



杜善义, 中国工程院院士, 力学和材料专家。现任哈尔滨工业大学与中国航天科技集团有限公司教授。主要研究领域为飞行器结构力学和复合材料。

工程科学与科技强国

杜善义^{1,2}

1. 中国航天科技集团有限公司, 北京 100048

2. 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150001

1 工程科学是基础科学与工程桥梁

工程科学不是新名词,早在19世纪末20世纪初已经形成并有其深刻内涵。20世纪初,以克莱因、普朗特为代表的科学家提出了数学、力学等要面向应用解决工程问题;在力学方面形成应用力学派,普朗特的学生冯·卡门、铁木辛柯等力学家继承应用力学派思想,而冯·卡门的学生钱学森先生对此有所发展,明确提出工程科学(也有人称之为技术科学)思想。

自然科学重在“探索”与“发现”自然界已经存在的事物,并在此基础上形成基础知识体系。工程则是构建自然界不存在的事物,前者属于认识自然,而后者则是利用与改造自然。然而,自然科学

形成的知识体系并不能直接应用在工程科学中,这就产生一个如何用知识达到构建事物的问题,从而需要有一个桥梁,这个桥梁就是工程科学。工程科学的任务是要将自然科学应用在工程中,解决工程中提出的新理论及方法、技术问题。因此,按照钱学森先生的说法——工程科学是自然科学与工程的桥梁,工程科学范围很广,例如应用数学、力学、电工学、材料学、建筑学、水力学、电子信息学、热能核能学、化学、仪器仪表学等都应属于工程科学范畴。早在15世纪,意大利天才科学家与艺术家达芬奇就指出:理论脱离实践是最大的不幸,实践应以好的理论为基础,这实际上即是工程科学理念。这样看来,从事工程科学的科技工作者就是一支庞大队伍。

1947年钱学森回国探亲,分别在清华大学、上海交通大学、浙江大学做报告,讲的内容主要是工程科学。他指出,工程科学家的任务有3个方面:工程方案的可行性怎么样;如可行,实现这个方案的途径是什么;如失败,原因是什么,如何补救。并在报告中明确提出:为使纯科学家与从事实用工作的工程师密切合作的需要,将产生一个新的职业——工程科学研究者或工程科学家。

2 工程科学在解决工程中理论与技术问题中的作用

工程目标的构建重在集成,但并非要把科学家形成的知识体系直接照搬即用,在工程目标实现中仍会有一些理论、关键技术、方法、试验等问题需解决,工程中关键、短板问题的解决要靠工程科学家创造性运用最新自然科学成果及所具有的工程经验,使工程目标得以实现,这是工程科学的任务与作用。工程科学作为纯科学与工程的桥梁,在整个工程目标的实现中不仅要有技术创新,同时也有理论或知识创新。不同领域不同工程,虽目标大小、复杂程度和层次有差别,但是任何一个工程目标都是一个系统,涉及多领域多学科,所以工程科学要解决工程问题需体现系统科学与工程思想及多学科的交叉与融合。

钱学森先生在20世纪70年代通过航天实践提出的系统工程理论的思想,也是工程科学任务的应用与实践。可以用几个例子进行说明。

第一个例子是固体火箭发动机。过去固体火箭发动机的燃烧室是由高强钢做成的压力容器,会出现打压试验时的低应力爆破,这是一个简单工程装备问题,产生问题的原因是焊接时出现的裂纹,解决这个问题,涉及力学理论、材料与焊接工艺3个方面:首先要用力学分支断裂力学(考虑结构有缺陷)分析原因;其次是材料问题,这种低应力破坏原因主要是由焊接裂纹存在而引起的,材料的选择要考虑在满足强度的同时重视其韧性,即材料抗裂纹扩展的能力。对于金属材料来说,强度与韧性有矛盾,必须研制一种强度与韧性均满足要求的新钢

材;再次是焊接工艺问题,采用新工艺,避免焊接裂纹出现。在工程实践中通过力学(设计)、材料与工艺交叉结合,解决了这个低应力爆破问题。

第二个例子是工程装备的结构效率问题。对任何一个工程装备,尤其是空天飞行器,在保证安全性前提下,提高结构效率或结构轻量化是永恒的主题。1961年,钱学森先生在给中国科学技术大学力学系学生讲授“星际航行概论课”时有一句名言是“航天器一个零件减少一克重量都是贡献”。轻量化是在给定的技术边界条件下,实现所需功能的系统最小质量化,并且确保整个产品生命周期内系统的可靠性。解决这个工程问题要从设计、制造与材料3个工程科学因素方面综合考虑才能实现,设计是关键,先进制造是保证,而高比性能材料则是物质基础。碳纤维增强的树脂基复合材料应是首选材料,航天器材料已实现复合材料化,航空器正在努力实现结构复合材料化。这正是工程科学的研究内容,要研究先进复合材料在航空航天器能用、会用、用好,这需解决设计、力学、材料、制造等工程科学问题才能实现结构复合化,进而达到结构轻量化,从而提高结构效率。

第三个例子是高超声速飞行问题。这是人类对时空运用的颠覆性技术。世界各科技大国均在进行研究,从高超声速的科学理论到工程实现,这中间有许多属于工程科学的问题要解决。高超声速飞行是在20~100 km的临近空间飞行,这个飞行环境与空中及太空环境有区别,必须解决一些新的理论与技术问题,例如高速空气动力学、先进推进理论与技术、自主控制理论与方法和面对高超声速飞行引起的新热障下的防护材料结构等问题。每个科学和技术问题都具有挑战性,这里仅以新热障问题为例,高超声速带来热障问题与传统热障问题不同,后者主要是铝合金等金属材料,在飞行速度达三个马赫数左右时,飞行器表面温度达300°C左右,金属材料在此温度下力学性能大幅度下降,要解决的是在这种温度下的材料与结构问题。而高超声速飞行器表面温度超1000°C或更高,在这种情况下不被烧蚀,甚至还要重复利用。这中间热环境,热防护材料与结构,热响应以及热模拟试验等

一系列问题,涉及力学、热学、化学以及电磁学等学科交叉问题,上述3个例子所解决的理论、方法及技术等问题,具有一定普适性,这也充分体现工程科学在工程中的重要应用。

3 工程科学是科技强国建设的重要抓手

目前,要更加重视工程科学的运用与工程科学家的培养,这是科技强国建设的重要抓手。根据联合国教科文组织一项调查表明:人类知识更新速度不断加快,18世纪时更新速度为80~90年、19世纪初为30年,20世纪60年代为5~10年、20世纪80至90年代为5年,进入本世纪只有2~3年。快速出现的新理论、新方法与新技术属工程科学范畴,只有重视工程科学,才能使科技发展跟得上。

建设科技强国是我们的科技梦,对于高科技含量的工程装备特别重要。过去主要是解决有无问

题、是跟跑,很少领域达到并跑;至于领跑仅是极个别领域;许多领域以数量论均是第一,但大而不强。重视工程科学,以实现关键核心技术自主可控,并通过创新产生新的理论、方法和前沿技术,甚至颠覆性技术,使中国在重要的工程领域达到并跑与领跑的水平,这是科技强国的重要标志。

科技强国建设,人才是关键,从事工程科学研究的科技队伍,应提高科学理念与工程意识,重视工程需求,用科学(基础科学)所形成的知识体系,通过创新解决工程中所提出的理论、方法、技术等问题,产生原创性成果,从而为科技强国梦的实现做出贡献。



(2020年5月于北京)

(责任编辑 卫夏雯)