

# 基于直连设备自动捕获的供电图快速绘制算法<sup>\*</sup>

王新良 杨茜惠 靳翔

(河南理工大学电气工程与自动化学院 焦作 454000)

**摘要:** 在矿井高压供电图中,电气设备之间不使用连接线而直接连接的情况较多,已有的绘制算法针对直连电气设备采用人工对齐的方式,会导致矿井高压供电图绘制过程繁琐、缓慢,准确率较低。针对上述问题,依据矿井高压供电图的特点,提出了一种针对矿井高压供电图的快速绘制算法,可以实现直连电气设备之间连接点的自动捕获,有效提高两个直连电气设备相应连接点对齐的速度。而且对齐的准确性远高于人工手动对齐方式,准确率可达到100%,同时绘图速度可提高3倍以上,有效降低了高压供电系统图的绘制复杂度和成本,具有准确性高、速度快、操作简便等特点,可有效完成矿井高压供电图的快速绘制。

**关键词:** 煤矿;高压供电系统图;自动捕获;快速绘制;直连电气设备

**中图分类号:** TP311.52    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 520.6020

## Fast drawing algorithm of power supply system diagram based on automatic capture of directly connected devices

Wang Xinliang Yang Qianhui Jin Xiang

(School of Electrical Engineering and Automation, Henan polytechnic university, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** In coal mine high-voltage power supply system diagram, there exist more cases using direct connection instead of cable between electrical equipments. And the existing drawing method, aiming at the direct electrical equipment, uses the way of artificial alignment which leads to tedious and slow drawing process, even reduces the accuracy. To solve the above problems, based on the characteristics of the coal mine high-voltage power supply diagram, a quick drawing method is proposed which can realize automatic capture of connections between electrical equipments, can effectively improve the speed of alignment between the two direct electrical equipments. What's more, the alignment accuracy is much higher than manual alignment, which can reach 100%. And the drawing speed can be increased more than 3 times, which reduces the complexity and cost of drawing the high voltage power supply system diagram complexity and cost, has the characteristics of high accuracy, fast speed, simple operation, and so on. It can realize fast drawing of diagram effectively.

**Keywords:** coal mine; high-voltage power supply system; automatical capture; fast drawing; directly connected electrical equipment

### 1 引言

当前绘制供电系统的算法较为成熟,文献[1-3]中的绘图模块是以图形建模为基础,图形建模是一个面向对象的电网绘图工具,提供所有电器设备的图形原件的绘图功能。各个图形参数存入到数据库中,绘图时点击各个图元再调用数据结构就可完成厂站的绘制。文献[4-5]是基于GIS技术理论,创建中间数据库为桥梁,实现地理图形与电气图形连接达到快速绘图的目的。文献[6-7]设计了图元建模方式绘制电厂的

电气接线图,通过对话框实现电气设备参数的设定完成电力系统图的绘制。文献[8]设计了全自动建模的图形绘制,通过通用数据接口读取系统图图形文件,并解析为图形及文字数据信息,通过对图形信息的辨识完成电气设备及其连接关系的识别。文献[9]利用C#语言的功能特点开发了绘制电网接线图的图形建模环境,利用该建模环境实现系统可视化操作。文献[10]使用AutoCAD的图形界面将图形符号与电力系统设备的数学模型联系起来,绘图时逐个选取图元绘制。文献[11]提出了一种以Qt库为基础的电力系统地理接线图绘制软件

的方法。文献[12]针对配电网设备数量大和拓扑结构复杂的特点提出了一种基于拓扑分层的绘图算法,很好地实现了配电网电气接线图的自动生成。

使用上述算法能够完成矿井[13]高压供电图的绘制,但在绘制过程中存在一些问题,具体如下:图1是某煤矿-200变电所的供电系统图,图中高压出线开关与高压出线开关之间的连接是没有使用连接线的,同时,高压出线开关和电动机或变压器也是直接连接,没有使用连接线。直接连接的电气设备本文称之为直连电气设备,直连电气设备的含义是指不需要使用连接线而能够完成两个电气设备的

直接电气连接,因此要求它们之间必须要严格对齐,否则在后续高压供电系统图拓扑学习过程中就会出现错误。因此,在绘制这些需要直接连接的电气设备时使用上述算法只能采用人工对齐的方式。这将会导致供电系统图绘制过程繁琐、缓慢,并且会因为人工失误,造成部分高压出线开关之间、或高压出线开关和其它电气设备之间未能对齐的情况,导致准确率较低。

为了能够解决存在的上述问题,提高矿井高压供电图的绘制效率和绘制准确性,本文提出了一种矿井高压供电图的快速绘制算法。

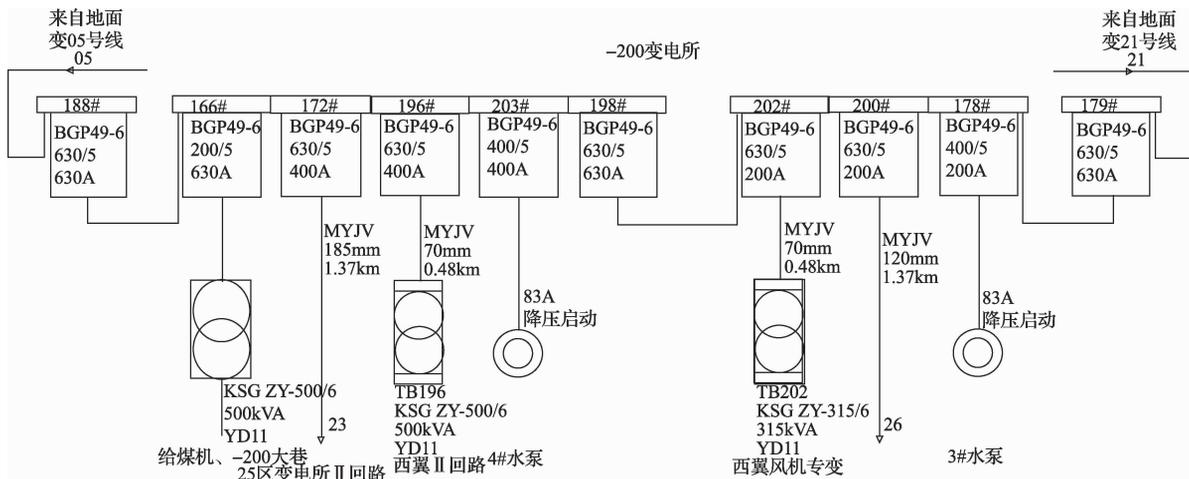


图1 -200变电所的供电系统图

## 2 矿井高压供电图的快速绘制算法

本文提出的矿井高压供电图快速绘制算法,首先完成煤矿各种电气设备图元构建,然后在此基础上完成相应图元基准点坐标计算,最后依据图元的基准点坐标完成直连电气设备的自动捕获和自动对齐,实现矿井高压供电图的快速绘制。

### 2.1 图库构建方法

针对煤矿各种电气设备构建电气设备图元。在绘制的煤矿电气设备图元中,为每一个图元都设置了相应的连接点,所有连接点都对应了一个小方框,如图2所示。当电气设备之间需要直接连接时,需要确保两个电气设备各自相应的连接点要完全对齐,如图3所示。

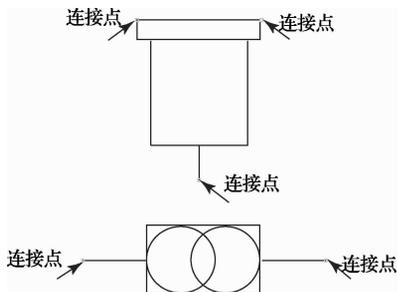


图2 图元示意图

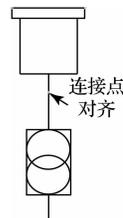


图3 电气设备直接连接示意图

针对每种图元在构建其图库时,使用的图元原始坐标系如图4所示,在实际绘制矿井高压供电图时,使用的实际绘图坐标系如图5所示。

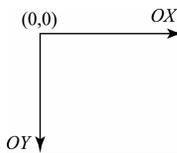


图4 图元原始坐标系

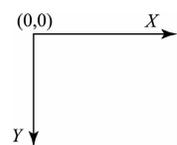


图5 实际绘图坐标系

图元绘制完成后,图元中涉及的基本元素以 XML (可扩展标记语言) 文件的形式进行保存,涉及的基本

元素及相关参数如下,各种元素的基准点如表 1、表 2 所示。

表 1 基本元素定义

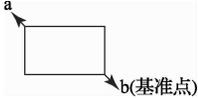
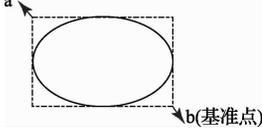
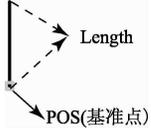
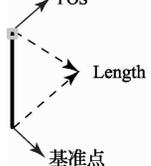
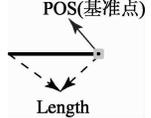
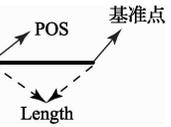
基本元素	含义	参数 a	参数 b	示意图
RECTANGLE	绘制长方形	长方形左上角位置坐标 $(a_{ox}, a_{oy})$	长方形右下角位置坐标 $(b_{ox}, b_{oy})$	
WIRE	绘制线路	线路起点位置坐标 $(a_{ox}, a_{oy})$	线路终点位置坐标 $(b_{ox}, b_{oy})$	
ELLIPSE	绘制椭圆	椭圆左上角位置坐标 $(a_{ox}, a_{oy})$	椭圆右下角位置坐标 $(b_{ox}, b_{oy})$	

表 2 连接点元素定义

基本元素	含义	POS	参数 length	参数 direction	示意图
PIN	连接点	连接点位置坐标 $(POS_{ox}, POS_{oy})$	连接点延伸的线路长度	连接点线路延伸的方向, 值为 0 向上延伸。	
PIN	连接点	连接点位置坐标 $(POS_{ox}, POS_{oy})$	连接点延伸的线路长度	连接点线路延伸的方向, 值为 1 向下延伸。	
PIN	连接点	连接点位置坐标 $(POS_{ox}, POS_{oy})$	连接点延伸的线路长度	连接点线路延伸的方向, 值为 2 向左延伸。	
PIN	连接点	连接点位置坐标 $(POS_{ox}, POS_{oy})$	连接点延伸的线路长度	连接点线路延伸的方向, 值为 3 向右延伸。	

在图元原始坐标系中,基准点坐标计算过程如下: RECTANGLE 元素的基准点坐标用  $(RECT_{ox}, RECT_{oy})$  表示, WIRE 元素的基准点坐标用  $(WIRE_{ox}, WIRE_{oy})$ , ELLIPSE 元素的基准点坐标用  $(ELLI_{ox}, ELLI_{oy})$  表示, PIN 元素的基准点坐标用  $(PIN_{ox}, PIN_{oy})$ , 则各元素基准点坐标的具体计算过程如下:

$$\begin{cases} RECT_{ox} = b_{ox}, RECT_{oy} = b_{oy} \\ WIRE_{ox} = \max(a_{ox}, b_{ox}), WIRE_{oy} = \max(a_{oy}, b_{oy}) \\ ELLI_{ox} = b_{ox}, ELLI_{oy} = b_{oy} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} PIN_{ax} = POS_{ax}, PIN_{ay} = POS_{ay}; direction = 0 \\ PIN_{ax} = POS_{ax}, PIN_{ay} = POS_{ay} + length; direction = 1 \\ PIN_{ax} = POS_{ax}, PIN_{ay} = POS_{ay}; direction = 2 \\ PIN_{ax} = POS_{ax} + length, PIN_{ay} = POS_{ay}; direction = 3 \end{cases} \quad (2)$$

## 2.2 图元基准点坐标计算

在图元原始坐标系中,分别计算图元中涉及的每个元素的基准点坐标,假定图元中存在  $n$  个元素,第  $i$  个元素基准点坐标用  $(ax_i, ay_i)$  表示,图元基准点坐标用  $(ax, ay)$  表示,则  $ax = \max(ax_1, ax_2, \dots, ax_n)$ ,  $ay = \max(ay_1, ay_2, \dots, ay_n)$ 。图元基准点坐标计算流程具体步骤如下:

1) 加载图元文件;

2) 图元的基准点坐标设置为  $(ax, ay)$ , 且  $ax = 0, ay = 0$ ;

3) 读取图元中包含的各元素信息;

4) 从所有元素中取出一个未遍历的元素,依据图库构建方法计算该元素的基准点坐标  $(a, b)$ , 如果  $a > ax$ , 则  $ax = a$ ; 如果  $b > ay$ , 则  $ay = b$ ;

5) 元素是否遍历完成, 如果仍然存在未遍历的元素则重复执行步骤 4); 如果遍历完成, 则输出该图元的基准点坐标  $(ax, ay)$ 。

## 2.3 图元基准点坐标计算实例

图 6 所示的图元为双引线的高压开关, 存在 4 个连接点, 其 XML 文件如下所示:

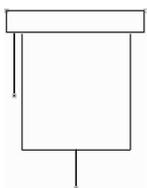


图 6 图元示意图

```
<RECTANGLE a='92.80000,43.00000' b='110.80000,46.00000'/>
<WIRE a='94.80000,46.00000' b='94.80000,61.00000'/>
<WIRE a='94.80000,61.00000' b='108.80000,61.00000'/>
<WIRE a='108.80000,61.00000' b='108.80000,46.00000'/>
<PIN pos='101.80000,66.00000' length='25' direction='0'></PIN>
<PIN pos='93.80000,54.00000' length='40' direction='0'></PIN>
<PIN pos='92.80000,43.00000' length='0' direction='1'></PIN>
<PIN pos='110.80000,43.00000' length='0' direction='1'></PIN>
```

针对上述图元实例中相关元素的基准点坐标分别为:

$$RECT_{ox} = b_{ax} = 110.8, RECT_{oy} = b_{ay} = 46$$

$$WIRE_{ox_1} = 94.8, WIRE_{oy_1} = 61$$

$$WIRE_{ox_2} = 108.8, WIRE_{oy_2} = 61$$

$$WIRE_{ox_3} = 108.8, WIRE_{oy_3} = 61$$

$$PIN_{ox_1} = 101.8, PIN_{oy_1} = 66$$

$$PIN_{ox_2} = 93.8, PIN_{oy_2} = 54$$

$$PIN_{ox_3} = 92.8, PIN_{oy_3} = 43$$

$$PIN_{ox_4} = 110.8, PIN_{oy_4} = 43$$

则该图元的基准点坐标  $(ax, ay) = (110.8, 66)$ 。

## 2.4 直连电气设备快速绘制算法

直连电气设备快速绘制算法能够完成电气设备之间的自动捕捉, 实现矿井高压供电图的快速绘制。当需要完成两个电气设备的直接电气连接, 又不需要使用连接线时, 使用该算法, 移动需要连接的设备, 当其靠近待连接设备时, 能够自动捕获连接点, 确认后即可实现两个设备的直接电气连接, 具体过程如下:

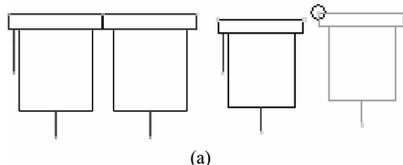
设置自动捕获连接点的最短距离  $D_{min}$ ;

在绘制矿井高压供电图时, 选择某图元, 比如高压出线开关(假定连接点有  $n$  个), 在图元原始坐标系中计算该图元的基准点坐标  $(ax, ay)$ , 假定图元文件中第  $i$  个连接点在图元原始坐标系中相应的坐标为  $(POS_{ox_i}, POS_{oy_i})$ , 则在图元原始坐标系中该连接点  $i$  与基准点坐标的相对坐标为  $(Rx_i, Ry_i)$ , 且  $Rx_i = POS_{ox_i} - ax, Ry_i = POS_{oy_i} - ay$ ;

在绘图界面上开始绘制该图元, 实际绘图坐标系如图 5 所示, 图元的基准点位置坐标和绘图时鼠标的位置坐标相同。随着鼠标的移动, 该图元随着移动。鼠标在实际绘图坐标系中的当前坐标假定为  $(x, y)$ , 该图元连接点  $i$  在实际绘图坐标系中的实际坐标为  $(x_j, y_j)$ , 则  $x_i = x + Rx_i, y_i = y + Ry_i$ 。

从该图元所有连接点中选择一个未被遍历的连接点  $i$ , 执行步骤 5。

从已绘制供电系统图的所有连接点中任选一个未被遍历的连接点  $j$ , 在实际绘图坐标系中的坐标为  $(x_j, y_j)$ , 计算其到图元连接点  $i$  的距离  $D_{i,j}, D_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ ; 如果  $D_{i,j} \leq D_{min}$ , 则以连接点  $i$  的实际坐标为中心坐标绘制一个红色小圆圈, 提示用户捕获到了距离连接点  $i$  最近的一个连接点  $j$ , 则捕获成功, 用户通过点击鼠标确认后, 图元基准点在实际绘图坐标系中的坐标被修正为  $(x - (x_i - x_j), y - (y_i - y_j))$ , 实现直连电气设备的自动对齐, 具体如图 7(a) 和图 7(b) 所示; 反之, 则执行步骤 6;



(a)

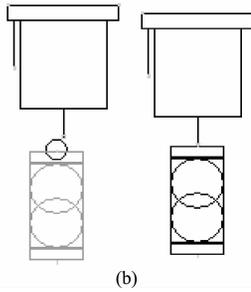


图 7 直连电气设备自动捕获示意图

制,变电所基本结构如表 3 所示。绘制完成后对变电所电气设备之间连接点的对齐情况进行检验,检测该变电所电气设备连接的准确率  $R$ ,假定某变电所所有需要连接的连接点数量用  $N$  表示,未对齐连接点的数量用  $E$  表示,则  $R = \frac{N-E}{N}$ 。实验结果如表 4 所示。由表 4 可知,使用快速绘制算法对不同变电所进行绘制时,变电所电气设备对齐的准确率能够达到 100%,绘图准确率得到较大程度的提高;同时,绘图速度能够提高 3 倍以上,能够有效节省绘制时间,准确快速地完成变电所高压供电系统图的绘制。

已绘制供电系统图的所有连接点是否都已经遍历完毕,如果遍历完成,执行步骤 7;否则,执行步骤 5;

待绘制图元的所有连接点是否遍历完毕,如果遍历完成,程序结束;否则,执行步骤 4。

算法具体流程如图 8 所示:

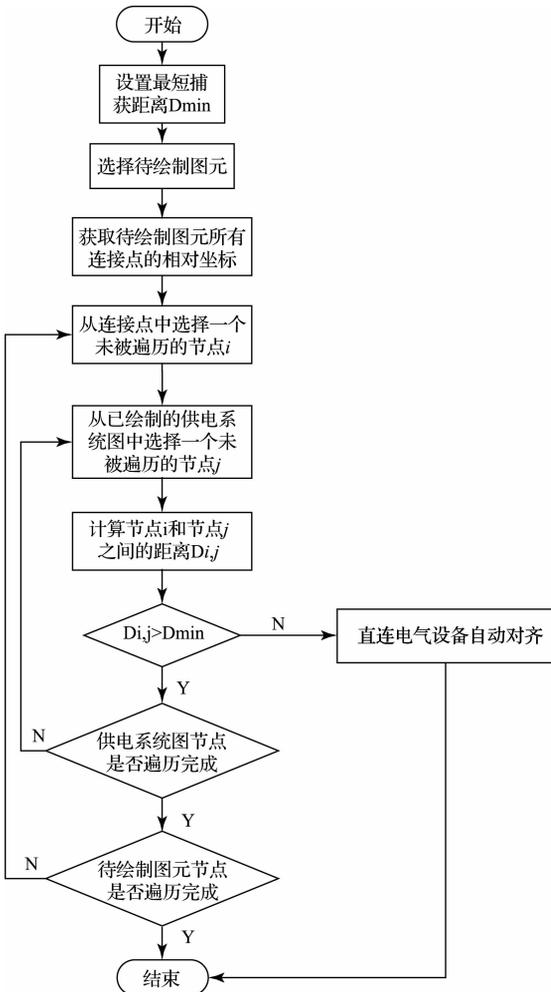


图 8 直连电气设备自动捕获算法流程

表 3 待绘制变电所基本结构

序号	变电所名称	基本供电结构	进线开关数	出线开关数	联络开关数	总开关数
1	变电所 1	单母线分两段	2	2×16	1	35
2	变电所 2	单母线分两段	2	2×13	1	29
3	变电所 3	单母线分两段	2	2×11	1	25
4	变电所 4	单母线不分段	2	11	0	13
5	变电所 5	单母线不分段	2	10	0	12

表 4 实验结果

序号	变电所名称	操作员 1	操作员 1	操作员 2	操作员 2
		使用算法 1 的绘制时间/s 和准确率 R	使用算法 2 的绘制时间/s 和准确率 R	使用算法 1 的绘制时间/s 和准确率 R	使用算法 2 的绘制时间/s 和准确率 R
1	变电所 1	545	138	97.06 %	100 %
		450	105	94.11 %	100 %
2	变电所 2	388	59	96.43 %	100 %
		233	62	92.86 %	100 %
3	变电所 3	168	49	95.83 %	100 %
		155	44	91.67 %	100 %
4	变电所 4	62	20	100 %	100 %
		56	18	91.67 %	100 %
5	变电所 5	58	16	100 %	100 %
		51	14	100 %	100 %

### 4 结 论

在矿井高压供电图中,电气设备之间不使用连接线而直接连接的情况较多,已有的绘制算法针对直连电气设备采用人工对齐的方式,会导致矿井高压供电图绘制过程繁琐、缓慢,准确率较低。

本文依据矿井高压供电图的特点,提出一种针对矿井

### 3 实验结果

实验分别由不同的操作人员使用已有的矿井高压供电系统图绘制算法(简称为算法 1)和本文提出的快速绘制算法(简称为算法 2)完成 5 个不同结构变电所的框架绘

高压供电图的快速绘制算法,可以实现直连电气设备之间连接点的自动捕获,有效提高两个直连电气设备相应连接点对齐的速度。与已有绘制矿井高压供电图算法相比,对齐的准确性得到较大程度的提高降低了矿井高压供电图的绘制复杂度和成本,具有准确性高、速度快、操作简便等特点,有效地完成了矿井高压供电图的快速绘制。

## 参考文献

- [1] 韩学军,朱涛,韩学山. 供电网继电保护可视化整定计算与动作仿真系统[J]. 电网技术, 2004,28(14):28-31.
- [2] 王慧芳,姚勇,何奔腾,等. 电网继电保护整定计算软件的实用性研究[J]. 电力系统自动化,2004,28(21):85-88.
- [3] 邓其军,周洪,鲁觉. 面向图形对象的配电网单线图绘制与使用[J]. 电力自动化设备,2009,29(7):97-100.
- [4] 程海兵,毛善君,刘永立,等. 煤矿井下供电自动设计系统的实现[J]. 煤炭科学技术,2010,38(2):69-72.
- [5] 范中,张慧媛. 基于 GIS 数据平台的配电网短路电流计算[J]. 电力系统自动化,2005,29(23):76-79.
- [6] 刘慧敏,刘沪平,郭伟,等. 可视化发电厂继电保护整定计算系统的研究[J]. 继电器,2005,33(21):14-17.
- [7] 孔祥敏,焦彦军,柯赫震. 通用的发电厂继电保护整定计算及管理软件[J]. 继电器, 2006, 34(4): 14-16.
- [8] 赵冬梅,张旭,刘燕华. 等. 发电厂继电保护整定计算系统的智能化研究[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(5):100-104.
- [9] 邓丰强,吕飞鹏,张向亮. 等. 面向对象的电网继电保护整定计算管理系统[J]. 华北电力大学学报,2012,39(4):36-41.
- [10] 钱军,冯林桥,张文涛,等. 地区电网继电保护仿真智能系统[J]. 电力自动化设备,2007,27(4):111-114.
- [11] 李文帆,刘志刚,伍文城. 等. 基于 Qt 的电力系统地理接线图绘制软件设计[J]. 电力系统自动化,2013,37(4):72-76.
- [12] 廖凡钦,刘东,闫红漫,等. 基于拓扑分层的配电网电气接线图自动生成算法[J]. 电力系统自动化,2014,38(13):174-181.
- [13] 焦尚彬,宋丹,张青,等. 基于 ZigBee 无线传感器网络的煤矿检测系统,2013,27(5):436-442.

## 作者简介

王新良,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为矿山信息化、智能电网。

E-mail: junci158@163.com.

杨茜,1993 年出生,硕士研究生,主要研究方向为矿山信息化及自动化。

E-mail: 624491500@qq.com

## 全新源测量单元满足高功率器件测量应用需求

泰克推出 2461 SourceMeter<sup>®</sup> 图形源表仪器,观察和分析高达 10A、1000W 的待测器件特点

2016 年 1 月 14 日,泰克科技公司日前宣布,推出一款简便易用的图形源测量单元(SMU)仪器,用以优化和分析高功率材料、器件和模块的特性。

Keithley 2461 高电流源表 SMU 仪器为创建精确控制的 10 A/100 V、1 000 W 高电流脉冲提供了许多先进的功能,最大限度地降低功率器件热量效应,保持器件的完整性。双 18 位高速模数转换器可以简便地测量待测器件特点,并在前面板上直接以图形方式显示,立即进行分析。在久负盛名的 2450 和 2460 SMU 平台基础上,2461 拥有同类最高的 DC 和脉冲源和阱性能,用户可以更深入地了解设计的特点。

开发下一代高功率材料和器件的科研人员、科学家和设计师必需能够在各种 DC 和脉冲功率上进行测量,检验待测器件性能,同时使器件自热效应达到最小,因为自热经常导致器件或模块故障。这适用于材料研究、半导体器件、电路保护装置、高级照明技术、能源贮存和生成器件及消费电子中使用的功率管理电子等市场。

与泰克其他吉时利图形 SMU 一样,2461 提供了简单

直观的 Touch, Test, Invent<sup>®</sup> 用户体验,最大限度地缩短学习周期,加快测试设置,更快地获得所需信息。通过图形触摸屏界面,用户可以像在智能手机和平板电脑上一样,使用自然手势在前面板上直接与结果交互,迅速放大和缩小数据,同时进行详细的分析。内置开放源脚本语言使得用户能够为专门的测量应用创建可以重用、可以量身定制的测试软件库。

2461 的 10A/100V、1 000 W 脉冲功率使得工程师可以在更短的时间内对待测器件应用更多的功率,最大限度地降低待测器件的自热效应,相比之下,DC 电流测试则可能会掩盖待测器件的真实特点。如果应用电流的时间太长,DC 测试还可能会损坏待测器件。由于 18 位双 1 MS/s 模数转换器,2461 可以同时测量和查看待测器件特点、波形以及电流和电压的瞬态事件。全新的快速“接触检查”功能可以帮助用户最大限度地降低测量误差,减少与接触疲劳、探头尖端杂质、连接松动或断开和继电器故障有关的产品误判。这些功能让用户对测试结果更自信,从而可以更快地做出设计和工程决策。