

Q₂黄土湿陷系数试验压力取值的讨论

李同录, 冯文清, 刘志伟, 高建伟, 付昱凯, 雷雨露, 李 萍

A discussion of the test pressure of collapsible coefficient for Q₂ loess

LI Tonglu, FENG Wenqing, LIU Zhiwei, GAO Jianwei, FU Yukai, LEI Yulu, and LI Ping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202211006>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

深厚黄土地基浸水湿陷变形及竖向土压力作用分析

Analysis of collapsible deformation and vertical soil pressure action of thick loess foundation

屈宏录, 刘德仁, 孙英萍, 闫炳舟, 徐硕昌, 张严 水文地质工程地质. 2022, 49(4): 157-164

基于主成分分析法的Q₂黄土湿陷特性研究

A study of the collapsibility of Q₂ loess based on principal component analysis

王玉涛, 刘小平, 曹晓毅 水文地质工程地质. 2020, 47(4): 141-148

基于等速线模型的一维黄土动荷载响应分析

Dynamic load response analysis of 1-D loess based on the equal speed line model

王文丽, 王兰民 水文地质工程地质. 2019, 46(5): 113-119

黄土填方边坡界面渗流破坏机制模型试验研究

A model test study of the interface seepage and failure mechanism of loess-filled slope

余岱金, 黄强兵, 康孝森, 陈星, 刘悦 水文地质工程地质. 2022, 49(5): 119-128

基于核磁共振与氮吸附技术的黄土含盐量对结合水膜厚度的影响研究

An experimental study of the influence of loess salinity on combined water film thickness based on NMR and nitrogen adsorption technique

何攀, 许强, 刘佳良, 蒲川豪, 陈达, 赵宽耀 水文地质工程地质. 2020, 47(5): 142-149

冻融循环作用下黄土无侧限抗压强度和微观规律的试验研究

Effect of freezing-thawing cycles on mechanical properties and microscopic mechanisms of loess

刘乐青, 张吾渝, 张丙印, 谷遇溪, 解邦龙 水文地质工程地质. 2021, 48(4): 109-115



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202211006

李同录, 冯文清, 刘志伟, 等. Q_2 黄土湿陷系数试验压力取值的讨论 [J]. 水文地质工程地质, 2023, 50(6): 59-68.

LI Tonglu, FENG Wenqing, LIU Zhiwei, *et al.* A discussion of the test pressure of collapsible coefficient for Q_2 loess [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2023, 50(6): 59-68.

Q_2 黄土湿陷系数试验压力取值的讨论

李同录^{1,2}, 冯文清^{1,2}, 刘志伟³, 高建伟³, 付昱凯^{1,2}, 雷雨露^{1,2}, 李 萍^{1,2}

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 黄土高原水循环与地质环境教育部野外科学观测研究站, 甘肃 正宁 745399; 3. 中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 湿陷系数是评价黄土湿陷性的指标, 由室内试验测定, 湿陷系数与试验压力有关, 一般情况下采用地基实际压力作为试验压力是最合理的, 但考虑到实际压力在勘察阶段尚不确定, 我国历代湿陷性黄土地区建筑规范或标准制定了试验压力的取值方案, 先后有较大的调整。现行《湿陷性黄土地区建筑标准》(GB 50025—2018)对浅层马兰黄土的试验压力取值比较符合实际, 而对较深 Q_2 黄土的试验压力取值还需探讨。以甘肃正宁华能电厂湿陷性黄土地基为例, 对 35.0 m 深探井中的 Q_2 - Q_4 黄土按 1.0 m 取样做了基本物理指标和双线法高压湿陷性试验, 获得了各级压力下的湿陷系数。根据试验结果, 给定不同基础宽度和不同基底压力, 对比了按现行标准规定的压力和实际压力下的湿陷系数随深度的变化。分析结果表明: (1) 湿陷系数随压力的变化存在一个峰值, Q_2 黄土湿陷起始压力和湿陷系数峰值对应的压力明显高于 Q_3 黄土, Q_2 黄土的湿陷系数峰值比 Q_3 黄土的小, 且随深度有减小趋势; (2) 现行标准规定压力下确定的湿陷系数和湿陷沉降在 Q_3 黄土中与实际压力下的比较接近, 在 Q_2 黄土中与实际压力下的随深度偏离越来越远; (3) 为此提出了一个试验压力的修正方案, 用修正的试验压力确定的湿陷系数和湿陷沉降与实际压力下的值较为接近。研究结果对黄土湿陷性评价具有一定的工程意义。

关键词: 黄土; 试验压力; 湿陷系数; 双线法; 实际压力

中图分类号: P642.13⁺1; TU444

文献标志码: A

文章编号: 1000-3665(2023)06-0059-10

A discussion of the test pressure of collapsible coefficient for Q_2 loess

LI Tonglu^{1,2}, FENG Wenqing^{1,2}, LIU Zhiwei³, GAO Jianwei³, FU Yukai^{1,2}, LEI Yulu^{1,2}, LI Ping^{1,2}

(1. School of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Observation and Research Station of Water Cycle and Geological Environment for the Chinese Loess Plateau, Ministry of Education, Zhengning, Gansu 745399, China; 3. Northwest Electric Power Design Institute Co. Ltd., of China Power Engineering Consulting Group, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Collapsible coefficient is an index to evaluate loess collapsibility, which is measured by laboratory test with collected intact samples. Collapsible coefficient varies with normal pressure loaded in test. It is better to use the real normal pressure in foundation when measuring the collapsible coefficient, but for reasons of convenience, the pressures are always designated as definite values in the codes or standards of construction in collapsible loess

收稿日期: 2022-11-01; 修订日期: 2023-02-23

投稿网址: www.swdgcgz.com

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2022JM-167); 国家自然科学基金项目(41877242)

第一作者: 李同录(1965-), 男, 博士, 教授, 主要从事黄土工程地质、地质灾害防治方面的研究工作。E-mail: dcdgx08@chd.edu.cn

areas. However, the designated pressure for Q_3 (Malan) loess in the standards is reasonable and applicable, while that for Q_2 loess is still necessary to discuss. In this paper, the collapsible loess foundation of the Huaneng Electric Plant in Zhengning, Gansu Province is used as a case, the Q_2 - Q_4 loess samples were collected in a 35.0 m deep shaft in 1 m intervals and the basic physical properties were measured in laboratory first. The collapsible coefficient is measured with the double oedometer method under low to high pressure for all the samples. Based on the test results, the collapsible coefficient with respect to depth determined with the present used GB 50025—2018 standard and the real pressure in foundation in the cases of various basement widths and basement pressures are compared. The results show that (1) the coefficient of collapsibility has a peak value. The initial collapse pressure and peak collapse pressure of Q_3 loess are higher than those of Q_2 loess. The peak coefficient of collapsibility of Q_3 loess is higher than that of Q_2 loess, which decreases with depth. (2) For Q_3 loess, the collapsible coefficient and subsidence determined by the pressure of the present standard are close to those determined by the real pressure in foundation, while for Q_2 loess, those determined by the pressure of the present standard in foundation deviates increasingly with depth to those determined by the real pressure. (3) Therefore, a modified test pressure for measuring collapsible coefficient of loess is proposed. It is demonstrated that the collapsible coefficients determined by the modified test pressure agree well with those by the real soil pressure.

Keywords: loess; test pressure; coefficient of collapsibility; double oedometer method; actual pressure

湿陷系数是评价黄土湿陷性的指标。原则上,测定湿陷系数的试验压力采用土样原位所受的实际压力,即附加应力与上覆土的饱和自重应力之和最为合理。但在勘察阶段,基础形式或地基处理方式并未最终确定,变数较大;另外,即使确定了实际压力,不同深度的试验压力不同,给试验过程提出了更高的要求,实际操作起来有一定难度。考虑到实际勘察工作的可操作性和便利性,历代湿陷性黄土地区建筑规范或标准在考虑试样深度和基底压力的基础上,直接给出了测定湿陷系数的试验压力。

对比我国五代湿陷性黄土地区建筑规范或标准^[1]的湿陷系数试验压力取值及取值条件,可以看出前两代规范根据基底荷载大小和饱和自重压力取值,而近三代规范或标准中对湿陷系数试验压力调整幅度较大。例如,《湿陷性黄土地区建筑规范》(BJG 20—66)(以下简称“66 规范”)没有考虑基底压力和土样深度,试验压力统一取值为 200 kPa^[2];《湿陷性黄土地区建筑规范》(TJ 25—78)(以下简称“78 规范”)没有考虑基底压力,只考虑了土样深度,10 m 以上与 66 规范一致,取 200 kPa,10 m 以下取 300 kPa^[3];《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ 25—1990)^[4](以下简称“90 规范”)和《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004)^[5](以下简称“04 规范”)考虑了基底压力和土样深度,基底压力小于 300 kPa,10 m 以上仍取 200 kPa,10 m 以下取饱和自重应力与 300 kPa 两者的小值,基底压力大于 300 kPa,

取实际压力;《湿陷性黄土地区建筑标准》(GB 50025—2018)(以下简称“18 标准”)考虑因素与 90 规范、04 规范一致,基底压力小于 300 kPa 时,10 m 以上仍取 200 kPa,10 m 以下取饱和自重应力,基底压力大于 300 kPa 时,10 m 以上取基底压力,10 m 以下取饱和自重应力和基底压力两者的大值。可以看出 90 规范和 04 规范中基底压力大于 300 kPa、10 m 以下的试验压力按实际压力取值,虽然比较准确,但是实际应用不便,18 规范中又改为从饱和自重压力和基底压力两者中选取。这种改变出现的原因在于随着黄土地区建筑物高度不断加大,多数建筑基底压力、基础埋深、地基土应力都在增大^[6-8],建筑地基变形的要求提高,因此进行地基湿陷性评价的黄土层深度和湿陷压力也相应增大。早期研究认为 Q_3 黄土是主要的湿陷土层,近年来越来越多的工程实践表明,深层 Q_2 老黄土的湿陷变形不容忽视^[9-12]。方祥位等^[13-14]、张炜等^[15]、谢定义^[16]和汤连生^[17]等都认为 Q_3 黄土一般在较小压力(200 ~ 300 kPa)下就能够达到湿陷峰值,且具有强湿陷性; Q_2 黄土在 300 ~ 600 kPa 才有可能开始湿陷,湿陷峰值要在较大压力或很大压力下才能出现,大部分 Q_2 黄土为弱到中等湿陷,强湿陷(湿陷系数 $\delta_s > 0.07$)的极少见。邵生俊等^[18]也认为 Q_3 黄土和 Q_2 黄土湿陷的湿陷类型不一样, Q_3 属于中、强自重湿陷性黄土,而 Q_2 是弱—中自重湿陷黄土。史向庆^[19]、胡燕妮等^[20]也注意到现行 18 标准中的试验压力测出的湿

陷系数偏小。我们通过双线法试验也发现黄土中采用现行 18 标准中试验压力得到的 Q_2 黄土湿陷系数普遍偏小。

为了选取对各种工况都尽可能适用、且与实际压力接近的试验压力,本文以甘肃正宁华能电厂湿陷性黄土地基为例,对 35.0 m 深探井中的 Q_2 ~ Q_4 黄土取样做了基本物理指标和双线法高压湿陷性试验。利用试验数据,在 18 标准的基础上,经反复试算提出湿陷系数试验压力的修正方案。

1 试验方案

1.1 取样场地概况

取样场地位于甘肃正宁华能电厂场址,地处我国黄土高原的中南部,泾河左岸,地貌单元属黄土塬。场地地层 0~3 m 为素填土,3~4 m 为 Q_4 黑垆土,4~16 m 为 Q_3 黄土,16~34 m 为 Q_2 黄土。在该场地 3~34 m 深度范围内间隔 1 m 采取原状样,测得基本物理指标,用双线法测得压力 12.5~4 000.0 kPa 的湿陷系数。其中含水率、孔隙比及天然重度随深度的变化如图 1 所示。

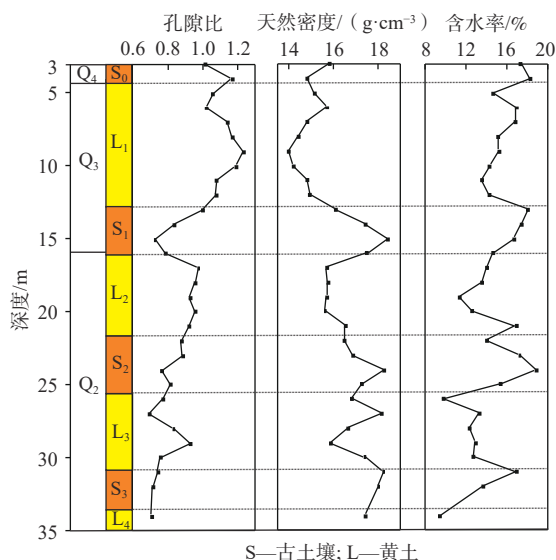


图 1 场地黄土的基本物理力学指标

Fig. 1 Basic physical and mechanical properties of the loess at site

1.2 试验内容及方法

对研究场地黄土试样用双线法进行高压湿陷试验,试验步骤如下:

(1)在探井中采取块状样,现场削入直径 61.8 mm、高度 20 mm 的环刀,称重并取散样测定其基本物理性

质指标,每个深度取 7 个相同环刀样,除做双线法外,备用其它试验。

(2)平行做天然试样和饱和试样从低压到高压的压缩试验,天然试样直接在高压固结仪上试验;饱和试样先抽真空饱和,再在高压固结仪器上试验。

(3)试验时先施加预压力 12.5 kPa,变形稳定后将百分表调零,然后按 25, 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 400, 1 600, 2 400, 3 200, 4 000 kPa 的压力分级加压,每级压力下每 2 h 的沉降量变化不大于 0.01 mm 视为稳定,可加下一级荷载。

(4)在同一坐标系下绘制天然和饱和试样的 e - $\lg p$ 曲线,利用同一级压力下饱和和环刀试样和天然环刀试样的沉降量差值,可计算得到湿陷系数随压力的变化曲线。

2 试验结果与分析

2.1 湿陷系数分析

试验共得到 29 组湿陷系数曲线。图 2 仅列出了 2 组湿陷性强的曲线和 2 组湿陷性弱的曲线。

由图 2 可以看出,典型湿陷性黄土的湿陷系数随压力变化会出现一个峰值,该湿陷系数为峰值湿陷系数,对应的试验压力为湿陷峰值压力,同时利用该曲线可以查出任一压力下的湿陷系数。弱湿陷性的为古土壤,曲线起伏大,在多级压力下表现出膨胀性,这与常帅斌等^[21-22]、魏伟^[23]等认为大部分古土壤具有膨胀性的结论一致。

根据试验曲线,确定出各深度的湿陷起始压力、峰值湿陷压力和峰值湿陷系数,其随深度的变化绘于图 3。可以看出 Q_3 黄土的湿陷起始压力在 20~300 kPa,湿陷峰值压力在 200~400 kPa,峰值湿陷系数在 0.02~0.14; Q_2 黄土的湿陷起始压力在 300~600 kPa,湿陷峰值压力在 600~1 200 kPa,峰值湿陷系数在 0.03~0.11。由此可见, Q_3 黄土和 Q_2 黄土的湿陷压力和湿陷系数都有显著差异^[26]。 Q_2 黄土的湿陷起始压力和峰值湿陷压力都明显高于 Q_3 黄土, Q_2 黄土的峰值湿陷系数随深度有减小的趋势。

2.2 湿陷试验压力与实际压力的对比

取 100, 200, 400, 500 kPa 等 4 种基底压力,考虑到本场地土层情况基础埋深按 3 m 算起,基底宽度取 20.0 m,实际压力、18 标准的试验压力和本文建议的试验压力随深度的变化如图 4 所示。

由图 4 可见,在 Q_3 黄土(3~16 m 深度)中,无论

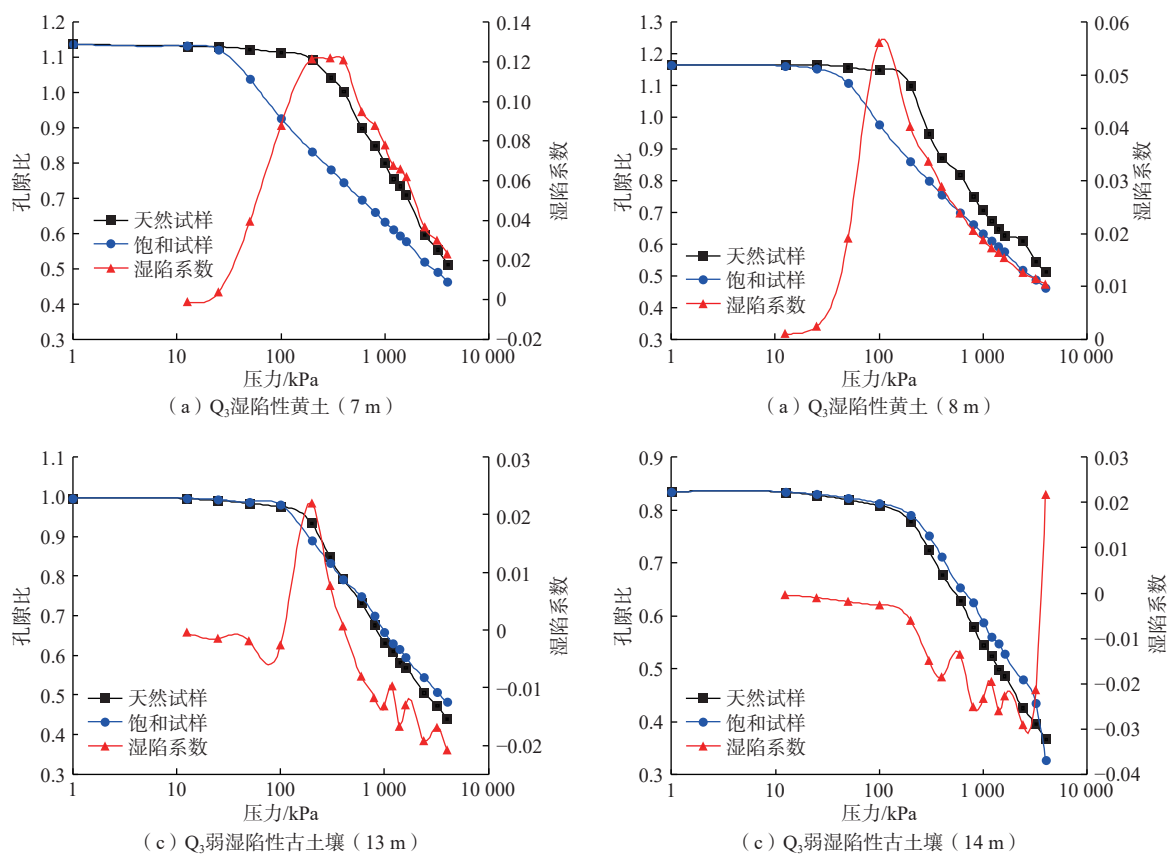


图 2 几种典型的双线法湿陷试验曲线

Fig. 2 Several typical curves of collapsibility tests with the double oedometer method

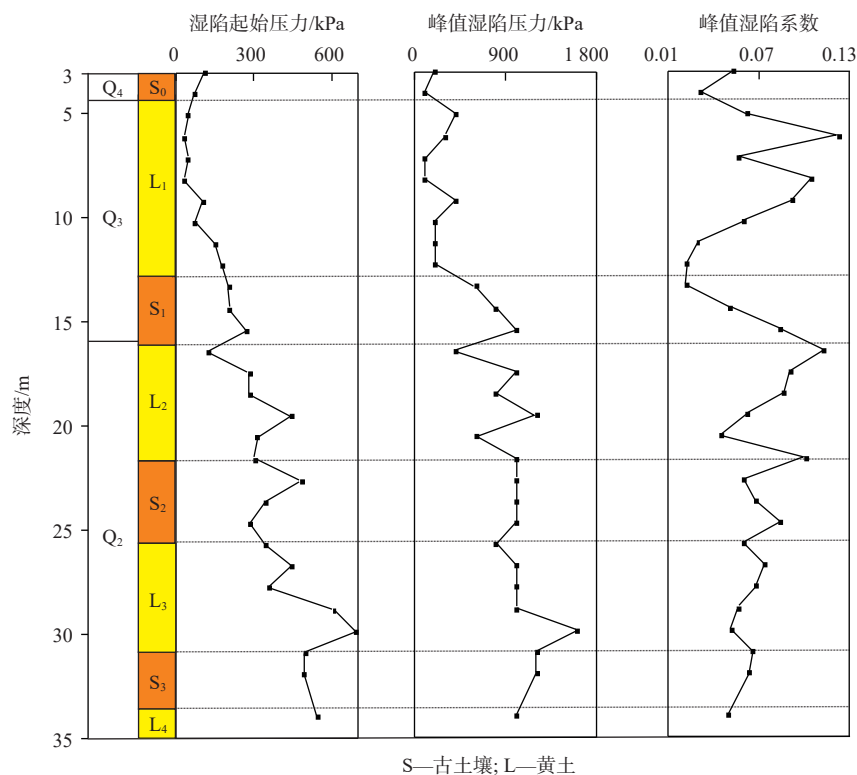


图 3 湿陷起始压力、湿陷峰值压力及峰值湿陷系数随深度变化的曲线

Fig. 3 Changes in the initial collapsible pressure, peak collapsible pressure and peak collapsible coefficient with depth

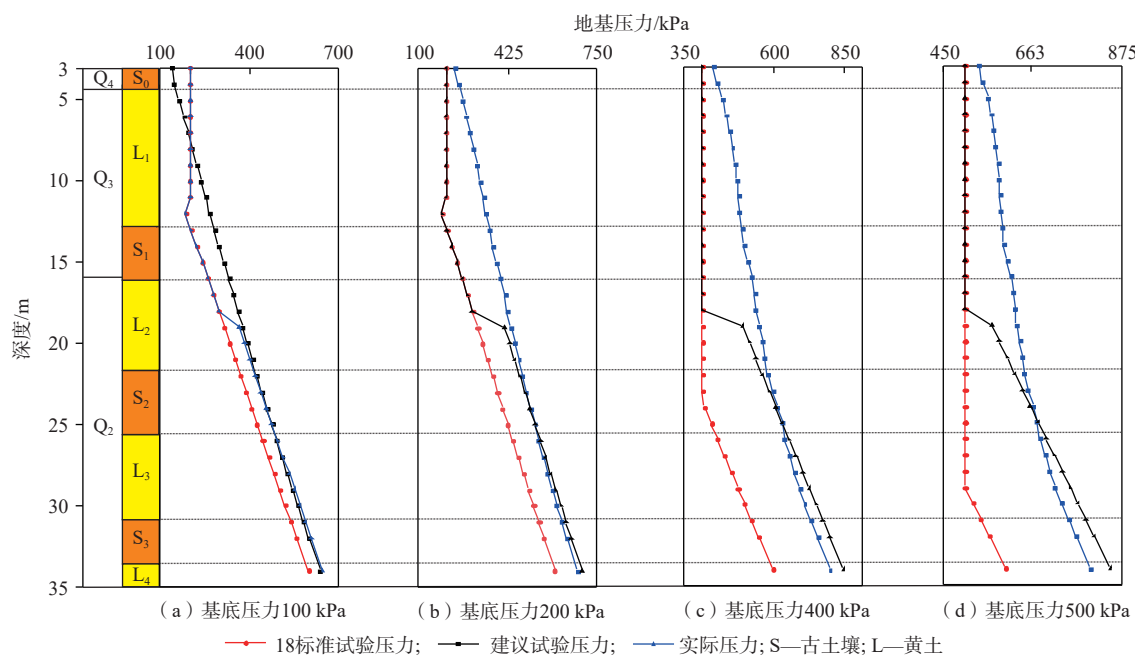


图 4 4 种基底压力下地基中的压力随深度变化的曲线

Fig. 4 Changes in pressures in foundation with depth in the four basement loads

是基底压力是否大于 300 kPa, 本文建议的试验压力和现有标准规定的试验压力值均一致, 但均与地层实际压力差距较大, 且大多数情况下小于地层实际压力。在 Q_2 黄土 (16 m 深度以下) 中, 各基底压力下, 本文建议的试验压力与地层实际压力较为接近, 但现行 18 标准规定的试验压力值均小于地层实际压力, 且随着基底压力的增大, 与地层实际压力的差异也越来越大。因此, 当建筑物基底压力较大或进行深厚层黄土 (Q_2 黄土) 的湿陷系数测定时, 本文建议的湿陷试验压力更接近地层实际压力。

尽管 Q_3 黄土的现有标准试验压力和实际压力差异大, 但已有试验表明现行标准规定压力下的 Q_3 黄土一般都达到了峰值湿陷系数, 因此 Q_3 黄土可不考虑实际压力, 按现行标准的取值对工程是有利的。 Q_2 黄土峰值湿陷压力大, 按现行标准试验压力未达到峰值湿陷压力, 还存在潜在湿陷性, 因此按本文更接近实际压力的方案要合理一些。

为了分析建筑基底宽度对压力的影响, 仍取 100, 200, 400, 500 kPa 等 4 种基底压力, 分别计算基底宽度为 15.0, 25.0, 30.0 m 时的实际地层压力, 将其与建议的试验压力对比 (图 5)。

由图 5 可见, Q_3 黄土 (3 ~ 16 m 深度) 中, 本文建议的试验压力与实际压力差异大, 但如上所述, 该部分建议的试验压力可获得峰值湿陷系数。 Q_2 黄土 (16 m

深度以下) 中, 当基底压力为 100 kPa、200 kPa 时, 实际压力受基底宽度影响小, 建议试验压力与实际压力很接近, 当基底压力为 400 kPa、500 kPa 时, 实际压力分布范围宽, 范围随基底压力增大而增加。建议的试验压力随深度的增长趋势与实际压力下的一致, 范围介于基础宽度 15.0 ~ 30.0 m 的实际压力之间。

2.3 不同试验压力下的湿陷系数对比

根据前面计算得到的各个深度处实际地层压力、本文建议压力及现行标准的试验压力, 在压力-湿陷系数曲线上查得这 3 种压力对应的湿陷系数, 其随深度变化的曲线如图 6 所示。其中基底宽度为 20 m, 基底压力为 100, 200, 400, 500 kPa。

由图 6 可见, 各基底压力下, 本文建议试验压力下的湿陷系数, 在大部分深度范围内, 均与实际压力下的湿陷系数相吻合, 仅在 30 m 深度以下且基底压力为 400 kPa 和 500 kPa 时, 稍大于实际压力下的湿陷系数。在 16 m 深度范围内, 现行标准试验压力下的湿陷系数与实际压力下的吻合, 但 16 m 以下比实际压力下的明显偏小, 这种差异的趋势随着基底压力的增大而增加。

为分析基底宽度对本文建议试验压力下的湿陷系数的影响, 选取基底宽度为 15.0, 20.0, 25.0, 30.0 m, 基底压力为 100, 200, 400, 500 kPa, 分别计算实际压力。将实际压力下的湿陷系数与本文建议压力下的

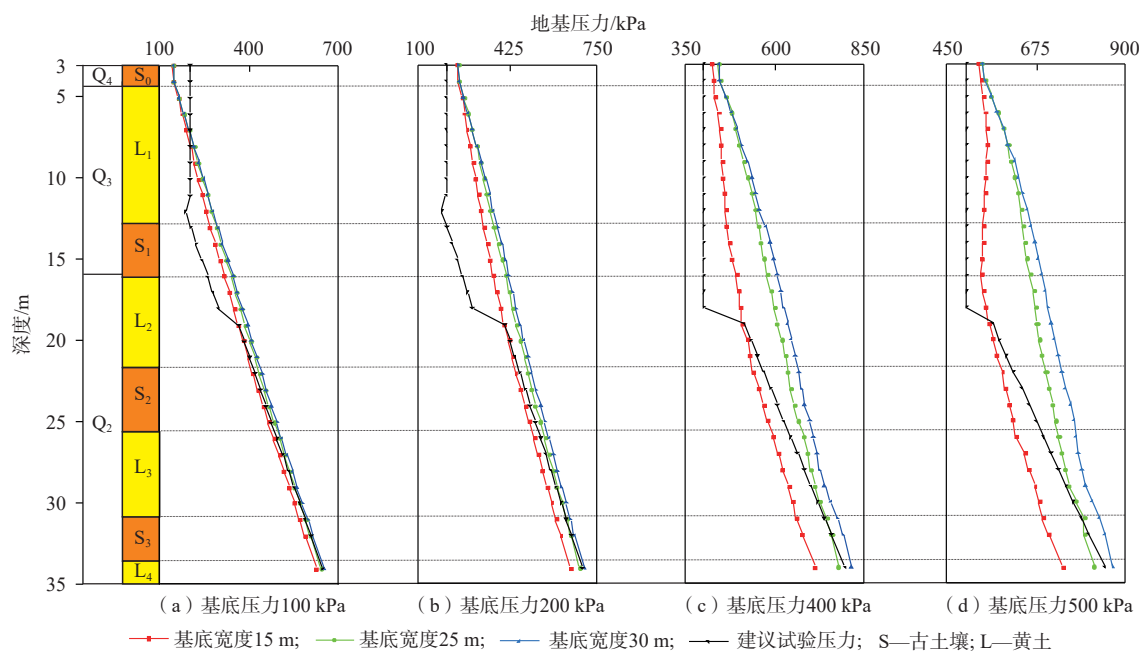


图 5 不同基底宽度下地层实际压力与建议试验压力随深度变化的对比

Fig. 5 Comparison of the suggested test pressure and real pressure in foundation under the three basement widths

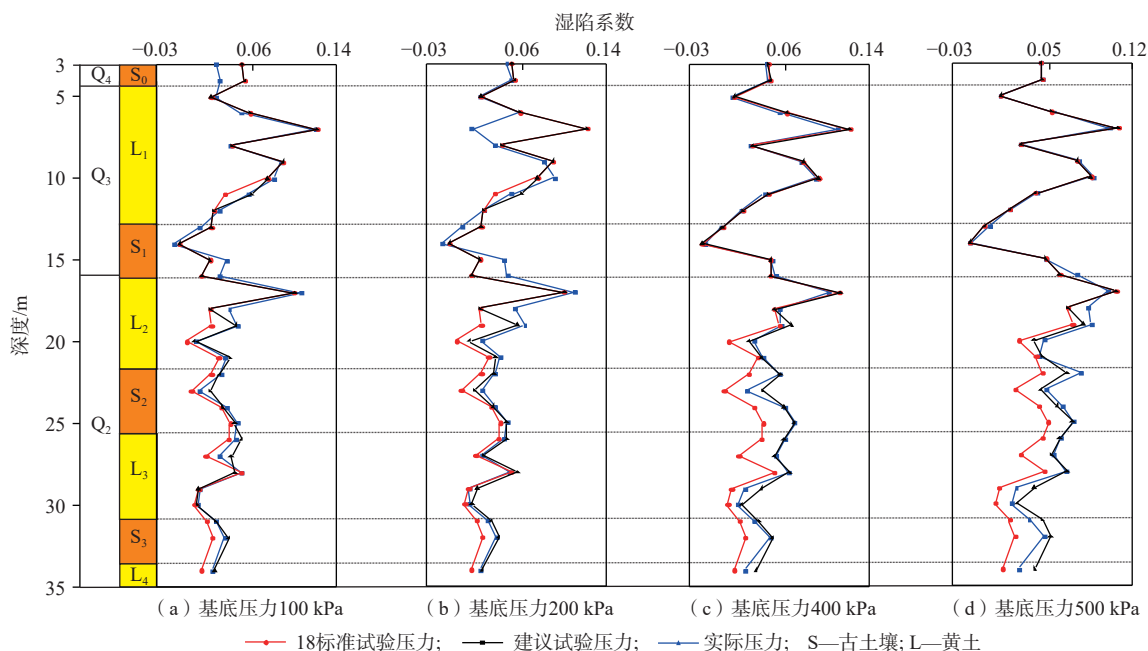


图 6 不同基底压力下 3 种湿陷试验压力的湿陷系数随深度变化的曲线

Fig. 6 Changes in collapsible coefficient with depth under the three test pressures in the cases of different basement pressures

湿陷系数随深度变化绘制于图 7 中。

由图 7 可见,湿陷系数对基底宽度变化不敏感,不同基底宽度下的湿陷系数值较为集中。各基底压力下, Q_3 黄土中,建议试验压力下的湿陷系数与实际压力下的吻合很好。 Q_2 黄土中,湿陷系数在一个较小范围变化,本文建议试验压力下的湿陷系数在基底宽度

为 15.0 ~ 30.0 m 的实际压力下的湿陷系数之间变化。综上所述,本文建议的试验压力与实际压力更为接近,对测定湿陷系数的准确性有明显改善。

3 试验压力修正方案

现行 18 标准规定的试验压力根据土样埋深和实

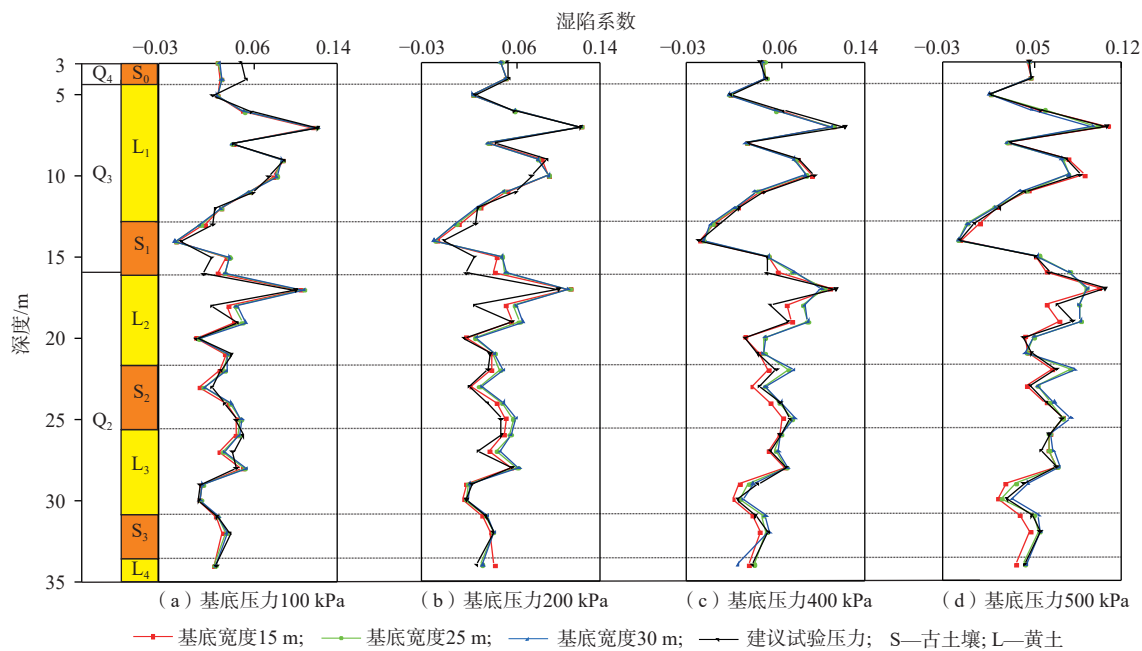


图 7 不同基底压力下不同基底宽度地层实际压力与建议试验压力湿陷系数随深度变化的曲线实际压力

Fig. 7 Changes in the real foundation pressure and the suggested test pressure with depth under different foundation widths

际基底压力来确定,其条文说明中指出,由于基础变更、地基处理或采用桩基等因素,实际压力将发生变化,而这些因素在勘察阶段存在不确定性,为此规范中又给出测定、绘制黄土压力-湿陷系数曲线的规定,便于后期重新评定湿陷性,这又增加了试验的工作量,实际中很少推行。而在勘察阶段采用统一的与实际压力接近的试验压力,可为勘察工作提供便利,也有利于不同场地湿陷性的比较。

以上根据试验结果,给定不同基底宽度和不同基底压力计算相应深度处的地层实际压力,即饱和自重应力和附加应力(屈宏录等^[24]、王新刚等^[25]、王寒^[26]提到附加压力的影响深度高达 100 m)之和。根据双线法试验结果查出实际压力下的湿陷系数,经反复试算

给出了与实际压力较为接近的试验压力。该试验压力考虑了土层深度、基底压力和上覆土的饱和自重 3 种因素。调整后建议的试验压力方案也列于表 1,以便比较。该方案的特点是:在土样深度 10 m 以上(Q₃黄土)且基底压力 $p < 300$ kPa 时,与已有规范一样均取 200 kPa; $p \geq 300$ kPa 时,与 18 规范一样仍取基底压力。本文主要对 10 m 以下(Q₂黄土)试验压力做了调整,不仅考虑了基底压力和土样深度,还考虑了饱和自重压力。 $p < 300$ kPa 时,若饱和自重压力小于 300 kPa,取饱和自重压力;若饱和自重压力大于 300 kPa,取饱和自重压力和基底压力一半之和。 $p \geq 300$ kPa 时,若饱和自重压力小于 300 kPa,取基底压力;若饱和自重压力大于 300 kPa,取饱和自重压力和基底压力一半之和。

表 1 已有湿陷性黄土地区建筑规范或标准中及本文建议测定湿陷系数的试验压力

Table 1 Test pressures of collapsibility coefficient in the codes or standards of construction in Collapsible Loess Area and those suggested in this paper

h/m	p/kPa	试验压力/ kPa					
		BJG 20—66	TJ 25—78	GBJ 25—1990、 GB 50025—2004	GB 50025—2018	本文	
						$\sigma_{zs}\leq 300$	$\sigma_{zs}>300$
$h\leq 10\text{ m}$	$p<300$	200	200	200	200	200	
	$p\geq 300$	200	200	σ_t	p	p	
$h>10\text{ m}$	$p<300$	200	300	$\min(\sigma_{zs}, 300)$	σ_{zs}	σ_{zs}	$p/2+\sigma_{zs}$
	$p\geq 300$	200	300	σ_t	$\max(\sigma_{zs}, p)$	p	$p/2+\sigma_{zs}$

注: h 为土样深度; p 为实际基底压力,即基础底部作用于地基表面接触的压力; σ_{zs} 为饱和自重压力; σ_t 为实际压力,即某一深度处的饱和自重应力和附加应力之和。

4 结论

(1) Q_3 黄土和 Q_2 黄土的湿陷压力和湿陷系数都有显著差异: Q_3 黄土的湿陷起始压力在 20 ~ 300 kPa, 湿陷峰值压力在 200 ~ 400 kPa; Q_2 黄土的湿陷起始压力在 300 ~ 600 kPa, 湿陷峰值压力在 600 ~ 1 200 kPa。可见, Q_2 黄土的湿陷起始压力和峰值湿陷压力都明显高于 Q_3 黄土, 但二者的峰值湿陷系数变化范围接近, Q_2 黄土的峰值湿陷系数随深度有减小的趋势。

(2) 现行 18 标准测定湿陷系数的试验压力在 Q_3 黄土深度范围内的湿陷系数与实际压力下的湿陷系数吻合, 但 Q_2 黄土中比实际压力下的明显偏小, 这种差异的趋势随着基底压力的增大而增加。

(3) 针对 Q_2 黄土的试验压力进行了修正, 即基底压力与饱和自重压力都不超过 300 kPa, 取饱和自重压力; 基底压力不超过 300 kPa, 饱和自重压力超过 300 kPa, 取基底压力的一半加饱和自重压力。基底压力超过 300 kPa, 饱和自重压力不超过 300 kPa, 取基底压力; 基底压力和饱和自重压力都超过 300 kPa, 取基底压力的一半加饱和自重压力。

(4) 当前规范规定以基础以下 10 m 深度为界, 若天然基础埋深一般取 1.5 m、11.5 m (相当于 Q_3 黄土的平均深度), 则与地层分界大致对应。若基础埋深大或场地有大开挖, 基础以下马兰黄土的厚度有可能很小, 10 m 深度和地层界限不对应, 此时应确定 Q_3 和 Q_2 的地层界限, 对 2 种地层分别参考 10 m 上、下的试验压力取值。

参考文献 (References):

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 湿陷性黄土地区建筑标准: GB 50025—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019. [Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for building construction in collapsible loess regions: GB 50025—2018[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019. (in Chinese)]
- [2] 朱晓明, 吴杨杰. 自主性的历史坐标——中国三线建设时期《湿陷性黄土地区建筑规范》(BJG 20—66)的编制研究[J]. 时代建筑, 2019(6): 58—63. [ZHU Xiaoming, WU Yangjie. Historical coordinates of self-reliance: A compilation study of building code for collapsible loess area (BJG 20—66) in the early days of the third front construction in China[J]. Times Architecture, 2019(6): 58—63. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 《湿陷性黄土地区建筑规范》管理组. 《湿陷性黄土地区建筑规范》TJ 25—78 简介[J]. 工程勘察, 1980, (2): 31—35. [Management Team of Code for building construction in collapsible loess regions. Brief introduction of building code for collapsible loess area TJ 25—78[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 1980, 8(2): 31—35. (in Chinese)]
- [4] 中华人民共和国行业标准编写组. 湿陷性黄土地区建筑规范: GBJ 25—1990[S]. 北京: 中国计划出版社, 1991. [The Professional Standards Compilation Group of People's Republic of China. Code for building construction in collapsible loess regions (GBJ 25—1990)[S]. Beijing: China Planning Press, 1991. (in Chinese)]
- [5] 中华人民共和国建设部. 湿陷性黄土地区建筑规范: GB 50025—2004[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004. [Ministry of Construction of the People's Republic of China. Code for building construction in collapsible loess regions: GB 50025—2004[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004. (in Chinese)]
- [6] 阚敦莉. 月坛金融中心结构与地基基础设计[J]. 建筑结构, 2020, 50(20): 38—43. [KAN Dunli. Design on structure and foundation of Yuetan Financial Center[J]. Building Structure, 2020, 50(20): 38—43. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 雷晓雨, 闫明礼, 申雪静, 等. 地下水对地基基础设计的影响[J]. 工业建筑, 2010, 40(11): 85—87. [LEI Xiaoyu, YAN Mingli, SHEN Xuejing, et al. Effect of groundwater design of building foundation[J]. Industrial Construction, 2010, 40(11): 85—87. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 白琳, 曹松涛. 盘南电厂煤系地层地基基础设计[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(增刊 1): 281—283. [BAI Lin, CAO Songtao. Design of building foundations of Pannan Power Plant in coal stratum[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2009, 42(Sup 1): 281—283. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 宋岳. 引黄入晋工程大梁水库坝基黄土湿陷变形特征及对工程的影响[J]. 工程地质学报, 1995, 3(3): 43—49. [SONG Yue. Characteristics of subsidence deformation of loess and their effect on the dam foundation of daliang reservoir[J]. Journal of Engineering Geology, 1995, 3(3): 43—49. (in Chinese with English abstract)]

- abstract)]
- [10] 刘江龙, 刘文剑, 吴湘滨, 等. 基于 GIS 广州市主城区地面塌陷危险性评价 [J]. *工程地质学报*, 2007, 15(5): 630 - 634. [LIU Jianglong, LIU Wenjian, WU Xiangbin, et al. Gis-based hazard appraisal of ground collapse in downtown area of Guangzhou City[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2007, 15(5): 630 - 634. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 张严, 朱武, 赵超英, 等. 佛山地铁塌陷 InSAR 时序监测及机理分析 [J]. *工程地质学报*, 2021, 29(4): 1167 - 1177. [ZHANG Yan, ZHU Wu, ZHAO Chaoying, et al. Moniting and inversion of Foshan metro collapse with multi-temporal insar and field investigation[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2021, 29(4): 1167 - 1177. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 王云龙, 陈晔, 郭海朋等. 沧州地区土层固结特征与地面沉降临界水位研究 [J]. *水文地质工程地质*, 2023, 50(4): 185 - 192. [WANG Yunlong, CHEN Hua, GUO Haipeng, et al. A study of the critical groundwater level related to soil consolidation characteristics of land subsidence in Cangzhou[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2023, 50(4): 185 - 192. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 方祥位, 申春妮, 李春海, 等. 陕西蒲城 Q_2 黄土湿陷变形特性研究 [J]. *岩土力学*, 2013, 34(增刊 2): 115 - 120. [FANG Xiangwei, SHEN Chunni, LI Chunhai, et al. Collapsible deformation properties of Q_2 loess in Pucheng of Shaanxi Province[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2013, 34(Sup 2): 115 - 120. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 方祥位, 申春妮, 汪龙, 等. Q_2 黄土浸水前后微观结构变化研究 [J]. *岩土力学*, 2013, 34(5): 1319 - 1324. [FANG Xiangwei, SHEN Chunni, WANG Long, et al. Research on microstructure of Q_2 loess before and after wetting[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2013, 34(5): 1319 - 1324. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 张炜, 张苏民. 我国黄土工程性质研究的发展 [J]. *岩土工程学报*, 1995, 17(6): 80 - 88. [ZHANG Wei, ZHANG Sumin. Development of loess engineering properties research in China[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1995, 17(6): 80 - 88. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 谢定义. 试论我国黄土力学研究中的若干新趋向 [J]. *岩土工程学报*, 2001, 23(1): 3 - 13. [XIE Dingyi. Exploration of some new tendencies in research of loess soil mechanics[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2001, 23(1): 3 - 13. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 汤连生. 黄土湿陷性的微结构不平衡吸力成因论 [J]. *工程地质学报*, 2003, 11(1): 30 - 35. [TANG Liansheng. Synthetic effect of microstructure and uneven suction on loess subsidence[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2003, 11(1): 30 - 35. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 邵生俊, 李骏, 李国良, 等. 大厚度自重湿陷黄土湿陷变形评价方法的研究 [J]. *岩土工程学报*, 2015, 37(6): 965 - 978. [SHAO Shengjun, LI Jun, LI Guoliang, et al. Evaluation method for self-weight collapsible deformation of large thickness loess foundation[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2015, 37(6): 965 - 978. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 史向庆. 湿陷性黄土湿陷系数测定方法探讨 [J]. *土工基础*, 2018, 32(3): 355 - 356. [SHI Xiangqing. Methods of determining the coefficient of wetting collapsibility of collapsible loess[J]. *Soil Engineering and Foundation*, 2018, 32(3): 355 - 356. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 胡燕妮, 米海珍. 兰州高坪黄土湿陷系数的试验压力取值探讨 [J]. *兰州理工大学学报*, 2008, 34(6): 135 - 138. [HU Yanni, MI Haizhen. Investigation in magnitude evaluation of collapsibility coefficient of loess on high fluvial terrace in Lanzhou by means of pressure testing[J]. *Journal of Lanzhou University of Technology*, 2008, 34(6): 135 - 138. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 常帅斌, 陈明, 张虎元, 等. 陇东地区早胜塬古土壤膨胀特性研究 [J]. *铁道建筑技术*, 2020(9): 7 - 11. [CHANG Shuaibin, CHEN Ming, ZHANG Huyuan, et al. Swelling characteristics of loess paleosol in Zaosheng tableland of longdong area[J]. *Railway Construction Technology*, 2020(9): 7 - 11. (in Chinese with English abstract)]
- [22] 常帅斌. 含水率对古土壤隧道围岩膨胀性的影响 [J]. *铁道建筑*, 2020, 60(6): 60 - 64. [CHANG Shuaibin. Influence of water content on swelling of surrounding rock of paleosol tunnel[J]. *Railway Engineering*, 2020, 60(6): 60 - 64. (in Chinese with English abstract)]
- [23] 魏伟. 隧道穿越膨胀性古土壤层衬砌结构受力特

- 征及厚度优化 [D]. 西安: 西安科技大学, 2020. [WEI Wei. Supporting characteristics and thickness optimization of tunnels through expansive paleosol layer[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2020. (in Chinese with English abstract)]
- [24] 屈宏录, 刘德仁, 孙英萍, 等. 深厚黄土地基浸水湿陷变形及竖向土压力作用分析 [J]. 水文地质工程地质, 2022, 49(4): 157 – 164. [QU Honglu, LIU Deren, SUN Yingping, et al. Analysis of collapsible deformation and vertical soil pressure action of thick loess foundation[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(4): 157 – 164. (in Chinese with English abstract)]
- [25] 王新刚, 刘凯, 王友林, 等. 典型黄土滑坡滑带土不同含水率下蠕变特性试验研究 [J]. 水文地质工程地质, 2022, 49(5): 137 – 143. [WANG Xingang, LIU Kai, WANG Youlin, et al. An experimental study of the creep characteristics of loess landslide sliding zone soil with different water content[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(5): 137 – 143. (in Chinese with English abstract)]
- [26] 王寒. 延安丘陵沟壑区高压下 Q_2 、 Q_3 黄土湿陷特性及评价方法研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2022. [WANG Han. Research on collapsibility and evaluation method of loess under high pressure in the hilly and gully region of Yan'an[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2022. (in Chinese with English abstract)]

编辑: 刘真真