

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2022.06.002

基于理正岩土计算和 ANSYS 的 某重力式挡土墙结构分析

唐 杨¹, 王国炜², 亓兴军³, 赵 涛⁴

(1. 五峰土家族自治县农村公路管理所, 湖北 宜昌 443413; 2. 山东金衢设计咨询集团有限公司, 山东 济南 250014;
3. 山东建筑大学 交通工程学院, 山东 济南 250101; 4. 济南市规划设计研究院, 山东 济南 250101)

摘 要: 以某重力式挡土墙为工程实例, 首先采用理正岩土计算分析软件对其稳定性、地基承载力、截面应力进行验算, 其次采用 ANSYS 有限元分析软件, 基于其平面应变建立精细化分析模型, 最后在考虑土体与重力式挡土墙表面摩擦的基础上, 利用接触单元进行分析。研究表明: 重力式挡土墙的稳定性、地基承载力、截面应力满足结构受力要求, 其结构变形较小, 尚有足够的主拉应力储备; 墙前填土较高且容易遭受破坏, 建议设置防滑凸榫或增大墙底倾斜坡度。

关键词: 重力式挡土墙; 理正岩土计算; ANSYS; 有限元分析; 防滑凸榫

中图分类号: U417

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2022)06-0009-06

引文格式: 唐 杨, 王国炜, 亓兴军, 等. 基于理正岩土计算和 ANSYS 的某重力式挡土墙结构分析 [J]. 湖南工业大学学报, 2022, 36(6): 9-14.

Structural Analysis of a Gravity Retaining Wall Based on Normalized Geotechnical Calculation and ANSYS Software

TANG Yang¹, WANG Guowei², QI Xingjun³, ZHAO Tao⁴

(1. Countryside Highway Administration Bureau of Wufeng Tujia Autonomous County, Yichang Hubei 443413, China;
2. Shandong Jinqu Design Consulting Group Co., Ltd., Jinan 250014, China;
3. School of Transportation Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China;
4. Jinan City Planning and Design Institute, Jinan 250101, China)

Abstract: Taking a gravity retaining wall as an engineering example, an initial checking calculation has been made of the stability, foundation bearing capacity and section stress of the retaining wall by adopting the normalized geotechnical calculation and analysis software. Secondly, ANSYS finite element analysis software is used to establish a refined analysis model based on its plane strain. Finally, the contact element is used for an analysis with the surface friction between the soil mass and the retaining wall taken into consideration. The results show that the stability,

收稿日期: 2021-08-21

基金项目: 山东省交通运输厅科技计划基金资助项目 (2022B06, 2020B69); 山东省企业技术创新基金资助项目 (202250101726, 202160101415)

作者简介: 唐 杨 (1992-), 男, 湖北五峰人, 五峰土家族自治县农村公路管理所助理工程师, 硕士, 主要研究方向为桥梁结构理论和工程结构数值仿真, E-mail: 254565538@qq.com

通信作者: 王国炜 (1978-), 男, 山东临朐人, 山东金衢设计咨询集团有限公司正高级工程师, 主要研究方向为公路勘察设计, E-mail: 849596477@qq.com

foundation bearing capacity and section stress of the gravity retaining wall meet requirements of the structural stress, with its small structural deformation making enough principal tensile stress reserve possible. Given the vulnerability of the high wall filling to damage, it is highly recommended that the anti-skid tenons set up on the slope of the wall bottom be increased.

Keywords: gravity retaining wall; normalized geotechnical; ANSYS software; finite element analysis; non-slip tenon

0 引言

挡土墙作为重要的防护工程构造物,在公路、铁路、水利等工程中应用广泛^[1-4],因此,各种新型结构形式的挡土墙发展迅速,逐渐进入大众视野。而重力式挡土墙作为最传统的结构形式,在实际工程中扮演着重要角色,因此学者们对重力式挡土墙进行了大量的研究^[5-8]。

实际工程项目中,挡土墙在复杂的地质状况以及多种荷载工况下遭受破坏的工程案例不胜枚举,因此,为保证施工质量,需要对传统的重力式挡土墙进行严格的结构分析,以确保其结构受力和结构稳定性满足规范要求。同时,随着人工、材料、机械价格的上涨,挡土墙的工程造价越来越高,其结构分析和优化设计研究的重要性受到众多专家学者的关注。李刚等^[9]针对某城市防洪土建工程衡重力式挡土墙,通过现场检测以及有限元建模计算分析,发现墙身与衡台连接处存在拉应力区,当墙后土侧压力过大或者墙身结构强度不足时,墙身易产生开裂,进而影响挡土墙的整体稳定性。王青等^[10]为优化挡土墙稳定性,设计了一种UHPC-CA装配式干砌挡土墙,利用试验、有限元仿真和理论分析等手段对其稳定性进行研究,结果表明该新型挡土墙整体性良好,抗倾覆安全性可达到等同现浇的效果。F. Bari等^[11]通过计算石质重力式挡土墙的外部 and 内部稳定性,对重力式挡土墙的最佳高度进行研究,结果表明重力式挡土墙在 14 m 内的外部稳定性符合安全要求,但是其内部稳定性分析在高度为 8 m 时就不再符合安全要求,故重力式挡土墙的最佳高度为 7 m。吴凯等^[12]利用块石和混凝土两种材料,组合成一种新型的重力式挡土墙,但该研究只有片面性的说明,缺乏充分的计算论证;倪世权^[13]分析了影响航道护岸重力式挡土墙滑移稳定性的各种原因,但针对此类具有航道护岸特点的重力式挡土墙计算分析却很少。

综合挡土墙的研究成果发现,目前对挡土墙的结构分析仍然较少,且大部分为较为浅显的说明性

分析成果。并且,近年来重力式挡土墙被破坏事件时有发生,而针对重力式挡土墙的破坏大都缺乏定量的结构计算,一般只是针对工程经验并结合现场的破坏情况进行定性分析,进而采取相应的处置措施^[14-15];针对重力式挡土墙加固效果的计算分析同样较少。

本文将以某项目中的重力式挡土墙为工程背景,采用理正岩土计算程序对挡土墙的基本受力状态进行验算,然后利用 ANSYS 有限元分析软件建立数值模型进行计算分析,以期全面掌握本项目挡土墙的受力情况,为项目顺利实施提供理论参考依据。

1 工程概况

项目中重力式挡土墙高 6.7 m,顶部宽 0.6 m,底部宽 2.0 m,墙前埋置深度为 2.5 m,墙背坡率为 1:0.24,墙面坡率为 1:0.5,混凝土采用 C30 商品混凝土,挡土墙几何尺寸如图 1 所示,图中尺寸单位为 cm。

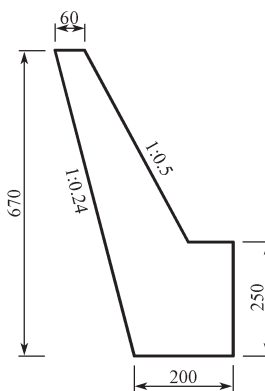


图 1 重力式挡土墙几何尺寸示意图

Fig. 1 Schematic diagram of geometry dimensions of the gravity retaining wall

为了较为准确地分析重力式挡土墙的受力状态,采取一个较大土体范围进行建模分析,即在墙前考虑 12 m 的土体,墙后除了 1:1.634 的边坡以外,考虑 12 m 的土体,地基土考虑 12 m 深度范围,具体的数值分析范围如图 2 所示。

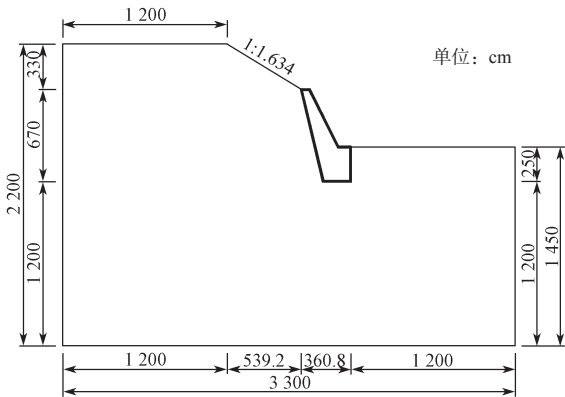


图 2 土体计算范围
Fig. 2 Soil mass calculation range

2 理正岩土计算软件验算

2.1 思路分析

结构验算采用理正岩土计算 6.5PB3 版, 验算前需要在程序中输入重力式挡土墙的墙身尺寸、坡线土柱物理参数等计算参数。

在坡线土柱设置页面, 坡面线段数设置为 2, 输入墙后的两段坡面线, 坡面起始距离设置为 0, 地面横坡角度设置为 0, 填土对横坡面的摩擦角设置为 30°; 由于不考虑车辆荷载, 换算土柱设置为 0; 由于墙前填土深度为 2.5 m, 故而在墙前添加附加集中力, 通过输入墙前填土深度和土体参数, 计算得到墙前荷载为 164.07 kN/m。在物理参数设置页面, 设置的具体物理参数见表 1。在基础设置页面, 基础设置为天然地基。在整体稳定性设置页面, 稳定计算容许安全系数设置为 1.25, 并设置以墙面顶点为圆心, 10 m 为半径的圆弧为计算滑动面。

表 1 物理参数表
Table 1 Physical parameter table

物理参数	取值或类别
墙后填土层数	单层
墙后填土的内摩擦角 / (°)	30
黏聚力 / kPa	0
容重 / (kN·m ⁻³)	17.5
修正后地基土承载力容许值 / kPa	500
基底摩擦因数	0.4
地基土类型	土质
地基土的内摩擦角 / (°)	30
地基土的黏聚力 / kPa	0
圬工砌体容重 / (kN·m ⁻³)	25
砌体种类	C30 混凝土
圬工之间摩擦因数	0.4
地基土摩擦因数	0.5

2.2 验算结果

经过理正岩土计算程序验算分析, 得到的验算结果见表 2, 表中数据表明挡土墙的抗滑稳定性、抗倾

覆稳定性、地基承载力、截面应力、整体稳定性等受力指标均满足相关规范和设计手册^[16-17]要求。

表 2 理正岩土计算验算结果
Table 2 Checking calculation results of normalized geotechnical calculation

项 目	计算结果	结 论
抗滑力 / kN	271.20	抗滑稳定性 满足规范要求
滑移力 / kN	143.53	
计算抗滑稳定系数	1.89	
规范抗滑稳定系数	1.30	
抗倾覆力矩 / kN·m	602.37	抗倾覆稳定性 满足规范要求
倾覆力矩 / kN·m	342.07	
计算抗倾覆稳定系数	1.76	
规范抗倾覆稳定系数	1.50	
作用于基底的合力偏心距 / m	0.028	合力偏心距 满足规范要求
1/6 倍基底截面宽度 / m	0.333	
墙趾处的地基承载力 / kPa	145.25	
墙踵处的地基承载力 / kPa	122.60	
地基平均承载力 / kPa	133.93	地基承载力 满足规范要求
地基容许承载力 / kPa	500.00	
作用于截面上的合力偏心距 / m	0.028	
0.3 倍基底截面宽度 / m	0.60	
压应力、拉应力、剪应力 / MPa	小于容许应力	截面强度 满足规范要求
整体稳定性最小安全系数	1.62	
整体稳定性容许安全系数	1.25	满足规范要求

3 ANSYS 模型分析

3.1 思路分析

根据弹性力学理论, 重力式挡土墙仅承受横向作用力, 故纵向应变可视为 0, 符合平面应变的条件假设, 为了简化分析难度, 采用平面应变模型代替空间实体模型。

3.2 有限元模型构建

对模型的计算分析采用 ANSYS 18.0。重力式挡土墙和土体采用 Plane82 单元模拟, 同时采用 Target169 和 Conta172 单元作为重力式挡土墙和土体的接触单元, 重力式挡土墙与土体之间的摩擦因数设置为 0.4。重力式挡土墙采用线弹性模型, 其抗拉强度设计值为 1.39 MPa, 抗压强度设计值为 13.8 MPa, 土体采用 DP 模型, 其材料力学特性见表 3。计算中仅考虑自重荷载, 施加重力加速度 g (g 取 9.8 m/s^2)。在边界条件上, 约束土体两侧边界的水平位移和土体底部边界的竖向位移。

表 3 挡土墙的材料力学特性表
Table 3 Table of material mechanical properties

材料	容重 / (kN·m ⁻³)	弹性模量 / MPa	泊松比	摩擦角 / (°)	黏聚力 / kPa
C30 混凝土	25.0	30 000	0.20	—	—
土	17.5	250	0.25	30	0

采用映射网格技术划分网格, 得到的有限元模型

如图 3 所示, 计算分析中的单位制采用 N、m、Pa。

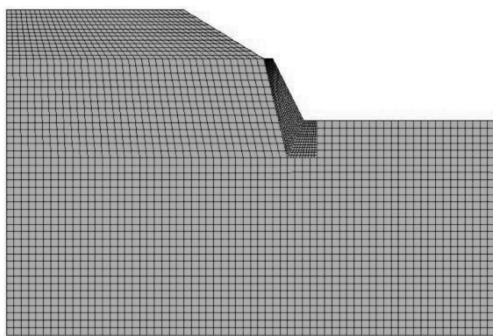


图 3 重力式挡土墙的有限元分析模型

Fig. 3 Finite element analysis model of the gravity retaining wall

3.3 结果分析

通过 ANSYS 结果计算分析, 得到计算范围内的整体位移如图 4 所示, 重力式挡土墙的位移云图 5 所示, 重力式挡土墙的应力云图如图 6 所示。

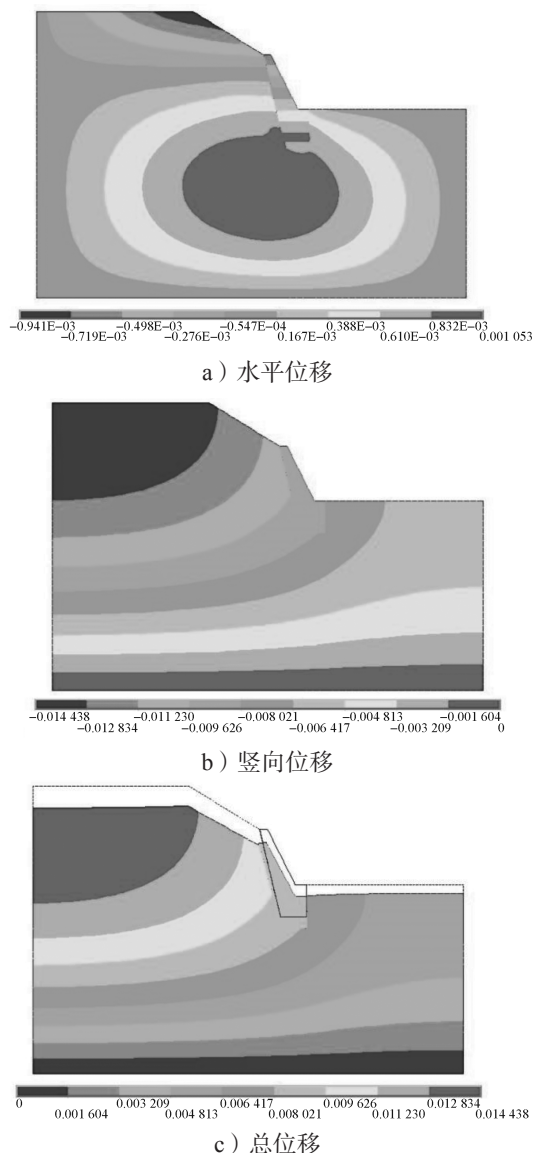


图 4 计算范围内的整体位移云图

Fig. 4 Overall displacement pictures of the calculation range

由图 4a 可以看出, 计算范围内的正向水平位移最大值出现在重力式挡土墙的底部土层附近, 约为 1.05 mm; 负向水平位移最大值出现在重力式挡土墙墙后的坡顶位置, 即坡面线发生变化的位置, 约为 0.94 mm。由图 4b 可以看出, 计算范围内均为负向竖向位移, 其负向竖向位移最大值出现在坡顶的水平段, 约为 14.44 mm。由图 4c 可以看出, 计算范围内的最大位移在墙后填土的水平坡段, 其位移最大值约为 14.44 mm; 最小位移在土体底层, 其位移最小值为 0。综合来看, 计算范围内的位移主要表现为竖向位移, 水平位移相比于竖向位移可以忽略不计。

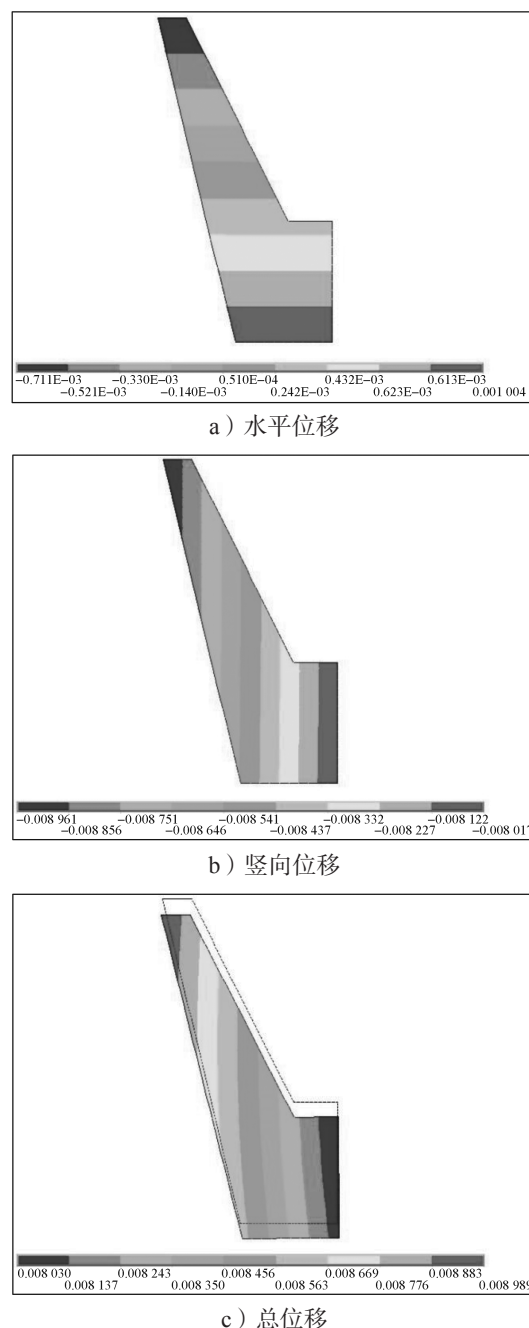


图 5 重力式挡土墙的位移云图

Fig. 5 Displacement pictures of the gravity retaining wall

由图 5a 可看出,重力式挡土墙的水平正向位移最大值出现在基础底部,约为 1.00 mm,水平负向位移最大值出现在重力式挡土墙的顶部,约为 0.71 mm,由此可见,重力式挡土墙存在向土体内侧倾斜的变化趋势;由图 5b 可看出,负向竖向位移最大值发生在重力式挡土墙顶部,约为 8.96 mm,负向竖向位移最小值发生在基础墙面上,约为 8.02 mm;由图 5c 可看出,重力式挡土墙的总位移最大值为 8.99 mm,出现在重力式挡土墙顶部,最小值与最大值相比较为接近,约为 8.03 mm,出现在基础墙面上。

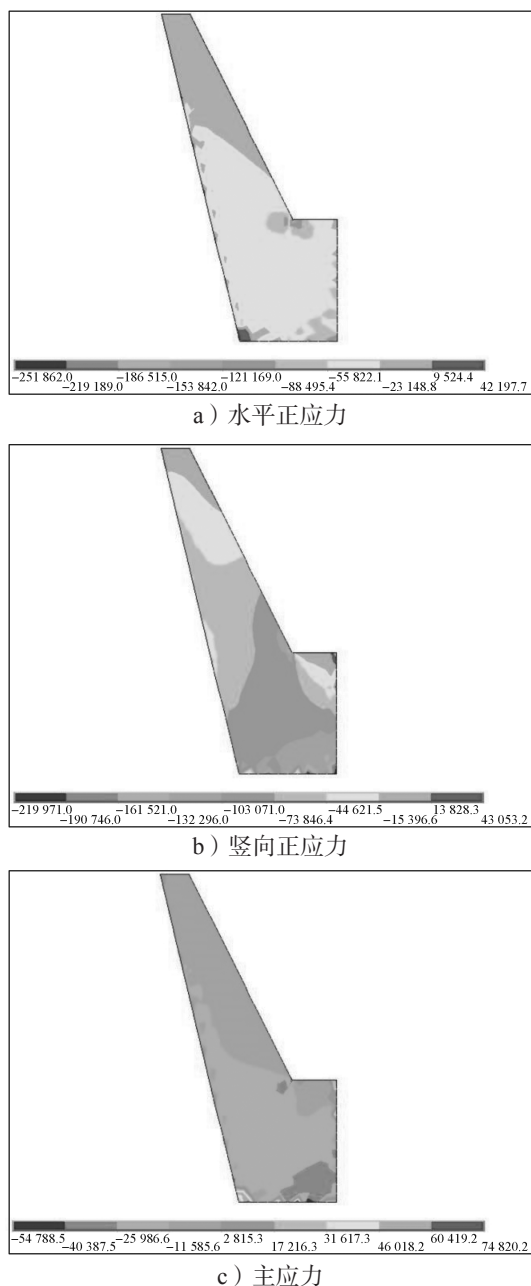


图 6 重力式挡土墙的应力云图

Fig. 6 Stress pictures of the gravity retaining wall

由图 6a 可看出,重力式挡土墙的水平拉应力最大值出现在墙趾位置,约为 0.42 MPa,水平压应

力最大值出现在墙身与基础的夹角位置,约为 2.52 MPa;由图 6b 可看出,重力式挡土墙的竖向拉应力最大值出现在基础位置墙面一侧的顶部,约为 0.43 MPa,竖向压应力最大值出现在基础底部,约为 2.20 MPa;由图 6c 可以看出,重力式挡土墙的主拉应力和主压应力最大值均出现在基础底部,主拉应力最大值为 0.75 MPa,主压应力最大值为 0.55 MPa。综合以上应力分析可知,重力式挡土墙的主应力在 C30 混凝土抗拉和抗压强度设计值内。

4 结论

本文以项目中的重力式挡土墙为实例,通过理正岩土计算程序进行结构验算分析和 ANSYS 有限的精细化结构分析,得到以下结论:

1) 理正岩土计算程序的分析结果表明,重力式挡土墙的稳定性、地基承载力、截面应力均能满足结构受力要求。

2) ANSYS 精细化有限元分析结果表明,重力式挡土墙的竖向位移远大于水平位移,墙后填土的水平段沉降较大;从重力式挡土墙的结构位移和结构应力综合分析,重力式挡土墙的结构变形较小,主要表现为刚体位移,其主拉应力距离 C30 混凝土的抗拉强度设计值较远,具有足够的拉应力储备,主拉应力主要出现在基础底部和墙面一侧。

3) 综合理正岩土软件验算分析和 ANSYS 精细化有限元分析,由于墙前填土极易遭受破坏,建议在重力式挡土墙的基础底部设置防滑凸榫或者墙底倾斜坡度,从而提高重力式挡土墙的抗滑稳定性和抗倾覆稳定性。

参考文献:

- [1] 任 荣,唐 杨,何宏彬,等.基于 ANSYS 的某扶壁式挡土墙空间有限元分析[J].长江工程职业技术学院学报,2020,37(4): 5-8, 40.
REN Rong, TANG Yang, HE Hongbin, et al. Spatial Finite Element Analysis of a Buttressed Retaining Wall Based on ANSYS[J]. Journal of Changjiang Institute of Technology, 2020, 37(4): 5-8, 40.
- [2] 彭泽文,庄海洋,可文海.成层地基挡土墙地震响应解析解及软夹层的影响研究[J].防灾减灾工程学报,2022,42(4): 796-804.
PENG Zewen, ZHUANG Haiyang, KE Wenhai. Analytical Solution for the Seismic Response of a Retaining Wall with Multilayered Foundation and the Influence of Soft Interlayer[J]. Journal of Disaster

- Prevention and Mitigation Engineering, 2022, 42(4): 796–804.
- [3] 牟太平, 孙 伟, 邱志雄, 等. 基于有限元-近场动力学耦合方法的挡土墙变形破损分析[J/OL]. 中山大学学报(自然科学版)(中英文). [2021-07-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1752.N.20220416.2233.004.html>.
- MOU Taiping, SUN Wei, QIU Zhixiong, et al. Damage Analysis of the Retaining Wall Based on the FEM-Peridynamics Coupling Method[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni. [2022-07-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1752.N.20220416.2233.004.html>.
- [4] 王丽艳, 吉文炜, 陶云翔, 等. 直立式废旧轮胎胎面挡土墙(无加筋/加筋)抗震性能试验对比研究[J/OL]. 岩土工程学报. [2021-07-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1124.TU.20220608.1113.006.html>.
- WANG Yanli, JI Wenwei, TAO Yunxiang, et al. Experimental Comparative Study on Seismic Performances of Vertical Waste Tire Faced Retaining Walls (Unreinforced/Reinforced) [J/OL]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering. [2021-07-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1124.TU.20220608.1113.006.html>.
- [5] 张金安, 保钦凡, 赵卫冬, 等. 重力式挡土墙稳定性与地基承载力研究[J]. 公路, 2021, 66(10): 94–96.
- ZHANG Jin'an, BAO Qinfan, ZHAO Weidong, et al. Study on Stability and Foundation Bearing Capacity of Gravity Retaining Wall[J]. Highway, 2021, 66(10): 94–96.
- [6] AHMED S M, BASHA B M. External Stability Analysis of Narrow Backfilled Gravity Retaining Walls[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2021, 39(2): 1603–1620.
- [7] 王成华, 周思青. 水泥土挡墙抗倾覆稳定性分析方法述评[J]. 工业建筑, 2019, 49(8): 177–184.
- WANG Chenghua, ZHOU Siqing. A Review on Analysis Method of Anti-Overturning Stability of Cement-Soil Retaining Wall[J]. Industrial Construction, 2019, 49(8): 177–184.
- [8] 黄闻捷, 许晓亮, 向子林, 等. 考虑地震修正角的重力式挡土墙可靠性分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2021, 43(1): 48–53, 65.
- HUANG Wenjie, XU Xiaoliang, XIANG Zilin, et al. Reliability Analysis of Gravity Retaining Wall Considering Seismic Correction Angle[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2021, 43(1): 48–53, 65.
- [9] 李 刚, 谈忠坤, 易 鑫, 等. 某城市防洪土建工程衡重式挡土墙病害分析与加固[J]. 建筑结构, 2017, 47(23): 103–108.
- LI Gang, TAN Zhongkun, YI Xin, et al. Damage Analysis and Reinforcement of Balance Weight Retaining Wall for a City Flood Control and Civil Engineering[J]. Building Structure, 2017, 47(23): 103–108.
- [10] 王 青, 任潇斌, 王华锋, 等. UHPC-CA 装配式干砌挡土墙设计及其稳定性研究[J/OL]. 建筑科学与工程学报. [2021-07-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1442.TU.2021061215.1029.004.html>.
- WANG Qing, REN Xiaobin, WANG Huafeng, et al. Design and Stability Study of UHPC-CA Fabricated Dry Masonry Retaining Wall[J/OL]. Journal of Architecture and Civil Engineering. [2021-07-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1442.TU.2021061215.1029.004.html>.
- [11] BARI F, REPADI J A, ISMAIL F A, et al. Optimum Height of the Retaining Gravity Wall[EB/OL]. [2021-07-06]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/708/1/012020/pdf>.
- [12] 吴 凯, 常娟娟. 浆砌块石与混凝土组合重力式挡土墙[J]. 智能城市, 2021, 7(16): 131–132.
- WU Kai, CHANG Juanjuan. Gravity Retaining Wall with Mortar Block Stone and Concrete Combination[J]. Intelligent City, 2021, 7(16): 131–132.
- [13] 倪世权. 航道护岸重力式挡土墙滑移原因分析及处置措施[J]. 工程与建设, 2020, 34(2): 273–274.
- NI Shiquan. Cause Analysis and Treatment Measures of Gravity Retaining Wall Sliding of Channel Revetment[J]. Engineering and Construction, 2020, 34(2): 273–274.
- [14] QU H L, HUANG X, GAO Y N, et al. HHT-Based Seismic Damage Analysis of a Subgrade Slope Reinforced by a Gravity Retaining Wall[J]. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2021, 58(5): 425–432.
- [15] MA T Z, ZHU Y P. Seismic Strengthening Methods and Analysis of Instability of Gravity Retaining Walls[J]. Advanced Materials Research, 2014, 971/972/973: 2141–2146.
- [16] 交通部第二公路勘察设计院. 公路路基设计手册[M]. 二版. 北京: 人民交通出版社, 2004: 591–736.
- The Second Highway Survey and Design Institute of the Ministry of Communications. Highway Roadbed Design Manual[M]. 2nd Ed. Beijing: People's Communications Press, 2004: 591–736.
- [17] 国家铁路局. 铁路路基支挡结构设计规范: TB 10025—2019[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019: 20.
- National Railway Administration of the Republic of China. Code for Design of Retaining Structures of Railway Earthworks: TB 10025—2019[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2019: 20.

(责任编辑: 姜利民)