

煤田三维地震勘探测量的技术方法探讨

杨文府, 刘海平, 杨双安, 张阳芳, 崔玉住

(山西煤田地质综合普查队, 山西 晋中 030600)

摘要: 以实例介绍了三维地震勘探测量中各项作业限差的关系、复测校差的关系以及测点坐标系转换关系。依照规范及限差控制标准, 讨论了控制点布设、导线布设的精度计算以及作业方法。通过对极坐标法误差的计算论证了放样点误差主要是由测角误差引起。

关键词: 三维地震勘探测量; 限差; 控制; 放样; 精度; 方法
中图分类号: P25 ; P631.4 **文献标识码:** A

煤田三维地震勘探测量工作的精确性直接影响到三维地震勘探资料采集、处理、解释的准确性。其作业方法现已发展成以 GPS 及光电测距导线控制测量和全站仪极坐标法放样测量, 精度大幅度提高, 完全满足煤炭工业部 1987 年的《煤炭资源勘探工程测量规范》和 2000 年的《煤炭煤层气地震勘探规范》的要求。本文根据近年来的三维地震勘探测量工作情况及其限差, 对其施工控制和放线的精度和方法进行了论述, 便于同仁参考。

1 各项限差关系和定位基准

1.1 各项作业限差关系

测量工作作为整个三维地震勘探的基础, 应保证各勘探点的定位达到最低限差要求。根据极限误差原则, 取 2 倍标准中误差作为偶然误差的极限值, 即 $\Delta_{限} = 2m$ 根据工程测量学可得: 标准中误差 m 为:

$$m^2 = m_{标}^2 + m_{测}^2$$

其中标定误差比测量误差在施工中更难以控制, 一般标定误差取测量误差的 $\sqrt{2}$ 倍, 其中测量误差包括控制点误差 $m_{控}$ 和放样点误差 $m_{放}$, 测量控制点精度高于放样点, 取放样误差为施工控制点误差 $\sqrt{2}$ 倍。即 $m^2 = 2m_{测}^2 + m_{测}^2 = 3m_{测}^2 = 3(m_{控}^2 + m_{放}^2)$

推导出:

$$\begin{aligned} m_{控} &\approx \pm 0.17\Delta_{限} & m_{放} &\approx \pm 0.24\Delta_{限} \\ m_{标} &\approx \pm 0.41\Delta_{限} \end{aligned} \quad (1)$$

由(1)可知: 在晋城成庄矿三维地震勘探施工的限差要求为 $2m$, 则整个施工测量控制点位限差应不

大于 $0.34m$, 三维地震勘探炮、检点放样限差应不大于 $0.48m$, 炮孔、检波器的标定误差不大于 $0.82m$, 所用仪器和施测方法, 要达到精度要求。

1.2 复测较差关系

对三维地震勘探控制点和放样点应使用相同的仪器和方法进行自检和复测, 以相同的方法进行数据处理后, 检测点的较差应在 $\Delta_{控} = \sqrt{2} m_{控} \approx \pm 0.17\Delta_{限}$, 最大不能超过

$$\Delta_{控} = 2m_{控} \approx \pm 0.34\Delta_{限} \quad (2)$$

同理三维地震勘探放样点的较差

$$\Delta_{放} = \sqrt{2} m_{放} \approx \pm 0.34\Delta_{限}, \text{最大不能超过}$$

$$\Delta_{放} = 2m_{放} \approx \pm 0.48\Delta_{限} \quad (3)$$

至于检波器、炮孔施工标定误差及其较差, 主要由三维地震勘探项目施工人员控制, 测量人员采用配合措施, 但三维地震勘探测量控制点与放样点的精度, 在没有勘探施工方的特殊要求下, 测量人员应使其达到本文讨论要求, 当然这一切都是在 $\Delta_{限}$ 值确定的情况下, 测量各项限差与精度才能确定。

1.3 三维地震勘探测量的定位基准

在煤田三维地震勘探中矿方一般提供的是大地坐标系, 而工程布置图中炮、检点的线号和桩号实际是相对坐标, 这就要求将大地坐标转换到相对坐标系或将设计坐标转换到大地坐标系进行测量。如图 1, 其中 x, y 为大地坐标系坐标, O 为大地坐标原点, A, B 为相对坐标系坐标, O' 为相对坐标原点 (a, b) 。 α 为 X 轴坐标系与 A 坐标轴的正向夹角, 即由 X 坐标轴的北端起顺时针旋转到 A 轴北端所经过的角度。

从上图关系中可写出如下关系式:

$$\begin{cases} x = a + A \cos\alpha - B \sin\alpha \\ y = b + B \cos\alpha - A \sin\alpha \end{cases} \quad (4)$$

作者简介: 杨文府(1978—), 男, 山西应县人, 助理工程师, 1998 年毕业于山西省煤炭工业学校工程测量专业, 现武汉大学武大站工程测量专业函授学习。主要从事基础控制、煤田三维地震勘探测量和数字测图工作。

收稿日期: 2005-07-06

责任编辑: 孙常长

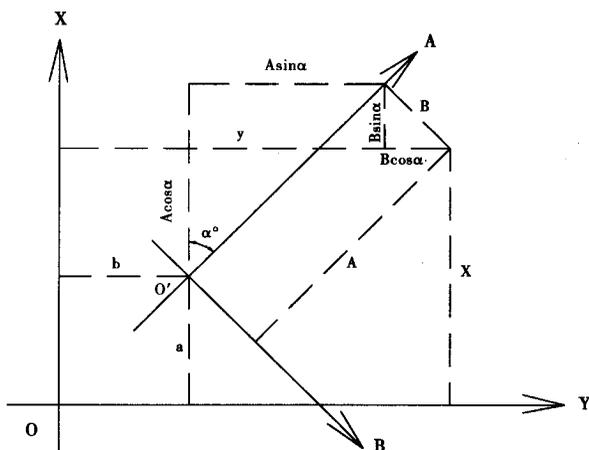


图 1 大地坐标与相对坐标转换示意图

Figure 1 Schematic diagram of geodetic coordinates and relative coordinates conversion

$$\begin{cases} A=(y-a)\cos\alpha+(y-b)\sin\alpha \\ B=(y-b)\cos\alpha-(x-a)\sin\alpha \end{cases} \quad (5)$$

在生产工作中，一般应采用相对坐标系进行作业。这是因为：①炮、检点的线号、桩号与相对坐标一致，直观明了、书写高效；②地震采集仪器记录整型易实现，输入快；③易满足三维地震处理软件的数据格式的要求。

2 精度与作业方法

2.1 布设控制点的精度与作业方法

在目前的三维地震勘探控制测量工作中，主要有 GPS 控制测量和导线控制测量两种方法。其中由式(1)可知，物探放线平面控制点相对于起算点的点位中误差不超过 $\pm 0.08\Delta_{限}$ 。在整个三维地震勘探施工的限差要求为 2m 的条件下，按《全球定位系统(GPS)测量规范》(MT/T18314-2001)中的 E 级标准施测测区中首级控制点是可行的，若限差提高可按照规范相应等级标准进行施测。

而在导线测量中，当导线平均长度为 300m，则附合导线长度可达 3.6km，采用 2"级，测距标称精度为 $\pm(5\text{mm}+5\times 10^{-6}D)$ 的全站仪水平角观测一个测回，垂直角往返观测，边长往返观测，导线全长闭合差能达到 1/12 000，方位角闭合差 $\leq \pm 24''\sqrt{n}$ (n 为测站数)，高程闭合差 $\leq \pm 0.1\text{m}\sqrt{D}$ (D 为导线长，以 km 计算)，也是完全满足三维地震勘探测量控制需要。具体在作业过程采用哪种方法，可根据测区地形的实际情况而定。

需要指出的是：许多测量作业单位喜欢采用附合导线进行逐级加密，主要依据目前规范中有一、二、三级导线和图根导线的规定。无疑附合导线具有许多优点，但由于多余观测少，发现和抵抗粗差的能

力较弱，不宜滥用。建立一个区域的控制，首级网点采用 GPS 测量，下面最好用一个等级的导线网作全面加密。从测量平差理论来看，全面布设的导线网具有更好的图形强度，精密较均匀，可靠性也较高。

2.2 支导线布设的有关精度与方法

在布设支导线中，末端点为其最弱点，因此其末端点精度必需满足三维地震勘探测量的精度要求，当在等边直伸型中按一测回单项观测支导线末端点相对起算点点位中误差计算公式为

$$m_{末}^2 = nm_s^2 + \lambda^2 L^2 + \left(\frac{m_\beta L}{\rho}\right)^2 \frac{(n+1)(2n+1)}{6n} \quad (6)$$

式中： $m_{末}$ ——支导线末端点相对起算点点位中误差； m_β ——测角中误差； m_s ——每边测距中误差； λ ——单位长度的测距系统误差； L ——支导线总长(m)； n ——支导线的边数。

当用测角精度为 5"，测距标称精度为 $\pm(5\text{mm}+5\times 10^{-6}D)$ 的全站仪时，并设 $\lambda=0.000\ 005$ 。由式(6)计算平均边长分别为 100m,200m,300m，支导线边数取 $n=1,2,3,\dots,10$ 时，末端点相对起算点的点位中误差见表为。

表 1 导线中误差 ($m_{末}$) 与边数及平均边长的关系

Table 1 Relation between route traverse mean square error (mend) and side

支导线边数/n	平均边长/m		
	100	200	300
2	9.0	13.1	18.0
3	12.6	20.3	28.9
4	16.7	28.6	41.5
5	21.3	38.0	55.6
6	26.3	48.2	71.0
7	31.8	59.3	87.7
8	37.6	71.1	105.5
9	43.8	83.7	124.4
10	50.4	96.9	144.3

从表 1 可以看出，在限差允许范围内，可以选择支导线的站数；据式(6)可得，当图根支导线总长一定时，测站数越多其末端点精度就越低，因此，当图根支导线总长一定时，应尽量少设测站，增大平均边长以提高精度；同时支导线检核条件少，在施测支导线时应注意测左角和右角，以便检核。

2.3 炮、检点测量的精度与方法

在实际工作中，尽管有直角坐标法，方向交合法，量距法，极坐标法等多种方法，但通常极坐标法已成为全站仪放样的主要方法，因此讨论它的精度更有意义。根据极坐标法放样的操作步骤和方法可知，放样炮、检点的点位误差 $m_{放}$ 主要由测角误差 m_β 引起的横向误差 m_u 和测距误差 m_s 引起的纵向误差 m_t 和控制点位误差构成，如果忽略控制点位误差，得：

$$m_{放}^2 = m_u^2 + m_t^2 = \left(\frac{sm_\beta}{\rho}\right)^2 + m_s^2 \quad (7)$$

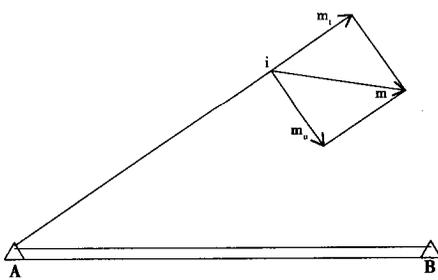


图2 极坐标法放样误差示意图

Figure 2 Schematic diagram of polar coordinate method setting-out point error

测距误差可分为两部分:一部分是光速值误差、大气折射率误差和测距频率误差等比例误差,另一部分是测相误差、加常数误差、对中误差等固定误差;只要在工作前把棱镜参数设置正确,仪器对中整平,取常用测距仪标称精度为 $\pm(5\text{mm}+5\times 10^{-6}D)$,取放样平均距离为500m,则

$$m_s = 5 + \frac{500}{1000} = 5.5\text{mm}$$

测角误差 m_β 包含了仪器整平对中误差,目标偏心误差,照准误差,仪器自身测角精度以及外界因素的影响。若所使用的仪器为 $2''$,取一测回测角中误差为 $12''$,在实际放样中,一般只测半个测回,故取

$$m_\beta = \sqrt{2} \times 12'' = 17''$$

取横向限差为2dm,则中误差为1dm,由 $\frac{sm_\beta}{\rho} \leq 10\text{cm}$,得: $S \leq 1213\text{m}$ 。

由式(7)可以看出,在放样点位误差中,主要是测角误差引起得,因此在操作中应注意提高测角精度。

在三维地震勘探测量极坐标法放样炮、检点中应注意如下方法:

①在放样之前应对控制点进行检查,将放样得到的控制点坐标与提供成果进行比较,确定差值在精度允许范围内方可进行下一步工作,否则应对控制点成果及作业方法进行进一步检查或对全站仪进行检校,直到达到要求为止;

测距误差可分为两部分:一部分是光速值误差、大气折射率误差和测距频率误差等比例误差,另一部分是测相误差、加常数误差、对中误差等固定误差;只要在工作前把棱镜参数设置正确,仪器对中整平,取常用测距仪标称精度为 $\pm(5\text{mm}+5\times 10^{-6}D)$,取放样平均距离为500m,则

②在全站仪中应设置球气差改正,以便使测量成果特别是高程更接近真实值;

③仪器在测站定向时,应后视两个已知方向,以观察方位角的符合情况,测站结束时,应检查后视方向归零差,一般不得超过 $17''$ ($2''$ 级全站仪)。

3 在晋城煤业集团成庄矿五盘区的应用

晋城煤业集团成庄矿五盘区位于山西省晋城市沁水县,总施测面积 9.15km^2 。区内丛林密集且沟谷发育,最大相对高差为 391m 。若按传统方法施测,不仅精度难以保证,而且工期较长,费时费力。用本文所论述的方法作业,三个小组9人(其中6人为跑尺员)施测共用时40d,效率比传统方法提高两至三倍,在日常测量工作中做到步步有检,且在验收时勘探平面点位中误差为 0.22m ,高程中误差为 0.17m ,满足了甲方的要求,为后续三维地震数据采集及时准确地提供资料,提高了三维地震外业整体工效。

4 结语

通过推导煤田三维地震测量中的各项限差关系,并论证其在具体生产作业中的精度指标和作业方法,本文论述基本涉及到三维地震测量外业工作的各个主要方面。近七年来在我队三十多个三维地震勘探中,本文的有效性得到证实。

参考文献:

[1]煤炭工业部.煤炭资源勘探工程测量规范[M].北京:煤炭工业出版社,1987.
 [2]MT/T 897-2000,煤炭煤层气地震勘探规范[S].
 [3]GB/T 18314-2001,全球定位系统(GPS)测量规范[S].
 [4]郝钧,赵珉文,姚国骧,等编著.三维地震勘探技术[M].北京:石油工业出版社,1992.
 [5]李青岳,陈永奇,编著.工程测量学[M].北京:测绘出版社,1995.
 [6]杨明强.城市数字化测图支导线点设置问题的探讨[J].测绘通报,2004,(4):28-29.
 [7]张正禄.工程测量学的发展评述[J].测绘世界,2000,(1):12-14.

Probe into Surveying Technical Method in Coalfield 3D Seismic Prospecting

Yang Wenfu, Liu Haiping, Yang Shuangan, Zhang Yangfang and Cui Yuzhu

(Shanxi Coal Geological Comprehensive Reconnaissance Surveying Team, Jinzhong, Shanxi 030600)

Abstract: The paper introduced relations between tolerances in different operations, repetition measurement calibration errors and measuring point coordinate system conversion in 3D seismic prospecting surveying. According to criteria and tolerance control standard, discussed control point and traverse layout accuracy calculating, as well as operating methods. Through polar coordinate method error calculus demonstrated that the setting-out point error is mainly caused by angle measurement error.

Keywords: 3D seismic prospecting surveying; tolerance; control; setting out; accuracy; method