

# 非镜象张氏电极的设计和加工程序

徐春生

(合肥日用化工总厂, 合肥)

**摘要:** 本文在张氏电极理论及其设计程序的基础上, 提出了非镜象张氏电极的概念及其设计理论和设计程序。本文还介绍了张氏电极的数控加工程序。

## The procedure for non-symmetry Chang-electrode design and production

Xu Chunsheng

(Hefei Daily use Chemical General Factory)

**Abstract:** Based on the Chang-electrode theory and its procedure designing, the concept, design theory and procedure about the non-symmetry Chang-electrode are described. The process of the Chang-electrode with numerically-controlled machinery.

准分子激光器和其它种类的激光器中, 主放电电极的截面要求有适当的形状, 使得电极范围内的电场强度分布均匀, 电极边缘附近的电场强度低于电极范围内的电场强度, 这样才能保证大体积范围内的均匀放电。

现在, 已有很多种能近似满足上面要求的电极剖面, 其中以Rogowski电极和张氏电极最为常见。

Rogowski电极的剖面方程为<sup>[1]</sup>:

$$y = \frac{a}{\pi} \exp\left(\frac{\pi x}{a}\right) + \frac{a}{2} \quad (1)$$

实际设计中用光滑连接的直线、正弦曲线和圆弧线来代替(1)所给的曲线, 这样的电极具有加工简单性和一定的有效性。

1973年, 张提出了一簇由双曲函数线构成的分析剖面<sup>[2]</sup>, 这种电极剖面在平滑性、紧致性、均匀性等方面都优于Rogowski电极。

### 一、张氏电极设计理论和镜象电极设计<sup>[2,3]</sup>

张氏电极剖面簇源于下列的保角变换:

$$z = \omega + k \operatorname{sh} \omega \quad (2)$$

式中,  $z = x + iy$ ,  $\omega = u + iv$ ,  $x, y$ 是空间坐标,  $u, v$ 是电通量和电位函数, 且 $k > 0$ 。对于每一个 $v$ 值 ( $|v| < \pi$ ) 对应的等电位剖面为:

$$x = u + k \cos v \operatorname{sh} u \quad (3)$$

$$y = v + k \sin v \operatorname{ch} u \quad (4)$$

$u$ 是参变量。注意：每个等势面都是 $y$ 轴对称的。而且共轭等位面 $v$ 和 $-v$ 所对应的两个面是 $x$ 轴对称的。因此，我们只需研究 $v$ 为正值且限于第一象限就足够了。

由电动力学可给出下列的电场表达式：

$$E^{-2} = |dz/d\omega|^2 = (1 + k \cos v \operatorname{ch} u)^2 + (k \sin v \operatorname{sh} u)^2 \quad (5)$$

可将其展开成 $u$ 的级数形式如下：

$$E = a_0(v) + a_2(v)u^2 + a_4(v)u^4 + \dots \quad (6)$$

奇数项因考虑对称性而消失。为在电极中央( $u=0$ )附近获得最大平坦电场分布，要求 $a_2(v)=0$ ，即 $\partial^2 E^{-2}/\partial^2 u|_{u=0}=0$ ，由此可导出：

$$v = \arccos(-k) = \pi/2 + \arcsin(-k) \quad (7)$$

设 $y_0$ 为电极中央的点， $x_m$ 、 $y_m$ 、 $u_m$ 分别为电极边缘的 $x$ 、 $y$ 、 $u$ 的值，由(3)、(4)、(7)式可得：

$$x_m/y_0 = (u_m - k^2 \operatorname{sh} u_m) / \arccos(-k) + k\sqrt{1-k^2} \quad (8)$$

一般取电极厚度为电极间距的1/4，即 $y_m = 3y_0/2$ ，则有：

$$\operatorname{ch} u_m = \arccos(-k) / 2k\sqrt{1-k^2} + 3/2 \quad (9)$$

由(8)、(9)式即可确定电极纵横比 $x_m/y_0$ 和 $k$ 的关系，在给定纵横比的情况下，求出电极方程中的参量 $k$ 再由(7)式求出相应的 $v$ 即可得电极剖面方程。

上述计算需要使用迭代法。

## 二、非镜象张氏电极的设计

如图1所示的等 $v$ 曲线簇，镜象电极选取 $v=v_1$ 和 $v=-v_1$ 作为上下剖面的电极，非镜象电极则选取 $v=v_1$ 和 $v=-v_2$  ( $v_1 \neq v_2$ )作为上下剖面的电极。

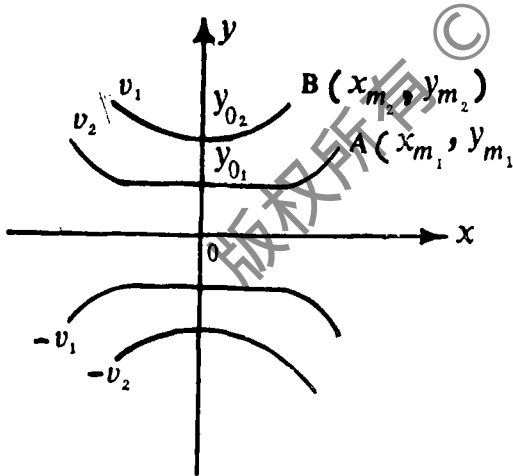


图 1

此时，上电极方程为：

$$x_1 = u + k \cos v_1 \operatorname{sh} u \quad (10)$$

$$y_1 = v_1 + k \sin v_1 \operatorname{ch} u \quad (11)$$

下电极方程为：

$$x_2 = u + k \cos v_2 \operatorname{sh} u \quad (12)$$

$$y_2 = v_2 + k \sin v_2 \operatorname{ch} u \quad (13)$$

为计算方便，我们考虑的下电极的 $v$ 值暂且取正。

要确定 $k$ 、 $v_1$ 、 $v_2$ 需要有实际的电极尺寸和间距，一般情况下是根据电场均匀度的要求给出 $x_{m1}$ 、 $y_{m1} - y_{01}$ 、 $x_{m2}$ 、 $y_{m2} - y_{02}$ 和 $h$  ( $y_{01} + y_{02}$ )的值来。

定义参数 $\delta_m$ 为在电极临界范围内可允许的最大电场误差，则有：

$$\delta_m = [E(0) - E(u_m)] / E(0) \quad (14)$$

由 $\delta_m$ 的 $x$ 轴分布情况我们就可以了解电极的放电性能，以便使我们能选取出一对满意的电极来。

实际的电极方程应是张氏理论方程乘上一个比例因子, 即:

$$x_i = au + ak\cos v_i shu \quad (15)$$

$$(i = 1, 2)$$

$$y_i = av_i + aksin v_i chu \quad (16)$$

将  $x_{m1}, y_{m1} - y_{01}, x_{m2}, y_{m2} - y_{02}$  和  $h$  的值代入上面的方程可得:

$$x_{m1} = au_{m1} + ak\cos v_1 shu_{m1} \quad (17)$$

$$y_{m1} - y_{01} = aksin v_1 chu_{m1} - aksin v_1 \quad (18)$$

$$x_{m2} = au_{m2} + ak\cos v_2 shu_{m2} \quad (19)$$

$$y_{m2} - y_{02} = aksin v_2 chu_{m2} - aksin v_2 \quad (20)$$

$$h = y_{01} + y_{02} = av_1 + aksin v_1 + av_2 + aksin v_2 \quad (21)$$

因为窄电极 (即下电极) 的表面基本上都处于有效放电区域内, 需用张氏理论中的最大平坦场条件即 (7) 式来约束  $k$  值, 即:

$$k = -\cos v_2 \quad (22)$$

方程组 (17) ~ (22) 式共6个方程, 6个未知数 ( $a, k, v_1, v_2, u_{m1}, u_{m2}$ ), 理论上是可解的, 实际的运算中, 我们采用迭代法处理, 具体步骤如下:

- (1) 给定  $v_1, v_2$  的初始值代入 (22) 式求出  $k$  值。
- (2) 将  $k, v_1, v_2$  代入 (21) 式求出  $a$  值。
- (3) 将  $a, k, v_1, v_2$  代入 (18) 和 (20) 式求出  $u_{m1}, u_{m2}$  的值。
- (4) 由  $a, k, u_{m1}, u_{m2}$  通过 (17) 和 (19) 式求出新的  $v_1$  和  $v_2$  值。

(5) 将新的  $v_1, v_2$  值作为初始值, 重复上面的计算直至相邻的两次  $v_1, v_2$  值的差  $\Delta v_1, \Delta v_2$  达到我们所满意的精度要求。

上述迭代可使用微机处理。我们采用 PC-1500 袖珍电子计算机编制了一套设计程序<sup>[4]</sup>, 其框图可参见图2。

利用此程序也可以设计镜象张氏电极, 只要令输入语句中  $x_{m1} = x_{m2}, y_{m1} - y_{01} = y_{m2} - y_{02}$  即可。

本程序采用人机对话的方式, 具有操作简单、功能齐全、运转迅速等优点。它不仅能准确地给出理论电极的形状和参数, 还为我们进行经验模拟提供了极大的方便。

根据电场均匀度分布的情况并参照西德进口101型准分子激光器的放电电极设计, 我们给出的电极尺寸为  $(x_{m1}, y_{m1} - y_{01}, x_{m2}, y_{m2} - y_{02}, h) = (15.5, 10, 27, 6, 24)$ 。代入所编程序, 由此可计算出理论电极的参数为:  $k = 2.86923 \times 10^{-1}, v_1 = 1.86182, v_2 = 7.01435 \times 10^{-1}, a = 7.93843,$

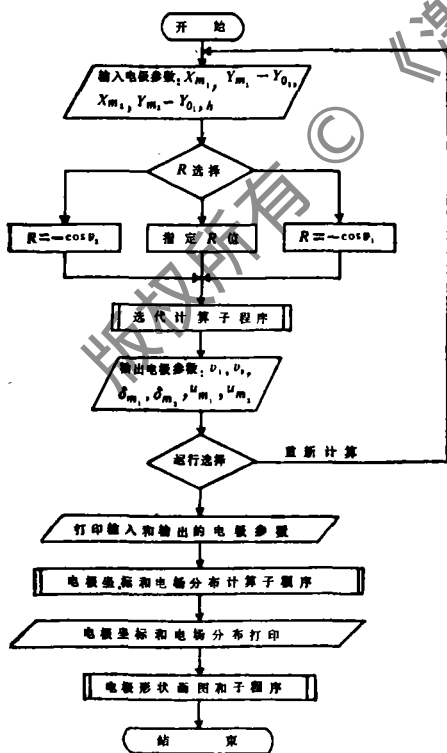


图 2

### 三、张氏电极的数控加工程序

对于给定解析方程的复杂曲面的精加工,比较有效的方法是使用带微机控制的数控机床。目前,我们采用的数控机床型号为UB-75,其操作语言系统为Fanuc-6MB,使用其宏指令编制用户宏程序〔6〕,通过键盘输入系统,即可完成所要求的精加工。

张氏电极的剖面方程可简化为:

$$x = au + bshu \quad (23)$$

$$y = c + dchu \quad (24)$$

由于加工中采用球形刀具,而我们控制的只是刀具球心而非切点,因此需对上述方程进行加工方面的修正,其结果如下:

$$X = au + bshu + \frac{R \cdot dshu}{\sqrt{(a + bchu)^2 + (dshu)^2}} \quad (25)$$

$$Y = c + dchu + \frac{-R \cdot (a + bchu)}{\sqrt{(a + bchu)^2 + (dshu)^2}} \quad (26)$$

根据此方程编制的加工程序框图可参见图3。

数控编程的难点在于:(1)微机运算功能仅加、减、乘、除、乘方、开方等。对于双曲函数,我们采用幂级数展开法计算,其项数由精度要求确定。(2)微机运算时数值超过储存即自动停车。对此,我们在程序中采用了ROUND语句,及时去掉精度要求范围之外的尾数。我们编制的数控程序计算精度为 $10^{-6}$ mm,加工精度根据输入的步长确定,一般取 $10^{-3}$ mm。

根据上述设计理论并参照张氏电极理论中的紧致性设计要求,我们使用微机和数控机床已设计并加工出一对电极(如图4)。在准分子激光器上试用,其放电的均匀性和紧致性都较好,放电宽度约为10mm。

本工作曾得到中国科技大学马兴孝教授和北京机床所戴有虎高工的不少指教和帮助,在此一并致谢。

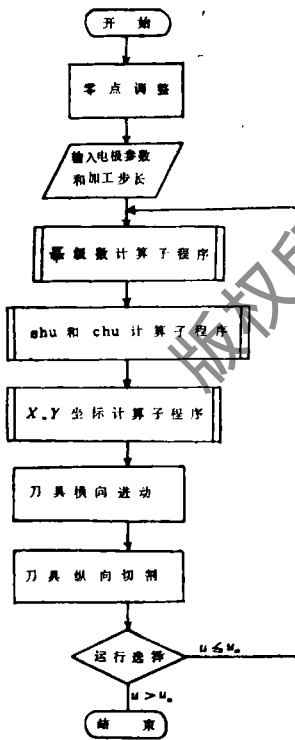


图 3

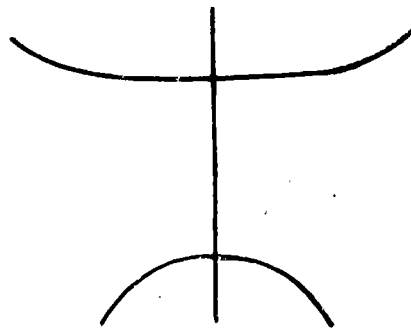


图 4

## 参 考 文 献

- [1] 赫光生, 雷任湛. 激光器设计基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1979; 186~188
- [2] Chang T Y. Rev Scient Instrum, 1973; 44 (4); 405~407
- [3] 曹洪如. 张氏电极的设计计算程序. 应用激光联刊, 1983; 3 (5); 61
- [4] 顾骏梁. PC-1500袖珍计算机 (BASIC) 语言实用程序设计. 北京: 煤炭工业出版社, 1985; 306~316, 391~392
- [5] 北京数控-发那科服务中心编. Fanuc System 6M-Model B 操作说明书 (上册). 22~285

作者简介: 徐春生, 男, 1966年3月出生. 现担任牙膏分厂技术科长(代). 主要从事牙膏生产技术管理、有关散射光学、胶体化学和流变学等方面的理论研究工作.

收稿日期: 1989年12月15日. 收到修改稿日期: 1990年4月10日.

· 简 讯 ·

## 二极管阵列探测器

新泽西州特伦顿Princeton仪器公司推出的INGAS-256NIR型二极管阵列探测器, 全部使用标准性能指标 (PI) 的硬件和软件工作. 该探测器由256个提供12.8mm焦平面视野. 在0.8~1.7 $\mu\text{m}$ 光谱区内有响应度的InGaAs二极管阵列组成. 该阵列探测器用热电致冷在0~-65 $^{\circ}\text{C}$ 的温度范围之内, 以保证最小的暗电荷.

译自 L F World, 1990 Jul; 172

邹福清 译 邹声荣 校

用于CO<sub>2</sub> 和YAG激光器的数字式功率探测器

由Oriol公司生产的手持式30型数字式功率探测器用于高功率激光器的功率级水平检查是理想的. 这种装置由一台微处理机控制的数字功率计和一个功率计探头组成. 探测头可用于3W到11kW的功率级水平, 一般最小限度的分辨率是探测头量程的0.1%.

译自 L & O, 1990, Aug; 68

张贤义、译 刘建卿 校