

GPS 手持机在野外地质填图中的应用

丁继新^{1,2}, 马捷³, 尚彦军³, 史永跃⁴

(1. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012; 2. 北京中色资源环境工程有限公司, 北京 100045;

3. 安阳师范学院实验中心, 安阳 455000

4. 中国科学院地质与地球物理研究所工程力学重点实验室, 北京 100029)

[摘要] 针对传统野外地质填图中手段落后、填图精度不高以及工作效率低的特点, 文章探讨了手持 GPS 接收机在野外区调地质填图中标定地质点、导航、计算多边形面积以及补点等方面的应用及其注意事项, 提出了将 GPS 手持机绝对定位结果标定在地形图上的一个简单而新颖的方法, 大大增强了 GPS 手持机在野外地质填图中的实用性。

[关键词] GPS 手持机 野外地质填图 标定

[中图分类号] P623 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)01-0089-05

0 引言

自从美国 1994 年全面建成了 GPS 以来, 由于其所特有的精度高、速度快、全球性、全天候、实时性、测站间无需通视以及操作简便等诸多优点, GPS 已经被广泛应用于地质调查、石油开采、水利勘察、灾害监测、林业调查以及交通、电力、农业、国防和城市建设等多个领域^[1-5]。随着体积小、功耗低、携带方便、存点快捷、捕捉卫星信号的灵敏度高、定位速度快、单点实时定位精度高的 GPS 手持机的出现, 它受到了广大从事地质调查工作的野外工作者的欢迎, 并被广泛应用于地球物理勘探、地震勘探、铁路勘测和林业调查等方面的野外工作中^[6-8]。

野外区调地质填图中的一项重要内容就是在地形图上标定地质点, 如岩性点、岩性分界点和构造分界点等。传统地质填图一般是根据地形图上的特征点如建筑物、采石坑、道路、高压线以及山顶、山脊和山谷等地性线判断地质点的位置, 然后将其标定在图上。然而当地形图上特征点较少或所在位置远离特征点时, 如果使用这种方法标定地质点, 就很容易产生较大的误差, 给内业处理带来很大的困难。相对于传统的利用地形图特征点或结合地形图特征点和航片标定地质点的方法, 利用 GPS 手持机标定地质点不仅精度高, 而且速度快, 大大地提高了地质填图的工作效率。如果再结合航片和地形图上的特征

点以及特征线标定地质点, 会进一步提高标定点位的精度。文章在前人应用和研究的基础上, 系统总结了手持 GPS 接收机在区域地质调查大比例尺地质填图应用中的特点及需要注意的问题, 并提出了一种精度较高而且简单实用的基于 GPS 基点标定地质点的新方法。

1 GPS 手持机在野外区调地质填图中的主要应用

GPS 手持机野外区调地质填图中的用途主要有 4 个方面: 标定点位、导航、计算多边形面积和补点。

1.1 标定地质点

为了提高 GPS 手持机单点绝对定位的精度, 有的 GPS 接收机生产厂商专门为 GPS 手持机设置了数据平滑功能, 即在一个测点上进行多次定位, 然后求取数据的平均值作为最终的定位结果。如果用户使用的 GPS 手持机没有这种数据平滑功能, 用户在进行定位时可以手动使 GPS 接收机进行 3 次以上的定位, 并记录相应的定位结果。在进行内业处理时, 将 GPS 测点的多次测量结果进行平均作为该测点最终的点位位置。通过多次定位求取平均值, 可以提高单点定位的精度, 最大限度地缩小误差值。以 GARMIN 12XLC 型 GPS 手持机(美国 GARMIN 公司生产)为例, 生产商的精度规格表明, 在采用平滑技术处理后, 多数情况下 GPS 手持机的平面定位

[收稿日期] 2006-01-09; **[修订日期]** 2006-03-06; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[第一作者简介] 丁继新(1972 年—), 男, 2005 年毕业于中国科学院地质与地球物理研究所, 获博士学位, 高级工程师, 现主要从事地质灾害及其防治工程、矿山环境、大地测量与工程测量以及地壳形变方面的研究工作。

精度可以达到 1~5m。由于 GPS 卫星分布位置的原因, GPS 测量高程的误差一般较大, 为水平误差的 2~3 倍, 也就是说 GPS 手持机测定高程精度为 10~20m。由于捕捉卫星信号的灵敏度高, GPS 手持机单点定位的速度非常快, 一般在 15s 左右即可捕获 4 颗以上卫星, 从而快速地实现 3D 导航和定位。

1.2 导航

1) 单点导航及点位校正。根据地形图上的特征地物点或者结合航片在地形图上标定出第一个地质点后, 利用手持 GPS 接收机, 对该点进行定位, 并将其存储到航点表中。以后再标定地质点时, 就可以利用手持 GPS 的单点导航功能了。根据其导航功能, 既可以找到现在所处的位置距离上一个地质点(航点)的距离和方位, 又可以确定出该点到航点表中任何一个航点(已经在地形图上精确标定过的地质点)的距离和方位。这样就可以比较准确地在地形图上标定出任何一个地质点。

在利用手持 GPS 接收机标定点位的时候, 最好参照地形图上已经过内业数据处理精确标定过的地质点, 这样可以有效地防止测量误差积累而给点位标定带来的误差, 从而可以大大减轻内业数据处理的工作量。在刚开始进行地质填图的时候, 由于地形图上还没有精确标定过的地质点, 因此在地形图上标定未知的地质点时, 只能利用没有经过内业精确数据处理但却已经经过 GPS 定位并初步标定在地形图上的概略地质点。这时, 就容易出现误差积累的情况, 造成所标定的地质点产生较大误差。最好的解决办法是: 同时参照概略地质点、地形图, 如果研究区有航片, 同时还要参照航片, 来共同判断待定地质点在地形图上的位置, 并在地形图上进行标定。如图 1 所示, 图中 A007 表示经过 GPS 定位并初步标定在地形图上的概略地质点, 根据 A007 可以确定图中待标定地质点的大概位置, 然后结合待定地质点所在位置的地形特点, 如图中待定地质点处于鞍部, 就可以比较准确地将待定地质点标定在地形图上。

2) 航线导航。当前进中需要经过多个航点时, 如果仍然采用单一航点导航, 由于终点的改变而需要不断地进行单点导航, 输入新的航点名, 这样将会极其繁琐。但如果把这些航点按一定的顺序编制成一条航线, 采用航线导航, 那么就不需要多次输入新航点名以进行多次单点导航。比如, 要由航点 NAV01 出发, 去往航点 NAV05, 通过将 NAV01~NAV05 等 5 个航点编制成为一条航线, 5 个航点的顺序分别为 NAV01、NAV04、NAV02、NAV03 和

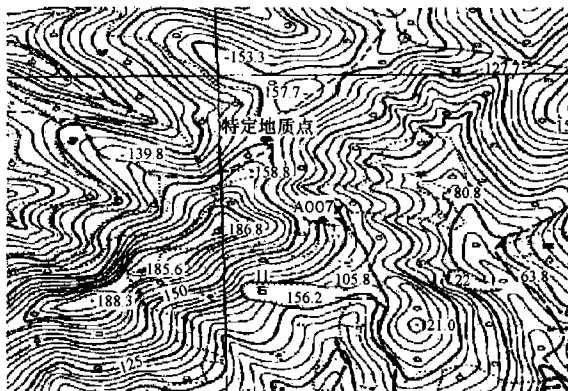


图 1 利用概略地质点结合地形图标定地质点

NAV05。编制完航线后, 就可以按照如下方式进行航线导航: 先由 NAV01 到达 NAV04 后, 导航画面自动转向 NAV04 航点进行导航, 显示下一航点 NAV02 距离该航点的方位和距离, 到达 NAV03 后, 会显示下一航点 NAV05 距离该航点的方位和距离, 最后到达 NAV05。

1.3 计算多边形面积

有关规划设计单位在利用地质填图成果时, 往往需要知道图上某一片某种岩性岩石的实际面积, 以做出相应的规划和设计。现在许多 GPS 手持机都具有计算多边形面积的功能, 利用其存储在航点表中的航点, 可以非常容易地计算出某个多边形范围内某种岩石的面积。GPS 手持机中计算多边形面积的计算公式如(1)所示:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (1)$$

式中: S —多边形面积; x_i, y_i 和 x_{i+1}, y_{i+1} —多边形的第 i 和 $i+1$ 个航点的平面坐标。

这种计算多边形面积方法的精度取决于组成该多边形的航点数目, 航点数目越多, 所计算出的多边形面积越精确。

1.4 补点

在主要的地质填图工作结束后, 通常要根据填图的要求对地形图进行检查, 对那些点位密度没有满足填图要求的区域要进行补点。利用手持 GPS 接收机可以非常容易地实现密度稀疏区的补点工作。

手持 GPS 接收机中通常都有一个“最近航点”的导航功能, 利用这个功能, 可以迅速地找到距离当前位置最近的已进行过 GPS 定位的地质点, 再查看一下地形图, 看看目前位置地质点的密度是否满足填图的要求, 如果所在区域地质点的密度比较稀疏, 就可以在当前位置进行 GPS 定位, 并在地形图上标定出该地质点。以 1:1 万地质填图为例, 要求在地形图上 2~3cm 就要

有一个地质点,即实地距离为 200~300m 就需要有一个地质点。这样,当发现某个区域标定过的地质点相对较少,需要补点时,根据手持 GPS 接收机单点导航功能中的“最近航点”导航功能,看看距离当前航点最近的地质点是否超过了 200~300m,如果超过了这个距离,说明在当前位置有必要进行补点。依靠传统的人工判读方法进行补点,可能会产生补点过多现象,容易造成时间和人力的浪费。

2 GPS 定位结果在地形图上的标定

GPS 卫星星历是以 WGS84 坐标系为根据而建立的,而我国目前所使用的地形图却属于北京 54 坐标系或西安 80 大地坐标系。由于不同的坐标系使用不同的地球椭球参数,它们之间存在着平移和旋转的关系(WGS84 坐标系与北京 54 坐标系或西安 80 坐标系之间的误差为 80~120m),在我国无法直接使用 WGS84 坐标系下的坐标在地形图上标定位。因此,为了使用 GPS 的绝对定位结果,将地质点在地形图上标定出来,需要进行一定的数据处理。不同坐标系之间的坐标转换有七参数法、五参数法和三参数法。七参数法一般用于转换精度要求较高的计算,目前市场上常用的手持 GPS 接收机内部设置的是五参数法。通常的作法是进行坐标系统转换,将 GPS 接收机所使用的 WGS84 坐标系下的三维空间坐标转换为北京 54 坐标系或西安 80 坐标系下的三维坐标,然后就可以将转换后的坐标标定到地形图上。经过这种坐标转换后的 GPS 手持机绝对定位精度可由 80~120m 提高到 5~10m。

2.1 坐标转换方法

以将 WGS84 坐标系和 BJ54 坐标系之间的坐标转换为例,在进行坐标转换之前,首先需要在研究区搜集 3 个以上已知点。要求既知道这 3 个已知点的精确 WGS84 大地坐标 B_{84} 、 L_{84} 、 H_{84} 值,又要知道这 3 个点在北京 54 (BJ54) 或西安 80 坐标系下的大地经纬度 B_{54} 、 L_{54} 和高程 h_{54} ,同时还需要知道这 3 个点所在位置的高程异常值 ζ_{54} 。这种已知点既可以通过国家“A”级或“B”级 GPS 网获得,又可以通过在那些已知国家控制点上精确的 GPS 静态测量获得。但对于那些缺乏重力资料的地区,如地形条件较差的西藏自治区,由于无法准确确定其高程异常值,经过这种坐标转换后,测点坐标的精度会有一定程度的降低,精度会低于 50m。这种定点精度难于应用于大比例尺(大于 1:1 万)的地质填图。可以按照下述方法将 GPS 手持机所得到的 WGS84 坐标

转换为可以在地形图上使用的北京 54 (转换成西安 80 坐标系下的坐标的方法与之类似):

1) 将大地坐标转换为三维空间直角坐标。使用公式(2)~(6)分别将已知点在 WGS84 和 BJ54 坐标系下的大地坐标转换为相应坐标系下的三维空间直角坐标:

$$N = r / (1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$X = (N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L \quad (3)$$

$$Y = (N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L \quad (4)$$

$$Z = [N \cdot (1 - e^2) + H] \cdot \sin B \quad (5)$$

在 BJ54 坐标系下,已知点的大地高可由公式(6)计算而得:

$$H = h + \zeta \quad (6)$$

式中: X 、 Y 、 Z 分别为已知点的三维空间直角坐标; B 、 L 、 H 分别为已知点的大地坐标; N 为某点所在位置的椭不卯西圈曲率半径; e^2 为大地坐标系所对应的椭球的第一偏心率; r 为对应地球椭球的长半轴; f 为对应地球椭球的扁率; h 为已知点在 BJ54 坐标系下的高程。

WGS84、BJ54 和西安 80 三种坐标系所使用的椭球参数见表 1。

表 1 坐标系椭球参数表

参数	WGS84 坐标系	北京 54 坐标系	西安 80 坐标系
r/m	6 378 037	6 378 245	6 378 140
e^2	0.006 694 379 990 13	0.006 693 427	0.006 694 385
f	1/298.257 223 563	1/298.3	1/298.257

2) 计算坐标转换参数。利用 WGS84 坐标系下已知点的 X_{84} 、 Y_{84} 、 Z_{84} 和对应椭球参数 r_{84} 、 f_{84} 值,减去 BJ54 坐标系下相应的 X_{54} 、 Y_{54} 、 Z_{54} 及对应椭球参数 r_{54} 、 f_{54} 值,得到实现坐标转换的 5 个参数: dX 、 dY 、 dZ 、 dr 和 df 。

3) 参数验证。在研究区选择 3 个以上国家控制点进行实际测量,实测值与测绘部门提供的理论值进行对比分析,如果最大误差不大于 15m,平均误差不大于 10m,则计算出的参数可以使用,否则要重新计算或查找问题的原因。

使用上述方法,可以精确地将 GPS 手持机所测量的各地质点的 WGS84 坐标转换为北京 54 或西安 80 坐标系下的平面坐标,然后可以准确地将转换后的平面坐标标定在地形图上。过去很多地质勘查工作中都使用这种方法进行坐标转换^[9]。但是,由于这种方法需要研究区存在 3 个以上国家控制

点,并需要对其进行精密测量,不仅工作量大,而且难以应用于那些缺少国家控制点的地方。

2.2 相对 GPS 基点标定地质点

利用上述方法将 GPS 手持机的定位结果标定在地形图上不仅要求研究区要有 3 个以上国家控制点,而且还要在这些国家控制点上进行精确的野外测量,内业数据处理也非常复杂,因此不便于野外使用。

在野外标定地质点的一个简单而有效的方法是选择一些地质点作为 GPS 基点,然后将待定点相对于这些 GPS 基点进行标定。根据研究区的航片(如果研究区没有航片,则直接根据地形图)结合实地的踏勘,在研究区选择若干个有明显标志的地物点,比如居民地、水塘、采坑、墓地和路等。然后在这些明显地物点上进行 GPS 单点定位,记录下这些点的 WGS84 坐标,以作为在地形图上标定其它地质点的基点,并对这些地物点进行编号,如图 2 所示的 Jd01 ~ Jd08 点。

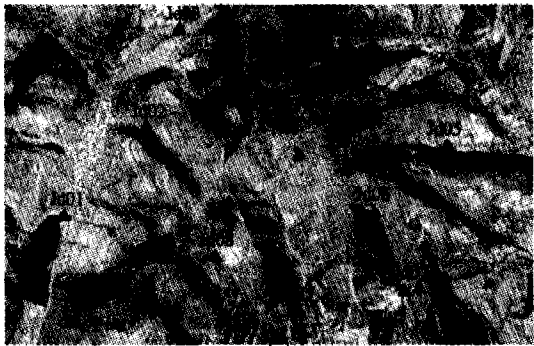


图2 GPS 基点图

按照下述方法,可以以这些 GPS 基点为基准,将其它地质点标定在地形图上:

1) 计算出 WGS84 坐标系和地形图所使用的地方坐标系之间的距离差异系数。首先,计算出 2 个 GPS 基点坐标在 WGS84 坐标系下的差值,然后计算出这 2 个 GPS 基点的大地坐标(纬度 B 和经度 L)在地形图所使用的地方坐标系下的坐标差值,计算公式如(7)和(8)所示。然后可以分别计算出 WGS84 坐标系和地形图所使用的地方坐标系之间的距离差异系数 L_x 和 B_y ,计算公式如(9)和(10)所示。

$$\Delta L_{M,N} = L_M - L_N \quad (7)$$

$$\Delta B_{M,N} = B_M - B_N \quad (8)$$

$$L_x = \frac{\Delta L_{M,N}(2)}{\Delta L_{M,N}(1)} \quad (9)$$

$$B_y = \frac{\Delta B_{M,N}(2)}{\Delta B_{M,N}(1)} \quad (10)$$

式中: $\Delta L_{M,N}$ 和 $\Delta B_{M,N}$ —GPS 基点 M 和 N 之间的坐标差值; $\Delta L_{M,N}(1)$ 和 $\Delta B_{M,N}(1)$ —GPS 基点 M 和 N 在 WGS84 坐标系下的坐标差值; $\Delta L_{M,N}(2)$ 和 $\Delta B_{M,N}(2)$ —GPS 基点 M 和 N 在地形图所使用的地方坐标系下的坐标差值。

2) 将地形图上经向 L 和纬向 B 方向上以度分秒为单位的坐标差转换为平面(X, Y)上以厘米为单位的平面距离。根据地形图上标出的经纬度,分别计算出地形图经向 L 和纬向 B 方向上的 1" 相当于平面坐标 X 和 Y 方向的多少厘米。假定经向 L 和纬向 B 方向上的 1" 分别等于平面坐标 X 和 Y 方向的 dx 和 dy 厘米。

3) 将 WGS84 坐标系下的经向 L 和纬向 B 方向上以度分秒为单位的坐标差转换为地方坐标系下平面(X, Y)上的平面距离。即在 WGS84 坐标系下,经向 L 和纬向 B 方向上的 1" 分别等于平面 X 和 Y 方向的 $L_x \times dx$ 和 $B_y \times dy$ 厘米。

4) 计算待标定的地质点相对于其附近的某个 GPS 基点在地形图上的平面距离。假定某个待标定的地质点为 A001,其 GPS 定位坐标为(B_{001}, L_{001}),距离它最近的 GPS 基点是 Jd03,其 GPS 定位坐标为(B_{Jd03}, L_{Jd03}),那么 A001 到 Jd03 点在地形图上的平面距离为:

$$\Delta X = (L_{Jd03} - L_{001}) \times L_x \times dx \quad (11)$$

$$\Delta Y = (B_{Jd03} - B_{001}) \times B_y \times dy \quad (12)$$

式中: ΔX 和 ΔY —在地形图上 A001 到 Jd03 点在 X 和 Y 方向的平面距离。

5) 根据待定地质点与 GPS 基点之间在地形图上的平面距离 ΔX 和 ΔY ,将待定地质点标定在地形图上。

采用这种方法进行地质点的标定,由于待定点与 GPS 基点都是采用的 WGS84 坐标系下的坐标,相当于是进行 GPS 相对定位。众所周知,GPS 相对定位的精度较高,原因在于待定点与 GPS 基点的定位误差大小和方向基本相同,二者相减会使得大部分误差都可以相互抵消,从而可以大大提高点位测量的精度。

与上一种先进行坐标转换再标定地质点的法相比,使用相对 GPS 基点标定地质点的方法有更多优点,它更适用于野外快速而高效的地质填图,因此,应用范围更加广泛。这两种方法的优缺点如表 2 所示。由于这两种方法标定地质点的精度都高于 20m,因此,完全可以将 GPS 手持机应用于 1:1 万或小于 1:1 万比例尺的地质填图工作中。

表2 两种地质点标定方法比较

地质点 标定方法	坐标转换法	相对GPS基点法
优点	点位标定精度更高,可达 到5~10m	研究区无须国家控制点;无 须进行外业精确GPS测量; 内业数据处理更简单易懂
缺点	研究区须具有5个以上 国家控制点;需要进行外 业精确的GPS测量;内业 数据处理较为繁琐	地质点标定精度相对较差, 一般在10~20m之间

3 GPS辅助地质填图与传统地质填图方法比较

与常规地质填图常用的工具——罗盘和皮尺相比,将GPS这一先进空间测量技术应用在野外区调地质填图中,不仅能够快速而高效地确定地质点的精确坐标,将地质点准确地标定在地形图上,完成岩性调查以及岩性界线圈定,而且还可以利用其求取多边形面积的功能,确定某种岩性岩石的分布范围,为施工设计决策提供科学的依据。手持GPS接收机辅助地质填图方法减少了很多人为主观判断的因素,大大提高了标定地质点的精度和工作效率,节省了大量的人力、物力和时间,因此,它已成为快速而高效地完成野外地质填图的一种最有力工具之一。相对于传统的地质填图方法,使用手持GPS接收机辅助地质填图的方法有很多优点,具体如表3所示。

表3 GPS辅助地质填图与传统地质填图比较

	传统地质填图方法	GPS辅助地质填图方法
标定工具	罗盘、皮尺、地形图、航片	手持GPS接收机、地形图、航片
标定时间	标定每个地质点至少3~5 min,甚至更长时间	一般标定一个地质点需要1~2 min
精度	10~100m甚至更大	一般5~20m
补点	速度慢,容易多次返工	速度快,效率高

4 结论和建议

通过上述研究可以发现,利用手持GPS接收机作为辅助工具进行野外区调地质填图,其用途主要包括准确地标定地质点、实时地导航、方便地计算多

边形面积和快速地补点4个方面。而将GPS定位成果标定在地形图一个简单快捷的方法,就是在研究区建立若干个GPS基点,然后将各个地质点的GPS定位结果相对于这些GPS基点展到地形图上。在上述工作中,可以充分利用手持GPS接收机全天候、实时性和快速定位的特点,从而可以快速而高效地完成野外地质填图工作。

但需要注意的是,由于GPS手持机单点实时定位在平面上的精度一般在10m左右,因此,目前GPS手持机只能应用于那些比例尺不大于1:1万的地质填图中,而无法应用于大比例尺地质填图工作中。但随着GPS软硬件的发展,GPS手持机定位和导航的精度将会越来越高,GPS手持机在野外地质填图工作中的应用将会越来越广泛。相信在不久的将来,GPS手持机将会被应用到1:5000甚至更大比例尺的地质填图工作中去,成为数字地质填图所不可或缺的一种现代测量工具。

[参考文献]

- [1] Dixonth. An introduction to the Global positioning System and some geological application[J]. Reviews of Geophys, 1991, 29: 249-276.
- [2] 江在森, 马宗晋, 牛安福, 等. GPS技术应用于中国地壳运动研究的方法及初步结果[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 71-79.
- [3] 谷全奎. GPS测量技术在滑坡监测中的应用[J]. 西北水电, 2002, 2: 32-33.
- [4] 冯仲科, 张志良, 郭学林. GPS基本原理及其在水土保持工作中的应用[J]. 中国水土保持, 1999, 10: 36-37.
- [5] 伍志刚, 黄艳梅. 用GPS系统进行土石坝变形监测[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(2): 148-154.
- [6] 陈清礼. 手持式GPS接收机在电法勘探中的应用[J]. 石油物探, 1998, 37(4): 128-133.
- [7] 雷迎春. GPS实时动态测量技术在山区地震勘探中的应用研究[J]. 西南交通大学学报, 1999, 34(5): 565-570.
- [8] 全立新. 手持GPS在铁路勘测中的应用[J]. 铁路勘察, 2004, 3: 37-42.
- [9] 曹幼元. 手持式GPS测量地质勘查中的应用[J]. 地质与勘探, 2002, 38(5): 71-73.

APPLICATION OF HAND-HOLDING GPS RECEIVER IN THE GEOLOGICAL MAPPING

DING Ji-xin^{1,2}, MA Jie³, SHANG Yan-jun³, Shi Yong-yue⁴

(1. China Nonferrous Metal Resources Geology Survey, Beijing 100012;

2. Sinorex Resources and Environment Engineering (Beijing) Company Limited, Beijing 100045;

3. Experiment Center, Anyang Normal University Anyang 455000;

4. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract: Aiming at characteristics of backward methods, lower precision and working efficiency in the traditional field geological mapping, application of hand-holding GPS receiver in geological point demarcation, navigation, polygons area calculation, and point supplement are discussed. A simple but novel method for demarcating absolute results by hand-holding GPS receiver on a topographical map is brought forward. These will extend practicability of hand-holding GPS receiver in the field geological mapping.

Key words: hand-holding GPS receiver, field geological mapping, demarcation