

济南地区黄土成因分析及工程地质特征

王涛,姜晓芬

(山东省地矿工程勘察院,山东 济南 250014)

摘要:通过对济南地区黄土的成因类型、分布范围及工程地质特征进行分析,并对济南西部和东部不同地区黄土的物理力学性质进行对比,总结黄土湿限对工程建设产生的危害性并提出防治措施和建议。

关键词:黄土;湿限等级;工程地质特征;济南地区

中图分类号:P642.22;TU444 **文献标识码:**B

引文格式:王涛,姜晓芬.济南地区黄土成因分析及工程地质特征[J].山东国土资源,2015,31(12):46-49. WANG Tao, JIANG Xiaofen. Origin Analysis and Engineering and Geological Characteristics of Loess in Ji'nan Area[J]. Shandong Land and Resources, 2015,31(12):46-49.

黄土是一种具有大孔隙结构和垂直节理发育的非饱和欠固结土,天然状态下其压缩性较低,强度较高,但遇水浸湿时,在自重压力及附加压力的双重作用下,土的压缩性明显变大,强度显著降低,其地基具有突然下沉的性质,对工程建设安全性危害严重。因此查明济南地区的黄土成因、分布范围及其工程地质特征,做好预防和处理黄土地基对工程建设安全实施显得至关重要。

1 济南黄土分布范围

济南黄河以南多属中低山丘陵、山间河谷和山前冲洪积平原地貌,以北为黄河冲积平原,其特殊的地貌特征,地质成因等,黄土分布较为广泛,厚度变化较大。

根据对济南城区及附近大量工程勘察资料进行的统计分析,并结合已有的研究资料,区内黄土或黄土状土主要分布于山前冲洪积平原和南部山间沟谷、坡麓斜坡地带。由西向东自广里村—东障村—孝里镇—归德镇—长清县吕庄—桥子李—平安店镇—睦里庄—段店南—匡山村东—北园大街以南至花园庄—王舍人—董家镇—绣惠镇—一线以南区域。其厚度一般2~10 m,局部可达15 m(图1^①)。

2 湿限性黄土评价标准及方法

根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004)规定,依据湿陷系数 δ_s 进行判别是否为黄土,湿陷系数 δ_s 大于或等于0.015时为湿陷性黄土。并根据 δ_s 判别黄土的湿陷程度,当 $0.015 \leq \delta_s \leq 0.03$ 时湿陷性轻微; $0.03 < \delta_s \leq 0.07$ 时,湿陷性中等;大于0.07时湿陷性强烈。

当自重湿陷量 Δz_s 小于或等于70 mm时,为非自重湿陷性黄土场地,大于70 mm时,为自重湿陷性黄土场地。根据济南地区大量探井取样试验资料统计,区内黄土主要为非自重湿陷性黄土,自重湿陷性黄土仅个别地点零星分布,如济南市历城区水泥厂附近存在自重湿陷性黄土。

非自重湿陷性黄土场地地基的湿陷等级应根据总湿陷量 Δ_s 的计算结果进行判定,当 Δ_s 小于等于300 mm时,判定为Ⅰ级轻微黄土湿陷; Δ_s 大于300 mm时为Ⅱ级中等黄土湿陷^[1]。

3 济南黄土成因

根据济南地区内数十年来的数百个工程地质勘察资料的分析统计结果,并结合相关研究资料表明,

收稿日期:2015-02-28;修订日期:2015-03-11;编辑:陶卫卫

作者简介:王涛(1975—),男,山东莱州人,高级工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:shuihuan801@163.com

①山东省地矿工程勘察院,王涛、焦丽香,济南市工程地质条件及城市建设适宜性评价,2014年。

济南地区黄土一般属于黄土状土,形成时代一般在全新世早期,只有在局部地区分布有晚更新世的黄土,基本以非自重湿陷性黄土为主。根据相关资料,济南地区黄土一般属于风成、冲积、洪积等多种成因综合形成,其组成成分多来自强西北气流带来的粉尘,黄土形成后均受到后期水流、植被及生物等进一步的物理和化学作用改造,所以黄土中经常可以看到各种面状和线状形态的透镜体,这些均是后期水流作用所形成的构造特征,这也是研究其成因和其物源的重要特征。在一些特殊的地貌单元,如山谷和坡麓等处,由于少受或不受西北气流影响,可形成坡积、洪积的黄土状土,一般厚度较小,水成性状明显,中间一般夹杂分选性较差的砾石层^[2]。

根据大量的工程地质勘察探井资料,济南黄土堆积区上部一般有黑垆土分布,该层上部黄土应为全新世堆积形成。根据辛良杰对长清张夏大沙河附近黄土的研究资料,该区约 7 m 厚的黄土层为晚更新世的马兰期黄土^[3]。

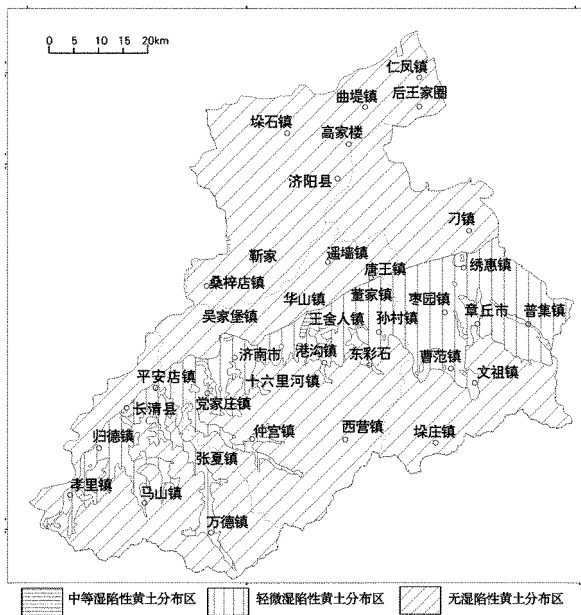


图 1 济南黄土分布范围图

4 黄土工程地质特征

根据济南地区工程勘察探井黄土样试验资料,济南地区黄土岩性以粉质粘土和粉土为主,黄土地基湿陷等级以 I 级轻微湿陷为主(表 1)^①。不同场地其黄土的湿陷等级、物理力学性质指标具有不同的差别,以济南城区以西和济南城区以东 2 个地区

的黄土为例,对其物理力学性质进行分析论述。

表 1 济南典型地段湿陷性黄土特征

位置	平均湿陷系数	黄土厚度 (m)	总湿陷 (mm)	湿陷等级
七贤镇杨家庄	0.028	3.90	16.38	I 级轻微
济南二机床南村	0.000	2.80		无湿陷
青年东路文教大院	0.021	3.40	10.71	I 级轻微
姚家镇七里河村北	0.019	3.30	9.41	I 级轻微
姚家镇牛王村西	0.026	4.30	16.77	I 级轻微
济南市立三院	0.008	3.30		无湿陷
董家镇董家村西	0.017	5.20	13.26	I 级轻微
港沟镇港沟村	0.032	4.60	22.08	I 级轻微
历城仲官仲北村	0.016	2.70	32.4	I 级轻微
鲁能领秀城 D 地块	0.026	5.70	148	I 级轻微

注:湿陷类型为非自重湿陷

4.1 济南西部地区黄土工程地质特征

通过收集济南城区以西至长清地区黄土试验资料,根据对试验数据统计分析对比,西部地区上部黄土状土一般具有湿陷性,颜色多呈褐黄色和黄色,局部为黄褐色,多含植物根系及白色丝质网膜,多发育孔隙,见少量虫孔,垂直节理发育轻微,局部含砾石或姜石薄层,一般具有以下几个特点:

(1)厚度一般小于 6 m,但局部可达 15 m,湿陷系数多小于 0.070,湿陷性轻微至中等为主,湿陷起始压力 70~190 kPa,属非自重湿陷性黄土。

(2)湿陷性黄土或黄土状土的塑性指数 3.0~13.5,岩性以粉土为主,其次为粉质粘土。

(3)黄土状土的压缩性以中压缩性为主,其压缩系数多小于 0.6 MPa^{-1} ,平均值 0.27 MPa^{-1} 左右,局部属高压缩性。标准贯入试验锤击数 5~15 击,但压缩性指标的变异系数较大,离散性较大,说明不同场地不同地貌单元内黄土力学性质差别较大,其主要物理力学性质指标见表 2。

表 2 济南西部地区湿陷性黄土主要物理力学统计指标

指标	含水量	孔隙比	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	湿陷系数
范围值	11.45~23.6	0.67~1.06	3.0~13.5	<0~0.61	0.10~0.59	3.21~16.81	0.015~0.070
平均值	18.2	0.86	8.8	0.26	0.27	8.05	0.030
变异系数	0.19	0.11	0.29		0.47	0.45	0.39

此外根据统计分析,西部黄土的孔隙比与湿陷系数存在随深度变化而变化的规律,即孔隙比与湿陷系数与黄土层深度的变化基本趋于一致,在埋深

① 山东省地矿工程勘察院,山东省济南城市多参数立体化综合地质调查报告,2005 年。

小于2 m范围内孔隙比与湿陷系数随深度逐渐增大,1.5~2 m间一般至最大,随后随深度增加又不断减小,绝大多数黄土至6 m以下湿陷系数小于0.015,不具湿陷性。

4.2 济南东部黄土工程地质特征

根据济南城区东部至高新区附近探井取样试验资料,根据统计分析对比,该地区上部黄土一般具有湿陷性,湿陷性黄土主要呈褐黄色,局部黄褐色,含植物根系白色菌丝体钙质结核和锈染,多孔隙,垂直节理发育较轻,存在以下几个特点:

(1)湿陷性黄土层厚度一般小于2~10 m,个别地段大于10 m,湿陷系数0.015~0.037,湿陷性轻微至中等,湿陷起始压力100~199 kPa,属非自重湿陷性黄土。

(2)湿陷性黄土塑性指数7.1~16.1,平均11.6,岩性以粉质粘土为主。

(3)压缩系数0.05~1.83 MPa⁻¹,平均值0.94 MPa⁻¹,以中高压缩性为主。标准贯入击数3~17击,但压缩性指标的变异系数较大,一般0.3左右,同济南城区西部一样,说明不同场地和地貌单元的差别较大,其主要物理力学性质指标见表3^[4]。

表3 济南东部地区湿陷性黄土主要物理力学统计指标

指标	含水量	孔隙比	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	湿陷系数
范围值	12.8~26.2	0.651~1.182	7.1~16.1	-0.09~0.77	0.05~1.83	0.15~39.19	0.015~0.037
平均值	19.5	0.9165	11.6	0.34	0.94	19.67	0.019
变异系数	0.05~0.17	0.04~0.13	0.06~0.14	-2.81~4.33	0.21~1.02	0.21~1.18	0.47~0.93

5 工程建设危害性及工程防治措施

由于黄土特殊的工程地质特征,其黄土地基湿陷性对工程建设产生较大的危害,如处理不当,会在很大程度上影响工程的安全运行。

黄土地基处理方法很多,不同地区应根据该地区成熟的经验进行选择,还应考虑建筑物的类别和湿陷性黄土的特性、湿限等级等因素综合考虑,同时要考场地条件、施工设备、施工进度、材料来源和当地气象环境等因素,在技术可行经济合理的前提下综合分析比较后确定。综合考虑上述因素,根据济南地区黄土地基特点,比较成熟有效处理方法主要有换填垫层法、强夯法,其他方法如挤密法、化学加固法、预浸水法、冲击碾压法等应用相对较少,也

可几种方法结合使用。

5.1 灰土垫层法

该方法是将一定深度范围内黄土挖除,最后再用灰土分层回填夯实。常用于处理乙类和丙类建筑的黄土地基。这种处理方法可消除地基部分或全部湿陷量,增强地基强度,同时(灰土)地基具有隔水作用,可有效地保护下部未被处理的湿陷性黄土不致浸水湿陷^[5]。

垫层的设计与施工应注意以下问题:首先应满足处理厚度的要求,必要时进行垫层下卧层强度验算;第二灰土比多采用2:8或3:7,换填厚度一般小于2 m,垫层土料应选择粉质粘土,不得含有松软杂质;第三严格控制垫层土料含水量,使其不超过规范要求;第四施工前最好进行现场试验,以便更好地确定施工的各种参数,应对每层进行检验验收;第五垫层处理的范围要达到规范要求,灰土垫层的搭接设缝应满足相关要求,垫层夯压密实后建筑地基范围内不得受水浸泡;第六对处理后的垫层应经过经载荷试验检测,当压实系数不小于0.95时,其处理后承载力特征值一般应大于150 kPa。

5.2 强夯法

强夯法是反复将重锤提到高处使其自由落下形成夯坑,通过重锤的冲击和振动能量,从而将地基夯实的地基处理方法,该方法作用一是可以消除黄土的湿陷性,二是能够显著提高黄土地基承载力。该方法应用比较广泛,在处理效果和工期方面具有一定的优势。

采用强夯法处理黄土地基时应注意几个问题:首先必须进行试夯;第二处理范围必须大于其建筑基础范围,并不应小于3 m;第三根据建筑基础平面形状来确定夯点的布置,并根据要处理黄土岩性和处理深度确定夯点间距;第四应对处理后的地基进行探井取样、标准贯入试验、载荷试验等方法确定处理效果。

6 结语

济南地区黄土主要分布于黄河以南的山前冲洪积平原区、山间河谷及山麓等区域,厚度变化大,以非自重湿陷性黄土为主,对工程建设危害较大的特点,详细查明其具体成因、分布、岩性、厚度及工程地质特性,对于工程建设中黄土地基的处理方法的选

用、工程造价的减少,尤其对工程建筑的安全保证具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] GB50025-2004,湿陷性黄土地区建筑规范[S].
- [2] 全霄金,刘光明.济南长清区湿陷性黄土物理力学性质及地基处理方法[J].勘察科学技术,2013,(2):39-40.
- [3] 辛良杰.张夏黄土组成特征及其成因分析[J].中国地质,2005,32(1):55-61.
- [4] 周海福,王涛,丁凤霞.黄土地区取样方法对其物理力学指标的影响[J].工程地质学报,2012,(20):113-117.
- [5] 傅玉.湿陷性黄土场地勘探方法对工程影响的探讨[J].工程地质学报,2012,(20):830-836.

Origin Analysis and Engineering and Geological Characteristics of Loess in Ji'nan Area

WANG Tao, JIANG Xiaofen

(Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: Through analysis on origin types, distribution scope and engineering and geological characteristics of loess in Jinan area, comparing physical and mechanical properties of loess in different regions in western and eastern part of Jinan, harmfulness of the loess wet limits to the construction has been summarized. Relative prevention countermeasures and suggestions have been put forward.

Key words: Loess; wet limit; engineering and geological characteristics; Jinan area