

UDC

中华人民共和国国家标准

P

GB 50199—94

---

# 水利水电工程结构可靠度 设计统计—标准

Unified design Standard for reliability  
of hydraulic engineering structures

WWW.SINOAEC.COM

1994—03—11 发布

1994—11—01 实施

---

国家技术监督局  
中华人民共和国建设部

联合发布

中华人民共和国国家标准

水利水电工程结构可靠度  
设计统一标准

**Unified design standard for reliability of  
hydraulic engineering structures**

**GB 50199-94**

主编部门：中华人民共和国原能源部  
中华人民共和国水利部

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：1994年11月1日

中国建筑资讯网

WWW.SINOAEC.COM

# 关于发布国家标准《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》的通知

建标〔1994〕140号

根据国家计委计综〔1986〕450号文的要求，由原能源部、水利部会同有关部门共同制订的《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》已经有关部门会审，现批准《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》**GB 50199—94**为强制性国家标准，自1994年11月1日起施行。

本标准由电力部负责管理，具体解释等工作由电力部水利水电规划设计总院负责，出版发行由建设部标准定额研究所负责组织。

中华人民共和国建设部  
1994年3月11日

中国建筑资讯网

# 目 次

1	总 则	(1)
2	基本符号	(3)
2.1	结构可靠度	(3)
2.2	作用和作用效应	(4)
2.3	材料性能和几何参数	(4)
2.4	分项系数极限状态设计式	(5)
2.5	数学符号	(6)
3	极限状态设计原则	(7)
3.1	一般规定	(7)
3.2	基本变量	(8)
3.3	极限状态方程	(9)
3.4	结构的可靠指标	(9)
4	结构上的作用	(11)
4.1	作用的分类	(11)
4.2	作用的随机特性	(11)
4.3	作用的代表值	(12)
4.4	作用效应的组合	(12)
5	材料、地基、围岩性能和几何参数	(14)
5.1	材料、地基、围岩性能的随机特性	(14)
5.2	材料、地基、围岩性能的标准值	(14)
5.3	几何参数的随机特性和标准值	(15)
6	结构分析	(16)
7	分项系数极限状态设计方法	(17)
8	质量控制	(21)

附录 A	水工建筑物级别 .....	(22)
附录 B	随机变量的统计参数和概率分布 .....	(24)
附录 C	可靠指标的计算方法和目标可靠指标 .....	(30)
附录 D	作用的统计参数和概率分布 .....	(35)
附录 E	结构抗力的统计参数和概率分布 .....	(38)
附录 F	确定长期组合系数 $\rho$ 的方法 .....	(41)
附录 G	结构系数的计算方法 .....	(42)
附录 H	本标准用词说明 .....	(44)
附加说明	.....	(45)

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网

# 1 总 则

**1.0.1** 为了统一水利水电工程结构可靠度设计的基本原则和设计标准，使水工建筑物的结构设计符合安全适用、经济合理、技术先进的要求，制定本标准。

**1.0.2** 本标准是制定各类水工结构设计规范所应共同遵守的准则。各类水工结构设计规范均应按本标准制定相应的规定。

水利水电工程的勘测、试验、施工、验收及运行等规范中凡与结构可靠度有关的规定，应与本标准协调一致。

**1.0.3** 本标准适用于各种材料组成的各类水工建筑物的结构及结构构件和地基在运行、施工（包括制作、运输、安装）和检修期的结构设计。

**1.0.4** 本标准采用概率极限状态设计原则，以分项系数极限状态设计为实用设计方法。

**1.0.5** 1级壅水建筑物结构的设计基准期应采用100年，其它永久性建筑物结构应采用50年。临时建筑物结构的设计基准期应根据预定的使用年限及可能滞后的时间确定。

特大工程壅水建筑物结构的设计基准期应经专门研究确定。

**1.0.6** 水工结构在设计基准期内应满足下列各项功能要求：

**1.0.6.1** 在正常施工和正常使用时，能承受可能出现的各种作用。

**1.0.6.2** 在正常使用时，具有设计规定的工作性能。

**1.0.6.3** 在正常维护下，具有设计规定的耐久性。

**1.0.6.4** 在出现预定的偶然作用时，主体结构仍能保持必需的稳定性。

**1.0.7** 水工建筑物的结构安全级别，应根据水工建筑物的重要

性及其破坏可能产生的后果（危及人的生命、造成经济损失及产生社会影响等）的严重性，对应水工建筑物级别，按表 1.0.7 划分为三级。水工建筑物级别应按本标准附录 A 的规定划分。

水工建筑物结构安全级别

表 1.0.7

水工建筑物的结构安全级别	水工建筑物级别
I	1
II	2、3
III	4、5

对有特殊安全要求的水工建筑物，其结构安全级别应经专门研究确定。

**1.0.8** 结构及结构构件的结构安全级别，可根据其在水工建筑物中的部位、本身破坏对水工建筑物安全影响的大小，采用与水工建筑物的结构安全级别相同或降低一级。地基的结构安全级别应与水工建筑物的结构安全级别相同。

**1.0.9** 为了保证各类水工结构的可靠度水平，在编制各类水工结构设计规范时，应对计算分析、细部构造设计、材料性能、施工质量、运行条件及维护等提出相应的规定。

## 2 基本符号

### 2.1 结构可靠度

编号	符号	涵 义
2.1.1	$T$	结构的设计基准期
2.1.2	$R$	结构的抗力
2.1.3	$S$	结构的作用效应
2.1.4	$Z$	结构的功能函数
2.1.5	$\mu_R$	抗力的平均值
2.1.6	$\sigma_R$	抗力的标准差
2.1.7	$\delta_R$	抗力的变异系数
2.1.8	$\mu_S$	作用效应的平均值
2.1.9	$\sigma_S$	作用效应的标准差
2.1.10	$\delta_S$	作用效应的变异系数
2.1.11	$P_S$	结构的可靠概率
2.1.12	$P_f$	结构的失效概率
2.1.13	$\beta$	结构的可靠指标
2.1.14	$\beta_T$	结构的目标可靠指标
2.1.15	$\omega_i$	第 <i>i</i> 种结构的权系数
2.1.16	$X_i$	第 <i>i</i> 个随机变量(包括基本变量和附加变量)
2.1.17	$\mu_{X_i}$	随机变量 $X_i$ 的平均值
2.1.18	$\sigma_{X_i}$	随机变量 $X_i$ 的标准差
2.1.19	$x_i^*$	随机变量 $X_i$ 的设计验算点
2.1.20	$\mu'_{X_i}$	随机变量 $X_i$ 的当量正态分布平均值
2.1.21	$\sigma'_{X_i}$	随机变量 $X_i$ 的当量正态分布标准差
2.1.22	$\alpha_i$	随机变量 $X_i$ 的敏度系数



## 2.2 作用和作用效应

编号	符号	涵 义
2.2.1	$F$	作用
2.2.2	$G$	永久作用
2.2.3	$Q$	可变作用
2.2.4	$A$	偶然作用
2.2.5	$F_k$	作用的标准值
2.2.6	$F_d$	作用的设计值
2.2.7	$\mu_t$	作用的平均值
2.2.8	$\mu_G$	永久作用的平均值
2.2.9	$\mu_Q$	可变作用的平均值
2.2.10	$\sigma_t$	作用的标准差
2.2.11	$\delta_t$	作用的变异系数

## 2.3 材料性能和几何参数

编号	符号	涵 义
2.3.1	$f_k$	材料性能的标准值
2.3.2	$f_d$	材料性能的设计值
2.3.3	$f_c$	结构中材料的性能值
2.3.4	$f_s$	试件中材料的性能值
2.3.5	$\mu_m$	材料性能的平均值
2.3.6	$\sigma_m$	材料性能的标准差
2.3.7	$\delta_m$	材料性能的变异系数
2.3.8	$\alpha$	几何参数
2.3.9	$\alpha_k$	几何参数的标准值
2.3.10	$\mu_a$	几何参数的平均值
2.3.11	$\delta_a$	几何参数的变异系数
2.3.12	$\omega_o$	反映结构材料性能与试件性能差别的一个影响系数

## 2.4 分项系数极限状态设计式

编号	符号	涵 义
2.4.1	$\alpha$	结构的重要性系数
2.4.2	$\psi$	设计状况系数
2.4.3	$A_k$	偶然作用的代表值
2.4.4	$\gamma$	作用的分项系数
2.4.5	$m$	材料性能的分项系数
2.4.6	$\alpha$	永久作用的分项系数
2.4.7	$\alpha$	可变作用的分项系数
2.4.8	$\alpha$	结构系数
2.4.9	$\alpha_1$	承载能力极限状态基本组合的结构系数
2.4.10	$\alpha_2$	承载能力极限状态偶然组合的结构系数
2.4.11	$\alpha_3$	正常使用极限状态短期组合的结构系数
2.4.12	$\alpha_4$	正常使用极限状态长期组合的结构系数
2.4.13	$G_k$	永久作用的标准值
2.4.14	$Q_k$	可变作用的标准值
2.4.15	$\rho$	长期组合系数
2.4.16	$c$	结构的极限值

## 2.5 数 学 符 号

编号	符号	涵 义
2.5.1	$\Phi(\cdot)$	标准正态分布函数
2.5.2	$\varphi(\cdot)$	标准正态分布的概率密度函数
2.5.3	$\Phi^{-1}(\cdot)$	标准正态分布的反函数
2.5.4	$F(x)$	随机变量 $X$ 的概率分布函数
2.5.5	$F^{-1}(x)$	随机变量 $X$ 的概率分布函数的反函数
2.5.6	$f(x)$	随机变量 $X$ 的概率密度函数
2.5.7	$E(x)$	随机变量 $X$ 的数学期望
2.5.8	$D(x)$	随机变量 $X$ 的方差
2.5.9	$\exp(\cdot)$	指数函数
2.5.10	$S(\cdot)$	作用效应函数
2.5.11	$R(\cdot)$	结构抗力函数
2.5.12	$g(\cdot)$	结构功能函数

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网

## 3 极限状态设计原则

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 水工结构应按承载能力极限状态及正常使用极限状态设计。

**3.1.2** 水工结构设计应对结构的各种极限状态规定明确的标志及限值。

**3.1.3** 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:

**3.1.3.1** 整个结构或结构的一部分失去刚体平衡。

**3.1.3.2** 结构构件因超过材料强度而破坏(包括疲劳破坏),或因过度的塑性变形而不适于继续承载。

**3.1.3.3** 结构或结构构件丧失弹性稳定。

**3.1.3.4** 整个结构或结构的一部分转变为机动体系。

**3.1.3.5** 土、石结构或地基、围岩产生渗透失稳等。

**3.1.4** 结构或结构构件达到影响正常使用或耐久性的限值,且结构出现下列状态之一时,应认为超过了正常使用极限状态:

**3.1.4.1** 影响结构正常使用或外观的变形。

**3.1.4.2** 对运行人员或设备、仪表等有不良影响的振动。

**3.1.4.3** 对结构外形、耐久性以及防渗结构抗渗能力有不良影响的局部损坏。

**3.1.4.4** 影响正常使用的其它特定状态。

**3.1.5** 结构按正常使用极限状态设计的功能限值,应由各类水工结构设计规范根据各种功能要求提出。

**3.1.6** 水工结构的破坏可分为下列两类,其中第二类破坏的结构的可信度应高于第一类。

**3.1.6.1** 第一类破坏：非突发性的破坏，破坏前能见到明显征兆，破坏过程缓慢。

**3.1.6.2** 第二类破坏：突发性的破坏，破坏前无明显征兆，或结构一旦发生事故难于补救或修复。

**3.1.7** 结构设计时，应根据结构在施工、安装、运行、检修不同时期可能出现的不同作用、结构体系和环境条件，按以下三种设计状况设计：

(1) 持久状况；

(2) 短暂状况；

(3) 偶然状况。

**3.1.8** 对三种设计状况均应按承载能力极限状态进行设计。对持久状况，尚应按正常使用极限状态设计；对短暂状况，可根据需要按正常使用极限状态设计；对偶然状况，可不按正常使用极限状态设计。

**3.1.9** 对于偶然状况，应按下列原则进行设计：

**3.1.9.1** 对主要水工建筑物的主要承载结构，应按作用效应的偶然组合进行设计，或采取防护措施，使其不致丧失承载能力。

**3.1.9.2** 对次要水工建筑物及主要水工建筑物的非主要承载结构，允许产生局部破坏，但不得影响主要水工建筑物的主要承载结构的安全。

## 3.2 基本变量

**3.2.1** 在结构可靠度分析时，应将作用和材料、地基、围岩的性能及结构的几何参数等作为基本变量；应将计算模式不定性等作为附加变量。

**3.2.2** 基本变量及附加变量应作为随机变量，其统计参数和概率分布模型可按本标准附录B确定。

**3.2.3** 在结构可靠度分析时，也可将若干个基本变量和附加变量组合为一个综合变量。如结构的综合作用效应和结构的综合抗力。

### 3.3 极限状态方程

3.11 结构的功能函数  $Z$ ，可采用下列表达式：

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (3.3.1)$$

式中  $g(\cdot)$  —— 结构功能函数；

$X_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) —— 基本变量和附加变量。

3.3.2 结构的极限状态应采用下列极限状态方程表达：

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad (3.3.2)$$

3.3.3 结构按极限状态设计应符合下式要求：

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0 \quad (3.3.3-1)$$

当仅有结构抗力  $R$  和作用效应  $S$  两个综合变量时，可表达为：

$$R - S \geq 0 \quad (3.3.3-2)$$

### 3.4 结构的可靠指标

3.4.1 结构的可靠度宜采用可靠指标  $\beta$  度量：

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - P_f) \quad (3.4.1-1)$$

式中  $\Phi^{-1}$  —— 标准正态分布的反函数；

$P_f$  —— 结构的失效概率。

结构的失效概率按下式计算：

$$P_f = P[g(\cdot) < 0] \quad (3.4.1-2)$$

结构的可靠概率  $P_s$  按下式计算：

$$P_s = P[g(\cdot) \geq 0] \quad (3.4.1-3)$$

3.4.2 结构的可靠指标宜根据基本变量和附加变量的平均值、标准差及概率分布模型按本标准附录 C.1 中一次二阶矩法进行计算。

当结构极限状态方程只有作用效应  $R$  和结构抗力  $S$  两个相互独立综合变量，且均为正态分布时，结构的可靠指标可按下式计算：

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_s}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_s^2}} \quad (3.4.2)$$

式中  $\mu_R$ ——抗力的平均值；  
 $\sigma_R$ ——抗力的标准差；  
 $\mu_s$ ——作用效应的平均值；  
 $\sigma_s$ ——作用效应的标准差。

**3.4.3** 对应结构的各种设计状况和极限状态，结构可靠度设计水平应达到规定的目标可靠指标。结构目标可靠指标宜根据对现行各类水工结构设计规范可靠度校准结果，结合对正常设计与施工的结构可靠度分析和运行经验，经安全与经济的综合分析按本标准附录 C 确定。

**3.4.4** 对承载能力极限状态，其目标可靠指标应分别按结构安全级别、设计状况、破坏类型给出。对同一结构安全级别的结构，短暂设计状况和偶然设计状况的目标可靠指标应低于持久设计状况的目标可靠指标。

**3.4.5** 对正常使用极限状态，结构的目标可靠指标可根据不同结构的特点和工程经验确定。

## 4 结构上的作用

### 4.1 作用的分类

**4.1.1** 结构上的各种作用，当在时间上或空间上基本互相独立，每一种作用可作为单独的作用；当某些作用相关密切，且经常以它们的不利值同时出现，可将它们按一种随机作用考虑。

**4.1.2** 作用按随时间的变异可按下列分类：

- (1) 永久作用；
- (2) 可变作用；
- (3) 偶然作用。

水工结构若干作用随时间变异的分类可按本标准附录 D 进行。

**4.1.3** 作用按空间位置的变异可按下列分类：

- (1) 固定作用；
- (2) 可动作用。

**4.1.4** 作用按对结构引起的反应可按下列分类：

- (1) 静态作用；
- (2) 动态作用。

### 4.2 作用的随机特性

**4.2.1** 结构上的永久作用宜作为随机变量，当其变异性不大时，可作为常量。

**4.2.2** 结构上的可变作用是随时间变化的随机过程，可采用可变作用在设计基准期或年（时段）内的最大（小）值作为随机变量来处理。可变作用的概率分布模型可按本标准附录 D 确定。

**4.2.3** 在结构可靠度分析中，作用的统计参数和概率分布模型



可根据实际观测或试验数据按本标准附录 B 统计方法确定。统计数据应有代表性，当统计资料不充分时，可结合工程经验综合分析判断确定。

**4.2.4** 当结构上有些作用是根据多个随机变量用公式计算确定时，其统计参数可采用本标准附录 B 的方法确定或合理规定。

### 4.3 作用的代表值

**4.3.1** 采用分项系数极限状态设计方法时，永久作用和可变作用的代表值应采用作用的标准值，偶然作用的代表值按有关规范确定。

**4.3.2** 永久作用的标准值，可采用概率分布的较不利的某个分位值；也可以根据传统方法或某种显著特征确定。

**4.3.3** 可变作用的标准值可按年（或时段）内最大（小）值概率分布较不利的某个分位值确定。

对那些有传统的取值或有显著特征的，以及难以依靠统计资料按概率分布的分位值确定其标准值的可变作用，可采用定义形式规定其标准值。

有明确额定限值的可变作用，应规定该额定限值为标准值。

### 4.4 作用效应的组合

**4.4.1** 水工结构设计应根据在不同设计状况下，对可能同时出现的作用，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行作用效应的组合，并采用各自的不利组合进行设计；对相互排斥的作用，不考虑其效应组合。

**4.4.2** 对承载能力极限状态，应按作用效应的基本组合和偶然组合设计。偶然组合中只考虑一个偶然作用。

**4.4.3** 在作用效应基本组合中，对概率极限状态设计，一个主要可变作用可采用设计基准期的概率分布模型及其参数，其它可变作用应采用年（或时段）的概率分布模型及其参数。

**4.4.4** 对正常使用极限状态,应按相应于持久设计状况的长期组合和短期组合设计,根据需要也可考虑相应于短暂状况的短期组合。

中国建筑资讯网

WWW.SINOAEC.COM

## 5 材料、地基、围岩性能和几何参数

### 5.1 材料、地基、围岩性能的随机特性

**5.1.1** 材料和地基、围岩的物理力学特性和其它性能，应按有关标准经试验确定。

**5.1.2** 材料、地基、围岩的各种试件性能宜采用随机变量概率分布模型描述。统计参数和概率分布模型宜采用本标准附录 B 的方法确定。

当确定概率分布模型所需的统计资料不充分时，人工材料性能可采用正态分布；岩、土材料，地基和围岩性能可采用对数正态分布或其它分布。

**5.1.3** 岩、土材料和地基、围岩试件性能的统计参数与概率分布模型，应按每个工程现场取样或现场试验数据确定。当数据较少时，可按照岩、土分类并结合其它工程同类试验数据进行统计分析确定。

**5.1.4** 按试件确定的材料、地基、围岩的性能，应通过换算系数或函数转换为结构中材料和现场地基、围岩的性能。结构中材料和现场地基、围岩的性能的不定性，应由试件性能的不定性和换算系数或函数的不定性两部分组成，按本标准附录 E 的方法计算。

### 5.2 材料、地基、围岩性能的标准值

**5.2.1** 采用分项系数极限状态设计方法时，材料、地基、围岩性能的标准值应根据符合规定质量的材料试样、现场取样、现场试件的试验性能的概率分布的某一分位值确定。

**5.2.2** 人工材料（不包括大体积混凝土）的强度标准值可采用

概率分布的**0.05**分位值；水工结构大体积混凝土的强度和岩基、围岩强度标准值可采用概率分布的**0.2**分位值；岩、土材料和土基强度的标准值可采用概率分布的**0.1**分位值。

**5.2.3** 材料、地基、围岩的变形模量、泊桑比以及物理性能的标准值一般可采用概率分布的**0.5**分位值。设计上有特殊要求时，经专门论证，可按概率分布较不利的分位值确定。

**5.2.4** 水工结构材料和地基、围岩，长期在有害介质或其它不良环境的影响下，其性能可能恶化时，在确定其标准值时应予折减。

### **5.3 几何参数的随机特性和标准值**

**5.3.1** 结构截面及轮廓尺寸等几何参数，可作为随机变量。几何参数的各种统计参数，应根据正常生产情况下结构几何尺寸的测试数据，用数理统计方法确定。当测试数据不充分时，可根据有关标准规定的公差，经分析判断确定。几何参数的概率分布模型可采用正态分布。

当结构几何参数的变异性对结构抗力、作用效应及其它性能影响很小时，几何参数可作为常量。

**5.3.2** 结构及结构构件的几何参数的标准值一般可采用设计文件规定的尺寸。

**5.3.3** 地基、围岩中地质软弱面的几何参数，可根据勘测资料统计、对地质条件判断和工程分析确定，其标准值可采用地质建议值。

## 6 结构分析

**6.0.1** 结构分析应包括下列内容：

**6.0.1.1** 确定结构的作用效应。

**6.0.1.2** 确定结构抗力和其它性能。

**6.0.2** 作用效应和结构抗力应由作用、结构材料性能、几何参数、计算模式等因素通过结构分析确定。

**6.0.3** 结构分析可采用多种计算模式，可靠度分析所采用的极限状态方程应以有关规范规定的计算模式为基础。

**6.0.4** 结构分析采用的计算模式和基本假定，应能体现结构在极限状态下的反应，以减少计算模式和基本假定引起的不定性。

**6.0.5** 在结构可靠度分析中，作用效应和结构抗力计算模式的不定性，可用附加变量反映，其统计参数可通过规范规定的计算模式的计算结果与较精确计算模式的计算结果，或与模型试验、原型试验、原型观测等结果相比较，经统计分析或根据工程经验综合判断确定。

在分项系数极限状态设计方法中，计算模式不定性可在结构系数中反映。

**6.0.6** 当结构承受可动作用时，应分析其可能的空间位置，选用对结构最不利的分布图形。

**6.0.7** 整个结构或结构的一部分可用模型试验、原型试验或原型观测进行分析。在采用试验成果时应考虑其不定性。

## 7 分项系数极限状态设计方法

**7.0.1** 在分项系数极限状态设计式中,应以分项系数和基本变量的代表值反映功能函数中基本变量的不定性,并与规定的目标可靠指标相联系。

**7.0.2** 分项系数应按下列原则确定:

**7.0.2.1** 同一种作用,在不同水工结构中宜采用相同分项系数。

**7.0.2.2** 同一种材料性能,在不同水工结构中宜采用相同分项系数。

**7.0.2.3** 应优选一组分项系数,使水工结构设计的计算可靠指标逼近目标可靠指标。

**7.0.3** 在分项系数极限状态设计式中,宜采用下列分项系数:

**7.0.3.1** 结构重要性系数  $\gamma_0$ ,对应结构安全级别为 I 级、II 级、III 级的结构或结构构件可分别取 1.1、1.0、0.9。

**7.0.3.2** 作用分项系数  $\gamma_f$ ,考虑作用对其标准值的不利变异,按下式计算:

$$\gamma_f = \frac{F_d}{F_k} \quad (7.0.3-1)$$

式中  $F_k$ ——作用的标准值;

$F_d$ ——作用的设计值。

**7.0.3.3** 材料性能分项系数  $\gamma_m$ ,考虑材料性能对其标准值的不利变异,按下式计算:

$$\gamma_m = \frac{f_k}{f_d} \quad (7.0.3-2)$$

式中  $f_k$ ——材料性能的标准值;

$f_d$ ——材料性能的设计值。

**7.0.3.4** 设计状况系数  $\Psi$ ，反映结构不同设计状况应有不同目标可靠指标。对应持久状况、短暂状况、偶然状况，设计状况系数  $\Psi$  应分别取不同数值。

**7.0.3.5** 结构系数  $\gamma_0$ ，反映作用效应计算模式不定性和抗力计算模式不定性，以及上述分项系数未能反映的其它不定性。

**7.0.4** 承载能力极限状态基本组合应采用下列设计表达式：

$$\gamma_0 \cdot \Psi \cdot S(\gamma_G \cdot G_k, \gamma_Q \cdot Q_k, \alpha_k) \leq \frac{1}{\gamma_{d1}} R(f_k, \alpha_k) \quad (7.0.4-1)$$

式中  $S(\cdot)$ ——作用效应函数；

$R(\cdot)$ ——结构抗力函数；

$G_k$ ——永久作用的标准值；

$\gamma_G$ ——永久作用的分项系数；

$Q_k$ ——可变作用的标准值；

$\gamma_Q$ ——可变作用的分项系数；

$\alpha_k$ ——几何参数的标准值；

$\gamma_{d1}$ ——承载能力极限状态基本组合的结构系数。

承载能力极限状态偶然组合应采用下列设计表达式：

$$\gamma_0 \cdot \Psi \cdot S(\gamma_G \cdot G_k, A_k, \gamma_Q \cdot Q_k, \alpha_k) \leq \frac{1}{\gamma_{d2}} R(f_k, \alpha_k) \quad (7.0.4-2)$$

式中  $A_k$ ——偶然作用的代表值；

$Q_k$ ——可变作用的标准值，与偶然作用同时出现的某些可变作用，其标准值也可根据观测资料和工程经验适当折减；

$\gamma_{d2}$ ——承载能力极限状态偶然组合的结构系数。

**7.0.5** 对正常使用极限状态作用效应的短期组合，作用分项系数、材料性能分项系数可采用 1.0，并可采用下列设计表达式：

$$S(G_k, Q_k, f_k, \alpha_k) \leq \frac{c}{\gamma_{d3}} \quad (7.0.5-1)$$

式中  $c$ ——结构的性能限值；

$d_3$ ——正常使用极限状态短期组合的结构系数。

对正常使用极限状态作用效应的长期组合，作用分项系数、材料性能分项系数可采用 1.0，可变作用的标准值应乘以小于 1.0 的长期组合系数  $\rho$ ，并可采用下列设计表达式：

$$0 \cdot S (G_k, \rho \cdot Q_k, f_k, \alpha_k) \leq \frac{c}{d_4} \quad (7.0.5-2)$$

式中  $d_4$ ——正常使用极限状态长期组合的结构系数。

长期组合系数  $\rho$  按本标准附录 F 的方法确定。

**7.0.6** 作用分项系数可根据作用的概率分布模型，分别按下列公式计算：

**7.0.6.1** 正态分布：

$$f = \frac{1 + K_{f1}\delta_f}{1 + K_{f2}\delta_f} \quad (7.0.6-1)$$

**7.0.6.2** 对数正态分布：

$$f = \exp \left[ (K_{f1} - K_{f2}) \sqrt{1 + \delta_f^2} \right] \quad (7.0.6-2)$$

**7.0.6.3** 极值 I 型分布：

$$f = \frac{1 - 0.45005\delta_f - 0.77970\delta_f \ln \{-\ln [\Phi (K_{f1})]\}}{1 - 0.45005\delta_f - 0.77970\delta_f \ln \{-\ln [\Phi (K_{f2})]\}} \quad (7.0.6-3)$$

$$K_{f1} = \Phi^{-1} (P_{f1}) \quad (7.0.6-4)$$

$$K_{f2} = \Phi^{-1} (P_{f2}) \quad (7.0.6-5)$$

式中  $\delta_{f1}$ ——作用的变异系数；

$P_{f1}$ 、 $P_{f2}$ ——分别为相应于作用的设计值、标准值在标准正态分布上的概率， $P_{f1}$ 宜在其设计验算点附近选用。

**7.0.7** 材料、地基、围岩性能分项系数，可根据它们的概率分布模型，分别按下列公式计算：

**7.0.7.1** 正态分布：



$$m = \frac{1 - K_{m2}\delta_m}{1 - K_{m1}\delta_m} \quad (7.0.7 - 1)$$

### 7.0.7.2 对数正态分布:

$$m = \frac{1}{\exp[(K_{m2} - K_{m1})\sqrt{\ln(1 + \delta_m^2)}]} \quad (7.0.7 - 2)$$

$$K_{m1} = |\Phi^{-1}(P_{m1})| \quad (7.0.7 - 3)$$

$$K_{m2} = |\Phi^{-1}(P_{m2})| \quad (7.0.7 - 4)$$

式中  $\delta_m$ ——材料性能的变异系数;

$P_{m1}$ 、 $P_{m2}$ ——分别为相应于材料性能的设计值、标准值在标准正态分布上的概率,  $P_{m1}$ 宜在其设计验算点附近选用。

**7.0.8** 结构系数应由各类水工结构设计规范根据目标可靠指标和上述已定的分项系数,按本标准附录 G 确定。

**7.0.9** 偶然作用的分项系数可采用 1.0。在偶然状况下,可考虑偶然作用对结构抗力的影响。

**7.0.10** 当永久作用效应对结构构件的承载能力有利时,作用分项系数应采用小于或等于 1.0。

## 8 质量控制

**8.0.1** 水利水电工程各类规范应明确提出对勘测、设计、施工、验收及运行的质量标准和要求，以保证结构在设计基准期内具有规定的可靠度。

**8.0.2** 质量控制主要环节应包括下列内容：

**8.0.2.1** 收集各类反映质量的信息和数据。

**8.0.2.2** 对收集的信息和数据进行统计、分析和判断。

**8.0.2.3** 根据质量标准作出评价及处理意见。

**8.0.3** 设计质量控制，应通过建立明确的责任制和检查校核制度予以保证：

**8.0.3.1** 设计基本资料完备、数据可靠。

**8.0.3.2** 设计采用的基本假定、计算模式合理。

**8.0.3.3** 设计文件、图纸及计算符合有关规范规定，正确无误。

**8.0.4** 结构材料、制品和施工质量的合格质量水平，应根据规定的目标可靠指标制定。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。

**8.0.5** 各类结构设计规范和设计文件应明确规定结构的运用条件和维护要求，提出正常运用的标准，并应进行监测和检查。当结构使用条件与设计预定条件不符时，应进行专门的验算和分析、论证，根据需要还应采取适当的保证措施。

## 附录 A 水工建筑物级别

**A.0.1** 水利水电工程等别划分,应根据其工程规模、效益和在国民经济中的重要性按表 A.0.1 确定。

水利水电工程等别划分

表 A.0.1

工程等别	水库总库容 ( $10^8\text{m}^3$ )	防 洪		排 涝	灌 溉	供 水	水力发电
		保护城镇及工业区	保护农田面积 ( $10^4\text{ha}$ )	排涝面积 ( $10^4\text{ha}$ )	灌溉面积 ( $10^4\text{ha}$ )	供给城镇及矿区	装机容量 (MW)
一	>10	特别重要	>33.30	>13.33	>10	特别重要	>750
二	10~ 1.0	重要	33.30~ 6.67	13.33~ 4.0	10~ 3.33	重要	750~ 250
三	1.0~ 0.1	中等	6.67~ 2.0	4.0~ 1.0	3.33~ 0.33	中等	250~ 25
四	0.1~ 0.01	一般	2.0~ 0.33	1.0~ 0.20	0.33~ 0.03	一般	25~ 0.5
五	<0.01		<0.33	<0.2	<0.03		<0.5

注: ①总库容指校核洪水水位下的静库容;

②灌溉面积及排涝面积系指设计面积;

③挡潮工程的等别参照防洪工程规定,在潮灾特别严重地区,其工程等别可适当提高;

④供水工程的重要性,应根据城市及工矿区和生活区供水规模、经济效益和社会效益分析确定。

**A.0.2** 水工建筑物的级别,应根据其所属工程等别及其在工程

中的作用和重要性按表 A. 0. 2 确定。

水工建筑物级别

表 A. 0. 2

工程等级	永久性建筑物级别		临时性建筑物级别
	主要建筑物	次要建筑物	
一	1	3	4
二	2	3	4
三	3	4	5
四	4	5	5
五	5	5	

注：①永久性建筑物指工程运行期间使用的建筑物，根据其重要性分为：

主要建筑物：指失事后将造成下游灾害或严重影响工程效益的建筑物，如堤坝、水闸、电站厂房及泵站等；

次要建筑物：指失事后不致造成下游灾害或对工程效益影响不大并易于修复的建筑物，如挡土墙、导流墙及护岸等；

②临时性建筑物指工程施工期间使用的建筑物，如导流建筑物、施工围堰等。

**A. 0. 3** 等别为二至五等的工程及临时工程，遇下述情况，经论证可提高或降低其建筑物的级别：

**A. 0. 3. 1** 工程位置特别重要，失事后将造成重大灾害者，可提高一级。

**A. 0. 3. 2** 当水工建筑物的工程地质条件特别复杂或采用实践经验较少的新型结构时，可提高一级。

**A. 0. 3. 3** 临时性水工建筑物如一旦失事将造成严重灾害或对施工有严重影响时，可提高一到二级。

**A. 0. 3. 4** 对失事后影响不大的工程，经论证其建筑物级别可适当降低。

## 附录 B 随机变量的统计参数和概率分布

### B.1 随机变量的统计参数

**B.1.1** 已知随机变量  $X$  的  $n$  个试验值和观测值  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ , 其样本均值  $\mu_x$ 、标准差  $\sigma_x$ 、变异系数  $\delta_x$  可按以下公式计算:

$$\mu_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{B.1.1-1})$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2} \quad (\text{B.1.1-2})$$

$$\delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (\text{B.1.1-3})$$

### B.2 概率分布模型的检验

**B.2.1** 卡平方 ( $\chi^2$ ) 检验宜按下列步骤进行:

**B.2.1.1** 将观测子样排序 ( $x_1 < x_2 < \dots < x_n$ ), 根据子样范围划分  $m$  个等距区间, 使子样全部落入区间范围内, 计算子样落入区间  $(\alpha_{i-1}, \alpha_i)$  内的频数  $K_i (i=1, \dots, m)$ , 以  $K_i/n$  表示子样落入该区间内的频率。

**B.2.1.2** 建立假设  $H_0$ , 假设分布函数  $F(x)$ 。

**B.2.1.3** 计算  $F(x)$  在区间  $(\alpha_{i-1}, \alpha_i)$  内的概率  $P_i$ :

$$P_i = F(\alpha_i) - F(\alpha_{i-1}) \quad (\text{B.2.1-1})$$

**B.2.1.4** 子样频率与假设分布  $F(x)$  计算概率间的总偏差统计量  $D$  为:

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{(k_i/n - P_i)^2}{P_i} \quad (\text{B.2.1-2})$$

**B.2.1.5** 根据显著性水平 (一般取 0.05), 自由度  $m-r-1$  ( $r$  为

$F(x)$  分布中用子样估计的参数个数), 查  $\chi^2$  分布表, 得检验临界值  $\chi_{0.05}^2$  若  $D < \chi_{0.05}^2$ , 则原假设成立。

**B. 2. 2** 柯尔莫哥洛夫—斯米尔洛夫 ( $K-S$ ) 检验宜按下列步骤进行:

**B. 2. 2. 1** 将观测子样排序 ( $x_1 < x_2 < \dots, x_n$ ), 计算其经验分布:

$$F_n(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ \frac{k}{n} & x_k < x \leq x_{k+1}, k = 1, 2, \dots, n-1 \\ 1 & x \geq x_n \end{cases}$$

(B. 2. 2 - 1)

**B. 2. 2. 2** 用子样经验分布  $F_n(x)$  和假设分布  $F(x)$  建立统计量:

$$D_n = \max_{1 \leq k \leq n} \{ |F_n(x_k)|, |F_n(x_{k-1}) - F(x_k)| \}$$

(B. 2. 2 - 2)

**B. 2. 2. 3** 根据显著性水平 (一般取 0.005), 查  $K-S$  检验临界值表得  $D_{n,0.05}$ , 若  $D_n < D_{n,0.05}$ , 则假设被接受。

### B. 3 概率分布函数、密度函数及其数字特征

**B. 3. 1** 常用的概率分布函数  $F(x)$ 、密度函数  $f(x)$ 、数学期望  $E(X)$ 、方差  $D(X)$  宜按下列公式计算:

**B. 3. 1. 1** 正态分布:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dx$$

(B. 3. 1 - 1)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

(B. 3. 1 - 2)

$$E(X) = \mu$$

(B. 3. 1 - 3)

$$D(X) = \sigma^2$$

(B. 3. 1 - 4)

式中  $\mu$ —— $X$  的平均值;

$\sigma$ —— $X$  的标准差。

### B. 3. 1. 2 对数正态分布:

$$F(x) = \frac{1}{\xi \sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{(\ln x - \lambda)^2}{2\xi^2}\right] dx \quad (\text{B. 3. 1-1})$$

$$f(x) = \frac{1}{x \xi \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \lambda)^2}{2\xi^2}\right] \quad (\text{B. 3. 1-6})$$

$$E(x) = \exp\left(\lambda + \frac{\xi^2}{2}\right) \quad (\text{B. 3. 1-7})$$

$$D(x) = \exp(2\lambda + \xi^2) \cdot [\exp(\xi^2) - 1] \quad (\text{B. 3. 1-8})$$

式中  $\lambda$ —— $\ln X$  的平均值;

$\xi$ —— $\ln X$  的标准差。

### B. 3. 1. 3 极值 I 型分布:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x-\mu)]\} \quad (\text{B. 3. 1-9})$$

$$f(x) = \alpha \cdot \exp[-\alpha(x-\mu)] \exp[-e^{-\alpha(x-\mu)}] \quad (\text{B. 3. 1-10})$$

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6} \sigma_x} \quad (\text{B. 3. 1-11})$$

$$\mu = \mu - \frac{0.5772 \dots}{\alpha} \quad (\text{B. 3. 1-12})$$

$$E(X) = \mu \quad (\text{B. 3. 1-13})$$

$$D(X) = \sigma^2 \quad (\text{B. 3. 1-14})$$

**B. 3. 2 简化的概率密度函数  $F(x)$ 、概率分布函数  $f(x)$ 、数学期望  $E(X)$ 、变异系数  $\delta_x$  按下列公式确定:**

#### B. 3. 2. 1 均匀分布:

$$f(x) = \frac{1}{b-a} \quad (\text{B. 3. 2-1})$$

$$F(x) = \frac{x-a}{b-a} \quad (\text{B. 3. 2-2})$$

$$E(X) = \frac{1}{2}(b+a) \quad (\text{B. 3. 2-3})$$

$$\delta_x = \frac{\sqrt{3}(b-a)}{(b+a)} \quad (\text{B. 3.2-4})$$

式中  $a$ —— $X$  的下限；

$b$ —— $X$  的上限。

**B. 3.2.2** 等腰三角形分布：

$$f(x) = \begin{cases} \frac{4(x-a)}{(b-a)^2} & a \leq x \leq c \\ \frac{-4(x-b)}{(b-a)^2} & c \leq x \leq b \end{cases} \quad (\text{B. 3.2-5})$$

$$F(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)^2}{(b-a)^2} & a \leq x \leq c \\ 1 - \frac{2(x-b)^2}{(b-a)^2} & c \leq x \leq b \end{cases} \quad (\text{B. 3.2-6})$$

$$E(x) = \frac{1}{2}(a+b) \quad (\text{B. 3.2-7})$$

$$\delta_x = \frac{1}{\sqrt{6}} \left( \frac{(b-a)}{(b+a)} \right) \quad (\text{B. 3.2-8})$$

式中  $a$ —— $X$  的下限；

$b$ —— $X$  的上限；

$c$ —— $X$  的中点。

**B. 3.2.3** 递减直角三角形分布：

$$f(x) = -\frac{2(x-b)}{(b-a)^2} \quad (\text{B. 3.2-9})$$

$$F(x) = 1 - \frac{(x-b)^2}{(b-a)^2} \quad (\text{B. 3.2-10})$$

$$E(X) = \frac{1}{3}(b+2a) \quad (\text{B. 3.2-11})$$

$$\delta_x = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \frac{(b-a)}{(b+2a)} \right) \quad (\text{B. 3.2-12})$$

式中  $a$ —— $X$  的下限；



$b$ —— $X$  的上限。

### B. 3. 2. 4 递增直角三角形分布:

$$f(x) = -\frac{2(x-a)}{(b-a)^2} \quad (\text{B. 3. 2 - 13})$$

$$F(x) = \frac{(x-a)^2}{(b-a)^2} \quad (\text{B. 3. 2 - 14})$$

$$E(X) = \frac{1}{3}(a+2b) \quad (\text{B. 3. 2 - 15})$$

$$\delta_x = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \frac{(b-a)}{(a+2b)} \right) \quad (\text{B. 3. 2 - 16})$$

式中  $a$ —— $X$  的下限;

$b$ —— $X$  的上限。

## B. 4 综合变量的分布参数

B. 4. 1 综合变量  $X$  是独立随机变量  $Y_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 的线性函数, 可按下式计算:

$$X = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot Y_i \quad (\text{B. 4. 1 - 1})$$

式中  $\alpha_0, \alpha_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) ——为常量。

综合变量  $X$  的均值和标准差可按下式计算:

$$\mu_x = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \mu_{Y_i} \quad (\text{B. 4. 1 - 2})$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot \sigma_{Y_i})^2} \quad (\text{B. 4. 1 - 3})$$

式中  $\mu_{Y_i}$ —— $Y_i$  均值;

$\sigma_{Y_i}$ —— $Y_i$  的标准差。

B. 4. 2 综合变量  $X$  是独立的随机变量  $Y_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 的幂函数, 可按下式计算:

$$X = \alpha \prod_{i=1}^n Y_i^{b_i} \quad (\text{B. 4.2 - 1})$$

式中  $\alpha$ 、 $b_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) —— 为常量。

随机变量  $Y_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 均符合对数正态分布，则综合变量  $X$  的均值和变异系数可按下式计算：

$$\mu_x = \alpha \prod_{i=1}^n (\mu_{Y_i})^{b_i} \quad (\text{B. 4.2 - 2})$$

$$\delta_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (b_i \cdot \delta_{Y_i})^2} \quad (\text{B. 4.2 - 3})$$

**B. 4.3** 综合变量  $X$  是独立随机变量  $Y_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 的任意函数，可按下式计算：

$$X = U(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) \quad (\text{B. 4.3 - 1})$$

$X$  的均值和标准差的近似式为：

$$\mu_x \approx U(\mu_{Y_1}, \mu_{Y_2}, \dots, \mu_{Y_n}) \quad (\text{B. 4.3 - 2})$$

$$\sigma_x \approx \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \left| \frac{\partial U}{\partial Y_i} \right|_{Y_i = \mu_{Y_i}} \cdot \sigma_{Y_i} \right]^2} \quad (\text{B. 4.3 - 3})$$

## 附录 C 可靠指标的计算方法和 目标可靠指标

### C.1 结构可靠指标的计算方法——一次二阶矩法

C.1.1 结构的基本变量  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 服从正态分布且相互独立, 当结构的极限状态方程为线性时, 可按下式计算:

$$\alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot X_i = 0 \quad (\text{C.1.1-1})$$

基本变量  $X_i$  的平均值和标准差分别为  $\mu_{xi}$  和  $\sigma_i$ , 则结构的可靠指标  $\beta$  可按下式计算:

$$\beta = \frac{\alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \mu_{xi}}{\left[ \sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot \sigma_{xi})^2 \right]^{1/2}} \quad (\text{C.1.1-2})$$

C.1.2 结构的基本变量  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 服从正态分布且相互独立, 当极限状态方程符合下式:

$$g(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n) = 0 \quad (\text{C.1.2-1})$$

且设计验算点就在失效边界上, 结构的可靠指标  $\beta$  可由下列方程组计算:

$$g(x_1^*, x_1^*, \dots, x_n^*) = 0 \quad (\text{C.1.2-2})$$

$$x_i^* = \mu_{xi} - \alpha_i \cdot \beta \cdot \sigma_{xi} \quad (\text{C.1.2-3})$$

$$\alpha_i = \frac{\sigma_{xi} \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_{x^*}}{\left[ \sum_{i=1}^n (\sigma_{xi} \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_{x^*})^2 \right]^{1/2}} \quad (\text{C.1.2-4})$$

式中  $x_i^*$  ——  $X$  的设计验算点;

$\alpha_i$ —— $X_i$  的敏度系数。

**C. 1. 3** 结构的基本变量  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 任意分布且相互独立时, 可按式 (C. 1. 3-1) 和 (C. 1. 3-2) 将任意分布的基本变量在验算点处当量正态化, 结构可靠指标  $\beta$  按式 (C. 1. 3-3)、(C. 1. 3-4)、(C. 1. 3-5) 计算:

$$\sigma'_{x_i} = \varphi\{\Phi^{-1}[F_{z_i}(x_i^*)]\} / f_{x_i}(X_i^*) \quad (\text{C. 1. 3-1})$$

$$\mu'_{x_i} = x_i^* - \Phi^{-1}[F_{z_i}(x_i^*)] \sigma'_{x_i} \quad (\text{C. 1. 3-2})$$

$$g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = 0 \quad (\text{C. 1. 3-3})$$

$$x_i^* = \mu'_{x_i} - \alpha_i \cdot \beta \cdot \sigma'_{x_i} \quad (\text{C. 1. 3-4})$$

$$\alpha_i = \frac{\sigma'_{x_i} \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_z^*}{\left[ \sum_{i=1}^n (\sigma'_{x_i} \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_{z^*})^2 \right]^{1/2}} \quad (\text{C. 1. 3-5})$$

式中  $\mu'_{x_i}$ ——随机变量  $X_i$  的当量正态分布平均值;

$\sigma'_{x_i}$ ——随机变量  $X_i$  的当量正态分布标准差。

**C. 1. 4** 结构可靠度指标  $\beta$  迭代计算框图如图 C。

中国建筑资讯网

WWW.SINOAECC.COM

图 C 可靠指标计算框图

## C.2 目标可靠指标的确定

**C.2.1** 用校准法确定目标可靠指标的步骤宜符合下列规定：

**C.2.1.1** 根据目标可靠指标的适用范围，按各类水工结构设计规范选出各种典型结构或结构构件作为“校准法”的计算对象。按结构安全级别分为三组。

**C.2.1.2** 在每一组结构或结构构件中，按它们在工程中用量

多少、造价大小，并结合工程经验，判断确定其加权系数同一组内的加权系数总和为 1，即：

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (\text{C. 2. 1})$$

**C. 2. 1. 3** 以现行设计规范的安全系数或允许应力为约束条件，以材料用量最少为目标，对上述典型结构或结构构件进行优化设计。

**C. 2. 1. 4** 确定上述设计优化后的结构或结构构件的作用效应和抗力的统计参数和概率模型。

**C. 2. 1. 5** 分别计算出各种典型结构或结构构件的可靠指标  $\beta_{ii}$ 。

**C. 2. 1. 6** 求出结构安全级别相同的一组结构或结构构件的加权平均可靠指标  $\beta_1$ ，即为该结构安全级别按规范校准的可靠指标。

**C. 2. 1. 7** 对已建成的若干典型水工结构或结构构件，也按结构安全级别分组。每组内的加权系数同前。重复 C. 2. 1. 4～C. 2. 1. 6 款步骤，计算出每一组实际水工结构或结构构件的加权可靠指标  $\beta_2$ 。

**C. 2. 1. 8** 根据  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ ，综合考虑安全与经济的最佳平衡，确定不同结构安全级别的目标可靠指标  $\beta_T$ 。

**C. 2. 2** 水工结构目标可靠指标可按下列规定确定：

经过对《混凝土重力坝设计规范》SDJ21—78 和《水工钢筋混凝土结构设计规范》SDJ20—78 的校准和专家判定，这两种结构持久状况承载能力极限状态的目标可靠指标见表 C。

其它各类水工结构的目标可靠指标  $\beta_T$  值，可根据各自的可靠指标校准分析结果，参考表 C 确定。

目标可靠指标  $\beta_T$ 

(持久状况结构承载能力极限状态)

表 C

结构安全级别		I 级	II 级	III 级
破坏类型	一类破坏	3.7	3.2	2.7
	二类破坏	4.2	3.7	3.2

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网

## 附录 D 作用的统计参数和概率分布

**D. 0. 1** 水工结构上若干作用随时间变异的分类可按表 D 进行。

**D. 0. 2** 可变作用在设计基准期内最大值的概率分布。对于风、雪压力以及天然河道、湖泊的静水压力等无人控制的可变作用，在设计基准期内最大值的概率分布可用极值统计方法确定，具体步骤宜符合下列要求：

**D. 0. 2. 1** 将设计基准期分为  $n$  个时段， $\tau = \frac{T}{n}$ ； $\tau$  时段的选择，宜使每时段的作用最大值相互独立。

**D. 0. 2. 2** 对时段  $\tau$  内的作用最大值  $Q_i$  进行调查统计，每个时段选一个作用最大值  $Q_i$ ，取得  $Q_i$  的数据样本。

**D. 0. 2. 3** 对  $Q_i$  的样本进行统计分析，计算统计参数估计值，作出样本的频数直方图，估计概率分布模型，并经概率分布在模型的优度拟合检验，选定时段  $\tau$  内的作用最大值概率分布函数  $F_\tau(Q_i)$ 。

**D. 0. 2. 4** 根据时段概率分布  $F_\tau(Q_i)$ ，按下式计算设计基准期内作用最大值  $Q_T$  的概率分布  $F_T(Q_T)$ ：

$$F_T(Q_T) = [F_\tau(Q_i)]^n \quad (\text{D. 0. 2} - 1)$$

**D. 0. 2. 5** 由时段概率分布  $F_\tau(Q_i)$  的统计参数  $\mu_{Q_i}$ 、 $\sigma_{Q_i}$ ，推求设计基准期内作用最大值  $Q_T$  的统计参数  $\mu_{Q_T}$ 、 $\sigma_{Q_T}$ 。

当  $F_\tau(Q_i)$  符合极值 I 型分布时， $F_T(Q_T)$  也符合极值 I 型分布，其统计参数为：

$$\mu_{Q_T} = \mu_{Q_i} + \frac{\ln(n)}{\alpha} \quad (\text{D. 0. 2} - 2)$$

$$\sigma_{Q_T} = \sigma_{Q_i} \quad (\text{D. 0. 2} - 3)$$





结构类型	作用类型																						
	建筑物、设备自重	土压力	围岩压力、地应力	预应力	静水压力	浪压力	渗透压力	浮托力	水流冲击力、脉动压力	温度作用、温度作用	泥沙压力	孔隙水压力	风荷载	雪荷载	冰压力	冻胀作用	灌浆压力	水击压力	冲击、碰撞、制动力	人群、堆放物品荷载	外力	地震作用	
渠道桥梁、渡槽	G			G	Q			Q		Q			Q	Q	Q	Q			Q	Q		Q	A
码头、船闸闸墙	G	G			Q	Q	Q	Q	Q	Q					Q	Q			Q	Q	Q	Q	A
升船机塔架	G				Q	Q			Q		G	Q			Q	Q			Q	Q		Q	A

注：G——永久作用；

Q——可变作用；

A——偶然作用。

## 附录 E 结构抗力的统计参数和概率分布

**E. 0. 1** 影响结构抗力不定性的因素应包括结构材料、岩、土、地基等的性能。几何参数和计算模式等的不定性等。

**E. 0. 2** 结构材料、岩、土和地基性能：

**E. 0. 2. 1** 结构材料、岩、土和地基性能不定性  $K_M$  应按下列公式确定：

$$K_M = \frac{1}{\omega_0} \cdot K_0 \cdot K_f \quad (\text{E. 0. 2} - 1)$$

$$K_0 = \frac{f_c}{f_s} \quad (\text{E. 0. 2} - 2)$$

$$K_f = \frac{f_s}{f_k} \quad (\text{E. 0. 2} - 3)$$

式中  $f_c$ ——结构中材料、岩、土和地基试件的性能值；

$f_s$ ——材料、岩、土和地基试件的性能值；

$\omega_0$ ——考虑材料缺陷、施工质量、尺寸效应、加荷速度、试验方法、时间效应等因素影响的系数。

结构材料、岩、土和地基性能不定性  $K_M$  的均值  $\mu_{KM}$  和变异系数  $\delta_{KM}$ ，应按下列公式确定：

$$\mu_{KM} = \frac{\mu_{K_0} \cdot \mu_m}{\omega_0 \cdot f_k} \quad (\text{E. 0. 2} - 4)$$

$$\delta_{KM} = \sqrt{\delta_{K_0}^2 + \delta_m^2} \quad (\text{E. 0. 2} - 5)$$

式中  $\mu_{K_0}$ —— $K_0$  的均值；

$\delta_{K_0}$ —— $K_0$  的变异系数。

**E. 0. 2. 2** 试件材料、岩、土和地基强度性能的标准值：

当概率分布模型为正态分布时：

$$f_k = \mu_m (1 - K_{m2} \delta_m) \quad (\text{E. 0.2} - 6)$$

式中  $K_{m2}$ ——见式 (7.0.7-4)

当概率分布模型为对数正态分布时:

$$f_k = \frac{\mu_m}{\sqrt{1 + \delta_m^2}} \exp \left[ -K_{m2} \sqrt{\ln (1 + \delta_m^2)} \right] \quad (\text{E. 0.2} - 7)$$

### E. 0.3 结构几何参数:

结构几何参数的不定性反映结构实际尺寸与其标准值的差异。几何参数的不定性用  $K_a$  表示, 应按下列公式计算:

$$K_a = \frac{\alpha}{\alpha_k} \quad (\text{E. 0.3} - 1)$$

式中  $\alpha$ 、 $\alpha_k$ ——分别为结构的几何参数实际值及其标准值。

几何参数不定性  $K_a$  的均值和变异系数为:

$$\mu K_a = \frac{\mu_a}{\alpha_k} \quad (\text{E. 0.3} - 2)$$

$$\delta K_a = \delta_a \quad (\text{E. 0.3} - 3)$$

式中  $\mu_a$ 、 $\delta_a$ ——分别为结构几何参数实际值的均值及变异系数。

当结构截面最小尺寸大于 3m 时, 其制作尺寸偏差与截面尺寸相比可忽略不计, 故其几何参数可视作常量。

### E. 0.4 结构抗力的统计参数和概率分布模型:

综合抗力不定性附加变量  $K_R$  的表示式为:

$$K_R = \frac{R}{R_k} \quad (\text{E. 0.4} - 1)$$

或 
$$K_R = K_M \cdot K_a \cdot K_P \quad (\text{E. 0.4} - 2)$$

式中  $R$ ——结构构件或结构的真实抗力;

$R_k$ ——以规范规定的材料性能和几何参数标准值及抗力计算公式求得的综合抗力值;

$K_P$ ——结构抗力计算不定性附加变量, 可按工程经验判断确定。

单一材料的结构或结构构件综合抗力不定性附加变量  $K_R$  的均值及其变异系数可表示为：

$$\mu_{KR} = \mu_{KM} \cdot \mu_{Ka} \cdot \mu_{KP} \quad (\text{E. 0. 4 - 3})$$

$$\delta_{KR} = \sqrt{\delta_{KM}^2 + \delta_{Ka}^2 + \delta_{KP}^2} \quad (\text{E. 0. 4 - 4})$$

式中  $\mu_{KR}$ —— $K_P$  的均值；

$\delta_{KR}$ —— $K_P$  的变异系数。

复合材料的结构或结构构件及非线性函数表示的综合抗力可用误差传递方法计算。

结构综合抗力  $R$  的概率分布模型可假定为对数正态。

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网

## 附录 F 确定长期组合系数 $\rho$ 的方法

选择足够长的观测期  $T_0$ ，对可变作用进行连续观测，得出可变作用  $Q$  的量值随时间的变化，如图 F 所示。

长期组合系数  $\rho$ ，按可变作用  $Q$  超过  $\rho \cdot Q_k$  的总的持续时间  $\sum_{i=1}^n t_i$  与整个观测期  $T_0$  的比值  $\sum_{i=1}^n t_i / T_0 \leq 0.5$  确定。

图 F 可变作用  $Q$  的量值随时间变化图

## 附录 G 结构系数的计算方法

### G. 0. 1 结构系数的计算条件和计算步骤:

#### G. 0. 1. 1 已知条件:

- (1) 结构的分项系数极限状态设计式和分项系数;
- (2) 作用的概率分布模型、均值、变异系数以及作用效应计算模式不定性的统计参数和作用的标准值及分项系数;
- (3) 结构材料性能的概率分布模型、均值、变异系数以及抗力的计算模式不定性的统计参数和材料性能的标准值及分项系数;
- (4) 结构目标可靠指标。

#### G. 0. 1. 2 计算步骤:

- (1) 假设结构系数  $\alpha$  的初始值  $\alpha_0$ , 利用已知的作用和材料性能的标准值、分项系数, 根据分项系数极限状态设计式计算出结构几何尺寸;
- (2) 利用求得的结构几何尺寸、作用和结构材料性能的统计参数和作用效应与抗力的计算模式不定性统计参数, 计算出抗力和作用效应的相应参数, 依据概率极限状态方程按附录 C 的方法计算  $\beta$ ;
- (3) 将算得的可靠指标与目标可靠指标比较:

$$|\beta - \beta_T| \leq \varepsilon \quad (\text{G. 0. 1})$$

如果式 (G. 0. 1) 不满足, 若  $\beta - \beta_T > 0$ , 则设  $\alpha = \alpha - \Delta \alpha$ , 重复 (1) ~ (3) 各步骤, 若  $\alpha < 0$ , 则设  $\alpha = \alpha + \Delta \alpha$ , 重复 (1) ~ (3) 各步骤。

如果式 (G. 0. 1) 满足, 则假定的  $\alpha$  即为所求。

**G.0.2** 选定规范采用的结构系数的方法和步骤:

**G.0.2.1** 对于同类结构,根据影响结构系数计算的各种因素对工程造价大小的影响程度,确定各种因素的加权系数。

**G.0.2.2** 根据目标可靠指标  $\beta_T$ ,相应的结构重要性系数  $\gamma_0$ 、材料性能分项系数  $\gamma_m$ 、作用分项系数  $\gamma_f$ 、设计状况系数  $\psi$ ,按分项系数设计式,计算各种设计情况下的结构系数  $\alpha_{di}$ 。

**G.0.2.3** 根据各种因素的加权系数对结构系数  $\alpha_{di}$ 加权平均,求得  $\alpha_d$ 。也可以从各种设计情况下算得的一系列  $\alpha_{di}$ 中,综合分析选出一个  $\alpha_d$ 。

**G.0.2.4** 利用上述得出的结构系数  $\alpha_d$ 值和相应的各种其它分项系数,进行试设计,根据试设计成果和工程设计经验分析判断,最终确定规范选用的  $\alpha_d$ 值。

WWW.SINOAEC.COM

中国建筑资讯网



## 附录 H 本标准用词说明

**H.0.1** 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) 对表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

**H.0.2** 条文中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”。

## 附加说明

### 本标准主编单位、参加单位 和主要起草人名单

**主编单位：**原能源部、水利部水利水电规划设计总院

**副主编单位：**原能源部、水利部北京勘测设计研究院

**参加单位：**原能源部、水利部西北勘测设计研究院

原能源部、水利部华东勘测设计研究院

原能源部、水利部上海勘测设计研究院

原能源部、水利部成都勘测设计研究院

**主要起草人：**董育坚 袁 玖 沈义生 张学易

黄振兴 苗琴生 韩焕文 段乐斋

潘玉华 张亦昭 蔡定一 吴熊飞

黄东军 聂广明 干 城 石 波

柏宝忠 艾永平 方光达