

浅析湿陷性黄土的分布成因及其强夯法施工夯击能影响深度及其影响因素

许 莉

宁夏交通科学研究所有限公司 宁夏银川 750001

摘要:我国黄土分布范围广阔,黄土做为建设、建筑地基工程研究已有漫长的历史。黄土本身具有的湿陷性性质给公路、铁路、建筑等地基的处理带来很大困扰。黄土具有的湿陷特性对建设工程的地基承载能力影响非常大,在前期设计阶段没有对黄土地基进行严密的考察分析、归类,会造成地基处理时的措施不当、处理不到位,导致在工程建设中、使用期、运营期都会发生下陷、沉降、塌陷等不同程度的破坏,使得建筑物、构造物形成不同程度的裂缝、沉陷、甚至坍塌的危害,造成财产损失、安全问题和行驶的不舒适度。在湿陷性黄土地区的区域预进行设置构造物、建筑物和公路、铁路建设时,应详细考察划分是否属于湿陷性黄土、湿陷性黄土的段落、段落内湿陷等级等,没有进行明确辨别、划分或错误判断会造成浪费财力或后期地基下陷、沉降、塌陷等破坏,所以勘察设计和确定的处理措施是保证工程质量的奠基石。

关键词:公路工程;湿陷性黄土地基处理措施;强夯法处理湿陷性黄土地基;深度的影响因素;湿陷性黄土地基质量控制重要性

一、湿陷性黄土的分布

我国黄土分布范围较大,主要分布在东北区、华北区、西北等地,其中分布最为广泛的是黄河中游地区。宁夏地区黄土分布较为广泛,主要分布于南部山区,黄土的深度由宁夏南部(固原地区)至北(吴忠地区)成递减,大部分在50m以上,局部地区高达100m以上。宁夏固原市往北到同心、中宁、吴忠等地区的黄土堆积主要受到西华山和南华山地貌形成的控制,以黄土台塬为主,而六盘山阴湿彭阳地区黄土堆积主要受到六盘山地貌形成的控制,主要为黄土梁峁。湿陷性黄土主要分布在清水河等河谷区域,分布完整,且黄土埋藏较深,土层厚度变化大。地层主要为第四纪更新世风积黄土,黄土以硬塑为主,上部黄土具有湿陷性。

二、湿陷性黄土的成因

通过以往大量文献资料的调取显示,将湿陷性黄土按结构组合分为三类:(1)支架-镶嵌孔隙结构组合;(2)半胶结结构组合;(3)胶结结构组合。支架大孔结构是粗颗粒相互支架形成者,颗粒及其间的孔隙清晰,无胶结物,粒间孔隙有单个的集粒。具这种结构的黄土,质疏松,易湿陷变形,是黄土中最不稳定者。

通过在扫描电子显微镜对湿陷变形前后土样的结构观察分析发现,黄土的湿陷变形实质上就是当黄土浸水受压后,削弱了颗粒连接点间的结合力,支架结构迅速瓦解,颗粒重新组合,紧密排列,构成新的孔隙,使土体趋于稳定。显然,在这个过程中,支架结构孔隙为湿陷变形提供了一定的空间场所。黄土的多孔性是引起黄土产生湿陷现象的主要原因。但是不同类型、不同大小的孔隙在湿陷变形中所起的作用不同。其中,中孔隙(即支架孔隙)是导致黄土产生湿陷的主要因素。

三、湿陷性黄土地基处理的措施

处理湿陷性黄土地基的主要有效方法有换填垫层法、强夯法、挤密桩法、预浸水法、注浆法、其他方法。换填垫层法适用于地下水位以上1m-3m范围;强夯法适用于饱和度 $\leq 60\%$ 的湿陷性黄土,处理深度为3m-12m范围;挤密桩法适用于饱和度 $\leq 65\%$ 、含水率 $\leq 22\%$ 的湿陷性黄土,处理深度为5m-15m。此三种方法都是目前较为成熟的工艺,但总体来说,地区土层的天然含水率是影响湿陷性黄土处理效果的关键。

本论文支撑试验数据取样依托宁夏高速项目,所选地段基本实现了对我区湿陷性黄土典型地区类型的全覆盖。选取同心地区-中部干旱带、海原丘陵地区-中部干旱带、六盘山阴湿丘陵地区。

四、宁夏湿陷性黄土地区含水率分布情况

含水率是影响黄土工程地基处理效果的重要指标之一,从数据情况看出,宁夏地区大部分黄土的天然含水率

作者简介:许莉,女,生于1988年11月12日,汉族,本科毕业,就职于宁夏交通科学研究所有限公司,试验检测,工程师,研究方向:公路工程建设质量控制,邮箱:616618674@qq.com。

存在偏低现象, 吴忠太阳山地区含水率集中在8%~13%范围、预旺地区黄土含水率集中在3%~7%、固原向北地区含水率集中在10%~14%, 六盘山阴湿丘陵地区黄土含水率集中在14%~19%。根据天然含水率的分布情况表明, 宁夏黄土的物理性质含水率存在至北向南由小变大的趋势变化。

所处地区	地理位置	天然原状土含水率	占百分比
中部干旱带	吴忠太阳山地区	8%~13%	54%
中部干旱带	同心预旺地区	3%~7%	80%
丘陵地区中部干旱带	固原向北地区	10%~14%	60%
六盘山阴湿地区	固原彭阳地区	14%~19%	63%

含水率的变化与场地周围地形、地貌、地下水位和深度、年降水量有关, 在浅表层, 含水率偏低。个别地貌开挖后, 不同深度地基含水率变化范围不大, 较为均匀。天然含水率对湿陷性黄土地基处理有着直接的影响。

五、湿陷性黄土地基(强夯法)处理措施效果分析影响因素

选取代表性的中部干旱带, 含水率在4%~10%(干旱)有代表性地段, 选择对测试该强夯地段处理数据采集, 采用主夯、副夯3000kN.m提夯高度11米。因规范规定3000kN.m进行试夯时强夯影响深度为5米~6米范围, 考虑理论深度影响范围, 所以采取大于理论影响深度进行取样。首先对原状土进行取样, 通过取样分析:(1)深度8米范围内土样性状无明显变化。对所取土样进行最大干密度击实试验, 所得最大干密度为1.97g/cm³对应最佳含水率为11.7%;(2)对原状土8米深度范围内, 每隔0.5米取样做原状土干密度、含水率试验;(3)在天然含水率状态下进行强夯处理, 对不同深度处理前、处理后的压实度、含水率、湿陷系数、地基承载力进行检测分析见以下表数据:

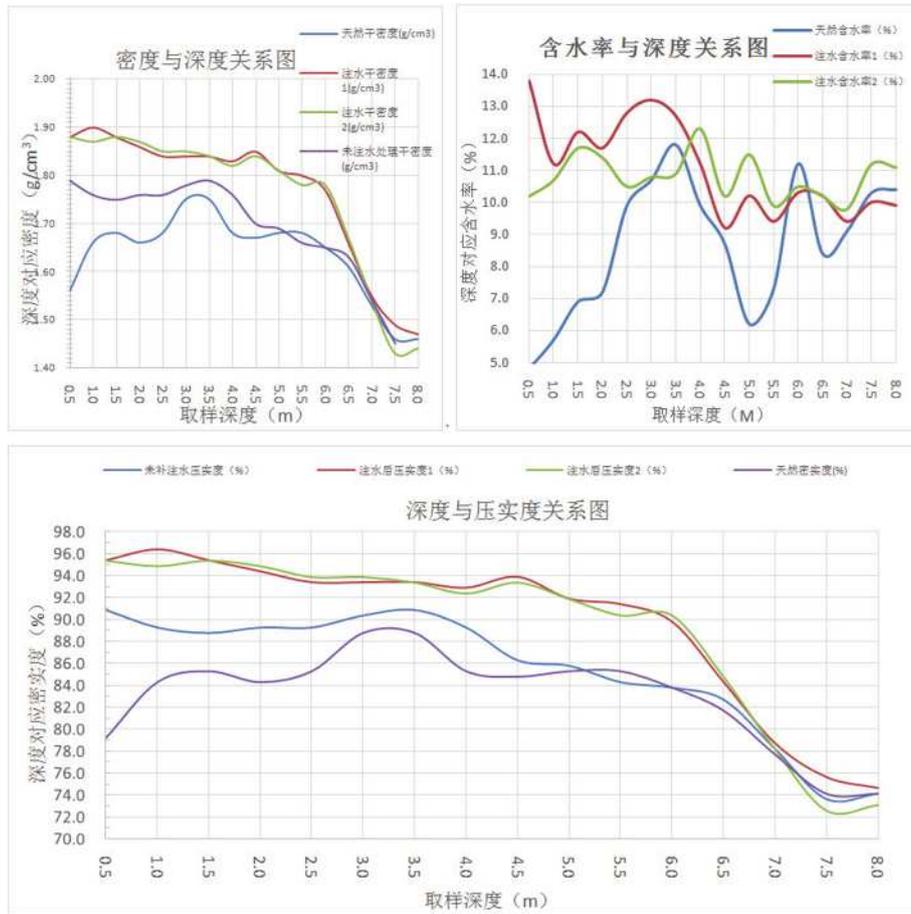
固定夯击能下强夯对处理深度数据影响分析表

干旱地段落		击实最大干密度: 1.97g/cm ³				最佳含水率: 11.7%				主夯、副夯3000kN.m/11m					
深度(m)	天然含水率(%)	注水含水率1(%)	注水含水率2(%)	天然湿密度g/cm ³	未注水处理湿密度g/cm ³	注水湿密度1g/cm ³	注水湿密度2g/cm ³	天然干密度g/cm ³	未注水处理干密度g/cm ³	注水干密度1g/cm ³	注水干密度2g/cm ³	天然压实度(%)	未注水强夯压实度(%)	注水后压实度1(%)	注水后压实度2(%)
0.5	4.8	13.8	10.2	1.63	1.88	2.14	2.07	1.56	1.79	1.88	1.88	79.2	90.9	95.4	95.4
1.0	5.7	11.2	10.7	1.75	1.86	2.11	2.07	1.66	1.76	1.90	1.87	84.3	89.3	96.4	94.9
1.5	6.9	12.2	11.7	1.80	1.87	2.11	2.10	1.68	1.75	1.88	1.88	85.3	88.8	95.4	95.4
2.0	7.2	11.7	11.4	1.78	1.89	2.08	2.08	1.66	1.76	1.86	1.87	84.3	89.3	94.4	94.9
2.5	9.9	12.8	10.5	1.85	1.93	2.07	2.04	1.68	1.76	1.84	1.85	85.3	89.3	93.4	93.9
3.0	10.7	13.2	10.8	1.94	1.97	2.08	2.05	1.75	1.78	1.84	1.85	88.8	90.4	93.4	93.9
3.5	11.8	12.7	10.9	1.96	2.00	2.07	2.04	1.75	1.79	1.84	1.84	88.8	90.9	93.4	93.4
4.0	9.9	11.2	12.3	1.85	1.93	2.03	2.04	1.68	1.76	1.83	1.82	85.3	89.3	92.9	92.4
4.5	8.7	9.2	10.2	1.82	1.85	2.02	2.03	1.67	1.70	1.85	1.84	84.8	86.3	93.9	93.4
5.0	6.2	10.2	11.5	1.78	1.79	2.00	2.02	1.68	1.69	1.81	1.81	85.3	85.8	91.9	91.9
5.5	7.3	9.4	9.9	1.80	1.78	1.97	1.96	1.68	1.66	1.80	1.78	85.3	84.3	91.4	90.4
6.0	11.2	10.3	10.5	1.83	1.83	1.95	1.97	1.65	1.65	1.77	1.78	83.8	83.8	89.8	90.4
6.5	8.4	10.2	10.2	1.75	1.77	1.83	1.84	1.61	1.63	1.66	1.67	81.7	82.7	84.3	84.8
7.0	9.1	9.4	9.8	1.67	1.68	1.70	1.69	1.53	1.54	1.55	1.54	77.7	78.2	78.7	78.2
7.5	10.3	10.0	11.2	1.61	1.60	1.64	1.59	1.46	1.45	1.49	1.43	74.1	73.6	75.6	72.6
8.0	10.4	9.9	11.1	1.61	1.61	1.62	1.60	1.46	1.46	1.47	1.44	74.1	74.1	74.6	73.1

设计压实度: 3m以上压实度设计≥93%, 3米以下压实度设计≥90%, 3000kN.m理论最大影响深度6.0m

处理前、后湿陷、地基承载力检测统计

处理情况描述	检测深度(m)	设计值	湿陷系数平均值	结果
未处理天然地基	0~2m; 2~4m; 4~6m	≤0.015	0.020/0.023/0.036	不符合
未注水处理后	0~2m; 2~4m; 4~6m	≤0.015	0.017/0.016/0.020	不符合
注水处理后结果	0~2m; 2~4m; 4~6m	≤0.015	0.007/0.008/0.008	符合
注水处理后结果	7~8米	≤0.015	0.023	不符合
静载法检测地基承载力: 特征值>280Kpa满足设计要求(地基承载力设计值>180Kpa)				



根据采集数据得出:

(1) 采用强夯法处理湿陷性黄土地基时, 含水率对处理的密实程度效果影响非常关键, 首先要对天然含水率进行检测, 这样一来就会给后续施工提供很好的支撑, 指导后续含水低于规范规定7%时需注水, 否则达不到预期的密实度, 含水率高于22%时需要晾晒, 否则会造成提锤困难。减少由于天然含水率问题对处理效果的影响。

(2) 本次选测段落选取1个测点进行了天然含水率检测, 自0.5m-1.0m每隔0.5米进行取样, 检测深度土层内土样无明显变化, 但含水率变化较大, 范围在4%-12%之间。

(3) 选取相邻段落每隔4米开挖注水孔进行注水湿润, 放置7天, 使得含水率在最佳含水率附近, 再次进行试夯试验, 测得含水率满足规范要求, 夯击密实度符合要求。

(4) 强夯施工的夯击能对不同深度的密实度有影响, 通过本次验证工艺得出, 单击夯击能3000kN·m, 提夯高度11m时, 在含水率符合规范要求的前提下, 0-3m压实度大于93%, 满足设计要求; 3m-5.5m大于90%满足设计要求; 6.0m-6.5m密度稍有增长, 7.0m-8.0m此夯击能下基本无增长, 湿陷系数不合格。

(5) 在未达到规定要求含水率时进行强夯处理, 压

实度不能达到设计要求的密实度数据较多, 压实度与深度变化无明显规律。

(6) 强夯能级大小对处理效果影响深度的压实度有直接关系, 能级3000kN·m时, 在含水率满足规范要求的情况下, 有效影响深度为5.5米, 说明5.5米范围内压实度满足要求。对6.0米至6.5米范围内的密实效果有影响, 但压实度有可能达不到要求, 此夯击能下深度6.5米以下基本无影响。

(7) 天然地基未处理前进行湿陷性试验, 原地基湿陷系数不满足设计要求。原地基检测天然含水率小于规范要求范围要求, 但进行强夯施工后地基湿陷系数相对未处理前变小, 但仍然大于设计, 不符合要求。在对地基进行处理注水后, 地基检测深度范围内含水率在最佳含水率附近且满足规范规定的最小含水率, 处理后地基强夯影响深度范围内湿陷系数小于0.015, 满足设计要求。静载法地基承载力满足设计要求。

参考文献:

- [1] 《黄土地区公路路基设计与施工技术规范》D31-05-2017
- [2] 《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018。
- [3] 《建筑地基检测技术规范》JGJ 145-2015
- [4] 《公路土工试验规程》JTG 3430-2020