

doi: 10.7690/bgzd.2020.02.020

# 爆炸逻辑网络自动精密挤注装药工艺装备技术

赵建抒, 史慧芳, 关胤

- (1. 中国兵器装备集团自动化研究所有限公司智能制造事业部, 四川 绵阳 621000;  
2. 晋西工业集团有限责任公司江阳化工有限公司, 太原 030041)

**摘要:** 针对当前爆炸网络装药生产现状, 以沟槽式爆炸网络自动挤注装药技术为突破口, 提出一种新型的、适应自动化生产的沟槽式爆炸网络精密装药生产工艺设备解决方案。介绍某爆炸网络装药生产过程中的具体工艺要求及技术指标, 确定设备整体结构及电气控制系统设计, 阐述基于产品 CAD 模型自动寻点功能实现机理和方案。结果表明: 该方案能实现爆炸逻辑网络自动精密挤注装药, 突破自动寻点瓶颈, 并已成功应用于国内某厂的爆炸网络装药生产中。

**关键词:** 爆炸网络; 自动装药; 新工艺

**中图分类号:** TJ410.5<sup>+</sup>2 **文献标志码:** A

## Automatic and Accurate Explosion Squeezing & Charging Technique Based on Explosion Logic Network

Zhao Jianshu, Shi Huifang, Guan Yin

- (1. Department of Intelligent Manufacture, Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China;  
2. Jiangyang Chemical Co., Ltd., Jinxi Industrial Group Co., Ltd., Taiyuan 030041, China)

**Abstract:** Aiming at the current state of explosive network charge production, taking the trench explosion network automatic squeezing charge technology as a breakthrough, a new type of trench explosion network precision charge production process equipment solution adapted to automated production is proposed. Introduce the specific process requirements and technical indicators in the production process of certain type explosive network charge, determine the overall structure of the equipment and the design of the electrical control system, and explain the implementation mechanism and scheme of the automatic point finding function based on the CAD model of the product. The results show that this scheme can realize the automatic precision squeeze charging of explosive logic network, break the bottleneck of automatic point finding, and has been successfully applied to the production of explosive network charging in a domestic factory.

**Keywords:** explosion network; automatic charging; innovated technique

## 0 引言

作为一种由爆炸元件构成、通过爆轰信号传递起爆指令的火工品, 爆炸网络已被广泛应用于各种战略武器、常规兵器、航空航天系统以及民用工业中, 用以代替常规的电子或机械安全保险装置做逻辑判断<sup>[1-2]</sup>。爆炸网络应用于定向战斗部中, 使破片向目标方向相对集中, 大幅提高毁伤效果; 在 EFP 战斗部中为其多点同步起爆技术提供支持; 改善火炮内导弹性能以减少事故发生。无论应用于何种场所, 爆炸网络的可靠性都是其最主要的性能指标。影响爆炸网络性能的因素主要有爆炸网络逻辑设计和生产工艺 2 个方面, 其中爆炸网络装药作为爆

炸网络生产过程中的一个关键环节, 装药质量对爆炸网络的性能有着决定性影响。

由于缺乏先进装药技术支撑, 国内爆炸网络生产企业仍采用手工装药的生产模式, 生产效率低, 过程安全性差, 难以满足绿色安全装药的生产要求, 更不能实现快速变批响应、小批量柔性化生产; 为此, 必须要突破爆炸网络自动装药技术, 设计并制造相关自动化装备, 实现其装药生产过程的自动化和安全化<sup>[3-5]</sup>。

笔者基于当前爆炸网络装药生产现状, 以厂家最为关注的沟槽式爆炸网络自动挤注装药技术作为突破口, 提出一种新型的、适应自动化生产的沟槽式爆炸网络精密装药生产工艺设备解决方案。

收稿日期: 2019-09-09; 修回日期: 2019-11-20

作者简介: 赵建抒(1990—), 男, 内蒙古人, 满族, 硕士, 从事计算机应用技术及工业自动化设计研究。E-mail: 8199604@qq.com。

## 1 工艺设备设计

### 1.1 设备组成

整套设备由机械结构和电气控制系统 2 大部分组成，设备 3 维结构外形如图 1 所示。

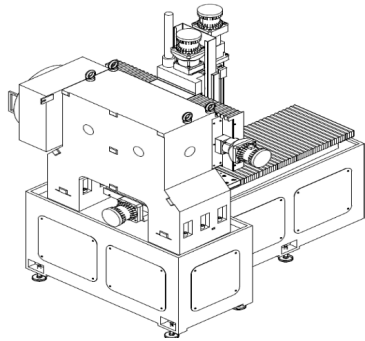
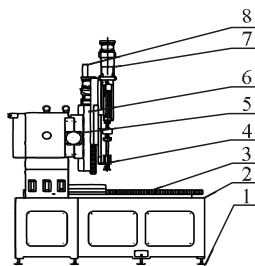


图 1 爆炸网络自动精密装药设备侧面

沟槽式爆炸网络高精度自动装药系统的工艺技术及装备的主要研究内容，将集中体现在一套由控制系统、3 维高精度伺服平台、高精度大理石基座、远程监控系统、自动定位系统、挤注系统、模具、排气和自动拔活塞系统、20 kN 伺服压力系统、自平衡系统等组成的实用装备中，各功能单元布局如图 2 所示。



1. 水平调节机；2. 大理石基座；3. X 向伺服平台；
4. 挤注机构；5. Y 向伺服平台；6. Z 向伺服平台；
7. 高精度挤注动力系统；8. 自平衡系统。

图 2 爆炸网络自动精密装药设备结构

### 1.2 工艺流程

如图 3 所示，沟槽式爆炸网络自动装药分为以下工序：产品定位、装药、自动寻点、挤注装药、取药、模具清擦。

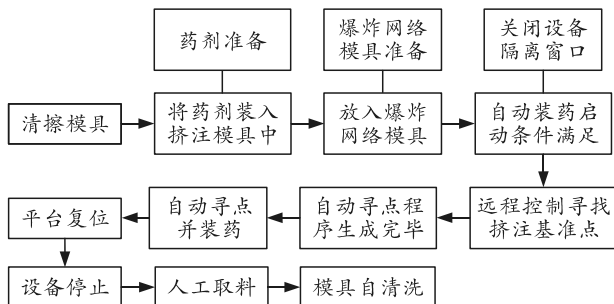


图 3 战斗部沟槽式爆炸网络自动装药生产工艺流程

## 2 基于产品 CAD 模型自动寻点技术

从项目需求出发，在实现装药生产过程自动化的同时，希望设备易于操作，避免一些专业性极强的复杂操作，需要将自动寻点与逻辑起爆网络 CAD 模型关联起来，并将该寻点功能实现工序以“黑盒”的形式封装起来，供操作人员调取使用。笔者设计一种能够基于爆炸网络 CAD 模型自动解算固定于设备平台上待装药产品各挤注点实际位置的应用软件，实现了基于产品 CAD 模型的网络用炸药装药新工艺的自动寻点功能。

### 2.1 自动寻点功能实现机理

欲实现使用同一套图纸(即编程坐标值)指导并驱动沟槽式爆炸网络自动精密装药设备进行自动寻点动作，保证产品每一次的任意装夹均可以完成精密装药，就需要在每次装夹后进行坐标变换计算。通过计算，将通用的编程坐标值转换为不同装夹后的机床坐标位置值，即在 2 维坐标系平移和旋转后，得出沟槽式爆炸网络模具空间运动后，各挤注点的新坐标值。

1) 直角坐标系的平移和旋转后坐标的变换机理说明。

① 坐标系平移后坐标变换机理。

如图 4 所示的 2 个独立坐标系，其中，坐标系  $X'O'Y'$  是由坐标系  $XOY$  平行移动而得到的。坐标系  $XOY$  与坐标系  $X'O'Y'$  中相对应的各坐标轴彼此平行，并且具有相同的正向。设任意点  $P$  点在坐标系  $XOY$  中的坐标为  $(x,y)$ ，在  $X'O'Y'$  中坐标为  $(x',y')$ ，而  $(a,b)$  是坐标系  $X'O'Y'$  中坐标原点  $O'$  在坐标系  $XOY$  中的坐标，于是得到如下坐标变换公式：

$$x = x' + a; \tag{1}$$

$$y = y' + b. \tag{2}$$

上式为在坐标系平移之后二直角坐标系中某一点坐标变换的关系式。

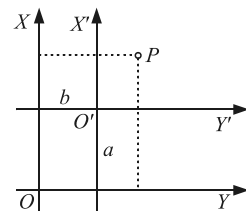


图 4 坐标平移地图投影

② 坐标系旋转后坐标变换机理。

如图 5 所示的 2 个独立坐标系，其中坐标系  $X'O'Y'$  是由坐标系  $XOY$  以坐标原点  $O$  为中心逆时

针旋转  $\theta$  角后得到的。坐标系  $XOY$  与坐标系  $X'O'Y'$  的原点重合，且对应的 2 坐标轴夹角为  $\theta$ 。设任意点  $P$  在坐标系  $XOY$  中的坐标为  $(x,y)$ ，在  $X'O'Y'$  中坐标为  $(x',y')$ ，于是得到如下坐标变换公式：

$$x = x' \cos \theta + y' \sin \theta ; \tag{3}$$

$$y = y' \cos \theta - x' \sin \theta . \tag{4}$$

上式为经过旋转  $\theta$  角后的二直角坐标系中某一点坐标变换的关系式。

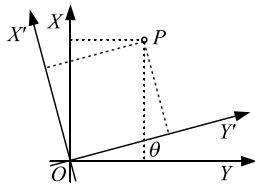


图 5 坐标旋转地图投影

③ 坐标系平移和旋转后坐标变换机理。

如图 6 所示的 2 个独立坐标系，其中坐标系  $X'O'Y'$  是由坐标系  $XOY$  以坐标原点  $O$  为中心逆时针旋转  $\theta$  角后再平移得到的。坐标系  $X'O'Y'$  的原点  $O'$  在坐标系  $XOY$  中的坐标为  $(a,b)$ ， $X$  轴与  $X'$  轴之间的夹角为  $\theta$ 。可以认为坐标系  $X'O'Y'$  原是与坐标系  $XOY$  重合，后因坐标原点  $O'$  分别平移了  $a$ 、 $b$  距离，并且坐标系二坐标轴  $O'X'$  与  $O'Y'$  又相对  $OX$  与  $OY$  逆时针旋转了  $\theta$  角而得到的。

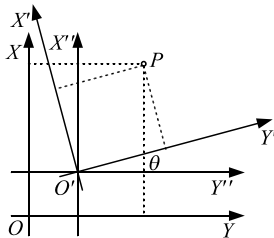


图 6 坐标平移和旋转地图投影

在二坐标系之间引入一个辅助坐标系  $X''O''Y''$ ，使它的二坐标轴  $O''X''$  与  $O''Y''$  分别与  $OX$  轴、 $OY$  轴平行。

设任意点  $P$  在坐标系  $XOY$  中的坐标为  $(x,y)$ ，在  $X'O'Y'$  中坐标为  $(x',y')$ ，在  $X''O''Y''$  中坐标为  $(x'',y'')$ ，根据坐标平移变换机理，得到如下坐标变换公式：

$$x = x'' + a ; \tag{5}$$

$$y = y'' + b . \tag{6}$$

根据坐标旋转变换机理，得到如下的坐标变换公式：

$$x'' = x' \cos \theta + y' \sin \theta ; \tag{7}$$

$$y'' = y' \cos \theta - x' \sin \theta . \tag{8}$$

将式(5)、(6)与式(7)、(8)合并，得到平移加旋转后的坐标变换公式：

$$x = x' \cos \theta + y' \sin \theta + a ; \tag{9}$$

$$y = y' \cos \theta - x' \sin \theta + b . \tag{10}$$

上式为坐标系平移和旋转后，新、旧坐标系中某一点坐标之间的坐标关系式。

2) 编程坐标系与设备坐标系中的模具坐标变换。

如图 7 所示，沟槽式爆炸网络模具的 CAD 加工图纸确定后，可得到所有挤注点在编程坐标系 ( $X'O'Y'$  轴坐标系) 内的坐标。通过单轴手动调试功能，人工辅助将注药针头对准爆炸网络模具上预先定义的挤注参考点  $A$  点和  $B$  点，可以得到挤注参考点  $A$  点和  $B$  点在机床坐标系 ( $XOY$  坐标系) 内的坐标。通过上面讨论的坐标变换机理和已知的坐标点信息，即可求得所有挤注点在机床坐标系内的坐标，用来指导设备进行挤注装药过程中的自动寻找挤注点动作。

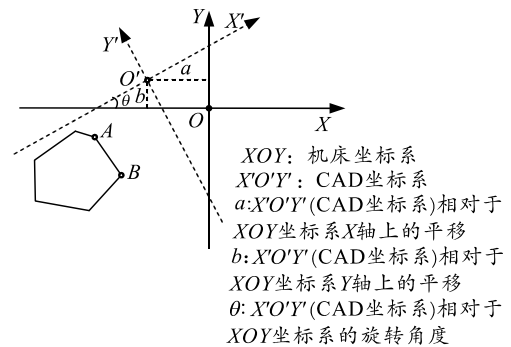


图 7 机床坐标系和编程坐标系几何关系投影

参考点  $A$  在机床坐标系中的位置坐标为  $(X_A, Y_A)$ ，参考点  $B$  在机床坐标系中的位置坐标为  $(X_B, Y_B)$ ，该两点即为人工辅助进行挤注头对准时的实际坐标点。参考点  $A$  在编程坐标系中的位置坐标为  $(X'_A, Y'_A)$ ，参考点  $B$  在编程坐标系中的位置坐标为  $(X'_B, Y'_B)$ ， $A$ 、 $B$  两点为由 CAD 图纸生成的加工坐标点。

根据坐标变换机理，得到如下公式：

$$X_A = X'_A \cos \theta + Y'_A \sin \theta + a ; \tag{11}$$

$$Y_A = Y'_A \cos \theta + X'_A \sin \theta + b ; \tag{12}$$

$$X_B = X'_B \cos \theta + Y'_B \sin \theta + a ; \tag{13}$$

$$Y_B = Y'_B \cos \theta + X'_B \sin \theta + b . \tag{14}$$

则：

$$X_B - X_A = (X'_B - X'_A) \cos \theta + (Y'_B - Y'_A) \sin \theta ; \tag{15}$$

$$Y_B - Y_A = (Y'_B - Y'_A) \cos \theta - (X'_B - X'_A) \sin \theta . \tag{16}$$

将式(15)和式(16)联合求解，有：

$$\sin \theta = \frac{(X_B - X_A)(Y'_B - Y'_A) - (Y_B - Y_A)(X'_B - X'_A)}{(Y'_B - Y'_A)^2 + (X'_B - X'_A)^2}; \quad (17)$$

$$\cos \theta = \frac{(X_B - X_A)(X'_B - X'_A) + (Y_B - Y_A)(Y'_B - Y'_A)}{(Y'_B - Y'_A)^2 + (X'_B - X'_A)^2}。 \quad (18)$$

将式(17)和式(18)分别代入式(11)和式(12)中，即可求得坐标系平移距离  $a$  和  $b$ 。将爆炸网络模具上各挤注点在 CAD 坐标系中的坐标代入  $a$ 、 $b$  和  $\theta$  已知的式(11)和式(12)的变换式中，即可求得在机床坐标系下各挤注点的坐标值。

### 2.2 自动寻点功能实现的具体方案

以某类沟槽式爆炸网络模具为例，对其基于产

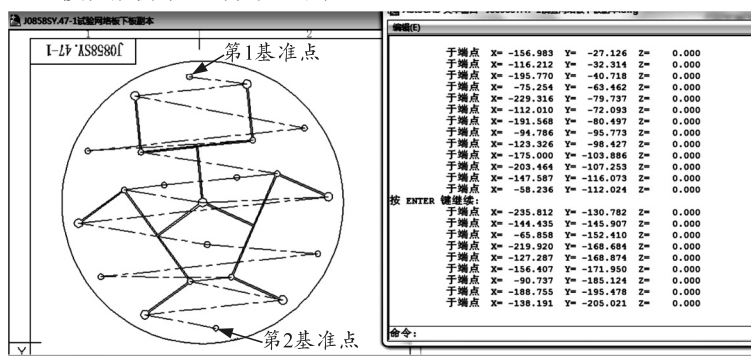


图 8 CAD 图纸中各挤注点位置坐标生成窗口

2) 用于自动程序生成的挤注点信息表填写。

将上一操作环节得到的 CAD 图纸中各挤注点的信息复制到指定存储目录下的 EXCEL 表中，用于自动程序生成软件调用，生成的表格状态如图 9 所示。

A	B	C	D	E
计数	名称	中心 X	中心 Y	中心 Z
1	圆	-71.075	-220.521	0
2	圆	-71.075	-140.521	0
3	圆	-91.075	-220.521	0
4	圆	-91.075	-140.521	0
5	圆	-111.075	-140.521	0
6	圆	-111.075	-160.521	0
7	圆	-111.075	-180.521	0
8	圆	-111.075	-200.521	0
9	圆	-111.075	-220.521	0
10	圆	-131.075	-180.521	0
11	圆	-136.434	-125.88	0
12	圆	-146.434	-108.56	0
13	圆	-156.434	-91.239	0
14	圆	-225.716	-131.239	0
15	圆	-215.716	-148.56	0
16	圆	-205.716	-165.88	0
17	圆	-188.395	-155.88	0
18	圆	-171.075	-145.88	0
19	圆	-153.754	-135.88	0
20	圆	-161.075	-163.201	0
21	圆	-151.075	-180.521	0
22	圆	-161.075	-197.842	0
23	圆	-205.716	-195.162	0
24	圆	-215.716	-212.483	0
25	圆	-225.716	-229.803	0
26	圆	-156.434	-269.803	0
27	圆	-146.434	-252.483	0
28	圆	-136.434	-235.162	0
29	圆	-153.754	-225.162	0
30	圆	-171.075	-215.162	0
31	圆	-188.395	-205.162	0
32	圆	-188.395	-205.162	0

图 9 编程坐标系中挤注点信息统计

3) 挤注参考点选取。

在编程坐标系下，从爆炸网络模具上选取 2 个

品 CAD 模型的自动寻点技术操作及实现方式进行说明，具体内容如下：

1) CAD 图纸中挤注点位置坐标和几何特征信息获取使用 AUTOCAD2007 版软件打开爆炸网络模具的加工图纸，打开文件后，按照如下操作步骤得到图纸中全部挤注点位置坐标和几何特征信息：

① 在操作指令输入窗口内，输入 pl 指令，按 ENTER 键确认；

② 依次选取各挤注点，得到图 8 中所示的虚线连接线，按 ESC 键确认并退出当前操作；

③ 点击鼠标左键选中刚才生成的路径，输入 list 指令，按 ENTER 键确认，得到各挤注点坐标。

挤注参考点 A 和 B。为了提高参考点的代表性，以及寻点过程中的定位精度，2 个参考点之间要求尽量远离，并且两点连线尽量穿过更多有效数据点。在本例中选取的基准点如图 10 所示。

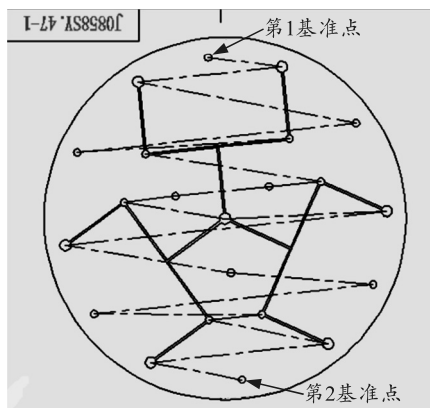


图 10 基准点选取

将基准点的位置信息复制到指定存储目录下的 EXCEL 表中，用于自动程序生成软件调用，生成的表格状态如图 11 所示。

	A	B	C	D	E
1	计数	名称	中心 X	中心 Y	中心 Z
2	1	基准点1	-71.075	-140.521	0
3	31	基准点2	-225.716	-229.803	0

图 11 编程坐标系中的参考点信息统计

4) 挤注参考点的机床坐标系位置信息获取。

① 将模具通过设计的加紧装置固定在工作平台上;

② 通过单轴手动调试功能, 将注药针头对准模具上所定义的 2 个基准点 A 和 B;

③ 测量获得 2 个定位孔的坐标值;

④ 将得到的参考点机床坐标系位置值代入到偏差判别软件中进行判断, 观察距离偏差值是否满足程序生成软件的要求: 若偏差条件满足, 则以当前的机床坐标值为参考点的实际坐标; 若偏差条件不满足, 则返回到②重新调整平台位置, 直至偏差条件满足要求。参考点间距离偏差判定软件如图 12 所示。

距离偏差计算软件					
机床坐标系			编程坐标系		
	X	Y		X	Y
A	-247.935	-94.685	A'	-64.5683	-136.9406
B	-404.37	-180.907	B'	-219.2093	-226.2226
sub	156.435	86.222	sub'	154.641	89.282
Distance	178.62291		Distance'	178.56403	
距离偏差	0.058871425				

图 12 参考点间距离偏差判定软件界面

5) 自动运行程序生成。

以 VB 作为开发环境, 设计一种能够基于爆炸网络 CAD 模型自动解算固定于设备平台上待装药产品各挤注点实际位置的应用软件, 将该寻点功能实现工序以“黑盒”的形式封装起来, 实现了基于产品 CAD 模型的网络用炸药装药新工艺的自动寻点功能。自动运行程序生成软件操作界面如图 13 所示。



图 13 自动运行程序生成软件操作界面

软件使用的具体操作步骤如下:

① 设定软件必须的过程参数, 如间距精度、进给速度等;

② 点击“基准点读”按钮, 将编程坐标系参考点信息统计表中的信息通过 OPC 技术自动读取进来;

③ 手动输入机床坐标系中参考点 A 和 B 的实际位置值;

④ 修改要生成的 G 代码程序, 保存文件名, 并且点击“G 代码生”按钮, 至此自动运行程序生成完毕。

6) 程序拷贝至 CNC 系统中。

使用移动存储介质将上述生成的该产品自动运行程序拷贝至 CNC 系统中。该程序即可实现对该类型爆炸网络模具的自动装药生产。

3 结束语

该爆炸逻辑网络自动精密挤注装药系统采用自动化装备替代传统手工生产, 有效提高了沟槽式爆炸网络制造企业的生产效率和生产质量; 实现了生产过程中的现场无人化, 降低了工人劳动强度, 减少了生产过程中的人身安全隐患。该系统具有良好的推广应用前景、经济效益和社会效益。随着战斗部沟槽式爆炸网络精密装药系统的研发应用, 必将促进相关行业整体装备水平和生产能力的全面提升。

参考文献:

[1] 闻泉, 刘宣, 王雨时, 等. 爆炸逻辑网络安全引爆技术综述[J]. 探测与控制学报, 2016, 38(4): 1-8.

[2] 朱英中, 江涛, 万力伦, 等. 2 种非 TNT 基熔铸炸药水下爆炸特性[J]. 兵工自动化, 2018, 37(1): 93-96.

[3] 吉利国, 冯长根, 蔡瑞娇, 等. 沟槽式爆炸逻辑网络炸药技术的发展[J]. 火工品, 1996(4): 29-44.

[4] 乔茹斐, 田晓丽, 乔金超, 等. 不同炸药及装药高度对聚能射流侵蚀性能的影响[J]. 兵工自动化, 2018, 37(6): 88-92.

[5] 孔森, 雷林, 岳显, 等. 一种含能炸药壳体的安全自动拆分技术[J]. 兵工自动化, 2018, 37(1): 89-92.