

學科的問題的研究將要用具體現實的方案來完成的時刻迫近了。

上述這項直接進入宇宙的計劃，實際上在前一世紀末和本世紀初就已被 K. A. 齊奧爾科夫斯基提出了。齊奧爾科夫斯基的經典著作具有非常廣闊的見解和驚人的果敢精神，敘述了運用宇宙間天體的多样性去始終不渝地研究宇宙空間和使宇宙空間住滿人的道路。

從事於這一問題研究的蘇聯科學家和設計師們，都是齊奧爾科夫斯基的學生和他的偉大事業的繼承人。我們僅僅是進入到齊奧爾科夫斯基所指出的進入我們周圍的無限的宇宙空間的偉大道路的开始階段。而這條道路是沒有止境的，正象人類進步的道路是沒有止境的一樣。

為了認識宇宙這種令人愉快的工作，為了人類的福利，許多蘇聯科學家、設計師和技術人員將自己的一生獻給了征服宇宙的偉大事業。他們為自己能生活和勞動在蘇維埃國家而感到幸福，因為這個國家給他們提供了我國高度發展的社會主義科學和工業的一切可能條件，來實現人類早在發展初期就已醞釀着的非常奧妙而又大膽的意願。

我們為自己能生活和勞動在社會主義國家而感到幸福，因為這個國家的領導者的一切意圖，都在於保衛我們地球和地球以外的和平，在於以勞動人民自己

的勞動來改善他們的物質福利。

宇宙火箭的創造者們懷着滿腔的熱忱和由衷的謝意，成功地發射了這顆火箭作為向蘇共第二十一次代表大會的獻禮。這次代表大會的決議為我們國家進一步走向幸福和富強鋪平了道路，也鋪平了為我們美好的地球上的各國人民的和平和友誼的陽光所照耀的道路。

保證創造和發射這顆宇宙火箭的科學研究所、設計局、工廠和試驗單位的工作人員，都懷着極其興奮的心情領會到赫魯曉夫同志在蘇共第二十一次代表大會上發言以及他代表黨和蘇聯人民向他們所作的熱烈的賀詞。

為了回答黨和人民的謝意和來自地球各個角落的無數的祝賀，火箭的創造者——科學家、專家和工人們正在自己的崗位上用頑強的勞動爭取着更新的成績。

讓人造太陽衛星驕傲地帶着蘇聯國徽和它的具有紀念意義的誕生日期的標記，去遊歷完自己下一步的光榮的旅程吧！

未來的宇宙旅行者進入世界上第一個人造行星的軌道，趕上這顆行星，記下它上面的標記，並把自己所能做到的一切獻給以全人類的幸福作為自己的旗幟的蘇維埃國家，這一時刻定將到來。

[本刊特稿，鄧定宇、康金鏞、劉慎芳譯]

等 離 子 區 射 流 發 生 器

范 良 藻

(中國科學院力學研究所)

隨着噴氣技術的發展，人們對上萬度以上的高溫氣流興趣愈來愈大。一方面，空氣動力學家和物理學家研究着在超聲速飛體表面的那層溫度在 $10,000^{\circ}\text{K}$ 以上的熾熱氣流中究竟發生了哪些物理的和化學的過程，以及這些過程對飛體的方影響；另一方面，冶金學家和工程師又在努力尋找耐高溫的合金材料，以防止飛體的焚毀、過熱，並保持足夠的剛度與強度。

這些研究應該說多半是以實驗的方法來進行的。因此怎樣能在實驗室內產生 $10,000^{\circ}\text{K}$ 以上的高溫源就成為一個迫切需要解決的問題。等離子區射流發生器應新問題的需要而作為一種新技術出現了。

顯然，任何新技術都不會局限和停留在原來所提

出的問題上。等離子區射流發生器也是這樣，它一方面對工程技術提供了新的有力的工具，同時也開拓了許多新的科學技術領域。對科技工作者來講就是怎樣更快地把新技術中所採用的新原則，以及它在其他方面應用的可能性吸收到工作中去。為此在下面將介紹一下等離子區射流發生器的工作原理、技術條件，以及它在工程技術上的應用。

等離子區射流發生器實際上只是經過某種改裝的弧光放電裝置。我們知道，在實驗室內用炭精棒相互接觸而點燃的電弧，其溫度最高只能有四、五千度。即使加大電流和電壓，弧光溫度的上升也很有限，限制溫度進一步升高的原因主要在於在 1cm^2 壓下被電場加速

的电子和放电区的离子的碰撞频率很难进一步提高,使得离子温度小于电子温度,因此气体不够炽热。

为了提高电子和离子的碰撞频率,并把所得到的高温气体引出来以服务于实验室的目的,人们将弧光放电的机构略加改装;一方面在放电区域不断地灌入高压气体,使放电区域处于高压状态而大大地增加碰撞频率,另一方面把负的炭精电极作成一中心有圆孔的盘。这样游离化的高温气体在高压力的作用下就向孔形电极外注出一股高温气流——等离子区射流。用这种方法很容易在实验室内产生5,000—15,000°K的高温。以上所描述的,就是盛称一时的等离子区射流发生器。

这个仪器的作用原理如图1所示^[1]。把弧光放电的炭精棒电极改成图1所画成的样子。炭精棒电极的

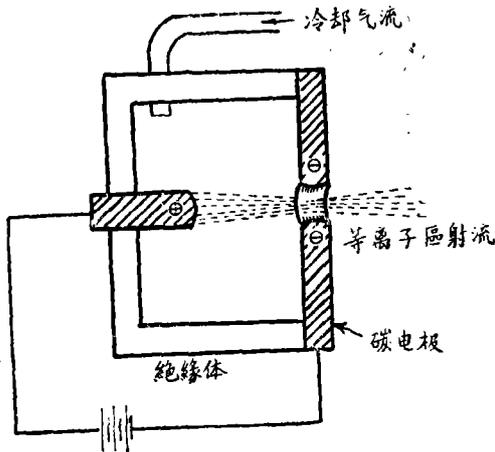


图1 等离子区射流发生器的作用原理

负端为一中心有圆孔的炭精盘。用绝缘体在正负极之间围成一筒状的放电空间。现假设电弧已由某种方法点燃,此时正负二极之间就出现了一条电弧光带。随即将冷却气流从高压室压出,一方面使管壁冷却,一方面压迫电弧光带,冷却放电区的外缘,增加了游离气体的密度,提高了电子和离子的碰撞频率。这样就向内收缩了电弧光带,增加了放电区的电导,因而就提高了电流密度和强度,大大地升高了光带的温度。由于游离气体温度和电导是相互增长的,这样就发生了第一次收缩效应——热收缩效应。此效应进行到一定程度,第二次收缩效应又产生了一——电磁收缩效应。这个效应是建立在二根平行导线同向电流相互吸引的道理上。冷却气流不仅冷却管壁和电极,使其不致于烧掉,同时还起着使放电区经常处于高压状态下,而把炽热的等离子区射流通过负电极的圆孔向孔外大气喷出的作用。

照片1是一个实际的等离子区射流发生器的图

片。可以看出该仪器在制备上是不很复杂的。为了使对此有兴趣的同志对此仪器了解得更彻底,这里对该仪器在操作和制备上的某些技术条件作一些较为详尽的介绍。

1. 点火: 电弧放电的点燃 通常是将炭精棒相互接触通电,再把炭精棒相互拉开,电弧就形成了。因此阳极炭精棒作成可前后活动的形式,起先向阴极推进,使之与带有圆孔的阴极炭精盘接触,点然后,推开,再回至原来位置。此时若将气阀打开,使高压冷却气流注入放电室,则在阴极洞口的出口处就有等离子区射流喷出,喷出口的射流长度^[1]是和冷却气流的气压、冷却气体的化学成分^[2]和热电离的程度有关的。电流密度愈大,冷却气流压力愈高,则射流温度愈高,射流则也愈长。若电极的相互位置固定,则可用高频感应线圈火花放电的方法来触发(忒斯鍊线圈)。

2. 放电的稳定性: 等离子区射流发生后在阴极孔口的局部地区有亮的阴极斑点出现,此斑点显然是电子的发射中心。但由于冷却气流气压的变动,阴极内含有不纯物质,以及电极的消耗,使得电流电压不

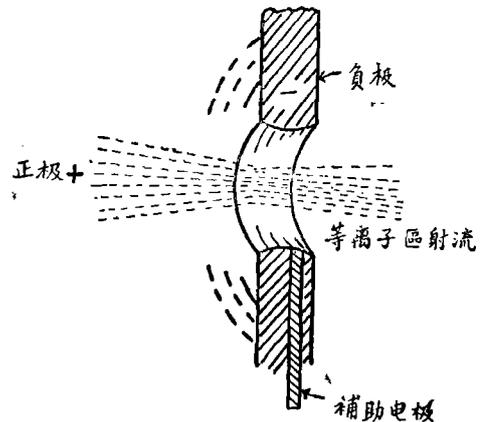


图2 为了稳定射流阴极的改进装置

稳定而生脉动。这样就有可能灭火。为了使放电稳定,日人馆野晴雄用加辅助电极的办法来解决这个困难。具体的结构如图2所示^[2]。辅助电极是一根金属棒,由阴极的旁侧插进至阴极的洞口之最小断面处。金属棒头部磨圆滑,略伸出洞壁。放电时将棒头插进至洞孔的中心处,使阴极斑点落在棒头的上面,这样就使棒头加热,放电稳定后再将此辅助电极徐徐拉回到原来的位置。由于阴极斑点并不是均匀地布在棒头表面,因此棒头受热后所引起的损耗,左右二侧并不是一样的,这样就不能保持棒头的圆滑。因此现在一方面将金属棒缓缓推入以补足因受热而引起的棒头损耗,

一方面金屬棒本身又緩緩自轉以使棒頭保持圓滑。毫無疑問，由於補助電極的加入，就使射流里含有金屬棒材料的高溫離子蒸汽。若此棒為耐高溫材料作成，這時可將耐熱材料噴鍍在其他金屬表面上而形成一耐高溫的保護層。

3. 電源：一般小型的等離子區射流發生器只需要幾個千瓦的供電。當然，為了不同的目的，電源功率還可大大增加。

館野壽雄用氬氣體作冷卻氣體^[2]，電流在20安培左右，電壓可在150—60伏內調節。用惰性氣體氬氣作冷卻氣體時，電流在15—30安培，電壓在100—40伏內調節。所以用惰性氣體維持在二極的放電電壓就降低了。不僅如此，用惰性氣體時放電亦較穩定，射流的火苗亦較長。值得提出注意的就是在電源和電極之間必須串聯一降壓電阻，以限制在炭精電極相互接觸時電流不致於過大。從上面所提出的數字看來，降壓電阻必須能耐幾百安培，並且電阻不大於單個歐姆的數量級。除了用直流發電機或較大功率整流設備供給用電外，也有人用三相交流電或單相交流電。這樣就可以省去用直流發電機或整流設備。這在使用上是方便的，也是經濟的。在交流用電時為了使在整個週期內不致於滅火，在放電區附加一高頻感應線圈火花發生器，使放電區隨時處於觸發狀態中。交流供電使用上的成功，說明了射流的產生主要是由於空氣動力學的因素，噴速的大小與放電機構關係不大。

4. 溫度的測量：在等離子區射流里，溫度的概念是較不單一的。這裡有電子溫度和各種化學成份的離子溫度，這二個溫度又不一定相互平衡。同時由於輻射冷卻以及其他熱傳導和熱擴散的冷卻效應存在，射流的各層溫度又不盡相同。因此這裡所談的溫度只有一個平均的概念。它僅僅給出射流內究竟包含有多少能量的一個粗糙估計。因此可用射流推力的大小來估計溫度的大小。這種方法是噴氣發動機工程內所經常使用的，除去其他因素外，推力的大小和射流內含有熱量的多少有關。用原子光譜的辦法也能給出溫度的數值，也還給出關於射流內化學成份能級的知識^[1]。

等離子區射流發生器使我們在實驗室內很容易就得到一萬度以上的高溫，它能使金屬頃刻之間蒸發。現在國外商售的等離子區射流發生器，溫度範圍可在5000°K—15,000°K內調節。它開辟了一個化學火焰所不能達到的溫度範圍，這正是以前工程師們所夢寐以求的。它使耐熔金屬和高溫陶瓷的加工找到了一個有力的工具。我們可以使不同的金屬同時蒸發，以熱

離子的形式直接融合，然後迅速冷卻而固定下來。我們也有希望直接蒸發礦石，直接提純其中的稀有金屬。我們使化學反應中的合成與分解衝破了價電子這一關，因此大大豐富也擴展了化學反應的疆界。這樣就打開了各式各樣新合金材料製備的門路，並提供了采礦、冶煉的等離子區化的新遠景，發展了一門嶄新的科學——等離子區化學。至於等離子區射流發生器對馬赫數10—20超高溫風洞的建立，對電磁流體力學基本規律的研究，對離子火箭的探討都提供了一個最強有力的實驗工具。

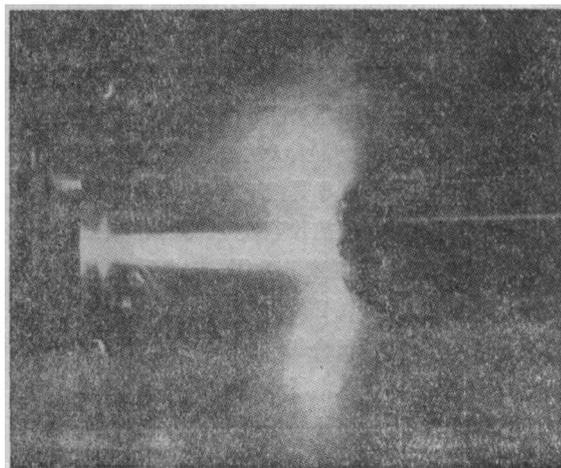
以下列舉幾張照片，可以看到等離子區射流技術的應用已經很廣了。

照片1. 是一個等離子區射流發生器工作時的狀況。為了防護紫外輻射，實驗者用了一個防護面罩。許多彎曲着的銅管就是冷卻氣流的進氣口。為了有效地冷卻筒壁，並使在噴口處射流有足夠的速度，冷卻氣流應以沿筒壁的切線方向壓出為最佳。整個裝置並不大，應該說還是比較簡單的。



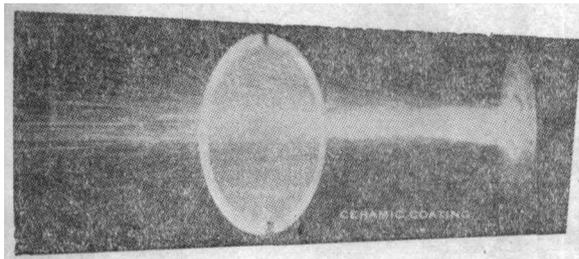
照片1. 等離子區射流發生器工作情況

照片2.^[1]示出了金屬在射流的噴射下迅速蒸發的情況，這一切是在幾秒鐘的間隔內發生的。這是一個功率較大的發生器。



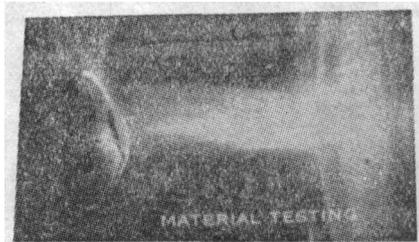
照片2 金屬的蒸發

照片3.是高温陶瓷质在金属表面上的喷镀。在射流内含有陶瓷质的蒸汽,在遇到离射流较远处金属的冷表面上就凝有一层均匀的耐高温的陶瓷质保护层。



照片3 高温陶瓷质在金属表面上的喷镀

照片4.是在作关于高温材料性质方面的试验。一般性能较好的发生器射流可以有一尺长的喷头。显然离喷口愈远则该处的温度愈低。

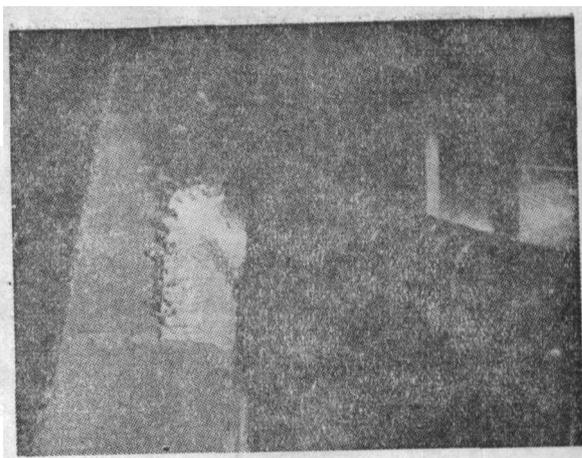


照片4 材料高温性质的试验

照片5是描写铅在5000°K等离子区射流下的熔蚀。铅是最难熔的金属之一,而现在却能很容易地熔蚀到其他金属表面上去。

由上可见等离子区射流发生器确是一个新的、有力的实验工具。肯定地讲,其功能不会仅仅限制在上面所提到的事例中,在工程技术上一定还会有许多其他的应用。

等离子区射流的研究是在最近几年才大力的开展



照片5

的。这方面的研究大致可分成三方面,即对等离子区机理的研究、高温材料制备技术的研究,和等离子区发生器本身结构的改进,研究怎样产生更强有力的、温度更高的射流。它除了对喷气技术、高温化学、冶炼技术打开了新的可能性,在工业部门和实验室内其他方面的应用也势必会迅速推广。不过使用这仪器唯一令人不够满意的就是耗电功率大,这似乎也是不可避免的。虽然它能使矿石一下子就蒸发掉,因而提供了等离子区快速采矿的可能性,但由于用电较贵,在热能发电未成现实以前,用这种方法采矿在经济上是不合算的。但从实验室的观点来看则完全是另一回事。只要配上几个千瓦功率的用电,我们就可得到一个用其他方法不能得到的有力工具。它势必会帮助我们解决很多看来是很困难的技术问题。

[1] G. M. Gianinni, Scientific American 1957, 8, p. 80—88.

[2] 曾对晴雄,应用物理, Vol. 27, 1958, 4, 243.