

文章编号: 1001-1986(2007)04-0015-04

# 普通数码相机在洞室地质编录中的应用

王明华<sup>1</sup>, 李 浩<sup>1</sup>, 苍桂华<sup>2</sup>

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏南京 210098;

2. 南京工业大学土木工程学院, 江苏南京 210009)

**摘要:** 探讨了在水电工程洞室中应用普通数字影像的近景摄影测量技术进行地质编录的方法。以斜井为例, 阐述了洞室的影像地质编录原理、影像地质编录系统及其操作流程。实际应用证明, 该技术能大幅提高地质编录的自动化程度和信息化管理水平。

**关键词:** 普通数码相机; 洞室; 坚井; 地质编录

中图分类号: P624.5 文献标识码: A

## Application of ordinary digital cameras in tunnel logging

WANG Ming-hua<sup>1</sup>, LI Hao<sup>1</sup>, CANG Gui-hua<sup>2</sup>

(1. College of Civil Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Civil Engineering, Nanjing Technical University, Nanjing 210009, China)

**Abstract:** This paper discussed the application of digital close-range photogrammetry in tunnel geological logging, taking well as an example, which concretely introduced principle and operation flow of the system. The practical application indicated that this technology can greatly increase automatic degree and information management of geological logging.

**Key words:** ordinary digital camera; tunnel; well; geological logging

工程地质编录是水利水电工程、交通工程、矿山工程等建设中极其重要的技术环节。传统的地质编录都是以地质素描为主, 依靠人工现场勘测, 绘出地质结构线并量测产状。这种作业方式工作量大、工作强度高、施工干扰大, 编录的几何精度低, 信息反馈慢, 同时编录成果也不易于统计分析和查询。此外, 在高边坡、洞室、坚井等处进行地质编录, 还存在一定危险。传统的地质编录方法已不能适应现代生产力的发展和信息化施工对现场地质信息快速响应的需要。

普通数码相机应用于施工地质编录, 可以在短时间内获取勘测区域的影像, 从而缩短现场工作时间, 特别是在高边坡和坚井等难于攀爬的地方, 作业人员不需冒险开展工作。本文开发的洞室影像地质编录系统是利用近景摄影测量技术和洞室空间形态, 正确表达出物像之间的投影关系, 使编录成果具有很高的精度。这种影像编录系统还可以保证小型的空间特征编录, 不会丢失地质信息, 可以很方便地把相关参数和编录成果保存到数据库中。此外, 还设计有专门的数据库查询系统, 可根据需要对成果进行查询和统计分析, 可大幅度提高地质编录和成果应用的效率。

## 1 洞室影像地质编录系统

洞室地质编录系统是一种影像 GIS 系统, 它是基于施工地质信息综合采集、地质体空间属性抽取和网络数据库管理, 联合运用数字摄影测量技术、GIS 技术、计算机图形图像处理技术, 对施工开挖地质体(面)进行影像采集和信息处理, 采用全数字化的处理流程, 最终生成施工地质图和空间地质结构参数, 并提供岩体稳定性分析评价的系统。系统以 VB、VC++、DelPhi 为开发平台, 开发了各部分公用控件、动态链接库及其他模块; 以 VB 作为开发平台, 开发了地质编录系统和出图子系统。洞室地质编录系统的编录过程为: 影像获取、影像预处理、影像畸变校正和几何纠正、影像镶嵌、基于影像的数字编录、编录成果转出、成果输出。

## 2 基于数码相机的洞室编录原理

### 2.1 影像内外方位元素的确定

普通的数码相机由于没有框标, 不能提供像片的内方位元素, 且构像畸变差较大, 因此, 在使用普通数码相机进行影像拍摄前, 首先应该对所使用的数码相机进行检校。这里结合水利水电工程科研项

目, 利用相对低廉的试验设备, 建立室内平面控制场和三维控制场, 探讨了普通数码相机检校方法<sup>[1]</sup>, 较好地测定了数码相机的构像畸变系数和内方位元素。

在拍摄过程中, 由于相机安装在专用编录仪上, 像片投影中心  $S$  一般情况下不处在支架的中心, 这使得由编录仪提供的像片外方位不尽正确, 因此必须进行偏心改正, 并根据提供的像片外方位元素的初始值, 利用旋转矩阵对拍摄的像片进行外方位改正, 通过反算得到像片的外方位元素的正确值。根据这些外方位元素可对物像投影进行像方位控制。

## 2.2 影像获取及预处理

现场拍摄勘测区域影像, 记录相机参数、洞形参数、像片参数等, 即完成了现场数据采集。然后在室内进行处理, 先根据勘测区域名称建立工作区, 并对拍摄的影像进行重命名导入到系统中。再输入参数, 即把现场记录的相机参数、洞形参数、像片参数输入到系统。相机参数包括畸变校正参数、内方位元素等。像片参数是相机拍摄时影像的姿态和位置; 洞形参数主要用于确定洞形方程。通过洞形参数和像片参数就可以对影像进行几何纠正。

## 2.3 影像畸变校正和几何纠正

由于普通数码相机存在较大的畸变差, 必须根据由相机检校得到的畸变参数结合检校模型对影像的相片坐标( $x, z$ )进行畸变校正, 得到校正后相片坐标( $x + \Delta x, z + \Delta z$ )。通过畸变校正即可生成图像的校正影像。

畸变校正以后再对影像进行几何纠正, 即可生成正射展示影像。洞室有多种洞形, 不同的洞形其洞形方程不同, 使得其几何纠正的算法也不同。在洞室地质编录系统中, 采用的物方坐标系是独立坐标系, 如图 1 和图 2 所示。平洞的物方坐标系以洞轴方向为  $X$  轴, 起始拍摄方向为  $Y$  轴, 垂直方向为  $Z$  轴。竖井的物方坐标系以洞中心为坐标系原点, 垂直方向为  $Z$  轴, 初始拍摄方向为  $Y$  轴, 垂直于  $YOZ$  平面的为  $X$  轴。以圆形竖井为例, 这里所谓的竖井包括了竖井和大倾角的斜井, 竖井其实就是斜井在倾角为  $90^\circ$  时的特殊情况。

### 2.3.1 斜井的洞形方程

半径为  $R$ , 倾角为  $\alpha$  的圆形斜井的洞形方程有两种表达方式。

a. 因圆形斜井的水平横断面是一个椭圆, 故可以把洞形方程写成椭圆方程形式:

$$\frac{(X-k)^2}{a^2} + \frac{(Y-h)^2}{b^2} = 1, \quad (1)$$

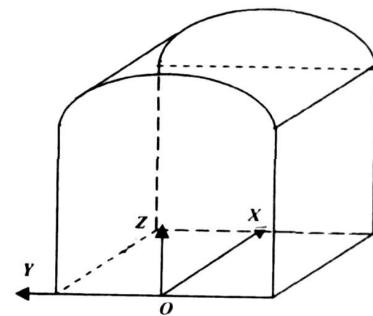


图 1 城门形洞物方坐标系示意图

Fig. 1 Schematic drawing of coordinate system of gate-like tunnel

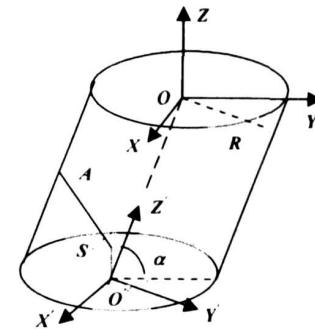


图 2 圆形竖井物方坐标系示意图

式中  $k, h$  为椭圆的中心坐标,  $k = 0, h = -(Z_0 - Z_s - \lambda w) / \tan \alpha$ ;  $a$  为椭圆的短轴,  $a = R$ ;  $b$  为椭圆的长轴,  $b = R / \sin \alpha$ ;  $\lambda$  为投影系数;  $Z_0$  为井口平台高程;  $Z_s$  为相片中心  $S$  的高程;  $w$  为像空间辅助坐标。

b. 把洞口的坐标系  $XYZ$  绕  $X$  轴旋转  $90^\circ - \alpha$  到坐标系  $X'Y'Z'$ , 如图 2, 在坐标系  $X'Y'Z'$  中, 垂直于洞轴的横断面为圆形, 其洞形方程为:

$$X'^2 + Y'^2 - R^2 = 0, \quad (2)$$

式中  $X' = X, Y' = Y \sin \alpha - (Z - Z_0) \cos \alpha$ 。

当  $\alpha$  等于  $90^\circ$  时, 就是竖井。

### 2.3.2 物像投影变换

设像片中心点  $S$  的物方坐标为  $(X_s, Y_s, Z_s)$  像点的像空间辅助坐标为  $(u, v, w)$ , 则像点的物方坐标  $(X, Y, Z)$  与空间辅助坐标之间的关系式为<sup>[2]</sup>:

$$\frac{X - X_s}{u} = \frac{Y - Y_s}{v} = \frac{Z - Z_s}{w} = \lambda, \quad (3)$$

式中  $(u, v, w)^T = M(x, f, z)^T$ ;  $M$  为旋转矩阵;  $(x, f, z)$  为像点的像空间坐标, 是以像主点  $P$  为坐标原点,  $x, z$  和相片坐标方向一致,  $f$  垂直于相片平面;  $\lambda$  为投影系数。当求得了像点的  $\lambda$  就可以得到该点的物方坐标。式(1)、(2)洞形方程, 虽然表达方式不一样, 但由这两个方程推导出的比例因子  $\lambda$  表达式是相同的:

$$\lambda = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (4)$$

式中  $a = u^2 + (v \sin \alpha)^2 + (w \cos \alpha)^2 - 2vw \sin \alpha \cos \alpha$ ;  
 $b = 2uX_s + 2vY_s \sin \alpha \cos \alpha - 2wY_s \sin \alpha \cos \alpha$ ;  
 $c = X_s^2 + (Y_s \sin \alpha)^2 - R^2$ 。

### 2.3.3 展示影像的生成

在竖井中, 影像的展示坐标系是相对于起始拍摄方向的, 顺时针展开圆弧方向为展示坐标系的  $cx$  轴, 沿洞轴方向向上为  $cz$  轴, 如图 3。对于洞壁上一点  $A(X, Y, Z)$  的展示坐标为  $(cx, cz)$ , 关系式为:

$$\left\{ \begin{array}{ll} cx = & \begin{cases} (\tan^{-1}(X/Y))R & -\frac{\pi}{2}R < cx < \frac{\pi}{2}R \\ (\tan^{-1}(X/Y) + \pi)R & \frac{\pi}{2}R < cx < \frac{3\pi}{2}R \\ (\tan^{-1}(X/Y) + 2\pi)R & \frac{3\pi}{2}R < cx < \frac{5\pi}{2}R \end{cases} \\ cz = Z & \end{array} \right. \quad (5)$$

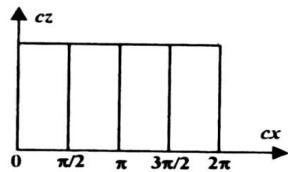


图 3 竖井影像展示坐标示意图

Fig. 3 Schematic drawing of image exhibition coordinate of well

系统根据(5)式就可以计算出影像上每点的展示坐标  $(cx, cz)$ , 并把每张像片的 4 个角点的展示坐标保存到数据库中, 作为影像镶嵌的依据。根据展示坐标进行镶嵌可以保证不同像片上的同名像点在镶嵌中是重合的。

在斜井中, 由于目标面是按斜井洞壁上的一条轴线展开, 所以在图像纠正过程中, 计算影像展示坐标前, 先要把求得的像点在坐标系  $XYZ$  中的物方坐标转换成坐标系  $X'Y'Z'$  中的坐标, 计算出纠正后的像片坐标, 把该像点在原始像片上重采样灰度赋于纠正后的像点上, 最后得到正射影像。特别要说明的是, 洞形方程在几何纠正环节至关重要, 不同的洞形, 其纠正方程不一样, 对于一个洞室里面的不同区域, 其展示坐标与物方坐标之间的关系也不相同。

### 2.4 影像镶嵌

在洞室中, 在同一摄站以不同的角度或多个摄站覆盖一段洞室拍摄像片。影像镶嵌是根据展示影像的展示坐标, 先通过条带内镶嵌再通过条带间镶嵌生成一段洞室的影像展示图。条带内镶嵌就是把同一摄站拍摄的影像拼接成一幅展示影像; 条带间镶嵌就是把覆盖一段洞室的各个摄站拍摄的影像拼接成一整段影像展示图。一般有两种处理接边线的

方法: 一种是平滑接边线法, 即对重叠区进行重采样; 另一种就是把重叠区裁剪去, 保留接边线。

### 2.5 影像地质编录及数据管理

影像地质编录是通过影像把地质要素提取出来并生成各类编录成果的过程。最主要的是提取地层点、线、面特征要素, 以及量测岩层产状。系统采用 3 种基于影像的产状量测方法。第一种方法是自动量测产状, 即根据绘制结构线上不共线的 3 个以上点的物方坐标求得该结构线所在的平面  $AX + BY + CZ = 0$ , 则该结构面相对于洞室物方坐标系的倾向  $\theta$  和走向  $\zeta$  为<sup>[3]</sup>:

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta = \tan^{-1}(B/A) \\ \zeta = \cos^{-1}\left(\frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}\right), \end{array} \right. \quad (6)$$

式中  $A, B, C$  为构造线所在平面方程  $AX + BY + CZ + D = 0$  的系数。再根据提供的洞轴方位角得到结构面在大地坐标系中的倾向和走向; 第二种方法是作业人员在结构线上手工选取 3 个以上点, 采用与第一种相似的方法来计算产状; 第三种方法是立体像对产状量测法, 这种方法主要适用于相邻条带影像有足够重叠度的情况。系统利用同一区域的立体像对, 在像对上选取岩层露头面上 3 个以上同名像点, 根据空间前方交会得到各点的物方坐标, 再根据前述方法计算产状。

在编录过程中输入结构特征的空间信息和量算、解译获得的属性信息都保存到数据库中, 用户可以根据需要进行编辑、管理、输出、查询。

### 2.6 基于 CAD 的成果输出

在编录完成以后, 系统提供了转出功能, 把数据转换成 dxf 文件。系统专门开发了 AutoCAD 出图外挂菜单, 用户可以在 CAD 中调用这些 GIS 的图形和属性数据, 并可对其进行编辑, 然后打印输出。

## 3 系统应用及评价

现以该系统用于某大型水电工程的一排油烟竖井地质编录为例加以说明。影像是使用 Canon—G2 数码相机在同一站拍摄的两个条带, 仰角分别为  $15^\circ$  和  $0^\circ$  的共 24 张影像, 图 4a、4b 为  $15^\circ$  仰角的一张原始影像及其单张展示影像。

影像经过镶嵌以后即可得到影像展示图。从此图可提取出地层面状、线状、点要素, 再通过系统自动计算出相应构造面的产状信息, 并自动标注到相应的要素上。系统还可自动绘出洞室的轮廓线、桩号线和刻度线(图 5)。编录完成以后数据保存并转出到 CAD 中输出, 如图 6 所示。

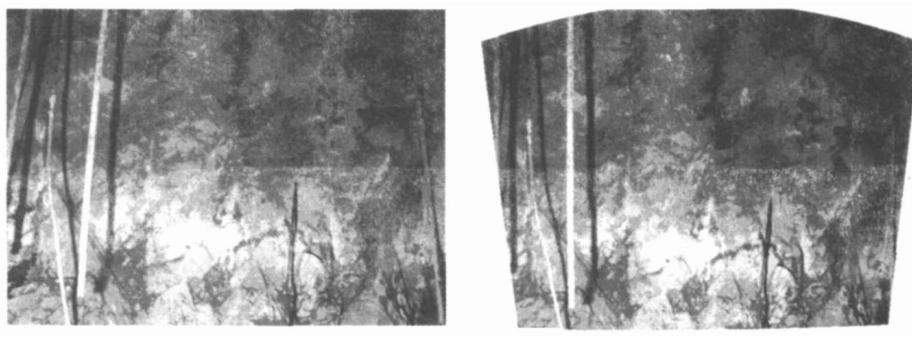


图4 原始影像( a )和单张展示影像( b )

Fig. 4 Original image ( a ) and exhibition image ( b )



图5 影像展示图及编录信息(局部)

Fig. 5 Image exhibition map and log data ( local )

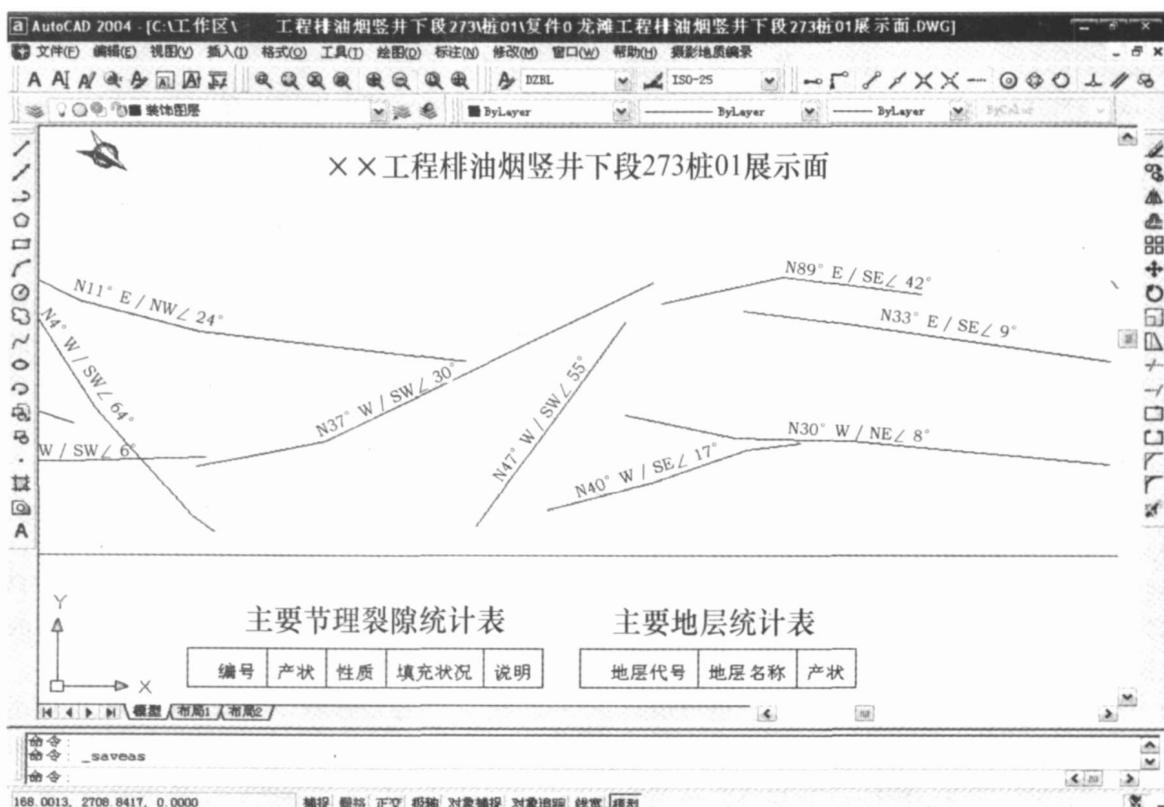


图6 输出成果图

Fig. 6 Output result map

文章编号:1001-1986(2007)04-0019-04

# 任楼煤矿小断层对瓦斯涌出的控制作用

严家平<sup>1,2</sup>, 姚金林<sup>3</sup>, 童宏树<sup>3</sup>, 孙昌一<sup>1</sup>, 王来斌<sup>1,2</sup>, 童世杰<sup>3</sup>, 黄凯<sup>1</sup>

(1. 安徽理工大学, 安徽 淮南 232001;  
2. 安徽省矿山地质灾害防治重点实验室, 安徽 淮南 232001;  
3. 皖北矿业集团任楼煤矿, 安徽 宿州 236001)

**摘要:**断裂构造作用对煤层的瓦斯含量及煤层开采时瓦斯的涌出量都会产生影响。通过实际观测统计, 分析了皖北任楼煤矿小型断层两侧瓦斯涌出的基本特征。研究表明, 断层作用区与煤层瓦斯高涌出量具一致性; 断层落差与最大瓦斯涌出区至断层点的距离具极好的相关性; 瓦斯异常涌出范围与断层落差之间也呈现良好的线性关系。进一步分析表明, 在研究区断层附近的瓦斯涌出量峰值出现的位置以及瓦斯涌出量异常的范围分别约为断层落差的35倍与60倍。

**关键词:**任楼煤矿; 小断层; 瓦斯涌出量; 相关性

**中图分类号:**TD712.52    **文献标识码:**A

## Gas-gushing control of small faults in Renlou Coal Mine

YAN Jia-ping<sup>1,2</sup>, YAO Jin-lin<sup>3</sup>, TONG Hong-shu<sup>3</sup>, SUN Chang-yi<sup>1</sup>, WANG Lai-bin<sup>1,2</sup>, TONG Shi-jie<sup>3</sup>, HUANG Kai<sup>1</sup>

(1. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;  
2. Key Laboratory of Mine Geological Hazard Control, Anhui Province, Huainan 232001, China;  
3. Renlou Coal Mine, Wanbei Mining Group, Suzhou 236001, China)

**Abstract:** Fracturing of faults affects the coalbed gas content and gas-gushing volume during mining. In this paper, the basic gas-gushing characteristics on both sides of small faults in Renlou Coal Mine, Wanbei are analyzed. It is presented that the gas-gushing volume is well consistent to where it is affected by fault through comparing the gas-gushing volume of affected zones to that of normal zones. The results of statistics analysis show that the fall of faults is in good pertinence with the distance between where the peak of gas-gushing volume is occurred and the rupture of the faults, that the scope of abnormal gas-gushing zone has a linear relation with the fall of faults, that the distance between the gas-gushing peak occurring spot and the rupture of faults, the scope of abnormal zone are 35 times and 60 times the breadth of the fall respectively.

**Key words:** Renlou Coal Mine; small fault; gas-gushing volume; pertinence

在断裂构造作用区, 煤体的形变往往改变煤对瓦斯吸附与解析的状态, 所产生的构造裂隙直接影响到瓦斯的赋存与运移。显然, 断裂构造作用不仅破坏了煤层在空间的不连续性, 而且直接影响到煤层瓦斯的含量, 进而影响到煤层开采过程中瓦斯的

涌出量。基于这一观点, 以皖北任楼煤矿煤层小断层区瓦斯涌出量为研究对象, 观测并总结出该矿煤层小断层区的瓦斯涌出量及其影响区间具有一定的规律性。

收稿日期:2006-12-05

基金项目:安徽省科技计划重点项目(04022007)

作者简介:严家平(1954—),男,安徽淮南人,教授,从事矿山地质灾害防治、环境地质教学与科研工作。

## 4 结语

现场应用表明, 普通数码相机的摄影地质编录技术可用于平洞、斜洞、竖井等各种洞形的地质编录, 效果良好, 从而改变了传统地质编录速度慢、周期长、数据易丢失等缺点。同时, 作业人员可远距离进行影像拍摄, 劳动强度和危险性大幅降低。证实影像地质编录技术及其信息系统可大大提高地质编

录的自动化程度和信息化管理水平, 在水电、矿业、交通等工程中具有广阔的应用前景。

## 参考文献

- [1] 杨林,李浩,闻国年.数码相机的一种检校方法[J].测绘通报,2004(8),50—52.
- [2] 李浩,张友静,华锡生.洞室摄影地质编录原理及精度[J].武汉大学学报,2002(6),578—581.
- [3] 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.