

导线投影法实测地层剖面的误差分析及校正方法

范朝焰^{1,2}, 王正海^{1,2}, 蒋丽怡², 邱东升²

(1. 广东省地质过程与矿产资源探查重点实验室, 广东 广州 510275; 2. 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

摘要:在用导线投影法绘制实测地层剖面的过程中, 由于导线总方位与实测导线方位之间存在误差, 导致绘出的剖面不能真实反映被实测剖面的地形地质信息。根据现阶段野外实测地层剖面的工作方法, 提出了道格拉斯-普克 (Douglas-Peucker) 分裂法、线性回归拟合法 2 种校正方法。将线性回归拟合法应用于粤西北庞西垌银 (金) 矿床 I 号主矿体的实测剖面。

关键词:导线; 区域地质调查; 实测地层剖面; 误差分析; 广东; 广西

中图分类号: TB115 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3636(2013)02-0188-05

0 引言

野外踏勘、实测剖面、路线填图是区域地质调查三部曲, 其中实测地层剖面为区域地质调查工作的核心工作之一, 它为划分地层, 研究各岩石地层单位的组成、结构、基本层序, 确定填图单元创造必要条件 (方成名等, 2003)。

理想情况下, 在进行实测地层剖面的时候要求导线的布置方向朝一个方向或接近于一个方向。但是, 在地形较复杂的情况下, 导线在前进方向的某一条或某若干条导线的末端点处发生较大的改变, 以此连接首尾端点绘出的投影基准线方位 (又称“导线总方位”) 不能代表实测剖面的总方位。所以要寻找最能代表所有实测导线的一条直线作为投影基准线。由此提出了道格拉斯-普克分裂法和线性回归拟合法, 使得实测地层剖面真实、直观。对完善区域地质调查工作方法具有深刻意义。

1 实测地层剖面工作方法

在区域地质调查中, 有展开法和导线投影法 2 种方法实测剖面 (冯士信, 2007)。常用的是导线投影法, 一般先求出投影基准线 (简称“基准线”), 进

而确定导线总方位。2 种方法一般都包含野外信息采集和室内整理成图 2 个步骤。

1.1 野外信息采集

导线投影法测量开始时, 后测手站在剖面起点处, 前测手朝剖面终点方向前进, 至地形起伏变化、不能通视和拉到导线末端时则停止 (吴志春等, 2012)。2 人将导线拉直, 前测手向记录员报告坡斜距、地理坐标、导线方位角及坡度角, 后测手向记录员报告地理坐标、导线方位角及坡度角。记录员在记录前后测手报来的数据时, 对比导线方位角以及坡度角, 若二者的导线方位角相差在 $180^\circ \pm 1^\circ$ 之内, 同时坡度角的绝对值相差在 $\pm 1^\circ$ 之内, 则计算导线方位角的平均值及坡度角的平均值作为相应的数据记录, 进行下一条导线的测量, 否则要进行二次测量。分层员、采样员、产状测量员、信手剖面绘图员同期开展工作。

1.2 室内整理成图

步骤 1:

通过导线斜距 (L_i)、坡度 (ϕ_i) 换算得出每段导线的平距 (D_i)、导线高差 (H_i) (图 1)。

$$D_i = |L_i \cdot \cos \phi_i|$$

$$H_i = |L_i| \cdot \sin \phi_i$$

同时, 计算岩层真厚度 (h) (郭福生等, 2012):

$$h = l \cdot [\text{SCC} + \text{CS}]$$

$SCC = \sin \alpha \cdot \cos \phi_i \cdot \cos (\lambda - \theta_i)$

$CS = \cos \alpha \cdot \sin \phi_i$

式中, l 为岩层对应导线斜距; λ 为岩层倾向; α 为岩层倾角; θ_i 为导线方位角; ϕ_i 为地面坡度角, 地面坡度角有正负之分, 沿导线前进方向仰角为正, 即上坡, 俯角为负, 即下坡。

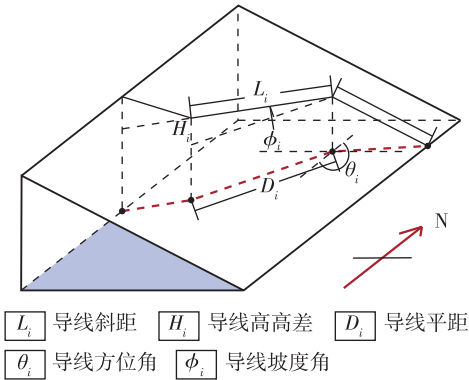


图 1 导线水平投影示意图
(图中黑色为实际导线, 红色为投影后导线)

步骤 2:

按照选定的比例尺在另纸上根据各段实测导线的方位角以及平距首尾相连形成 1 条折线, 用 1 条直线连接折线的始末 2 点, 该直线即为导线的投影基准线, 基准线的方位也即后期绘制剖面图的总方位 θ (图 2)。关于总方位的求解可通过下述 2 种方法实现。

方法 1: 读取基准线与正北方向的夹角, 即为总方位 θ (方法 1 误差较大)。

方法 2: 计算投影基准线的斜率 k

$\theta = 90^\circ \pm 1/\tan k$

$$k = \frac{\sum (D_i \cdot \cos \theta_i)}{\sum (D_i \cdot \sin \theta_i)}$$

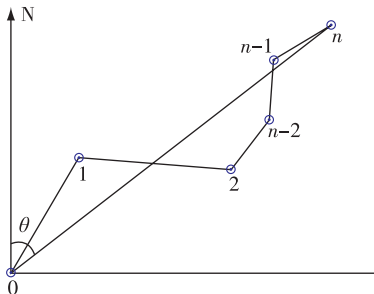


图 2 导线总方位角 (投影基准线方位角) 的确定

步骤 3:

在方格纸上绘出基准线 (一般水平布置), 以基准线的方位为基准, 各段导线的方位角与之作差减得到差角 δ_i :

$$\delta_i = \theta_i - \theta$$

在基准线两侧依次按照差角绘出等比例长度的各段导线, 即形成基于基准线的导线水平投影图 (图 3)。

步骤 4:

将各段实测导线的转折点垂直投影到其下方的投影基准线上, 平移这些点至剖面图的坐标横轴上, 在坐标纵轴上找出各个转折点的累积高差点, 用平滑的曲线勾绘这些点即形成地形剖面图。根据产状及岩性特征, 计算地层真厚度及剖面方位的视厚度及视倾角, 在地形剖面图上绘制详细的地质要素, 即形成实测地层剖面。

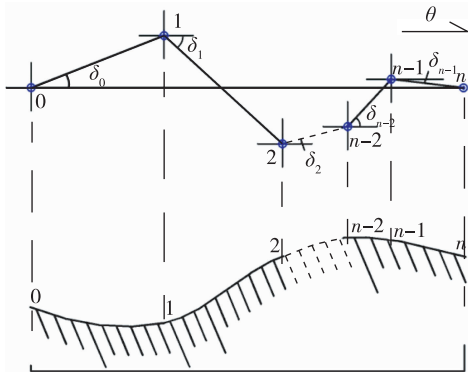


图 3 导线水平转置并绘制剖面图

2 误差分析

这里有必要先了解对地质类图件信息解译的一般过程 (图 4)。

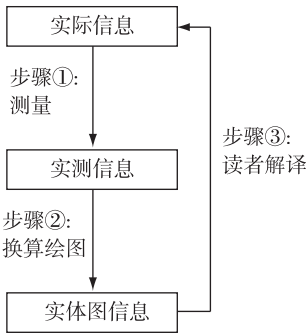


图 4 地质类图件信息解译的一般过程

对于实测剖面,通过仪器测量将实际信息转换为实测导线信息,继而进行视图方位换算后绘图成为实体图信息,读者对图上展示的信息进行人工解译,根据解译结果重现实际信息。如果能保证这 3 个步骤的准确性就能保证实际信息被读者正确地解读。步骤①中,由于野外工作的仪器精度、人为因素、环境因素将引起的随机误差;步骤②中,由于室内数据处理的理论误差导致实体图失真,进一步导致读者解译错误。目前,测量技术对随机误差还较难控制,因此,尽可能减少理论误差是控制绘图质量的关键。

不论是传统地质填图还是现代化的数字地质填图,都是用整条导线的首尾点的连线作为导线的投影基准线,这里暂且简称“首尾法”。首尾法操作简单,能使投影基准线接近真实的首尾导线位置及方位,以此绘出的剖面图能较真实地展示首尾导线所对应的地形地质信息。

以上所述方法对于实测地段中间部分表达失真。在地形较复杂的情况下,导线往往不能朝着一个方向或近似于一个方向布置,以此连接首尾端点绘出的投影基准线方位不能代表实测导线的总方位。假设,在松散土层处有 6 条实测导线,在 2 号节点北偏西方向有坚硬的花岗岩岩脉侵入,实测导线并没有经过此岩脉,按照传统方法绘制出来的投影基准线却穿过此岩脉(图 5)。若工程按照传统实测剖面的总方位进行施工,将遇上坚硬的花岗岩岩脉,给施工增加很大的困难。

而对于导线穿过的地层,经过视倾角、视厚度、视倾向换算之后,绘出的地层剖面图对导线中间部分的地形地质表达也会产生较大失真。读图者对剖面图中间部分也容易产生错误的解读。

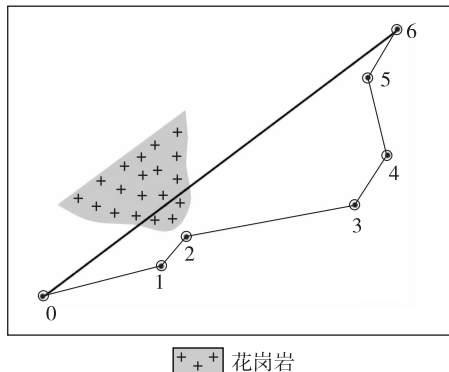


图 5 传统导线投影法基准线穿过花岗岩岩脉

3 校正方法

3.1 道格拉斯-普克分裂法

Douglas-Peucker 算法本是为了用于地理信息系统中对矢量数据的压缩。通过该算法实现保留特征点、忽略非特征点的压缩效果(杨得志等,2002)。这里借用其算法思想对具有特征拐点的实测导线进行分裂处理,对分裂后的各段局部导线进行投影。

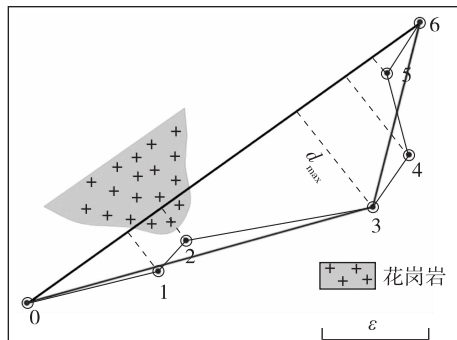


图 6 道格拉斯-普克分裂法对导线分裂示意图

Douglas-Peucker 算法采用递归的思想对以下步骤进行操作(赵永清等,2008)。

(1) 把对象折线的首末 2 点用 1 条直线 AB 连接起来,并在二维直角坐标系中求出 AB 解析方程。

(2) 求处于始末点之间的其他所有点到直线 AB 的距离 d_i ,并找出其最大值 $d_{\max}$ 。

(3) 根据事先设定的阈值 ε 确定对最大值的取舍:如果求得的距离 $d_{\max} < \varepsilon$,则用直线 AB 作为投影基准线,其方位作剖面方位;如果 $d_{\max} \geq \varepsilon$,则把 $d_{\max}$ 对应的点保留下来,并对该点前后的 2 段分别重复用上述(1)、(2)的计算。

(4) 对分裂后的各段局部导线进行投影绘制剖面图,分成局部导线的段数即为剖面图的个数,如图 3 中分成 2 段局部导线,需绘制 2 个方位的剖面图 AC 、 AB 。

此方法主要适用于导线前进方向变化明显的情况下找出最适合的位置对整体导线进行分裂,对局部导线进行投影,以使剖面图表达失真度减小。

3.2 线性回归拟合法

根据导线端点布置的点位,采用最小二乘法求得线性回归方程,方程所对应的解析直线作为导线的投影基准线(唐锐光,2011)。

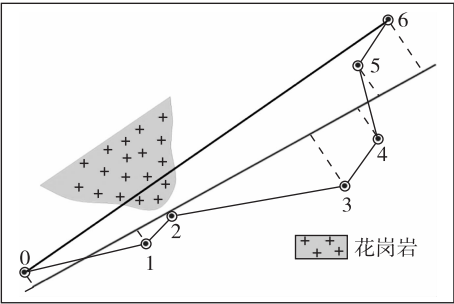


图 7 线性回归法导线投影示意图

线性回归拟合法具体操作步骤。

(1)建立直角坐标系,按照既定的比例尺绘出经过测量误差校正的导线投影图,连接首尾线 AB 。

(2)读取各段实测导线端点的横纵坐标 (x_i, y_i) ,并分别求出平均值:

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^n x_i}{n+1} \\ \bar{y} = \frac{\sum_{i=0}^n y_i}{n+1} \end{cases}$$

(3)设回归直线方程为:

$$\hat{y} = bx + a$$

代入观测数据,进而求回归方程系数(刘连福, 2008):

$$b = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=0}^n [x_i y_i - (n+1)\bar{x}\bar{y}]}{\sum_{i=0}^n [x_i^2 - (n+1)\bar{x}^2]}$$

$a = \bar{y} - b\bar{x}$

将 a 和 b 代入回归直线方程,绘出回归直线。

(4)将(1)中绘出的各段实测导线垂直投影到回归直线上,得到投影基准线段 $A'B'$ 。

(5)检验 x, y 线性相关系数 R^2 ,如果小于经验值 0.7,说明导线端点相对回归直线较分散,考虑返回用道格拉斯-普克分裂法。

(6)根据回归直线方位角换算地层视厚度、视倾角,绘制剖面图。

利用线性回归法,能真实地反映被测地区的整体地形地质信息,因为用最小二乘法求出的回归直线满足各个点到回归直线的距离和 $\sum_{i=1}^{n-1} d_i$ 达到最小。使得各段实测导线与投影基准线的偏差总和最小,达到剖面图以最小的失真度表达实际地层信息的效果。

4 方法应用

实测粤西北庞西垌银(金)矿床 I 号主矿体的剖面,得到 5 条导线。由于此处地形较简单,导线数量较少,不需要进行道格拉斯-普克分裂,直接用线性回归拟合法求出投影基准线。

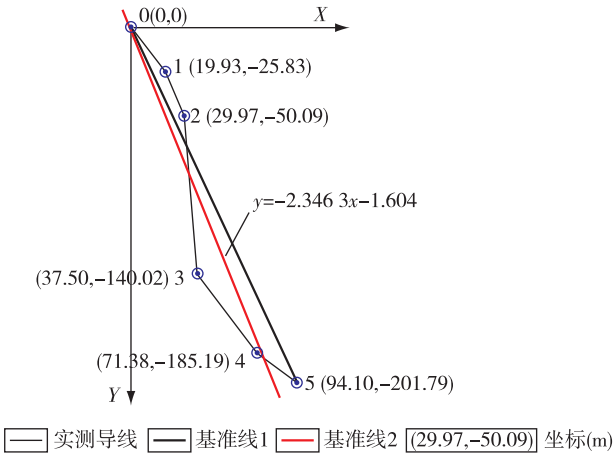


图 8 I 号主矿体实测导线水平投影图
(基准线 1 为首尾法求得;基准线 2 为线性回归法求得)

投影基准线水平转置后绘制剖面图,图 9(a)为用线性回归拟合法绘制的剖面图,图 9(b)为传统首尾法绘制的剖面图。可见,二者在剖面方位及岩层厚度上有明显区别。在 I 号主矿体处首尾法绘出剖面图岩层厚度偏薄。

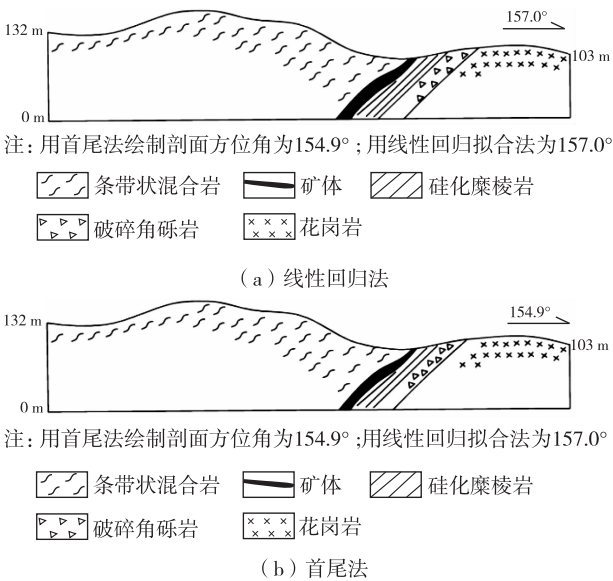


图 9 I 号主矿体实测剖面图

5 结 论

导线法实测地层剖面存在的测量误差、理论误差使得实测剖面并不能真实展示出实际地质信息,进而影响区域地质调查的准确性。

道格拉斯-普克分裂法通过设置最大距离阈值,能较好地为绘图者提供导线分裂的最恰当位置;线性回归拟合法通过最小二乘法提供一条最能代表整体导线方位的投影基准线;二者都是在致力于解决地质信息解译流程(图4步骤②)中理论方法带来的误差。

需要特别说明的是,在实际运用中,要注意2种方法的顺序:先用道格拉斯-普克分裂法进行分裂,后用线性回归拟合法进行总方位角误差校正。这样能减少不必要的循环操作,提高效率。

与传统导线法实测剖面相比,这2种方法的不足之处在于计算量大、操作复杂。当遇上所有实测导线都近于1个方向时(刘晓春等,2002),利用这些方法处理的效果与传统方法处理的效果区别不

大,为提高效率,可以不进行导线总方位角校正。

参考文献:

- 方成名,葛梦春,张雄华. 2003. 数字实测地层剖面工作方法[J]. 新疆地质, 21(增刊1): 21-25.
- 冯士信. 2007. 区域地质填图实习软件中实测剖面图生成系统的设计与实现[D]. 西安: 西北大学.
- 郭福生, 吴志春, 谢财富, 等. 2012. 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, 39(1): 252-259.
- 刘晓春, 李三忠, 刘建明, 等. 2002. 西大别横穿造山带实测地质剖面的基本构造样式[J]. 地质通报, 21(9): 536-540.
- 刘连福. 2008. 一元线性回归方程中回归系数的几种确定方法[J]. 沈阳师范大学学报: 自然科学版, 26(4): 406-408.
- 唐锐光. 2011. 最小二乘法、最小一乘法与方差、线性回归方程[J]. 数学通讯: 教师阅读, (7): 18-21.
- 吴志春, 郭福生, 刘林清, 等. 2012. 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, 35(1): 91-95.
- 杨得志, 王杰臣, 闫国年. 2002. 矢量数据压缩的 Douglas-Peucker 算法的实现与改进[J]. 测绘通报, (7): 18-22.
- 赵永清, 谢传节, 乔玉良, 等. 2008. 基于最值点的道格拉斯-普克压缩算法[J]. 软件导刊, 7(11): 60-62.

On error analysis and correction method of measured strata section with wire projection method

FAN Chao-yan^{1,2}, WANG Zheng-hai^{1,2}, JIANG Li-yi², QIU Dong-sheng²

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Mineral Resources & Geological Processes, Guangzhou 510275, China; 2. Department of Earth Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: While using wire projection method to draw a stratigraphic section with actual measurements, the section drawn could not reflect the real information due to the deviation between the total azimuth of the wire and the actual measured azimuth. According to recent methods used for stratigraphic section survey, the authors brought forward and discussed two correction approaches, the Douglas-Peucker algorithm and linear regression. The latter was applied for the measured stratigraphic section of main ore body I in Pangxidong Ag (Au) deposit.

Keywords: Wire; Regional geological survey; Measured strata section; Error analysis; Guangdong, Guangxi