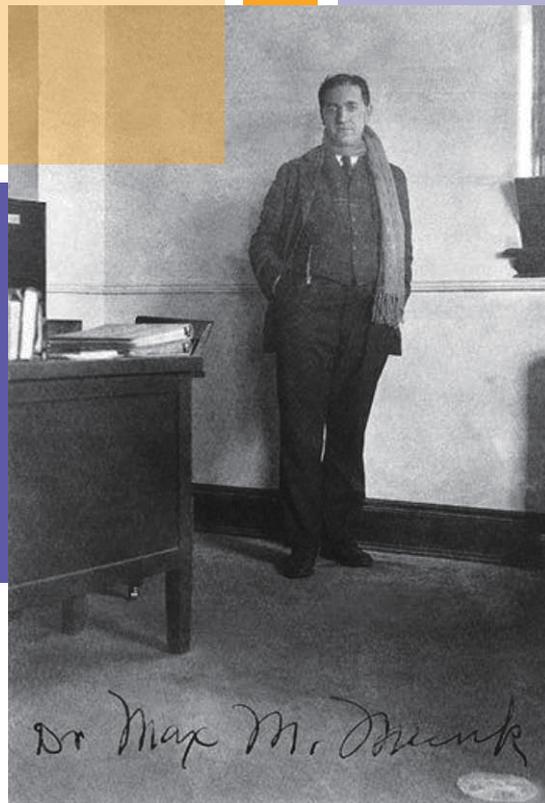


气动先驱到数学民科

悲剧人物芒克

蒋 迅



马克斯·芒克在兰利办公室（1926年）

1. 引言

有这样一个男人，他不是哥廷根大学的学生，但他是哥廷根大学的物理学博士，而且他在同一年从哥廷根大学和位于德国汉诺威的皇家理工高校（Königliche Technische Hochschule）¹分别获得物理学和工程学两个博士；他的哥廷根导师是大名鼎鼎的空气动力学鼻祖普朗特（Ludwig Prandtl），而他的

哥廷根论文包括了后来被公认的普朗特机翼理论基础；他提出了诱导阻力（induced drag）的概念；他领导设计制造了世界第一个可变密度的风洞，这使得美国国家航空咨询委员会（NACA，即NASA的前身）在机翼设计方面跃居世界领先地位。但是无论从什么角度看他都是一个悲剧人物：这位颇有成就的空气动力学专家不但丢了NACA的工作，还成了一个搞费马大定理的民科。究其原因，这里有他本人的性格问题，有美国人的排外主义，但更重要的是两种文化的冲突把这些问题都极大地放大，将一幕原本可以是事关科学的励志剧改编成了悲剧。他的故事对于

¹这所学校曾经多次改名，一度被称为汉诺威技术大学，现在是汉诺威莱布尼兹大学。



路德维希·普朗特 (1875-1953)



阿尔伯特·贝茨 (1885-1968)

在科研领导岗位上的所有人都是值得一读的，甚至应该写入工程管理学的必读教材。这个人就是马克斯·芒克 (Max M. Munk)。

2. 与普朗特在一起的日子

芒克 1890 年 10 月 22 日出生于德国汉堡。少年时代的他凭借其数学和科学的才华说服了中产阶级的父母，使他们确信他应该离开德国的犹太教学校而进入德国学术界。1914 年，他从皇家理工高校毕业，获得了工程学学位。毕业后，他进入哥廷根大学，但并没有成为哥廷根的学生。原来，1912 年，当他仍然是皇家理工高校的学生时，他因为普朗特发出的一个助理职位招聘广告给普朗特写过一封应聘信。他说自己已经通过了数学和机械学的学士学位考试，并取得了最高成绩，且将在 1914 年毕业。虽然普朗特没有给他这个职位，但对这个有抱负的学生印象很深，所以给了他很多鼓励。芒克受到了鼓舞，并在 1915 年拿到工程学硕士学位又得以免服兵役后再一次给普朗特写信。不过，这一次他居然还提出了一个附加条件：他说只有在允许他在未来几年里的任职期间可以继续攻读博士学位，他才会考虑这样的职位。普朗特无法给他一个常规的助理职位，但正好他平时的助理被征兵，所

以他就把芒克作为战时替补招到手下。1915 年 4 月 1 日，芒克得到了普朗特“空气动力学模型试验室” (Modellversuchsanstalt für Aerodynamik, MVA)² 的一个为期一年的“助理”合同。后来，合同被延长，他在哥廷根一直呆到了 1918 年春。所以，不夸张地说，他与阿尔伯特·贝茨 (Albert Betz)、保罗·布拉休斯 (Paul Richard Heinrich Blasius)、乔格·傅尔曼 (Georg Fuhrmann)、冯·卡门 (Theodore von Kármán) 和卡尔·魏斯伯格 (Carl Wieselsberger) 一起是普朗特杰出的早期学生。

从 1916 年到 1918 年，芒克成为了普朗特在 MVA 的助手。他和贝茨是普朗特在机翼理论研究中最亲密的合作者，芒克是在一战中而贝茨则是在战后。同时，芒克还负责战时任务所需风洞试验的数据测量。因而，芒克在 MVA 的那段经历为他在一战期间提供了机翼理论最新研究的第一手资料。从普朗特最初在哥廷根科学院 (Göttingen Academy of Science) 的通讯上发表的文章看，其机翼理论的大部分仅仅是数学方面的成就，但由于

² “空气动力学模型实验室” 建立于 1915 年。1919 年改名为“空气动力学研究院” (Aerodynamische Versuchsanstalt, AVA)。



普朗特在哥廷根建立的空气动力学模型试验室

芒克的努力，这些数学成就显著地与 MVA 在一战中的工作挂上了钩。MVA 在《技术报告》(Technische Berichte) 上一共发表了 24 篇机翼理论方面的通讯，其中 10 篇有芒克的名字。

在一战的最后数月里，他被海军水上飞机部录用，在波罗的海沿岸工作。但是他一直与普朗特保持联系，而且他在整个战争期间作为测试设备工程师在 MVA 的档案里留下了无数的痕迹。后来他转到齐柏林飞艇制造公司工作。在那里，他设计了一个小型风洞，并提出了设计一个更大的（1000 马力）大型飞艇模型的测试风洞。这个令人难以置信的设施一直没有建成，但根据芒克的计划，这个风洞将把闭路气流加压到 100 个大气压，产生相当于一个全尺寸时速 152 公里的飞艇的飞行条件的雷诺数 (Reynolds number)，远高于当时任何其他风洞所能产生的雷诺数。

3. 两个博士学位

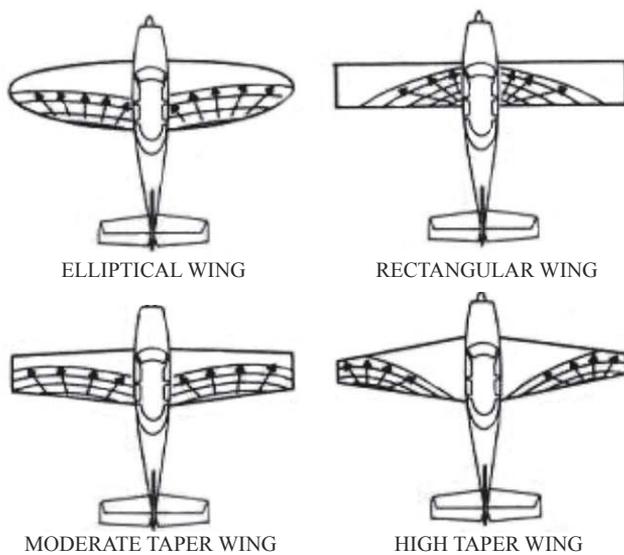
在海军和齐柏林公司的经历使得他深深地意识到了他多么需要一个学位。为了自己的职业生涯，他必须显示出自己的专业知识。但他没有一个能让人刮目相看的学位。“在哥廷根做试验期间的唯一遗憾”，他在搬到波罗的海沿岸后给普朗特的信中说，是他不能实现在那里逗留期间完成博士论文的愿望。他感觉在海军试验基地低人一等，因为他们大

多除了有工程学证书外还有博士学位。他早把自己在哥廷根风洞的试验数据所得结果作为博士论文向汉诺威的教授报告，但迟迟没有得到回应。这只是芒克的一面之辞，其实他没有提到的还有他与汉诺威教授的观点相左。普朗特安慰他说，“这样的事情在汉诺威一般要慢慢来”。他还告诉芒克可以把论文交到哥廷根去当博士论文。显然芒克因普朗特的许诺而极其

兴奋。但他没有完全按照普朗特的建议去做，而是从提交给汉诺威的论文中把理论部分拆下来，然后另写一篇交给了普朗特。普朗特看后指出，理论部分太简洁了，很难看懂。他回信说，关于“简洁”的责备没有让他惊讶。“坦率地说，我认为您和不多的几位将能够理解；其他人将只会读最后的结果。”

芒克受到了来自汉诺威教授的指责：“你把次要的结果给了汉诺威而把重要的部分给了哥廷根。”普朗特不得不为芒克辩护。芒克失望地发现他原来在汉诺威的教授根本无法自行判断他的结果。而对他在哥廷根的论文，普朗特建议他增加一些注解以便更容易读懂，另外把笨拙的标题从“飞行理论中的等周问题”(Isoperimetrische Probleme aus der Theorie des Fluges) 改成更朴实的的东西。“为什么你不把它命名为：关于机翼的最小阻力？”然而芒克顽固地保留原来的标题，可能是为了引起数学家的注意吧。

就这样，芒克于 1918 年在对理论解释与实际数据的争议中，还是获得了两个博士学位：一个是汉诺威的工程学博士，另一个是哥廷根的物理学博士（指导教授是普朗特和龙格）。虽然取得双博士学位的人不少，但像他这样在同一个时间获得两个不同领域博士学位的人恐怕绝无仅有，而且其中之一是从哥廷根大学得到的。芒克不能不说是一位奇人。



机翼平面形状 Source: Dauntless Software

4. 机翼理论

完成于1918年5月的哥廷根论文包括了后来被公认的普朗特机翼理论的基础。它解释了诸如诱导阻力这样的基本现象——一种由于旋涡气流运动所形成的空气阻力，而这个阻力在有限机翼的条件下必然会出现。芒克用精密又直观的数学解决了如何尽可能减少机翼的诱导阻力的问题。尽管普朗特本人和他圈子里的人对诱导阻力和其他机翼理论都有所了解，但他们从来没有在数学上严格地考虑过这些问题。芒克证明当升力在翼展的分布相应于一个椭圆的时候诱导阻力达到最小。当普朗特在自己的报告中解释芒克的论文时，这些问题立即在熟悉MVA思想的圈子里引起共鸣，“但其思想和解决问题的数学方法则完全归功于芒克先生的智慧。”由于这个结果的一般性，它给出了“对于一个给定的机翼几何形状在一个给定的速度和升力时最小阻力的条件”。芒克于1918年6月17日通过了博士学位的口试。一年后，他的博士论文印刷版面市。论文只有31页，而且主要是数学证明。例如，在芒克的论文中的一个定理是说，机翼的诱导阻力当下洗速度（downwash velocity）沿着展翼的所有位置上同时达到极小。芒克还证明了像双翼机和三翼机那样有平行机翼的飞机所受的

总诱导阻力与飞行方向的位移无关。一个最重要的在当时没有前人证明过的结论是说，诱导阻力在升力沿翼展按半个椭圆分布时达到极小。在这个时候，他得到了可以比较不同翼展的公式，而同一个公式早前被普朗特用不同的方法获得过，而且自1914年以来在MVA的多篇论文里都引用过却没有过证明。

芒克在机翼理论的发展中所扮演的角色并没有被人们广泛地认识到。在后来的论文中，他的哥廷根论文被人引用主要是因为机翼理论中定理的证明。当普朗特1918年7月在哥廷根科学院发表他的“机翼理论I”时，他引述了芒克即将出版的博士论文，因为它“包含了一个对这个理论应用范围的重要的推广”。半年后，在“机翼理论II”中，他把复翼机的上下翼理论作为例子来说明其推广。一方面，他表扬了芒克的博士论文在推广工作上的功劳，同时他又批评芒克基于古典变分法的推导并给出了更简单的推导。

因为具有两个博士论文和学位，芒克同时占有了空气动力学理论和实践。但不知有意还是无意，芒克似乎故意让人摸不清他的背景。对芒克在哥廷根工作不熟悉的读者，看过这两卷机翼理论后，他们一定会产生一种肯定是与普朗特原意相反的印象，那就是芒克只是一位在早已建成的理论上添加了数学严格化的理论家。芒克的哥廷根论文正好印证了这样一种形象，就好像是芒克把自画像附在了他的论文里。在论文中他强调，作为普朗特在哥廷根的助理，他可以集中精力研究数学和物理。论文中根本没有提到他在哥廷根大多数时间是在做MVA的战时合同的风洞测试。但另一方面，在汉诺威的工程学博士学位的论文里，呈现在读者面前的是完全不同的形象。论文中几乎都是数表和机翼图形。在论文中附的简历里，芒克把自己描述成一个在MVA逗留了三年的主要在空气动力学和相关实验室里做实验的实际动手的工

程师。他在引言里说他“没有把显示的数据进行综合的理性评估作为目标，而是出于实际应用的目的把获得的结果进行交流”。

说了这么多，我们把注意力集中在了普朗特和他的那些建立了现代翼型理论基础的哥廷根圈子。那么在实际中设计飞机的那些人是如何运用这些新的知识的呢？一战前和一战后飞机的图片清晰地透露了在不长的几年里航空技术何种程度上的飞跃。可是这些进步并不是由于空气动力学理论的进展。我们来举一个例子。据普朗特回忆，第一架全金属飞机“Junkers J 1”制造者容克（Hugo Junkers）从来没有访问过MVA，尽管普朗特多次访问过容克的实验室。普朗特甚至爬到位于亚琛的容克实验室风洞里。他研究了基于哥廷根的封闭模型建成的“德绍风洞”。但不同于哥廷根风洞的测量，在德绍的测试没有服务于理论的目的。他们的目的是为了获得飞机设计中的最佳升阻比。没有机翼理论的依托，他们必须进行相当多的实验，因为不同翼展的标准机翼互相之间无法转变。当容克在1918年4月知道了哥廷根的机翼理论提供了方便的变换公式后“非常惊讶”并感叹到：“如果我们早点知道的话，我们可以省去所有的实验。”

浏览一下芒克在《技术报告》的结果就可以让容克早一年知道理论方面的动向。作为飞机制造商中的“理论家”和前大学教授，连容克都不知道这些基本理论，可以推断，在普朗特圈子之外，空气动力学理论的发展并不为战时的飞机制造商所知。与此相反的只有芒克的热情，他试图在使机翼理论变得更容易理解这一点上赢得共鸣。在“翼展和空气阻力”的报告中，他在导言中就说，“普朗特的机翼公式”没有得到应有的好评，“因为它们是基于理论基础的”。他发现这“很可悲，因为这些公式包含了更多信息，比那些实际操作者愿意相信他们能做到的完成得更好”。飞机制造商一边没有兴趣的事实也解释了为什么哥廷根空气动力学家只在可以应用公式的层次上的细节之处有交流。1918年5月的一天，莱比锡的德国飞机制造商DFW的一位工程师觉得奇怪，为什么有些结果没有任何参考文献。他特别感兴趣的是，“是否对

于单翼或双翼飞机，机翼后面的气流下洗已经有了完整的计算评估”。显然，莱比锡的这家飞机制造商不知道这个问题在哥廷根的理论家中已经是一个反复出现的主题。普朗特回复说：“您问的单翼机的理论还没有发表，它只在上课和讲座上才会讲到。”

5. 移民美国

早在第一次世界大战之前，美国就开始注意欧洲在航空学领域的进展。1913年，美国海军的代表杰罗姆·胡萨克（Jerome C. Hunsaker, NACA成员）在普朗特所在的哥廷根实验室里逗留了数星期，同时在欧洲的主要空气动力学实验室里进行考察。他回国后特别表示出对德国研究机构的敬仰。那里不断输入年轻的博士候选人，在有成就的学术人物的指导下，为机构提供新鲜血液。NACA领导对像芒克这样的欧洲航空研究者以及他们所在组织的科学定位留下了深刻的印象。霍普金斯大学物理学教授，1920年至1937年的NACA执行委员会主席约瑟夫·艾姆斯（Joseph S. Ames）在1922年1月写到：“航空学绝不是一个工程师或飞行员的体现，它是科学的一个分支。那些开发了最好的飞艇和飞机的国家一定是已经把最多的想法、时间和资金投入到了科学研究中。”



杰罗姆·胡萨克（1886-1984）

一战结束后，美国立即派出了几个考察团去德国了解那里的科技进展。1920年，艾姆斯请胡萨克代表NACA的空气动力学委员会再次前往欧洲去考察那里的航空学研究状况。胡萨克的这次考察对美国在相同领域的研究产生了长期的影响。

有一天，普朗特收到胡萨克的来信。胡萨克通知普朗特，自己被授权与他联系“以便获得您关于德国目前在理论上和试验上的空气动力学方面的工作进展的普查服务。您被认为做出了杰出的成绩，并且是做此普查的最合适的人选”。合同的细节被留到1920年当胡萨克访问哥廷根的时候。因为普朗特自己的英语非常糟糕，他请龙格(Runge)到场。龙格曾经把兰彻斯特(Frederick W. Lanchester)的《空气动力学》翻译成德文，他精通英语并对航空学发展具有浓厚的兴趣。谈判的结果是，普朗特应该写一份“关于预测适用于像飞机和飞艇的机身形状的空气动力学的最新进展”的报告。普朗特为这份报告可以收到相当于8000马克的800美元酬金，这近似于一名德国教授一年的工资。

对于战后的德国而言，经济上的考虑是无法避免的，特别是在1920年代早期通货膨胀

迅速蔓延的时期里。由于不看好未来来自工业界的合同，MVA的预算很紧张。于是，普朗特进一步建议与NACA签订合作的合同。普朗特认为，德国的工资对于美国人来说相当低，而且MVA里不缺乏有良好训练的科研人员。因此，如果把实验和理论空气动力学研究的合同给他们的话，NACA会省很大一笔银子。事实上，普朗特已经对在此之前来考察的耐特(William Knight)提过类似的建议，但NACA认为与前敌对国家进行如此深入的合作是走得太远了。华盛顿通知耐特说，如果NACA把合同给自身之外的机构的话，明智的做法是“在本国内支持需要鼓励的那些人”。当普朗特向胡萨克提出同样的建议时，他立即被回绝。后来，胡萨克道歉说：“我相信我不知道对您的问题怎么回答，不管NACA是否有可能在哥廷根进行进一步的调查。我倾向于认为，由于政治家所面临的经济上的需求，我们的委员会在来年多少会受到资金的限制。”

除了普朗特和龙格以外，到场的还有芒克。他很想见到胡萨克，因为他有一个远房叔叔在美国采矿发了财，他产生了移民美国的想法。应芒克的要求，普朗特曾在战争结



约瑟夫·艾姆斯(1864-1943)

束后就为芒克的工作与胡萨克联系过。这是胡萨克欧洲之旅的一个意外的收获。鉴于对战后德国航空业的限制，选择航空学为研究对象的工程师们看到了一个不确定的未来。“那里的情况看起来很糟糕，好像所有的人都愿意移民到美国去。”一位 NACA 的空气动力学学者在耐特的德国报告上评论说。与此同时，NACA 正面临着寻找有才华的空气动力学家的压力。兰利的首席物理学家爱德华·沃纳尔 (Edward Pearson Warner) 刚刚辞职。芒克与胡萨克的会见正是在这个时候。胡萨克把芒克的要求通知了艾姆斯。艾姆斯对雇用他有浓厚的兴趣。“芒克博士是目前德国齐柏林公司里的空气动力学专家，”艾姆斯在 1920 年 11 月通知 NACA 的执行委员会说。“雇佣他可能是获得德国在战时发展起来的大量信息和未发表资料的最便宜、最有效的途径。”胡萨克奇迹般地说服了才华横溢的年轻科学家芒克不再犹豫而下定决心移民美国。然而尽管 NACA 有兴趣，得到正式的雇用许可并不是一件容易的事。“我的美国前景不那么坏”，芒克在收到胡萨克的保证信之后向普朗特报告说。“主要的问题是德国国籍”。第一个障碍是能进入美国，第二个障碍是能受雇于政府机构。NACA 方面也真的是费了一番周折。最后是美国总统威尔逊 (Woodrow Wilson) 亲自签发的两个行政命令使得芒克可以成行：一个是允许这个过去的“敌人”进入美国，另一个是允许他在政府里工作。(在二战结束后，又有一次特殊的安排让德国火箭专家布劳恩到美国政府工作。) 后面我们将会看到，尽管芒克具有善变的气质，他的贡献使得 NACA 开始得到国际的认可。

芒克成为 NACA 的雇员主要归功于胡萨克的努力。胡萨克后来成为了 NACA 主任 (1941 - 1956)。在芒克移民的时候，他是海军新建航空局的首席设计师。那时候，艾姆斯是其副主任 (1920-1927)。艾姆斯早于胡萨克当上了 NACA 主任 (1927-1939)。NASA 的艾姆斯研究中心就是以他的名字命名的。

1920 年，芒克从他的家乡德国抵达波士顿港口，随即南下到美国首都华盛顿特区接受 NACA 技术助理的任命。这个时候，年仅 30 岁的芒克已经是一个著名的航空工程师了。

6. 可变密度空气风洞

1921 年 3 月，芒克在 NACA 的华盛顿办公室正式上任。在 NACA，人们对芒克期望很高。芒克将是“一个在委员会里非常有用的人”，艾姆斯向同事们保证，特别是“从别人的工作中得出一般性的结论”。NACA 的兰利实验室的首席物理学家弗雷德里克·诺顿 (Frederick Norton) 建议芒克博士的主题首先是“关于普朗特理论写出一个清晰和实用的论文，并列例子说明在美国风洞试验下的应用”。而芒克也在一开始就做出了不少令新雇主振奋的成果来。在五年里，他一共写了 57 份技术报告，超过了除当时的首席科学家爱德华·华纳 (Edward P. Warner) 以外所有人。在理论方面，他在气流围绕飞艇的理论上，以及其他动力学形状的动量和压力重心上取得成果。他引入了可以对某些机翼特征的容易识别的参数进行计算的线性化的概念，从而导致机翼理论长足进步。1922 年，艾姆斯写道：“芒克博士在过去一年里在气动理论方面的成绩已经把本委员会推到了世界前沿。”两年后，艾姆斯又说：“芒克所做的事情把气动和液动变得比过去二十年里所发生的任何事情都有活力。”乔治·路易斯 (George Lewis) 对芒克也大为赞许，他建议艾姆斯把芒克的最重要的六篇论文整理成一个更容易理解的和对那些缺乏足够数学和物理训练的气动工程师更有吸引力的材料——《芒克关于理论空气动力学进展研究的摘要》(A Resume of the Advances in Theoretical Aerodynamics Made by Max M. Munk) 发表在 NACA 的技术报告 (TR 413) 上。

但是芒克可不是一个只做理论的人。他也是一个精于实际操作的风洞专家。他希望更积极直接地指导 NACA 的空气动力学研究。芒克发现，NACA 原有的风洞远远落后了，根本不能为提高机翼效益提供有效数据。于是，上任还不到一个月，芒克就提出 NACA 应该建立一个新的压缩空气风洞。

雷诺数 Re 是研究流场的一个重要特征数。当使用缩小尺寸的飞机模型在风洞中试验时，必须保证与实际飞机在空气中飞行有着相似的流动，也就是说，它们必须有相同