

豫西湿陷性黄土的工程地质特征及基础选型探讨

董富强¹, 王荣彦^{2,3}, 苏巧荣⁴

(1. 河南省地勘局, 河南 郑州 450003; 2. 河南省地勘局第二水文地质工程地质队, 河南 郑州 450053; 3. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450011; 4. 黄河水利职业学院, 河南 开封 475003)

摘要:首先介绍了豫西湿陷性黄土的分布区域、工程地质条件及湿陷性特征,总结了豫西湿陷性黄土地区建筑基础选型情况,同时对建筑基础选型中存在的有关问题进行了分析。

关键词:豫西黄土;湿陷性黄土;工程地质特征;基础选型

中图分类号:PU444 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2010)03-0035-04

Discussion on Engineering Geological Characteristics and Foundation Selection in Collapsible Loess of West Henan/DONG Fu-qiang¹, WANG Rong-yan^{2,3}, SU Qiao-rong⁴ (1. Henan Bureau of Investigation and Development of Geology and Mineral Resources, Zhengzhou Henan 450003, China; 2. No. 2 Team of Hydrology and Engineering Geology, Henan Bureau of Investigation and Development of Geology and Mineral Resources 450053, China; 3. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou Henan 450008, China; 4. Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng Henan 475003, China)

Abstract: The paper introduced the distribution, engineering geological conditions and characteristics of collapsible loess in West Henan area, summed up the construction foundation selection in such geological conditions and analyzed the related issues.

Key words: loess of West Henan; collapsible loess; engineering geological characteristics; foundation selection

0 前言

豫西黄土在地域上是指分布在灵宝、三门峡、洛阳、巩义、上街等地区的黄土,分布面积约 1.1 万 km²。本区地形西高东低,南高北低。豫西黄土所在的地貌单元有黄土台塬、黄土丘陵及河谷阶地和山前冲洪积扇。黄土台塬塬面平坦开阔,塬面高程在西部 400 ~ 600 m,在东部 200 ~ 300 m,一般高出

河谷阶地 100 ~ 250 m,主要有程村塬、焦村塬、张村塬、张汴塬、阳店塬及邙山台塬;黄土丘陵主要分布于山前地带,地形起伏不平;河谷阶地主要分布在黄河及其支流两岸,有 1 ~ 3 级阶地,阶地呈典型的二元结构,上部为黄土状土,下部为砂、砂砾、卵石;而冲洪积扇主要分布于山前或塬前。图 1 为豫西第四系黄土分布图。

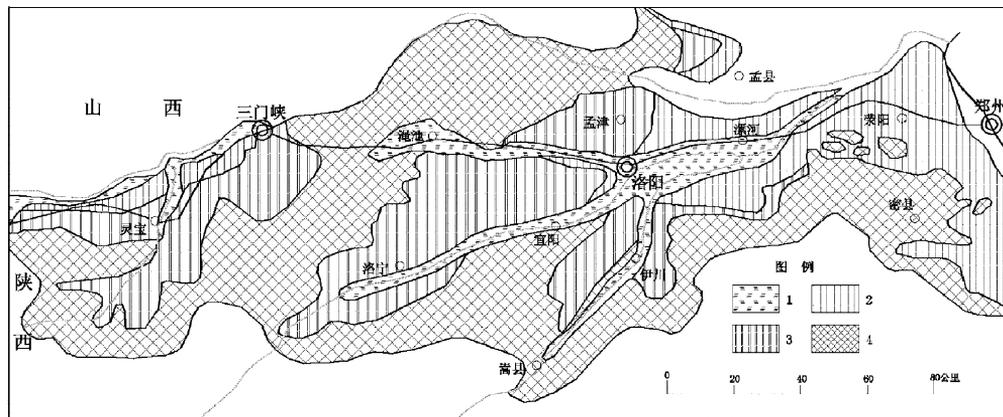


图 1 豫西第四系黄土分布图

1—冲积、洪积为主的次生黄土(Q₃、Q₄); 2、3—风积为主的黄土(Q₂、Q₃); 4—基岩。

1 区内豫西黄土的工程地质特征

根据在已有建筑场地勘探资料,将灵宝、三门峡、洛阳、巩义、上街、荥阳典型地段湿陷性黄土分布特征列于表1~6。从表1~5可知,豫西从灵宝、三门峡、洛阳、巩义、上街到荥阳、郑州西一线,大致以洛阳为界,以西为Ⅱ级和Ⅲ级自重湿陷性黄土场地,湿

陷性黄土层最大厚度为20.0~27.0 m;以东为I级(轻微)非自重湿陷性黄土场地,湿陷性黄土层最大厚度为9.3~16.0 m,具体见表6。这与文献[4]附录A将洛阳以西划为关中地区,以东划为河南地区基本一致。但应指出洛阳局部地区如北垠及洛河二级阶地从湿陷性黄土的特征看,似应划入关中地区。

表1 灵宝市某地段湿陷性黄土分布特征及工程地质条件一览表

层号	岩性	平均层底深度/m	平均含水量 $\omega/\%$	液限 $\omega_L/\%$	孔隙比 e	塑性指数 I_P	压缩模量 E_s/MPa	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}	湿陷起始压力/kPa	承载力特征值 f_{ak}/kPa
①	黄土状粉土	0.8	10.2	23.5	0.947	8.9	6.4				100
②	黄土状粉土	4.9	11.6	24.4	0.925	9.2	7.7	0.0562	0.045	51	115
③	黄土状粉土	11.2	10.3	26.5	1.024	8.6	8.9	0.0756	0.039	65	125
④	黄土状粉土	14.9	14.9	25.8	0.954	8.4	9.8	0.025	0.022	109	140
⑤	黄土状粉土	19.5	9.8	26.9	0.869	9.5	13.5		0.012	260	240
⑥	粉质粘土	25.2	23.2	29.2	0.768	11.2	16.0		0.011		260

注:所在场地为黄土台塬,从自然地面下1.5 m起算,湿陷性黄土层最大厚度近20.0 m。计算湿陷量823.2~832.5 mm,计算自重湿陷量316~414.2 mm,属Ⅲ级自重湿陷性黄土场地。

表2 三门峡市某地段湿陷性黄土分布特征及工程地质条件一览表

层号	岩性	平均层底深度/m	平均含水量 $\omega/\%$	液限 $\omega_L/\%$	孔隙比 e	塑性指数 I_P	压缩模量 E_s/MPa	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}	湿陷起始压力/kPa	承载力特征值 f_{ak}/kPa
①	素填土	3.5	13.0	23.6	0.897	8.3	9.1	0.031	0.019	91	125
②	黄土状粉土	13.0	11.3	25.1	1.28	8.6	8.1	0.065	0.035	69	130
③	黄土状粉土	16.7	12.2	26.9	1.09	9.5	9.3	0.047	0.042	120	135
④	黄土状粉土	20.2	9.5	26.1	1.02	8.9	12.6	0.036	0.029	187	130
⑤	黄土状粉土	23.8	9.0	25.9	0.990	8.6	14.8	0.029	0.032	176	130
⑥	粉土	27.0	10.4	24.8	1.023	8.9	13.9	0.022	0.036	145	140
⑦	粉质粘土	35.0	25.0	32.0	0.768	10.9	9.8	/	/	/	230

注:所在场地为黄河右岸三级阶地前缘,湿陷性黄土层最大厚度近27.0 m。计算湿陷量450~680 mm,计算自重湿陷量380~490 mm,属Ⅲ级自重湿陷性黄土场地。

表3 洛阳市某地段湿陷性黄土分布特征及工程地质条件一览表

层号	岩性	平均层底深度/m	平均含水量 $\omega/\%$	液限 $\omega_L/\%$	孔隙比 e	塑性指数 I_P	压缩模量 E_s/MPa	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}	湿陷起始压力/kPa	承载力特征值 f_{ak}/kPa
①	素填土	2.0	15.3	23.6	1.055	8.9	8.6	0.036	0.019	62	125
②	黄土状粉质粘土	6.0	16.8	28.6	1.042	9.7	9.3	0.064	0.024	89	135
③	黄土状粉质粘土	8.7	19.5	29.5	0.983	9.4	10.9	0.038	0.027	120	140
④	黄土状粉土	14.5	20.2	28.5	1.0211	9.8	13.6	0.032	0.022	150	150
⑤	黄土状粉土	19.0	21.2	31.2		9.3	15.9	/	/	/	260
⑥	粉质粘土	23.0	23.8	27.5	0.752	12.2	13.3				240

注:所在场地为洛河北岸二级阶地,从自然地面下1.5 m起算,湿陷性黄土层最大厚度近18.0 m。计算自重湿陷量72~85 mm,计算湿陷量390~560 mm,属Ⅱ级自重湿陷性黄土场地。

表4 巩义市某地段湿陷性黄土分布特征及工程地质条件一览表

层号	岩性	平均层底深度/m	平均含水量 $\omega/\%$	液限 $\omega_L/\%$	孔隙比 e	塑性指数 I_P	压缩模量 E_s/MPa	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}	湿陷起始压力/kPa	承载力特征值 f_{ak}/kPa
①	黄土状粉土	1.8	15.3	26.8	0.985	8.9	7.1	0.035	/	80	120
②	黄土状粉土	3.8	13.7	26.9	0.947	9.0	8.0	0.036	/	90	140
③	黄土状粉土	7.7	14.5	27.0	0.948	9.1	7.8	0.055	/	112	130
④	黄土状粉土	12.5	15.0	26.5	0.926	8.3	11.2	0.045	/	160	165
⑤	黄土状粉土	16.2	16.2	27.8	0.959	8.9	11.0	0.019	/	189	170
⑥	粉质粘土	20.3	18.6	31.2	0.785	12.4	7.9	/	/	/	190
⑦	粉质粘土	26.0	19.3	31.8	0.695	12.1	8.8	/	/	/	240

注:所在场地为二级阶地。从自然地面下1.5 m起算,湿陷性黄土层最大厚度近16.2 m。属Ⅱ级非自重湿陷性黄土场地。

表 5 郑州市上街区某地段湿陷性黄土分布特征及工程地质条件一览表

层号	岩性	平均层底深度/m	平均含水量 $\omega/\%$	液限 $\omega_L/\%$	孔隙比 e	塑性指数 I_p	压缩模量 E_s/MPa	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}	湿陷起始压力/kPa	承载力特征值 f_{ak}/kPa
①	黄土状粉土	1.6	16.2	27.6	0.915	8.8	7.8	0.015			120
②	黄土状粉土	4.7	16.9	26.0	0.896	8.4	9.6	0.017	0.023		130
③	黄土状粉土	8.6	18.7	25.7	0.968	7.0	7.2	0.024			145
④	黄土状粉土	11.0	19.0	26.0	0.823	8.5	9.7	0.019			155
⑤	黄土状粉土	13.6	17.0	25.0	0.786	8.5	10.4	0.016			160
⑥	粉质粘土	16.5	17.3	25.0	0.765	8.1	16.9				250
⑦	粉质粘土	19.5	17.0	25.7	0.746	8.0	15.7				230

注:所在场地为二级阶地。从自然地面下 1.5 m 起算,湿陷性黄土层最大厚度为 9.3 m。自重湿陷量 9.8 ~ 20.2 mm,非自重湿陷量 32.5 ~ 105.7 mm。属 I 级(轻微)非自重湿陷性黄土场地。

表 6 豫西黄土湿陷性特征一览表

地点	所在地貌单元	黄土场地类别	湿陷性黄土层最大厚度/m
灵宝	黄土台塬	Ⅲ级自重湿陷性黄土场地	近 20.0
三门峡	三级阶地	Ⅲ级自重湿陷性黄土场地	近 27.0
洛阳	洛河二级阶地	Ⅱ级自重湿陷性黄土场地	近 18.0
巩义	二级阶地	Ⅱ级非自重湿陷性黄土场地	近 16.2
上街	二级阶地	I 级(轻微)非自重湿陷性黄土场地	9.3
荥阳	山前冲洪积平原	I 级(轻微)非自重湿陷性黄土场地	5 ~ 8
郑州西	山前冲洪积平原	I 级(轻微)非自重湿陷性黄土场地	3 ~ 5

Ⅱ级和Ⅲ级自重湿陷性黄土场地的建筑,因湿陷性黄土层厚度一般达 10 ~ 15 m,最大厚度达 20.0 ~ 27.0 m,故多采取桩基础,以钻挖孔灌注桩和静压预制桩较多见。对以东以 I 级(轻微)非自重湿陷性黄土场地的建筑,因湿陷性黄土层厚度一般仅数 m,最大厚度约 15 m,当为多层建筑或荷载较小时,多采用灰土垫层、(灰)土挤密桩、夯实水泥土桩、强夯等地基处理方法;当为小高层建筑或单柱荷载较大时多采用 CFG 桩、高压旋喷桩、夯扩桩或上述桩与灰土垫层、(灰)土挤密桩、夯实水泥土桩组合形成的组合型复合地基;当为高层建筑或单柱荷载很大时,则采用桩基础,常见的有钻挖孔灌注桩和静压预制桩以及多支盘灌注桩。

豫西湿陷性黄土地区近年来建筑基础选型情况见表 7。

2 豫西湿陷性黄土地区建筑基础选型情况分析

根据我们近 30 年对豫西湿陷性黄土地区建筑基础选型的分析和总结,豫西湿陷性黄土地区建筑基础选型具有以下特点:大致以洛阳为界,对以西以

表 7 豫西湿陷性黄土地区建筑基础选型情况一览表

序号	工程名称	选用基础型式	具体参数	备注
1	洛阳某培训中心高层住宅楼(16F)	灰土桩	$D=0.4\text{ m}, s=0.9\text{ m}, f_{spk}=293\text{ kPa}, l=6.9\text{ m}$	
2	洛阳涧西区某试验楼(11F)	①夯实水泥土桩 + ②CFG 复合地基	① $D=0.4\text{ m}, s=1.5\text{ m}, l=7.6\text{ m}, R_a=810\text{ kN}$; ② $D=0.5\text{ m}, s=1.5\text{ m}, l=14.6\text{ m}, R_a=1000\text{ kN}; f_{spk}=400\text{ kPa}$	沉降量 12.8 mm
3	洛阳上海市场(6F)	夯扩桩	$D=0.4\text{ m}, l=5.9\text{ m}, R_a=500\sim 900\text{ kN}$	
4	洛阳某高层住宅楼(18F)	①夯实水泥土桩 + ②CFG 复合地基	① $D=0.35\text{ m}, l=8.0\sim 10.5\text{ m}$; ② $D=0.5\text{ m}, s=1.3\text{ m}, l=18\text{ m}$	沉降量 4 mm
5	巩义大酒店(16F)	CFG 复合地基	$D=0.4\text{ m}, l=10\text{ m}, R_a=460\text{ kN}$	
6	三门峡市崆山路立交桥	夯实水泥土桩	$D=0.6\text{ m}, s=1.5\text{ m}, l=14.6\text{ m}, R_a=849\sim 955\text{ kN}; f_{spk}=430\text{ kPa}$	沉降量 9.0 mm
7	荥阳市海龙综合楼(18F)	多支盘灌注桩		
8	荥阳市少林汽车总装车间、焊接车间	强夯法	夯击能 3000 kN·m, 处理深度 6 ~ 7 m, $f_{spk}=200\text{ kPa}$	沉降量 7.3 ~ 9.6 mm
9	三门峡市区某住宅楼(6F)	钻孔灌注桩	$D=0.8\text{ m}, l=27\text{ m}, R_a=1200\text{ kN}$	
10	荥阳市多层住宅楼(4 ~ 8F)	灰土垫层	$f_{spk}=200\text{ kPa}$	一般沉降量 < 10 mm

自重湿陷性黄土场地上的多层建筑物,从豫西湿陷性黄土地区灰土垫层多年实践经验看,灰土垫层地基承载力可达 250 kPa,多层建筑多年累计沉降量仅数毫米。但有以下问题值得注意:(1)对该类地基

3 有关地基处理问题

3.1 关于灰土垫层问题

灰土垫层大量应用于豫西地区 I 级(轻微)非

到底是按灰土垫层还是按灰土基础进行持力层验算,按照文献[6],二者明显有矛盾,现在看来难以定论,值得探讨,但从豫西湿陷性黄土地区灰土垫层多年实践经验看,按灰土垫层进行验算是偏于安全的;(2)关于灰土垫层质量的评价方法问题也值得探讨,笔者基本同意文献[7]的观点:①不必强制性规定对灰土垫层必须进行载荷试验,这样造成大量浪费现象;②建议应对土料以 I_p 控制,对灰料以CaO和MgO含量进行控制;③当对灰土的配料质量、配比、垫层质量有异议时,应以灰土垫层的水稳性作为控制标准,进行饱水无侧限抗压强度试验。

3.2 关于强夯问题

目前在豫西地区,多采用 $3000\text{ kN}\cdot\text{m}$ 及以下的夯击能,处理深度 7 m 左右,处理后地基在消除湿陷性基础上地基承载力特征值可达 200 kPa ,大量应用于I级(轻微)非自重湿陷性黄土场地上多层框架结构建筑物。但应注意2个问题:(1)在勘察报告中应进行土层的击实试验,以确定土层的最大干密度和最优含水量,指导强夯工作;(2)宜选择代表性地段进行试夯。在场地局部遇含水量偏大的粉土地基,采用边夯边回填小块建筑垃圾的强夯置换法处理该类地基,防止形成橡皮土及吸锤现象的发生。

3.3 关于组合型复合地基问题

采用组合型复合地基是近十几年的事,其目的是采用短桩消除浅部地层的湿陷性,采用长桩将其桩端坐在压缩性较低的土层上,起到提高承载力、控制沉降(变形)的作用。从多年的实践经验看,建筑物沉降量仅几毫米到十几毫米,效果较好。但其理论研究一直滞后于工程实践,有关设计处于摸索状态。《工程地质手册》(第四版)(文献[8])就组(复)合型地基的组合型式、复合地基承载力计算、复合地基的变形、检测等提出了系统的要求。建议有关规范修订时尽快予以补充,以指导设计工作。

3.4 关于II级及以上自重湿陷性黄土场地基础选型应注意的问题

(1)根据文献[9]中胡启胜总结成果,在自重湿陷性黄土场地,在桩顶无荷载情况下,中性点深度与湿陷性黄土层底深度基本一致,在III级自重湿陷性黄土场地,其负摩阻力标准值可取 25 kPa ,比文献[4]表5.7.5提供的参考值要大,对洛阳以西地区的II、III级自重湿陷性黄土场地是适应的,设计中可参考使用。

(2)在湿陷性黄土层厚度 $>10\text{ m}$ 地区,若采用桩基础,其单桩竖向承载力特征值应以载荷浸水试验的结果为准,在自重湿陷性黄土场地,除不计湿陷性黄土层内的桩长按饱和状态下的正侧阻力外,尚应扣除桩侧的副摩阻力。且应从试验结果中扣除湿陷性黄土层范围内的桩侧正、负摩阻力。

(3)鉴于多年来自重湿陷性黄土场地选用桩基础仍有房屋开裂影响正常使用情况发生,建议在桩基础施工前仍应采用强夯、挤密桩等措施消除上部土层的湿陷性,同时应作好基本防水措施、检漏防水措施和严格防水措施。

参考文献:

- [1] 谢封春,姜泽洋. 豫西黄土的基本特征[J]. 河南地质,1987,3(5):42-48.
- [2] 郭志强. 组合型复合地基的工程实例[J]. 工程勘察,2003,(5):34-39.
- [3] 闫跃军. 组合复合地基处理工程实践[J]. 岩土工程界,2004,(6):59-61.
- [4] GB 50025-2004,湿陷性黄土地区建筑规范[S].
- [5] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [6] 李广信. 说三道四议规范(三)[J]. 岩土工程界,2004,(6):14-17.
- [7] 刘明振,王瑞科. 湿陷性黄土地基上灰土垫层质量评价方法探讨[J]. 工程勘察,2005,3:42-45.
- [8] 编委会. 工程地质手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [9] 刘金砺,李大展,高文生. 桩基工程技术进展[M]. 北京:知识产权出版社,2005.
- [10] 王荣彦. 静压预制砼小桩复合地基在郑州郑东新区高层建筑中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(12).
- [11] 叶书麟. 地基处理工程实例应用手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.

中央地勘基金领导小组会议研究完善基金运行机制

国土资源部网站消息 2010年3月12日下午,中央地质勘查基金领导小组举行第二次会议,听取基金运行3年来管理工作情况汇报,研究修改完善基金运行机制及有关问题。中央地质勘查基金领导小组组长、国土资源部部长、党组书记、国家土地总督察徐绍史主持并讲话,强调要抓住国

家加大地质找矿投入的有力时机,充分发挥中央地勘基金连接公益性地质工作和商业性矿产勘查的桥梁纽带作用,快速推动地质找矿实现重大突破。领导小组副组长、财政部副部长、党组成员张少春,领导小组副组长、国土资源部副部长、党组成员汪民出席。