

# 新老两级填方边坡稳定性评估研究

代先尧

湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年3月21日; 录用日期: 2024年4月11日; 发布日期: 2024年4月23日

## 摘要

为了分析新老两级填方边坡稳定性评估方法, 以秭归县屈原文化旅游区(北区)旅游设施配套项目边坡工程为依托, 在查明该边坡地质结构的基础上, 调查评估了边坡稳定性现状, 预测了破坏形式, 进行了稳定性综合评价, 并提出了边坡防护方案建议。研究经验可为类似工程边坡的稳定性评估及治理提供参考。

## 关键词

市政, 高边坡, 稳定性评估

# Study on the Stability Assessment of the New and Old Two-Stage Filling Slope

Xianyao Dai

Hubei Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Mar. 21<sup>st</sup>, 2024; accepted: Apr. 11<sup>th</sup>, 2024; published: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2024

## Abstract

In order to analyze the assessment methods of the stability of the new and old two-stage fill slopes, the slope engineering of the tourism facilities supporting project in Qu Yuan Cultural Tourism District (North District), Zigui County, was used as the basis. On the basis of ascertaining the geological structure of the slope, the present situation of the slope stability is investigated and evaluated, the failure forms are predicted, the stability is comprehensively evaluated, and the protection scheme of the slope is proposed. The research experience can provide a reference for the stability assessment and treatment of similar engineering slopes.

## Keywords

Municipal Administration, High Slope, Stability Assessment

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着山区市政工程事业的发展,填方边坡数量与日俱增,如何准确评估高填方边坡的稳定性,对市政工程项目的安全运用具有重要的意义。

目前国内部分学者和工程师开展了边坡稳定性影响因素和边坡治理措施的研究。李和志等[1]采用数值模拟分析了斜坡在不同工况下的稳定性和变形,评估了斜坡的稳定性及其发展趋势。张骞等[2]分析了列车移动荷载作用下对边坡稳定性的影响,研究了边坡的稳定性和力学发展规律。廖赞[3]以某边坡为研究对象,分析了边坡内部结构面性状及位置对边坡稳定性的影响。杨志斌[4]采用数值模拟的方法研究了治理前后某黄土高边坡稳定性特征。顾玉明等[5]研究了土体各向异性渗透、黏聚力、内摩擦角、重度对边坡稳定性的影响。蔡雪婷等[6]研究了影响排土场边坡稳定性的因素和影响程度。范永丰等[7]研究了采用土工格室方式加固边坡的稳定性影响因素。刘彦等[8]研究了影响弃土场边坡稳定的物理力学性质。王艳坤等[9]分析了采用锚杆-土工格室复合方式加固边坡的影响因素。彭贤清等[10]研究了土工格室的选型对边坡稳定性的影响。顾婕等[11]研究了影响加筋土边坡稳定性的因素。段君义等[12]研究了地基土和填料的差异性对填方边坡稳定性的影响。李梦姿等[13]研究了抗拉强度剪断对非饱和土边坡稳定性的影响。李玉瑞等[14]研究了降雨对桩锚-加筋土加固边坡稳定性的影响。胡志强[15]研究了风化程度、非饱和效应对土质边坡稳定性的影响。

然而,已有的研究成果关于在老填土上新增填土的两级填方边坡稳定性研究的成果不多,有待深入研究。本文结合秭归县屈原文化旅游区(北区)旅游设施配套项目边坡工程案例,查明了该边坡治理工程地质结构、调查了边坡稳定性现状,预测了破坏形式,进行了稳定性综合评价,并提出了防护方案建议,可为类似工程边坡的稳定性评估及治理提供参考。

## 2. 工程背景

秭归县屈原文化旅游区(北区)旅游设施配套项目边坡,高约 50 m(如图 1 所示)。坡顶地面高程 265 m,坡顶为秭归县金缸城新区楚文化商业街,主要建(构)筑物包括商业、酒店、其他公共建筑、配套用房、车库及设备用房等;坡脚为秭归县茅坪镇龙舟路,路面高程 210 m 左右,龙舟路东南侧为山水龙城小区。



Figure 1. Photo of the parallel segment

图 1. 边坡照片

该边坡由两次填土形成，场地从 2012 年开始堆填素填土，边坡挡墙采用扶壁式钢筋砼挡墙，墙高约 4 m。2020 年楚街项目开发，填筑一条高 20 m，长 260 m 的加筋挡土边坡挡墙，以形成现有地形地貌。加筋土边坡挡墙施工完成后，现场巡查发现，扶壁式挡墙面板上以及地面出现多处不同程度开裂。

场区上部覆盖层由素填土(Q<sub>4</sub><sup>m</sup>)组成，下伏基岩为下元古界前震旦系花岗岩(Pt)，根据其风化程度可分为全风化、强风化和中风化三个亚层。岩土层主要物理力学参数取值如下表 1 所示。

**Table 1.** Main rock and soil physical and mechanical parameters

**表 1.** 主要岩土物理力学参数

| 地层名称   | 干容重<br>/kN·m <sup>-3</sup> | 湿容重<br>/kN·m <sup>-3</sup> | 天然抗剪强度  |          | 饱和抗剪强度  |          |
|--------|----------------------------|----------------------------|---------|----------|---------|----------|
|        |                            |                            | 粘聚力/kPa | 内摩擦角/(°) | 粘聚力/kPa | 内摩擦角/(°) |
| 素填土    | 18.1                       | 20.2                       | 10      | 28       | 8       | 26.5     |
| 加筋土    | 18.1                       | 20.2                       | 31      | 34       | 24      | 32       |
| 注浆土    | 18.1                       | 20.2                       | 20      | 34       | 16      | 32       |
| 全风化花岗岩 | 25.5                       | 26.3                       | 40      | 35       | 32      | 28       |
| 强风化花岗岩 | 26.5                       | -                          | 80      | 42       | -       | -        |
| 中风化花岗岩 | 26.5                       | -                          | 300     | 50       | -       | -        |

### 3. 边坡稳定性分析与评价

#### 3.1. 变形现状

前期注浆导致排水箱涵堵塞，引起边坡地下水位极端上升导致边坡滑移变形，同时边坡右侧地表排水沟集中排泄箱涵堵塞无法排泄的地表水对坡脚的冲刷和浸泡导致扶壁式挡墙基础差异性沉降变形，导致扶壁式挡墙面板以及地面多处出现不同程度的开裂，具体情况如下：

边坡左侧扶壁式挡墙墙面板多为拉裂缝(如图 2 所示)。



**Figure 2.** Crack in the left side of the slope

**图 2.** 边坡左侧挡墙裂缝

中部扶壁式挡墙墙面板多为压裂缝(如图 3 所示)。压裂缝分布于地下排水箱涵区域附近。

边坡右侧扶壁式挡墙墙面板多为拉裂缝(如图 4 所示)。现场调查发现边坡右侧挡墙靠近排水沟一侧有下错，错距约 1 cm，排水沟沟壁与排水沟底板有轻微脱离。说明排水沟底部地层发生下沉。



Figure 3. Cracks in the middle retaining wall of the slope  
图 3. 边坡中部挡墙裂缝



Figure 4. Crack in the right side of the slope  
图 4. 边坡右侧挡墙裂缝

### 3.2. 变形破坏模式分析

根据地质结构及目前挡土墙、地面已发生的破坏迹象，对边坡变形破坏模式预测分析如下：

组成边坡物质为人工回填物(新近回填和 2012 年素填土)。素填土下伏基岩为花岗岩，基岩面起伏较小，倾角在  $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 。扶壁式挡墙目前变形主要为墙壁开裂，墙脚外侧坡面出现地面开裂，鼓涨隆起等。该段边坡组成物质为新近回填土及老填土，且下伏基岩面倾角较小。

综上所述，判断导致边坡及扶壁式挡墙变形的原因有三种：① 滑动破坏：排水箱涵堵塞引起边坡地下水位极端上升导致边坡滑移变形，边坡覆盖层沿填土内部发生圆弧滑动，剪出口位于箱涵出口挡墙顶坡面；或者沿基覆界面滑移，剪出口位于箱涵出口挡墙底；② 地基下沉破坏：由于扶壁式挡墙处地基已

进行注浆处理，阻断了地下水排泄通道，导致地下水位上升，同时边坡右侧地表排水沟集中排泄箱涵堵塞无法排泄的地表水对坡脚的冲刷和浸泡导致扶壁式挡墙基础差异性沉降变形；③ 由于填土厚度大，土压力作用，导致扶壁式挡墙变形开裂。

### 3.3. 边坡稳定性分析

依据《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013)，土质边坡，坡高  $H = 44 \text{ m}$ ；坡脚为公路和小区，破坏后果很严重，确定边坡工程安全等级为一级，支护结构重要性系数  $\gamma_0$  为 1.1。

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2013)，本工程边坡稳定安全系数  $F_{st}$  取 1.35。

边坡的整体稳定性分级标准划分为：稳定、基本稳定、欠稳定和不稳定四种类型，分级标准见下表 2：

Table 2. Slope stability state division table

表 2. 边坡稳定状态划分表

| 稳定系数 $F_s$ | $F_s < 1.00$ | $1.00 \leq F_s < 1.05$ | $1.05 \leq F_s < F_{st}$ | $F_s \geq F_{st}$ |
|------------|--------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| 稳定性分级      | 不稳定          | 欠稳定                    | 基本稳定                     | 稳定                |

边坡稳定性计算主要考虑：① 覆盖层内部产生圆弧型滑移(变形破坏模式一)；② 覆盖层沿基覆界面下滑(变形破坏模式二)。

#### 3.3.1. 计算参数

勘察工作在充分利用前期试验成果的基础上，并结合前人试验资料及室内试验成果综合提出各类岩、土体的物理力学指标建议值见表 1。

#### 3.3.2. 计算荷载

防护工程区稳定性计算荷载主要考虑滑体自重。根据《中国地震动参数区划图》GB18306-2015，工程区内 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度值为  $0.05 \text{ g}$ ，反应谱特征周期为  $0.35 \text{ s}$ ，相应地震烈度为 VI 度，稳定性计算时不考虑地震荷载。

考虑滑体的天然重度和饱和重度。

#### 3.3.3. 计算工况

选取两种工况进行稳定性计算。

工况一：自重。

工况二：暴雨 + 自重。

#### 3.3.4. 计算要点

在边坡稳定性计算过程中，计算要点如下。

- (1) 失稳模式主要有两种：沿基覆界限滑动即折线滑坡、土质边坡内部滑动即圆弧滑坡。
- (2) 圆弧滑动采用简化 Bishop 法。
- (3) 折线滑动采用摩根斯坦 - 普赖斯法计算。

#### 3.3.5. 工程区稳定性评价

(1) 计算剖面

工程地质平面图如图 5 所示。

选取治理工程区代表性纵剖面 1-1'、2-2'、3-3' 剖面作为稳定性计算剖面(图 6，图 7，图 8)，采用理正边坡综合治理软件对边坡现状进行稳定性计算。

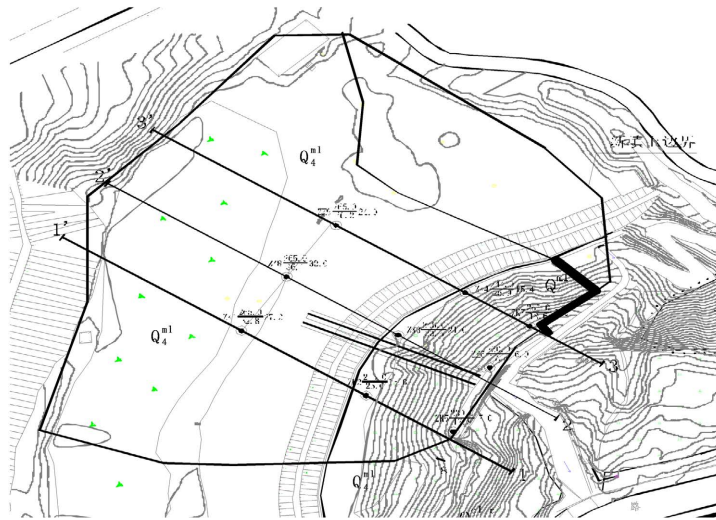


Figure 5. Engineering geological plane figure  
图 5. 工程地质平面图

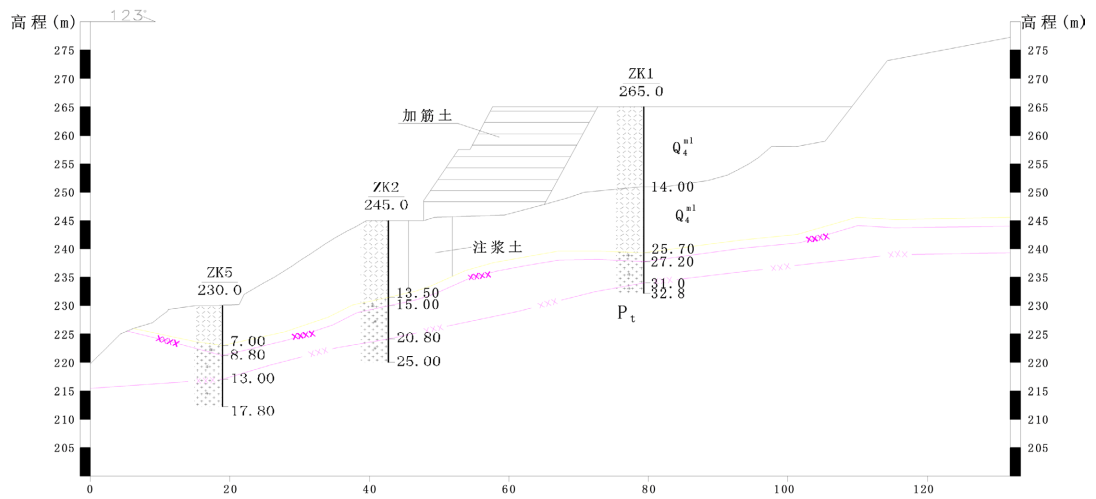


Figure 6. 1-1' section plan  
图 6. 1-1'剖面图

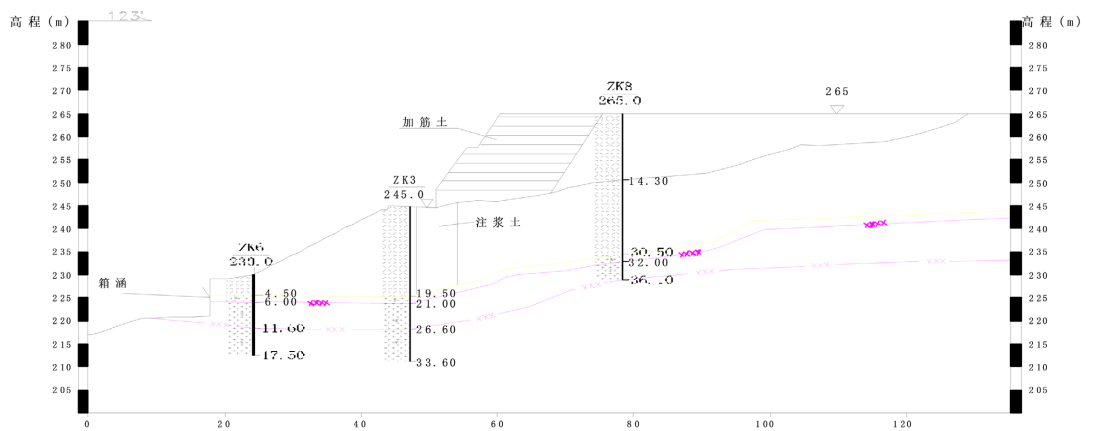


Figure 7. 2-2' section plan  
图 7. 2-2'剖面图

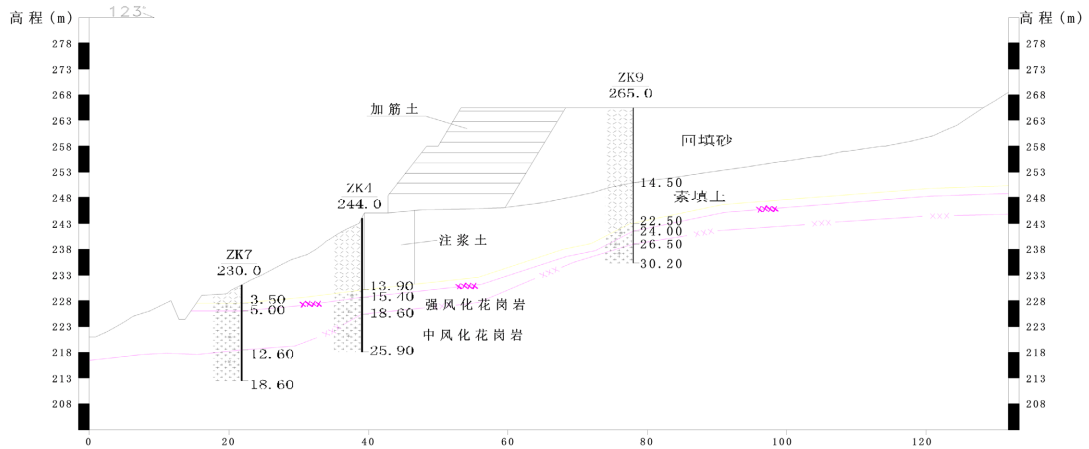


Figure 8. 3-3' section plan  
图 8. 3-3'剖面图

(2) 可能变形破坏方式一的计算结果(如下表 3)

Table 3. Stability coefficient under one or two possible deformation and failure conditions  
表 3. 可能变形破坏方式一两种工况下稳定系数

| 稳定系数<br>工况 | 剖面    |       | 安全系数 |
|------------|-------|-------|------|
|            | 工况一   | 工况二   |      |
| 1-1'       | 1.138 | 1.029 |      |
| 2-2'       | 1.092 | 0.984 | 1.35 |
| 3-3'       | 1.013 | 0.908 |      |

(3) 可能变形破坏方式二计算结果

采用理正边坡综合治理软件对 1-1'、2-2'、3-3'剖面沿基覆界面滑动的稳定性进行计算(模型如图 9~11 所示)。

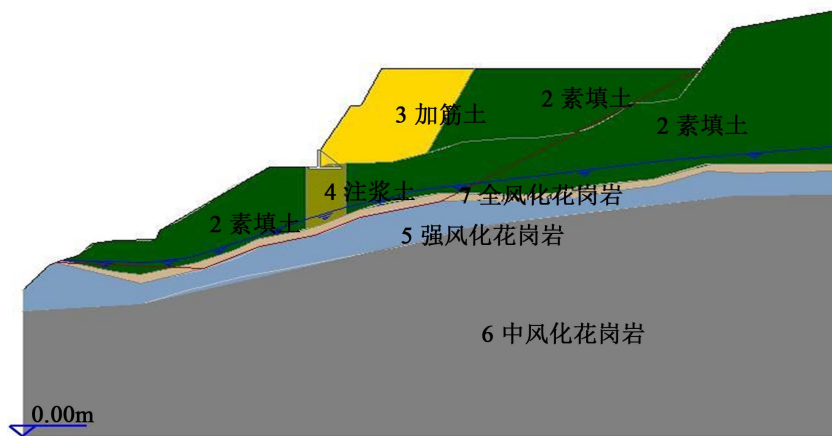


Figure 9. 1-1' section fold linear slide plane calculation model  
图 9. 1-1'剖面折线形滑面计算模型



Figure 10. 2-2' section fold linear slide plane calculation model

图 10. 2-2'剖面折线形滑面计算模型



Figure 11. 3-3' section fold linear slide plane calculation model

图 11. 3-3'剖面折线形滑面计算模型

各个剖面两种工况下稳定系数统计如下表 4:

Table 4. Possible deformation and failure mode 2 stability coefficient under two conditions

表 4. 可能变形破坏方式二各剖面两种工况下稳定系数

| 稳定系数<br>工况 | 剖面    |       | 安全系数 |
|------------|-------|-------|------|
|            | 工况一   | 工况二   |      |
| 1-1'       | /     | /     |      |
| 2-2'       | 3.416 | 3.037 | 1.35 |
| 3-3'       | /     | /     |      |

注：“/”代表无法求得安全系数，即此滑动模式下，边坡稳定。

### 3.4. 边坡稳定性综合评价

经稳定性计算分析，① 变形方式一，在工况一下处于欠稳定~基本稳定状态，在工况二下处于不稳



定~欠稳定状态,可能产生滑移;②由于基岩面较平缓,边坡可能变形方式二的两种工况情况下稳定系数数值都大于1.35,表明边坡由于填土沿基岩面下滑变形破坏的可能性较低。

通过现场调查及裂缝形成原因、分布状态分析,由于扶壁式挡墙处地基已进行注浆处理,导致地下水位上升,致使素填土地层固结下沉,原冲沟轴线处填土最深,下沉最大,导致中部扶壁式挡墙墙面板出现压裂缝,两侧出现拉裂缝;由于坡体内地下水位抬升,地下水从东北面靠近山体侧渗出,导致靠近山体一侧下沉大,致使边坡右侧挡墙靠近山体一侧出现下错。

综合考虑,挡墙破坏主要原因为:排水箱涵堵塞引起边坡地下水位极端上升导致边坡滑移变形,同时边坡右侧地表排水沟集中排泄箱涵堵塞无法排泄的地表水对坡脚的冲刷和浸泡导致扶壁式挡墙基础差异性沉降变形。

#### 4. 防治方案建议

根据目前该填土边坡已有的治理措施(挡墙),并结合方案的可行性,在对变形挡墙进行工程加固的同时,必须保证坡顶拟建楚街商业区的稳定,治理方案建议如下:

治理措施建议为在230~245 m高程处布置抗滑桩以解决整体稳定性问题,坡体布置排水孔疏导地下水,以解决由于水位上升引起的不均匀沉降问题。

#### 5. 结论

通过本次评估,查明了秭归县屈原文化旅游区(北区)旅游设施配套项目边坡治理工程地质结构、调查了边坡稳定性现状,预测了破坏形式,进行了稳定性综合评价,为边坡加固治理设计提供岩土参数并建议了防护方案。

1) 经稳定性计算分析,①圆弧滑动模式下,在天然工况下处于欠稳定~基本稳定状态,在暴雨工况下处于不稳定~欠稳定状态,可能产生滑移;②由于基岩面较平缓,折线形滑动模式下的两种工况情况下稳定系数数值都大于1.35,表明边坡由于填土沿基岩面下滑变形破坏的可能性较低。

2) 边坡目前变形迹象较明显,稳定性较差,并有加剧趋势;在诱发因素作用下边坡可能变形失稳。边坡变形的主要原因为:排水箱涵堵塞引起边坡地下水位极端上升导致边坡滑移变形,同时边坡右侧地表排水沟集中排泄箱涵堵塞无法排泄的地表水对坡脚的冲刷和浸泡导致扶壁式挡墙基础差异性沉降变形。

3) 治理措施建议为在230~245 m高程处布置抗滑桩以解决整体稳定性问题,坡体布置排水孔疏导地下水,以解决由于水位上升引起的不均匀沉降问题。

4) 本文的研究成果可为类似工程边坡的稳定性评估及治理提供参考。

#### 参考文献

- [1] 李和志,林丽萍,段艳平,等.某场地中部斜坡崩滑堆积体稳定性分析与评价[J/OL]. 矿冶工程,1-6. <https://link.cnki.net/urlid/43.1104.TD.20231218.1555.002>,2024-01-07.
- [2] 张骞,曹书杰,杜彦良,等.铁路隧道高风险抗滑桩加固边坡稳定性研究[J/OL]. 铁道标准设计,1-9. <https://link.cnki.net/doi/10.13238/j.issn.1004-2954.202306300004>,2024-01-07.
- [3] 廖赞.基于极限平衡法和离散元法的某水电站高边坡稳定性分析[J]. 人民黄河,2023,45(10):146-150+157.
- [4] 杨志斌.基于蠕变试验下高边坡稳定性模拟研究[J]. 西安科技大学学报,2023,43(5):988-999.
- [5] 顾玉明,袁云星,李希琨.降雨条件下土体各向异性渗透对边坡稳定性的影响[J]. 中国安全生产科学技术,2023,19(S1):43-49.
- [6] 蔡雪婷,高世松,孟麟泊.基于SPSS的露天矿排土场边坡稳定性影响因素分析[J]. 中国安全生产科学技术,2023,19(S1):19-24.

- 
- [7] 范永丰, 韩宇琨, 刘丛木, 等. 土工格室加固边坡稳定性参数分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(6): 2507-2514.
- [8] 刘彦, 马小军, 王彪龙, 等. 弃土场边坡稳定性和可靠性的多工况对比分析[J]. 安全与环境工程, 2022, 29(1): 93-100.
- [9] 王艳坤, 宋玲, 刘杰, 等. 锚杆-土工格室复合结构边坡防护有限元数值分析[J]. 公路, 2021, 66(11): 20-26.
- [10] 彭贤清, 夏帅帅. 土工格室选型对挡土墙边坡稳定性的影响研究[J]. 公路, 2020, 65(10): 11-17.
- [11] 顾婕, 张孟喜. 基于强度折减理论的加筋土边坡稳定性分析[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2019, 25(6): 990-1002.
- [12] 段君义, 杨果林, 林宇亮, 等. 考虑填料与土地基差异性的填方边坡稳定性上限分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2019, 50(11): 2783-2791.
- [13] 李梦姿, 蔡国庆, 李昊, 等. 考虑抗拉强度剪断的非饱和土无限边坡稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(4): 705-713.
- [14] 李玉瑞, 吴红刚, 赵金, 等. 模拟降雨作用桩锚-加筋土组合结构加固边坡研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2019, 39(3): 516-523.
- [15] 胡志强. 考虑风化与非饱和效应的残积土边坡稳定性分析[J]. 中外公路, 2018, 38(6): 34-39.