

# 激光测量用锥腔型辐射探测器

王 树 铎

(中国科学院物理研究所)

为了得到具有平坦光谱响应的辐射探测器, 1963年, Eisenman 提出了锥腔型探测器<sup>[1]</sup>. 1966年, Scott 把锥腔型探测器用于激光的测量<sup>[2]</sup>, 并在此后得到推广. 由于激光入射在锥腔探测器接收面不同位置时, 其响应度不同(即所谓接收面响应不均匀), 致使激光脉冲能量测量及标定过程中出现的误差高达 20—60%<sup>[3]</sup>. 此外, 腔型探测器的灵敏度和响应速度也需要提高.

## 一、原 理

辐射探测器是一种量热式探测器. 设探测器的热容为  $H$ , 探测器吸收辐射后热量的散失等效热导为  $G$ , 吸收辐射前探测器的温度为室温  $T$ , 辐射功率  $W$  入射至探测器产生的温度增量为  $\theta$ . 可写出如下方程<sup>[4]</sup>:

$$\eta W = H \left( \frac{d\theta}{dt} \right) + G\theta, \quad (1)$$

这里  $\eta$  是探测器材料的吸收系数.

探测器温度增量  $\theta$  按指数规律变化, 所以

$$\theta(t) = \theta_{\infty}(1 - e^{-t/\tau}), \quad (2)$$

式中  $\tau = H/G$ ,  $\theta_{\infty}$  是  $t \rightarrow \infty$  时最后的温升.  $t \gg \tau$  时, (2) 式的解为

$$\theta_{\infty} = \eta W / G. \quad (3)$$

对锥腔型结构的探测器, 当顶角  $\alpha = 180^\circ / n$ , 腔内表面为全反射, 激光平行于轴线入射时, 在出射前将经过  $n$  次反射. 如果腔内表面材料的吸收系数为  $\eta_i$ , 则该探测器总的有效吸收系数  $\eta_c = 1 - (1 - \eta_i)^n$ . (4)

## 二、分 析

辐射探测器的温度增量, 理论上是整个探测器吸收被测辐射后达到平衡时的温升. 当用

锥腔型探测器探测激光时, 应引起注意的是:

1. 脉冲激光作用于探测器表面的瞬间, 会产生一个瞬时温升. 此温升近似计算式是<sup>[5]</sup>

$$\theta_p = 2(W/A)(t_p/\pi \cdot \rho \cdot ck)^{1/2}, \quad (5)$$

这里  $W/A$  是辐射的功率密度,  $t_p$  是脉冲宽度,  $\rho$  是吸收材料的密度,  $c$  是比热,  $k$  是热导率. 瞬时温升与探测器的体积和结构无关, 但与材料有关. 瞬时温升不能被慢响应的热电转换元件给出电信号, 但可能造成探测器表面吸收层的烧蚀、破坏.

2. 探测器输出的电信号反映的是  $t > \tau \gg t_p$  后的温升. 按 (3) 式的结论, 一个探测器的输出应与作用于吸收面的部位、大小无关, 也与敏感元件的安装、分布无关. 而实际上, 一个圆盘形吸收体的探测器面均匀性达到  $\pm 2\%$  已非易事; 一个腔型探测器面均匀性更差. 显然, 激光作用于探测器的某一局部后, 其热量不是传遍全体, 形成整体的平衡温升, 而是仅在有限的小范围内平衡, 并被此范围内的某些测温元件转换成电信号输出.

设计一个腔型探测器时, 应使吸收材料能承受高功率密度下的瞬时温升; 应使腔体有利于扩散任何局部吸收的辐射而趋于建立整体的热平衡; 应合理分布测温元件, 以补偿激光作用于不同局部时的一致性.

## 三、设 计

### 1. 吸收系数 $\eta$ 的设计

众所周知, 作为激光测量用的能量计的精度, 国际水平也仅为 2—5%<sup>[6]</sup>. 吸收系数对测量精度的影响较大. 这里的吸收系数是总的有效吸收系数  $\eta_c$ . 设计一个在波长范围 0.25—25  $\mu\text{m}$  内使用的锥腔型探测器, 尽管吸收系数  $\eta_i$

为 0.6—0.9, 光谱响应偏差为  $\pm 20\%$ , 当锥腔角度是  $30^\circ$  (即  $n = 6$ ) 时, 则总有效吸收系数  $\eta_c$  大于 0.95, 即光谱响应偏差小于 0.5%, 这足以满足要求。

## 2. 锥腔体材料和结构

采用“灰体”表面(低  $\eta_i$  的吸收材料),  $\eta_i$  就是激光射入腔内第一个被辐照点所接受的全部入射的百分比。设计  $\eta_i$  为 0.5, 与  $\eta_i$  为 0.9 相比, 两者总的  $\eta_c$  相差无几, 而探测器可承受的功率密度却提高了一倍。而低的  $\eta_i$ , 使二次、三次……反射后吸收的能量值增加, 有利于提高面均匀性。

利用吸收材料热导的各向异性, 可以补偿探测器响应的面均匀性(见图 1)。激光作用于腔壁某点被吸收, 腔壁材料有垂直腔壁的热导  $k_v$  和平行于腔壁的热导  $k_p$ 。一般材料  $k_v = k_p$ 。如果使  $k_p > k_v$  (可以作到  $k_p = 3k_v$ ), 则有利于

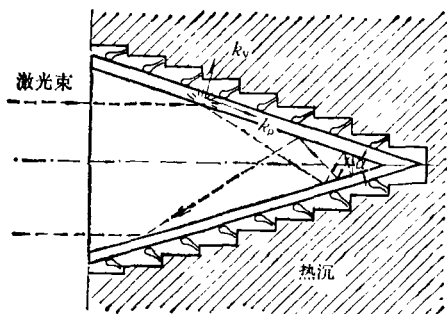


图 1 激光测量用锥腔探测器结构示意图

在整个腔体(或较大范围)内建立热平衡。

(上接第 734 页)

另外, 还有荷兰、英国、奥地利等国用等离子炉炼铁合金, 品种有铬铁、锰铁。用等离子炉冶炼铁合金, 具有金属回收率高, 电耗低, 冶炼反应速度快, 可直接处理矿粉, 产品成本低, 经济效益高等优点<sup>[2]</sup>。

综上所述, 可以看出, 等离子技术应用于冶炼金属具有很多优越性。这种冶炼新技术不但能改善金属凝固组织, 进行再重熔, 而且还可以冶炼精密合金, 贮氢材料, 形状记忆合金, 超微粉末等新材料。今后, 等离子熔炼炉主要是向大功率、多喷枪方向发展, 只有这些问题得到解

决, 才能实现工业化的大生产, 从而冶炼出更多、更高级的特殊金属材料。目前, 苏联、美国、日本、加拿大、瑞典和北欧一些国家都在积极开展等离子在冶金方面的应用研究, 预计等离子在冶金工业中的应用将得到更广泛的发展。

## 3. 热电转换元件及其合理分布

热电转换元件本身质量应尽可能小, 以使总的热导  $G$  减小。我们采用了直径小于  $50\mu\text{m}$  的微型热电偶, 使其有尽可能多的分布点并用短引线接至冷端。用均匀遍布整个锥腔外壁的热敏材料作成的探测器, 已在研制中。

## 四、实 验

根据上述设计, 我们研制了一种新型锥腔探测器。它能直接承受的最大功率密度为  $100\text{MW}/\text{cm}^2$ , 面均匀性优于  $10\%$  (有可能进一步提高), 灵敏度和响应速度与现有相同口径的同类探测器相比提高了三至十倍。这种用于激光测量的锥腔型辐射探测器在全国首届发明展览会上获优秀发明奖。

## 参 考 文 献

- [1] W. L. Eisenman, R. L. Bates, *J. Opt. Soc. Am.*, **54** (1964), 1280.
- [2] B. F. Scott, *J. Sci. Instrum.*, **43** (1966), 685.
- [3] 中国计量科学研究院光学室, 计量技术, No. 5 (1979) 3.
- [4] W. Budde, *Physical Detectors of Optical Radiation*, Academic Press, New York (1983), 95.
- [5] Grum, Becherer, *Optical Radiation Measurements*, Academic Press, New York, (1979), 211.
- [6] *Laser Focus 1982 Buyer's Guide*, (1982), 296—298.

## 参 考 文 献

- [1] 傅杰, 特种冶炼, 冶金工业出版社, (1982).
- [2] 于定孚, 钢铁, **20-5**(1985), 48.
- [3] 美国专利, 类号  $C_{21}C_7/52$ , No. 4203760.
- [4] 日本专利, 类号  $C_{21}C_7/00$ , 特公昭 57—21005.
- [5] 加藤刚志, 日本金属学会会报, **23**(1984), 934.
- [6] 電気製鋼 **56**(1985), 3, 209.