

《自然杂志》科普精英丛书

院士 解读 科学前沿

《自然杂志》编辑部 编选

上海大学出版社

《自然杂志》科普撷英丛书

院士

解读

科学



《自然杂志》编辑部 © 编选

上海大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

院士解读科学前沿/《自然杂志》编辑部编选. —
上海: 上海大学出版社, 2016. 8
ISBN 978-7-5671-2441-7

I. ①院… II. ①自… III. ①科学技术—技术发展—
世界—现代 IV. ①N11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 164994 号

特约编辑 段艳芳

责任编辑 陈 强

装帧设计 朱静蔚

技术编辑 章 斐

院士解读科学前沿

《自然杂志》编辑部 编选

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.press.shu.edu.cn> 发行热线 021-66135112)

出版人: 郭纯生

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海市印刷四厂印刷 各地新华书店经销

开本 787×960 1/16 印张 28 字数 410 千

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1~3100

ISBN 978-7-5671-2441-7/N·006 定价: 48.00 元

序 言

科学具有两重性。科学的果实是生产力,而且是第一生产力;科学的土壤是文化,而且是先进文化。作为生产力,科学是有用的;作为文化,科学是有趣的。两者互为条件,一旦失衡就会产生偏差。假如科学家不考虑社会需求,只知道自娱自乐,科学就必然萎缩;相反,失去文化滋养、缺乏探索驱动的科学 research,只能做技术改良,难以有创新突破。

当前我们科学创新的重大障碍之一,在于和文化的脱节。对于科学和文化结合,多少年来并没有少提倡。科学家登台唱戏,美术家为院士画像,都曾是盛传的佳话,只不过实际效果跳不出宣传层面。其实最为需要的是弘扬科学的精神内涵,回归科学的文化本性。和所有的文化人一样,科学家是一个特殊的社会群体,但是与其他文化领域不同,科学家做的事一般行外人鲜有所知,甚至讲给你听也不见得懂。然而科学家涉及的并不只是专业领域的专门问题,他们一旦进入文化高层,就会思考平常人想不到的问题,会察觉行外人看不出的自然美,会在探索的道路上,产生像阿基米德高呼“尤里卡”时那样的内心冲动。而且研究内容越深入,越具有普遍性;所以水平越高的报告,反而越容易听懂。正是在这里面,凝聚着科学的文化成分。如果将这种成分向社会传播,那就是促进科学和文化结合的粘合剂。

摆在你面前的这本《院士解读科学前沿》,就是科学家们对自己领域学术前沿所作的综述或者解说。他们试图将枯燥的知识用“大白话”表达,将高深的学

问用科普形式介绍,而撰写人就是奋斗在一线的学术权威,因此这是一本有助于弥合科学和文化断层的读物。在知识爆炸的今天,每年发表的科学论文数逾百万篇,没有人能够逐一追踪,于是综述性成果应运而生,相应的刊物和书籍雨后春笋般在国际学术界涌现,其中尤以权威学者的作品最受重视。环顾国际上这一类的精品,有的对某一专题的学术进展进行系统综述,成为介于论文和教科书间的中间产品;有的是对某方面研究曲折过程的历史回顾,成为探索道路反思的科学“演义”;有的就是大科学家写的高级科普,其中不乏产生过历史影响的经典作品。这些作品的读者面远远超越本专业,是促进跨学科交流的利器,尤其是后面两类的读者面更广,往往是科学对文化的直接贡献。

可惜与国际相比,我国这三类的作品都有严重的不足。表面看来似乎应有的尽有,但是有些国内学报发表的综述,竟然就是研究生的开题报告;流传在图书市场里的科普文章中,反复转抄或者变相转抄的产品太多,使得原创性精品淹没其中,良莠难分。至于我们的学术带头人,大部分因为事务“太忙”或者座椅“太高”,通常不屑于写这类文章。殊不知一些国际的大科学家,正是通过这种文化层面的思考,萌发出学术上的新思维,提出对于自然奥秘的“天问”。

从文化角度阐述科学,有着深远的历史意义。这本《院士解读科学前沿》就是要告诉你:原来科学还可以这样讲解。科学并不总是像在考试时候那样可敬可畏,其本来面目是非常可亲可爱的。成功的科普作品、甚至科学论文本身就会告诉你,科学不但大有用处,而且是个引人入胜、妙趣横生的世界。一篇好的科普作品,可以比侦探故事还要神奇,比言情小说更加迷人。近年来,我国的科普事业取得了巨大的进展,但是阻隔科学和文化融合的屏障,至今仍然根深蒂固,因为从政策到人才,都有着很深的根。从政策讲,我国从科学院到高考,文理之间都有断层;从人才讲,我们缺乏两者之间的桥梁,也就是说缺乏文化人的科学

兴趣和科学家的文化素养,缺乏活跃于两者之间的“两栖”型人才。这类人才在发达国家的科学和文化发展中,发挥着重大的作用,在我国却遗憾地成为发展中的一大漏洞。

发展的要害在于人。科学和文化之间出现断层,因为两者之间至少缺了三类人。我们的科学界,缺乏像乔治·伽莫夫那样,既会提出宇宙大爆炸理论,又能写作《物理世界奇遇记》的科学家;我们的文艺界,缺乏像詹姆斯·卡梅隆那样,既会导演《泰坦尼克号》和《阿凡达》,又能深海探险、只身深潜一万米的艺术家;我们尤其缺乏一批游弋在科学与文艺两大领域、推动两者融合的“两栖作家”,这里指的是一批从事科学报道、撰写科普精品的记者或者自由撰稿人,他们像蜜蜂那样用心采集科学花朵的花粉,催生出科学树上的文化之果。一个著名的实例就是比尔·布莱森,这位从写游记起步的记者,居然荣膺英国皇家化学学会的化学奖,他那本讲述宇宙大爆炸到生命起源研究历程的《万物简史》,译成了40种文字出版。这类记者或者作家,既有科学家的执着和严谨,又有文学家的视角和灵感。他们绝不会把科学家当模特儿描写,用一批不着边际的套话,把报道写成广告;更不会把未经证实的“成果”,用自己也没有弄懂的文字,去为被报道人的报奖、提级做铺垫;也不会赶时髦、抢新闻,通过几个“电话采访”,就匆匆抛出人云亦云、甚至于以讹传讹的所谓科技报道。

我们需要的“两栖作家”是一群社会的有志之士,他们潜心追溯科研成果的来龙去脉,从思想脉络去揭示科学发展的曲折路径;他们满怀热诚地剖析科学家的内心,把探索真理路上的智慧明灯在笔下重现。相比之下,亲身在第一线探索真理,有幸直接“仰观宇宙之大,俯察品类之盛”的科学家,应当具有更为独特的优势。假如他们在科学事业成功的基础上,还能回归科学的文化本性,直接为科学与文化的融合出力,那就有可能在建设新文化方面作出贡献。这就是科学大家自己动手的可贵之处。

的确,国际学术界有着相当数量的学界巨子,他们在事业有成之后写出的“高级科普”,其影响力不下于当年对本学科的学术贡献。今天中国正在经历科技发展的黄金时代,随着时间的推移必然会产生出有国际和历史影响的成果,其中必然包括我们所说的“高级科普”作品。传世佳作在当前的中国已经呼之欲出,只是无从预测“花落谁家”。让我们趁着祝贺《院士解读科学前沿》出版的良机,大声呼吁我国的科学界、文化界共同努力,为汉语世界里科学和文化的融合,为促进有丰富文化底蕴的创新科学,和有崭新科学内涵的现代文化,做出自己的贡献!

中国科学院院士 《自然杂志》编委

汪品先

2016年7月

编者的话

《自然杂志》为一份内容涉及自然科学各领域的综合性刊物。刊物定位为高级科普期刊,所刊载的文章主要由国内外各领域的专家撰稿,深入浅出地介绍自然科学各领域的最新科学进展。文章在强调学术性的同时,也兼顾可读性,以利于不同学科之间的交流合作。

自1978年5月创刊以来,《自然杂志》历经贺崇寅、汪元章、董远达、吴明红四位主编。1978—1994年创刊人贺崇寅担任主编时期,杂志作者大家云集、影响巨大,却最终黯然休刊。在钱伟长校长的关心下,《自然杂志》转至上海大学主办,1995—2004年由汪元章担任主编;2005—2015年董远达担任主编期间,励精图治,锐意进取,对原有的栏目和版式做适当的调整,重申高级科普杂志的定位,并投入相当多的精力向专家组稿;2016年起由吴明红担任主编,提出办刊理念为:关注前沿科学、促进学术交融、推动创新发展。

承蒙各位专家厚爱,最近十多年《自然杂志》编辑部组织到了很多优秀科普文章,或由大家写就、视野开阔,或对科技热点进行深度解析,或观点独到令人耳目一新。今天看来,这样的文章也是弥足珍贵的,然而这样的文章散落于各期杂志,不易为读者所注意。因此我刊希望能够选编堪称高级科普精品的文章集结成册,以便读者鸟瞰式地了解近年来国内外的科学进展。

国务院发布的《全民科学素质行动计划纲要(2006—2010—2020年)》明确,科学素质是公民素质的重要组成部分,公民具备基本科学素质,要求了解必要的科学技术知识,掌握基本的科学方法,树立科学思想,崇尚科学精神。而我们却不得不面对这样一种现实:科学的发展一日千里,其成果不但应用于科技、国防

等高端领域,与公众日常生活的改变也关系密切,一般人从中受惠良多。普通人享受着科技发展的成果,似乎感到科技离每个人都很近,但对于科技发展的本身却知之不多。现代科学的发展日益细化、精深,一般人想要了解它困难重重,即便是青年大学生和研究人员,也往往是隔行如隔山。因此需要“高级科普”,使具备一定文化素养的公众了解当前科学发展到了哪种程度,有哪些新领域、新进展,在脑中能建立起一个现代科学的大致框架。

这套《自然杂志》科普撷英丛书,首先推出《院士解读科学前沿》和《诺贝尔自然科学奖全解读(2005—2015)》两种,今后还将按照不同主题选编相关文章出版其他科普图书。出版科普撷英丛书的目的,一是希望为读者了解科学前沿提供一定帮助,二是希望为不同领域的专家写好科普文章提供一点借鉴,三是作为对《自然杂志》近十年的总结和回顾。

感谢各位撰稿专家,他们的才华和智慧成就了本丛书的出版;感谢广大《自然杂志》读者长期以来的订阅支持和各种建议;感谢上海大学出版社编辑陈强在本书策划和成书过程中付出的辛勤劳动!

《自然杂志》编辑部

2016年6月



○ 自适应光学技术	1
○ 三维原子探针	
——从探测逐个原子来研究材料的分析仪器	17
○ 百年来物理学和生命科学的相互影响和促进	29
○ 地理学第一定律与时空邻近度的提出	48
○ 地球空间信息学及在陆地科学中的应用	55
○ 编制地球的“万年历”	71
○ 岩浆与岩浆岩：地球深部“探针”与演化记录	84
○ 从海底观察地球	
——地球系统的第三个观测平台	98
○ 破冰之旅：北冰洋今昔谈	113
○ 人类起源与进化简说	126
○ 进化论的几个重要猜想及其求证	135
○ 达尔文学说问世以来生物进化论的发展概况及其 展望	157
○ 孔子鸟的研究现状	173
○ 简说羽毛化石的研究	188
○ 寻找失去的陆地碳汇	202
○ 灌丛化草原：一种新的植被景观	216
○ 中国西北干旱区土地退化与生态建设问题	227
○ 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及 趋势	241
○ 转动分子马达：ATP 合成酶	261
○ 小虫春秋：果蝇的视觉学习记忆与认知	276

○ 人类意识流的重要组成部分	
——心智游移	291
○ 剖析乙肝病毒的包膜	
——乙肝表面抗原的生物学功能及其致病机制	308
○ 嫦娥二号的初步成果	319
○ 高性能计算技术发展	328
○ 水下机器人发展趋势	345
○ 古老地质样品的黑碳记录及其对古气候、古环境的响应	366
○ 现代钢、古代钢和碳定年法	380
○ 中国古代玻璃的起源和发展	395
○ 形色各异的摩擦磨损与润滑	415
○ 中医学的科学内涵与改革思路	428

自适应光学技术

姜文汉* 中国科学院光电技术研究所

1 自适应光学——自动校正 光学波前误差的技术

从1608年利普赛(Lippershey)发明光学望远镜,1609年伽利略(Galileo)第一次用望远镜观察天体以来已经过去近400年了。望远镜大大提高了人类观察遥远目标的能力,但是望远镜发明后不久,人们就发现大气湍流的动态干扰对光学观测有影响。大气湍流的动态扰动会使大口径望远镜所观测到的星像不断抖动而且不断改变成像光斑的形状。1704年牛顿(I. Newton)在他写的《光学》^[1]一书中,就已经描述了大气湍流使像斑模糊和抖动的现象,他认为没有什么办法来克

* 光学技术专家。早年从事大型光测设备研究,在精密轴系理论和技术、固定式光学测量系统等方面有开创性工作。1979年在我国首先开拓自适应光学方向,建立整套基础技术并研制多代具有国际先进水平的系统。他在自适应光学和光束控制两方面均做出重大贡献。1995年当选为中国工程院院士。

服这一现象,他说:“唯一的良方是寻找宁静的大气,云层之上的高山之巅也许能找到这样的大气。”天文学家们以极大的努力寻找大气特别宁静的观测站址。但即使在地球上最好的观测站,大气湍流仍然是一个制约观测分辨率的重要因素。无论多大口径的光学望远镜通过大气进行观察时,因受限于大气湍流,其分辨力并不比0.1~0.2 m的望远镜高。从望远镜发明到20世纪50年代的350来年中,天文学家和光学家像谈论天气一样谈论大气湍流,而且还创造了 Seeing 这个名词来描述大气湍流造成星像模糊和抖动的现象,但是对 Seeing 的影响还是无能为力。

图1是有无波前误差时点光源成像光斑的比较。图1(a)是没有波前误差时的光斑,由于光学系统口径的衍射,没有波前误差时的衍射极限光斑由一个中心光斑和一系列逐渐减弱的同心环组成,称为艾利(Airy)斑。对圆形口径,83.4%的光能集中在中心斑内,其直径为 $2.44 \frac{\lambda}{D}$, λ 为光学波长, D 为光学系统口径。图1(b)给出存在 ± 0.56 波长(均方根)波前误差时,点光源成像的光斑三维图,光斑显著扩散。对于大气湍流这样的动态干扰,扩展的光斑将不断改变形状,并且成像位置不断漂移。

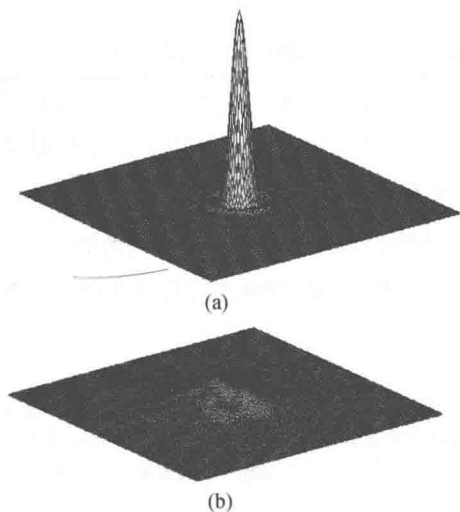


图1 波前误差对成像光斑能分布的影响

- (a) 没有波前误差时圆形口径产生的衍射光斑,
(b) 当波前误差均方根值为 ± 0.56 波长时的弥散光斑

1953 年美国天文学家 Babcock 发表了《论补偿天文 Seeing 的可能性》^[2] 的论文,第一次提出用闭环校正波前误差的方法来补偿天文 Seeing。他建议在焦面上用旋转刀口切割星像,用析像管探测刀口形成的光瞳像来测量接收到的光波波前畸变,得到的信号反馈到一个电子枪,电子轰击艾多福(Eidophor)光阀上的一层油膜,使油膜改变厚度来补偿经其反射的接收光波的相位(图 2)。这一设想当时并未实现,但用测量—控制—校正的反馈回路来校正动态波前畸变的思想,成为自适应光学(Adaptive Optics)的创始设想。

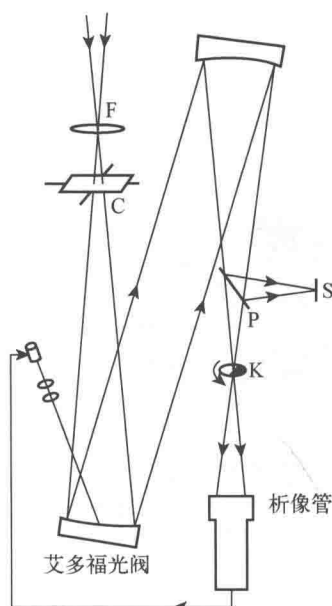


图 2 1953 年天文学家 Babcock 提出的实时补偿波前误差的原始设想

20 多年后,到 20 世纪 70 年代由于基础技术的发展成熟,也由于在高分辨率成像观测和高集中度激光能量传输等方面对克服动态干扰的需求更趋迫切,自适应光学的设想才得以实现,长期以来光学系统对动态干扰无能为力的局面才有了改变。此后,又经过 20 余年的发展,自适应光学技术日趋成熟,世界上许多大型天文望远镜都装备了自适应光学系统,而且应用领域正在从大型望远镜和

激光工程扩展到民用领域。

自适应光学技术是以光学波前为对象的自动控制系统^[3-4],利用对光学波前的实时测量—控制—校正,使光学系统具有自动适应外界条件变化、始终保持良好工作状态的能力(图3)。自适应光学系统包括3个基本组成部分:波前探测器、波前控制器和波前校正器。波前探测器实时测量从目标或目标附近的信标来的光学波前误差。波前控制器把波前探测器所测到的波前畸变信息转化成波前校正器的控制信号,以实现对光学波前的闭环控制。波前校正器是一种可以快速改变波前相位的能动光学器件,将波前控制器提供的控制信号转变为波前相位变化,以校正波前畸变。

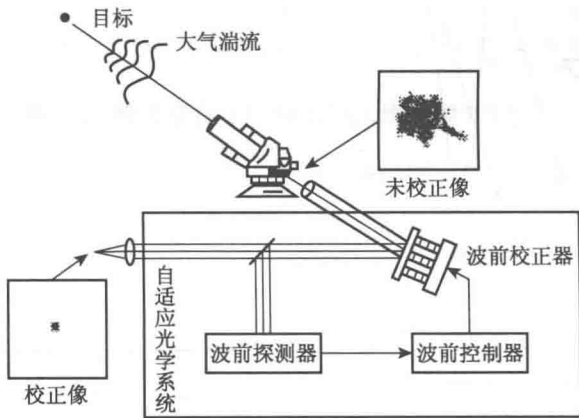


图3 自适应光学系统的基本组成

由于很难直接测量波前相位误差,在自适应光学系统中常常先测量波前斜率或曲率,再用波前复原算法计算出波前相位。在各种测量方法中,以测量波前斜率的哈特曼(Hartmann)传感器(图4)最为常用。哈特曼传感器用一个透镜阵列对波前进行分割采样,每个子孔径范围内的波前倾斜将使单元透镜的聚焦光斑产生横向漂移,测量光斑中心在两个方向上相对于用平行光标定的基准位置的漂移量,可以求出各子孔径范围内的波前在两个方向上的平均斜率。

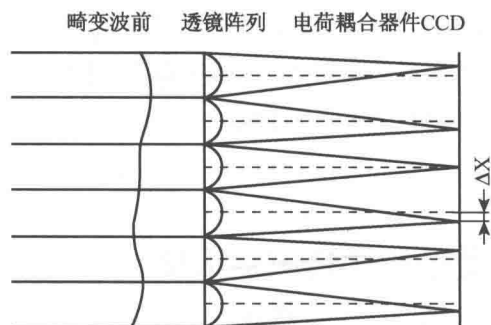


图4 哈特曼传感器

波前校正器有两类：校正波前相位的变形反射镜和校正波前整体倾斜的高速倾斜镜。变形反射镜(图5)是在刚性的基板上固定多个用压电陶瓷(PZT或PMN)制成驱动器,驱动柔性的镜面面板,在驱动器的推动下,使面板产生所需要的微小变形,使面板反射的光束波前产生变化。高速倾斜镜是用压电驱动器推动刚性的镜面,产生两轴的倾斜,从而改变反射光束的方向。自适应光学系统中的波前校正器要求有很高的分辨力(10纳米或10纳弧度量级)和很快的响应速度(毫秒量级)。

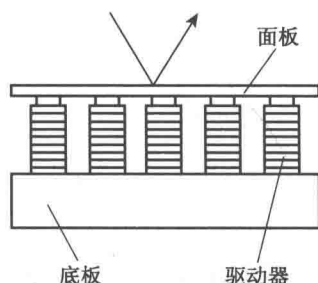


图5 变形反射镜

自适应光学系统是将反馈控制用于光学系统内部。但与一般的控制系统相比,有如下的特点:控制对象是光学波前,控制的目标是要达到良好的光学质量,控制精度为 $1/10$ 光波波长即数十纳米量级,控制通道数从几十到上百个,控制带宽达几百赫兹,可利用的光能有时非常弱,常常要用光子计数的方式进行波前探测。这些特点带来一系列特殊的技术问题,也是自适应光学技术的难点之所在。

中国科学院光电技术研究所于 1979 年在我国率先开始研究自适应光学。二十余年来,建立了基础技术,研制成功多套自适应光学系统。下面将简要介绍我们建立的几套不同结构和用途的自适应光学系统。

2 自适应光学提高对天体目标成像的分辨率

由中国科学院光电技术研究所研制的 1.2 m 望远镜自适应光学系统^[5]用于天文目标观测。该套系统安置在云南天文台 1.2 m 望远镜上,在全口径上实现大气湍流动态波前误差的实时校正,实现对星体目标的高分辨率成像。系统原理结构如图 6 所示,主要由望远镜、自适应光学系统、精密跟踪系统和成像系统 4 部分组成。

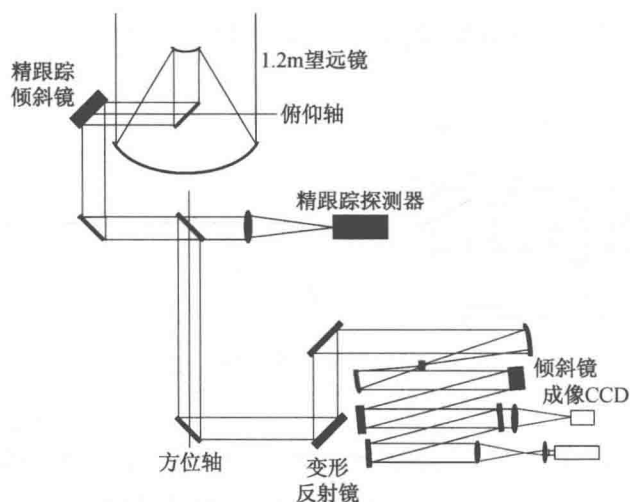


图 6 云南天文台 1.2 m 望远镜的自适应光学系统

望远镜具有地平式机架,绕俯仰和方位两轴旋转以跟踪天体目标。望远镜的光学系统口径为 1.2 m,为库德(Coude)式结构,光路经主镜和次镜后由反射