

# 道路工程大规模填土坑勘察技术研究

程海陆 韩泽坤 王涛 逯鹏宇  
(北京城建勘测设计研究院有限责任公司,北京 100101)

**【摘要】** 以梅市口路道路工程为例,对大规模的填土坑根据填土成分、规模大小进行分类,将填土类型按区域、成分分别进行细化,将生活垃圾划分为焚烧后垃圾与未焚烧垃圾。通过多种手段,针对不同的填土对几种地基处理方法进行对比分析和研究,形成一套较完善的填土坑的勘察处理技术体系。

**【关键词】** 大规模;填土坑;生活垃圾;焚烧;地基处理

**【中图分类号】** TU 449

**【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2020.04.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Study on Survey Technology of Large-scale Pit Filling in Road Engineering

Cheng Hailu Han Zekun Wang Tao Lu Pengyu

(Beijing Urban Construction Survey and Design Institute Co., Ltd., Beijing 100101, China)

**【Abstract】** Taking the road engineering of Meishikou Road as an example, the large-scale earth filling pits were classified according to the composition and scale of the earth filling, and the types of soil filling were classified according to their origin and composition. Meanwhile, domestic garbage was divided into incinerated garbage and unincinerated garbage. Through a variety of means, in view of the different filling, research and comparative analysis on several foundation treatment methods are conducted, a more perfect filling holes survey and processing system is provided.

**【Key words】** large scale; earth filling pit; domestic garbage; incineration; foundation treatment

### 0 引言

填土是一种常见的特殊性土,在建设工程中经常会遇到规模较大的填土坑,填土一般分为杂填土、素填土、冲填土和压实填土,具有不均匀性、高压缩性、湿陷性、低强度性等性质<sup>[1-4]</sup>。在道路工程遇多处大规模、成分复杂的填土坑,结合梅市口路工程将垃圾类别细分,将生活垃圾细分为焚烧和未焚烧垃圾,对规范法分类进行补充,根据细分的填土分类,有针对性地对建筑垃圾、焚烧、未焚烧垃圾采取多种处理方式,进而形成一套完整的深大填土坑勘察体系。

### 1 工程背景

梅市口路道路工程是北京市丰台河西地区与市区联系的主要东西向道路之一,同时也是第九届世界园艺博览会配套市政工程。

工程为城市主干道设计标准,全长 8.5 km,东起玉泉路,终点至长兴路。该道路规划标准横断面

为三幅路,全宽 50 m,其中机动车道三上三下,宽 24 m,单侧机非分隔带宽 2 m,非机动车道宽 5 m,人行道宽 6 m。沿线存在 6 个大型的填土坑,对线路影响极大,本次取 3 个典型填土坑进行论述。线路与填土坑位置关系图见图 1。



图 1 线路与填土坑位置关系图

## 2 典型填土特点分析

### 2.1 典型填土成分特点

3个典型填土坑分别位于三个里程区段,各有特点,包括未焚烧生活垃圾、建筑垃圾夹生活垃圾,以及建筑垃圾夹焚烧后垃圾,其填土成分特点见表1。

表1 典型填土成分特点分析

里程	填土特点
K1+690~ K1+840	未焚烧的生活垃圾
K2+260~ K2+920	建筑垃圾为主夹生活垃圾,建筑垃圾以碎石、红砖块、白灰渣、瓦片、混凝土块、铁矿石块、水泥块、沙、炉灰为主,生活垃圾以破布、塑料袋为主,生活垃圾随机夹杂,大块建筑垃圾多,存在废铁矿石
K5+140~ K5+480	里程 K5+300~K5+480 范围,2.5~12.0 m 深度范围为焚烧后生活垃圾,黑色,有腐臭味;其余范围以建筑垃圾为主,含碎石、红砖块、白灰渣、瓦片、混凝土块等,夹生活垃圾

### 2.2 填土的分布

填土分布主要采用钻探手段查明,钻孔间距 10~20 m,辅以等厚线图、三维图说明填土范围及深度,典型填土坑等厚线图、三维地质图、剖面图见图2—图4。

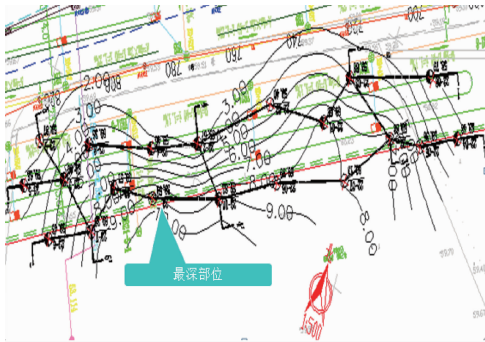


图2 K1+690~K1+840 填土坑埋深等值线图

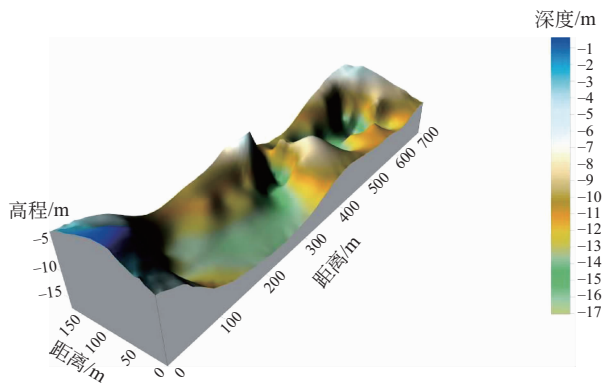


图3 K2+260~K2+920 段填土坑三维地质图

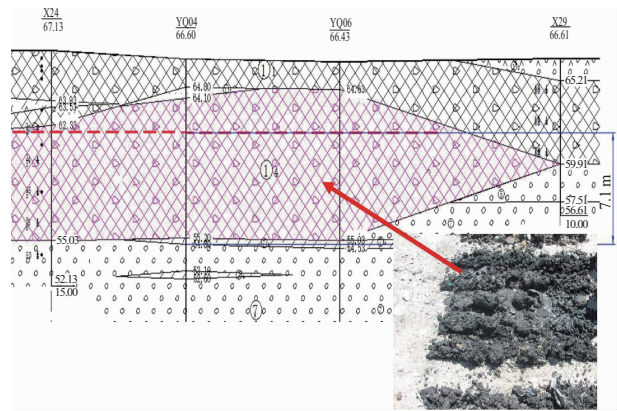


图4 k5+140~k5+480 段填土坑典型剖面图

### 2.3 填土的力学性质

填土成分复杂且不均匀,呈欠固结状态,承载力及沉降量不能满足路基设计要求。如果地基处理不当,将会造成管线因不均匀沉降被折断,严重时导致路面坍塌,影响人身安全<sup>[5]</sup>。典型填土层原位测试指标见表2。

表2 典型填土层原位测试指标

统计	杂填土 (建筑垃圾为主)	未焚烧 生活垃圾	焚烧后生活垃圾	
	$N_{63.5}$	$N_{63.5}$	$N$	$N_{63.5}$
平均值 $\bar{x}$	8	6	5	4
最小值 min	2	2	3	2
最大值 max	25	17	8	6
子样数 $n$	410	53	17	12
变异系数 $\delta$	0.52	0.55	0.36	0.27

注:  $N$ —标准贯入试验锤击数;  $N_{63.5}$ —重型动力触探试验锤击数。

### 2.4 细化填土分类

线路填土类型多样、成分不一,有建筑垃圾、生活垃圾,有建筑垃圾与生活垃圾混杂,对比未焚烧生活垃圾和已焚烧生活垃圾力学指标,未焚烧生活垃圾离散性极大,极不均匀,而焚烧后生活垃圾测试数据离散性相对较小,经过焚烧后更加均匀。

因此将生活垃圾进行细分类,分为未焚烧生活垃圾和已焚烧生活垃圾,见图5所示。

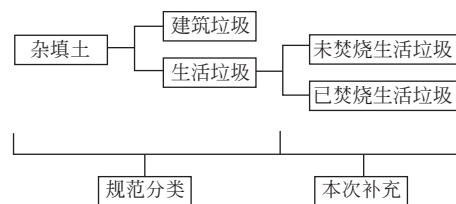


图5 规范分类与本次补充分类关系图

### 3 生活垃圾填土地基处理研究

垃圾土中的有机物降解是一个同时进行物理、化学和生物反应的复杂又漫长的过程,一般要持续几十年甚至上百年<sup>[6]</sup>,随着填埋时间延长,腐化程度加大,垃圾土的结构组分和力学特性将会发生变化<sup>[7]</sup>。国内生活垃圾一般采用清除后换填,部分采用强夯法取得了一定效果,采用混凝土桩的处理方法极少。本研究根据上述生活垃圾细化分类,尝试采用两种不同的方法进行处理,并分别进行验算分析。针对未焚烧垃圾采用 CFG 桩+钢筋混凝土盖板,对焚烧后生活垃圾采用 CFG 桩+碎石褥垫层的方式,前者相当于桥梁式跨越法模型,后者相当于桩与填土的复合地基模型<sup>[8]</sup>。

#### 3.1 CFG 桩+混凝土盖板方式

桩端进入卵石地层,桩径为 500 mm,桩长 9~10 m,桩距 1.5 m,梅花形布置,采用 C20 混凝土灌注,盖板采用 C25 现浇钢筋砼板,板厚 20 cm,宽 14.1 m,长 150 m,主筋  $\phi 25@200$ ,分布筋  $\phi 8@200$ ,卵石端阻按 3000 kPa 考虑,不考虑填土侧摩阻力,按式(1)<sup>[9]</sup>计算。

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (1)$$

单桩竖向承载力特征值  $R_a$  为 294.4 kN。布桩 1105 根,提供 324284.4 kN,提供单位面积反力 153.8 kN,大于荷载要求 120 kPa。如图 6 所示。

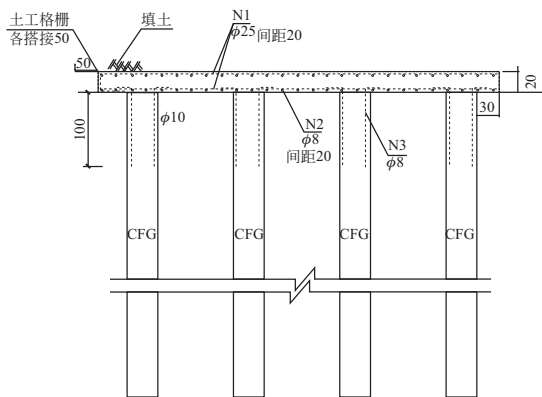


图 6 CFG 桩+混凝土盖板(单位:cm)

#### 3.2 CFG 桩+桩顶填筑褥垫层方式

桩布置情况与上述相同,褥垫层总厚度为 50 cm,根据原位测试数值,垃圾承载力按 50 kPa,置换率  $m$  为 0.1,折减系数  $\beta$  取 0.75;根据式(2)<sup>[10]</sup>计算。

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

式中: $R_a$ 为单桩竖向承载力特征值,kN; $A_p$ 为桩的截面积, $m^2$ ; $\beta$ 为桩间土承载力发挥系数,按地区经验取 0.75; $f_{spk}$ 为复合地基承载力特征值,kPa; $f_{sk}$ 为处理后桩间土承载力特征值,kPa,本次按 50 kPa 考虑。

复合地基承载力特征值为 184.9 kPa,也满足设计要求。为使受力更加均匀,可加铺 1 层三向土工格栅(见图 7)。

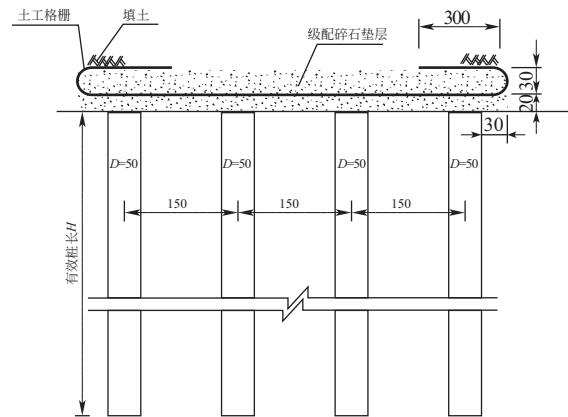


图 7 CFG 桩及桩顶布置(单位:cm)

### 4 建筑垃圾填土地基处理研究

#### 4.1 柱锤冲扩桩法试验

##### 4.1.1 试验布置

为了解不同地基处理工艺施工效果,结合现场条件,确定选择 2 个试验区,平面位置见图 8。

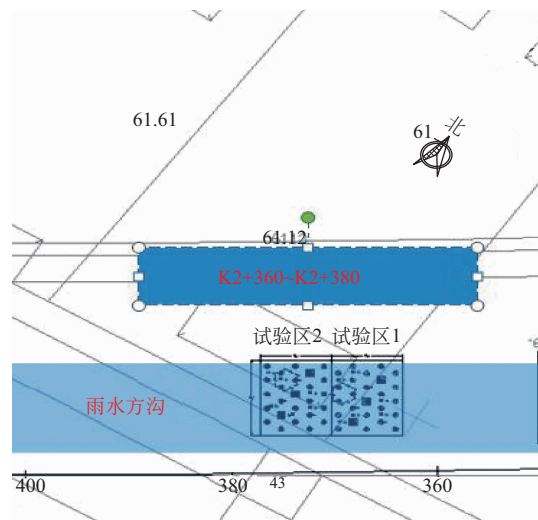


图 8 柱锤冲扩桩试验区位置图

根据已有施工经验,确定各试验区试验参数见表 3,各试验区桩(孔)位平面布置详见图 9。

表3 试验区主要参数表

试验区	试验区位置	处理工艺	主要参数
试验区1	K2+360.0~ K2+366.9	柱锤冲	1. 桩身材料:现场渣土+30%碎石(3~5 cm);
		扩渣土碎石桩	2. 桩位布置:间距1.6 m,正三角形布置; 3. 桩孔参数:直径 $\phi 500$ ,长度约11.0 m; 4. 试桩规模:5根桩 $\times$ 5根桩
试验区2	K2+366.9~ K2+373.8	柱锤冲	1. 桩身材料:2:8灰土(白灰质量比12%);
		扩灰土桩	2. 桩位布置:间距1.6 m,正三角形布置; 3. 桩孔参数:直径 $\phi 500$ ,长度约11.0 m; 4. 试桩规模:5根桩 $\times$ 5根桩

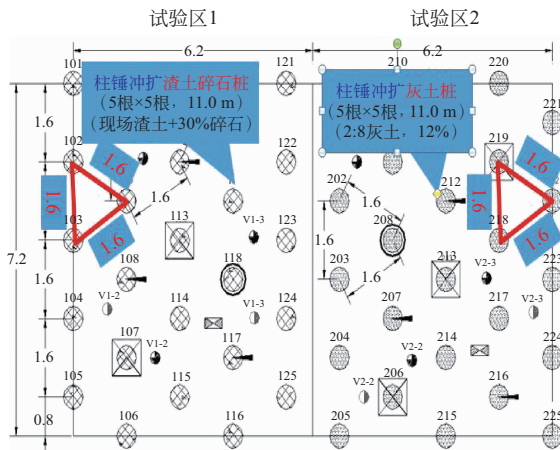


图9 试验区桩位平面布置详图(单位:m)

#### 4.1.2 检测结果

##### (1) 单桩复合地基载荷试验结果

① 试验1区2组单桩复合地基静载荷试验,在最大加载压力作用下,最终沉降量均小于18 mm,因此, $f_{spk} \geq 240$  kPa;

② 试验2区2组单桩复合地基静载荷试验,最终沉降量分别为17.51 mm和17.53 mm, $s/b = 0.008$ ,对应的压力分别为170 kPa和150 kPa,均满足设计承载力之要求。

试验点号1—107点载荷试验结果见图10。

##### (2) 钻孔波速测试

通过施工前后剪切波速对比分析,可知:

① 柱锤冲扩碎石渣土桩施工后,地层等效波速值平均提高19.1 m/s,3孔平均等效波速平均值为187.0 m/s;柱锤冲扩碎石渣土桩及柱锤冲扩灰土桩均在2.0~8.0 m范围内,波速值提高较为明显。

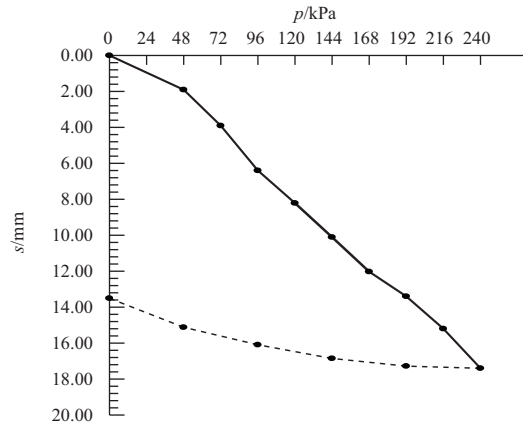


图10 试验点号1—107荷载试验结果

② 柱锤冲扩灰土桩施工后,地层等效波速值平均提高37.3 m/s,3孔平均等效波速平均值为201.8 m/s;柱锤冲扩灰土桩比柱锤冲扩碎石渣土桩地层等效波速值提高幅度略高,桩间土挤密效果略好。

试验2区1点波速结果见图11。

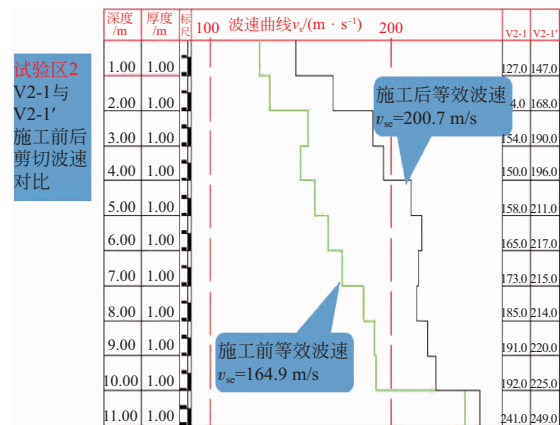


图11 试验2区1点波速试验结果对比

##### (3) 重型动力触探

① 渣土碎石桩施工后,锤击数平均提高1.9,三孔平均值达到8.0击。

② 灰土桩施工后,锤击数平均提高1.5,三孔平均值达到8.0击。

#### 4.2 换填法试验

##### 4.2.1 试验布置

进行级配砂石换填处理,场区规划均为10 m $\times$ 20 m,级配碎石换填深度为1.0 m,分3层碾压。

检验砂石质量 $\rightarrow$ 分层铺筑砂石 $\rightarrow$ 洒水 $\rightarrow$ 夯实或碾压 $\rightarrow$ 找平验收。

对级配砂石进行技术鉴定,将砂石拌和均匀,分层铺筑砂石,铺筑砂石的每层厚度不超过40 cm,分层厚度用样桩控制。

#### 4.2.2 检验结果

a. 换填地基平板载荷试验测试, 最终沉降量为 12.25~15.35 mm;

b. 换填地基竖向抗压承载力特征值满足不小于 120 kPa 设计要求。

换填碾压地基某点载荷试验结果见图 12。

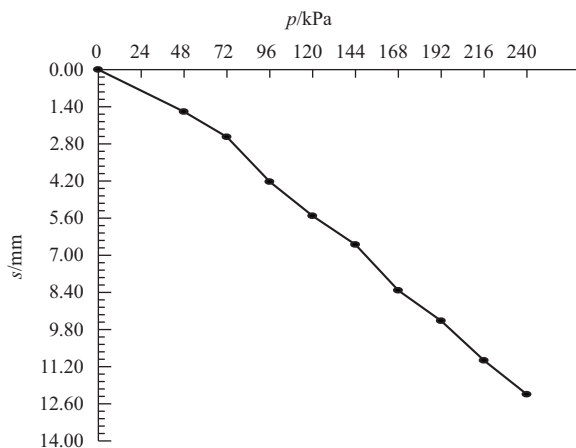


图 12 荷载试验 p-s 曲线

#### 4.3 注浆法试验

##### 4.3.1 试验布置

加固材料: 水泥浆(水灰质量比 0.5);

孔位布置: 间距 1.8 m, 正三角形布置;

注浆孔参数: 直径 130 mm, 长度约 8.5 m;

试验规模: 5 孔×5 孔。

试验区孔位平面布置详见图 13。

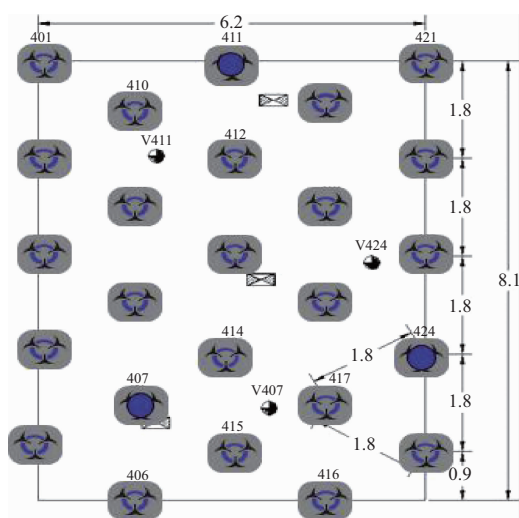


图 13 试验区注浆孔位布置(单位:m)

##### 4.3.2 检验结果

a. 试验点边缘区重力触探击数前后增长不明

显, 中间区略有增长, 平均增长 2~3 击;

b. 试验中间区检验结果比边缘区检验结果较好。

#### 4.4 试验研究对比分析

(1) 以建筑垃圾为主的填土坑, 柱锤冲扩桩法与换填法基本都能满足设计及施工要求。

(2) 从充填材料来源分析, 柱锤冲扩渣土碎石桩的施工材料方便易取, 现场即可解决部分, 如采用柱锤冲扩桩法, 可采用柱锤冲扩渣土碎石桩, 并适当提高桩的置换率, 桩间距建议取 1.4~1.5 m。

(3) 当采用换填法时, 由于填土坑较深, 后期有长期沉降的影响存在, 建议增加换填厚度, 换填前进行预碾压, 碾压采用大吨位震动碾压法。

(4) 特殊地段采用注浆工艺, 注浆孔间距可适当减小, 施工顺序应由外围向中心注浆。

#### 5 结论

(1) 根据填土成分、规模大小进行分类, 将填土类型按区域、按成分分别进行细化, 将生活垃圾划分为焚烧后垃圾与未焚烧垃圾, 提供了下一步针对性的地基处理的依据, 也可作为规范分类的补充。

(2) 根据细化后的填土分类, 通过不同的地基处理方法研究, 从成本、进度、效果对比各种处理方法, 并根据填土种类以及对应不同构筑物进行分别处理, 采取有区别的处理方式, 快速高效经济。

(3) 现今大部分程序勘察和地基处理是分离的, 在勘察过程中极少做地基处理研究, 如果将二者有机地结合, 当遇到大范围不良地质和特殊性土, 进行一些地基处理研究, 不但能极大地完善勘察报告, 对设计也更有指导意义, 是今后勘察走向的一种趋势。

#### 参 考 文 献

- [1] GB50021—2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 苏志冈, 郭明田, 李海坤. 北京地区杂填土地场岩土工程勘察探讨[J]. 工程勘察, 2008(增2): 34-36.
- [3] 李俊. 大规模填土地基基础的勘察要点和性质研究[J]. 建筑设计管理, 2010, 27(12): 64-65.
- [4] 张宏伟. 填土地基勘察与评价[J]. 山西建筑, 2008, 34(18): 113-114.

(下转第 224 页)

```
inline AcApDocument * curDoc() { return ::
acDocManager->curDocument(); }
```

```
curDoc ( )-> inputPointManager ( )-> ad-
dPointMonitor( &myMonitor );
```

在 acrxEntryPoint 函数的 AcRx::kUnloadAp-  
pMsg 消息中移除反应器,移除反应器代码如下:

```
curDoc()->inputPointManager()->remove-
PointMonitor( &myMonitor );
```

#### 4 程序运行效果

本程序基于 ObjectARX 2018 开发,在 Auto-  
CAD2018 里加载程序后,当鼠标移动到古树上时,  
会以 ToolTip 形式显示古树信息,程序运行效果如  
图 2 所示。

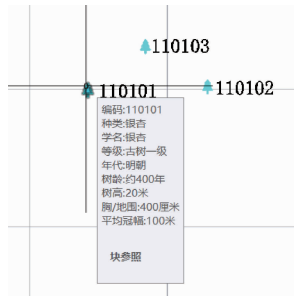


图 2 程序运行效果图

#### 5 结论与展望

基于 ObjectARX2018 实现了古树信息录入和  
浏览功能,在不使用外部数据库的情况下满足了用

户需求,避免了建设 GIS 系统和购买数据库的额外  
支出,为用户节约了使用成本。使用本程序可提高  
客户的工作效率和使用体验。

通过开发本程序,可进一步加深对 ObjectARX  
开发技术和运行机制的了解。在 AutoCAD 中把属  
性信息存储到图形的 XData 里,并使用反应器以  
ToolTip 方式显示古树信息的做法,符合当下广泛  
使用的“大平台+小程序”的开发模式。本程序在古  
树信息录入部分,如果使用 VC++ 的 MFC 开发一  
个对话框为用户提供输入属性,将进一步提高信息  
录入的工作效率。

#### 参考文献

- [1] 刘旭,陶为翔. ToolTip 在 AutoCAD 二次开发中的  
应用[J]. 北京测绘,2014(4): 68-70.
- [2] 席世亮. 运用 ObjectARX 进行 AutoCAD 二次开发实  
例[J]. 公用工程设计,2010: 88-91.
- [3] 王欣,程耀东,孟凡相. ObjectARX 二次开发运行  
机制及应用研究[J]. 测绘科学,2009, 34(S2):  
182-185.
- [4] 张书辰,张晓周. 基于 ObjectARX 二次开发平台下  
磁法平剖图快速成图插件的开发[J]. 物探与化探,  
2014,38(6): 1284-1289.
- [5] 刘同成,林愉. 基于 ObjectARX 的 AutoCAD 二次  
开发及应用实例[J]. 自动化技术与应用,2006, 25  
(5): 35-37.

收稿日期:2019-12-30

(上接第 210 页)

- [5] 米海珍,归娜. 垫层法处理大厚度填土地基时地基  
缺陷的影响[J]. 建筑科学与工程学报,2012,29(4):  
120-126.
- [6] 严树. 垃圾土的工程性质研究[D]. 武汉:中国科学  
院武汉岩土力学研究所,2004.
- [7] 朱兵见,邱战洪,何冬冬. 城市生活垃圾的力学性能测  
试与分析[J]. 济南大学学报(自然科学版),2012,26  
(4):403-406.
- [8] 袁凌云,李卫民. 水泥粉煤灰碎石桩处理新填土地基

的研究与实践[C]//贵州省岩石力学与工程学会  
2013 年度学术交流论文集,2013.

- [9] JGJ94—2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京:中国建  
筑工业出版社,2008.
- [10] JGJ79—2012 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中  
国建筑工业出版社,2015.

收稿日期:2019-07-31