

真正是新技术。

参 考 文 献

- [1] Проект развития исследований в области новой энергетики. Пер. с япон. 76/56070 ГПНТБ СССР; В. Douglas. Gas from coal. — «Textile World», 1976, N. 10.
- [2] Г. Н. Кружилин, Г. Н. Худяков. Плазменная газификация углей. Тезисы докл. II Всесоюз. совещ. по плазмохимической технологии и аппаратуро-строению, т. 1. М., 1977, с. 234.
- [3] А. П. Александров. Перспективы энергетики. — «Известия», 1979, 10 апреля.
- [4] А. Я. Аврух. Проблемы себестоимости электрической и тепловой энергии. М., «Энергия», 1966, с. 157.
- [5] R. G. Schwieger. Burning tomorrows fuels. — «Power», 1979, vol. 123, N. 2.
- 译自: Кружилин, Г. Н. (1980), Плазменная газификация углей, Вест. АН СССР, 12: 69—79. (周力行译)

我的早期空气动力学研究

——一些思想和回忆

Max M. Munk

I. 与普朗特相处的日子

很久以前,在航空事业的初期,上帝给了我对于空气动力学作出重大贡献的机会。回忆起这些总使我感到快乐。我的论文出版了,其结果在所有国家中都得到了应用。但是,我所发明并交付美国使用的变密度风洞,却用来作了很多在第二次世界大战中一直保密并从军事上加强了美国的实验。

从工程系一毕业,我便与路德维希·普朗特(Ludwig Prandtl)一起工作。我找到了德国仅有的一个十分简陋,非流线型的低功率风洞。因为我们是从无知开始的,所以仍然从中学到了相当多的东西。认识了机翼截面的必要性能。完成了两项研究。把正好是平板或圆弧形机翼截面的翼型模型放到空气流中去测量,画出了空气作用力随攻角的变化。当时希望试验会促成某些新思想的提出。但因未提出任何具体的问题,所以风洞也就没有给出什么回答。没有进行有目的的思考,因此也就无法学到什么新的东西。

另一项研究的情况则正相反。仔细地计算了具有适于产生理想流动的子午线的纺锤

形模型。要向风洞发问，实际的压力分布是否十分接近按理想流体算得的结果？研究理想流体运动是否对实际的空气动力学有帮助？风洞大声地回答说道：对，十分接近，是有帮助的！这是普朗特的一个非常伟大的成就，也是一个他没有得到足够荣誉的成就。

这项研究以无比的勤奋和巧妙的技能进行着。很可惜，在这项工作完成以后，负责该工作的年轻人却应征入伍了。第一次世界大战正全面展开，这位前程远大的年轻人在战争中丧了命。他的名字叫福尔曼（Fuhrmann）。

普朗特并非在任何一个领域中都是非常出众的，但他却在相当多的领域中享有盛名，他比许多数学家更懂得数学。他是一个非常好的物理学家兼工程师，尤其是他的人格特别高尚。他对待年轻同事和对每个人的无私和友好使他赢得了十分应得的声望。

在以后的岁月里，我有时也遇到过另一个因为对早期航空事业有贡献而著称的人。奥维尔·赖特（Orville Wright）在许多方面与普朗特相反。他自己承认，他仅仅是一个单纯的机械师。但他与普朗特同样具有伟大高尚的品性。他热爱他的祖国，并有力量宽恕那些冒犯过自己的人。

普朗特每天都与他的年轻同事们共进午餐。他给我们讲了许多东西。有一天，他告诉我们，鲑鱼只能在海水中吃东西。在游向上游高山地区的漫长旅途中，它们必须用自己的脂肪作为燃料。由此可估算出它们在水中的阻力，并得出阻力非常小的结论。数年以后，我回想起这些，希望核对一下，便写信给美国农业部，向他们询问鲑鱼是否可以在淡水中吃东西。许多星期以后，得到了答复，我得知询问已送交给他们的水生动物学家。又过了好几个星期，回答来了。水生动物学家告诉我他不知道。这位水生动物学家可既不象路德维希·普朗特又不象奥维尔·赖特呵！

II. 空气动力学研究

我在格廷根的全部工作都由德国军队以秘密报告出版，因为那是第一次世界大战期间。尽管如此，报告问世后的一个星期，它们便在英国翻译了出来，并在英国和美国分发。第一个试验是关于支柱的，它们是联接双翼飞机上下机翼的抗压构件。实验的目的是确定流线化是否真有什么好处，因为这是有争议的。我使用加大的模型来增加雷诺数。第一批飞机全是双翼飞机。当时相信需要极薄的机翼。这点甚至使得Parseval软式飞艇的螺旋桨叶片都只好是靠离心力来绷紧的蒙皮结构。没有支柱就不能使薄翼有足够的刚性和强度，因此桁梁是由用支柱和大量缆绳联接的一对机翼形成的。这些支柱和缆绳的阻力相当大。

那个简陋的低功率小风洞，证明了较厚的机翼远非人们所设想的那样应受到反对。因此，这些试验导致了飞机设计中革命性的一步。具有悬臂梁形式机翼的单翼飞机出现了。较厚的机翼同样具有较大的最大升力系数，因而，可用较小的面积要求来弥补稍大的阻力。翼截面的研究持续活跃了许多年。毕竟，机翼是飞机最重要的部分，而发动机则次之。起初飞机发动机是用水冷却的。

正当这一试验进行中，我听到了不少有关边界层的事。许多人认为边界层的发现是普朗特的最大成就。没有摩擦的理想流体的运动遵循线性偏微分方程，其解可以计算出来。粘性使微分方程成为非线性的，因而使它们不可能求解。空气的粘性很小，普朗特用抽象而生动的思考考虑了这个问题，而不是罗列数学符号。他想到，当粘性变得越来

越小时，除了在非常靠近浸没在流体中的物体表面处的区域外，粘性的影响一定越来越不明显。于是，表面上的压力分布可以计算出来，就象空气是无粘性似的。而在薄薄边界层内的流动，由于边界层很薄，同时压力分布已知，所以也可以计算出来。这是正确、抽象而有目的的思考的美妙结果，它也是普朗特思想清晰的一个例子。但它行不通。粘性空气定常流动的解当然是定常的，但实际流动甚至在薄薄的边界层内也不是定常的。它们是湍流，层流定常流动是不稳定的。湍流边界层理论依赖于实验数据。普朗特求解了微分方程，但却不是问题本身。

这样我们就碰到了湍流，它是粘性的结果。这听起来好象是矛盾的，而且确实是个矛盾。粘性把湍流平滑掉，使流动有成为层流的趋势，这时动能转化成熟。粘性怎么能引起湍流呢？它确实不能。而是表面摩擦形成了湍流。边界层愈薄，垂直于表面的速度梯度也愈大。扰动着的空气微团已不难开始移动，从运动着的表面（而不是从粘性）获得能量。空气微团则把能量带给流体，使事情变得更坏，一直到粘性的抹平作用把湍流度的增加抵消为止。

这幅图画指出了层流摩擦与湍流摩擦之间的根本差异。层流表面摩擦均匀地分布在表面上。湍流摩擦则不是这样，它在很小的尺度上显然是不均匀的，并在每点处迅速地从局部摩擦的极大值变到可能是局部负摩擦。这应该使我们去思索：表面的弹性几乎不可能与层流表面摩擦有什么关系。但后者可能与湍流表面摩擦非常不同。有一些报告说，蜂鸟的空气阻力小得惊人。关于这点鸟类学家可能会知道得更多。但鸟类松软的羽毛不可能与此无关。这应该调查研究。不过可能得到的结果不大可能有什么技术应用。但真正的研究是由好奇心所驱使，而不是技术应用所导致的。近代历史表明，首先是好奇心，仅在后来才是技术应用，有时是最最预料不到的应用。

仅次于边界层的话题，是不少关于轻于空气和重于空气的谈论以及二者之中谁会胜利的谈论。这些术语现在几乎被遗忘了。当前这一代人不能理解这个问题。但是却经历了许多年才认识到飞机的可能性。那时飞机很慢，很小，机舱是敞开的。数学上曾证明，较大的飞机永远造不出来。齐柏林飞艇曾高翔于英国上空。那时没有高射炮。飞机现在已大得足够容纳300名旅客，飞艇却消失了。飞艇永远飞不快，也不能经济地达到很高的高度，它们不能经济地飞越落矶山脉。我甚至很久没见到软式小飞艇了。但时代在变化，我们也将随之而变。现在还不能肯定飞艇永远失败了。现在我们有了更好的材料，框架可以用高级钢做得更大一些。飞艇有一个优点，这个优点适应当前的需要，即可以运输重物而所需能量非常小。飞艇只要一些小的发动机，不需要使飞艇停留在空中的动力。并且飞艇越大，在对动力的要求这方面来说优点也越大。对飞艇的最后结论也许还没有下呢！

Ⅲ. 机翼理论

我对词汇、它们的词源和原始意义的兴趣极大。我花费在研究词汇上的时间远比研究数学多。数学是内在的，但词汇必须去寻找。我对词汇的兴趣是在必须选择新的名称而自然形成的。螺旋桨推力中有一部分是用来把空气推向下方以支持飞机在空中飞行，我是第一个碰巧要计算这部分推力的人。我为选用最好的名称而作了长期的思索。“诱导阻力”是最恰当的选择。这个名称现在已为国际上采用，并且载入了词典。这个名称

即使在我离开了人间，我的名字被遗忘了很长时间以后，仍将继续使用。

我关于诱导阻力的主要论文仍然处于普朗特的涡旋理论的魔力影响之下。普朗特说的每一件事都对，但这并非正确的方法。我的论文充满了笨拙的数学，因为我必须去积分靠微分永远得不到的东西。我的简单结果招致了涡旋理论的结束。不过我考虑的是与飞行方向成直角的垂直平面内的二维流动图象。在这种情况下，翼型的表现附加质量立即给出了答案。我的飞艇公式现已用于导弹，得到这个公式几乎没有用到什么数学。技术上的成功需要的是积分，而不是微分。

我的唯一需要大量数学的论文，是机翼截面理论的论文。它的历史十分有趣。第一篇数学的翼截面论文是库塔(Kutta)做的。他算出了作用在翼截面为平板或圆弧的翼型上的力。他的那些结果其实很重要，但在当时没有得到人们的理解，因此他没有得到他应得的荣誉。他的方法是采用复数平面上的保角变换，把理想流体绕圆形物体的二维理论流动变换为理想流体绕翼型的流动。儒可夫斯基(Н.Е. Жуковский)想到用一个不大的变化来改进这个方法，所以他的翼型形状类似于真实的机翼截面。但他却被人们大大地误解了。他的翼截面并不是实际机翼截面，因为尾缘都太薄了。他的成功仅仅是艺术上的。然而他却激励冯·卡门(Von Kármán)去得到了把圆变换成具有较厚尾缘翼截面的保角变换。冯·卡门的论文需要大量的数学，在技术上却是无用的。我不相信除了作者本人之外还有谁曾经阅读过这篇论文。

尽管如此，这却促使我思考。我想到，如果我们使翼截面来适合于数学，这永远不能使我们到达任何地方。相反，我们必须从翼截面出发，从技术上有一价值的任一翼截面出发，使数学适合于翼截面。我放弃了保角变换，而依靠分别对翼截面每一部分的动力作用进行理解。我用数学把这些写了下来，并且进行积分，发现所得零升力攻角的积分和所谓气动力中心(也是由我命名的)的积分都非常有用，并且结果惊人地准确。

这就是我唯一的一篇被发现进入了数学文献的论文。我的翼截面论文为巴特曼(Bateman)在他那本优秀的偏微分方程论著中讨论过。他正确地指出，我不是通过改变边界的形状，而是改变边界条件而得到了形状的影响的。在同一节中，巴特曼还说明了数学家们也象所有我们这些人一样犯了许多错误。他希望加进他自己的一些东西，便计算了二维翼截面的流体阻力。但在理想流体和二维流动中这个阻力是零。那末能量到哪里去了？巴特曼忘掉了平行于翼弦的力的分量。

IV. 费玛(Fermat)最后定理

进行数学前沿的研究工作，比起使用已成熟的数学来要困难得多。这需要更多的好奇心、勤奋和有目的的思考。我深信，一般地说，研究者的气质也与此大有关系。心纯则明。用拉丁语中*mundus corde*来描述它更好些。纯是火的精灵。但*munus*是有秩序的，有秩序就是世界。

我通过讨论一个小的定理来说明这一点。三百年来，这个定理的证明一直在折腾着数学界的同行们。定理毫无实际应用，这就足以说明它的地位了。

费玛死后留下一条备忘录，上面写着，如下方程不能为整数所满足：

$$a^p + b^p = c^p, \quad p > 2$$

他还说，其证明是妙不可言的。自此以后，人们一直在使劲寻求这个证明，但却一无所获。沃叶斯登·奥雷（Oystein Ore）在他的一本优秀论著中说，证明将永远找不到。仅在几年前，密歇尔·S·麦霍涅（Michael S. Mahoney）走得更远。使数学界大吃一惊的是，他竟宣布：证明并不存在，费玛最后定理从根本上来说是无根据的。

寓言中的狐狸都没有走得这样远，它只是说葡萄是酸的，但并不否认它们的存在。因为费玛最后定理是排它性的，而不是预测性的，所以它必然是与幂和根有关系的另一个排它性定理的结果。说到整数的幂和根想不出什么定理，但关于分数却能想起，一个形如

$$a + (b/q)^p$$

的完全幂必然有一个形如

$$c + (b/q)$$

的根，只要 $q-1$ 不为 p 所整除。所有不是 b/q 形式的分数根是除外的，这儿 p 是素数，且 $p > 2$ ，分数可以是正的，也可以是负的。

由此可知，这种排它性也与表示所研究的十进分数的周期有关，而与周期序列在小数点之后出现还是小数点之前出现无关。

这种周期序列的根开方却并不导致上述定理。我们必须有两个不同的序列，而且它们必须紧密相关。考虑两个数 z 和 u 的尾数，其中

$$x = kp^s + a, y = x^p, z = x^p/q, u = z^p$$

这里 s 是一个非常大的数， p 是一个奇素数，用作数底和指数。 z 和 u 的尾数每个都是一对由小数点所分开的数字周期序列。单根定理适用于两个十进分数，也适用于小数点左边的两个序列。属于 u 的尾数序列的两个分数可以都是完全幂，但却并非同时对同一个数 z 是完全幂。它们的差为 $(a/q)^p$ ，而 z 的差为 q/p 。这就是适合于 u 的尾数的费玛定理。为什么两个分数并非同时是完全幂？那是因为单根定理会把 z 排除在 $u = z^p$ 的根之外。

更加详细地对这个论证进行考究并不属于本文的内容。但它却证实了推理的完整无缺，证实了证明是无懈可击的。证明确实妙不可言，多么简洁，多么直截了当，主要是靠算术！这必然是费玛所提到的妙不可言的证明，证明清晰，令人信服，又是一目了然的。这对他，对我，对许多其他人来说都是如此。当然，对那些不感兴趣的人来说，或对那些没有欣赏抽象数学关系之美的禀赋的人来说，定理必然是无根据的。

现在够清楚了。基础研究需要稀罕的思想，需要杰出的思想家。让我们希望这些思想家在我们周围总是很多很多的，并且他们将有机会用他们的思想去为我们国家的利益服务。

参 考 文 献

- Bateman, H. 1944 Partial Differential Equations. New York, Dover
- Mahoney, M. S. 1972 Fermat's mathematics: Proofs and conjectures. Science 178:30
- Munk, M. M. 1977. Congruence Surds and Fermat's Last Theorem. New York, Vantage
- Ore, O. 1946. Number Theory and Its History. New York, McGraw-Hill
- 译自: Munk, Max M. (1981), My early aerodynamic research—thoughts and memories, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **13**: 1—17.
(赵国英 王 复译 卞荫贵校)

湍流模型展望¹⁾

大 路 通 雄

1. 引 言

格廷根、剑桥、帕萨迪纳等等在航空史上留下光辉名字的城市, 不愧为湍流研究的发源地。从那时起, 飞机与湍流一直被认为是“青梅竹马”的关系。关于湍流现象的原理和应用的重要性, 以及研究中的困难, 本刊要很好进行讨论。虽然是很繁杂的事, 无奈它与飞机休戚相关, 甚至在征服宇宙的今天, 湍流问题依然存在。关于湍流问题, 常发生既不是这样的, 也不是那样的之类的漫无边际的争论。悲观论者主张“湍流问题无法描述”, 要强的人则预言“再加一把劲湍流问题也会被征服”。我的看法则是, 实际情况是介于二者之间。究竟更接近哪一方, 其出入这里就不阐述了。几年前, Bradshaw [1] 研究了边界层的雷诺应力, 他推断, 为了克服该应力, 航空界一年间要耗费喷气发动机燃料数千万吨。当然, 不仅航空领域, 象能源问题、环境问题、灾害科学等等, 不论在哪个方面, 想避开湍流都是不可能的。这已成为常识。从必须定量计算实际湍流效应的迫切性来看, 虽然所谓“湍流究竟是什么”这种根本问题的讨论已过时, 但是本着现今获得的知识和计算能力, 能否迅速正确地回答所定的要求, 这是一项需要切实研

1) 日本航空宇宙学会空气力学部门委员会于1979年4月主办了该学会的第10届年会, 宣读了以“湍流模型及其应用”为总题目的9篇论文, 并在日本航空宇宙学会志第28卷313期(1980年2月)上以特集形式登载出来。其中第一篇论文《湍流模型展望》阐述了关于湍流模型的全面展望和物理考察。其余论文分别介绍了湍流边界层问题的各种解法及应用。整个特集的内容立足于实用的分析。当分析结果与实验数据不一致时, 则围绕若如何修正湍流模型为好这一课题的研究进行讨论。——译者