

文章编号: 1006-6616 (2017) 06-0856-08

地质剖面测制新方法的尝试——点坐标法

王 冉^{1,2}, 马立成³, 孙 勇¹, 张胜龙¹, 贾志明³

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;

2. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054;

3. 中国地质科学院页岩油气调查评价重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 在区域地质调查中, 地质剖面测制是一项必要的工作, 而传统的导线法限制因素较多, 质量和效率有待提高。在导线法的基础上, 基于野外实践经验, 提出了一种地质剖面测制新方法, 即点坐标法。该方法的要点有: 利用 GPS 获得地形控制点, 以及分层、采样、产状、照相相等位置的三维点坐标; 构建一套函数公式, 根据各点的三维空间坐标值, 可计算获得点间平距、高差、方位角、坡度角等参数, 从而投影绘制地质剖面图。该方法的主要优点有: 不再需要测绳, 可从人工测量记录转变为自动测量记录, 实现了测量数据的数字化; 避免了导线终点与实际终点不重合的情况; 每一个分层点都有 GPS 坐标, 便于野外复查。结合点坐标法测制地质剖面的实例证明, 点坐标法较之导线法有多快好省的优点, 值得在实际应用中广泛使用。

关键词: 横剖面; 导线法; 点坐标法; 地质填图

中图分类号: P623

文献标识码: A

各种构造现象和地质体都是三维实体, 而以地质图为基础的各种图件反映的主要是二维平面形象。为了全面反映和再造地质构造全貌及其相互关系, 需要编制或者测绘各种剖面图, 主要包括地质剖面图、正交剖面图和平衡剖面图^[1]。绘制地质剖面是在踏勘选定的某一地段内, 沿一定方位实际测量或者编制的, 目的是综合研究区域内地层时代、层序、岩性特征、厚度、古生物演化特征、含矿层位、地质体产状和接触关系等特征。实测地质剖面是区域地质调查必不可少的一项工作, 是开展地质工作的基础^[2~5]。本文在导线法实测剖面原理的基础上, 提出了一种基于点坐标的实测地质剖面方法。该方法探索了一套三角函数换算公式, 将 GPS、罗盘仪和数字地形图有机结合起来, 不再使用导线测量斜距、也不再使用罗盘进行方位角和坡角的测量。该方法已在国土资源大调查和重大工程地质调查工作中得以实践检验, 值得地质同行评鉴使用, 供参考。文中所讨论的地质剖面均为地质构造的横剖面 (铅直剖面)。

1 导线法实测剖面基本原理及其局限性

1.1 导线法实测地质剖面的原理

地质剖面图是沿着一定方位测制的, 由地形剖面线和地层及其他地质体与断层等在这条剖面线上的投影绘制而成^[6~8]。如图 1 中的 AB 横剖面, 是由 0 (A)、1"、2"、3"、4"、5" (B) 六个点构成的地形剖面线和其中的三条地质界线组成。野外露头、地形和交通情况等因素影响地质剖面的测绘, 往往实测剖面并非沿着地形剖面线进行, 也非按照设计好的剖面基线进行, 而是由前后测手若干次导线构成的, 如图 1 中的导线 0—1, 导线 1—2 等。这样导线连接起来实际上是既不在同一水平面也不在同一铅直面上的折线, 有如图 1 中复杂曲面 ABCD 上的导线 0—1、1—2、2—3、3—4、4—5 构成的折线。因此, 不可避免地要进行两次投影才能获得横剖面^[9~12]。第一次是将空间上

收稿日期: 2016-12-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41402044); 中国博士后基金特别项目 (2013T60869); 地质大调查项目 (DD20160173)

作者简介: 王冉 (1980-), 男, 博士, 高级工程师, 构造地质学专业。E-mail: shiranwang@qq.com

通讯作者: 马立成 (1978-), 男, 博士, 高级工程师, 构造地质学专业。E-mail: malicheng2000@163.com

的多条导线投影在同一水平面上, 该投影基于坡度角和导线长度之间的三角函数关系。第二次投影是将不在同一横剖面上的导线投影到基线上。基线的获得通常是首尾相连法, 当然也有其它算法, 但由于导线测量本身带来的误差, 一般是通过起点和终点坐标相连的, 而不是通过导线本身投影得到的终点和起点相连。该投影是基于导线的方位角及其与导线总方位之间的夹角。如图 1, 第一次投影是将 5 次导线投影到水平面 $A'B'C'D'$

上, 第二次投影是 $0' (A')$ 、 $1'、2'、3'、4'、5' (B')$ 通过各导线与基线之间的三角函数关系联合该点的高差或者高程投影获得 $0 (A)$ 、 $1''、2''、3''、4''、5'' (B)$ 六个点。这样, 即可绘制出需要的投影点, 根据野外信手剖面图的地形起伏情况, 将所有投影点连接起来就得到了一条地形剖面线。分层界限点基于同样的道理, 根据其在某一导线上的读数计算投影即可, 其产状绘制的是视倾角, 标注的是真倾角。

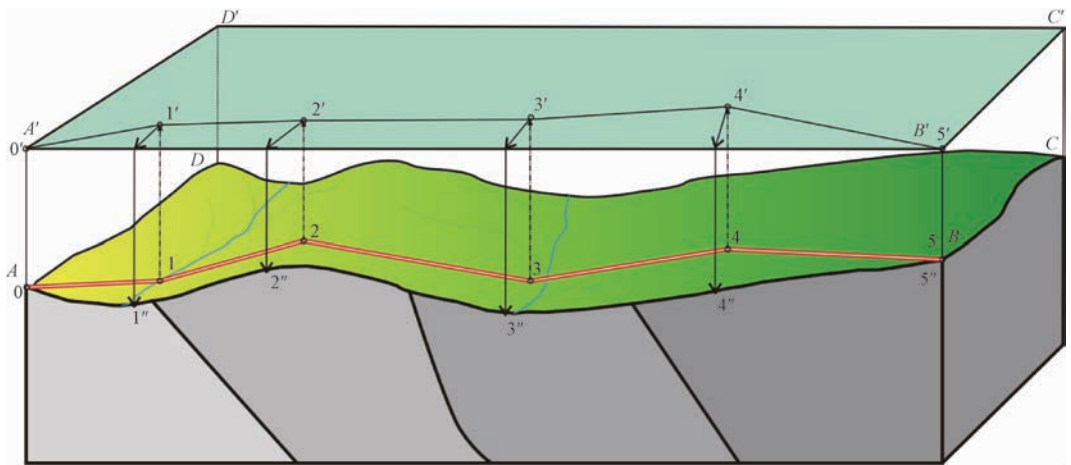


图 1 导线法实测地质剖面的理想投影过程

Fig. 1 The projection process model of the geological profile measured by the tapeline method

将图 1 中的第 4 和第 5 导单独放大为图 2, 进一步说明二次投影的三角关系。图中标注的各项参数说明如下:

L_i 为第 i 导的导线斜距, 例如图中第 4 导的导线长度为线段 3—4 之间的 L_4 。该长度为野外实际测量值, 是利用测绳读取的, 其精确度取决于测绳最小刻度, 通常为 0.5 m 或者 0.1 m。

α_i 为第 i 导的方位角, 例如图中第 4 导的方位角 α_4 , 它是导线前进方向相对于正北方向顺时针旋转的角度。该角度为野外实际测量值, 是前后测手利用罗盘测量的, 其精度取决于两位测手, 通常为 1° 。

β_i 为第 i 导的坡度角, 例如图中第 4 导的坡度角 β_4 。该角度为野外实际测量值, 是前后测手利用罗盘测量的, 其精度取决于两位测手, 通常为 1° 。该坡度角并不一定垂直等高线, 不一定为实际坡面的坡度角, 应该小于等于实际坡面坡度角。

θ_i 为第 i 导方位角 α_i 与总方位之间的夹角, 地层剖面测量的原则是总方位角要最大可能垂直地层的走向, 以便控制地层的真厚度, 反之则降

低地层剖面测量的准确度, 因此总方位与地层走向之间的夹角越大, 地层剖面测量的精度就越高, 且应大于 60° 。同理, 当 θ_i 为 0 时, 第 i 导方位角与总方位角重合, 能准确测量地层的真厚度, 精度就高, 通常而言 $0 \leq \theta_i \leq 30^\circ$ 。

H_i 为高差, 用公式 1 计算可得:

$$H_i = L_i \sin \beta_i \quad (1)$$

D_i 为第 i 导的导线水平距离, 用公式 2 计算可得:

$$D_i = L_i \cos \beta_i \quad (2)$$

S_i 为第 i 导的导线投影到基线上的距离, 根据勾股定理, 并代入公式 2, 可得:

$$S_i = D_i \cos \theta_i = L_i \cos \beta_i \cos \theta_i \quad (3)$$

根据 α_i 和 D_i 就可以在水平面上绘制出导线平面图, 如图 1 中水平面 $A'B'C'D'$ 上各点 $0' (A')$ 、 $1'、2'、3'、4'、5' (B')$ 组成的折线。

根据 S_i 和 H_i 就可以在垂直于水平面的横剖面上位置出地形线的横剖面图。

将各层位置如法投影获得其基线上的位置和高差, 再根据产状换算成的视倾角, 即可绘制出 AB 两点的地质横剖面图, 如图 1 和图 2 所示剖面。

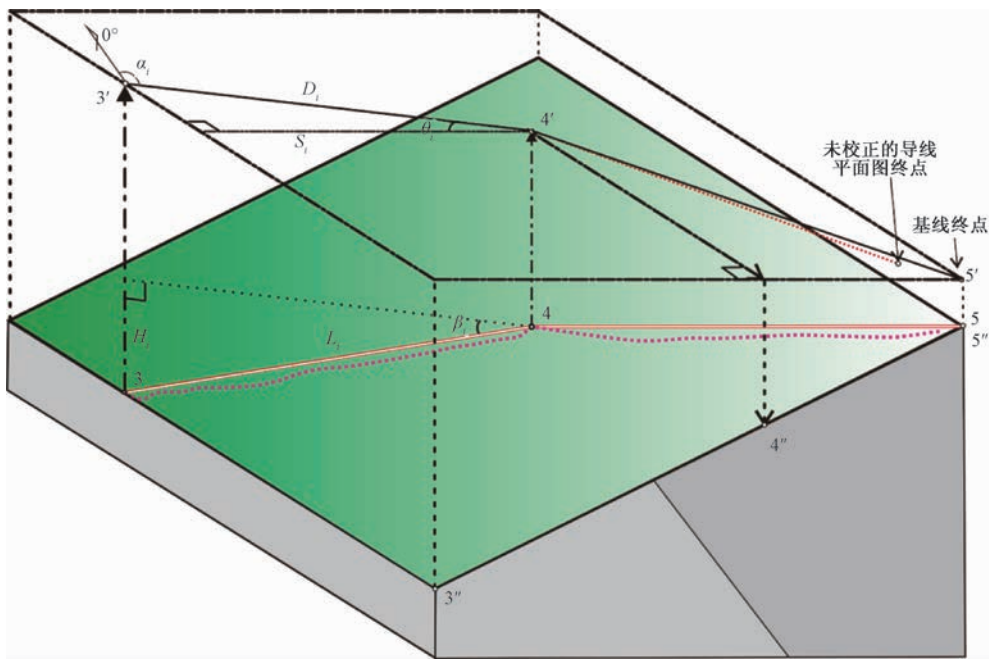


图 2 导线投影三角函数关系以及导线弯曲误差示意图

Fig. 2 Sketch map showing the trigonometric function of tapeline projection and its errors derived from tapeline bending

1.2 导线法实测地质剖面的局限性

在实际测量过程中， L_i 不一定与实测导线斜距相等，该参数只是导线长度的读数而已，各导实际距离总是小于这一读取的导线长度，这是因为导线在前进方向受到风力、重力和障碍物干扰处于弯曲状态的缘故，这种弯曲状态几乎是不可避免的。因此，第 i 导的实际长度 $L_{i\text{实}}$ 加上 $L_{i\text{误差}}$ 才与 L_i 相等，即：

$$L_i = L_{i\text{实}} + L_{i\text{误差}} \tag{4}$$

$L_{i\text{误差}}$ 理论上可正可负，但一般是正的，因为导线总是拉不直，读数 L_i 大于实际长度 $L_{i\text{实}}$ 。

此外，导线方位角的测量也存在误差。在实际工作中，导线总方位若是利用起终点坐标在地形图上量算获得，也会带来误差。这样，就会导致第一次投影之后，导线平面图的终点与剖面基线终点不重合，如图 2 中虚线所示，未校正的导线平面图终点总是和基线终点有一定的距离^[2, 3]。这就要求人工干预进行校正，通常的方法是：首先准确取得起终点位置，一般利用高精度地形图的微地貌观察结合 GPS 点或者后方交汇法定点，第二是调整坡度角使投影导线终点和终点位置重合。因导线斜距还控制了分层位置，一般不进行斜距的调整。

此外，导线法二次投影其实还假定了两个前提条件：

(1) 投影导线和测量导线所在位置的地形一

致，否则投影地形线将不能由计算高差投影点的连线所代表。

(2) 岩层走向在实测点和投影点之间无变化，否则投影导线所过地质体将是另一套地质体，将导致基线所过剖面完全不符合实际。

自然界一般不存在同时满足上述两个条件的情形，除非所有导线在实测时完全沿着设计剖面方位进行。导线法实际测量时还需满足另外一个重要条件：即前后测手之间必须保持通视。因此导线法二次投影测制的剖面只能近似地看作是实测横剖面。导线端点和最后投影在基线上的投影点，它们之间的高程一般是不一致的；在地层附近有侵入体或者矿体时（见图 2），岩层在走向上有明显变化，投影获得的剖面与实际地质情况不符。前人也早已认识到二次投影测绘的地质剖面的弊病^[13]，即二次投影之后，不仅歪曲地形特征，也歪曲地质界线^[13]。

由上述过程可知，导线法实测剖面的局限性可总结如下：

①实测时导线总是弯曲，且误差不断累积，导致测量终点和实际终点之间有较大偏差，必须通过更改坡度角来校正。

②投影地形剖面线不能完全代表实际地形剖面线。

③必须选择在剖面垂直方向上地质特征变化

不大的地区进行,否则将导致投影地质剖面图与实际相差很大。

④导线法是人工采集测量信息,无法实现自动化。至少需要前后测手、一名记录人员甚或更多的人员,耗时耗力。

2 实测地质剖面的新方法——点坐标法

与前述导线法不同的是,点坐标法是靠测量

点的坐标进行剖面的控制的。设某点空间坐标为 (X_i, Y_i, Z_i) , ΔX_i 、 ΔY_i 分别代表其在水平面上 X 、 Y 两个方向上的增量,剖面前进方向基本与剖面总方位接近。 ΔH_i 代表竖向上 Z_i 的增量,其可以为正可以为负,可以等于0,如图3所示。根据导线法的投影原理,我们只需要获得方位角 α_i 、点坐标平距 D_i 、剖面总方位与前进方向之间夹角 θ_i 、投影到基线上的水平距离 S_i 以及高差 H_i 这些参数即可。

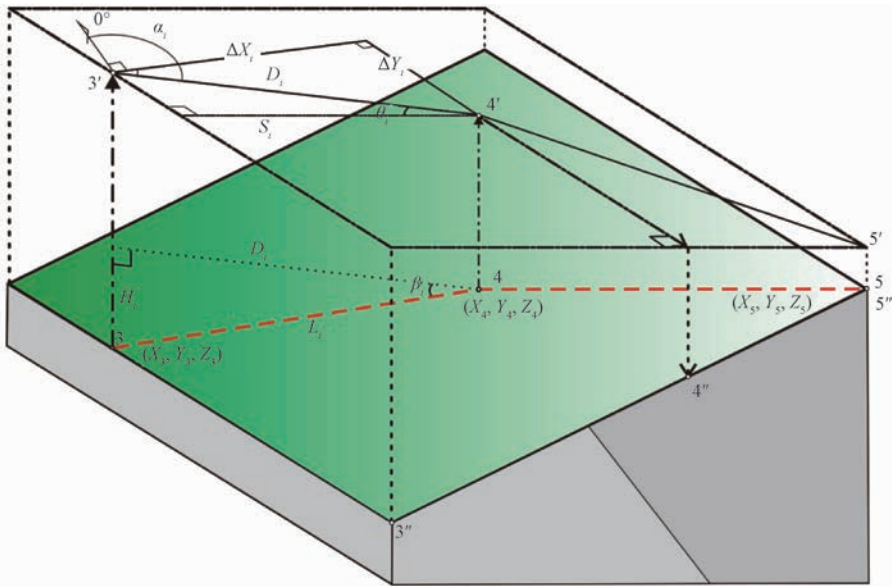


图3 点坐标法投影三角函数关系示意图

Fig. 3 Sketch map showing the trigonometric function of point coordinates projection

图3中,有了第4点的坐标 (X_4, Y_4, Z_4) ,那么点4和点3之间的方位角实际上可以用点4和点3的空间坐标依据公式(6) — (9)的三角函数关系计算得到。理论上,测制剖面可分为四种情形,即图4所示。实际测剖面时,考虑读图习惯,由左向右读取。野外测制时,基本上是右手剖面,如图4a和图4b中的情形。

对于两点之间的水平距离而言, D_i 用公式5即可换算得到:

$$D_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2} \tag{5}$$

坐标法不需要进行第一次投影,因为其空间坐标本质上是在若干个假想的水平面上的,各水平面之间的距离其实就是高差 H_i 。

实测剖面坐标增量变化的四种情况及其方位角的函数关系分解如下:

①若 $\Delta X_i \geq 0, \Delta Y_i \geq 0$, ΔX_i 和 ΔY_i 均增大或

者有一个为零,即判断两点之间方位角为 $0^\circ \sim 90^\circ$, 0° 和 90° 可以视为特殊情况。几何关系如图4a。如此则 α_i 可根据其与水平面上格网坐标增量之间的反三角函数关系计算获得:

$$\alpha_i = \arctan(\Delta X_i / \Delta Y_i) \tag{6}$$

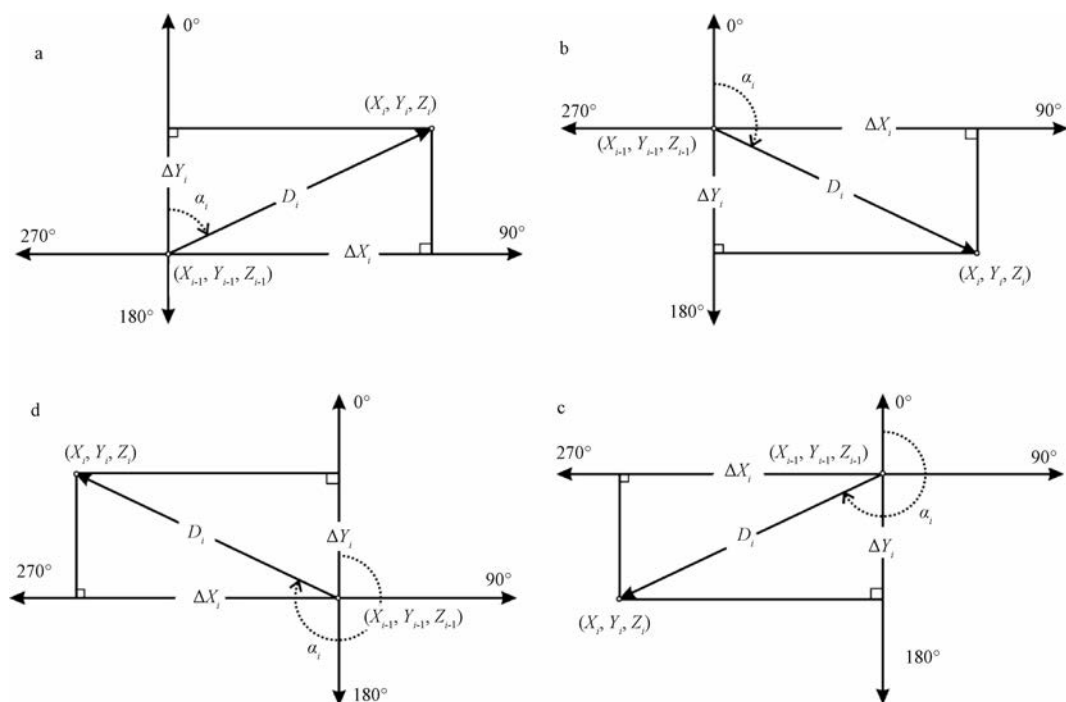
②若 $\Delta X_i \geq 0, \Delta Y_i \leq 0$,即 ΔX_i 增大而 ΔY_i 减小或者有一个为零,判断两点之间方位角为 $90^\circ \sim 180^\circ$ 。几何关系如图4b。则 α_i 可根据反三角函数关系计算获得:

$$\alpha_i = 180^\circ - \arctan(\Delta X_i / |\Delta Y_i|) \tag{7}$$

③若 $\Delta X_i \leq 0, \Delta Y_i \leq 0$,即 ΔX_i 减小且 ΔY_i 同样减小或者有一个为零,判断两点之间方位角为 $90^\circ \sim 180^\circ$ 。几何关系如图4c。则 α_i 可根据反三角函数关系计算获得:

$$\alpha_i = 180^\circ + \arctan(\Delta X_i / |\Delta Y_i|) \tag{8}$$

④若 $\Delta X_i \leq 0, \Delta Y_i \geq 0$,即 ΔX_i 减小而 ΔY_i 增



a—相对上点前进方向为 $0^\circ \sim 90^\circ$ ；b—相对上点前进方向为 $90^\circ \sim 180^\circ$ ；c—相对上点前进方向为 $180^\circ \sim 270^\circ$ ；
d—相对上点前进方向为 $270^\circ \sim 360^\circ$

图4 点坐标法方位角换算的三角函数关系示意图

Fig. 4 Schematic diagram of trigonometric function of azimuth conversion by the point coordinates method

大或者有一个为零,判断两点之间方位角为 $270^\circ \sim 360^\circ$, 270° 和 360° 可以视为特殊情况。几何关系如图4d。如此则 α_i 可根据其与水平面上格网坐标增量之间的反三角函数关系计算获得:

$$\alpha_i = 360^\circ - \arctan(|\Delta X_i| / |\Delta Y_i|) \quad (9)$$

在点坐标法测制剖面过程中,两点之间的斜距和坡度角已无关紧要,因为点坐标法测制剖面不需要导线法的第一次投影。不过,欲知两点之间的斜距和坡度角,可以利用如下公式:

$$\beta_i = \arctan(H_i/D_i) = \arctan(\Delta Z_i/D_i) \quad (10)$$

$$L_i = \sqrt{H_i^2 + D_i^2} = \sqrt{\Delta Z_i^2 + D_i^2} \quad (11)$$

总方位 $\alpha_{\text{总}}$ 可以由首尾两点通过公式(6) — (9)中的某一个计算获得,具体应考虑其 $\Delta X_{\text{总}}$ 和 $\Delta Y_{\text{总}}$ 的大小和正负做出选择。两点之间方位 α_i 和总方位 $\alpha_{\text{总}}$ 的夹角为 θ_i 。

在实际剖面测制过程中,各点之间方位角的换算有可能会用到上述四种情形相邻象限的两两组合,但不会是不相邻象限的两种组合。如果出现,证实实测走向已偏离总方位太多,出现回测现象,应该及时修正。一般出现的组合是:图4a和图4b所示方位组合,图4b和图4c所示方位组合,图4c和图4d所示方位组合,图4d和图4a所

示方位组合。

实际投影得到的基线距离为:

$$S_i = D_i \cos \theta_i = D_i \cos(|\alpha_{\text{总}} - \alpha_i|) \quad (12)$$

同导线法一样, α_i 和 D_i 用于绘制水平面上的点距平面图;根据 S_i 和 H_i 绘制地形线的横剖面图。分层位置、产状、化石和采样位置等与地形控制点一样,如法投影。再根据地质产状和总方位之间的夹角,将真倾角换算成的视倾角,即可绘制出AB两点的地质横剖面图。当然,如果需要统一换算和自动化生成计算结果,可以利用Excel表格中的函数公式和if函数进行完成。应用实例见图5,起点坐标为点0: $x = 2983894.00$, $y = 797997.00$, $z = 243.00$ 。

3 点坐标法的特点

将点坐标法和导线法进行对比(见表1),可知点坐标法的特点为如下几点:

(1) 实际测量时,可以将野外控制点分为两种,一种是地形控制点,另一种是分层、采样、照相、产状等控制点。地形控制点只有坐标信息,没有分层描述等信息。而分层、采样、照相、产

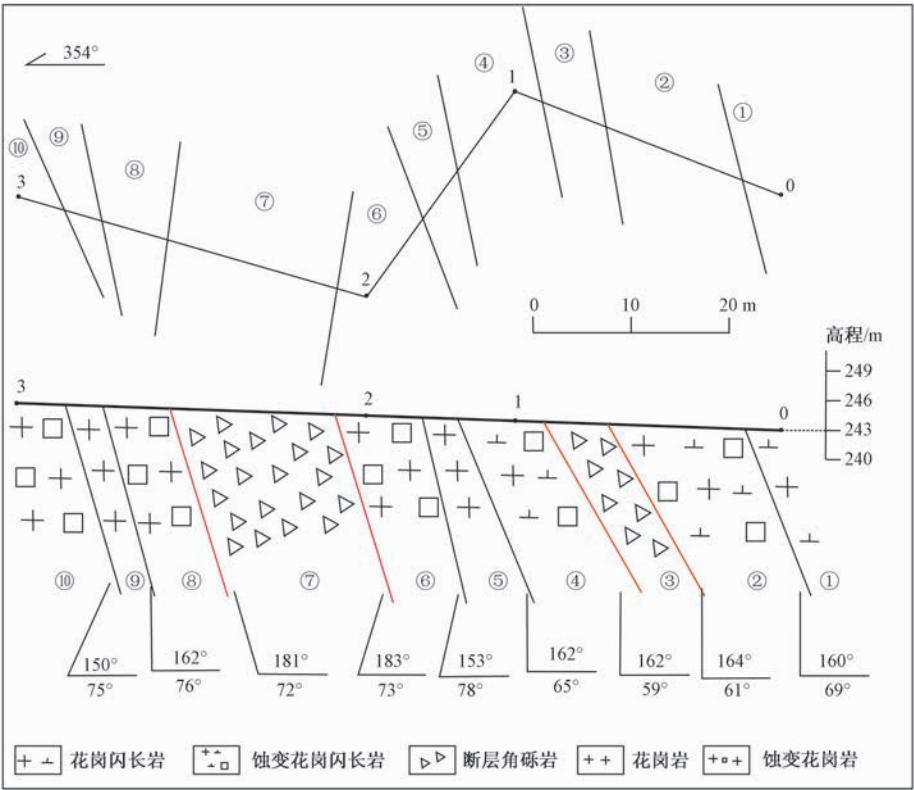


图 5 福建某地点坐标法测制地质剖面图

Fig. 5 The geological profile measurement by the point coordinates method in someplace, Fujian province

表 1 导线法和点坐标法剖面测制的制约因素对比

Table 1 The comparison of restricting factors between the tapeline method and the point coordinates method in profile measurement

对比因素或情形		导线法	点坐标法
障碍物	须平移		绕道即可
覆盖区较大	须平移		须平移
构造破坏严重	须平移		须平移
可否自动化	不可		可以
比例尺	较小比例尺时需要多次测量地形, 耗时较长		较小比例尺可以设置间隔距离自动采集点坐标
前测手工作强度	人少时或者需要讨论时, 前测手需要返回		无需前后测手, 不受此因素控制

状等控制点既有地形控制点的坐标信息, 也有地质描述信息。这样便于建立一个基于点坐标的关系数据表。这种根据点位进行索引的数据表更易于检索和复查。导线法是根据导线号进行索引的, 分层、采样、照相、产状位置都是基于每一导线, 不易进行数据管理, 容易出错。

(2) 有露头的任何一点, 都可以作为备选的剖面成图点。因此, 根据点坐标法进行剖面的测量, 实际上只需要高密度多点观测, 即可最终筛选最优点进行成图。因此, 点坐标法相对而言更为高效灵活。

(3) 导线法和点坐标法都无法克服的困难, 是在剖面通过区遇到大片覆盖区、以及天然障碍

或因构造破坏造成测制意义不大等情况。此时, 两种方法均需平移, 平移应按一定的标志层或实测顺层追索为准, 一般平移距离不大于 500 m, 否则应另行测制剖面^[5]。

(4) 导线法中, 导线弯曲会导致斜距误差, 罗盘测量方位和坡度也会带来较大误差, 这些测量误差会导致导线终点与实际终点不重合, 需要人工修改坡度角进行校正。点坐标法避免了这一情况。点坐标法直接根据点位和前述公式计算得到点间平距、高差、方位角、坡度角等参数, 不需要测绳, 不需要用罗盘测量方位角和坡度, 不需要进行误差校正。其误差取决于 GPS 的精度, 而不是人工测量和读数。

(5) 在点坐标法中, 因每一个分层点、产状点、照相点等都有 GPS 坐标, 便于野外复查。而导线法中, 每一个分层位置虽有各自所在导线的位置数据, 但在野外实际工作中远不如 GPS 点位导航方便。

4 结论

通过一系列公式推导, 结合实践得出一套基于 GPS 点坐标的地质剖面测制方法。该方法的主要点和优点总结如下。

点坐标法的要点是: ①利用 GPS 获得地形控制点, 以及分层、采样、产状、照相等位置的三维点坐标; ②构建一套函数公式, 根据各点的三维空间坐标值, 可计算获得点间平距、高差、方位角、坡度角等参数, 从而投影绘制地质剖面图。

该方法的优点有: ①与传统导线法相比, 点坐标法数据换算易操作, 可以实现自动化采集信息, 按照研究提出的方法设计自动绘图软件, 将有望实现剖面的测量和绘制的双重自动化。②该方法避免了导线法中因误差导致的导线终点与实际终点不重合的情况, 也减少了二次投影带来的误差。③因每一个分层点都有 GPS 坐标, 便于野外复查。

随着高精度 GPS 和激光测距技术的运用, 如北斗卫星在地质中的应用^[14]和激光雷达技术在地学中的应用^[15~16], 实际的精度可满足大比例尺地质填图, 甚至可在矿山工程、滑坡、工程地质等精度要求较高的地质工作中使用。点坐标法是一次新的尝试, 期望同行能在地质学研究中得到运用, 并提出宝贵意见和建议。

致谢 野外地质工作得到了新疆地矿局第七地质大队和中广核集团等单位的大力帮助, 在此表示感谢。

参考文献/References

- [1] 朱志澄. 构造地质学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999. 262.
ZHU Zhicheng. Structure Geology [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999. 262. (in Chinese)
- [2] 辜平阳, 陈瑞明, 查显峰, 等. 高山峡谷区 1:50000 地质填图技术方法探索与实践——以新疆乌什北山为例 [J]. 地质力学学报, 2016, 22 (4): 837 ~ 855.
GU Pingyang, CHEN Ruiming, CHA Xianfeng, et al.

Exploration and practice of 1 : 50000 geological mapping techniques for alpine-gorge area: A case study in Beishan area of Wushi, Xinjiang [J]. Journal of Geomechanics, 2016, 22 (4): 837 ~ 855. (in Chinese with English abstract)

- [3] 贾丽云, 叶培盛, 张绪教, 等. 新构造填图方法探索、应用与实践——以内蒙古呼勒斯太苏木图幅 1:5 万填图试点为例 [J]. 地质力学学报, 2017, 23 (2): 189 ~ 205.
JIA Liyun, YE Peisheng, ZHANG Xujiao et al. Application and practice of the Neotectonics geological mapping methods——A case study of 1 : 50000 mapping pilot in Hulesitai, Inner Mongolia, China. Journal of Geomechanics, 2017, 23 (2): 189 ~ 205. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杨星辰, 叶培盛, 蔡茂堂, 等. 数字地质填图野外手图地理底图制作方法 [J]. 地质力学学报, 2017, 23 (3): 333 ~ 338.
YANG Xingchen, YE Peisheng, CAI Maotang et al. Methods for production of field free-hand maps and geographic basemaps in digital geological mapping [J]. Journal of Geomechanics, 2017, 23 (3): 333 ~ 338. (in Chinese with English abstract)
- [5] 周瑞华, 刘传正. 野外地质工作实用手册 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2013. 223.
ZHOU Ruihua, LIU Chuazheng. Practical Manual of Field Geological Work [M]. Changsha: Central South University Press, 2013. 223. (in Chinese)
- [6] 王建芳, 包世泰, 余应刚, 等. 基于 GIS 模板的地质剖面图模型及其实现 [J]. 测绘科学, 2008, 33 (5): 184 ~ 186.
WANG Jianfang, BAO Shitai, YU Ying-gang, et al. Realization of geological section map model based GIS template [J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33 (5): 184 ~ 186. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张京生, 董向勇. 滑坡体地质剖面表达与绘制方法探讨 [J]. 测绘通报, 2002, (9): 62 ~ 64.
ZHANG Jingsheng, DONG Xiangyong. A Study of Representation and Drawing of Geological Sections for Landslide Body [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2002, (9): 62 ~ 64. (in Chinese with English abstract)
- [8] 杨朝辉. 基于 IDL 的三维地质剖面编绘系统的研制 [J]. 测绘科学, 2009, 34 (2): 197 ~ 198, 186.
YANG Zhaohui. Research on 3D drawing system for the cross section of a geological map based on IDL [J]. Science of Surveying and Mapping, 2009, 34 (2): 197 ~ 198, 186. (in Chinese with English abstract)
- [9] 唐春艳, 王玉兰, 彭继兵, 等. 地质剖面图自动绘制方法 [J]. 世界地质, 2004, 23 (4): 348 ~ 353.
TANG Chunyan, WANG Yulian, PENG Jibing, et al. Method of automatic geological sectional drawing [J]. Global Geology, 2004, 23 (4): 348 ~ 353. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张克信, 李超岭, 于庆文, 等. 数字地质填图技术中的数字剖面系统 [J]. 地层学杂志, 2007, 31 (2): 157 ~ 164.
ZHANG Kexin, LI Chaoling, YU Qingwen, et al. The digital section system of digital mapping techniques [J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31 (2): 157 ~ 164. (in Chinese with

English abstract)

[11] 郭福生, 吴志春, 谢财富, 等. 数字地质填图系统的几点改进意见及实用技巧 [J]. 中国地质, 2012, 39 (1): 252 ~ 259.

GUO Fusheng, WU Zhichun, XIE Caifu, et al. Some suggestions for the improvement of the regional geological mapping system and practical skills [J]. Geology in China, 2012, 39 (1): 252 ~ 259. (in Chinese with English abstract)

[12] 吴志春, 郭福生, 刘林清, 等. 数字填图系统中数字实测剖面的校正 [J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32 (1): 91 ~ 95.

WU Zhichun, GUO Fusheng, LIU Linqing, et al. Digital geological section correction in regional geological mapping system [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2012, 32 (1): 91 ~ 95. (in Chinese with English abstract)

[13] 罗嵩. 对地质剖面测量中所谓二次投影的质疑 [J]. 西北地质, 1982, (3): 61 ~ 62.

LUO Song. The question of the so-called two projection in the geological profile measurement [J]. Northwest Geology, 1982, (3): 61 ~ 62. (in Chinese)

[14] 赵文婷, 胡道功. 东昆仑地质填图中北斗卫星定位系统应用研究 [J]. 地质力学学报, 2012, 18 (3): 254 ~ 263.

ZHAO Wenting, HU Daogong. Application of Beidou satellite positioning system in geological mapping in East Kunlun [J]. Journal of Geomechanics, 2012, 18 (3): 254 ~ 263. (in Chinese with English abstract)

[15] Lin J Y, Wang R, Xiao Z X, et al. Application of backpack Lidar to geological cross-section measurement [C] // Proceedings of SPIE 10605, LIDAR Imaging Detection and Target Recognition. Changchun: SPIE, 2017, 106050J.

[16] 马洪超. 激光雷达测量技术在地学中的若干应用 [J]. 地球科学 - 中国地质大学学报, 2011, 36 (2): 347 ~ 354.

MA Hongchao. Review on Applications of LiDAR mapping technology to geosciences [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2011, 36 (2): 347 ~ 354. (in Chinese with English abstract)

A NEW GEOLOGICAL SECTION MEASURING AND MAPPING METHOD: POINT COORDINATES METHOD

WANG Ran^{1, 2}, MA Licheng³, SUN Yong¹, ZHANG Shenglong¹, JIA Zhiming³

(1. Earth Science & Resources College of Chang'an University, Xi'an 710054, Shannxi, China;

2. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an 710054, Shannxi, China;

3. Key Lab of Shale Oil and Gas Geological Survey, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Geological section measuring and mapping is a necessary task for regional geological survey; however, the traditional geological section measurement, which is based on tapeline together with compass, has many limitations such as visual conditions, tapeline bending, manual measurement error and second projection defects. In order to improve the quality and efficiency of geological section measurement, on the basis of the previous methods, through the practice of a number of different types of geological survey projects, a new geological section measuring and mapping method using point coordinates is presented in this paper. The key points of the method include (1) Using GPS to obtain terrain control points, as well as three-dimensional coordinates in stratification, sampling, production, occurrence and other positions. (2) A series of formulas are developed, based on which parameters like horizontal distance between points, altitude difference, azimuth angle and slope angle can be calculated according to three-dimensional space coordinates of each point in order to do the mapping. The point coordinates method has two main advantages: (1) Digitization of measurement data is realized by the change from manual measurement to automatic measurement, and there is no need for tape line. (2) The facts that the end point of the tapeline does not coincide with the actual end point can be avoided. (3) It is convenient for field review because each layering point has a GPS coordinate. The case and practice have proved that the point coordinates method is superior to the tapeline method. It is worthy of being widely used in practical application.

Key words: cross section; tapeline method; point coordinates method; geological mapping