



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107024196 B

(45)授权公告日 2019.03.22

(21)申请号 201710327531.5

(22)申请日 2017.05.11

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107024196 A

(43)申请公布日 2017.08.08

(73)专利权人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

(72)发明人 王一军 杨洋 刘桂波

(74)专利代理机构 长沙市融智专利事务所

43114

代理人 颜勇

(51)Int.Cl.

G01B 21/32(2006.01)

(56)对比文件

CN 104794333 A,2015.07.22,

CN 104988817 A,2015.10.21,

DE 2341926 A1,1975.03.06,

CN 87208597 U,1988.05.04,

CN 102902849 A,2013.01.30,

CN 104731997 A,2015.06.24,

CN 104794255 A,2015.07.22,

JP 2017159879 A,2017.09.14,

CN 103048144 A,2013.04.17,

CN 104540997 A,2015.04.22,

CN 104988817 A,2015.10.21,

CN 106021832 A,2016.10.12,

CN 103132412 A,2013.06.05,

CN 1542406 A,2004.11.03,

CN 101441672 A,2009.05.27,

CN 101059851 A,2007.10.24,

CN 104537141 A,2015.04.22,

DE 102012224125 A1,2013.07.04,

李阳腾龙等.高速铁路轨道检测的横向偏差算法研究.《铁道学报》.2016,第8卷(第8期),

高淑照等.缓和曲线非线性方程的快速解算.《测绘通报》.2006,(第3期),

审查员 张雪松

权利要求书2页 说明书6页 附图2页

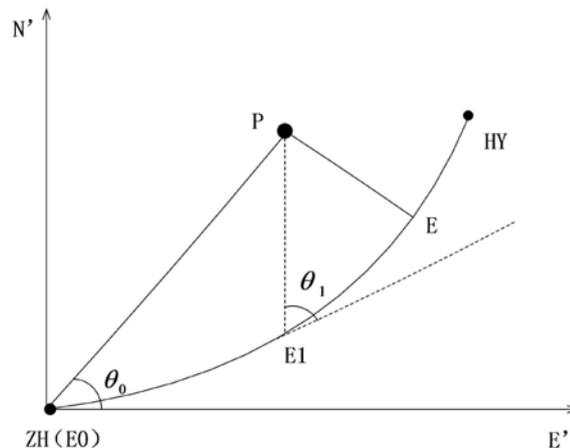
(54)发明名称

一种高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法,包括如下步骤:以铁路缓和曲线设计线直缓点ZH为坐标原点,以ZH点切线为E'轴,以切线法线方向为N'轴,建立局部正向坐标系;对实际铁路缓和曲线段进行检测;设定铁路缓和曲线设计线路直缓点ZH为起算点;计算实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角,并通过比较夹角与预设的精度值进行比较来进行点位搜索。与现有技术相比,本发明线路偏差精度可以根据铁路设计和施工需要进行准确控制;搜索投影点充分结合了铁路线路组成特点以及抛物线特性,计算得到的设计平面坐标和偏差;利用迭代逼近,速度快,无限趋近投影点;解

决了铁路检测维护过程中,缓和曲线上点的设计坐标难以获得的难题。



CN 107024196 B

1. 一种高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 以铁路缓和曲线设计线直缓点ZH为坐标原点,以ZH点切线为E'轴,以切线法线方向为N'轴,建立局部正向坐标系;

(2) 对实际铁路缓和曲线段进行检测;

(3) 设定铁路缓和曲线设计线直缓点ZH为起算点;

(4) 计算实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta$ ;

(5) 若 $\left|\theta - \frac{\pi}{2}\right|$ 小于等于预定设置的精度值,则认为起算点即为实测点在铁路缓和曲线设计线上相对应的点,进入步骤(6),若 $\left|\theta - \frac{\pi}{2}\right|$ 大于预定设置的精度值,则过实测点作起算点切线的法线,与缓和曲线设计线的交点为新的起算点,用上一起算点到过实测点作上一起算点切线的法线的距离来作为里程迭代增量,计算新的起算点的里程、在相对坐标系及全局坐标系下的坐标,返回步骤(4);

(6) 计算实测点与起算点的横向偏差,并通过比较横向偏差是否在允许范围内来指导轨道精调,从而达到对轨道维护的目的;

步骤(5)中新的起算点在相对坐标系及全局坐标系中的坐标计算包括如下步骤:

(1) 首先将新的起算点至该段缓和曲线直缓点ZH的里程差作为这两点间的弧长,然后利用缓和曲线线型特点计算出新的起算点在局部正向坐标系中的坐标 $(x', y')$ 及切线偏转角 $\beta'$ ,计算公式如下:

$$\begin{cases} x' = l_c \\ y' = l_c^3 / 6C \\ \beta' = l_c^2 / 2C \end{cases}$$

其中:C为铁路缓和曲线设计线的参数(常数); $l_c$ 为缓和曲线上任意一点到直缓点的弧长(m);

(2) 根据新的起算点在局部正向坐标系中的坐标 $(x', y')$ ,计算出新的计算点在全局坐标系下的坐标(E,N)计算公式如下:

$$\begin{cases} \gamma = \tan^{-1}(y' / x') \\ N = N_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \cos(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ E = E_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \sin(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ \alpha = \alpha_{ZH} \pm \beta' \end{cases}$$

其中: $\alpha$ 为新的起算点在全局坐标系下的方位角, $\beta'$ 为切线偏转角, $\alpha_{ZH}$ 为直缓点ZH在全局坐标系下的方位角; $(E_{ZH}, N_{ZH})$ 为直缓点ZH在全局坐标系下的坐标,当线路右偏时,式中“ $\pm$ ”取“+”,线路左偏时取“-”。

2. 根据权利要求1所述的高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法,其特征在于:所述精度值为 $10^{-6}$ 。

3. 根据权利要求1或2所述的高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法,其特征在于:当铁路缓和曲线设计线直缓点ZH不是实测点在铁路缓和曲线设计线上相对应的点时,步骤

(4) 中计算实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta$ ,包括如下步骤:

(1) 求实测点与起算点之间的连线在全局坐标系下的方位角;

(2) 根据设计线直缓点ZH的方位角和起算点的切线偏转角 $\beta'$ 求出起算点的方位角;

(3) 根据实测点与起算点的连线的方位角和起算点的方位角 $\alpha$ ,计算出实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta$ 。

4. 根据权利要求1或2所述的高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法,其特征在于:计算新的起算点里程:过实测点作上一起算点切线的法线,则新的起算点的里程为上一起算点的里程加上一起算点到上述法线的距离。

## 一种高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于铁路线路检测和维护领域,尤其涉及一种高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法。

### 背景技术

[0002] 缓和曲线是设置在直线和圆曲线之间、半径不同的同向圆曲线之间的曲率连续变化的曲线。现在很多铁路设计上都用三次抛物线作为缓和曲线,因此三次抛物线是铁路线路的重要组成部分。

[0003] 铁路在日常的运营中,由于轨道在机车车辆的反复压迫和冲击下,将出现横向和垂向的动态变形和永久变形,这样的变形会使轨道存在各种安全隐患,而对轨道几何状态进行检测可以及时发现这种形变,然后进行一系列的养护就可以消除或减小这些安全隐患。

[0004] 三次抛物线作为铁路线路组成中相对较复杂的连续光滑曲线,其特性为曲线上的曲率半径 $r$ 均匀变化,且随曲线长度 $l$ 增加而减小。根据其数学定义,三次抛物线的各点计算公式如下:

$$[0005] \quad \begin{cases} x' = l_c \\ y' = l_c^3 / 6C \\ \beta' = l_c^2 / 2C \end{cases}$$

[0006] 式中: $C$ 为三次抛物线的参数(常数);

[0007]  $l_c$ 为缓和曲线上任意一点的弧长(m);

[0008] 由上式可见,在线路设计过程中,轨道各项几何状态参数均与线路的里程相对应,直接计算困难。

### 发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法,适用于铁路缓和曲线及其横向偏差的计算,方便铁路的检测与维护。

[0010] 为解决上述技术问题,本发明所提供的高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法,包括如下步骤:

[0011] (1) 以铁路缓和曲线设计线直缓点ZH为坐标原点,以ZH点切线为E'轴,以切线法线方向为N'轴,建立局部正向坐标系;

[0012] (2) 对实际铁路缓和曲线段进行检测;

[0013] (3) 设定铁路缓和曲线设计线直缓点ZH为起算点;

[0014] (4) 计算实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta$ ;

[0015] (5) 若 $\left| \theta - \frac{\pi}{2} \right|$ 小于等于预定设置的精度值,则认为起算点即为实测点在铁路缓和曲

线设计线上相对应的点,进入步骤(6),若 $\left|\theta - \frac{\pi}{2}\right|$ 大于预定设置的精度值,则过实测点作起算点切线的法线,与缓和曲线设计线的交点为新的起算点,用上一起算点到过实测点作上一起算点切线的法线的距离来作为里程迭代增量,计算新的起算点的里程和在相对坐标系及全局坐标系下的坐标,返回步骤(4);

[0016] (6) 计算实测点与起算点的横向偏差,并通过比较横向偏差是否在允许范围内来指导轨道精调,从而达到对轨道维护的目的。

[0017] 进一步的,所述精度值为 $10^{-6}$ 。

[0018] 进一步的,步骤(5)中新的起算点在相对坐标系及全局坐标系中的坐标计算包括如下步骤:

[0019] (1) 首先将新的起算点至该段缓和曲线直缓点ZH的里程差作为这两点间的弧长,然后利用缓和曲线线型特点计算出新的起算点在局部正向坐标系中的坐标 $(x', y')$ 及切线偏转角 $\beta'$ ,计算公式如下:

$$[0020] \quad \begin{cases} x' = l_c \\ y' = l_c^3 / 6C \\ \beta' = l_c^2 / 2C \end{cases}$$

[0021] 其中:C为铁路缓和曲线设计线的参数(常数); $l_c$ 为缓和曲线上任意一点到直缓点的弧长(m);

[0022] (2) 根据新的起算点在局部正向坐标系中的坐标 $(x', y')$ ,计算出新的计算点在全局坐标系下的坐标(E,N)计算公式如下:

$$[0023] \quad \begin{cases} \gamma = \tan^{-1}(y' / x') \\ N = N_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \cos(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ E = E_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \sin(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ \alpha = \alpha_{ZH} \pm \beta' \end{cases}$$

[0024] 其中: $\alpha$ 为新的起算点在全局坐标系下的方位角, $\beta'$ 为切线偏转角, $\alpha_{ZH}$ 为直缓点ZH在全局坐标系下的方位角, $(E_{ZH}, N_{ZH})$ 为直缓点ZH在全局坐标系下的坐标,当线路右偏时,式中“ $\pm$ ”取“+”,线路左偏时取“-”。

[0025] 进一步的,当铁路缓和曲线设计线直缓点ZH不是实测点在铁路缓和曲线设计线上相对应的点时,步骤(4)中计算实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta$ ,包括如下步骤:

[0026] (1) 求实测点与起算点之间的连线在全局坐标系下的方位角;

[0027] (2) 根据设计线直缓点ZH的方位角和起算点的切线偏转角 $\beta'$ 求出起算点的方位角;

[0028] (3) 根据实测点与起算点的连线的方位角和起算点的方位角 $\alpha$ ,计算出实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta$ 。

[0029] 进一步的,计算新的起算点里程:过实测点作上一起算点切线的法线,则新的起算点的里程为上一起算点的里程加上一起算点到上述法线的距离。

[0030] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0031] 1、线路横向偏差精度可以根据铁路设计和施工需要进行准确控制;

[0032] 2、搜索投影点充分结合了铁路线路组成特点以及抛物线特性,计算得到测点在设计线路的平面坐标和横向偏差;

[0033] 4、利用迭代逼近,速度快,无限趋近投影点;

[0034] 5、解决了铁路检测维护过程中,缓和曲线上点的设计平面坐标难以获得的难题。

### 附图说明

[0035] 图1为本发明的计算原理示意图;

[0036] 图2为本发明的流程图。

### 具体实施方式

[0037] 下面将结合附图和具体实施方式对本发明作进一步地说明。

[0038] 本发明所提供的高速铁路缓和曲线轨道横向偏差检测方法,包括如下步骤:

[0039] (1)以铁路缓和曲线设计线直缓点ZH为坐标原点,以ZH点切线为E'轴,以切线法线方向为N'轴,建立局部正向坐标系;其中铁路缓曲线设计线长度为 $l_1$ ,缓和曲线的参数为C,直缓点ZH在全局坐标系内的坐标 $(E_{ZH}, N_{ZH})$ ;ZH点的方位角 $\alpha_{ZH}$ 及ZH点的里程 $L_{ZH}$ 均为已知值;

[0040] (2)对实际铁路缓和曲线段进行检测;

[0041] (3)设定铁路缓和曲线设计线直缓点ZH为起算点;

[0042] (4)计算实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta$ ;

[0043] (5)若 $\left|\theta - \frac{\pi}{2}\right| \leq 10^{-6}$ 时,则认为起算点即为实测点在铁路缓和曲线设计线上相对应的

点,进入步骤(6),若 $\left|\theta - \frac{\pi}{2}\right| > 10^{-6}$ 时,则过实测点作起算点切线的法线,与缓和曲线设计线的交

点为新的起算点,用上一起算点到过实测点作上一起算点切线的法线的距离来作为里程迭代增量,过实测点作上一起算点切线的法线,则新的起算点的里程为上一起算点的里程加上一起算点到上述法线的距离,计算新的起算点的里程、在相对坐标系及全局坐标系下的坐标,返回步骤(4);新的起算点在相对坐标系及全局坐标系中的坐标计算包括如下步骤:

[0044] 1、以新的起算点至铁路缓和曲线设计线直缓点ZH的里程增量作为缓和曲线新的起算点与设计线直缓点ZH两点间的缓和曲线弧长计算出新的起算点在局部正向坐标系中的坐标 $(x', y')$ 及切线偏转角 $\beta'$ ,计算公式如下:

$$[0045] \begin{cases} x' = l_c \\ y' = l_c^3 / 6C \\ \beta' = l_c^2 / 2C \end{cases}$$

[0046] 其中:C为铁路缓和曲线设计线的参数(常数); $l_c$ 为缓和曲线上任意一点到直缓点的弧长(m);

[0047] 2、根据新的起算点在局部正向坐标系中的坐标 $(x', y')$ ,计算出新的计算点在全局坐标系下的坐标 $(E, N)$ 计算公式如下:

$$[0048] \quad \begin{cases} \gamma = \tan^{-1}(y' / x') \\ N = N_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \cos(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ E = E_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \sin(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ \alpha = \alpha_{ZH} \pm \beta' \end{cases}$$

[0049] 其中： $\alpha$ 为新的起算点在全局坐标系下的方位角， $\beta'$ 为切线偏转角， $\alpha_{ZH}$ 为直缓点ZH在全局坐标系下的方位角， $(E_{ZH}, N_{ZH})$ 为直缓点ZH在全局坐标系下的坐标，当线路右偏时，式中“ $\pm$ ”取“+”，线路左偏时取“-”；

[0050] 其中：当铁路缓和曲线设计线直缓点ZH不是实测点在铁路缓和曲线设计线上相对应的点时，步骤(4)中计算实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta$ ，包括如下步骤：

[0051] a、求实测点与起算点之间的连线在全局坐标系下的方位角；

[0052] b、根据设计线直缓点ZH的方位角和起算点的切线偏转角 $\beta'$ 求出起算点的方位角 $\alpha$ ；

[0053] c、根据实测点与起算点的连线的方位角和起算点的方位角 $\alpha$ ，计算出实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta$ 。

[0054] (6) 计算实测点与起算点的横向偏差，并通过比较横向偏差是否在允许范围内来指导轨道精调，从而达到对轨道维护的目的。

[0055] 实施例

[0056] 如图1和图2所示以前缓和曲线为例来对本发明作进一步的说明：

[0057] (1) 以铁路缓和曲线设计线直缓点ZH为坐标原点，ZH的法线为N'轴，ZH点切线为E'轴，建立正向平面直角坐标系N'O'E'，其中铁路缓和曲线设计线长度为 $l_1$ ，缓和曲线的参数为C，直缓点ZH在全局坐标系内的坐标为 $(E_{ZH}, N_{ZH})$ ，ZH点的方位角为 $\alpha_{ZH}$ ；

[0058] (2) 对实际铁路缓和曲线段进行检测，实测点P在全局坐标系内的坐标为 $(E_P, N_P)$ ， $\theta_0$ 为ZH-P与ZH-E'之间的夹角，用 $S_{ZH-P}$ 表示ZH-P之间的距离，用 $\alpha_{ZH-P}$ 表示ZH-P之间的方位角，用 $L_{ZH}$ 表示ZH点的里程；

[0059] (3) 设定铁路缓和曲线设计线路直缓点ZH为起算点；

[0060] (4) 计算实测点与起算点的连线与起算点切线之间的夹角 $\theta_0$ ，其中： $\theta_0 = \alpha_{ZH-P} - \alpha_{ZH}$ ；

[0061] (5) 如果 $|\theta_0 - \pi/2| \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon = 10^{-6}$ )，则认为ZH点为所要寻找的E点，进入步骤(23)，反之如果 $|\theta_0 - \pi/2| > \varepsilon$ ，进入步骤(6)；

[0062] (6) 则过实测点作起算点切线的法线，与缓和曲线设计线的交点E1为新的起算点，用ZH点到过实测点作其切线的法线的距离来作为里程迭代增量，求ZH点至E1点的缓曲线长度：

[0063]  $\Delta l_{E1} = S_{ZH-P} \cdot \cos \theta_0$ ；

[0064] (7) 求E1点处里程： $L_{E1} = L_{ZH} + S_{ZH-P} \cdot \cos \theta_0$ ；

[0065] (8) 求E1点在N'O'E'下的坐标E1'(x', y')

$$[0066] \quad \begin{cases} x' = l_c = \Delta l_{E1} \\ y' = l_c^3 / 6C \\ \beta'_c = l_c^2 / 2C \end{cases}$$

[0067] (9) 由步骤(8)求得的E1'(x', y')和 $\beta'_c$ ,求E1点在全局坐标系下的坐标E1(E<sub>E1</sub>, N<sub>E1</sub>)

$$[0068] \quad \begin{cases} \gamma = \tan^{-1}(y' / x') \\ N_{E1} = N_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \cos(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ E_{E1} = E_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \sin(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ \alpha_{E1} = \alpha_{ZH} \pm \beta'_c \end{cases}$$

[0069] (10) 将E1(E<sub>E1</sub>, N<sub>E1</sub>)点作为新的起算点;

[0070] (11) 根据E1、P在全局坐标系下的坐标可得E1-P之间的方位角 $\alpha_{E1-P}$ ;

[0071] (12) 求E1-P与E1点切线之间的夹角 $\theta_1$ :  $\theta_1 = \alpha_{E1-P} - \alpha_{E1}$ ;

[0072] (13) 如果 $|\theta_1 - \pi/2| \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon = 10^{-6}$ ),则认为E1点为所要寻找的E点,进入步骤(23),反之如果 $|\theta_1 - \pi/2| > \varepsilon$ ,那么进入(14),

[0073] (14) 过实测点作起算点E1切线的法线,与缓和曲线设计线的交点E2为新的起算点,用E1点到过实测点作其切线的法线的距离来作为里程迭代增量,用S<sub>E1-P</sub>表示E1-P之间的距离,求E1点至E2点的缓曲线长度:  $\Delta l_{E2} = S_{E1-P} \cdot \cos \theta_1$ ;

[0074] (15) 可求得ZH点至E2点的缓曲线长度:

$$[0075] \quad \Delta l_{E2} = S_{ZH-P} \cdot \cos \theta_0 + S_{E1-P} \cdot \cos \theta_1;$$

[0076] (16) E2点里程为:  $L_{E2} = L_{ZH} + S_{ZH-P} \cdot \cos \theta_0 + S_{E1-P} \cdot \cos \theta_1$ ;

[0077] (17) 求E2点在N'O'E'下的坐标E2'(x', y')

$$[0078] \quad \begin{cases} x' = l_c = \Delta l_{E2} \\ y' = l_c^3 / 6C \\ \beta'_c = l_c^2 / 2C \end{cases}$$

[0079] (18) 由步骤(17)求得的E2'(x', y')和 $\beta'_c$ ,求E2点在全局坐标系下的坐标E2(E<sub>E2</sub>, N<sub>E2</sub>)

$$[0080] \quad \begin{cases} \gamma = \tan^{-1}(y' / x') \\ N_{E2} = N_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \cos(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ E_{E2} = E_{ZH} + \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \cdot \sin(\alpha_{ZH} \pm \gamma) \\ \alpha_{E2} = \alpha_{ZH} \pm \beta'_c \end{cases}$$

[0081] (19) 将E2(E<sub>E2</sub>, N<sub>E2</sub>)作为新的起算点;

[0082] (20) 根据E1、P在全局坐标系下的坐标可得E2-P之间的方位角 $\alpha_{E2-P}$ ;

[0083] (21) 求E2-P与E2点切线之间的夹角 $\theta_2$ :  $\theta_2 = \alpha_{E2-P} - \alpha_{E2}$ ;

[0084] (22) 如果 $|\theta_2 - \pi/2| \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon = 10^{-6}$ ),则认为E2点为所要寻找的E点,进入步骤(23);反

之如果  $|\theta_2 - \pi/2| > \varepsilon$ , 重复以上步骤, 总能找到一点  $E_n$ , 使  $|\theta_n - \pi/2| \leq \varepsilon$ , 此时点  $E_n$  就是所要寻找的  $E$  点, 进入步骤 (23);

[0085] (23) 计算实测点与起算点的横向偏差, 并通过比较横向偏差是否在允许范围内来指导轨道精调, 从而达到对轨道维护的目的; 里程  $L$  和横向偏差  $Offset$  为:

$$[0086] \quad \begin{cases} L = L_{ZH} + S_{ZH-P} * \cos\theta_0 + S_{E_1-P} * \cos\theta_1 + \dots + S_{E_n-P} * \cos\theta_n \\ Offset = \frac{|\theta_n|}{\theta_n} * \sqrt{(N_P - N_{E_n})^2 + (E_P - E_{E_n})^2} \end{cases}$$

[0087] 其中: 用  $L_{ZH}$  表示  $ZH$  点的里程;  $S_{E_i-P}$  表示  $E_i-P$  之间的距离 ( $i = ZH, 1, 2, \dots, n$ );  $\theta_i$  表示起算点的连线与起算点切线之间的夹角 ( $i = 0, 1, \dots, n$ );  $(E_P, N_P)$  表示实测点  $P$  在全局坐标系下的坐标;  $(E_{E_n}, N_{E_n})$  表示实测点  $P$  在设计线路上的投影点坐标;  $L$  表示  $E_n$  点的里程,  $Offset$  表示实测点  $P$  的横向偏差。

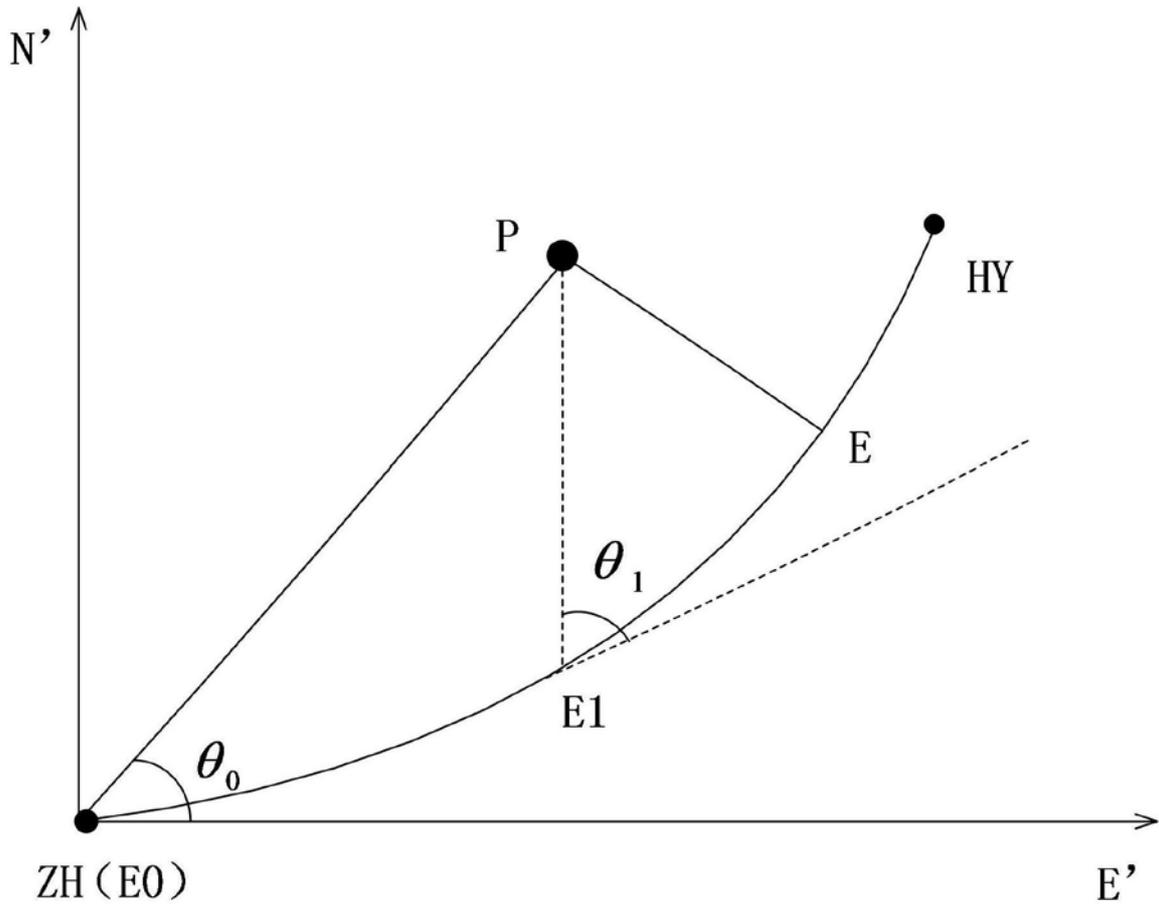


图1

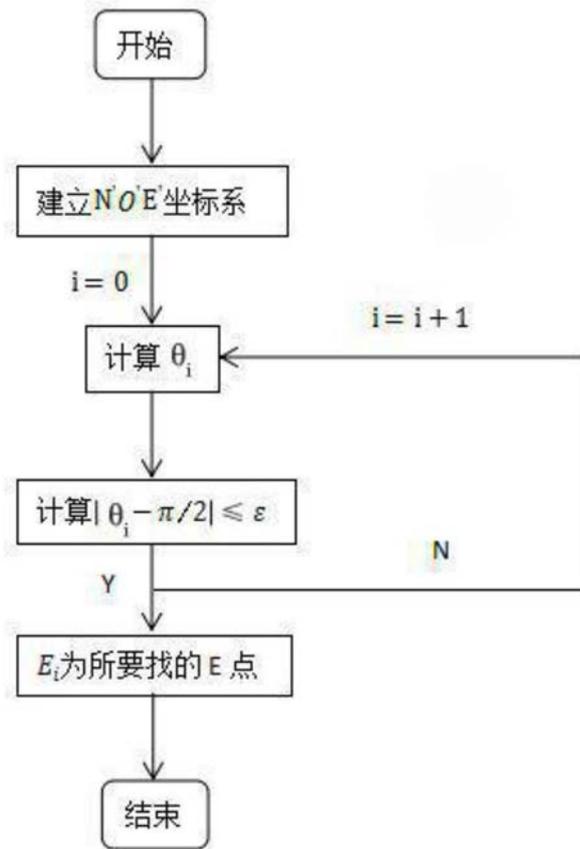


图2