

# 液压锚杆钻车钻臂路径规划

李富强

(国家能源集团乌海能源有限责任公司 内蒙古 乌海 016000)

**摘要:** 液压锚杆钻车作业前进时,为确保钻车安全,应该合理规划其路径。针对液压锚杆钻车钻臂位置轨迹规划问题,本文给出了一种液压锚杆钻车钻臂路径优化算法。利用蒙特卡罗法计算出液压锚杆钻车的最大工作间隙,确保不会与巷道相撞。模拟计算结果显示,在掘进巷道支护条件下,液压锚杆钻车钻臂能够完成自动定位和轨迹规划,并且不会与巷道相撞,可确保作业的安全。

**关键词:** 液压锚杆钻车钻臂; 路径规划; 算法

## 0 引言

液压锚杆钻车由九个主要部件组成,分别是行走装置、车体、油箱总成、电动机泵组、操作台、钻臂装置、推土铲、矿用隔爆兼本质安全型真空电磁起动器、后支撑等<sup>[1]</sup>。在煤矿开挖掘进过程中,会使用钻车搭设锚杆,为确保生产安全,必须通过人工搭建施工平台进行施工。因此,施工过程繁琐,劳动强度大,施工效率低下。同时,也给施工人员带来极大的安全隐患,限制了矿山机械化整体开挖掘进水平的提高<sup>[2]</sup>。近几年,伴随煤矿机械设计、制造及装备技术的发展与进步,开发出的集临时性与永久性于一体的矿井液压锚杆钻车,能够显著降低采场的劳动强度,提高采场机械化程度<sup>[3]</sup>。为此,根据液压锚杆钻车的技术特性,进一步推动矿场掘进自动化发展,需要进一步做好液压锚杆钻车钻臂路径规划,帮助降低液压锚杆钻车钻臂与巷道发生碰撞的机会,提高液压锚杆钻车掘进的安全性,减少矿山掘进过程中出现的误差,提高矿山生产自动化和可靠性,给企业带来更好的经济效益和技术效益,推动矿山生产企业快速发展进步。本文探讨液压锚杆钻车钻臂位置轨迹规划问题。

## 1 液压锚杆钻车的应用价值

适用于矿山井下锚固作业的多功能液压锚杆钻车可与掘进机/岩石装卸机配合使用,也可单独应用于巷道加固、巷道修补、单轨铺设等生产作业需求。将其应用在矿山生产过程中,能够显著提高煤巷掘

进速率。

### 1.1 主要特点

- (1) 结构紧凑,操作灵活,结构合理。
- (2) 体积小,采用履带式,通过能力强。
- (3) 在进行定位切缝孔时,可使两个钻臂同时工作,便于操作;两个钻臂可以单独转动,可以达到中心线和预定的角度。
- (4) 在液压锚杆钻车上,用摇摆装置调节钻臂,能保证全部钻孔的平行性,在矿井情况不好时,能预防交叉孔、钻孔轴线与铅垂之间的角度不对而引起的顶板破断。
- (5) 钻杆设有横向运动装置,可保证全部在同一水平线上,使得沿着预裂切缝的顶部切割后,品质更佳,留巷后可扩大巷道的宽度,极大地降低以后的维护工作量。
- (6) 液压锚杆钻车搭配大转矩电动机,提高钻孔效率。
- (7) 液压锚杆钻车备有钻杆夹持机构和钻杆支承机构,便于钻杆的卸载和安装。同时,具有良好的钻杆效果,便于安装定向爆破聚能管。
- (8) 液压锚杆钻车通过变速调节,使整个液压系统运行平稳、可靠。

### 1.2 产品工作原理

当钻车泵站开始工作时,钻车后面的导向操纵阀门将钻车操纵至所需的位置,以便进行钻孔工作;钻臂由连杆臂和横臂组成,它能够将钻车整体横向升降,并将其安装在能够360°旋转的回转部上,利用先导操作阀来控制钻车钻臂及搭载在钻臂上的锚杆

钻车，将其延伸到适合的打孔位置，从而展开打孔作业。

### 1.3 技术参数

本文选择的液压锚杆钻车各项参数见表1。

表1 锚杆钻车技术参数表

内容		参数
整机	钻臂数量	2
	巷道断面/m <sup>2</sup>	36
	工作范围(宽×高)/(mm×mm)	7800×5800
	运行状态最小转弯半径/mm	2500
	工作状态稳车工作宽度/mm	1200
	运行状态尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	6700×1200×2300
	钻孔直径/mm	32.00
	钻孔深度/m	0~18.0
	冲洗水压力/MPa	0~1.20
	适应钎具/mm	B19
	机重/kg	14500
	接地比压/MPa	0.14
	离地间隙/mm	179.0
	工作电压/V	650~1130
	工作电流/A	96.3~54.6
	装机功率/kW	91.0
声功率级/dB(A)	110	

## 2 液压锚杆钻车钻臂路径规划

液压锚杆钻车钻臂路径规划设计主要有两种方法：第一种设计方法是采用点对点的定位设计，需要很高的精确度；第二种设计方法是一种连续路径规划，同样需要有很高的准确度的直角坐标坐标系，才能进行路径规划。目前，我国在设计钻臂关节角时，大多使用三次多项式插值法。但是这种方法也有一定的弊端，就是无法确保起始点处钻杆的加速度为零。而五次多项式插值法可以满足钻杆起始位置的速度、加速度为零的条件，所以本文使用五次多项式插值法来设计钻臂关节角。本文以巷道顶部32个钻孔位置为研究对象，提出了两种路径优化方法，并对其进行了比较和研究。初步设定：两个钻孔之间的位置相距80cm，钻杆两端沿直线移动。

第一种液压锚杆钻车钻臂路径规划方案如图1所示。 $X$ 轴为巷道的宽度， $Y$ 轴为巷道的深度。当液压锚杆钻车完成了第一个钻孔的位置工作之后，在第4

点时并没有返回，而是钻车前进800mm，来到第5点的位置上。然后继续掘进打孔。当到达第8点位置时，同样前进800mm，来到第9点位置上。以此类推，在完成第12点和第13点位置的变更后，即为车体行进路线。将液压锚杆钻车行驶路程与钻杆终端移动路程相结合，得出钻臂末端移动的路程为： $800 \times 16 = 12800$  (mm)。

由此可以判断，钻臂末端钻架行走距离为12800mm。

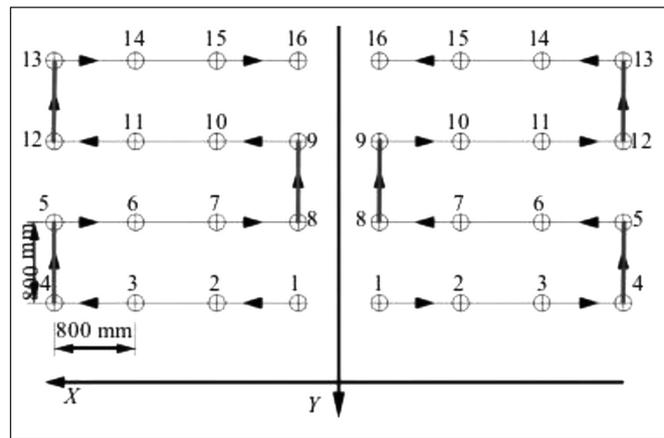


图1 液压锚杆钻车钻臂第一种路径规划

第二种液压锚杆钻车钻臂路径规划见图2。从图2中的钻孔位置可知，液压锚杆钻车的工作范围视为一个扇面。图2中弧线的内部是钻杆的工作范围，它涵盖了相应的位置点。在钻杆上完成第2点的钻孔作业后，钻车需要向前移动达到第3锚点，然后再开始作业。同理可知，当钻杆到达第6锚点完成钻孔作业后，钻杆必须向后移动到第7个点，以此类推。在这种方法中，虽然钻臂末端钻架行走的直线距离同样为12800mm，但由于车辆的重复运动，其实际行程为： $800 \times 17 = 13600$  (mm)。

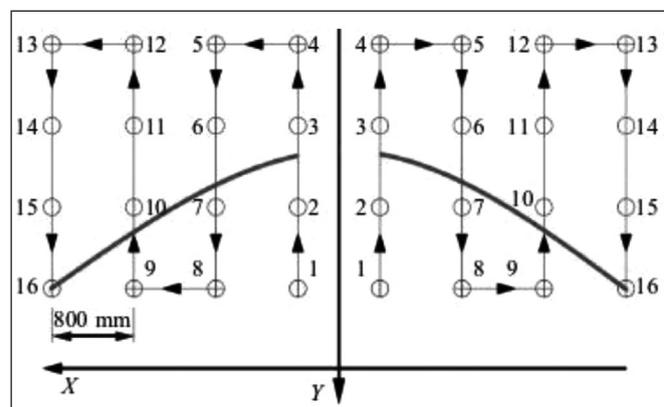


图2 液压锚杆钻车钻臂第二种路径规划

通过对上文两种液压锚杆钻车钻臂路径规划的行驶距离能够发现, 第一种路径规划的里程最小, 航迹也最合理, 因此, 将会选用第一种路径规划的方法。

### 3 液压锚杆钻车钻臂运动学分析

在确定了液压锚杆钻车钻臂路径优化方案后, 需要对其运动学特征进行分析, 来进一步确定选择的合理性。

#### 3.1 钻臂坐标构建

本文采用 D-H 参数法, 由各个变换矩阵求取解, 进而获得钻臂末端的运动方程。因为钻臂在液压锚杆钻车车体上呈现出一种对称结构, 所以本文选择其中的一个钻臂展开运动学分析, 并以 D-H 坐标系构建定律为基础, 将液压锚杆钻车所在巷道截面与巷道底板中轴线的交点作为初始参考坐标系原点。具体划分为第  $i$  关节的坐标系为  $O_i$ 、 $X_i$ 、 $Y_i$ 、 $Z_i$ 。其中,  $XO$  轴线是指巷道宽度,  $YO$  轴线是指巷道深度,  $ZO$  轴线是指巷道高度;  $Z_i$  轴是指第 1 个节点的轴向,  $X_i$  轴是指  $Z_i$  轴与  $Z_{i+1}$  轴正交方向,  $Y_i$  轴是由右手定则决定。由于该钻臂的顶端是第 6 转动节上的一个点, 为方便计算, 把钻臂顶端当作一个活动的关节点, 不做分析处理。通过对巷道和钻车、钻臂的实测数据分析, 得出了 D-H 参数, 见表 2。

#### 3.2 钻臂运动学分析

表 2 左钻臂改进 D-H 参数

位置	参数 /mm
$d_1$	600
$d_5$	1600
$d_7$	1000
$a_0$	400
$a_2$	2000
$a_6$	500

##### 3.2.1 正运动学分析

使用 Link 函数, 构建出一个钻臂的运动模型, 分别标记出钻臂工作空间坐标系, 明确液压锚杆钻车钻臂中心位置、旋转角、关节。在设定初始位移、关节参数之后, 就可以获得钻臂末端钻架的坐标。

##### 3.2.2 逆运动性的研究

根据建立的钻杆模型, 可以得到关于原始参照坐标系的钻臂末端钻架齐次转换公式。为使表达形式简单, 采用公式简化的方法, 得出钻臂各关节逆解的解答条件。

### 3.3 钻臂巷道空间分析

本文通过对区域范围内各个关节变量进行随机采样, 并将采样点转化为运动模型数据, 得到钻臂末端在巷道中的位置。在此基础上, 本文通过对区域内的所有钻臂末端钻架的位置点进行集中处理, 从而获得钻臂的工作空间。求解方法如下:

(1) 从正运动学中得到钻臂三维坐标。

(2) 设定随机的取样次数与初始计算, 分别对应  $N$  与  $n$  ( $n=1$ )。

(3) 按照各关节移动范围, 获取随机取样值  $\theta$  和  $d$ 。

(4) 将各个关节变量带入到运动学方程中, 得到对应的位置坐标。

(5) 如果  $N \geq n$ , 则返回步骤 (2)。

(6) 通过 Matlab 软件仿真模拟, 刻画巷道空间点集合。各转动关节转动角度范围设定见表 3。

表 3 各转动关节转动角度范围设定

$\theta_1$	$[-\pi/2, -\pi/4]$
$\theta_2$	$[0, \pi/4]$
$\theta_3$	$[-\pi/2, -\pi/4]$
$d_4$	$[0, 900]$ mm
$\theta_5$	$[\pi/2, 3\pi/2]$
$\theta_6$	$[-\pi/2, \pi/2]$
$d_7$	$[-1000, 1000]$ mm。

按照以上程序进行求解, 得到的钻臂工作高度是 5800mm, 宽度是 7800mm, 而在理论上巷道的最大高度  $\leq 5500$ mm, 最大宽度  $\leq 6600$ mm。由此可见, 钻臂的工作空间就可以完全涵盖巷道支护工作区域。同时, 液压锚杆钻车的顶支撑是可以上升的, 并且最大冲程为 1200mm。因此, 将顶部设定为 1200mm, 这样就可以防止钻臂与巷道产生碰撞。基于巷道的理论最大高度, 在高度为 4500mm 的位置设置钻孔平面, 当钻车工作时, 预先达到平面位置, 并垂直于壁面。钻车完成作业工作后, 收回支撑。钻臂朝着下一个钻孔点移动, 直至完成所有钻孔任务。

## 4 液压锚杆钻车钻臂路径规划仿真

### 4.1 巷道顶板路径规划

以巷道顶板路径规划为例, 运用第一种路径优化方法, 实现液压锚杆钻车钻臂“工”字形自行定位。在第一列作业结束后, 不将两个钻臂收回, 而是让钻机向前推进 800mm。在钻车到达预定点位之后, 钻臂再根

据预先设定的路径进行反向定位,以此类推,直到完成定位任务。在单排定位任务中,一共有10个钻孔位置点,左、右钻臂同步工作,单只钻臂只完成定位工作,钻臂和锚杆工作所用时间一致。将两个邻近的钻孔定位之间的距离设定为800mm,在进行钻臂定位时,移动耗费的时间是10s,一个钻锚工作耗费50s,车辆前进800mm耗费10s。执行钻锚作业时,钻臂末端钻架的钻锚方向应该位于巷道断面,并且应该与岩壁相垂直或保持合理的角度。在执行平移作业时,钻臂末端钻架应该与顶板相垂直;在执行提升作业时,钻臂末端钻架要与岩壁形成 $15^{\circ}$ 夹角。

#### 4.2 钻臂运动轨迹

为进一步表明钻臂末端钻架与初始坐标系关系,需要提取坐标系中的方向位移,得到钻臂初始运动轨迹。详细情况见图3。图3中,钻臂完成的五个点位任务后形成一条红线,车体向前移动的轨迹即为初始运动轨迹。

从图3中的数据能够看出,钻臂末端钻架宽度最大位移距离为3100mm,要明显小于一半巷道宽度。钻臂末端钻架高度最大位移量为4550mm,要明显小于一半巷道高度。由此可以推断,当液压锚杆钻车钻臂进入巷道内,进行路径规划过程中,不会与巷道发生碰撞,能够确保工作的安全性和效果。

### 5 结语

综上所述,本文通过构建液压锚杆钻车钻臂路径规划的三维力学模型,对钻臂末端钻架的运动学进行了分析。同时,采用了相关计算方法,对钻臂末端钻架的最大工作空间进行计算,为液压锚杆钻车钻臂路径规划和自动定位等功能的实现,提供一定的理论依据。

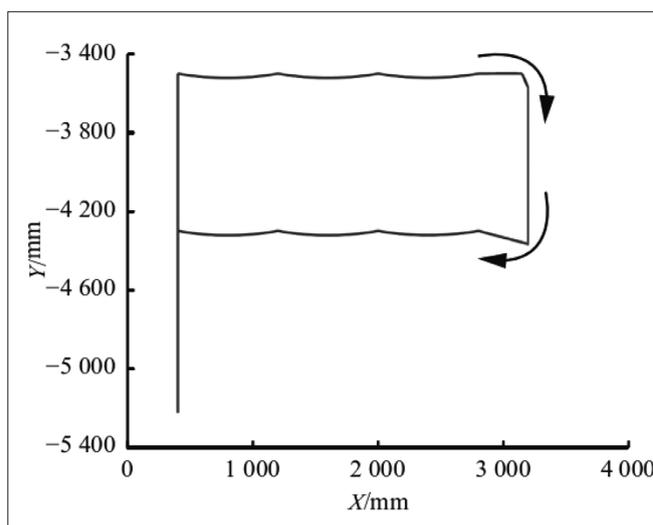


图3 钻臂末端钻架在坐标系中的运动轨迹

通过模拟分析,分析了巷道顶板路径规划和钻臂运动轨迹,最终得出结论:本文设计的液压锚杆钻车钻臂进入巷道内,在路径规划过程中,不会与巷道发生碰撞,能够确保工作的安全性和效果。

#### 参考文献:

- [1] 高梓. 滑移式临时支护装置+锚杆钻车配套高效支护技术应用[J]. 山西焦煤科技, 2023, 47(04): 39-41.
- [2] 刘杰. 基于T-S模型的锚杆钻车液压系统故障树分析[J]. 机床与液压, 2022, 50(22): 167-171.
- [3] 梁奎. 液压锚杆钻车在某矿中的应用研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(08): 277-279.

作者简介: 李富强(1981.12-),男,汉族,山西忻州人,本科,高级工程师,研究方向:煤矿机电及智能化。