文章编号：1007-2993(2013)05-0234-04

# 钎探法探测部分非金属管线中心位置和埋深的探讨

陈　卓
（中兵勘察设计研究院，北京　100053）

【摘　要】 城市地下空间规划中，地下管线的新建和维护是很重要的环节，这都需要知道地下管线的准确位置，因此管线探测必不可少。在管线探测中，非金属管线的探测是比较困难的。论述了使用钎探法探测硬质大管径非金属管线，快速准确确定管线中心位置及中心顶部埋深的方法，推导出计算公式并编写了相应的软件，在实际工程中取得应用，快速而有效地解决了硬质大管径非金属管线探测的问题。

【关键词】 硬质大管径非金属管线；钎探法；确定中心
【中图分类号】 TU 195　【文献标识码】 A　doi：10.3969/j.issn.1007-2993.2013.05.005

## Discussion of Drilling Method to Detect Center Location and Depth of Some Non-metallic Pipeline

Chen Zhuo
（China Ordnance Industry Survey，Design & Research Institute，Beijing 100053，China）

【Abstract】 In the planning of urban underground space，the construction and maintenance of underground pipeline is very important. To achieve this，it is essential to acquire the information of the underground pineline，and the detection of the pineline is necessary，the difficulty of which is the detection of non-metallic pineline. To non-metallic pipeline with hard material and big diameter，the drilling method has been used to detect it. Based on the drilling method，two-drill method has been studied for determinating the center and depth of non-metallic pipeline. A software package has been developed and evaluated by practical applications. Results has shown the effectiveness of the proposed method.

【Key words】 non-metallic pipeline with hard material and big diameter；drilling method；determine the center

## 0 引　言

近几年来，随着城市化建设进程的不断加快，地下管线建设也不断增多，其管理的重要性也越来越受到重视。城市地下空间新的规划，地下管线的新建与维护，应急管理与抢修都需要及时准确的地下管线信息[1-2]。

总观目前国内管线探测技术的现状，金属管线探测技术已经趋于成熟，但由于非金属管线的特殊性，其探测方面存在着许多问题，探测难度较大，探测的方法有待进一步完善和改进。

地下管线的探测之中非金属管线占很大一部分比例，非金属管线包括塑料管及硬质管，对于塑料管暂不讨论，只讨论大管径硬质管。对于这种类型的管线，一般都采用钎探法探测，经过摸索，用此方法可以快速且准确地找到地下管线中心的位置和埋深。

## 1　钎探法简介

钎探法对非金属管线探测是一种非常有效的办法，其适用的管线主要是部分大管径硬质管。它的具体做法是知道管线的走向，但准确的中心位置难以确定，可在管线走向的横切面上垂直布设钎探点，在各个钎探点上先用冲击钻钻透坚硬地面，然后将钢钎用重锤逐渐打下，超过管道可能深度后再换下一点重新开始，直到打到管线为止，但是为了确定管线的中心位置，使测量数据更加准确，往往需要多打几点，一般都是选取最短的入土深度作为管线的大致中心位置，这种做法往往即费力气又费时间，为了更快更准地找到管线的中心位置，设计了以下两点精确定位算法。

## 2　两点定位管中心位置及埋深的数学模型及算法

事先用测量仪器定出管线的大概位置，但地下

作者简介：陈　卓，1983 年生，男，汉族，湖北随州人，主要从事测绘和地理信息相关工作。
E-mail：1342752236@126.com

管线探测过程中需要知道管线中心的准确位置和埋深。经过多次的实践和理论分析，设计出了只需要在管线的走向横断面上打两点便可以准确确定管线中心和埋深的解析算法，并推导出公式。

其基本原理是：在管线的横断面方向上打两点，直到打到管线，然后分别记录下两次打入的深度以及两次钻孔之间的水平距离，这样就相当于知道了圆上两点以及圆的半径，由此可以确定两个圆，但是加上两次打孔都位于圆心上方这个限制条件，就能确定唯一一个圆。可以用解析几何法计算圆心位置，然后确定到浅孔距离以及埋深，这种情况公式比较复杂且判断比较麻烦，为了简化计算，分成两种情况来讨论其数学模型，即两次打的钎探孔位于中心管点的两侧和两次打的钎探孔位于中心管点的一侧。

在这种方法中，有可能两次打的孔不在管线的横截面上，做其中一个孔所在面的横截面，设两点间距为 $d$，这种情况会产生一点偏差，两次孔之间的连线会和横截面产生一定的夹角 $\alpha$，这时两孔之间距离在横截面上的投影间距为 $d\cos\alpha$ 。由于知道管线的走向，这种情况下横截面基本可以确定位置，$\alpha$ 角很小，这时 $d\cos\alpha$ 基本上和 $d$ 值一样，而且另外一个孔基本挨着横截面，打孔深度和此孔投影到横截面上的点的打孔深度基本相同，可以忽略掉两次打孔跟横截面有夹角产生的差异。

### 2.1　两次打的钎探孔在管中心位置的同一侧

数学模型见图 1。

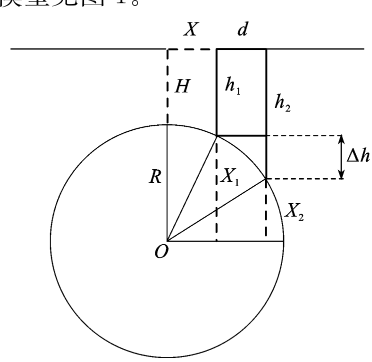


**图 1　两次打的钎探孔在管中心的同一侧**

如图 1 所示，圆心为 $O$，管的半径是 $R$（一般情况下为已知的），管中心顶部的埋设深度为 $H$，两个钎探孔中浅孔到管道上方的距离为 $h_1$，深孔到管道上方的距离为 $h_2$，其中：$h_1$、$h_2$、$d$ 是已知量；$H$、$X$、$X_1$、$X_2$ 为未知量。

由于 $X$ 是浅孔到管线中心的距离，必然有 $0\leqslant X<R$，而且深孔和浅孔都在管线中心一侧，且两点都打在管线上必然不与管线相切，有 $X+d<R$，两式结合可知：

$$0\leqslant X<R-d \tag{1}$$

由图 1 有 $H+R=X_1+h_1=X_2+h_2$，利用勾股定理可知 $X_1=\sqrt{R^2-X^2}$，$X_2=\sqrt{R^2-(X+d)^2}$，结合上式可以得出 $\sqrt{R^2-X^2}=\sqrt{R^2-(X+d)^2}+\Delta h$，将此式平方去掉根号后合并得到下式：

$$(4d^2+4\Delta h^2)X^2+4d(d^2+\Delta h^2)X+(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)=0 \tag{2}$$

令 $a=(4d^2+4\Delta h^2)$、$b=4d(d^2+\Delta h^2)$、$c=d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2$，上式化简为 $aX^2+bX+c=0$，必须满足 $b^2-4ac\geqslant 0$ 方程才能有解。

为了判断 $b^2-4ac$ 是否大于等于 0，即判断方程是否有解，作图 2。

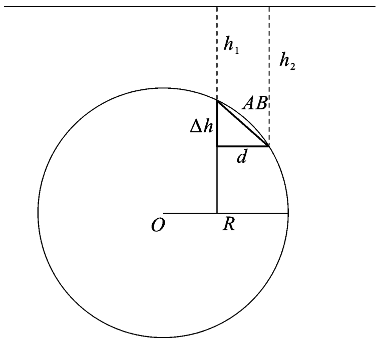


**图 2　Δh 和 d 的几何关系图**

图中设连接两个钎探孔之间的弦为 $AB$，由勾股定理可知 $AB^2=\Delta h^2+d^2$，而 $AB$ 又为圆上的弦，并且两个钎探点都要打在管线上可知 $0<AB<2R$，即 $AB^2<4R^2$，$\Delta h^2+d^2<4R^2$，这样 $b^2-4ac=16\Delta h^2(\Delta h^2+d^2)(4R^2-\Delta h^2-d^2)$ 必然大于 0，方程有解，$X$ 有两个可能解即 $\dfrac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$ 和 $\dfrac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$，现在来分别讨论两种解。

对于 $X=\dfrac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$，可知 $a>0$ 且 $b>0$，而 $X$ 是近钎探孔到管中心的距离，必须为大于 0 的正数，$X=\dfrac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$ 明显小于 0，故此解排除，可能大于 0 的根只有一种，即 $X=\dfrac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$。

对于这个解，必须满足条件 $X\geqslant 0$，这时要求 $-b+\sqrt{b^2-4ac}\geqslant 0$，推导出 $ac\leqslant 0$，将 $a$、$c$ 带入此式，并化简可得 $4(d^2+\Delta h^2)(\Delta h^2+d^2+2\Delta hR)(\Delta h^2+d^2-2\Delta hR)\leqslant 0$，由于 $(4d^2+4\Delta h^2)(\Delta h^2+d^2+2\Delta hR)$ 必然大于 0，要使上式成立，必然有 $\Delta h^2+d^2-2\Delta hR\leqslant 0$，这时方程有解 $X=\dfrac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$，

将 $a$、$b$、$c$ 带入此式，有：

$$X=-\frac{d}{2}+\sqrt{\frac{d^2}{4}-\frac{(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)}{4(d^2+\Delta h^2)}}$$

接下来，计算管中心顶部的埋深，由 $H+R=X_1+h_1$ 以及 $X_1=\sqrt{R^2-X^2}$，有 $H=X_1+h_1-R=\sqrt{R^2-X^2}+h_1-R$。

综上所述：当 $\Delta h^2+d^2-2\Delta hR\leqslant 0$ 时，打出的两次钎探孔在管中心同一侧有解，且浅孔到管中心的水平距离为：

$$X=-\frac{d}{2}+\sqrt{\frac{d^2}{4}-\frac{(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)}{4(d^2+\Delta h^2)}},$$

管中心顶部的的埋深为 $H=\sqrt{R^2-X^2}+h_1-R$。

### 2.2 两次打的钎探孔在管中心位置的两侧

数学模型见图 3。

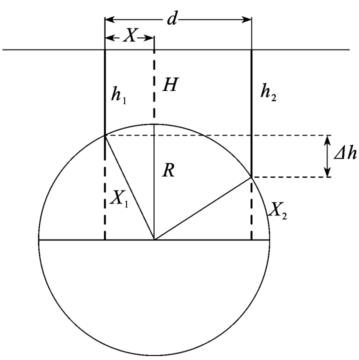


**图 3 两次打的钎探孔在管中心的两侧**

图 3 中，圆心为 $O$，管的半径是 $R$(一般情况下为已知的)，管中心的埋设深度为 $H$，两个钎探孔中浅孔到管道上方的距离为 $h_1$，深孔到管道上方的距离为 $h_2$。其中：$h_1$、$h_2$、$d$ 是已知量，$H$、$X$、$X_1$、$X_2$ 为未知量。

$X$ 是浅孔到管线中心的距离，由图 3 可知 $H+R=X_1+h_1=X_2+h_2$ 且 $h_2\geqslant h_1$，有 $X_2\leqslant X_1$，利用勾股定理 $X_1=\sqrt{R^2-X^2}$，$X_2=\sqrt{R^2-(d-X)^2}$，解这个不等式有：

$$0\leqslant X\leqslant\frac{d}{2} \tag{3}$$

$X_1=\sqrt{R^2-X^2}$ 和 $X_2=\sqrt{R^2-(d-X)^2}$ 代入 $H+R=X_1+h_1=X_2+h_2$，有 $\sqrt{R^2-X^2}=\sqrt{R^2-(d-X)^2}+\Delta h$，将此式平方去掉根号后合并得到下式：

$$(4d^2+4\Delta h^2)X^2-4d(\Delta h^2+d^2)X+(\Delta h^4+d^4+2\Delta h^2d^2-4\Delta h^2R^2)=0. \tag{4}$$

令 $a=(4d^2+4\Delta h^2)$，$b=-4d(\Delta h^2+d^2)$，$c=\Delta h^4+d^4+2\Delta h^2d^2-4\Delta h^2R^2$，上式化简为 $aX^2+bX+c=0$，必须满足 $b^2-4ac\geqslant 0$ 方程才能有解。

为了判断 $b^2-4ac$ 是否大于等于 0，即判断方程是否有解，作图 4。

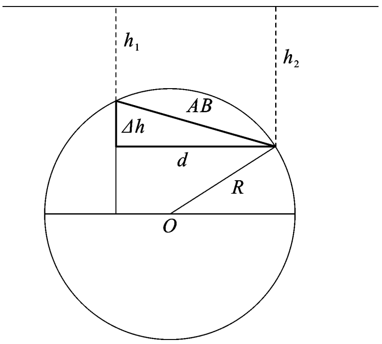


**图 4 Δh 和 d 的几何关系图**

图中设连接两个钎探孔之间的弦为 $AB$，由勾股定理可知 $AB^2=\Delta h^2+d^2$，而 $AB$ 又为圆上的弦，并且两个钎探点都要打在管线上可知 $0<AB<2R$，即 $AB^2<4R^2$，$\Delta h^2+d^2<4R^2$，这样 $b^2-4ac=16\Delta h^2(\Delta h^2+d^2)(4R^2-\Delta h^2-d^2)$ 必然大于 0，方程有解，$X$ 有两个可能解即 $\frac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$ 和 $\frac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$，现在来分别讨论两种解。

对于 $X=\frac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$，将 $a$、$b$、$c$ 分别带入此式，并化简有：

$$X=\frac{d}{2}+\sqrt{\frac{d^2}{4}-\frac{(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)}{4(d^2+\Delta h^2)}},$$

由于此式的后半部分必然大于等于 0，故由上式可知 $X\geqslant\frac{d}{2}$ 这与式(3)矛盾，故此解可以排除，唯一可能的解只有 $X=\frac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$。

对于这个解，必须满足条件 $X\geqslant 0$，这时要求 $-b-\sqrt{b^2-4ac}\geqslant 0$，推导出 $ac\geqslant 0$，将 $a$、$c$ 带入此式，并化简可得 $4(d^2+\Delta h^2)(\Delta h^2+d^2+2\Delta hR)(\Delta h^2+d^2-2\Delta hR)\geqslant 0$，由于 $(4d^2+4\Delta h^2)(\Delta h^2+d^2+2\Delta hR)$ 必然大于 0，要使上式成立，必然有 $\Delta h^2+d^2-2\Delta hR\geqslant 0$，这时方程有解 $X=\frac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$，将将 $a$、$b$、$c$ 带入此式，有：

$$X=\frac{d}{2}-\sqrt{\frac{d^2}{4}-\frac{(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)}{4(d^2+\Delta h^2)}}$$

接下来，计算管中心顶部的埋深，根据 $H+R=X_1+h_1$ 以及 $X_1=\sqrt{R^2-X^2}$，有：

$$H=X_1+h_1-R=\sqrt{R^2-X^2}+h_1-R。$$

综上所述：当 $\Delta h^2+d^2-2\Delta hR\geqslant 0$，打出的两次

钎探孔在管中心两侧有解，且浅孔到管中心的水平距离为：

$$X=\frac{d}{2}-\sqrt{\frac{d^2}{4}-\frac{(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)}{4(d^2+\Delta h^2)}}$$

管中心顶部的的埋深为 $H=\sqrt{R^2-X^2}+h_1-R$。

### 2.3　综合分析钎探孔在管中心一侧及管中心两侧的两种解

对于 2.1 中分析的解的情况，有：

$$X=-\frac{d}{2}+\sqrt{\frac{d^2}{4}-\frac{(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)}{4(d^2+\Delta h^2)}}$$

且要满足条件 $\Delta h^2+d^2-2\Delta hR\leqslant 0$；

对于 2.2 中分析的解的情况，有：

$$X=\frac{d}{2}-\sqrt{\frac{d^2}{4}-\frac{(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)}{4(d^2+\Delta h^2)}}$$

且要满足条件 $\Delta h^2+d^2-2\Delta hR\geqslant 0$。

对比这两个解，可见两式之间就相差一个负号且满足条件正好相反。由于知道了圆上两点及其半径，可以确定两个圆，但是加上两次打钎探孔均位于圆心上方这个限制条件，这样可以确定的圆只有一个。结合这两种情况及其解和满足的条件，用一个公式可以计算出圆心到浅孔的水平距离，即：

$$X=-\frac{d}{2}+\sqrt{\frac{d^2}{4}-\frac{(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)}{4(d^2+\Delta h^2)}}$$

当计算出的 $X\geqslant 0$ 时，两点位于管中心的同一侧；当计算出的 $X<0$ 时，两点位于管中心的两侧；

综上所述：不管两次钎探孔打在管中心同一侧还是两侧，浅孔到管中心的水平距离可以表示为：

$$X=-\frac{d}{2}+\sqrt{\frac{d^2}{4}-\frac{(d^4+\Delta h^4+2d^2\Delta h^2-4\Delta h^2R^2)}{4(d^2+\Delta h^2)}}$$

当 $X\geqslant 0$ 时，两点位于圆心的同一侧；当 $X<0$ 时，两点位于管中心的两侧。

管中心顶部的埋深为 $H=\sqrt{R^2-X^2}+h_1-R$。

## 3　通过两次打孔确定管中心位置及埋深的计算程序

下面给出本方法的函数程序，直接调用即可，程序中用到的各个参量在程序内部给予说明。

```
void Calculate_X_and_H(double *X,double *H,double R,double h1,double h2,double d)
{
//X 为浅孔到管中心的距离，H 为管中心顶部的埋深，R 为管的半径
//h1 为浅孔到管道上方的距离，h2 为深孔到管道上方的距离，d 为两个钎探孔之间的水平距离，deth 为深孔与浅孔的深度差
//AA，BB，CC，DD，EE 是为了化简计算而自己取的变量
double deth;
deth=h2-h1;
double AA=8*(d*d+deth*deth);
double BB=-4*d*(d*d+deth*deth);
double CC=16*(d*d+deth*deth)*(4*deth*deth*R*R-deth*deth*deth*deth-d*d*deth*deth);
double DD=sqrt(CC);
*X=(BB+DD)/AA;
double EE=R*R-(*X)*(*X);
*H=sqrt(EE)+h1-R;
if( *X>0 || *X==0 )
{
cout<<"两次打的钎探孔位于管中心一侧，且浅孔到管中心的距离为 X="<<*X;
cout<<"，管中心顶部的埋深为 H="<<*H<<endl;
}
else if( *X<0 )
{
*X=-*X;
cout<<"两次打的钎探孔位于管中心两侧，且浅孔到管中心的距离为 X="<<*X;
cout<<"，管中心顶部的埋深为 H="<<*H<<endl;
}
}
```

## 4　实例与工程应用

此方法在辽阳石化项目中很好地解决了水泥管线的探测，大大提高了工作效率，下面举几个采用程序计算的实例，并在 CAD 图上做了验证(见图 5、表 1)。

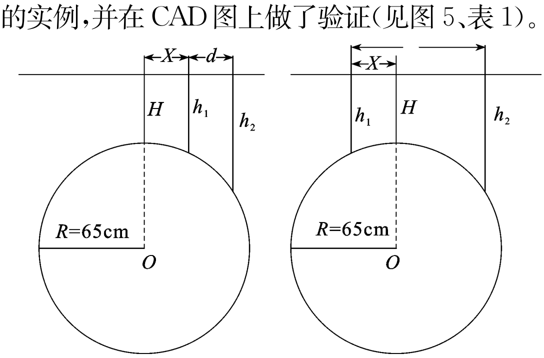


图 5　实例图

(下转第 258 页)

拱淤位置由于吹砂口的砂层下沉，导致此处淤泥隆起，通过静探曲线发现，其土工布及土工格栅层已经抬高甚至出现破裂，出现了淤泥包。但由于发现及时，采取了必要的措施，其表层砂垫层铺设比较均匀，排水板打设情况良好，至真空预压期结束时，虽然沉降尚未达到规范的收敛要求，但土体强度得到了一定程度的提高。如果适当延长抽真空时间，此位置亦能达到或接近设计要求。

## 3 结 语

吹填对真空预压的主要影响因素为吹填时砂垫层铺设不均匀，导致吹填死角形成浮泥区，吹砂口位置出现砂层下沉区及淤泥受挤压后形成的拱淤，浮泥区和拱淤位置将直接影响真空预压的处理效果，而砂层下沉则一定程度上造成了材料浪费。

针对以上问题，可以采取以下处理措施：

1)为避免砂垫层下沉，形成拱淤，现场吹填施工时应做到控制吹填厚度，分层吹填；改进吹填技术，采用分叉消能吹填管发散吹填；根据吹填情况，合理分区跳跃吹填；结合吹填前场地条件，根据情况铺设土工格栅及土工布[4]。

2)为杜绝在吹填死角形成浮泥，吹填前须将吹填料的含泥量控制在规范范围内，必要时需对吹填料进行冲洗，同时在死角位置设置排水口，并定期监测吹填尾水的含泥量。

3)吹填前，应根据场地的使用要求，进行合理的吹填设计及地基处理设计。吹填过程中要加强吹填监测，掌握动态的吹填情况，对吹填场地进行合理分区。如出现拱淤，应会同设计协商，经设计重新验算后，看是否需要单独划出拱淤位置，并适当调整拱淤位置的真空预压周期。

## 参 考 文 献


［1］ 中华人民共和国行业标准. JGJ 79-2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2003.

［2］ 中华人民共和国行业标准. JTS 147-2-2009 真空预压加固软土地基技术规程[S]. 北京：人民交通出版社，2009.

［3］ 《工程地质手册》编委会．工程地质手册（第四版）[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2006：203-216.

［4］ 中华人民共和国行业标准. JTJ 319-99 疏浚工程技术规范[S]. 1999.


收稿日期：2013-05-17

（上接第 237 页）

**表 1 程序计算实例** cm

| $h_1$ | $h_2$ | $X$ | $H$ | 在管中心两侧还是同侧 |
|---|---|---|---|---|
| 51.1 | 85.9 | 19.0 | 48.3 | 同侧 |
| 43.0 | 93.8 | 24.3 | 38.3 | 同侧 |
| 61.3 | 84.1 | 10.1 | 60.5 | 同侧 |
| 82.0 | 99.7 | 4.8 | 81.8 | 同侧 |
| 48.7 | 56.8 | 7.8 | 48.3 | 两侧 |
| 41.6 | 51.8 | 4.8 | 41.4 | 两侧 |
| 71.3 | 76.4 | 12.1 | 70.1 | 两侧 |
| 95.2 | 96.9 | 17.4 | 92.8 | 两侧 |

说明：① $h_1$ 为浅探孔深度；$h_2$ 为深探孔深度；$X$ 为浅探孔到管中心距离；
② 每次都设置两个钻孔点之间的间距为 40 cm，即$d$＝40 cm；
③ $H$ 为管中心顶部埋深

## 5 结 语

通过此方法可以大大提高野外大管径非金属硬质管线探测工作的效率，更准确地找出管线中心位置及管中心位置顶部的埋深；程序只是给出了计算函数，可以根据实际需要做一些改进，批量处理数据，提高工作效率。通过以上处理，大大缩减了野外作业的难度，很好地解决了实际问题。

## 参 考 文 献


［1］ 邓仰岭，韩新芳，等．非金属地下管线探测问题的探讨[J]. 勘察科学技术，2007(2)：62-64.

［2］ 谢富彪，何门贵，杜安东．地下管线探测技术在钻孔定位中的应用[J]. 地质与勘探，2004，40(增刊)：159-161.


收稿日期：2013-06-27