

地质与测量

采煤工作面数码摄影地质编录技术研究

杨建华¹ 张广学¹ 杨彪² 黄海丽² 李浩²

(1. 兖矿集团有限公司 济宁三号煤矿 山东 济宁 272069; 2. 河海大学 地球科学与工程学院 江苏 南京 210098)

摘要:针对目前采煤工作面手工编录方法在效率和精度等方面存在的问题,提出了一种基于近景摄影测量理论的数码影像地质编录方法。该方法采用专门设计的摄影装置快速获取工作面影像,数据处理时,通过断面计算、影像畸变校正与镶嵌、展示影像量测、产状计算与属性描述,实现了施工地质编录方法的手工作业向计算机辅助作业与信息管理的转换。实际应用表明,与现有手工方法相比,利用此方法提高了工作面地质编录的工作效率、完整性、准确性,并有利于提升管理的自动化水平。

关键词:地质编录;采煤工作面;摄影测量;地质构造;数码影像

中图分类号:TD175.7 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2014)07-0088-04

Research on Digital Photographic Geological Logging Technology of Coal Mining Face

YANG Jian-hua¹ ZHANG Guang-xue¹ YANG Biao² HUANG Hai-li² LI Hao²

(1. Jining No. 3 Mine, Yanzhou Coal Mining Group Limited, Jining 272069, China;

2. School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In view of the problems in efficiency and accuracy of manual geological logging approaches for coal mining face, this paper proposed a digital photographic geological logging method based on close range photogrammetry. This method took images of the mining face rapidly by a photographic apparatus of special design. During data processing, section calculation, image distortion correction and mosaic, display image measurement, occurrence calculation and attribute description were implemented; therefore, the construction geological logging method was converted from manual work to computer-aided work and information management. The application indicated that the method proposed by this paper had highly improved the efficiency, integrity and accuracy of geological logging of coal mining face, as well as the management automation level in contrast with manual approaches.

Key words: geological logging; coal mining face; photogrammetry; geological structure; digital image

0 引言

矿井地质构造是控制煤系形态、位态和体态的首要地质因素,准确的地质资料和超前预测是煤矿安全和高效生产最根本的保障条件。采煤工作面的地质编录为地质预测、采矿设计与生产决策提供重要的基础数据,主要包括工作面巷道分布情况及工作面中重要地质构造信息采集与分析。随着采煤机械化程度的提高,采掘工艺的更新,要求矿井地质编

录工作朝着细、准、快的方向发展^[1-4]。采煤工作面地质情况较为复杂,具有多种多样的形状特点,且由于现场观测条件的限制,故对作业效率要求高。目前,工作面的地质编录仍然普遍采用手工作业方法,即地质人员现场使用皮尺和罗盘等工具测量距离及产状,并进行现场地质素描。这种作业方式工作难度大、效率低、精度差,地质人员走近工作面量测存在较大的安全隐患^[5]。为此,提出了基于近景摄影测量的矿井地质编录方法。然而,目前对煤矿摄影

收稿日期:2013-12-22;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.07.023

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51079053);中央高校基本科研业务费资助项目(2010B08814)

作者简介:杨建华(1967—),男,山东宁阳人,高级工程师。Tel:0537-2628019, E-mail: yk_yjh@126.com

引用格式:杨建华,张广学,杨彪,等.采煤工作面数码摄影地质编录技术研究[J].煤炭科学技术,2014,42(7):88-91,97.

YANG Jian-hua, ZHANG Guang-xue, YANG Biao, et al. Research on Digital Photographic Geological Logging Technology of Coal Mining Face [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(7): 88-91, 97.

地质编录的研究存在明显不足,主要是利用光学单反相机进行井下拍照,然后基于图像处理技术进行地质解译和简单的平面量测,未实现对图像的三维空间坐标量测,得不到岩层面的准确空间信息,缺乏严格的精度控制;或者是传统近景摄影测量方法在井下的直接套用,没有考虑井下特殊的作业环境,缺乏效率和可操作性。所以,20 世纪 70 年代以来,像片仅被用以辅助地质编录,通常只供目视判读和解译。到目前为止,摄影地质编录方法还没有得以实际推广应用,煤矿地质编录仍然普遍采用传统落后的手工素描方法,迫切期待技术变革^[6-9]。针对以上问题,笔者提出一种具有严格精度控制的数码摄影地质编录技术方法,该方法首先利用手持激光测量仪快速测量工作面断面,在此基础上,采用自主研发的自动安平摄影支架快速获取工作面影像;然后,进行影像处理,包括影像校正、影像镶嵌、影像量测,进而进行影像地质编录,包括在影像上进行构造线绘制、产状计算、属性编码、开挖面地质分析,最终生成编录效果图。

1 工作面断面生成

1) 确定工作面断面分段。工作面的起伏可以由刮板输送机挡板的起伏来确定。将工作面断面线看成由若干坡度变换点按顺序连成的折线,首先确定坡度变换点,再分段测量坡度和坡长。

2) 确定坡长与坡度。每一坡段上覆盖有若干液压支架,并且液压支架都是等宽的。通过计算液压支架的个数,可以得到坡长,利用井巷激光测距仪来测得坡段的坡度。

3) 断面平差解算。工作面断面由组成各坡段的坡长和坡度表示。由于根据刮板输送机挡板测出的坡长和根据激光测距仪测出的坡度均有一定误差,故需进一步通过平差计算改正。

工作面断面示意如图 1 所示,设 P_0 、 P_n 是工作面刮板输送机挡板的 2 个端点,在巷道中已测得坐标,这里作为已知点。

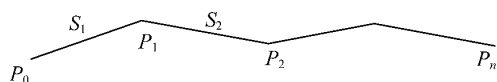


图 1 工作面断面示意

为进行断面计算和后期影像量测处理,要建立一个工作面空间坐标系(右手系)。坐标系以大致代表工作面走向的方向为 X 轴,工作面倾斜方向为 Y 轴, Z 轴垂直方向。将工作面中的采掘工作面作

为平面处理,同一开挖面上的 Y 值基本相同。由液压支架数量得到第 i 个坡长 S_i ,并巷激光测距仪测出坡度值 θ ,由 P_0 点的三维坐标推算 P_n 点的三维坐标,计算方法如下:

$$X_n = X_0 + \sum_{i=1}^n S_i \cos \theta$$

$$Z_n = Z_0 + \sum_{i=1}^n S_i \sin \theta$$

其中: X_0 、 Z_0 为断面起点 P_0 的坐标; X_n 、 Z_n 为断面终点 P_n 的坐标。由 P_0 点算出的各点坐标有累积误差,通过 P_n 点坐标,按照坐标附合条件平差计算,得到各坡段改正后的长度和坡度,生成断面图。

2 工作面影像快速获取

2.1 拍摄装置研制

采煤工作面一般较长,需要拍摄的像片数量较多,拍照环境较差,很难做到摄影测量物方或者像方的精确控制,要使影像具有空间可量测性,同时为了提高工作面影像获取的工作效率,降低劳动强度,保证相机在拍摄时快速、平稳,需要研制专门的摄影控制支架,且摄影控制支架应满足以下条件:①能快速自动安平,以保证拍摄时相机在 X 、 Y 、 Z 三个方向的旋角近似为 0;②设备轻巧灵活,便于携带,操作简单,作业速度快;③能稳定搁置于刮板输送机的挡板上,起固定作用,避免拍照时相机抖动,并能与挡板保持平行,保证摄影光轴垂直于工作面。

图 2 为自主研发的工作面快速摄影装置。其中,相机为经防爆处理的 Cannon Eos-500D 本安型数码相机。摄影时采用便携式本安型冷光源摄影灯照明。



图 2 工作面快速自动安平摄影装置

2.2 影像拍摄方法

对工作面进行选择性拍摄,如图 3 所示,即在重要地质结构处拍摄单张影像。

拍摄时将自动安平支架附着在刮板输送机的挡板上,相机自动安平,摄影光轴垂直于工作面拍摄。相机的位置由所在挡板的位置来确定,根据工作面

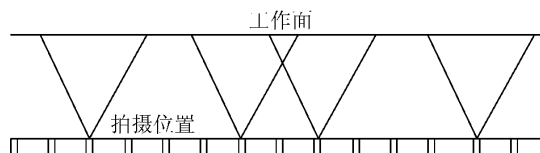


图 3 工作面现场拍摄方法示意

断面图得到拍摄位置的三维坐标 X_s, Y_s, Z_s 。

3 工作面影像处理

3.1 影像增强

图像增强通过使用亮度调整、对比度调整、线性变换增强、非线性变换增强、分段线性增强、均匀化增强、规定化增强、空间滤波等技术,使工作面影像的质量得到提高,有效加强用户对图像的目视判读^[10]。

3.2 畸变校正

普通数码相机内方位元素是未知的,且影像存在较大的构像畸变差。畸变差的特点为:

1) 物镜构像畸变有 2 种:径向畸变差和切向畸变差。径向畸变在以像主点为中心的辐射线上是对称型畸变,而切向畸变差是一种非对称型畸变^[11]。

2) 距像片中心像元越近,构像畸变差越小,误差基本上关于中心像元呈对称分布^[12]。

为了使普通数码影像达到较高的量测精度,必须对原始影像进行畸变校正,改正构像畸变差。考虑到普通数码影像畸变差的特点,采用一种高精度的畸变校正模型——LUCA LUCCHESI^[13]模型作为径、切向畸变改正模型。

$$\begin{cases} \Delta x = (x - x_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1(r^2 + 2(x - x_0)^2) + 2p_2(x - x_0)(y - y_0) \\ \Delta y = (y - y_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_2(r^2 + 2(y - y_0)^2) + 2p_1(x - x_0)(y - y_0) \end{cases}$$

式中: $\Delta x, \Delta y$ 为像片坐标改正值; x_0, y_0 为像主点在像平面坐标系中坐标; r 为像点径向半径,即像片上像点 (x, y) 到像主点的距离 $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$; k_1, k_2, k_3 为径向畸变系数,也称对称型畸变系数; p_1, p_2 为非对称型畸变系数。

对原始影像进行畸变校正之前,先采用高精度平面控制场检测出相机的内方位元素 x_0, y_0 和畸变参数 k_1, k_2, k_3, p_1, p_2 。再利用检测参数对原始影像进行逐像元重采样和插值,得到畸变校正后影像,即可进行量测,并参与摄影测量的各种计算和处理。

3.3 校正影像边界坐标确定

考虑到摄影时采用自动安平支架,并垂直于工

作面拍摄,所以,经过畸变校正后的影像可基本认为是正射影像,投影到工作面上的边界坐标 $(X_{\min}, Y_{\min}) - (X_{\max}, Y_{\max})$ 可根据相机像场角 u, v , 拍摄位置 X_s, Y_s, Z_s , 拍摄距离 D , 按以下公式计算得到:

$$X_{\min} = X_s - D \tan(u/2), X_{\max} = X_s + D \tan(u/2)$$

$$Y_{\min} = Y_s - D \tan(v/2), Y_{\max} = Y_s + D \tan(v/2)$$

3.4 影像镶嵌

影像镶嵌即根据以上计算出的影像边界坐标,判断相邻影像的重叠区域,裁去相邻影像间的重叠部分,或者对重叠部分进行平滑过渡处理,把多幅纠正后的影像在展示面上拼接成一幅大图像的处理过程。当煤矿工作面拍摄影像较密集,相邻影像有衔接时,工作面编录影像可以进行镶嵌,生成镶嵌影像图,否则不进行镶嵌而对单张影像编录。影像镶嵌程序界面如图 4 所示。



图 4 影像镶嵌程序界面

4 影像地质编录

影像地质编录基于一期或多期的镶嵌影像或单幅影像进行编录,实现地质构造绘制、岩层产状量测、地质构造属性录入等功能,并编辑出图和存入数据库管理。

4.1 像点空间坐标量测

影像地质编录的关键就是要从影像上量测出像点的三维空间坐标,工作面拍摄像片时中心投影构像关系如图 5 所示。摄影中心 S , 像点 a , 工作面上物点 A , 三点共线, 因此有:

$$x_a / (X - X_s) = z_a / (Z - Z_s) = f / D$$

$$Y = Y_s + D$$

其中: x_a, z_a 为像片点的坐标; f 为相机主距; D 为像主点到工作面的距离(可由激光测距仪测得),即拍摄距离; X_s, Y_s, Z_s 为投影中心点的空间坐标。由上式求出像点 a 在工作面坐标系中的空间坐标 X, Y, Z 。再根据工作面的起止坐标,可将像点空间坐标变换为大地坐标^[14]。

4.2 地质构造绘制与属性录入

以影像为编录底图,在其上绘制构造线,并对所绘构造线的属性进行设置,如输入线名、线型、构造

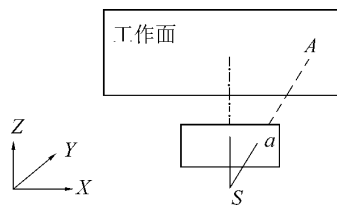


图 5 工作面中心投影构像关系

性质的编码等。编录程序界面如图 6 所示。

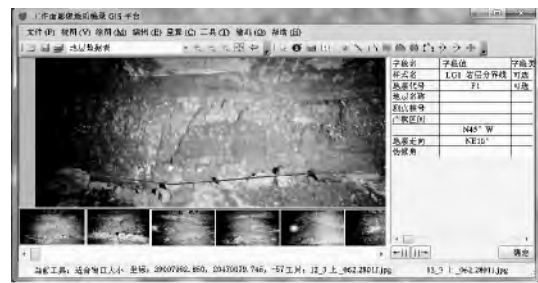


图 6 影像地质编录界面

4.3 岩层产状计算

岩层产状计算是按照不共线的 3 点确定一个平面的原理来实现的,而工作面是当作平面来处理的,当所有点大致处在同一平面时,不能计算产状要素,而必须联合利用不同开挖时期工作面影像中的同一构造线上的若干像点,如图 7 所示,计算出像点的空间三维坐标,再通过最小二乘平差拟合得到岩层面的空间方程,进而计算其产状要素。

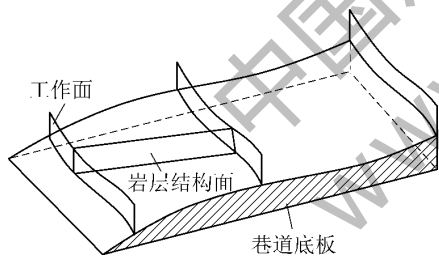


图 7 岩层面产状计算

当仅对单个工作面编录时,将生成工作面地质编录立面图;当连续对多个工作面编录后,还可以生成工作面区域编录成果图(图 8)。编录结果图最终转入 AutoCAD 打印输出,并存入数据库保存,便于后期的查询、统计和分析。

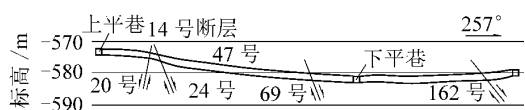


图 8 影像地质编录结果

5 试验结果对比

研究的数码摄影地质编录技术及相应的软硬件

系统在济宁三号煤矿工作面地质编录中得到了实际应用。济宁三号煤矿设计能力 500 万 t,于 1993 年 12 月正式开工建设,2000 年 12 月 28 日正式投产,服务年限为 81 年。矿井含煤地层为石炭-二叠系山西组和太原组,倾角平缓,一般在 5°~9°,局部因受断层牵引影响,倾角变陡,可达 18°以上。地质构造复杂,据生产揭露采区最大断层密度 30 条/km²,小构造发育,对生产影响很大。

以 12 采区中 3 上 06 工作面为例,将数码影像方法与传统手工方法进行对比。该工作面长度约 250 m,巷道高为 1.7~2.3 m,顶板绝对标高为 -547.3~-580.9 m,起伏较大,现场施工环境较复杂。2 种方法对比试验结果见表 1。

表 1 对比试验结果

方法	井下作业时间/min	数据处理时间/h	定位精度/cm	人员要求/人	人员安全性	成果形式
数码影像	20	0.5	<5.0	1~2	高	多样
传统手工	150	3.0	<50	2~3	低	单一

6 结 语

煤矿井下照片所获得各种地质信息的真实性和丰富程度是手工素描所不能比拟的。它对各种地质现象给予了如实的再现,为分析研究提供了条件^[9]。笔者提出的煤矿工作面影像地质编录技术与方法,不仅把各种地质现象用数字影像的形式记录下来,再现矿井地质原貌,而且具有严格的精度控制,基于数字摄影测量原理,使得影像具有空间可测量性。该技术方法可代替和弥补手工素描的不足,还可以把大部分井下作业放在计算机上完成,实现数据资料的采集、编辑、计算、成图、输出一体化作业,极大地减少了外业工作量,提高工作面地质编录的工作效率和编录的完整性、准确性,以及编录成果的质量,促进地质信息的数字化管理和综合化利用,满足现代化煤矿开采的需求。

参考文献:

[1] 董书宁. 煤矿安全高效生产地质保障技术现状与展望[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(3): 1-5.
[2] 贾建称,陈健,柴宏有,等. 矿井构造研究现状与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(10): 72-77.
[3] 史国华. 采煤概论[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2003: 1-8.

(下转第 97 页)

最小主压应力轴的方向是 $121^{\circ} \sim 301^{\circ}$, 倾角接近水平; 中间主压应力轴大都近于直立或略有倾斜。这种转变一方面归因于太平洋板块向 NE 俯冲于亚洲大陆之下, 迫使中国东部的岩石圈块体产生 NE-SW 向挤压; 另一方面可归因于特提斯构造域的 Kohistan-Dras 岛弧复合体在晚白垩世、印度板块在始新世与亚洲大陆碰撞向北凸入契进的远程效应。

根据节理统计成果, 本区喜山期构造应力场为 NE-SW 向挤压, 燕山期发育的近 EW 向的平行褶皱轴向发生偏转, 节理由挤压型剪节理转变为张节理, 北部部分褶皱轴向偏转近 NW 向延伸, 南部所受构造应力较弱, 呈 EW 向延伸。这表明, 本区在喜山期所受构造应力来源主要是 NE 方向靠近边界地带, 正是这一时期, 受到喜山运动的影响, 鄂尔多斯盆地周边地区开始断陷, 因此, 区域西部相对东部所受喜山运动的影响要弱。

4 结 论

综合野外共轭节理数据以及区域内构造形迹的分析, 保德地区主要遭受 3 期构造应力场的作用, 其中 2 期为挤压应力, 1 期为拉张应力, 西、南部主要受到燕山运动的建造, 北部是在燕山运动作用的基础上, 应力方向在喜山期发生转换。燕山期构造应力场, 以挤压应力为主, 拉张应力为辅。有 1 期挤压应力, 其主压应力方位为 NW-NE 向, 奠定了本区的构造格局, 在本区发育有横贯南北的一系列平行褶皱以及西南方向广泛发育的逆断层, 主要成因是山西断隆深部中下地壳内拆离系统自东向西扩展在本区基底形成的断裂构造, 受到 NW-NE 的挤压应力引起的盖层滑脱构造; 另 1 期为 NE-SW 向的拉张应力, 可能是受到库拉-太平洋板块在晚侏罗世向 NW 或 NWW 的俯冲引起的陆内伸展作用的远程影响; 喜山期构造应力场, 主压应力方位为 NE-NW, 在燕山运动的基础上应力方位发生根本转变, 在本区北部表现突出, 使北部燕山期形成的构造发生转变, 由 NW-SE 向转为 NE-SW 向, 在南部表现较弱。

参考文献:

- [1] 王锡勇, 张庆龙, 王良书等. 鄂尔多斯盆地东缘中-新生代构造特征及构造应力场分析[J]. 地质通报, 2010, 29(8): 1168-1176.
- [2] 车子良, 刘 良, 罗金海. 中国及其邻区区域大地构造学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 297-302.
- [3] 张 泓, 孟召平, 何宗莲. 鄂尔多斯煤盆地构造应力场研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(3): 1-5.
- [4] 徐黎明, 周立发. 鄂尔多斯盆地构造应力场特征及其构造背景[J]. 大地构造及成矿学, 2006, 30(4): 455-462.
- [6] 王双明. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996: 110-115.
- [7] 谢仁海, 渠天祥, 钱光谟. 构造地质学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991: 113-115.
- [8] 任收麦, 葛肖虹, 刘永江, 等. 柴达木盆地北缘晚中生代、新生代构造应力场: 来自构造节理分析的证据[J]. 地质通报, 2009, 28(7): 877-887.
- [9] 张岳桥, 施 炜, 廖昌珍, 等. 鄂尔多斯盆地周边断裂运动学分析与晚中生代构造应力体制转换[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 639-647.
- [10] Engebreston D C, Cox A, Gordon R G. Relative Motion Between Oceanic and Continental Plates in the Pacific Basin[J]. Geol Soc Am Spec Pap, 1985, 206: 1-59.
- [11] Xu J W. The Tancheng-Lujiang Wrench Fault System[R]. Beijing: John Wiley & Sons Ltd, 1993: 17-50.
- [12] Molnar P, Tapponnier P. Relation of Tectonics of Eastern China to India-Eurasia Collision: an Application of Slip-line Field Theory to Large-scale Continental Tectonic[J]. Geology, 1987, 15(4): 212-216.
- [13] 廖昌珍, 张岳桥, 温长顺. 鄂尔多斯盆地东缘边界带构造样式及其区域构造意义[J]. 地质学报, 2007, 81(4): 466-474.

(上接第 91 页)

- [4] 赵宗沛, 王安民, 刘玉忠. 煤矿地质立体摄影测量[J]. 煤炭科学技术, 1985, 13(8): 43-47.
- [5] 王明华, 李 浩, 苍桂华. 普通数码相机在洞室地质编录中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35(4): 15-18.
- [6] 叶建军. 井下非量测近景摄影测量[J]. 有色金属(矿山部分), 1990, 42(6): 29-30.
- [7] 李 浩, 张友静, 华锡生. 洞室摄影地质编录原理及其精度[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2002, 27(6): 578-581.
- [8] 袁崇孚, 张守恩. 煤矿井下地质摄影[J]. 煤炭科学技术, 1981, 9(9): 43-47.
- [9] 张友静, 李 浩, 刘新中. 摄影地质快速编录的关键技术研究[J]. 水文地质工程地质, 2003, 47(3): 36-38.
- [10] Rafael C. Gonzales. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007: 62-96.
- [11] 杨 彪. 基于普通数字影像的近景摄影测量技术研究与应用[D]. 南京: 河海大学, 2004.
- [12] 杨 彪, 李 浩. 基于普通数码相机影像的 DTM 数据采集系统研究与开发[J]. 工程勘察, 2003, 32(6): 50-53.
- [13] Luca Lucchese. Geometric Calibration of Digital Cameras Through Multi-view Rectification[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(5): 517-539.
- [14] 张剑清. 摄影测量学[M]. 2 版. 武汉: 武汉大学出版社, 2010: 26-30.