



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104988817 A

(43) 申请公布日 2015. 10. 21

(21) 申请号 201510247500. X

(22) 申请日 2015. 05. 15

(71) 申请人 西南交通大学

地址 610031 四川省成都市二环路北一段  
111 号西南交通大学科技处

(72) 发明人 岑敏仪 李阳腾龙 李志林  
马国治

(74) 专利代理机构 成都信博专利代理有限责任  
公司 51200

代理人 张澎

(51) Int. Cl.

E01B 35/02(2006. 01)

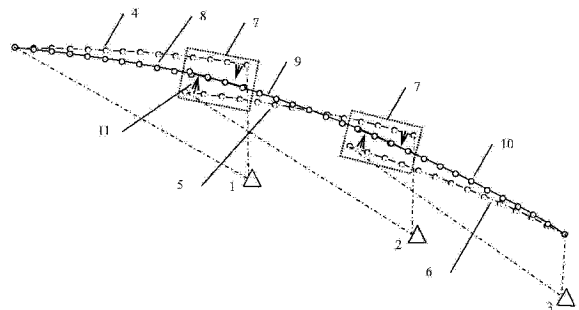
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

高速铁路轨道分段测量数据的平顺连接法

(57) 摘要

本发明公开了一种高速铁路轨道分段测量数据的平顺连接法,在高铁轨道测量中,轨道几何状态测量仪根据 CP III网进行全站仪定位和定向,然后测量小车棱镜,并集成轨距和水平传感器数据获取轨道测点的坐标高程。CP III网间隔 50 ~ 70m 成对布设,轨道测量时全站仪需每隔 50 ~ 70m 分段设站。为保证轨道测量点的连续性,相邻测站的全站仪需重叠测量 6 ~ 10 根轨枕的轨道点,2 次测量的轨道点结果会不相符。为消除不符值,本发明提出的轨道测量数据平顺连接法,可调整每个测站包括重叠区内外所测轨道点的测量结果,以解决在高铁轨道铺装、维护和检测中分段测量的轨道测点坐标高程数据的平顺连接问题,提高其测量结果的精度。





$$\mathbf{V}_{0,i}^q = \begin{bmatrix} V_{0,i}^1 \\ V_{0,i}^2 \\ \vdots \\ V_{0,i}^q \end{bmatrix}, \quad \mathbf{S}_{q,i} = \begin{bmatrix} S_{1,i} \\ S_{2,i} \\ \vdots \\ S_{q,i} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{I}_{0,i}^q = \begin{bmatrix} L_{1,i}^0 - L_{1,0}^0 \\ L_{2,i}^0 - L_{2,0}^0 \\ \vdots \\ L_{q,i}^0 - L_{q,0}^0 \end{bmatrix}$$

采用最小二乘平差,求得每个测站所测轨道点横向或垂向偏差修正模型的待定参数  $\kappa$ ,将参数  $\kappa$  代入式 (1),获得重叠区和非重叠区轨道点调整后的横向或垂向偏差。

2. 根据权利要求 1 所述的高速铁路轨道分段测量数据的平顺连接法,其特征是平面调整中,需要依据轨道点 X 和 Y 坐标求得其横向和纵向偏差,然后按照平顺连接法获得调整后的横向偏差;根据轨道点线路切线方位角将调整后的横向偏差投影到铁路测量坐标系的 X 和 Y 轴方向,得到调整的轨道点平面坐标。

3. 根据权利要求 1 所述的高速铁路轨道分段测量数据的平顺连接法,其特征在于,当用轨道点的坐标表达修正模型时,采用整体最小二乘平差代替最小二乘平差。

4. 根据权利要求 1 所述的高速铁路轨道分段测量数据的平顺连接法,其特征在于,测站数为多测站 ( $n > 1$ ) 或单测站 ( $n = 1$ ) 时,采用最小二乘或整体最小二乘平差,需要根据测量精度考虑重叠区轨道测点的权重。

## 高速铁路轨道分段测量数据的平顺连接法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及（高速）铁路轨道精密测量技术领域，特别是高速铁路轨道铺装、维护和检测以及轨道几何状态测量仪和标准轨道检验场中分段测量的轨道测点坐标高程数据的平顺连接方法。

### 背景技术

[0002] 轨道静态检测所使用的轨道三维精测系统是以轨道控制网（CP III）为基准，采用具有自动跟踪、自动照准和自动测量的全站仪，配合集成轨距和倾斜传感器的轨检小车组合成的“轨道几何状态测量仪”，或利用全站仪配合附有陀螺定向的“轨道检查仪”，采集轨道点坐标高程数据，以获取轨道内部和外部几何参数，评价轨道短波（10m 弦）、中波（30m 弦）和长波（300m 弦）的不平顺性，用以指导轨道精调、轨道检测及其维护修缮。

[0003] 根据高速铁路 CP III 控制网间隔 50 ~ 70m 成对布设的特点，为保证轨道三维精测系统的测量精度，轨道几何状态测量仪或轨道检查仪需每隔一段距离进行全站仪设站，根据《高速铁路工程测量规范》(TB10601-2009) 要求，相邻测站检测的轨道要求有 6 ~ 10 根轨枕的重叠区。由于测量误差的影响，重叠区轨道点的 2 套坐标和高程会存在差异。为了消除轨道重叠区测点的不符值，轨道几何状态测量仪常采用的方法有：扩展法、平均值法、跳过重叠点法、不补偿法和线性函数平滑法。其中，平均值法、跳过重叠点法、不补偿法和线性函数平滑法四种方法均只调整重叠区轨道点，对于非重叠区轨道点未作任何调整；扩展法则将重叠区测点数据取平均，根据线性函数对重叠区前后实测数据做一定程度的补偿。补偿区长度通常由重叠段偏差值的一半与常规补偿区域设置值的乘积决定，在重叠段较多的情况下，扩展法会导致补偿区长度减小或重复补偿。因此，顾及重叠区和非重叠区轨道点测量误差特性的高速铁路轨道分段测量数据的平顺连接方法，对于提高高速铁路轨道静态检测及其平顺性，建立高标准轨道检验场，编制高速铁路测量技术标准等均有重要的应用价值。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种轨道几何状态测量仪、轨道检查仪和标准轨道检验场中轨道分段测量数据的平顺连接方法，以克服现有铁路轨道测量数据处理算法的缺陷，提供精度更高、轨道平顺性更好的数据处理算法。

[0005] 本发明的目的是通过以下手段实现的。

[0006] 高速铁路轨道分段测量数据的平顺连接法，在高铁轨道测量中用于消除二次测量的轨道点结果不符值，其特征在于，全站仪的每个测站所测轨道点的横向和垂向偏差（或坐标高程）不仅在相邻测站重叠区需要调整，在非重叠区也需要调整，且考虑了重叠区与非重叠区点的平顺性处理。

[0007] 设测站  $A_i$  所测轨道点 Q 的横向和垂向偏差（或坐标高程）修正模型：

$$[0008] \quad \mathbf{L}_{Q,i} = \mathbf{S}_{Q,i} \mathbf{K}_i + \mathbf{L}_{Q,i}^0 + \Delta_{Q,i} \quad (1)$$



调整后的横向或垂向偏差（或坐标高程）。

[0020] 本发明所述的方法中，针对平面测量数据的调整，需要依据轨道点 X 和 Y 坐标求得其横向偏差和纵向偏差，然后按照平顺连接法得到调整后的横向偏差。根据轨道点线路切线方位角将调整后的横向偏差投影到铁路测量坐标系的 X 和 Y 轴方向，得到调整后的轨道点平面坐标。

[0021] 本发明所述的方法中，采用轨道点的坐标表达修正模型时，使用整体最小二乘平差代替最小二乘平差。

[0022] 本发明所述的方法中，当测站数为多测站 ( $n > 1$ ) 或单测站 ( $n = 1$ ) 时，采用最小二乘或整体最小二乘平差，需要根据测量精度考虑测站重叠区轨道测点的权重。

### 附图说明

[0023] 图 1 为本发明中多测站数据处理的示意图。

[0024] 图 2 为本发明中单测站数据处理的示意图。

[0025] 在图 1 中，1、2、3 均为测站；4、测站 1 观测的轨道点；5、测站 2 观测的轨道点；6、测站 3 观测的轨道点；7、相邻测站观测的轨道点重叠区；8、测站 1 观测的轨道点调整后的位置；9、测站 2 观测的轨道点调整后的位置；10、测站 3 观测的轨道点调整后的位置；11、轨道点的调整方向。

[0026] 在图 2 中，12、已调整轨道点（包括黑色实心点）；13、单测站；14、黑色实心点，已调整的轨道点，且为测站 13 观测的重叠区轨道点调整的基准点；15、测站 13 观测的轨道点；16、测站 13 观测的轨道点调整后的位置；17、轨道点的调整方向；18、相邻测站观测的轨道点重叠区。

### 具体实施方式

[0027] 高速铁路轨道测量时，根据高速铁路 CP III 控制网间隔 50 ~ 70m 成对布设的特点，为保证轨道三维精测系统的测量精度，轨道几何状态测量仪或轨道检查仪需每隔一段距离进行全站仪设站，且相邻测站检测的轨道要求有 6 ~ 10 根轨枕或一段线路的重叠区。当获得测站的测量数据时，可采用平顺连接法处理。现结合附图对本发明作进一步的说明。但是应该强调的是，下面的实施方式只是示例性的，而不是为了限制本发明的范围及应用。

[0028] 当测站数  $n > 1$ ，即多测站时，平顺连接法处理步骤如下：

[0029] ① 计算相邻测站重叠区轨道点的横向偏差或垂向偏差（或坐标和高程）向量的代数和：

$$[0030] \quad \mathbf{I}_{1,2}^4 = \mathbf{L}_{4,2}^0 - \mathbf{L}_{4,1}^0 \quad (4)$$

$$[0031] \quad \mathbf{I}_{2,3}^4 = \mathbf{L}_{4,3}^0 - \mathbf{L}_{4,2}^0 \quad (5)$$

[0032] 式中，式 (4) 中  $\mathbf{L}_{4,1}^0$  和  $\mathbf{L}_{4,2}^0$  分别为测站 1 和 2 所测重叠区 4 个轨道点（图 1 中 7 所示）的横向或垂向偏差（或坐标和高程）向量初始值；式 (5) 中  $\mathbf{L}_{4,2}^0$  和  $\mathbf{L}_{4,3}^0$  分别为测站 2 和 3 所测重叠区 4 个轨道点（图 1 中 7 所示）的横向或垂向偏差（或坐标和高程）向量初始值，故式 (4) 与 (5) 中  $\mathbf{L}_{4,2}^0$  含义不同。

[0033] ②列出相邻测站重叠区的误差方程组。测站 1 所测 14 个轨道点（包括与测站 2 重叠的 4 个轨道点以及非重叠的 10 个轨道点）横向和垂向偏差（或坐标和高程）修正模型：

$$[0034] \quad \mathbf{L}_{14,1} = \mathbf{S}_{14,1} \boldsymbol{\kappa}_1 + \mathbf{L}_{14,1}^0 + \boldsymbol{\Delta}_{14,1} \quad (6)$$

[0035] 式中， $\mathbf{L}_{14,1}^0$  和  $\mathbf{L}_{14,1}$  分别为轨道点调整前后的横向或垂向偏差（或坐标和高程）向量； $\boldsymbol{\kappa}_1$  为待定参数； $\mathbf{S}_{14,1}$  为轨道点到测站 1 的距离向量； $\boldsymbol{\Delta}_{14,1}$  为测量随机误差向量。

[0036] 同理，可列出测站 2 与 3 的轨道点横向和垂向偏差（或坐标和高程）修正模型：

$$[0037] \quad \mathbf{L}_{14,2} = \mathbf{S}_{14,2} \boldsymbol{\kappa}_2 + \mathbf{L}_{14,2}^0 + \boldsymbol{\Delta}_{14,2} \quad (7)$$

$$[0038] \quad \mathbf{L}_{14,3} = \mathbf{S}_{14,3} \boldsymbol{\kappa}_3 + \mathbf{L}_{14,3}^0 + \boldsymbol{\Delta}_{14,3} \quad (8)$$

[0039] 式中，测站 2 所测 14 个轨道点，其中与测站 1 重叠 4 个轨道点，与测站 3 重叠 4 个轨道点，非重叠轨道点 6 个；测站 3 所测 14 个轨道点，其中与测站 2 重叠 4 个轨道点，非重叠轨道点 10 个。

[0040] 相邻测站所测轨道点在重叠区的横向偏差或垂向偏差（或坐标高程）应该相等，由此，得到各相邻测站重叠区的误差方程：

$$[0041] \quad \mathbf{V}_{1,2}^4 = \mathbf{S}_{4,1} \boldsymbol{\kappa}_1 - \mathbf{S}_{4,2} \boldsymbol{\kappa}_2 - \mathbf{I}_{1,2}^4 \quad (9)$$

$$[0042] \quad \mathbf{V}_{2,3}^4 = \mathbf{S}_{4,2} \boldsymbol{\kappa}_2 - \mathbf{S}_{4,3} \boldsymbol{\kappa}_3 - \mathbf{I}_{2,3}^4 \quad (10)$$

[0043] 式中， $\mathbf{V}_{1,2}^4$ 、 $\mathbf{V}_{2,3}^4$  分别为重叠区轨道点横向或垂向偏差（或坐标和高程）不符值的改正数向量；式 (9) 中  $\mathbf{S}_{4,2}$  为测站 2 所测与测站 1 重叠的轨道点到测站 2 的距离向量，式 (10) 中  $\mathbf{S}_{4,2}$  为测站 2 所测与测站 3 重叠的轨道点到测站 2 的距离向量，其含义不同。

[0044] 所有相邻测站重叠区组成的误差方程矩阵表达式：

$$[0045] \quad \mathbf{V} = \mathbf{S} \boldsymbol{\kappa} - \mathbf{l}$$

$$[0046] \quad \mathbf{V}_{8 \times 1} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{1,2}^4 \\ \mathbf{V}_{2,3}^4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{S}_{8 \times 3} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{4,1} & -\mathbf{S}_{4,2} & \\ & \mathbf{S}_{4,2} & -\mathbf{S}_{4,3} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\kappa}_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\kappa}_1 \\ \boldsymbol{\kappa}_2 \\ \boldsymbol{\kappa}_3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{l}_{8 \times 1} = \begin{bmatrix} \mathbf{L}_{4,2}^0 - \mathbf{L}_{4,1}^0 \\ \mathbf{L}_{4,3}^0 - \mathbf{L}_{4,2}^0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0047] 式中，测站 1 与 2 的重叠区轨道点有 4 个（图 1 中 7 所示），测站 2 与 3 的重叠区轨道点有 4 个（图 1 中 7 所示）。

[0048] ③最小二乘平差计算。求得每个测站所测轨道点横向和垂向偏差（或坐标和高程）修正模型的待定参数  $\boldsymbol{\kappa}$ 。将参数  $\boldsymbol{\kappa}$  代入相应公式 (6) ~ (8) 中，求得各测站重叠区和非重叠区轨道点调整后的横向和垂向偏差（或坐标和高程）。

[0049] 若平面调整中轨道点采用坐标结果，需先把轨道点 X 和 Y 坐标转换成横向和纵向偏差，然后按照平顺连接法获得调整后的横向偏差，再根据轨道点线路切线方位角将调整后的横向偏差投影到 X、Y 坐标方向进行偏差改正，得到调整后的轨道点平面坐标。当用轨道点的坐标表达修正模型时，可采用整体最小二乘平差法代替最小二乘平差法。

[0050] 当测站数  $n = 1$ ，即单测站时，平顺连接法处理步骤：

[0051] 图 2 中已调整的轨道点 12 与单测站 13 的轨道点存在重叠区（图 2 中 18 所示），

以已调整的重叠区轨道点（图 2 中 14 所示）作为测站 13 检测点（图 2 中 15 所示）调整的基准点，列出重叠区误差方程：

$$[0052] \quad \mathbf{V}_{12,13}^5 = -\mathbf{S}_{5,13} \kappa_{13} - \mathbf{I}_{12,13}^5$$

[0053] 式中，重叠区轨道点个数为 5； $\mathbf{I}_{12,13}^5$  为重叠区轨道点横向或垂向偏差（或坐标高程）向量的代数和； $S_{5,13}$  为测站 13 重叠区待调整点到测站 13 的距离。

[0054] 由于单测站 13 与已调整的轨道点 12 仅存在一个重叠区，故误差方程式组展开为：

$$[0055] \quad \mathbf{V}_{12,13}^5 = -\mathbf{S}_{5,13} \kappa_{13} - \mathbf{I}_{12,13}^5$$

$$[0056] \quad \mathbf{V}_{12,13}^5 = \begin{bmatrix} V_{12,13}^1 \\ V_{12,13}^2 \\ \vdots \\ V_{12,13}^5 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{S}_{5,13} = \begin{bmatrix} S_{1,13} \\ S_{2,13} \\ \vdots \\ S_{5,13} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{I}_{12,13}^5 = \begin{bmatrix} L_{1,13}^0 - L_{1,12}^0 \\ L_{2,13}^0 - L_{2,12}^0 \\ \vdots \\ L_{5,13}^0 - L_{5,12}^0 \end{bmatrix}$$

[0057] 采用最小二乘平差（或整体最小二乘平差），求得单测站 13 所测轨道点横向或垂向偏差（或坐标高程）修正模型的待定参数  $\kappa_{13}$ 。将参数  $\kappa_{13}$  代入式  $\mathbf{L}_{q,i} = \mathbf{S}_{q,i} \kappa_i + \mathbf{L}_{q,i}^0$  ( $q=9, i=13$ )，可获得单测站 13 所测非重叠区 9 个轨道点调整后的横向或垂向偏差（或坐标高程）。



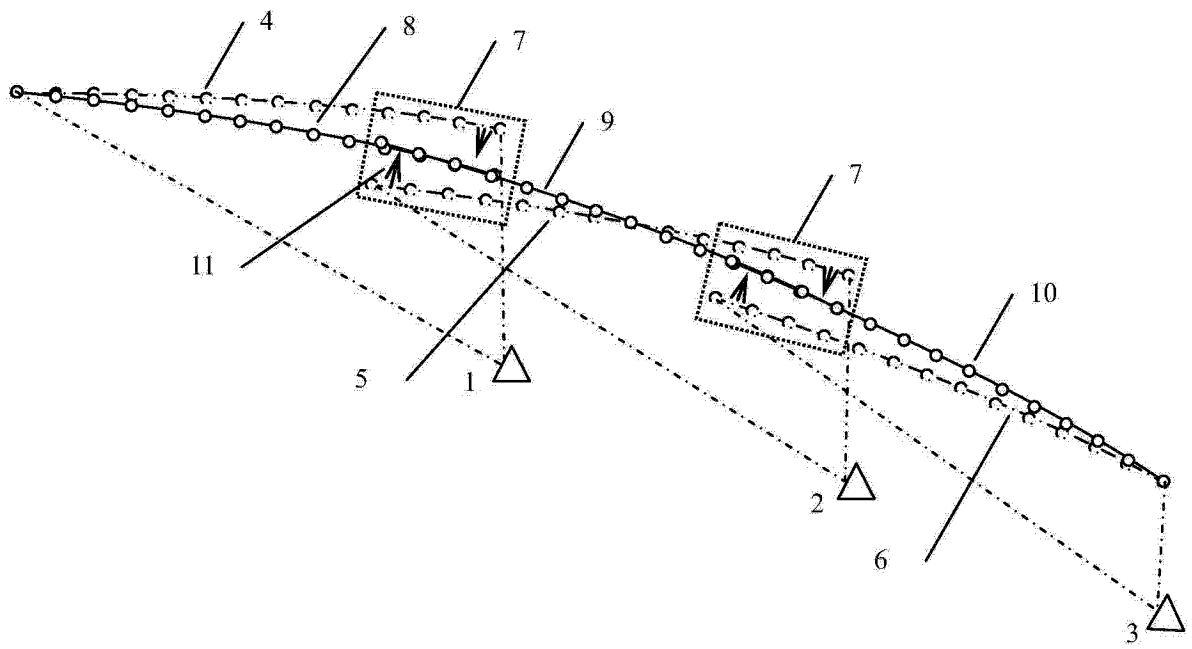


图 1

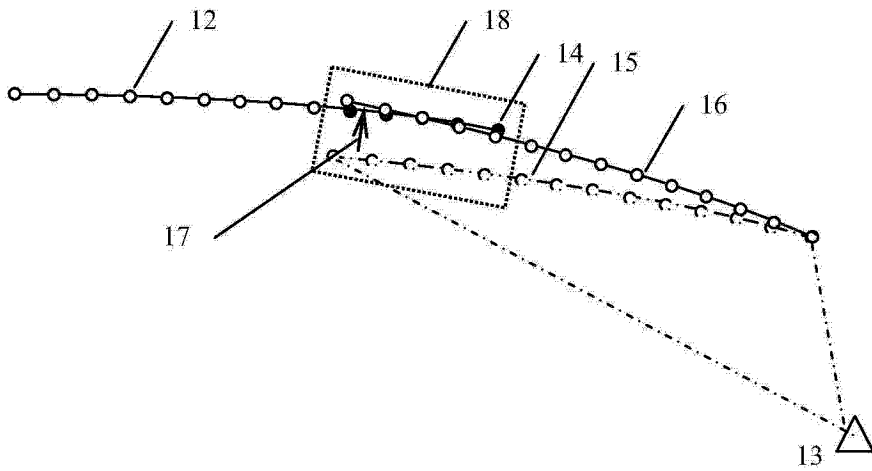


图 2