

测绘信息网www.othermap.com网友测绘人提供

利用 GPS-RTK 技术进行既有曲线整正测量研究

王斌 魏庆朝 教授 彭华

(北京交通大学土木建筑工程学院)

测绘信息网www.othermap.com网友测绘人提供

学科分类与代码 620.3050

【摘要】 既有曲线整正测量是铁路既有提速改造和工务部门大修设计的主要任务之一。需要改造的既有铁路一般均为繁忙干线,并行车密度较高。传统的测量方法是将测量仪器安置在线路上,这样不仅在作业过程中受行车干扰,作业效率也不够高,而曲线地段通视条件差,作业难度是相当大的。同时,作业人员的安全问题也变得十分突出。笔者提出采用先进的 GPS-RTK 技术,对既有曲线整正进行测量。采用该技术不仅能克服气候条件的限制,而且能以较高的频率、较高的精度测定互不通视的各被测点的坐标,克服了传统的作业方法要求置镜点与被测点之间必须通视、作业受天气影响、存在误差累积、内业计算工作量大等缺陷。该法在保证作业人员安全的前提下大大提高作业效率。

【关键词】 曲线整正 提速改造 GPS-RTK(全球定位——载波相位实时差分定位)技术 作业安全

Application of GPS-RTK Technique to Adjust the Existing Railway Curves

WANG Bin WEI Qing-chao ,Prof. PENG Hua

(School of Civil & Architecture Engineering, Beijing Jiaotong University)

Classification and code of disciplines : 620.3050

Abstract : Adjusting the existing railway curves is one of the primary tasks of the reconstruction for train speed-up and the maintenance sections. The railway that needs reconstruction is usually busy line. In traditional field survey, the instrument is set on the curvilinear track, on the one hand the running trains will disturb the survey; the visibility is rather poor and efficiency is rather low. On the other hand, the surveyors are under risky working conditions causing potential traffic accidents. Now GPS-RTK technique is introduced to adjust the existing railway curves. Compared with the conventional approaches, the use of GPS-RTK technique in railway curve adjustment has many advantages. It could not only overcome the limitation due to climate, but also could determine the coordinates between points of poor visibility with high frequency and high precision. It is efficient and feasible as well as ensures surveyors' safe operation.

Key words : Curve adjustment Reconstruction for train speed-up GPS-RTK technique Operation safety

1 引言

随着我国铁路大规模的提速改造工程的建设,对既有铁路的勘测设计任务也日益增多。既有铁路的作业条件和环境不同于新建铁路,传统的新线外业测量和勘查方法不能完全照搬到既有铁路,既有线的测量和勘查设计必须要考虑既有铁路的特点。需要改造的既有铁路一般均为繁忙干线,行车密度较高,其改造需要将小半径曲线变为大曲线半径或取直,存在许多控制工程(如不进行改造的桥梁等)。因此,在既有线上进行外业测量要考虑如下因素:

测量时不能干扰行车,同时也要能保证作业人员的安全,测量的效率要高,精度要满足设计要求,测量的结果要与

工务部门现有的测量记录和设备的台账相对应。

铁路经过长期运营和维修作业,其平面曲线位置必然会产生较大的错动。为保证行车的平稳和安全,必须要通过曲线整正,使既有曲线恢复良好的圆顺度。铁路曲线整正的传统做法,大都是维修采用绳正法,大修采用偏角法,偏角法的测量作业需要在既有线上进行,不可避免地受到行车的干扰,尤其是提速后形成高密度的行车区间,曲线地段通视条件差,作业难度是相当大的。同时作业人员的安全问题也变得十分突出。另外,偏角法容易造成误差累积,内业计算的工作量较大。在测量仪器方面还是以经纬仪和钢尺为主,测量的精度也不够高。

随着测量技术的迅速发展,目前有些单位采用全站仪任意点置镜进行曲线整正测量^[1]。其原理是极坐标法测量。

极坐标法测量作业的优点是置镜点的选择比较灵活,可以设在路肩上(可以是外移桩,也可以不是外移桩),也可以设在路基以外的任何地点,而不需要在缓圆点附近置镜。但其要求置镜点与被测点之间必须通视,而且作业受天气影响,作业效率也不够高。

GPS-RTK 技术为改进以上的作业缺陷提供了非常有利的条件。使用 GPS-RTK 技术进行既有曲线整正测量,可以在很短的时间内直接获得被测点的坐标。这样既可以保证作业人员的安全,又可以大大提高作业效率。

2 GPS-RTK 技术原理

RTK 技术是指载波相位实时差分定位(Real-Time Kinematic),它是 GPS(Global Positioning System)发展的最新形式。静态 GPS 测量采用相位差分可以达到厘米甚至毫米级精度,但缺点是经过后处理才知道结果。而 RTK 通过实时处理就能达到厘米级精度。RTK 要求一台基准站和至少一台流动站及相配套的数据通讯链。基准站实时地把测站信息和所有观测值通过数据链传递给流动站,流动站用先进的处理技术来瞬时求出流动站的三维坐标^[2]。RTK 技术可以说是导航技术与通讯和信号处理技术的完美结合(见图 1)。

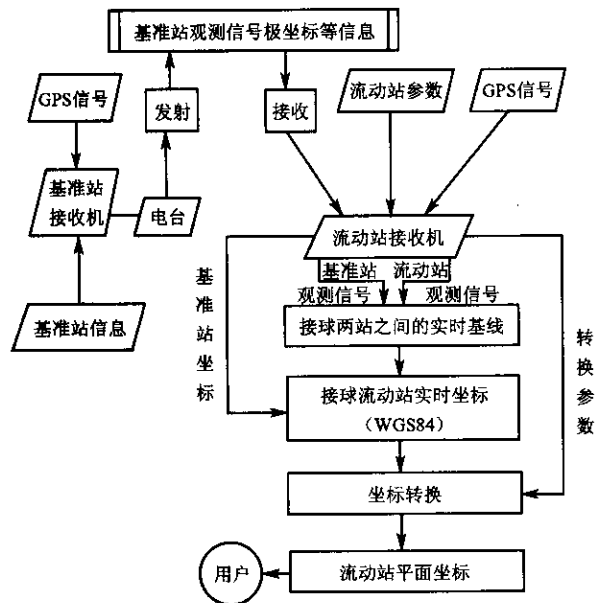


图 1 GPS-RTK 技术的原理框架示意图

RTK 技术通过载波相位差分算法实现厘米级的实时定位。载波相位差分算法包括 3 种:一次差分、二次差分和三次差分。RTK 技术主要应用二次差分算法实现实时定位。

二次差分是不同观测站同步观测一组卫星所得一次差分之差^[3]。其观测方程如下:

$$\nabla \Delta \varphi^k(t) = \Delta \varphi^k(t) - \Delta \varphi^l(t) \quad (1)$$

其中 $\Delta \varphi^k(t) = \varphi_j^k(t) - \varphi_i^k(t)$ 为一次差分观测方程

$$\varphi^k(t) = \frac{f}{c} \rho^k(t) + \int \delta t_i(t) - \delta t(t) - N^k(t_0) + \frac{f}{c} [\Delta N_{i,j}^k(t) + \Delta N_{i,l}^k(t)]$$

式中 $\rho^k(t)$ ——观测历元 t 由卫星至观测站的几何距离;
 $\delta t_i(t)$ ——接收机相应观测历元 t 的钟差;
 $\delta t(t)$ ——卫星相应观测历元 t 的钟差;
 $N^k(t_0)$ ——相应起始观测历元 t_0 时载波相位差的整数;
 $\Delta N_{i,j}^k(t)$ ——观测历元 t 电离层折射对卫星载波信号传播路径的影响;
 $\Delta N_{i,l}^k(t)$ ——观测历元 t 对流层折射对卫星载波信号传播路径的影响。

3 利用 GPS-RTK 技术进行曲线整正测量的作业方法

在缓圆点附近的已知控制点上建立一个基准站,并在其上安置一台 GPS 接收机,开机后跟踪所有可见卫星,并通过通讯设备发射差分信号,将测站的坐标、观测值、卫星跟踪状态和接收机工作状态通过数据链发送出去。另一台或几台流动站接收机在线路中心相应的测点跟踪卫星信号,将载波相位观测值实时进行差分处理,得到基准站和流动站基线向量($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$),基线向量加上基准站坐标实时得到流动站每个点的 WGS-84 坐标,通过坐标转换参数得出流动站每个点的三维坐标。观测时至少同步观测 4 颗以上的分布良好的卫星,并在运动过程中保持连续跟踪,同时基准站与流动站的距离不应超过 20 km。

4 曲线整正计算

4.1 曲线整正的原则^[4]

- (1) 曲线整正前后其长度基本不变。
- (2) 保证曲线整正前后的终切线的方向和位置不发生变化。
- (3) 当圆曲线上有控制点时,控制点的拨距为零。
- (4) 圆曲线上有一定长度的桥、隧建筑物,其范围内须控制拨距时,可以在该地段的两端和中间测点建立约束条件。

4.2 目标函数

依据外业资料和设计规范的要求,优选出合理的曲线半径及缓和曲线的长度,使得拨距的绝对值之和最小,即

$$f = \sum_1^n |V| = \min \quad (2)$$

4.3 曲线设计半径的优选

设计曲线半径的选用,既要能反映既有曲线的真实情况,又要使其拨量最小。所选用的曲线半径与缓和曲线的长度还应符合现行规范规定和设计技术条件。实际工作中多用整体优选。

整体优选:圆曲线和两端的缓和曲线均参与优化, R, l_1, l_2 一起参加选配。

设 X_i, Y_i 为曲线上一点的已测坐标,曲线半径为 R ,圆

心坐标为 (X_0, Y_0) 曲线半径应满足下列方程：

$$[(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2]^{1/2} = R \quad (3)$$

圆曲线上的每 3 个测点为一组求出计算半径 R' , R' 取整后计算圆心坐标 (X'_0, Y'_0) , 据此选配两端缓和曲线 l_1, l_2 , 调整圆心坐标后, 进行全曲线的拨量计算, 得出一个 $f = \sum |V|$ 。如此可算得多个 f , 选择 $f = \sum |V| = \min$ 的那一组 R, l_1, l_2, X_0, Y_0 。

4.4 缓和曲线长度的选配

(1) 始端缓和曲线长度的近似值：

$$l'_1 = \sqrt{24Rp'_1} \quad (4)$$

式中 p'_1 ——圆曲线的内移量 $p'_1 = Y'_1 - R_0$ 。

将 l'_1 取整为 l_1 , 计算相应的圆曲线的内移距 p_1 和圆心坐标 Y_0 。

(2) 终端缓和曲线长度的近似值：

$$l'_2 = \sqrt{24Rp'_2} \quad (5)$$

$$p'_2 = (X_n - X'_0) \sin \alpha + (Y_n - Y_0) - R \quad (6)$$

式中 X_n, Y_n ——曲线测量终点的坐标；

α ——曲线的转角。

每选出一个曲线半径和缓和曲线长度, 根据测量的曲线转角, 都可算出各曲线点的拨量, 经过反复比较, 确定最佳曲线半径和缓和曲线长度。

4.5 拨距计算

(1) 圆曲线点的拨量为测点的计算半径和选择半径之差, 即

$$v_i = [(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2]^{1/2} - R \quad (7)$$

(2) 缓和曲线上的拨量, 则为按选择的曲线半径和缓和曲线长度计算的 Y 值与测量的 Y 值(归化为 HZ 或 ZH 坐标系)之差。

4.6 特殊曲线(连续曲线中短夹直线)的处理方法

在靠近段加直线的缓和曲线部分, 如发现拨距突然变大而且符号又基本相同时, 通过人机对话提示作业人员短夹直线边存在方向不准, 应采取扭转方向来减少拨距。在不改动原始测量数据文件的前提下, 输入扭转角度达到预期效果。

5 相应软件系统的主要功能

软件开发重于后处理软件曲线整正计算模块的开发。GPS 手簿和后处理软件结合形成一个完整的系统, 两者密不可分, 相辅相成(见图 2)。

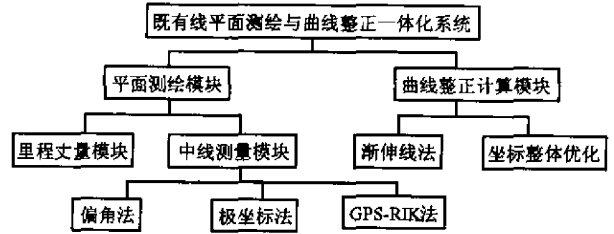


图 2 既有曲线整正测量软件主要功能模块

手簿完成外业数据采集, 为后处理软件提供进行曲线整正计算的原始数据, 而后处理软件又为手簿提供相应的参数, 为外业数据采集提供数据基础。另外后处理软件对手簿软件所采集的原始数据进行分析处理, 为用户提供最终成果报表。

6 结 论

既有线曲线整正测量是铁路既有线提速改造和工务部门大修设计的主要任务之一。随着铁路既有线提速改造进程的加快, 保证作业人员安全, 提高作业效率是当务之急。

笔者利用 GPS-RTK 技术, 不仅保证作业人员工作时的安全, 同时大大提高测量作业的质量和效率。通过理论与实践相结合, 有以下结论：

(1) 实际作业表明, 采用 GPS-RTK 技术测量的点位精度可达厘米级, 各放样点之间不存在误差累积, 内符合精度较好。在测量精度方面完全满足既有线曲线整正测量的技术要求。

(2) 采用 GPS-RTK 技术进行测量时, 基准站的安置是进行实时动态测量的关键之一。要求采用准确的 WGS-84 坐标计算一套转换参数, 同时保证基准点周围无障碍物阻挡卫星信号。

(3) 采用 GPS-RTK 技术进行测量不受气候条件的限制, 克服了传统的作业方法要求置镜点与被测点之间必须通视, 作业受天气影响的不足。

(4) GPS-RTK 仪器野外操作简单, 容易使用。随着 GPS 性价比的逐步提高, 它将会逐步广泛应用于铁路既有线整正测量中。在保证作业人员安全的前提下, 大大提高作业效率。

(收稿 2005 年 1 月, 作者地址 北京市西直门外上园村 3 号 北京交通大学土建学院交环所 邮编 100044)

参 考 文 献

测绘信息网 www.othermap.com 网友测绘人提供

- 李家稳, 张海燕, 曾学贵等. 任意点置镜测量既有曲线方法的研究[J]. 中国安全科学学报, 2002, 12(3): 51~54
- 刘基余等著. 全球定位系统原理及其应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1999
- 韩峰, 李斌, 王保成. GPS-RTK 技术及其在铁路测量中的应用[J]. 兰州铁道学院学报, 2003, 22(6): 69~72
- 铁道部第二勘测设计院主编. 铁路测量手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997