

被中香炉与万向支架

武际可

(北京大学力学与工程科学系, 100871)

摘要 介绍中国古代的被中香炉, 其原理后来用于陀螺仪支架和各种要求三个自由度设备的支架。

关键词 被中香炉 陀螺仪 万向支架

被中香炉是中国古代用于点燃香料熏被褥的球形小炉。它的球形外壳和位于中心的半球形炉体之间有两层同心圆环（也有三层的）。炉体在径向两端各有短轴，支承在内环的两个径向孔内，能自由转动。用同样方式，内环支承在外环上，外环支承在球形外壳的内壁上。炉体、内环、外环和外壳内壁的支承轴线依次互相垂直。炉体由于重力作用，不论球壳如何滚转，炉体总是保持水平状态，不会把点燃的香灰洒在被褥上。

被中香炉的记载，最早见于《西京雜記》。它是晋代葛洪(281—341)托东汉刘歆(前53—后23)之名撰写的一部笔记小说。其中有一段記載说：“長安巧工丁缓者，……又作臥褥香炉，一名被中香炉，本出房風，其法後绝，至缓始更為之。为机环转运



图1 被中香炉

四周，而炉体常平，可置之被褥，故以為名。”这里提到的能工巧匠丁缓，他书未见。从这段记载中，可见被中香炉早就有之，只是失传后由他重新制作出现。

在汉代文人司马相如(前179-前117年)的《美人赋》中，有“金錘熏香，黼帐低垂”的句子，据宋代学者章樵注解，“錘音匝，香球，衽席间可旋转者”，可见被中香炉在公元前二世纪的西汉就已经有了。

到唐宋以后的文人著作中，提到被中香炉的，就相当多了。例如唐代词人温庭筠，在一首《更漏子》词中有：“垂翠幙，结同心，侍郎熏繡衾。”牛峤的《浣溪沙》中有：“枕障熏

爐隔繡幃。”他在《菩薩蠻》中又写道：“熏爐蒙翠被，繡帳鴛鴦睡。”而韋莊的《天仙子》中說到：“繡衾香冷懶重熏。”

明代田艺蘅在《留青日札》卷二十二中述：“今鍍金香毬，如渾天儀然，其中三层关棧，轻重适均，圆转不已，置之被中，而火不复无，其外花卉玲瓏，而篆煙四出。”

从晋代《西京杂记》和明代《留青日记》的描写，以及考古得到的实物，我们知道，被中香炉的构造关键在于它的外层无论怎样旋转，内层的炉子“常平”。于是，在外壳沿三个方向旋转时，内层炉子由于自重能够保持在空间位相不变，所以一般来说，内层与外层之间有三个自由度。其实对于熏被褥来说，外层在被褥之间，随便怎样转动，只要求内层炉子保持水平，而炉身绕铅锤线转动并不影响使用，所以有的炉子只有两层环。即，作为被中香炉来说，内层与外层之间有两个自由度也就够用了。这就是，为什么被中香炉的实物，有两层的也有三层的道理。

把一个物体固定在基座上，无论基座怎样旋转，要求物体的方向不会变动。这就是被中香炉最本质的功能。这种机构随着科学技术的发展有很多重要的应用。这种支架称为万向支架，也称常平支架。



图2 利用万向支架减震的设想

西方最早提到常平支架的，是意大利学者卡丹（Girolamo Cardano, 1501—1576）。他是一位医生、物理学家、数学家，并且在哲学、音乐和机械方面也有重要的工作。他在机械方

面最出名的工作，就是最早给出了万向支架的设计。所以西方人把常平支架叫做卡丹悬吊（Cardan's Suspension）或者成为卡丹环。

在提到万向支架的应用方面，最早的工作是 1629 年在罗马以拉丁文出版的一本《机械》（Le Machine）的著作，作者焦瓦尼（Branca Giovanni）是一位卓越的意大利工程师。在这本书里，他提出了利用蒸汽推动叶片的蒸汽涡轮机的设计。这种构思继续发展，就产生后来实现的汽轮机和涡轮机。也是在这本书里，他提出利用万向支架来减轻车辆在颠簸不平的道路上的震动，以便运送病人。图 2 就是该书的一幅插图。

真正把万向支架用在现代科学研究上，并且做出重要发现的是法国人佛科（Jean-Bertrand-Léon Foucault, 1819-1868）。他在 1851 年提出利用高速旋转的陀螺来显示地球的自转。高速旋转的陀螺有保持旋转轴不变的性质。如果把陀螺放置在万向支架上，支座在地球上，地球旋转而陀螺的轴不旋转。经过不多的时间，陀螺相对于支架的变动就明显地说明地球的自转。佛科利用他前一年发明的佛科摆和这种陀螺仪雄辩地证明了地球的自转。所以佛科又称它为“转动指示器”。从此万向支架又有一个新的名字：陀螺支架。



图 3 佛科像

佛科一生身体不好，他主要靠在家自学和自己做研究。他还进行过光速的测量。他去世后他的论文由他的母亲出资出版。

陀螺仪来到世界上，逐渐显示了它的广泛的应用。

在 19 世纪中叶，以蒸汽机驱动的轮船发明了，同时钢铁也大量作为造船材料。以前在航行中指示方向主要靠磁性罗盘，但是磁性罗盘在钢铁边上，指南性就不可靠了。这就要求人们寻求新的导航手段。陀螺仪的定向

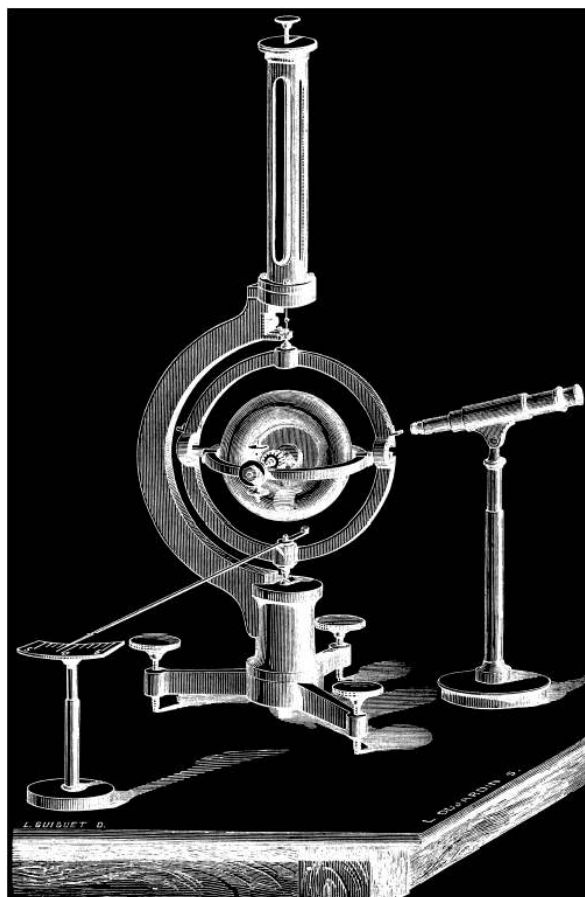


图 4 佛科的陀螺仪

性正好可以代替罗盘的功能。

1908年，德国人安休茨（Hermann Anschütz）制成了第一架可以用于航行的陀螺仪，随后德国的海军在最早的潜水艇上和装甲军舰上装上了这种仪表。

大约在1907年美国斯派瑞（Elmer Ambrose Sperry, 1860—1930）在一艘船上装上了陀螺仪，并且于1911年申报了专利。后来他于1921年生产了依靠陀螺仪的自动掌握轮船行驶方向的控制装置，随后，又利用陀螺的定向性制成了减轻船舶颠簸的稳定器。

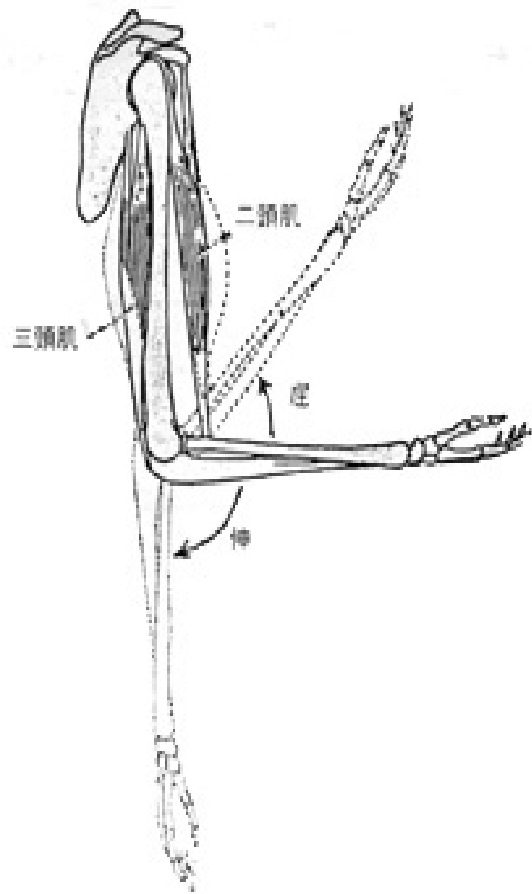
在第一次世界大战期间，德国与美国先后把陀螺仪用在飞机上作为飞机倾斜与转弯的指示。到了1929年9月，美国人多里特（J.H. Doolittle）应用无线电、陀螺水平仪、航向陀螺仪来控制飞行。在1931年美国鲍格斯（M.S. Boggs）完成飞机盲目着陆，使在夜间与有云雾的天气下航行与降落成为可能。二次世界大战期间，德国人把陀螺仪安装到V-2导弹上来控制导弹的飞行。

近年来陀螺仪的应用越来越广，除了用于航海、航空、航天、潜水艇与火箭导航外，还大量用于坦克与火炮的稳定、攻击鱼雷与导弹的定向、车辆特别是单轨车辆的稳定、工作平台与测量仪器的稳定等方面。也用于摄像平台的稳定，以保证摄得影像的质量。

现在再回过头来，再看一看万向支架最主要的功能。就是要在基座做任何角度的变化时，所支持的对象（薰香录或陀螺）可以保持不变。也就是说，基座和对象之间应当有三个自由度的运动余地。

现在我们如果把我们的身体看作基座，把手掌看做对象。我们的上肢就有这种功能。设想你如果坐在一把缓慢摇动的椅子上，你手里端着一碗水，无论椅子摇到什么角度，你端的水要求“常平”。由于我们有腕关节、肘关节和肩关节三个关节的活动自由度，所以我们总是能够做到使这碗水“常平”的。因此我们的上肢实际上就是一个理想的“常平支架”。

我们知道，运动是相对的。前面我们



骨骼肌的作用方式

图5 人体上肢的各个关节

的被中香炉和陀螺仪支架是要求基座运动而被支持的对象不动。现在从另外的角度来看，要求基座不动而被支持的对象能够做各种姿态的运动。我们的上肢也正好符合这种要求，设想你的身体不动，要求你的手掌去朝向空间的任何方向。也是一点困难没有的。这就是说，我们的上肢这个支架可以使我们的手的方向“万变”。说明我们的上肢正好又是一个理想的“万向支架”。

根据以上的讨论，其实说常平也好，说万向也好。只要有足够的自由度，支架不必一定要做成环形的。下面就是一个固定照相机的万向支架。只要适当调整几个旋转轴的角度，照相机的镜头可以指向任何方向。

被中香炉，两千多年以前中国的发明，在今天被派上了许多用场。随着机器人和自动控制等科学和技术领域的研究和发展，将来还会有更多的用场。不过想到这段漫长的岁月中，我们虽然发明得很早，从汉代，一直到清代，却一直是用在熏被窝上。西方人虽然直到 16 世纪才发明，比我们落后了 1600 年。但后来的许多使用的新花样却是他们首先开发出来的。这也许很值得我们向西方学习，重振我们民族的创造力。



图 6 照相机用的一种万向支架

英文标题: Incense Burner inside the Quilt and the Comprehensive Supports