

哥廷根应用力学学派及其 对我国近代力学发展的影响

文 / 戴世强 冯秀芳（上海市应用数学和力学研究所）

本文对哥廷根应用力学学派的特色作出概略介绍，并通过简述我国近代力学事业四位奠基人——周培源、钱学森、钱伟长、郭永怀的学术活动和治学理念，浅析该学派的影响。



周培源



钱学森



郭永怀



钱伟长

众所周知，周培源、钱学森、郭永怀和钱伟长四院士是我国近代力学事业的奠基人，他们为我国的力学发展贡献了毕生的精力。考察他们的生平事迹，我们不难发现：他们都与国际上著名的哥廷根应用力学学派有千丝万缕的关系，都受到该学派的潜移默化的影响，从而使得我国应用力学的发展有哥廷根的印记。

一、哥廷根应用力学学派的起

源和发展

哥廷根应用力学学派于20世纪初发源于德国的哥廷根大学。从高斯时代起，哥廷根大学就有将数学应用于天文学和物理学的优良传统。19世纪末，哥廷根大学出了一位知名的数学家菲利克斯·克莱因（Felix Klein），他除了在纯粹数学上卓有成就外，还大力提倡应用数学，成为哥廷根学派（包括哥廷根数学学派和

哥廷根应用力学学派）的领袖。1893年，他到美国芝加哥参观博览会后，深感要以当时德国的自然资源与人力资源同美国竞争，惟有依靠将包括数学在内的自然科学知识全面系统地应用于发展工业生产。他在世纪之交，在哥廷根大学建立了应用力学系、应用数学系和技术物理系和相应的研究所，克莱因认为，工科大学生不仅要有坚实的理论基础，而且还要真正懂

得科学研究的方法。另一方面，数学家也要具备一些工程技术基础知识。实际上，他就是推动哥廷根大学沿着这个方向前进的。

1898年2月，克莱因创立了哥廷根应用数学及物理学促进会，取得了大企业（如著名的克虏伯集团等）的支持和资助；他仿照美国人的先例，努力在哥廷根大学内部建立更多的应用数学的机构，由工业界和大学以及私人的赞助人给予财政上的资助，有自己单独的研究团队；同年，克莱因提出了关于建立一个单独的数学研究所的规划，第二年，该研究所开始工作，以谢林为主任。由于数学系的扩张，使得数学系的职位增多；1900年，著名的荷兰物理学家H. A. 洛伦兹被任命为技术物理学教授。

1904年，路德维希·普朗特（Ludwig Prandtl）发表了著名的边界层理论（当时年仅29岁）。这项工作引起了克莱因的注意，将普朗特从汉诺威高等理工学院聘请到哥廷根大学任工程力学教授。从此，克莱因和普朗特在哥廷根大学创建了应用力学学派。同年，哥廷根大学应用数学副教授席位空缺，克莱因乘机向弗里德里克·阿尔道夫（德国负责大学事务的行政管理人和克莱因家的好友）提议：为这一学科设立正教授的席位。在德国，专门为应用数学设立教授席位这还是第一次。克莱因心目中的候选人是卡尔·龙格（Carl Runge，就是创立熟知的龙格-库塔法的那位龙格），龙格当时还在汉诺威，他不仅是一位杰出的实验物理学家，由于谱线测量方面的工作而闻名，同时也是第一流的数学家。他的名字同解析函数的多项式逼近理论相联系。这样，龙格从汉诺威来到了哥廷根。从此在

哥廷根形成了一个纯粹数学、应用数学、应用力学协调发展的黄金时代，以理论科学基地著称的哥廷根大学又成了应用技术的摇篮。

在克莱因和普朗特的领导下，哥廷根大学应用力学研究所人才辈出。许多国际知名的力学大师，如冯·卡门、铁木辛柯、普拉格、邓哈托、纳戴等，都出自普朗特的门下。

如果说20世纪初是克莱因和普朗特开创的德国哥廷根应用力学学派，那么到了1930年则是普朗特的优秀学生冯·卡门把应用力学从德国带到了美国。冯·卡门1906年争取到了匈牙利科学院奖学金前往当时科学圣地——哥廷根，在哥廷根大学冯·卡门跟随普朗特教授研究材料力学和流体力学；和后来获得诺贝尔奖的德国物理学家马克斯·玻恩（Max Born）合作搞过晶体原子结构模型；参加由克莱因组织的学术研讨班（seminar）；聆听过诺贝尔奖金获得者能斯特、纯粹数学明星希尔伯特（世界上第一流的物理学家和数学家）、欧洲大陆上第一位应用数学教授龙格等人的精彩绝伦的讲课；作为普朗特的助手，冯·卡门参加了哥廷根第一个风洞的筹建和“齐柏林”飞船的设计。由于在哥廷根没有教授位置空缺，克莱因推荐冯·卡门去了亚琛工业大学。冯·卡门在那里研究湍流时与哥廷根仍保持密切的联系，普朗特向他提供了长期积累的实验资料，包括尚未发表的最新数据，师生合作得非常愉快而有成效。1928年冯·卡门移居美国，到加州理工学院任职，开始了为美国空军研制飞机、火箭、导弹的生涯。他提倡尊重教师，又注意发扬学生的创新精神，鼓励学生学习 and 运用数学思维，在古根海姆基金会的资助

下，建立了古根海姆空气动力学实验室（GALCIT）。在20世纪30—50年代，他集聚了世界上最优秀的空气动力学家，在航空航天技术方面取得了突破性进展，为人类进入空间时代奠定了科学基础。我国的钱学森、郭永怀、钱伟长、林家翘就是曾在那里学习、工作过的杰出人才，周培源教授也曾在冯·卡门处访问有年。

二、哥廷根应用力学学派的特点

1. 它的领袖具备科学知识权威性、科学导师号召力、科学组织凝聚力和科学气质吸引力

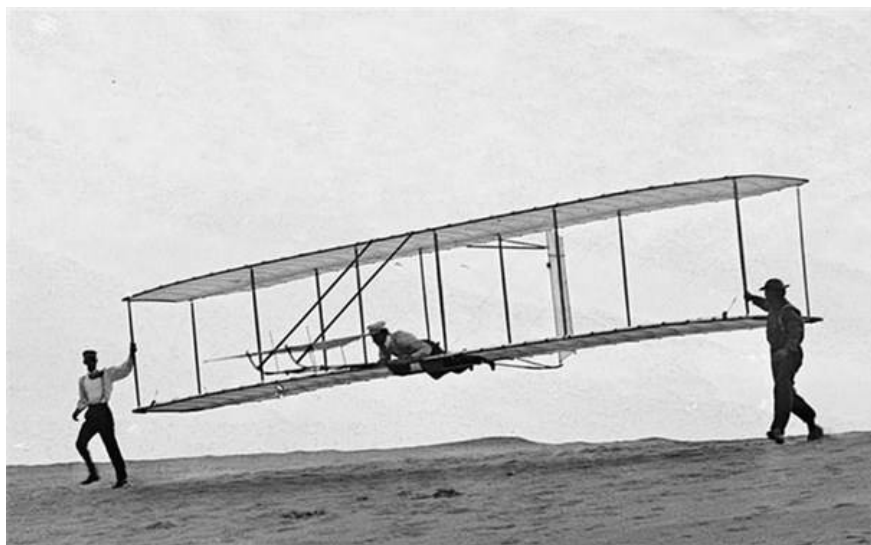
一个学派的领袖是该学派理论纲领或科研风格的缔造者、传播者和教导者，是学派顺利运行的组织者，他不仅要做出杰出的科学贡献，而且还应极力传播学派的理论纲领，培养科学事业的接班人。

菲利克斯·克莱因在年轻的时候就已经是数学界的一位传奇式的人物了，他23岁那年在埃尔兰根大学当上了正教授。在就职典礼上，他发表了数学史上称作“埃尔兰根纲领”的演讲，提出用变换群的观点统一几何学；他的突出贡献还有用几何学及群论的观点来研究五次及五次以上代数方程及线性常微分方程；用群与几何学的观点来研究函数论；发现自守函数等等。不仅如此，“他高高的个子，长着浅黑的头发和胡子，一双眼睛炯炯有神。他讲的数学课远近闻名，受到普遍的称赞，好名声甚至传到了美国”，他讲课时只指出证明方法的大概轮廓，而数学定理的证明本身，则留给学生自己完成。这样，学生在课下必须花很大的功夫，才能真正掌握他课堂上所讲的东西。为了便

于学生学习，他在数学研究所里实行了开架阅览的制度，还充分利用了研讨班（seminar）这种教学形式。与作为数学家、数学教育家所作的贡献相比，克莱因更大的贡献也许是作为“伯乐”，把希尔伯特（Hilbert, David, 1862—1943）、闵可夫斯基（Hermann Minkowski, 1864—1909）、龙格（Carl David Tolme Runge, 1856—1927）、朗道（Edmund Landau, 1877—1938）等许多有作为的数学家、物理学家聘请到哥廷根，从而使哥廷根在十九世纪末、二十世纪初成为“数学的麦加”。

普朗特的魅力则来自他对科学技术问题的超凡的洞察力和对学生后辈的亲切的聚合力。

1903年，莱特兄弟研制飞机成功，人类开始更自由地翱翔在蓝天，但那时的空气动力学还非常稚嫩，普朗特瞅准了这一新兴工程技术领域，苦心孤诣，发奋钻研，于1904—1905年提出了边界层理论，为航空航天事业做出了划时代的巨大贡献（2001年我国《力学进展》评选20世纪力学发展十大事件时，“普朗特的提出边界层理论”毫无争议地名列榜首）。据冯·卡门后来的描述，普朗特的数学水平并不很高（哥廷根应用力学学派的前三代，数学水平一代超过一代），但他有廓清纷繁的科技问题、捕捉其中的物理特征的非凡能力。在实验和理论中发现贴近飞行物体的超薄的边界层（即附面层，那里流体粘性起主要作用，其它处的粘性可忽略），就是一个辉煌的范例。正是基于这种能力，在力学史上到处留有他的痕迹，例如，机翼绕流的普朗特升力线理论、湍流的普朗特混合长度理论、可压缩绕外钝角的普朗特-迈耶流动、亚音



速流动的普朗特-格劳厄特法则等等，再如，柱体扭转问题的薄膜比拟法、柱体塑性区的屈曲理论等等。

普朗特领导的应用力学研究所里的学术活动有声有色，他组织的seminar里群英荟萃。他总是心平气和地与同僚和学生讨论问题，从不以势压人，冯·卡门说，在热烈的讨论中，人们总可以领略他的聪明睿智。因此他身边的英才越聚越多，包括后来的著名的中国籍女学生陆士嘉。

2. 它具有不同于其他学派的学术风格

理论与实际、科学与技术、数理科学与应用科学密切结合是哥廷根应用力学学派极具代表性的治学理念和学术风格，他们主张从复杂的扑朔迷离的问题中，寻找出最基本的物理过程，然后再运用简化了的数学方法加以分析，从而把理论与设计结合起来。克莱因认为，工科大学生不仅要有坚实的理论基础，而且还要真正懂得科学研究的方法。另一方面，数学家也要具备一些工程技术的基础知识。克莱因身体力行推动这一改革。比如：他亲自举办过三期应用数学和应用力

学讲座；他劝冯·卡门将力学、弹性理论、固体变形和流体运动结合起来研究。克莱因的指导和影响是冯·卡门后来在亚琛工学院和加州理工学院继续搞科学和工程结合的动力源泉。所以冯·卡门“一向以填平理论科学和应用技术之间的鸿沟为己任”，在美国的加州理工学院，冯·卡门领导的研究集体使这种风格得到了充分的发展。

3. 良好的学术交流环境和民主作风

哥廷根应用力学学派所以能吸引人，是因为哥廷根有一个良好的学术交流环境。克莱因善于讲课，除了讲课以外，还组织研讨班（学术讨论会），他认为研讨班可以激发学术研究。在研讨班上，他把自己那丰富多彩的思想以及处理问题的思路毫无保留地传授给学生，“克莱因组织的学术讨论会使我非常入迷，象爱因斯坦、希尔伯特、闵可夫斯基、洛伦兹和龙格那样的大学者经常到会，这是高水平的科学聚会；才华横溢，想象新奇，令人振奋。事实上，这种学术讨论会是德国最新的科学思想的传送

带，它吸引了所有青年的注意力。”冯·卡门受益于这样的学术讨论会，

“在学术讨论会上，我不仅结识了许多物理学家和数学家，而且对各个科学分支——从初露头角的原子理论到沙漠的砂粒运动都怀有浓厚的兴趣，日后我不独钻一门，能从事空间技术多方面的研究工作，正是靠在哥廷根打下的基础”，并把这个优良的传统带到了美国，发扬光大。他每周主持一次工作会议和一次学术研讨会，周周都开，神圣不可侵犯。在工作会议上，他希望每个人都报告自己的工作，不管是教授还是学生，讨论十分活跃，说错了也不要紧。“开始时，有些同学感到，怕提的问题暴露出自己知识贫乏。不久，他们便发现这种集体‘会诊’对解决问题大有好处”。

三、对我国近代力学发展的影响

周培源、钱学森、郭永怀和钱伟长都曾在冯·卡门教授身边学习或工作过，从而成为了哥廷根应用力学学派思想在我国的传播者和实践者，对



冯·卡门教授

我国近代力学的发展做出了不可磨灭的巨大贡献。

首先，他们对科学的贡献为我国近代力学的发展奠定了基础。

二十世纪初我国物理界的学子抱着科学救国的壮志开始了他们的海外求学生涯，钱学森、郭永怀和钱伟长都加入了这个浪潮中。

钱学森先生于1935年赴美国麻省理工学院学习，第二年获航空工程硕士学位，之后转入加州理工学院，在冯·卡门教授指导下深造，1939年6月获航空与数学博士学位后，留校任教并从事应用力学和火箭导弹研究。在1939～1953年这十多年的时间里，钱学森先生在应用力学领域，紧密联系高速飞行，为突破“声障”和“热障”所面临的前沿难题，几乎全方位地进行探索，并做出了重大贡献。

郭永怀先生和钱伟长先生一同进多伦多大学应用数学系，在数学系主任辛吉(J. L. Synge，爱尔兰人，哥廷根学派的一位传人)指导下从事科学研究。郭永怀仅以半年时间就完成了“可压缩粘性流体在直管中的流动”的论文，并获硕士学位。1941年5月，他又来到当时国际空气动力学的研究中心，美国西岸加州理工学院古根海姆航空实验室(GALCIT)，在冯·卡门教授指导下工作，他主动提出要进行当时空气动力学的前沿问题——跨声速流动不连续解的研究，并于1945年获得博士学位。1946年，W. R. Sears教授在康奈尔大学创办航空研究生院，他特聘郭永怀先生前去工作。从1946年到1956年这十年间，郭永怀先生历任副教授、教授之职，也是康乃尔大学创办航空研究院的三个主持人(即Sears，郭永怀，

Kantrowitz，常被称为“三剑客”)之一。

钱伟长先生于1941年中获得多伦多大学硕士学位后，10月即完成博士论文，1942年获得博士学位。1943至1946年，在美国加州理工学院航空系及喷气推进研究所，在冯·卡门教授领导下研究火箭弹道、火箭的气动及传热设计、气象火箭、人造卫星轨道、降落伞运动规律、火箭的飞行稳定性、对称超音速锥型流及回转体流场计算、圆柱体的变扭率扭转等问题。

在国外学习和工作的岁月里，他们一直十分关切祖国发生的变化，并一直在等待时机回国。终于有了机会，钱伟长、钱学森、郭永怀毅然放弃了国外优越的物质条件先后回国，积极投身于国家建设的洪流中。即使是在非常艰苦的条件下他们仍然为推进中国的力学事业辛勤地劳动，如钱伟长先生1946年至今先后研究圆薄板大挠度弯曲问题的渐近解，流动润滑理论、超音速回转体绕流、构件的压延加工、连续梁特性、扭转问题、扁壳跳跃问题和方板大挠度问题，这些问题大多属于非线性力学的前沿领域。1958到1976年间曾在飞机震颤、潜艇龙骨设计、化工管板设计、氧气顶吹转炉炉盖设计、大型电机零件设计、液压机设计和研制、高能锌空气电池研制、穿甲原理、三角级数求和、变分原理中的拉格朗日乘子法探索，研究环壳理论、广义变分原理、有限元理论、中文信息处理、薄板大挠度的合成展开法、波纹管和其它管板受力分析、穿甲力学和断裂力学、加筋壳分析、三角级数求和、板壳的非Kirchhoff理论等等。钱学森先生在空气动力学、壳体稳定性、火箭和喷气推进、航天

技术、物理力学、工程控制论以及系统科学和系统工程方面的科学论著有广泛的影响。他在探索超声速飞机以及喷气推进飞行器的性能和原理的过程中，开创性地提出物理力学这门新的技术科学，如今这门宏观和微观相结合的学科正在更广泛的领域内蓬勃发展。这些研究成果有的以学术论文的形式，有的是在专著中。

纵观他们的科学研究贡献，不难发现都有同样的指导思想——哥廷根应用力学学派的“三结合”的思想，源于实践又指导实践。

其次，为我国近代力学发展培养人才提供有力的人力资源。

20世纪50年代以前，我国现代工业基础薄弱，对于力学研究和力学人才培养的需求并不感到十分迫切。因此，当时的中国既没有专门的力学研究机构，更没有专门培养力学人才的专业和系科。

20世纪50年代，正值中华人民共和国建国之初，经济建设与国防建

设开始起步。新的大工厂、大建筑、现代化产品、火箭、卫星和原子弹的设计与研制，急需成批的力学人才并提出迫切的力学研究的理论与应用课题。适应这种需要，1951年，钱伟长在中国科学院数学研究所创立了力学研究室。1956年，钱学森与钱伟长、郭永怀合作，在数学所力学研究室的基础上成立了中国科学院力学研究所。从此，力学研究在我国有了专门机构。在该所的办所方针、研究方向、科研架构等方面，既体现了当时的时代特征，又体现了哥廷根应用力学学派的精神。力学所建立伊始，钱学森所长、郭永怀副所长就创办了定期的学术研讨会，尽管一开始的参加者就十来个人，却有一种生机盎然的气氛。

在人才培养方面，1952年周培源在北京大学数学力学系创建了我国第一个力学专业。随后，一批新的力学研究单位和力学专业相继成立，很快形成了一支具有相当规模的力学专门人才的队伍。

1957年2月，我国第一个力学专业学术期刊——《力学学报》创刊。它的第一任主编是钱学森，第二任主编是郭永怀。中国力学学会也于当年应运而生。积数十年的努力，沿着周培源、钱学森、钱伟长、郭永怀四位中国近代力学奠基人所开创的道路不断前进，当今中国力学界已发展为学科门类繁多，力学研究单位星罗棋布，力学系科遍及全国，力学人才新秀辈出的局面，并且在不少领域内已取得令人瞩目的研究成果，力学界广大科技人员为我国社会主义现代化事业做出了自己应有的贡献。

1956年，我国恢复建立研究生制度。郭永怀积极筹划力学所的研究生培养。在第一批招生中，他一人就带了5名研究生，以后又亲自带过几批。他主张：培养人才要“言教、身教，以身教为主”。在教学和科研中，他自己做表率，经常同年轻人一道解决一个个具体的技术问题。在培养研究生和助手时，他注重使他们在理论分析和实验研究两个方面都得到提高。他对年轻人的指导和帮助是启发式的、循序渐进的，重点强调掌握科研方法，提高科研本领，而不仅仅是解决某些具体问题。在他的培养下，研究生中有不少已成为院士或博士研究生的导师。

1957年，钱学森、钱伟长和郭永怀组织并领导了清华大学工程力学研究班。他们除负责研究班的日常组织工作外，还亲自执教，分别讲授水波理论、弹性力学和流体力学概论。还亲自带领他们到有关高等院校的实验室参观，对一些关键问题给予一些启示，再让他们为课程安排一个实验计划，使这门课做到理论联系实际。临毕业前，郭永怀亲自指导安排学员们



中国科学院力学研究所



的毕业论文题目，并设法每周都同辅导教员和学员碰头，了解进展情况，帮助解决问题。清华大学工程力学研究班前后共办了三届，毕业生达 290 多名，被我国力学界人士誉为力学的“黄埔军校”。现在这些学员分布在全国各地的各个部门，特别是在国防科研单位和重点院校的力学系或力学专业教研室，他们起着顶梁柱的作用。

1958 年，郭永怀兼任中国科技大学化学物理系主任和北京大学数学力学系教授，讲授高速边界层。执教中，每堂课都凝结了他的心血。他评论和分析学者们成功与失败的经验，使初入门的研究人员都深受启发，甚至受用终生。在讲到求解各种形式的 $N-S$ 方程时，他总是眉飞色舞，侃侃而谈，指出采用什么样的变换有望获得成功，走哪一条路是徒劳的，会遇到什么问题，症结何在。凡听过他课的人都感到回味无穷。

钱伟长还将哥廷根应用力学学派的学术民主作风和举办 seminar 的

做法带回国内并发扬光大，尤其是在他主持上海大学（原上海工业大学）和上海市应用数学和力学研究所之后。在上海市应用数学和力学研究所每周四都举办 seminar，无论是国内外的专家还是所内人员，都可以在 seminar 上报告自己的工作情况加强交流。上海市应用数学与力学研究所从 1984 年成立至今已经为我国培养了很多优秀的力学人才，他们正在祖国需要的地方发挥自己的专长，为祖国的建设贡献自己的力量。

最后，高屋建瓴地为我国近代力学的发展指明了方向。

钱学森先生是国际知名的力学大师，他的许多力学著作堪称经典文献，他对近代力学以至技术科学的内涵和发展方向发表过全面系统的论述，对于指导我国实现科学和技术的现代化具有重要的现实意义。他认为近代力学有三个任务，第一，为工程师、设计师服务，解决他们在工作中碰到的新问题，依据力学理论进行分析和研

究，然后给他们提供建议书；第二，从工程技术和生产实践所发生的新问题中提炼出具有一般性的课题，进行研究并予以解决，这样就不只是解决个别的具体问题，而是解决一系列的实际问题；第三，在掌握了生产实践知识和精辟的力学理论的基础上，创立新的科学见解，从而改进工程技术、改造生产。我们不难看出钱学森先生在谈到以上三项任务时，始终体现着理论与实际，科学与技术，数学科学与应用科学密切结合的思想，亦即哥廷根应用力学学派的核心思想。

钱伟长先生在为山东省力学学会成立大会上所做的报告中，也反复提到“我们就是要在不断地使用现有理论解决生产实际问题的过程中来丰富理论，提高理论，在新的更高度的理论基础上，再来指导实践，不断前进。应用和理论二者是结合的”。

总结郭永怀先生一生的工作，他总是将当前有重大应用背景的科学问题作为自己的研究方向，尤其是同国家和民族利益紧密相关的问题；他善于通过观察和思考，提出既能反映问题本质，又能具体进行定量分析的简化数学模型来进行研究，他能运用一切现有的有效数学手段，或研究和发

展新的数学方法，得到满足工程需要的解答；分析所获得的结果，深入研究其中的规律，进一步指导未来的工程实践，这是他取得重大科学成就的关键。

我们深切地希望，力学战线的后来者能继承老一辈的优良传统，为祖国的力学事业的继续发展尽自己的微薄之力！**科技**