

力学与工程学结合的优秀践行者 ——奥斯本·雷诺

董鑫,白欣*

首都师范大学初等教育学院,北京 100048

摘要 奥斯本·雷诺在力学与工程学中做出了突出贡献。梳理了奥斯本·雷诺的生平、求学经历以及在力学与工程学的贡献,探讨了雷诺一生的研究历程,得出了他的研究成果有许多在当时看起来并不起眼但却在若干年后产生了重要作用的结论,为研究奥斯本·雷诺的相关领域学者提供了重要依据。

关键词 奥斯本·雷诺;力学与工程学;流体动力学;雷诺数

流体力学中被广泛应用的雷诺数,是以奥斯本·雷诺(Osborn Reynolds, 1842—1912), (图1)来命名的。雷诺有许多科学贡献,但大多是在去世之后的生产生活中才得到实际运用。多年来关于雷诺的研究成果相对较少,对雷诺的介绍、在各个领域杰出贡献的介绍也只是寥寥几笔。

在流体力学研究历史上,法国科学家纳维(L. Navier)首先提出了不可压缩黏性流体的运动微分方程组。斯托克斯(George Gabriel Stokes, 1819—1903)严格地导出了这些方程,并把流体质点的运动分解为平动、转动、均匀膨胀或压缩及由剪切所引起的变形运动。后来人们将其统称为纳维-斯托克斯方程。奥斯本·雷诺在前人所得出的结论上

继续进行实验研究,推导出了雷诺数以及雷诺应力,使其在流体力学史上占有一席之地。

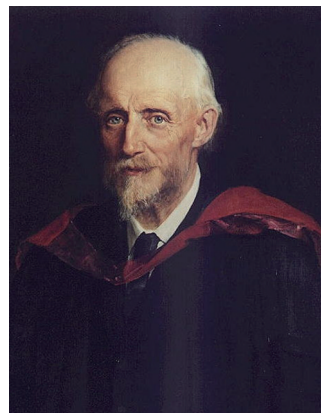


图1 奥斯本·雷诺

收稿日期:2020-07-22;修回日期:2021-01-28

基金项目:国家自然科学基金项目(11772208)

作者简介:董鑫,硕士研究生,研究方向为科学与技术教育、科学与技术史,电子信箱:HongXinXiangBei@163.com;白欣(通信作者),教授,研究方向为科学与技术史、科学与技术教育,电子信箱:baixin@tsinghua.org.cn

引用格式:董鑫,白欣. 力学与工程学结合的优秀践行者——奥斯本·雷诺[J]. 科技导报, 2021, 39(22): 137-144; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.22.015

1 家庭环境孕育科学兴趣

奥斯本·雷诺于1842年8月23日出生在北爱尔兰首府——贝尔法斯特(Belfast)。1884年获得博士学位,1905年退休。1912年2月21日,雷诺在萨默赛特(Somerset)逝世,享年69岁。

雷诺出生后不久便随父母移居到英格兰东南部埃塞克斯(Essex)的小镇戴德姆(Dedham)。他的曾祖父和祖父都是他生活所在地的教区长。其父亲是一所学校的校长和教士,雷诺早期的教育就是父亲承担的。他的父亲不仅对机械制造有浓厚的兴趣,还申请过一些农业机械改造的专利;此外,还具有较强的数学能力,可熟练地运用数学知识来解决机械上的问题。所以,雷诺对机械问题也产生了浓厚的兴趣,同时也较早表现出这方面的天赋。

19岁时,雷诺在升入大学之前先在爱德华·海因斯(Edward Harrison)在斯特拉福(Stratford)开办的一家有名的造船厂里工作过1年。期间积累了一些造船的经验,从中了解到流体动力学的实用性问题。他发现,数学知识是研究机械学必不可少的,因此,决定到剑桥大学学习数学专业的课程。

由于少年雷诺不断实践与学习,大学毕业后的就职十分顺利。1867年,雷诺从剑桥大学皇后学院(Queens' College, Cambridge)毕业,时隔1年,在1868年便当选为曼彻斯特大学欧文学院(Owens College)的教授,成为当时英国第1位工程学教授。这一时期,雷诺还在伦敦土木工程师约翰·劳森(John Lawson)的工作室工作过。

雷诺来到欧文学院之前,他的家庭背景和工作经历使他对大自然中的物理现象产生了浓厚兴趣。把物理知识与生活中遇到的问题结合起来,更符合他致力于解决实际问题的想法。在研究的早期,曼彻斯特大学能够给予雷诺的科研条件非常差,实验室设备十分简陋,这一状况一直持续到1873年,在欧文学院搬到位于牛津路后才有了—定好转。

太阳能与彗星物质是雷诺较早关注的问题。他认为彗星的尾巴、日冕以及极光现象都是电现象^[1],并模拟日冕的形成^[2],以推测太阳对云、电的感应作用是产生雷暴的原因^[3]。

1869年11月,雷诺成为曼彻斯特文学和哲学学会会员。同时,他也积极参与曼彻斯特科学与机械学会(the Manchester Scientific and Mechanical Society)的活动。

在雷诺的研究道路上,著名科学家焦耳(James Prescott Joule)帮助过雷诺,1870年3月,焦耳发表的一篇关于“水射流的稳定性”^[4]的论文引起了雷诺对这一问题的探究。雷诺在他的整个职业生涯中对热传导和热功率有着极大兴趣。1871—1874年,雷诺致力于用科学的方法来研究和解决一些实际问题,其中包括“弹性与断裂”“高压蒸汽的使用”以及“如何将钢的属性应用于建筑材料”等问题。

2 随心所欲的研究时代

19世纪是船舶动力发展的鼎盛时期,雷诺对船舶动力学问题有着浓厚的兴趣,特别是带有螺旋桨轮船的驱动装置。1861年,雷诺在学徒时,就对船舶动力学领域已经有人研究但没有完善理论的项目产生了极大兴趣。然而,当来到大学拥有实验机会后,他对蒸汽机以及螺旋桨制动方式的轮船均进行了解释性以及创新性的研究。通过工作实践,他发现在绘制机械学图纸、进行船舶实验研究时,力学和数学知识起着很大的作用。

在造船厂工作,不可避免地涉及船舶推进和动力学问题。1873—1874年,在雷诺的2篇论文“理论和实验中使螺旋桨蒸汽船引擎加速的原因”(The causes of the racing of the engines of screw steamers investigated theoretically and by experiment)^[5]和“蒸汽锅炉受热面的程度”(On the extent and action of the heating surface of steam boilers)^[6]中,他解释了蒸汽机驱动的内在原因。另外,他还推断出:为了确保螺旋桨能够完全淹没,应该使其直径增大^[5]。

1874年,雷诺还研究过“螺钉和螺旋桨转向之间的关系”,也做过许多实验。这其中有一个具有开创性的实验——蒸汽驱动^[6]。他制作了2个模型,当2个模型即将发生碰撞时,可以通过改变螺

旋桨方向和使用船舵掉头2种方式来应对这种突如其来的过程。也许这个结论现在听起来显而易见,然而在当时,他利用实验证实观点,是一种很大的突破。这个模型得以应用于机动船的海军训练中。雷诺的观点引起了人们的极大关注,英国协会还特意任命了一个委员会,以雷诺为首,收集和审查有关船只转向性能的证据。不难发现,他的蒸汽驱动研究对于社会的生产生活是有意义的。

雷诺认为,每个自然现象背后都有其物理学的本质。在探究大气的声折射(On the refraction of sound by the atmosphere)^[7]的论文中,雷诺认为,大气的声折射是由于不同海拔位置和风速的不同产生的,这会导致声音在逆风时升高而在迎风时下降^[7]。同时,在论文中也对实验的不同效果进行了详细研究和说明。

1875年,雷诺通过实验表明^[8]:形成的雨滴致使大量水汽聚集在表面从而致使对波运动的影响。在1878年,他又对雨滴形成冰雹和雪花的方式进行了研究,并借助实验来验证结论。1881年10月11日,雷诺还在曼彻斯特文学和哲学学会做了一个关于“流动的液滴表面上的水仅依赖于表面的纯度”(On the floating of drops on the surface of water depending only on the purity of the surface)^[9]问题的报告。然而,更值得关注的应该是雷诺敏锐的观察力。从每一项研究中,都能看到他所探究问题的核心。从实验报告及论文中可发现,他的潜心研究都体现着他对于大自然敏锐的观察以及对科学的无限热忱。

3 兴趣的转变

1868年,雷诺凭借在工程学方面深入的研究成为担任工程学教授的第一人,但他并不满足于零散的研究,而是希望自己的研究是完整的、有理可循的。他在气体、流体与颗粒材料方面开展了一系列的猜想与实验。雷诺的这部分工作在当时并没有受到重视,也没有得到广泛的认可。然而,后来人们发现,他的这些基础研究是不可忽视的,同时也为后人对流体动力学的研究打下了很好的基础。

在刚到欧文学院时,雷诺对气态流体动力学的研究也很感兴趣。他发明了一个简单的光度计来表征由热传递产生的、在稀薄气体表面的力。这种力是由于分子间的作用产生的,可以用于解释克鲁克斯光磨(即克鲁克斯辐射计)的原理。他还与同事合作进行光磨实验,得出了“使叶片转动的力不直接源于热辐射”的结论^[10]。

蒸腾的气体也引起了雷诺的注意。之前曾有人使气体穿过毛细管,而他再次应用其通过多孔塞、带孔的薄板以及微小的毛细管来描述气体运动。1879年,他通过自己的实验研究完成了关于“气态物质的某些维度属性”的论文^[11]。论文表明,不仅压力差会造成气流从多孔板一侧流向另一侧,温度的差异也会引发这种现象;而且即使在多孔板两侧压力相同的情况下,温度差异同样能够引发此现象。他将这种现象命名为“热蒸腾”。

雷诺还进行了各种关于气体压力的实验来验证自己的想法。虽然麦克斯韦(James Clerk Maxwell)等一些科学家并不认同雷诺的观点,但雷诺自己的研究证明了自己的观点^[12]。在他的描述和解释之中介绍了气体浓度大小是与其通过多孔介质的多少或者光磨中叶片大小有关的。在雷诺描述和解释自身观点之后,他最终证实了气体的尺寸特性。他曾在文中写道:“某些运动正在这里进行着,改变着什么。虽然它们并未被我们发现,但却是真实运作着的。由此我们可以大胆假设气体的变化在人类生活中扮演着重要的角色^[12]。”雷诺对于气体蒸腾的理论研究对之后提出的热蒸腾动力学理论起到了十分重要的奠基作用。

雷诺认为,热动力学真正的困难在于:它涉及一个事物或实体可以识别和衡量其影响,又是这样一种性质,我们不能感知它的运作模式^[13]。但即使如此,他还使用一个简单的机械装置来证明将热转化为功的问题。这表明,他并不是一味地把多个方程或数学符号堆积起来,而是把理论和实验结合起来。通过对科学的不断探索,他发现探究物理问题已经不再仅凭着简单的兴趣,他更希望通过自己的研究来解决各种实际问题,而这使他之后采用力学与工程学相结合的方式进行研究。

雷诺对于流体动力润滑的研究是刺激机械工程学会进行摩擦研究的一个重要原因。雷诺在自己的研究中表明轴承之间的油阻问题是可能发生的,由此产生的压力上升使其足以支撑轴。他发现轴和轴承之间这层油膜的维护正是基于流体力学上的解释,转轴的中心偏离轴承的中心,便能够使油膜变厚从而达到保护油膜的目的。

通过观察,雷诺在特定的温度下通过黏度的变化观测到了压力的数据。因此他发表了一篇关于润滑理论研究的论文^[14],指出已知润滑油的作用是减少固体表面之间或其他黏性流体之间的摩擦和磨损。这其中的物理行为和物理解释在雷诺之前还一直没有人提出过。这种方法一直缺乏物理定律的说明,因此要通过实验来揭示。

在雷诺的这篇论文中,他以力学为基础,观察生活中频繁出现却被人们忽视的没有物理解释的润滑问题。最终雷诺发现:事实上,少许润滑油就能够使得如果两物体之间表面存在压力就无法保持二者相对静止状态的现象,这无疑会使人们对表面压力等问题的研究变得迷茫。然而尽管现在才明白润滑产生的影响,但自动润滑系统在通过往复间歇压力的方式使机械系统表面之间分离的应用上还是有利的。这在某些机械上的运用很重要,如蒸汽机。

从雷诺有关润滑问题的研究中不难发现,他运用物理知识来解决生产生活中的实际问题,而后再将物理知识进行梳理和解释,又将其熟练而灵活地重新加工运用到生产生活当中,从而产生了更为有利于人类发展的效果,这便是雷诺最擅长也最与众不同的地方。

4 学科间结合的研究

1880年,雷诺利用课余时间修得剑桥大学文学硕士学位,并于1882年成为剑桥皇后学院名誉研究员。1883年,他加入土木工程师学会,从而利用学会的资源继续对工程学进行更加深入和专业的研究。同时他没有放弃自己的学业,又在1884年获得博士学位。期间,他从对液体的研究延伸到

了对流体的研究。在他研究的鼎盛时期,雷诺通过颗粒介质的特性引发了对液体性质的思考,又由液体引申到对流体力学的研究,从而在流体动力学上做出了极大的贡献。

颗粒排列形成多孔介质,流体可以在其内部形成的通道中运动。自然界及人类社会的生产、生活中涉及到了大量的多孔介质材料,如土壤、岩石、植物的茎与叶等。对颗粒介质的研究也同样是科学家们通过观察自然界的事物来进行的。流体通过多孔介质的流动是自然界中广泛存在的现象,流体沿着多孔介质的孔隙或者裂隙的流动成为渗流。这类问题的研究始于法国人亨利·达西(Henry Darcy),在1856年,他经过长期实验总结出了水在砂土颗粒的间隙流动的规律,即著名的达西定律。达西定律的提出奠定了渗流计算理论的基础,渗流力学开始进入鼎盛的发展时期。雷诺对于颗粒介质的特性及渗流理论进行了实验总结,为后人进行理论推导奠定了坚实的基础。

1885年,雷诺在阿伯丁(Aberdeen)召开的英国协会(the British Association)会议上第1次正式把这种介质的属性命名为“膨胀性”^[15]。所谓“膨胀性”,就是通过大量的颗粒材料中的颗粒排列变化一致改变其体积所拥有的特性。他用图2所示的2个以不同方式堆起的许多小球来演示:左边以立方体形式堆起的小球所占体积远远大于用相同数量和大小、以右侧方式堆起的小球。

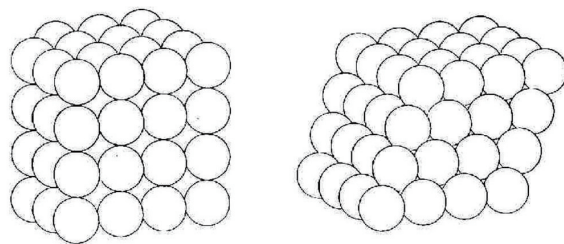


图2 立体堆积小球

雷诺继续用更典型但却简单的方式说明这个问题^[15]:如果用一个有着玻璃瓶颈的橡胶瓶子装满水,橡胶瓶将会收缩,水会被逼迫到瓶颈。但是,如果在瓶子里装满粒状材料和水,由于橡胶瓶的压缩会作用在每一个点上,粒状物质会把水从瓶颈压迫

到瓶内,因为这些小的硬颗粒会起到吸收、排列的作用,使得瓶内的空隙增加了。用雷诺自己的话说:“这种看似矛盾的问题,其实全部归结于对于‘膨胀性’这个性质的理解,而并非是什么有魔法的、神奇的事情”^[15]。最初,这些理论鲜为人知,因为雷诺的这些理论一度被认为只是一些支离破碎的“异想天开”。但雷诺通过多次的观察、研究和实验,终于在1886年写出“对由刚性粒子在接触媒体的扩容”^[15]——终被大家了解和认可。

随着社会的发展,船舶动力机械的发展也跟进得很快,特别是泵和涡轮机。而在雷诺眼里,它们仍然需要以他自己的方式进行不断改进与更新。在创新和发明的问题上,雷诺并不看重经济利益,虽然他拥有很多项关于涡轮泵和离心泵的改进专利,但那并不是他的目标。在雷诺的不断努力下,第1个“涡轮泵”成功地安装在了他的实验室,这就是泵和涡轮机的原型。

早在16世纪,流体力学有了较为突出的进步。意大利力学家伽利略(Galileo Galilei)在流体静力学中应用了虚位移原理,并提出了运动物体的阻力随着流体介质密度的增大和速度的提高而增大。17世纪中期,布莱斯·帕斯卡(Blaise Pascal, 1623—1662)建立了在封闭的流体中压力是均衡的、不受减损的、向各个方向传输的理论。丹尼尔·伯努利(Daniel Bernoulli, 1700—1782)发展了流动液体中的能量传输理论。人们经过近一个世纪对流体力学的不断研究和发展,终于在18世纪由拉格朗日(Joseph-Louis Lagrange, 1736—1813)提出了新的流体动力学微分方程,使流体动力学的解析方法有了进一步发展。他严格地论证了速度势的存在,并提出了流函数的概念,为应用复变函数解析流体定常的和非定常的平面无旋运动开辟了道路。流体理论是建立在这些工作的基础上,并且,纳维推导出了含有摩擦的流体运动数学方程。同时,在19世纪早期,斯托克斯独立发现了与纳维相同的数学方程,并深化了纳维的研究。斯托克斯的学生兰姆(Horace Lamb)也做了进一步的总结。

雷诺的许多研究都与流体有关。人们发现,在流态转变时求出的临界雷诺数可以描述湍流的性

质。首先雷诺对流体力学的基础知识——波运动和涡旋运动进行了研究。涡旋运动是了解湍流和流体运动的一个基础理论。雷诺运用当时的技术手段,借助绘制彩色带以描述其运动。通过这种方式,他对涡旋运动进行特定参考:考虑斜波后的涡旋线,斜盘后的涡环,以及水滴滴落和“喷射”而造成的涡环。

1883年,雷诺发表了他最著名的、题为“一项关于决定运动的水应该按照平行通道阻力定律以直接的方式还是弯曲的方式通过某一环境的研究”(An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels)^[16]的论文发表在《英国皇家学会学报》(Proceedings of the Royal Society of London)上,这是一篇经典的流体力学文献,同时也是流体力学发展的一个重要里程碑。在这篇论文中雷诺引入了无量纲雷诺数,研究了从层流到湍流的临界雷诺数,对流体力学发展产生了深远的影响。在这篇论文中,雷诺首先通过对真实液体运动主要特征及其之间的联系进行研究,引发对黏性液体运动的思考。继而通过运动方程的计算以及观察实验的结果,求出临界速度,得到阻力的结论,发现了在整个运动中阻抗完全对应速度比的规律。

雷诺的发现似乎是由于他观察到的这样一个现象:随着温度的升高,水涡流的趋势就越来越大。他想到这可能是一个众所周知的事实,随着温度的升高,水的黏度就逐渐减弱,而就是这种物理特性——运动黏度,使自然界中大部分物质包括流体可用距离和速度描述其物理特性。此时,他开始考虑建立一个运动方程,其中包含两种特性——惯性和黏性,它们的比率与无量纲组相联系得到 $\frac{DU_m}{\nu}$,其中 U_m 是涡流的平均速度, D 是管道直径, ν 是运动黏性。当时他在论文中提到:“这就是我曾经寻找的那个准确的类型、精准的关系。当然没有积分方程而是仅仅给出了这样一个关系就判定了这个问题似乎并不合理。但是,我敢确定,如果漩涡真的是由于一个特别的原因,那么我所做的, $\frac{DU_m}{\nu}$ 这个

公式必定具有其价值!”^[16]

这其中涉及一个非常著名的实验,即用玻璃管制造了一个彩色的“乐队”。该实验装置四面是玻璃储水箱(图3),长1.83 m,高0.46 m和宽0.46 m。装置里面是一个敞口玻璃管,木质的表面和玻璃管是相连的。右侧的玻璃管连接着一个装有阀门可用长杆控制的铁管,而左侧是一个小号。当浮盘到达一定水位时,水就会从玻璃管中排出。由于实验设备十分简陋,各方面条件都具备时也只能稳定几个小时,因此所有的实验环节都要小心翼翼。但还是可以从这个实验中观察到各个波段美丽的条纹。当更进一步开启阀门增加流量时,颜料会混着水填充到玻璃管的其余部分,管中颜料的分解就会显现出旋涡。

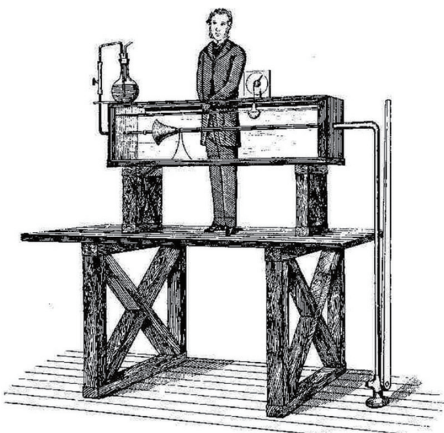


图3 雷诺数实验装置

实验结束后,雷诺又改变玻璃管的直径与温度从而测量旋涡的临界速度。大约有13000多次实验数据都十分接近,他得到一个近似值,然后便开始由涡流转变成非湍流从而寻找临界条件,并称之为“下限”。然而要做到这一点,就必须要让水在主管道中处于一个受到干扰的状态,然后通过一节管子仔细测量在距离出口超过1.52 m处的压降。

雷诺通过对实验现象的观察得出实验数据并进行计算,发现在较低的速度下,压力与速度成正比,而临界速度又可借助泊肃叶(Poiseuille)公式计算出。最引人注目的是:不仅在达到临界速度这一时刻,也贯穿在整个运动过程中,阻力定律精确地

与 $\frac{\mu}{\rho c}$ 一致,其中 μ 为流体的黏度系数, ρ 为液体密度, c 为常数。

为了消除干扰,后来雷诺又用不同直径的管子在不同温度下进行测试,用类似的计算方法得出它们的流速都是相等的。这就暗示着雷诺数的临界值是相同的。用现代人对临界雷诺数的理解来讲:由层流转变为湍流的过程,不仅与流速 v 有关,而且还与流体密度 ρ 、黏滞系数 η 和物体的某一特征长度 l 有关。他综合以上各方面的因素,引入一个无量纲的量 $\frac{rvl}{\eta}$,即后人以他的名字命名的“雷诺数”。流速越大,流过物体表面距离愈长;密度愈大,层流边界层便愈容易变成湍流边界层。相反,黏性越大,流动起来便愈稳定,愈不容易变成湍流边界层。流体由层流向湍流过渡时转变点的雷诺数,叫做临界雷诺数,记作 Re 。这是流体力学中一次飞跃,雷诺数已经不只是一个数值,可看成是当时最具有纪念价值的符号。然而雷诺并不满足,他还要研究对于给定的表面粗糙度条件下,摩擦系数与雷诺数的关系。

1884年,雷诺便因为在论文中求得雷诺数而获得了英国科学家瑞利勋爵的夸赞^[13]。他把雷诺和当时名声大噪的斯托克斯并列,并且赞扬雷诺这种跨领域的研究精神。斯托克斯(时任皇家学会主席)也特别提到了雷诺,对他的数学和物理研究给予了肯定。为了奖励雷诺对力学和工程学作出的贡献,1888年颁发给雷诺皇家奖章,这在当时是至高无上的荣誉。

雷诺另一个广为人知的成就是对湍流的研究,他经过了11年才在湍流中有所突破,这个研究的成果就是雷诺关于“对黏性流体动力学理论和标准的确定”^[17]的论文。这是湍流研究的一个重要成就。雷诺通过更加严格的数学分析、定义,发现摩尔运动和热运动之间区别的分析方法是成立的;对这种分析方法的应用,是区分平均摩尔运动和相对摩尔运动是在稳态平均的情况下(湍流)沿管道流动的基础。

雷诺确定自己在1883年给出的雷诺数,并通

过实验得出“下限”值,他解释说,“这些实验结果完全去除先前注意到的差异,在这些情况下,无论是什么原因,实验结果不符合于方程的奇异解,水的实际运动是不同的。但这只是一部分的解释,因为仍然有机械或物理上的解释^[17]。”因此,他希望做出一个标准的方程,可以结合空间运动的方程。他认为空间中的量可能会有几何限制,并不取决于这些量的物理意义,而与数学是密切相关的。

显而易见,雷诺的理论便是现代湍流研究的基础。他将其应用到生产生活中时,希望能够更加接近工业应用情况。

1887年,雷诺向曼彻斯特协会提交了自己关于“有关河流河口的一定规律,以及对其进行小规模实验的可能性”^[18]的论文。这篇论文的实验模型有着平缓的河床和垂直的边缘,从而在涨潮时可以表现出河口的形状。潮汐会从模型朝向一边的如铰链托盘的地方产生,这让雷诺注意到准确模拟出潮汐现象只能持续大约40 s。由此可以预见,波动理论与速度的平方根和波高的尺度变化有关。在模型中则可以认为通道中速度的平方即可作为垂直尺度的平方根,与周期的比值即为水平尺度除以这个速度。这是一个重大的进展,开辟了用于模拟流动的河流和河口的巨大可能性。

雷诺在机械动力学和材料力学的研究成果还有弹性和断裂性能、应力集中、惯性力和应力、摩擦、皮带打滑、滚动摩擦、振动测量、重复荷载作用下材料的疲劳等方面。

雷诺在鼎盛时期过后也没有因为取得的成绩而自满,在1905年退休之前,他依旧沉浸在工程学与力学世界中。他相继开展了一系列小的研究,如气穴现象研究。

雷诺对科学产生的兴趣源于父亲和祖父,他想要追求自己感兴趣的问题,却全然不理睬当时科学发展所需要的到底是什么。在雷诺生活的年代,人们并不认为科学能带动社会的发展,在观察生活时,能思考生活中问题的原因并深入研究的人更是少之又少。然而,雷诺却喜欢观察生活,思考科学问题。许多问题之所以被人们所理解正是因为这些问题都发生在人们身边,只不过在雷诺进行研

究之前,人们没有发现并思考,又或者是没有理论基础来辅助人们研究。为纪念他在力学研究中的重要贡献,1969年在英国曼彻斯特举行了奥斯本·雷诺百年研讨会^[13],以纪念雷诺把一生都奉献给了科学事业。奥斯本·雷诺就是这样一个不折不扣的将力学与工程学相结合的先驱者。

参考文献(References)

- [1] Osborne R. The tails of comets, the solar corona, and the aurora, considered as electrical phenomena[M]. Manchester: Manchester Literary and Philosophical Society, 1870: 71.
- [2] Osborne R. On an electrical corona resembling the solar corona[M]. Manchester: Manchester Literary and Philosophical Society, 1870: 72.
- [3] Osborne R. On the electrical properties of clouds and the phenomena of thunder storms[M]. Manchester: Manchester Literary and Philosophical Society, 1870: 73.
- [4] James P J. The stability of a ball above a jet of water[M]. Manchester: Manchester Literary and Philosophical Society, 1870: 3.
- [5] Osborne R. The causes of the racing of the engines of screw steamers investigated theoretically and by experiment[M]. Manchester: Institution of Naval Architects, 1873: 1.
- [6] Osborn R. On the extent and action of the heating surface of steam boilers[M]. Manchester: Manchester Literary and Philosophical Society, 1874: 5.
- [7] Osborne R. On the refraction of sound by the atmosphere [M]. London: Royal Society, 1873-1874: 531-548.
- [8] Osborne R. On the action of rain to calm the sea[M]. Manchester: Manchester Literary and Philosophical Society, 1874: 5.
- [9] Osborne R. On the formation of hailstones, raindrops, and snowflakes[M]. Manchester: Manchester Literary and Philosophical Society, 1877: 78.
- [10] Osborne R. On the forces caused the communication of heat between a surface and a gas; and on a new photometer[M]. London: Royal Society, 1876: 725-735.
- [11] Osborne R. On certain dimensional properties of matter in the gaseous state[M]. London: Royal Society, 1879: 1.
- [12] Osborne R. Note on thermal transpiration (In a letter to Professor Stokes, Sec. R.S. Communicated by Professor

- G.G. Stokes.)[M]. London: Royal Society, 1880: 220.
- [13] Jackson J D. Osborne Reynolds Scientist, Engineer and Pioneer[M]. London: The Royal Society, 1995: 49–86.
- [14] Osborne R. On the theory of lubrication and its application to Mr. Beauchamp Tower's experiments, including an experimental determination of the viscosity of olive oil[M]. London: Royal Society, 1895: 191–203.
- [15] Osborne R. On the dilatancy of media composed of rigid particles in contact. With experimental illustrations[J]. Philosophical Magazine, 1885, 12(1): 191–203.
- [16] Osborne R. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels[M]. London: Royal Society, 1883: 935–982.
- [17] Osborne R. On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion[M]. London: Royal Society, 1895: 123–164.
- [18] Osborne R. On certain laws relating to the regime of rivers and estuaries, and on the possibility of experiments on a small scale[R]. London: British Association Report, 1887.

Osborne Reynolds: An excellent practitioner of combining mechanics and engineering

DONG Xin, BAI Xin*

College of Elementary Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China

Abstract Osborn Reynolds(1842–1912), a British Irish scientist of mechanics, made outstanding contributions to mechanics and engineering throughout his life. This paper reviews Osborne Reynolds' s life, academic experience, and contributions to mechanics and engineering, and it is shown that many of his research results were inconspicuous at the time, but were , years later, found to be very important and provided an important basis in related fields.

Keywords Osborn Reynolds; mechanics and engineering; hydrodynamics; Reynolds coefficient ●



(责任编辑 王丽娜)