

# 基于 AutoCAD 图解矿山两井定向的计算方法研究

沙从术 胡 愈

(河南工程学院 土木工程学院 河南 郑州 451191)

**摘 要:** 针对矿山两井定向内业计算步骤多、公式复杂、过程繁琐、需要进行数据平差、耗时长且易算错的情况,探讨了利用 AutoCAD 绘图软件的坐标展点、旋转、缩放、查询、距离和角度量测等功能进行两井定向的图解计算方法,并通过实例与传统计算结果进行比较。结果表明:测角闭合差、坐标闭合差和全长闭合差都是完全一致的,平差后的坐标差值最大为 1.9 mm,最小为 0.2 mm,符合《矿山测量规程》的要求。验证了 AutoCAD 图解计算精度的可靠性,同时显示了利用 AutoCAD 图解计算直观性和快捷的优点,为矿山测量人员解算两井定向提供了一种新的简便计算方法。

**关键词:** AutoCAD; 矿山测量; 两井定向; 导线计算; 图解计算

中图分类号: TD175.3

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2013)10-0112-05

## Study on Diagram Calculation Method of Two Mine Shafts Orientation Based on AutoCAD

SHA Cong-shu, HU Yu

(School of Civil Engineering, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

**Abstract:** According to the many inner calculation procedures, complicated formula, cumbersome process, required data adjustment, long time consuming and prone miscalculation of the two mine shafts orientation, the paper discussed that the diagram calculation method of the two mine shafts orientation was conducted with the coordinate points, rotation, scaling, enquiry, distance and angle measurement and other functions of the AutoCAD drawing software. A comparison was conducted on the cases and the traditional calculation results. The calculation results showed that the closure error of the measured angle, the closure error of the coordinates and the full length closure error were fully fitted. The max coordinate difference after the adjustment was 1.9 mm, the min was 0.2 mm and all were met with the requirements of the *Mine Survey Regulations*. The diagram calculation accuracy, reliability of the AutoCAD was proved. Meanwhile the diagram calculation intuition and the shortcut advantage of the AutoCAD applied were showed and could provide a new easy calculation method to calculate the two mine shafts orientation for the mine survey personnel.

**Key words:** AutoCAD; mine survey; two mine shafts orientation; wire calculation; diagram calculation

## 0 引 言

在矿山工程中,为了满足矿井建设、生产、管理和安全的需要,必须建立井上下统一的坐标系统,对于采用平硐或斜井开采的矿井,可以用导线测量的方法直接将地面的坐标导入至井下;而对于立井开采的矿井,进行井上下联系测量则需要一井定向或两井定向<sup>[1]</sup>。一井定向是在一个井筒内悬挂 2 根钢丝,将地面点的坐标和边长方位角传递到井

下;两井定向则是在 2 个井筒内各悬挂 1 根钢丝,通过地面和井下导线测量将其联系起来,从而将地面坐标系统中的点坐标和边长方位角传递到井下<sup>[2-3]</sup>。两井定向和一井定向相比,一井定向投点边长短、计算简单,但精度低,不常使用;两井定向由于 2 点相距较远,投点误差影响小,定向精度高,但计算复杂、步骤多且易出错。如今,AutoCAD 已广泛应用于机械、建筑、电子、航天、矿山、土木工程、测绘等领域,成为工程设计领域中应用最多的

收稿日期: 2013-05-19; 责任编辑: 曾康生

基金项目: 河南省科技攻关计划资助项目(102102310290)

作者简介: 沙从术(1964—),男,安徽霍邱人,副教授,硕士。Tel: 15837180278, E-mail: shacongshu123@126.com

引用格式: 沙从术,胡 愈. 基于 AutoCAD 图解矿山两井定向的计算方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(10): 112-116.

计算机绘图软件<sup>[4-5]</sup>。利用 AutoCAD 相应功能进行图解计算两井定向, 将其变得简单、直观、速度快、效率高、不易出错并能保证计算精度, 具有一定的可操作性, 笔者探讨利用 AutoCAD 图解计算两井定向相关数据的原理与方法, 并通过实例验证了 AutoCAD 图解计算结果的可靠性与结果精度。

## 1 两井定向的数学模型与算法

采用两井定向时, 地面坐标可通过 GPS 和导线测量的方法将坐标传递到井筒, 在井筒中通过细钢丝将坐标由地面传递到井下, 井下以此 2 点作为已知点, 通过井底车场或其他巷道用导线的方式将其连接起来, 这样就形成了井下无定向附和导线, 如图 1 所示, 图中  $XOY$  为大地坐标系,  $xAy$  为任意坐标系,  $A$ 、 $B$  为井筒中心位置,  $1, 2, \dots, n$  为井下导线点位置,  $S_1, S_2, \dots, S_{n+1}$  为相邻点水平距离,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  为对应点的水平角度。其计算通常有假定坐标法、直接解算法、坐标变换法、条件平差法及虚拟权法<sup>[6-7]</sup>等多种解法。

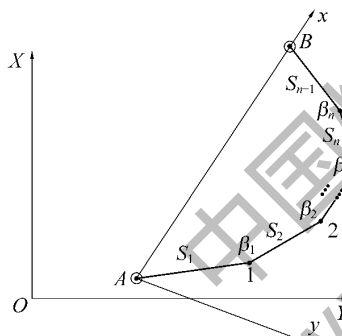


图 1 两井定向井下导线示意

假定坐标法计算思路是<sup>[8-9]</sup>: 根据地面连接测量的结果, 计算出两悬垂线的坐标, 再进行坐标反算, 利用式(1)和式(2)求出两垂线间连线的方位角  $\alpha_{AB}$  和水平距离  $S_{AB}$ 。

$$\alpha_{AB} = \arctan [(Y_B - Y_A) / (X_B - X_A)] \quad (1)$$

$$S_{AB} = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} \quad (2)$$

式中:  $A$ 、 $B$  分别为两立井的中心位置;  $X_A$ 、 $Y_A$  为  $A$  井中心坐标;  $X_B$ 、 $Y_B$  为  $B$  井中心坐标。

在井下由于 2 个立井筒不能直接相通, 因此计算连接导线时没有起始边方位角, 需要假定起始边方位角为  $0^\circ 00' 00''$  或任意角度, 由导线测量的角度, 利用式(3)推算出各边的假定坐标方位角。

$$\alpha_{i+1} = \alpha_{i-1} + \beta_i - 180^\circ \quad (3)$$

其中:  $i$  为任意点;  $\beta_i$  为相应的水平角;  $\alpha_{i+1}$  和  $\alpha_{i-1}$  为相邻两边的坐标方位角。利用式(4)计算假定坐标的坐标增量和式(5)求出  $B$  点的假定坐标。

$$\begin{cases} \Delta X_{ij} = S_{ij} \cos \alpha_{ij} \\ \Delta Y_{ij} = S_{ij} \sin \alpha_{ij} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} X_j = X_i + \Delta X_{ij} + v_{\Delta X_{ij}} \\ Y_j = Y_i + \Delta Y_{ij} + v_{\Delta Y_{ij}} \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $i$ 、 $j$  为相邻点位;  $\Delta X_{ij}$ 、 $\Delta Y_{ij}$  为  $ij$  边的纵横坐标增量;  $\alpha_{ij}$ 、 $S_{ij}$  分别为  $ij$  边坐标方位角和水平距离;  $v_{\Delta X_{ij}}$ 、 $v_{\Delta Y_{ij}}$  为  $ij$  边的纵横坐标增量改正数, 其中  $v_{\Delta X_{ij}}$ 、 $v_{\Delta Y_{ij}}$  由式(6)和(7)计算得出, 但应先计算导线的坐标闭合差, 再计算坐标闭合差改正数。

$$\begin{cases} f_x = X_A + \sum \Delta X - X_B \\ f_y = Y_A + \sum \Delta Y - Y_B \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} v_{\Delta X_{ij}} = -f_x S_{ij} / \sum S \\ v_{\Delta Y_{ij}} = -f_y S_{ij} / \sum S \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $f_x$ 、 $f_y$  为纵横坐标闭合差;  $\sum \Delta X$ 、 $\sum \Delta Y$  为  $A$ 、 $B$  之间所有边的坐标增量代数和;  $\sum S$  为  $A$ 、 $B$  之间导线边长之和。

最后用  $B$  点的假定坐标和  $A$  点的坐标反算出两悬垂线间连线的假定方位角, 计算两悬垂线在 2 个不同坐标系中的方位角之差(即旋转角), 根据旋转角可求出井下连接导线的各边在地面统一坐标系中的方位角, 根据各边的方位角及水平距离, 以井下连接导线的一端为起算点, 推算出另一端点的坐标, 由于测角和测距误差的影响, 将产生坐标增量闭合差, 利用式(6)求出, 用式(7)将坐标增量闭合差反号按距离成比例进行分配, 最后用式(5)计算出井下连接导线点的坐标。

直接法计算则是通过引入辅助变量  $M$ 、 $N$ , 先计算出第一条边  $A1$  的坐标方位角  $\alpha_0$  和边长缩放系数  $K$ , 再计算出各点的坐标。如图 1 中假定第  $i$  边的实际边长为  $D_i$ , 观测边长为  $S_i$ , 令:  $D_i = K S_i$ ,  $\theta_i = \sum \beta_i \pm 180^\circ$ , 则  $\alpha_i = \alpha_0 + \theta_i$ 。各边的坐标增量计算按三角公式展开合并得:

$$\begin{cases} \Delta X_{AB} = M K \cos \alpha_0 - N K \sin \alpha_0 \\ \Delta Y_{AB} = M K \sin \alpha_0 + N K \cos \alpha_0 \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $M = \sum_{i=0}^n S_i \cos \theta_i$ ,  $N = \sum_{i=0}^n S_i \sin \theta_i$ 。

由式(8)可以求出  $K$  和  $\alpha_0$  的值如下:

$$\begin{cases} K = D_{AB} / \sqrt{M^2 + N^2} \\ \alpha_0 = \arctan [(M \tan \alpha_{AB} - N) / (M + N \tan \alpha_{AB})] \end{cases} \quad (9)$$

由式(9)和式(7)推算出式(10) 求出各点的坐标:

$$\begin{cases} X_i = X_A + \sum_{i=0}^{i-1} K S_i \cos \alpha_i \\ Y_i = Y_A + \sum_{i=0}^{i-1} K S_i \sin \alpha_i \end{cases} \quad (10)$$

坐标变换算法是以  $A$  点为坐标原点  $AB$  连线为  $x$  轴建立平面直角坐标系,先在该坐标系中计算各点坐标,再通过平移和旋转将各点的坐标归算到地面统一坐标系统中。条件平差法则是将  $A$ 、 $B$  作为已知点,列出坐标条件方程式,其解算过程也是非常复杂的,虚拟权法计算更是复杂。事实上,每种方法计算的结果都是能满足矿山测量规程的精度要求,在实际工作中应该舍弃复杂的计算方法,寻求简便的计算方法,不仅可以提高工作效率,还可以减少计算过程出现的错误。

从以上计算思路和公式可以看出:采用这些传统的计算方法都需要反复使用公式,存在数据量大、过程繁杂、结果易出错等缺点。

## 2 AutoCAD 图解无定向附和导线的方法

图2为一条无定向附和导线,已知  $A$ 、 $B$  两点为已知点,1、2、3、4 为未知点,已知点坐标和外业观测的水平角度与水平距离如图2标注所示。

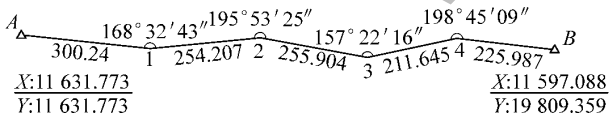
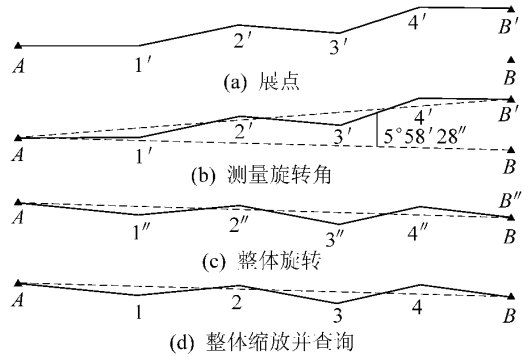


图2 无定向附和导线观测

利用 AutoCAD 进行图解计算的步骤如下:①  $A$ 、 $B$  点为已知坐标,  $A1$  边以任意方向和观测边长,其他边以观测水平角和边长进行展点,如图3a所示。②连接  $AB$  和  $AB'$  并量出导线的旋转角  $\delta = 5^\circ 58' 28''$ ,如图3b所示。③将导线整体旋转使  $AB$  和  $AB'$  重合,如图3c所示,并量出坐标闭合差  $f_x = -0.004 \text{ m}$ ,  $f_y = -0.028 \text{ m}$ 。④以  $AB$  和  $AB''$  为参照,将导线整体缩放,使  $B$  和  $B''$  两点重合,如图3d所示。⑤使用 ID 命令查询各点坐标见表1。



1'、2'、3'、4'、B' 为展点位置;1''、2''、3''、4''、B'' 为旋转后展点位置;1、2、3、4 为缩放后展点位置

图3 利用 AutoCAD 计算无定向附和导线步骤

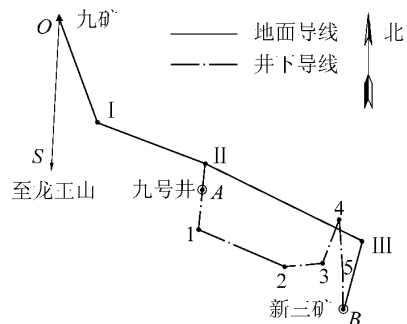
表1 利用 AutoCAD 计算无定向附和导线计算结果

点号	观测角	边长/m	$\Delta X/\text{m}$	$\Delta Y/\text{m}$	$X/\text{m}$	$Y/\text{m}$
A	—	—	—	—	11 631.773 18 563.890	—
1	$168^\circ 32' 43''$	305.425	-31.790	303.766	11 599.982 18 867.663	—
2	$195^\circ 53' 25''$	257.207	24.564	256.031	11 624.547 19 123.700	—
3	$157^\circ 22' 16''$	255.904	-46.240	251.692	11 578.306 19 375.398	—
4	$198^\circ 45' 09''$	211.645	44.794	206.851	11 623.101 19 582.253	—
B	—	228.586	-26.010	227.101	11 597.088 19 809.359	—
总计	—	1 258.767	-34.682	1 245.441	—	—

注:  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  为 AutoCAD 中距离查询结果,  $X$ 、 $Y$  为 AutoCAD 坐标查询结果。

## 3 两井定向实例

以文献[10]中某矿井采用如图4所示测量方案进行两井定向为例,地面导线以九矿(JK)的三角点作为起始点,九矿至龙王山为起始方向,形成支导线测量方案,井下则以  $A$ 、 $B$  作为已知点,形成无定向附和导线测量方案。已知九矿坐标为:  $X_{JK} = 610\,091.024\,0 \text{ m}$ ,  $Y_{JK} = 507\,901.396\,0 \text{ m}$ ,方位角  $\alpha = 167^\circ 15' 29.5''$ ,地面和井下导线的测量数据见表2。



I、II、III 为地面未知点,1—5 为井下未知点

图4 井上下测量方案示意<sup>[10]</sup>

地面支导线以九矿为起始点  $O$ ,九矿至龙王山为起始方向  $S$ ,用地面导线测量的水平角和水平距

离按极坐标的方式在 AutoCAD 图面上进行展点,如图 5 所示,然后使用 AutoCAD 中的 ID 命令进行坐标

查询,所得结果与文献[10]中利用公式计算的数据完全一致。

表 2 地面和井下导线测量数据<sup>[10]</sup>

地面导线测量数据				井下导线测量数据			
角号	水平角	边长	水平距离/m	角号	水平角	边长	水平距离/m
$\angle SOI$	$352^{\circ}21'20.4''$	$O-I$	79.956 6	$\angle A12$	$86^{\circ}28'20.2''$	$A-1$	15.931 2
$\angle OII$	$141^{\circ}28'53.0''$	$I-II$	75.918 1	$\angle 123$	$155^{\circ}08'55.2''$	$1-2$	37.922 9
$\angle I II III$	$174^{\circ}47'34.0''$	$II-III$	63.040 6	$\angle 234$	$116^{\circ}08'35.5''$	$2-3$	13.880 7
$\angle I II A$	$243^{\circ}18'22.4''$	$II-A$	9.136 0	$\angle 345$	$328^{\circ}11'34.3''$	$3-4$	17.213 1
$\angle II III B$	$259^{\circ}54'13.6''$	$III-B$	25.526 4	$\angle 45B$	$201^{\circ}31'56.9''$	$4-5$	19.632 7
						$5-B$	13.757 4

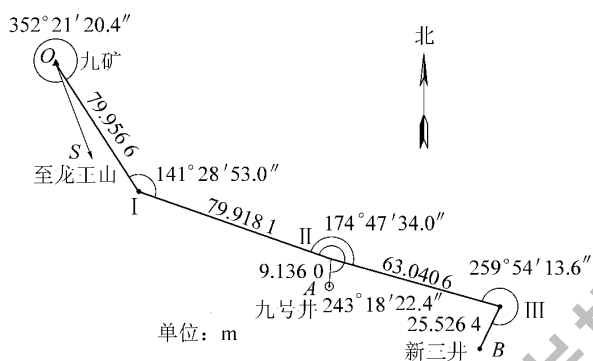


图 5 地面导线展点

井下无定向附合导线由于没有起始方向 A1

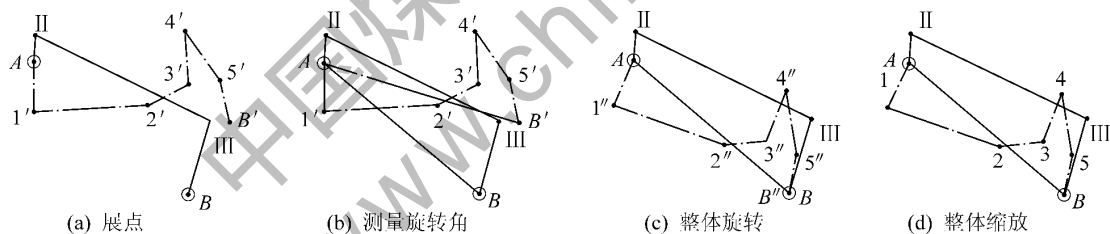


图 6 两井定向图解计算步骤

表 3 2 种计算结果坐标值的比较

点号	公式计算坐标		AutoCAD 图解坐标		坐标较差	
	X/m	Y/m	X/m	Y/m	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$
1	609 953.127 5	507 987.251 5	609 953.128 0	507 987.252 7	0.5	1.2
2	609 940.292 4	508 022.934 4	609 940.293 1	508 022.933 8	0.7	-0.6
3	609 941.518 8	508 036.760 3	609 941.519 0	508 036.758 9	0.2	-1.4
4	609 957.581 0	508 042.949 7	609 957.579 1	508 042.948 2	-1.9	-1.5
5	609 938.292 3	508 046.604 4	609 938.291 6	508 046.603 5	-0.7	-0.9

从表 3 两种计算结果对比可以看出,坐标差值最大为 1.9 mm,最小为 0.2 mm,远小于《煤矿测量规程》规定的误差要求。由此可见,由计算方法不同产生的误差远小于观测误差的影响,利用 AutoCAD 图解两井定向精度高、数据可靠。

以井下观测边长,任意方向先展出 1'点,再按井下观测的水平角和水平距离分别展出 2'、3'、4'、5'、B'点(图 6a);连接 AB 和 AB'量出导线旋转角  $\delta = 23^{\circ}18'42.9''$ (图 6b);将导线整体旋转使 AB 和 AB'重合,导线点 1'、2'、3'、4'、5'、B'分别移动到 1''、2''、3''、4''、5''、B''。此时 B''点位于 AB 直线上或其延长线上(图 6c),可用 AutoCAD 中 DIST 命令查询出纵坐标闭合差  $f_x = -0.0041$  m,横坐标闭合差  $f_y = 0.0049$  m,  $f_s = 0.0064$  m;以 AB 和 AB''之比为参照,将导线整体缩放,使 B 和 B''两点重合(图 6d)。使用 ID 命令查询 1、2、3、4、5 各点坐标见表 3。

#### 4 利用 AutoCAD 图解计算注意事项

- 1) 展点前需要根据测区的最小坐标和最大坐标设置图形界线,精度至 0.1 mm。
- 2) 由于高斯平面测量坐标系与 AutoCAD 的数

学坐标系不同,展点和坐标查询时需要将  $X$  和  $Y$  坐标对换,坐标方位角是顺时针旋转,而数学坐标系中的角度是以逆时针方向旋转的,所以在旋转测量角度前加负号。

3) 旋转和缩放导线前,需将导线整体设置为 AutoCAD 中多段线形式,不能用直线的方式相连。

4) 使用 AutoCAD 中 ID 命令查询各点坐标时,须使用“对象捕捉”模式精确查询,还可以方便地查询和标注每条导线边坐标方位角。

5) 利用 AutoCAD 图解计算,只适用于坐标测量的计算,对于高程的计算需单独进行。

6) 利用 AutoCAD 作图计算,只适用于单一形式的导线测量,对于地下空间交叉导线、结点导线的几何解算方法还有待于进一步探讨。

## 5 结 语

对于两井定向,采用不同的数学模型和计算方法,其计算结果都是有微小差别的,而利用 AutoCAD 进行两井定向的图解计算,可以做到简单快捷、直观明了,减少测量人员的内业计算工作量,提高工作效率,还可以直观检查或避免测量与计算过程中的错误,通过实例验算,计算的成果和精度与传统公式法

计算是一致的,该方法同样适用于地面支导线和无定向附和导线测量的计算,在矿山工程和线路工程测量中可以推广应用。

## 参考文献:

- [1] 张国良. 矿山测量学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006: 52-74.
- [2] 田发,姜斌. 两井定向在矿山中的应用[J]. 西部探矿工程, 2010(12): 142-146.
- [3] 徐茂林,杨风云,李冬梅,等. 利用一井定向资料完成两井定向的方法[J]. 测绘通报, 2002(1): 29-31.
- [4] 孙晓非. AutoCAD2010 中文版标准教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [5] 廖四海,刘艳红. AutoCAD 在道路工程测绘中的应用[J]. 湖南城市学院学报: 自然科学版, 2011, 20(1): 32-34.
- [6] 彭伟平. 两井定向内业计算的新方法及其应用[J]. 金属矿山, 2005(8): 49-51.
- [7] 彭伟平. 探讨提高两井定向成果解算精度的方法[J]. 金属矿山, 2005(7): 38-41.
- [8] 沙从术. 现代测量学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 126-130.
- [9] 高井祥,肖本林,付培义,等. 数字测图原理与方法[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001: 158-162.
- [10] 高井祥. 测量学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 173-177.

(上接第 95 页)

## 3 结 语

通过模拟截割试验,并对采集到的振动信号进行处理和分析得出,当截割参数相同时,不同材料的振动信号幅值不同。试验验证了运用振动信号进行煤岩识别的可行性,尤其是该方法是基于振动的频谱特性对煤岩分界进行识别,不是通过实时振动信号进行分析,因此可以避免采煤机自身抖动或其他因素影响造成的意外振动加剧,而导致做出错误判断。但是井下工作环境复杂,需要在工作面现场采集信号,进一步验证振动信号识别煤岩的效果。后期现场试验研究将主要是实现现场工况下的振动信号识别与噪声信号的分离,并且与其他煤岩识别技术相结合实现对煤岩分界的准确识别。

## 参考文献:

- [1] 王国法. 高效综合机械化采煤成套装备技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [2] 刘春生. 滚筒式采煤机记忆截割的数学原理[J]. 黑龙江科技

学院学报, 2010, 20(2): 85-90.

- [3] 刘春生,于信伟,任昌玉. 滚筒式采煤机工作机构[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2010.
- [4] Singha M K, Rupesh Daripa. Nonlinear Vibration of Symmetrically Laminated Composite Skew Plates by Finite Element Method[J]. International Journal of Non-Linear Mechanics, 2007, 42(9): 1144-1152.
- [5] XING Yu-feng, LIU Bo. Characteristic Equations and Closed-Form Solutions for Free Vibration of Rectangular Mindlin Plates[J]. Acta Mechanica Solida Sinica, 2009, 22(2): 125-136.
- [6] 李萍,刘春生,李晓豁. 采煤机调高机构的动力学分析[J]. 黑龙江矿业学院学报, 2000, 10(4): 18-20.
- [7] QIU Zhi-cheng, WU Hong-xin, YE Chun-de. Acceleration Sensors Based Modal Identification and Active Vibration Control of Flexible Smart Cantilever Plate[J]. Aerospace Science and Technology, 2009, 13(6): 277-290.
- [8] Yang J, Kitipornchai S, Liew K M. Large Amplitude Vibration of Thermo-Electro-Mechanically Stressed FGM Laminated Plates[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2003, 192(35): 3861-3885.
- [9] 张伟. 基于采煤机 DSP 主控平台的自动调高预测控制[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.