



## 重力式码头抗滑抗倾稳定性验算的 抗力变异系数及对分项系数的修订建议\*

麦远俭<sup>1</sup>, 叶建科<sup>2</sup>

(1. 中交第四航务工程局有限公司, 广东 广州 510231;  
2. 中交四航局港湾工程设计院有限公司, 广东 广州 510231)

**摘要:** 根据按JC法对重力式码头抗滑、抗倾稳定性进行的可靠指标 $\beta$ 校准计算统计分析结果以及典型的蒙特卡罗分析, 探讨了综合作用和综合抗力的变异系数及其概率分布类型。分析结果表明, 在重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算中, 综合作用和综合抗力接近对数正态分布或正态分布, 并可据此得出综合抗力分项系数。这一结论可用于规范修订。在此基础上, 提出了关于分项系数和结构调整系数的修订建议。

**关键词:** 重力式码头; 稳定性; 抗力变异系数; 抗力分项系数; 修订建议

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>11

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)02-0053-07

### Variation coefficient of resistance and revision suggestion on partial factor for checking calculation to anti-sliding and anti-overturn stability of gravity wharf

MAI Yuan-jian<sup>1</sup>, YE Jian-ke<sup>2</sup>

(1. CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510231, China;

2. Engineering Design Co., Ltd. of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510231, China)

**Abstract:** The variation coefficient and its probability distribution of combined action and combined resistance are discussed based on the statistical results of calibration calculating for reliability index  $\beta$  by JC method to anti-sliding and anti-overturn stability of gravity wharf as well as some typical analyses by Monte-Carlo method. The result indicates that the probability distribution of combined action and combined resistance all conform approximately to the type of lognormal or normal and then the partial factor for combined resistance can be obtained and set by them, which may serve as reference for revision of the code. On the basis of this, we submit some revision suggestions on the partial factor and the adjustment factor for structure.

**Keywords:** gravity wharf; stability; variation coefficient of resistance; partial factor for resistance; revision suggestion

JTJ 290—1998《重力式码头设计与施工规范》(简称“JTJ 290—1998”)和现行的JTS 167-2—2009《重力式码头设计与施工规范》(简称“JTS 167-2—2009”)都基于当时执行的GB 50158—1992《港口工程结构可靠度设计统一标

准》(简称“GB 50158—1992”)的规定, 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”确定重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算的表达式, 而且根据“GB 50158—1992”关于结构极限状态设计表达式的规定, 结构计算只

收稿日期: 2012-10-11

\*基金项目: 交通运输部科技项目(20113288231510)

作者简介: 麦远俭(1940—), 男, 教授级高级工程师, 从事港口航道工程咨询、设计、施工、管理工作。

按多变量多项系数的形式表达。由于当时只进行了不分解综合作用和综合抗力的JC法（一次二阶矩法）可靠度校准计算，同时按照同一变量采用相同分项系数的原则，在“JTJ 290—1998”和“JTS 167-2—2009”中，设计表达式的抗力项内对个别参与抗力的作用分量（例如土压力的竖向分量）仍采用同一作用分项系数，对由此而加大的部分抗力，则通过适当加大结构系数予以调整。这是不尽理想的表达。

新近发布施行的GB 50158—2010《港口工程结构可靠性设计统一标准》（简称“GB 50158—2010”）对极限状态设计表达式的规定有了修订：岩土性能或静力平衡确定时，对结构抗力设计值的计算采用单一抗力分项系数。重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算中抗力的计算符合这一修订规定。因此，有必要探讨其抗力变异性状以及确定相应的抗力分项系数的可行性。基于过去规范修订时所作专题研究的成果，确定适合的综合抗力分项系数是有可能的。

## 1 可靠指标、安全系数与变异系数

可靠指标的求取方法因作用与抗力的概率分布情况而异。

当作用与抗力相互独立且服从正态分布或对数正态分布时，可靠指标 $\beta$ 与安全系数 $K$ 和变异系数 $\delta$ 之间在理论上存在可用公式表达的函数关系。

正态分布时：

$$\beta = \frac{CK - 1}{\sqrt{\delta_S^2 + (CK\delta_R)^2}} \quad (1)$$

对数正态分布时：

$$\beta = \frac{\ln(CK)}{\sqrt{\delta_S^2 + \delta_R^2}} \quad (2)$$

式中： $\beta$ 为可靠指标； $K$ 为按标准值计算的安全系数； $C$ 为将 $K$ 修正为平均值的修正系数； $\delta_S$ 为作用变异系数； $\delta_R$ 为抗力变异系数。

若作用与抗力互相不独立但服从对数正态分布时，可靠指标 $\beta$ 与安全系数 $K$ 和变异系数 $\delta$ 之间的

函数关系如下式所示：

$$\beta = \frac{\ln(CK)}{\delta_T} = \frac{\ln(CK)}{\sqrt{\delta_S^2 - 2\rho\delta_S\delta_R + \delta_R^2}} \quad (3)$$

式中： $\delta_T$ 为总变异系数； $\rho$ 为作用与抗力的相关系数，当 $\rho=0$ 时，式（3）与式（2）相同。

当作用与抗力都不服从上述分布时，采用当量正态分布的方法求 $\beta$ 值，即规范用于校准计算的JC法。仅从JC法的可靠度计算结果，不可能直接分别确定综合作用和综合抗力的变异系数。但若综合作用和综合抗力服从（或相当接近）正态分布或对数正态分布时，则较易分别确定它们的变异系数。按JC法求得的可靠指标 $\beta$ 可作为准绳。

## 2 综合作用和综合抗力的概型分析

重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算中，构成综合作用和综合抗力的变量较多。但除了地面均布荷载的概型为极值I型外，其余变量均为正态分布。即便如此，作用和抗力的综合变量也难以完全服从正态分布或对数正态分布。因此，“GB 50158—1992”和“JTJ 290—1998”都以JC法作为较准确求取可靠指标 $\beta$ 的校准计算方法无疑是正确的。

在“JTS 167-2—2009”修订期间，对可靠指标 $\beta$ 与安全系数 $K$ 的关系曾做过专题研究，笔者亦曾著文论证了 $\beta$ - $K$ 的统计回归关系<sup>[1]</sup>。对16个重力式码头案例进行校准计算分类统计的 $\beta$ - $K$ 回归方程如下列公式所示：

1) 第I类统计：带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构，墙后抛石棱体，其上填砂（ $\delta_\phi \neq 0$ ）。

$$\begin{aligned} \text{抗滑稳定性 } \beta_S &= 8.303 \ln K_S + 1.036 \quad (4) \\ R^2 &= 0.978 \quad 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{抗倾稳定性 } \beta_O &= 7.060 \ln K_O + 0.729 \quad (5) \\ R^2 &= 0.962 \quad 4 \end{aligned}$$

2) 第II类统计：带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构，墙后全部回填块石（ $\delta_\phi \neq 0$ ）。

$$\text{抗滑稳定性 } \beta_S = 6.987 \ln K_S + 1.267 \quad (6)$$

$R^2=0.990\ 8$

抗倾稳定性  $\beta_o=6.453\ 5\ \ln K_o+0.784\ 8\quad(7)$

$R^2=0.954\ 1$

3)第Ⅲ类统计:钢筋混凝土沉箱结构,墙后全部回填砂( $\delta_\phi\neq 0$ )。

抗滑稳定性  $\beta_s=9.800\ 1\ \ln K_s+1.254\ 6\quad(8)$

$R^2=0.963\ 5$

抗倾稳定性  $\beta_o=7.523\ 8\ \ln K_o+0.700\ 2\quad(9)$

$R^2=0.977\ 1$

4)第Ⅳ类统计:钢筋混凝土扶壁结构,墙后全部回填砂( $\delta_\phi=0$ )。

抗滑稳定性  $\beta_s=9.250\ 3\ \ln K_s+2.250\ 4\quad(10)$

$R^2=0.971\ 6$

抗倾稳定性  $\beta_o=8.079\ 4\ \ln K_o+1.170\ 6\quad(11)$

$R^2=0.957\ 8$

以上分类统计结果表明:重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算中,按JC法求得的可靠指标 $\beta$ 与安全系数 $K$ 之间的对数函数统计回归关系相关程度很高,相关系数 $R^2$ 均高达0.95以上。这些对数函数回归方程式可统一由下式表达:

$\beta=A\ln K+B\quad(12)$

作用和抗力均服从对数正态分布时的式(3),可改写为下式:

$\beta=\frac{\ln K}{\delta_r}+\frac{\ln C}{\delta_r}\quad(13)$

比较式(12)和式(13)可得下列公式:

$A=\frac{1}{\delta_r}\quad(14)$

$B=\frac{\ln C}{\delta_r}\quad(15)$

可见,重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算的综合作用与综合抗力可近似地视为服从对数正态分布。在“JTS 167-2—2009”规范修订专题研究中,贡金鑫等<sup>[2]</sup>所作的Monte-Carlo分析表明,重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算中综合作用和综合抗力均可接近正态分布和对数正态分布,其中综合作用更为接近对数正态分布,抗滑时综合抗

力更为接近正态分布。事实上,赵国藩<sup>[3]</sup>早在1984年就指出:“抗力 $R$ 的计算模式多为 $Y=X_1X_2X_3\cdots$ 或 $Y=X_1+X_2+X_3+\cdots$ 之类的形式,实用上近似地认为不论 $X_1, X_2, X_3, \cdots$ 等为何种分布, $R$ 均可假定为对数正态分布。”

3 变异系数

3.1 综合抗力的变异系数

据文献[3]中关于随机变量变异系数的运算法则,相互独立的变量其积与和的变异系数可按下列公式计算:

积的变异系数:

$\delta_{XY}=\sqrt{\delta_X^2+\delta_Y^2}\quad(16)$

和的变异系数:

$\delta_{X+Y}=\sqrt{\left(\frac{\mu_X}{\mu_X+\mu_Y}\delta_X\right)^2+\left(\frac{\mu_Y}{\mu_X+\mu_Y}\delta_Y\right)^2}\quad(17)$

对于重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算中的综合抗力,其竖向土压力所占比重较微,其影响在变异性计算中暂忽略不计。据文献[4],综合抗力主要变量的变异系数如表1所示。

表1 综合抗力主要变量的变异系数

| 变量名称         | 变异系数           | 取值                                  |
|--------------|----------------|-------------------------------------|
| 混凝土与钢筋混凝土的质量 | $\delta_{GC}$  | 0.022                               |
| 块石的质量        | $\delta_{GR}$  | 0.027<br>(校准计算中均以 $\delta_{GR}=0$ ) |
| 砂的质量         | $\delta_{GS}$  | 0.030                               |
| 基底摩擦系数       | $\delta_f$     | 0.044                               |
| 抗倾力矩计算模式不定性  | $\delta_{KPQ}$ | 0.071                               |

这些变量的变异系数均服从正态分布。按式(16)和式(17)及以上变异系数求得的综合抗力的变异系数 $\delta_R$ 如表2所示。

表2 综合抗力的变异系数

| 码头结构类型            | 填充物 | 抗滑 $\delta_{RS}$ | 抗倾 $\delta_{RO}$ |
|-------------------|-----|------------------|------------------|
| I. 带卸荷板混凝土方块结构    |     | 0.049 2          | 0.075 1          |
| II. 带卸荷板混凝土空心块体结构 | 内填砂 | 0.049 2          | 0.075 0          |
|                   | 内填石 | 0.045 8          | 0.072 8          |
| III. 钢筋混凝土沉箱结构    | 内填砂 | 0.051 3          | 0.076 4          |
|                   | 内填石 | 0.045 3          | 0.072 5          |
| IV. 钢筋混凝土扶壁结构     | 内填砂 | 0.052 6          | 0.077 3          |

文献[2]对某方块码头进行的Monte-Carlo模拟,亦得出 $\delta_{RS}=0.043\sim 0.044$ 的结果。

3.2 总变异系数

总变异系数 $\delta_T$ 可从式(14)和各分类统计的回归方程反求,其结果如表3所示。

| 表3 总变异系数                            |                  |                  |
|-------------------------------------|------------------|------------------|
| 码头结构类型与墙后回填状况                       | 抗滑 $\delta_{TS}$ | 抗倾 $\delta_{TO}$ |
| I. 带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构,墙后为抛石棱体,其上填砂 | 0.120 4          | 0.141 6          |
| II. 带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构,墙后全部回填块石    | 0.142 9          | 0.137 2          |
| III. 钢筋混凝土沉箱结构,墙后全部回填砂              | 0.102 0          | 0.132 9          |
| IV. 钢筋混凝土扶壁结构,墙后全部回填砂               | 0.108 1          | 0.123 8          |

3.3 综合作用与综合抗力的相关性

重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算中,综合作用与综合抗力的相关性是由土压力 $E$ 和回填材料密度所产生的,水平土压力 $E_H$ 及其力矩是作用,竖直土压力 $E_V$ 及其力矩则是抗力,两者是正相关。墙体前后用同一材料回填时,其对作用和抗力的影响则比较复杂。当密度增加时,土压力一方面因密度的增加而增加,另一方面又因相应的内摩擦角 $\varphi$ 的增加而减小,最终与抗力之间的相关关系可正可负,或相互抵消到接近于零,其作用与抗力是不完全独立的综合变量。但利用前述统计回归方程作总变异系数反分析时,则事实上已

包括了作用与抗力不完全独立的影响在内。

3.4 综合作用的变异系数

综合作用的变异系数 $\delta_S$ 可从表2和表3的结果按下式反算求取。

$$\delta_S = \sqrt{\delta_T^2 - \delta_R^2} \tag{18}$$

由式(18)求得的作用变异系数并不是完全独立变量的变异系数,作用与抗力相关性的影响已隐含在内。所求得的作用的变异系数如表4所示。

| 表4 综合作用的变异系数                        |     |                  |                  |
|-------------------------------------|-----|------------------|------------------|
| 码头结构类型与墙后回填状况                       | 填充物 | 抗滑 $\delta_{SS}$ | 抗倾 $\delta_{SO}$ |
| I. 带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构,墙后为抛石棱体,其上填砂 |     | 0.110            | 0.120            |
| II. 带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构,墙后全部回填块石    | 内填砂 | 0.134            | 0.115            |
|                                     | 内填石 | 0.135            | 0.116            |
| III. 钢筋混凝土沉箱结构,墙后全部回填砂              | 内填砂 | 0.088            | 0.109            |
|                                     | 内填石 | 0.091            | 0.111            |
| IV. 钢筋混凝土扶壁结构,墙后全部回填砂               | 内填砂 | 0.094            | 0.097            |

3.5 安全系数的修正系数

由式(14)和式(15)可得修正系数 $C$ ,如下式所示:

$$C=e^{B/A} \tag{19}$$

修正系数 $C$ 可将由各变量标准值求得的标准值安全系数修正为平均值安全系数。由式(19)及式(4)~(11)的系数 $A$ 和 $B$ 即可求出修正系数 $C$ ,其结果如表5所示。

| 表5 安全系数的修正系数                        |          |          |             |
|-------------------------------------|----------|----------|-------------|
| 码头结构类型与墙后回填状况                       | 抗滑 $C_S$ | 抗倾 $C_O$ | 说明          |
| I. 带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构,墙后为抛石棱体,其上填砂 | 1.136    | 1.109    | 据式(4)和(5)   |
| II. 带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构,墙后全部回填块石    | 1.204    | 1.033    | 据式(6)和(7)   |
| III. 钢筋混凝土沉箱结构,墙后全部回填砂              | 1.138    | 1.098    | 据式(8)和(9)   |
| IV. 钢筋混凝土扶壁结构,墙后全部回填砂               | 1.286    | 1.160    | 据式(10)和(11) |

4 分项系数

4.1 分项系数的确定方法

当作用与抗力均服从正态分布时,作用分项系数和抗力分项系数可按下列公式分别确定:

$$\gamma_S = \frac{1 + \beta \alpha_S \delta_S}{1 + \theta_S \delta_S} \tag{20}$$

$$\gamma_R = \frac{1 - \theta_R \delta_R}{1 - \beta \alpha_R \delta_R} \tag{21}$$

式中: $\gamma_S$ 为作用分项系数; $\gamma_R$ 为抗力分项系数; $\theta_S$ 为作用标准值的保证率; $\theta_R$ 为抗力标准值的保证率; $\alpha_S$ 和 $\alpha_R$ 为灵敏系数,可由下列公式分别求得。

$$\alpha_S = \frac{\sigma_S}{\sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_R^2}} = \frac{CK\delta_S}{\sqrt{(CK)^2 \delta_S^2 + \delta_R^2}} \tag{22}$$

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_R^2}} = \frac{\delta_R}{\sqrt{(CK)^2 \delta_S^2 + \delta_R^2}} \tag{23}$$

当作用和抗力均服从对数正态分布时, 作用和抗力的分项系数可分别按下列公式确定:

$$\gamma_S = \exp[(\beta\alpha_S - \theta_S)\delta_S] \tag{24}$$

$$\gamma_R = \exp[(\beta\alpha_R + \theta_R)\delta_R] \tag{25}$$

$$\alpha_S = \frac{\delta_S}{\sqrt{\delta_S^2 + \delta_R^2}} \tag{26}$$

$$\alpha_R = \frac{\delta_R}{\sqrt{\delta_S^2 + \delta_R^2}} \tag{27}$$

重力式码头抗滑、抗倾稳定性可靠度计算中, 综合作用和综合抗力的概率分布类型虽然不完全服从但仍然较接近对数正态分布或正态

分布, 所以可近似地利用式(20)和(21), 以及(24)和(25)初步确定综合作用和综合抗力的分项系数。

4.2 综合作用和综合抗力的分项系数

初步确定分项系数时采用的变异系数 $\delta_S$ ,  $\delta_R$ 及修正系数C的值均为本文前述分析计算的结果; 保证率 $\theta$ 的数值参考了文献[4]的相关资料; 安全系数K采用JC法校准计算时的抗滑 $K_S=1.3$ , 抗倾 $K_O=1.6$ ; 可靠指标 $\beta$ 采用校准计算的相应数值<sup>[5]</sup>。综合作用和综合抗力的分项系数 $\gamma_S$ 和 $\gamma_R$ 的计算结果如表6所示。

表6 综合作用和综合抗力的分项系数

| 码头结构类型与墙后回填状况                        | 抗滑                              |                  | 抗倾                              |                  |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|
|                                      | 作用 $\gamma_{SS}$                | 抗力 $\gamma_{RS}$ | 作用 $\gamma_{SO}$                | 抗力 $\gamma_{RO}$ |
| I. 带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构, 墙后抛石棱体, 其上填砂 | 1.24 ( 1.28 )<br>$\beta_S=3.27$ | 1.02<br>( 1.10 ) | 1.33 ( 1.37 )<br>$\beta_O=4.0$  | 1.06<br>( 1.23 ) |
| II. 带卸荷板混凝土方块、空心块体或沉箱结构, 墙后全填块石      | 1.26 ( 1.32 )<br>$\beta_S=3.02$ | 1.01<br>( 1.07 ) | 1.28 ( 1.31 )<br>$\beta_O=3.71$ | 1.05<br>( 1.21 ) |
| III. 钢筋混凝土沉箱结构, 墙后全填砂                | 1.24 ( 1.26 )<br>$\beta_S=3.90$ | 1.04<br>( 1.15 ) | 1.32 ( 1.34 )<br>$\beta_O=4.24$ | 1.07<br>( 1.28 ) |
| IV. 钢筋混凝土扶壁结构, 墙后全填砂                 | 1.29 ( 1.32 )<br>$\beta_S=4.35$ | 1.05<br>( 1.15 ) | 1.33 ( 1.34 )<br>$\beta_O=4.81$ | 1.11<br>( 1.33 ) |
| 总体平均                                 | 1.26 ( 1.30 )<br>$\beta_S=3.6$  | 1.03<br>( 1.11 ) | 1.32 ( 1.34 )<br>$\beta_O=4.1$  | 1.07<br>( 1.26 ) |

注: 括号内为按对数正态分布时的分项系数。

由表6中综合作用与综合抗力的分项系数的乘积 $\gamma_S\gamma_R$ 可对总体安全水平做出判断: 对于抗滑稳定性, 按正态分布时总体平均的 $\gamma_S\gamma_R=1.30$ , 与校准计算设定的安全水平 $K_S=1.3$ ( $\beta_S=3.5$ )一致, 所以对于没有较大波浪作用的一般情况, 可不必为抗滑稳定性验算设定结构调整系数 $\gamma_d$ , 设定单一的综合抗力系数已足够。对于抗倾稳定性, 按对数正态分布时总体平均的 $\gamma_S\gamma_R=1.69$ , 与校准计算设定的安全水平 $K_O=1.6$ ( $\beta_O=4.0$ )基本一致, 在抗倾稳定性验算时设定的结构调整系数 $\gamma_d$ 应主要针对有较大波浪作用时的情况。

5 对设计表达式分项系数修订的建议

5.1 关于综合抗力分项系数

重力式码头抗滑、抗倾稳定性属结构静力平

衡验算, 码头结构抗力设计值计算应符合“GB 50158—2010”第7.1.2条式(7.1.2-6)的规定, 故在今后规范修订时可采用单一的综合抗力分项系数。根据前述分析, 建议整取抗滑稳定性验算的综合抗力分项系数 $\gamma_{RS}=1.05$ , 抗倾稳定性验算的综合抗力分项系数 $\gamma_{RO}=1.25$ 。此时, 抗滑的 $\gamma_{SS}\gamma_{RS}=1.32$ , 抗倾的 $\gamma_{SS}\gamma_{RS}=1.67$ 。

5.2 关于综合作用分项系数

鉴于重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算中, 综合作用涉及的变量较多且概型不一(地面荷载为极值I型), 既有持久作用也有可变作用, 作用效应相对复杂, 建议仍采用现行的“JTS 167-2—2009”由JC法校准计算得出的多变量多分项系数, 按“GB 50158—2010”第7.2.2条式

(7.2.2-1) 计算作用设计值。本文分析的综合作用分项系数仅用作校核采用建议的综合抗力分项系数后总体安全水平是否与现行规范一致。

### 5.3 关于结构调整系数

对结构调整系数 $\gamma_d$ 作相应调整。在抗滑、抗倾稳定性验算中, 建议无波浪作用或波浪力为非主导可变作用时均取 $\gamma_d=1.0$ , 有波浪作用并为主导可变作用时均取 $\gamma_d=1.1$ 。由于有较大波浪力作用时, 其变异性对 $\beta$ 值的不利影响目前尚难以量化, 因此为使 $\beta$ 值满足目标可靠指标的要求, 采用适当的 $\gamma_d$ 仍是必要的。

根据“GB 50158—2010”关于采用 $\gamma_d$ 的条文说明,  $\gamma_d$ 并不是普遍采用的系数, 只在有需要的少量特殊情况下才由各有关规范给定。因此, 在不得不采用 $\gamma_d$ 调整时, 应尽量使 $\gamma_d$ 的含义明确且数值尽可能降低是符合新标准规定的。按本文建议调整 $\gamma_d$ 之后, 为有较大波浪作用而设置的 $\gamma_d$ 的安全水平提高约10%, 与现行“JTS 167-2—2009”基本一致。

### 5.4 关于墩式码头

引入抗力分项系数 $\gamma_R$ 后, 不需再设置结构调整系数 $\gamma_d$ 。

## 6 案例对比验算及分析

《码头结构设计规范》目前正在修编, 其中重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算的表达式已按上述有关综合抗力分项系数 $\gamma_R$ 和结构调整系数 $\gamma_d$ 的建议, 在该规范的征求意见稿中作了修订。为了进一步检验对 $\gamma_R$ 和 $\gamma_d$ 进行修订后, 码头抗滑、抗倾稳定性的安全水平与现行“JTS 167-2—2009”的差异, 叶建科等<sup>[6]</sup>对18个重力式码头案例进行了对比验算, 其主要结果见表7。其中, 按“JTS 167-2—2009”计算得出的综合抗力设计值为 $R_{d1}$ , 按修订建议计算得出的综合抗力设计值为 $R_{d2}$ , 对比值为 $R_{d2}/R_{d1} \times 100\%$ 。

表7 案例对比验算结果

| 验算类型  | 对比值的平均值/% | 对比值范围/%      | 样本数 |
|-------|-----------|--------------|-----|
| 抗滑稳定性 | 95.5      | 92.6 ~ 104.8 | 256 |
| 抗倾稳定性 | 97.6      | 92.7 ~ 107.1 | 156 |

由表7可知, 在选取的验算样本范围内, 总体平均的 $R_{d2}$ 略小于 $R_{d1}$ , 表明按修订建议进行的抗滑、抗倾稳定性验算结果与“JTS 167—2009”差别轻微, 总体安全水平基本一致, 且略偏于安全。

## 7 结论

1) 重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算中, 由于综合作用和综合抗力均接近正态分布和对数正态分布, 故可近似得出相应的综合作用变异系数 $\delta_S$ 和综合抗力变异系数 $\delta_R$  (表2和表4)。

2) 根据本文得出的 $\delta_S$ 和 $\delta_R$ 可进一步求得综合作用分项系数 $\gamma_S$ 与综合抗力分项系数 $\gamma_R$ 。对于抗滑稳定性, 按正态分布时总体平均的 $\gamma_{SS}=1.26$ ,  $\gamma_{RS}=1.03$ 。对于抗倾稳定性, 按对数正态分布时总体平均的 $\gamma_{SO}=1.34$ ,  $\gamma_{RO}=1.26$  (表6)。

3) 根据“GB 50158—2010”的相关规定, 建议在新一轮规范修订中将重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算的表达式修订为: 抗力项引入单一的综合抗力分项系数 $\gamma_R$ , 同时相应调整结构调整系数 $\gamma_d$ ; 作用项仍按“JTS 167-2—2009”多变量多分项系数的形式表达。综合抗力分项系数 $\gamma_R$ 在抗滑稳定性验算时整取为1.05, 抗倾稳定性验算时整取为1.25。结构调整系数 $\gamma_d$ , 在抗滑、抗倾稳定性验算中, 无波浪作用或波浪力为非主导可变作用时均取为1.0, 有波浪作用并为主导可变作用时均取为1.1。

4) 对重力式码头抗滑、抗倾稳定性按建议修订的综合抗力分项系数 $\gamma_R$ 和结构调整系数 $\gamma_d$ 进行了案例对比验算, 案例对比验算的结果显示: 其总体安全水平仍与现行的“JTS 167-2—2009”基本一致。

### 参考文献:

- [1] 麦远俭. 重力式码头抗滑、抗倾稳定性可靠指标与安全系数的统计关系[G] //中国土木工程学会港口工程分会. 港口工程分会技术交流文集. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [2] 贡金鑫. 重力式码头按可靠指标设计方法的研究[R]. 大连: 大连理工大学土木水利学院结构工程研究所, 2007.
- [3] 赵国藩, 曹居易, 张宽权. 工程结构可靠度[M]. 北京: 水利水电出版社, 1984.
- [4] 《港口工程可靠度设计统一标准》编制组. 港口工程结构可靠度[M]. 北京: 人民交通出版社, 1992.
- [5] 吕卫清. 重力式码头设计中抗滑、抗倾稳定性的可靠度水平[G] //中国土木工程学会港口工程分会. 港口工程分会技术交流文集. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [6] 叶建科, 吴曼涓, 严晨宇, 等. 重力式码头抗滑抗倾稳定性表达式修订的案例验证[R]. 广州: 中交四航局港湾工程设计院有限公司, 2012.

(本文编辑 武亚庆)

《水运工程》优秀论文评选

### 评委点评:

现行的JTS 167-2—2009《重力式码头设计与施工规范》是采用“以概率理论为基础, 以分项系数表达的极限状态设计方法”来确定重力式码头抗滑、抗倾稳定性验算的表达式, 该表达式基于不分解综合作用和综合抗力的JC法可靠度校准计算, 同时按照同一变量采用相同分项系数的原则, 使得该表达式的抗力项内对个别参与抗力的作用分量仍采用同一作用分项系数, 对由此而加大的部分抗力, 则通过适当加大结构系数予以调整。

论文基于该表达式的不完善点, 确定了合理的技术路线, 并对可靠性指标、安全系数、变异系数、综合作用和综合抗力的型态分布、分项系数等进行了系统的分析研究, 提出了对该表达式中分项系数包括综合抗力分项系数、综合作用分项系数和结构调整系数修订的建议, 在案例对比验算与分析的基础上得出结论: 按修订建议进行的抗滑、抗倾稳定性验算结果与“JTS 167—2009”差别轻微, 总体安全水平基本一致, 且略偏于安全。

论文结构合理、论述充分, 有一定的科学价值, 为规范的修订完善工作提供了重要的理论依据。作者严谨治学的态度尤其值得广大工程技术人员学习。



2014年12月

### 评委简历:



顾倩燕, “国家百千万人才工程”人选、“有突出贡献中青年专家”, 中央企业劳动模范; 研究员, 中船集团水工设计学科带头人、中船九院水工专业首席专家; 中船九院技术中心研发部主任。

主持完成了10余项重大工程项目的设计和科研任务, 获得国家科技进步二等奖1项, 省部级科技进步奖励12项以上, 获专利授权8项(发明2、实用新型6项), 发表论文30余篇, 主编技术规范4部、参编2部。