

文章编号:1001-7372(2016)09-0001-12

加筋土边坡稳定分析安全判据和标准研究

陈祖煜^{1,2,3}, 章吟秋^{1,2}, 宗露丹^{1,2}, 韩黎明⁴, 詹成明⁵

(1. 浙江大学 岩土工程研究所, 浙江 杭州 310058; 2. 浙江大学 软弱土与环境土工教育部重点实验室, 浙江 杭州 310058; 3. 中国水利水电科学研究院 岩土工程研究所, 北京 100048; 4. 中国民航机场建设集团公司, 北京 100101; 5. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要:为了研究加筋结构稳定分析的安全判据和相关标准,基于库仑理论计算加筋土边坡安全系数的方法,将可靠度理论应用于目标可靠度指标为 3.7、允许安全系数为 1.34(较未加筋边坡的规范值略高)的一个典型算例中;并假定黏聚力 c 、摩擦因数 f 和筋材强度 T 的变异系数分别为 0.2、0.1 和 0.07,获得其分项系数标定值为 $\gamma_c=1.38$, $\gamma_f=1.26$ 和 $\gamma_T=1.05$ 。基于相对安全率的概念,通过改变坡高、坡度和其他材料参数对上述标定值进行普适性论证;并采用承德机场工程实例对标定值进行了验证。结果表明:分项系数的标定值与国内外相关规定接近;普适性论证中良好的回归结果证明标定的允许安全系数和分项系数值与对应的可靠度指标具有同一风险控制标准;特别需要指出的是,随着坡度的增加相应安全指数的变化是平稳的,因此人为地将结构分类为墙或边坡是没有必要的。

关键词:道路工程;加筋土边坡;可靠度分析;相对安全率;分项系数;安全系数

中图分类号:U417.11 **文献标志码:**A

Appraisal of Safety Criteria and Standards for Stability Analysis of Geotextile Reinforced Slopes

CHEN Zu-yu^{1,2,3}, ZHANG Yin-qiu^{1,2}, ZONG Lu-dan^{1,2}, HAN Li-ming⁴, ZHAN Cheng-ming⁵

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, Zhejiang, China; 2. MOE Key Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, Zhejiang, China; 3. Department of Geotechnical Engineering, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China; 4. The Engineering Research Base of China Airport Construction Corporation of CAAC, Beijing 100101, China; 5. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, Hubei, China)

Abstract: To investigate the safety criteria and the related standards for stability analysis of geotextile reinforced structures, based on the Coulomb's theory to calculate the factor of safety for geotextile reinforced slopes, the theory of reliability analysis was applied on a typical example with a specified reliability index of 3.7 and allowable factor of safety of 1.34 (slightly higher than those required by codes for ordinary slopes). Given the coefficients of variability for cohesion c , friction f and geotextile strength T , which are 0.2, 0.1 and 0.07 respectively, the calibrated partial factors that were $\gamma_c = 1.38$, $\gamma_f = 1.26$ and $\gamma_T = 1.05$ respectively were obtained. Furthermore, the applicability of the calibrated indices was investigated through the actual

收稿日期:2016-01-27

基金项目:国家重点基础研究发展计划("九七三"计划)项目(2014CB047000)

作者简介:陈祖煜(1943-),男,浙江宁波人,教授,博士研究生导师,中国科学院院士,工学博士,E-mail:chenzy@tsinghua.edu.cn。

engineering project of Chengde airport slope. The results show that the calibrated partial factors are close to the related Chinese and overseas specifications, and the good regressions, obtained in all these circumstances, demonstrate that the calibrated allowable factor of safety and partial factors have the same risk control standards with corresponding reliability indexes. In particular, it is found that there exists a smooth transmission regarding all the calculated safety indices when the slope gradient becomes steeper. Therefore, it is unnecessary to divide the structures into wall or slope subjectively.

Key words: road engineering; geotextile reinforced slope; reliability analysis; ratio of safety margin; partial factor; safety factor

0 引言

近几十年加筋土边坡作为新型结构在岩土工程中获得了广泛应用,目前已建加筋土边坡高度已超过 60 m。加筋土边坡相对于边坡工程的其他领域较为年轻,积累的经验不多,如《公路加筋土工程设计规范》(JTJ 015—91)^[1]中仅对坡高在 20 m 内的加筋土建筑物给出了明确规定。因此进一步研究加筋土边坡稳定分析的安全判据和标准很有必要,有关的问题可归纳为以下几个方面:

(1)加筋土边坡安全系数的取值标准。中国各行业对边坡工程的安全系数取值标准已有明确规定。例如《水利水电工程边坡设计规范》(SL 386—2007)^[2]中规定不同等级边坡稳定安全系数 F_s 在 1.1~1.3 范围以内。考虑到经过加筋以后的边坡相应的坡度从传统的 $30^\circ\sim 35^\circ$ 提高到了 $70^\circ\sim 80^\circ$,加筋材料又包含了其本身自有的不确定因素,是否完全沿用未加筋边坡安全系数的取值,是一个值得研究的问题。

(2)关于按墙还是按边坡确定加筋土结构的安全判据问题。英国标准(BS 8006-1:2010)^[3]和美国公路标准(FHWA-NHI-10-024)^[4]按边坡坡度对加筋土结构加以区分,规定坡度小于 70° 的建筑物为加筋土边坡,大于 70° 即视为加筋挡土墙,两类建筑物选取不同的安全标准;而德国规范则将加筋土结构归为一类^[5]。中国公路设计标准^[1,6]遵循前者。笔者认为,以 70° 为界区分加筋构筑物的安全判据带有有人为因素,对同一个构筑物建立 2 套标准,不仅操作上有困难,也缺乏合理的理论基础,因此有必要对此做进一步探讨。

(3)分项系数的取值标准。近期国内外相关的工程设计逐步向极限状态分项系数方法过渡,因此在研究加筋土边坡安全系数取值标准的同时,深入

探讨加筋土边坡有关土的黏聚力、摩擦因数、加筋材料极限强度等相关指标的分项系数取值标准同样也十分重要。

笔者认为,工程结构的风险分析和可靠度设计方法是妥善解决上述问题的一个有效途径。本文中将以代表性算例为典型,探讨加筋土边坡的允许可靠度指标取值范围,并在此基础上标定安全系数和分项系数的取值标准。通过引入相对安全率的概念,对上述标定值进行普适性论证,并通过工程实例,评价其可行性。上述工作是笔者研究团队在前期土石坝、混凝土坝、挡土墙和边坡等一系列建筑物抗滑稳定相关的可靠度设计方法研究成果的基础上开展的^[7-14]。

1 加筋土坡稳定分析的库仑方法

目前,加筋土边坡稳定分析大致可以分为建立在静力平衡条件基础上的极限平衡法和建立在位移协调条件基础上的塑性力学上限解法 2 个体系。

极限平衡法包括 Bishop 法、Spencer 法、Janbu 法等。Leshchinsky^[15-16]通过对比对数螺旋线和直线破坏机制,基于极限平衡法提出了相应的设计图表,且将筋材所提供的最大拉力考虑为筋材的抗拔强度,并认为当加筋土坡坡角较陡、加筋数量较少时,最危险滑裂面由对数螺旋线转变为直线。

Chen^[17]首次使用塑性力学上限解法获得与地基承载力经典理论解一致的计算结果,Michalowski^[18]曾经使用有限条块计算三维地基承载力,Donald 等^[19]提出对边坡滑动土体斜条分的数值分析方法,成功获得与索科洛夫斯基利用滑移线理论提供的一系列理论解一致的计算成果。对于加筋边坡,Michalowski^[20-21]采用了以对数螺旋线为破坏机制的上限解法,只考虑了对数螺旋线破坏面上产生的能量耗散,同时忽略了土体黏聚力提供的抗力作用,

认为土体强度符合无黏性土的摩尔-库仑准则,适用范围较窄。此外,在以往的研究中,许多学者开始建立在水平滑动面和机动位移分析法基础上的加筋土边坡稳定分析方法^[22-26]。

近期,陈祖煜等在倾斜条分极限分析法理论框架下提出了加筋土边坡的稳定分析方法。相关成果已在文献^[13]中做了详细介绍。现以下面在本文中作为代表性算例的个案为基础,对相关理论作一简单的回顾。

图 1 表示一均质加筋土坡,其参数设为:边坡坡高 $H = 50 \text{ m}$,坡角 $\alpha_s = 60^\circ$,土体重度 $\gamma = 18 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$,加筋间距 $S_v = 0.7 \text{ m}$ 。相应强度参数为:土体黏聚力均值 $\mu_c = 30 \text{ kPa}$,土体摩擦因数均值 $\mu_f = 0.376$,筋材的极限拉力均值 $\mu_T = 84 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

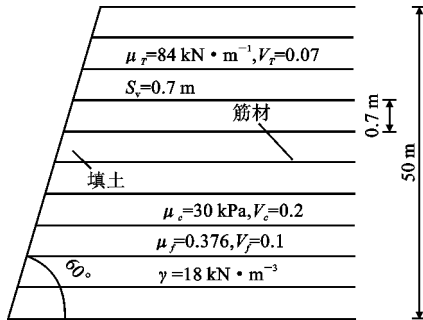


图 1 加筋土边坡计算模型

Fig. 1 Calculation Model of Geotextile Reinforced Slope

根据《工程结构可靠性设计统一标准》^[27],在确定性模型计算时,强度参数应取其标准值,通常可取 0.2 分位值^[28]。因此在计算加筋土坡的确定性安全系数值时,强度参数均按式(1)确定

$$\epsilon_k = (1 - 0.842V_\epsilon)\mu_\epsilon \quad (1)$$

式中: ϵ 代表强度指标土体黏聚力 c 、摩擦因数 f 和筋材的极限拉力 T ,下标 k 代表各强度指标标准值; μ_ϵ 和 V_ϵ 分别为 ϵ 的均值和变异系数。本例取黏聚力变异系数 $V_c = 0.2$,摩擦因数变异系数 $V_f = 0.1$,筋材的极限拉力变异系数 $V_T = 0.07$ 。

确定滑移模式是塑性力学上限解法的第 1 个步骤。陈祖煜等认为,土体内部的滑移线不应穿越加筋材料,据此提出了可能的 3 种滑移模式,即主动滑移模式、库仑滑移模式和被动滑移模式,如图 2 所示。根据位移协调要求和摩尔-库仑相关联流动法则,笔者分别为此 3 种模式提出了计算速度场的公式。据此,通过外力功和内能耗散平衡获得计算安全系数的控制方程为

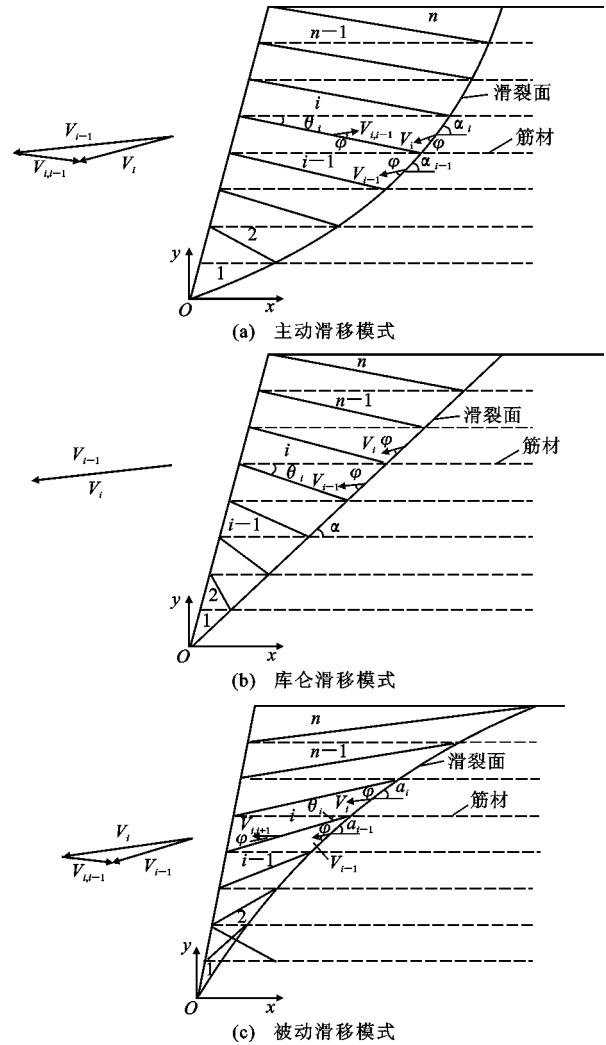


图 2 3 种滑移模式

Fig. 2 3 Slip Modes

$$\sum_{i=1}^n V_i [c'_{ie} \cos(\phi'_{ie}) - u_i \sin(\phi'_{ie})] L_i - \sum_{i=1}^n V_i \Delta W_i \sin(\alpha_i - \phi'_{ie}) + \sum_{i=2}^n V_{i,i-1} [c'_{ie} \cos(\phi'_{ie}) - u'_i \sin(\phi'_{ie})] L_i^j + \sum_{i=1}^{n-1} T_i V_i \cos(\alpha_i - \phi'_{ie}) = 0 \quad (2)$$

式中: V_i 为条块 i 相对于底滑面的绝对速度; $V_{i,i-1}$ 为条块 i 相对于条块 $i-1$ 的速度; c'_e 和 ϕ'_{ie} 分别为折减后的有效应力抗剪强度指标土体黏聚力和摩擦角; u 为孔隙水压力; L 为滑面的长度; ΔW 为体积力; α 为滑裂面倾角。各参数中下标 i 代表条块 i 及其底滑面处的参数值,上标 j 代表条块 i 与条块 $i-1$ 交界面处的参数值。

本文中,安全系数 F 采用了强度折减的定义,即

$$c' = c' / F \quad (3)$$

$$\phi' = \arctan[\tan(\phi') / F] \quad (4)$$

式中: c' 和 ϕ' 分别为土体有效应力抗剪强度指标黏

聚力和摩擦角。

式(2)中仅包含有安全系数 F 一个未知数,因此可以通过迭代求解。根据塑性力学上限定理,对所有可能的滑移模式重复上述计算,找到相应安全系数最小的那个模式,相应的解即为加筋边坡的设计安全系数。

对此3种模式的搜索结果如图3所示,图3中, $F_r (r=1, 2, \dots, n)$ 代表不同滑裂面滑入点位置 X 对应的安全系数值, F_{\min} 代表最小安全系数。根据试算结果可知:库仑滑移模式相应的最小安全系数为1.34[图3(a)、(b)]。主动滑移模式中验算滑移面相应的最小安全系数为1.68[图3(c)、(d)],比库仑解大,而被动滑移模式的临界面搜索过程则是不

断向库仑直线模式靠拢的过程[图3(e)、(f)]。这一结果再一次确认了陈祖煜等在前期研究的结论,即在常规设计的加筋间距和长度条件下,库仑模式总是小于另外2种模式。对于这一模式,本例的最危险滑裂面位置对应的坡顶滑入点 X 坐标为73.8 m。因此,从工程实用的角度,设计者只需采用直线滑动面进行加筋土的稳定分析。此时,对于均质边坡,式(2)也可以退化为传统的建立在库仑极限平衡理论上的公式,即

$$F = \frac{[c' \cos(\varphi') - u \sin(\varphi')]L + T \cos(\alpha_c - \varphi')}{W \sin(\alpha_c - \varphi')} \quad (5)$$

式中: α_c 为使 F 获得极小值的临界滑裂面倾角; W 为均质边坡临界滑裂面上部土体的体积力。

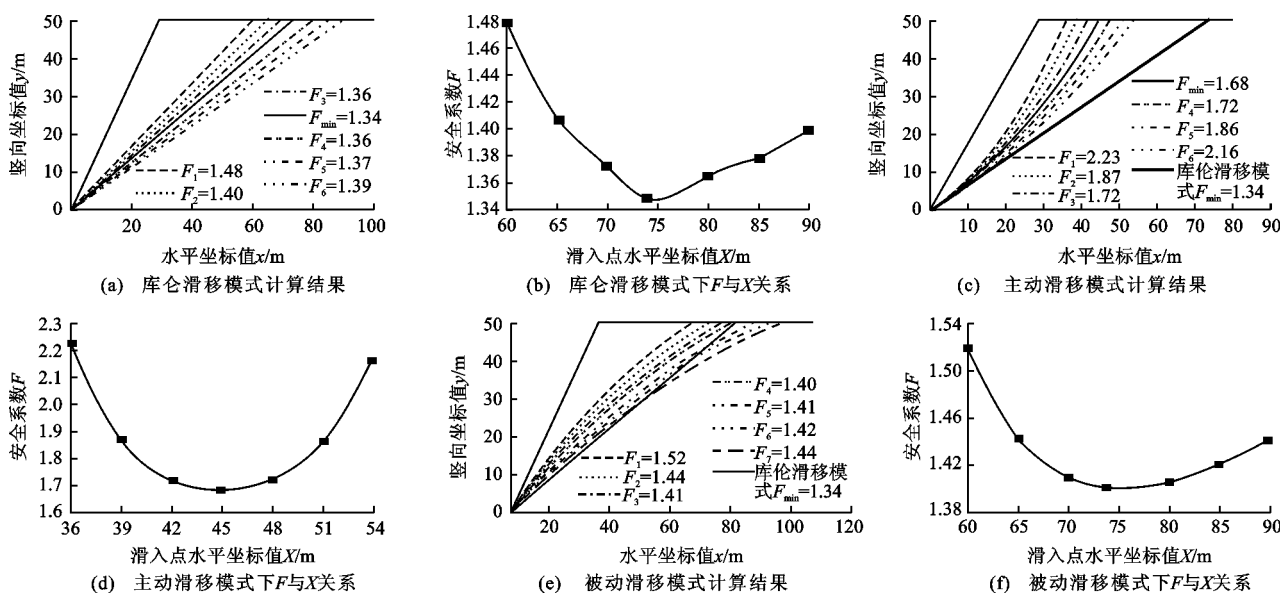


图3 3种滑移模式临界滑裂面与相应安全系数计算结果

Fig. 3 Calculation Results of Critical Slip Surfaces and Corresponding Safety Factors of 3 Slip Modes

本文即是在这一方法基础上开展以下研究工作的。

表1 中外规范加筋土边坡安全系数取值标准

Tab. 1 Standards for Safety Factors Values of Geotextile Reinforced Slopes in Chinese and Oversea Specification

规范	安全系数允许值		说明
公路路基设计规范 ^[6]	抗滑动	1.30	适用于荷载组合 I、II 情况下,坡度大于 70° 的加筋挡土墙
	抗倾覆	1.50	
	整体稳定性	1.25	适用于加筋挡土墙
美国公路规范 ^[4,29]	≥1.30		适用于滑裂面穿过加筋体的加筋土边坡
公路加筋土工程设计规范 ^[1]	筋带抗拔	2.00	适用于荷载组合 I 情况下加筋挡土墙
	基底滑动	1.30	
	倾覆	1.50	
	整体滑动	1.25	

2 关于加筋土边坡安全判据的讨论

2.1 安全系数判据

中国公路加筋土工程设计规范(JTJ 015—91)^[1]和公路路基设计规范(JTG D30—2015)^[6]对加筋土挡墙不同破坏形式下安全系数的规定如表1所示。美国公路规范 FHWA^[4,29]则明确提出加筋土边坡的允许稳定安全系数不小于1.30。由此可见,现有的规范对加筋建筑物安全系数允许值 F_a 的规定和未加筋边坡规范接近,为1.30或稍高。

2.2 可靠度指标判据

中国《工程结构可靠性设计统一标准》^[27]中将

工程结构的安全等级划分为三级,《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》^[30](简称水工统标)则对水

利工程中不同安全级别结构的允许可靠度指标 β_s 做出了表 2 的规定。表中第 1 类破坏指非突发性破坏,第 2 类破坏指突发性破坏,无明显征兆,一旦发生事故难于补救或修复,水利工程结构破坏按第 2 类对待。

表 2 水工统标规定的结构允许可靠度指标 β_s
Tab. 2 Allowable Reliability Index Specified by Code for Hydraulic Structures

结构安全级别	I 级	II 级	III 级
第 1 类破坏	3.7	3.2	2.7
第 2 类破坏	4.2	3.7	3.2

表 3 地基土强度参数变异系数的工程文献统计^[14]

Tab. 3 Review of Coefficients of Variability of Soil Strength Parameters of Subgrade from Engineering Literatures

强度参数	小浪底工程	高大钊	Chowdhury	Duncan	Orr
摩擦因数变异系数 V_f	0.060~0.130	0.120~0.370	0.068~0.097	0.020~0.130	0.050~0.150
黏聚力变异系数 V_c	0.180~0.250	0.160~0.470	0.140~0.250	0.100~0.350	0.200~0.400

表 4 筋材变异系数的工程文献统计

Tab. 4 Review of Coefficients of Variability of Reinforcement Strength from Engineering Literatures

文献编号	[33]	[34]	[35]	[36]	[37]
筋材变异系数 V_T	0.025~0.100	0~0.200	0.100	0.060	0.070
文献编号	[38]	[39]	[40]	[41]	[42]
筋材变异系数 V_T	0.400	0~0.200	0.100	0.096	0.090

2.3 分项系数判据

对于加筋土边坡的设计,英国规范^[3]和欧洲规范^[43]明确规定采用分项系数设计方法;美国规范 FHWA^[4,29]中定值法和分项系数法并存;Deutsche^[5]在对德国规范 DIN 1054 的补充中提出加筋土构筑物的分项系数分析方法。上述规范中土体黏聚力、摩擦因数和筋材强度分项系数 γ_c, γ_f 和 γ_T 取值规定见表 5。

表 5 国外规范加筋土材料参数分项系数规定值

Tab. 5 Specified Value of Partial Material Factors of Geotextile Reinforced Slope Parameters in Abroad Specification

强度指标	欧洲规范	英国规范	德国规范	美国规范	备注
γ_c	1.25	1.25	1.25	1.50	无
γ_f	1.25	1.50	1.25	1.50	无
γ_T			1.20	1.10	柔性筋材
				1.30	刚性筋材

3 加筋土边坡的可靠度分析

3.1 计算可靠度指标的一次二阶矩法

对于一组相互独立的随机变量 $\epsilon_r (r = 1, 2, \dots, n)$, 建立在安全系数基础上的极限平衡方法中可将极限状态平衡函数表示为

$$G = F - 1 = F(\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n) - 1 = 0 \quad (6)$$

加筋土边坡失事的后果较大坝等重要设施要小,因此,将其允许可靠度指标确定为 3.7 较为合适。

进行可靠度分析的一个重要工作是确定材料特性的变异系数。陈祖煜等^[14]对填土黏聚力和摩擦因数变异系数的总结见表 3。不少学者对加筋土筋材性能进行了试验研究^[31-32],筋材变异系数的工程文献统计见表 4。

据此,在本文的研究中,填土的摩擦因数和黏聚力的变异系数分别取为 0.1 和 0.2,筋材的变异系数取为 0.07。

若式中各变量分布曲线的概型服从正态分布,则可用安全系数的均值 μ_F 和标准差 σ_F 唯一地表达可靠度指标 β ,即

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} = \frac{\mu_F - 1}{\sigma_F} \quad (7)$$

式中: μ_g, σ_g 分别为极限平衡函数 G 的均值和标准差。

通过式(7),可建立起安全系数和可靠度指标之间的相互关系。式(7)在众多学术论文中均有采用,并被纳入水利和水电行业的边坡设计规范中^[2,44]。

可靠度指标通常采用一次二阶矩法计算。引入标准量纲一的变量 z_r

$$z_r = \frac{\epsilon_r - \mu_{\epsilon_r}}{\sigma_{\epsilon_r}} \quad (8)$$

式中: $\mu_{\epsilon_r}, \sigma_{\epsilon_r}$ 分别表示 ϵ_r 的均值和标准差。

图 4 为在平面坐标中的可靠度指标和验算点,图 4 中原点 O 代表均值点,是随机变量最有可能的数值。点 A 代表失效状态下最有可能的数值点,即为标准化空间设计验算点 $Z^* = (z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*)$ 。 OA 的长度即为可靠度指标 β ,其物理意义是随机变量从其最有可能的数值过渡到破坏面的最短距离。

为求得可靠度指标 β 和与其对应的验算设计点,则要求图 4 中 \overrightarrow{OA} 的方向向量 $\alpha^* = (\alpha_1^*, \alpha_2^*, \dots, \alpha_n^*)^T$ 与极限状态边界在 A 点处的切线垂直, α_r^* 可由下式计算

$$\alpha_r^* = - \frac{\partial F}{\partial z_r} \Big|_{z^*} \left[\sum_{r=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial z_r} \Big|_{z^*} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (9)$$

此时的可靠度指标 β 可表示为

$$\beta = - \sum_{r=1}^n z_r^* \frac{\partial F}{\partial z_r} \Big|_{z^*} \left[\sum_{r=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial z_r} \Big|_{z^*} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (10)$$

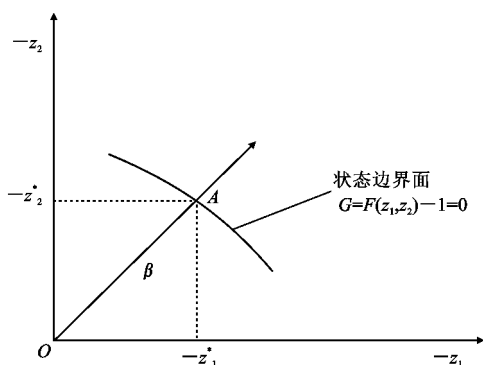


图4 在平面坐标中的可靠度指标和验算点

Fig. 4 Reliability Index and Design Points in Plane Coordinates

假设各变量均服从正态分布,且不考虑各变量之间的相关性,那么可靠度指标 β 的计算公式(10)可简化为

$$\beta = \min_{\epsilon_r \in G} \sqrt{\sum_{r=1}^n \left(\frac{\epsilon_r - \mu_{\epsilon_r}}{\sigma_{\epsilon_r}} \right)^2} \quad (11)$$

式中: $\epsilon_r \in G$ 表示随机变量取值位于式(6)极限状态边界面上。

现针对根据加筋土坡基于库仑理论的上限解法所定义的安全系数计算方式,利用其对应的极限状态函数,采用上述简化的一次二阶矩法进行可靠度分析计算。整个计算过程均用 Excel 和 VBA 程序实现。即通过改变 c, f, T 和滑裂面滑入位置 X 这4个设计变量的值,在满足极限状态函数为0的目标条件下,得到式(11)的最小值。本例获得可靠度指标 $\beta=3.703$,其具体计算过程见表6。

表6 加筋边坡安全系数、可靠度指标和分项系数计算过程
Tab. 6 Calculation Processes of Factor of Safety, Reliability Index and Partial Factors of Reinforced Slope

参数		计算式	计算值
强度参数设计值	黏聚力 c/kPa	式(1)	24.948
	摩擦因数 f	式(1)	0.344
	筋材拉力 T/kN	式(1)	79.049
可靠度指标 β		式(11)	3.703
安全系数 F		式(2)	1.339
安全系数均值 μ_F		式(2)	1.577
安全系数标准差 σ_F		式(7)	0.15
分项系数法安全系数 F_p		式(17)	1
滑入点坐标 X/m		式(6)	73.8
验算点值	c^*/kPa	式(13)	18.097
	f^*	式(13)	0.272
	T^*	式(13)	75.194
强度指标 分项系数	γ_c/kPa	式(14)	1.379
	γ_f	式(15)	1.262
	γ_T	式(16)	1.051

注: c^*, f^*, T^* 分别为强度指标黏聚力、摩擦因数和筋材强度的设计验算点值。

本例计算得到的可靠度指标 $\beta=3.703$,相应标准值(即0.2分位数)的安全系数为1.339。此值与第2.1节讨论的相应规范建议值基本一致。考虑到加筋以后的边坡相应的坡度和高度较大程度上突破了常规土方构筑物的传统取值范围,笔者认为加筋土边坡允许安全系数 F_a 值取为1.35较为合适。

3.2 根据验算点标定分项系数的方法

当采用一次二阶矩法计算可靠度指标找到了在状态边界面上最有可能的破坏点A时,也就获得了相应的随机变量 $Z^*=(z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*)$,可称其为标准化空间设计验算点,可由式(12)确定

$$z_r^* = -\beta_a a_r^* \quad (12)$$

根据式(8),A点对应的设计验算点 $\epsilon^*=(\epsilon_1^*, \epsilon_2^*, \dots, \epsilon_n^*)$ 即可表示为

$$\epsilon_r^* = \mu_{\epsilon_r} - \beta_a a_r^* \sigma_{\epsilon_r} \quad (13)$$

在可靠度指标恰好就是规范规定的允许值(在本文中, $\beta_a=3.7$)时,随机变量的标准值与设计验算点的比值即为标定的分项系数,即

$$\gamma_c = c_k / c^* \quad (14)$$

$$\gamma_f = f_k / f^* \quad (15)$$

$$\gamma_T = T_k / T^* \quad (16)$$

式中: c_k, f_k, T_k 分别为强度指标黏聚力、摩擦因数和筋材极限强度的标准值。

就本算例而言,通过式(14)~(16)得到强度指标分项系数的标定值分别为 $\gamma_c=1.38, \gamma_f=1.26, \gamma_T=1.05$ 。相应的计算过程如程表6所示,这一标定的分项系数值与第2.3节各规范规定值较为接近。

4 普适性考核

4.1 问题的提出

前文基于一个特定的目标可靠度指标 β_a 为3.7的例子,获得安全系数以及填土黏聚力、摩擦因数和筋材极限拉力分项系数的“理论”标定值,分别为 $F_a=1.339, \gamma_c=1.38, \gamma_f=1.26, \gamma_T=1.05$ 。如果将这一特定例子的输入参数稍作变动,例如,保持其余参数不变,令墙高 H 在45~57 m范围内按1 m等间距递增变动时,可以计算得到相应的 F 值和 β 值,并进一步计算经分项系数折减后的强度指标安全系数值 F_p ,即满足式(17)成立的数值。

$$F \left(\frac{c}{F_p \gamma_c}, \frac{f}{F_p \gamma_f}, \frac{T}{\gamma_T} \right) - 1 = 0 \quad (17)$$

F, β, F_p 的计算值见表7。现在的问题是,这3个指标不再恰好和相应极限状态时的 $F=1.34, \beta=3.7$ 和 $F_p=1$ 那样明显地表达同一风险控制标准。

表 7 不同高度的加筋土坡稳定性分析计算结果

Tab. 7 Stability Analysis and Calculation Results for Geotextile Reinforced Slopes with Different Heights

模型	确定性模型				可靠度方法		分项系数法	
	μ_F	σ_F	F	η_F	β	η_R	F_P	
参数	式 (2)	式 (7)	式 (2)	式 (18)	式 (11)	式 (20)	式 (17)	
计算式	式 (2)	式 (7)	式 (2)	式 (18)	式 (11)	式 (20)	式 (17)	
墙高 H/m	45	1.78	0.18	1.50	1.12	4.41	1.12	1.12
	46	1.72	0.17	1.46	1.09	4.23	1.09	1.08
	47	1.70	0.17	1.43	1.07	4.13	1.07	1.07
	48	1.64	0.16	1.39	1.04	3.96	1.04	1.04
	49	1.62	0.16	1.37	1.03	3.87	1.03	1.03
	50	1.58	0.16	1.34	1.00	3.70	1.00	1.00
	51	1.53	0.15	1.31	0.98	3.54	0.98	0.98
	52	1.51	0.15	1.29	0.96	3.45	0.96	0.97
	53	1.48	0.14	1.26	0.94	3.29	0.94	0.95
	54	1.46	0.14	1.25	0.93	3.20	0.93	0.94
	55	1.43	0.14	1.22	0.91	3.05	0.91	0.92
	56	1.41	0.14	1.21	0.90	2.96	0.90	0.91
	57	1.38	0.13	1.18	0.88	2.81	0.88	0.89

为了证明这些对应不同坡高的 3 个计算值仍反映了相同的风险控制水平,陈祖煜等^[7-12,14]提出了以下相对安全率的概念。

对于某一安全系数的计算值 F ,定义其相对安全率 η_F 为

$$\eta_F = \frac{F}{F_a} \quad (18)$$

此外,再定义一个分项系数方法的相对安全率 η_P ,其使式(17)变为

$$F\left(\frac{c}{\eta_P \gamma_c}, \frac{f}{\eta_P \gamma_f}, \frac{T}{\gamma_T}\right) - 1 = 0 \quad (19)$$

显然,这一分项系数方法的相对安全率 η_P 即是前文定义的 F_P 。

通过理论推导,陈祖煜等^[10,12]提出可靠度指标方法的相对安全率 η_R 为

$$\eta_R = (\beta - \beta_a)\sigma_F + 1 \quad (20)$$

σ_F 为安全系数的标准差。如在任何情况下,都可以保证

$$\eta_R \approx \eta_F \quad (21)$$

$$\eta_R \approx \eta_P \quad (22)$$

那么,应可以认定,前文使用的 F_a, γ_c, γ_f 和 γ_T 的“理论”标定值确实有普适意义,可以为规范编制工作提供理论参考依据。

再来考察加筋土坡算例,将边坡坡高 H 以 1 m 的增量从 45 m 变化到 57 m 获得的相对安全率 η_F ,

η_R 和 η_P 值如表 7 所示,线性相关拟合情况如图 5 所示。

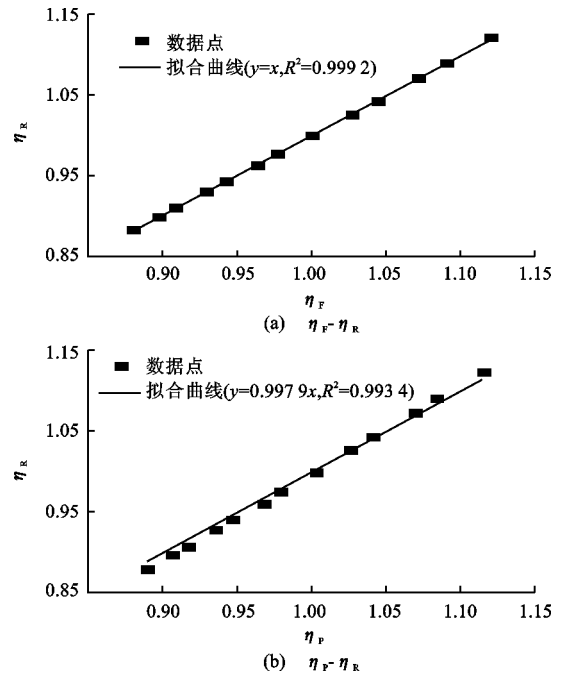


图 5 不同边坡高度 H 的各相对安全率线性回归图

Fig. 5 Linear Regressions of Ratio of Safety Margin for Different Slope Heights

由图 5 可知:这些曲线的斜率基本上为 1,并通过原点,拟合系数接近于 1,满足式(21)和式(22),说明安全系数允许值和分项系数的“理论”标定值具有很好的适用性。

4.2 各参数的普适性验证

在第 4.1 节中,通过变动加筋土坡坡高验证了所标定的分项系数的适用性。为验证其在更一般条件下的普适性,本节考察了更多参数变化时的 η_F, η_P 与 η_R 的拟合关系,依次改变以下参数:①坡度 α 以 2.5° 的增量从 47.5° 变化到 77.5° ;②填土重度 γ 以 $0.5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ 的增量由 $16 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ 增加到 $22 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$;③黏聚力 c 以 2 kPa 的增量由 14 kPa 增加到 38 kPa ;④填土摩擦因数 f 以 0.025 的增量从 0.3 变化到 0.6 ;⑤筋材极限拉力 T 以 $5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 的增量由 $60 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 增加到 $120 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$;⑥筋材强度变异系数 V_T 以 0.01 的增量由 0.01 增加到 0.07 。得到相应相对安全率 η_P, η_F 与 η_R 的回归曲线关系分别如图 6,7 所示,图中数据点从左至右代表各参数值由低到高按等间距递增的相应值。

结果表明,分项系数方法和可靠度方法的相对安全率均具有很好的相关性。由此可以证明,第 4.1 节中在可靠度分析的基础上所标定得到的安全系数

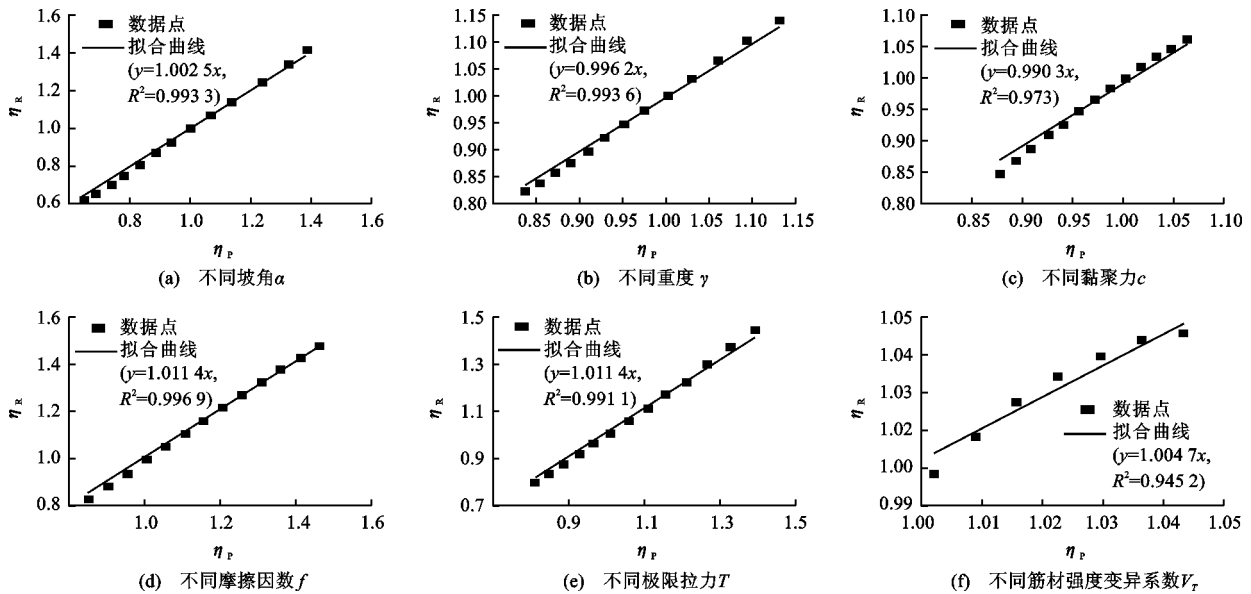


图6 加筋土边坡 η_p - η_R 关系的普适性研究

Fig. 6 Investigations on Universal Applicability for Geotextile Reinforced Solpes Based on η_p vs. η_R

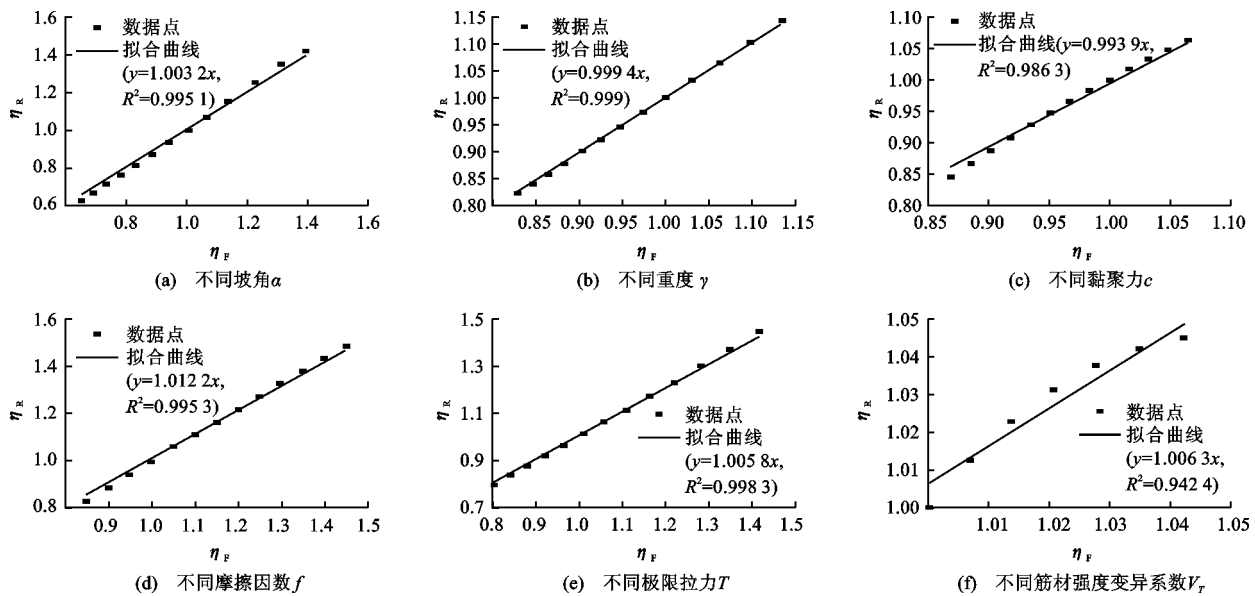


图7 加筋土边坡 η_F - η_R 关系的普适性研究

Fig. 7 Investigations on Universal Applicability for Geotextile Reinforced Solpes Based on η_F vs. η_R

允许值 1.339 和分项系数值 $\gamma_c = 1.38, \gamma_f = 1.26, \gamma_T = 1.05$ 与对应的加筋土坡可靠度指标 $\beta = 3.7$ 是建立在同一风险控制标准之上的。敏感性分析说明随着坡度 α 的增加, η_R 和 η_F 的变化是平稳的, 因此以 70° 坡脚作为安全判据的分界点并不合理。

5 工程实例研究

现以位于河北省承德机场跑道两侧有加筋边坡为例进行分析计算, 考察本文对于安全系数和分项系数的标定值的可行性。跑道所处地区地下水位于

坡底以下, 因此不考虑孔隙水的影响。加筋土边坡结构如图 8 所示。

承德加筋土边坡填土强度由室内三轴试验获得, 具体参数见表 8。筋材选取 TGDG90 和 TGDG130 两种型号, 筋材原料为高密度聚乙烯 (HDPE)。2 种筋材按不同间距交替铺设在边坡内, 共铺设筋材 60 层, 具体铺设方式如图 8 所示。为方便计算, 将阶梯型加筋边坡进行简化处理, 求解安全指标时按最不利情况计算, 即选取强度较小的筋材 TGDG90 作为加筋材料, 同时, 假设该边

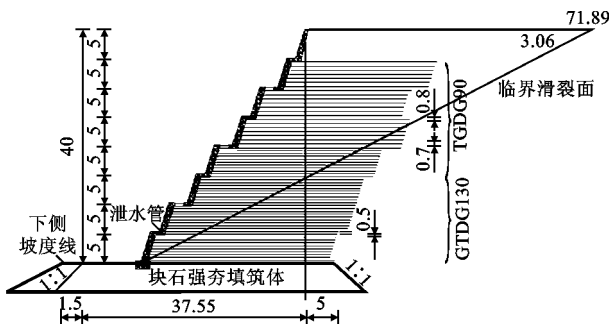


图 8 承德机场跑道加筋土边坡断面边坡剖面图(单位:m)

Fig. 8 Cross-sectional View of Chengde Airport Pavement Geotextile Reinforced Slope (Unit: m)

坡为均质边坡且筋材长度足够长,荷载组合为基本组合。

表 8 加筋土边坡结构与土体参数

Tab. 8 Parameters of Geotextile Reinforced Slope Structure and Soil Mass

结构	参数	取值
粉质黏土	地基土黏聚力 c_1 /kPa	36.35
	地基土摩擦角 φ_1 /($^\circ$)	15
	地基土压缩模量 E_s /MPa	4.87
边坡填土	填土黏聚力 c_2 /kPa	6.7
	填土重度 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	20
	填土内摩擦角 φ_2 /($^\circ$)	37.3
边坡结构	加筋边坡坡高 H /m	40
	坡角 α_s /($^\circ$)	56
筋材	TG DG90 强度 T_{ul1} /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	90
	TG DG130 强度 T_{ul2} /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	130
	筋材间距 S_v /m	0.5~0.8

(1)确定型模型稳定验算

对加筋土边坡进行稳定分析,强度指标的设计值取 0.2 分位值,采用库仑模式上限解法,通过式(2)进行迭代计算,搜索相应安全系数最小的临界滑裂面,得到最危险滑裂面坡顶滑入点 X 坐标为 71.89,相应于该滑裂面的安全系数为 3.06,如图 8 所示。

取其稳定允许安全系数 $F_a=1.35$,可见该加筋土边坡满足稳定性要求,此时安全系数相对安全率 $\eta_F=2.27$ 。

(2)分项系数设计方法验算

求解过程中强度指标的设计值仍取 0.2 分位值,且在第 4 节所得结论基础上建议加筋土边坡强度指标的分项系数值分别为 $\gamma_c=1.40$, $\gamma_f=1.25$, $\gamma_T=1.05$ 。

使用表 8 中参数以及强度指标分项系数值可以得到对应分项系数方法安全系数 $F_p=2.31$,分项系

数相对安全率 $\eta_p=2.31$ 。

(3)相对安全率法验算

计算过程中求得该加筋土边坡的可靠度指标为 $\beta_a=7.24$,安全系数的标准差 σ_F 为 0.36,则在允许可靠度指标为 $\beta_a=3.7$ 的条件下,通过式(20)得到可靠度相对安全率 $\eta_R=2.31$ 。由上述计算可知, $\eta_F=2.27$, $\eta_R=2.31$, $\eta_p=2.31$,基本满足 $\eta_R \approx \eta_p$, $\eta_R \approx \eta_F$ 的结论,可见相对安全率在此例中具有适用性。

6 结 语

(1)本文中假定一级建筑物的允许可靠度指标为 3.7,土的黏聚力和摩擦因数变异系数分别为 0.2 和 0.1,筋材强度的变异系数为 0.07,对一个特定的加筋土边坡算例,其安全系数允许值为 1.34,与传统边坡安全系数值允许值 1.3 相比略高。填土的黏聚力、摩擦因数和筋材强度的分项系数标定值分别为 $\gamma_c=1.38$, $\gamma_f=1.26$ 和 $\gamma_T=1.05$,和国内外规范的规定值接近。

(2)引入“相对安全率”的判据,变动上述算例中的坡高、坡度、土的黏聚力、摩擦因数和筋材强度及其变异系数,可以发现在所有情况下“ $\eta_R \approx \eta_F \approx \eta_p$ ”关系式成立,说明使用上述安全系数和分项系数的标定值可以保证在各种情况下的计算结果都能反映所考察的边坡的风险水平。需要特别指出的是,敏感性分析说明加筋土边坡随着坡度的增加相应可靠度指标和安全系数的相对安全率的变化是平稳的,人为地以 70° 为界,对同一个构筑物建立 2 套标准并没有必要。

(3)使用上述安全系数和分项系数的标定值对承德机场加筋土边坡进行稳定复核,同样得到了“ $\eta_R \approx \eta_F \approx \eta_p$ ”关系式成立的结论。这说明相应的标定值具有一定的工程实用意义。

参考文献:

References:

[1] JTJ 015—91,公路加筋土工程设计规范[S]. JTJ 015—91, Specifications for Design of Highway Reinforced Earth Engineering[S].
 [2] SL 386—2007,水利水电工程边坡设计规范[S]. SL 386—2007, Design Code for Engineered Slopes in Water Resources and Hydropower Projects[S].
 [3] BS 8006-1:2010, Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills[S].
 [4] FHWA-NHI-10-024, Design and Construction of Me-

- chanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes—Volume I [S].
- [5] BRÄU G. Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures Using Geosynthetic Reinforcements-EBGEO [M]. Translated by JOHNSON A. 2nd ed. Berlin: The German Geotechnical Society, 2011.
- [6] JTG D30—2015, 公路路基设计规范[S]. JTG D30—2015, Specifications for Design of Highway Subgrades[S].
- [7] 周建平, 王浩, 陈祖煜, 等. 特高坝及其梯级水库群设计安全标准研究 I: 理论基础和等级标准[J]. 水利学报, 2015, 46(5): 505-514.
ZHOU Jian-ping, WANG Hao, CHEN Zu-yu, et al. Evaluations on the Safety Design Standards for Dams with Extra Height or Cascade Impacts. Part I: Fundamentals and Criteria[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(5): 505-514.
- [8] 杜效鹄, 李斌, 陈祖煜, 等. 特高坝及其梯级水库群设计安全标准研究 II: 高土石坝坝坡稳定安全系数标准[J]. 水利学报, 2015, 46(6): 640-649.
DU Xiao-hu, LI Bin, CHEN Zu-yu, et al. Evaluations on the Safety Design Standards for Dams with Extra Height or Cascade Impacts. Part II: Slope Stability of Embankment Dams [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(6): 640-649.
- [9] 李斌, 陈祖煜, 王玉杰, 等. 拱座抗滑稳定可靠度指标和分项系数取值标准研究[J]. 水力发电学报, 2014, 33(6): 202-212.
LI Bin, CHEN Zu-yu, WANG Yu-jie, et al. Appraisal on Criteria for Arch Dam Abutment Stability Analysis Based on Reliability Index and Partial Factor Approaches[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2014, 33(6): 202-212.
- [10] 陈祖煜, 徐佳成, 孙平, 等. 重力坝抗滑稳定可靠度分析: (一) 相对安全率方法[J]. 水力发电学报, 2012, 31(3): 148-159.
CHEN Zu-yu, XU Jia-cheng, Sun Ping, et al. Reliability Analysis on Sliding Stability of Gravity Dams: Part I, An Approach Using Criterion of Safety Margin Ratio[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(3): 148-159.
- [11] 陈祖煜, 徐佳成, 陈立宏, 等. 重力坝抗滑稳定可靠度分析: (二) 强度指标和分项系数的合理取值研究[J]. 水力发电学报, 2012, 31(3): 160-167.
CHEN Zu-yu, XU Jia-cheng, CHENG Li-hong, et al. Reliability Analysis on Sliding Stability of Gravity Dams: Part II, Determination of Shear Strength Parameters and Partial Factors[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(3): 160-167.
- [12] CHEN Zu-yu, CHEN Li-hong, XU Jia-cheng, et al. Quantitative Deterministic Versus Probability Analyses Based on a Safety Margin Criterion[J]. Science China Technological Sciences, 2014, 57: 1988-2000.
- [13] 陈祖煜, 宗露丹, 孙平. 加筋土坡的可能滑移模式和基于库仑理论的稳定分析方法[J]. 土木工程学报, 2016, 49(6): 113-122.
CHEN Zu-yu, ZONG Lu-dan, SUN Ping. Investigation on Possible Failure Modes of Geotextile Reinforced Slopes and Coulomb's Approach to Stability Analysis[J]. China Civil Engineering Journal, 2016, 49(6): 113-122.
- [14] 陈祖煜, 詹成明, 姚海林, 等. 重力式挡土墙抗滑稳定分析安全判据和标准研究[J]. 岩土力学, 2016, 37(8): 2129-2137.
CHEN Zu-yu, ZHAN Cheng-ming, YAO Hai-lin, et al. Appraisal of the Safety Criteria and Standards for Stability Analysis of Gravity Retaining Walls[J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, 37(8): 2129-2137.
- [15] LESHCHINSKY D, REINSCHMIDT A J. Stability of Membrane Reinforced Slopes [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1985, 111(11): 1285-1300.
- [16] LESHCHINSKY D, BOEDEKER R H. Geosynthetic Reinforced Soil Structures[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1989, 115(10): 1459-1478.
- [17] CHEN W F. Limit Analysis and Soil Plasticity[M]. Amsterdam: Elsevier, 1975.
- [18] MICHALOWSKI R L. Three-dimensional Analysis of Locally Loaded Slopes [J]. Geotechnique, 1989, 39(1): 27-38.
- [19] DONALD I B, CHEN Z Y. Slope Stability Analysis by the Upper Bound Approach: Fundamentals and Methods[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1997, 34(6): 853-862.
- [20] MICHALOWSKI R L. Stability of Uniformly Reinforced Slopes[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1997, 123(6): 546-556.
- [21] MICHALOWSKI R L. Soil Reinforcement for Seismic Design of Geotechnical Structures[J]. Computers and Geotechnics, 1998, 23(1): 1-17.
- [22] 徐俊, 王钊. 上限法分析加筋土挡墙破裂面及临界高度[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2006, 39(1): 63-66.
XU Jun, WANG Zhao. Analysis of Rupture Surface and Critical Height of Reinforced Retaining Wall with Upper-bound Theory[J]. Engineering Journal of Wu-

- han University,2006,39(1):63-66.
- [23] 彭芳乐,曹延波.加筋砂土挡墙极限荷载的上限解[J].同济大学学报:自然科学版,2011,39(11):1598-1604.
PENG Fang-le,CAO Yan-bo. Upper Bound Solutions for Ultimate Load of Reinforced-sand Retaining Walls [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2011,39(11):1598-1604.
- [24] 沈均,何思明,吴永.基于上限定理的边坡横条分稳定计算[J].自然灾害学报,2010,19(5):132-136.
SHEN Jun, HE Si-ming, WU Yong. Horizontal Slice Method of Slope Stability Analysis Based on Upper Bound Theorem [J]. Journal of Natural Disasters, 2010,19(5):132-136.
- [25] 胡军,钟龙,杨昕光.基于水平条分任意滑动面的边坡稳定性分析上限法[J].土木工程学报,2013,46(6):117-121.
HU Jun, ZHONG Long, YANG Xin-guang. Upper Bound Approach for Slope Stability Analysis Based on Arbitrary Sliding Surface and Horizontal Slices [J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 46 (6): 117-121.
- [26] 杨昕光,迟世春,吕小龙.加筋土石坝抗震稳定的上限极限分析[J].水利学报,2014,45(3):304-311.
YANG Xin-guang, CHI Shi-chun, LU Xiao-long. Upper Bound Limit Analysis for Seismic Stability of Reinforced Slopes of Earth-rock Dams [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(3): 304-311.
- [27] GB 50153—2008,工程结构可靠性设计统一标准[S].
GB 50153—2008, Unified Standard for Reliability Design of Engineering Structures[S].
- [28] GB 50287—2006,水力发电工程地质勘察规范[S].
GB 50287—2006, Code for Hydropower Engineering Geological Investigation[S].
- [29] FHWA-NHI-10-025, Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes—Volume II [S].
- [30] GB 50199—2013,水利水电工程结构可靠性设计统一标准[S].
GB 50199—2013, Unified Design Standard for Reliability of Hydraulic Engineering Structures[S].
- [31] 杨果林,王永和.加筋土筋材工程特性试验研究[J].中国公路学报,2001,14(3):11-16.
YANG Guo-lin, WANG Yong-he. Study of Engineering Characteristic of Material Used Reinforced Earth [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(3): 11-16.
- [32] 肖成志,栾茂田,杨庆,等.土工格栅经验型蠕变模型及其参数试验[J].中国公路学报,2006,19(6):19-24.
XIAO Cheng-zhi, LUAN Mao-tian, YANG Qing, et al. Experiment on Empirical Creep Model and Its Parameters of Geogrids [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(6): 19-24.
- [33] BASHA B M, BABU G L S. Reliability Assessment of Internal Stability of Reinforced Soil Structures: A Pseudo-dynamic Approach [J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2010, 22(1): 336-353.
- [34] CHALERMNANONT T, BENSON C H. Reliability-Based Design for Internal Stability of Mechanically Stabilized Earth Walls [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2004, 22(1): 163-173.
- [35] 刘明维,王多垠,何光春.加筋土结构可靠度分析中两个重要参数的分布规律探讨[J].重庆交通学院报,2004,23(1):73-77.
LIU Ming-wei, WANG Duo-yin, HE Guang-chun. Discussing on Two Important Parameters' Distribution Regulations for Reliability Analysis of Reinforced Earth Structures [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2004, 23(1): 73-77.
- [36] 涂帆,常方强.土性参数的互相关性对加筋土挡墙可靠度的影响[J].岩石力学与工程学报,2005,24(15):2654-2658.
TU Fan, CHANG Fang-qiang. Effect of Cross-correlations Among Soil Parameters on Reliability of Reinforced Retaining Walls [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(15): 2654-2658.
- [37] 刘泽,杨果林,申超,等.加筋土挡墙结构系统的可靠度分析[J].中南大学学报:自然科学版,2012,43(3):1160-1165.
LIU Ze, YANG Guo-lin, SHEN Chao, et al. Structural System Reliability Analysis of Reinforced Earth Retaining Wall. [J] Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(3): 1160-1165.
- [38] 薛道骏,郭兴文,蔡新,等.充填管袋海堤抗滑稳定可靠度分析[J].低温建筑技术,2014(3):108-110.
XUE Dao-jun, GUO Xing-wen, CAI Xin, et al. Reliability Analysis of Sliding Stability for Geotube Seawall [J]. Low Temperature Architecture Technology, 2014(3): 108-110.
- [39] 汪承志,王广生,何光春,等.基于蒙特卡罗法的加筋土陡坡可靠度分析[J].重庆交通学院报,2004,23(增):44-46.
WANG Cheng-zhi, WANG Guang-sheng, HE Guang-chun, et al. Reliability Analysis of Reinforce-slope

- Stability Based on Monto Carlo Method[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2004, 23(S): 44-46.
- [40] 阙云, 胡昌斌. 加筋土路堤稳定可靠性设计的分项系数优化[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(5): 61-66. QUE Yun, HU Chang-bin. Partial Factor Optimization of Stable Reliability Design for Reinforced Embankment[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(5): 61-66.
- [41] 吴胜文, 陈振华, 陈伟. 基于可靠度的某加筋海堤整体稳定性分析[J]. 人民黄河, 2010, 32(5): 118-122. WU Sheng-wen, CHEN Zhen-hua, CHEN Wei. Analysis of the Overall Stability of a Reinforced Embankment Based on Reliability[J]. Yellow River, 2010, 32(5): 118-122.
- [42] 孙勇. 考虑土性相关性的加筋土堤坡可靠度计算研究[J]. 路基工程, 2011(1): 5-11. SUN Yong. Study on Reliability Calculation of Reinforced Soil Bank Considering Soil Correlation[J]. Subgrade Engineering, 2011(1): 5-11.
- [43] EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical Design—Part 1 General Rules[S].
- [44] DL/T 5353—2006, 水电水利工程边坡设计规范[S]. DL/T 5353—2006, Design Specification for Slope of Hydropower and Water Conservancy Project[S].

中国公路学会八届二次理事长工作会在西安召开

2016年9月25日下午,中国公路学会八届二次理事会在陕西省西安市召开。会议由中国公路学会理事长翁孟勇主持,副理事长刘家镇、唐伯明、马建、刘文杰(兼秘书长)等,以及副理事长代表、秘书处的相关负责人参加了会议。

翁孟勇在八届二次理事会工作报告中全面总结了八届一次理事会以来的工作。过去一年里,学会在学术交流、科技奖励、技术咨询、标准研制、课题研究、科普教育、会员服务、学会自身建设等方面取得了新的进展和进步。

翁孟勇安排部署了学会下一阶段的工作,审议确定学会有关事宜。翁孟勇强调,筹办“世界交通运输大会”和“一带一路公路交通联盟”是今后一段时期学会工作的重中之重,是进一步发挥学会作为交通运输部“走出去”公路领域牵头单位的平台作用,以拓展学会对外科技交流与合作的渠道,提升中国公路的国际影响力,配合国家“一带一路”战略,深入开展相关国家技术交流、标准规范融合以及人才培养、工程咨询合作等。

刘文杰汇报了“世界交通运输大会”的筹备情况。随着国家“一带一路”战略的实施,综合交通方式的协同发展,国际间的技术交流和融合,发展中的综合交通运输等需要一个世界级的大舞台。在学会理事会、秘书处反复研究和论证之后,提出了创办“世界交通运输大会”。

“世界交通运输大会”将聚焦“一带一路”发展中国家最新的科研成果、应用产品和解决方案等,为政、产、学、研提供一个酝酿创新、主导创新、展示创新、持续创新的国际化平台。目前,大会的筹备工作已经启动,学会专门成立了“世界交通运输大会”组委会办公室,对内制定了大会总体运行方案,并对大会的组织、筹备、运作进行了全面的部署。对外已相继开通微信公众号,论文征集、海外的传播也已经启动,社会各界反响热烈。