

GPS 基线解算与质量控制

王国祥

(铁道第二勘察设计院, 四川成都 610031)

Processing and Precision Control of GPS Baselines

Wang Guoxiang

摘要 以 Trimble 随机商用软件 Trimble Geomatics Office 为例,详细介绍了铁路工程控制网 GPS 基线解算的质量控制指标,分析了影响 GPS 基线解算质量的主要因素及其判定方法,并对如何消除这些因素影响给出了相应处理措施。

关键词 GPS 基线解算 预处理 观测方程 平差

基线解算是 GPS 静态相对定位数据后处理过程中的重要环节,其解算结果是 GPS 基线向量网平差的基础数据,其质量好坏直接影响到 GPS 静态相对定位测量的成果和精度。基线解算的基本流程如图 1 所示。

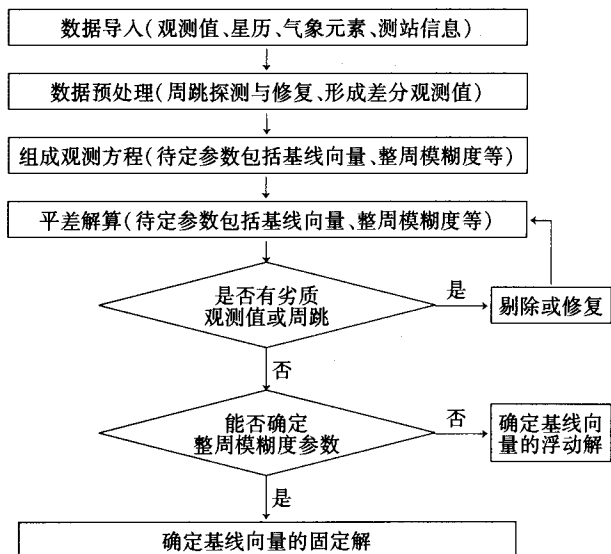


图 1 GPS 基线解算基本流程

影响 GPS 基线解算精度的原因很多,也很复杂。概括起来,影响基线解算质量的因素有观测值的质量、观测的几何条件、卫星轨道数据的质量及数据处理的模型和方法等。基线解算的误差来源主要为 GPS 卫

星星座误差、GPS 卫星信号传播误差及观测过程中产生的误差。本文主要阐述 GPS 卫星信号传播和观测引起的误差及消除措施。

1 基线解算质量控制指标

基线向量质量控制的目的是为后续数据处理分析提供合格的基线向量结果。基线质量控制指标可分为相对指标、半相对指标、绝对指标。相对指标只是对解算质量的一般性评价,无法准确判定解算质量合格与否;半相对指标可确定质量是否不合格,却无法准确判定质量是否合格;绝对指标可确切判定质量合格与否。

1.1 相对指标

(1) 单位权方差因子(参考因子) $\hat{\sigma}_0$

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{f}}$$

其中 V ——观测值的残差;

P ——观测值的权;

f ——自由度。

单位权方差因子以 mm 为单位,该值越小,表明基线的观测值残差越小且相对集中,观测质量也较好,可在一定程度上反映观测值质量的优劣。

(2) 观测值残差的均方根 RMS

$$RMS = \sqrt{\frac{V^T V}{n}}$$

其中 V ——观测值的残差;

n ——观测值的数量。

RMS 表明了观测值与参数估值间的符合程度,观

收稿日期:2005-10-26

作者简介:王国祥(1973—),男,1996年毕业于西南交通大学航空摄影测量与遥感专业,工程师。

测质量越好, RMS 就越小。

(3) 数据剔除率

基线解算过程中, 当观测值的改正数大于某一阈值时, 则认为该观测值含有粗差, 就需要将含有粗差的观测值剔除, 被剔除的观测值与观测值总数的比值即为数据剔除率。数据剔除率从一定程度上反映了原始观测值的质量, 该值越高说明观测值的质量越差。GPS 测量技术规范一般规定, 同一时段观测值的数据剔除率应小于 10%。

(4) 比率 $RATIO$

$$RATIO = RMS_{\text{次最小}} / RMS_{\text{最小}}$$

由公式可看出: 该值大于或等于 1, 反映了所确定整周未知数的可靠性, 值越大, 可靠性越高。它既与观测值的质量有关; 也与观测条件的好坏有关, 通常观测

时卫星数量越多, 分布越均匀; 观测时间越长, 观测条件也越好。

(5) 相对几何强度因子 $RDOP$

$$RDOP = \sqrt{\text{tr}(Q)}$$

$RDOP$ 值的大小与基线位置和卫星在空间的几何分布及运行轨迹有关, 当基线位置确定后, $RDOP$ 值就只与观测条件有关, $RDOP$ 值的大小取决于观测条件的好坏, 不受观测值质量好坏的影响。目前 $RDOP$ 值只能由数据处理后获得。

以上是判定基线解算质量的相对指标, 它们只是在一定程度上反映观测值质量的优劣, 还无法判定基线解算质量是否合格。图 2 是 TGO 基线解算完成后显示的基线解算质量相对指标。

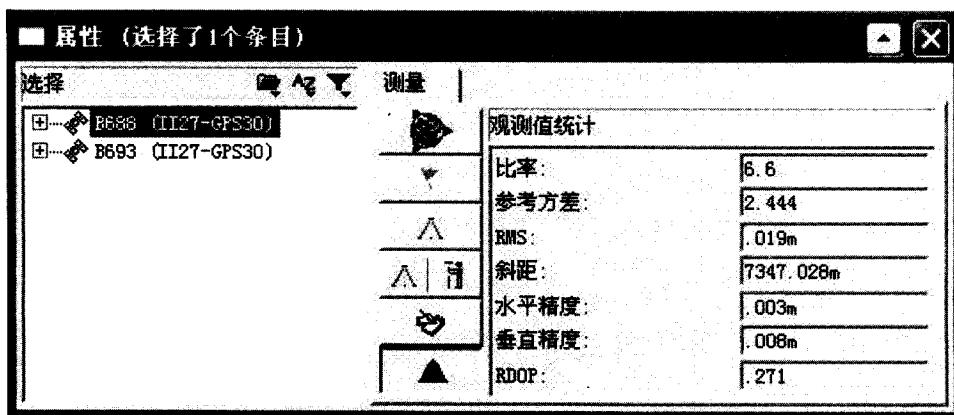


图 2 基线解算质量相对指标

在 TGO 软件中可以通过修改基线解算高级参数设置来改变验收域值, 基线解算过程中可以根据设置的域值, 对 RMS 、比率和参考方差检查结果的组合进行质量验收, 以标定基线解算结果为通过/标记/失败状态, 一般情况下, 没有必要对验收域值进行修改。通过 TGO 基线解算高级参数设置来改变相对指标验收域值的界面 (如图 3 所示)。

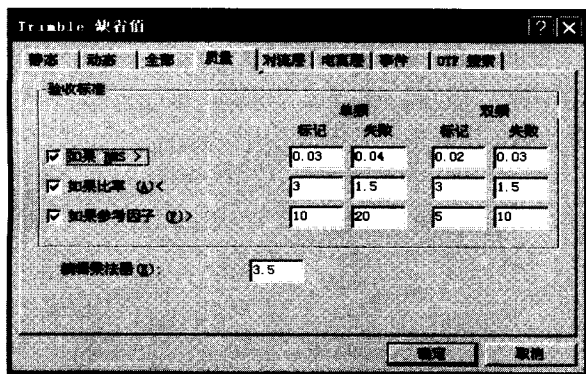


图 3 相对指标验收域值

1.2 半相对指标 (同步环闭合差)

同步环闭合差指同步观测基线所组成的闭合环闭合差。从理论上讲, 同步观测基线间具有一定的内在联系, 从而使同步环闭合差三维向量总和为 0。只要基线解算数学模型正确, 数据处理无误, 即使观测值质量不好, 同步环闭合差也有可能非常小。所以, 同步环闭合差不超限, 不能说明环中所有基线质量合格; 同步环闭合差超限肯定表明闭合环中至少有 1 条基线向量有问题。铁路工程 GPS 平面控制网同步环闭合差应符合《全球定位系统 (GPS) 铁路测量规程》(TB10054—97) 式 3.6.4—1 的要求。就理论而言, 在同一观测时段所形成的闭合环称为同步环。但实际观测过程中, 由于各种原因, 如某台仪器未能准时到位, 不同仪器接收不同卫星数据或观测过程中仪器、信号出现短暂故障等, 同一组观测没有同时段观测, 严格讲不能称同步观测, 也就不能称为同步环。但在实际作业中这样的环闭合差还是有很大的参考价值。

1.3 绝对质量指标

(1) 异步环闭合差

异步环闭合差指相互独立的基线组成闭合环的三维向量闭合差。异步环闭合差满足限差要求,说明组成异步环的所有基线向量质量合格;当异步环闭合差不满足限差要求时,则表明组成异步环的基线向量中至少有 1 条基线向量的质量有问题。若要确定哪些基线向量不合格,可以通过多个相邻的异步环闭合差检验或重复观测基线较差来确定。铁路工程 GPS 平面控制网异步环闭合差应符合《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》式 3.6.4—2 的要求。在实际作业中,将各基线同步观测时间少于观测时间的 40% 所组成的闭合环按异步环处理。

(2) 重复观测基线较差

重复观测基线较差指不同观测时段,对同一条基线进行重复观测的观测值间的差异,当其满足限差要求时,说明基线向量解算合格;当不满足时,则说明至少有一个时段观测的基线有问题,这条基线可通过多条复测基线来判定哪个时段的基线观测值有问题。铁路工程 GPS 平面控制重复观测基线较差应符合《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》式 3.6.4—3 的要求。

绝对质量指标是判定基线质量合格与否的重要参数,在进行网平差之前一定要进行这两项指标的计算与检验,一般情况下,网中所有基线均应进行异步环闭合差检验。

2 影响基线解算质量的因素及其判别

2.1 起算点坐标不准确或精度不高

GPS 相对定位对同一卫星而言,星历误差对不同观测站同步观测的影响具有很强的相关性,在求坐标差时,共同的影响可自行消除,尤其是基线较短时,效果更明显。起算坐标的偏差对基线向量偏差的影响可按(1)式进行估算

$$\frac{db}{b} \approx \frac{ds}{p} \quad (1)$$

其中:db 为基线向量偏差,b 为基线长度,ds 为起算坐标的偏差,p 为 GPS 卫星轨道高度。对于 5 km 长的基线,GPS 卫星高度为 22 000 km,按《GPS 测量规程》,B、C 级网起算坐标精度不低于 20 m,这里 ds 取 20 m 计算,则 db=4.54 mm。可见,这一误差的影响是不容忽视的。

2.2 少数卫星观测时间太短

若卫星观测时间太短,将导致这些卫星的整周末

知数无法准确确定。对基线解算而言,对参与计算卫星整周末知参数没有准确确定的话,将严重影响该条基线解算的质量。要判别观测时间长短,可查看观测数据文件中每个卫星观测数据的数量,或直接查看卫星可见性图(如图 4 所示)。

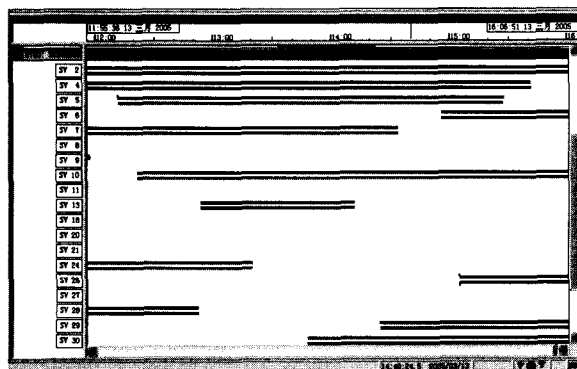


图 4 TGO 基线卫星可见性图

2.3 个别卫星或个别时间段周跳太多

周跳太多致使周跳修复不完善,从而使整周末知数确定困难,影响到基线解算质量。周跳可以通过基线解算报告中残差图来判别。

2.4 多路径效应

多路径效应比较严重时,将导致整周末知数确定困难,影响到基线解算质量,多路径效应对基线向量在水平方向上影响较大。

2.5 对流层或电离层的折射

对流层或电离层的折射影响较大时,将导致整周末知数确定困难,影响到基线解算质量,对流层或电离层折射对基线向量在垂直方向上影响较大。多路径效应、对流层或电离层折射影响均可通过基线解算报告中残差图进行判别。与周跳残差不同的是,当多路径效应严重、对流层或电离层折射影响过大时,观测值残差不是象周跳未修复那样出现整数倍的增大,而只是出现非整数倍增大,一般不超过 1 周,却又明显大于正常观测值的残差。

卫星受多路径效应或对流层、电离层折射影响的情形如图 5 所示。

图 5 所示的残差图表明,卫星 28 和卫星 4 受多路径效应或对流层、电离层折射影响。

3 改善基线解算质量的措施

3.1 起算点坐标精度不高

采用国家 A、B 级 GPS 控制点或行业等级 GPS 控制点的 WGS-84 坐标,根据国家测绘主管部门提供的

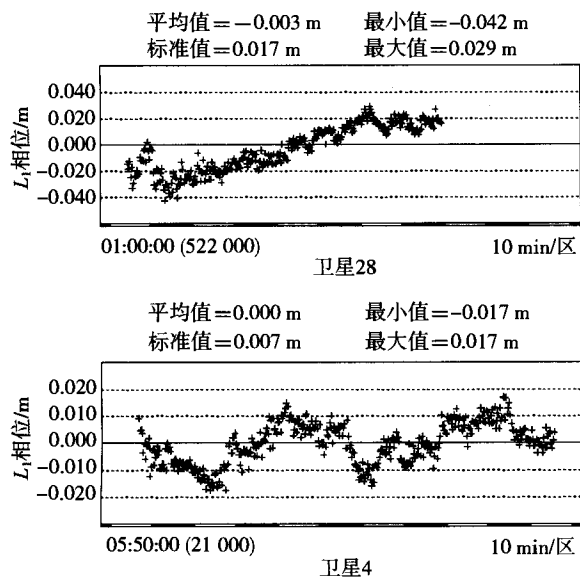


图 5 卫星残差图

转换参数,将国家高等级控制点坐标转换为 WGS-84 的坐标值,以及 2~3 小时 C/A 码伪距和广播星历绝对定位结果的 WGS-84 坐标平均值作为起算坐标。当进行整网基线解算时,所有基线起算点的坐标可由一个高精度的基本起算点衍生而来,使基线向量结果具有相同的系统偏差,这种系统偏差可通过网平差处理时引入系统参数的方法加以消除。另外,对于高精度控制网,可采用精密星历来提高基线解算精度。

3.2 观测时间短

如果一条基线同步观测时间较短,所测卫星几何分布变化很小,基线解的可靠性就比较差。为提高解的可靠性,所需的观测时间就较长;同时,电磁波传输中的多路径误差也要求适当延长观测时间。经验表明,在不出现周跳情况下,15~30 min 的有效同步观测是必要的。但对于短基线而言,观测时间过长,卫星时钟差引起的模糊度求解误差也越大。铁路工程 GPS 测量作业观测时间应分等级满足《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》表 3.5.1 的要求。

3.3 个别卫星或个别时间段周跳太多

若个别卫星或个别时间段周跳太多,可采取删除周跳太多的时间段或卫星观测值的办法来尝试改善基线解算质量。另外,还可根据测区卫星可见性预报表改变观测时段,避开周跳严重的时间段。

3.4 多路径效应

多路径效应一般造成观测值残差偏大。因此,可以通过减小残差阈值的方法来剔除残差偏大的观测值,也可以采用删除多路径效应严重的时间段或卫星

的方法,减小多路径效应对基线解算的影响。但要更好地解决多路径效应问题,在选点埋石时就应该选择视野开阔的地方,尽量避开高大建筑物、大面积水域和其他容易造成多路径效应影响的位置。

3.5 对流层或电离层的折射

解决对流层或电离层折射较大对基线解算质量的影响可以采取以下几种方式:

①改变卫星截止高度角,剔除易受对流层或电离层折射影响的低高度角观测数据。但这种方法具有一定的盲目性,因为高度角低的观测数据不一定受对流层或电离层折射影响就大。

②改变基线解算的控制参数。TGO 为我们提供了不同的改正模型,可改变估计天顶延迟参数来消除对流层折射的影响;同时 TGO 还提供了改变模糊度解算通过基线长度的阈值。

③改变观测时间段,避开对流层或电离层折射影响严重的时间段。

4 结束语

(1)对于基线解算质量的判定,比较简单实用的方法是在条件允许时利用全站仪重复观测基线,看能否满足重复观测基线较差的限差要求。

(2)观测条件是影响基线解算质量的基本因素。观测条件指观测点位置和观测时段。观测点位置主要受多路径效应及无线电干扰的影响;因此,选点埋桩时就应该尽量避开高大建筑物、大面积水域、大功率无线电发射装置等不利于 GPS 作业的地方。观测时段的选择主要根据卫星星历预报图和卫星星座相对测区的数量和几何分布。作业时应选择最佳观测时间。

(3)基线解算时采取删卫星、截时段、改变卫星截止高度角以及改变控制参数等措施时,一定要慎重,不能简单处理,要多比较和试算,选择最佳质量的解算成果。有时,浮动解比固定解质量还要好。

参 考 文 献

- [1] 李征航,黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005
- [2] 丁克良等. 快速星历与精度星历对基线解算和平差结果的影响[J]. 铁道勘察,2005,31(2)
- [3] TB10054—97 全球定位系统(GPS)铁路测量规程
- [4] 王贵文,范东明. 基于小波变换的 GPS 周跳探测方法[J]. 铁道勘察,2004,30(2)
- [5] 刘大杰,施一民,过静珩等. 全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M]. 上海:同济大学出版社,1996
- [6] 周忠谋,易杰军. GPS 卫星测量原理与应用[M]. 北京:测绘出版社,1992