

北京地区深坑回填土工程地基处理设计与施工

周军红 刘 渤 魏海涛
(中航勘察设计研究院有限公司,北京 100098)

【摘要】 通过北京某工程实例,介绍深坑回填土工程所采用的素土回填分层强夯和 CFG 桩复合地基联合地基处理设计,同时通过后后期沉降观测资料分析,证明该联合方法对该坑填工程是切实可行和经济合理的,为类似坑填工程项目的设计应用提供了成功的范例。

【关键词】 素土回填;分层强夯;CFG 桩

【中图分类号】 TU 472

【文献标识码】 B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2015.01.007

Design and Construction of Foundation Treatment in Beijing Pit Backfill Engineering

Zhou Junhong Liu Bo Wei Haitao

(Avic Institute of Geotechnical Engineering Co., Ltd, Beijing 100098, China)

【Abstract】 Through a project example of Beijing, introduces united foundation treatment design of the soil backfill of dynamic compaction in layers and CFG pile composite foundation in the pit backfill engineering, and through the late settlement observation data analysis proves that the method is feasible and economic reasonable of the pit engineering, provides a successful example of application in design the project is similar to the pit.

【Key words】 soil backfill; dynamic compaction in layers; CFG pile

0 引言

坑填地基处理工程分为已回填坑填工程和边回填边处理坑填工程两种,本文结合工程实例重点介绍后者,后者一般的处理方法包括素土分层回填碾压、素土分层回填碾压+强夯+柱锤冲扩桩复合地基、素土分层回填+强夯+CFG 桩复合地基、素土分层回填+强夯+桩基础^[1-4]。

1 工程概况

拟建项目位于北京市昌平区,该项目建设用地面积约 5 万 m²,总建筑面积约 10 万 m²,各楼分布见总平面布置图(见图 1),各楼结构参数及地基处理要求见表 1。拟建场地地貌为山前冲积平原,场地大部分地段为砂石坑,坑内局部有积水,地形起伏较大,见地形图(见图 1),地面标高为 39.14~56.91 m。

2 地基处理设计

本工程大部分场地需进行回填,且回填深度较大(最深处约 16 m),为提高填土地基的承载力,减少填土的压缩量及消除或部分消除填土的湿陷性,控制工后建筑物总沉降量及沉降差,需采用多种方法对场地进行联合地基处理,本项目地基处理采用

素土分层回填+强夯或素土分层回填+强夯+CFG 桩复合地基设计方案。

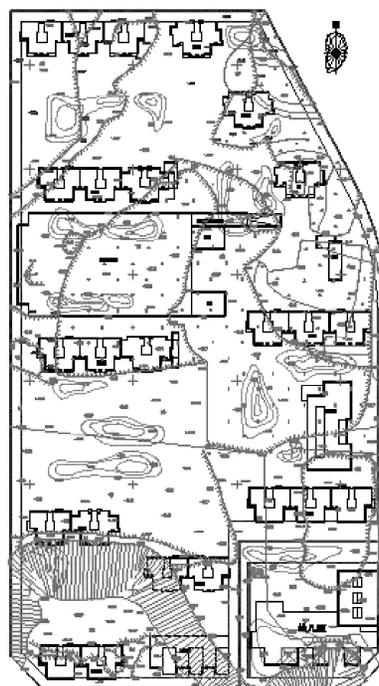


图 1 地形及总平面布置图

表 1 北京某深坑回填工程各楼座有关结构设计参数表

建筑编号	建筑名称	层数 (地上/地下)	建筑高度 /m	地基承载力要求 /kPa	沉降控制 /mm	基础型式
1#	住宅楼	18/-1	49.80	300	≤50	筏板基础
2#	住宅楼	18/-1	49.50	300	≤50	筏板基础
3#	住宅楼	18/-1	49.50	300	≤50	筏板基础
4#	住宅楼	18/-1	49.50	300	≤50	筏板基础
5#	住宅楼	11/-2	30.90	180	≤50	筏板基础
6#	住宅楼	13/-2	36.30	200	≤50	筏板基础
7#	住宅楼	11/-1	30.60	180	≤50	筏板基础
8#	住宅楼	12/-1	33.30	200	≤50	筏板基础
9#	住宅楼	14/-1	38.70	230	≤50	筏板基础
10#	住宅楼	14/-1	38.70	230	≤50	筏板基础
11#	住宅楼	14/-1	39.30	230	≤50	筏板基础
12#	设施配套	2/0	9.60	150	≤50	柱基
13#	设施配套	2/-1	8.40	150	≤50	柱基
14#	设施配套	2/0	9.60	150	≤50	柱基
15#/16#	地下变电室	0/-1		100	≤50	筏板基础
17#	地下车库	0/-2		150	≤50	筏板基础
18#	托幼	3/0	12.15	150	≤50	柱基

2.1 素土分层回填+强夯设计

目前场地标高整体低于各楼基底标高,地基处理首先需对场地进行素土分层回填并对填土进行强夯处理,以满足承载力及沉降的要求。为便于回填强夯施工并考虑强夯影响深度,回填强夯分层施工,具体步骤为:首先进行夯底处理,回填场地内局部低洼段先满夯处理,再分三层分别回填进行强夯处理至设计标高(夯后场地标高为 55.00 m)。考虑到强夯处理的有效范围,强夯范围为用地红线填方区需水平外扩 3 m,按 1:1 自然放坡。回填材料为素土

(粉质粘土、粘质粉土、砂土或混合土),最大粒径不超过 20 mm,有机质含量不大于 5%,含水量控制在最优含水量范围,现场控制要求以“手捏成团,落地开花”为宜。

因场地不同部位高差较大,根据现有地貌,回填强夯在分层的同时进行分区,分区之间需无缝连接。对高低台部位 1:1 自然放坡,同时高台与低台强夯搭接处理不小于 5.0 m,每层具体强夯设计参数详见表 2。

表 2 北京某深坑回填工程强夯设计施工参数表

部位	单点夯击能 /(kN·m)	单点夯 击次数	夯点 布置	夯击 遍数	处理 范围	时间 间隔
夯底	2000	2	三角形	一边满夯	最外边基础 向外 3.0 m	连续
第一层 回填	3000	6~8	三角形	两边重夯, 一边满夯	最外边基础 向外 3.0 m	连续
第二层 回填	3000	6~8	三角形	两边重夯, 一边满夯	最外边基础 向外 3.0 m	连续
第三层 回填	3000	6~8	三角形	两边重夯, 一边满夯	最外边基础 向外 3.0 m	连续

注:满夯单点夯击能 1500 kN·m,单点夯击次数 2 击,锤印搭接 1/4~1/3 圆环

2.1.1 场地整平及底部夯实

本工程在回填施工前进行场地整平及夯底施工,主要为场地中部东侧区域,整体整平至绝对标高约 42.50 m,采用低能级满夯进行夯底。

2.1.2 第一层回填强夯

由于场地起伏较大,且在本工程勘察之后局部又回填或开挖,地貌变化较大,根据是否进行夯底处理将第一层回填处理分为两种情况:对已经夯过底的区域,第一层回填厚度为 6.0~6.5 m;对未夯过底的部分,第一层回填土厚度不得大于 4 m。

根据场地标高及已有回填土的厚度,将场地分为 5 个施工区,分区控制回填土厚度及标高。I 区土体回填至绝对标高约 48.50 m,采用 2 遍点夯、1 遍满夯进行处理,强夯处理后绝对标高约 47.50 m;场地 II、III 区回填至标高 46.50 m,采用 2 遍点夯、1 遍满夯进行处理,强夯处理后绝对标高约 45.50 m;场地 IV、V 区回填至绝对标高约 49.00 m,采用 2 遍点夯、1 遍满夯进行处理,强夯处理后绝对标高约 48.00 m。高低平台交接处采用超宽处理,高台向低台外扩 5 m,并采用 1:1 放坡(见图 2)。

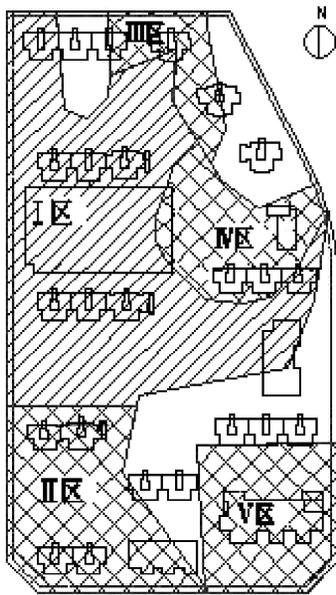


图 2 第一层回填强夯平面示意图

2.1.3 第二层回填强夯

第二层回填强夯处理分两种情况施工:对 II、III 区,土体回填至绝对标高约 52.00 m,采用 2 遍点夯、1 遍满夯进行处理,强夯处理后绝对标高约 51.00 m;对场地其余范围回填至标高 54.00 m,采用 2 遍点夯、1 遍满夯进行处理,强夯处理后绝对标高约 53.00 m。高低平台交接处采用超宽处理,高

台向低台外扩 5 m,并采用 1:1 放坡(见图 3)。

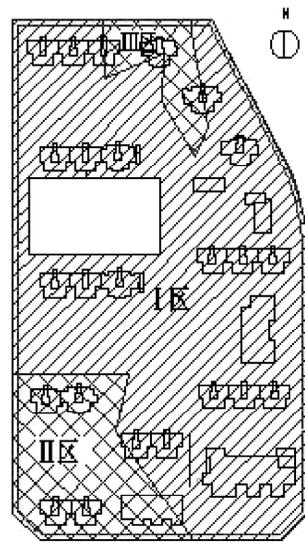


图 3 第二层回填强夯平面示意图

2.1.4 第三层回填强夯

第三层回填强夯处理分两种情况:车库范围内回填至绝对标高约 55.30 m,满夯处理,强夯处理后标高约 55.00 m;其他区域素土回填至绝对标高约 55.50 m,采用 2 遍点夯、1 遍满夯进行处理,强夯处理后绝对标高不低于 55.00 m。

2.1.5 地下车库处理

因为地下车库埋深较深,基底标高为 43.95 m,基底埋深超过 11 m,即第二层回填强夯处理后已能够满足基底要求,第三层回填土需在后期挖除,故第三层除边坡范围内采用虚土回填至绝对标高 55.30 m,采用满夯进行施工。

2.1.6 7#楼地基处理

根据岩土工程勘察报告,7#楼基础东部约一个单元位于原状土上,其余部分位于回填土上,填土标高约为 50.00 m(目前为填方区),地基持力层差异明显且该楼基底压力要求为 180 kPa,为减少地基沉降差,回填强夯中需采取如下处理措施:

1) 第一步在 7#楼基底范围内采用同一性质的素土回填,回填高度约为 3 m,回填后标高约为 51.00 m,回填土土质符合设计要求;

2) 第二步在 7#楼范围内基底下 2 m(标高约 51.00~53.00 m)回填东侧挖下的级配砂石或砂,并保证回填土的均匀性;

3) 第三步在 7#楼基底范围内回填至强夯设计标高,并按强夯设计参数进行夯实。

2.2 CFG 桩复合地基设计

本工程在分层回填强夯处理之后 1#~11#楼

(不含7#楼)楼座再进行CFG桩复合地基处理设计。

2.2.1 CFG桩复合地基承载力计算

单桩竖向承载力特征值 R_a 根据规范^[5]按公式(1)计算:

$$R_a = u_p \cdot \sum_{i=1}^n q_{si} \cdot l_i + q_p \cdot A_p \quad (1)$$

式中: U_p ——桩周长;

q_{si} 、 q_p ——桩侧第 i 土层的侧阻力、桩端阻力特征值,据勘察报告以及桩基规范^[6]取值;

l_i ——第 i 土层中桩长;

A_p ——桩截面面积。

复合地基承载力 f_{spk} 按公式(2)进行计算:

$$f_{spk} = m \cdot \frac{R_a}{A_p} + \beta \cdot (1 - m) \cdot f_{sk} \quad (2)$$

式中: f_{sk} ——桩间土承载力特征值,根据勘察报告和规范^[7],回填素土分层强夯后 f_{sk} 可取为180 kPa;

β ——桩间土承载力发挥系数,可取0.80~0.90。

经计算,地基处理后复合地基承载力满足设计

要求,具体结果见表3。

2.2.2 桩体强度计算

$$f_{cu} \geq 3 \cdot \frac{R_a}{A_p} \quad (3)$$

式中: f_{cu} 为桩体混合料试块(边长150 mm立方体)标准养护28 d抗压强度平均值,kPa;其他各参数同(1)式。经计算得 $\sigma = 23.86$ MPa,据试块强度和规范^[8]确定,桩体强度采用C35混凝土。

2.2.3 复合地基变形计算

根据规范^[9],按照式(4)进行复合地基变形计算。

$$s = \varphi_s \cdot \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{spi}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (4)$$

变形计算选择有代表性且荷载差异大、地质条件相对较差、可能发生最大倾斜部位的楼段进行,结果见表3。根据计算结果,各楼段中心点变形都很小,同时倾斜值也很小,均满足建筑设计的要求。

表3 北京某坑填工程复合地基方案有关设计计算参数表

楼号	桩径/mm	面积置换率	变形计算值/mm	实际计算承载力特征值/kPa	设计要求承载力特征值/kPa	桩顶标高/m	褥垫层顶标高/m	有效桩长/m	桩间距(m×m)
1	400	0.0489	49.27	346.03	300	52.30	52.45	10.5 12.5	1.60×1.60
2	400	0.0489	36.88	328.31	300	53.00	53.15	10.5	1.60×1.60
3	400	0.0489	18.29	365.59	300	53.00	53.15	9.0	1.60×1.60
4	400	0.0489	25.56	328.38	300	53.00	53.15	7.5~9.0	1.50×1.50
5	400	0.0348	19.47	307.64	180	50.35	50.50	14.0	1.90×1.90
6	400	0.0400	35.49	276.38	200	49.95	50.10	15.0	1.80×1.80
8	400	0.0300	11.41	293.27	200	51.10	51.25	9.5	1.90×1.90
9	400	0.0300	9.24	289.75	230	52.00	52.15	8.5	1.90×1.90
10	400	0.0300	10.42	306.35	230	51.10	51.25	14.5	1.90×1.90
11	400	0.0385	49.42	310.51	230	51.10	51.25	14.0	1.75×1.75

3 地基处理检测

北京某坑填地基处理工程施工完毕之后进行了相应复合地基静力载荷试验和低应变动测试验,根据该工程检测报告可知,该工程进行素土分层回填+强夯或素土分层回填+强夯+CFG桩复合地基处理之后,各个楼座的承载力都能满足结构设计院所提出的承载力要求。同时根据楼座后期结构施工所做的沉降变形观测数据及其分析(见图4—图7)可知,该工程按照地基处理设计进行施工之后,各个

楼座对应的沉降变形也满足结构设计所提出的要求。目前该工程结构已经全部施工完毕,内部装修也已经基本完毕,部分楼座已经安全投入使用。

4 结论

1)通过北京某坑填工程成功采用素土分层回填+强夯或素土分层回填+强夯+CFG桩复合地基处理技术,证明该技术可以有效应用到类似坑填工程当中,为类似工程提供了有益的借鉴。

2)坑填工程采用素土分层回填+强夯或素土

分层回填+强夯+CFG桩复合地基处理技术相比于其它地基处理技术是最经济合理的,工程造价比其它处理方法至少能节约30%~40%,同时工期能较大幅度缩短,能创造很好的经济效益和社会效益。

3)坑填工程采用素土分层回填+强夯或素土分层回填+强夯+CFG桩复合地基处理技术时关键控制点应该放在回填土的质量上,只有回填满足设计要求的素填土,才能保证后期强夯等施工质量。

4)坑填工程采用素土分层回填+强夯或素土分层回填+强夯+CFG桩复合地基处理技术施工时不宜在雨季施工,否则施工质量很难保证,同时工期也会显著增加。

5)坑填工程采用素土分层回填+强夯或素土分层回填+强夯+CFG桩复合地基处理技术施工时,必须重视不同部位之间的强夯搭接处理,尤其是已经回填和后期新回填的部位。同时整个分层回填强夯同后期基坑开挖之间的土方平衡问题也需统筹考虑、综合平衡,避免土方整体回填超量或者不足。

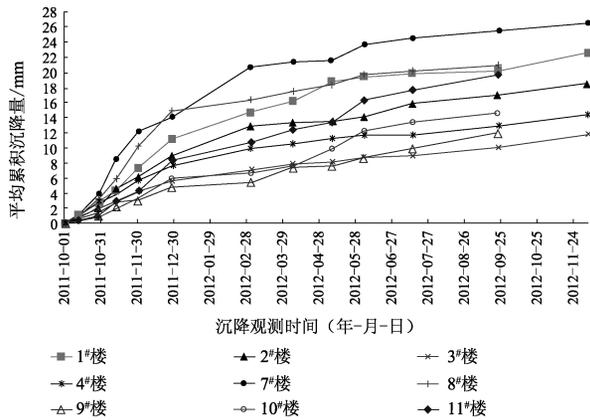


图4 各楼座(1#—4#、7#—11#)平均累积沉降量与观测时间关系曲线图

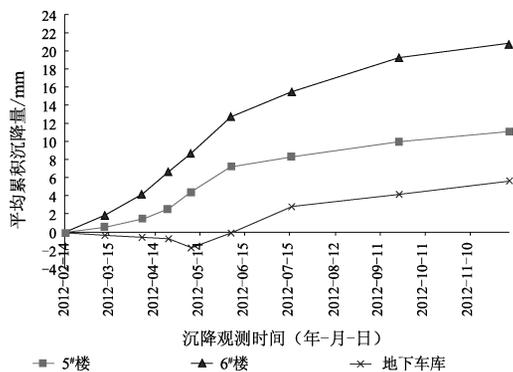


图5 各楼座(5#、6#)平均累积沉降量与观测时间关系曲线图

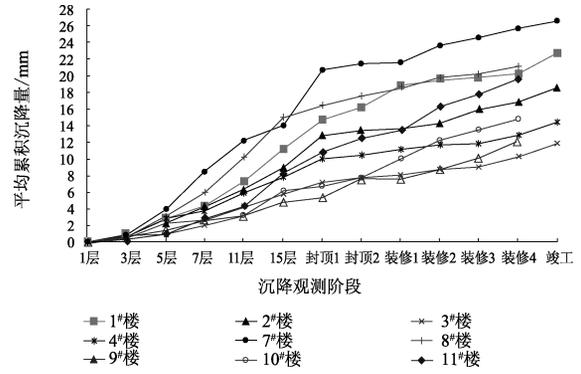


图6 各楼座(1#—4#、7#—11#)平均累积沉降量与观测阶段关系曲线图

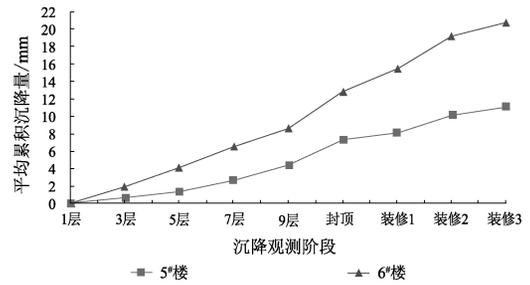


图7 各楼座(5#、6#)平均累积沉降量与观测阶段关系曲线图

参考文献

[1] 冯晶,陆景慧,刘江江,等.强夯法深坑回填地基处理的设计与施工实践研究[J].特种结构,2011,28(3):34-38.

[2] 李卫民,常青.低能级强夯+CFG桩复合地基处理新填土地基[J].岩土力学,2009,30(增刊2):354-357.

[3] 马克.高填方建设场地若干岩土工程问题研究[D].南宁:广西大学,2010.

[4] 邵荣春,胡焕校,样千根.素填土强夯地基加固机理的研究探讨[J].西部探矿工程,2008(12):47-50.

[5] 中国建筑科学研究院.JGJ 79—2012 建筑地基处理技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[6] 中国建筑科学研究院.JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.

[7] 北京市勘察设计院.DBJ 11—501—2009 北京地区建筑地基基础勘察设计规范[S].北京:中国计划出版社,2009.

[8] 中华人民共和国建设部.GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

[9] 中华人民共和国建设部.GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.

收稿日期:2014-02-21