

球状闪电之谜

郭春龙

(清华大学工程物理系 北京 100084)

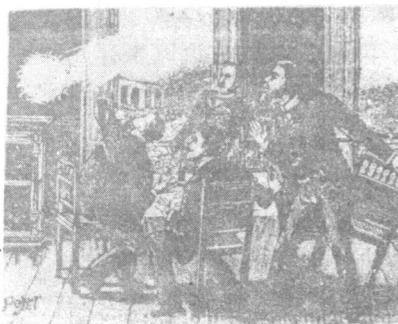
设想有一天,雷鸣电闪,而你正靠在炉边的躺椅上,悠闲地品茶阅报,忽然发现一个西瓜大小,红艳艳的火球已神不知鬼不觉地溜进了你的房间.看着它在空中游荡,你头脑中第一个反应是什么呢?幻觉?鬼魂?或者 UFO?还是当成是你的调皮弟弟的恶作剧?而更大的可能是你已经猜到了:这是球状闪电!

当然,上面的经历只是一个假想,有机会目睹球状闪电风采的只是少数的幸运者,虽然有时这家伙会给人带来麻烦甚至灾难.有时,它只客客气气地在你衣服上烧个洞,而也有报道称球状闪电击人致死:1984年9月13日下午5时许,河北省肥乡县大寺二村贾朝元和其子贾社平正在村北地里拉玉米,一个直径约一尺左右的红火球向他们撞来.贾朝元胸口遭轰击,当即身亡.贾社平被摔出一丈远.村中另外还有正在收看的四台电视机,两台开动的电动机,一台正在广播的扩大器被击毁.

正是球状闪电这种喜怒无常,神出鬼没的脾气,加之惊人的外表,给这种罕见的自然现象蒙上了一层神秘的面纱,也给充满了好奇心的人类带来无尽的遐想.古人甚至把它描绘成骑着火团,古怪顽皮的矮精灵,或者是口吐火焰、兴风作雨的怪物.在变幻莫测的自然面前,人们很长一段时间只能借想象来解释它.

然而人类毕竟不能满足于想象.19世纪初,科学家们便开始了对球状闪电的漫长的探索.球状闪电虽然罕见,但两个世纪来,人们还是得到了大量的直观资料,其中包括一些科学家的目击记录.所以,时至今日,已很少有人继续争论关于球状闪电是否真实存在的问题了.人们普遍关心的是,球状闪电是怎么产生的?它的物理实质到底是什么?

几乎所有的报道表明,球状闪电出现在雷



暴天气,且尾随于一次普通闪电之后.又因为它一般呈球形,所以获得了这个美名.球状闪电的照像记录更为难得.图1的照片记录了一个球状闪电的运动轨迹;图2是一个“长胡子”的球状闪电.这些照片的真实性往往受到部分学者的怀疑(在暗室里并不难伪造它们).但抛开这些疑问,生动的照片确实反映了球状闪电的一些基本特征.球状闪电的直径一般为10~100厘米,颜色为红、黄,偶尔有白色、绿色等;它们在距地面不高的空气中可以停止不动,也可以

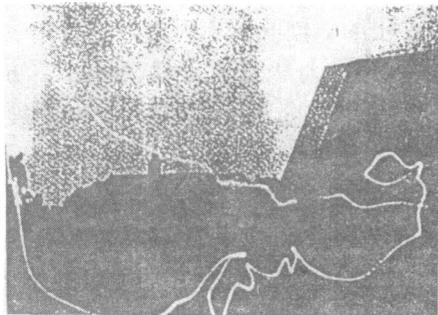


图1 照样机记录的球状闪电的运动轨迹

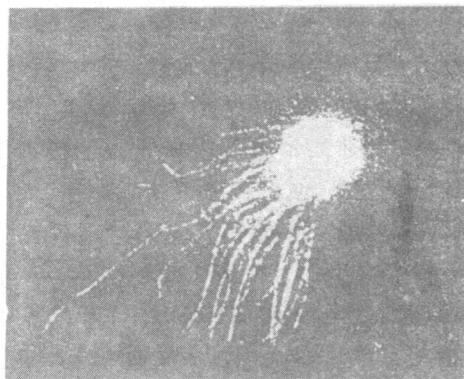


图2 带“胡子”的球状闪电

运行,甚至逆风行驶;它可以生存几秒钟到几分钟,形状稳定,甚至有时碰到地面、墙壁会像皮球一样反弹回来;消失时,有时寂无声息,有时却表现为震耳欲聋的爆炸,产生很大的破坏力。另外,有些球状闪电是真正的“火球”,能灼伤人畜,有些却并不放出热量;有些带电,可以在接触时产生电击感,有些则不带电。球状闪电可以由烟囱、门缝进入室内;更有令人惊异的报道表明,它甚至可以“穿过”绝缘的玻璃而闯入房间。所有这些特征为科学家描绘了一幅球状闪电的草图。在此基础上,要做的事情就是给出它的内部物理机制的模型,来解释它为什么是这个样子。

从人类已掌握的自然规律出发,科学家们已提出了几十种模型,它们都能不同程度地解释球状闪电的一部分性质。然而,毕竟因为不能在实验室中对球状闪电直接研究,无法获得充分的数据,而目击报告中有许多现象又似乎矛盾重重,所以,能得到普遍认可的模型至今还没出现。当然,决不能抹杀先驱者的工作,许多模型中体现出的独创的思想为进一步的探索提供了宝贵的经验,且极具启发性,所以,不妨为大家作一个简单的介绍。一个球形闪电的理论应从三方面进行解释:1.如何能将一团物质(可以是气体、微尘、等离子体、甚至场)稳定地约束几秒钟到几分钟;2.球状闪电的电学性质的物理机制是什么;3.产生光热的能源是什么。

针对稳定性的问题,许多模型采用了涡流的形式。最简单的涡流由混杂着微尘的空气形成,比如一个烟圈。吸烟的人多半知道,一个形状好的烟圈可以在空气中行驶相当远的距离,形状稳定,即使撞到墙壁仍可弹回来。那么,如何在自然界中形成一个相当于球状闪电的“大烟圈”呢?如图3所示,当一块带正电的云与地面距离足够近时,便可能产生我们熟知的霹雳:一瞬间,云与地面之间有大量电流通过狭窄的放电通路;被电离的正离子得到加速,冲向地面,遇地面阻挡后向四周扩散;由简单的流体力学知识便可预言一个涡流的产生。另一种电学模型中也有涡流的形式。这种模型可描述为一个由电磁场支撑的等离子体壳包裹的真空腔。

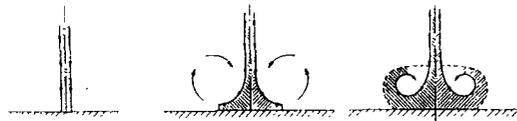


图3 霹雳过程中涡流团的产生

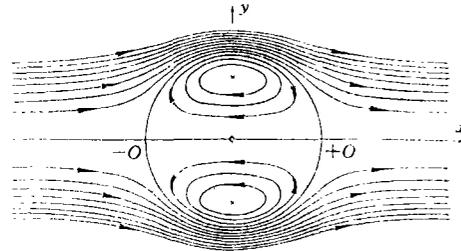


图4 用来解释球状闪电的涡流的形式

图4是一种可能的涡旋电场的样子。这样的球状闪电在空气中将不断地损失能量,所以它内部的电磁场除了起到抵抗外界大气压强的作用外,还要不断地补充等离子壳的能量。假若球状闪电的能量均来自内部储备,那么电磁场必须足够的强。据计算,产生一个寿命为30s的球状闪电,电磁场的能量密度至少为 $9.8 \times 10^5 \text{ J/m}^3$,这也说明了这个理论为何至今未得到实验室的证实。当然,它还有其他的缺点,比如,真空腔的形成是个问题,因为电磁波是没法将电中性的空气分子挤出腔外的。

关于球状闪电的电学性质,学术界的看法比较一致:球状闪电不管以什么形式存在,它所带

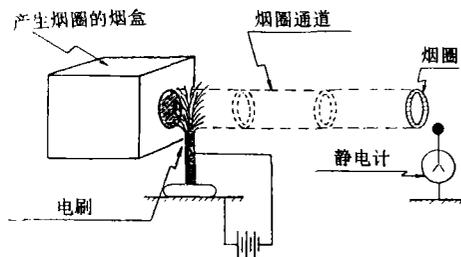


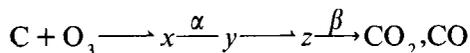
图5 证明烟圈运载电荷的实验

的电荷来源于激发它的闪电。有兴趣的读者可以按照图5的装置做个简单的实验,看一个烟圈是如何携带电荷的:在一个一侧开孔的纸盒内充满烟,孔外置一静电刷,远处的静电计用来检验电

荷.确保空气稳定,轻击盒的后部,烟圈经过电刷到达静电计,你会发现静电计的箔片张开了!

争议最大的是球状闪电能量的来源.关于这个问题,有两派观点:一些人认为能量是一开始便储存在球状闪电内部了,此后的过程中,能量被不断消耗直至用尽;另一些人则认为,在有限的体积内,储存巨大的能量是不现实的,球状闪电应该能够从外界环境获取能源,有些人提出是空间的高频电磁波在提供能量.但至今所有的实验,包括在高空飞机中进行的观测,均未发现这种足够强的电磁波.

最新的科学进展导致了一些科学家将分形理论引入球状闪电的研究.提出分形球状闪电模型:在普通闪电的一次放电瞬间产生的颗粒极小的高温微尘与周围介质碰撞并粘结成一种错综复杂的网状结构——一种分形结构.它有相对稳定的形状,但密度极小,绝大部分体积是网间的孔隙.正是这些孔隙贮存了球形闪电的能量,它是一种化学能.能量的释放可能是一个链式的化学反应.比如一个碳粒粘合成的分形球状闪电,在形成时吸收了相当量的臭氧 O_3 ,那么通过下面一系列的氧化过程便可提供所需的能源:



α 和 β 是各步反应中最慢的反应速率,由平衡态时的温度决定.这是一个相当剧烈然而缓慢的燃烧过程,可持续足够长的时间.由此模型预言的球状闪电温度与寿命同观测结果相符合.

实验的结果还给出了分形球状闪电模型的进一步证据.有人用射频放电的方法产生出了可以在空气中运动的发光球体,它的许多性质可以很好地用分形结构来解释,其中最令人感兴趣的是这种发光球体能够“穿越”绝缘的玻璃板.实验的装置如图 6:左侧是产生发光球体的次级线圈和电极,不远处有一块直立的玻璃板,玻璃板相对电极的另一侧放有一层烟灰.在一次放电实验中,由摄像机记录到:一个由电极处产生的火球从左侧撞到玻璃板上,在涂有烟灰的另一侧产生了另一个火球;甚至在前者消失后,后者仍然存在.对这种现象有人提出过解

释:起初,空间的电力线可以自由穿过绝缘的玻璃,火球中的正离子随电力线运动并堆积在玻璃板的一侧,相应地电子由相反方向堆积在另一侧.随着玻璃板温度升高从而部分溶化,具有了导电能力便形成了一对电极,这时一个新的火球便可以在另一侧出现,然后独立运行.值得注意的是,在这个实验中,烟灰的介入必不可少,它是形成分形结构的材料.事实上,许多报道表明球状闪电经过烟囱进入室内,这也加强了分形理论的说服力.

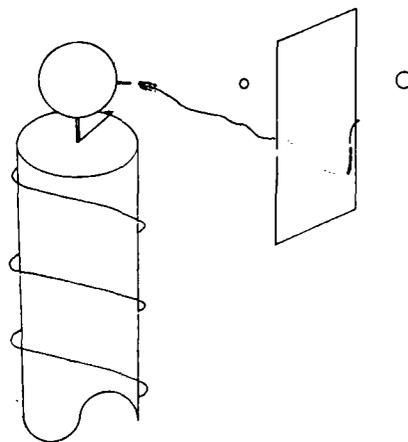


图 6 火球“穿过”玻璃板的实验

然而,分形模型也有无法克服的困难,它来源于对化学能的依靠.根据已有记录,可以推断出某些球状闪电的能量密度高达 $20000J/cm^3$,而从人类已了解的化学能源来看,即使是 TNT 炸药的能量密度也不过 $2000J/cm^3$.这就是为什么许多物理工作者仍试图从等离子体的理论中寻找答案的原因.理论上的困难同时也增加了球状闪电的吸引力.可以想象,一旦这种高密度的能源形式被发现和掌握,无疑会对能源,航天,军事等领域产生深远的影响.

两百年已经过去了,自然界仍在不时地炫耀它的天才的创造.相信人类终有一天能够解开球状闪电之谜.也许答案就隐藏在上面几种模型之中,但最终的解释还要靠实践来检验.科学家们仍在想尽办法收集更多、更可靠的第一手资料.所以,如果有一天你真的遇到了球状闪电的话,别忘了赶快取出照相机.但要记住:千万别碰它!