提高物探测量导线精度的途径

罗仁泽　　刘　智

（四川石油管理局地质调查处）

摘　　要

罗仁泽，刘智．提高物探测量导线精度的途径．石油地球物理勘探，1998，33(增刊 2)：140～147

本文通过对山地物探测量中角度、距离、高程三项基本测量数据的误差分析，提出了提高导线精度、增加检波点准确性的具体作法。并且指出要获得高精度的野外采集资料，必须加强野外施工队伍的管理，尽量减小施工中各个环节产生的误差。文中介绍了在四川盆地罗渡溪构造高分辨率地震勘探攻关试验中所采取的具体改正措施及其效果。实际工作的结果表明，提高物探测量的精度还有很大潜力。

主题词　物探测量　导线精度　罗渡溪构造　高分辨率勘探

引　　言

山地物探测量是山地地震勘探的基础，是获得高精度地震资料的首要保证。因此，加强野外测量工作的管理，提高测量导线精度，增加检波点的准确性，才能提高地震勘探资料的精度。本文将介绍我们在野外施工中，提高导线精度、增加检波点准确性的具体方法以及在四川盆地罗渡溪构造高分辨率攻关试验中的应用情况。

方　法　原　理

物探测量每个测点的确定，都必须通过距离测量、角度(包括方向)测量和高程测量这三项基本测量工作来求得。在实际测量工作中，观测者的感觉器官、测量仪器、观测环境以及观测对象本身等，在一定程度上都会影响观测质量，使得观测结果不可能绝对无误，这样就产生了观测误差。

观测误差来源概括起来有三个方面：①测量仪器；②观测者；③外界条件。下面就从角度测量、高程测量及距离测量三项工作的观测条件等方面来介绍在野外实测中如何消除观测误差的影响。

水平角测量误差来源

仪器本身误差

(1)仪器水平度盘偏心

根据公式

本文于 1998 年 2 月 19 日收到，修改稿于同年 9 月 14 日收到。

$$\delta = \frac{o_1 o_2}{r}\rho\sin(m + \theta) \tag{1}$$

其中:o_1 为照准部旋转中心;o_2 为水平度盘中心;θ 为 o_1、o_2 方向 0°分划线之间的顺时针夹角;m 为正确水平角读数;ρ 为 1 弧度秒值($\rho = 206265''$);r 为水平度盘分划半径。

由于 δ 很小,计算时可用实际读数 m'代替 m,因为 $\sin(m + \theta) = -\sin[(180° + m) + \theta]$。所以,仪器度盘偏心影响可通过采用盘左盘右两个位置观测,然后取其平均值来消除度盘偏心误差。

(2)仪器度盘刻划不均匀

全站仪度盘刻划不均匀误差很小,在测角时若观测的测回数多于一个,则通过测回间变换度盘位置使测角均匀分布于度盘上不同的位置,然后取平均值来消除度盘刻划不均匀的误差影响。

(3)仪器视准轴不垂直于横轴

根据公式

$$x_c = \frac{c}{\cos\alpha} \tag{2}$$

其中:c 为视准轴误差;x_c 为 c 角引起的目标读数误差,α 为竖角。

由公式不难看出,仪器盘左、盘右时 x_c 的绝对值相等,符号相反。取盘左盘右观测值的平均值,则可消除该项误差影响。

(4)仪器横轴不水平

根据公式

$$x_i = i\mathrm{tg}\alpha \tag{3}$$

其中:i 为仪器横轴倾斜角度值;x_i 为仪器横轴倾斜对度盘读数影响;α 为竖角。

由上式不难看出,仪器盘左、盘右时, x_i 的绝对值相等,符号相反。取盘左盘右观测值的平均值,即可消除其影响。

(5)仪器竖轴不铅垂

由公式

$$x_i = \delta\cos\theta\mathrm{tg}\alpha \tag{4}$$

其中:δ 为仪器竖轴倾斜角度;θ 为 0°~360° 间的任意值;α 为竖角;x_i为竖轴误差对观测值的影响。

由于在测站的一个测回过程中,不重新整置仪器,故 δ 为定值。而同一方向无论仪器盘左、盘右照准横轴位置并未改变,故 θ 不变。因此,在盘左、盘右读数中,仪器竖轴误差影响大小相等,符号相同。要减少它的影响,在观测前应认真校正水准管,并将仪器仔细调平。

观测者误差影响

(1)仪器对中误差

根据公式

$$\delta_1 + \delta_2 = e\rho\left[\frac{\sin\theta}{s_1} + \frac{\sin(\beta + \theta)}{s_2}\right] \tag{5}$$

其中:δ_1、δ_2 为仪器对中误差对水平角的影响;e 为仪器偏心值;θ 为仪器中心与标志中心连线

和标志中心与目标连线间形成的夹角；β 为所测角度值；s_1、s_2 分别为标志中心至导线前、后目标中心的距离。

由上式可以看出，仪器对中误差与边长成反比，边长愈短，误差影响愈大；而与偏心值 e（即对中误差值）成正比。因此，为了减小对中误差影响，应采用光学对中装置进行严格对中，并避免出现短边。

(2)目标偏心误差

根据公式

$$w = \frac{e_1 \sin\theta_1}{s}\rho \tag{6}$$

其中：e_1 为目标偏离标志中心的距离；θ_1 为目标投影位置与标志中心连线和标志中心与测站中心连线所形成的夹角；s 为测站到目标距离值；ρ 为 1 弧度秒值。

由此可见，边长愈短，目标偏心愈大，偏心方向愈接近于与边长相垂直（即 θ_1 接近 90°或 270°），对所测水平角影响也愈大。因此，进行野外测量时要尽量将目标立直，且在照准目标时，尽量照标杆的下部。

(3)望远镜照准误差

根据公式

$$\Delta\beta = \frac{60''}{\upsilon} \tag{7}$$

其中：$\Delta\beta$ 为望远镜照准误差；υ 为望远镜放大率。

(4)读数误差

该误差主要对光学经纬仪来说，估读误差不超过分划值的十分之一。对于自动显数的全站仪而言，该项误差已不存在。

外界条件影响

在进行野外观测时影响因素很多，主要有空气对流、透明度、旁折光、温度变化等。要减小这些因素的影响，我们应尽量选择阴天、薄云、微风、透明度高、日出前和日落后半小时，无旁折光的条件下进行水平角测量。

用水平面代替水准面

用水平面代替水准面所引起角度误差非常小，可不考虑此影响。

距离测量误差来源

由于山地物探测量所用仪器几乎都是光电测距仪，故我们仅讨论光电测距仪误差。

光电测距误差来源

(1)真空中光速值测定误差　光速测距采用 1975 年 8 月国际大地测量学会第 16 届全会推荐的真空光速值，为 $C_0 = 299\ 792\ 458 \pm 1.2\text{m/s}$，其相对中误差为 4×10^{-9}，即 2.5 亿分之一，对测距影响均为 0.004mm/km，可忽略不计。

(2)大气折射率 n 的误差　为减弱该项误差影响，可选择阴天或有微风的天气条件来测距，且测线两端高差不能太大，并需对观测成果进行气象改正。

(3)调整频率误差　定期对仪器频率进行校正，调不到原来标准值时，则应对测距成果加入频偏改正。

(4)安置仪器和反光镜对中误差　要求作业人员精心操作,并采用光学对中方法。

(5)仪器加常数和乘常数的误差　必须定期对仪器进行检测,对测距成果加以改正。

(6)仪器照准误差　在实际作业中,要求操作人员仔细照准反光镜上的照准标志,尽量减小由于发光二极管所发射的光束相位不均匀性造成的误差影响。

(7)幅相误差　在进行野外作业时,将接收信号的强度控制在一定范围内,每次测量都严格控制在同一信号强度上。

(8)周期误差　定期对仪器进行检测校正,并在测距成果中加入改正数。

用水平面代替水准面所产生的距离误差

在野外测量中,地面上半径为 10km 范围之内,可不考虑地球曲率影响,当距离大于 10km 时,应考虑地球曲率影响。

归化到大地水准面改正

对于大地水准面以上距离,改正数始终为负。根据公式

$$\Delta d_1 = -\frac{h_m}{r}d \tag{8}$$

其中:Δd_1 为归化改正值,h_m 为测距边两端点的平均海拔高程;r 为地球半径;d 为经改正后的平距。

投影改正

投影改正数可按下式近似改正

$$\Delta d_2 = \frac{y_m^2}{2r^2}d' \tag{9}$$

其中:Δd_2 为投影改正值;y_m 为测距边两端点横坐标平均值,即 $y_m = (y_a + y_b)/2$,y_a、y_b 分别为测距边两端点横坐标;r 为地球半径;d' 为归化到大地水准面的距离。

三角高程测量误差来源

由于山地物探测量受到地理环境限制,通常都采用三角高程测量。三角高程测量作为一种间接测高法,速度快,不受地形起伏限制,能满足山地物探精度要求。

计算公式为

$$h_{ab} = d\mathrm{tg}\alpha + i - v + f \tag{10}$$

其中:h_{ab} 为 a、b 两点间高差;d 为 a、b 两点间水平距离;α 为竖角;i 为仪器高;v 为观测目标高,f 为球气差。下面分析各误差来源。

观测条件影响

(1)竖角照准误差　同上面水平角望远镜照准误差。

(2)竖角读数误差　同上面水平角读数误差。

(3)垂直度盘偏心误差　偏心较大时,必须进行检测,在垂直角读数中加以改正。

(4)仪器高 i 和观测目标高 v 的量取误差。

(5)距离误差　在距离测量误差来源中已阐述。

(6)外界条件　主要是空气、能见度、大气折光等条件的影响。

(7)指标差　当视线水平时,仪器垂直度盘指标水准管气泡居中,垂直度盘读数与应有读数之差值。盘左时垂直角 $\alpha = 90° - L + X$,盘右时 $\alpha = R - 270° - X$,其中 L 和 R 分别为盘左和

盘右时垂直度盘上读数。

取中数,则 $\alpha = (R - L - 180°)/2$,说明指标差可通过盘左、盘右取平均消除;通常也可求出仪器指标差 $X = (R + X - 360°)/2$,在测角时进行改正,从而消除 X 影响。

用水平面代替水准面产生误差

由公式

$$\Delta h = \frac{d^2}{2r} \tag{11}$$

其中:d 为水准面上一段圆弧长,r 为地球半径,取 $r = 6370\text{km}$,代入不同 d 值得表 1。

表 1 导线二组春季施工测线精度统计表

测线号	方位闭合差		高程闭合差/m		精度	测线长度/m
	允许	实测	允许	实测		
97LDX001	0°03′52″	-0°00′56″	1.78	-0.04	1/10485	11461.9
97LDX06B	0°03′52″	-0°00′38″	2.12	-0.55	1/27778	7140.5
97LDX09A	0°04′15″	-0°00′26″	2.02	-0.41	1/8211	138619.0
97LDX09B	0°02′39″	0°00′02″	1.45	-0.26	1/10309	2999.4
97LDX010	0°04′28″	0°00′28″	1.94	0.88	1/18566	14252.8
97LDX021A	0°05′06″	-0°00′25″	1.78	0.42	1/21952	9511.0
97LDX021B	0°04′54″	-0°01′01″	2.20	-0.05	1/8547	5969.0
97LDX022	0°06′19″	-0°01′04″	2.12	-0.13	1/10485	12602.2

由表 1 可看出,用水平面代替水准面所引起高程误差是非常大的,必须考虑地球曲率及大气折光对高差的影响,并加以改正。

(1)地球曲率对高差影响(简称球差)

球差

$$\delta_1 = \frac{d^2}{2r} \tag{12}$$

由上式可知,球差大小仅与两点间距离 d 的平方成正比,而与地形起伏无关,且总是使所测高差减小。

(2)大气折光对高差影响(简称气差)

大气折光是由于地面空气密度不均匀所引起的,视线通过不同密度的空气层时,将产生折射现象。

为了减弱折光的影响,测量时要求视线离开地面有一定高度,并力求前后距离相等,且观测应选择大气密度较稳定的时间进行。

一般气差近似公式

$$\delta_2 = \frac{1}{2}\frac{d^2}{6r} = 0.16\frac{d^2}{2r} \tag{13}$$

式(12)、式(13)综合影响称为球气差

$$f = \delta_1 - \delta_2 = 0.42\frac{d^2}{r} \tag{14}$$

通过对上面角度、距离、高程三项基本测量工作误差来源分析可看出,影响导线精度各项因素都不是独立的,而是相辅相成的。例如,照准误差,对全站型仪器来说,由于照准目标不准确,对水平角、距离、高程都有影响,这就要求我们在野外实际作业中,结合各种误差来源,按其相应的处理方法,尽量控制各误差影响。以下是我队导线二组在罗渡溪工区进行高分辨率勘探试验施工中的应用效果。

在罗渡溪构造高分辨率攻关试验中的应用效果

实际应用

我们曾在四川盆地罗渡溪雷 - 1 构造几度施工,均未能改变地震资料反射能量弱、连续性差的特点。为了查明雷 - 1 构造形态、断层展布情况,在罗渡溪构造进行了高分辨率勘探攻关试验。

在 1997 年度的冬季施工中,我们发现,在野外用 fx - 3800 编程推算导线的高程闭合差精度都接近 2m,在规程允许误差 $0.5\sqrt{l}$m(l 为导线长度,以 km 为单位,不足 10km 时以 10km 计算导线长度)左右徘徊。而经内业处理后,闭合差都在 1m 左右,如:97LDX003 线,高程闭合差为 1.01m,野外和室内处理存在差异。而导线全长相对闭合差虽都达到规程允许的 1/1500,但普遍精度都不高,与允许的导线全长相对闭合差接近。97LDX012 线全长相对精度 1/2902,97LDX015A 段相对精度 1/2657,冬季施工中测线相对精度最高才达 1/7416(97LDX007A 线)。针对以上问题,在施工中,我们边测边总结,归纳出造成测量导线精度普遍偏低的主要原因如下:

(1)仪器对中误差对导线全长闭合差影响较大。

(2)在野外测量时,后尺一般用花杆,由于人为因素,造成的目标偏心影响较大。

(3)在野外测量时,前尺虽用脚架,但由于对中误差而造成前尺目标偏心。

(4)大气折射率 n 的误差影响。即温度、湿度、气压等因素的影响。

(5)测量员责任心不强,由于照准目标而产生的照准误差影响。

(6)仪器 $2c$ 值对全长闭合差影响。

(7)由于投影到高斯平面产生的变形和归算到海平面而产生的影响。

针对上述原因,我们主要进行了以下工作:

(1)在施工前,对仪器进行检验,主要测定仪器 $2c$ 和 i 值。

(2)在春季野外施工中,要求观测员严格遵循野外作业技术操作规程,无论是观测员、记录员、外算员、前尺人员、后尺人员等都要尽量把对中误差和目标偏心误差的影响控制到最小。

(3)尽量选择阴天或有微风的天气条件出工,避免在雨天和烈日下施工。

(4)在野外计算中,要把投影改正公式和归算到海平面公式加入到 fx - 3800 计算器的程序中去。避免由于投影改正和归算到海平面改正时对距离造成影响,从而影响导线全长闭合差。

(5)精确测定仪器 $2c$ 值。在野外施工中,采用正倒镜观测取平均值,或正镜加 $2c$ 值改正,从而消除 $2c$ 对水平角影响。

效果

经过对春季施工进行严格管理后,收到了明显的效果。测量导线的高程闭合差全部小于1m,导线全长相对闭合差最低为1/8211,最高精度是97LDX006线为1/27778,方位角闭合差几乎都小于1′。

从我们所做工作来看,成绩比较显著。

(1)对水平度偏心,度盘刻度不均匀,视准轴不垂直于横轴,其误差我们通过盘左盘右取平均值方法加以消除。

(2)对测量人员进行技术培训,掌握仪器正确操作方法,尽量把仪器对中误差、目标偏心误差以及照准误差控制到最小。

(3)布设导线时尽量避免由长边变短边,导线边长要求尽量均匀。

(4)对外界条件影响,一是通过设置改正数,二是尽量选择在有利条件时进行,避免在不利条件下施工。

(5)外算应在程序中加入归化改正和投影改正。

(6)外算应在程序中加入球气差改正。

(7)定期把仪器送到处、大队进行检验,同时测量组自己也经常组织专业技术人员进行仪器检验。

问题与探讨

通过我们在罗渡溪导线二组的试点工作可看出,无论是测点的方位角闭合差、高程闭合差,还是导线精度都有了明显的提高。但高程闭合差提高精度稍小,导线精度也可再提高。

在罗渡溪我们主要从观测者误差来源及加改正数方法来提高导线的精度,改正数主要是对距离加投影改正和归化到海平面的改正。并且导线的横向位差远比导线纵向位差大。

要提高导线高程闭合精度,除了要注意由观测条件带来的影响,还必须考虑指标差和用水平面代替水准面产生的误差。对指标差,我们应对仪器定期进行检测,精细测定 i 值,在计算时加入指标差改正。而对球气差影响,我们可加入球气差改正数,对每一站高差进行改正。在考虑量仪高误差时,应尽量准确测出仪器架设高度。

同时,我们还应考虑用极坐标放样检波点所引起的误差。例如:仪器对中误差不影响放样的角度值,但它却影响待定边的方向,使欲放样点错位。所引起的误差主要有:①测距误差;②测角误差,主要来源包括仪器对中误差和角度测设中误差;③在地面上固定检波点的误差。但由于施工现场条件千变万化,故误差来源也是多种多样的,我们应根据误差来源尽量控制它的影响。

上面我们主要探讨的是一般导线测量的误差来源,对于精密导线,我们还应考虑诸多方面的因素。

对外界因素的影响应考虑:①大气层密度的变化和大气透明度对目标成像质量的影响;②旁折光影响;③照准目标的相位差;④温度变化对视准轴影响;⑤温度变化对脚架影响。

对仪器应考虑:①水平度盘位移影响;②照准部旋转不正确影响;③照准部水平微动,螺旋作用不正确影响;④垂直微动螺旋作用不正确影响。

对于精密导线,边长还应加边长归心改正数,成为归化到标志中心边长值。观测方向归化到椭球面改正,应考虑垂线偏差、目标高程改正、截面差改正、观测天顶距受垂线偏差影响改正等。

从以上讨论可以看出,我们不能仅依靠加几项改正数来提高导线精度,而应从影响导线精度的各方面因素加以考虑。

结论与建议

影响导线精度因素很多,各种误差在观测过程中经常是同时发生的,因此我们建议:

(1)对于测量仪器,要定期进行检验,测定各项误差和改正数大小。

(2)对于测量人员,要认真学习操作规程,正确使用仪器,正确保养仪器。要培养认真负责的工作态度,野外计算应把各项改正数加入导线推算程序中,尽量避免各种误差的影响。

(3)对于外界条件影响,加改正数减小了该项误差影响。找出影响观测误差的原因,尽量选择有利条件下进行各项测量工作。

(4)施工过程质量控制十分重要。尤其注意站尺位置、油漆位置、井位(检波点)位置、检波器埋置位置的一致;组合井井底在一个水平面;检波器组合埋置在一个水平面等。

在本文的编写过程中,测量工程师廖建军同志提出了许多宝贵意见,在此表示感谢!

质勘查局814队任副队长兼总工程师,负责物化探生产、经营管理。

罗仁泽 助理工程师,1970年生,1992年毕业于西南石油学院石油地质勘查专业。现在四川石油管理局地调处地震四大队209队从事勘探和管理工作。

郑立安 助理工程师,1964年生,1996年毕业于武汉测绘科技大学成人教育测量管理专业。现在新疆石油管理局地调处从事测绘管理与技术监督工作。

李群河 工程师,1955年生,1987年毕业于合肥工业大学计算机与信息系。现在地矿部第四物探大队从事地震仪器及其它电子设备的维修工作。

李红洮 工程师,1962年生,1986年毕业于长春地质学院物探专业。现在地矿部第四物探大队综合研究院从事地震资料人机联作解释工作。

邵冬梅 助理工程师,1971年生,1991年毕业于石油物探学校地震勘探专业。现在中原石油勘探局地调处计算中心从事地震资料数据库管理工作。

曹 明 助理工程师,1971年生,1991年毕业于成都地质学院石油物探专业。现在四川石油管理局地调处211队工作。