

# 壁稳氩弧紫外—真空紫外光源

李福田 陈星旦\*

**摘要:** 已研制成适合不同需要的三种壁稳氩弧光源。测试表明: 2.5kW 及 10kW 氩弧的紫外-真空紫外光谱辐射稳定性和重复性优于  $\pm 0.3\%$ , 弧与弧之间的一致性优于  $\pm 1\%$ 。1kW 氩弧稳定性和重复性优于  $\pm 0.8\%$ 。

文中讨论了氩弧165—350nm间光谱分布特性、氩弧等离子体温度和电子密度光谱学诊断及黑体谱线方法。

## 一、引 言

自1953年 Maecker<sup>[1]</sup> 提出壁稳弧工作原理并构成第一个壁稳弧以来, 壁稳弧作为一个稳定的等离子体光源, 被广泛地用在确定跃迁几率、连续光谱系数、斯塔克加宽参量等光谱学工作中及等离子体电学和热学性质的研究中。

1960年 Boldt<sup>[2]</sup> 提出黑体谱线理论, 将壁稳弧的应用推广到紫外-真空紫外光谱辐射计量方面。此后 Stuck 和 Wende<sup>[3]</sup>, Ott<sup>[4]</sup>, Preston<sup>[5]</sup> 等人利用这一方法, 分别在西德物理研究院(PTB)、美国国家标准局(NBS)和英国国家物理实验室(NPL)建立了紫外-真空紫外壁稳氩弧光谱辐射标准。

近年来, 随着同步辐射装置的普遍建立, 许多国家致力于用同步辐射建立紫外-真空紫外光谱辐射标准。但同步辐射装置束流较难测定, 无法准确给出绝对光谱辐射亮度值, 必须有另一种标准光源在真空紫外波段绝对定标。

另一方面, 同步辐射标准要靠一组传递标准进行量值传递。起初人们采用氙灯作为传递标准。氙灯在紫外及真空紫外波段有较强的连续光谱辐射。氙灯尺寸小、重量轻、功耗低、可用立体角大、操作简便。但氙灯有辐射老化问题, 且老化速率随波长而变。此外, 放电特性有时因电极上放电位置不同有变化, 这些都能使量值传递出现较大误差。

1977年, Bridges<sup>[6]</sup> 提出改用小型化壁稳氩弧作为光谱辐射传递标准。壁稳氩弧连续光谱辐射亮度比较稳定, 一般在  $\pm 0.5\%$  左右。光谱辐射没有老化问题。经过仔细设计, 可以避免由于阴极亮点位置改变引起的放电状态变化。Preston<sup>[7]</sup> 进一步为小型化壁稳氩弧设计了差分泵单元, 消除了紫外线作用下窗口透过率衰减带来的影响, 提高了长期稳定性和重复性。现国外不少计量研究单位已改用壁稳氩弧作紫外-真空紫外光谱辐射传递标准。

为适应紫外及真空紫外光谱学和辐射计量工作的需要, 近年来我们开展了壁稳氩弧光源和等离子体光谱学诊断工作。目前已研制出适合不同需要的三种氩弧光源, 即 1kW 普及型氩弧, 2.5kW 通用型氩弧和 10kW 高温、高电子密度型氩弧 (见图 1)。

本文描述壁稳氩弧工作原理和结构, 给出壁稳氩弧光谱辐射特性、等离子体温度和电子密度光谱学诊断结果及利用壁稳氩弧产生黑体谱线的一个实例。

\* 参加本工作的还有: 孙国华、刘元群、钱利民、曹健林、陈波等同志。

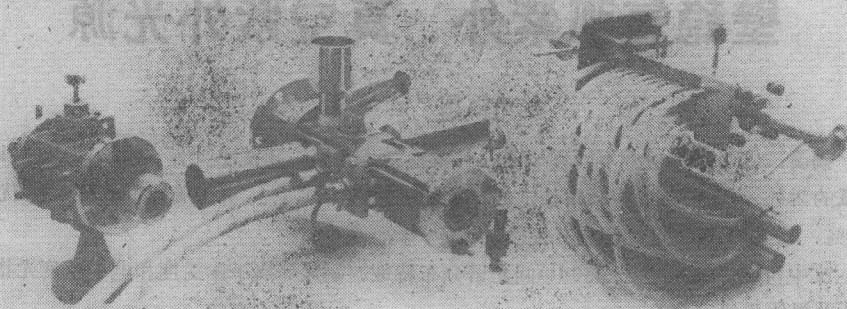


图1 1kW简化型, 2.5kW通用型及10kW高温高电子密度壁稳氩弧紫外-真空紫外光源(由左至右)

## 二、壁稳氩弧工作原理及结构

壁稳弧是从自由燃烧电弧发展来的, 它们同属于电极间放电产生的电弧。但壁稳弧不同于自由燃烧电弧, 在壁稳弧中利用了一组限弧片对电弧加以限制和压缩, 使其集中而稳定, 形成轴向温度均匀分布的高温高电子密度等离子弧柱。

2.5kW壁稳氩弧结构已另发表<sup>[8]</sup>。它用了8个限弧片, 每片厚度为2mm, 中心孔直径 $3 \pm 0.01$ mm。片与片间隔0.2mm, 用聚四氟乙烯密封圈分开。内外密封圈中间的空隙为冷却水通道, 对限弧片强制冷却。限弧片两密封刀口之间有一直径约5mm的孔, 使冷却水在一对限弧片之间流过后进入下一对限弧片。电极室、差分泵单元及窗口单元的冷却都在同样方式下完成。为避免冷却水漏电及电解侵蚀, 限弧片表面涂一层聚四氟乙烯膜, 厚度为 $30\mu\text{m}$ 。

阴极形状、几何尺寸及位置对阴极区辐射稳定性影响很大。阴极和阳极皆由钨钍棒制成, 直径分别为5mm和2.5mm, 离开轴线约为5mm。阴阳极用真空钎焊焊接到电极座上, 电极座单独水冷。弧室及电极总的冷却水流量为 $4\text{l}/\text{min}$ 。靠近阴极区放置了一个锥形遮光板, 以改善弧的稳定性。

为使连续光谱辐射重复而稳定, 氩弧以流动供气方式工作。来自气瓶的氩气纯度为99.99%, 经气体净化器后纯度达99.999%。再经截止阀、微调阀、流量计及压强传感器进入氩弧, 废氩经流量计, 微调阀, 截止阀和气体泵排放。由于气体不断更新, 因而降低了弧室及气体系统中空气和水蒸气杂质含量, 使其发射的杂质谱线(如氧、氮、碳和氢等)强度减弱。弧室内压强一般在1—2个大气压, 由压强传感器监测, 准确度为 $\pm 0.1\%$ 左右。有差分泵单元时, 氩气入口流量为 $4.9\text{l}/\text{min}$ , 出口流量为 $0.3\text{l}/\text{min}$ , 其余由差分泵单元排放。无差分泵单元时, 出口和入口流量同为 $0.3\text{l}/\text{min}$ 。

氩弧最大工作电流40A, 工作电压53V, 由高精度直流稳流电源供电。该电源采用28只3DD68E功率管并联和串联构成调整管阵列, 最大负载电流50A, 电压80V, 电流纹波0.1%, 电流稳定度达 $0.02\%/h$ 。触发器由600V、500mA辉光放电直流电源及2kV脉冲触发电源组成。氩弧启动程序是: 首先用机械泵抽真空至 $10^{-2}\text{Torr}$ , 而后通入氩气, 使气压达2—3Torr。施加2kV高压脉冲产生辉光放电, 并以600V、500mA辉光放电电源维持。然后逐渐加大氩

气压, 在气压达 300—500 Torr 时启动主电源, 完成辉光放电至弧光放电的过渡。

为得到较高的等离子体温度和电子密度, 为应用 Boldt 原理产生黑体谱线, 研制了 10kW 大功率壁稳氩弧。它和 2.5kW 氩弧在结构上略有不同。10kW 氩弧由 17 个限弧片组成, 弧长达 60mm 以上。限弧片厚 3mm, 中心孔直径  $3 \pm 0.01$  mm, 限弧片间用 0.3mm 厚的聚四氟乙烯圈密封并绝缘。和 2.5kW 氩弧比, 进一步提高了轴向温度和电子密度的均匀性。10kW 氩弧采用纯铜制成的空阳极, 这一设计取代多重钨阳极结构, 保证高功率下氩弧稳定工作。阴极由直径 5mm 钨钍棒制成, 固定在水冷极座上, 和弧轴成  $120^\circ$ , 尖端距弧轴 3mm。为适应大功率工作的需要, 阴极、阳极和各个限弧片单独水冷, 总水流量大于 6 l/min。为减小限弧片之间冷却水漏电而加长了冷却水管。10kW 氩弧由一台 20kW (200V、100A) 高精度直流稳流电源供电, 电流稳定度好于  $5 \times 10^{-5}$  /h。氩弧最大工作电流 70A, 相应电压 130V。同时为 10kW 氩弧设计了专用触发器, 引弧方式和 2.5kW 氩弧相类似。

为满足实验室的一般应用而研制的普及型 1kW 氩弧, 其结构及引弧方式和上述两种氩弧不同。它由阴极座、阳极座及限弧片三部分组成。限弧片厚度 5mm, 中心孔直径 3mm。阴极和阳极均为钨钍材料制成。阳极为圆筒形, 固定于极座上, 朝限弧片一方磨制出尖端, 便于稳定放电。阴极为圆柱状, 与弧轴垂直安放, 并可沿垂直弧轴的方向移动, 便于拉弧操作。1kW 氩弧工作时, 弧室内保持在一个大气压、氩气流量 0.7~1.2 l/min 左右。采用一钨棒起弧。首先将弧室通入氩气, 打开阳极一端的窗口, 用一支和阳极保持等电位的钨棒通过中空阳极及限弧片与移近轴线的阴极短接而后轴向拉出, 于阴、阳电极间形成弧光放电。为减少电极区辐射的影响以保证光谱辐射稳定性, 拉弧后需将阴极移离弧轴, 恢复初始状态。1kW 氩弧由一小型高精度直流稳流电源供电, 电流稳定度好于 0.05%/h。氩弧最大工作电流 36A, 相应电压约 32V。

壁稳氩弧工作时弧室内气压一般保持在  $1-2 \times 10^6$  Pa, 为了与高真空测试系统相连接, 可采用真空紫外窗、单通道差分单元或多孔微通道差分单元过渡。常用的真空紫外窗由石英或氟化镁晶体制成。前者截止波长为 165nm, 后者为 115nm。由于真空扩散泵油沉积于窗口, 在紫外线作用下形成的薄膜常常影响真空紫外辐射的透过, 造成透过率不断下降。此外强紫外辐射在晶体中形成色心, 也引起真空紫外波段透过率下降。因此用于高精度辐射测量工作时不宜采用窗口。我们设计了一个差分泵单元, 它由 5 个同轴短管组成, 短管直径随远离光源而增加。相邻两短管的空间用机械泵抽空, 四台机械泵抽速均为 4 l/sec。差分泵单元的设计将另文报导。

### 三、壁稳氩弧光谱辐射特性、等离子体光谱学诊断及黑体谱线方法

壁稳氩弧光谱辐射测试及等离子体诊断装置由微机控制下的一台 1.5 米高分辨率可见-紫外光栅单色仪和一台 1 米真空紫外凹面光栅单色仪组成。1.5 米可见-紫外单色仪波长范围从 200nm 到 800nm, 分辨率为 0.01nm。氩弧或标准灯通过前置镜 1:1 成像到单色仪入射狭缝。单色仪入缝高 0.2mm 宽 0.2mm, 通光孔径  $f/60$ 。以 EMI9558QB 光电倍增管作为探测器, 光电信号经锁相放大器放大后馈送到 7060 系统数字电压表。1 米真空紫外单色仪波长范围为 50 至 300nm, 配有一块 1200g/mm 凹面光栅, 闪耀波长为 150nm。单色仪内真空度达  $2 \times 10^{-6}$

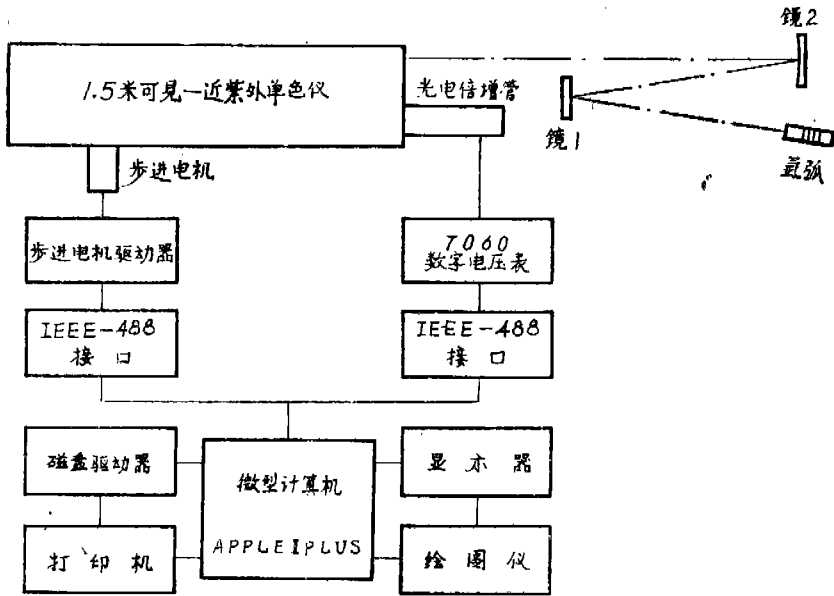


图2 微机控制的1.5米光谱辐射计系统

Torr。处于真空中的前置镜将氩弧或标准灯1:1成像到真空紫外单色仪的入射狭缝。入缝高0.2mm,宽0.2mm,通光孔径 $f/60$ 。探测器为水杨酸钠荧光屏和EMI9558QB光电倍增管组合。光电信号经直流放大器放大后送至7060系统数字电压表。

Apple II Plus 微型计算机通过 IEEE-488 接口分别与两台单色仪的智能化步进电机驱动器及7060系统数字电压表相连。根据预先选定的测试项目,在自编的Basic 程序引导下以预定方式自动进行单色仪波长扫描、光电信号采集、数据处理及最终结果打印、显示和绘图。图2给出仪器的布置。

### 1. 壁稳氩弧特性

图3给出壁稳氩弧的伏安特性曲线。随电流增大,弧光放电产生的等离子体正柱逐渐充

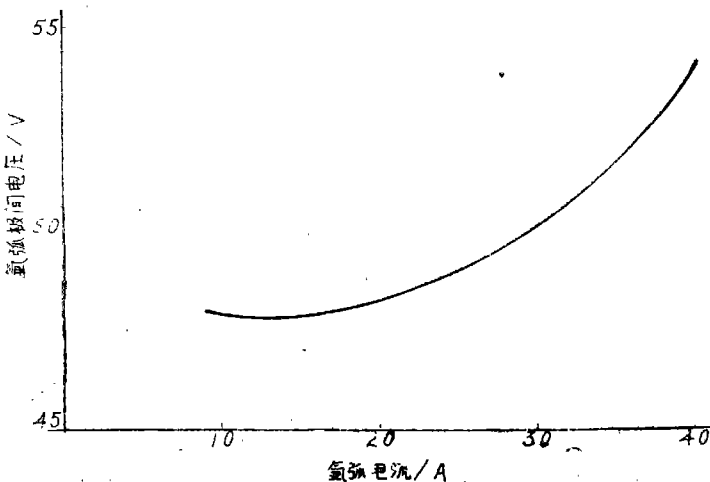


图3 氩弧伏安特性 (取自2.5kW 氩弧)

满放电通道，具有负伏安特性的自由电弧转变为具有正伏安特性的壁稳电弧。2.5kW 氩弧在电流15A附近出现这一转变，而1kW 氩弧则在25A附近转变。不同结构和工作条件的氩弧伏安特性不同。

壁稳氩弧光谱辐射空间特性主要取决于限弧片的尺寸与结构。2.5kW及10kW氩弧的限弧片间隔只有0.2~0.3mm，且限弧片厚度与中心孔直径之比小于1，保证了轴向电场及等离子体温度和电子密度的均匀性。但由于限弧片的热传导，氩弧等离子体温度和电子密度随远离弧轴而降低，导致氩弧光谱辐射亮度在直径方向发生变化。图4给出氩弧径向光谱辐射亮

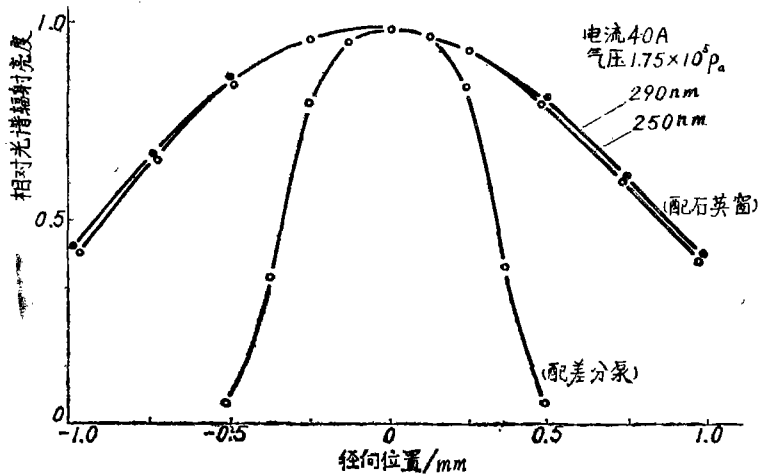


图4 氩弧光谱辐射亮度径向分布 (取自2.5kW 氩弧)

度分布曲线。可看出在轴线附近 ±0.2mm 范围内亮度变化很小，形成曲线的“平顶”，构成

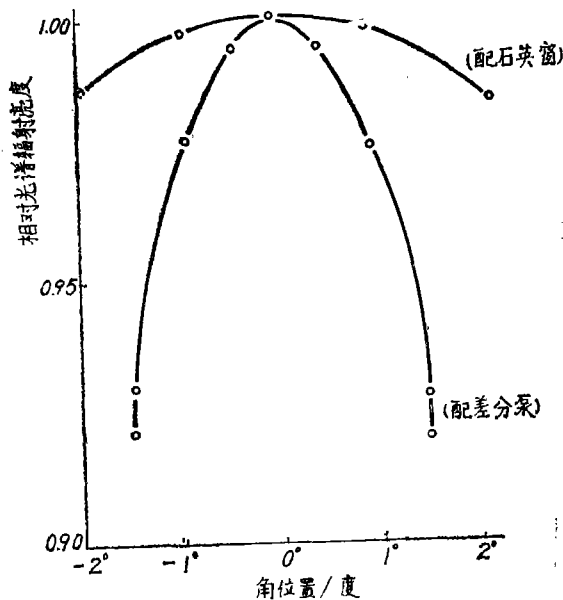


图5 氩弧光谱辐射亮度角分布 (取自2.5kW 氩弧)

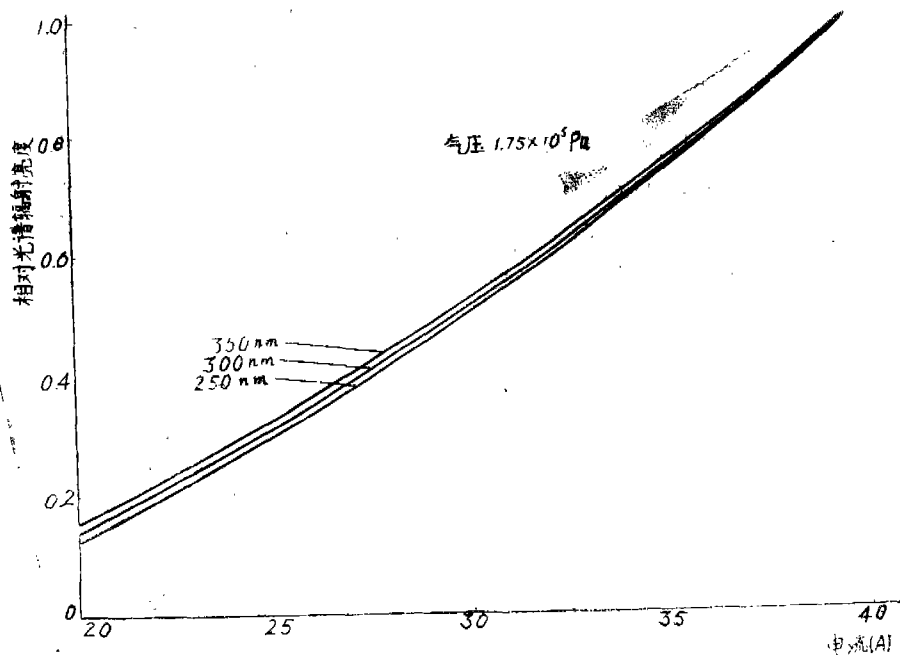


图6 氩弧相对光谱辐射亮度随电流变化

一个亮度均匀区。离开弧轴愈远，亮度下降愈快。且不同工作电流、不同波长，下降趋势略有不同。所研制的三种氩弧其限弧片尺寸相同，因而径向分布大致相同。只是1kW氩弧仅有一个限弧片，电极区辐射占较大比例，使径向光谱辐射亮度分布曲线在电极一侧偏高。

氩弧亮度角分布因电极结构、限弧片总长度及是否使用了差分泵而异。图5给出氩弧光谱辐射亮度角分布曲线。使用差分泵时偏离轴线 $\pm 0.5^\circ$ ，光谱辐射亮度变化0.5%，但超过 $\pm 1^\circ$ 后光谱辐射亮度迅速下降。同使用窗口情况相比，光束的有效立体角较小。

氩弧连续光谱辐射亮度主要由氩气压、流量、放电电流及放电通道几何尺寸所决定。图6给出三个波长下氩弧光谱辐射亮度和电流的关系。当电流从25A变化到40A时，亮度增大

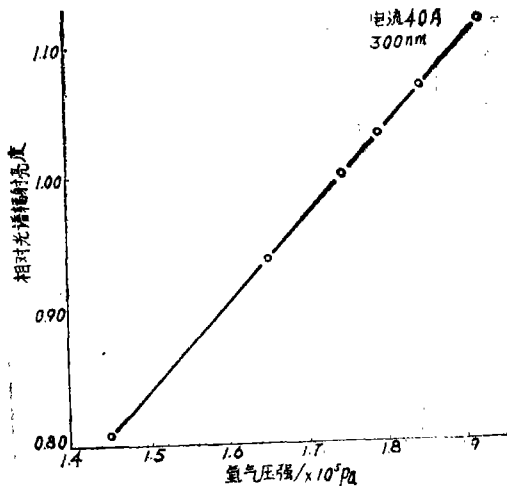


图7 氩弧相对光谱辐射亮度随氩气压的变化

了五倍左右。不同波长的光谱辐射亮度随电流变化有所不同。图 7 给出光谱辐射亮度随压强的变化，显示出线性关系，不同波长曲线斜率稍有变化。图 8 给出氩弧连续光谱辐射亮度和氩气流量的关系，可知其光谱辐射亮度对氩气流量不敏感。

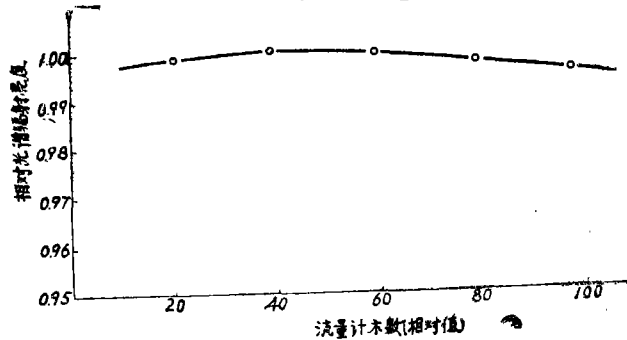


图 8 氩弧相对光谱辐射亮度随出口流量的变化 (取自 2.5kW 氩弧)

由以上实验得知：氩弧连续光谱辐射亮度主要由氩气压、放电电流及放电通道几何尺寸所决定，而这几个量又是比较容易准确控制的，因此氩弧连续光谱辐射亮度有较高的稳定性和重复性，名义尺寸相同的氩弧间光谱辐射亮度有较高的一致性。实测结果表明：氩弧稳定性、重复性好于  $\pm 0.3\%$ ，一致性好于  $\pm 1\%$ 。但 1kW 氩弧例外，它只有一个限弧片，电极区辐射贡献比较大，因此电极尺寸、结构和位置对光谱辐射重复性、稳定性和一致性有较大影响。对电极尺寸、形状和结构的选择作了大量工作后，目前 1kW 氩弧稳定性及重复性已能作到好于  $\pm 0.8\%$ 。

## 2. 壁稳氩弧温度和电子密度的光谱学诊断

我们用了四种方法作氩弧等离子体温度和电子密度的光谱学诊断：

- a. Richter<sup>[8, 9]</sup>方法，
- b. 氩原子线和离子线强度比值法<sup>[5, 8]</sup>，
- c. 氩原子线和离子线绝对强度法<sup>[5, 8]</sup>，
- d.  $H_{\beta}$ 谱线斯塔克加宽方法<sup>[8, 11]</sup>。

在四种方法中，Richter 方法既不要测出谱线或连续光谱强度的相对值或绝对值，也不需要知道跃迁几率和氩弧的实际弧长，所以准确度较高。

表 1 按 Richter 方法得到的  $1.75 \times 10^6 \text{ Pa}$  时氩弧等离子体温度和电子密度

电 流 (A)	Ar I 430—	Ar I 714.7—	Cont 431.4—	Cont 482.7—	平 均 值 T (K)	Ne ( $\text{cm}^{-3}$ )
	Ar II 480.6	Ar II 480.6	Ar II 480.6	Ar II 480.6		
	T (K)	T (K)	T (K)	T (K)		
24	11360	11370	11550	11640	11480	$6.52 \times 10^{18}$
28	11750	11730	11950	12030	11870	$8.38 \times 10^{18}$
32	12020	12000	12240	12350	12150	$9.90 \times 10^{18}$
36	12280	12270	12500	12600	12410	$1.14 \times 10^{17}$
40	12500	12500	12730	12860	12650	$1.29 \times 10^{17}$

表2 按谱线绝对强度法比值法及 $H_{\beta}$ 方法得到的 $1.75 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时氩弧等离子体温度和电子密度

电 流 (A)	Ar I/Ar II	Ar II 430	Ar II 480.6	平 均 值	平 均 值	H $_{\beta}$	Ne
	T (K)	T (K)	T (K)	T (K)	Ne (cm $^{-3}$ )	T (K)	(cm $^{-3}$ )
28	12025	11780	11830	11880	$8.43 \times 10^{16}$	11750	$7.8 \times 10^{16}$
32	12320	12060	12145	12170	$1 \times 10^{17}$	—	—
36	12595	12320	12380	12430	$1.15 \times 10^{17}$	—	—

表1及表2列出不同方法得到的2.5kW氩弧等离子体温度和电子密度。分析表明：目前作到的测温误差好于 $\pm 200\text{K}$ 。

1kW氩弧的非局部热力学平衡态的电极区等离子体辐射占较大比重，前述局部热力学平衡态的诊断方法已不适用，因此，1kW氩弧的温度诊断有待作进一步探讨。

### 3. 氩弧光谱辐射特性

图9给出100—350nm波段氩弧光谱记录曲线。在连续光谱背景上有一些 $C_1$ 、 $N_1$ 、 $O_1$ 、 $H_1$ 杂质谱线。这些杂质谱线强度和氩弧使用时间及使用前的状态有关。在应用连续光谱时，应

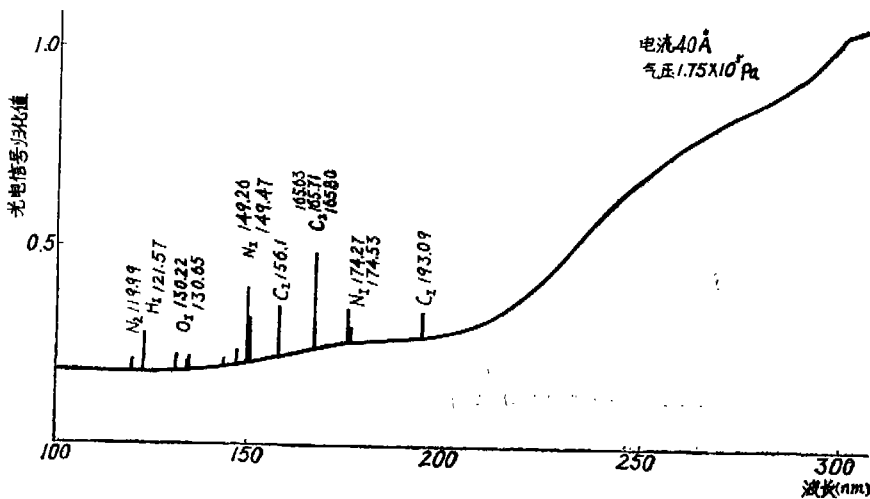


图9 氩弧光谱记录曲线

避开杂质谱线区以期得到较好的光谱辐射稳定性和重复性。氩弧连续光谱产生于氩原子和离子的复合辐射及韧致辐射。其分布可由E. Schulz-Gulde公式及Hofseass用量子力学得到的 $\xi(\lambda, T)$ 函数值给出<sup>[12]</sup>。应用氩弧等离子体温度和电子密度光谱学诊断结果，即可求得氩弧在不同工作电流时100—350nm间连续光谱分布。我们用NPL同步辐射真空紫外光谱辐射亮度标准标定的氙灯为真空紫外光谱辐射计系统定标，得出氩弧165—350nm间连续光谱分布如图10。这一分布和理论计算结果比较，一致性达10%以内。这一结论说明：只要按特定要求设计壁稳氩弧，并完成准确的等离子体光谱学诊断，则氩弧的连续光谱可以用作标准，进行紫外-真空紫外波段辐射计量。

2.5kW和10kW氩弧的限弧片中心孔直径同为3mm，当工作在同一电流和气压时，其连

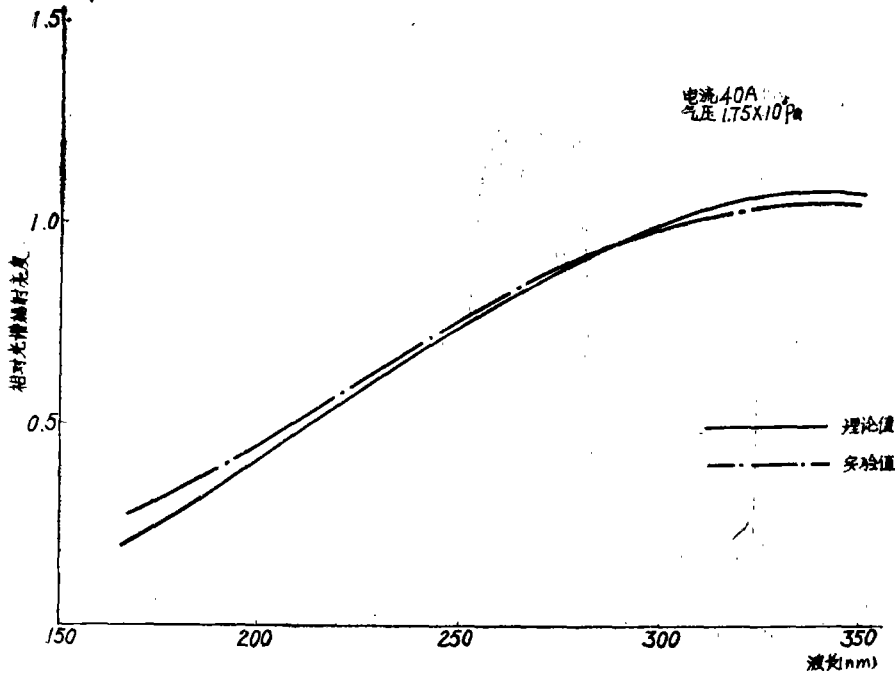


图10 氩弧相对光谱辐射亮度分布

续光谱相对分布相同，其绝对分布只差一个与弧长有关的比例因子。这两种氩弧电极区的低温等离子体辐射在整个氩弧辐射中占的比重很小，可以忽略。1kW 氩弧的电极区辐射占比重大，因此其连续光谱相对分布和2.5kW氩弧及10kW氩弧差别很大。

#### 4. 黑体谱线

由等离子体光谱学理论，在局部热力学平衡条件下，温度为  $T$ ，长度为  $l$  的等离子体柱，其光谱辐射亮度为

$$L(\lambda, T) = \{1 - \exp[K(\lambda, T)(1 - e^{-hc/\lambda kT})l]\}L_b(\lambda, T) \quad (1)$$

其中  $hc/k$  为第二普朗克常数， $L_b(\lambda, T)$  为黑体光谱辐射亮度， $K(\lambda, T)$  为等离子体吸收系数，它是温度和波长的函数。当

$$K(\lambda, T)(1 - e^{-hc/\lambda kT})l \gg 1 \quad (2)$$

时，(1) 式变为  $L(\lambda, T) \approx L_b(\lambda, T)$  (3)

即在光厚等离子体条件下，氩弧等离子体光谱辐射亮度近似等于同温度下黑体光谱辐射亮度。Boldt<sup>[2]</sup>注意到在原子共振谱线范围，吸收系数较大。如果适当选取  $l$  值，则 (3) 式成立，从而使加宽的原子共振线产生等离子体黑体辐射。Boldt在局部热力学平衡条件下的壁稳氩弧等离子体中引入  $CO_2$ 、 $N_2$  等掺杂气体，调节掺杂气体浓度，在 C、N 原子共振线位置获得了黑体辐射。表 3 列出 100—250nm 间黑体谱线波长及半宽度。由于壁稳氩弧等离子体温度达 12000—14000K 左右，在真空紫外区的黑体辐射很强，足以作为光谱辐射标准。

我们应用这一原理在氩弧中分别引入按体积计算占 1—2% 的  $CO_2$  和  $N_2$ ，以产生黑体辐射。实验中为防止引入气体阻断氩气流引起断弧，以适量氩气和掺杂气体预先混合而后引入氩弧。图 11 是一个例子：当氩弧工作气压不变，增加引入气体浓度时， $C_{165.65}$ 、 $165.71$ 、 $165.80$  三重线光谱辐射亮度不断增加，并分别达到饱和，最终达到同一高度。

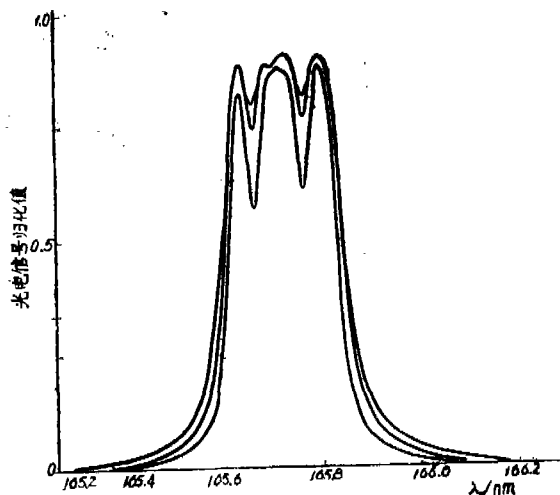


图11 增加CO<sub>2</sub>浓度C<sub>I</sub> 165.7nm三重线光谱辐射亮度出现饱和 (工作电流40A气压1.75×10<sup>6</sup>Pa, 分辨率0.03nm)

表3 黑体谱线波长及半宽度

λ(nm)	2Δλ(nm)	分 类	λ(nm)	2Δλ(nm)	分 类
109.78	0.13	N <sub>I</sub>	124.32	0.04	N <sub>I</sub>
113.43	0.04	N <sub>I</sub>	126.12	0.10	C <sub>I</sub>
113.50	0.03	N <sub>I</sub>	146.33	0.03	C <sub>I</sub>
115.86	0.05	C <sub>I</sub>	149.27	0.04	N <sub>I</sub>
116.75	0.03	N <sub>I</sub>	149.47	0.03	N <sub>I</sub>
116.85	0.04	N <sub>I</sub>	165.63	0.02	C <sub>I</sub>
117.65	0.03	N <sub>I</sub>	165.71	0.08	C <sub>I</sub>
117.77	0.02	N <sub>I</sub>	165.89	0.05	C <sub>I</sub>
118.94	0.06	C <sub>I</sub>	174.28	0.02	N <sub>I</sub>
119.38	0.16	C <sub>I</sub>	174.52	0.01	N <sub>I</sub>
120.00	0.18	N <sub>I</sub>	193.09	0.04	C <sub>I</sub>

利用黑体谱线为光谱辐射计绝对定标, 进而研究氩等离子体光谱学参量或进行光谱辐射计量工作, 属于进一步讨论的内容, 将另作报导。

#### 四、结 论

已研制成2.5kW通用型、10kW大功率型及1kW简化型壁稳氩弧紫外-真空紫外光源。光谱辐射特性研究表明: 这些氩弧有很高的光谱辐射稳定性和重复性, 而名义尺寸和结构相同的氩弧, 光谱辐射有较高的一致性。它们适合于紫外-真空紫外光谱学及光谱辐射计量方面的

应用。用四种方法进行氩弧等离子体光谱学诊断的结果相互吻合，测温准确度达 $\pm 200\text{K}$ 。对 Boldt 黑体谱线方法作了探讨，成功地在  $100\text{--}250\text{nm}$  间产生了一系列黑体谱线。

### 参 考 文 献

- [1] H. Maecker, S. Steinberger; Weiterentwicklung der Kaskadenbogenkammer für Hohe Leistungen, Z. Angew. Phys., 1967, 23, 456.
- [2] G. Boldt; Das Thermische Plasma Als Intensitäts Normalstrahler Im Wellen-Längenbereich Von 1100 Bis 3100Å, Space. Sci. Rev., 1970, 11, 728.
- [3] D. Stuck, B. Wende; Photometric Comparison Between Two Calculable Vacuum-Ultraviolet Standard Radiation Sources; Synchrotron Radiation and Plasma-Blackbody Radiation, J. O. S. A. 1972, 62, 96.
- [4] W. R. Ott, W. L. Wiese; Far Ultraviolet Spectral Radiance Calibrations at NBS, Optical Engineering, 1973, 12, 86.
- [5] R. C. Preston; Spectroscopic Studies of a Plasma Temperature and Radiation Standard Based on a Wall-Stabilized Arc, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer., 1977, 18, 337.
- [6] J. M. Bridges, W. R. Ott; Vacuum Ultraviolet Radiometry. 3: The Argon Mini-Arc as a New Secondary Standard of Spectral Radiance, Appl. Opt., 1977, 16, 367.
- [7] R. C. Preston, C. Brookes, F. W. J. Clutterbuck; Vacuum Ultraviolet Radiance Transfer Standard Based on an Argon Mini-Arc with Integral Differential Pumping Unit, J. Phys. E: Sci. Instrum., 1980, 13, 1206.
- [8] 李福田等; 小型壁稳氩弧紫外-真空紫外光源的研究, 光学学报, 1984, 4, 1011.
- [9] J. Richter; Über Temperaturemessungen an Thermischen Plasmen Bekannter Zusammensetzung, Z. Astrophys., 1965, 61, 57.
- [10] P. Kepple, H. R. Griem; Improved Stark Profile Calculations for the Hydrogen Lines  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$  and  $H_{\delta}$ , Phys. Rev., 1968, 173, 317.
- [11] 刘元群; 利用  $H_{\beta}$  谱线斯塔克增宽效应测量壁稳氩弧等离子体电子密度, 光学机械, 1984, 1, 29.
- [12] D. Hofsaess; Emission Continua of Rare Gas Plasmas, J. Quant. Spectroscop. Radiat. Transfer., 1978, 19, 339.

## Wall-Stabilized Argon arc UV-VUV Sources

Li Futian Chen Xingdan

### Abstract

Three kinds of wall-stabilized argon arcs satisfactory for different requirement have been developed. The measurement in UV and VUV range indicated that the stability, both short term and long term, and the reproducibility of the spectral radiance of 2.5kW arc and 10kW arc were better than  $\pm 0.3\%$ , and the similarity among arcs with the same structure was better than  $\pm 1\%$ . The stability and the reproducibility of 1kW arc were better than  $\pm 0.8\%$ .

This paper discusses the property of the spectral radiance distribution of argon arcs in 165-350nm range, the temperature and electron density diagnostics of argon arc plasma, and the black body limited lines technique for absolute calibration.