

# 优势设计中的广义物理效应

王培霞 贾育秦

“优势设计”区别于“常规设计”和“创新设计”，从基本思想上看，主要在于它是一种面向市场争取竞争优势的设计。其基本思想完全不同于以个人兴趣出发的设计，或为追求某种品味的设计，也不是单纯追求创新的设计，优势设计是一种对自然法则及物质物理规律深刻认识基础上的优势发现和发展战略。

机械产品的主要特征是实现动作功能（包括传递运动和力）和工艺功能，这两种功能都是物理学行为。过去只把机械看作是力学行为（包括运动学和动力学），这样的看法导致人们只从“机械学”的角度来研究机器。这种观点可以叫做“狭义物理效应”观点，它几乎使机器的发展发生停滞。实际上，要产生动作功能和工艺功能，所有的物理效应都可以利用，甚至连化学效应也可以利用。这样，我们所说的物理效应是一种“广义物理效应”。从“狭义物理效应”出发来研究机器，创新的空间很有限；而从“广义物理效应”出发来研究机器，可以说存在着广阔的创新空间。所以说，要进行优势设计，首先就应该认识“广义物理效应”概念在现代机械设计中的作用。

我们把以“广义物理效应”实现的机械动作功能和工艺功能叫做“综合技术功能”，以区别于那些以纯机械手段实现的动作功能和工艺功能。例如，飞机在空中飞起来，是靠空气动力学原理实现的；螺旋桨旋转能推动轮船前进，是流体动力学的原理；内燃机和电动机能转动是靠热力学和电磁学的原理实现的。可见，动作功能可以不用纯机械的方式来实现。实际上，用光、电、磁、液、热、气、生、化等原理都可以实现某些动作功能。甚至在某些场合，比纯机械的方式还要好。例如有一种高速平面电机式自动

绘图机，带有画笔的驱动头悬挂在定子台面的下面，驱动头本身相当于电动机的转子，它靠定子表面上的磁极的磁力的作用而运动，同时



利用磁力使其能悬挂在“天花板”上。为了使驱动头在天花板上高速移动时阻力小，还应用了气浮导轨的原理；在贴合面间吹入压缩空气并形成气垫，使驱动头在高速移动时几乎没有摩擦阻力。这种驱动头的功能，就是典型的综合技术功能。又例如精密定位工作台，采用激光测距，用计算机控制运动规律，组成闭环控制系统，这种典型的机电一体化技术系统当然也属于综合技术功能。至于说工艺功能，本身就要用到各种“物理场”，它既有纯机械的工作头用纯机械的形体和机械力去完成的工艺功能，也有用非机械的工作头，通过广义物理场去实现对对象物体的加工，这也就是综合技术功能。不过过去的工艺功能较多利用纯机械的工艺方式，而以后将更多地采用广义物理效应来实现各种工艺功能，它们将更有效、更高质量地实现工艺功能目标。例如，过去内燃机连杆头加工中的剖分切断工艺是用切削加工方法进行的，而现在有一种工艺是采用爆炸断开的工艺，在可控的条件下爆炸，连杆头断开的位置正好在中间，截面光洁，重合性好。不但效率高，而且连杆孔的几何精度都保持得很好。

综合技术功能的特点是：在某些特定的条件下，采用广义物理效应，有可能实现比纯机械方法更好的动作或工艺功能。显然这里我们并不强调全部可

25.32%。

正在建设中的在大陆的核电机组有秦山二期  $2 \times 650\text{MW}$ ，秦山三期  $2 \times 728\text{MW}$ ，岭澳  $2 \times 984\text{MW}$  和田湾  $2 \times 1060\text{MW}$ 。秦山二期是中国自行设计与建造的两台 PWR 机组。秦山三期是 2 台 CANDU6 型 PHWR 机组，由 AECL 作为主承包商的交钥匙项目，核蒸汽系统设计和设备，初始燃料载和重水均由

AECL 供应。岭澳核电站  $2 \times 984\text{MW}$  机组是法国设计的 PWR。田湾核电站是中俄合作项目，2 台 VVER-1000/428NPP-91 型 PWR 机组。另外，中国台湾龙门第四核电站  $2 \times 1350\text{MW}$  ABWR 机组正在建设中。

（清华大学工程物理系摩托罗拉单片机 & DSP 应用研发中心工物馆 210B 100084）

以代替纯机械功能,因为有许多场合纯机械的动作和工艺功能还是非常简单可靠的,没有必要用更复杂的广义物理效应去代替。

综合技术功能的求解思路是:物理效应引入法。这种方法适合于综合技术功能的求解。这里所指的物理效应是一种广义的概念。机构学本身包含了运动学、力学方面的各种物理效应,但除此之外,还有更多的物理效应(如热效应、电磁效应、光电效应、流体效应……)可以在求解时引入。

最简单的例子就是利用热胀冷缩的效应使双金属片产生弯曲变形,用来做电流的过载保护器、调温电器的温控开关等等。在人工脏器的设计中,需要一种微型液体泵来帮助体液循环。以前这种泵都是用微型电动机带动微型机械泵来工作的。由于存在磨损等机械问题,效果不理想。有一位生物医学专家想出了用金属的热膨胀效应来做体液泵,效果很理想。用石英晶体振荡器控制的电磁摆来代替机械游丝摆制成的石英电子钟表,也是运用物理效应引入法的很典型的例子。

由于机械学是在力学的基础上发展起来的,因此以前对机器的概念是建立在“刚体的机械运动”的基础上的。弹性体和挠性体是最早引入的新物理效应,它们已经使机械的功能有了发展。现在引入广义的物理效应,等于把机械学的界限更扩大了:把更多的可以应用的物理现象都应用到机械设计中来了。这样一来,显然使得解决功能原理的手段扩大了很多。近年出现的所谓“机电一体化”或“机械电子学”,就是引入微电子技术和计算机技术的产物,它是物理效应引入法中一个较突出的成功的例子。

在机械设计中应用广义物理效应主要可以在以下一些方面:

**用广义物理效应实现机械动作功能** 传统的机构设计中,为获得机械动作,只有一条思路,就是用各种机构来实现运动的传递和转换,例如,在原子能反应堆的控制棒的驱动功能原理方面,人们常规的设计思路只能是用齿轮、齿条、链传动、钢索牵引等等方法。由于反应堆内高温高压的环境,这些传统的传动方式难以适应。迫使人们向广泛的物理效应去思索,研制出电磁钩爪式驱动机构。这种驱动方式的动作原理是用两套钩爪分别交替作握持、放开和提升(或放下)动作,钩爪作用于驱动杆的沟槽内,

可保证握持可靠。而提升(或放下)的动力则来自密封套外的电磁线圈对磁环的吸引力,磁环的作用是控制钩爪的开、合和上、下运动。这样一套驱动机构,可以在高温、高压的密封套之外对其内部的驱动棒实现驱动控制,显然这是一套非常规的动作原理,运用了电磁效应和机械(钩爪)作用的配合实现驱动功能。

例如,有一种60年代由英国人首先提出的“并联六杆机构”。它由六杆组成一个空间机构,六杆的长度都能独立变化由此控制上面的平台实现空间6个自由度的运动,由于它相当于由6个三角形组成的八面体,所以整体的刚度很好。现在已经在飞机驾驶舱的模拟训练器上作为模拟飞行姿势的驱动机构得到很好的应用。最近英国和日本公司把这种机构倒过来控制机床的动力头,实现加工中心主轴在空间的6个自由度运动,可以更好地实现对空间曲面型体的加工。

用广义物理效应产生机械动作的最早应用是液压、气动原理,但是更广泛地应用则应该从近一二十年谈起。人们已经在不同情况下应用了广义物理效应来驱动机器。例如:用压电晶体或磁致伸缩的物理效应实现微米级的驱动;用热胀冷缩的物理效应,实现体内微型液体泵的驱动;用液体的压粘效应,实现的无齿的牵引传动功能;用液体的电流变效应实现液压控制功能;用硅油的热粘性效应,实现汽车差速器锁紧功能;及汽车冷却风扇的自动离合功能;用直线电动机来作自动绘图机的x、y方向驱动功能;用有记忆效应的金属来实现各种机械动作;用超声波进行不定向驱动(三自由度原动机)。

总之,过去人们已经认识了物理效应都有可能用来作为机械动作的驱动原理,还有很多即将被人们发现的物理效应以及有可能被人们“制造”出来的物理效应,有可能被用来作为机械动作的驱动原理。从上面列举的多种实例可以看出,在不同场合下利用不同的物理效应来驱动机械运动,有时可能比纯机械的方式要有效得多。

**用广义物理效应实现机械工艺功能** 传统的机械工艺功能,常常用机械驱动一个工作头对工作对象进行工艺(加工)作用过程。而工作头对工作对象的加工原理也是纯机械的方式,例如,切削、锻压等。在轻工部门,如食品机械、纺织机械等,过去也都是以纯机械的加工方式为主,也就是仅用纯机械

的物理效应。实际上,加工工艺功能比动作功能易于采用广义物理效应。例如:

电火花加工。这是一种也可被称作电腐蚀的加工方法,它的主要优点是可以实现复杂的三维型腔的加工,例如对各种塑料压铸模的型腔加工,只要用石墨或紫铜做出一个阳模,然后就利用它在任何坚硬的金属材料上加工出相同的模腔,这比用各种切削的方法来加工模腔要容易得多。

线切割加工。这也是用电火花对金属进行切割,但是不用阳模,而是用一条镍丝( $\phi 0.2\text{mm}$ 左右)。用此方法也可以实现很多复杂形状的外形切割,不过只能实现二维形状的切割。

激光加工。用激光束聚焦,使能量集中,用来切割金属或布(多层布)。用激光束来切割物料。这种加工方法可以对任何材料(金属或非金属)进行切割。

高压喷射水刀加工。是将 $100\sim 400\text{MPa}$ 的高压水通过 $\phi 0.2\text{mm}$ 左右的小孔射出,速度达到 $800\sim 1000\text{km/h}$ ,有很高的集中能量,可以用来对布料(多层,约 $50\text{mm}$ 厚)进行裁剪,也可对金属薄板和石板或木板进行切割。

清洗工艺。传统上是用清洗溶液对零件进行清洗。用超声波这种物理效应,可以不必再用手洗刷而很容易地将零件或假牙、饰物等清洗干净。采用激光还可以清除金属件表面的锈污,而且能使表面在一定时间内不易再生锈。家庭中的烹调工艺,历来是用明火对锅加热,现在可以将食物直接放在碗中,用微波对食物加热,达到同样的热处理效果。

在其他部门,加工工艺用物理效应的实例更多,例如:纺织织布工艺中的喷水织机,用喷水水滴作工作头,代替机械织梭,引导纬线穿引,不仅工作可靠,而且大大地降低了噪声,并杜绝了由于“飞梭”造成的人身安全事故。在纺织工艺中,有一种“气流纺”,直接用气流实现由棉花纺成细纱的工艺过程。最近出现的一种“快速成型技术”中,采用激光对液态树脂进行逐层扫描,使树脂固化形成精确的模型,用来做设计时的精确样品或铸造用的模型。比起过去用手翻砂造型要快速和精确很多。

总而言之,用各种物理效应对物体的作用来代替机械工作装置对物体的直接作用,是动作驱动

和工艺功能中具有明显优势和广阔前景的新途径,发展前景不可限量。“优势设计”的物理学基础的核心内容是机器的“功能”的物理学本质。由于广义的物理效应包括力、热、光、电、磁、流体甚至化学效应等很多方面,现在很多已知的效应可供利用,而且还有更多更新的正在被发现中的效应和大量的派生效应将可利用。例如,在润滑油中添加某些成分,就有可能使这种油在高压或电场中产生特殊的性能(如粘性变大等),在机械传动中已经在利用这些新效应。可见,物理效应引入法的求解途径在功能原理求解中是一个非常重要、大有前途的途径。因此,当我们从“优势设计”的观点来看机械设计时,不但要求设计者精通“机械学”知识,更重要的是要求设计者具有更扎实、更广泛的“物理学”知识基础。

(山西太原科技大学应用科学分院 030024)

## 科苑快讯

### 从“太空屋”到 Neumayer - III 南极站

到2008年德国一座新型 Neumayer - III 南极站将投入运行,不排除将采用最先进工艺建造这座南极站的可能性,该工艺最初由欧洲航天局在“太空屋”(Space House)计划范围内研制。

专门从事极地和海洋研究的阿尔弗勒德·韦格纳研究所(德国不来梅港)在2001年提出在南极建造“太空屋”的设想,而欧洲航天局将“太空屋”应用到地球上的设想本身则更早——在土耳其伊兹米特发生强烈地震之后的1999年。按照现有的计划,“太空屋”应是一个主要用超轻材料建造在几个支柱上的球形结构,超轻材料取名为 CFRP (Carbon - Fibre - Reinforced - Plastic),它是一种塑料、加强碳纤维复合材料。“太空屋”能抗风速达220千米/小时的大风和里氏7级地震,并能抵御高3米的海浪。另外,“太空屋”还将使用太阳能电池供电和净化水和空气的高工艺系统。

自然,德国科学家对 Space House 计划十分感兴趣,因为这样的结构非常适合南极地区严酷的气候条件。按计划, Neumayer - III 南极站将由3个部分组成,其中每一部分都拥有4根支柱, Neumayer - III 南极站总的有效面积为3000平方米。

(周道其译自俄《计算机在线》2004/8/31)