

# 组合地基处理法在湿陷性黄土地区的应用

杜 绪, 王建兴

(河北省地矿局探矿技术研究院, 河北 三河 065201)

**摘 要:**地基湿陷性是黄土地区影响地基稳定性的因素之一,也是引起建筑物破坏的主要形式。结合西安一些高层建筑物采用组合地基处理法取得的技术效果进行了详尽的分析介绍。论证了组合地基处理法在湿陷性黄土地基处理中的应用,可消除部分或全部湿陷性,从而改善地基的承载力,减小地基变形。

**关键词:**湿陷性黄土;高层建筑物;组合地基处理

**中图分类号:**TU472 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)04-0058-03

**Application of Composite Foundation Treatment Method in Collapsible Loess Area/DU Xu, WANG Jian-xing** (The Institute of Exploration Technology, Hebei Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Sanhe Hebei 065201, China)

**Abstract:** Foundation collapsibility is one of the factors that affect the foundation stability in loess area, and is also the major form that causes the building damages. Analysis and introduction were made on the application of composite foundation treatment methods and the technical effects in Xi'an City. The paper demonstrated the application of composite foundation treatment methods in collapsible loess ground, which can eliminate part or all collapsibility in collapsible loess to improve the foundation bearing capacity and decrease the ground deformation.

**Key words:** collapsible loess; high building; composite foundation treatment

## 1 概述

地基处理技术在我国的应用可以追溯到很久以前,灰土垫层的应用至少在秦汉以前,但地基处理技术的高速发展应在20世纪70年代末至90年代,这也是我国实行改革开放经济建设大发展的需要。在这一时期,高压喷射注浆、振冲法、强夯法、土工合成法等许多地基处理技术从国外引进,并结合国内不同区域、不同土性地基,在实践中不断发展、完善,并相继纳入国家规范。仅行业标准《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)就罗列了近20种不同地基处理方法的设计、施工检测方法。

近10年来,伴随着国家建设向中西部地区的倾斜,湿陷性黄土地区的建设规模也越来越大,地基处理遇到的深度、难度也越来越大,湿陷性黄土的地基处理方法也层出不穷。同一地基采用2种或2种以上地基处理方法,综合处理湿陷性黄土即组合地基处理方法已被大家所认识,并逐渐推广应用于小高层或高层建筑中。

## 2 湿陷性黄土的特点及常用地基加固机理

湿陷性黄土的结构是在形成黄土的整个历史过

程中造成的,干旱或半干旱的气候是湿陷性黄土形成的必要条件。长期的干旱使土中的水分不断蒸发,剩余的少量水分连同溶于其中的盐类都集中在粗粉粒的接触点处,可溶盐逐渐浓缩沉淀而成薄膜胶结物,颗粒间的分子引力以及结合水和毛细水的联结力也逐渐增大,从而增强了土粒间抵抗滑移的能力,阻止了土体的自重压密,形成了粗粉粒为主体骨架的多孔隙、大孔隙结构。湿陷性黄土受水浸湿,盐类薄膜胶结物溶于水中,结合水联结消失,粗粉粒骨架强度随之降低、瓦解,土体在上覆土层的自重应力或在附加应力与自重应力综合作用下其结构迅速破坏,土粒滑向大孔,粒间孔隙减小,发生湿陷。

湿陷性黄土地区地基处理的目的主要为:(1)消除或降低地基土的湿陷性;(2)提高地基在浸水条件下的承载能力;(3)提高地基土在浸水条件下的变形模量或压缩模量,减小地基的总沉降量;(4)降低地基土层的透水性。

针对以上地基处理的目的,结合湿陷性黄土的特点,我国湿陷性黄土地区建筑常用地基处理方案不外乎有3种:挖除换填法、机械加密法、化学加固法。由于化学加固法工程施工成本费用较高,但机

收稿日期:2011-01-19

作者简介:杜绪(1982-),男(汉族),河北廊坊人,河北省地矿局探矿技术研究院,探矿工程专业,从事探矿科研、生产等工作,河北省三河市燕郊;王建兴(1974-),男(汉族),河北三河人,河北省地矿局探矿技术研究院高级工程师,探矿工程专业,从事钻探机具研制、工艺研究及生产施工工作,wjx2005188@sina.com。

械设备比较轻便,施工文明,其主要用于事后加固处理;挖除换填法土方量较大,且基坑稍深又需要支护,一般应用于地基处理深度1~3 m的湿陷性黄土;机械加密法是利用机械的手段增加土的密实度,减少土中孔隙的体积,机械手段一般采用压、夯、挤、振、沉等几种方法,其中以原位夯、挤密机械法最为有效,即为强夯法和挤密桩法。挤密桩法一般处理深度为5~20 m,强夯法一般处理深度为3~6 m更能发挥其经济、快捷的特点。

### 3 组合地基在湿陷性黄土地区的应用

湿陷性黄土地区近几年涌现出的新的地基处理方法有:复合载体夯扩桩、夯扩挤密桩复合地基、大直径挤密桩复合地基等。新的组合地基处理措施有:先进行地基预处理,待湿陷性全部消除或部分消除后再采用其他处理措施如刚性桩复合地基或桩基处理。地基预处理常用有预浸水法、强夯法或挤密桩法,由于预浸水法耗时较长,也仅能消除6 m以下黄土的自重湿陷性,又需要大量水,其使用工程很少。下面结合西安市北郊文景花园2号高层住宅楼工程素土挤密桩预处理加挤土夯扩桩复合地基处理,介绍湿陷性黄土地区地基组合处理的应用实例。

#### 3.1 建筑物及工程地质概况

文景花园2号高层住宅楼位于西安市北郊北二环路北侧,经十七路西约100 m处。2号住宅楼为地下一层,地上12层,长96.34 m,宽24.10 m,剪力墙结构。基础采用钢筋砼箱形基础,基础埋深-5.50 m。

根据规范,框架抗震等级为三级,抗震设防烈度为8度,场地类别为Ⅲ类,依据国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025-2004)属乙类建筑。

场地地貌单元属于渭河右岸Ⅱ级阶地,地形较平坦,场地土层由黄土(基本位于水位以上,地面下10 m以上具湿陷性,湿陷系数介于0.029~0.081)、古土壤、粉质粘土、中砂(底层埋深27.8~31.8 m)

组成,地下水位埋深位于地表下11.8~12.8 m之间。勘察报告显示,全场地地基为Ⅱ级自重湿陷性黄土地基,基础下仍有5 m的自重湿陷性黄土,是地基处理的关键所在。

#### 3.2 地基处理方案选择

2号高层住宅楼地基处理方法要满足以下4条原则:(1)处理后复合地基承载力特征值要满足设计要求的230 kPa;(2)按照《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025-2004),对乙类建筑消除地基部分湿陷量的最小处理厚度不应小于湿陷性土层深度的2/3,并应控制未处理土层的湿陷量不大于150 mm;(3)下卧层承载力应满足规范要求;(4)沉降变形验算要符合规范要求。

众所周知,对自重湿陷性黄土地基处理方法很多,但最终需选择一个最佳处理方案,既要工程造价低,又要工程安全性能好,施工周期短,工艺实行便捷性及施工过程中的振动、噪声以及排污对周围环境的影响都要小。

(1)天然地基方案:该住宅楼平面呈长方形,为12层,剪力墙结构,基底压力设计值为230 kPa,采用筏板基础,基础埋深-5.50 m,则地基持力层为②层黄土,下卧层为③层黄土,基础下仍有5 m深自重湿陷性黄土,因此天然地基方案不成立。

(2)桩基础:根据场地的岩土工程勘察报告,第②、③层黄土具自重湿陷性,第④、⑤层黄土为饱和黄土,第⑥层粉质粘土土层厚度变化较大,第⑦层中砂以下的土层分布相对稳定。因此,该场地可采用静压预制桩或钻孔灌注桩施工工艺,以第⑦层中砂作为桩端持力层。

(3)采用素土挤密桩预处理加挤土夯扩桩复合地基方案:通过挤土夯扩桩提高复合地基的承载力,在夯扩桩间插入素土挤密桩消除桩间土的湿陷性,这样既能满足承载力要求,又可消除地基土的湿陷性。

经表1中经济技术比较,并通过专家论证,第3

表1 各施工方案经济技术比较

桩基类型	设计参数	工程造价/万元	有效工期/d	备注
静压预制桩	桩径400 mm×400 mm,桩长14 m, $Q_{uk}=2000$ kN,桩数1000根	224	60	施工工期长,不能消除桩间土的湿陷性
钻孔灌注桩	桩径600 mm,桩长14 m, $Q_{uk}=950$ kN,桩数1300根	283	50	工期长,造价高,不能消除桩间土的湿陷性
素土挤密桩预处理加 挤土夯扩桩复合地基	夯扩桩三角形布桩,1600 mm× 1380 mm,桩长7.9 m,桩数876根; 素土桩桩距930 mm,正三角形布 桩,桩长5.0 m,桩数1600根	136	30	工期短,造价低,充分发挥地基土的作用, 中间加素土桩消除了湿陷性

个方案切实可行。采用该施工工艺,从加固机理来讲,比较科学、先进,弥补了刚性桩复合地基在自重湿陷性黄土场地对高层建筑物的应用,该施工工艺有以下特征:(1)提高复合地基承载力,可调性较大,桩土应力比可调范围为10~40,复合地基承载力可达300 kPa以上;(2)质量易控制,易保证,人为因素小;(3)既能提供足够的承载力,又能消除地基土的湿陷性;(4)由于该桩有足够的刚度,因此基础外放尺寸可以缩小,解决了某些场地外放尺寸不够的问题。

### 3.3 复合地基设计概况

文景花园2号住宅楼建筑场地为自重湿陷性黄土场地,基础埋深为5.5 m。基底下设置25 cm的碎石垫层。垫层下仍有5.0 m的自重湿陷性黄土,根据土层条件,确定素混凝土刚性桩桩长为7.9 m,桩底达到⑤层古土壤上,以上确定的桩长大于勘察报告提供的按照桩周摩阻力及桩端端承力计算的桩长,偏于安全。

采用素土挤密桩地基预处理消除地基湿陷性,在每三根素混凝土桩的形心处加入素土桩,设计桩

距0.928 m,排距0.804 m,桩径400 mm,正三角形布桩,经计算桩间土的湿陷性可完全消除。

该高层住宅楼设计复合地基承载力标准值为230 kPa,根据试验结果和西安地区经验,刚性单桩竖向极限承载力标准值可按600 kN计,桩体承载力标准值为2500 kPa,根据勘察报告,桩间土承载力标准值可取160 kPa,当设计桩距1.60 m,排距1.392 m,桩径430 mm,正三角形布桩,置换率=0.0655,则计算单桩复合地基承载力标准值可达300 kPa以上,满足设计要求。

### 3.4 施工概况

考虑到两种桩的影响问题,先施工素土桩,施工顺序为由外向里,使桩间土得以最大挤密,然后再施工素混凝土刚性桩,对桩间土得到二次挤密,达到完全消除湿陷的目的。

### 3.5 应用效果检验

素土挤密桩预处理后首先对挤密效果进行了检测。检测采用在三桩的形心位置开挖探井,取桩间土进行土工试验,桩间土挤密最差部位最小挤密系数 $\lambda_{cmin}$ 及湿陷系数 $\delta_s$ 检验结果见表2。

表2 组合地基检验结果汇总

检测项目 检验参数	试验编号	龄期 /d	最大加载	最终沉降量 /mm	承载力取值	桩间土检测			
						深度/m	$\rho_d/(g \cdot cm^{-3})$	$\lambda_{cmin}$	$\delta_s$
单桩	D1	12	600 kN	4.916	$Q_{uk} = 600$ kN	1.0	1.525	0.90	0.002
	D2	15	600 kN	3.740	$Q_{uk} = 600$ kN	2.0	1.487	0.88	0.003
						3.0	1.534	0.91	0.001
单桩复合地基	F1	12	460 kPa	6.080	$f_{sp,k} = 230$ kPa	4.0	1.538	0.91	0.002
	F2	14	460 kPa	5.700	$f_{sp,k} = 230$ kPa	5.0	1.533	0.91	0.002

施工完成后分别对单桩、单桩复合地基、桩间土的湿陷性消除情况及桩间土的挤密情况进行了检验。采用这样的方法处理地基,各项指标均达到设计要求。

## 4 结语

采用组合地基法处理湿陷性黄土既消除了被处理土的湿陷性,又提高了地基承载力,防止基础及结构出现大幅度沉降、干裂、倾斜,保证了工程安全使用。

在西安高层建筑湿陷性黄土地基施工实践中,采取了科学的管理方法,同时严格按有关质量要求和“施工指导意见”进行控制,选择合适工艺流程进行施工,使湿陷性黄土地基段达到了设计要求,从已建成的高层住宅楼设计地基承载力观测看,处理段湿陷性地基加固达到了预期的目的。

实践表明,组合地基法处理湿陷性黄土具有效果显著、设备简单、施工方便、适用范围广、经济易行、节省材料和施工工期短等优点,在工程实践中已被证实是一种较好的地基处理方法,但目前仍没有一套成熟的理论和计算方法,因此只有根据现场的地质条件和工程使用要求,进行选择组合最优参数,以达到既经济有效又安全可靠的目的。

## 参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 陈希哲. 土力学地基基础(第四版)[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [3] GB 50025-2004, 湿陷性黄土地区建筑规范[S].
- [4] 崔大伟,刘祥勇. 强夯法处理液化地基的施工管理[J]. 江苏交通科技,2003,(1).
- [5] CECS 197:2006, 孔内深层强夯法技术规程[S].