

湿陷性黄土地区建筑地基处理方式浅议

刘建国

(郑州铁路局西安分局勘测设计所, 西安, 710054)

摘 要 对湿陷性黄土地区, 尤其是位于城镇的建筑物地基基础如何处理, 不仅与所处场地的地质有关, 同时还要考虑其所处位置和周围环境的因素, 工程造价也不容忽视。本文作者对定类工程的地基如何处理阐述了自己的看法。

关键词 湿陷性黄土 建筑物地基 地基处理

西安铁路分局大部分位于湿陷性黄土地区, 在建筑物地基设计中都要对此类黄土进行评价和处理。如何处理, 使它既能安全地承受上部建筑的荷重, 保证建筑物安全使用, 又要结合现场实际情况, 施工方便, 节省投资。本人结合多年的设计与施工经验, 以及分局常用的几种地基处理方法, 就这一问题介绍自己的见解。

1 处理湿陷性黄土地基的几种常用方式

1.1 强夯法

此法也称(动力固结法)是处理松软地基的一种有效的处理方式, 能消除一定深度内的黄土湿陷性。此法通常采用 5~10 t 重锤, 落距为 7~15 m, 锤底面积一般为 3~5 m², 夯击频率为 1~3 次/min。强夯法施工简便, 效率高, 费用低。但对含水量较大的黄土地基, 则要在每遍夯实后间隔一定的时间再进行下一次夯实, 以便使黄土地基中的孔隙水溢出, 使土壤固结。由此造成施工周期长, 另外施工震动大, 噪音大, 也不适应周围已有建筑物的场地。但对含水量适中, 软弱土层较薄 (2~5 m), 且在上部, 而且周围无建筑物的场地仍不失为一个好的处理方式。

1.2 土(灰土)换填法

这是目前最常用的传统的地基处理方式。采用换填法的主要目的是消除基础下部黄土的部分湿陷量(或全部湿陷量), 减少建筑物的沉降, 提高地基的承载力和增强地基的隔水性。也有采用砂作换填的, 但这在大部分地区是不经济的(砂比土贵)。

换填法的处理厚度和处理范围, “湿陷性黄土地区建筑规范”(GBJ25-90)(以下简称“黄土规范”)中根据不同的湿陷类别和等级有不同的处理规定, 在此不一一赘述。

此法适应于中、小型建筑工程的地基处理, 施工工艺简单, 人力、机械都可以施工, 材料

收稿日期: 1998-03-15

作者简介: 刘建国, 男, 生于 1952 年, 1971 年起从事建筑工作。1976 年 7 月毕业于西安建筑冶金学院工民建专业。现任西安铁路分局勘测设计所副所长, 工程师。参加工作以来, 先后从事建筑施工、建筑管理、建筑设计等工作。

可就地取得。工期短,造价低。缺点是受气候影响大。另外施工场地狭小时,大量的土方要拉出运进,运费较大。尤其是在城市内,弃土和取土地都较远,黄土还要掏钱买,这样就造成了工程费用的加大。

1.3 挤密桩

根据其组成桩身的材料挤密桩,分为素土挤密桩、灰土挤密桩、砂石挤密桩、粉煤灰挤密桩和混凝土挤密桩等。

挤密桩径大都选用 $\Phi 300\sim 600\text{ mm}$,处理深度大都为 $5\sim 10\text{ m}$,桩的排列方式为等边三角形、等腰三角形、梅花形和行列式形等多种。

以上几种形式的挤密桩都是利用在桩的成孔和夯实中将出于原桩孔部分的土全部挤入周围的土层内,使桩间的天然土得到挤密,降低了孔隙率,从而降低或消除地基的湿陷性,并提高了桩间土的承载力。由此桩间土和桩组成了一个整体的持力层,共同来承受其上部建筑物的荷重。但是土、灰土挤密桩对含水量较大和地下水位较高的地基则不适应。此类挤密桩的优点是现场无需大量的土方开挖,回填工作,适应较狭小的施工场地。并处理地基深度较大,对湿陷性黄土土层较厚的地基尤为适宜。且施工工期较短,费用较低。

1.4 桩基

此类桩主要指以单桩为主要受力形式的桩。其分为灌注桩和预制桩两大类。

其适用于建筑物荷载较大,湿陷性黄土厚度较大且下部有较可靠的持力层的地基。常用的桩径一般为 $300\sim 500\text{ mm}$,桩长 $10\sim 30\text{ m}$ 。采用钢锥施工灌注桩桩径可达 1.0 m 。

该桩基施工工期短,适应较狭小的施工场地并受气候影响较小,但工程费用较高。此类桩基尚需处理好地面排水,要防止下部桩身范围内的湿陷性黄土地基受水浸湿后产生湿陷,给桩带来与正常受力相反的负摩擦力。造成地基的沉降量加大和不均匀,从而使建筑物造成倾斜和破坏。

1.5 灰土井

亦是目前常用的适用于中、小型工程的地基处理方式。适用于杂填土地基,湿陷性黄土厚度较小时湿陷量也较小的地基。同时对上述两种地基要求其下部要有较好的持力层。

该地基处理方法施工简便,对施工场地无要求,施工工期短,工程费用低。对距已有建筑物较近的建筑物地基处理尤为适合。常用的灰土井直径一般为 $1.0\sim 1.8\text{ m}$,井深一般为 $5\sim 8\text{ m}$ 。在湿陷性黄土地基中使用此井亦同桩基一样,要妥善处理好上部的防水渗漏,因其也存在着负摩擦问题。

1.6 片筏基础

按理讲该基础不应列入地基处理之列,但视其将地基处理的问题简化为基础处理,它适用于地基土质软弱且不均匀,地下水位较高,下部处理困难的地基。其分梁板式、平板式两种。常用的板厚为 $300\sim 500\text{ mm}$ 。采用 C20 混凝土。板底、板顶双向布置钢筋。此法工期长,工程费用大。一般情况不使用。

1.7 其它地基处理方式

1.7.1 旋喷注浆法 其是将带有喷嘴的注浆管钻入地基,然后在旋转提升注浆管的同时用高压将水泥喷射出去,由此在地基中形成一个圆柱状固结体。从而提高了地基的承载力。该地基处理方式的桩位布置同挤密桩相同。

- 1.7.2 水泥搅拌法 其同旋转注浆法雷同，仅是在注浆管上增设了搅拌叶片，使其在提升的同时将土与水泥浆(粉)强行搅拌，硬化后形成水泥土桩。
- 1.7.3 化学加固法 目前常用的是硅化加固和氢氧化钠加固。此法费用较大，而且加固中存在着不均匀性和少量复加沉降。当前仅用于既有建筑物下沉后的加固处理。
- 1.7.4 预浸水法 此法适用于开阔的场地，费用很低，处理范围广，处理深度大。但其浸水后沉降影响范围亦大，而且地基处理工期较长，多达 1~3 年之久。
- 1.7.5 热加固法 其象烧砖一样，对地基进行加热使其固结，固结后强度较大，可达 500~600 MPa。郑州局西安科研所在三府湾住宅楼工程中运用了此法。此法在实际运用中往往因地而异，地基土的含水量大小、土层构造的差异、地基内孔穴的大小多少以及气候的变化等，都是制约其加固质量的因素。由此其加固效果和费用都不理想。

2 处理地基方式的经济比较

下面针对两种地基情况进行几种地基处理方式的经济比较。以选用陕西省定型住宅 811-A 单元为标准单元(五层)为例，予以介绍。

2.1 第一种地基情况

- 1) 地形平坦，为渭河Ⅰ级阶地，地下水为浅水型，埋深 12 m。
- 2) 场地地层由地表向下分别为杂填土、素填土、第四纪全新世坡积和洪积黄土状亚粘土(Q4^{d+pl})以及第四纪更新马兰黄土(Q3^{col})。
- 3) (Q4^{d+pl})，承载力 R=90 kPa，Ⅲ级自重湿陷性黄土；(Q3^{col})，R=180 kPa，Ⅰ级自重湿陷性黄土。
- 4) 地基处理分以下两种方式：
- ① 采用换填土和灰土垫层的处理方式，设标准单元基础埋深为-2.5 m。单元室内外高差为 0.7 m，实际埋深为 1.8 m。根据“黄土规范”第 48 条表 6 规定：下部换填处理厚度为 2.0 m。本设计采用基底下换填素土 1.0 m，三七灰土垫层 1.0 m 外放尺寸为 2.2 m (以外墙轴线为准)。由于基础座落在 Q4^{d+pl}土层上，其容许承载力 R=90 kPa。进行深度修正后：R=120 kPa。基础断面按标准单元 R=120 kPa 的基础施工。该处理方式的工程费用见表 1。

表 1 第一中地基情况处理费用表

项目		费用 (元)	费用比 (%)	分 析
方式				
大开挖换填素土 或三七灰土方案	场地大	36 648	100	施工简便，质量容易控制。人工、机械都可以使用。受气候影响大。受施工现场大小的约束。如果施工场地狭小，土方需拉出运进，则运输费用加大，尤其是城市弃土场较远
	场地小	77 057	210	
三七灰土 挤密桩方案		28 451	77.6	施工简便，工期短，适合地基承载力低，湿陷土层较厚的地基。噪音大。对含水量饱和的地基不适用

- ② 采用灰土挤密桩的处理方式，设计选用灰土挤密桩桩径为 420 mm。等边三角形排列按复合地基设计。设计容许承载力 R=180 kPa。基础断面按标准单元 R=180 kPa 的基础施工。

工。

经计算设计选用桩距 $L=860\text{ mm}$ ，排距为 750 mm 。桩外放尺寸为 1.2 m （以外墙轴线计），桩长 6.0 m ，从三七灰土垫层底面算。因桩底未穿透 Q4 土层，故还要作弱下卧层验算。经验算证明，可以满足设计要求。该处理方式的工程费用见表 2。

表 2 第二种地基情况处理费用表

项目 方式		费用 (元)	费用比 (%)	分 析
大开挖换填 三七灰土方案		50 865	100	施工简便，质量容易控制。人工、机械都可以使用。受气候影响大。原土含水量大，不能拌灰土使用。土方拉出运进费用较大
砂或碎石挤密桩	砂桩	44 795	88.1	施工简便，工期短，材料来源广。处理深度大，适合处理地下水位较高的软弱地基。施工噪音较大。砂或碎石的密实度不易控制
	碎石桩	48 026	94.4	
片筏基础	场地大	48 171	94.7	适用于地下水位较高，容许承载力较低的地基。可充分利用天然地基。施工复杂，三材用量大，材料差价高
	场地小	63 252	124	

2.2 第二种地基情况

- 1) 场地属渭河二级阶地。地下水距地面 5.45 m 。
- 2) 场地地层由地表向下分别为：杂填土、黄土(1)、黄土(2)、古土壤。
- 3) 地基处理分以下三种方式：

① 采用换灰土垫层的处理方式。由于地基承载力较低，地下水位较浅。拟采用大开挖，换填三七灰土垫层处理。

三七灰土垫层厚度的确定，由于基础埋深定为 1.8 m ，从室外地坪算起。基础座落在黄土(1)内，该土层容许承载力 $R=110\text{ kPa}$ 。对 I 级非自重湿陷黄土垫层处理厚度“黄土规范”未作规定。针对具体情况，要求还填处理后地基设计承载力 $R=120\text{ kPa}$ 。同时，还要保证满足弱下卧层容许承载力的要求。故选用三七灰土垫层厚度 1.0 m 。这样，即达到设计承载力 $R=120\text{ kPa}$ 。又能形成一个隔水层。基础按标准单元 $R=120\text{ kPa}$ 的基础施工。另外，在三七灰土垫层下 (2.8 m 处) 黄土(1)的饱和度 S_r 达到 65.3% ，所以在三七灰土垫层下增设 500 mm 厚碎石垫层。该处理方式的工程费用见表 2。

② 采用砂或碎石挤密桩的处理方式，对饱和的软弱土层，且地下水位较高，则可以用易于取材的砂挤密桩或碎石挤密桩。由于该挤密桩在加强地基承载力的作用原理同灰土挤密桩一样，因此该挤密桩的桩距、排列方式均可按灰土挤密桩的设计方法来确定。本设计仍选用桩径 420 mm 的桩来处理地基。桩距 $L=960\text{ mm}$ ，排距为 830 mm ，桩外放 $1170\sim1425$ 两种尺寸，桩长 6.7 m 。桩尖进入古土壤内。地基设计承载力 $R=180\text{ kPa}$ 。故基础按标准单元 $R=120\text{ kPa}$ 的基础施工。该处理方式的工程费用见表 2。

③ 采用片筏基础的处理方式，对饱和的软弱土层，且地下水位较高，还可以用片筏基础来处理。

设计设定片筏基础埋深 1.8 m ，座落在黄土(1)内，该土层计容许承载力 $R=110\text{ kPa}$ 。经修正后设计容许承载力 $R=115\text{ kPa}$ 。同时还满足了软弱下层的容许承力的要求。
- (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

经计算(计算略)片筏基础采用 300 mm 厚 C15 混凝土, 板式。外放尺寸为 1.0 m (以外墙轴线计)。片筏基础上做 100 厚 C10 混凝土垫层。片筏基础上砖基断面仅按标准单元的墙厚施工, 不做放大角。该处理方式的工程费用见表 2。

2.3 地基各种处理方式的经济比较

主要采用郑州铁路局颁布的“铁路工程概算定额”(表 1, 表 2)。工程费用仅计至项目直接费。综合以上两表, 可以得出如下认识。

2.3.1 大开挖换填土或灰土垫层处理方式 该方式是目前常用的传统的地基处理方法, 施工简单, 质量便于控制, 机械化程度高, 工期短。但对地基含水量较大, 地下水位较高, 容许承载力较低的软弱地基则不适用。否则将增大工程费用。尤其是在施工现场狭小, 土方无法堆放, 需拉出运回的工程。

2.3.2 土和灰土挤密桩处理方式 该方式是处理湿陷性黄土的有效方法之一。尤其适合处理那些湿陷性黄土层较厚, 地下水位较低, 容许承载力较低的地基。其减少了施工现场大量的土方工程(尤其是土方运输), 并且处理深度大。其工程费用低于大开挖方式。缺点是施工噪音大, 震动大。

2.3.3 砂或碎石挤密桩处理方式 这种处理方式对地下水位较高的软弱地基尤为适用。也是目前常用的处理软弱地基方法。其施工简单, 材料易得, 费用低, 处理深度大, 且提高地基承载力幅度较大。但在控制砂和碎石的密实度方面较困难。

2.3.4 片筏基础处理方式 该基础适用于地下水较高, 土质饱和的软弱地基。在不能采用大开挖换填或挤密桩处理方式时的地基上更显示其独特的使用价值。该方式费用高, 施工较复杂, 三大材用量大。

3 结 语

通过两个典型地基情况的例子, 进行了多项地基处理方式的比较。自己作为一个工程技术人员, 对每一项工程都要针对具体的地质情况, 结合施工现场的实际进行几种处理方案的比较, 既要积极推广新技术新工艺, 又要结合我国当前的经济状况, 选用合适的处理方案。

(参考文献略)

《西北地质》、《西北地质科学》继续征订

《西北地质》和《西北地质科学》两刊物, 其宗旨是反映本区地质科研成果, 交流地质找矿信息、开拓地质经济市场, 促进西北地区地质找矿事业的发展。现继续办理 1998 年征订手续, 欢迎订阅。

一、《西北地质科学》, 国内统一刊号 CN 61-1225/P; 国外刊号 ISSN 1004-7786。为我所科研成果刊物, 属科学技术期刊性质, 公开发行。每期约 15 万字。主要刊登有关矿物岩石、地层古生物、区域地质和构造、矿床、环境地质等研究成果以及岩矿实验分析与测试新技术、新方法等。现征订第 47、48 期, 共 2 期, 每期 5.00 元; 全年 10.00 元; 另加收邮寄费 2 元, 合计 12.00 元。订购在 5 份以上(含 5 份)者免收邮寄费。

二、《西北地质》, 国内统一刊号 CN 61-1149/P, 由西安地质矿产研究所主办。属综合性技术类期刊, 国内发行, 每期约 10 万字。主要设有基础地质、矿产地质及技术方法、研究简讯、资料综述、地质科技消息等栏目。1998 年出版 4 期, 每期 3.50 元, 全年 14.00 元, 邮寄费 2 元, 合计 16.00 元。订购在 5 份以上(含 5 份), 免收邮寄费。