

DOI: 10.11779/CJGE2014S2020

兰州马兰、离石压实黄土抗剪强度影响因素探讨

贾亮^{1,2}, 朱彦鹏^{1,2}, 朱鋈川^{1,2}

(1. 兰州理工大学土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 西部土木工程防灾减灾教育部工程研究中心, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 抗剪强度是压实黄土的重要力学指标, 在不同压实和含水状态下, 土体的抗剪强度存在明显差异。对兰州青白石马兰、离石压实黄土进行了直剪试验, 得到不同压实度和含水率下的黏聚力和内摩擦角, 探讨了含水率和压实度对压实黄土抗剪强度的影响。结果表明: 黏聚力随压实度的增大而增大, 且离石黄土增大幅度大于马兰黄土; 含水率小于最佳含水率时黏聚力随含水率的增大略有增大, 当含水率大于最佳含水率后黏聚力随含水率的增大反而急剧减小; 离石黄土和马兰黄土内摩擦角均随压实度增大而增大、随含水率增大略有减小。

关键词: 压实黄土; 压实度; 含水率; 黏聚力; 内摩擦角

中图分类号: TU476

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)S2-0120-05

作者简介: 贾亮(1978-), 男, 副教授, 主要从事路基工程方面的教学和科研方面工作。E-mail: jialiang1949@163.com。

Influencing factors for shear strength of Malan and Lishi compacted loess in Lanzhou

JIA Liang^{1,2}, ZHU Yan-peng^{1,2}, ZHU Jun-chuan^{1,2}

(1. College of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Western Center of Disaster Mitigation in Civil Engineering, Ministry of Education, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The shear strength is the most important mechanical index of loess, which strongly depends on the degree of compaction and moisture content. To investigate the performance of Malan and Lishi loess, direct shear tests are conducted on the samples taken from undisturbed loess site in Qingbaishi, Lanzhou. The shear strength indexes including the cohesion and internal friction angle under different degrees of compaction and moisture contents are obtained. The effects of compaction and moisture content of Lishi and Malan compacted loess are studied. The results show that the cohesion increase with the increase of compaction, and that of Lishi loess has greater increase than that of Malan loess. The cohesion increases slightly with the increase of moisture content when it is less than optimum water, while the cohesion decreases sharply with the increase of moisture content when it is greater than the optimum moisture content. The internal friction angle increases with the increase of compaction and slightly decreases with the increase of water content of compacted Lishi and Malan loess.

Key words: compacted loess; degree of compaction; water content; cohesion; internal friction angle

0 引言

兰州由于特殊的地形加上城市化进程加快, 建设用地紧张问题非常突出。为破解土地难题, 兰州市政府实施了低丘缓坡沟壑等未利用地综合开发项目(图1), 该项目位于兰州市青白石乡白道坪村, 最大挖方高达70 m, 最大填方达130 m。开挖断面上部为浅黄色疏松多孔马兰黄土, 下部为离石黄土, 该项目回填土工程特性成为众多土木工程师关注的焦点。兰州的黄土层厚大、成因类型复杂, 对填方工程来说, 抗剪强度指标是决定其能否成为建筑用地最关键的力学指标之一^[1]。黄土填方边坡由于含水率的变化导致的边坡剪切破坏时有发生^[2-3], 因此对不同含水率的压实黄

土抗剪强度研究非常必要。

对回填黄土而言, 压实度、含水率无疑是决定抗剪强度最主要的因素。含水率对抗剪强度的影响, 国内已有不少研究成果^[4-9], 如王林浩等^[4]在总结前人研究成果的基础上通过进一步试验得出压实黄土黏聚力与内摩擦角均随含水率的增加而呈减小趋势。但是对不同含水率、不同压实度下的马兰黄土及离石黄土抗剪强度的研究尚未见到相关报道。

基金项目: 甘肃省科技厅重大专项项目(2013GS07716); 甘肃省自然科学基金项目(1308RJYA023); 兰州理工大学博士科研基金项目
收稿日期: 2014-07-28

1 试验样品及试验过程

1.1 取样场地

本试验所用材料为兰州市青白石乡的黄土，取土位置为挖方断面，取土时沿开挖断面每 2 m 取土样，取土现场如图 2 所示。其中马兰黄土为褐黄—褐色，结构疏松，孔隙大，垂直节理发育，含钙质结核，稍密—中密状态，干强度低，具中—高压缩性，标准贯入击数平均 10.6 击。离石黄土褐红—棕红色，含钙质结核或夹钙质结核层，夹数层棕红色条带状古土壤层，含云母、氧化铁、氧化铝，硬塑，干强度中等，标准贯入击数平均 28.3 击。



图 1 青白石推山造地现场
Fig. 1 Reclamation site in Qingbaishi



图 2 取土现场
Fig. 2 Sampling site of undisturbed loess

1.2 试验方法

击实筒内径为 152 mm，高为 116 mm，容积为 2103.9 cm³，击实成型按 5 层加料方法，每层 56 击^[10]，在分层加料时每次加料之前把上层的黄土刨毛。通过室内击实试验得到马兰黄土最佳含水率为 12.2%，最大干密度为 1.86 g/cm³；离石黄土最佳含水率为 11.6%，最大干密度为 1.89 g/cm³。

试验中分别取天然含水率、最优含水率、塑限含水率及饱和含水率的土制作压实度为 90%，93%，

95%，98%的马兰、离石黄土试样，具体含水率见表 1。

表 1 含水率数值

Table 1 Values of moisture content of samples (%)				
土类	天然含水率	最优含水率	塑限含水率	饱和含水率
马兰黄土	6.6	12.2	18.8	24.5
离石黄土	7.1	11.6	19.0	22.9

试验采用应变控制式直接剪切仪（图 3），每组试验有 4 个试样。试验时将备好的试样装入直剪仪的剪切盒中，试样上下两面均依次放滤纸和透水石。试样装好后施加垂直压力，拔去固定销，以 0.8 mm/min 速率进行剪切，使试样在 3~5 min 内剪损。

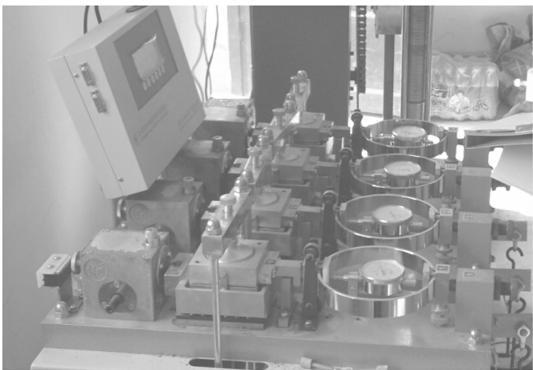


图 3 直剪设备
Fig. 3 Direct shear devices

2 试验结果分析

黄土抗剪强度服从 Mohr-Coulomb 破坏准则，由摩擦力与黏聚力组成。压实黄土含水率和压实度对抗剪强度产生的影响主要由黏聚力与内摩擦角来反映。

2.1 压实度和含水率对压实黄土黏聚力的影响

图 4~7 给出了马兰、离石压实黄土黏聚力随含水率及压实度变化而变化的总体趋势。由图 4~7 知：黏聚力随压实度的增大而增大；含水率小于最佳含水率时，黏聚力随含水率的增大略有增大，但当含水率大于最佳含水率后，黏聚力随含水率的增大反而急剧减小。

离石压实黄土含水率为天然含水率、最优含水率、塑限含水率、饱和含水率，压实度从 90%增大到 98% 时，黏聚力分别增加 59.4%，61.9%，73.7%，110.9%。马兰压实黄土含水率为天然含水率、最优含水率、塑限含水率、饱和含水率，当压实度从 90%增加到 98% 黏聚力分别增加 68.8%，68.4%，84.5%，98.4%。因而，离石黄土黏聚力随压实度增加的幅度大于马兰黄土，这与离石黄土粉粒成份比马兰黄土少有关^[6]。

另外，图 4~7 中体现出含水率对黏聚力的影响非常明显，只有在最佳含水率下压实才能获得最大的黏

聚力。在压实度相同含水率从天然含水率增加到最佳含水率时黏聚力随含水率的增大略有增大,但在压实度相同含水率大于最佳含水率后黏聚力随含水率的增大反而减小,说明马兰、离石黄土都应在最佳含水率下压实才能获得最大的黏聚力,同时反映出含水率超过最佳含水率后含水率的增加对压实黄土工程而言是极为不利的。

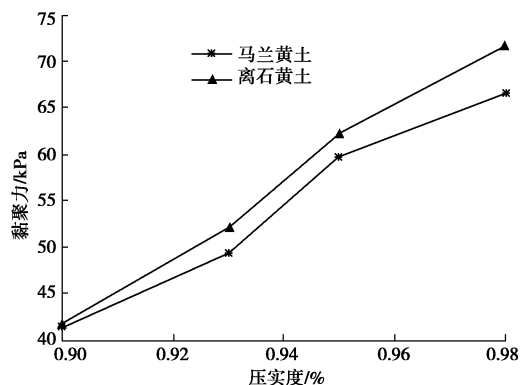


图 4 天然含水率时黏聚力和压实度的关系曲线

Fig. 4 Relationship between cohesion and degree of compaction under natural moisture content

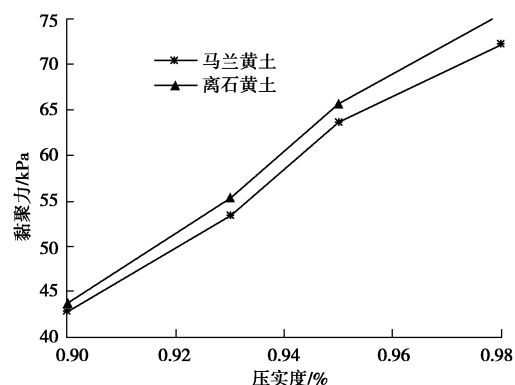


图 5 最优含水率时黏聚力和压实度的关系曲线

Fig. 5 Relationship between cohesion and degree of compaction under optimum water content

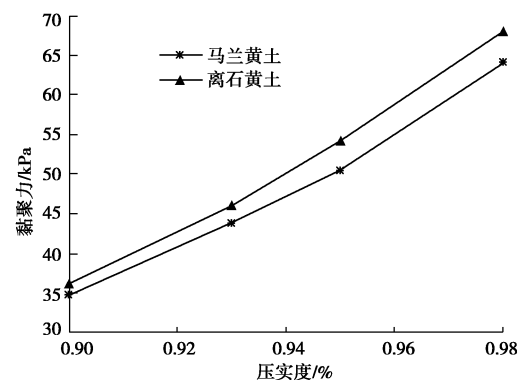


图 6 塑限含水率时黏聚力和压实度的关系曲线

Fig. 6 Relationship between cohesion and degree of compaction under plastic limit moisture content

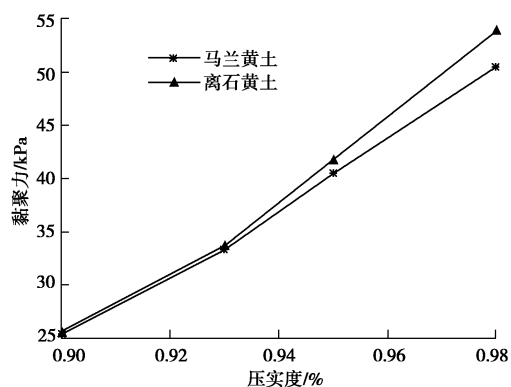


图 7 饱和含水率时黏聚力和压实度的关系曲线

Fig. 7 Relationship between cohesion and degree of compaction under saturated water content

2.2 压实度和含水率对压实黄土内摩擦角的影响

图8~11绘制了马兰、离石黄土内摩擦角随含水率及压实度变化而变化的趋势。由图8~11知:内摩擦角随压实度增大而增大、随含水率增大略有减小。

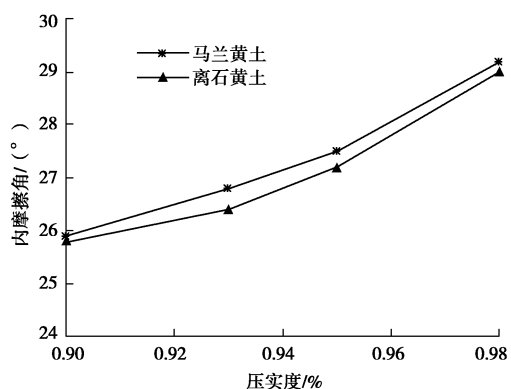


图 8 天然含水率时内摩擦角和压实度的关系曲线

Fig. 8 Relationship between angle of internal friction and degree of compaction under natural moisture content

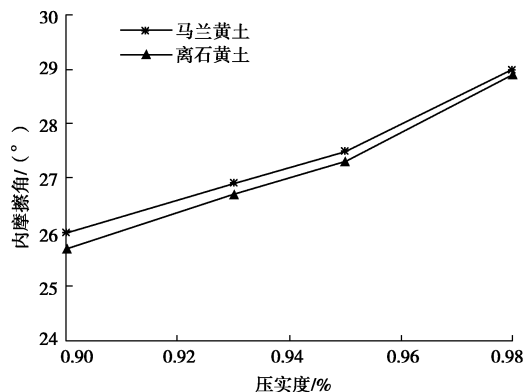


图 9 最优含水率时内摩擦角和压实度的关系曲线

Fig. 9 Relationship between angle of internal friction and degree of compaction under optimum water content

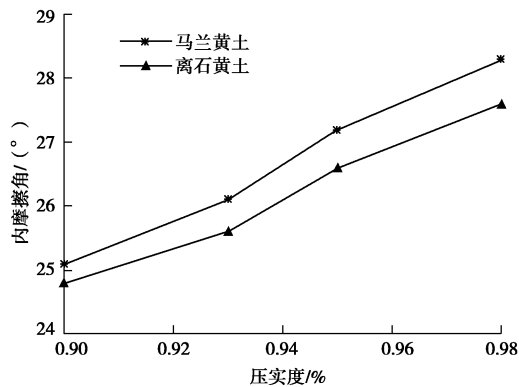


图 10 塑限含水率时内摩擦角和压实度的关系曲线

Fig. 10 Relationship between angle of internal friction and degree of compaction under plastic limit moisture content

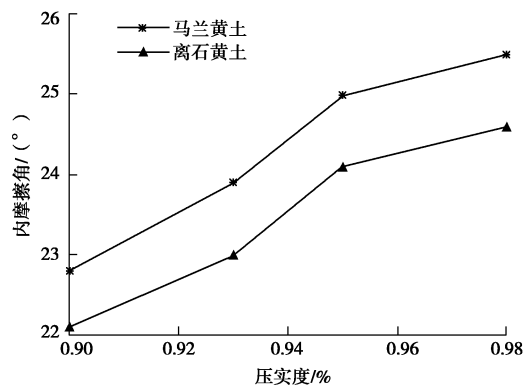


图 11 饱和含水率时内摩擦角和压实度的关系曲线

Fig. 11 Relationship between angle of internal friction and degree of compaction under saturated water content

离石压实黄土的含水率为天然含水率、最优含水率、塑限含水率、饱和含水率, 压实度从90%增大到98%时内摩擦角分别增加了12.4%, 13.3%, 9.7%, 11.6%。马兰压实黄土含水率为天然含水率、最优含水率、塑限含水率、饱和含水率, 当压实度从90%增加到98%内摩擦角分别增加了12.7%, 12.7%, 9.9%, 11.8%。因而, 压实度增加时离石黄土和马兰黄土内摩擦角增大幅度相近, 且随压实度的增大内摩擦角增加值比黏聚力的增加值要小得多。

图8~11中体现出含水率对内摩擦角的影响较小, 压实度相同含水率为天然含水率、最优含水率、塑限含水率时内摩擦角变化很小, 当含水率增加到饱和含水率时内摩擦角显著减小。

3 结论与建议

通过对马兰、离石压实黄土的试验研究, 可得出以下4点结论。

(1) 黏聚力随压实度增大而增大, 且离石黄土黏

聚力随压实度增大的幅度大于马兰黄土。

(2) 含水率小于最佳含水率时黏聚力随含水率的增大略有增大, 但当含水率大于最佳含水率后黏聚力随含水率的增大反而急剧减小。

(3) 马兰、离石压实黄土内摩擦角随压实度增大而增大, 且增幅相近。

(4) 含水率对内摩擦角的影响较小, 压实度相同含水率为天然含水率、最优含水率、塑限含水率时内摩擦角变化很小, 当含水率为饱和含水率时内摩擦角明显减小。

参考文献:

- [1] 李保雄, 苗天德. 黄土抗剪强度的水敏感性特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 1003 - 1008. (LI Bao-xiong, MIAO Tian-de. Research on water sensitivity of loess shear strength[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(5): 1003 - 1008. (in Chinese))
- [2] 李保雄, 牛永红, 苗天德. 兰州马兰黄土的水敏感性特征[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(2): 294 - 297. (LI Bao-xiong, NIU Yong-hong, MIAO Tian-de. Water sensitivity of Malan loess in Lanzhou[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(2): 294 - 297. (in Chinese))
- [3] 李荣建, 郑文, 刘军定, 等. 考虑初始结构性参数的结构性黄土边坡稳定性评价[J]. 岩土力学, 2014, 35(1): 143 - 149. (LI Rong-jian, ZHENG Wen, LIU Jun-ding, et al. Evaluation of stability of structural loess slope considering initial structural parameters[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(1): 143 - 149. (in Chinese))
- [4] 王林浩, 白晓红, 冯俊琴. 压实黄土状填土抗剪强度指标的影响因素探讨[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增刊 2): 132 - 135. (WANG Lin-hao, BAI Xiao-hong, FENG Jun-qin. Discussion on shearing strength influencing factors of compacted loess-like backfill[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S2): 132 - 135. (in Chinese))
- [5] 王永炎, 林在贵. 中国黄土的结构特征及物理力学性质[M]. 北京: 科学出版社, 1990. (WANG Yong-yan, LIN Zai-gui. The structural characteristics and the physical and mechanical properties of Chinese loess[M]. Beijing: Science Press, 1990. (in Chinese))
- [6] 刘祖典. 黄土力学与工程[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996. (LIU Zu-dian. Loess mechanics and engineering[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1996. (in Chinese))

- [7] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. (LIU Dong-shen. Loess and environment[M]. Beijing: Science Press, 1985. (in Chinese))
- [8] 王靖泰, 李永进, 李保雄. 兰州黄土的物理力学性质[J]. 水文地质工程地质, 1994(4): 12 - 16. (WANG Jin-tai, LI Yong-jin, LI bao-xiong. Physical characteristics of Lanzhou loess[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1994(4): 12 - 16. (in Chinese))
- [9] 米海珍, 胡燕妮. 兰州高坪马兰黄土工程性质规律初探[J]. 建筑科学, 2008, **24**(11): 79 - 82. (MI Hai-zhen, HU Yan-ni. Study on engineering properties of the late pleistocene epoch loess on high fluvial terrace in Lanzhou[J]. Building Science, 2008, **24**(11): 79 - 82. (in Chinese))
- [10] GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S]. 1999. (GB/T 50123—1999 Specification of soil test[S]. 1999. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)