



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107479078 B

(45)授权公告日 2019.08.20

(21)申请号 201710601716.0

G01S 19/49(2010.01)

(22)申请日 2017.07.21

G01C 21/16(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107479078 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2017.12.15

CN 102288158 A, 2011.12.21,
US 2005251328 A1, 2005.11.10,
CN 103343498 A, 2013.10.09,
ARNOLD D. SEIFER. Conversion of Earth-Centered Earth-Fixed Coordinates to Geodetic Coordinates.《IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS》. 1994, 第30卷(第3期),

(73)专利权人 武汉大学
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

金立新. 法截面子午线椭球高斯投影理论—高速铁路坐标系投影变形控制理论与应用研究.《中国博士学位论文全文数据库工程科技II辑》. 2013,

(72)发明人 陈起金 周禹昆 李姗姗 牛小骥
陈小文 刘经南

审查员 孙礼召

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 42222

代理人 胡艳

权利要求书2页 说明书6页 附图1页

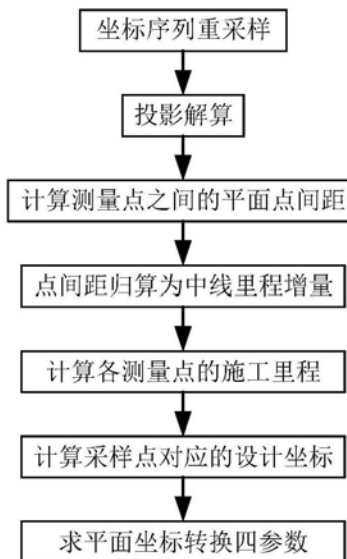
(51) Int. Cl.
G01S 19/42(2010.01)

(54)发明名称

铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法及系统

(57)摘要

本发明公开了一种铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法及系统,包括:S1对大地坐标序列进行重采样;S2对测量点的大地坐标序列进行膨胀椭球高斯投影变换,得测量点的投影平面坐标序列;S3计算各相邻的两测量点的连线在投影面的直线距离;S4归算相邻的两测量点间的里程增量;S5计算各测量点的轨道施工里程;S6计算测量点在独立工程坐标系下的平面设计坐标序列;S7根据投影平面坐标序列和平面设计坐标序列,计算投影平面坐标向独立工程坐标系转换的参数。本发明仅需少量先验知识,便可较精确地将GNSS或GNSS/INS导航系统输出的大地坐标转换为独立工程坐标系下的平面坐标,大大降低了坐标变换的复杂度。



1. 铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法,其特征是,包括步骤:

S1 对GNSS或INS/GNSS导航系统获取的大地坐标序列进行重采样,得到采样点的大地坐标序列,所述采样点也记为测量点;

S2 对测量点的大地坐标序列进行膨胀椭球高斯投影变换,得测量点的投影平面坐标序列;

S3 根据投影平面坐标序列,计算各相邻的两测量点的连线在投影面的直线距离;

S4 根据所述直线距离归算相邻的两测量点间的里程增量,所述里程增量即相邻的两测量点在轨道设计中心线上投影的里程距离;

S5 结合里程增量和已知的起始测量点轨道施工里程,计算起始测量点外其他各测量点的轨道施工里程;

S6 结合各测量点的轨道施工里程、平面偏置和轨道设计线型参数,计算测量点在独立工程坐标系下的平面设计坐标序列,所述平面偏置即测量点到轨道设计中心线的距离;

S7 根据步骤S2所得投影平面坐标序列和步骤S6所得平面设计坐标序列,计算投影平面坐标向独立工程坐标系转换的参数。

2. 如权利要求1所述的铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法,其特征是:步骤S1中所述重采样按照距离进行重采样。

3. 如权利要求1所述的铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法,其特征是:步骤S2进一步包括子步骤:

S201 以工程椭圆或地球参考椭球为自定义的高斯投影变换参考椭球;

S202 确定高斯投影的中央子午线经度,所述中央子午线经度采用测段的平均经度、测区的平均经度、测量点的平均经度、或工程设置的投影中央子午线经度;

S203 确定膨胀椭球投影的投影面高程,所述投影面高程采用测段的平均高程、测区的平均高程或测量点的平均高程;

S204 将测量点投影变换到高斯投影变换参考椭球,得各测量点的投影平面坐标。

4. 如权利要求1所述的铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法,其特征是:

步骤S4中,所述里程增量 $\Delta s_i^c = \frac{R_i}{R_i + \Delta L_i} \Delta s_i$,其中, R_i 表示弧段 $p_i p_{i+1}$ 的平均曲率半径; ΔL_i

为测量点 p_i 到轨道设计中心线的距离,其有正负之分,当测量点 p_i 位于轨道设计中心线和轨道设计曲线的圆心之间时符号为负,否则为正; Δs_i 为相邻的两测量点 p_i 、 p_{i+1} 的连线在投影面的直线距离。

5. 如权利要求1所述的铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法,其特征是:步骤S7中,所述参数包括两方向的坐标平移分量、一比例因子系数和一旋转角度。

6. 铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的系统,其特征是,包括:

重采样模块,用来对GNSS或INS/GNSS导航系统获取的大地坐标序列进行重采样,得到采样点的大地坐标序列,所述采样点也记为测量点;

投影变换模块,用来对测量点的大地坐标序列进行膨胀椭球高斯投影变换,得测量点的投影平面坐标序列;

直线距离获取模块,用来根据投影平面坐标序列,计算各相邻的两测量点的连线在投影面的直线距离;

里程增量获取模块,用来根据所述直线距离归算相邻的两测量点间的里程增量,所述里程增量即相邻的两测量点在轨道设计中心线上投影的里程距离;

轨道施工里程获取模块,用来结合里程增量和已知的起始测量点轨道施工里程,计算起始测量点外其他各测量点的轨道施工里程;

平面设计坐标获取模块,用来结合各测量点的轨道施工里程、平面偏置和轨道设计线型参数,计算测量点在独立工程坐标系下的平面设计坐标序列,所述平面偏置即测量点到轨道设计中心线的距离;

转换参数获取模块,用来根据所述投影变换模块所得投影平面坐标序列和所述平面设计坐标获取模块所得平面设计坐标序列,计算投影平面坐标向独立工程坐标系转换的参数。

7.如权利要求6所述的铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的系统,其特征是:所述重采样模块按照距离进行重采样。

8.如权利要求6所述的铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的系统,其特征是:所述投影变换模块进一步包括子模块:

高斯投影变换参考椭球构建子模块,用来以工程椭圆或地球参考椭球为自定义的高斯投影变换参考椭球;

中央子午线经度确定子模块,用来确定高斯投影的中央子午线经度,所述中央子午线经度采用测段的平均经度、测区的平均经度、测量点的平均经度、或工程设置的投影中央子午线经度;

投影面高程确定子模块,用来确定膨胀椭球投影的投影面高程,所述投影面高程采用测段的平均高程、测区的平均高程或测量点的平均高程;

投影平面坐标获取子模块,用来将测量点投影变换到高斯投影变换参考椭球,得各测量点的投影平面坐标。

9.如权利要求6所述的铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的系统,其特征是:

所述里程增量获取模块获取的里程增量 $\Delta s_i^c = \frac{R_i}{R_i + \Delta L_i} \Delta s_i$, 其中, R_i 表示弧段 $p_i p_{i+1}$ 的平均曲率半径; ΔL_i 为测量点 p_i 到轨道设计中心线的距离, 其有正负之分, 当测量点 p_i 位于轨道设计中心线和轨道设计曲线的圆心之间时符号为负, 否则为正; Δs_i 为相邻的两测量点 p_i 、 p_{i+1} 的连线在投影面的直线距离。

10.如权利要求6所述的铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的系统,其特征是:

所述转换参数获取模块获取的参数包括两方向的坐标平移分量、一比例因子系数和一旋转角度。

铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及铁路轨道精密测量技术领域,具体是一种铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法及系统。

背景技术

[0002] 全球卫星导航系统(GNSS)技术及其与惯性导航系统(INS)的组合导航技术(GNSS/INS)正越来越广泛地应用于铁路测绘领域。利用GNSS或GNSS/INS组合导航系统进行轨道测量,直接得到的位置坐标往往是地心地固坐标系下的大地坐标或空间直角坐标,所述大地坐标中地面点的位置用经度、纬度和高程表示。而轨道建设和维护过程中,铁路线路和轨道测量往往采用施工坐标系或独立工程坐标系。施工坐标系与独立工程坐标系本质上同属于独立坐标系,实质上是一个经过坐标平移和旋转的自定义工程椭球的高斯投影坐标系。

[0003] 公告号为CN103343498A、名称为《一种基于INS/GNSS的轨道不平顺检测系统及方法》的中国专利,其中也需要将GNSS或GNSS/INS提供的地心地固坐标系坐标转换到独立工程坐标系下,例如,通过实测坐标反算出实测点对应的轨道施工里程,然后再进行后续计算。当然将大地坐标转换为独立工程坐标的目的也不仅限于此。

[0004] 由大地坐标转换为实际使用的独立工程坐标系下的坐标,需要知道以下技术参数:1)测区椭球及基本参数;2)测区中央子午线经度值;3)测区平均高程异常;4)工程或测区平均高程面的高程;5)起始点坐标和起始方位角;6)纵横坐标加常数。

[0005] 实际上,将大地坐标精确转换到独立工程坐标系下存在诸多困难。一方面,上述六种技术参数都是在建立线路控制网(CPII)时所用到的,并不提供给那些后期基于CPII或轨道控制网(CPIII)的测量应用和用户。另一方面,即使已知上述六类参数,诸如公告号为CN103343498A的发明专利所述的方案,也必须将GNSS基站架设在已知的CPII点上进行长时间静态测绘,才能得到高精度的定位结果;这无疑增加了该方案实际作业的复杂度。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种简单易行的铁路测量中大地坐标转换为独立平面坐标的方法及系统,可应用于基于GNSS或GNSS/INS导航系统的铁路测量。

[0007] 本发明提供了一种铁路测量中大地坐标转换为独立工程坐标系平面坐标的方法,包括步骤:

[0008] S1对GNSS或INS/GNSS导航系统获取的大地坐标序列进行重采样,得到采样点的大地坐标序列,所述采样点也记为测量点;

[0009] S2对测量点的大地坐标序列进行膨胀椭球高斯投影变换,得测量点的投影平面坐标序列;

[0010] S3根据投影平面坐标序列,计算各相邻的两测量点的连线在投影面的直线距离;

[0011] S4根据所述直线距离归算相邻的两测量点间的里程增量,所述里程增量即相邻的两测量点在轨道设计中心线上投影的里程距离;

[0012] S5结合里程增量和已知的起始测量点轨道施工里程,计算起始测量点外其他各测量点的轨道施工里程;

[0013] S6结合各测量点的轨道施工里程、平面偏置和轨道设计线型参数,计算测量点在独立工程坐标系下的平面设计坐标序列,所述平面偏置即测量点到轨道设计中心线的距离;

[0014] S7根据步骤S2所得投影平面坐标序列和步骤S6所得平面设计坐标序列,计算投影平面坐标向独立工程坐标系转换的参数。

[0015] 进一步的,步骤S1中所述重采样按照距离进行重采样。

[0016] 进一步的,步骤S2进一步包括子步骤:

[0017] S201以工程椭圆或地球参考椭球为自定义的高斯投影变换参考椭球;

[0018] S202确定高斯投影的中央子午线经度,所述中央子午线经度采用测段的平均经度、测区的平均经度、测量点的平均经度、或工程设置的投影中央子午线经度;

[0019] S203确定膨胀椭球投影的投影面高程,所述投影面高程采用测段的平均高程、测区的平均高程或测量点的平均高程;

[0020] S204将测量点投影变换到高斯投影变换参考椭球,得各测量点的投影平面坐标。

[0021] 进一步的,步骤S4中,所述里程增量 $\Delta s_i^c = \frac{R_i}{R_i + \Delta L_i} \Delta s_i$, 其中, R_i 表示弧段 $p_i p_{i+1}$ 的平均曲率半径; ΔL_i 为测量点 p_i 到轨道设计中心线的距离, 其有正负之分, 当测量点 p_i 位于轨道设计中心线和轨道设计曲线的圆心之间时符号为负, 否则为正。

[0022] 进一步的,步骤S7中,所述参数包括两方向的坐标平移分量、一比例因子系数和一旋转角度。

[0023] 本发明提供一种铁路测量中大地坐标转换为独立工程坐标系平面坐标的系统, 包括:

[0024] 重采样模块, 用来对GNSS或INS/GNSS导航系统获取的大地坐标序列进行重采样, 得到采样点的大地坐标序列, 所述采样点也记为测量点;

[0025] 投影变换模块, 用来对测量点的大地坐标序列进行膨胀椭球高斯投影变换, 得测量点的投影平面坐标序列;

[0026] 直线距离获取模块, 用来根据投影平面坐标序列, 计算各相邻的两测量点的连线在投影面的直线距离;

[0027] 里程增量获取模块, 用来根据所述直线距离归算相邻的两测量点间的里程增量, 所述里程增量即相邻的两测量点在轨道设计中心线上投影的里程距离;

[0028] 轨道施工里程获取模块, 用来结合里程增量和已知的起始测量点轨道施工里程, 计算起始测量点外其他各测量点的轨道施工里程;

[0029] 平面设计坐标获取模块, 用来结合各测量点的轨道施工里程、平面偏置和轨道设计线型参数, 计算测量点在独立工程坐标系下的平面设计坐标序列, 所述平面偏置即测量点到轨道设计中心线的距离;

[0030] 转换参数获取模块, 用来根据所述投影变换模块所得投影平面坐标序列和所述平面设计坐标获取模块所得平面设计坐标序列, 计算投影平面坐标向独立工程坐标系转换的参数。

[0031] 进一步的,所述重采样模块按照距离进行重采样。

[0032] 进一步的,所述投影变换模块进一步包括子模块:

[0033] 高斯投影变换参考椭球构建子模块,用来以工程椭圆或地球参考椭球为自定义的高斯投影变换参考椭球;

[0034] 中央子午线经度确定子模块,用来确定高斯投影的中央子午线经度,所述中央子午线经度采用测段的平均经度、测区的平均经度、测量点的平均经度、或工程设置的投影中央子午线经度;

[0035] 投影面高程确定子模块,用来确定膨胀椭球投影的投影面高程,所述投影面高程采用测段的平均高程、测区的平均高程或测量点的平均高程;

[0036] 投影平面坐标获取子模块,用来将测量点投影变换到高斯投影变换参考椭球,得各测量点的投影平面坐标。

[0037] 进一步的,所述里程增量获取模块获取的里程增量 $\Delta s_i^c = \frac{R_i}{R_i + \Delta L_i} \Delta s_i$, 其中, R_i 表示弧

段 $p_i p_{i+1}$ 的平均曲率半径; ΔL_i 为测量点 p_i 到轨道设计中心线的距离, 其有正负之分, 当测量点 p_i 位于轨道设计中心线和轨道设计曲线的圆心之间时符号为负, 否则为正。

[0038] 进一步的,所述转换参数获取模块获取的参数包括两方向的坐标平移分量、一比例因子系数和一旋转角度。

[0039] 和现有技术相比,本发明具有以下优点和有益效果:

[0040] (1) 仅需少量的先验知识,例如轨道设计线型,便可较精确地将GNSS或GNSS/INS导航系统输出的大地坐标转换为独立工程坐标系下的平面坐标,不需要提供背景技术中所提及的六类参数,大大降低了坐标变换的复杂度。

[0041] (2) 采用本发明方法,实际的轨道测量作业中GNSS基站不需要架设于已知控制点上进行长时间测绘来保证测量的绝对精度,因为GNSS基站坐标的系统性误差可以在本发明坐标变换中被准确地估计和补偿掉。

[0042] (3) 采用本方法只需选用一段几百米的连续轨道测量值就可有效求解出平面坐标转换四参数。

附图说明

[0043] 图1是本发明方法的具体流程示意图;

[0044] 图2是本发明方法所计算的里程与参考里程间的差异。

具体实施方式

[0045] 下面结合附图及具体实施例,对本发明作进一步描述。实施例以公告号为CN103343498A的中国专利其中所述的INS/GNSS轨检小车的测量数据为例进行说明。

[0046] 本具体实施方式中,数据来源于公告号为CN103343498A的中国专利中所述的INS/GNSS轨检小车在兰新高铁建设期间采集的长轨精调数据,里程段为SDK1541+996~SDK1543+500。

[0047] 本具体实施方式中,GNSS架设于已知CPII控制点上,以下六类参数精确已知:1) 测区椭球及基本参数;2) 测区中央子午线经度值;3) 测区平均高程异常;4) 工程或测区平均高

程面的高程;5)起始点坐标和起始方位角;6)纵横坐标加常数。轨检小车中INS/GNSS组合系统按200Hz的采样率输出位置坐标测量值,即大地坐标。轨检小车起始测量点的精确里程值已知。

[0048] 以下具体实施方式,用以说明但不限制本发明。

[0049] 见图1,本发明一种铁路测量中大地坐标转换为独立工程坐标系平面坐标的方法,具体步骤如下:

[0050] S1:对INS/GNSS导航系统获取的大地坐标序列进行重采样,得到采样点的大地坐标序列P,其中,第i个采样点的大地坐标采用 $P_i(B_i, L_i, H_i)$ 表示, B_i, L_i, H_i 分别表示经度、纬度、高程。所述采样点也称为测量点。

[0051] 不管是INS/GNSS导航系统还是GNSS导航系统,所获取的大地坐标序列均为地心地固坐标系下坐标。本具体实施方式中,对大地坐标序列按2Hz的采样率进行降采样,所得到采样点的点间距约0.2m。

[0052] S2对测量点的大地坐标序列进行膨胀椭球高斯投影变换,得测量点的投影平面坐标序列。

[0053] 本步骤进一步包括子步骤:

[0054] S201:以工程椭圆或地球参考椭球为自定义的高斯投影变换参考椭球,确定高斯投影变换参考椭球的基本参数。

[0055] 本具体实施方式中,选取工程椭球为自定义的高斯投影变换参考椭球,更具体的,选取CGCS2000工程椭球。

[0056] S202:确定高斯投影的中央子午线经度,所述中央子午线经度采用测段的平均经度、测区的平均经度、测量点的平均经度、或工程设置的投影中央子午线经度。

[0057] 所述测段即被测铁路的里程段,所述测区即被测铁路的测量区域。本具体实施方式中,以测段的平均经度作为中央子午线经度。

[0058] S203:确定膨胀椭球投影的投影面高程,所述投影面高程采用测段的平均高程、测区的平均高程或测量点的平均高程。

[0059] 设置投影面高程是用以控制投影变换导致的里程方向上的长度变形。本具体实施方式中,以测段的平均高程作为膨胀椭球投影的投影面高程。

[0060] S204:采用标准的膨胀椭球投影变换计算公式进行投影变换,得到各测量点在投影平面的投影平面坐标 $(x_i, y_i)_s$,从而获得投影平面坐标序列。其中, $(x_i, y_i)_s$ 中下标s表示 $(x_i, y_i)_s$ 为第i个测量点 p_i 的投影平面坐标。

[0061] 本步骤中,采用步骤S201~S204,对步骤S1中各测量点的大地坐标 $P_i(B_i, L_i, H_i)$ 进行膨胀椭球高斯投影变换,得到各测量点 p_i 的投影平面坐标 $(x_i, y_i)_s$ 。应该注意的是,测量点 p_i 的投影平面坐标 $(x_i, y_i)_s$ 与其在独立工程坐标系下的平面坐标分量并不相等。因为膨胀椭球高斯投影所建立的平面坐标系与独立工程坐标系之间还存在旋转和平移。

[0062] S3:根据各测量点 p_i 的投影平面坐标 $(x_i, y_i)_s$,计算各相邻的两测量点 p_i, p_{i+1} 的连线在投影面的直线距离 ΔS_i 。

[0063] 所述直线距离 ΔS_i 的计算公式如下:

$$[0064] \quad \Delta S_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (1)$$

[0065] 式(1)中, (x_i, y_i) 为测量点 p_i 的投影平面坐标, (x_{i+1}, y_{i+1}) 为测量点 p_{i+1} 的投影平面坐标。

[0066] S4:根据所述直线距离 Δs_i 归算相邻的两测量点 p_i 和 p_{i+1} 间的里程增量 Δs_i^c 。

[0067] 所述里程增量 Δs_i^c 即测量点 p_i 和 p_{i+1} 在轨道设计中心线上投影的里程距离,其计算公式如下:

$$[0068] \quad \Delta s_i^c = \frac{R_i}{R_i + \Delta L_i} \Delta s_i \quad (2)$$

[0069] 式(2)中:

[0070] R_i 表示弧段 $p_i p_{i+1}$ 的平均曲率半径;对直线段,其曲率为0,曲率半径则为无穷大;对圆曲线段,其曲率半径为常值;对缓和曲线,其曲率从0递变到 $1/R_i$;

[0071] ΔL_i 为平面偏置,即测量点 p_i 到轨道设计中心线的距离, ΔL_i 根据实际测量系统的机械结构给出获得,其符号有正负之分:当测量点 p_i 位于轨道设计中心线和轨道设计曲线圆心之间时符号为负,否则为正;测量点 p_i 位于轨道设计中心线上时, $\Delta L_i = 0$,此时, $\Delta s_i^c = \Delta s_i$ 。

[0072] S5:结合里程增量 Δs_i^c 和起始测量点的轨道施工里程 s_0 ,计算起始测量点外其他各测量点的轨道施工里程 s_i 。

[0073] 所述其他各测量点的轨道施工里程 s_i 的计算如下:

$$[0074] \quad s_i = \sum_{k=1}^{i-1} \Delta s_k^c + s_0 \quad (3)$$

[0075] S6:结合各测量点的轨道施工里程、平面偏置和轨道设计线型参数,计算各测量点的平面设计坐标,所述平面设计坐标所在坐标系即独立工程坐标系。第 i 个测量点的平面设计坐标记为 $(x_i, y_i)_D$ 。

[0076] 所述轨道设计线型参数是用来定义轨道平面曲线和纵坡的一系列参数,根据这些参数可唯一确定轨道的形状,轨道设计线型参数一般包含平曲线、纵坡、设计超高、轨距、断链、投影带这六个文件。

[0077] 本步骤的实现为本领域的常规方法,因此不再赘述。

[0078] S7根据步骤S2所得投影平面坐标序列和步骤S6所得平面设计坐标序列,计算投影平面坐标向独立工程坐标系转换的平面四参数。

[0079] 所述平面四参数包括两方向的坐标平移分量 x_0 、 y_0 、一比例因子系数 m 和一旋转角度 θ ,则测量点 p_i 的投影平面坐标和平面设计坐标可通过平面四参数进行相互变换,如下:

$$[0080] \quad \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}_D = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}_s \quad (4)$$

[0081] 理论上,只要测量点数不小于2,则可通过最小二乘法计算所述平面四参数,计算方法为本领域的公知技术,在此不再赘述。

[0082] 下面将提供论证本发明方法有效性的方法。

[0083] a、采用背景技术中所提的六类技术参数,将INS/GNSS的大地坐标转换到独立工程坐标系下,将所得平面坐标序列作为参考值。

[0084] b、采用本发明方法将INS/GNSS的大地坐标转换到独立工程坐标系下。

[0085] 分别根据a和b所得平面坐标反算对应的轨道施工里程,并对两者得到的轨道施工里程求差,差异曲线见图2。从图2可以看出,本发明与现有方法的差异仅在毫米级,在简化过程的同时,还能确保准确度。

[0086] 需要注意的是,使用本发明进行坐标变换,误差主要来自两个方面,一是INS/GNSS坐标测量精度,二是实际轨道与其设计位置之间的差异。只要用于计算四参数的轨道里程段没有发生大的整体性偏移,例如米级或几个分米的整体性偏移,则本发明转换方法保证厘米级精度。这对于诸如专利CN103343498A所述的轨检小车的轨道几何状态参数的里程定位来说已经足够精确了。

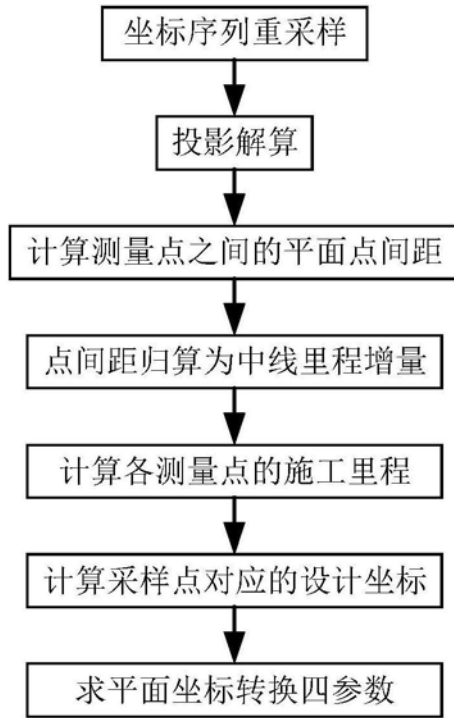


图1

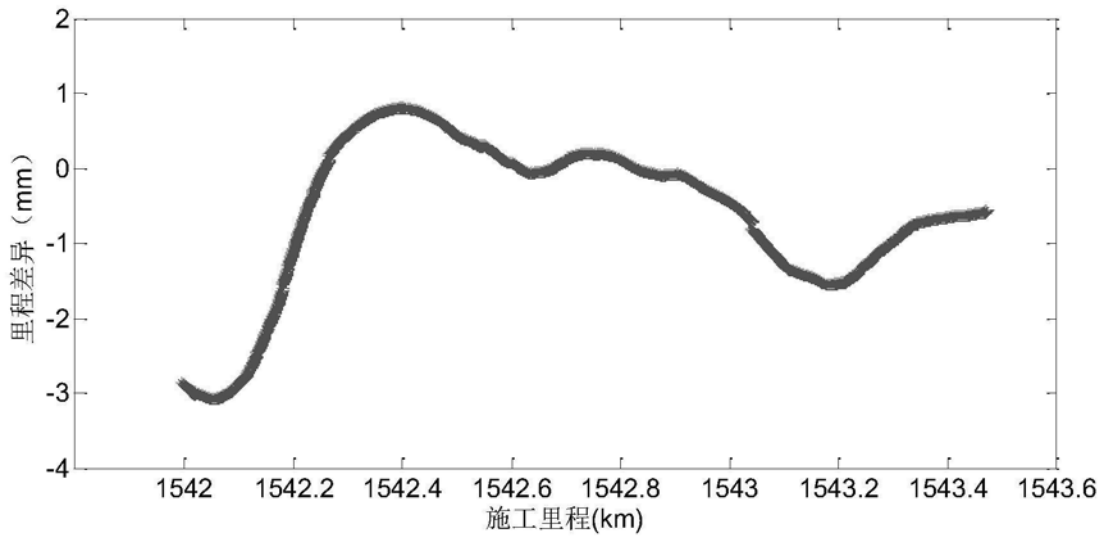


图2