

科学技术简报和经验交流

B-A型电离真空计内电清除现象的探讨*

郭元恒

一、引言

关于电离真空计工作时的电清除现象的讨论已具有很多年的历史。由于曾经提出的一些不同的机构都在一定程度上能够符合于实验中的观察结果，因而这个问题变得很复杂，长时期没有得到解决。

本文根据有关B-A型电离真空计的实验结果，对电清除过程中抽气速率变化的原因提出一些看法。

二、电清除现象的特性曲线

典型的电清除过程特性曲线 $\ln p \sim t$ 如图1所示。在工作一短暂的时间(一般约十几分钟)之后，曲线显著偏离指数关系，形成A、B两个区域。A区域的斜率(或理解为抽气速率)相对很大。曲线的这一部分说明容器内气体分子数目随时间指数下降。它符合于气体分子消失的速率(气压下降速率 dp/dt) 正比于离子形成的速率；也即正比于气体密度(气压 p) 的简单规律：

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{s}{V} p \quad (1)$$

(忽略极限气压 p_0)，式中 s 为电清除速率； V 为被抽容器的容积。关于在B区域抽气速率减小的现象，目前尚未能在比较简单的物理机构的基础上作完满的解释。一般认为造成这一现象的原因不外以下两方面：(1)离子被电清除表面捕获的几率逐渐减小；(2)电清除表面(主要是靠近电极部分的管壁内表面^[1])上被吸附分子的再释放速率逐渐增加。这就要求对(1)式作如下的修正：

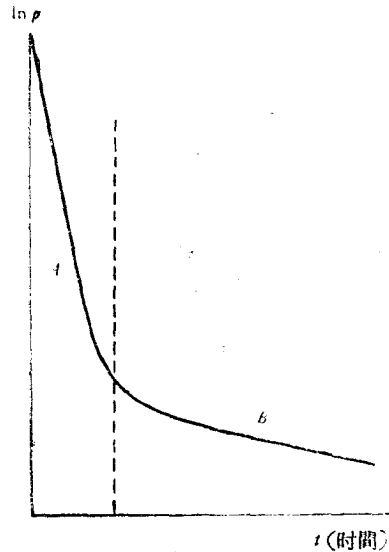


图 1

* 1960年3月15日收到。

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{s}{V} p\eta + \xi, \quad (2)$$

其中 η 是离子在电清除表面被捕获的几率; ξ 是气体分子再释放速率。

v. Meyeren^[2] 和 Young^[3] 都认为在电清除表面上有数目有限的“吸附位置”。在电清除过程中,这些吸附位置由于吸附了气体分子而减少;因而捕获几率 η 降低。他们还指出,再释放速率 ξ 也正比于已被吸附的气体分子数目。Varnerin 和 Carmichael^[4] 根据氮在钼表面电清除的实验结果提出不同的见解:在电清除表面吸附一单层气体之前(在超高真空中这需要很长的时间),离子被捕获的几率并无变化;而再释放速率 ξ 不仅正比于电清除表面已吸附气体的数量,而且是时间 t 的函数。

可以看出,在过去的讨论中都将电清除表面已吸附的气体分子数目,即其工作历史,作为影响电清除特性曲线偏离线性的一个重要因素。然而根据以下的实验结果,却发现电清除表面的工作历史是与图 1 中曲线斜率的变化无关的。

三、关于电清除表面工作历史的影响的观察

如果图 1 内 B 区域曲线斜率的变化确实受到电清除表面工作历史的影响,则设想在工作到 B 区域之后,用一预先经过去气的“崭新的”电清除表面替换已经具有一定工作历史的管壁内表面,抽气速率应立即恢复到 A 区域的数值。为此,将 B-A 型电离真空计管身平卧,内装有一直径较管身略细、长度超过电极部分长度的玻璃管套(管套附有内置小铁柱的支管),可在管外通过磁力控制管套在管身内部的位置(见图 2)。以下为叙述简便起

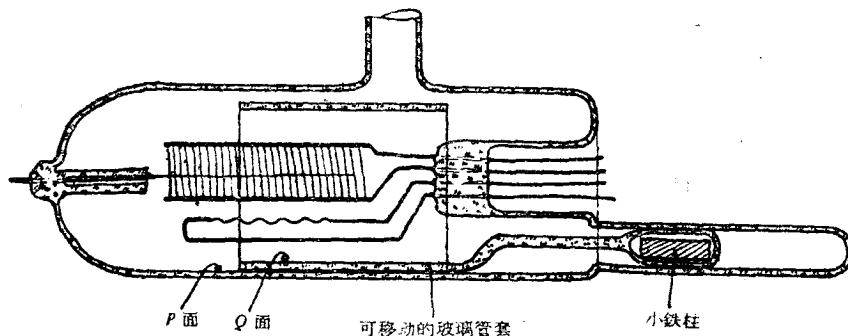


图 2

见,取面对电极的管壁内表面为 P 面;管套内壁为 Q 面。在工作时移动管套位置使 P 面对电极或 Q 面对电极,就可改变电清除表面(电清除表面主要是在靠近电极、电场作用比较强的管壁内表面;因此,只要内部管套的长度超过电极部分的长度, P 面和 Q 面在有效电清除表面面积上的区别可予忽略)。为了使 P 面和 Q 面的初始情况相同,在工作前用电子轰击法对金属电极加热去气时,分别使它们都同样被溅射上金属薄层。实验中被清除气体是空气(在炽热灯丝上进行的化学清除的速率远较电清除为大,同时空气中能够被化学清除的成分很少;因此对于一定量的空气,在清除的持续过程中主要是电清除过程)。在对系统进行彻底去气之后,用一铜与锡密封的超高真空开关^[5]将这电离真空计与前级高真空系统隔断,然后在超高真空中工作。工作电压栅极相对灯丝取正 150 伏;离子收集

极相对灯絲取負 40 伏, 灯絲发射电流为 5 毫安, 实验結果表明: 虽然开始先用 Q 面面对电极, 工作到 B 区域再换用“嶄新的”P 面时, 抽气速率有增大的現象; 但是反过来, 先用 P

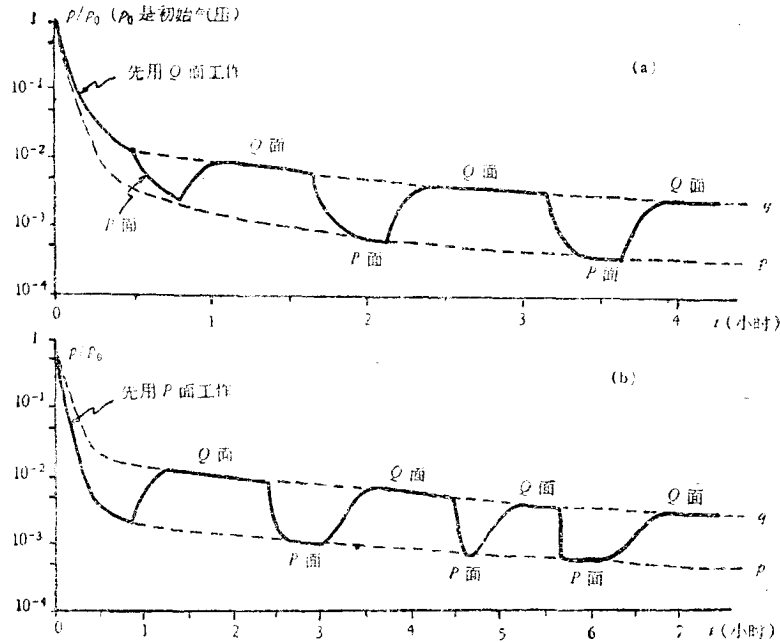


图 3

面, 再换“嶄新的”Q 面时, 抽气速率却变为負值——气压反而上升了, 经过一段時間之后才趋于稳定。经过多次观察, 并且在較长的工作時間中反复調換电清除表面; 发现对于 P 面和 Q 面, 各自有其本身的工作特性曲綫(图 3a 和 b 中两条虛綫 p、q), 它与工作历史无关, 只决定于当时的气压。即在任何阶段, 将不論是“嶄新的”或已吸附了气体的 P 面或 Q 面投入工作, 所造成的平衡气压都維持在各自原有的特性曲綫上。

Young^[3] 在观察金属溅射层对电清除作用的影响时曾发现, 对于空气和氮, 类似地調換不同的电清除表面(有金属层的和无金属层的), 电清除特性曲綫是相同的。如果金属层对电清除作用确无影响, 則以上的結果便与 Young 不一致。表面情况相同的 P 面和 Q 面出現不同的电清除特性曲綫, 其原因可能为: 1) 以上装置中管套 Q 面距灯絲較近(最近处約 5—6 毫米), 受到温度的影响——这个問題下面还要討論; 2) 以上实验中的真空度較高, 一般初始气压都在 10^{-7} — 10^{-8} 毫米水銀柱的数量級, 最后都到达較高的超高真空, 可能出現的差別將比較显著。

为了避免在工作前这两个电清除表面的去气程度有所差异, 以上装置第一次烘烤去气是在 450°C 的温度下烘烤 24 小时以上, 以后每次工作前都进行类似的去气步骤, 而且前后一年多之久, 除了在高真空系統上去气的过程之外, 都由超高真空开关严密封閉着, 其中真空度从未低于 10^{-6} 毫米水銀柱的数量級, 因此可以认为两者的去气情况应沒有甚么区别。

以上关于同一电清除表面的工作特性曲綫与該表面的工作历史无关的观察結果說

明：在研究电清除现象时不能仅考虑电清除表面上离子被捕获几率和被清除气体再释放的问题；而且这两项因素与电清除表面已吸附气体分子数目的关系也还值得进一步商榷。

事实上，Young 根据“吸附位置”饱和的假设所推导的方程，在求解时并不能将放气速率一项视为很小而予以忽略^[3]。如果不考虑放气问题，就必须要求开始工作时空间的气体分子数目大于电清除表面上总的有效吸附位置数目（每平方厘米表面上的单分子层约可容纳 10^{15} 个分子），原方程才能得到合理的解；而这在比较高的初始真空中是不可能成立的（即使在 10^{-7} 毫米水银柱时，一升体积的空间只有约 3.2×10^{12} 个气体分子）。

Varnerin 和 Carmichael 虽然指出离子被捕获几率与已捕获原子（实验中是氮原子）的数目无关，但仍认为再释放速率正比于电清除表面已吸附原子数目 Δn ^[4]。这也与以上实验结果不符：即使是“崭新的”电清除表面，在气压降低之后投入工作时，也出现了相当大的放气速率，这显然不是由被清除气体的再释放所造成的（在调换新的电清除表面时，原来已吸附气体的电清除表面仍留在管内。按照 Varnerin 和 Carmichael 的结论：再释放速率是时间的函数，因而在一定时间内仍有再释放现象。惟根据他们关于氮气的实验数据，再释放速率随时间线性下降很快，在十分钟内约减小十倍，仍不足以解释以上现象）。

如果电清除工作特性曲线的形状是由电清除速率与气体释放速率的相对变化所造成的，并且电清除速率（由离子被捕获几率决定）与系统内气压的改变无关，则以上的结果说明：气体释放速率主要决定于系统内当时的气压；而且气体的释放不仅来源于电清除表面，还应与整个系统内其他部分的表面有关。这些部分虽然事先经过加热去气，但只是在高级高真空的气压下表面吸附（物理吸附和化学吸附）达到一种新的动态平衡。当气压下

降之后，这种平衡被破坏，形成一定的放气速率，其数值显然决定于当时的气压。此外，电清除表面上被清除气体分子的再释放既不是主要的因素，气体被电离后在电清除表面上的附着情况应该比过去所理解的要牢固得多。

四、管壁温度对抽气速率的影响

固体表面的气体吸附，无论是物理吸附或化学吸附，都与吸附表面的温度有关，因而上述系统内的气体释放速率也应受到温度的影响。关于 B-A 型电离真空计中电清除表面的温度与抽气速率之间的关系，过去文献中虽有提及^[3,4,6]，但说法不一，也无测量数据。为此，在 B-A 型电离真空计管身面对电极部分的外围加一冷却套（图 4），以控制这部分由于受炽热灯丝辐射而温度最高（正常工作时温度约 $70-100^{\circ}\text{C}$ ）的管壁的温度，进行试验。

对于同一被抽容器，取同样的工作条件，在管壁温度为 70°C 及 -30°C 时分别测得 $\ln p \sim t$ 特性曲线如图 5 所示。可见器壁被冷却后，抽气速率及最

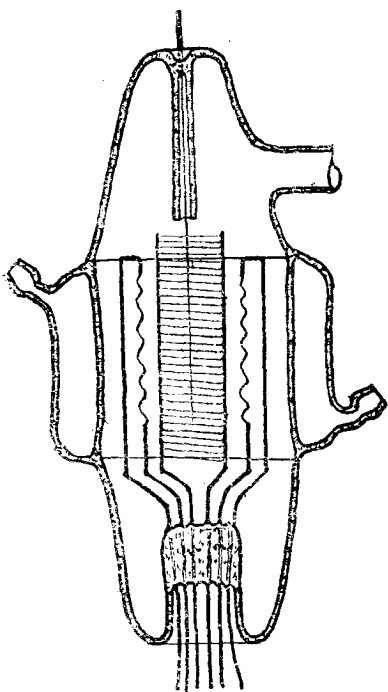


图 4

后平衡的真空度都有提高。

为了观察抽气速率与器壁温度的关系,安排了以下的实验:如果将系统的平衡气压视

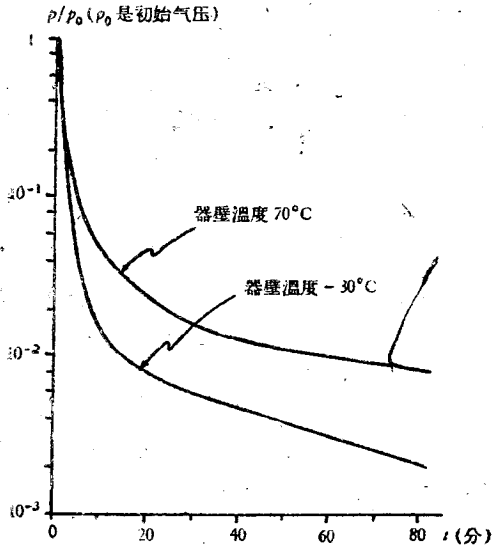


图 5

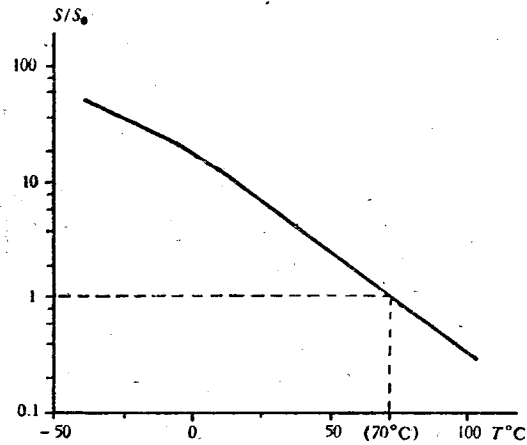


图 6

为由器壁漏气造成的,已知在漏气流量 Q 恒定时,系统内平衡气压 p 与抽气速率 s 有关:

$$Q = s(p - p_u) = \text{常数},$$

式中 p_u 为理想的极限气压。若抽气速率由 s_1 变为 s_2 ; 平衡气压对应由 p_1 变为 p_2 , 应有

$$s_1(p_1 - p_u) = s_2(p_2 - p_u).$$

可以认为 $p_u \ll p_1$ 和 p_2 , 则

$$s_1 p_1 = s_2 p_2;$$

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{p_2}{p_1},$$

即抽气速率与系统平衡气压成反比。今取除冷却套部分的管壁内表面之外,系统内其他部分的放气作为漏气 Q , 并且假定在实验中平衡气压的变化范围内它的改变很小; 而将冷却套部分管壁内表面的放气速率与电清除速率的总和视为抽气速率 s , 则可通过平衡气压的测量观察抽气速率随管壁温度的相对变化。

实验中用恒温器控制冷却套的温度由 100°C 下降到 -40°C , 发现抽气速率对应地近乎指数上升(见图 6, 其中取正常工作温度 70°C 时的抽气速率 s_0 为 1)。多次实验的结果表明, 抽气速率随器壁温度的改变与系统的初始气压及工作前的去气情况有关, 这也说明系统内放气现象对抽气速率的影响的复杂性。一般管壁如维持在 0°C 附近, 抽气速率可提高几倍到几十倍。

这个结果可以说明在电清除过程中, 放气速率不仅决定于当时的气压, 而且与表面温度有关; 在温度降低时放气减弱。另一方面, 它也符合于 Brown 和 Leck^[7] 关于电清除机构类似于物理吸附的说法。关于图 3 中 P 面和 Q 面所以有不同的工作特性曲线 p 和 q ,

也可以归因于 Q 面更接近灯丝;而且在真空中不易散热,温度较高,因而表现抽气速率较 P 面为小.

五、結 語

在电清除过程中,电清除表面不太长久的工作历史对电清除现象并无重要的影响.电清除工作特性曲线偏离指数关系(或抽气速率减小)的主要原因,既非有效吸附位置逐渐减少,也不是电清除表面被清除气体分子再释放逐渐增加.这一现象应考虑为由包括电清除表面在内的整个系统内所有固体表面上的放气速率在气压下降时相应增长所造成.这放气速率除决定于系统当时的气压外,还与表面温度有关;这使得当部分管壁在 -40°C 到 100°C 之间温度降低时,总的抽气率表现为近似指数地增大.

参 考 文 献

- [1] H. Schwarz, *Z. Physik*, **117**, (1940) 23; **122**, (1944) 437.
- [2] W. v. Meyeren, *Z. Physik*, **84**, (1933) 531.
- [3] J. R. Young, *J. Appl. Phys.*, **27**, (1956) 926.
- [4] L.-J. Varnerin, J. H. Carmichael, *J. Appl. Phys.*, **28**, (1957) 913.
- [5] 郭元恒,科学通报,1957年第14期,434页.
- [6] R. N. Bloomer, M. E. Haine, *Vacuum*, **3**, (1953) 128.
- [7] E. Brown, J. H. Leck, *Brit. J. Appl. Phys.*, **6**, (1955) 161.