GPS 控制站控制半径探讨

DISCUSSION ON CONTROL RADIUS OF GPS CONTROL STATION

王正科　　杨志刚　　董义国　　姜夫爵

WangZhengKe YangZhiGang DongYiGuo JiangFuJue

陕西省地质矿产勘查开发局第二综合物探大队

The Second Comprehensive Geophysical Survey,Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and development

摘要：本文对于 GPS 基站控制半径进行一些讨论，提出一些关于 GPS 基站控制半径大小的观点。通过 200 个以上测点由不同控制站分别计算其平面坐标和高程，然后计算各个测点相对于不同控制站而得到结果的差值，利用回归分析和正态直方图两种图示方法，展现差值与测点至控制站之间的距离的相互关系，得出一些看法，以期对后续工作的部署提供些许依据。

ABSTRACT: This paper discusses mainly on the control radius of GPS control station and puts forward some suggestions about the size of the control radius. Different control stations calculate the plane coordinate and elevation of over 200 survey points. And then the difference value of each point to different control stations can be worked out. After all these calculations the mutual relationship between the difference value and the distance of survey points and control station are got through the regression analysis and normal histogram method. Finally the author gets some conclusions expecting to offer some reference for the following work.

关键词：GPS 基站　控制半径　距离与高程差线性回归关系　相关系数

KEYWORDS: GPS control station，Control Radius，Distance and height difference linear regression，Correlation coefficient

前言　由于重力工作的特殊性，其对重力测点的点位、高程的要求非常严格，即对测点的平面位置和海拔高程具有特殊的要求：①平面位置误差较大时，会导致重力工作的正常重力值改正误差较大；②高程误差较大时，会导致重力工作的高度改正和中间层改正误差亦较大。进而由于两者误差的存在，引起重力测量成果的准确性降低，从而引起后续资料分析的准确程度减小。因此，不论在何种比例尺的重力测量工作中，对于测地工作的精度要求非常高，以致现行与重力测量有关的各种《规程》中对测地工作均提出特殊要求。

一、问题提出　由于现行的测地工作以全球定位系统为主，它不仅测试速度高，且有利于携带，非常方便人们的使用。

现行的 GPS 测试结果解算包括时事差分系统和事后差分系统两种。其中时事差分系统是在测试过程中通过测试系统进行时事误差调整，其适合于较小点距的大比例尺（小面积测量）工作，可以时事监测测试精度并进行调整；而事后差分系统则是在测试过程中通过基站和流动站的同时测量，事后对测试误差进行调整，其适合于大点距的小比例尺（大面积测量）工作。本文主要是对事后差分系统工作中 GPS 控制站的控制半径问题加以探讨，为以后工作部署提供一些参考依据。

二、工作方法　事后差分系统的工作方法：一般采用不少于两台 GPS 接收机进行同步观测，其中一台放置在基站上进行静态测量，而另一台作为流动站在测点上进行静态观测，观测完毕后对两台仪器的测试结果利用 GPS 随机软件进行事后差分计算，以计算出流动站的平面位置和高程。

本文是在实际工作中对二百个以上的测点，通过不同基站的事后差分计算得出的结果，分析计算和统计方法如下：

1. 线性回归法

线性方程：$h = bl + a$

已知一组 l 及对应 h 数据，则系数 a 、b 的计算公式为：

$$b=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(h_i-\overline{h}\right)\left(l_i-\overline{l}\right)\right]}{\sum_{i=1}^{n}\left(l_i-\overline{l}\right)^2},\quad a=\overline{h}-b\bullet\overline{l}$$

2. 相关分析法

相关系数计算公式：$$r=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(h_i-\overline{h}\right)\left(l_i-\overline{l}\right)\right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(h_i-\overline{h}\right)^2\sum_{i=1}^{n}\left(l_i-\overline{l}\right)^2}}$$

以上式中：h_i 为坐标差或高程差；$\overline{h}$ 为坐标差或高程差平均值；l_i 为与基站距离；$\overline{l}$ 为距离平均值；r 为相关系数。

对于相关系数，当$|r|\geq 0.8$时为强相关；当$0.3\leq|r|<0.8$时为弱相关；当$|r|<0.3$时为不相关。

3. 正态直方图统计法

以数据（高程差）之数据范围为直方图之界线，然后分组绘制直方图，观察坐标差或高程差的分布规律，符合正态分布则数据的随机性强，否则，则随机性弱（不符合统计规律）。

①组距确定：$c=\frac{h_{\max}-h_{\min}}{m+1}$

②每组起始值确定：$\Delta h_i=h_{\min}+(i-1)c$

③常见值计算：以呈现频率最大的组为基准，结合两侧的呈现频率计算常见值：

设第i组为频率最大，其频率为ν_i，则第$i-1$、$i+1$组的频率分别为ν_{i-1}、ν_{i+1}，那么常见值为：

$$\Delta h=\Delta h_i+\frac{(\nu_i-\nu_{i-1})\bullet c}{(\nu_i-\nu_{i-1})-(\nu_{i+1}-\nu_i)}$$

式中：ν_i，$i=1,2,\ldots\ldots m$为频率；Δh_i，$i=1,2,\ldots\ldots n$为组起始值；

三、实测和回归、统计结果

1. 1#和 3#基站测试及统计结果

通过该两个基站共测定 131 个测点。其中

⑴线性回归结果

①1#基站（图 1、2、3）

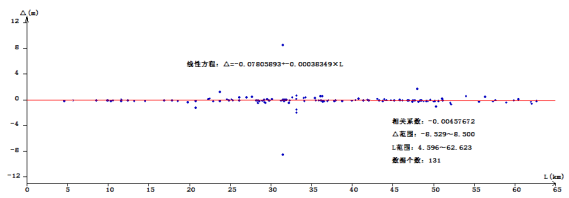


图 1 测点与 1#基站之距离和两基站计算 x 坐标差

Fig.1 Distance of 1# control station and Error of x coordinate of Points to two control station

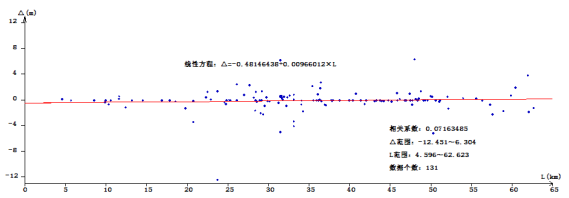


图 2 测点与 1#基站之距离和两基站计算 y 坐标差

Fig.2 Distance of 1# control station and Error of y coordinate of Points to two control station

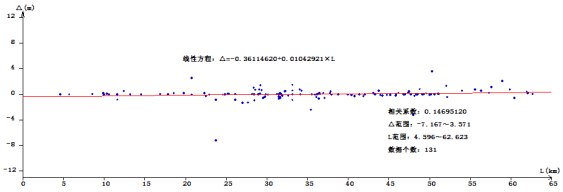


图 3 测点与 1#基站之距离和两基站计算 h 高程差
Fig. 3 Distance of 1# control station and Error of h histogram of Points to two control station

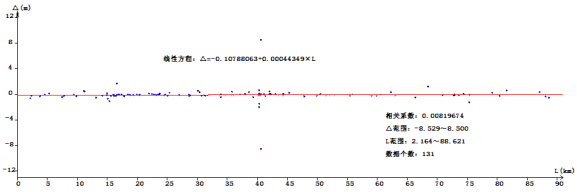


图 4 测点与 3#基站之距离和两基站计算 x 坐标差
Fig. 4 Distance of 3# control station and Error of x coordinate of Points to two control station

②3#基站（图 4、5、6）

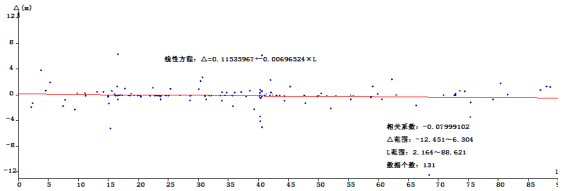


图 5 测点与 3#基站之距离和两基站计算 y 坐标差
Fig. 5 Distance of 3# control station and Error of y coordinate of Points to two control station

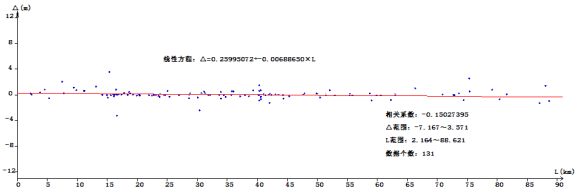


图 6 测点与 3#基站之距离和两基站计算 h 高程差
Fig. 6 Distance of 3# control station and Error of h histogram of Points to two control station

⑵正态直方图统计结果

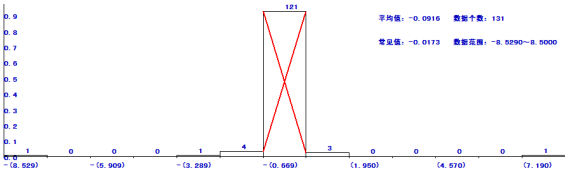


图 7 1#、2#基站计算 x 坐标差之直方图
Fig. 7 Histogram contaol station 1#, 2# x Error of x coordinate of Points to two control station

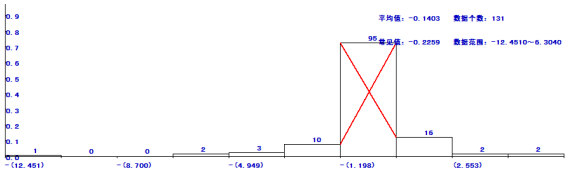


图 8 1#、2#基站计算 y 坐标差之直方图
Fig. 8 Histogram contaol station 1#, 2# x Error of y coordinate of Points to two control station

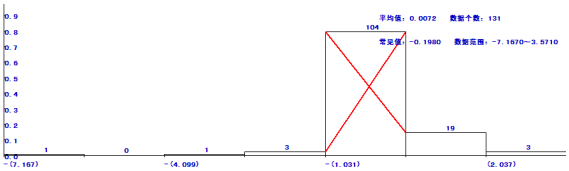


图 9 1#、2#基站计算 h 高程差之直方图
Fig. 9 Histogram contaol station 1#, 2# x Error of h histogram of Points to two control station

2. 4#和 5#基站测试及统计结果

通过该两个基站共测定 85 个测点。其中

⑴线性回归结果

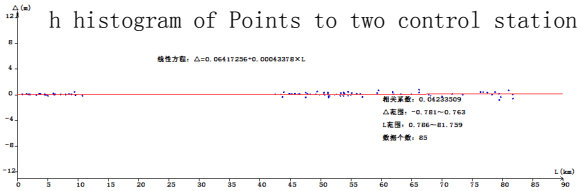


图 10 测点与 4#基站之距离和两基站计算 x 坐标差
Fig. 10 Distance of 4# control station and Error of x coordinate of Points to two control station

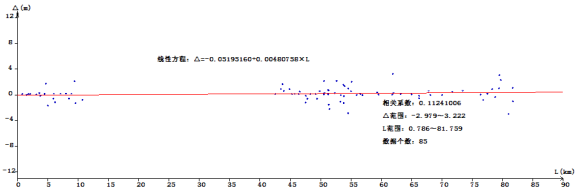


图 11 测点与 4#基站之距离和两基站计算 y 坐标差
Fig. 11 Distance of 4# control station and Error of y coordinate of Points to two control station

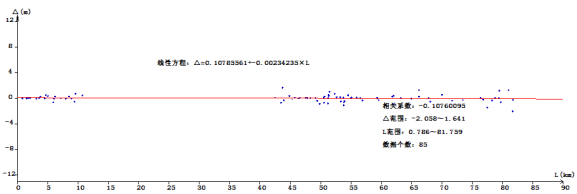


图 12 测点与 4#基站之距离和两基站计算 h 高程差
Fig. 12 Distance of 4# control station and Error of h histogram of Points to two control station

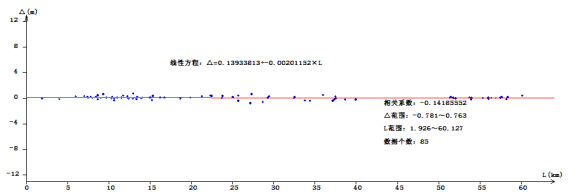


图 13 测点与 5#基站之距离和两基站计算 x 坐标差
Fig. 13 Distance of 5# control station and Error of x coordinate of Points to two control station

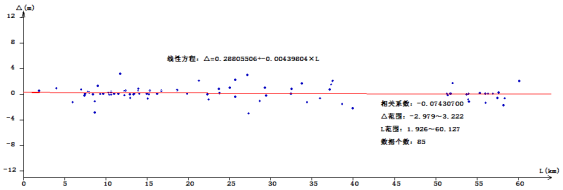


图 14 测点与 5#基站之距离和两基站计算 y 坐标差

Fig. 14 Distance of 4# control station and Error of y coordinate of Points to two control station

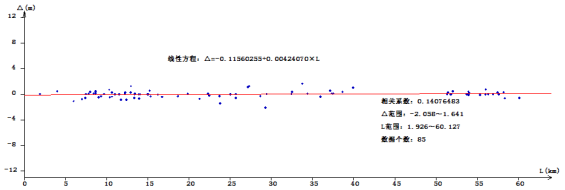


图 15 测点与 5#基站之距离和两基站计算 h 高程差

Fig. 15 Distance of 5# control station and Error of h histogram of Points to two control station

⑵正态直方图统计结果

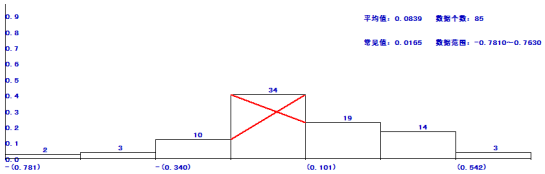


图 16 4#、5#基站计算 x 坐标差之直方图

Fig. 16 Histogram contaol station 4#, 5# x Error of x coordinate of Points to two control station

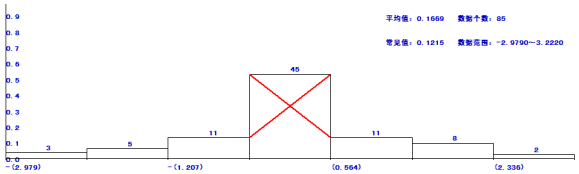


图 17 4#、5#基站计算 y 坐标差之直方图

Fig. 17 Histogram contaol station 4#, 5# x Error of y coordinate of Points to two control station

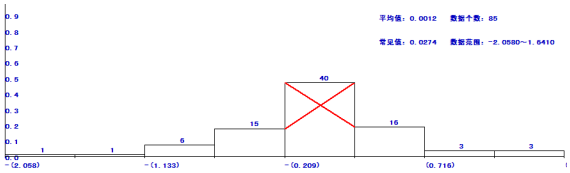


图 18 4#、5#基站计算 h 高程差之直方图

Fig. 18 Histogram contaol station 4#, 5# x Error of h histogram of Points to two control station

四、统计结果分析

1. 1#和 3#控制站 x 坐标差、y 坐标差、h 高程差线性回归结果

从图 1～6 看

⑴在 0～80km（最大为 88.621km）范围内，x 坐标差、y 坐标差、h 高程差与测点至控制站距离呈现的线性关系中斜率系数非常小（$-0.013<b<0.147$），截距亦较小（$-0.481<a<0.260$），说明两者之间的线性关系与距离轴线（水平轴线）的夹角非常小（近似为 0° 角），即测点与基站之间距离和坐标差或高程差的变化关系非常微小，亦即随着测点与基站距离的变化，测点坐标差或高程差的变化很小（或几乎无变化）。

⑵从相关系数 r 看，$-0.13<r<0.147$ 说明测点相对于两基站距离于坐标差和高程差之间几乎无关系。

⑶从图 7～9 正态直方图看，差值（Δ）符合正态分布规律，即差值多集中在±1.35m 的数据>90%，符合统计规律和行业《规范》和《任务书》的具体要求。

2. 4#和 5#控制站 x 坐标差、y 坐标差、h 高程差的测试结果

为了充分说明此种情况，我们通过同一工作区域的 4#和 5#基站进行了同精度（85 个测点）测试工作，结果显示：

⑴与 4#基站的关系

①与控制站距离：$0.786km\le L\le 81.759km$；

②直线斜率：$-0.003<b<0.005$；

③直线截距：$-0.052m<a<0.108m$；

④相关系数：$-0.107<r<0.113$；

⑵与 5#基站的关系

①与控制站距离：$1.926km\le L\le 60.127km$；

②直线斜率：$-0.005<b<0.005$；

③直线截距：$0.116m < a < 0.288m$；

④相关系数：$-0.141 < r < 0.141$；

⑶正态直方图统计

①x 坐标差在-0.78m～0.77m 之间，其中-0.34m～0.542m 之间分布频率大于 90%；

②y 坐标差在-2.97m～3.222m 之间，-1.5m～1.155m 之间的分布频率大于 90%；

③h 高程差在-2..58m～1.641m 之间，-0.9m～0.9m 之间的分布频率大于 90%。

五、结论

1. 测试结果

2008 年度通过对 1#和 3#、4#和 5#等两组四个基站分别计算相同观测时间内的测点，并计算出 x 坐标差、y 坐标差和 h 高程差，采用线性回归和正态直方图统计方法对测试结果进行统计，得出如下结果：

⑴x 坐标差变化在-8.5m～8.5m（1#、3#基站）、-0.78m～0.77m（4#、5#基站）之间；

⑵y 坐标差变化在-12.45m～6.3m（1#、3#基站）、-2.97m～3.222m（4#、5#基站）之间；

⑶h 高程差变化在-7.17m～3.17m（1#、3#基站）、-2..58m～1.641m（4#、5#基站）之间；

2. 存在问题和改正方法

⑴存在问题

从两组基站计算结果看，测点的平面坐标（即 x、y 坐标差）变化在-12.45m～8.5m 之间，而设计要求在±15m 左右，可以看出测点的平面位置满足行业规范要求。

测点的高程差在-7.17m～3.17m 变化，但是其中>90%的变化区间在-1.3m～1.1m，表明参与计算的测点的高程差基本满足设计要求。

⑵分析原因和改正措施

①高程差值大的原因：正常情况下对于 GPS 发射卫星的空间分布的随机性而言，基本呈范围大而广，就接收点（测点周围开阔的）而言不存在什么问题，但是在地形条件较为复杂，切割剧烈、沟谷深而狭窄的地段，高度角较大，则导致接收点的接收范围有限（局部遮挡），且在每一天的某个时段发射卫星的空间排列基本呈钝角三角形形状（远看近似呈线性排列），此状情况下会导致接收信息产生缺陷，数学计算误差较大。

②改正措施：a.选择相对开阔地的中间地段布设测点，避开悬崖和断壁的遮挡；b.避开 GPS 发射卫星排列状况不利时间段（结合以往经验，一般每一天的北京时间 14:00～17:00 时间段卫星排列状况较差）；c.对于在无法避免前两种情况时，一般应延长 GPS 接收时间（设计要求≥10min，工作要求≥15min）。

3. 结论

通过前述分析，我们认为本次 GPS 基站控制半径按照设计要求一般控制在 40km 以内的限制欠妥，应进行如下改进：

①平缓地区进行大比例尺物探工作时，依据设计工作精度而定 GPS 基站的控制半径；

②对于特殊地形（比如山区或地形恶劣地区），GPS 基站的控制半径依据试验资料确定，不可限制具体的控制半径；

4. 建议

对于小比例尺重力调查工作来说，依据前述的试验资料、并根据工作区域的地形条件，GPS 控制站的控制半径可以适当放大（最大不得超过 80km），能够达到《规范》和《任务书》的要求。

但在控制半径较大时，GPS 接收机的有效信息接收时间≥15min，同时进行必要的异站检查工作以控制测地工作的质量。

参考文献：

[1]数学手册编写组　《数学手册》　1992 重印版

[2]中华人民共和国行业规范　《区域重力调查规范》(DZ/T 0082-2006)　2006 年

[3]李海军、张国林　《三江源区域 GPS 数据处理探讨》 测绘与空间地理信息期刊 2007 第 5 期