

山西河南西部地区黄土高边坡可靠度分析

李 萍, 王 宁, 高德彬, 李同录

(长安大学地质工程系, 陕西 西安 710054)

摘 要:在山西河南西部地区共测了 142 个黄土自然极限状态高边坡的剖面, 将研究区分成 3 个亚区, 分亚区采用双对数线性模型, 对所测极限状态坡的坡高和坡宽进行了不同置信度下的统计分析, 并将 1938 组工程勘察中测得的黄土物理力学指标分亚区和年代进行了统计, 用 Bishop 法稳定系数计算公式建立极限状态方程, 利用 Monte-Carlo 法对不同置信度下的统计边坡进行可靠度分析, 获得了三个亚区 5 组变异系数组合下和不同稳定系数下的高边坡失效概率。结果表明该区黄土粘粒含量高, 抗剪强度参数的变异性大, 失效概率较高。在变异系数取平均值水平, 稳定系数为 1.3 情况下边坡失效概率达 20%, 如果期望将设计边坡失效概率控制在 10% 以内, 安全系数需提高至 1.45 以上。

关键词:黄土边坡; Monte-Carlo 法; 可靠度; 失效概率; 极限状态坡

中图分类号: TU 43

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)04-0574-08

山西及河南西部地区主要指黄河以东、吕梁山以西及运城盆地和三门峡地区。由于研究区支离破碎的黄土沟壑地貌, 并受吕梁复杂断裂构造体系的控制等, 滑坡灾害频繁发生, 严重威胁着人类的生命财产安全。如吉县水洞沟黄土滑坡, 造成 24 人死亡; 运城-三门峡高速公路砂沟滑坡、汾阳-离石高速公路神桃沟滑坡等, 都对公路修建造成较大影响。黄土边坡稳定性成为该区工程建设中的一个关键技术问题。

研究区发育有典型的黄土台塬、梁、峁、沟壑地貌和马兰、离石、午城黄土地层, 黄土总厚度达 150 m 以上^[1-2], 工程诱发的滑坡多为黄土层内滑坡或黄土基岩接触面滑坡^[3-4], 目前工程中进行黄土边坡稳定性评价时, 多采用安全系数法。安全系数法不能考虑参数的变异性, 而测试结果发现该区黄土强度参数的变异系数大, 准确选取 c 、 φ 值较为困难, 造成黄土边坡稳定性评价结果具有较大的随机性。可靠度分析方法能较好地考虑参数的变异性^[5-7], 其结果有利于工程师对所设计边坡的风险水平有一个直观认识^[8-9], 也便于进行决策和管理, 但目前在黄土边坡稳定性评价中该法还没有普遍应用。

本文在调查和测量研究区黄土极限状态坡的基础上, 采用自然类比法思想^[10], 研究该区黄土高边坡的可靠度, 可为可靠度方法用于黄土边坡设计提供参考。

1 黄土极限状态坡调查与测量

自然类比法的基本思路是以黄土地区自然较陡边坡作为稳定系数为 1 的边坡, 以其为基础放缓坡度, 进行人工边坡设计。这些自然陡边坡被定义为“极限状态坡”, 其概念与判别标准在文献[10]中有详细的说明, 这里不再赘述。本文为了研究山西河南西部地区黄土边坡的可靠度, 在研究区测量了 142 个极限状态坡剖面, 根据地形地貌特征、水系及边坡岩土特征, 将研究区划分为三个亚区, 即三门峡-河津亚区、乡宁-吉县亚区和隰县-离石亚区, 分亚区进行极限状态坡坡高 H 与坡宽 L 的统计分析。统计模型采用双对数线性模型, 如图 1, 统计结果如表 1。表 1 所列方程中 L 为边坡坡宽(m), H 为边坡高度(m)。0.95、0.85、0.75 置信度下的数值为方程中的常数项。采用一定的置信度, 是因为测量的边坡在同一坡高下有若干坡度, 趋势线回归采用最小二乘法, 趋近于均值, 不同置信度下的回归可以体现测量样本的范围。采用坡高与坡宽的关系图中不同置信度上限, 实质上是系统地放缓了极限状态坡。

收稿日期: 2012-12-03 修改稿日期: 2013-08-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40772181, 40972182)

作者简介: 李 萍(1971-), 女, 内蒙古临河人, 博士, 副教授, 主要从事地质工程教学、黄土强度特性及黄土边坡可靠度等方面研究。

三门峡-河津亚区为龙门山以南的黄土台塬及黄河阶地地区,在运城-三门峡一线台塬之上地势平坦,其间沟壑狭窄,沟深坡陡,城镇坐落于台塬之上。该亚区出露边坡地层主要为 Q_4 、 Q_3 和 Q_2 黄土地层, Q_4 、 Q_3 黄土厚 10 m 左右, Q_2 黄土厚达 60 m 以上。黄土中粘粒含量较高,多达 20% 以上。该亚区黄土的粘聚力高,在饱和状态下测得的粘聚力均值达 30 kPa,且湿陷性较小。在陕县、三门峡、临猗、万荣共测极限状态坡 28 个。由图 1(a)可见高边坡较少,所测最高边坡 59.6 m,但低坡陡,21.9 m 高边坡坡度达 73° 以上,双对数线性回归曲线的斜率较大,说明从低坡至高坡,坡度变化率较大。

乡宁-吉县亚区为龙门山以北的西坡镇到大宁南的窑头地区。该亚区主要为鄂河流域、河川洲流域和昕水河流域,地貌上为黄土塬、梁沟壑区,植被较少,滑坡非常发育,城镇多坐落在河流阶地上。该亚区 Q_4 黄土层薄,多为 Q_3 和 Q_2 黄土。 Q_3 马兰黄土厚 10 m 左右, Q_2 离石黄土厚 50 m 左右, Q_1 午城黄土有些地方缺失,有些地方达 60 m 以上,南部午城黄土颜色以黄褐色为主,仅在吉县以北开始局部出露厚层红色 Q_1 古土壤,下覆基岩主要为泥砂岩。该亚区共测极限状态坡 60 个,测得最高边坡 115.7 m,坡度 28.6°,最低边坡 28.2 m,坡度 67.5°,由图 1(b)可见,坡高与坡宽的相关系数达 0.94,显示出二者有很好的相关性。

隰县-离石亚区为大宁以北的广大区域,该亚区主要以黄土塬为主。午城黄土与离石黄土在该亚区发育较为典型。黄土塬区 Q_4 、 Q_3 地层厚度有一定的变化,但总厚度多在 10 m~20 m, Q_2 地层厚在 60 m 左右。 Q_3 和 Q_2 黄土粘聚力较小,内摩擦角较高, φ 均值达 28° 以上。该亚区下部普遍发育着一厚层暗红色黄土层,此即为典型 Q_1 午城黄土,发育在边坡底部,含水量较高,强度较低,内摩擦角多不足 20°,对边坡的稳定性有较大的影响。在该区共测量极限状态坡 54 个。从图 1(c)的统计点图与表 1 所示的统计公式可见,该亚区边坡低坡坡度较缓,高坡坡度较陡,测得最高边坡坡高 100 m,坡度 35.8°,最低边坡坡高 18.1 m,坡度 64.1°,回归方程斜率小,曲线较为平缓。

由以上对三个亚区的极限状态坡分析可见,由南至北,坡高与坡宽统计方程中的斜率逐渐减小,说明南部的低坡陡,高坡缓;北部的低坡缓,高坡相对南部的高坡要陡。南部的粘聚力大,内摩擦角小;北部粘聚力小,内摩擦角大。粘聚力对低坡有控制作用,内摩擦角对高坡有控制作用^[11]。

2 各亚区地层强度参数统计与选取

共收集了山西临县-离石高速公路、临汾-运城高速公路、临汾-吉县高速公路以及太原-佳县高速公路在研究区的 1 938 组土样,分亚区和年代统计了其物理力学指标,力学指标由直快剪测定,结果见表 2。每一亚区地层划分综合了地层年代和土质干密度,总体上 Q_4 和 Q_3 地层干密度小于 1.4 g/cm³, Q_2 地层干密度在 1.4~1.7 g/cm³ 之间, Q_1 地层大于 1.7 g/cm³^[12]。各层强度指标 c 、 φ 值综合了统计值、测量滑坡恢复边坡反演值和各亚区取样测试值。经 K-S 检验,各亚区不同地层的 c 、 φ 值均符合正态分布。

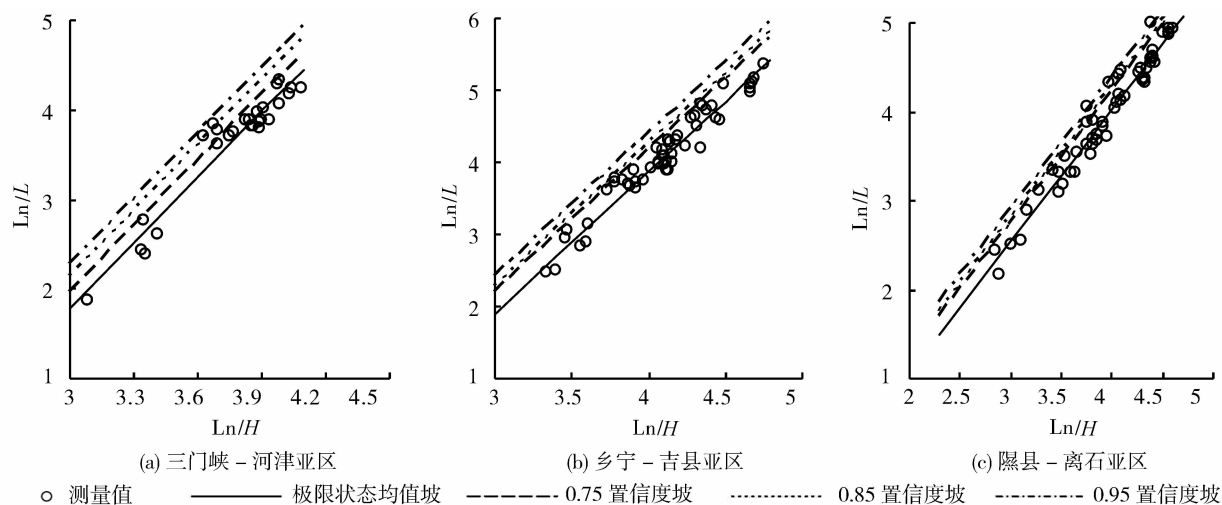


图 1 三亚区极限状态坡统计

Fig. 1 The statistic of natural limit-state slope in the three subareas

表 1 极限状态坡统计表

Tab.1 Statistical table of the natural limit-state slopes

亚区	统计个数	按均值回归方程	R^2	0.95 置信度 常数项	0.85 置信度 常数项	0.75 置信度 常数项
三门峡-河津亚区	27	$\ln(L)=2.425\ln(H)-5.478$	0.92	-4.998	-5.132	-5.30
乡宁-吉县亚区	60	$\ln(L)=1.962\ln(H)-3.982$	0.94	-3.448	-3.593	-3.672
隰县-离石亚区	54	$\ln(L)=1.497\ln(H)-1.958$	0.95	-1.596	-1.694	-1.748

表 2 各亚区黄土物理力学指标统计表

Tab.2 Statistical table of physical and mechanical indexes of loess in each subarea

指标	三门峡-河津亚区		乡宁-吉县亚区			隰县-离石亚区		
	Q_3	Q_2	Q_3	Q_2	Q_1	Q_3	Q_2	Q_1
	$\gamma_d < 1.4$	$1.4 \leq \gamma_d < 1.7$	$\gamma_d < 1.4$	$1.4 \leq \gamma_d < 1.7$	$\gamma_d \geq 1.7$	$\gamma_d < 1.4$	$1.4 \leq \gamma_d < 1.7$	$\gamma_d \geq 1.7$
样本数	297	189	92	536	225	23	467	102
含水量 $w/\%$	13.7	14.4	9.2	17.5	18.9	13.1	17.8	17.0
天然密度 $\gamma/g \cdot cm^{-3}$	1.49	1.71	1.42	1.82	2.02	1.52	1.86	2.03
干密度 $\gamma_d/g \cdot cm^{-3}$	1.31	1.50	1.30	1.55	1.70	1.34	1.58	1.74
孔隙比 e	1.068	0.811	1.094	0.759	0.599	1.027	0.726	0.563
饱和度 $S_r/\%$	34.9	48.8	23.4	65.1	85.9	34.9	67.4	82.0
液限 $I_L/\%$	27.1	26.6	26.3	26.8	28.1	26.6	26.8	27.3
塑限 $P_L/\%$	17.1	16.9	16.8	17.0	17.4	16.9	17.0	17.2
塑性指数 $I_P/\%$	10.0	9.7	9.5	9.8	10.6	9.7	9.8	10.2
粘聚力 c/kPa	39.1	47.9	41.2	54.3	71.5	11.8	25.9	47.1
内摩擦角 $\varphi/^\circ$	23.7	24.9	25.2	24.2	22.9	27.0	29.7	20.9

3 研究区黄土的变异性特征

从各亚区的勘察报告中选取 19 个工点的深孔资料,分地层年代统计 c 、 φ 值的变异系数,统计结果如表 3 所示.

表 3 c 、 φ 值变异系数

Tab.3 Coefficient of variation of c and φ

序号	工点名称	地层年代	样数	COV _c	COV _φ	序号	工点名称	地层年代	样数	COV _c	COV _φ
1	临县-离石公路 K21	Q_2	6	0.30	0.19	17	临吉高速乡宁 1#隧道	Q_2	8	0.84	0.16
2		Q_1	9	0.70	0.28	18	临吉高速乡宁 2#隧道	Q_2	8	0.41	0.38
3	临县-离石公路 K24	Q_1	15	0.71	0.29	19	临吉高速吉县 1#隧道	Q_2 上部	9	0.54	0.18
4	临县-离石公路 K18	Q_2	15	0.43	0.17	20		Q_2 下部	7	0.16	0.12
5	临县-离石公路 K27	Q_2	15	0.46	0.25	21	临吉高速吉县 4#隧道	Q_2 上部	16	0.69	0.22
6	临县-离石公路 K250	Q_3	15	0.53	0.24	22		Q_2 下部	20	0.35	0.22
7		Q_2	7	0.46	0.30	23	临吉高速吉县 3#隧道	Q_2 上部	19	0.44	0.19
8	临县-离石公路 K120	Q_2	13	0.42	0.19	24		Q_2 下部	19	0.44	0.30
9		Q_1	15	0.63	0.37	25	临吉高速吉县 2#隧道	Q_2 上部	16	0.54	0.15
10	临县-离石公路 K41	Q_2	7	0.66	0.28	26		Q_2 下部	25	0.46	0.29
11		Q_1	7	0.85	0.32	27	临吉高速吉县 1#隧道	Q_2	20	0.94	0.25
12	临县-离石公路 EK35	Q_3	10	0.82	0.33	28	临吉高速高楼隧道	Q_2 上部	47	0.43	0.26
13		Q_3	13	0.76	0.11	29		Q_2 下部	16	0.58	0.28
14	临县-离石公路 EK35	Q_2	9	1.12	0.32	30	临吉高速进师岭隧道	Q_2 上部	51	0.57	0.24
15		Q_1	8	0.80	0.30	31		Q_2 下部	35	0.50	0.33
16	临吉 K255+391 天桥	Q_2	16	0.69	0.16						

注:COV_c表示粘聚力的变异系数;COV_φ表示内摩擦角的变异系数.

从表3可以看出,研究区黄土强度参数的变异系数较大,且粘聚力变异系数 COV_c 明显大于内摩擦角变异系数 COV_φ , COV_c 的范围在 0.16—1.12, 均值 0.57, 94% 大于 0.30, 85% 大于 0.40, 58% 大于 0.50, 39% 大于 0.60; COV_φ 的范围在 0.11—0.49, 均值 0.26, 94% 大于 0.15, 70% 大于 0.20, 58% 大于 0.25, 33% 大于 0.30. 该区的强度参数变异系数均值大于甘肃省和陕西省的 1 倍以上, 尤其是隰县-离石亚区的 Q_1 午城黄土, 强度参数变异性一般都非常大, 统计的 5 个工点 Q_1 地层, COV_c 都在 0.70 以上, COV_φ 都在 0.30 以上. 较多学者采用直剪试验测试结果发现含水量对粘聚力有较大影响, 对内摩擦角影响较小^[13]. 影响较小就意味着变异性小, 实际上这一结果还需考察测试土样的粘粒含量. 粘粒含量高, 含水量对 φ 值的影响越大. 黄土地层是由黄土和古土壤互层构成, 粘粒含量较高的地层, 如表4中山西吉家塬的 H8 号土样, 粘粒含量达 33.2%, 在低含水量下粘聚力极高, 内摩擦角也高. 高含水量下粘聚力降低, 内摩擦角降低幅度也较大; 而粘粒含量较低的地层, 如表4中午城镇的 H14 号样, 低含水量下粘聚力相对较低, 内摩擦角较高; 含水量达到饱和, 粘聚力有较大幅度的下降, 而内摩擦角随含水量的增高变化较小. 山西河南地区地处黄土高原东南部, 其物源既有来自西北沙漠的细粒土, 也有来自黄河漫滩的粗粒土, 成分极不均一, 造成该区强度参数变异性较大.

4 可靠度计算模型和结果分析

常用的可靠度计算方法有 Monte-Carlo 法、一次二阶矩法和点估计法. Monte-Carlo 法是最常用的一种方法^[14]. 本文即采用 Monte-Carlo, 以 Bishop 法稳定性计算公式建立极限状态方程^[15]. 具体计算采用 GeoStudio2007 软件. 三个亚区边坡坡高与坡度采用极限状态均值坡与三种置信度坡. 由于三个亚区测量的最高边坡坡高不同, 参考统计样本及一般工程边坡的高度, 可靠度计算时, 三门峡-河津亚区坡高计算至 60 m, 乡宁-吉县亚区和隰县-离石亚区坡高计算至 110 m, 最低坡高从 20 m 算起, 10 m 一个步长. 三个亚区共计算了 100 个地质模型. 综合不同年代地层厚度与干密度区间, 采用了统一的地层划分方案, 共三层, Q_4 地层较薄, 与 Q_3 划归一层, 厚 10 m; Q_2 厚 60 m; 其下都为 Q_1 地层. 计算 70 m 高边坡, 仅有 Q_3 和 Q_2 地层, 大于 70 m 高的边坡才考虑了 Q_1 地层. 地层强度参数 c 、 φ 值的均值和天然密度按表2取值. 在进行 Monte-Carlo 模拟时, 考虑了 c 、 φ 和 γ 值的变异性. 按照工点分析结果, COV_c 和 COV_φ 取了表5的5种组合. 所有亚区密度 γ 的变异系数都取了 0.06, 不与 c 、 φ 值进行组合. 每个地质模型在相同的 c 、 φ 均值情况下, 进行 5 种变异性组合的可靠度分析, 共进行了 500 次 Monte-Carlo 模拟, 每次模拟随机抽样 5 000 次.

不同置信度下坡高与失效概率的关系曲线如图2. 按相同的稳定系数和变异系数, 获得不同坡高和坡度下最大失效概率值如表6. 这里需要说明, 对于某一变异系数组合和稳定系数, 高坡和低坡的失效概率并不相同, 因此4个置信度下不同坡高的失效概率, 在同一稳定系数下有所不同, 图3绘制了三个亚区在 $COV_c = 0.4$ 、 $COV_\varphi = 0.15$ 变异系数组合下失效概率随稳定系数的变化, 文献^[15]中表4所列的最大值和最小值, 即为图3所示同一稳定系数下的最大值和最小值, 当 COV_c 和 COV_φ 相差较大时, 最大值与最小值相差较大, 有些达 10% 以上. 在 COV_c 和 COV_φ 相差较小时, 最大值与最小值较为接近. 意味着参数均值与变异系数相同, 稳定系数也相同的情况下, 高边坡与低边坡的失效概率也可能相差较大, 一般 COV_c 值大, 低坡的失效概率较高坡高; COV_φ 值大, 高坡的失效概率较低坡高. 在表6所示的为同一稳定系数下失效概率的最大值, 代表最危险坡高的情况.

根据模拟结果可见, 从极限状态均值坡到 0.95 置信度坡, 边坡系统地变缓, 稳定性增高. 整体上极

表4 不同粘粒含量下黄土强度变化特征

Tab. 4 Variation characteristics of loess strength under different clay content

样号 样点	年代	粘粒含量 /%	含水量 /%	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /°
H8 吉家塬	Q_2	33.2	9.4	124.7	29.2
			14.7	83	21.9
			21.7	68.5	14.5
H14 午城镇	Q_2	13.1	11.0	40.9	28.0
			23.1	18.0	29.1
			25.6	23.5	25.9

表5 黄土变异系数组合表

Tab. 5 Coefficient of variation combination

COV 组合	c 变异系数 COV_c	φ 变异系数 COV_φ
组合 1	0.30	0.15
组合 2	0.40	0.15
组合 3	0.50	0.20
组合 4	0.57	0.26
组合 5	0.60	0.30

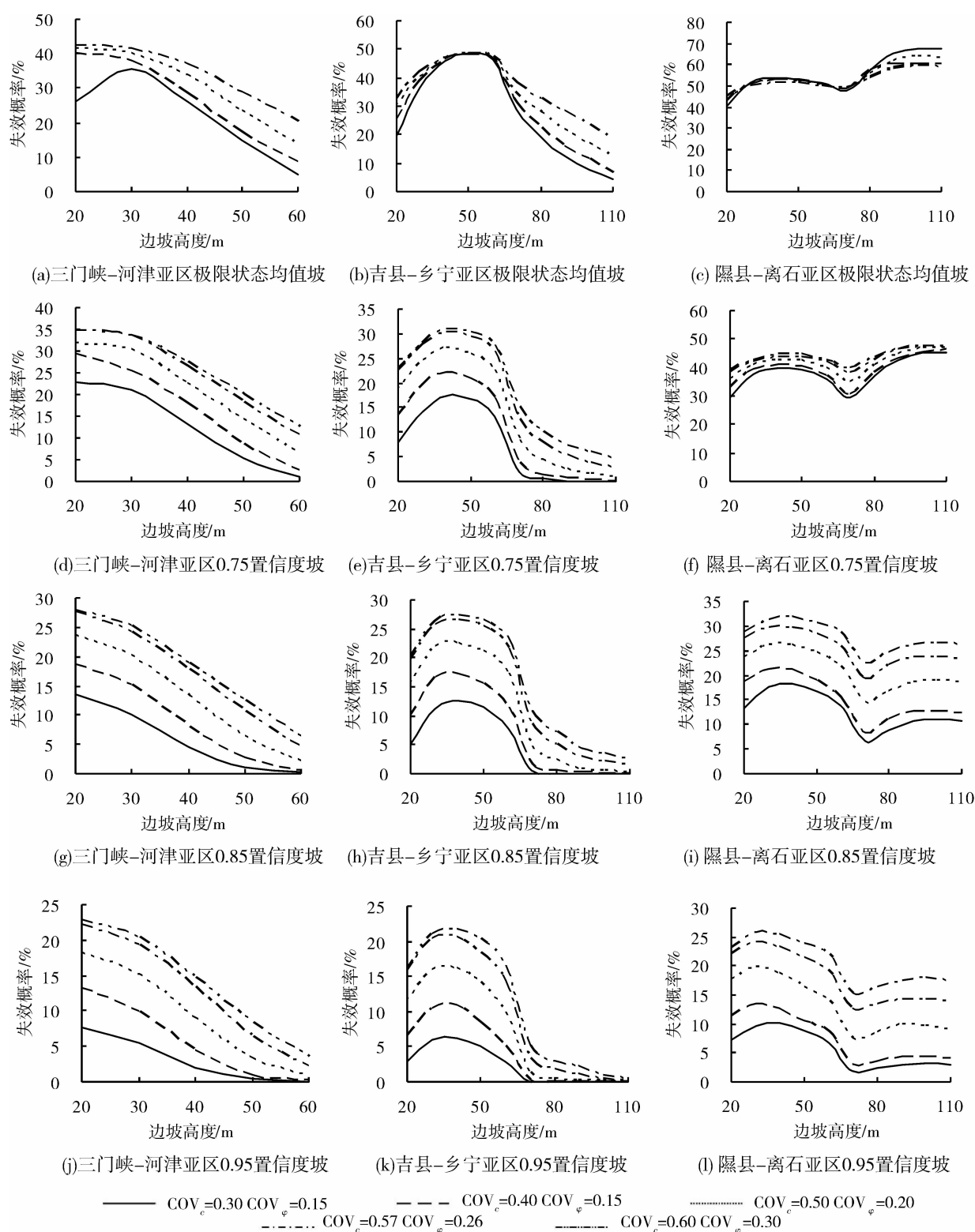


图2 坡高与失效概率变化关系曲线

Fig. 2 The relationship between the height of slope and P_f

限状态均值坡失效概率 P_f 在 50% 左右, 稳定系数在 1.0 左右; 0.75 置信度坡 P_f 在 30% 左右, 稳定系数在 1.1 左右; 0.85 置信度坡 P_f 在 25% 左右, 稳定系数多在 1.15~1.20; 0.95 置信度坡 P_f 在 20% 以内, 稳定系数多大于 1.25. 不同的变异系数组合下, 失效概率相差较大, 如乡宁-吉县亚区 0.95 置信度坡, 50m 高边坡, $COV_c=0.3$ 、 $COV_\phi=0.15$ 变异系数组合下失效概率为 5.1%, 而在 $COV_c=0.6$ 、 $COV_\phi=$

0.3 变异系数组合下失效概率为 20.3%。所以在讨论失效概率时,必须考虑参数的变异系数的大小.在隰县-离石亚区较其它两个亚区稳定性更差,失效概率更高,说明其整体上自然边坡坡度陡,强度低,稳定性差.

表 6 三亚区最大失效概率与稳定系数

Tab. 6 The data between F_s and the maximum P_f in the three subareas

COV 组合	综合三亚区及各个坡高,不同稳定系数下的最大失效概率/%										
	1.0	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50
1	50.0	38.0	30.0	22.1	15.0	12.0	8.5	5.6	3.8	1.3	0.4
2	48.0	40.0	33.1	27.9	20.0	17.1	13.8	10.5	7.5	2.4	1.0
3	48.1	41.2	36.2	31.2	25.0	22.0	19.2	16.6	13.1	5.6	2.4
4	49.2	43.1	38.0	34.1	28.0	25.5	23.3	20.0	17.5	10.0	5.0
5	49.0	44.0	40.0	34.1	28.5	26.4	24.0	21.1	18.4	11.6	7.4

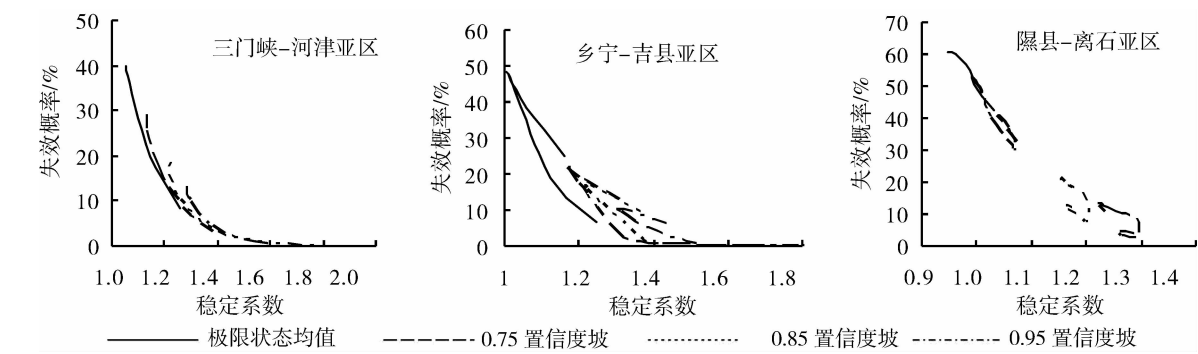


图 3 $COV_c=0.4, COV_\varphi=0.15$ 变异系数组合下稳定系数与失效概率关系

Fig. 3 Relationship between F_s and P_f in $COV_c=0.4, COV_\varphi=0.15$

研究区的参数变异性较大,变异系数组合 4 为变异系数平均水平.从表 6 可见在这一变异系数组合下,当稳定系数达 1.45 以上,失效概率才能降至 10% 以下.目标可靠度的大小,应与工程的重要性相关,还需要考虑工程的投资与回报率.文献[15]对陕西高速公路提出了路堑边坡设计可靠度标准.建议高速公路和一级公路失效概率应小于 7%~10%,稳定系数在 1.3 左右.二级和二级以下公路小于 14%~16%,稳定系数在 1.2 左右.这一标准是在 $COV_c=0.30, COV_\varphi=0.15$ 条件下提出的,陕西黄土 COV_c 和 COV_φ 有 63% 小于这一变异系数标准.根据表 6,本文研究的黄土地区,在 $COV_c=0.30, COV_\varphi=0.15$ 和稳定系数为 1.30 时三个亚区失效概率都小于 8.5%;稳定系数为 1.20 时失效概率都小于 15.0%,也能符合这一标准.问题是研究区仅有 6% 的工点满足 $COV_c<0.30$ 和 $COV_\varphi<0.15$,三个亚区在平均值 $COV_c=0.57, COV_\varphi=0.26$ 水平和稳定系数在 1.40 时,失效概率最大值达 17.5%,1.30 时达 23.3%,1.20 时达 28.0%.高变异系数下,如果仍按文献[15]的标准执行,意味着需要降低坡度或增加支挡工程量,当前投入资金量大.如果设计失效概率取较大的值,意味着工程承担较高的风险,后期维修工程量将会提高.

5 结 论

测量了山西河南西部黄土高原地区 142 个黄土极限状态坡剖面,根据地形地貌特征、水系及边坡岩土条件,将该区分为三个亚区,分亚区采用双对数线性模型统计了极限状态坡的坡高与坡宽在不同置信度下的相关关系.收集了该区勘察报告中 1 938 组黄土试验样本,分亚区和年代统计了其物理力学指标,并分析了该区强度指标 c, φ 值变异系数的特点.

将 c, φ 值变异系数进行 5 种组合,采用 Bishop 法建立极限状态方程,用 Monte-Carlo 法进行了不同置信度下极限状态坡的可靠度计算.系统分析了研究区坡高、坡度、稳定系数及参数变异系数与失效

概率的关系.研究发现山西河南西部地区与甘肃和陕西相比,强度参数的变异系数较高,在相同的稳定系数下,边坡的失效概率较大.在该区进行边坡设计,工程师需要考虑工程重要性、工点的强度参数来源及其变异系数,综合评估失效概率与安全系数量值进行边坡设计.

参考文献 References

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
Liu Dong-sheng. Loess and Environment[M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [2] 张宗祜, 张之一, 王芸生. 中国黄土[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
ZHANG Zong-hu, ZHANG Zhi-yi, WANG Yun-sheng. Chinese Loess[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [3] 沈 勇. 关于山西地质灾害调查与区划的思考[J]. 科技情报开发与经济, 2003, 13(12): 183-184.
SHEN Yong. Consideration about Shanxi Geological Disaster Investigation and Regionalization[J]. Sci/tech information Development and Economy, 2003, 13(12): 183-184.
- [4] 吉彬彬, 许 冲, 李金玲, 等. 山西高速公路沿线黄土滑坡分类及分布规律研究[J]. 公路交通技术, 2009(1): 1-4.
JI Bin-bin, XU Chong, LI Jin-ling, et al. Study on Classification and Distribution Regulations of Loess Slope Slides along Highway in Shanxi Province[J]. Technology of Highway and Transport, 2009, (1): 1-4.
- [5] SHOU K, CHEN Y, LIU H. Hazard analysis of Li-shan landslide in Taiwan[J]. Geomorphology, 2009, 103: 143-153.
- [6] DÜZGÜN H S B, ÖZDEMİR A. Landslide risk assessment and management by decision analytical procedure for Dereköy, Konya, Turkey[J]. Nat Hazards, 2006, 39: 245-263.
- [7] KHALIFA M A, El Ganainy M A, NASR R I. Probabilistic Assessment Study of Channels Downstream Slopes Erosion in the Maritime Environment[J]. Journal of Coastal Research, 2009, 25(5): 1130-1142.
- [8] 谢全敏, 边 翔, 夏元友. 滑坡灾害风险评价的系统分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(1): 71-74.
XIE Quan-min, BIAN Xiang, XIA Yuan-you. Systematic analysis of risk evaluation of landslide hazard[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(1): 71-74.
- [9] 李典庆, 吴帅兵. 考虑时间效应的滑坡风险评估和管理[J]. 岩土力学, 2006, 27(12): 2239-2245.
LI Dian-qing, WU Shuai-bing. Landslide risk assessment and management considering time effect[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(12): 2239-2245.
- [10] 李 萍, 王秉纲, 李同录. 自然类比法在黄土路堑边坡设计中的应用研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26(2): 2-5.
LI Ping, WANG Bing-gang, LI Tong-lu. Study on Analogism Used in Highway Cutting Loess Slope Design[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(2): 2-5.
- [11] 张常亮, 李 萍, 陶福平, 等. 黄土强度指标对边坡稳定性的影响研究[J]. 公路交通科技, 2008, 28(3): 20-24.
ZHANG Chang-liang, LI Ping, TAO Fu-ping, et al. Research of Effect of Strength Index on Loess Slope Stability [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28(3): 20-24.
- [12] 李 文. 含水率对甘肃黄土边坡抗剪强度的影响研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
LI Wen. Study of the Water Content Effect on Shear Strength of Loess Slope in GanSu Area[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [13] 廖红建, 韩 波, 殷建华, 等. 人工开挖边坡的长期稳定性分析与土的强度参数确定[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(5): 560-564.
LIAO Hong-jian, HAN Bo, YIN Jian-hua, et al. The long term stability of cut slope and determination of effective strength index of soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(5): 560-564.
- [14] 傅旭东, 赵善锐. 用 Monte-Carlo 方法计算岩土工程的可靠度指标[J]. 西南交通大学学报, 1996, 31(2): 164-168.
FU Xu-dong, ZHAO Shan-rui. Applying the Monte-Carlo Simulation to Calculate the Geotechnical Reliability Index[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1996, 31(2): 164-168.
- [15] 李 萍, 王秉纲, 李同录, 等. 陕西地区黄土路堑高边坡可靠度研究[J]. 中国公路学报, 2009, 22(6): 18-25.
LI Ping, WANG Bing-gang, LI Tong-lu, et al. Study of Reliability for Loess Cutting High Slope in Shaanxi Province[J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22(6): 18-25.

Analysis on the reliability of the loess slopes in West Shanxi and Henan Provinces

LI Ping, WANG Ning, GAO De-bin, LI Tong-lu

(Department of Geological Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to analyze the reliability of loess high slopes, 142 natural limit-state slopes were measured in west Shanxi and Henan area. According to the characteristics of topography, water system and lithology, the studied region is divided into 3 subareas. The correlations of limit-state slope height and slope width are given by means of double log-linear regression in different confidence limit in 3 subareas respectively. Meanwhile, 1938 groups of indexes of loess physical and mechanical property were collected and statistically analyzed. Based on the above, the limit-state equation was built by means of Bishop Method and reliability analysis for the slope stability under different confidence in each subarea is carried out with the Monte-Carlo method. The failure probability of high slopes under 5 groups of combinations of variation coefficient and different factor of safety are given. The results show that the clay content of loess in the studied area is higher, and the variability of shear strength parameters is greater. The maximum of failure probability of loess slopes reaches 20% in the case of the average variation coefficient as well as the factor of safety in 1.3. If the failure probability is controlled within 10%, the factor of safety should be increased to 1.45. This researching achievements are considered to be worthy of the widespread use of reliability theory in loess high slope design in west Shanxi and Henan area.

Key words: loess slope; Monte-Carlo method; reliability; failure probability; limit-state loess slopes

Biography: LI Ping, Associate Professor, Ph. D., Xi'an 710054, P. R. China, Tel: 0086-13891936410, E-mail: dcdgx07@chd.edu.cn

(上接第 573 页)

[10] 朱一民, 王忠安, 苏秀娟, 等. 钙基膨润土对水相中铜离子的吸附[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2006, 27(1): 99-102.

ZHU Yi-min, WANG Zhong-an, SU Xiu-juan, et al. Adsorption of Cu^{2+} by Ca-Bentonite in wastewater [J]. Journal of Northwestern University: Natural Science, 2006, 27(1): 99-102.

Dynamics characteristics of Cu^{2+} adsorption by bentonite-poly acrylic acid sodium

ZUO Ke-sheng¹, LIU Jian-chao¹, WANG Yang²

(1. College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Zhen'ao Dingsheng mineral Co. Ltd. Baoji 721700, China)

Abstract: The mechanism of copolymerization of bentonite-acrylic acid sodium and the characteristics of water absorption, Cu^{2+} adsorption and desorption were investigated. Acrylic acid mainly reacts around bentonite particles, and still a few of acrylic acid reacts in the interlamination of montmorillonite. The addition of bentonite can improve the water-absorption property of the copolymer within a certain addition amount range. In high concentration of Cu^{2+} solution, the addition of bentonite produce no significant effect on the Cu^{2+} adsorption property of the copolymer, but it will retard the Cu^{2+} desorption process. The water-absorption process of the copolymer follows pseudo first order kinetics equation, and the ion adsorption and desorption process follows pseudo second order kinetics equation.

Key words: bentonite; poly acrylic acid sodium; polymerization; adsorption; desorption

Biography: ZUO Ke-sheng, Associate Professor, Ph. D., Xi'an 710054, P. R. China, Tel: 0086-13572096532, E-mail: keshengz@chd.edu.cn