

内便可解决制冷机低温泵的长期可靠运转问题。但是,就现今而言,与国外先进水平尚有一定差距。尤其在机型、寿命和冷量匹配方面差距较为明显。诚然,这些问题的核心主要在制冷机和压缩机方面。因此,真空技术工作者和低温技术工作者结合起来共同进行研究,加强这方面的技术交流是非常必要的。

奥托·封·葛利克和他的真空试验

李 智 编译

(兰州物理研究所)

1. 引言

自然界中存在着真空状态这一客观规律早已为人们所认识。凡是念过普通物理的人都知道著名的马格德堡半球实验,它以无可辩驳的事实证明了真空的存在,显示出真空与大气压密切配合而产生的巨大威力。当然,对奥托·封·葛利克这个名字您一定不会感到陌生,他是真空科学领域里第一位杰出的物理试验大师。十七世纪中叶,他在德国的马格德堡城担任市长。他热心于科学研究,知识渊博,阅历丰富,他以非凡的技艺围绕“真空”这一课题做了大量的实验,铜半球实验就是其中最突出的一例。他喜欢当众进行科学实验表演,并以此为武器,破除宗教迷信,普及和传播科学知识。今天,人们只要经过认真地学习和实践,就能理解当年奥托·封·葛利克所做的一切,并能掌握更为广博的真空技术知识。学校里一系列的实验显示出真空的作用,物理教师对这些实验原理给予科学的解释。恰恰在这方面,奥托·封·葛利克在他的实验中完全靠自己的力量设计和实施方案,并在理论上加以阐述,前无古人,其困难程度是不难想象的。然而,他不懈地努力,百折不挠,终于如愿以偿,成为一名成功者,在科学史上写下了光辉的一页。

2. 奥托·封·葛利克的生平

说起奥托·封·葛利克的出身,可以追溯到公元十四世纪。他出身于一个贵族家庭。1315年一个叫作葛利克的人离开他的出生地不伦瑞克,在马格德堡市定居下来。他的后代逐渐成为当地的名门望族并被接纳进市议会,其中有几位曾经担任市长。

汉斯·封·葛利克(1555~1620)于1578年完成社会科学学业后,即供职于波兰斯特凡·巴托里国王陛下。曾先后被派往哥本哈根、斯德哥尔摩、莫斯科和君士坦丁堡担任公使。1586年他因朝中的支持者逝世而返回故乡,悉心管理他的两块贵族封地。

从1608年至1620年他担任马格德堡市最高法庭主席。1602年1月25日他同一位名叫安娜·封·茨威多夫(1580~1666)的姑娘结婚,这是他第二次结婚。

奥托是他们两人唯一的孩子。生于1602年11月20日。奥托15岁时就在莱比锡大学哲学系注册入学,1620年就读于赫尔姆施泰特大学,这一年父亲去世。1621年他转入耶拿大学法律

系, 1623年他在莱顿大学开始接触自然科学, 专修数学、生物学和天文学。特别是数学计算, 在当时机械工程学和要塞建筑学中都很实用。

学业结束后, 他历时九个月做了一次在当时十分流行的穿越法国和英国的长途旅行。1626年奥托被吸收为马格德堡市会议员, 并作为建筑专家负责这方面的事务。同年他与阿雪曼家族的一个女儿结婚。婚姻是美满的。

奥托·封·葛利克的第一位夫人死于1645年, 1652年他第二次结婚。他的儿子1655年成家, 可是儿媳不久后也去世了, 直到1662年儿子才重新续弦。丧妻后他们都曾住在安娜家中, 母亲对于奥托的思想和事业产生过较大的影响。

1631年30年战争波及马格德堡市。城市完全被毁, 2万居民惨遭涂炭。1632年奥托返回故乡开始着手重建城市的工作。1645年他当选为市长, 任该职达30年之久。他为了维护本城的利益, 下令减轻沉重的防务兵役制。为了使混乱的城市重建政权, 奥托·封·葛利克进行了频繁的旅行。他先后前往德累斯顿、莱比锡, 奥斯纳布吕克、维也纳和布拉格等地。旅行期间他曾参加雷根斯堡帝国议会, 时间从1653年6月至1654年5月。

1666年奥托·封·葛利克为建设自己的家园和城市忘我的工作着, 他的努力使马格德堡市并入勃兰登堡区。为了表彰他的功绩和发明, 国王莱奥波德赐予奥托·封·葛利克贵族称号。从此, 他在自己的名字上加进字母“u”, 使原来的Gericke变成今天所见的Guericke。

1676年以后, 葛利克尽管继续担任市长, 但是他与该市另外几位头面人物的私人关系逐渐恶化, 他的个人特权受到限制。1681年因鼠疫蔓延, 他不得不被迫离开马格德堡市, 迁往汉堡他儿子家中, 从此以后就再没有返回故园。他于1686年5月11日逝世, 终年84岁。

奥托·封·葛利克作为一名自然科学家所做出的业绩是无法估量的。他通过自己的实验以雄辩的事实有力的打击了自亚里士多德到托马斯·阿奎那(1226~1274)为代表的占统治地位达数千年之久的中世纪的经院哲学。奥托·封·葛利克总是以神奇的科学实验推动着人们去不断地探索大自然中新的奥秘。他的行为方式正好验证了下面这句名言: “一条建立在实践经验基础上的论证在任何情况下都比那种纯粹以空想的概念为基础的推论更能令人信服。”

十七世纪与奥托·封·葛利克同时代的人中有许多伟大的学者: 伽利略(1564~1642)和意大利的托里拆利(1608~1647), 法国的帕斯卡(1623~1662), 英国的波义耳(1627~1691)和牛顿(1642~1726), 德国的开普勒(1571~1630)。1630年开普勒逝世后, 奥托·封·葛利克成为继他之后在德国的科学专家。

3. 葛利克的真空理论

为了研究宇宙的结构, 奥托·封·葛利克投入了自己的全部精力和业余时间。使他吃惊的是, 天体之巨大和它们之间距离之遥远大大超出了人类的想象力。特别是虚无的空间更是象迷一样吸引着他, 他认为天体与天体之间必定是虚空状态。他的这种思想与亚里士多德等人的相反。

按照他们的推测不可能存在虚无的空间, 因为在他们的假说中宇宙是由连续不断的物质材料排列而构成。而葛利克的“虚空”概念不受物质的约束, 他确立的目标是让他哲学观点经受科学实验的考验。

亚历士多德认为，所谓真空只是一个在物质排列过程中将要被充填的空间位置。且虚空状态是自然界中没有任何起因的某种作用，没有原因的作用是毫无意义的，在哲学家的眼里这意味着真空状态实际上是不存在的。

葛利克坚信世上确有真空。假如虚空是一个还没有被物质填满的位置，然而它又将被充填，那么毫无疑问会构成某种状态，确切的说是一个空间。他说：“如果自然界中没有虚空状态，没有真空，全部空间都被填满，那么就不会有物质向其它空位移动的可能，物质也不可能从一个位置向另一个位置运动”。针对这种假设，他通过一定数量的试验证明：“就空气而言它可以象水一样以很强的冲力涌入被抽空的玻璃容器并违反常规的在容器中上升”。

这种反常现象被解释成是由于自然界厌恶真空的结果。这方面最突出的例子是抽水机。

“然而，如果承认自然界对真空厌恶，真空自身也就必须存在。如果真空根本不存在，对它的厌恶又从何谈起呢！真空就是产生这种厌恶的原因，如同它可被填满一样，如果没有空位，物质向何处排列呢。因此哲学家必须承认真空的存在。”奥托·封·葛利克在实际实验之前，对空气做了如下定义：“空气无非是散发着的气体或气味，或者是水，大地及其它物质的排放物”。当然，可闻到气味的仅有少数几种，但不是空气。（葛利克当时还不知道，气体和蒸汽有许多不同的种类）。“所有的空气和所有的气味就象某种物质一样，然而却异常细微，还能膨胀蔓延开来”。对空气的重量和由此而形成的空气压力这些知识葛利克也很通晓。他对托里拆利在1643年利用一根装满水银的管子证明了真空的存在一事并不知道，但是托里拆利不具备获得真空的抽气泵。

4. 有趣的真空实验

就象许多新的尝试一样，为了证明真空，葛利克的第一次实验以失败告终。试验用一个木制酒桶装满水，为了避免外面的空气渗入桶内，要尽可能好的使其密封。桶的下部装一铜管，利用它将水抽出。一支黄铜制作的灭火喷水器作为汲筒，它装有两个皮制活塞。将汲筒用一个法兰和四个螺钉固定在圆桶上。头一次还没来得及将水汲出，四个紧固螺钉就已折断。此后换用了更粗的螺栓。这样，可由几个强壮的男人来回抽拉活塞，实际上用这种方法水被抽出来了，桶内发出噪音，好象水在沸腾似的。这种噪音持续着，直到桶内的水被抽出后留下的空位重新被空气填满为止。这种木制圆桶不够紧密，空气可以从桶板之间渗入。这一问题他用如下方法解决。

第二次他用更小的圆桶，在底部也安装一根铜管，以便将水抽出。先把小圆桶注满水封闭起来，然后将小桶放入大桶内并接上汲筒，将大桶内也装满水。

此后，将小桶里的水抽空，这样就毫无疑问的产生了一个真空。夜深人静时却发生了一件意想不到的事，人们听到桶里发出一种声音，好象是小鸟的啾啾叫声，并且持续了三天之久。当打开小桶时，还是有一些空气从开口进入桶内，尽管小桶内绝大部分已被水占满。这些水是以什么方式进入小桶的呢？经过反复试验，水是由于压力差通过木缝渗入桶内。

进行第二次试验时他制作了一个空心铜球，汲筒直接固定在铜球底部。这个铜球内没有装水，他做了一次将空气直接抽出的尝试。开始时活塞还能很容易的来回移动，一段时间后就越来越费力了，到最后两个强壮的男人也得费很大劲才能拉动活塞。突然，一声巨响，猛烈的爆炸使铜球塌瘪了，如同一个被揉成一团的纸球。

人们把这次失败的责任归咎于铜球的制造者。他们认为这个球大概不够圆。因为球体表面十分微小的凹凸不平也承受不住外部的巨大压力，而一个精确的圆球则能够抵御这种压力。于是又请铜匠制作了第二个完好无缺并能抽成真空的铜球。将球放置几天以后，空气仍然渗入球内，主要是顺着汲筒活塞和阀门透入的。为了防止空气渗入，汲筒结构采用使运动机构和连接水的管道能够密封的设计。汲筒放进一只盛满水的提桶内并在入口处安装一个可装满水的铜钵。将汲筒固定在三脚架上，为了省力，在汲筒上装一根长摇杆，这对活塞的上下移动十分必要。用铅和皮革作密封材料。汲筒的入口由圆锥形部分组成，在进行各种试验时便于连接。首次试验时连接了一个用黄铜开关控制的大玻璃球并将其抽空。当不再有空气被抽出时，关闭阀门，从汲筒上取下球形容器。这时将阀门置于水下，然后打开。水以极大的冲力涌入，几乎没有留下什么空间，仅有很小一些空气泡。这些空气泡的出现可能是在将阀门放入水下之前，阀门入口处滞留的空气。

后来的试验证明这个假设是正确的。当水涌入被抽空的玻璃容器时他注意到，水强烈地泛起泡沫并形成许多小泡。唯一的推论是这些泡沫最终形成小空气泡。经过反复试验最后他认为，空气必然溶于水中，这不同于人们通常的理解。但是在真空状态下空气被释放出来，形成泡沫和小气泡。

到目前为止，奥托·封·葛利克的实验事实上总是在玻璃容器的底部抽气，这时空气同水一样朝下流动。但是如果用一根虹吸管抽空一个玻璃容器时就无此必要。在他的实验室里有一套这样的设备，可获得较好的真空。

另一次试验使他受惊不小。他用一根大约60厘米长，直径如胳膊般粗的玻璃管装满了水，然后将水抽出一半。接着他来回晃动玻璃管，此时玻璃管里就象装满了小石子，最后终于导致玻璃破碎。第二次他采用厚壁玻璃管顺利地进行了试验。在晃动玻璃管时葛利克细心观察，水自行分开，形成一个真空，然后又随着强烈的爆破声而破灭。

经过这次试验，奥托·封·葛利克提出，在自然界中是否能产生真正的虚空状态，地球上能否获得完美无缺的真空空间。由于所有的物质都显露出材料的排他性。只是有的相当弱，有的较强烈罢了。比如金属或玻璃等，其排他物人们一般是毫无觉察的，然而在真空中情况就完全不同了。根据所做的实验，葛利克总结如下：空气是地球物质的排放物；空气被地球吸引成为自身特有的部分，而且具有一定的重量；空气压力越靠近地面其压力越大；空气压力变化很大，例如在山上由于高度差而引起的变化；空气无所不有，除非什么地方把它视为其它物质；自然界不存在对真空的厌恶，有关这方面的现象是由于周围空气质量的重力造成的。由此他得出如下结论：

空气作为地球物质充斥了所有的空间。犹如一朵玫瑰，在它的周围人们能够闻到花的芬芳，但花香传播的距离不可能无止境。如同空气围绕着地球，也不可能无限远，而是有一定的界线。界线以外即是真正的真空世界。对于自然界中也存在真空的论据是足够的，水或空气从一个容器中抽出，剩下的则少于原来的百分之一或千分之一。地球上不能获得完全的真空，其原因在于一些物体的排他妨碍这种完全真空的获得。

奥托·封·葛利克按照自己的思路继续进行各种真空实验。他把一个大玻璃容器抽空，通过一个关闭的阀门连接第二级，许多很小的含空气的玻璃容器。这时如将阀门打开，就会听到空气涌进大容器时的各种声响，那里面如同有许多小石子或硬壳果被吹散。由于小容器

中的空气突然而迅速的变的稀薄，相对湿度提高了，形成小水滴慢慢滴到容器下面。这次试验是在阳光下进行的，人们首先看到白色的雾，紧接着出现了一道彩虹。

随后的一次试验证明，真空中火不能燃烧。声音在真空中不能传播。将一个闹钟用一根细线吊在玻璃容器内，抽空容器后，闹铃声听不见了。若将耳朵贴在玻璃器壁上，声音十分微弱，似乎有人用手捂住了闹铃。这时打开阀门使空气进入，声音又变得清晰悦耳了。

真空中的第一位牺牲者大概是麻雀。葛利克把一只麻雀关在一个大玻璃容器中，小麻雀很烦躁得在容器中来回飞翔。抽出一些空气后它飞不动了。继续抽气鸟儿开始张开嘴吃力地呼吸，蹲卧在地，嘴越张越大，不一会儿就跌倒死去了。可以清楚地看到，小鸟由于缺乏空气而停止呼吸。后来又做了一次试验，在同样的玻璃容器中盛一半水，放入各种鱼类，有狗鱼，鲈鱼及其它常见鱼类。在将空气抽出时鱼的举止完全不同。狗鱼开始张大嘴并吐出它们吃下的小鱼，最终它们的肚皮几乎胀破，然后肚皮朝上死去后沉入水底。鲈鱼则张开它们的鳃，眼睛爆出也死了。其它鱼待重新放入空气后，又恢复了活动。

奥托·封·葛利克在实验室中专门有一套仪器用来向朋友们展示各种各样的实验。其中一次是把水从放在地下的木桶中吸到高处。许多人感到十分惊讶，一切都以很快的速度发生。有人提问，水能够被吸多高呢？葛利克把水管加长，延伸到楼下花园里。重复上次的试验，水涌进被抽空的容器。管子加长到二层楼后结果相同。可是把水管伸高到第三层时，水虽然被吸上来了，但没有进入玻璃容器，而是停留在管道中。为了观察水停留在什么位置，一部分管道用玻璃制做，再次进行试验。水面静止后显示的高度为19马格德堡尺(约11米)。试验重复多次其高度始终相同。但是，把全部试验设备放置几天后，水面高度发生变化。先是升高一点，后来又下降，相差有时达3或4掌宽。造成水面下降的原因可能是空气漏入管道系统，而对水面升高尚且不能解释。

经过许多次反复实验其结果一致。地球上由于空气的重量造成对真空的排斥现象，即归因于空气压力。葛利克指出，在几天内水面的上升与下降是因为空气压力仅能在一定高度内使水进入抽空的容器。超过10米以上，水柱与空气柱保持平衡。若将吸水泵安装在高于水面10米以上的地方或井上，不能将水抽出。总之，奥托·封·葛利克在1660年就根据水平面的快速过量的下降预言：在附近地区必定有大暴风雨。事实上这种预言在几小时后就应验了。葛利克还作了称量空气的试验。天平一侧挂上充气的玻璃容器，待平衡后，将容器内空气抽除。这时容器在天平上的位置上升，高度差达2个塔勒（德国古银币）。如果重新放入空气（须格外小心，否则玻璃会破裂），天平重新恢复平衡。这个试验很直观的证明了空气是有重量的。

5. 著名的马格德堡半球实验

奥托·封·葛利克最著名的实验是马格德堡半球实验。他让铜匠制做了两个直径约45厘米的铜半球。但在交货时实际直径只有约40.2厘米，因为当时铜匠的制作工艺还不是很精确。但这两个铜半球可以相互十分精确的吻合在一起。其中一个半球上装有一个阀门和4个用于套马的铁环。两个半球之间垫一层皮革圈，用蜡和松脂精的混合物将皮圈浸透以使两个半球密封。在抽空时皮圈被巨大的力量压紧。由于外部的空气压力两个半球牢固的紧贴在一起，甚至用16匹马拉都不能使两个半球分开，或者刚刚能够拉开。如果它被外部拉力强行分开时，就会发出象猎枪射击一样的爆炸声。相反若将铜半球上的阀门打开使空气进入，仅用双手就

可使两个半球彼此分开。

1654年奥托·封·葛利克在累根斯堡帝国议会当众表演了这项实验。在场的不仅有费迪南德三世陛下，而且还有为数众多的选帝侯、城堡司令、侯爵和其他显贵。这些人中有约翰·菲利普亲王。他们对葛利克的各种实验，特别是前面提到的铜半球实验尤为关注。在这里他的实验引起了极大的轰动。约翰·菲利普亲王甚至坚持要买下葛利克的这些真空仪器，以便让卡斯帕尔·朔特神父，以及当地大学里的数学教授、博物学家们亲眼目睹这项实验。实验进行得很仔细并向罗马方面作了详细的报导。卡斯帕尔·朔特在报告中以“马格德堡实验”为题加了附录。这份报告他在1657年以“液体和气体的实用力学”为题出版了一本书。根据卡斯帕尔·朔特和葛利克之间详尽的来往信件，朔特于1664年又出了一本题名为“奇异的技术”一书，其中有葛利克自己写的包括那次著名实验在内的“新的马格德堡实验”的内容。

奥托·封·葛利克曾在1665年把一些实验的成果和由这些成果所得出的结论在37篇文章中作了总结。后来又发表了一本书，标题为“空前的马格德堡真空实验”。向众多的支持者和反对者指出他们对真空所抱有的许多误解。此书手稿于1663年3月14日完成，1671年交给阿姆斯特丹的一位出版发行人，于1672年正式出版。通过这本书使更多的科学家知道这些引起轰动的真空实验。在累根斯堡议会葛利克结识了一位牧师，他告诉葛利克托里拆利在1643年的那次实验。

用马格德堡半球进行试验时，有时两个半球也会因各种原因被拉开，这样一来就出现了凹槽和损伤。葛利克让人制做了一个直径约57厘米的较大的铜半球。他设法计算两个半球之间被压紧时的力有多大，来确定这种压力与以前进行过的实验的关系。计算结果，甚至用24匹马也不能把这个较大的铜半球拉开。

葛利克为了更方便的进行实验，他在自己屋前的花园里树起了一根带横梁的立柱。将抽空的半球挂在横梁上，向下面的天平盘里加放足够重量的砝码，直到两个半球随着一声巨响被拉开。由于事前告诫有危险，试验时没有发生过意外。

葛利克常常告诫人们在抽真空时是有危险的，特别是抽玻璃容器时。他还告诫人们，不要在真空容器上往里吸气，这样做也许会立即导致死亡。但总是有人不相信这种说法。葛利克用铜制作了一个圆柱形筒，用橡木做成一根柱塞，它的周围用绳子和麻絮（大麻）缠绕以便于密封。首先将圆筒牢牢地固定在立柱上。将柱式活塞向下压到圆筒底部。圆筒底下装有一个阀门并连接一个较大的真空容器。先关闭阀门，柱塞尾部拴有一根缆绳，缆绳穿过滑轮由20个男人用力拉。他们只能将活塞拉起大约一半就再也拉不动了，放入空气后才能把活塞拉起。此时只需一个人将圆筒底下的阀门打开，任凭20个人拼命向后拉住，活塞还是猛烈向下冲去，把这些人全部拉倒在地。

用这种方法可以抬起重物。这个时期葛利克已经知道法国科学家帕斯卡为了验证水银柱的高度取决于空气压力这一托里拆利假设，和朋友费洛里昂·佩里埃一同登上多姆山所做的实验。类似的实验葛利克也做过，不过他是用一个大玻璃容器在一个尖塔上进行的。试验时温度不能改变。

葛利克的温度计就是以此原理制做的。他把一个弯成U形的管子固定在一个大铜球下面，管子里装满酒精。U形管的一支腿与铜球密封连接，在另一支管腿里有一细小的浮标，用一根线穿过滑轮使挂在线上的木偶小人与浮标保持平衡。葛利克在大厅里挂起了窗帘，使

阳光照射不进来，以使用他的温度计全年都能观测温度。

奥托·封·葛利克一生进行了为数众多的实验和发现，这些实验的前后顺序现在已没有什么可靠的证据加以论证。他的大部分记录和信件都已散落遗失，人们只能从卡斯帕尔·朔特的出版物中寻找一些当时的情况。但是可以肯定的是，至少在1632年葛利克就已具备了相当可观的实验室，直到1642年他才有比较多的时间从事各种实验工作。他的第一次实验肯定是在这一时期进行的。第一次马格德堡半球实验是在1648年。1654年在累根斯堡议会又重复了这项实验。用水柱制作气压计一事同样根据他在1657年写给朔特的一封信中提及。进行气象预报当在1658年，大圆筒实验从1660年开始到1662年结束。

他在1672年发表的那本书的前言中用下面这段话作为结尾：“此外我们认为，将来并不乏才华横溢和目光敏锐之士，通过这本书激励后人努力奋斗，必将闪现更为神奇的思想，更加深邃的哲理。生活多么美好！热心的读者，从我们开创的事业中吸取有益的知识吧！”

低 温 粉 碎

汪 星

(上海机械学院制冷教研室)

一、概 述

低温粉碎技术是近十年迅速发展的新技术之一。在日、美和欧洲的一些国家，发展尤为迅速。已由研制试验性设备发展到建立工业化生产的自动化流水线，并有商业性产品出售。粉碎对象已从橡胶、塑料发展到电缆、食品和药材。我们从前年初开始进行这项研究工作，已研制成一台低温粉碎机。

低温粉碎的优点有：1. 可以粉碎一些在常温下无法粉碎的材料；2. 能够达到更小的颗粒度；3. 与常温粉碎相比较，可以减少电能消耗；4. 可以高质量地回收橡胶、塑料及金属材料；5. 如对食品、药材进行粉碎可以保持原有的营养和成分，进行高质量的加工；6. 可以减少污染、美化环境；7. 粉碎时的振动和噪音小。

低温粉碎就是在低温环境里粉碎材料。因为大多数材料在低温下呈现出脆性。对这些材料进行冲击，就可以轻易地粉碎。

低温粉碎技术的经济效益和社会效益都是十分突出的。从经济效益来讲，可以高质量地回收大量的有用的材料，例如，橡胶、塑料和金属；从社会效益来讲，由于废旧物品量多面广，采用低温粉碎可以减少污染，美化环境。低温粉碎可以高质量地加工食品和药材，有益于广大人民的健康。

二、适 用 性 分 析

1. 低温粉碎物质的分类