

# 西德航空航天研究院和格廷根 空气动力学研究所的空气动力学研究

吉泽能政

笔者于1974年6月到1976年3月在格廷根的西德航空航天研究院-格廷根空气动力学研究所(DFVLR-AVA)的稀薄气体力学研究所工作了近两年。现在根据在此期间的见闻,介绍DFVLR和AVA<sup>1)</sup>的空气动力学的研究状况。

## 一、DFVLR及AVA的机构

DFVLR是直属于西德研究技术部,从事有关航空航天基础及应用研究的研究机构,相当于美国的国家航空航天局(NASA)或日本的航空宇宙技术研究所。这个机构是1969年由DVL,DFLR和AVA三个单位合并而成,其研究范围包括流体力学、飞行力学、材料强度和结构、推进和能源、电子学、其他(大气物理、航空医学等)六个方面,共约30个研究所和有研究设施的单位,进行着各种课题的研究。尽管都叫做研究所,规模却有大有小。有科学家40人以上,技术人员和工程师50人左右的所,也有小到只有6名科学家和6名工程师的所。也有一、两个附属于大学的研究所(例如柏林的湍流研究所),但与大学完全不同,没有教学任务。

AVA是1907年普朗特创建的有空气动力学实验设施的研究所,现在虽然属于DFVLR,但作为近代流体力学的发祥地,它始终作为德国的空气动力学研究中心而活跃着。现在的AVA不是一个研究所,而是包括在格廷根的有关空气动力学的研究所、低速风

洞设施、计算中心的总称。它在DFVLR是一个独特的单位。施利希廷(H.Schlichting)当了约20年的所长,1975年9月退休了。此后里格尔斯(F.W.Riegels)当了大约半年的代理所长,接着巴歇(J.Barche)任新所长。根据新所长的方针,准备进行大幅度的机构改革,但还没有听到最后的决定。顺便提一下,德国的所长已不是像以前那样连任到退休,已采用了5年任期制(再任也可以)。虽然上述情况近期内有可能变化,这里还是简单说一下1976年春的AVA的构成。最大的是流体力学研究所,所长是由奥新瓦蒂奇(K.Oswatitsch),卢德维克(H.Ludwig)和里格尔斯三人以同等资格担任。实际上三位所长各自领导着自己的研究组。研究所还准备整顿机构,这种状况可能是过渡性的。在笔者逗留期间,弗赖堡(Freiburg)的应用数学力学研究所(也兼作大学附属的研究所)趁格特勒(H.Görtler)退休之机决定迁到AVA,但这也是暂时地属于流体力学研究所的。其次是稀薄气体力学研究所,所长是维斯特(W.Wuest),有研究人员10人左右。再一个是气动弹性研究所,弗辛(H.W.Försching)任所长。3米×3米的低速风洞是不属于上述三个研究所的独立单位,再加上计算中心(IBM370-158),组成了AVA的全部。

## 二、AVA的空气动力学研究

不管是AVA还是DFVLR的研究所,其研究工

1) 本文所引用的简称列表如下:

DFVLR (Deutsche Forschung-und Versuchsanstalt für Luft-und Raumfahrt): 西德航空航天研究院  
AVA (Aerodynamische Versuchsanstalt Göttingen): 格廷根空气动力学研究所  
DVL (Deutsche Versuchsanstalt für Luft-und Raumfahrt): 西德航空航天实验所  
DFLR (Deutsche Forschungsanstalt für Luft-und Raumfahrt): 西德航空航天研究所  
ZTL (Zukunfts-Technik Luft)  
BWB (Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung)  
ALF (Arbeitsgemeinschaft Luftfahrtforschung): 西德航空研究计划委员会

作的特点,总的说来是按计划进行的。目前西德有关航空航天的研究工作是按国家一级级别集中在一起的。目的很明确,对于应用于技术和产业部门的研究,给予相当大的重视。当前的重点目标是:1)交通、通信系统;2)飞机;3)航天技术;4)研究和研制规划等。

因此,AVA的研究工作,都是按照DFVLR的研究方针,接受政府机关和企业部门委托的或协作的研究项目。当然也有不属于上述分类的基础研究,这些几乎都是按照研究组的领导者的意图提出来的,研究人员个人提出课题的事很少见。这是选题的情况。实际上随着研究工作的进展,根据个人的想法,会有一些新的课题提出。每个研究人员的题目一般比较朴实,到了规定的期限,要如实地报告研究情况;并要继续进一步做下去,取得完整的结果。

下面通过实例说明AVA的研究工作。从流体力学研究所三位所长的班底就可以看到,研究工作几乎包括了空气动力学理论和实验的所有领域。有边界层(J.G.Rotta),数值空气动力学(W.Geissler),高速空气动力学(E.Wedemeyer),理想气体动力学(奥斯瓦蒂奇),跨声速风洞(W.Lorenz-Meyer),叶栅流(O.Lawaczeck),管风洞(H.Grauer-Carstensen),应用数学力学等研究组。理论气体动力学组于1973年6月以前是设在亚琛(Aachen)的一个独立的研究所,后来奥斯瓦蒂奇带领全部人员迁到AVA。前三个研究组和应用数学力学组目前由里格尔斯负责。跨声速风洞组、叶栅流组和管风洞组由卢德维克指导。边界层组主要研究超声速湍流边界层,重点放在提高实验精度和改进计算方法上。课题有湍流中的传热、湍流剪切流、湍流射流中的声波等。数值空气动力学组主要研究三维物体周围的压力分布和边界层计算,以及有缝机翼或襟翼的气动特性计算等,已经得到了与实验很吻合的具有实用价值的结果。当然,这个研究组是把数值计算作为研究手段广泛应用的。在高速空气动力学方面,研究高亚声速到超声速范围内一般飞行器的气动特性,可变翼,大攻角翼,翼-身干扰等。也负责研究磁力悬浮直线电机铁路的气动问题,以及利用外部气体来使电器冷却。理论气体动力学组倾向于比较基础的研究,研究课题也很广泛,从亚声速到高超声速的各种气流问题,辐射,电磁气体动力学,分层流中声音的传播,超声速边界层中非定常扰动往上传播,多相流,等等。亚琛工业大学附属的研究所原封不动地搬迁过来了,这也反映了所长奥斯瓦蒂奇的个性,所以在AVA中也存在一些有大学气氛的研究组。跨声速风洞组较多作外单位委托的任务,没有更多的时间搞

自己的独立研究。1973年度的24个课题中,有16个来自政府和公司,有3个与风洞的校准有关,其余几个才是AVA研究计划中的。这个研究组参加了筹建欧洲跨声速大风洞的协作组,在技术方面和计划方面起了很大作用。叶栅流组主要研制高效率的跨声速涡轮叶栅,以及改进测试方法。管风洞组以卢德维克管为主力,研究各种飞行器的六分力试验、传热、边界层转换、提高测量精度等问题。

稀薄气体力学研究所的主要工作是实验,人数虽少,水平却是欧洲最高的。它包括高超声速稀薄气体流(G.Koppenwallner),流动测试(K.A.Bat-fisch),分子束(U.Bossel)三个研究组。可以说分子束组现在还没有成立,在笔者逗留期间,搞理论的有4人,现在只有2人。由于人数少,上述几个研究组只是形式上存在,实际上整个所像一个研究组那样保持着密切联系。课题都是航天方面的,主要有从高超声速连续流到自由分子流范围的飞行器的气动特性,宇宙飞船的形状及操纵性(使用可控的喷气),制造自由分子束喷管和改进分离器,感温涂料的传热,表面温度和阻力的关系,自由分子流中三维物体的绕流计算等。与此同时,也进行基础性的研究和研制,如稀薄气体中静压测量孔的形状效应,膨胀流中气体凝结的测量,圆锥上边界层(包括克努德森层)的测量,恢复温度等的内部自由度的计算及测量,用离子飞行时间法测定绝对流速等,都属于这个范围。上述这些研究实际上只由9名研究人员进行。当然还有其他人员如副总工程师和工程师6人,技术辅助员(即将毕业的学生)1人,总的说来人数并不多。9名研究人员当中没有取得学位的年青人有8人。

气动弹性研究所处理飞机,航天飞行器,建筑结构等的气动弹性和弹性力学问题。如上所述,按照DFVLR研究领域的分类,它属于结构方面。机翼(包括襟翼等三维翼)非定常气动力实验和计算,振动及颤振的分析,整机的振动实验,直升飞机的气动弹性,蒸汽轮机和燃气轮机的气动弹性等问题是重点课题。此外,还有非定常气动导数的测量(专用天平的研制),高层建筑物的气动力问题,气动弹性实验用的高压风洞(最高100大气压, $Re=10^7$ , $V_{max}\approx 35$ 米/秒)的研制等研究课题。这里有13名科学家和9名副总工程师。

除了AVA之外,在不伦瑞克(Braunschweig)和科隆(Köln)也有低速风洞设备。三者共同组成低速风洞实验部,不属于哪一个研究所,独立经营。各研究所(当然包括外单位)根据需要提出申请,在此吹风。1974年度的吹风情况是:飞机32%,飞行器4%,委托研究30%,测量方法及装置安装34%。课

题来源：企业24%，DFVLR的研究所6%，ZTL，BWB等政府机关43%，设备的建筑造及维修27%。其中87%是航空课题，航天1%，其他12%。这是三个所合在一起统计的数字。冬季奥林匹克运动会之前，曾把运动员放在风洞里研究姿态的阻力问题。

计算中心装配有IBM370-158计算机，处理低速风洞和跨声速风洞的数据（也可以联机）。此外各研究所也利用它。即使如此，也还未充分利用。实际上每天平均（休息日除外）运行不足16个小时，净计算时间是8.5小时。

各人对研究工作的态度是好好地坐（固定）下来，不急于做出结论，尽可能不遗漏地进行研究。好像不太计较外面在搞些什么研究。大学里的气氛可能与此不同，但AVA以外的研究所大致也是如此。可能由于政治上和地理上的原因，国际协作较密切。许多课题和外国的研究所有正式的合作协定。具体的方式有相互派遣和交换研究人员，分担课题、交换数据、开学术讨论会，以及研究人员之间私下的交流和联系等，效果很好。和它保持这种关系的研究机构有美国的国家航空航天局，海军事械实验所（NOL），法国的国家航空航天研究院（ONERA），国家科学研究中心（CNRS），英国的皇家航空研究中心（RAE），荷兰的NLR，比利时的冯·卡门研究所（VKI）等。每个协定涉及的课题和有效期限各不相同，但协作的关系从来不断，研究情报在欧洲洲际不断交流。实际上，航空研究的欧洲化在西德是既定方针。笔者逗留期间，西德研究技术部部长马赫费尔来到格廷根作报告时说：有关航空航天的工业和研究，今后不在西德单独考虑而在欧洲共同体内考虑。第二天研究所里大家在喝茶休息时对此议论纷纷。大型低速风洞就是在这前后开始的建造。西德负担大部分技术力量和资金。建造地点象征着西德与荷兰的一体化。按计划，这个风洞有两个实验段，分别是6米×6米（130米/秒）和9.5米×9.5米（55米/秒）。

作为AVA全所的研究活动，一周有一次AVA学术讨论会，也有中断的时候，夏天休息。常常有所外人士的讲演。所内人员讲的都是自己的工作，质量很高。这种学术讨论会的报告以能在国际会议上发表的同资格，登载在DFVLR年报上，可见其要求之高。报告发表与否直接取决于会议的评论。所以初登讲坛的年青人相当紧张。在研究所内，工作一有结果，随时可作学术报告，也可以由全体或部分人员参加进行轻松活泼的讨论。

### 三、DFVLR的空气动力学方面的研究所

除了AVA之外，不伦瑞克的空气动力学研究所，科隆的应用气体动力学研究所，柏林的湍流研究所，都是属于DFVLR的流体力学方面的研究所。空气动力学研究所主要研究与飞机直接有关的气动课题，重点是跨声速翼型，增升力装置等。也研究整机的气动特性和设计方法。所内有小型飞机3架，滑翔机2架，可以进行飞行试验。应用气体动力学研究所有许多大型实验设备，相当多的研究课题与AVA重复。它的人数更多，规模更大，应用的性质也强一些。研究的中心课题是从亚声速到高超声速的低密度流动，包括气动力、气动导数、控制面、控制喷气等有关的理论和实验研究。此外，这个所还承担冲压式喷气发动机，高速流中的传热和传质，实验设备和仪器的研制等。湍流研究所是否要原封不动地继续存在下去，还在议论之中，当前是维持现状。研究课题有湍流的发生、成长、结构等，重点是减小噪声而研究湍流中的声响问题。应用数学力学研究所原在弗赖堡，主要研究课题是粘性流体力学、层流稳定性、转捩、真实气体流动、高速铁道的空气动力学等。据该所所长说，迁到AVA后，研究内容可能有若干变化。

### 四、普朗克流体力学研究所和格廷根大学

在AVA这一机构范围内，还有普朗克流体力学研究所。这个所是1925年威廉协会（现在称普朗克协会）为了让普朗特当所长进行流体力学的基础研究而建立的，是威廉研究所的一个组成部分。AVA这个原先的空气动力学实验研究单位也是这时被纳入威廉研究所的。1969年在DFVLR成立的时候，又分开重新组成普朗克流体力学研究所。第一任所长普朗特之后，继任的所长有贝茨（A. Betz），托尔明（W. Tollmien），1969年以来由现任所长米勒（E. A. Müller）主持。它和AVA关系很密切。由于两个所的任务不同，各研究所的风格也差别很大。普朗克研究所的研究内容更为基础一些，物理色彩更浓厚，代表性的课题有湍流及涡的运动，非定常流中的激波及声波，凝结，分层流，原子分子的相互作用与非弹性碰撞，反应过程，激光引起化学反应等。它与另一研究所之间的研究协作，参加学术讨论会，图书馆的利用以及出入研究室等都没有什么限制，对每个研究人员来说，就像一个所似的。虽然不是大学，也带研究生和大学生的毕业论文。在职科学家约40人，外加客籍研究员、博士研究员、研究生等50余人。

格廷根大学于1737年建校，在德国也算得上是老资格的大学。它和欧洲的古老大学一样，不设工学院，只有哲学院，经济、社会科学院，数学、自然科学院，法学院，医学院，农学院，神学院，林学院八个学院，学生约17000人。物理系有流体力学讲座教授，由普朗克流体力学研究所的米勒兼任。该研究所和AVA指导毕业论文的水平相当高，看来相当于日本的硕士学位。大学毕业生年龄约26—27岁，比日本的年龄大一些。取得学位的大致时间是毕业后5年。笔者逗留期间，偶而碰到研究所的同事参加不伦瑞克工业大学的工学博士学位考试。最后的考试比较严。他写了关于稀薄气体流动实验的学位论文，但考试时除了要问与文章有关的问题外，还提了五个一般性的空气动力学问题，每个都要求在20分钟内正确回答。例如，要正确写出奥尔-萨墨菲尔德方程，说明其求解方法及膨胀波对离解过程的影响等。不通过这个答辩就得不到学位，所以考试前学习相当紧张。有趣的是光通过学位考试还不行，要等论文公开发表后才能得到学位称号，这又要半年到一年的时间。

在AVA所在的宾森施特拉塞(Bunsenstrasse)镇，除了有普朗克流体力学研究所之外，还有一系列大学的理论物理学研究所和数学研究所等，它们都是属于数学、自然科学院的研究所。格廷根在这个领域里曾经是世界的中心，但与过去的巨大荣誉相比，不免令人感到，目前在数学、物理和流体力学方面都有提高一步的必要。大学也不像以前那样，把重点班的学生集中到这里来了。但是走在街上，还能看到过去的大学的古老建筑物，在某些商店和住房门上还挂着牌子，写着某某科学家何年何月曾经在这里住过，还能使人感到学术城镇的遗风。目前在城镇北边，正在修建现代化的建筑群作为新的校园，要不了多久，格廷根大学的面貌就将焕然一新了。

## 五、长期航空研究计划建议书

笔者将要回国前，看到资料室里有一份《对西德长期航空研究计划的建议书》，是1972年4月发行的。一看就知道包括有西德航空研究的基本政策。由教育科学部、国防部、财政部、交通部四个部讨论西德航空研究的现状，展望将来，做出财政预算以发展航空工业和开展研究研制工作而写成的，为此从有关研究、生产、使用、资本经营各方面选出10人组成航空研究计划委员会(ALF)，用了一年时间写出这个建议书。委员中有AVA的现任所长巴歇。

建议书谈到，德国的航空学研究曾经在民用和军用两方面起过先驱作用，然而现在却应付不了战后的喷气机时代，几乎没有做出什么贡献。原因在于国家对航空事业没有一个基本方针，同时研究机构也有缺陷。这就是缺乏研究的长期目标和正确的主攻方向，没有明确目标的基础研究过多。研究和研制本身并不是目的，而应通过销售研制产品来确定其合理与否。与西德实际具有的研究研制能力相比，研制出来的飞机是太少了。对于当前的课题，航空学研究人员的数量(DFVLR480人，企业250人，大学80人)是足够的。虽然没有大风洞，但研究设备一般是现代化的，是可以满足这些研究研制的要求的。但是有效地组织和利用这些潜力却有困难。造成这一状况的主要原因，在于国家对航空缺乏长期的目标和负责的方针。因此，今后有必要通过有关的部和局、各研究所、各企业组成委员会，对研究工作统筹安排，确定重点和评价成果。

委员会建议：航空研究和航空工业要和欧洲共同体协力合作。国家只对能预测的研究计划中的部分项目给予财政支持。有关空气动力学的重点课题是减低噪声，短距起落飞机和垂直起落飞机的空气动力学，跨声速翼型，轴流及径流压缩机的气动问题等。把DFVLR，企业和大学的研究统一起来共同制订研究计划，所有机构密切协作。官僚式的方法是不好的，但把研究工作统管起来，采取某些强制作法则是必要的。每年开一次象航空研究计划委员会那样的委员会会议，讨论问题的现状，评价研究成果，并对建议书提出必要的修改意见。即使是有长期预算的研究项目，根据情况也可以中断。研究的课题不能只在形式上符合重点，而要能做出切实的成果。不能找借口进行自由的基础研究。不许随便增加研究人员和研究所，除了低速大风洞外，也不再建大型的研究设备(约6亿元以上的)。总之要求非常之严。这个建议书适用的时期大概是到80年代的前半期。

看了这个建议书后，感到AVA的空气动力学研究正是按照它进行的。大学是否如此，笔者不清楚。对于基础性研究是否要纳入建议书的轨道，人们是有激烈争论的。但总的说来，建议书涉及的范围很广，影响也大。

译自：日本航空宇宙学会志，25，281  
(1977)，276—282(略有删节)

(钱福星译 董务民校)