

煤田三维地震勘探放线测量精度的探讨与实践

杨文府¹, 张阳芳¹, 刘海平¹, 杨双安²

(1. 山西省煤炭地质物探测绘院, 山西 晋中 030600; 2. 中国矿业大学, 北京 100083)

摘要: 讨论了煤田三维地震勘探测量的限差关系、精度和方法, 并应用到晋城成庄矿三维地震勘探测量放线工作中, 提高了三维地震勘探测量的精度和工作效率, 有较高的实用价值。

关键词: 三维地震勘探测量; 定位精度; 极限误差控制

中图分类号: P631.4; TN959.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2005)06-0548-03

煤田三维地震勘探测量工作的精确性直接影响到资料采集、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。笔者根据近年来的三维地震勘探测量工作情况及其限差, 结合成庄矿煤田三维地震勘探, 对其施工控制和放线的精度和方法做一介绍。

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 $m_{标}$ 比测量误差 $m_{测}$ 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

$$m = 2m_{测}^2 + m_{测}^2 = 3m_{测}^2 = 3(m_{控}^2 + m_{放}^2)。(1)$$

推导出

$$\begin{aligned} m_{控} &\approx \pm 0.17\Delta_{限}; \\ m_{放} &\approx \pm 0.24\Delta_{限}; \\ m_{标} &\approx \pm 0.41\Delta_{限}。 \end{aligned} (2)$$

由公式(2)可知, 在晋城成庄矿三维地震勘探施工的限差要求为 2 m, 则整个施工测量控制点位限差应不大于 0.34 m, 三维地震勘探炮、检点放样限差应不大于 0.48 m, 炮孔、检波器的标定误差不大于

0.82 m, 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

$$\Delta_{控} = \sqrt{2}m_{控} \approx \pm 0.17\Delta_{限} \approx \pm 0.24\Delta_{限}, (3)$$

最大不能超过

$$\Delta_{控} = 2m_{控} \approx \pm 0.34\Delta_{限}。 (4)$$

同理三维地震勘探放样点的较差

$$\Delta_{放} = \sqrt{2}m_{放} \approx \pm 0.34\Delta_{限}, (5)$$

最大不能超过

$$\Delta_{放} = 2m_{放} \approx \pm 0.48\Delta_{限}。 (6)$$

至于检波器、炮孔施工标定误差及其较差, 应由三维地震勘探项目施工人员控制, 测量人员相配合, 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 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(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 轴坐标轴的正向夹角, 即由 x 轴坐标轴的北端起顺时针旋转到 A 轴北端所转过的角度。从图示关系中可得出如下关系式

$$\begin{cases} x = a + A\cos\alpha - B\sin\alpha, \\ y = b + B\cos\alpha + A\sin\alpha; \end{cases} (7)$$

$$\begin{cases} A + (x - a)\cos\alpha + (y - b)\sin\alpha, \\ B + (y - b)\cos\alpha - (x - a)\sin\alpha. \end{cases} \quad (8)$$

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。

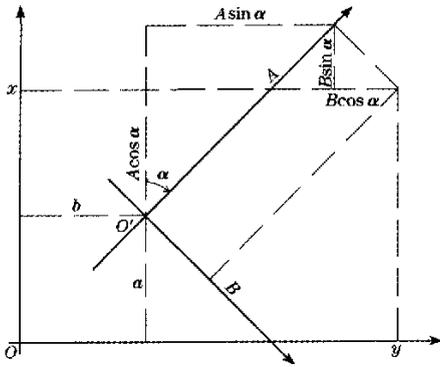


图1 测量坐标的转换示意

2 测量的精度与作业方法

2.1 布设控制点的精度与作业方法

目前,三维地震勘探控制测量主要有 GPS 控制测量法和导线控制测量法。由公式(2)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 $\pm 0.08 \Delta_{限}$ 。在三维地震勘探施工的限差为 2 m 的限定下,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 300 m,则附合导线长度可达 3.6 km。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,方位角闭合差在 $\pm 24''\sqrt{n}$ (n 为测站数),高程闭合差在 $\pm 0.1 \text{ m}$ (D 为导线长,单位:km),也是完全满足三维地震勘探测量控制需要。在作业过程中采用哪种方法,可根据测区地形的实际情况而定。

需要指出,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关一、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,最好用一个等级的导线网做全面加密。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,当呈等边直伸形布设时,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

$$m_{末}^2 = nm_s^2 + \lambda^2 L^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \frac{(n+1)(2n+1)}{6n}, \quad (9)$$

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

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 $\lambda = 0.000 005$ 。由公式(9)计算平均边长分别为 100, 200, 300 m, 支导线边数取 $n = 1, 2, \dots, 10$ 时,末端点相对起算点的点位中误差见表 1。

表1 末端点相对起算点的点位中误差 mm

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

从上表可以看出,在限差允许范围内,可以选择支导线的站数;由公式(9)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、方向交会法,量距法、极坐标法等多种放样方法,但通常极坐标法为全站仪放样的主要方法,因此讨论它的精度更有意义。由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_l 和控制点位误差构成(图 2),如果忽略控制点位误差,得

$$m_{放}^2 = m_u^2 + m_l^2 = \left(\frac{sm_\beta}{\rho}\right)^2 + m_s^2 \quad (10)$$

测距误差可分为 2 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

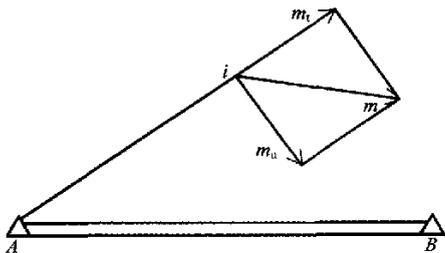


图 2 造成放样炮、检点的点位误差的示意

样平均距离为 500 m, 则

$$m_s = 5 + 500/1\ 000 = 5.5\ \text{mm}$$

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 20 cm, 则中误差为 10 cm, 由 $\frac{sm_\beta}{\rho} \leq 10\ \text{cm}$ 得: $s \leq 1\ 213\ \text{m}$ 。

由公式 (10) 可以看出, 放样点位误差主要是测角误差引起的, 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:

(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已知成果进行比较, 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做进一步检查或对全站仪进行检校, 直到达到要求为止;

(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 2 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 成庄矿五盘区应用实例

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 9.15 km²。区内丛林密集且沟谷发育, 最大相对高差为 391 m。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。用笔者介绍的方法作业, 3 个小组 9 人 (其中 6 人为跑尺员) 施测共用时 40 d, 效率比传统方法提高 2 ~ 3 倍, 在日常测量工作中做到步步有检, 验收时勘探平面点位中误差为 0.22 m, 高程中误差为 0.17 m, 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

笔者推导了煤田三维地震测量中的各项限差关系, 介绍了在具体生产作业中的精度指标和作业方法。近 7 年来, 开展的 30 多项三维地震勘探工作中, 方法的有效性得到证实, 对今后进一步提高三维地震测量工作的质量起到抛砖引玉作用。

参考文献:

- [1] 煤炭资源勘探工程测量规范[S]. 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]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [3] GB/T 18314-2001 全球定位系统(GPS)测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [4] 郝钧, 赵珉文, 姚国骥, 等. 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. 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.

A TENTATIVE DISCUSSION ON THE PRECISION OF EXPLORATION LINE ARRANGEMENT IN COALFIELD THREE-DIMENSIONAL SEISMIC SURVEY

YANG Wen-fu¹, ZHANG Yang-fang¹, LIU Hai-ping¹, YANG Shuang-an²

(1. Shanxi Institute of Geophysical Survey for Coal Geology, Jinzhong 030600, China; 2. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper discusses the limiting error, precision and method of three-dimensional seismic survey in the coalfield, exemplified by the application of the method to the line arrangement of three-dimensional seismic exploration in the Chengzhuang coal mine of Jinzhong Prefecture. The precision of the data and the efficiency of actual operation have been improved. The method is used effectively in the three-dimensional seismic exploration.

Key words: three-dimensional seismic exploration survey; positioning precision; control of limiting error

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。