

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102733311 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 17

(21) 申请号 201210222617. 9

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 07. 02

E01D 21/00(2006. 01)

(71) 申请人 中铁大桥局集团武汉桥梁科学研究院有限公司

地址 430034 湖北省武汉市硚口区建设大道103号

申请人 中铁大桥局集团有限公司

(72) 发明人 汪双炎 侍刚 袁建新 伍贤智 牛清勇 梅秀道 赵承新 郑平伟 钟继卫 陈金州 何祖发 江淦 张安户 邱景奎

(74) 专利代理机构 北京捷诚信通专利事务所 (普通合伙) 11221

代理人 魏殿绅 庞炳良

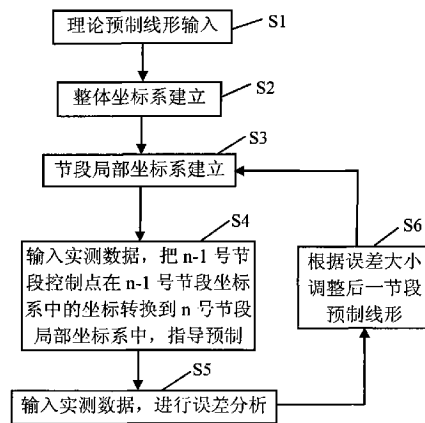
权利要求书 3 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

短线法节段预制施工线形控制的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种短线法节段预制施工线形控制的方法,涉及桥梁施工控制领域,该方法包括以下步骤:根据桥梁设计线形与施工顺序,按切线位移法计算理论预制线形;建立预制线形整体坐标系和各预制节段局部坐标系;采用矩阵计算方法,实现节段控制点在局部坐标系与整体坐标系中的相互转换;采用非线性最小二乘法进行误差处理,修正节段节点在整体坐标系中的坐标;根据误差大小,采用直接调整法或分段调整法调整后续节段线形。本发明采用非线性最小二乘的误差处理方法,计算速度快,且能综合考虑匹配节段的定位误差、控制点坐标测量误差以及模板误差对预制线形的影响,线形控制精度得到显著提高,加快短线法节段施工方法在国内的推广。



1. 一种短线法节段预制施工线形控制的方法,其特征在于包括以下步骤:

S1、根据桥梁设计线形与施工顺序,按切线位移法计算理论预制线形;

S2、建立预制线形整体坐标系;

S3、建立各预制节段局部坐标系;

S4、采用矩阵计算方法,实现节段控制点在局部坐标系与整体坐标系中的相互转换;

S5、输入实测数据,采用非线性最小二乘法进行误差处理,修正节段节点在整体坐标系中的坐标值;

S6、根据误差大小,采用直接调整法或分段调整法,调整后续节段预制线形,然后返回步骤 S3。

2. 如权利要求 1 所述的短线法节段预制施工线形控制的方法,其特征在于:步骤 S2 中采用桥梁设计的大地坐标系为预制线形整体坐标系。

3. 如权利要求 2 所述的短线法节段预制施工线形控制的方法,其特征在于:步骤 S3 中节段局部坐标系建立于节段预制时固定端模侧的节段顶板中心处,假设 M_i 、 R_i 为第 i 条接缝上的点, i 为大于 1 的整数, M_i 处于中线上, R_i 为右端点,则 M_i 、 R_i 在预制线形整体坐标系下的坐标值为 $(X_{M_i}, Y_{M_i}, Z_{M_i})$ 、 $(X_{R_i}, Y_{R_i}, Z_{R_i})$,在整体坐标系中,第 i 节段局部坐标系 x 轴的坐标向量为 $x_i = (X_{M_{i-1}} - X_{M_i}, Y_{M_{i-1}} - Y_{M_i}, Z_{M_{i-1}} - Z_{M_i})^T$, y 轴的坐标向量为 $y_i = (X_{R_i} - X_{M_i}, Y_{R_i} - Y_{M_i}, Z_{R_i} - Z_{M_i})^T$, z 轴的坐标向量为 $z_i = y_i \times x_i$ 。

4. 如权利要求 3 所述的短线法节段预制施工线形控制的方法,其特征在于:步骤 S4 中包括以下步骤:布置节段控制点,输入实测数据,把 $n-1$ 号节段控制点在 $n-1$ 号节段局部坐标系中的坐标转换到 n 号节段局部坐标系中,以指导预制, n 为大于 1 的整数。

5. 如权利要求 4 所述的短线法节段预制施工线形控制的方法,其特征在于:所述布置节段控制点的过程如下:匹配节段靠近目标塔,匹配节段与待浇节段的一端相连,待浇节段的另一端与固定端模相连,固定端模靠近测量控制塔;在匹配节段中,沿匹配节段中心线布置两个测点 FH1 和 BH1,沿匹配节段腹板布置四个测点,四个测点分别为靠近匹配节段腹板一侧的 FL1 和 BL1、以及靠近匹配节段腹板另一侧的 FR1 和 BR1;在待浇节段中,沿待浇节段中心线布置两个测点 FH2 和 BH2,沿待浇节段腹板布置四个测点,四个测点分别为靠近待浇节段腹板一侧的 FL2 和 BL2、以及靠近待浇节段腹板另一侧的 FR2 和 BR2。

6. 如权利要求 5 所述的短线法节段预制施工线形控制的方法,其特征在于:所述节段控制点在局部坐标系与整体坐标系中相互转换的实现过程如下:一个坐标系通过 3 次转动与 3 次平动转换到另一个坐标系,转动矩阵为:

$$R = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix},$$

其中: l_1 、 m_1 、 n_1 为 x 轴的方向余弦; l_2 、 m_2 、 n_2 为 y 轴的方向余弦; l_3 、 m_3 、 n_3 为 z 轴的方向余弦;

3 个坐标轴的方向余弦为:

$$(l_1 \quad m_1 \quad n_1)^T = \frac{\mathbf{x}_i}{|\mathbf{x}_i|}; (l_2 \quad m_2 \quad n_2)^T = \frac{\mathbf{y}_i}{|\mathbf{y}_i|}; (l_3 \quad m_3 \quad n_3)^T = \frac{\mathbf{z}_i}{|\mathbf{z}_i|};$$

节段控制点按照下式从局部坐标系中的坐标 (x, y, z) 变换到整体坐标系下的坐标 $(X,$

Y, Z) :

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix},$$

其中, (X_0, Y_0, Z_0) 为局部坐标系原点在整体坐标系中的坐标值 ;

节段控制点按照下式从整体坐标系中的坐标 (X, Y, Z) 变换到局部坐标系中的坐标 (x, y, z) :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix}.$$

7. 如权利要求 5 所述的短线法节段预制施工线形控制的方法, 其特征在于 : 所述节段控制点在局部坐标系与整体坐标系中相互转换的实现过程如下 : 一个坐标系通过 3 次转动与 3 次平动转换到另一个坐标系, 转动矩阵为 :

$$R = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix},$$

其中 : l_1, m_1, n_1 为 x 轴的方向余弦 ; l_2, m_2, n_2 为 y 轴的方向余弦 ; l_3, m_3, n_3 为 z 轴的方向余弦 ;

3 个坐标轴的方向余弦表示为 :

$$l_1 = \cos \beta \cos r, l_2 = \cos \alpha \sin r + \sin \alpha \sin \beta \cos r, l_3 = \sin \alpha \sin r - \cos \alpha \sin \beta \cos r, \\ m_1 = -\cos \beta \sin r, m_2 = \cos \alpha \cos r - \sin \alpha \sin \beta \sin r, m_3 = \sin \alpha \cos r + \cos \alpha \sin \beta \sin r, n_1 = \sin r, n_2 = -\sin \alpha \cos \beta, n_3 = \cos \alpha \cos \beta,$$

其中 : α, β, r 为绕 X、Y、Z 轴的转动角度 ;

节段控制点按照下式从局部坐标系中的坐标 (x, y, z) 变换到整体坐标系下的坐标 (X, Y, Z) :

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix},$$

其中, (X_0, Y_0, Z_0) 为局部坐标系原点在整体坐标系中的坐标值 ;

节段控制点按照下式从整体坐标系中的坐标 (X, Y, Z) 变换到局部坐标系中的坐标 (x, y, z) :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix}.$$

8. 如权利要求 6 或 7 所述的短线法节段预制施工线形控制的方法, 其特征在于 : 步骤 S5 中包括以下步骤 : 假设 i# 节段预制过程中, 其匹配节段 i-1# 相对于初始定位位置发生一偏移角 θ , 拼装时先拼装 i-1# 节段, 再拼装 i# 节段, 视为 i-1# 没有转动, i# 节段转动了 $-\theta$, i# 节段的 i 节点移至 i' 位置, i# 节段 i' 端在整体坐标系中的坐标值求解过程如

下：

i-1# 匹配节段 6 个控制点在整体坐标系中的坐标值分别为 $(X_{BL(i-1)}, Y_{BL(i-1)}, Z_{BL(i-1)})$, $(X_{BH(i-1)}, Y_{BH(i-1)}, Z_{BH(i-1)})$, $(X_{BR(i-1)}, Y_{BR(i-1)}, Z_{BR(i-1)})$, $(X_{FL(i-1)}, Y_{FL(i-1)}, Z_{FL(i-1)})$, $(X_{FH(i-1)}, Y_{FH(i-1)}, Z_{FH(i-1)})$, $(X_{FR(i-1)}, Y_{FR(i-1)}, Z_{FR(i-1)})$, 测量其在自己局部坐标系中的坐标, 再通过坐标变换得到；

匹配节段 6 个控制点在待浇节段局部坐标中的坐标值分别为 $(x_{BL1(i-1)}, y_{BL1(i-1)}, z_{BL1(i-1)})$, $(x_{BH1(i-1)}, y_{BH1(i-1)}, z_{BH1(i-1)})$, $(x_{BR1(i-1)}, y_{BR1(i-1)}, z_{BR1(i-1)})$, $(x_{FL1(i-1)}, y_{FL1(i-1)}, z_{FL1(i-1)})$, $(x_{FH1(i-1)}, y_{FH1(i-1)}, z_{FH1(i-1)})$, $(x_{FR1(i-1)}, y_{FR1(i-1)}, z_{FR1(i-1)})$,

均通过测量得到, 转换到整体坐标中可得：

$$\begin{pmatrix} X_{n(i-1)} \\ Y_{n(i-1)} \\ Z_{n(i-1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_{i1} & l_{i2} & l_{i3} \\ m_{i1} & m_{i2} & m_{i3} \\ n_{i1} & n_{i2} & n_{i3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{n1(i-1)} \\ y_{n1(i-1)} \\ z_{n1(i-1)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{i0} \\ Y_{i0} \\ Z_{i0} \end{pmatrix} \quad (n=BL、BH、BR、\dots、FR),$$

上式中共有 18 个方程式, 6 个未知数 : 3 个转动角与 3 平移坐标, 采用非线性最小二乘法计算, 得到一组 i# 节段 i' 节点在整体坐标系中的坐标值。

9. 如权利要求 8 所述的短线法节段预制施工线形控制的方法, 其特征在于 : 步骤 S6 中如果误差小于 5mm, 则采用直接调整法, 直接调整后一节段的线形, 以消除前面节段的预制误差。

10. 如权利要求 8 所述的短线法节段预制施工线形控制的方法, 其特征在于 : 步骤 S6 中如果误差大于 5mm, 则采用分段调整法, 通过修改后续多个节段的线形, 以消除前面节段的预制误差。

短线法节段预制施工线形控制的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及桥梁施工控制领域,特别是涉及一种短线法节段预制施工线形控制的方法。

背景技术

[0002] 目前国内越来越多的预应力混凝土桥梁采用节段预制拼装施工法,此种施工方法的核心在于节段的预制。节段预制的方法有长线法与短线法之分。长线法节段预制在国内已有十多年的历史,施工工艺相对成熟,而短线法节段预制由于其施工工艺复杂、测量精度要求高、线形控制复杂,国内较少采用。

[0003] 短线法节段预制施工周期短,占用场地少,流水化作业,节段制作质量高,经济性好,因此短线法在国外节段预制拼装桥梁中得到广泛的应用。国内工程却尽量避免采用短线法预制方法,因为国内在采用短线法节段预制的实际工程中缺乏有效控制方法,桥梁线形控制精度不能满足要求,限制了短线法节段预制施工方法的发展,严重影响了我国桥梁工程建设的进度。

[0004] 2006年8月30日中华人民共和国建设部发布了《预应力混凝土桥梁预制节段逐跨拼装施工技术规程》(CJJ/T 111-2006),并于2007年2月1日实施,说明了对国内预应力混凝土桥梁预制拼装施工的需要。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了克服上述背景技术的不足,提供一种短线法节段预制施工线形控制的方法,其采用非线性最小二乘的误差处理方法,不仅计算速度快,而且能综合考虑匹配节段的定位误差、控制点坐标测量误差以及模板误差对预制线形的影响,相对于现在基于简单几何关系的误差处理方法,线形控制精度得到显著提高,加快短线法节段施工方法在国内的推广。

[0006] 本发明提供的短线法节段预制施工线形控制的方法,包括以下步骤:S1、根据桥梁设计线形与施工顺序,按切线位移法计算理论预制线形;S2、建立预制线形整体坐标系;S3、建立各预制节段局部坐标系;S4、采用矩阵法计算坐标值,实现节段控制点在局部坐标系与整体坐标系中的相互转换;S5、输入实测数据,采用非线性最小二乘法进行误差处理,修正节段节点在整体坐标系中的坐标;S6、根据误差大小,采用直接调整法或分段调整法,通过调整节段节点在整体坐标系中的坐标值,来调整后续节段线形,然后返回步骤S3。

[0007] 在上述技术方案中,步骤S2中采用桥梁设计的大地坐标系为预制线形整体坐标系。

[0008] 在上述技术方案中,步骤S3中节段局部坐标系建立于节段预制时固定端模侧的节段顶板中心处,假设 M_i 、 R_i 为第 i 条接缝上的点, i 为大于1的整数, M_i 处于中线上, R_i 为右端点,则 M_i 、 R_i 在预制线形整体坐标系下的坐标值为 $(X_{M_i}, Y_{M_i}, Z_{M_i})$ 、 $(X_{R_i}, Y_{R_i}, Z_{R_i})$,在整体坐标系中,第 i 节段局部坐标系 x 轴的坐标向量为 $x_i = (X_{M_{i-1}} - X_{M_i}, Y_{M_{i-1}} - Y_{M_i}, Z_{M_{i-1}} - Z_{M_i})^T$, y 轴的坐标向量为 $y_i = (X_{R_i} - X_{M_i}, Y_{R_i} - Y_{M_i}, Z_{R_i} - Z_{M_i})^T$, z 轴的坐标向量为 $z_i = y_i \times x_i$ 。

[0009] 在上述技术方案中,步骤 S4 中包括以下步骤:布置节段控制点,输入实测数据,把 n-1 号节段控制点在 n-1 号节段局部坐标系中的坐标转换到 n 号节段局部坐标系中,以指导预制, n 为大于 1 的整数。

[0010] 在上述技术方案中,所述布置节段控制点的过程如下:匹配节段靠近目标塔,匹配节段与待浇节段的一端相连,待浇节段的另一端与固定端模相连,固定端模靠近测量控制塔;在匹配节段中,沿匹配节段中心线布置两个测点 FH1 和 BH1,沿匹配节段腹板布置四个测点,四个测点分别为靠近匹配节段腹板一侧的 FL1 和 BL1、以及靠近匹配节段腹板另一侧的 FR1 和 BR1;在待浇节段中,沿待浇节段中心线布置两个测点 FH2 和 BH2,沿待浇节段腹板布置四个测点,四个测点分别为靠近待浇节段腹板一侧的 FL2 和 BL2、以及靠近待浇节段腹板另一侧的 FR2 和 BR2。

[0011] 在上述技术方案中,所述节段控制点在局部坐标系与整体坐标系中相互转换的实现过程如下:一个坐标系通过 3 次转动与 3 次平动转换到另一个坐标系,转动矩阵为:

$$[0012] \quad R = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix},$$

[0013] 其中: l_1 、 m_1 、 n_1 为 x 轴的方向余弦; l_2 、 m_2 、 n_2 为 y 轴的方向余弦; l_3 、 m_3 、 n_3 为 z 轴的方向余弦;

[0014] 3 个坐标轴的方向余弦为:

$$[0015] \quad (l_1 \quad m_1 \quad n_1)^T = \frac{\mathbf{x}_i}{|\mathbf{x}_i|}; (l_2 \quad m_2 \quad n_2)^T = \frac{\mathbf{y}_i}{|\mathbf{y}_i|}; (l_3 \quad m_3 \quad n_3)^T = \frac{\mathbf{z}_i}{|\mathbf{z}_i|};$$

[0016] 节段控制点按照下式从局部坐标系中的坐标 (x, y, z) 变换到整体坐标系下的坐标 (X, Y, Z):

$$[0017] \quad \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix},$$

[0018] 其中, (X_0, Y_0, Z_0) 为局部坐标系原点在整体坐标系中的坐标值;节段控制点按照下式从整体坐标系中的坐标 (X, Y, Z) 变换到局部坐标系中的坐标 (x, y, z):

$$[0019] \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix}.$$

[0020] 在上述技术方案中,所述节段控制点在局部坐标系与整体坐标系中相互转换的实现过程如下:一个坐标系通过 3 次转动与 3 次平动转换到另一个坐标系,转动矩阵为:

$$[0021] \quad R = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix},$$

[0022] 其中: l_1 、 m_1 、 n_1 为 x 轴的方向余弦; l_2 、 m_2 、 n_2 为 y 轴的方向余弦; l_3 、 m_3 、 n_3 为 z 轴的方向余弦;

[0023] 3 个坐标轴的方向余弦表示为:

[0024] $l_1 = \cos \beta \cos r$, $l_2 = \cos \alpha \sin r + \sin \alpha \sin \beta \cos r$, $l_3 = \sin \alpha \sin r - \cos \alpha \sin \beta \cos r$, $m_1 = -\cos \beta \sin r$, $m_2 = \cos \alpha \cos r - \sin \alpha \sin \beta \sin r$, $m_3 = \sin \alpha \cos r + \cos \alpha \sin \beta \sin r$, $n_1 = \sin r$, $n_2 = -\sin \alpha \cos \beta$, $n_3 = \cos \alpha \cos \beta$,

[0025] 其中： α 、 β 、 r 为绕 X、Y、Z 轴的转动角度；

[0026] 节段控制点按照下式从局部坐标系中的坐标 (x, y, z) 变换到整体坐标系下的坐标 (X, Y, Z) ：

$$[0027] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix},$$

[0028] 其中， (X_0, Y_0, Z_0) 为局部坐标系原点在整体坐标系中的坐标值；

[0029] 节段控制点按照下式从整体坐标系中的坐标 (X, Y, Z) 变换到局部坐标系中的坐标 (x, y, z) ：

$$[0030] \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix}.$$

[0031] 在上述技术方案中，步骤 S5 中包括以下步骤：假设 $i\#$ 节段预制过程中，其匹配节段 $i-1\#$ 相对于初始定位位置发生一偏移角 θ ，拼装时先拼装 $i-1\#$ 节段，再拼装 $i\#$ 节段，视为 $i-1\#$ 没有转动， $i\#$ 节段转动了 $-\theta$ ， $i\#$ 节段的 i 节点移至 i' 位置， $i\#$ 节段 i' 端在整体坐标系中的坐标值求解过程如下：

[0032] $i-1\#$ 匹配节段 6 个控制点在整体坐标系中的坐标值分别为 $(X_{BL(i-1)}, Y_{BL(i-1)}, Z_{BL(i-1)})$, $(X_{BH(i-1)}, Y_{BH(i-1)}, Z_{BH(i-1)})$, $(X_{BR(i-1)}, Y_{BR(i-1)}, Z_{BR(i-1)})$, $(X_{FL(i-1)}, Y_{FL(i-1)}, Z_{FL(i-1)})$, $(X_{FH(i-1)}, Y_{FH(i-1)}, Z_{FH(i-1)})$, $(X_{FR(i-1)}, Y_{FR(i-1)}, Z_{FR(i-1)})$ ，测量其在自己局部坐标系中的坐标，再通过坐标变换得到；

[0033] 匹配节段 6 个控制点在待浇节段局部坐标中的坐标值分别为 $(X_{BL1(i-1)}, Y_{BL1(i-1)}, Z_{BL1(i-1)})$, $(X_{BH1(i-1)}, Y_{BH1(i-1)}, Z_{BH1(i-1)})$, $(X_{BR1(i-1)}, Y_{BR1(i-1)}, Z_{BR1(i-1)})$, $(X_{FL1(i-1)}, Y_{FL1(i-1)}, Z_{FL1(i-1)})$, $(X_{FH1(i-1)}, Y_{FH1(i-1)}, Z_{FH1(i-1)})$, $(X_{FR1(i-1)}, Y_{FR1(i-1)}, Z_{FR1(i-1)})$ ，均通过测量得到，转换到整体坐标中可得：

$$[0034] \begin{pmatrix} X_{n(i-1)} \\ Y_{n(i-1)} \\ Z_{n(i-1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_{i1} & l_{i2} & l_{i3} \\ m_{i1} & m_{i2} & m_{i3} \\ n_{i1} & n_{i2} & n_{i3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{n(i-1)} \\ y_{n(i-1)} \\ z_{n(i-1)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{i0} \\ Y_{i0} \\ Z_{i0} \end{pmatrix} \quad (n=BL、BH、BR、\dots、FR),$$

[0035] 上式中 18 个方程式，6 个未知数：3 个转动角与 3 个平移坐标，采用非线性最小二乘法计算，得到一组 $i\#$ 节段 i' 节点在整体坐标系中的坐标值。

[0036] 在上述技术方案中，步骤 S6 中如果误差小于 5mm，则采用直接调整法，直接调整后一节段的线形，以消除前面节段的预制误差。

[0037] 在上述技术方案中，步骤 S6 中如果误差大于 5mm，则采用分段调整法，通过修改后续多个节段的线形，以消除前面节段的预制误差。

[0038] 与现有技术相比，本发明的优点如下：

[0039] 本发明采用非线性最小二乘的误差处理方法，不仅计算速度快，而且能综合考虑

匹配节段的定位误差、控制点坐标测量误差以及模板误差对预制线形的影响,相对于现在基于简单几何关系的误差处理方法,线形控制精度得到显著提高,加快短线法节段施工方法在国内的推广。

附图说明

- [0040] 图 1 是本发明实施例的方法流程图。
 [0041] 图 2 是本发明实施例中建立节段局部坐标系的示意图。
 [0042] 图 3 是本发明实施例中节段控制点的布置示意图。
 [0043] 图 4 是本发明实施例中节段误差分析的示意图之一。
 [0044] 图 5 是本发明实施例中节段误差分析的示意图之二。
 [0045] 图 6 是本发明实施例中直接调整节段误差的示意图。
 [0046] 图 7 是本发明实施例中分段调整节段误差的示意图。

具体实施方式

[0047] 下面结合附图及具体实施例对本发明作进一步的详细描述。

[0048] 参见图 1 所示,本发明实施例提供一种短线法节段预制施工线形控制的方法,包括下列步骤:

[0049] S1、根据桥梁设计线形与施工顺序,按切线位移法计算理论预制线形。

[0050] S2、建立预制线形整体坐标系,可以直接采用桥梁设计的大地坐标系为预制线形整体坐标系。

[0051] S3、建立各预制节段局部坐标系。节段局部坐标系建立于节段预制时固定端模侧的节段顶板中心处。参见图 2 所示,假设 M_i 、 R_i 为第 i 条接缝上的点, i 为大于 1 的整数, M_i 处于中线上, R_i 为右端点,则 M_i 、 R_i 在预制线形整体坐标系下的坐标值为 $(X_{M_i}, Y_{M_i}, Z_{M_i})$ 、 $(X_{R_i}, Y_{R_i}, Z_{R_i})$ 。在整体坐标系中,第 i 节段局部坐标系 x 轴的坐标向量为 $x_i = (X_{M_{i-1}} - X_{M_i}, Y_{M_{i-1}} - Y_{M_i}, Z_{M_{i-1}} - Z_{M_i})^T$, y 轴的坐标向量为 $y_i = (X_{R_i} - X_{M_i}, Y_{R_i} - Y_{M_i}, Z_{R_i} - Z_{M_i})^T$, z 轴的坐标向量为 $z_i = y_i \times x_i$ 。

[0052] S4、布置节段控制点,采用矩阵法计算坐标值,实现节段控制点在局部坐标系与整体坐标系中的相互转换。输入实测数据,把 $n-1$ 号节段控制点在 $n-1$ 号节段坐标系中的坐标转换到 n 号节段局部坐标系中,以指导预制, n 为大于 1 的整数。

[0053] 短线法节段预制线形控制是通过匹配节段的定位来控制,匹配节段的定位主要通过 6 个控制点来实现,测点布置参见图 3 所示,匹配节段靠近目标塔,匹配节段与待浇节段的一端相连,待浇节段的另一端与固定端模相连,固定端模靠近测量控制塔。在匹配节段中,沿匹配节段中心线布置两个测点 FH1 和 BH1,沿匹配节段腹板布置四个测点,四个测点分别为靠近匹配节段腹板一侧的 FL1 和 BL1、以及靠近匹配节段腹板另一侧的 FR1 和 BR1。同样的,在待浇节段中,沿待浇节段中心线布置两个测点 FH2 和 BH2,沿待浇节段腹板布置四个测点,四个测点分别为靠近待浇节段腹板一侧的 FL2 和 BL2、以及靠近待浇节段腹板另一侧的 FR2 和 BR2。所有控制测点在新浇筑节段混凝土凝固前安放在节段顶板上。这些预埋件必须尽量设置在规定的位 置,但是并不要求位置绝对正确,因为它们只是相对位置的参考。

[0054] 节段控制点在局部坐标系与整体坐标系中相互转换。一个坐标系可以通过 3 次转

动与 3 次平动转换到另一个坐标系,转动矩阵为:

$$[0055] \quad R = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix}$$

[0056] 其中: l_1, m_1, n_1 为 x 轴的方向余弦; l_2, m_2, n_2 为 y 轴的方向余弦; l_3, m_3, n_3 为 z 轴的方向余弦。

[0057] 3 个坐标轴的方向余弦为:

$$[0058] \quad (l_1 \ m_1 \ n_1)^T = \frac{\mathbf{x}_i}{|\mathbf{x}_i|}; (l_2 \ m_2 \ n_2)^T = \frac{\mathbf{y}_i}{|\mathbf{y}_i|}; (l_3 \ m_3 \ n_3)^T = \frac{\mathbf{z}_i}{|\mathbf{z}_i|};$$

[0059] 3 个坐标轴的方向余弦也可以表示为:

$$[0060] \quad l_1 = \cos \beta \cos r, \quad l_2 = \cos \alpha \sin r + \sin \alpha \sin \beta \cos r, \quad l_3 = \sin \alpha \sin r - \cos \alpha \sin \beta \cos r, \\ m_1 = -\cos \beta \sin r, \quad m_2 = \cos \alpha \cos r - \sin \alpha \sin \beta \sin r, \quad m_3 = \sin \alpha \cos r + \cos \alpha \sin \beta \sin r, \\ n_1 = \sin r, \quad n_2 = -\sin \alpha \cos \beta, \quad n_3 = \cos \alpha \cos \beta,$$

[0061] 其中: α, β, r 为绕 X、Y、Z 轴的转动角度。

[0062] 节段控制点按照下式从局部坐标系中的坐标 (x, y, z) 变换到整体坐标系下的坐标 (X, Y, Z) :

$$[0063] \quad \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix},$$

[0064] 其中, (X_0, Y_0, Z_0) 为局部坐标系原点在整体坐标系中的坐标值;

[0065] 节段控制点按照下式从整体坐标系中的坐标 (X, Y, Z) 变换到局部坐标系中的坐标 (x, y, z) :

$$[0066] \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix}.$$

[0067] S5、输入实测数据,采用非线性最小二乘法进行误差处理,修正节段节点在整体坐标系中的坐标。短线法节段预制施工前一节段的预制误差,必须通过对后一节段的调整,才能保证误差不会累积,最后的预制线形与理论预制线形接近。假设 $i\#$ 节段预制过程中,其匹配节段 $i-1\#$ 相对于初始定位位置发生一偏移角 θ ,参见图 4 所示,图中的 $i, i-1, i-2, i+1$ 分别表示 i 号节点、 $i-1$ 号节点、 $i-2$ 号节点、 $i+1$ 号节点, $i\#, i-1\#, i+1\#$ 分别表示 i 号节段、 $i-1$ 号节段、 $i+1$ 号节段。但拼装时,是先拼装 $i-1\#$ 节段,再拼装 $i\#$ 节段,因此 $i-1\#$ 可看作没有转动,而是 $i\#$ 节段转动了 $-\theta$, $i\#$ 节段的 i 节点移至 i' 位置,参见图 5 所示。

[0068] 下面详细说明 $i\#$ 节段 i' 端在整体坐标系中的坐标值求解方法。

[0069] 预制线形是一条静止不动的曲线,节段一旦预制完,预制线形在整体坐标系下的位置就已固定, $i-1\#$ 匹配节段 6 个控制点在整体坐标系中的坐标值分别为 $(X_{BL(i-1)}, Y_{BL(i-1)}, Z_{BL(i-1)})$, $(X_{BH(i-1)}, Y_{BH(i-1)}, Z_{BH(i-1)})$, $(X_{BR(i-1)}, Y_{BR(i-1)}, Z_{BR(i-1)})$, $(X_{FL(i-1)}, Y_{FL(i-1)}, Z_{FL(i-1)})$, $(X_{FH(i-1)}, Y_{FH(i-1)}, Z_{FH(i-1)})$, $(X_{FR(i-1)}, Y_{FR(i-1)}, Z_{FR(i-1)})$, 可测量其在自己局部坐标系中的坐标,再通过坐标变换得到。

[0070] 匹配节段 6 个控制点在待浇节段局部坐标中的坐标值分别为 $(x_{BL1(i-1)}, y_{BL1(i-1)}, z_{BL1(i-1)})$, $(x_{BH1(i-1)}, y_{BH1(i-1)}, z_{BH1(i-1)})$, $(x_{BR1(i-1)}, y_{BR1(i-1)}, z_{BR1(i-1)})$, $(x_{FL1(i-1)}, y_{FL1(i-1)}, z_{FL1(i-1)})$, $(x_{FH1(i-1)}, y_{FH1(i-1)}, z_{FH1(i-1)})$, $(x_{FR1(i-1)}, y_{FR1(i-1)}, z_{FR1(i-1)})$, 均可通过测量得到, 转换到整体坐标中可得:

$$[0071] \quad \begin{pmatrix} X_{n(i-1)} \\ Y_{n(i-1)} \\ Z_{n(i-1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_{i1} & l_{i2} & l_{i3} \\ m_{i1} & m_{i2} & m_{i3} \\ n_{i1} & n_{i2} & n_{i3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{n1(i-1)} \\ y_{n1(i-1)} \\ z_{n1(i-1)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{i0} \\ Y_{i0} \\ Z_{i0} \end{pmatrix} \quad (n=BL、BH、BR、\dots、FR)$$

[0072] 上式中共有 18 个方程式, 6 个未知数 (3 个转动角与 3 个平移坐标), 采用非线性最小二乘法计算, 可得到一组 $i\#$ 节段 i' 节点在整体坐标系中的坐标值。

[0073] S6、根据误差大小, 采用直接调整法或分段调整法, 通过调整 n 节段节点在整体坐标系中的坐标值, 来调整后续节段线形, 然后返回步骤 S3。采用非线性最小二乘法进行误差处理结合直接调整法或分段调整法是本短线法节段预制施工线形控制的方法的精髓所在。

[0074] 根据步骤 S5 的分析, 可以确定 $i\#$ 节段 i 节点修正后在整体坐标系中的坐标值, 为了使实际预制线形与理论预制线形相接, 必须修改后续节段的线形。如果误差较小, 例如小于 5mm, 则采用直接调整法, 直接调整后一节段的线形, 就可以把前面节段的预制误差消除, 参见图 6 所示, 图中实线为理论预制线形, 虚线为修正后的预制线形; 但误差较大时, 例如大于 5mm, 若只调整其紧后节段的线形, 会产生较大的折角, 使线形不够平顺, 影响后期使用与美观, 因此, 必须采用分段调整法, 通过修改后续多个节段的线形才能最终消除误差的影响, 参见图 7 所示, 图中实线为理论预制线形, 虚线为修正后的预制线形。

[0075] 显然, 本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围, 倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内, 则本发明包含这些改动和变型在内。本说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员公知的现有技术。

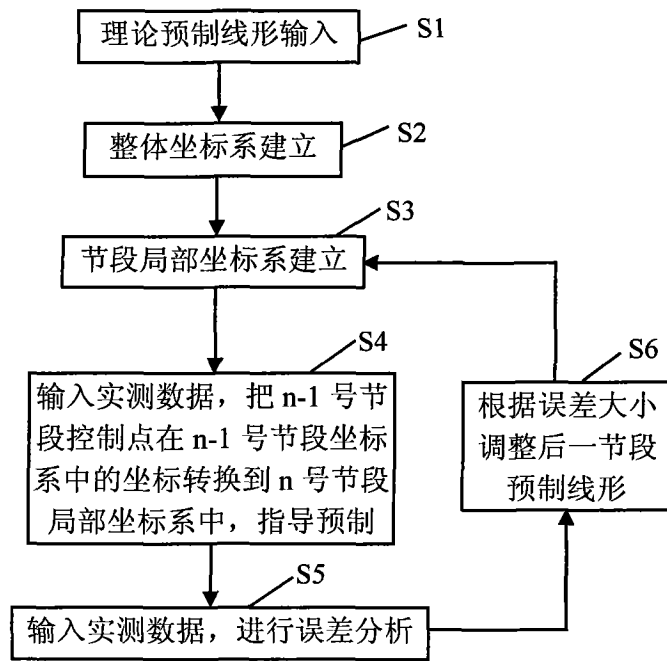


图 1

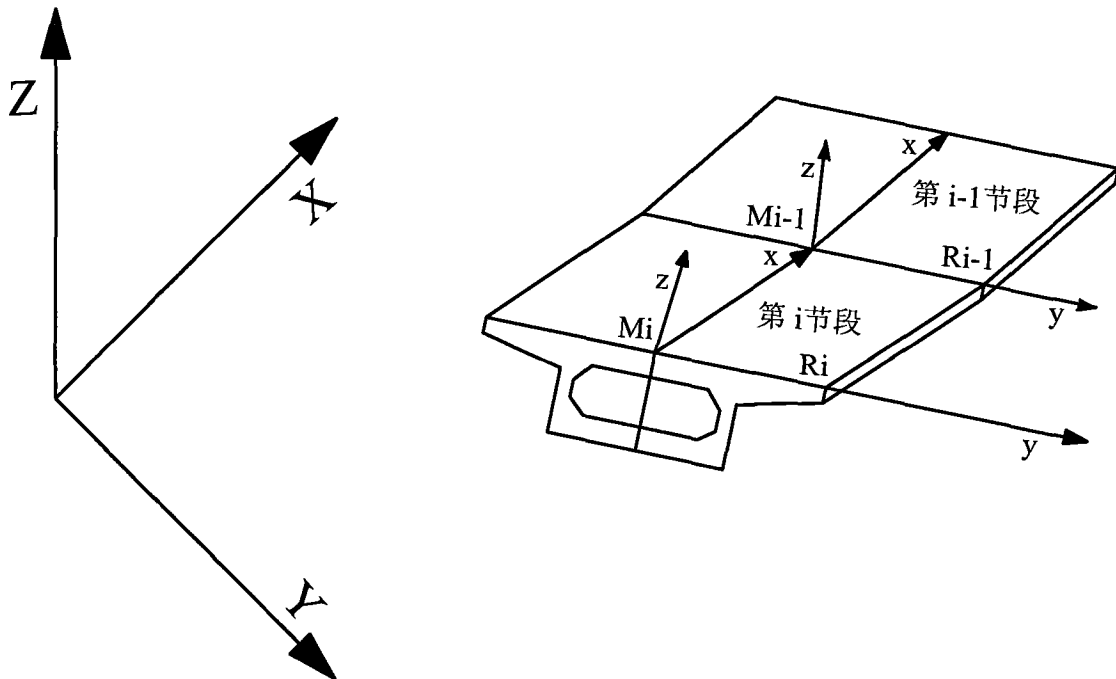


图 2

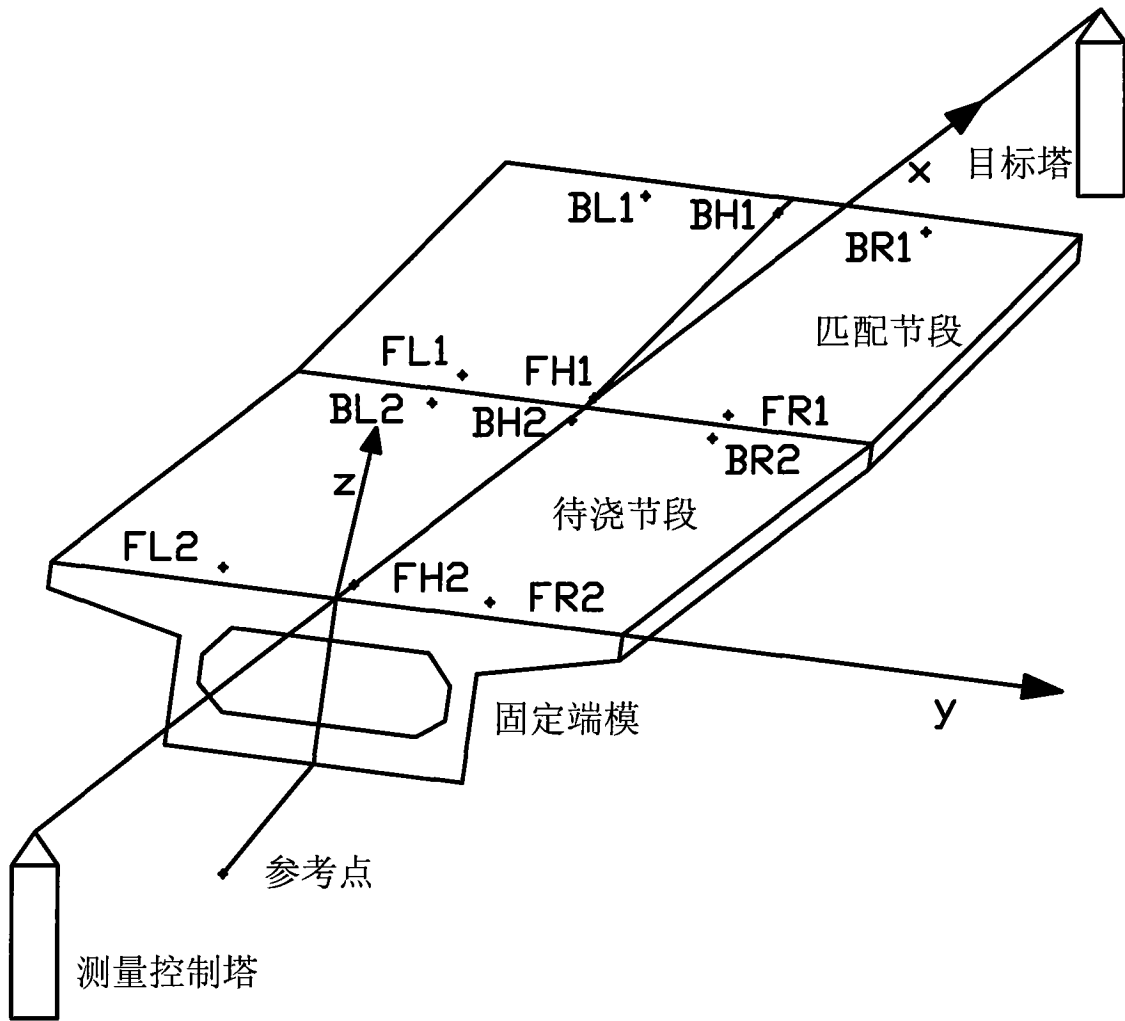


图 3

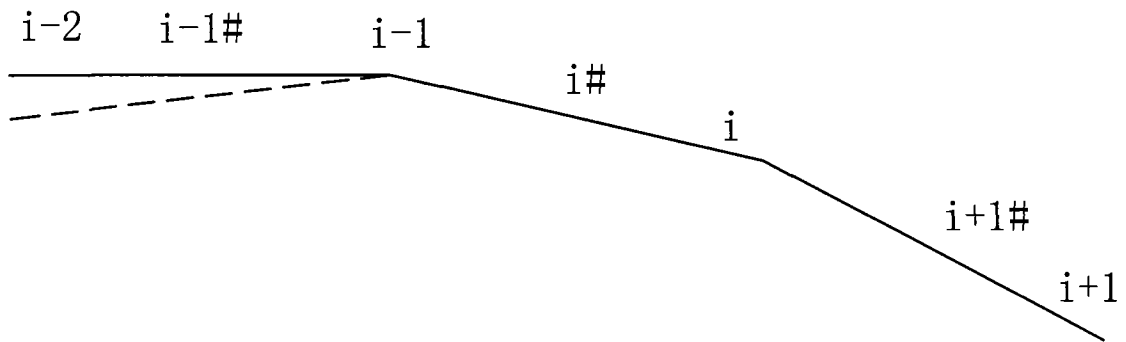


图 4

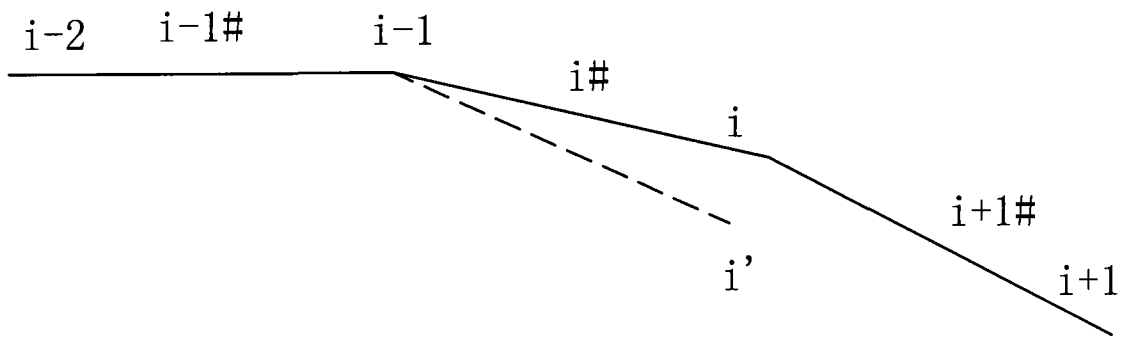


图 5

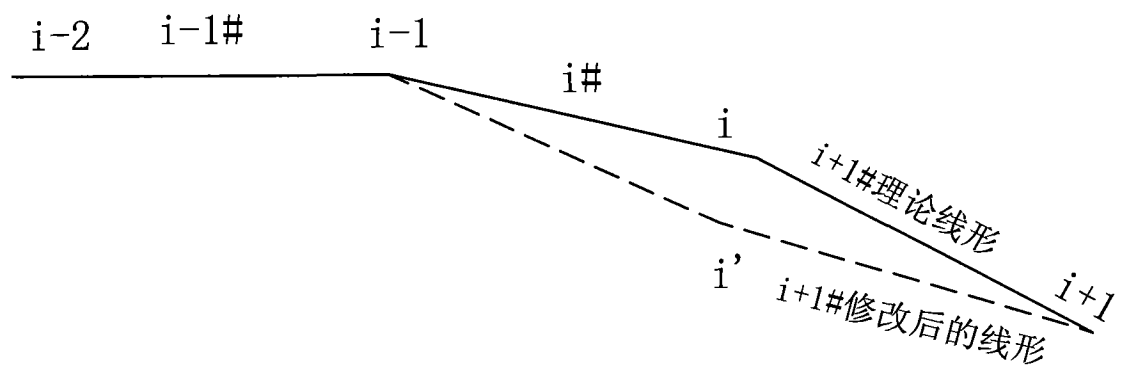


图 6

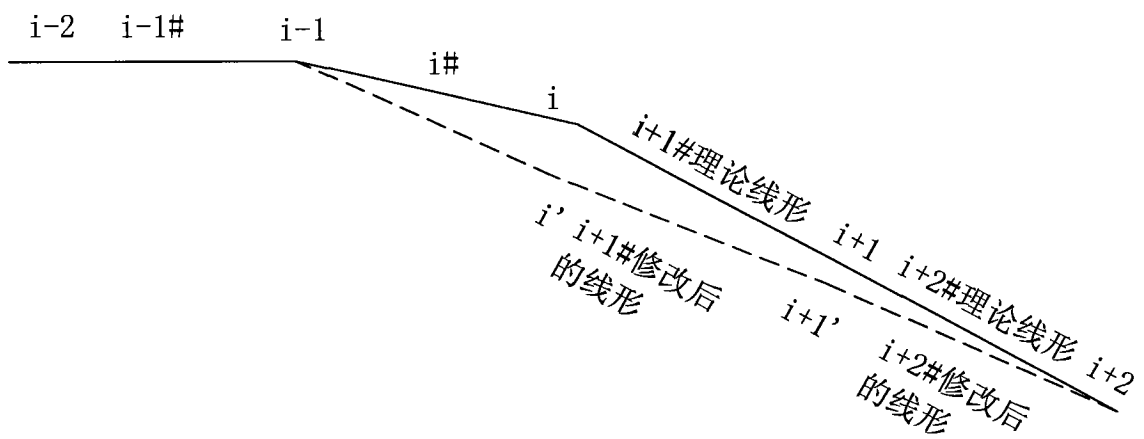


图 7