

未来 10 年中国物理学学科发展战略

国家自然科学基金委员会，中国科学院

一、物理学学科的战略地位

物理学与数学、天文学、化学、地球科学、生命科学乃至社会经济等学科都有着极为密切的关系。物理学不断影响和推动这些学科的发展，形成的交叉领域(如物理化学与化学物理、生物物理、地球物理、天体物理与宇宙学等)已经成为这些学科不可分割的组成部分和其持续发展的推动力。

物理学的研究范围非常广：从微观世界的基本粒子，到广阔无垠的宇宙；从 10^{-22} s 的超快事件，到大爆炸以来宇宙 100 多亿年的演变过程；从接近绝对零度的超冷原子，到上亿度的热核聚变和超高温天体。物理学有许多二级学科，如理论物理(包括数学物理、量子物理、统计物理、相对论和宇宙学等)、高能物理(粒子物理)、原子核物理、等离子体物理、光学、声学、原子分子物理以及凝聚态物理，还有不少与物理学相关的交叉学科，如天体物理、化学物理、生物物理、医学物理、材料物理、地球物理、纳米科学和量子信息学等。

物理学是自然科学的基础学科，在整个自然科学的发展中发挥着至关重要的作用。作为自然科学发展的重要推动力量，物理学的发展不仅极大地丰富了人类知识宝库，而且多次导致了产业革命，成为经济发展的高新技术源泉，对人类现代文明和社会进步起了重大的推动作用。现代技术反过来回馈物理学的发展，为物理学重大突破提供技术手段和新的契机。

众所周知，20 世纪是物理学革命性进步的黄金时代。21 世纪开始，物理学发展在深度和广度上也表现出强劲的态势。纳米科学、生物物理和量子信息的迅猛发展是物理学应用于材料、生命和未来信息技术的典型范例。我们相信，在 21 世纪，对于整个自然科学的发展，物理学仍将保持其基础性的引领地位，对高新技术乃至社会经济进步仍将有着深远和决定性的影响。在发展新型清洁能源、改善生态环境、保障国家安全等方面，物理学将进一步发挥其不可替代的关键性作用。

物理学的战略地位具体表现为以下几个方面。

1.物理学深刻改变了人们的宇宙观，促进了人类思想的革命性飞跃；实验理论相互促进，构成了现代物理学发展的主旋律。

科学是人类文明发展到一定阶段的产物，是关于自然界和思维的知识体系。它运用定理、定律等思维方式反映和描述现实世界各种现象及其规律，通过揭示这些支配事物的根本规律，以求理解各种事物运动发展的本质。作为这个知识体系的主要部分，物理学的发展从根本上改变了人类的宇宙观，引发了人类思想和思维的革命。日心说、牛顿定律、量子论和相对论等就是科学革命的典型例证。可以说。作为建立在实验基础上的现代宇宙观，物理学观念业已成为当代哲学的科学基础乃至重要组成部分。

的确，几个世纪以来，物理学对促进人类认识自然、改造自然和推动社会经济发展进步有划时代的突出影响。电磁波的发现和电磁场理论的建立，放射性的发现和基本粒子的研究，热力学和统计物理学的发展，量子力学和相对论以及粒子物理标准模型的创立，包括对称性破缺和混沌无序等物理概念，为人类认识物质世界提供了基本理论和思想方法，大大拓宽了人类知识的无垠疆界，进一步加深了人们对物质微观世界和宏观世界的本质及运动规律的正确理解。

物理学可分成经典物理学和现代物理学两部分。前者探讨由经典力学、电磁场理论、热力学和经典统计物理所描述的宏观世界的物理规律。其理论框架从奠基到 19 世纪末已基本完备。由于人们生活在宏观尺度的物质世界里，经典物理学的重要性不言而喻，现今仍是物理学的重要组成部分，也构成了许多工程技术的理论基础。相对论和量子力学确立之后，物理学进入了现代物理学的新时期。20 世纪是实验技术突飞猛进的时期。实验理论相互促进，构成了物理学发展的主旋律，以下的例子可以充分体现这一点。

20 世纪初期，卢瑟福的粒子散射实验为原子核物理和粒子物理的研究树立了样板，导致了中子的发现和核裂变反应堆的问世。随后，轻核聚变又提供了另一种核能源。30 年代后，加速器技术导致了高能量、强束流的产生，发现了几百种新粒子。加速器与核反应堆也可用于其他学科的研究，同步辐射和高通量中子源就是这方面的例证。加速器和有关的粒子探测技术引发了 50 年代粒子物理突飞猛进的发展，使得人们对物质深层次结构和运动规律的认识更加深入，导致

了规范场论、弱相互作用中宇称不守恒、夸克模型、电弱相互作用统一和量子色动力学等一个又一个里程碑式的重大科学发现。

2.物理学是基础性引领学科，在促进其他学科进步的同时，与其结合交融，形成生命力强、极有发展前途的交叉领域。

作为 20 世纪自然科学的引领学科，物理学的基本概念和理论方法，对化学、生物学及医学、材料科学、信息科学、环境科学、地球科学、空间和天体科学等产生了革命性的影响。它的实验手段为其他学科发展提供了必要的工具。它导致的新型材料结构和新奇物态，极大地丰富了自然科学各个领域的研究对象和内容，由此进一步促进了自然科学各领域自身的迅猛发展。例如，表征晶体结构的 X 射线技术导致了 DNA 双螺旋结构的发现，引发了一场生物学革命；现代物理化学的基础是量子力学；天体物理和定量的宇宙学是建立在广义相对论等当代物理学基础上的。

对原子、电子、原子核、晶体结构及其运动规律的认识，奠定了化学、材料和生物学的微观基础，促使物理化学、纳米科技、量子化学、放射化学和分子生物学等新学科的诞生；天体物理、地球科学、力学等本来就与物理学有着紧密的联系，其基本理论框架和实验方法都是以物理学为基础的，并且不断从物理学的科学发展前沿中吸取营养；凝聚态物理是材料科学发展的前提，物质声、光、电、磁等方面物理效应的研究，导致新型材料的发现；基于各种人工结构的新奇现象是构建现代量子器件的物理基础；信息科学建立在半导体和激光等发展基础上；源于物理学的原理、方法而产生的实验技术和观测手段(如计算机 X 射线层析(CT)、核磁共振技术、正电子发射层析、超声波成像和激光手术等)用于医学，大大提高了诊断和治疗质量。

在推动人类的现代文明和社会进步方面，物理学是与其他学科并行和交叉发展的。在 21 世纪里，物理学将继续扩大它的研究领域，由过去对物质体系研究的专注，逐步涉足对信息过程和生命现象的物理基础的探索，量子信息和生物物理是此方面的典型例子；由过去对宏观和微观世界两极的分别研究。转向重视对介观体系的探索，纳米科技由此应运而生。因此，当代物理学和其他学科的交叉和结合产生了许多新的、极富生命力的交叉学科，成为有发展前途的科学前沿。事实上，作为基础学科，物理学不仅和其他许多学科有着非常紧密的联系，而且

与它们结合、交融，产生了交叉学科。在未来物理学的发展中，许多最重要的科学问题可能更多属于交叉学科。交叉学科的繁荣和发展，会使得学科之间的界限溶解、淡化，促进学科之间产生更加紧密和实质性的联系，由此可以导致自然科学研究的新突破。

与物理学有关的交叉学科研究不仅要求多领域、多学科的综合和相关学科的实质性参与，而且物理学本身要发挥主导作用，引导交叉学科逐步形成自己富有特色的价值观念和研究方法，成为一门精密科学。毫无疑问，物理学的研究方法在学科交叉中将会发挥重要的作用，物理学的理论和概念对于任何一门交叉学科都是必不可少的，物理学的仪器和设备在交叉学科研究中也是必不可少的。

3.物理学始终是高新技术发展的源泉和重要保障，不断导致产业变革，促进社会经济发展；技术进步和导向性需求反过来为物理学发展提供工具，提出重大科学问题。

人类文明的发展是物质世界从自在逐渐走向自为的发展过程，人们在认识世界的基础上进一步改造世界，谱写了人类文明的新篇章。20 世纪以来，许多革命性的技术发展都起源于物理学的基础研究。量子力学的发展导致了半导体晶体管和激光的发明，从而促进了基于大规模集成电路和光电信号处理的信息产业的发展；核反应和核裂变研究导致的核电技术，今天已经成为解决世界性能源危机的重要途径之一；基于 X 射线和核磁共振的成像技术，使得医院对病人可以进行极其精准的检查；肿瘤的放射疗法也是物理方法应用于医学的典型事例。物理学为现代医学诊断治疗提供了必要的科学方法和技术手段。

物理学的发展带来空前的技术进步，不断导致新的产业诞生，改变了社会产品结构和经济结构。许多高新技术和产业都是以物理学的原理和发现为基础而形成的。例如，电磁现象研究以及电磁理论导致了现代的电力工业和无线电通信、雷达的发展；原子核物理基础上发展起来的核技术，使核能源、核武器应运而生，形成核工业；固体物理的研究，使半导体和其他许多新型功能材料出现，电子工业、计算机工业得以建立和发展；激光的发明，导致激光技术、光通信技术的发展，新型的光电子产业正在形成。

物理学始终是相关技术发展的源泉和重要保障，具体从以下三个方面得到体现。

①信息技术：信息技术的物理基础首先体现在电子学的建立。第二代信息技术所用电子器件是半导体晶体管。固体能带量子理论启发的半导体晶体管的发明标志着信息时代的开始，导致了半导体和集成电路工业的建立和计算机的科技革命。今天，基于光刻技术的微型化集成电路，已达到 10 纳米量级，进一步向纳米量级推进，必然存在物理的极限，量子限制效应即将凸现出来。量子阱、量子线和量子点等这类呈现新的物理效应的器件，都将受到高度重视。激光器的发明是信息技术的另一物理支柱。它与高琨发明的光纤相结合衍生了光纤通信技术。虽然光计算机尚处于探索的阶段，用于存储信息的光盘业已大量应用。1988 年 A. 费特等在铁磁与非铁磁金属多层膜中发现了巨磁电阻效应，已经广泛用于计算机硬盘存储。进一步发展，会有各种磁存储技术从自旋电子学基础研究中脱颖而出。从理论的角度看，香农的信息论是建立在经典物理的基础上的。到 20 世纪 90 年代，科学家基于量子力学的叠加原理，建立了量子信息理论，期望将来能发展为重要实用信息技术。

②材料技术：材料技术的核心是新材料的研制和传统材料性能的提高。能带理论提供了理解材料电子性质的依据，晶体的位错理论为理解金属的塑性提供了依据。这方面的研究工作，除了在半导体器件上开花结果外，也促使材料科学在定量化、微观化和现代化方面迈出了一大步。而以高分子为主的有机材料的发展途径和研究工具与无机材料有较大的差异。高分子科学趋于成熟，同时液晶物理学受到物理学家的关注。法国物理学家德热纳(P. -G.de Gennes)等将临界现象的标度律引入高分子科学，引发了处理软物质的材料科学的诞生，使材料科学朝一体化方向迈出了一大步。

③能源技术：能源的取得和利用是工业生产和人类生存的大事。20 世纪物理学的一项重大贡献在于核能的利用，核电已成现实。如何进一步降低成本，充分经济地利用核燃料将是一个重要的研究方向。可控热核聚变能的研究，比原来预期要困难得多，但还是要向前推进。太阳能的利用也对物理学提出了挑战，如何制作出廉价而高效的太阳能电池将是关键性的问题。至于更加常规的能源利用，如石油勘探、煤的燃烧、氢能的利用、节能技术等，也有不少涉及物理学问题，有待进一步研究。

可以说，物理学及在物理学原理基础上发展起来的现代技术，直接推进了整

个社会的进步，改变了人类的生活方式。物理学的影响涉及信息、通信、交通、医疗、宇航和能源等众多领域，人们的物质生活、文化生活乃至战争方式均因此发生了巨大的变革。物理学方法已经开始被应用于研究社会和经济系统的集体现象，并取得了很大的成绩。在当今物理学的研究中，相当一部分具有明确的应用前景。如核聚变研究、高温超导研究、巨磁电阻研究、自旋电子学、介观物理和纳米科学、量子计算研究和人工光合作用等，使能源技术、信息技术、计算机技术、生物技术、材料、宇航等许多领域孕育了新的发展。尽管物理学的许多基础研究暂时还看不清其应用前景(如超弦和大统一理论等)，但可以肯定地说，物理学的重要成果或迟或早会对社会产生巨大影响。

4.物理学是培养现代人才必不可少的基础学科，是培育科学精神、实践科学道德、建设学术规范的重要基础平台。

物理学对物质世界基本规律的探索，大大满足了人们探究自然界奥秘的好奇心，开拓了人类认识大自然的知识疆界。物理学注重未知世界的探索，激励智力探险，是培养和鼓励年轻人以至整个民族创新精神的良好课堂。人们应用和发展现代科学技术，离不开物理学的素质培养和知识教育。在培养理、工、医、农等各类人才的教育中，物理学是必不可少的基础部分。物理学不仅可以从最基本的层次提供正确的思维方法，加深人们对其他学科知识的理解，而且提供了最基础的实验技能训练，适应现代工具的使用。物理学人才在我国科学技术发展中(如两弹一星研制等)的重要作用是人所共知的。事实表明，物理思想与方法的培养不仅对物理学本身有价值，而且对整个自然科学乃至社会科学的发展都有着重要的贡献。有人统计过，20世纪中叶以来，在诺贝尔化学奖、生理学或医学奖甚至经济学奖的获奖者中，有许多人具有物理学的背景；他们从物理学中汲取了各种智能因素，转而在非物理领域里获得了成功。

物理学教育的一个重要方面是科学精神的培养。物理学的科学研究活动本身就蕴涵着深邃的科学精神。科学精神是在长期的科学实践活动中形成的共同信念、价值标准和行为规范的总和。它由人类知识的科学性质所决定，是贯穿于科学活动之中的基本的精神状态和思维方式。通常它包括科学理性、科学追求和科学道德三个基本要素，是科学研究永不枯竭的精神源泉。作为体现在科学知识中的思想或理念，它不仅引导科学家的行为以在科学领域内取得真正成功，又逐渐

地渗入大众的意识深层，形成科学文化，规范和引导社会发展。物理学最重实事求是。精确性、逻辑性和可检验性使得物理学成为可以实践科学精神的最佳平台之一。物理学孕育的科学精神是辩证唯物论的重要组成部分，对于提高全民族的科学素质、追求科学真理、摆脱愚昧和铲除迷信至关重要。

二、我国物理学学科的总体发展现状分析

改革开放 30 年以来，我国物理学基础研究有较大发展，研究水平也有很大提高，物理研究的重要基础设施和实验条件等都有了显著的改观，已形成了一支有较高研究素质的队伍。目前，物理学各分支学科已有较大的覆盖面，与其他学科的交叉正在逐步加强，在许多领域取得了国际同行广泛关注的研究成果，一些研究方向已处于学科发展的最前沿，甚至有些研究成果已成为学科发展的重要标志，在一段时间内引领学科的发展。与其他学科相比，我国物理学研究与国际水平较为接近。我国物理学发展已从过去跟踪学科前沿发展，逐渐进入推动学科前沿发展的新阶段。未来 10 年里，在若干重要方向上将能够引领学科的国际发展趋势。

据统计，在我国现从事物理学基础研究的固定研究人员中，能够稳定申请国家自然科学基金项目的约 1.5 万余人，在站博士后和在读博士生约 1.2 万人，其数量是 10 年前的 5 倍，而且每年以约 20% 的增长率大幅度增长。研究人员专业分布大致如下：凝聚态物理 32.9%，光学 23.0%，原子分子物理 5.8%，声学 6.6%，核物理 5.4%，高能物理 5.2%，核技术 14.5%，等离子体物理 6.5%。国家通过 973 计划、科技专项、国家实验室、国家重点实验室、国家自然科学基金等资助渠道对物理学基础研究实施年度经费投入(不包括大科学装置)，2009 年约为 20 亿元。

我国物理科研人员主要分布在重点大学和中国科学院各研究所，实验设备主要集中在国家实验室、国家重点实验室和一些部委重点研究室。据不完全统计，目前，我国以物理学学科为主导、以大科学工程为依托的国家实验室有 3 个：北京正负电子对撞机国家实验室、兰州重离子加速器国家实验室、合肥同步辐射国家实验室。此外，还有一个 2010 年刚通过国家验收的我国目前最大规模的重大科学工程——上海同步辐射光源(以下简称“上海光源”)。科学技术部批准正在筹建中的物理学学科国家实验室有 4 个：北京凝聚态物理国家实验室、南京微结

构国家实验室、合肥微尺度物质科学国家实验室、磁约束核聚变国家实验室。有 9 个物理学学科国家重点实验室和若干个由中国科学院、教育部确定的部委物理学学科重点实验室。此外，还有许多与物理研究密切相关的国家实验室、国家重点实验室等，如正在筹建的武汉光电国家实验室、蛋白质科学国家实验室、清华信息科学与技术国家实验室等。

最近几年，随着我国对基础科学研究投入的加大，国家实验室的研究设备不断更新和完善，国家重点实验室、部委重点实验室也购买了大量先进的科研仪器，使我国部分研究方向的实验条件、技术积累等已与国际先进实验室平齐。北京正负电子对撞机国家实验室对正负电子对撞机二期改造工程已完成并对撞成功，其最高亮度是改造前的 10 倍以上，创造该能量下对撞亮度的世界纪录，使我国继续保持 τ -粲能区性能在世界上领先的地位，并成为国际上 τ -粲物理研究的主要实验基地。兰州重离子加速器国家实验室所拥有的兰州重离子加速器 HIRFL-CSR 扩建工程的完成，创造了国际上回旋加速器+冷却储存环组合系统加速离子种类、最高能量和束流强度的新纪录。兰州重离子加速器国家实验室成为国际上继德国重离子研究中心(GSI)之后，第二家拥有世界级大型核物理实验装置的研究机构，为我国核物理、强子物理、原子物理和高能量密度物理的基础研究和重离子辐照材料、生物(重离子治癌)及空间辐射等应用研究提供了先进的实验条件。上海同步辐射光源实验室建设的上海同步辐射光源是一台高性能的中能第三代同步辐射光源，光源能量位居世界第四，仅次于日本 Spring-8、美国 APS 和欧洲 ESRF 等三台高能同步辐射光源。上海同步辐射光源作为目前世界上性能最好的中能光源之一，为生命科学、材料科学、化学化工、能源资源、环境科学、核科学、医学、药学等学科和一些高新技术产业领域的研究提供高水平的不可替代的先进手段和综合性实验平台，为不同学科的相互渗透和交叉融合创造优良条件，也将直接带动相关工业的发展，是提高国家创新能力和产业竞争力的重要基础设施。南京微结构国家实验室曾被英国《自然》杂志列为除日本以外亚洲地区“已接近世界级水平”的两个科研机构之一。合肥微尺度物质科学国家实验室已建成了一个包含物理、化学和生物等综合研究与测试分析能力的支撑体系。

我国现有 1000 多位物理研究人员被聘为物理领域最有影响的学术杂志的审稿人。有 200 余人成为物理学界重要国际学术组织的专家成员，每年物理学重要

国际会议邀请报告几十人次。自改革开放以来,我国物理学已获得国家自然科学奖一等奖 3 项, 国家自然科学奖二等奖 57 项, 这些工作在国际学术界产生了很大影响。代表性成果如下:

1.五次对称及 Ti-Ni 准晶相的发现与研究

1984 年, 我国物理学家在一些具有二十面结构单元的合金相微畴中, 首先发现五次对称现象, 并给予合理的解释。钛镍准晶是我国独立发现的一种新的准晶相, 是继国外在铝锰合金中发现的准晶后的第二个准晶相, 被国际同行列为五次对称和准晶研究领域的原始文献。之后, 我国科学家进一步找出了准晶与具有相同成分的晶体间的结构关系规律, 提出准晶生成的晶体学基础, 并合成了 20 面体准晶, 发现了六种由 20 面体结构单元构成的新晶体及大量微畴结构, 扩大了准晶研究的晶体学基础。这是对传统的固体和晶体学理论的修改, 对拓展准晶研究领域做出了突出的贡献, 使我国的准晶实验研究达到国际前沿的行列。

2.对高温超导体的研究

1987 年初, 我国物理学家独立合成和制备了超导临界温度超过液氮温度的 Y-Ba-Cu-O 超导体, 并在国际上率先公布了这种超导体的化学成分和结构, 引起世界轰动。该工作推动了我国强关联物理的研究, 使得我国无论在超导和其他强关联材料上的探索和制备, 还是物性测量和理论分析都有长足的发展。对高温超导机理的研究, 也为我国培养和造就了一批优秀的青年学术带头人, 使得 20 年后, 当日本科学家在 2008 年公布发现 LaFeAsO 铁基超导体之后不久, 我国就发现了一批超导临界温度更高的铁基超导体, 在国际上引起了广泛的关注。

3.介电体超晶格材料的设计、制备、性能和应用研究

1986 年, 我国科学家将超晶格概念推广到介电材料, 研制成周期、准周期和二维调制结构介电体超晶格, 并研究了电磁波(光波与微波)与弹性波(超声波)在介电体超晶格中的传播、激发及其耦合效应。基于介电体超晶格的新效应和新机制, 我国物理学家在介电体超晶格领域取得多项成果。例如, 研制成功了超晶格全固态白光激光器; 研制成多种超声原型器件, 填补了体波超声器件从数百兆到数千兆的空白频段; 将与极化激元相关的长波光学特性由红外波段拓展至微波波段, 为微波带隙材料设计提供了新途径; 将拉曼信号增强 4~5 个数量级, 为新型拉曼激光器的设计提供了新原理; 实现了多束光双稳态; 完成了介电体超晶

格的专家设计系统，发展了介电体超晶格的三种制备技术和两种表征技术等。这项从理论预言，到材料制备、实验验证、原型器件研制的系统性的原创性工作，引领了国际介电体超晶格研究的发展。

4.基于大科学工程的基础研究

利用北京正负电子对撞机(BEPC)和北京谱仪(BES)上获取的数据，1992 年我国物理学家进行了精确的 τ 轻子质量测量，实验精度比以往的几个实验结果提高了一个量级，并发现 7.2MeV 的偏差，解决了长期以来困惑人们的轻子普适性是否存在的问题。该实验被公认为是当年国际高能物理界最重要的物理成果之一，为验证轻子普适性做出了主要贡献。R 值是粒子物理中最基本的物理量之一，其测量精度对于相关的理论计算，如跑动耦合常数 α_s 的计算、辐射修正和真空极化的计算以及 Higgs 质量的估算等具有重大的意义，是标准模型理论计算不确定性的重要因素之一。BEPC / BES 在 R 值的实验技术和测量结果方面一直处于世界领先地位，国际粒子数据手册收录了 BEPC / BES 的全部结果。BES 实验将 2~5GeV 能区的尺值的测量精度提高了 2~3 倍，精确给出了当时国际上最关心的 Higgs 粒子质量的上限。该测量还对电磁跑动耦合常数和 μ / 子反常磁矩的精度有重要贡献。以兰州重离子加速器(HIRFL)为平台，我国物理学家通过熔合蒸发反应和多核子转移反应合成了 20 余种新核素，并得到了一批原子核的重要谱学数据。在中重缺中子核区，合成了 11 种近滴线的稀土新核素，观测了 22 种核的 β 延发质子衰变，首次建立了 15 种近滴线核的 EC / β + 衰变纲图。近滴线稀土核普遍具有大形变的发现，获得了天体物理快质子俘获过程中关键核的重要信息。在重质量丰中子核区，合成了 9 种新核素，研究了奇异的多核子转移反应机制。在超重核区，合成了两种新核素，使我国的新核素合成研究工作进入超重核区。利用新建的国家大科学工程装置——兰州重离子加速器冷却储存环，我国物理学家首次测量了位于质子滴线附近的 ^{63}Ge 、 ^{65}As 、 ^{67}Se 核的质量，为理论模拟 X 射线爆等天体过程提供了重要的实验数据。

在过去的 30 年里，我国物理学家在进行基础研究探索的同时，还对我国的高新技术、国民经济、国防事业、国际地位等的发展和提高都做出了重要贡献。例如，在核技术的应用研究中，我国自主研制的以加速器为 X 射线源的集装箱检查系统，技术水平世界领先，已经成为国际上大型安检设备的主流；在非线性

晶体材料的研究中，我国非线性光学晶体的研制与生产居国际领先地位，我国激光晶体出口数量占国际市场的三分之一，掺铈钒酸钪晶体占据了一半左右的国际市场；在水声物理研究领域，对浅海与深海水声物理规律的深入认识，使我国的声呐设计与使用，海上声源的快速准确定位等技术跨入世界发达国家之列；对窄禁带半导体材料体系红外物理性质的研究，为我国卫星系列空对地观测的红外探测技术持续跨越发展奠定了关键技术基础。在提高我国国际地位方面，大科学装置的成功建造和运行起到了巨大的推动作用。

由于我国在物理学基础研究方面的长期坚持和多年积累，近年来逐步形成了实质性参与国际竞争的强劲态势，形成了一支基础雄厚、思想活跃、机动性强的中青年研究队伍，对国际上的新兴研究领域不仅能够快速跟上，而且完成一些有一定引领性的研究工作。在纳米碳管、量子信息和铁基超导等方面表现得比较突出。例如，在纳米碳管的合成、结构及物理性质的研究方面，我国科学家对碳纳米管的生长机理作了系统的研究，发明了可控制多层碳管直径的定向生长方法和其他关键技术，制备出离散分布、高密度和高纯度的定向碳管阵列以及连续碳纳米管，并用于构筑宏观尺度的碳纳米管结构。还利用碳同位素标记的方法揭示了碳纳米管的生长机理。铁基超导的研究是在我国多年坚持高温超导研究的大背景下进行的，这方面大量涌现的研究结果也让全世界看到了中国在凝聚态物理领域展现出的强大实力。量子信息实验方面，获得当时最明亮的 EPR 量子纠缠光束，制备六光子以上的量子纠缠态，成功实现了光纤 100 多千米、自由空间 13 千米和大气 16 千米量子通信实验演示等。在量子计算方面，实现多比特的核磁共振量子计算演示，并进行了最优动力学解耦实验，提高了固态自旋比特的相干时间。在量子信息理论方面，提出了量子避错码和概率量子克隆，建议了腔场诱导原子量子比特耦合的理论方案，预言了量子临界环境增强与其耦合量子比特退相干的新现象。

三、我国物理学学科发展中存在问题的综合

综上所述，我国物理学的每个子学科都有若干个研究方向处在学科发展的最前沿，在一些研究点上取得了一些令国际同行关注的研究成果。可是，我们这样的亮点太少、原创性成果还不够显著。我们缺少新效应、新现象的原始性发现和新理论的创立，尚未形成一批在国际上有重要影响的实验室、研究群体和物理学

家，专注物理问题研究的实验室规模还不够大。还没有充分发挥大装置的作用，国家对于大装置的后续探测设备投入不足，使用效率不高。国家重点实验室数量太少，几乎没有一个能够参与国际竞争的高品质精密技术加工平台。我们现阶段的大型与精密仪器设备都依赖国外进口，实验技术与方法的创新，实验仪器设备的研制比较薄弱。我们缺乏运转、维护和高效使用这些大型仪器与设备的专业技术人才，缺乏具有综合素质、创新型实验科学技术人才。国内理论研究与国内实验研究的结合不够密切，理论研究对国内实验工作的重视和引导不够，缺少理论构架的原始创新。针对一些新的研究对象、新的理论结果，提出新的实验原理、发展新实验技术的研究工作很少。科研成果向技术的转化以及科技人员与企业界的合作发展意识淡薄、技术缺乏市场竞争力。在核物理、等离子体物理、声学以及原子分子物理等学科的理论研究骨干相当匮乏。大规模数值模拟与计算源程序的研发人才屈指可数，这些都严重制约了物理学的健康发展。我们每年发表的论文数量不少，但在国际学术界产生很大影响，能引领国际物理新潮流的研究工作较少，能够留名物理学发展史的研究成果尚未显现。我们现有一批非常年轻的科研将才，他们活跃在国际舞台上，能够迅速跟踪甚至短期内赶超国际学科发展的前沿，但在研究的广度、深度和原始创新方面却远远不够。我国缺少一大批国际上的领军人才，缺少为我国抢占未来经济科技发展制高点的一大批优秀成果。这种状况与我国作为世界大国的国际地位不相称。

物理学是当代物质科学乃至生命科学的基础，是近代新技术革命的源头。面对科学前沿和未来发展的重大需求，我国物理学学科未来 10 年的发展，将立足于当代物理的学科前沿，面向国家重大需求驱动的基础科学问题，发展影响该学科及其交叉领域原始创新的关键技术，重点布局具有原始科学创新性的研究方向，逐渐由现在的论文数量大国变成物理研究强国；发展物理学的新概念、新方法和新技术，在一些重要基础研究领域，产出一批对科学发展有实质性贡献的研究成果，产生一些世界级科学家和领军人物，形成若干个引领国际前沿研究的团队和中心；中国物理学家要在国际上积极参与各种学术活动，努力成为国际学术机构和学术活动的主导者，成为在国际物理学界起核心作用的重要成员；积极参与和引领物理学交叉学科的研究，争取对其他学科的发展产生深远的影响；培养出一大批为物理及其交叉领域实验服务的技术研究型人才，大力提升物理实验方

法和技术的创新能力，形成若干汇聚国际一流科学家的科学实验基地；针对国民经济发展和国防安全方面等国家重大需求，凝练物理学能够发挥关键作用的科学问题，突出重点，争取重大突破，推动国内高新技术的跨越式发展。

为了实施上述我国物理学学科发展的战略目标，对未来 10 年必须有放眼未来、切实可行的发展战略布局，并配套具体的有效措施。过去数年，物理学研究经费已经有了大幅度的增长，研究队伍的结构也基本趋于合理，总体上讲我国物理学研究已经初步进入稳定发展、孕育突破的重要阶段。在这个时候，如果把物理学作为我国自然科学发展的重要目标，通过采取正确的顶层设计、总体布局和各种得力措施，用 10 年左右的时间使我国物理学全面振兴，为成为物理学强国打下坚实的基础。具体措施如下：

合理布局纯基础性探索和应用导向型问题研究，互相促进、共同提高、协调发展。在物理学中，既有应用目的导向的物理问题研究，也有暂时完全看不到应用前景的纯基础课题。在物理学的发展史上，二者互相影响，交互出现科学和技术上的重大突破。应用型必须对新技术有重要贡献(甚至要面对市场，有经济效益)，可以为后来的科学突破发展必需的技术工具，而基础性研究必须以导致科学新突破为目标，但其客观结果会导致应用型研究的革命。从 1895 年 X 射线发现到 1987 年高温超导体和目前的铁基超导、磁共振力显微镜发展，物理学所有重大创新无不如此。对这两类项目的组织实施和成果评价应有所不同。因此，要区别二者，对于应用型研究，可有选择地组织重大项目，加大经费投入，以期有所突破。在实施中加强计划性和管理，要形成有利于科研成果的共享与转化的优化体制。

对于纯基础研究的支持，首先要以课题组为主，加强对有科学信誉的个人的长期稳定支持。其次是构建自由和有组织学术交流的平台，创造宽松的学术氛围，在国家层面上形成孕育重大科学突破的环境和土壤。我们需要认真研究纯基础研究的规律，注意科学和技术的区别，重视积累和创新的关系。积累是基础，创新是目标。既要注重积累，又要鼓励创新。若片面追求一时或表面的轰动效应，将会贻误重大创新和长远发展的良机，造成浮躁气氛，对培养人才也极为不利。要提倡求实的科学学风，长期坚持，埋头苦干，功到自然成。

无论是物理学中纯基础性或应用导向性研究，对某些有较好基础、可望短期

有重大突破的重要领域，在不影响整体平均投入的前提下经过专家论证，提供更加充足的经费，组织队伍，集中攻关。对此，要研究和确立鼓励国内研究单位强强联合、促进跨越式发展的政策和措施。

创造物理实验和理论实质性结合的气氛与环境，以长距离的眼光，正确对待实验探索和理论研究的各自特点，促进物理学科在我国的跨越式发展。要创造各种条件，加强理论和实验的实质性结合。对于物理实验，我们要着重支持那些有助于科学发现的原理性实验、关键性物理理论检验和对未知世界的探索的物理实验，不应该只停留在对已有成熟理论结果的实验性演示上。这种做法有可能只有宣传结果，而对物理发展没有实质性贡献，甚至搞坏了学风。要重视实验仪器和实验方法的创新，因为许多重大物理发现大都基于自发研制的科学仪器。在科研管理部门，建立支持原创性仪器和设备(instrumentations)的专项基金，特别加大研究和技术支撑队伍的建设。目前的评价体系和科研体制非常不利于实验技术和技术支撑队伍的发展和建设。一方面，流行购买国外仪器设备搭建实验平台，进行高水平跟踪性质的物理实验；另一方面，我国对原创的实验方法、新的探测技术和仪器设备的自主研发不够重视，投入不足，导致技术支撑队伍薄弱，已严重制约了物理学学科创新能力的提高和原创成果产出。还有一个较突出的问题是，物理方面的实验跨国家、跨单位、跨学科的合作和联合不足。科研管理部门和科学家都要转变观念，既要重视科学原创，又要重视技术的创新和发明，同时应该加强系统集成和创新。另外，我国理论物理学家与实验物理学家在总体上相互合作不够，国内实质性的实验与理论相结合的工作不多，这也是我国自主原创物理成果不多的原因之一。

物理学本身是一门实验科学，物理理论必须立足于全部实验的总和之上。理论正确与否必须落实到实验检验上。当然，在物理学发展过程中间，有的阶段性理论研究，开始完全看不到实验检验可能，但进一步拓展、补充却可以导致重大突破和科学革命(相对论和规范场论是这方面的典型例证)。因此，我们允许、也要宽容对待(甚至有选择地鼓励)这种在纯理论方面的探索性研究(特别是涉及物理学各分支领域基础的新概念，新方法和新思想)。

加强物理科学大装置的预研，建造若干个具有国际先进水平的大科学装置和科学研究平台。建议加大力度、在每个物理二级学科领域，建成若干个国家重点

实验室。过去若干年，我们国家已经建立了一些国家重点实验室，对争取科研经费、稳定基础研究队伍和设备更新等起了良好作用。现在我们应在保持继续支持的同时，并在一些研究基础好、方向重要的研究领域，再新建若干国家重点实验室。对北京正负电子对撞机和同步辐射、兰州重离子加速器和合肥同步辐射等大型国家实验室，应设额度较大的专款，在维持常规运行、提高运行质量和使用效率的同时，还要加大支持强度，大大提高开放度，满足多学科广大用户需要。

为了支撑未来关键和核心技术的发展，努力使我国摆脱重要分析与大型测试仪器设备长期依赖进口的被动局面，为物理学解决国家需求提供方法与手段，为创新型国家建设做出贡献，需要在以下几个方面做出努力：①建议科技部、中国科学院和国家自然科学基金委员会共同支持一些新兴和交叉领域，建立国家重点实验室(如与人口健康相关的先进诊断和治疗新方法的研究)和能够支撑国家未来发展需求的物理国家重点实验室(如洁净能源方面)；②布局能够支撑国家重大需求的大型实验设施，如新一代的高能物理实验装置、先进核物理及核应用实验装置、ADS 实验及示范装置、下一代磁约束聚变装置、激光和重离子驱动的惯性约束聚变装置；③布局和建立一批对国内外开放的用于多学科研究和工业应用的大型综合实验测试平台和研究装置，如散裂中子源，新一代先进光源；④有选择地建立比较专门的国家实验室，如以解决能源问题为主要目标的国家实验室，以支撑我国国民经济可持续发展和国防安全建设的科技创新。我国未来的大科学装置要特别重视科学目标的优化，须面向国家战略和经济发展需求，面向世界学科发展前沿，着眼未来，具有前瞻性和世界引领水平。大科学装置本身须具有重大技术创新和发明，总体上不能停留在跟踪模仿国外同类装置，为此须加强大科学装置的前期预研和技术攻关，国家应有专门的经费支持。应改变只重视大科学装置本身的投入和建设，由于经费不足而忽视实验和探测装置的建设。

统筹兼顾自由探索和国家目标导向性研究，加强物理学研究基地和创新群体的建设。物理学的综合型研究基地或某一分支学科的基地型研究所(系)是发展物理学基础和应用研究的重要平台。建议在“十二五”期间重点发展若干个国家重点实验室，与现有的国家重点实验室一起成为我国物理学发展的重点基地。

物理学基础研究最活跃的基本单元是较小规模的科学群体。世界各国经验表明，物理学创新思想主要来自于科学群体的优秀负责人和其中最活跃的科学家。

因此要加大力度,长期稳定地支持已经经过考验的物理学创新群体建设和优秀学术带头人。建议在“十二五”期间重点支持若干基础好、方向重要、学术带头人优秀的物理学基础研究创新群体。在创新群体中,也要通过半固定和流动的方式,不断优化人员结构,最后稳定一支精干的、配置合理和富于创新精神的物理学研究队伍。

加大物理学科学普及的力度,提高我国公民的科学素质;加强科学精神的培养,提高物理学家自身的科学素质。通常,科学普及(又称大众科学)是指利用各种媒体,以通俗易懂的方式向普通大众普及和传播科学知识。进而,以科学知识为载体,通过传播科学思想,使得大众接受和应用倡导科学的世界观和方法论,达到弘扬科学精神的根本目的。物理学从牛顿时代至今,特别是相对论和量子论的诞生以来,物理学的进展几乎是呈指数型上升的,各分支领域取得了令人震惊的重大科学发现,导致的技术发展使得人类受益良多。然而,正是由于科学的飞速进展,所要求的知识量越来越多,许多新概念对于一般没有受过专业训练的人不很容易接受。因此,作为专业物理学工作者,物理学家有责任让物理学为普通大众服务。普及物理知识,提高全民族的科学素养,是中国物理学家义不容辞的责任。其实,坚持科普,也是贯彻《中华人民共和国科学技术普及法》的重要组成部分。对物理学家自身而言,科技普及与科技创新,“如车之两轮,鸟之双翼,不可或缺”。特别要强调的是具体科学知识不能代替科学精神。通过物理学科学普及,可以加强物理学家在科学精神和科学道德方面的素养,提升对物理学的整体理解,回馈物理学科研活动本身。

四、我国物理学学科优先发展领域

1.遴选优先发展领域的基本原则

面向我国经济社会发展的重大需求,面向前沿科学关键问题,未来10年我国物理学发展将根据以下具体原则遴选优先发展领域与重大交叉研究领域:①学科发展的重要基础科学问题或学科发展的主流和重要前沿;②国家战略发展需求或能产生、带动新技术发展的关键科学问题;③有利于推动交叉学科发展的基础科学问题或关键技术基础;④有较好的研究基础和人才队伍。

2.物理学整体优先发展领域

(1) 新型光场的调控及其与物质相互作用

主要科学问题：新型光场的产生、传播、测量与相干控制，受控光场与物质相互作用的新现象、新效应及其应用基础。

(2) 随机非均匀介质中声传播的表征、控制与作用的物理问题

主要科学问题：复杂介质中声的传播、检测与作用，海洋声场的时空特性与探测，噪声的产生与控制 and 新型吸声材料，新型发射与接收声换能器及其阵列。

(3) 量子信息与未来信息器件的物理基础

主要科学问题：量子信息形态转换及测量的物理问题，量子纠缠和多组分关联的物理实现和度量，基于具体物理系统的量子信息处理和固体量子计算，单光子产生、探测及量子相干器件物理，量子模拟的理论、方案与实验。

(4) 极端条件下深层次物质的结构、性质与相互作用

主要科学问题：标准模型检验与超出标准模型的新物理、宇宙学及宇宙演化中高能物理与核物理过程、超重新核素和新元素合成、原子核结构性性质以及相对论重离子碰撞物理、统计物理与复杂系统。

(5) 用于探测研究亚原子粒子的新技术、实验方法与应用

主要科学问题：新型加速器关键物理问题、高时空分辨粒子探测技术与快电子学、核技术和同步辐射先进实验技术方法及其应用、大型基础科学研究装置预研中的物理与关键技术。

(6) 等离子体物理与数值模拟和关键技术

主要科学问题：惯性约束聚变与高能量密度物理，磁约束高温等离子体物理基础和控制、诊断方法，低温等离子体基础问题与应用，等离子体物理和空间科学的交叉。

(7) 能源中的关键物理问题

主要科学问题：核能利用的新概念、新材料和关键技术基础；太阳能、氢能和其他新能源中的基础物理问题和关键技术；光合作用的物理机制、量子效应及其人工结构材料模拟；利用太阳能的光热、光伏技术和储能技术中的基础物理问题；CO₂的富集、转化和再利用的物理、化学问题，大型风力发电装置及其结构和关键力学问题。

(8) 与人口健康相关领域的先进诊断与治疗的新方法

主要科学问题：生物信息、生物大分子结构、与功能相关的新物理问题，生

物分子或类生物分子在复杂相互作用调控下的微结构特性,癌症等重大疾病的先进诊断、治疗方法,纳米生物学新方法。

(9) 新功能材料和新人工微结构材料的物理问题

主要科学问题:新功能材料的探索及其物理;物质结构和性质的计算与模拟;高性能复合材料或器件物性的表征与优化及其物理。

五、我国物理学重大交叉研究领域

1. 生命科学中的物理问题

(一) 生物信息、生物大分子结构和与功能相关的新物理问题

(1) L 非编码 RNA、序列有关的 DNA 及蛋白质分子的三维结构和功能的模拟与预测

发展研究非编码 DNA 序列、非编码基因和非编码 RNA 功能的预测和复杂序列特性研究的方法,发展非编码 RNA、序列有关的 DNA 及蛋白质分子的三维结构的研究方法,模拟计算和统计预测 RNA 和蛋白质的三维功能结构,为这些蛋白质、DNA 和 RNA 大分子的生物功能和生物信息学的发展、结构、序列与功能之间的关系的研究提供坚实的物理基础和计算方法。

(2) 生物大分子(DNA、RNA 及酶蛋白)相互作用和网络动力学及系统生物学

发展预测非编码 RNA 与其靶基因、分子相互作用的方法,研究构造 RNA-RNA 相互作用网络、蛋白质-蛋白质相互作用网络及其双色网络,研究其网络参与调节细胞中的生命活动的生物特性以及网络的动力学特性,开展系统生物学的研究。

(3) 脂类分子、结构蛋白分子等自组装生物分子纳米机器体系功能的物理性质、力学性质

研究脂类分子、结构蛋白分子等自组装成生物分子纳米机器体系的结构特性,与功能相关的动力学特性,以及其力学性质等;了解生物分子纳米机器的工作原理和过程。

(4) 生物分子的操纵、分析与测量的新原理、新方法和新技术(如光镊、磁镊及微流体分子梳等)

发展用于单个生物分子水平上的观测、操纵和分析测量系统,精细观测生物

分子的微观结构和表征相关的物理特性,实现单个分子水平上分子结构与功能的实验和理论研究比较。

(5) 生物调控网络和生物信号传导(转导)网络系统的动力学

充分挖掘生物实验数据和结果,构造各类相关生物网络模型,研究网络的动力学特性,研究其生物相关的调控作用和信号传导(转导)特性,刻画相关生物系统的调控、信号处理和信号传递的动力学和生物物理机制。

(二)与健康相关的先进诊断与治疗的新方法

健康问题已成为 21 世纪世界各国政府和社会公众关注的重要问题。人口健康直接影响到一个国家的经济发展和社会进步。科学技术的进步,推动了人类对自身健康和疾病的认识,使传统临床医学变成以现代生物学知识和物理学实验方法为基础的生物医学。

(1) 放射治疗中的关键科学技术问题研究

主要科学问题有:癌症等重大疾病的治疗新方法,包括重离子 / 质子束治癌系统、纳米治癌药物、冷热刀治癌新方法、用于肿瘤和脑神经系统疾病诊断和治疗的放射性新药;癌症等重大疾病的先进诊断方法,包括 X 射线成像、 γ 射线成像、核磁共振成像(MRI)等;芯片式疾病诊断;纳米生物医学等其他诊断和治疗新方法。

(2) 辐射生物安全与防护

辐射生物安全与防护是我国需要优先发展的核技术交叉学科领域。随着国家对新能源的需求越来越急迫,核能在未来能源中具有非常关键的作用,被认为是解决未来能源的重要支柱。同时,核技术也被广泛地应用于生物、环境和医疗等各个方面。针对核技术的广泛应用,核安全问题特别是核事故(核燃料的泄露、核废料)和核恐怖(脏弹和核电厂、核运输的安全)事件发生对暴露人群辐射生物剂量评估已成为各国政府和机构的紧迫议题,也是核应急预案的核心和关键。研究内容包括辐射对生物体的影响包括诱发 DNA 损伤、改变基因和蛋白调控过程、调节生物体代谢水平和代谢产物等,建立基于 DNA 损伤、基因和蛋白表达以及代谢分析的辐射生物剂量快速、敏感和精确的评估方法,为核应急预案中辐射暴露区域的迅速安全处理以及暴露人群的治疗方案的确定提供可靠检测手段。

(3) 医学超声的关键理论及技术

研究医学超声中诊断和治疗的新技术和新方法。主要研究方向包括：①超声成像新技术，如超声分子成像和超声弹性成像技术。尽管超声分子成像已有炎症组织成像，血栓成像，以及肿瘤和新生血管的靶向成像等显现了重要的应用前景，但实际应用还需解决某些关键问题。例如，微气泡在血管中运动的状态和红细胞类似，会靠近血管的中轴运动，这使得微气泡的黏附效率较低。已有的研究指出，超声辐射力可以控制微气泡的运动，使其偏离血管中轴接近血管壁。另一方面，超声分子成像中缺乏高敏锐度的检测技术，这是因为黏附微泡的回声信号可能淹没在血管中自由流动的微泡及组织的回波信号中。目前，超声弹性成像技术还需在以下方面展开深入研究：基于二维探头的三维运动估计及三维弹性成像、声辐射成像安全性研究、弹性成像在超声治疗方面的应用。②HIFU 超声治疗，在 HIFU 的使用和研究中有一些关键环节，特别是体内焦斑(或称焦域)处声强、温度的实时非介入性测量并未获得突破性进展，这些关键问题的解决将有助于 HIFU 在临床上的应用。此外，HIFU 治疗中超声功率很高，必须考虑非线性效应。而人体是一个复杂的组织环境，在深部脏器的治疗中，声波的传播必须考虑皮肤层，肋骨的影响，同时温度的迅速上升，有可能产生微气泡，这些均会影响 HIFU 的声场及温度场。全面理解这些过程以及 HIFU 治疗过程中的温度监控是 HIFU 发展为一种成熟外科手术治疗技术的关键。③靶向药物传递及基因治疗，目前，对超声微泡介导的基因转染涉及心脏、血管、肝脏、肾脏、神经系统等众多领域，特别是在心血管疾病的基因治疗中，实现了心肌中血管生长因子基因的高效表达，促进了缺血心肌血管的新生。尽管微气泡诱导的声孔效应可有效地将药物或基因传递进细胞，但声孔效应过于剧烈，会导致细胞膜上产生不可逆孔道，对细胞造成损伤，导致细胞凋亡或裂解。利用声孔效应达到安全高效的药物或基因传递，迫切需要实时检测声孔效应，以进一步理解声孔效应的机制，控制因素，以及声孔效应引起的细胞生物效应。同时改进超声微泡的制作工艺及微泡与基因或药物结合的方式亦显得十分重要。

2.与空间科学、天文学等交叉的物理问题

(一)等离子体物理和空间科学的交叉

等离子体广泛存在于自然界中，等离子体的基本性质、学科的发展规律及其应用的背景，决定了等离子体与其他学科紧密结合、易于交叉的特点。针对我国

等离子体学科发展的现状以及国家战略发展的需求,建议优先发展的重大交叉研究领域是:等离子体物理和空间科学的交叉。

“嫦娥计划”的实施标志着我国的空间开发开始进入“深空探测”阶段,电推进将很快成为我国新一代航天器的主力在轨动力,等离子体科学技术在航天方面的应用是低气压低温等离子体科学技术的重要领域。主要包括航天器的各种等离子体推进方式、低空间飞行器的动力研究、等离子体天线技术研究等。

等离子体推进研究包括 Hall 推进器、离子发动机等主流电推进方式的物理基础和关键技术的进一步深入研究以及微波等离子体推进、微型等离子体推进、等离子体帆、磁流体大功率推进、无阴极推进等新概念、新方式的研究;低空间飞行器的动力研究,因为这一高度上低大气压存在,低太空超高空飞行器的动力问题是这个高度上进行与国防、国家重要科学研究有关的飞行的关键,而一些在真空及大气压条件下都可以使用的电弧推进方式应该可以在这个高度上有优越的应用条件,并有希望将这一高度的稀薄大气作为工作物质加以利用;高超声速飞行器中的大气等离子体激波的物理和对自身形成的阻力、特别对非对称减阻或增阻新概念的研究;航天器自身的等离子体防护以及同步轨道的复杂空间(主要是等离子体)环境研究;等离子体和载能束新技术、新原理,如纳米载能束技术、原理等,等离子体和载能束与材料互作用机理,与细胞等生物体作用机理研究。其他譬如宇宙空间中高能宇宙射线的起源、丁射线爆发机制、各种尺度喷流等天体物理现象,可以通过在实验室中用高能高强度激光与等离子体相互作用来研究,成为目前强激光等离子体物理一个重要研究前沿。上述研究与国家的深空探测计划以及国防、通信卫星计划、天体物理前沿科学问题有关,也将应用于生物工程、表面工程、信息、能源等重要国家经济安全方面。

针对国际科技前沿研究与我国等离子体学科发展的现状、科技发展的需求,这一领域的优先发展方向是:等离子体推进的物理基础和新原理;等离子体和载能束与材料、生物体互作用机理研究;实验室天体物理和高能量密度等离子体物理。

(二)高能物理与天文学的交叉

暗物质和暗能量是对粒子物理、相互作用的基本量子理论和宇宙学的一个重大挑战,也是天文学和高能物理重大交叉研究领域,是当前国际研究的热点。具

体研究内容包括：结合国内外实验，如我国的羊八井实验观测站，研究暗物质的粒子物理模型，暗物质粒子在宇宙演化过程中的产生机制和探测可行性。结合国内外天文观测，如LAMOST，研究与实验吻合的唯象模型并从更基本的粒子物理和引力理论认识暗能量的本质。研究动力学暗能量与其他物质如中微子、暗物质粒子等的相互作用，这些研究可以开拓探测暗能量的新方法，如利用中微子振荡实验。这些研究一定涉及天文学观测、高能物理实验和包括引力在内的基本量子理论的交叉与融合。

在这个方向(特别是关于暗能量的唯象研究)我国的研究与国际上基本同步，这有利于我们抓住时机做出原创性的工作。尽管我们这几年发展很快，但整体水平相对依然薄弱，建议加强这个方向的支持力度。

3.能源科学中的物理问题

(一)人工光合作用的研究

太阳能是取之不尽、清洁、廉价的理想替代能源。光合作用是所有化石能源和生物质能源原初光能—化学能转换的基元过程，对光合作用基本问题的研究，启示并促进了人工模拟光电转化器件的发展，为新型能源技术的研究和开发提供新的思路和原理。欧盟国际知名科学家2006年、2008年向欧洲科学基金会提交以光合作用基础研究为源头、旨在模拟光合作用过程、捕获太阳光能、生产清洁能源的白皮书，确定了10~15年的中长期研究目标。可见对于能源的中长期研究部署中，光合作用的基本物理问题研究是重要的环节之一。

光合作用相关的能源物理问题可从以下两个方面加以考虑：

(1) 自然光合作用物理机制——光合作用原初过程光能吸收和传递模式：自然界光合体系利用有限的色素分子进行光捕获，为了拓宽光谱的吸收范围，从而在有限的条件下获取更多的太阳能，光合系统通常会采取色素分子多重聚集的方式，利用不同聚集体吸收光谱的差异，达到拓展吸收光谱的目的。传能模式研究包括：①Förster 传能机制：能量转移由给体和受体的电偶极库仑相互作用引起。②Dexter 传能机制：Dexter 传能机制是给体和受体分子在距离足够小的情况下，通过激发态和基态电子间的交换作用，实现能量的传递。③激子态传能机制：是一种相干传能过程。这方面涉及非线性光子飞秒激光回波光谱学方法，即相干二维光谱学。它能够准确描绘出能量转移的途径。最近一些量子信息方面的科学家也开始光合作用能量传递相干量子动力学的研究。复杂光合系统体系中色素分

子退相干过程及其量子控制的理论研究是未来的主要研究方向。事实上，对于人工量子网络，量子态不仅是信息的载体，而且也荷载着能量。在非共振、非简并情况下，量子态的传输与转换，也可能伴随着能量的传输和转换，如光电效应系统的能量转换。基于量子信息的考虑，将有助于我们从新的角度理解光合作用的基本物理机制。

(2) 光合系统模拟的物理问题——人工系统模拟光电转换和能量传输：光合作用的基础研究最终将用于指导光合人工模拟系统的研究，实现太阳能的大面积利用和单元器件光电转换效率的提高。目前太阳能电池的突破途径主要有两个方面：①廉价电池，在效率一定的条件下，尽可能地降低制作成本；②极大地提高光电转换效率，降低相对成本。前者典型代表有：染料纳米晶太阳能电池及有机薄膜太阳能电池。后者的典型代表有半导体太阳能电池。相对于半导体光伏电池而言，染料纳米晶太阳能电池及有机薄膜太阳能电池虽然制作简单，但其物理过程远比半导体太阳能电池复杂，而且目前尚不明确其光电转换效率的理论极限，极大地制约了光电转换效率的进一步提高。只有在揭示其物理过程的基础上才能明确攻克的方向，从物理学基本原理出发，计算出染料纳米晶太阳能电池及有机薄膜太阳能电池的光电转换效率极限是光合人工模拟系统研究中的重要物理问题，非常值得物理学家去关注。

(二)新型太阳电池研究

研究工作主要是针对太阳电池的技术瓶颈问题开展的，涉及了太阳光的吸收频率提升和光电转换波段从可见光向波段二侧的短波与长波波段拓展等。首先，通过微结构的设计获得有效的光吸收。在太阳电池制造中引入微结构如表面金属纳米结构、微光纤结构等，有效捕获光线而增加光的吸收效率，使光的吸收达到或超过 90%；利用金属纳米结构在光的照射下在金属表面产生的表面等离激元 (surface plasmon, SP) 共振，就是具有代表性的方法之一。伴随 SP 的激发，光场的能量可以突破衍射极限而聚集在很小的空间范围，甚至可以折回到半导体层中，从而增加光的吸收，这种技术特别在薄膜太阳电池的研究方面有重要应用。其次，通过微结构设计减小光在太阳电池中的能量损耗。通过特定的量子结构的设计，诱导短波长光产生高能电子—空穴对碰撞晶格中的电子或束缚电子，产生新的电子空穴对，增加载流子的产生等，从而提高太阳电池效率；禁带中新能带的形成使得长波波段光能量得以利用，不断研发新型太阳电池材料。

(三)与能源物理相关的原子分子物理问题

惯性约束聚变(ICF)是解决未来能源问题的一个重要候选方案,已列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》。ICF 涉及大量的原子分子物理问题有待深入研究。首先,是间接驱动的 ICF 金腔中强激光到软 X 射线转化问题,由于 ICF 强激光打靶的时间尺度很短,空间尺度很小,这是一个典型的时空演化的非平衡过程。要计算 X 射线,需要研究重元素金的各种原子物理过程,考察相对论效应和多电子关联效应对结构和动力学过程的影响;求解非平衡等离子体速率方程,由于等离子体中重元素的组态数目很多,需要发展精度高又能够节省计算量的物理建模方法,并发展实验测量技术标定理论方法。其次,是软 X 射线和热电子的输运问题,需要平衡和非平衡条件下的辐射不透明度、状态方程、电子热导率、电导率等输运系数。聚变反应发生后, α 粒子的输运和能量损失将成为一个重要的原子物理问题。由于 ICF 等离子体大部分时间处于高温稠密物质状态,会有新的原子分子物理问题,相关问题已经在其他章节进行讨论。

在近年来我国参与的 ITER 项目中,大型实验装置涉及大量的原子分子物理问题。在 ITER 等离子体中心区,可能存在的低核电荷数杂质,例如, Be, B, C, O 将变成裸核,而中等和较高核电荷数的杂质 Fe, Ni, Cu, W 不能完全电离。同时为了对等离子体状态进行诊断,也会注入一些中等和较高核电荷数的元素,如 Ar, Kr 等。氘氚聚变后会产生大量的 α 粒子。与原子物理相关的问题主要涉及四个方面:①等离子体辐射损失;②等离子体中的杂质输运;③ α 离子输运;④等离子体光谱诊断。这些问题的研究都需要有高精度的原子结构和动力学参数。在 ITER 等离子体边界和偏滤器区域,等离子体温度为 0.5~100 eV,除了等离子体的主要组分电子和质子(包括其同位素)外,会有大量的 H, H_2 , H_2^+ , H_3^+ , H-, 中性和低离化度的 Be, C, B, N, W 杂质以及 BeH, BeH₂, BH, BH₂, CH, CH₂, ..., C₃H₈, N₂ 等杂质分子,特别是这些分子一般是振动激发的。该区域的物理问题主要是等离子体冷却和复合,都是典型的原子分子物理问题。ITER 的另一个重要原子分子物理问题是等离子体或带电粒子与壁相互作用,这里的带电粒子能量从 eV 到 10keV 变化,既有高能的物理溅射,也有低能的侵蚀过程。由于表面本身的复杂性,给实验和理论研究都带来了很大的困难。但正是由于粒子与表面相互作用决定了会有多少杂质进入等离子体区域。由于 W 材料的熔点高,未来的聚变装置也可能采用全 W 的等离子体壁材料,因此不同离化度的 W 元素相关的原子结构和动力学问题,都将是 ITER 项目需要深入研究的课题。

(四)安全、清洁、高效的核能利用相关的核技术及其应用研究

新概念核能装置原理及相关物理问题研究，核燃料提取、转换、循环和后处理中的关键物理问题研究，高辐照环境、超高温环境下材料性质的测试与评价，抗辐照新材料研究等。

核燃料的增殖和嬗变是先进核能体系中既具有基础科学意义，又具有重要应用前景的关键问题，是核能可持续发展的核心，是核燃料长期供应和安全的基础。

核燃料增殖简单说就是在反应堆中生成的核燃料比消耗的核燃料还要多，它涉及铀钍钚核燃料的组成及其核裂变过程。这些重要核素的性质、参数、裂变与中子俘获行为关系到核燃料的增殖、最优化利用与新型核电反应堆的设计。嬗变是一种元素通过核反应转化为另一种元素的过程，先进燃料循环中的嬗变则关系到放射性废物的最小化及最终处置的长期安全性。

核心科学问题是：

(1) 先进核能体系中的铀钍钚核燃料及其核过程：重点问题是钍铀循环核裂变机理、铀钚体系和钍铀体系的中子学及中子经济性、钍铀燃料体系中 ^{233}U 增殖过程及其相关的中子核反应参数与反应机理、核反应理论模型的改进与发展、核燃料增殖的新机理。

(2) 核燃料在先进反应堆燃烧过程中的基本行为及其增殖 / 嬗变：重点问题是探讨加速器驱动次临界系统(ADS)的堆器耦合；时空相关的堆物理、堆热工及其耦合，ADS 嬗变长寿命核素的基本过程；块堆和先进钍基堆的堆物理、堆热工及其耦合，钍铀燃烧过程中的核燃料增殖过程；不同类型核燃料的裂变产物分异机理及化学种态。

(3) 乏燃料后处理及其长寿命核素的分离 / 嬗变：重点是长寿命核素分离的新原理和新方法，钍基核燃料后处理的基本原理和方法，干法后处理的基本科学问题，关键核素在地质处置条件下的迁移行为、固定方法及其机理。

(4) 先进核燃料增殖与嬗变系统中的新材料：重点研究核环境中材料微结构的演变规律和机理，新型耐高温、耐腐蚀、抗辐照材料的设计、制备与表征，先进核能系统中的新型分离材料。

美国高等教育国际化与应用型人才培养

王亚卓，徐同文

美国是当今世界高等教育最发达的国家之一，实用主义哲学一直贯穿于美国的高等教育机制中，美国大学的生存和发展自始至终伴随着“市场需求”和“竞争力”。同时，美国是在高等教育国际化方面走在世界前列的国家，能够从国家战略高度重视人才的国际化培养，特别是 2008 年的金融危机，美国更是将高等教育与经济振兴和发展紧密结合，把高等教育国际化人才培养提升到了一个前所未有的高度。

一、高等教育国际化作为国家宏观战略

1. 国家领导人重视

为了维护国家利益，提高国际竞争力，美国高度重视高等教育在经济联系日益紧密、文化交融日益加强的国际化交流中的作用。美国前总统克林顿曾明确指出教育国际化对于美国的重要意义：“为了成功地在全球经济中进行竞争并维护我们作为世界领袖的作用，美国需要确保其公民能够广泛地认识世界，熟练地掌握其他的语言并了解其他文化。美国的领袖地位还依赖于同那些在未来将领导其国家的政治、文化和经济发展的人士建立联系。一贯而协调的国际教育战略将帮助我们满足如下的双重挑战，既使我们的公民为一种全球的环境做好准备，又继续吸引和教育来自国外的未来的领袖。”奥巴马总统对高等教育非常重视，提出了“21 世纪的教育问题，其实就是经济问题”的观点。他认为高等教育发展是美国繁荣昌盛的先决条件，要想保持国家在全球的竞争力，未来需培养数百万乃至上千万的大学毕业生。这引起高等教育界的广泛关注和支持。奥巴马政府把经济问题同高等教育国际化紧密结合，把高等教育国际化提升到新的高度并注入新的内涵。2010 年 11 月，奥巴马出访亚洲期间，美国一些大学领导人也陪同访问，他们同奥巴马一起参加了印度孟买举行的教育界、商界领袖会议。奥巴马此行目的不仅是为了开拓亚洲的经济市场，而且还是为了开拓高等教育市场。另外，奥

巴马非常重视应用型人才的培养，他认为：地方企业需要什么样的人才，高等教育就培养什么样的人才。

美国高等教育国际化本质是维护其超级大国的地位和利益。其主要目的有两个：一是培养本国学生成为未来领袖，本国公民成为世界公民，就必须让他们了解世界，了解各民族的文化，然后才能加深认识改变世界，维护美国在世界的“领导地位”。二是吸引全世界各领域的“未来的领导者”。让世界各地的优秀人才汇聚在一起，相互融合，相互促进，不断得到提升。随着时代的发展，美国政府把作为国家战略的高等教育国际化又提升到前所未有的高度，把高等教育紧密的同经济发展相联系，高等教育国际化不仅关系到美国的长远利益，而且对当下利益也十分重要，规模空前的留学生涌入美国带来的经济利益对缓解金融危机的冲击起到了关键性的作用。

2. 国家政策扶持

美国政府出台了一系列的政策和法律推进高等教育国际化，规划和实施了一系列国际教育交流项目。例如，国务院的“教育与文化教育交流项目”、“富布莱特项目”，联邦教育部的“高等教育法第6款（HEA-Title）项目”、“富布莱特—海斯”项目以及教育文化事务署的“本杰明·吉尔曼国际奖学金项目”等。其中“富布莱特项目”是一个知名度高、覆盖面广、深受美国政府及国会重视的国际交流项目。该项目资助的专业领域包括人文科学、社会科学、自然科学、工程科学等领域。

2008年，金融危机爆发后，美国为了重振经济和社会影响力，针对高等教育国际化又出台了一系列的政策。2008年颁布了《2008提高国际开放程度以提高美国国家竞争力法案》，明确加强国际教育交流对美国实现全球领导竞争力战略目标的重要作用，并制定了吸引留学生和学者的政策和待遇；同年，美国国际教育工作者协会（NAFSA）向政府提出了一个名为“国际教育——公共外交领域中被忽略的方面：给下任总统的建议”的报告。报告呼吁美国政府应该正视“国际教育已成为解决美国面临诸多挑战的基础……如今的美国缺少能意识到国际教育潜能的政策……（美国）应该自觉地将国际教育作为与全世界人民追求共同目标的途径。正是通过国际教育，我们才能与世界其他地区建立持久的对话基础和伙伴关系，并为形成世界和平、安定、幸福的长久局面创造条件”。

二、高等教育国际化培养的外部策略

1. “引进来”策略

美国依托自身的经济优势和全球教育科研中心地位吸引世界各国的优秀学生和教师到美国留学和进行研究。美国是世界上最大的留学生接受国，2010年美国各高校中的国际学生在2009年的690,923人基础上增加了3%，创下了历史记录。2010年的增长以中国学生为主，占总增加人数的30%，以至于全美总入学人数高达128,000人左右。大批留学生的涌入，除了为学校带来大笔数量可观的学费收入和创造了很多与外国合作的机会外，更重要的是它在学校建立的语言混杂、文化多样、价值观和世界观相互碰撞和互动的生活环境和学习环境，更有助于大批高质量、极具创新能力的一流人才在这里得到熏陶、培养、提高，最终脱颖而出。美国高校提供最优惠的政策吸引这些优秀人才留在本国，通过政府、学校和基金会等不同机构为本国和外国学者提供研究资金，通过颁布法律的形式，吸引尖端人才加入美国国籍。特别是2008年经济危机爆发后，美国政府为了重振经济，刺激就业，调整了留学、移民政策，提高了留学生签证通过率。2011年5月，美国再次调整了签证政策，部分留学生签证有效期可延长至4年。

2. “走出去”策略

因为本身的多元性，美国人都要求更多的接触和更好地了解境外的人民和文化，所以美国政府高度重视学生的国际留学，他们直接把学生送到国外，学习外族的核心文化和语言，让他们尽可能地融入本土以外的文化之中。2009年11月，美国总统奥巴马提出了“十万强计划”，致力于快速提高美国学生赴中国进行短期学习和留学的数量。2010年5月，美国国务卿希拉里访华，在北京正式提出“十万强计划”，强调要加大美国高校对中国高校输送短期访问学生的力度。美国政府还计划到2017年，向世界其他国家输送100万美国留学生。美国留学出现了新特征：一是学习时间灵活，长则一年，短则数周，学生可以利用假期出国学习。二是留学国家呈多样化，越来越多的美国学生选择非英语和非发达国家留学。随着中国的世界地位和经济实力越来越受到世人瞩目，很多美国学生选择来中国学习。三是更多的美国高校承认国外学历并计入学分。

三、州立大学应用型人才本土国际化培养

我国高校特别是地方高校培养国际化应用型人才时由于诸多条件限制，我们

无法完全效仿美国高等教育的“引进来”和“走出去”的外部策略进行人才的国际化培养，但我们可以借鉴美国州立大学本土国际化培养机制中的成功经验，培养符合我国经济发展要求、具有国际视野、适应全球经济发展的应用型人才。

美国高校按照学校的重点任务和培养学生的类型可划分为三类：第一类是研究生数量大，主要以开设研究生课程为主的研究型大学；第二类是以本科教育为主，兼顾研究生教育的州立大学；第三类是以职业教育为主的两年制社区学院。我们选择州立大学作为美国本土国际化培养机制的研究对象原因是州立大学充分体现了美国高等教育“务实”和“先进”相结合的特点。州立大学立足培养宽口径、厚基础又有一技之长的应用型人才，专业设置、课程设置、师资管理都是以学生为中心，以社会需求为目的，充分体现了“务实”精神。由于高度重视国际化培养，州立大学采用最先进的方式和手段培养应用型人才的国际化视野和能力，这对我国地方高校本土国际化培养应用型人才具有参考价值和借鉴意义。本文通过探析美国州立大学本土国际化培养机制中专业设置、课程设置、外语学习、师资管理四个环节，总结其培养机制和途径。

1. 专业设置

美国高校是根据学校定位和发展、市场需求决定某个专业的设置，大学有设置专业自主权，美国州政府设立专门的机构对高校的专业设置进行管理。各州的高等教育委员会或政府机构在评价高校是否可以申请新专业时要考虑多方面因素：专业是否符合学校的定位，专业是否符合当地的经济发展的需要，市场需求情况，专业的师资情况等，并且在进行评估的时候，还需要邀请其他州的专家。这种评估方式避免了盲目跟风，只顾眼前利益申报社会急需专业的现象，保证了有限教育资源的最充分利用。美国高校专业设置自主权主要是在院系层面，院系的教师集体拥有专业设置权力。院系组织教师及相关人员进行专业设置的具体调查工作，如社会需求程度、新专业对学校影响等。虽然院系拥有专业设置的权限，但并不意味着可以轻易地设置新专业，专业设置需要经过反复论证，最后要由教授委员会投票决定是否同意设置新专业。另外，在美国，学生有充分地选择专业、转换专业的权利。对许多刚从高中毕业的学生来说，其实他们并不清楚自己喜欢什么，擅长什么，将来要做什么，填报专业是很盲目的，而美国大学这种开放式的管理给了学生纠正的机会，事实上美国很多大学一年级学生的专业是没有确定

的，有超过一半学生换过专业，很多学生转过两次以上的专业。例如，为了满足社会和学生需求，中田纳西州立大学的专业不仅多样化，而且强调文理学科交叉渗透，学校致力于培养宽口径、厚基础的复合型人才，以拓展学生的就业领域。该校现有 140 多个本科生专业和 55 个研究生专业，很多学生都按照自我兴趣和择业需要选择专业，除主修专业外，还修读辅修专业、双学位。

2. 课程设置

美国大学的课程设置是为了培养具有宽广知识体系、适应市场需求又具有国际视野的学生。美国大学鼓励学生涉猎经济学、法学、哲学、心理学等多方面的知识，强调知识的宽广度，使学生具备广博的知识、多种交流沟通的方法和融会贯通的思考能力。一般设置的课程包括：锻炼交流与表达能力的课程，人文和社会科学、自然科学等领域的课程。美国大学所设计的课程与学生培养计划主要根据社会需求制定。学校要根据学生、职业发展中心或者专业协会的反馈信息，咨询社会人士及学生对课程设置的新要求，评估当前课程的市场实效性，及时对现有的专业课程设置做一定调整。美国高校注重推进大学课程国际化，课程国际化不仅应当开设更多关于其他国家和国际问题的课程，而且所有课程都应当体现国际观点。美国教育委员会还积极组织开展有关课程国际化经验的交流，鼓励采用现代信息技术手段促进专业课程交叉和融合，增强课程内容的广泛性和多元性。课程国际化体现在多种形式，在核心课程中增加关于世界文明、世界史和外国语的要求，增设和加强地区研究和国际研究方面的专业，开展跨学科和跨专业的外语教学，在不同的学科和研究领域增设国际方面的内容，等等。对于美国许多高等院校，通过开设双学位或联合学位课程来达到国际化教育的目的。根据双学位课程的安排，学生可在合作的高校上课，获得学位、文凭或证书。

3. 外语学习

国际交流需要语言的沟通，学习外语是增强国际交流能力的重要手段。外语学习是衡量高等教育国际化的重要指标，掌握外语人数的增加和运用外语水平的提升，有利于各国学者之间相互理解、交流信息、密切合作。开展国际研究和地区研究都需要外语，外语不仅是交流的工具，更是了解别国文化和精髓的主要途径。美国前国务卿赖斯曾指出，学习外语将“扩大年轻人的机会，丰富他们的生活，体现我们对其他文化的尊重”。2006 年 1 月美国政府正式公布了“全国语言

安全行动计划”(NSLI)，确定拨付 1.14 亿美元专款加强美国民众对外语的掌握能力。它是一个长期学习项目，意在通过对关键地区、主要国家的语言和文化的直接体验，最终使掌握紧缺外语——包括阿拉伯语、汉语、印地语、波斯语、俄语及其他语种——的美国公民人数大幅度增加。

4. 师资管理

美国大学把教师发展看做一个专业化、终身化的动态发展过程，是一个关涉教师、学生、学校和社会互动协调发展的系统工程，强调充分利用学校内外甚至国内外教育资源，加强教师间、师生间、学校间、国家间的交流与合作。美国 75% 以上的大学与学院设置了大学教师发展项目及组织机构，还建立了一些国家性与国际性的大学教师发展组织与联盟。美国一般通过两种途径提升师资国际化程度，一是直接招聘和奖励具有国际理念、国际经验、全球才能的教师，另外一种就是鼓励教师参加国际交流。例如，印第安纳大学的全球与国际化事务机构为教师的专业国际化成长提供充足的经费资助，鼓励教师开展远程网络课程学习和带薪的全日制学习；阿巴拉契亚州立大学资助教师参观南美一些大学，并就此建立了教师的国际合作关系和提供给教师在职海外学习的机会；东北州立大学与泰国博仁大学开展了教师交流学习计划，并联合举办了多项国际会议，强化了教师之间的沟通和交流。美国高校教师的所有活动均已学生为中心，以实现学生发展为目的，所有教师国际化交流是为了把国际上最先进的本专业知识传授给学生，培养学生广阔的国际视野，达到本土国际化培养应用型人才的目的。

（本文作者王亚卓系山东轻工业学院讲师，管理学博士；徐同文系山东轻工业学院党委书记，教授，管理学博士、博士生导师。）

同型比较

怀化学院应用型人才培养模式改革的 实践探索

宋克慧，田圣会，彭庆文

新建本科院校是指 1998 年以后我国新成立的普通本科院校，大多数是由专科层次的学校“升本”而成的。截至 2011 年 5 月，这类院校已有 317 所，约占全国普通本科高校的三分之一，成为中国高等教育大众化进程中的一支重要力量。从发展历程来看，新建本科院校在发展壮大的同时，也出现了人才培养缺乏特色、办学模式同质化等现象。不少有识之士已清晰地认识到，新建本科院校向应用型本科教育转型已成为我国高等教育发展和系统质量提升必须面对的重大时代课题。探讨新建本科院校人才培养定位、人才的知识能力素质特征及其结构等理论问题，对于应用型本科教育人才培养方案制定、课程体系构建、教学内容方法选择等办学实践，具有十分重要的现实意义。

一、新建本科院校要以培养应用型人才为己任

社会需要的人才类型是由社会发展的不同需要决定的。社会既需要发现和研究客观规律的研究型人才，也需要运用客观规律和科学原理改造世界为人类社会创造直接利益的应用型人才。这两类人才在培养规格上应各有侧重。研究型人才重在培养其发现和探索客观规律、创新知识的能力；应用型人才重在培养其应用专业知识到实际生产，特别是将高新科技知识转化为生产力（包括管理能力和服务能力），为社会创造直接利益的能力。因此，不同高校人才培养的模式和定位也是不同的。新建本科院校主要培养应用型人才。

近十余年来，随着我国高等教育大众化的快速发展，许多地方普通本科院校，特别是新建本科院校抱着做大做强的美好愿望，在人才培养定位、学科专业设置、课程体系构建等方面，甚至在教学内容和方法上都存在模仿研究型大学或“跟大流”的现象，造成毕业生既没有研究型大学毕业生的学术理论功底，也没有高职院校毕业生的实践能力，从而在人才招聘的竞争中，常常陷入尴尬的两难境地。近些年来，越来越多的新建本科院校在办学过程中，逐渐认识到了这种做法是一

条很难行得通的路子，于是，转变思路，将人才培养目标定位于面向地方服务，办应用型本科教育，为地方经济社会发展培养应用型人才的发展道路上来。这种转变其实是这类院校对升本以后所走过的弯路痛定思痛的结果，是新建本科院校适应社会需要，提高人才培养质量的理性回归。

二、应用型人才的基本内涵及其知识能力素质特征

由于应用型人才是相对于认识世界的研究型人才而言的，属于改造世界的人才类型，承担着将学术研究成果转化为社会生产实践，为人类社会创造具有使用价值的物质或非物质形态的重任。因此，根据学术研究成果的转化过程，将应用型人才按职业类型划分为工程应用型人才、技能应用型人才和技术应用型人才三大类。工程应用型人才是指将科学原理转化成可以直接运用于社会实践的工程设计、工作规划、运行决策等人才。技能应用型人才是指在生产第一线或工作现场通过实际操作将图纸、计划、方案等转变成具体产品的人才。技术应用型人才是介于工程应用型人才和技能应用型人才之间的一种应用型人才类型，他们不是具体的操作者，而是从事组织生产、建设、服务等实践活动，诸如工艺水平的设计，工艺流程的监控，生产工具、机器、设备的运行与维护以及产品、服务的改进和更新等工作的技术服务者与管理服务者。

由此可见，上述三类应用型人才在学术研究成果转化为社会生产实践及社会产品的链条中缺一不可，都发挥着各自重要的作用，这三类人才在应具备的知识能力素质方面既有共性，也有特性。从知识层面看，应用型人才都强调具备扎实的专业基础知识，但是不同类型应用型人才在专业发展知识层面侧重点不一样：工程应用型人才强调学科专业知识掌握的深度和系统性，特别是对工程类专业学科知识的掌握程度要求较高；技术应用型人才特别突出专业学科知识掌握的广度和实用性，其专业知识掌握的深度虽然比工程应用型人才要求较浅，但比技能应用型人才需要掌握更加全面的专业基础知识，特别是对管理学、计算机科学和外语等工具性学科基本知识的掌握程度要求较高；技能应用型人才则更加强调专业实践的经验性知识和技能、技巧性知识的掌握和运用。从能力层面看，三类应用型人才都非常强调运用专业理论知识解决实际问题的综合能力和实践能力，但各有侧重：工程应用型人才侧重于工程系统专业分析能力、开发能力和设计能力；技术应用型人才侧重于社会生产和产品开发过程中的专业技术维护、咨询、管理、

服务等能力；技能应用型人才则侧重于专业生产、建设实践过程中一线岗位工作的操作性技能。从素质层面看，三类应用型人才都要求具有信念执著、品德优良、本领过硬的品质，但对素质的要求也各有侧重：工程应用型人才在工程技术和产品开发、设计、规划等方面，具有较强的创新精神；技术应用型人才在专业技术维护、咨询、管理和服务等方面，具有较强的协调沟通管理能力；一线工作岗位的技能应用型人才对操作性技能的娴熟程度、敬业精神和意志品质等要求较高。

总之，应用型人才具有知识的专业性与通识性、能力的专业性与发展性、素质的通用性与鉴别性共融的特征。潘懋元先生指出，应用型本科教育主要培养将工程原理应用于社会实践、侧重工程管理和应用的工程应用型人才，或将技术原理应用于生产实践、侧重技术开发与现场管理的技术应用型人才，人才培养的特点主要是指向职业带中技术员与工程师的交叉区域，旨在适应高科技应用和智能化控制与管理一线工作要求，培养兼具专业性和通识性的本科层次的技术工程师、技术师、经济师、医师等专业应用型高级复合人才。显然，新建本科院校的应用型人才培养，当以技术应用型人才为主。

三、应用型人才的知识、能力、素质结构要素

人才培养模式是学校为学生构建的知识、能力、素质结构，以及实现这种结构的方式，它从根本上规定了人才特征，并集中地体现了教育思想和教育观念。科学划分应用型人才的知识、能力、素质结构要素是实施应用型人才培养模式的前提条件，结合上述认识，我们对应用型人才的知识、能力、素质结构要素作如下划分。

1. 知识结构要素

根据应用型人才应具有知识的专业性与通识性共融特征，我们将新建本科院校应用型人才的知识结构要素划分为专业基础知识、专业发展知识、综合性知识和工具性知识四大类：（1）专业基础知识。专业基础知识体现在大学生学科基础课程的知识体系中，是培养人才从事专业活动必备的基础知识，对于培养应用型人才专业能力和专业素质起着非常重要的奠基性作用。（2）专业发展知识。专业发展知识体现在大学生学科专业方向课程和专业选修课程的知识体系中，是培养应用型人才发展能力和专业鉴别素质需要掌握的专业理论性知识或操作性知识，是培养应用型人才发展能力和综合素质的必要前提。（3）综合性知识。综

合性知识体现在跨专业、跨学科、跨院系，甚至是跨学校选修课程的知识体系中，是培养应用型人才公共能力、通用素质必备的理论或操作性知识。（4）工具性知识。工具性知识是指帮助大学生学习和掌握专业基础知识、专业发展知识以及综合性知识的方法性知识，主要包括文献检索知识，外语、计算机网络等技术性知识，以及学习方法、思维方法等知识。因此，工具性知识是应用型人才培养知识体系中的重要内容之一，它对于大学生公共能力、专业能力、发展能力、专业素质和综合素质的发展与提升都具有非常重要的促进作用。

2. 能力结构要素

能力是指顺利完成某一活动所必需的主观条件，是直接影响活动效率并使活动顺利完成的个性心理特征。根据斯皮尔曼修正后的二因素说（一般因素——群因素理论），以及应用型人才能力的专业性与发展性共融的特征要求，我们将新建本科院校应用型人才能力结构要素划分为公共能力、专业能力、发展能力三大类：（1）公共能力。公共能力属于一般能力，它是人们完成任何活动都不可缺少的能力，是人们从事任何职业都应具备的基本能力，包括学习思考能力、价值判断能力、交流沟通能力、身心调适能力、信息处理能力等。（2）专业能力。专业能力是指专门人才在从事专门领域工作的基本实践能力，这些能力在本专业领域的职业岗位通用，它是专业基础知识、专业基本技能和专业基本素质在行业领域实践活动中的外显结果，它是专业教育体系下学生职业发展的基础。（3）发展能力。发展能力是指在专业能力基础上通过强化学习与实践而形成的一种能够胜任职业岗位需求并能帮助进行职业转换、迁移的能力。具体来说，发展能力是专业能力在“精”、“深”、“广”、“博”等维度上的延伸和扩展，是伴随专业兴趣、情感、态度、认同感、承诺感、使命感、责任感等专业精神日趋发展逐步形成的，是大学生未来“个性化”发展的需要。

3. 素质结构要素

“素质”的内涵，相对于知识与能力来说，更为丰富。目前学术界较为认可素质是一种心理品质，是以人的先天禀赋为基质的，同时又是在后天环境影响下形成并发展起来的内在的、相对稳定的心理结构及其质量水平。根据应用型人才的素质应该具备通用性与鉴别性共融的特征要求，我们将新建本科院校所培养人才的素质结构要素划分为：基础通用素质、专业智能素质、专业情意素质、综合

素质四大类：（1）基础通用素质。指学生以后从事任何职业都必须具备的基本素质。包括基本技能（阅读能力、书写能力、倾听能力、口头表达能力、数学运算能力），思维能力（能有新想法；考虑各项因素以做出最佳决定；发现并解决问题；根据符号、图像进行思维分析；学习并掌握新技术；分析事物规律并运用规律解决问题），个人品质（有责任感、敬业精神，自重，自信，自律，能正确评价自己，正直，诚实，遵守社会道德行为准则）。（2）专业智能素质。它是指学生运用专业知识和专业能力在从事专门职业的活动过程中将知识与能力逐渐内化而成的一种带有专业特征的素质。专业智能素质的高低，直接影响专门职业的活动效率。不同应用型职业由于其专业性质不一样，专业活动所要求的专业知识和专业能力也是不同的，因此，在专业活动中内化而成的专业智能素质也存在较大的区别。（3）专业情意素质。它是指人们从事专门职业活动的一种心理倾向性特征，主要包括专业兴趣、专业动机、专业情感、专业信念、专业承诺、专业使命感、专业责任感等。（4）综合素质。它是基础通用素质、专业智能素质和专业情意素质在专业实践活动中融合、优化、提升而成的一种全面性素质，是政治素质、思想素质、道德素质、身心素质、科学文化素质、审美素质、专业素质等有机融合的结合。

四、怀化学院应用型人才培养模式改革的实践探索

根据以上对新建本科院校应用型人才知识、能力、素质结构要素的探讨，怀化学院在人才培养模式改革上迈出了新的步伐。从 2007 年开始，确立了“以育人为中心，以需求为引导，以学科为支撑，在社会需要、个人发展、文化传承创新上协调统一”的专业教育指导思想，明确了“培养有扎实的专业基础知识和专业技能，有较强的实践能力和适应能力，有较高的综合素质和创新精神，愿意为基层服务的应用型人才”的人才培养目标，全面实施“融‘知识、能力、素质’为一体，融‘公共能力、专业能力、发展能力’为一体，融‘课堂教学、实验实训、校园文化活动’为一体”的“三位一体”应用型人才培养模式改革，具体的改革进程与措施包括：

首先，通过各种渠道的研究、探讨与宣传，全校上下达成了以下应用型人才培养的共识：（1）知识是能力形成的基础，但知识并不等于能力，大学生只有把知识与实践活动有效地并结合起来，只有把运用知识解决实际问题的能力转化成

为大学生改造自然、改造社会与改造自我的能力之时，知识才会真正产生力量。

(2) 专业能力素质的获得是应用型人才培养的核心，在专业能力形成的同时，通过不断内化、升华后形成的专业素质将会极大提升所培养人才在其专业领域的职业适应性与职业选择的自由度。(3) 知识、能力、素质要素的优化组合是应用型人才培养模式改革的主要内容。就知识层面来说，要以“有用、够用、适用”为原则，作为专业学科课程选择与教学内容知识筛选的基本标准；就能力层面来说，坚持“公共能力是基础，专业能力是核心，发展能力是拓展”的培养次序，并以此作为人才培养方案制定的基本线索；就素质层面来说，在基础通用素质、专业智能素质培养的基础上，要特别注重对大学生的学科专业人文教育，促进大学生专业情意性素质的发展。(4) 坚持应用为导向的学科专业观、课程观和教学观。应用为导向的学科专业观，即办应用型本科教育就是要培养应用型人才、建应用型学科、做应用科学研究、出应用型成果、作应用型技术转化；应用为导向的课程观就是要吸取知识本位课程观和技能本位课程观的长处，实现理论与实践相结合，课程设置应遵循“以素质教育为取向、以社会需求为引导、以能力培养为核心、以事实性知识与概念性知识为基础、以程序性知识和策略性知识为重点、以实践教育为主要途径”的基本原则；以应用为导向的教学观，就是要改革课堂教学传统的教学方法和教学手段，变传统的注入式教学为启发式、参与式、研究式教学，培养学生在实践中发现问题、分析问题和解决问题的能力。第五、校园文化活动应具有明确的能力素质培养目的，同时应该使校园文化活动项目化、课程化，以补充与丰富专业教育对大学生能力素质的培养。

其次，制定了“以专业能力素质培养为核心”应用型人才培养的新方案，并付诸实践：(1) 坚持以工作要求为引导，以能力素质培养为核心，以学科知识为基础，以工作过程性知识技能为重点，以素质教育为取向的课程设置的基本原则，根据行业和岗位群所需要的技术逻辑体系设置课程。(2) 明确应用型人才知识、能力、素质的基本要求及其与课程设置的关系，每个专业建构一个知识、能力、素质与课堂教学、实验实训、校园文化活动结构关系表，并在此基础上制订以专业能力素质培养为核心的人才培养方案。(3) 构建校系两级校园文化活动课程，校级校园文化活动课程主要为公共能力培养服务，系级校园文化活动课程主要为专业能力和发展能力培养服务，使校园文化活动通过“项目化、课程化”融入到

专业教育之中。(4) 确立新的课程标准和能力素质认证体系,修订应用型人才知识能力素质培养的教学质量监控和保障体系。(5) 逐步形成与业界合作培养应用型人才的培养模式,实现学历教育与职业教育的统一。

关于怀化学院的“三位一体”应用型人才培养模式改革,以下我们仅以电子信息科学与技术专业人才培养方案中的课程设置为例,说明应用型人才能力培养与课程之间的关系(见表1)。

表1 怀化学院电子信息科学与技术专业人才培养的课程设置

能力类型及其对应的课程群	公共能力	价值判断能力	思想道德修养与法律基础、中国近现代史纲要、毛泽东思想和中国特色社会主义理论概论、马克思主义基本原理、形势与政策、思想政治理论实践、价值判断能力素质拓展活动项目、价值判断能力培养校选课程
		交流沟通能力	大学英语、中国文化与历史、交流沟通能力素质拓展活动项目、交流沟通能力培养校选课程
		身心调适能力	大学体育与健康、健康运动项目训练、就业指导、军事训练与安全教育、劳动技能训练、身心调适能力素质拓展活动项目、身心调适能力培养校选课程
		信息处理能力	计算机文化基础和操作训练、高级语言程序设计和训练(C语言)、信息处理能力素质拓展活动项目、信息处理能力培养校选课程
	专业能力	数理分析能力	高等数学、线性代数、概率与数统计、数学物理方法、大学物理、大学物理实验
		电子电路基础理论分析能力	电路原理、电路原理实验、模拟电子技术、模拟电子实验、数字电子技术、数字电子技术实验、高频电子线路、高频电子线路实验、专业认知实习、焊接技能培训与竞赛
		电子信息工程设计工具使用能力	工程制图、电子制作初步、电线CAD技术、电子线路CAD技术课程设计、MAT-LAB 及其应用、可视化语言编程、计算机网络、电路制版技能培训与竞赛
		信号与信息系统基础理论分析与实践能力	信号与系统、信号与系统实验、通信原理、通信原理实验、数字信号处理、数字信号处理实验、电磁与电磁波
	发展能力	电子系统测试能力	检测与传感技术、电子测量与仪器、仪器操作技能培训与竞赛
		电子系统设计开发能力	数字系统设计、数字系统设计实验、单片机与接口技术、单片机课程设计、专业毕业设计、毕业设计(毕业论文)、电子设计培训与竞赛
		信号处理系统开发能力	DSP 技术及其应用、DSP 技术及其应用课程设计
		嵌入式系统开发能力	嵌入式系统设计和 SOPC 系统设计

应用型本科教育的理论研究与实践,在我国高等教育领域中方兴未艾。怀化学院作为一所新建本科院校,在应用型人才培养模式改革中的理论探索与实践尝试,其意图主要在于摆脱模仿综合性大学研究型人才培养在学科专业设置、课程体系构建、教学内容方法选择等方面的做法,试图走出一条属于自身的应用型本科教育人才培养模式改革的特色之路,以提高人才培养的质量,克服同质化现象,增强学校的竞争力。我们对应用型人才培养的理解与做法,目前仍然处于初期阶段,其中肯定存在不成熟的地方,但我们愿意通过改革和尝试,不断走向成熟。

(本文作者宋克慧系怀化学院副院长,教授,理学博士;田圣会系怀化学院高等教育研究所副教授,管理学博士;彭庆文系怀化学院高等教育研究所所长,教授,教育学博士。)

专题研究

2008 年北京市高等教育质量与本专科生 发展状况调查报告

北京大学课题组

一、调查目的与重点

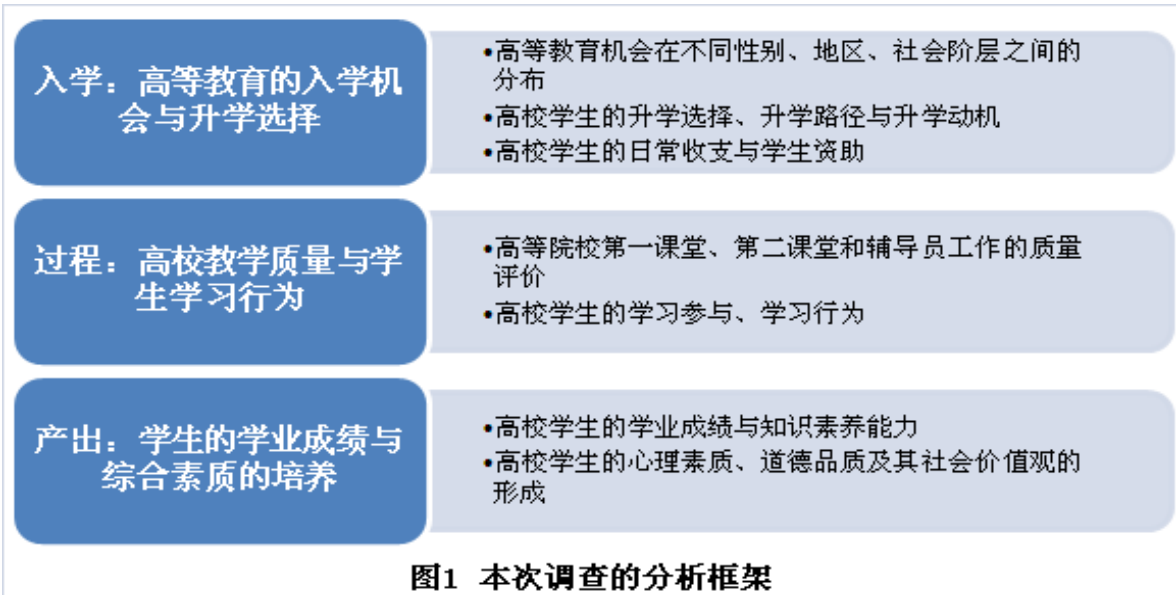
2008 年北京市全面实施“北京市高等学校本科教学质量工程”，在加强学科专业建设和结构调整、加大对教学环节的投入、提高教学设施设备水平、加强教师人才队伍建设、注重学生能力培养等方面提出了战略性发展目标。质量工程旨在全面提升北京市高等学校人才培养质量，使得首都高等教育在规模、结构、质量、效益方面得到协调发展。正是在上述背景之下，继 2006 年度和 2007 年度的大规模高校学生调查之后，在北京市教委和北京市教工委的支持之下，北京大学教育学院在 2008 年底实施了第三次北京市《高校教学质量与学生发展状况》调查。

本次调查在继续关注高校“入学机会公平、教学质量、教学成果”三大焦点问题的基础之上，在分析框架中进一步强化了调研的现实针对性，将高校教学过程中第二课堂活动的实施、高校辅导员制度的推行及其与学生全面能力形成和思想道德培养之间的关联性纳入了考察范围。在以下的调查分析中，报告将从高等教育的入学、教学过程和产出三个方面展开分析，以期全面呈现首都高等教育质量和学生发展的现状(参见图 1)。

- 高等教育的入学选择：主要关注在高等教育入学选择过程中教育机会公平问题的现状。具体包括高等教育机会在不同社会群体间的分配现状，考察近年高校学生选择中出现的社会阶层差距、升学路径和升学动机的变化以及学生资助政策的覆盖范畴和实施效应。
- 高等教育的教与学的过程：分别从高等院校和高校学生两个不同的视角，分析高校教学过程中高校教学第一课堂、第二课堂、高校辅导员的质量，通过高校学生的课程出勤、课余时间配置、学习行为等不同维度，考察

高校学生的学习行为及其存在的问题。

- 高等教育的产出：主要通过学生学业成就和能力素质的形成，考察高等教育的教学成果。主要考评内容包括：学生的学业成绩、知识素养与能力、以及包括心理素质、独立性、人际交往能力、社会价值观等在内的综合素质。



二、调查实施与样本描述

2008 年度《首都高等教育质量与学生发展状况调查》是在北京市教委的领导和支持下，由北京市教工委和北京大学教育学院共同组织进行的。本次调查的主要工具是“首都高校学生发展状况调查—本专科生问卷”和“首都高校学生发展状况调查—研究生问卷”。调查问卷于 2008 年 12 月初发放，2008 年 12 月底回收。与 2007 年的调查不同，本次调查没有针对教师的独立问卷，而是对本专科生和研究生进行了独立的调查。问卷由北大教育学院课题组直接送交各调查院校，由各院校参与调研工作的学生工作处以及相关部门负责发放、回收和质量抽查，最后由北京大学课题组负责数据的录入和分析工作。调查具体执行和研究报告的撰写主要由北京大学“首都高等教育”学科群项目组成员完成。

在数据录入工作完成后，北大教育学院为调查院校相关人员提供了为期 2

日的《首都高校学生发展状况调查数据分析师培训》。培训内容包括（1）统计分析基础普及；（2）首都高校教学质量与学生发展状况调查概要介绍；（3）分析案例演示；（4）各校自评报告的指导。本次培训促进了北京市各类高等院校教学质量和学生管理工作水平的提高。

本次调查的抽样工作分三步进行。第一步，课题组将在京高校分为“985 工程”高校、“211 工程”高校、一般本科院校和高职高专院校四类。从全部高校中共抽取样本院校 54 所，比 2007 年增加 24 所高校。其中进入“985 工程”的高校 9 所，比 2007 年增加 4 所；进入“211 工程”的高校 17 所，比 2007 年增加 7 所；一般本科院校 24 所，比 2007 年增加 16 所；以及高职高专院校 4 所，比 2007 年减少 2 所。值得注意的是，2008 年调查并未包括全部 2007 年参与调查的学校。

第二步是根据学科门类在选中高校内进行抽样，即根据学科门类，将在校生分为文史哲类、政法经管类、工学类和理工农医类，在各高校分别抽取 1-4 个学科门类。

表 1：样本的专业和院校类型分布

年级	学校类型				
	985 院校	211 院校	一般本科	高职院校	合计
文史哲	17%	17%	31%	19%	23%
经法教管	24%	29%	32%	51%	31%
工学	30%	36%	24%	26%	29%
理农医	28%	18%	10%	4%	16%
合计	100%	100%	100%	100%	100%

第三步是根据在校生的学年分布进行抽样。本次调查侧重于本科生二年级（16.4%）和三年级（76.4%）学生，研究生中以硕士生为主（90.8%）。调查组向每一个被选学校派送本科生问卷 200-1200 份和研究生问卷 100-800 份。各高校可以根据调查需要对调查问卷数量进行适当增减。

本次调查实际返回有效学生问卷 29,806 份，来自 54 所高校，各校本专科生问卷回收率平均为 98%。在本专科生样本中，本科生占 87.85%，专科生占 12.15%，男性 46.31%，女性为 53.69%，比例接近 2007 年。其中北京生源占 40.19%，

非北京生源占 59.81%，北京生源与 2007 年相比比例下降。属院校占 49.28%，市属市管院校占 50.72%，2008 年样本中央属高校比例增加。从样本的专业分布来看，约有 23% 的学生属于文史哲专业、31.4% 属于经法教管专业、29% 属于工学专业，其余 15.5% 属于理工农医专业。

三、高等教育入学机会与升学选择

1. 高等教育入学机会

(1) 性别

从性别结构看，本次调查样本中，女大学生的比例为 53.69%（在北京生源和非北京生源中，女性比例分别为 59.45% 和 48.45%），女性比例高于男性；从变化趋势看，2003-2007 年，女性比例分别为 49.0%、52.9%、56.3%、52.3%、53.5%，呈现稳定递增的趋势，即女生数相当于高校在校生人数的一半。尽管调查抽样可能会存在某些误差，但显然女性在高等教育入学机会方面并未显著地低于男生，尤其是北京生源女生的高等教育参与程度更高。

(2) 生源地

学生的家庭户口所在地是社会经济背景的一个重要标志。本次调查分析了学生来源的城乡结构。本次调查发现，来自县镇和农村的学生比例合计为 40.51%（该比例在北京生源和非北京生源中分别为 31.91% 和 48.34%），与 2007 年基本持平。从历年的变化趋势看，该比例在 2003-2007 年分别为 36.7%、39.7%、39.3%、45.3%、42%；在非北京生源中，从 2003 年到 2006 年，来自农村（不包括县镇）的学生比例从 18.7% 增加到 29.2%，增加了近 10 个百分点，但是 2007 年降为 20.1%。由此说明首都高校大学生中来自县及县以下地区者占相当高的比例，分析表明随着近年城市化过程导致农村人口比例的下降，北京高校学生群体中来自农村的学生比例呈现逐步提高的趋势。

(3) 家庭社会经济背景

在生源的家庭社会阶层结构方面，在本次调查从三个相关指标进行考察：父母的文化程度、职业和家庭收入。

■ 父母文化程度

在被调查的大学生中,父亲文化程度在初中及以下的占 25.66%,高中及中专、技校的占 33.54%,大专及以上者占 40.80%。与 2007 年相比,2008 年调查学生父亲学历为大专及以上者的比例显著提高,初中及以下比例下降。

■ 父母职业

从父亲的职业看,样本学生中父亲为国家机关和党群组织等和专业技术人员者的比例为 19%;父亲职业为办事员与有关人员和商业服务业人员的比例为 21%;父亲从事农林牧渔水利等和生产运输设备操作等的比例为 36.85%;属于新增就业人员、未就业和其他的比例为 23.96%。由于 2007 和 2008 年度调查中父亲职业分类不一致,因此无法比较两年数据。

■ 家庭收入

2007 年调查收集了父亲的月收入,而 2008 年调查询问了家庭的年收入。家庭年收入在 1 万元以下的学生比例为 36%;家庭收入在 1-4 万元的比例为 33%;家庭收入属于 4-10 万元的比例为 22%;约有 9%的家庭年收入在 10 万元以上。比较 2008 年入学的新生和四年级学生,家庭年收入低于 5000 元的比例分别为 22%和 19%;同时中高等收入家庭子女的比例相对稳定。**这说明高校接受的学生中来自低收入家庭子女比例在增加。**

(4) 高考成绩

为了分析入学机会在不同社会阶层之间的分布,本次调查考察了不同阶层家庭子女的高考成绩。较高的成绩意味着较多的入学机会和较高的大学质量。

首先,从不同社会阶层子女高考入学成绩看,**在同一院校内部,不同社会阶层子女高考成绩没有显著差异。**以调查样本较多的北京工业大学、北京联合大学、北京财贸职业学院(分别为 211 大学、一般本科和高职院校)为例,在北京生源(以剔除不同省份高考成绩不同可能产生的影响)中,不同家庭背景学生的高考入学成绩差别很小。以父亲的教育程度为例,父亲教育程度为初中和父亲为本科毕业生学生的成绩在北京工业大学分别为 555 分和 554 分,在北京联合大学分别为 465.5 分和 464.6 分,在北京财贸职业学院分别为 396.8 分和 393 分。

其次，值得注意的是，在不同院校之间，父母的教育程度、父亲职业和家庭收入仍然会对学生的高考分数产生重要影响。第一，父母教育程度为高中及以下家庭子女的高考平均分均低于 491 分，父母教育为大专的学生平均分为 505-507 分，而父母为本科或研究生的学生平均分为 530 分至 550 分。这说明入学机会与父母教育程度正相关。第二，父母的职业同样与子女高考成绩有关。父母职业为国家机关工作人员、党群组织人员、专业技术人员或办事人员的学生高考平均分均高于 513 分，而父母职业属于新增就业人员、未就业和其他就业人员的学生高考平均分都低于 496 分。第三，家庭年收入低于 2 万元家庭的子女高考分数低于 496 分，而收入在 2 万到 20 万之间家庭子女的高考成绩在 500 到 530 分之间。

以上调查结果表明，同一院校内学生的家庭背景与高考成绩无关，但是家庭社会经济背景的确影响学生的高考成绩，弱势群体学生的高考成绩普遍偏低。

2. 升学选择

(1) 不同社会阶层子弟的入学选择

本次调查也考察了不同家庭背景学生的大学选择。研究着重分析了父母教育程度、父母职业、家庭收入和高中类型与大学选择的关系。

2008 年调查显示父母教育程度在高中及以下的学生被 985 或 211 等重点院校录取的比例低于 18%，而父母为本科生的学生进入重点院校的比例为 34%，父母为研究生的学生进入重点院校的比例为 44%。父母职业为国家机关工作人员、党群组织人员、专业技术人员或办事人员的学生进入重点大学的比例高于 28%，而未就业人员和不便分类的其他人员的子女进入重点大学的比例低于 21%。年收入在 4 万元以下家庭的子女进入重点院校的比例低于 24%，而收入高于 10 万元家庭的子女进入重点大学的比例高于 33%。这一结果显示不同社会经济背景家庭子女接受高质量本科教育的机会并不均等。父母学历、职业地位和家庭收入同样影响学生进入重点院校的机会，父母教育程度较高、富裕家庭和高职业地位家庭子女进入重点大学的机会更多。

综合以上数据可以看出，首都高校在招生方面，从 2003 年到 2006 年，女性、农村和较低社会阶层子女的受教育机会逐步增加，这对于促进社会和谐发展是具

有重要积极意义的。但另一方面，来自较高社会经济背景家庭学生的高考成绩更加优秀、进入重点院校的比例更大。在促进高等教育入学机会的公平方面，首都高校还有进一步提升的余地。

（2）升学选择路径

除了与家庭背景相关，升学选择是否与学生高中类型有关？本次调查发现高中类型的确与大学选择有着密切的关系。

样本中约有 66% 的学生来自重点高中、28.8% 来自普通高中、3.94% 来自职高和中职和技校。而在进入 985 院校的学生中，有 81% 来自重点高中，17.45% 来自非重点高中。进入 211 院校的学生中，有 77.45% 来自重点高中，19.96% 来自非重点高中。在高职院校中，62.31% 的学生来自非重点高中，13.98% 来自中职院校。因此，高等教育的入学机会偏向于重点中学的毕业生，不利于来自普通高中和中职学校的学生。有限的优质高等教育资源更多地流向在高中阶段已经享受优质中等教育资源的学生。

同时研究发现，目前高校学生中高考应届生的比例为 84%，而往届生的比例已接近 16%。从 2005 年至 2009 年入学学生中往届生的比例分别为 12%、15%、19%、20%，呈现出逐步递增的趋势。为此，往届生已成为高校升学人群中一个不可忽视的主体。至于往届生的分布区域，往届生比例超过 20% 的地区包括安徽、广西、贵州、河北、河南、吉林、江西、山东、山西，并且来自农村和县城的往届生比例明显高于城市学生。显而易见，往届生主要集中在经济发展落后地区。是否这类地区学生在高考升学中处于不利境遇？是什么原因导致他们再次选择参加高考？这些问题有必要在接下来的研究中进行深入地探讨。

（3）升学选择动机

随着高等教育就学机会从少数人的特权转化为大多数社会群体的权利，在特定的地区或社会阶层中，高校升学成为人们理所当然的选择，甚至在某种外部压力或约束之下，做出被动升学选择的非自愿性升学者（involuntary attendance）的比例开始明显增加。这种变化趋势意味着传统高等教育必须放弃或调整以往的所谓高校升学者均持有明确而强烈的学习动机的基本前提假设（Trow，1972）。

本次调研设计了 7 个选项，尝试从多方位考察目前高校学生的学生动机。如果着眼于选择“同意”的比例，调查发现“找到满意的工作”（44%）、“获得更多更广泛的知识和技能”（43%）、“结交更多的朋友，拓宽社交圈”（41%）成为学生升学选择背后最重要的三项影响要素。这表明提升在劳动力市场的就业竞争力，强化自身的知识技能，拓宽自己的社会资本已成为当今学生选择升入高等院校的主要影响因素。相比之下，完全认同高等院校是所有同龄人梦想的地方的比例仅为 31%，特别值得引起注意的是，完全因为对于所学专业抱有浓厚兴趣，而做出升学选择的学生比例仅占 19%。

4. 高校学生日常收支与学生资助

（1）日常收支

对高等教育入学机会和升学选择的分析表明，随着首都高等教育规模的扩张，更多低收入家庭的子女进入了高等院校。因此高等教育的可负担性成为社会普遍关注的问题。政府控制学费增长的政策是否有利于提高学费的可负担性？学生日常开支的水平是否超过了家庭可以承受的范围？为了回答这些问题，本次调查询问了学生每年的主要经济来源和支出情况。学生支出包括四个部分，其中学费约占 46%，住宿费约占 7%，伙食费约占 30%，其他开支约占 17%。

首先，学生的学年收入和支出情况受到父母教育程度、父母职业和家庭收入水平的影响。以父亲的受教育程度来划分，父亲教育程度在大专及以上学历的学生的年收入和支出均高于其他学生。前者的年收入高于 12,649 元，而样本的平均年收入为 11,969 元；前者的年支出高于 14,077 元，而样本均值为 13,170 元。同样，父亲的职业与学生个人的年支出也有比较明显的联系。此外，高收入家庭学生的收入和开支远高于低收入家庭子女。

其次，不同类型院校学生支出水平并无显著差异。比较进入 985、211、一般本科和高职高专院校的学生，调查发现学生的总支出水平并无显著差异。重点院校学生的年支出约为 12,700-12,800 元，一般本科和高职学生的年支出约为 12,600-13,700 元。值得注意的是，从支出的机构来看，重点院校学生的学费水平低于一般本科和高职学生，而前者的伙食费和其他开支高于后者。

再次，目前的学费和学生支出与家庭人均收入相比，已经达到了较高的水平。本次调查发现首都高校学生平均学费为 6,057 元，年支出为 13,170 元。根据北京市 2008 年国民经济和社会发展情况统计，学费已经占到城镇人均可支配收入的 25% 和农村人均纯收入的 56%。大学生年生活开支约占 2008 年城镇人均消费支出的 80%，约占农村人均生活消费支出的 172%。这说明学费的可负担性对农村学生较低，而大学生开支无论对城市家庭还是农村家庭都是比较沉重的负担。

最后，学生未获得满足的经济需求水平比较高。一方面，学生目前的总开支水平高于自我汇报的总收入水平，多数学生处于收支不平衡的状态。另一方面，与家庭收入相比，不少学生的年开支甚至大于家庭年收入。例如家庭收入低于 5,000 元的学生的年总支出为 11,872 元，家庭收入低于 10,000 元的学生的年总支出为 12,204 元。显然，这些低收入学生的家庭已经不能负担子女的教育开支，处于入不敷出的状态。低收入学生中仍然存在未满足的、对学生资助的需求。

（2）学生资助的覆盖特征与效应

上述对学生日常收支情况的分析表明，高校成本分担机制虽然减轻了国家财政压力，却加重了学生家庭、尤其是贫困学生家庭的经济负担。1998 年高等教育扩张以来，我国开始推行大规模的高校资助政策。这种多层次助学制度的推行，提高了高等教育的入学机会和可负担性，促进了教育起点的公平。本次调查对学生经济援助体系的覆盖率及其在不同高校、不同学历层次、不同地域、不同学生群体之间的差异进行了分析。在此基础上还分析是否获得学生资助、学生资助类型和学生资助水平对个人学业成就和毕业后选择的影响。

■ 学生资助的覆盖范围

不少研究指出学生的资助需求仍然没有得到全部的满足。本次调查表明，从总体上看，目前高校学生资助的覆盖率还比较低。约有 52% 的学生获得了各种类型的学生资助。其中 54% 的 985 院校学生和 57% 的 211 院校学生获得了资助，高于一般本科院校（48.63%）和高职高专院校（46.52%）。

其次，从不同院校中的各项经济援助项目的覆盖率来看，不同类型的院校之间存在着明显的差异，高职院校和民办院校的劣势尤为突出。例如从国家助学

贷款的覆盖率来看,985 院校达到了 9.52%,相比之下一般本科(4.39%)只相当于其一半,而市属高职的覆盖面仅为 2.16%。国家助学金、国家励志奖学金、国家助学金的情况于此类似,重点院校覆盖面高于一般本科,而一般本科又高于高职院校。值得注意的是最近开始实行的国家生源地助学贷款的分布情况。985 院校和高职院校的比例均为 0.33%,而 211 院校的比例为 0.2,一般本科的比例为 0.16。这说明生源地贷款的总体覆盖面很低,且在不同院校间差异不大。

第三,经济资助的覆盖率在不同学历层次之间也存在着明显的差异。调查发现,无论是以需求为导向(need-based)的贫困资助,还是奖学金等以能力为导向(merit-based)的奖励性资助,现有的大多数经济援助都倾向于本科生,对专科生的经济援助体系则相对薄弱。

第四,从经济资助的水平来看,父亲受教育程度较低学生获得奖学金、助学金和学生贷款都高于父亲受教育程度较高家庭的子女。此外,比较父亲职业与学生资助水平的关系可见,父亲从事农、林、牧、渔行业的学生获得的奖学金和助学金均高于其他学生,而父亲为国家机关和党群组织或者专业技术人员家庭的学生获得学生贷款水平远远高于其他学生。最后,各种类型学生资助的水平随着家庭收入的提高而下降。

总而言之,奖学金和助学金的分配有利于社会经济背景较低家庭的子女,而家庭社会经济背景较高的学生倾向于获得学生贷款。调查发现不仅资助的总体覆盖面还比较低,而且与学费相比,目前获得资助学生享受的资助水平仍然偏低。目前平均资助水平约为 3100 元,而首都高校的平均学费水平约为 6060 元,因此资助尚不足支付学费。贫困学生仍然面临很大的挑战。

■ 学生资助的效应

已有研究指出了学生资助对学生个人的发展具有重要的意义。沈华和沈红(2008)的内部收益率研究发现我国的国家助学贷款提高了个人高等教育的收益率。钟一彪和赖东菲(2005)对广东省高校的描述分析同样指出助学贷款激发了学生的学习动力,但是也给他们带来心理压力。杨钊(2008)的分析发现,学生资助能提高学习成绩与课外学习时间。在毕业后选择方面,获得资助的学生更容易选择就业;获得学生贷款和助学金的学生选择就业的概率更高;获得较低学生

资助的学生更容易选择就业而非升学。由此可见，学生资助的确帮助了部分贫困学生，但是也拉大了贫困学生内部的差距，未能惠及所有弱势群体学生。从这个意义上说，学生资助分布的不均匀扩大了获得资助学生群体内部教育过程和结果的差异性。

本次调查分析了学生资助对个人学业发展和毕业后选择的影响。第一、从学生资助与学业发展的关系来看，首先，**获得学生资助与大学成绩优秀有显著的正相关关系，且获得更高的资助会显著地提高学生取得优秀成绩的概率。其次，获得资助显著地降低了个人学业失败的可能性，高资助水平进一步降低了不及格的可能性。**

第二、**学生资助显著地增加了学生的课外学习时间**，在各种类型的资助中，获得助学金和同时获得助学金与贷款的学生的课外学习时间有显著的增长，其他资助类型的影响不显著。在获得资助学生中，获得资助水平较低的学生花费更多的时间学习。

第三、**通过对资助与个人毕业后选择的分析发现，获得资助学生在毕业后更倾向于选择工作，而不是升学、出国进修、自主创业或其他。**在七种资助类型中，只有助学金和贷款对学生选择产生了显著的影响。此外，获得较低程度资助的学生更容易在毕业后选择就业。

总而言之，通过对学生资助与大学生成绩、不及格科目、课外学习时间、高校满意度和毕业后选择的分析，我们发现学生资助不仅是个人学业发展的重要影响因素，而且与个人毕业后选择密切相关。是否获得资助、资助的类型和资助水平对大学生的发展发挥着举足轻重的作用。

（本文“转载于北京大学教育经济研究所简报”，课题负责人为北京大学闵维方教授和文东茅教授。）