

文章编号:1671-251X(2011)10-0067-03

DOI:CNKI:32-1627/TP.20110922.1323.017

悬臂式掘进机截割断面极限位置分析

穆晶, 杜毅博, 田劫, 李睿, 吴淼

(中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083)

摘要:针对悬臂式掘进机机身位姿出现偏差时截割断面会出现偏差而严重影响定向掘进的问题,提出了一种控制截割臂进行截割断面自动补偿的方法;分析了截割臂回转和升降摆动控制原理,建立了截割臂回转和升降联合模型,并给出了该联合模型的 Matlab 仿真验证及控制截割臂进行截割断面边界补偿的应用方法。仿真结果验证了该方法的正确性。

关键词:悬臂式掘进机;定向掘进;截割臂;截割断面;位姿;自动补偿;边界补偿

中图分类号:TD632.2 文献标识码:A 网络出版时间:2011-09-22 13:23

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110922.1323.017.html>

Analysis of Extreme Position of Cutting Section of Boom-type Roadheader

MU Jing, DU Yi-bo, TIAN Jie, LI Rui, WU Miao

(School of Mechanical Electronic and Information Engineering of CUMT. (Beijing),
Beijing 100083, China)

Abstract: In view of problem that cutting section will take place error when pose of boom-type roadheader has error and will influence on directional mining seriously, the paper proposed a method that controlling cutting arm to make automatic compensation for cutting section. It analyzed control principle of rotary and lifting swing of cutting arm, built a combined model of rotary and lifting of cutting arm, and gave Matlab simulation verification of the model and application method of boundary compensation of cutting section by controlling cutting arm. The simulation result validated correctness of the method.

Key words: boom-type roadheader, directional mining, cutting arm, cutting section, pose, automatic compensation, boundary compensation

0 引言

悬臂式掘进机是煤矿井下综采工作面的核心装备,其远程可视化控制技术^[1]是研究热点之一。掘进断面自动成形控制技术^[2]和机身位姿参数检测技术^[3]已渐趋成熟,为掘进机定向掘进控制奠定了基础。当机身位姿出现偏差时,自动截割断面会出现偏差,严重影响定向掘进。因此,在机身位姿出现偏差时如何控制截割臂进行有效断面自动截割补偿的问题亟待解决。解决该问题首先要分析截割臂摆动

对截割断面形状和边界值的影响。

1 截割臂回转、升降方向的控制

悬臂式掘进机通过截割头旋转和截割臂相对于掘进机机身的水平与垂直摆动使截割头在空间的行走轨迹形成截割断面。水平与垂直摆动由液压系统控制,既可实现截割臂回转或升降运动,也可实现复合运动,完成任意断面截割。EBZ200型悬臂式掘进机的截割臂回转和升降摆动控制^[4]如图1所示。

截割臂回转位置控制^[5]分析如图2所示。以水平转台中心为原点建立坐标系,A、B两点是回转液压缸与转台的铰接点,C、D两点为回转液压缸在机身上的固定点,设截割臂相对于机身的水平偏转角 α_0 为 $\triangle AOB$ 与其初始位置(即图2中的灰色位置)的夹角,且回转液压缸在回转台铰接处到回转中心

收稿日期:2011-05-18

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2008AA062201)

作者简介:穆晶(1986-),女,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为悬臂式掘进机电一体化。E-mail:jessicamul234@163.com

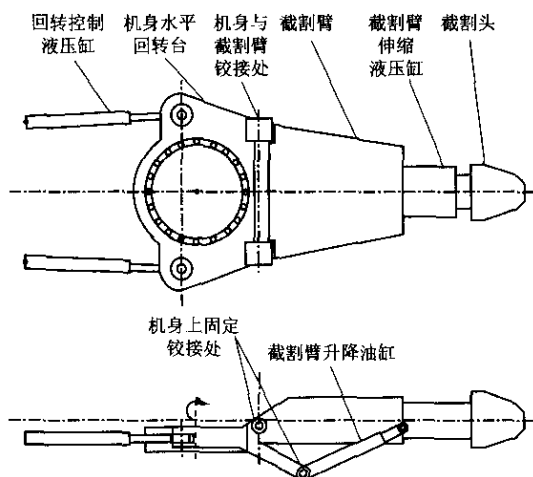


图1 EBZ200型悬臂式掘进机的截割臂回转与升降摆动控制

的半径 r 、回转液压缸在回转台铰接处相对于回转中心的张角 θ 、回转中心到回转液压缸在机身两铰接处连线的距离 l 、两回转液压缸在机身铰接处距离的一半 h 已知, 则

$$\alpha_b = f_A(l_A) = -\sin^{-1} \frac{l_B^2 - r^2 - l^2 - h^2}{2r\sqrt{h^2 + l^2}} - \left(\pi - \frac{\theta}{2}\right) + \omega_b \quad (1)$$

或由另一液压缸计算

$$\alpha_b = f_B(l_B) = \sin^{-1} \frac{l_A^2 - r^2 - l^2 - h^2}{2r\sqrt{h^2 + l^2}} + \left(\pi - \frac{\theta}{2}\right) - \omega_b \quad (2)$$

式中: $\omega_b = \sin^{-1} \frac{l}{\sqrt{h^2 + l^2}}$; l_A, l_B 为回转液压缸的长度。

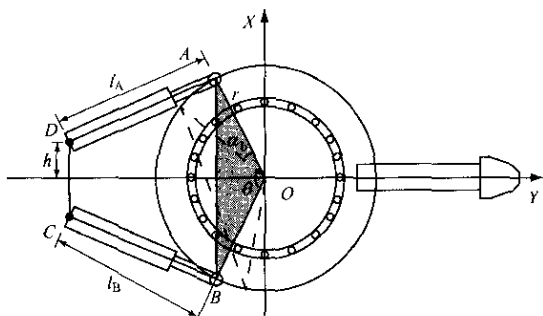


图2 截割臂回转位置控制分析

截割臂升降位置控制分析如图3所示。H点为截割头齿尖可有效切削的位置, OH表示截割臂水平时截割头中心线所在位置, E、F两点为截割臂与机身的铰接点, G点为升降液压缸与截割臂的铰接点。截割臂以E点为升降中心, OH与Y轴的夹

角为截割臂的俯仰角 β_b 。因 OHGE 为刚体, 则截割臂俯仰角 β_b 即为 $\angle GEF$ 的改变量。

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \frac{EG^2 + EF^2 - l_{G0}^2}{2EG \times EF} \quad (3)$$

$$\beta_b = f_G(l_G) = \varphi - \varphi_0 = \cos^{-1} \frac{EG^2 + EF^2 - l_G^2}{2EG \times EF} - \varphi_0 \quad (4)$$

式中: l_G 为升降液压缸的长度; l_{G0} 为 l_G 的初始值。

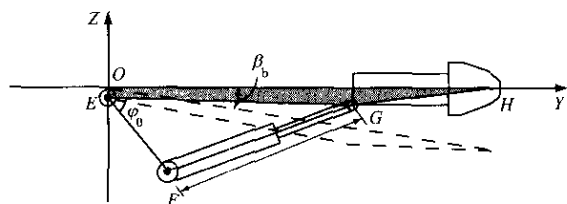


图3 截割臂升降位置控制分析

2 截割臂回转和升降联合模型

悬臂式掘进机工作时, 截割臂大多同时存在水平偏转角 α_b 和俯仰角 β_b , 图4为截割臂回转和升降联合控制模型, 该模型揭示了截割曲面的具体形成方式。

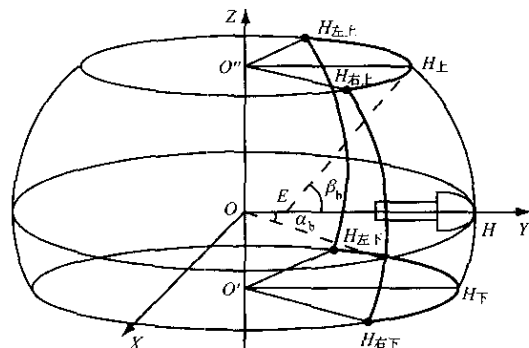


图4 截割臂回转和升降联合控制模型

图4中, 原点O为水平转台中心, Y轴为掘进方向。在YOZ平面内, 弧 $H_{上}$ 、 $H_{下}$ 为截割臂以E为圆心旋转而成。在XOY平面内, 弧 $H_{左上}$ 、 $H_{右上}$ 为截割臂在最高点以 O' 为圆心旋转而成, 弧 $H_{左下}$ 、 $H_{右下}$ 为截割臂在最低点以 O' 为圆心旋转而成。曲面 $H_{左上}H_{右上}H_{右下}H_{左下}$ 即为截割臂在机身位姿正确时可截得的最大范围。

截割曲面方程为 $\odot E$ ($\odot$ 为几何图标, 表示圆) 的一段弧线绕Z轴旋转一定角度所得, 根据立体解析几何旋转体生成方法可知, 该曲面方程为

$$x^2 + y^2 + z^2 + e^2 - r_E^2 = 4e^2(x^2 + y^2)^2 \quad (5)$$

的一部分。

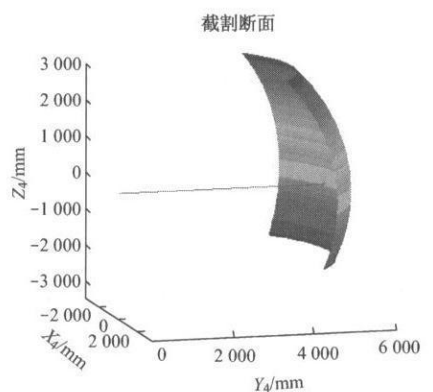
式中: e 为 OE 的长度; r_E 为 EH 的长度。

为适合截割臂的控制,需分析以截割臂水平、竖直方向偏角 α_b 、 β_b 为参数的截割断面方程:

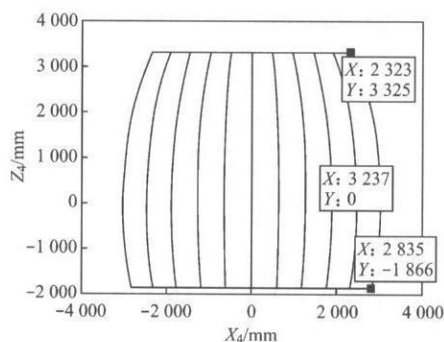
$$\begin{cases} x = (r_E \cos \beta_b + e) \sin \alpha_b \\ y = (r_E \cos \beta_b + e) \cos \alpha_b \\ z = r_E \sin \beta_b \end{cases} \quad (6)$$

3 截割臂回转和升降联合模型验证及应用

将方程组(6)代入方程(5)中,验证等式成立,初步说明截割臂水平和升降联合模型的正确性。本文采用 Matlab 仿真绘图验证该模型。以 Matlab 编程,代入 EBZ200 型悬臂式掘进机的相关机械尺寸,结果如图 5 所示(截割边界数值与厂家说明书参数一致),图 5(a)给出了建模后截割断面的直观形状,图 5(b)中坐标与厂家实际截割数据一致,说明模型正确。



(a) 截割断面 3D 视图



(b) 截割断面平面视图

图 5 截割断面 3D 视图和 XOZ 平面视图

上文确定了机身位姿正确时,截割臂带动截割头掘出断面的形状和最大边界值。由此可知,机身出现位姿偏差时,预截割断面与标准截割断面在 XOZ 平面的投影会存在重叠部分,若重叠部分包含了巷道的轮廓,则启动机身位姿误差自动补偿程序,

控制截割臂的摆角,使截割轮廓在机身位姿出现偏差时仍是准确的,从而达到掘进机机身位姿误差补偿和精确定向掘进的目的。图 6 为机身出现水平偏距位姿误差^[2]时的预截割面、标准截割面与设计的巷道轮廓。当预截割面和标准截割面的重叠部分恰好包含巷道轮廓时,便可求出截割臂可自动补偿的机身位姿水平偏距误差最大值。

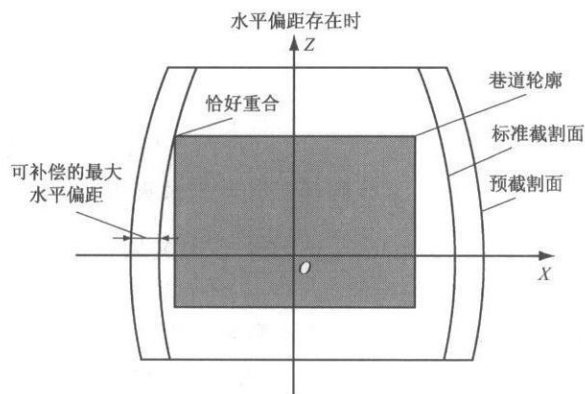


图 6 可补偿的最大水平偏距确定方法

4 结语

为实现悬臂式掘进机截割断面自动补偿功能,使其服务于巷道断面自动成形控制,研究了截割臂的控制计算方法,以立体解析几何的思想对截割臂引起的截割头位置变化进行了空间建模分析,并给出了 Matlab 仿真绘图验证。仿真结果验证了建立的截割臂水平和升降联合模型的正确性。

参考文献:

- [1] LIU J, WU M, WEI J. Study on the Key Technologies of Automatic Cutting Control of Boom-type Roadheaders[J]. China Coal, 2008(12): 54-57.
- [2] 田勃, 杨阳, 陈国强, 等. 纵轴式掘进机巷道断面自动截割成形控制方法[J]. 煤炭学报, 2009(1): 111-115.
- [3] 中国矿业大学(北京), 石家庄煤矿机械有限责任公司. 掘进机机身位姿参数测量系统及其方法: 中国, CN101629807[P]. 2010-01-20.
- [4] TIAN J, CHEN G, YANG Y. Application and Testing of a Vertical Angle Control for a Boom-type Roadheader[J]. Mining Science and Technology, 2010(20): 152-158.
- [5] 刘春生, 漆利平, 赵汗青. 悬臂式掘进机悬臂水平摆动机构的建模与仿真[J]. 黑龙江科技学院学报, 2008(1): 5-8.