

# 强夯法和强夯置换法在深厚人工填土层中的应用

白李妍

(深圳市勘察研究院有限公司,广东 深圳 518026)

**摘要:**采用强夯法和强夯置换法对某工程深厚人工填土层进行地基处理。分析了场地的地质条件及建设要求,介绍了强夯法和强夯置换法的应用及效果。

**关键词:**地基处理;强夯;强夯置换;深厚人工填土

**中图分类号:** TU472.3<sup>+</sup>1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)12-0039-03

## 1 工程概况

本工程位于深圳市南山区龙珠大道以北,塘朗山郊野公园西南麓,东邻一高层住宅区,西与深圳市公安局妇教所相邻,占地面积约 10万 m<sup>2</sup>,近似五边形。

场地拟建综合培训基地,有行政教学楼、图书信息中心、文体活动中心、公寓、食堂等建筑物以及球场、广场、道路、绿地等构筑物。场地中部为人工湖,占地约 2万 m<sup>2</sup>。

场地原始地貌为台地及低丘,曾被辟为采石场。整个场地地势由东往西呈阶梯式降低,自然地面海拔标高最高为 +51.5 m最低为 +17.76 m。

东部为采石开挖弃土堆填区,已经回填了大量的开山弃土石渣及建筑垃圾等,最大填土厚度约 30 m填料不均匀,下卧原始开挖面起伏大、不规则。根据设计场平标高,该区域属于开挖区,大部分挖方完成面仍处在人工填土层上,需要进行地基处理。

西部大部分经采石开挖后形成低洼凹地,基岩裸露,开挖面起伏大,处于汇水区,地下水丰富,废弃后成为积水坑,面积约 4万 m<sup>2</sup>,水深最深处达到 4 m。根据设计场平标高,该区域属于回填区,坑底距回填完成面标高最小填筑高度为 6.5 m最大填筑高度为 16.7 m需多次分层分区回填并进行地基处理。

## 2 主要工程地质条件

### 2.1 岩土层特性

场地内埋藏地层的岩性及特征自上而下依次为:

①人工填土层,主要由粘性土及 35%~60%的

碎(块)石及建筑垃圾组成,密实程度不均匀,总体结构较松散,层厚 0.3~29.6 m;

②人工填石层,主要由采石场废弃石料堆填而成,块石成分为微风化中~粗粒花岗岩,层厚 0.4~4.4 m;

③粘土层,湿,软~可塑状,光滑,干强度高,韧性强,层厚 5.0 m;

④粉质粘土层,含 10%~20%的石英砂砾,局部含中~微风化花岗岩块石,稍湿,可塑~硬塑状,稍光滑,干强度高,韧性中等,层厚 2.0~9.0 m;

⑤砂(砾)质粘土层,由下伏中粒花岗岩或粗粒花岗岩风化残积而成,原岩结构已破坏,含约 10%的石英砾,风化不均,局部偶夹强风化岩块,湿,可塑~硬塑状,遇水极易软化,强度明显降低,稍光滑,干剪强度高,韧性中等,层厚 1.0~11.5 m;

⑥中(粗)粒花岗岩,系场地内下伏基岩,主要矿物成分为石英、长石、云母等,中、粗粒结构,块状构造,据其风化程度可分为全风化层、强风化层、中风化层、微风化层 4层。

### 2.2 地下水

地下水主要赋存于粉质粘土层和砂(砾)质粘土层中,属上层滞水类型。地下水主要靠大气降水补给。由于场地地势变化较大,使得地下水水位埋深变化也较大,测得其稳定水位埋深为 1.00~12.00 m。

## 3 建设要求

(1)本工程为政府重点建设项目,建设安全等级一级,建设要求较高。

(2)场地地理位置特殊,北侧为塘朗山生态保

收稿日期:2007-08-23

作者简介:白李妍(1974-),女(满族),北京人,深圳市勘察研究院有限公司工程师,岩土工程专业,工学硕士,从事岩土工程方面的设计、咨询工作,广东省深圳市福田区福中东路 15号, bailiyar@21.cn.com

护区,东侧为已建成的城市住宅小区,南侧为市政干道,西侧为公共建筑设施,对施工安全、环境协调要求高。

(3)需要满足山地园林式建筑小区的特殊要求,规划竖向设计采用缓坡多台的布局手法,结合山地形态由南向北逐级增高。建(构)筑物分散并采用错落式竖向空间设计,形成了24个不同大小、不同标高的建筑地基平面(标高+26.0~+49.0 m)。

(4)地基处理要求严格,标准不同。建筑区除基岩区外,在各回填区和开挖区要求地基承载力 $\geq 160 \text{ kPa}$ ;工后沉降及差异沉降满足不同建筑要求;道路区承载力 $\geq 120 \text{ kPa}$ ;交工面压实度达到0.93;湖区、绿化带区要求地基处理后地基稳定,满足蓄水、湖岸湖底铺砌、防渗及控制管线变形等方面的要求。

## 4 强夯法和强夯置换法的机理与设计方法

### 4.1 强夯法和强夯置换法的机理

强夯法又名动力固结法或动力压实法。这种方法是反复将夯锤(质量一般为10~40 t)提到一定高度使其自由落下(落距一般为10~40 m),给地基以冲击和振动能量,从而提高地基的承载力并降低其压缩性,改善地基性能。

强夯置换法是采用在夯坑内回填块石、碎石等粗颗粒材料,用夯锤夯击形成连续的强夯置换墩,从而改善地基性能。

### 4.2 强夯法和强夯置换法的设计方法

强夯法和强夯置换法虽然已在工程中得到广泛应用,但是目前还没有一套成熟的设计计算方法。因此在设计中通常是经验初步确定强夯(强夯置换)参数,如夯击能、夯点布置、夯击次数及遍数、夯沉量等,提出试验方案,进行现场试夯和测试检验强夯效果,确定施工采用的各项强夯参数和施工工艺。检测的项目主要为现场载荷试验,检测承载力和变形模量,同时还应辅以其它检测手段检测强夯加固深度或强夯置换墩着底情况。

## 5 强夯法和强夯置换法在深厚人工填土层中的应用

### 5.1 东部开挖区残留深厚人工填土层的处理

开挖区挖方完成面分为10余个标高区,其中部分区域开挖至粘土层或基岩,不需进行地基处理,其它区域仍残留一定厚度的人工填土,最大厚度将近25 m。因人工填土成分复杂,土质差,采用何种方式

进行地基处理,达到相应的地基承载力要求并消除不均匀沉降为本工程的难点。

在这种情况下,可以选择的地基处理方法有换填法、强夯法、强夯置换法、复合地基法或建议结构采用桩基础等。针对本项目的工程地质条件和建设要求,对每种方法的技术有效性、施工可操作性及经济性进行比较(见表1),以便选择最优化的设计方案。

表1 开挖区地基处理方法比较

方法	技术有效性、施工可操作性及经济性
换填法	适用于浅层软弱地基及不均匀地基的处理。对于本工程深厚的人工填土层,即便部分换填,土石方量也非常大,环境污染严重,造价较高
强夯法	是处理人工填土层的常用方法,施工工艺成熟,造价相对较低。但其有效加固深度有限,对于深厚人工填土层上要求较高的建筑区难以保证处理效果
强夯置换法	是有效处理人工填土层的方法,处理效果比强夯好,造价相对较低。但是强夯碎石墩的加固深度有限,对于能否适用深厚人工填土层上要求较高的建筑区需要进一步考量。如果大面积使用,工程量较大
复合地基法	采用振冲桩或砂石桩形成复合地基,可有效提高地基土的性状,但是造价较高。如果大面积使用,工程量较大
桩基础	建议结构设计单位改用桩基础也是避免不良地基影响的常用方法,造价较高,但非常稳妥。但是只能解决建筑区的问题,其它区域仍需进行地基处理

经过上述比较,本着安全可靠、经济合理的原则,对开挖区的深厚人工填土层,根据场地的不同使用功能和处理要求,分别采取不同的处理方式:

(1)3~4层建筑区,因建筑荷载相对较大,一般的地基处理方法难以保证深厚人工填土层的地基承载力和沉降要求,建议结构设计单位采用桩基础。但是仍需采用强夯法对地基进行处理,以控制建筑物周边管线及地面的变形。强夯采用点夯+满夯的方式。点夯夯击能4000或5000 kN·m,1~2遍,每点5~12击不等;满夯夯击能2000或3000 kN·m,1遍,每点2击。

(2)2层建筑区,建筑荷载相对较小,采用强夯置换法处理建筑物基础外扩3 m以内的区域,建筑物仍采用天然基础,其它区域采用加料强夯进行处理。强夯置换点夯夯击能5000 kN·m,2遍,每点30~40击,碎石墩长度要求达到7 m;满夯夯击能2000 kN·m,1遍,每点3击。加料强夯采用点夯+满夯的方式。点夯夯击能5000 kN·m,2遍,每点9击;满夯夯击能2000 kN·m,1遍,每点2击。

(3)道路区地基承载力及沉降要求相对较低,采用强夯法进行地基处理。强夯采用点夯+满夯的方式。点夯夯击能3000 kN·m,2遍,每点12~15

击;满夯夯击能  $1000 \text{ kN} \cdot \text{m}$  1遍,每点 2击。

(4)湖区及绿化区要求低,采用满夯进行处理。其中湖区采用大能量多遍满夯,满夯夯击能  $3000 \text{ kN} \cdot \text{m}$  2遍,第一遍每点 2击,第二遍每点 1击;绿化区采用  $2500 \text{ kN} \cdot \text{m}$  夯击能满夯,1遍,每点 2击。

## 5.2 西部回填区深厚人工填土层的处理

西部回填区填筑高度为  $6.5 \sim 16.7 \text{ m}$  与分层碾压法相比,显然强夯法更为快速有效。但是强夯法的有效加固深度有限,对于填筑高度超过  $7 \text{ m}$  的区域,需要分层进行处理。整个西部回填区按照以下步骤进行回填和地基处理:

(1)采石坑抽排水后,在坑底采用碎石填筑透水层,其厚度视坑底地形而定,高处不填,低处多填,最厚处为  $2.5 \text{ m}$ 。同时在坑中选择最深两处设置大口径集水降水井。降水井井口随场地回填逐渐升高,随时抽排透水中汇集的地下水,以保证场地回填及强夯处理的效果。

(2)在透水层上分 2层进行回填及强夯。回填料为场地内挖方区的爆破石料和分选后的人工填土。第一层分为 5个标高区,第二层分为 9个标高区,每层根据回填厚度的不同及场地使用功能的不同,采用不同的夯击能进行强夯处理。

强夯大部分采用点夯+满夯的方式,局部回填较薄的区域只采用满夯。点夯夯击能  $2500$ 、 $3000$  或  $4000 \text{ kN} \cdot \text{m}$  2遍,每点  $12 \sim 15$  击;满夯夯击能  $1000$  或  $2000 \text{ kN} \cdot \text{m}$  1遍,每点 2击。

## 6 强夯法和强夯置换法效果检测与监测

### 6.1 强夯法和强夯置换法效果检测

对强夯(强夯置换)地基采用瑞利波试验和现场载荷试验进行检测。

瑞利波试验检测的目的是揭示强夯(强夯置换)地基的承载力和加固深度,并对场地加固后的均匀性进行评价。全场地瑞利波试验共布置了 96个测点,分 2次进行。根据检测报告的结论:场地在加固深度范围内地基承载力均大于  $200 \text{ kPa}$ ;最高可达  $270 \text{ kPa}$ ;平均  $230 \text{ kPa}$ ;场地加固深度最少  $6.8 \text{ m}$  最大  $8.6 \text{ m}$ ;平均  $7.6 \text{ m}$ ;加固深度以下不存在软弱层。

现场载荷试验检测的目的是检验强夯(强夯置换)地基的地基承载力特征值是否满足设计要求,并提供地基的变形模量及基床系数。现场载荷试验在试夯区布置了 3个试验点,场地竣工检测布置 13

个试验点。根据检测报告的结论:强夯(强夯置换)地基承载力特征值  $\geq 160 \text{ kPa}$ ;能够满足设计要求;地基变形模量最小值为  $23.6 \text{ MPa}$ ;最大值为  $57.5 \text{ MPa}$ ;基床系数最小值为  $18.4 \text{ MPa/m}$ ;最大值为  $32.4 \text{ MPa/m}$ 。

根据检测结果可以看出,无论在挖方区还是回填区,强夯法和强夯置换法的处理都达到了预期的效果。

### 6.2 强夯法和强夯置换法效果监测

场地中采用强夯(强夯置换)地基的浅基础建筑物每座设监测点 6个,其中四角各 1个,中间 2个,观测基础沉降和倾斜。监测频率为主体施工期间每施工完一层楼观测 2次,竣工后每月观测 1次,竣工后观测时间 1年。

主体施工于 2005年 10月开始,根据 2006年 9月底或 10月初的建筑物沉降变形监测成果,15栋建筑物中各观测点最小累积沉降量为  $1.62 \text{ mm}$ ;最大累积沉降量为  $37.24 \text{ mm}$ ;满足设计要求。上述各栋楼沉降变形观测值的沉降差和倾斜值经计算均不大。

## 7 结语

(1)对于已存在的深厚人工填土层,根据场地的不同使用功能和处理要求,分别采用强夯法、强夯置换法和加料强夯法进行地基处理,并采取不同的强夯参数,达到了最优化设计。

(2)对于回填土地基,采用一次强夯或分层强夯进行地基处理,并根据回填厚度的不同及场地使用功能的不同,采取不同的强夯参数,与分层碾压相比,有效地提高了施工进度,节省了工程造价。

(3)对低洼区设置透水层和集水降水井是控制地下水的有效措施,不但保证本工程回填土石方、强夯的顺利进行,同时为后期土建施工地下室基底降水提供了方便。

(4)检测和监测结果证明,强夯法和强夯置换法在深厚人工填土层中的应用效果显著。

## 参考文献:

- [1] JGJ79-2002 建筑地基处理技术规范 [S].
- [2] DBJ15-38-2005 建筑地基处理技术规范 [S].
- [3] SJG04-96 深圳地区地基处理技术规范 [S].
- [4] 林宗元.岩土工程治理手册 [M].北京:中国建筑工业出版社, 2005.