

等离子体与“太阳风”漫谈

刘小兵

一、物质的第四态——等离子体

我们知道,物质通常处于三种聚集态,即固态、液态和气态,随着温度的变化,物质的三态之间可以互相转化。如果温度升高到 10^4K 甚至 10^5K ,分子间和原子间的运动十分剧烈,彼此间已难以束缚,原子中的电子因具有相当大的动能而摆脱原子核对它的束缚,成为自由电子,原子失去电子变成带正电的离子。这样,物质就变成了一团由电子和带正电的离子组成的混合物。发生了电离的气体,无论是部分电离还是完全电离,虽然描述普通气体的密度、温度、压强等仍适用,但它的主要性质已发生了本质的变化。在气体中电离成分只要超过 1%,它的行为就主要由电子和离子间的库仑力来支配。因此,它跟固态、液态和气态相比,是一种性质独特的全新物质聚集态,常称之为“物质的第四态”。又由于这种电离气体中电子的负电荷总数和离子的正电荷总数在数值上相等,故称为“等离子体”。

概括地说,等离子体的基本特性:①导电性强:由于存在自由电子和带正电的离子,所以等离子体具有很强的导电性;②电准中性:尽管等离子体内部有许多带电粒子,但宏观上粒子所带正电荷数总是等于负电荷数,故称电准中性。由于任何微小的空间电荷密度的存在将产生巨大的电场以使其恢复原状而保持电中性,所以等离子体中电荷分离的空间和时间都很小;③与磁场的可作用性:因为等离子体是由带电粒子组成的导体,所以可用磁场控制其形状和运动。同时,带电粒子集体运动的结果又可形成电磁场。

理论研究表明,气体中的电离成分随温度升高而增大,室温下气体中电离成分微乎其微。若要使气体中电离成分达到 1%,则温度必须高于 10000°C 。通常把电离度小于 0.1%的气体称为弱电离气体,又叫做低温等离子体;电离度大于 0.1%的称为完全电离等离子体,也称高温等离子体。等离子体技术是一门高新技术,尽管很年轻,但发展很快。简介几种如下。

等离子体光源 用来装饰城市夜景的绚丽多彩的霓虹灯所发出的光,就是利用了等离子体的发光

特性。其基本原理是:将玻璃管弯成一定形状,抽成真空,再充入少量的特殊气体,然后在玻璃管两端封上电极,接上 1 万伏左右的电压(电流极小),管内气体在强电场作用下电离,形成低温等离子体,并发出光来,这一过程叫做“辉光放电”。充入不同气体,能发出不同颜色的光。

等离子体显示 它是一种利用气体发光高精度的平面显示装置,由两块相距几百微米的玻璃板组成,四周用低熔点玻璃密封,将空腔抽成真空,再充以某种气体(如氖气,气压为几百毫米汞柱),两块玻璃板内侧的相对两个面喷有 SnO_2 (二氧化锡)透明导电膜,作为等离子体显示板的两个电极,应用光刻技术把导电膜制成一定图案,然后在电极上覆盖一层透明介质薄膜。当等离子体显示板两电极接上电压后,空腔内所充气体产生辉光放电,形成等离子体,发出鲜艳的霓虹色光,将图形显示出来。等离子体显示的优点有:①结构简单,制作成本低,显示板厚约为 $0.5\sim 1.2\text{cm}$ 左右,视角大于 120° ;②亮度高,使用寿命长;③响应速度快,显示精度高。因此,这种新技术问世不久,应用就很广泛,如用等离子体显示板做成的平板型电视屏幕,像一副镜框那样挂在墙壁上就可以收看电视节目。

等离子体加工 等离子体的高温特性可用于对难熔金属进行切割、喷涂和焊接加工。具体地说,①切割:典型的等离子体弧温度高达 $1\sim 2$ 万摄氏度,喷速可接近声速,特别适宜对耐高温金属材料(如不锈钢、钛、铂、钨、钴及其合金等)进行切割,且切口狭窄光洁;由于工件可以不作为一个电极,因而还可切割大理石、花岗岩和混凝土等硬质非金属材料。②喷涂:除了一般等离子体弧发生器所需的工作气体、冷却水和电源外,还需一个送粉器,采用适当的方法将所要喷涂的难熔金属粉末或非金属粉末送入喷嘴中,在喷嘴中温度很高的等离子体将粉末迅速熔化,并以极高的速度将其喷涂到待涂工件上,牢固粘着



在工作表面。它们以液态存在几个微秒(μs)的时间,然后迅速固化,形成一个具有特殊性能的薄层。这种技术用于对火箭燃烧室的内壁、火箭发动机的喷嘴、汽缸、曲轴、活塞等工件喷涂一层耐热耐磨的特殊涂层。③焊接:等离子体焊接可分为冷丝等离子体焊接、热丝等离子体焊接、预制等离子体焊接和粉末焊接,其特点是焊接温度高,能焊接难熔金属。最近还发明了等离子体微弧新技术,它可满足近代科学中焊接极薄材料的苛刻要求。目前,用等离子体微弧可焊接厚度仅 0.01 mm 的极薄金属铂;在飞机、导弹、火箭制造业中这种新技术可以用来焊接各种微形管道、燃烧室和网状过滤器等;在仪表工业中还可用于制造波纹管 and 毛细管,用于焊接复杂的金属丝网结构等。

又例如,可以用极细的等离子体作手术刀进行外科手术,在受控热核反应中,也可利用它来获得极高的温度;据 2004 年出版的《未来学家》报道,美国发明了“低温等离子体消毒法”。

在地面上要得到等离子体需要很复杂的装置,但在茫茫的宇宙中,除了人类居住的地球这种“冷星球”以外,太阳和恒星都是热得几乎全部电离的物质,都是“等离子体”。而气体放电(如空中的闪电)也能导致电离,星际气体由于受到恒星的辐射线(如紫外线、X 射线、 γ 射线)的照射也会电离。因此可以说,宇宙中很多物质都是以等离子态存在的。

二、“太空急流”——太阳风

1964 年,英国著名科幻作家、“全球卫星通信之父”——阿瑟·克拉克(Arthur C. Clarke,1917~)发表了一篇杰作《太阳帆船》,公开提出利用太阳光子流形成的“太阳风”扬帆碧空,实现星际航行。这个设想很有“刺激性”,极鼓舞人。1994 年 11 月 2 日,美国航天航空局为此专门发射了一艘无人驾驶的宇宙飞船,耗资两亿美元,用来对太阳风进行为期 3 年以上的观测研究。

所谓“太阳风”,指的就是从太阳日冕层中发出的强大的高速运动的“等离子体流”,太阳风所含的微粒主要为氢离子(H^+)和氦离子(He^{2+})。根据天文学家的观测研究,太阳是由太阳核、对流层、光球层、色球层和日冕层共同组成的。日冕层是太阳大气的最外层,由稀薄的等离子体组成,粒子密度为 1000 万~10000 万个/ m^3 ,温度约为 15000 $^{\circ}\text{C}$ 。由于太阳温度极高,引起日冕连续不断地向外膨胀,驱使这些由

低能电子和质子组成的等离子体不停地向行星际空间运动。由于这些带电粒子运动的速度比较大(超音速),尽管太阳的引力比地球的引力要大 28 倍,但高速的粒子流仍有一部分要冲脱太阳的引力,像阵阵狂风那样不停地“吹”向行星际空间,所以被人们形象地称之为“太阳风”。太阳风的得名其实还和彗星有关。很早以前,人们通过先进的观测手段发现彗星离太阳越近,彗尾就越长,而且彗尾的方向总是背对着太阳。于是就开始猜测这大概是从太阳“吹”出来的某种物质造成的。美国人造地球卫星在 1958 年探测到太阳风,美国科学家罗伯特·帕克(Robert Packe)将其形象地命名为“太阳风”。1962 年,从“水手 2 号”飞船获得的资料中进一步证实了“太阳风”的存在。据粗略的估计,由于太阳风,太阳每秒钟要吹掉 10^9kg 的物质,这个数字虽然很大,但与巨大的太阳质量(约为 $1.99\times 10^{30}\text{kg}$)相比就不算什么了。现在,科学家已经知道:太阳风的风源来自“冕洞”。“冕洞”是日冕表面温度和密度都较低的部分,在 X 射线和紫外线下看起来比周围地带要暗,就像是一个个的黑洞,不间断地出现在太阳“两极”地区。随着太阳旋转而旋转的冕洞,如同草地上浇水的旋转水龙头,把太阳内部爆发产生的“高速等离子流”抛向太空。

太阳风常分为两种,即“宁静太阳风”和“扰动太阳风”。“宁静太阳风”(又称“持续太阳风”),即射流速度比较小,而微粒含量也不大的太阳风。这种太阳风起源于平静的日冕区,开始时日冕物质以较低的速度作膨胀,渐渐离开太阳表面。随着离太阳距离的增加,膨胀的速度也变大,密度不断减小,等到达地球的时候,射流速度一般在 450km/s 左右,每 m^3 含质子数通常不超过 10 个。这种太阳风通常对地球的影响不是很大。而“扰动太阳风”,即在太阳活跃时期喷射出的粒子流,与太阳抛射物质事件或爆发现象有关,有时还伴有高能带电粒子的大量增加,其射流速度一般可以达到 1000~2000km/s,粒子密度也比较大,每 m^3 可含质子几十个。扰动太阳风由于其粒子高速高能高含量的特点,可以对地球产生比较明显的干扰。

强劲的太阳风“吹”向地球的时候,会对地球产生一系列的影响:①引起地球磁场的变化。强大的太阳风能够破坏原来条形磁铁式的磁场,将它压扁而不对称,形成一个固定的区域——磁层,磁层的外形像一只头朝太阳的“蝉”,“尾部”拖得很长很长。②太

阳风的带电粒子流可以激发地球上南北极及其附近上空的空气分子和原子。这些微粒受激后,能发出多种形态的“极光”。巨大的冲击还能强烈地扭曲磁场,产生被称为“杀手”的电子湍流(又有人称之为“太空急流”)。这种电子湍流不但能钻进卫星内部造成永久性破坏,还能切断变电器及电力传送设施,造成地面电力系统全面崩溃。太阳风的带电粒子流还会使地球上空电离层受到干扰,引起磁爆,给无线电短波通讯、电视、航空和航海事业带来严重影响,甚至带来灾难性的后果。③引发磁层亚暴。在磁层亚暴期间,距离地球表面 36000km 的高空处可能会产生强烈的真空放电和高压电弧,给同步轨道上的卫星带来灾难,甚至导致卫星殒灭。历史上,20 世纪 70 年代的一次太阳风暴导致大气活动加剧,增加了当时前苏联的“礼炮”号空间站的飞行阻力,从而使其脱离了原来的轨道;1989 年的太阳风暴令美国国防部的一些卫星瘫痪,使加拿大魁北克省和美国新泽西州的供电系统受到破坏,造成的损失超过 10 亿美元;1998 年美国发射的一颗通讯卫星(人造地球卫星)短路失灵,导致美国 4000 万个寻呼用户无法收到信息;2000 年 6 月 6 日,在太阳一个大黑子群上空出现了更猛烈的太阳风暴,它喷发出约 10 亿吨带电粒子流,其中一部分在两天后冲入地球的高空防线。这场风暴也在我国上空引发了电离层暴,使卫星和短波通讯受到干扰,无法正常工作。

由于太阳风不断“进攻”地球,科学家正在研究预测太阳风暴的方法。最近,美国发射了一颗“图像卫星”(全称是“磁层至极光全球探测成像卫星”)。这意味着人们有可能如同观看气象卫星的红外云图那样在电视中注视太阳风暴的动向,对太阳风袭击地球防线的空间气象预报已不再是遥远的梦。

当然,随着现代科技的发展,我们完全可以在将来某一天利用太阳风来提供所需要的种种巨大能量。比如,用等离子体作喷射发动机,为宇宙飞船提供动力,这种发动机比火箭发动机的推力大得多,真正实现阿瑟·克拉克的梦想。

三、神奇“天火”——极光

“极光”是指常出现在地球高纬度地区高层大气中的发光现象,是太阳风与地球磁场相互作用的结果。太阳风以大约 400km/s 吹到地球上空时,会受到地球磁场的作用。地球磁场形如“漏斗”,尖端对着地球的南北两个磁极,因此,太阳发出的带电粒子沿着

地磁场的这个“漏斗”沉降,进入地球的两极地区。两极的高层大气受到太阳风的轰击后会发生化学反应,发出光芒,即“极光”。在北半球出现的叫北极光,南半球出现的叫南极光。而高层大气是由多种气体组成的,不同元素的气体受太阳风轰击后所发出光的颜色不一样。如氧元素被激后发出绿光和红光,氮元素被激后发出紫色的光,氩元素被激后发出蓝色的光,所以,人们才能看到红、蓝、绿、紫相间的光线布满天空。美丽的极光还呈现出变幻无穷的形状。有帷幕状、弧状、带状和射线状等多种形状。极光的确实是大自然的造化神功,绚丽多彩、美妙绝伦。

由于地球处在一个巨大的磁洞中,太阳风不能轻易地穿透地球周围的磁场产生的磁气圈。相反,太阳风压缩地球阳面区域并使阴面区域伸展成本质上的圆筒形区域,磁层尾从地球深处延伸到星际空间。30 年前,装载在卫星上的设备第一次用于探测地球磁性球体,并且它最终决定了太阳风和磁性球体形成一个巨大的电力发动机——这是磁场与太阳风的相互作用使风的运动变成电。

极光的形成与太阳活动息息相关。每逢太阳活动极大年,太阳活动发生剧烈变化如耀斑爆发时,人们就可以看到比平常更为壮观的极光景象。就连许多以往看不到极光的纬度较低的地区也会出现极光。大多数极光出现在地球上空 90~130km 处,但有些极光要高得多。如 1959 年的北极光测得的高度是 160km,宽度超过 4800km。全球范围内,加拿大的丘吉尔城,一年有 300 个夜晚能见到极光;而在佛罗里达州,一年平均只能见到 4 次左右。我国最北端的漠河,也是观看极光的好去处。

奇怪的是,有些人坚称看到极光时还听到了极光的声音。自几个世纪前第一次有此类报道开始,类似的报道一直不断,这个现象一直困扰着科学家们。极光发生处空气非常稀薄,不可能传播声波。物理学家罗伯特 H. 依瑟在《壮丽的极光》中写道,人们所描述的伴随极光的声音都“非常相似,是一种微弱的沙沙,嘶嘶,嗖嗖,或劈啪声”。有人认为,大脑或许能够感应来自极光的电磁波,将其转化为声音。也有人认为,“劈啪声”可能来自树木与建筑物的放电现象。

面对着这些未解的谜团,科学家们在沉默中坚持着观测,并思考着这个神秘现象的科学意义……让我们共同期盼着谜底吧!

(南京师范大学化科院张英华收转 210097)