

对美国科研工作的印象

周 成 奎

今年6月18日至7月14日，我们应美国能源部能源研究办公室主任弗里曼博士的邀请，访问了美国费米实验室、阿贡实验室、斯坦福直线加速器中心、劳伦兹-伯克莱实验室和布鲁克海汶实验室，并拜访了美国科学院、国立科学基金会和宇航局，参观了几个工厂，对美国的科研工作留下了一些深刻的印象。

(一)

美国从联邦政府到各工业部门，普遍都很重视科学的研究工作。这种重视首先反映在对科学的研究的投资上。为了说明问题，下面列一些数字（单位均为亿美元）。

这里需要指出，这几年工业部门为了提高产品的竞争能力，大大增加了科研投资。1967年至1972年，联邦政府的科研经费支出占了全国科研经费的三分之二以上，各工业部门的科研经费只占不到三分之一；而1979年以来，联邦政府的科研经费支出为全国科研经费的一半，各工业部门的科研经费已经上升到全国科研经费的二分之一。也就是说，1980年美国全国科研经费的实际支出数估计为644亿美元左右。应该说，这是一个相当可观的数字。

另一方面，美国政府近几年还加强了对科研工作比较薄弱的部门的投资。比如汽车工业和钢铁工业，从传统上说美国政府是不支持的。但在能源危机的形势下，日本的小型车大量涌进国际市场，甚至涌进了美国的国内市场，美国的大型、豪华汽车失去了竞争能力。为了在汽车工业方面打“翻身仗”，美国从最近开始不得不进行汽车改型的工作。卡特总统和交通部长、科学顾问也开了会，决定政府对汽车工业要进行科

学研究。钢铁工业也一样，由于不像别的国家那样现代化，美国有很多人建议政府投资进行研究。

工业部门重视科学的研究的明显例子之一是计算机工业。大家知道，美国的计算机工业是相当发达的，一直在世界上保持领先地位。但这是和它很大力量从事科学的研究分不开的。据宝来公司(Burroughs)介绍，该公司65000名职工中，有30000名职工是搞市场工作、特别是搞市场情报研究的；另有7800名技术人员是专门从事计算机本身的研究的；真正的生产工人只有23000人。这7800名技术人员中，40%的人搞现在正在生产的机器，50%的人搞下一代机器的研究，10%的人搞再下一代机器的研究。而所谓搞正在生产的机器，主要是搞革新和改造方面的研究，包括提高软件功能和改进硬件、降低成本。值得一提的是，即便对已经很发达的计算机工业，为了保持领先地位，美国国会最近通过了一项法案，决定允许资本更为雄厚的石油公司生产计算机，这对美国现有的各计算机公司是一个巨大的挑战。可以预料，在剧烈的竞争中，美国的计算机工业将在最近几年中获得更大的发展。

在科学的研究中，美国政府是把基础科学和基本理论的研究放在相当重要的位置上的。卡特在1977年初就任总统时，他的科学顾问普雷斯曾对他说，美国在基础科学方面的经费不断下降，这是个不好的趋势。普雷斯说服了卡特，所以在近三年中，虽然美国的经济很困难，但还是增加了对基础科学的研究的经费。1980年联邦政府用于基础研究的经费支出估计为42亿美元，折合为1972年的不变价格，大约比1972年增长了18.5%。能源部负责高能物理和核物理的李斯博士对我们说：“任何一个大的研究所都应当有基础研究，这

财政年度	国民经济生产总值	联邦政府总支出	联邦政府科研发 展经费支出	政府科研经费支出占 国民经济总产值比例	政府科研经费支出占 政府总支出比例
1967	7774	1583	169	2.17%	10.65%
1972	11105	2320	167	1.51%	7.22%
1979	23685	4937	278	1.17%	5.63%
1980	25670	5636	322	1.25%	5.71%

样他们的研究才会很健康。美国过去也有一些大的实验室不愿花时间搞基础研究，但过了几年就发现成绩不大。所以任何一个单位搞基础研究，就会有生命力。”

在科研管理体制方面，美国是通过三个渠道来支持科学的研究的，一是政府各部门，二是国立科学基金会，三是美国科学院。政府部门对科研的支持是相当多的，如能源部，主要支持高能物理、核物理、材料、化学、生物、核能、煤炭等与能源有关的研究，其中对高能物理的研究，能源部的支持占 90%；核聚变的研究差不多全部是能源部支持的。其他如宇航局、商业部等，也都有自己的研究范围。国立科学基金会主要支持薄弱环节的研究，在全国的科学的研究工作中起平衡作用；但也有一些特别基金，如空间物理方面的研究，主要是科学基金会支持的。美国科学院下面并无研究所，但它有 1200 名杰出的美国科学家和 200 名国外科学家作为它的成员。它的主要任务是向政府提出科学的研究方面的咨询，组织制订美国科学发展的长远规划，评价各个部门的科研工作，同时自己也组织一些综合性的研究，如二氧化碳对环境关系的研究、火山爆发后的综合研究等。美国科学院的特点是政府不给经费资助，它的经费主要靠合同收入，大约每年是 6000 万美元。所以科学院对政府有相当多的独立性。由于这三个方面的分工和合作，美国的基础研究、应用研究和有专门目的的研究，都得到了全面的、协调的发展。

美国的科学教育在卡特就任总统以后，成为科学发展全盘计划中的一个重要部分。现在，美国的许多城市都有科学博物馆。在华盛顿，我们参观了宇航馆和加速器馆，从人类最初设计的风筝到最现代化的载人宇宙飞船，从三十年代设计的直径十几英寸的小加速器到目前已经运转的大加速器模型，都放在展览馆里，每天有成千上万的人去参观。给我们印象最深的是旧金山的科学博物馆，这里有普及力学、声学、光学、热力学和电学知识的许多有趣的装置，而且科学和艺术的结合又是如此完满，使它成为既是游艺的乐园，又是知识的宝库。据说，每天都有家长带着孩子在这里度过自己的一天，每天都有学校老师带着学生在这里进行“课堂”教育。无疑，这种科学的熏陶，对于普及科学知识，激发人们探索自然界奥秘的兴趣和力量，将起无形的、然而巨大的作用。

(二)

下面谈谈美国高能物理研究的情况。

美国各高能中心的经费来源主要是由能源部提供的。此外，国立科学基金会每年也有少量支持。在 1980 年财政年度中，能源部拨款 3.25 亿美元，国立科学基金会支持 0.25—0.3 亿美元，总计 3.5 亿美元左右，占联邦政府基础研究经费的 8.3%。投资最多

的是 1967 年，为 5.17 亿美元，最少的是 1975 年，为 2.56 亿美元。1980 年的高能经费中，基建费大约为 6000—7000 万美元，给各大学从事高能物理实验的费用大约是 7000—8000 万美元（即除基建费外，约占高能经费的 30%）。剩下的经费中，大体上 20% 用于实验物理研究，31% 用于加速器运行，25% 用于实验设备（包括电费），24% 用于实验和加速器的发展研究。

美国目前从事高能物理研究的人数估计为两万人。在各高能中心，科技人员与后勤支持人员的比例大体是 1:1。在一般的物理实验室里，物理学家、工程师和技术工人的比例大体是 1:1:4。这些比例数字说明了高能物理研究的一个明显的特点：科研与工程的结合。也许到目前为止，还没有哪一个科学的研究的领域需要这么多的工程技术人员和后勤支持人员。认识这一个特点，对于顺利建设我国的高能物理实验中心，是很重要的。

美国各高能中心的人事制度比较灵活，也较能适应科学的研究的特点和科学发展的需要。第一，当一个研究项目被批准以后，项目负责人有权根据工作需要和经费多少，招聘所需人员，并能根据每人工作的优劣，确定工资的多寡和人员的去留；项目组内的每一个成员也能按照自己的爱好和特长，以及组内人事关系等情况，自由选择自己的工作单位；第二，当一个研究项目完成后，研究组也就自动解散，不存在永远束缚在一个研究组里不能动的情况；第三，所内的工作人员是流动的，所里有权调动。据了解，每年调动的幅度占总人数的 7% 左右，比学校和工业部门的调动幅度（23%）小一些；第四，所长有任期，期满后就要退下来；每个国家雇员到了年龄要退休，把位置让给年轻人。美国研究所的这种人事制度有利于人才的成长、特别是青年人的成长，有利于减少人事关系，提高科研工作的效率。

美国各高能中心除自己做实验外，还提供加速器束流和实验条件，让大学和其他研究单位的人来工作。往往每年安排的实验，本所只做三分之一，所外做三分之二。斯坦福直线加速器中心的泡室实验，本所甚至只做 16%，所外要做 84%。这种把科研和教育紧密结合起来的做法，在美国是有传统的，我们应该认真学习。

美国各高能中心的组织机构是根据科研和工程的需要设置的，层次少，线条清，责任制明确。如费米实验室在初创时期主要按照任务，设置了直线加速器、增强器、主环、束流输运、实验区设计、气泡室等六个研究部门，直属所长领导。同时在所长下面有理论、建筑工程和后勤等三个组，与六个研究部门发生关系。当加速器建成运行以后，直线、增强器、主环、束流输运等四个部门合并成加速器部，实验区设计、气泡室合并成研

究部，并成立了技术服务部(负责工厂、磁铁制造、动力、环境维护等)和采购供应组(负责采购、仓库、会计、消防等)，来支持加速器部和研究部的科研工作。后因建造倍加器的需要，又临时成立了倍加器部，人员是从加速器部和研究部抽出来的，任务完成后，这个部就随即取消。斯坦福直线加速器中心的机构也很简单，只有研究部、技术部(包括加速器和技术服务)、行政事务部三个部，目前由于正在建设 PEP，临时成立了 PEP 部。

一个单位的组织机构应设置得科学、合理、尽量简单，这对于提高工作效率是必要的。但问题的关键还在于头头要尽可能少，并且有明确的责任制。美国各高能中心只有一个所长、一个付所长。所长全权决定全所重大事情，各部、各研究组的负责人则全权决定本部、本组内的事情。全所从所长到清洁工人，每人都有自己的岗位、权力和责任，因而整个“机器”一环扣一环，运转得比较灵活。在美国各研究所，职务只是一种责任的象征，并不能完全代表一个人地位的高低，真正代表地位高低的是得到社会承认的学术成就。因此，绝大多数科技人员宁愿潜心于科学的研究工作，也不愿意当官。任何一个单位，庙越多、菩萨越多，就会无休止地开会商量，就会因为对事情的看法不同而不能决定任何问题，就不会有什么效率可言。所以，精兵简政，明确职责，实在是体制改革中的一个重要问题。

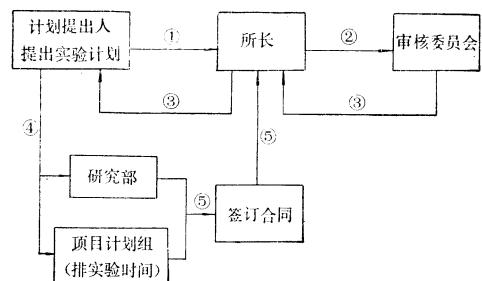
(三)

抓好高能物理实验研究是抓好整个高能物理研究工作的中心环节。美国做一个高能物理实验，一般要三一六年时间，即六个月内提出实验建议，三个月内进行实验建议书的审核，半年到一年内签订进行实验的合同，一年到两年内做实验仪器，半年到一年半内真正做实验，三个月甚至三年内分析实验数据并发表论文。所以，一个实验的周期是相当长的，必须早作准备。

费米实验室 1967 年开始设计 500 京电子伏加速器，同年起每年夏天有一个讨论会，研究这台加速器上的实验计划和实验仪器，而且每次会议都把讨论的结果(包括加速器束流设计和实验区设计)写成一本书，分送所内外有关单位征求意见。到 1969 年，提出了具体的实验建议；1970 年审核委员会批准了第一批实验；1972 年加速器建成时，第一批实验工作也就开始了。前后准备了六年时间。

现在，美国各高能中心都有一个实验计划审核委员会。委员会的成员不仅有所内的，更主要的是有所外的。如费米实验室，委员会的十八位成员是从五十个大学的有经验的教授中挑选出来的。实验计划的审核过程大体是：1.由各单位提出实验建议，送研究所所长，先看看所内有没有能力做；2.由所长提交审核委员会审核，计划提出人可以自己到委员会申诉；3.审核

委员会将审核结果告诉所长，所长将结果告诉计划提出人；4.计划提出人与研究所的研究部和项目计划组具体商量技术细节并安排实验时间；5.计划提出人与研究所签订实验合同，并报请所长批准(附图)。



通常，审核委员会每年要开四次会，审核的实验报告有几十个。而且为了避免在会下徇私，研究所所长要在审核委员会上当场表态能不能做这样的实验。审核委员会审核的内容包括：有没有物理意义；在这样的加速器上能不能做；经费有无可能；人员的数量和质量如何；实验的方法好不好。如果同时有几个相同的实验计划，主要看人员的质量如何而批准其中的一个。审核的结果一般有四种情况：批准；不批准；拿回去再研究，第二年再讨论、批准，但还要有些修改。

在费米实验室的加速器上，开头几年大约每年做三十个实验；以后在正常情况下，每年做二十个实验；近几年由于经费不足，每年做十五个实验。其中大部分实验是各大学的人来做的，他们的人数每年为七百人左右，内有 15% 的人是从国外来的。这些人在飞机上改学生的卷子，晚上做实验，回去教书，工作非常辛苦，又非常努力。他们常常风趣地说：“飞机越来越快，教授越来越老，总也追不上。”

除了实验课题的选择以外，实验探测器的建造也是一个很重要的问题。我们通过参观感到，实验探测器的规模很大，技术很复杂，不仅不比建造一台加速器容易，甚至困难更大。对于我们来说，计划在 1987 年前建成的 50 京电子伏加速器，能量并不高，要在这个能区做出好的物理工作，除了要有出色的物理课题外，必须有高性能的实验探测仪器。而当前在这两个方面，我们都还有许多问题需要解决。国外朋友关心我们加速器的建设，但更关心的还是我们在加速器建成后能不能进行物理实验工作。为此，潘诺夫斯基建议在今冬明春召开实验物理工作会议以后，约请在探测器建造方面最有经验的科学家和工程师，定期讨论中国实验探测器的建造问题；李政道教授也建议，把派往美国学习和工作的实验物理工作者组织起来，定期交流物理思想，讨论和国内工作的结合问题。我们认为这是两个很好的建议。

(四)

美国各高能中心都有一个长远发展的规划，当前做什么，将来做什么，当前和将来如何连接，心中都有数。象斯坦福直线加速器中心，1990年以前的计划目标已经比较具体地推出来了。他们认为，一个研究所没有长远发展规划，就等于没有方向，研究所就无法存在下去。

在制订长远规划的基础上，必须着力抓好每个阶段的工程建设项目。为此，首先要抓好工程的预算。斯坦福直线加速器中心在建造 PEP 过程中，留了 15% 的预备金，因为实际的支出和预算总是有差别的，如土建预算 2400 万美元，实际花了 2800 万美元；技术配件预算 2700 万美元，实际花了 2900 万美元。但由于留了预备金，所以还可以控制。

第二件事要抓工程的进度表。由于工程往往很庞大，有成千上万个项目的，要做的事情千头万绪，必须有一个总进度表加以控制。为此，他们从分析工程矛盾的各个方面中，找出主要矛盾和与此相关的各个部分，然后按照部件制造的逻辑发展，确定影响工程进度的工序（即临界工作路径）和每个阶段的主要目标（或称里程碑），并全力去实现它。这种方法叫临界路径法 (CRITICAL PATH METHOD，简称 CPM)。这种科学管理的方法在美国各高能中心应用得非常普遍，是每一个工程技术人员和管理人员必须掌握和熟悉的一

门管理科学。当然，方法总是次要的，关键在于有实现这种方法的人和措施。

为了控制工程的预算和进度，各高能中心采取的一个重要政策是尽量避免把自己做不到的事情让工业部门去做。这个政策是从他们深刻的经验和教训中得来的。如布鲁克海汶实验室正在建造的伊莎贝尔加速器，他们自己工厂生产的超导磁铁，磁场强度只能达到 40000 高斯，可是设计指标和向工业部门要求的指标却是 50000 高斯，结果现在工业部门也做不出来，使整个工程遇到了极大的困难。相反，斯坦福直线加速器中心建造 PEP 时，也有两个公司未能把承包的产品做出来，但由于研究所自己能做，所以没有影响工程的进展。

美国有的研究所，工程技术人员主要集中在技术服务部，哪个工程需要技术人员，都由该部委派，人数多少由工程的性质和进度来决定。劳伦兹-伯克莱实验室技术服务部的 1500 名工程技术人员，经常有一半被委派到各单位去完成各种任务。完成后抽回来，再委派新的任务。他们认为这样做的优点是：可以充分利用各种专业人员的才能，使每个工程项目都能在一个合适的水平上进行工作；有利于人员的调动，使工程师之间、尤其是工程师和科学家之间经常地交换思想。但他们也认为有一定缺点，主要是对每个工程技术人员的工作情况很难作出估价，每个人也不能长期从事一项专业工作。