

# GPS 在铁路测量中应用的讨论

路伯祥\*

(西南交通大学)

**提 要** 作者结合部科研项目研究,探讨了 GPS 技术基本原理及方法,对其在铁路控制和高程测量等方面的应用提出了有益的看法。

**主题词** GPS 测量 应用

GPS 在大地测量、工程测量和航空摄影测量中应用所呈现出的经济效益和社会效益,越来越引起测绘界的关注。铁路部门虽然起步晚一些,但已有三个单位引进了 GPS 接收机,也取得了初步成果。1990 年铁道部建设司建立了“GPS 在铁路隧道控制测量中的应用”和“GPS 在铁路线路控制测量中的应用”两个科研项目,这是很及时的,西南交通大学是参加单位之一。由于接收机进得晚,到 1993 年才开展了实质性工作,现已取得初步成果,还没有鉴定,对研究成果还不能发表。我们希望能尽早鉴定,成熟内容及时推广,不太成熟的方面继续进行试验研究。本文只能概括介绍一些情况及我个人的一些体会。

## 1 坐标转换方法及其评述

铁路线路测量和航外控制测量均要求将控制点的坐标纳入我国大地坐标系,而 GPS 观测成果为 WGS-84 地心坐标系,因而在 GPS 应用中有一个坐标转换问题。在铁路测量中应用时,既可作为常规导线的控制,也可用于代替导线测量。不管哪种形式,坐标转换方法是相同的。坐标转换似乎不是问题,数学模型许多文献上都有,生产接收机的公司也配有坐标转换软件,国内不少单位也有自己研制的软件,但在我们实践中却遇到一些值得考虑的问题。下面根据我们的实践会谈几点看法,也就是对各种转换方法及其精度估计作一个评述。

### 1.1 坐标转换方法及其评述

(1)利用适合全国各地的三维坐标转换参数进行转换(方法 1)。

目前有的单位正在寻求在三维中进行转换的七个转换参数。如果这种转换参数是准确的,

\* 铁道部科研项目研究体会。本文收稿日期:1995—04—06 路伯祥 副教授 西南交通大学铁建系 成都 邮编:610031

且适用于全国各地,则这种方法是最简单的,从理论上讲也不需要任何已知点。但是,这种转换参数能否准确求出,能达到怎样的精度,还有待于实践回答。我们知道,GPS 观测的绝对精度不高,使用精密星历时其精度约为  $1\sim 2\text{m}$ ,一般只能达到约  $10\text{m}$ ,在执行 SA 政策时甚至要降低到  $100\text{m}$ ,这样,七个转换参数中的三个平移参数等于不起作用,有用的仅是其余四个参数。由此看来,为了解决绝对定位,至少仍需要一个已知点。此外,求转换参数的精度若估不准确,则转换后坐标的精度也难以正确估计。

(2)利用部分已知点求解适用局部测区的三维坐标转换参数进行转换(方法 2)。

这种方法与方法 1 基本相同,区别是在测区内至少要有三个已知点,求得的转换参数仅适用于该测区。求解转换参数时要用到已知点相对于我国参考椭球的大地高,而它又难以准确求得,因而这种方法没有适用价值。

(3)在高斯平面内求解平面坐标转换参数进行转换(方法 3)。

这是目前采用较多的坐标转换方法,计算简单又避免了上面两种方法的缺点。首先依据 GPS 观测数据求出对应于 WGS-84 椭球的高斯平面坐标  $(x, y)_{84}$ ,利用至少两个已知点(公共点)在我国高斯平面坐标系中的坐标  $(x, y)_{\text{局}}$ ,组成转换方程,求解平移、旋转和缩放四个转换参数,然后对各待定点进行坐标转换。

这种方法的缺点是由于已知点的误差难以正确已知,也就不能求出转换参数的误差,因此,转换后坐标的精度也难以正确估计。在我们实践中还发现一个问题,当已知点少或分布不合理时,可能使转换后的坐标产生较大偏差,应给予特别注意。

(4)在高斯面上二维约束处理方法(方法 4)。

在测区内选一个已知点作为基准点,首先依据该点在我国大地坐标中的大地坐标  $(B, L)$  及近似大地高  $h$ ,应用我国参考椭球元素,求出该点在我国参心三维直角坐标中的坐标  $(x, y, z)_{\text{参}}$ 。其次,依据各 GPS 观测向量  $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{84}$ ,推算出各点的三维直角坐标,作为三维无约束平差的近似值。然后,仍采用我国参考椭球元素,由各点三维坐标平差值计算出各点的大地坐标  $(B, L)$  及对应的高斯平面坐标  $(x, y)$ 。这样的处理方法相当于解决坐标平移,也顾及了两种椭球的差异。剩下两个坐标系在尺度和方向方面的差异,则利用两个以上的已知点进行二维约束平差的方法予以解决。这种方法也存在精度难以估计问题。

(5)附有旋转和尺度参数的二维约束处理方法(方法 5)。

在方法 4 中,两个坐标系在尺度和方向方面的差异在平差中当作观测误差处理了,这给正确地作出验后精度估计带来困难。为解决这一问题,可在方法 4 的约束方程中附加上旋转和尺度两个参数,这样可望取得较合理的验后精度估计。

在我们的实践中出现过这样的情况,当仅有两个已知点时,这种方法求得的各坐标差改正数为零,即在两个已知点间产生的不符值全部由两个附加参数吸收,使得验后精度为零,这也是这种方法的缺点,应予以注意。

(6)仅用一个已知点的处理方案(方法 6)。

这是方法 4 的一个特例,即只有一个已知点没有约束条件的情况。这种方法仅解决了平移及椭球的差异,所得结果仍包含着两种坐标系在方向和尺度的差异。在寻找已知点比较困难的测区,这种方法是具有实用价值的,适用多大的测区视要求的精度而定。下面提供两个实例:

两已知点长度 (km)	GPS 测量结果与已知值比较	
	长度相对误差	坐标方位角之差
8	1 : 38 000	0. "38
27	1 : 26 000	0. "41

这种方法还有一个用途,即当选定一个已知点作为基准点,将其他已知点均作为待定时,可以查看出这些点 GPS 观测成果与原已知值的不符程度,借以分析各已知点的可用性。

以上介绍的六种方法中只有后四种比较适用。当测区已知点个数较多时,采用方法 3 或方法 5 比较好。方法 3 对已知点的误差有配置作用,使 GPS 观测精度可能少受损失,但在各测区衔接处可能产生不协调。当已知点较少且分布不理想时,采用方法 4 比较保险。方法 6 的优缺点如上所述。

1.2 精度估计问题

当 GPS 观测成果需要纳入我国大地坐标系时,由于已知点的精度无法准确知道,使得用 GPS 观测的点经纬坐标转换后的精度难以进行正确的估计。这个问题是一个有待研究解决的问题。根据我们的实践体会,提出以下几点看法。

(1)依据 GPS 网三维无约束平差的验后精度,用误差传播理论求得的高斯平面坐标的精度,基本上反映了 GPS 观测的实际精度,可以用来评价 GPS 观测的质量。本文方法 6 可按这种方法进行精度估计。当已知点较多且分布合理时,方法 3 也可按此方法近似作出精度估计。

(2)一般情况下,方法 4 所得的验后精度比 GPS 的实际精度低得多,原因是已知点间的不符值不仅包含两种误差,还含有两种坐标系在方向和尺度方面的差别,因此,这样的验后精度不能用来评价 GPS 的观测质量。

(3)方法 5 在约束平差中附加了旋转和尺度两个参数,因此这个方法中求得的观测值(常用坐标差)改正数,理论上讲仅是两种观测误差,由这些改正数计算的验后精度,应该可以作为 GPS 观测的一个精度估计。但是,在我们多次实践中出现过这种情况,只要是仅有两个已知点,求得的观测值改正数均为零,因而验后精度为零,无法估计。出现这一情况的原因,是在两个已知点间所产生的不符值,全部当作方向和尺度系统差别为两个附加参数所吸收。这是应该引起我们注意的,因为寻找已知点比较困难,仅用两个已知点的情况常会遇到。当已知点较多时,可望得到较为合理的验后精度。但需在实践中进一步进行验证。

(4)实际工作中对已知点的质量检验应给予高度重视,否则,既影响到处理成果,在精度估计方面也说不清楚,更谈不上准确。

2 在建立独立平面控制网中的应用问题

铁路隧道、桥梁控制网均为施工服务的,为便于计算施工放样数据,更重要的是为了与施工测量取得一致,一般均建立独立的坐标系,不需要纳入国家高斯平面坐标系,因此也不需要已知国家三角点作为坐标转换的依据。目前隧道控制网虽然也与线路控制点联测,也算有一

套高斯平面坐标,那仅是挂上而已,本质上仍是独立坐标系。在此情况下,GPS 观测数据可以得到充分合理的使用,精度计算也比较容易,采用的数据处理方法应充分考虑到这一特点。

## 2.1 数据处理方案及评述

### (1)“测边网”方案(方案 1)

GPS 观测的各点间斜距是准确的,而且斜距是与坐标系的选择无关的几何量,因此,将各点斜距投影至施工高程面的方法选择正确,则所组成的“测边网”方案应是最理想的方案,因为它与常规地面测量建立的控制网是一致的。这个方案的缺点是要求有一定的多余观测量,构成较强的网形,还要已知点的高程。

### (2)“高斯投影”方案(方案 2)

这里仅是应用高斯投影原理,所得结果与国家高斯平面坐标不同,因为它的计算面不是参考椭球面,中央子午线的经度是测区各点的平均经度。这个方案的优点是对 GPS 网形没有要求,也不需要知道各点的高程。它的缺点是计算中是以法线为准的,和将来施工放样时以垂线为准存在系统差别。为解决这一问题,在布设 GPS 点时应有一定的要求。

### (3)“边角网或导线网”方案(方案 3)

GPS 观测可以直接获得大地经纬度,依据大地测量主题反算公式可以计算出各点间的大地线长和大地方位角。若将大地线长归算到施工面上的长度作为“水平距离”,将各方向大地方位角之差作为“水平角”,由此可组成“边角网或导线网”,选定起算点及坐标轴方向并平差后即得到独立平面坐标系中的坐标。这一方案的优缺点与“高斯投影”方案相同,当隧道不太长时,两种方案等价。

## 2.2 精度和问题

### (1)精度估计方法

因为没有外部约束条件,可以根据验后精度进行估计,不象纳入国家坐标系那样说不清楚。依据 GPS 网三维无约束平差的验后精度,用误差传播理论求得的各点二维坐标误差及各点间方向误差,基本上反映了 GPS 观测的实际精度,本文方案 2 和方案 3 可以用这种方法进行精度估计。

“测边网”方案在二维平差中的验后精度和常规光电测距形成的测边网相同,是依据不符值求定的精度,比较可靠。

### (2)实践中获得的精度

我们作过一个 8km 的隧道控制测量,用“测边网”求得的最弱点的坐标中误差为 2.5cm,这个精度是能满足贯通误差要求的。

与常规精密导线相比,在隧道两端部,点位坐标最大相差 1cm,在中部相差达 4.5cm,这些点恰好是导线的最弱点。

### (3)注意问题

施工放样时是以垂线为准的,如果不用测边网形式,GPS 测量的成果是以法线为准的,两者存在系统差别。如果采用测边网形式,对布点有特殊要求,且要已知各点较准确的高程,使得

GPS应用产生局限性。虽然对解决垂线和法线系统差别的影响,我们提出了一个方案,但还没有经过实例验证。

### 3 用于测定点位高程的方法和问题

GPS用于测定点位高程效益最显著,但应用也最困难。所谓困难,是指很难达到水准测量的精度。例如在隧道控制测量中两开挖口间洞外高差测量的中误差要求小于10mm,用GPS是无法达到这一精度要求的。在线路基平测量中每2km要建立一个水准点,水准测量的精度要求满足 $30\sqrt{L}$ ,即1km的闭合差为3cm,用GPS也难以达到这一要求,特别是在山区。在较长距离内用GPS测定两点间高差有可能满足 $30\sqrt{L}$ 要求。此外,在解决航测外控点高程时,用GPS达到精度要求是有希望的。

用GPS测定点的高程的精度主要依赖于高程异常测定的精度。测定高程异常的方法有物理大地测量和几何方法两大类,物理大地测量方法不适合于工程测量,在工程测量中应用几何方法比较现实。几何方法也称为拟合法,要求有一定数量已知高程点,用某一数学曲线或曲面代替似大地水准面。由于似大地水准面不规则,不管用何种数学面去拟合,总不会很密贴,总有在局部产生稍大的偏差现象。在工程测量中应用时,若确定的精度偏严,是有风险的,因此,在使用中必须有安全系数,则应用就有局限性。

#### 3.1 对若干拟合函数模型的评述

我们实验过曲线拟合,曲面拟合,双B样条拟合,试验地区有山区,也有高山区,得出以下几点体会:

(1)采用通常的面拟合函数时,在似大地水准面平缓地区,三参数平面拟合比较适用,六参数二次曲面拟合并不好。在似大地水准面起伏较大的地区,只能采用六参数二次曲面拟合。

(2)对于线状测区,当线路转角较小时,二次曲线拟合效果优于曲面拟合。

(3)双B样条函数拟合既适用于线状测区,也适用于面状测区,在我们的试验中拟合的精度也最好。

#### 3.2 拟合法所得高程的精度概况

用已知高程点作为检查点,求拟合高程与已知高程之差值的中误差作为估计精度如下:

点位高程在500~800m的测区,似大地水准面平缓,中误差为1.6cm,最大2.2cm;

点位高程在1500m路基上,似大地水准面平缓,中误差为2.5cm,最大4.6cm;

点位高程900~2600m,似大地水准面变化大,中误差为10.0cm,最大16.9cm。

### 4 对今后开展试验研究的建议

(1)在线路、航外控制测量中用于导线测量的控制中,主要应研究准确的精度估计问题,以便制定初步的作业细则,便于生产中应用。若用GPS代替导线测量时,除了也有一个精度估计问题外,还有一个如何适当地引用已知点的问题。因为用GPS代替导线测量,测定的点多,距离短,只能用快速静态定位方法,而这种方法每一测段不能超过20km,在20km长度内很难

使用较多的已知点。

(2)在隧道控制测量中应该再作一个理想的试验,希望隧道长度能长于 10km;加强地面导线的强度,以利于准确的精度比较;尽可能地考虑法线和垂线的系统差别;研究贯通误差预估方法并作实际贯通误差检验。

(3)继续作高程拟合实验,进一步研究保证精度的措施及适用的范围。

## DISCUSSION ON APPLICATIONS OF GPS IN RAILWAY SURVEY

Lu Boxiang

Architectural Engineering Dept. , Southwest Jiaotong University

**Abstract** Combined with the research work of MOR's scientific research projects, the author explores the basic principles and the methods of the GPS technique. Useful conceptions of its applications on railway control survey and altimetric survey are proposed.

**Keywords** GPS(Global Positioning System); survey; application

-----  
(上接 21 页)

## SCIENCE ON SOUTH-NORTH PASSAGE AT WEST AREA

Li henian

First Survey and Design Institute of MOR

**Abstract** This paper describes necessity that quicken construct new south-north passage of west area, expounds and proves importance of Xi'an-Ankang railway in network, and suggests the idea that influence of construction on transport capacity under circumstances of building second line nearby electrified railway in mountain area must be considered as well as conditions of increase second line and extend capacity during design new single track main railway should be considered too. Its viewpoint contributes valuable suggestions for making policy and designing.

**Keywords** west area; South-North passage