	招投标	熟悉设计文件,包括功能方面的规定;招标要求的认可;投标应标的认可等
	施工	过程和程序控制;原材料的质量控制;质量风险控制;施工质量检查和验收;根据相关标准规定的质量检测和功能性试验等
竣工验收		静态验收、动态验收、初步验收、安全评估和正式验收;资产移交或维管交接等
使用、维护和修复		性能监测;病害调研;劣化或损坏检测;维修规则制定等

**C.0.4** 铁路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 材料和构件的质量控制;

- 3 工程施工的质量控制；
  - 4 使用和维护的质量控制。
- C.0.5** 铁路工程结构勘察与设计的质量控制应符合下列规定：
- 1 资料齐全，数据准确，满足工程要求；
  - 2 设计计算假定符合规定的要求和条件；
  - 3 计算模型合理和数值计算正确；
  - 4 设计合理，结构可靠；
  - 5 勘察设计图纸和其他文件符合有关规定。
- C.0.6** 铁路工程结构的材料、构件和工程施工的质量控制应包括下列内容：
- 1 初步控制：通过试生产确定合理的原材料组成和工艺参数，为生产控制提出材料和构件性能的统计参数；
  - 2 过程控制：将生产过程或施工过程划分为若干工序，在各个工序内及若干中间生产环节进行质量检查，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，以保证生产成品和工程结构符合设计质量要求；
  - 3 合格控制：按规定的质量验收标准，对材料、构件和工程进行合格检验。当材料、构件和工程按合格和不合格分类时，宜采用计数控制；材料、构件和工程施工的质量可按某些质量特征指标检定时，宜采用计量控制。
- C.0.7** 材料宜根据统计资料，按不同质量水平划分等级。在结构设计规范与施工规范中，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要求。材料和构件的合格质量水平，应根据规范规定的可靠性水平确定。
- C.0.8** 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，应针对风险制定专门的质量验收标准。
- C.0.9** 一批材料或构件经抽样检验判为不合格时，应根据有关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。

**C.0.10** 铁路工程施工质量应达到设计要求的结构安全和使用功能,施工单位作为工程施工质量的控制主体,应建立健全质量保证体系,对工程施工质量进行全过程控制,建设单位、监理单位和勘察设计单位、咨询单位等各方应按有关规定分工负责。

**C.0.11** 铁路工程结构应在设计预定的条件下使用。实际使用条件与设计预定的使用条件不同时,应进行专门的可靠性评定,必要时应采取适当的保证措施。

**C.0.12** 铁路工程结构使用中应规定适当的检查和维修制度,以保证结构在设计使用年限内具有要求的可靠性水平。检查形式可包括经常检查、定期检查、临时检查、专项检查、检定试验等。结构应在维修周期期间不发生显著的退化,结构设计应设置适用于结构检查和维修的设施。

**C.0.13** 铁路工程结构宜逐步建立工程数据统计和处理分析平台,有条件时可基于BIM技术进行关联和共享,收集与可靠性密切相关的数据信息,并及时评估分析,修正相关设计参数和结构可靠性水平。

## 附录 D 既有铁路工程结构的可靠性评定

### D.1 一般规定

**D.1.1** 既有铁路工程结构的可靠性评定应在保证结构性能的前提下,尽量减少对既有结构的处置工作量。

**D.1.2** 既有铁路工程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。

**D.1.3** 既有铁路工程结构的可靠性评定,可按照本标准给出的概率极限状态设计方法进行。没有按极限状态法设计的结构可直接通过可靠指标进行评定。既有结构设计时采用的其他原则,宜作为指导性的参考资料。

**D.1.4** 既有铁路工程结构可靠性评定采用的基本变量应按下列要求取值:

1 结构几何尺寸:若原设计文件有效,且未发生尺寸改变或出现尺寸偏差的迹象,则分析时应采用原设计确定的名义尺寸;但这些尺寸须经足够范围的检测加以验证;

2 荷载作用:应引入与实际情况相应的荷载作用;

3 材料性能:应按结构实际情况考虑。若原设计文件有效,且不怀疑材料有严重退化或原设计、施工有偏差,则取用原设计的特征值。必要时应进行破损或非破损检测,并采用统计方法确定;

4 计算模型:除非对结构性能另有说明,模型不定性应按原设计考虑。在某些情况下,模型参数、系数和设计假定可根据对既有结构的实测结果来建立。

**D.1.5** 既有铁路工程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、检测获得与结构上的作用或作用效应及结构实

际性能或状况的相关信息,并作出以下方面的结论或推论:

- 1) 试验荷载下被试构件的承载力;
  - 2) 其他同类构件的承载力;
  - 3) 其他荷载条件下的承载力;
  - 4) 结构体系的性能。
- 3 实际结构的可靠性应按下列方法进行估计:
- 1) 修正各变量的概率分布和设计参数,直接比较作用效应与限值(如裂缝宽度、位移);
  - 2) 估算可靠指标或失效概率,与预期值比较。
- 4 提出评定报告。

## D.2 安全性评定

D.2.1 既有铁路工程结构的安全性评定,应包括结构体系和构件布置、连接和构造、承载力三个评定项目。

D.2.2 既有铁路工程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。

D.2.3 既有铁路工程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。

D.2.4 结构体系和构件布置、连接和构造的评定结果满足本标准 D.2.2 和 D.2.3 条要求时,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。

D.2.5 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规定。

1 结构未出现明显影响结构正常使用的变形、沉降、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。

**D. 2. 6** 采用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规定。

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。评定时模型采用的指标或参数可按下列实际情况进行调整：

- 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或铁路现行标准的相关规定确定。评定时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，按现行铁路工程结构相关规定的方法确定；
- 2) 部分可变作用可根据评估使用年限情况采用荷载调整系数；
- 3) 在计算作用效应时，应考虑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。

**D. 2. 7** 构件的实际承载力及其变异系数确定时，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,符合本标准 D. 2. 6 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。

**D. 2. 8** 具备相应条件的结构或构件,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构件,可评定其承载力符合规定。

1 检验荷载的形式应与结构承受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规定。

**D. 2. 9** 结构或构件的承载力评定不符合要求时,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。

**D. 2. 10** 铁路桥涵的安全性评定可包括桥梁荷载评定,下部结构、上部结构各构件之间连接和结构构造的承载力评定等。

**D. 2. 11** 铁路隧道的安全性评定可包括衬砌、洞门、隧道支挡结构荷载评定,隧道围岩及衬砌结构、隧底处理和加固防护措施,衬砌、洞门、隧道支挡结构及各构件之间连接和结构构造的承载力评定等。

**D. 2. 12** 铁路路基的安全性评定可包括路基结构上的荷载评定,路基及支挡结构、地基处理和加固防护措施的承载力评定等。

**D. 2. 13** 铁路轨道的安全性评定可包括钢轨、轨枕和道床上的荷载评定,轨道主体结构(轨枕、道床、底座板、轨道板等)承载力评定,脱轨系数和轮重减载率评定,轨道主体结构各构件之间的连接和结构构造的承载力评定等。

### **D. 3 适用性评定**

**D. 3. 1** 铁路工程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。

**D.3.2** 已经存在超过正常使用极限状态限值的结构或构件,应提出处理意见并及时实施。

**D.3.3** 未达到正常使用极限状态限值的结构或构件,宜评估使用年限内结构的适用性,并遵守下列原则:

1 评定时可采用现行结构设计标准提供的计算模型,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 适用性评定为不满足要求的结构或构件,应提出相应的处理措施。

**D.3.4** 铁路桥涵的适用性评定可包括桥梁刚度评定,下部结构及上部结构变形评定,裂缝开展宽度评定等。

**D.3.5** 铁路隧道的适用性评定可包括衬砌、洞门结构及隧道底部变形评定,裂缝开展宽度评定等。

**D.3.6** 铁路路基的适用性评定可包括地基变形评定,路基本体变形评定,高速铁路上支挡结构变形评定等。

**D.3.7** 铁路轨道的适用性评定可包括轨道结构静态和动态几何形位变形评定,无砟轨道混凝土结构裂缝开展宽度评定,列车运行时车体振动加速度评定等。

#### **D.4 耐久性评定**

**D.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关系为目的。

**D.4.2** 结构在环境作用下,正常使用极限状态的限值或标志应根据下列情况确定:

- 1 结构或构件出现尚未明显影响承载力的表面损伤；
- 2 结构或构件材料的性能劣化,使其产生脆性破坏的可能性增大。

**D. 4. 3** 既有结构的耐久年限推定,应将环境作用效应和材料性能相同的结构或构件作为一个批次。结构体系中各附属结构构件要考虑与主体结构寿命周期的配套,应提出适宜的维护处理及更换建议。

**D. 4. 4** 评定批结构或构件的耐久年限,可根据结构已经使用的时间、材料相关性能变化的状况、环境作用情况和材料性能劣化的规律推定。

**D. 4. 5** 结构耐久年限小于评估使用年限时,应提出适宜的维护处理建议。

**D. 4. 6** 铁路桥涵的耐久性评定可包括下部结构以及上部结构的完整性评定,环境作用下结构材料性能劣化程度的评定等。耐久性状况包括混凝土碳化、混凝土中氯离子含量及侵入度、混凝土中硫酸盐浓度及侵入度、钢筋锈蚀程度、预应力锚头锈蚀程度、钢构件锈蚀程度等状况。

**D. 4. 7** 铁路隧道的耐久性评定可包括衬砌、洞门、隧道支挡结构的完整性评定,环境作用下围岩变性、结构材料性能劣化程度的评定等。耐久性状况包括混凝土中氯离子含量及侵入度、混凝土中硫酸盐浓度及侵入度、钢筋锈蚀程度及围岩岩性改变等状况。

**D. 4. 8** 铁路路基的耐久性评定可包括路基、支挡结构和加固防护结构的完整性评定,基床结构和边坡等的长期稳定性评定,环境作用下结构材料性能劣化程度的评定等。耐久性状况包括混凝土中氯离子含量及侵入度、混凝土中硫酸盐浓度及侵入度、钢筋锈蚀程度、预应力锚索腐蚀等状况。

**D. 4. 9** 铁路轨道的耐久性评定可包括无砟轨道轨道板/道床板、底座板及有砟轨道混凝土轨枕、道床等结构的完整性评定,环境作用下结构材料性能劣化程度的评定,混凝土表面磨损程度评定等。

耐久性状况包括混凝土碳化、混凝土中氯离子含量及侵入度、其他化学介质侵蚀、混凝土冻融破坏程度和碱—集料反应、钢筋锈蚀程度等状况。

## **D.5 抗灾害能力评定**

**D.5.1** 既有结构的抗灾害能力宜从结构体系和构件布置、具体结构在结构体系中的地位作用、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。

**D.5.2** 地震、台风、雨雪和水灾等自然灾害的作用可以确定时，宜通过结构安全性校核评定其抗灾害能力。

**D.5.3** 发生在结构局部的撞击、火灾等偶然作用，宜通过评价减小其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的措施等，评定其抗灾害能力。

**D.5.4** 铁路工程结构不可抗御的灾害，应评价其预警措施和疏散措施等。

**D.5.5** 铁路桥涵的抗灾害能力评定可包括抗风性能评定、抗震性能评定、抗撞击能力评定、抗洪能力评定、抗泥石流能力评定、抗火灾能力评定、抗雷击能力评定、抗危岩落石能力评定等。

**D.5.6** 铁路隧道的抗灾害能力评定可包括衬砌、洞门、隧道支挡结构的抗震性能评定，抗火灾能力评定，洞门、隧道支挡结构抗危岩落石能力评定等。

**D.5.7** 铁路路基的抗灾害能力评定可包括路基及支挡结构的抗震性能评定、抗洪能力评定、抗泥石流能力评定、抗滑坡能力评定、抗雪害能力评定和抗风沙能力评定、抗危岩落石能力评定等。

**D.5.8** 铁路轨道的抗灾害能力评定可包括有砟轨道、无砟轨道等结构的抗撞击能力评定、抗震性能评定和抗雪害能力评定等，并应对轨道监测预警措施做出评价。

## 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:

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

《铁路工程抗震设计规范》GB 50111

住房和城乡建设部信息公开  
浏览专用