

文章编号: 1674—8247(2018)04—0005—04

# 倾斜基底作用对挡土墙可靠指标的影响

郭海强 罗一农 李安洪

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**目前,Q/CR 9127-2015《铁路路基极限状态法设计暂行规范》已经发布,《铁路路基支挡结构极限状态设计规范》正在编制过程中。因此急需对支挡结构分项系数的合理性进行系统验证,以为规范修订编制提供依据。经过验证和研究发现,在斜底的影响下,挡土墙在一般地区与浸水地区(常水位)的抗滑分项系数不能统一。文章针对该问题,采用蒙特卡洛法对有、无斜底的挡土墙抗滑动可靠指标进行对比分析。结果表明:(1)在总安全系数法抗滑稳定性系数 $K_c$ 控制设计情况下,挡土墙采用有斜底设计较采用无斜底设计的结构抗滑动可靠指标小。(2)建议《铁路路基支挡结构极限状态设计规范》在对分项系数统一时采用无斜底所对应的分项系数。

**关键词:**挡土墙;斜底;极限状态设计;分项系数;可靠指标  
**中图分类号:**TU476 **文献标志码:**A

## The Effect of Sloping Base on Reliability Index of Retaining Wall

GUO Haiqiang LUO Yinong LI Anhong

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

5

**Abstract:** At present, Q/CR 9127-2015 Tentative Specification for Railway Subgrade Limit State Method Design has been published. The Code for Limit State Design of Retaining Structure of Railway Subgrade is being compiled. The partial coefficient of retaining structures is needed to be systemically validated and provide the bases for revision of the standards mentioned above. In the process of validation research, find that the anti-slide partial coefficients of retaining wall can't be unified between general district and soaking district (normal water level) because of the influence of sloped base. Aiming at this problem, comparative analysis on the anti-slide reliability indexes of retaining wall with sloped base and without sloped base by using monte-carlo method is done. The research conclusion shows that: (1) In the case of design on retaining wall controlled by anti-slide stability coefficient ( $K_c$ ), the anti-slide reliability index of retaining wall with sloped base is smaller than that without sloped base. The risk of design on retaining wall with sloped base is larger than that without sloped base. (2) The anti-slide partial coefficient of retaining wall without sloped base should be accepted by Code for Limit State Design of Retaining Structure of Railway Subgrade when unifying the partial coefficients.

**Key words:** retaining wall; sloped base; limit state design; partial coefficient; reliability index

基于极限状态设计的欧洲岩土工程设计规范代表了当前岩土工程界的最高水平,极大地促进了欧盟内部的技术交流,影响着世界各国的岩土工程设计理念与规范编制,促进了世界规范升级和修订的热潮<sup>[1-4]</sup>。

为适应国内外工程设计向极限状态设计发展的趋势,更好地与国际接轨,2011年以来,铁路部门大力开展铁道工程主要专业基于概率论的极限状态设计研究,实现设计标准由总安全系数法向极限状态设计法的转

收稿日期:2018-02-27

作者简介:郭海强(1987-),男,工程师。

基金项目:中国铁路总公司行业标准研究课题(BZGB15015);公司科研课题(KYY2015055(15-16))

引文格式:郭海强,罗一农,李安洪. 倾斜基底作用对挡土墙可靠指标的影响[J]. 高速铁路技术,2018,9(4):5-8.

GUO Haiqiang, LUO Yinong, LI Anhong. The Effect of Sloping Base on Reliability Index of Retaining Wall [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(4): 5-8.

轨。目前,Q/CR 9127-2015《铁路路基极限状态法设计暂行规范》<sup>[5]</sup>已经发布,《铁路路基支挡结构极限状态设计规范》正在编制,因此需要对已经纳入《铁路路基极限状态法设计暂行规范》的支挡结构极限状态设计分项系数的合理性进行验证,为正在编写的《铁路路基支挡结构极限状态设计规范》提供更为准确的依据。

1 问题的提出

国内外结构设计规范初期转轨一般都采用经验校准,经验校准的含义是承认旧规范所设计的结构是安全可靠的,新规范应继承旧规范的可靠度。

总安全系数法和极限状态设计法之间的区别是安全系数是否分项,设计参数是否被视为随机变量;两种方法之间的联系是目标可靠指标。目标可靠指标和总安全系数之间的关系如式(1)所示:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} = \frac{\frac{\mu_R}{\mu_S} - 1}{\sqrt{\left(\frac{\mu_R}{\mu_S}\right)^2 \delta_R^2 + \delta_S^2}} = \frac{K - 1}{\sqrt{K^2 \delta_R^2 + \delta_S^2}} \quad (1)$$

分项系数与目标可靠指标之间的关系如式(2)所示:

$$\begin{aligned} \gamma_G &= 1 - \Phi_G \delta_G \beta \\ \gamma_{E1} &= 1 - \Phi_{E1} \delta_{E1} \beta \\ \gamma_{E2} &= 1 + \Phi_{E2} \delta_{E2} \beta \end{aligned} \quad (2)$$

- 经验校准的具体步骤如下:
- (1)选取具有代表性的结构及构件作为校准法的计算对象;
  - (2)根据现行规范设计支挡结构;
  - (3)根据极限状态法设计支挡结构;
  - (4)对比计算结果并初步分析原因;
  - (5)理论分析误差来源;
  - (6)调整分项系数再次进行设计,直到误差控制在可接受的范围内;
  - (7)提出修正后的分项系数。

按照如上校准步骤,本文选取重力式(含衡重式)挡土墙为设计对象,共进行了 18 184组极限状态法与总安全系数法的对比计算,调整分项系数,将极限状态设计与总安全系数法设计的截面尺寸偏差控制在目标值 5% 以内<sup>[6-12]</sup>。

为使用方便,在满足校核要求的前提下,按照分项系数尽可能统一的原则,对分项系数进行了统一。其中,在对一般地区与浸水地区(常水位)的挡土墙抗滑动分项系数进行统一时,发现采用同一组抗滑动分项系数来设计,难以使一般地区和浸水地区(常水位)挡土墙设计的偏差同时控制在目标值以内(如表 1 所示)。为何在采用总安全系数法设计时,一般地区与常水位地区均按抗滑稳定性系数  $K_c \geq 1.3$  来控制设计,而在极限状态法设计时,一般地区与常水位地区的挡土墙抗滑动分项系数却难以统一,由此引发了对该问题的思考。

表 1 重力式挡土墙抗滑动稳定性分项系数与总安全系数对比<sup>[5,9]</sup>

极限状态法			总安全系数法		
$S_{d,std} = [\gamma_G W + \gamma_{E1} (E_y + E'_x \tan \alpha_0)] f' + (\gamma_G W + \gamma_{E1} E_y) \tan \alpha_0$ $S_{d,dst} = \gamma_{E2} E_x$ 应满足: $S_{d,std} > S_{d,dst}$			$K_c = \frac{(\sum N + \sum E_x \times \tan \alpha_0) \times f}{\sum E_x - \sum N \times \tan \alpha_0}$ 应满足: $K_c \geq [K_c]$		
分项系数	永久荷载 + 主可变荷载		总安全系数	永久荷载 + 主可变荷载	
	一般地区	常水位		一般地区	常水位
竖向恒载: $\gamma_G$	0.90	0.65	抗滑稳定性系数 $K_c$	$\geq 1.3$	$\geq 1.3$
土压抗力: $\gamma_{E1}$	0.70	0.70			
土压作用力: $\gamma_{E2}$	1.35	1.30			

注:表中极限状态法组合 I 的分项系数,是经过校准及铁路路基典型结构极限状态法试设计研究后所得到的分项系数<sup>[6,10]</sup>,已纳入到正在修订的《铁路路基极限状态设计规范》中,与现行 Q/CR 9127-2015《铁路路基极限状态法设计暂行规范》有所不同。

2 斜底对总安全系数的影响

通过初步分析验证研究对比结果发现,一般地区的抗滑动分项系数适合设有斜底( $X=0.2$ )的抗滑稳定性设计,而浸水地区的抗滑动分项系数适合不设有斜底( $X=0.0$ )时的抗滑稳定性设计。针对这一现象,对斜底项( $\sum N \tan \alpha_0$ )的作用做进一步分析。

令  $S_{d,std} = (\sum N + \sum E_x \times \tan \alpha_0) \times f$ ,  $S_{d,dst} =$

$\sum E_x$ ,  $\Delta = \sum N \times \tan \alpha_0$ ,则在挡土墙抗滑动控制时,总安全系数法的抗滑稳定性公式可表示为:

$$K_c = \frac{S_{d,std}}{S_{d,dst} - \Delta} \geq [K_c]$$
$$\Rightarrow S_{d,std} + [K_c] \Delta \geq [K_c] S_{d,dst} \quad (3)$$

斜底项( $\Delta$ )起抗滑作用,属于平衡作用效应。从挡土墙抗滑动稳定性公式(3)可以看出,在对不平衡作用  $S_{d,dst}$  放大  $[K_c]$  倍的同时,对起到平衡作用效应的

斜底项( $\Delta$ )也放大了 $[K_c]$ 倍。若将斜底项( $\Delta$ )移到分子上,则不会出现斜底项平衡作用被放大的情况,如式(4)所示。

$$K_c = \frac{S_{d, std} + \Delta}{S_{d, dst}} \geqslant [K_c]$$
$$\Rightarrow S_{d, std} + \Delta \geqslant [K_c] S_{d, dst} \quad (4)$$

进一步分析发现,对于一个有斜底的挡土墙结构,采用式(3)、式(4)计算所得的抗滑动稳定系数不等,因此其所代表的结构可靠度水平也会不同。

在抗滑稳定性控制设计的工况下,挡土墙设有斜底时,由于式(3)的斜底平衡作用被放大,因此设计出的结构尺寸较式(4)的小;挡土墙无斜底时,因不存在平衡作用被放大的情况,式(3)、式(4)设计出的结构尺寸相同,故采用式(3)进行设计时,设有斜底的挡土墙抗滑动可靠指标低于无斜底的挡土墙抗滑动可靠指标。下面通过具体算例对以上分析结论进行验证。

3 斜底对挡土墙抗滑可靠指标的影响

为能够有效分析设有斜底( $X=0.2$ )与不设有斜底( $X=0.0$ )对挡土墙抗滑动可靠指标的影响,首先需要构造得到在计算条件相同的情况下,挡土墙有、无斜底均受抗滑动控制的算例。

3.1 计算基本条件

一般地区重力式路堑挡土墙有、无斜底的相关设计参数如表2所示,横断面如图1所示。

表2 相关设计参数		
参数类型	参数名称	数值
岩土参数	综合内摩擦角 $\varphi_0/(^\circ)$	35
	重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	19
	摩擦系数 $f$	0.3
	地基承载力 $[\sigma]/\text{kPa}$	400
墙身材料	墙背摩擦角 $\delta/(^\circ)$	17.5
	重度 $\gamma_w/(\text{kN}/\text{m}^3)$	23
墙型参数	墙高 $H/\text{m}$	6
	胸坡 $N1$	1: $N1=1:0.25$
	背坡 $N2$	1: $N2=1:0.25$
	基底斜率 $X$	1: $X=1:0.20$ 和 1: $X=1:0$
边界条件	墙后平台宽度 $W/\text{m}$	0.0
	边坡坡度 $M$	1: $M=1:2.5$

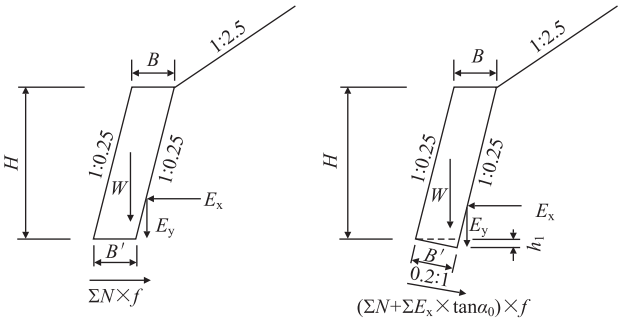


图1 一般地区重力式路堑挡土墙横断面示意图

3.2 设计尺寸

根据TB 10025-2006《铁路路基支挡结构设计规范》<sup>[9]</sup>,按照库伦理论对一般工况下重力式路堑挡土墙进行总安全系数法设计,墙身尺寸及计算结果如表3所示。

表3 墙身尺寸及计算结果

序号	墙高	墙体尺寸				面积	计算结果					
	$H/\text{m}$	$X$	$B/\text{m}$	$B'/\text{m}$	$h_1/\text{m}$	$A/\text{m}^2$	$\sum E_x/\text{kN}$	$\sum M_x/( \text{kN} \cdot \text{m})$	$\sum M_y/( \text{kN} \cdot \text{m})$	$\sum N'/\text{kN}$	$K_0$	$K_c$
1	6	0.2	1.2	1.17	0.23	7.34	77.6	143.3	233.8	185.3	1.63	1.32
2	6	0.2	1.35	1.31	0.26	8.27	78.3	143.1	277.5	206.6	1.94	1.31
3	6	0.0	2.23	2.23	0.00	13.38	72.0	143.9	585.8	312.1	4.07	1.30

注:序号1为斜底在分母上情况;序号2为斜底在分子上情况;序号3为无斜底情况。

从表3可以看出,在设计条件相同的情况下,挡土墙设有斜底( $X=0.2$ )与无斜底( $X=0.0$ )的设计结果均受抗滑动稳定性控制。而对于序号1和序号2两种均设有斜底( $X=0.2$ )的挡土墙结构所设计出的挡土墙在尺寸、面积上差别较大。说明按总安全系数法进行设计时,若将斜底( $\Delta$ )放于抗滑稳定性系数的分母中扣除,平衡作用效应被过度放大了。

3.3 计算可靠指标

为衡量斜底( $\Delta$ )对平衡作用效应的放大程度,以重力式路堑墙为例,采用蒙特卡洛法(Monte-Carlo)进行可靠指标的计算,计算流程如图2所示。

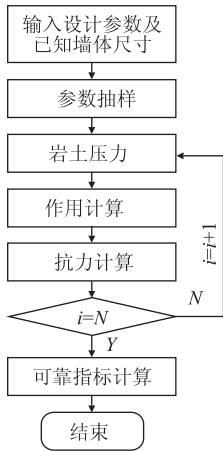


图2 可靠指标计算流程

可靠指标计算步骤如下:

(1)输入设计参数及已知墙体尺寸

输入计算挡土墙可靠指标时所需要的基本设计参数及边界条件(如表 2 所示)、墙体尺寸(如表 3 所示)。

(2)参数抽样

对抗滑功能函数的 5 个关键变量  $\varphi_0$ 、 $\delta$ 、 $\gamma$ 、 $\gamma_w$ 、 $f$  进行随机抽样,随机变量统计特征如表 4 所示。

(3)岩土压力计算

土压力计算方法采用库伦理论进行计算<sup>[11]</sup>。

(4)作用及抗力计算

根据重力式挡土墙抗滑动稳定性计算公式,首先分别计算平衡作用效应  $S_{d, std}$  ( $S_{d, std} = (\sum N + \sum E_x \times \tan\alpha_0) \times f + \sum N \times \tan\alpha_0$ )、不平衡作用效应  $S_{d, dst}$  ( $S_{d, dst} = \sum E_x$ ) 以及抗滑稳定性功能函数 ( $Z_e = S_{d, stb} - S_{d, dst}$ ); 然后统计挡土墙抗滑动功能函数  $Z_e < 0$  的失效次数。

表 4 随机变量统计特征

变量名称	均值	变异系数	分布类型
内摩擦角 $\varphi_0 / (^\circ)$	35	8.6%	正态分布
墙背摩擦角 $\delta / (^\circ)$	17.5	12%	
填土重度 $\gamma / (\text{kN}/\text{m}^3)$	19	5%	
摩擦系数 $f$	0.3 ( $\times 1.5$ )	16%	
墙体重度 $\gamma_w / (\text{kN}/\text{m}^3)$	23	4%	

(5)可靠指标计算

按下式计算失效概率与可靠指标:

$$P_f = \frac{M}{N} \tag{5}$$
$$\beta = -\phi^{-1}(P_f) \tag{6}$$

式中:  $M$ ——失效次数;  
 $N$ ——抽样次数;  
 $P_f$ ——失效概率;  
 $\beta$ ——可靠指标。

不同斜底情况下,重力式路堑墙抽样 20 000 次后的抗滑动可靠指标计算结果如表 5 所示。

表 5 无斜底情况下重力式路堑墙抗滑动可靠指标

序号	斜底 $X$	抽样次数 $N$	失效次数 $M$	失效概率 $P_f = \frac{M}{N}$	可靠指标 $\beta = -\phi^{-1}(P_f)$
1	0.2	20 000	669	0.033 45	1.83
2	0.2		275	0.013 75	2.20
3	0		225	0.011 25	2.28

注:序号 1 为斜底在分母上情况;序号 2 为斜底在分子上情况;序号 3 为无斜底情况。

从表中可以看出,虽然挡土墙有、无斜底对应的抗滑稳定性控制值均为 1.3,序号 1 的可靠指标与序号 2、3 相差接近一个极差(0.5)。进一步对已开展的铁

路路基支挡结构极限状态设计验证研究结果进行统计<sup>[6]</sup>,发现在抗滑动稳定性控制工况下,设有斜底的抗滑可靠指标均低于无斜底的抗滑可靠指标,偏差在 0.3~0.8 之间。产生偏差的根本原因就在于设有斜底时放大了斜底的抗滑动平衡作用效应。

现有规范规定在一般地区,挡土墙抗滑稳定性控制时可设有斜底,而浸水地区则不宜设有斜底<sup>[9]</sup>。通过以上分析可知挡土墙是否设有斜底所对应的可靠指标不同,故由此而得的一般地区与浸水地区(常水位)的挡土墙抗滑动分项系数必然会存在一定差异。

在设计条件相同的情况下,挡土墙是否设有斜底对应的抗滑可靠指标存在较大差异是不合理的,挡土墙无论是否设有斜底,都应该保证其具有一致的可靠度水平。由于设有斜底时斜底的抗滑动平衡作用被放大,造成抗滑可靠指标小于 2.0,增加了结构风险。因此,建议《铁路路基支挡结构极限状态设计规范》在对分项系数统一时采用无斜底所对应的分项系数。

4 结论

- (1)现行 TB 10025 - 2006《铁路路基支挡结构设计规范》中,在总安全系数法抗滑稳定性系数  $K_e$  控制设计工况下,挡土墙采用有斜底设计较采用无斜底设计的结构抗滑动可靠指标小。
- (2)按 TB 10025 - 2006《铁路路基支挡结构设计规范》设计挡土墙的平均可靠指标,确定极限状态设计的抗滑分项系数时,一般地区与浸水地区(常水位)不一致。建议《铁路路基支挡结构极限状态设计规范》在对分项系数统一时采用无斜底所对应的分项系数。
- (3)从一个侧面说明安全系数不能衡量结构的可靠性。

参考文献:

[1] 陈立宏. 欧洲岩土工程设计规范 Eurocode 7 简介[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(1):135 - 138.  
CHEN Lihong. Introduction to Geotechnical Design Code: Eurocode 7 [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(1): 135 - 138.

[2] National Academy of Sciences. Committee on Eliability Methods for Risk Mitigation in Geotechnical Engineering [ R ]. Washington: National Academy of Sciences, 1995.

[3] EN1997 - 1 Eurocode 7: Geotechnical Design - part 1: General Rules[S].

[4] 刘昌清, 罗一农, 魏永幸. 基于极限状态设计法的重力式挡墙设计研究[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(9):30 - 34.  
LIU Changqing, LUO Yinong, WEI Yongxing. Design Research of Gravity Retaining Wall Based on Limit State Design Method [ J ]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31(9):30 - 34.

(下转第 19 页)

- 2012,34(2):78-80.
- YANG Yulin. A Review of the Durability of Fiber Reinforced Concrete Composites [J]. Concrete, 2012,34(2):78-80.
- [2] 倪嵩陟. 钢-玄武岩混杂纤维混凝土衬砌承载特性及抗震性能研究[D]. 北京:北方工业大学, 2017.
- NI Songzhi. Study on Bearing Capacity and Seismic Performance of Steel-basalt Hybrid Fibers Reinforced Concrete [D]. Beijing: North China University of Technology, 2017.
- [3] 崔光耀,王明年,于丽,等. 穿越黏滑错动断层隧道减震层减震技术模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(9): 1753-1758.
- CUI Guangyao, WANG Mingnian, YU Li, et al. Model Tests on Damping Shake Technology of Shock Absorption Layer of Tunnels Crossing Stick-slip Faults [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(9): 1753-1758.
- [4] 王明年,崔光耀. 高烈度地震区隧道设置减震层的减震原理研究[J]. 土木工程学报, 2011, 44(8):126-131.
- WANG Mingnian, CUI Guangyao. Study of the Mechanism of Shock Absorption Layer in the Supporting System of Tunnels in Highly Seismic Areas[J]. China Civil Engineering Journal, 2011, 44(8): 126-131.
- [5] 崔光耀,伍修刚,王明年,等. 高烈度地震区黏滑断层隧道减震层减震模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2017,39(11): 2125-2131.
- CUI Guangyao, WU Xiugang, WANG Mingnian, et al. Model Tests on Damping of Shock Absorption Layer of Stick-slip Fracture Tunnel in Highly Seismic Areas [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(11): 2125-2131.
- [6] 张庆松,李鹏,张霄,等. 隧道断层泥注浆加固机制模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(5):924-934.
- ZHANG Qingsong, LI Peng, ZHANG Xiao, et al. Experimental Study on the Mechanism Model of Tunnel Gouge Grouting Reinforcement [J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, 34(5):924-934.
- [7] 郭志超,丁庆军,田焜. 盾构隧道新型水玻璃注浆材料的研究[J]. 施工技术, 2008,37(10):25-28.
- GUO Zhichao, DING Qingjun, TIAN Kun. Study on New Water Glass Grouting Material for Shield Tunnel [J]. Construction Technology, 2008,37(10):25-28.
- [8] 王再举,周祥瑞,姚直书. 钢纤维喷射混凝土衬砌结构模型试验及数值模拟研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2016,43(10): 53-55.
- WANG Zaiju, ZHOU Xiangrui, YANG Zhishu. Model Test and Numerical Simulation Study of Steel Fiber Shotcrete Lining Structure [J]. China Concrete and Cement Products, 2016,43(10):53-55.
- [9] 徐进,姚直书,李振宇,等. 喷射钢纤维混凝土衬砌结构模型试验[J]. 煤矿安全, 2017,48(6): 56-59.
- XU Jin, YAO Zhishu, LI Zhenyu, et al. Model Test on Lining Structure of Spray Steel Fiber Reinforced Concrete[J]. Safety in Coal Mines, 2017,48(6): 56-59.
- [10] 胡磊,王志杰,何明磊,等. 隧道钢纤维混凝土单层衬砌模型试验及数值模拟[J]. 铁道建筑, 2014,54(6): 72-74.
- HU Lei, WANG Zhijie, HE Minglei, et al. Model Test and Numerical Simulation of Single Layer Lining of Steel Fiber Reinforced Concrete in Tunnel [J]. Railway Engineering, 2014,54(6): 72-74.
- [11] TB 10003-2005 铁路隧道设计规范[S].
- TB 10003-2005 Code for Design of Railway Tunnel[S].
- (编辑:苏玲梅 白雪)

(上接第8页)

- [5] Q/CR 9127-2015 铁路路基极限状态法设计暂行规范[S].
- Q/CR 9127-2015 Tentative Specification for Railway Subgrade Limit State Method Design [S].
- [6] 中铁二院工程集团有限责任公司,西南交通大学. 铁路路基支挡结构极限状态设计验证研究[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2016.
- China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Southwest Jiaotong University. Research on the Limit State Design and Validation Research of Retaining Structures for Railway Subgrade [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2016.
- [7] 王占盛,罗一农,李安洪,等. 变量相关性对分项系数的影响分析[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(2):37-42.
- WANG Zhansheng, LUO Yinong, LI Anhong, et al. The Effect Analysis of Correlation between Variables on the Partial Coefficient [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(2):37-42.
- [8] 王占盛,罗一农,魏永幸,等. 变量相关性对可靠指标的影响分析[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(12):19-23.
- WANG Zhansheng, LUO Yinong, WEI Yongxing, et al. The Effect of Correlation between Variables on Reliability Index [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(12):19-23.
- [9] TB 10025-2006 铁路路基支挡结构设计规范[S].
- TB 10025-2006 Code for Design on Retaining Structures of Railway Subgrade[S].
- [10] 中铁二院工程集团有限责任公司. 铁路路基典型结构极限状态法试设计分报告[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司, 2017.
- China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Study Report on the Limit State Tentative Design of Typical Structures for Railway Subgrade [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2017.
- [11] 李毓林. 铁路工程设计技术手册-路基[M]. 北京:中国铁道出版社,1992.
- LI Yulin. Railway Engineering Design Technical Manual-subgrade [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1992.
- [12] 罗一农,王占盛,郭海强. 分项系数与目标可靠指标的关系及其应用[J]. 高速铁路技术, 2018,9(1):6-9.
- LUO Yinong, WANG Zhansheng, GUO Haiqiang. Relationship between Partial Factor and Reliability Index and Its Application [J]. High Speed Railway Technology, 2018,9(1):6-9.
- (编辑:刘会娟 苏玲梅)