

美国科研体制

RESEARCH AND DEVELOPMENT SYSTEMS IN US

黄 谔

在世界的各工业先进国家里，科研(research and development)在整个经济体系里占有重要的地位。发展科研需要有一定的经济实力和工业水平；而科技上的突破又常常会给国民经济和生产力带来极大的刺激与活力。下面列举了几个工业先进国家对科研的投资占全国国民所得(National Income)的比重。

表一 科研与技术发展投资数举例

国家	科研投资占国民所得百分比	
	1970	1974
美国	2.65	2.30
法国	1.88	1.73
西德	2.14	2.25
日本	1.86	1.99
英国	2.63	2.39

在开始介绍以前，我们必须把要谈的主要项目划一个范围，这里讲的科研实际包括科学研究和技术发展在内，所以定义比较一般常用的要广一点。通常科学研究是指有系统、有重点的研究探讨，其目的在于科学知识的增进和应用。因此科研也包括基础与应用两大类，这两者之间的区分有时候是很明显的，有时候却又是模糊的。要之，基础科学侧重于充实知识和增进对事物的了解，而应用科学则侧重于实际地利用知识。因此后者也就涉及了工业技术的发展了。只是技术发展更侧重于利用科学知识去设计和制造新产品和发展新的生产方法，这包括设计与制造成品原件(prototype，即样机)在内。在下面为方便计，除非特别说明，“科研”一词就包括基础、应用科学的研究和技术发展在内。以下我们将分节介绍美国科研概况。

一 美国科研的体系

美国科研的特色之一就是多轨、多元化，因此她的科研体系也是品种繁多、五花八门的。其结构可分为下列几种：

- (1)联邦政府（即中央政府）直属的研究机构；
- (2)联邦支持，但由学校或独立组织团体管理的；
- (3)大专学院；
- (4)非营利的基金会；
- (5)大公司直接支持的研究机构；
- (6)以营利为目的的顾问、研究公司。

由于隶属不同，其性质也各异，现在再把以上所举的各类中每类举例说明之。

1. 联邦直属的研究机构

一般每个科研单位都有特定的使命，研究范围也就比较狭窄和集中。联邦的机构常负有科研与科研管理的双重任务。这里说的科研管理是相当狭义的，所管的只是指一些为达到特定使命中个别特殊的课题，须借重联邦机构外的人力才行。于是联邦科研机构可以直接与学校、工业或其他研究机构签订合同，共同合作从事于特殊专题的研究、管理。除此之外，联邦政府另立专为管理科研经营的机构，如国家科学基金会(National Science Foundation)。联邦直属机构中的研究人员，却不全是联邦政府的雇员(employee)。

经常半数甚至半数以上的人员，尤其是支援人员、技士等都是经由私人公司雇用的，由公司与联邦以招标方式选择、商洽后签订一年或数年的合同而提供的。由于研究机构属于联邦，所以工作场所，也由政府提供，工作任务也由政府人员派定。由于中央政府财力雄厚，所以直属的机构多是大型的，而所做的研究也是求结果而不计成本的。直属联邦的机构如：

农业部 (Department of Agriculture) 昆虫研究所，设于马利兰州，有专业研究员二百五十人，其他支援人员四百人，每年经费约一千五百万元。研究范围包括：昆虫繁殖率与密度，化学、生物和自然抗虫法，昆虫作物的发展，农药对昆虫、人类的影响。

商务部 (Dept. of Commerce) 国家标准局 (National Bureau of Standard)，总部设于马利兰州，有专业研究员一千五百人左右，支援人员2500人。每年经费约一亿元。研究范围除保持度量衡标准外，还有测定物理常数，制定物质特性标准，发展物质测定方法；在总部下还分设专门机构，像基本标准所 (Institute for Basic Standard)、材料研究所 (Institute for Materials Research) 等等分布全国各地。中央标准局除去从事特定研究工作外，也接受工业界委托的研究、实验专案。

国防部 (Dept. of Defense) 海军研究所，是海军的主要科学研究室，设于华盛顿市区，有专业研究员1500人，支援人员2000人，每年经费约1亿五千万美元，海军研究所是在1923年由爱迪生建议而成立的，该所最有名的研究结果就是雷达的发现与发展。目前研究重点在军用电子技术、太空科学与技术的应用和基本的海洋学。

卫生和社会福利部 (Department of Health and Social Welfare) 的国家卫生研究所 (National Institutes of Health)，也设在华盛顿。这研究所是由国家医学图书馆 (National Library of Medicine)、卫生事业教育及人员训练局 (Bureau of Health Professions Education and Manpower Training) 及其他十二个研究所组成，如国家癌症研究所 (National Cancer Institute)、国家心脏研究所 (National Heart Institute) 等。其中十一个研究所都设有临床研究医院。但国家医学所 (National Institute of General Medical Sciences) 只管理研究赠款与合同，以及不包括在专科研究所之内的一般性医学训练。

内政部 (Dept. of Interior) 美国地质测量局 (U. S. Geological Survey)，设于华盛顿市，有专业人员1000名，支援人员1500人，年经费约八千万元，主要研究项目是矿产勘测与估计、地质构造、水资源和水文地质、地震预测。除华盛顿总部外，另有两个中心在丹佛 (Denver) 和波罗阿特 (Palo Alto)。

2. 联邦支持但独立管理的机构

除了联邦的研究所之外，还有由联邦支持但由一

所或多所大学管理的研究机构，它们可以直接享受到学校的自由而有弹性的环境，又可利用学校的人力。所以这种研究所虽然数目不多，但多是赫赫有名的。一般著名的大学都附设有为数不等的研究中心。联邦在这些研究中心中只选与政府的需要完全吻合的加以支持。这些被支持的研究中心，与学校的“研究院” (graduate school) 不同，是以研究为主，甚至与教学无关，虽然名义上附属一所学校，但是其行政、经费、管理等等多是自主的。有名的研究中心如：

林肯实验室 (Lincoln Laboratory) 为麻省理工学院 (MIT) 的研究中心之一，成立于1951年。有研究员700人，支援人员1200人。主要研究项目为半导体器件 (solid state devices)、数字信号处理 (digital signal processing)、红外线、光学技术与雷达应用于空间探测与通讯。

喷射推动实验室 (Jet Propulsion Laboratory) 是加州理工学院的研究室，主要由宇航局支持，成立于1936年。目前有1700名研究员、2500名支援人员。研究项目为物理、推动器电子、通讯、控制、工程材料、流体力学等。

以上两例为个别学校管理的，但是也有由多所学校管理的，如：

国家大气研究中心 (National Center for Atmospheric Research) 是由美国及加拿大两国45所大学组成的法人管理，经费由国家基金会直接支付。现有130名研究员，支援人员670人。主要研究项目为大气现象，如天气预报、气候预测、大气质量等等。NCAR也设有研究生及博士进修班等教研机构。

布鲁克海文国家实验室 (Brookhaven National Laboratory) 由美国东北九所大学管理，由能源部直接支持，成立于1947年，现有研究员750人，支援人员2300人。这实验室虽以高能物理为研究重点，但是它的研究项目也包括基本生物学、医学、环境污染等。

有些政府部门的研究工作，几乎全部采用这种组织形式而不设直属的研究机构。例如能源部 (Dept. of Energy)，其所支持的研究所包括：加州大学的**洛斯·阿拉摩斯实验室** (Los Alamos Scientific Laboratory) 和**劳伦斯实验室** (Lawrence Berkeley Laboratory)，芝加哥大学的**阿岗实验室** (Argonne National Laboratory)，东北部九所大学管理的**布鲁克海文实验室** (Brookhaven National Laboratory)，普林斯顿大学的**等离子物理实验室** (Plasma Physics Laboratory)。

除了学校之外，能源部还支持了工业界的研究所，如西屋电气公司的**贝提斯核能实验室** (Bettis Atomic Power Laboratory)、通用电气公司的**诺斯核能实验室** (Knolls Atomic Power Laboratory) 都有员工数千。在此之外，能源部还用招标方式由杜邦 (DuPont)、龙尼卡邦 (Union Carbide) 等大公司代管

能源部的核能厂如沙瓦那(Savannah River Plant)、橡树岭(Oak Ridge Laboratory)与哈特佛(Hartford Reservation)虽然是工厂,但也有部分的研究。

3. 大专院校

大专院校本为教育机构,但是由于有系统地设立了高等学位,美国各学校的研究院就成了基础科学研究最有力的机构。在大专院校从事研究工作的主要为教授、进修博士(Post-doctoral fellow)研究院的研究生。一般学校的研究题目都比较基本,从事研究的人员多(包括研究生在内),但是平均单位投资比较低。由于研究的题目很基本,大部分结果都适于发表在学报、学刊上,所以虽然在研究经费上学校所占的比率不高,但是发表研究论文比率却最大。很多的研究结果也都是研究生的论文。这种教、研合一的形式,是一个很突出的研究方式。当然除了研究生之外,著名大学也都设有研究中心,专门从事各种专业的研究。各研究所都聘请了大批的专业人员,尤其晚近,专业人员除教授外,大都是获有博士学位的研究员。这些大学的研究中心有的是由联邦直接支持的已如上述,大部分的研究中心都是由学校申请经费支持,经费来源将再详述。当然这些中心大小不一,阵容也不齐,很难笼统的评论。比如加州理工学院的12所研究院中就有喷射推动实验室,麻省理工学院的30个研究所里就有林肯实验室。此外著名大学的研究所如哈佛有48所,哥伦比亚有57所,康乃尔有53所,普林斯顿有38所,芝加哥大学38所,加州大学各校区共有184所。

4. 非营利的基金会

非营利的基金会是在美国税法下产生的一种教育和慈善事业¹,其中有一些有名的研究中心。其中最著名的如与医学有关的萨克研究所(Sulk Institute for Biological Studies),成立于1960年,是小儿麻痹症疫苗发明人Sulk的研究机构,现有研究员350人,有医生及博士学位以上学者100人。研究的项目已不限于疫苗,而扩张到细胞与分子生物学应用于免疫学、癌病、遗传学、……,目的在于发现疾病的原因、预防、控制与治疗等方法。又如斯隆癌症研究所(Sloan-Kettering Institute for Cancer Research),成立于1945年,有330名研究员,116名博士进修生,与600名后勤人员。顾名思义,斯隆是以癌症为中心的研究所,特别值得一提的是斯隆也是康乃尔大学医学院的一部分,所以它也是教研合一的一个单位。

除医学之外,有名的非营利研究机构还有蓝得(Rand Corporation)。成立于1948年,有研究及支援人员1100人,它的研究范围非常广,有关政府政策的如美国国防与安全、社会福利、经济、环境卫生、管理体系(包括军事管理、军需采购、战略及战术运用、军事统率系统)以至于物理、化学、生物……无所不包。这是美国有名的大智囊(think tank)组织之一。其他较小的如布鲁克林研究所(Brooklings

Institution)则只以经济、政府系统、社会科学、外交政策为研究主题,范围就小多了,但是在外交政策上还是大有影响力的。

此外,还有相当一批著名的非营利机构——基金会是兼做研究的。其中有:福特基金会(Ford Foundation)、洛克菲勒(Rockefeller)基金会、卡乃基(Carnegie)基金会、凯瑟(Kaiser)基金会等。

5. 大公司直接支持的研究机构

大公司用钱支持研究是一举数得的。除了直接发展自己的产品外,也收宣传之效,加上美国的税法有利于公司利用盈余再投资及做研究。由于成立的性质首先在于帮助公司营利,所以这类研究机构的主题就比较狭窄。但也有例外,如贝尔电话实验室(Bell Telephone Laboratories, Inc.),成立于1924年,每年投资于研究发展的经费在十亿之谱。它的研究范围当然限于通讯,但是与通讯有关的电子工程、光学等等都在研究之列。比较基本的发现如半导体及半导体之应用、晶体(Transistor)的发现等都是有名的。去年该实验室的潘泽亚斯(Penzias)和威尔逊(Wilson)博士因研究宇宙的形成而获得了诺贝尔物理奖。当然潘、威两位并不是从研究宇宙形成开始的,他们是为了解决长距离无线电通讯杂音问题,从

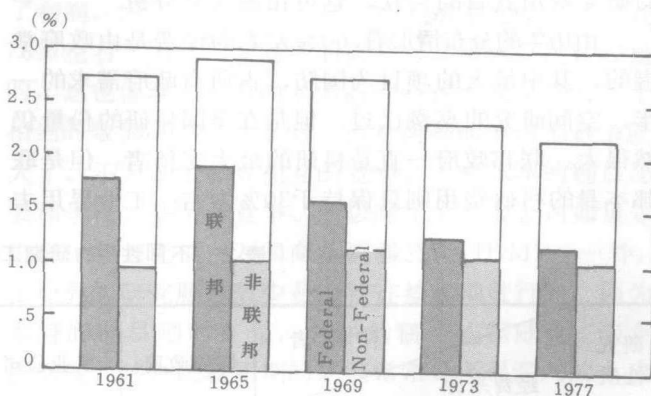


图1. 历年科研经费占国民生产总值百分比

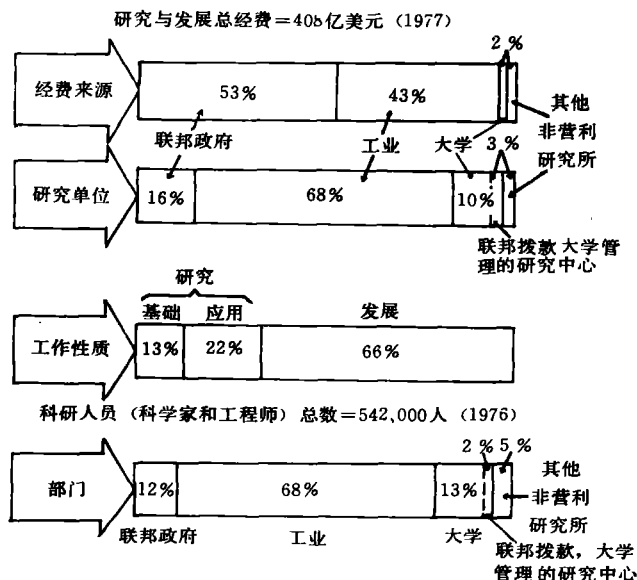


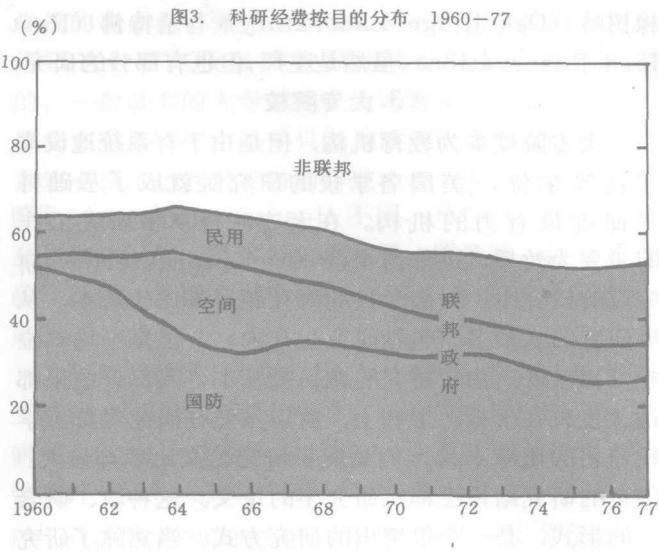
图2. 美国科研的人力、财力投资

而发现宇宙的放射背景 (background radiation)。这个例子可以说明在大公司的研究机构, 工作自由的幅度并不是完全没有的。在美国各大公司都有研究所, 如杜邦 (Du Pont) 的化工研究也是举世闻名的。

6. 私营顾问研究公司

这也就是以营利为目的的顾问公司, 其性质很像工程公司, 专为政府及其他公司解决急需的问题, 但是这种研究多为比较实用的, 研究期限一般都很短, 无法做深度大、面积广的研究。这类公司的组成更是参差不齐, 由一、两个人的到上百上千的都有。大的如TRW, Computer Science Corporation, Bendix, RCA, General Electric 等都是, 它们一大部分的研究都是直接为政府做的。

美国的科研体系, 大体如上。本刊以后将陆续介绍各类研究机构。



二 研究经费的分配与审批

1. 科研经费的比例

科研经费在美国占国民总产值的2—3% (图1)。其来源与消费的最粗略分析可见图2。

由上表可知大部分的研究发展经费都来自政府 (53%), 工业次之 (43%)。而工业使用研究经费最多 (68%), 雇用人员也最多 (68%)。这么庞大的研究费用其目的何在, 这可由图3来分析。

由历年的分布情形看, 60%左右的经费是由政府掌握的, 其中最大的项目为国防, 占有政府需求的一半。空间研究的高潮已过, 但是在全国科研的份量仍然很大。联邦政府一直是科研的最大支持者。但是联邦本身的科研费用则只保持于30%左右; 工业界用去

联邦科研费之半; 其余则由学校及非营利机构使用。当然这是一个总的分法, 若按科研的性质为基础、应用研究和技术发展三部分, 其比重可见表2。

学校还是最强的基础研究中心, 而工业界则囊括技术发展的经费, 这种趋势是不会有太大改变的。由于各类研究机构组成不同, 经费的来源与分配法也不同。不过大致的情形是如此的。

2. 科研经费的申请和审查

联邦研究机构的经费是由政府拨发的。每年, 各单位要编制研究计划并附预算。这种计划要符合各部门的实际需要, 经由独立的委员会审查。这种审查一般是由各部门直接聘请政府之外的教授或工业界的

表2 不同性质的研究工作的经费来源和使用

(单位: 百万美元)

研究性质	使用者 经费来源						总计	各经费来源所占%
		联邦政府	工业公司	大专院校	联邦拨款 大学管理的 研究所	其他非营 利机构		
基础研究	联邦政府	750	175	1,949	366	290	3,530	68.2
	工业公司		615	85		58	758	14.6
	大专院校			564			564	10.9
	其他非营利机构			195		131	326	6.3
	总计			2,793	366	479	5,178	
应用研究	各使用单位所占%	14.5	15.2	53.9	7.1	9.3		
	联邦政府	2,050	1,350	595	414	345	4,754	52.8
	工业公司		3,700	40		42	3,782	42.0
	大专院校			263			263	2.9
	其他非营利机构			91		120	211	2.3
	总计	2,050	5,050	989	414	507	9,010	
技术发展	各使用单位所占%	22.8	56.0	11.0	4.6	5.6		
	联邦政府	3,700	8,975	90	397	352	13,514	50.8
	工业公司		12,935	9		24	12,968	48.7
	大专院校			56			56	0.2
	其他非营利机构			19		55	74	0.3
	总计	3,700	21,910	174	397	431	26,612	
	各使用单位所占%	13.9	82.3	0.7	1.5	1.6		

知名人士担任。审查只看主题，至于细节则由各部门的研究管理人决定。其去路有两个：大部分的经费是分发到联邦政府以外的研究单位。这种分发办法有以下几种：第一种是联邦政府公告某部有哪些问题亟待解决，公告方法或直接发信到公司、学校、各研究所……，或刊登在商务部的新闻简报上；第二种是有选择性的通告一些有名而信誉卓著的研究所或科学家；第三种是只选一个特定的人，请求这特定的人加入研究工作；第四种是接受外来的提案。前两种是要招标，比较价格公开评比的。第三种只有特殊的情形下才可实行，在实行前必须严格的证明这个特定人之外无人可以胜任目前的研究工作。无论任何方法，研究方案都须经过审查。由于各机关的任务、职责都是公开的，也是常见报端与新闻报道的，因此有心人就可主动的提出研究计划，甚至提出可能发生的问题和解决办法。任何提案一经提出，有关机构就要遵照正规方式审查，而作决定。这种外来的提案其内容要求是很严格的，审查多由政府以外的学者、专家担任，但是最后的决定权仍操于承办的政府机构。

至于经费运用于联邦本身的研究室，各研究室也须呈报具体的研究计划和预算，交由上级审查，这种研究计划比较不详细，审查也较松，其原因是大前提已经审查成立了。

由联邦支持但由学校管理的研究中心，经费也是由联邦拨发的，其程序与直属联邦的研究室无异。只是这种研究机关还可对外再申请其他的研究费。比如由宇航局（NASA）支持的JPL也可申请联邦其他部门，甚至工业界的委办研究工作，其申请手续及程序与一般学校一样，因此它的弹性是很大的。

高等学校的研究费绝大多数是由校外申请得来，主要来源是联邦政府。其申请手续是首先与支持研究的机构取得联络，其方法已如前述，当研究人员得知需要解决的问题后，由研究员（一般是学校教授）提出详细的研究计划方案（proposal），这个方案要包

括对研究主题的一般历史背景的描述和批评，提出具体的问题、解决问题的方法和步骤，然后提出预期的结果和这结果的重要性。这种方案常需引经据典、博引旁征，以齐全的参考文献和精简的分析为理论根据。大的方案长可上百页，小的也有二三十页，除了技术性的部分外，还有人员的编制，经费的预算等等。这种方案提出后必须经过审查。一般的审查方式是经办机关，由经手人找两个以上的学者、专家用通信的方式或是特组的委员会审查其内容。由于一个大的项目下常有很多小题目，所以一个机关常收到为数很多的研究计划，最后决定何去何从。除了技术上的优劣、研究案的构想结构、可行性、研究执行人的资历、研究室的设施等因素外，还要考虑到目前的需要。在同等优先的题目上，技术好的就入选而获得支持。一般说每个研究方案都有期限，短者半年、一年，长者三年，少有一次批准三年以上者。即使批准一年以上的计划，经费也以一年为单位拨发，每年都有不同方式的复审进度等等。

工业界的申请方式稍有不同，这可分对内与对外两方面谈。对内的是工厂本身需要解决的问题，或者与发展新产品有关的研究。这是工业界本身生存必需的，当然也是工业开支的一部分。这是各工厂、大公司不惜大量投资的一面，因为若不用在研究上，也成了利润，照美国的税法，利润抽税是累进的，可以到70%左右。因此用在对内的研究，其审查是比较轻松的，这也像联邦政府的对内研究一样，几乎是有一个相当的数额必然会批准的。但是向外面申请则竞争就大了，不只是工业界相互的竞争，比较基本的题目还要和学校、基金会竞争。所以除了少数大公司如贝尔电话、杜邦化工、万国商业机器公司（IBM）……外，工业界的研究题目很少是能够连续长期进行的。因为本身的题目随时在变，外求的研究也需随业主的企图而变。这种比较短期的研究常常是不很深入的，也常是比较实用的。研究的结果多半不在学报、期刊发表。

表 3 工业界科研人员(科学家和工程师)分布¹ (单位: 千)

工业	1957	1961	1963	1965	1967	1969	1971	1972	1973	1975	1976
总数	229.4	312.1	327.3	343.6	367.2	387.1	366.8	349.9	363.1	360.4	362.5
化学产品	29.4	37.0	38.3	37.9	36.9	40.3	42.8	40.9	40.7	44.9	46.6
石油提炼	6.9	9.0	8.9	8.7	8.7	10.0	9.2	8.3	8.2	8.4	8.8
橡胶产品	4.7	5.5	5.8	5.8	5.8	6.3	5.9	5.8	5.8	6.1	6.1
石器、陶器及玻璃	(2)	3.6	3.8	3.5	3.3	4.2	4.1	3.9	3.9	4.1	4.2
初级金属	5.1	6.9	5.2	5.5	5.9	6.2	6.3	6.0	5.5	5.5	5.9
纤维金属产品	8.4	8.6	6.8	6.6	6.3	6.6	6.9	6.4	6.5	7.1	7.0
机器	24.9	33.0	31.4	29.4	33.6	39.4	40.5	41.1	41.7	43.6	42.7
电机设备及通讯	42.9	79.2	85.8	87.8	98.6	101.6	95.2	87.7	92.6	95.0	94.5
汽车等交通设备	13.6	19.1	21.1	24.1	25.2	25.0	27.8	29.3	29.2	27.0	26.1
飞机及导弹	58.7	78.5	90.7	99.2	100.4	99.9	78.3	71.2	72.3	67.6	67.4
科学仪器	10.2	11.1	9.4	11.5	13.0	15.1	15.1	15.1	15.9	16.5	17.1
其他制造业 ²		12.9	11.9	14.0	15.4	17.4	19.1	18.5	25.5	19.7	20.0
其他非制造性工业	24.6	7.5	8.2	9.6	14.1	15.1	15.6	15.7	15.3	14.9	16.1

1. 不包括社会科学家。

2. 其他制造业包括食品及有关产品，纤维，衣服，木材及木制品，纸类，烟草产品，印刷及出版，皮革产品及其他制造业。

表4 大专院校科研人员专业分布
(科学家和工程师)

(单位:千人)

专 业	1965	1969	1971	1973	1974	1975	1976
总数	40.0	47.1	48.3	46.6	47.4	50.0	51.0
工程	4.2	5.0	4.8	5.0	4.9	4.8	4.7
物理及环境科学	5.9	7.0	7.3	7.9	8.3	8.1	8.6
化学	2.3	2.9	2.6	2.8	3.0	2.8	2.9
物理	2.1	2.4	2.4	2.5	2.5	2.4	2.4
其他	1.5	1.9	2.3	2.7	2.8	2.9	3.2
数学	.9	1.7	1.4	1.3	1.5	1.5	1.6
生命科学	25.0	28.3	30.4	28.0	28.0	30.6	30.8
社会科学、心理学	4.0	5.2	4.2	4.4	4.7	5.0	5.3

不包括研究生。

表5 大专院校研究生专业分布

(单位:千人)

专 业	1965	1969	1971	1973	1974	1975	1976
总 数	27.2	35.8	37.2	34.6	36.9	39.7	40.2
工程科学	6.4	7.9	8.9	8.4	9.4	11.1	11.0
物理和环境科学	8.1	10.6	10.5	8.8	9.2	9.0	9.2
数学	.9	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3
生命科学	8.5	10.0	11.2	10.5	10.7	10.8	11.4
社会科学、心理学	3.3	5.7	5.1	5.4	6.2	7.4	7.3

表6 国家研究中心(联邦拨款,学校管理)
科研人员的专业分布(科学家和工程师)

(单位:千人)

专业	1965	1969	1971	1973	1974	1975	1976
各项专业	10.8	11.3	11.1	11.8	11.9	12.4	13.1
工程	4.9	5.0	5.0	5.6	5.6	5.8	5.9
物理及环境科学	4.2	4.3	4.2	4.4	4.6	4.7	5.2
化学	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2
物理	2.3	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
其他	.6	.4	.5	.5	.7	.6	.9
数学	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.3	1.3
生命科学	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
社会科学及心理学	0.2	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1

表7 联邦政府民用项目科研人员专业分布(1976年1月)
(科学家和工程师)

部门	总数	工程师	物理及环境科学家	数学、统计及计算机专家	生物科学家	社会科学家
总数(千)	48.4	23.3	13.9	3.3	5.7	2.1
百分分布						
国防部	51.4	66.5	40.0	78.6	8.3	56.0
农业部	9.2	2.0	7.4	2.5	45.4	25.3
卫生、教育、福利部	5.9	0.4	8.0	2.1	20.4	32.2
内政部	6.6	2.1	15.3	1.8	7.8	3.6
宇航局	12.9	20.8	8.3	4.7	1.1	1.2
商业部	4.7	1.8	9.5	3.3	6.7	3.9
能源部	2.5	2.7	3.8	0.6	0.1	0.3
其他部门	6.8	3.7	7.7	6.4	10.2	22.5

三 研究人力的分布

美国目前在从事科研的科学家与工程师约有五十四万。在这五十四万人中,三分之二是在做技术发展工作,而百分之八十的人都是工程师。科学家都集中在基础研究上。在这五十四万人中,有十二万人是有博士学位的,分布如下:工业界占40%,其中以化工占首位(占全数三分之二);学术界占37%,其中半数物理、化学与生物;政府的雇员约占14%。研究人力的分布也可分述如下:

工业界的人员分布可见于表3。

工业的科研人员总数自1957年以来逐年增加,到1969年达到高潮,而后总人数略减,但是各行的变化依然存在,比如航空业在1968年到高潮后人员锐减,而化工则还在增长中。

学术界的科研人数则一直在增加,近两年缓慢下来,同时学校的研究生人数也渐趋饱和了。这个趋势可由下列两表(表4,表5)看出一斑(最近两年的数字还未得到)。由表中可见大学中的研究生占有相当大的比重。

由联邦支持但由大学管理的机构雇用的科研人员达到了历史上的最高数字(表6)。联邦政府也在逐渐增加科研人员,其趋势可见表7。

这些人员以年纪、性别和学历、研究系统的分布,可见于表8。

值得注意的是在各行中年轻的(在30岁以下者)占的比例一般都是最大的,这也可以看出科研在美国是后继有人的。

四 美国科技发达的原因

写了一大堆的数字与图表,让我们来分析一下美国科技为什么发达。这是一个大题目,在此笔者只就个人的看法来说明,希望能由这个说明引出不同的意见,从而增加我们的认识,以为借鉴。

1. 经济基础

财力不是决定一切的因素,但是它的重要性是不可忽视的。由于第一、第二次世界大战,美国本土未受战火摧残,反而在战争中发展工业、农业,成为战后世界上经济最发达的国家。这雄厚的经济基础为科研提供了财力并提出了课题,从而发展了现代科学技术。

2. 鼓励创新,学术自由

美国的社会比较开放,经济环境和政策有利于采用新技术。企业家比较不保守。例如汽车的某几种重要发明本来源出欧洲,但首先发展了技术用于工业的却是美国的制造商,比欧洲早了十多年。欧洲的企业界一般较不喜欢冒险采用新技术。

表 8 全美科学家和工程师的特性分析——性别、年龄、学位、研究系统 (1974)

性 质	总数	工程师	物理科学	数学专家	计算机专家	环境科学	生命科学	心理学家	社会科学
	1,973	1,072	188	60	126	52	194	95	187
	百分比								
总数	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
男性	90.6	99.3	90.2	74.8	80.7	94.8	82.4	71.5	70.1
女性	9.4	0.7	9.8	25.1	19.3	5.2	17.6	28.6	29.9
30岁以下	31.1	21.7	23.8	40.7	50.2	31.0	40.8	48.9	56.8
30—39岁	25.4	26.1	30.3	28.8	30.4	20.6	23.5	21.1	17.4
40—49岁	22.6	26.7	22.6	17.1	15.5	26.5	18.9	16.5	11.4
50—59岁	14.5	17.7	15.9	7.6	3.4	16.2	11.4	9.5	9.8
60岁以上	6.4	7.8	7.3	5.8	0.5	5.7	5.3	4.0	4.0
学位	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
博士	13.9	4.0	36.9	25.7	3.0	23.8	34.1	34.6	16.5
硕士	19.9	18.9	18.4	28.6	21.3	27.7	18.2	28.6	18.7
学士	63.6	73.0	44.3	45.0	75.4	48.1	45.4	36.4	64.2
其他	2.6	4.0	0.3	0.7	0.4	0.4	2.3	0.4	0.6
雇主	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
工商业	57.7	71.4	44.9	27.9	65.5	41.3	25.4	12.0	23.8
教育机构	12.4	2.9	22.4	39.5	5.3	18.6	34.9	44.1	35.1
非营利机构	4.0	2.0	5.2	2.7	3.4	2.0	6.0	23.3	9.3
联邦政府	9.5	8.4	9.2	14.1	6.9	17.9	16.2	3.6	12.0
军事	.5	0.5	0.3	0.7	1.1	0.5	0.3	0.2	0.5
其他政府机构	8.9	8.7	5.6	9.2	8.1	11.1	10.4	9.3	13.3
其他	7.1	6.2	12.3	6.0	9.5	8.4	6.7	7.7	5.9

另一方面,美国的学术空气比较自由,提倡政、教分离,学校独立,教师、学生比较可以自由批评政府和社会,而不受干涉和迫害,有利于科研的正常发展。二次世界大战前后大批欧洲、亚洲科学家移民美国,这是一个主要原因。(见表9)

迁入人数在1972年后锐减,其原因在于美国移民法的改变,主要原因还是经济。1972年后经济不景气,失业人数增加,因此对移民有了一些限制。但是每年仍有近万的科技人员入境。即以美国的诺贝尔奖金得主,移民也占多数。

3. 研究工作有竞争、有淘汰,多元多轨制

大多数研究工作是由研究费之有无来决定其可行与否的。在决定研究费时,互相竞争是很激烈的,常常一个题目有很多人同时在做。这种多轨制当然不免浪费,但是好处也多。第一,竞争使人不懈怠;第二,多轨使一个题目能由多方面看,不致于忽略主要的发现,常常集思而广益,成果比独来独往好得多。

4. 选题和研究政策决定的程序客观而制度化

选题是很重要的,当然多轨可以使重要的题目不致疏漏,但即使多轨也要决定做什么。美国选题与政策之决定是常由一批学者组成委员会商议而定,在选定题目后,由谁做,也是由委员会审定。这种方法可

表 9 移民美国的科学家、工程师、医师

职 业	1967-1976, 总数	1967	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
医生	48,988	3,325	3,155	5,748	7,143	7,119	4,537	5,361	6,184
科学家和工程师	100,540	12,523	13,337	13,102	11,323	6,632	5,969	6,931	7,495
工程师	69,143	8,821	9,305	9,015	7,436	4,443	3,866	4,648	5,146
化工	6,280	668	908	860	791	438	333	438	446
土木	10,098	840	1,509	1,666	1,461	700	575	694	697
电机	10,729	1,344	1,464	1,422	1,305	661	543	676	754
机械	11,940	1,344	1,618	1,603	1,470	829	627	845	823
自然科学家	25,337	3,158	3,264	3,456	3,271	1,790	1,422	1,602	1,663
农业	3,190	189	380	460	518	388	250	305	212
生物、医学	3,448	377	388	495	527	309	222	238	268
化学	11,284	1,392	1,495	1,606	1,372	711	592	675	678
物理	2,867	540	401	296	325	118	113	137	152
社会科学家	6,060	544	768	631	616	399	681	681	686

以免去主观的成见,使决策建立在比较客观的条件上,因此决策能比较完善。

5. 研究院制度比较成功

美国各大专院校是研究院的重要基地。研究生多,教研合一,年老和年轻教授们一同和研究生进行科研。一方面使研究工作敏感,成果新;另一方面在研究工作中培养一代年青后继,从实验中体验真理,熟悉学科现状,善于进取。

6. 研究成果有效交换

美国有大量的学会、学报和专业杂志,所以研究成果能很快的与广大研究人员见面。除了报刊之外,还有会议来交换成果,这使正在进行中的研究工作能及时变更方向,取得更好的成绩。

最后我想大略的谈谈美国科研的趋势(见表10),作为本文的结语。美国的科研虽然有非常重要的成果,但是也有他特殊的问题。美国近年的科研兴盛,其刺激是由苏联发射第一个人造卫星(1957年)而起的。但是六十年代后期以来,由于美国在登陆月球(1969年)上再度取得空间竞赛的领先地位,科研的刺激逐渐消失了。加上越战的消耗、能源的短缺而引起的经济问题(通货膨胀、失业和不景气),使支持科研的经济基础也受了影响。在这种情形下,受冲击最大的是基础性的科研,因为基础科研本身不立刻影响生产力,其变迁的后果也不明显。在过去十年间,联邦政府对基础科研的支持一直在减低。照统计,联邦支持每年虽增加4.3%,但是由于通货膨胀,实际价值每年却在减少1.8%。1975年后经费增加比较快,但是到目前为止总投资额仍比1968年低5%。最堪虑的是基础科学常是最先被减削、被忽视的对象。基础科学是一切其他科研的基石。二次大战前,美国善用了欧洲基础科学的成就,取得了应用技术和管理方法的领先成就,使本国经济受益非浅,这对于其他国家,是一个值得

参考的经验。但另一方面,对于美国本身来说,发展到了现在的阶段,长期忽视基础研究,必然会引起很严重的后果。

在基础科学减退中,国防和能源方面的研究却在增长。国防军事的研究之所以增长,原因是与最近谈判中的限制战略武器条约(SALT II)有关。限武条约能否通过是政治问题,但是由于条约的问题,使一般人民从迷梦中猛醒而认识到在战略武器上美国已不是明确的领先者,而很可能是屈居第二的,唯一可以聊以自慰的是质上的优越、精细,这个质上的领先完全是由于科研的成果所致。限武条约使很多原是鸽派的议员也主张美国应当多花费一些预算在国防军事上。因此新武器的发展也必然会成为一项重要的课题。武器发展的本身不是科研,但是由于现代武器的复杂性,其发展是免不了会带动一些相当基本的科学,如电子科学、控制技术、航空、物理、冶金、化学……。

能源是另一个重要的问题,能源之被重视可由其行政独立成为一个能源部而看出来。能源的研究也日益被看重,研究费用由1975年的10亿到1977年的20亿,1978年则达28亿美元。这是在所有研究项目中增加最快的一个。在全联邦的研究费中,能源占10%左右。能源研究中核能仍占最重比率(约54%)。虽然相比来说比过去的90%在逐渐下降,但是核能的投资额却仍在增加,比重的减少只是由于其他项目急剧增加。除核能外,矿石(包括煤、油)研究占20%,研究主要题目是液化煤,或是气化煤。地热与太阳能也在积极的研究中。最值得注意的是在能源研究中,也加了“节流”一项,这是前所未有的。因为美国的经济体系是建在多生产多用——主在开源,节流一事是新形势所产生的一个新要求。

除能源研究外,研究费增长最快的是犯罪防治的社会问题,但是研究费总数却只占全国研究发展投资

表10 联邦科研经费按用途的分布

用途	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
总数	\$15,641.1	\$15,340.3	\$15,545.0	\$16,497.8	\$16,800.1	\$17,414.7	\$19,013.3	\$20,758.6	\$24,465.3	\$26,316.7
国防	8,353.7	7,976.3	8,106.1	8,897.7	8,997.9	8,974.6	9,620.9	10,346.2	11,917.0	12,906.8
空间	3,731.7	3,509.9	2,893.0	2,714.3	2,601.3	2,477.6	2,511.3	2,863.2	2,972.4	3,140.0
能源	327.9	317.3	323.6	382.7	441.6	605.1	1,109.7	1,387.6	2,390.4	2,797.7
卫生	1,126.8	1,125.8	1,338.0	1,588.8	1,624.3	2,096.4	2,176.9	2,365.5	2,622.2	2,682.6
环境	315.2	354.1	464.6	533.3	651.5	693.0	837.1	899.4	1,100.7	1,098.3
科技基础	513.4	524.6	523.8	601.2	604.7	694.6	781.6	839.2	952.6	1,059.9
交通、通讯	458.1	590.2	778.7	614.6	630.1	702.9	640.5	635.7	768.8	804.8
自然资源	201.0	237.5	326.0	354.0	341.0	340.8	444.6	488.8	546.9	609.8
农产品(食物、纤维等)	225.0	240.6	246.9	290.7	296.9	291.0	348.5	388.3	444.0	488.3
教育	154.8	146.6	186.1	190.7	214.2	173.5	149.1	142.4	283.8	269.2
失业补助和社会救济	96.7	105.6	127.8	125.2	157.2	133.8	148.5	133.4	155.9	148.0
地方发展、住房及公共事业	49.4	91.1	88.7	87.4	96.7	96.4	101.8	104.2	110.5	99.2
经济增长和生产率	55.8	80.0	98.9	62.8	75.1	71.9	67.1	83.9	98.1	96.8
国际合作和开发	26.8	32.2	32.3	29.5	32.9	26.7	29.8	44.5	53.3	70.8
防止和控制犯罪	4.8	8.6	10.3	25.0	34.8	36.3	45.9	36.3	48.9	44.4

实验室和美国费米 (Fermi) 国立实验室,用中微子引起的反应中,证实了中微子和核子间中性流弱作用的存在。美国史坦福直线加速器中心 (SLAC) 的偏化电子——质子散射实验里,用违背奇偶性的效应更进一步证实了电子和质子间中性流的存在。上面所提几个实验都是极困难、需要高度精密度的实验。试想在前研究弱作用的八十年中,这类中性流弱作用过程始终未被觉察,其难度可见一斑。同时需要特别指出的是,实验结果都和理论预测值在量上是符合的。弱作用载体,即居间玻色子,共有三类:两类带电,另一类是中性。它们的存在目前还没有实验的证实。这是当前弱作用和电磁作用领域里极其重要的课题之一。同样地统一理论里不可缺的另一新粒子,即“希克”玻色子 (Higgs boson),也尚未被发现。如果统一理论是对的话,则

在更高能域 (约千亿电子伏特)里,不仅弱作用和电磁作用应该会合并为一,很多新现象的特性也会与现阶段所熟知的有所不同。

在弱作用和电磁作用领域里,另有一个重要的实验发现,即质量约 2 GeV 的 τ 粒子 (重轻子) 的发现,它的性质和电子及 μ 介子相若;至于 τ 粒子是否像电子和 μ 介子一样,有它自己的中微子,必须由将来的实验来答复。重轻子的发现必然地引起不少基本问题,比如(1)为什么有不同轻子核的存在?除了质量不同以外,带电轻子的弱作用和电磁作用本质上是具有普遍性 (universality) 的;(2) τ 粒子 (或其他未被发现的重轻子) 存在的真正理由又是什么?现在都没有合适的解释。有些理论试图从天体物理学中找寻答案。不过,尚待进一步的发展。

(四) 大统一理论:这是以非

亚培式规范场论为理论基础,试图大统一强作用、电磁作用和弱作用的大胆概念。这一理论体系将已知夸克和轻子都归属于同一粒子族,因此重子恒守性已不存在,质子可以衰变。理论预测的质子寿命 ($10^{32} \sim 10^{33}$ 年) 正好在目前实验技术能力可以探测的范畴以外,所以美国物理学家已在一地下金矿 (即太阳中微子实验地点) 开始用上百吨水的检测器设法观测质子衰变的产物 (比如正电子和 π 介子)。这一系列实验的结果,对于亚核物理发展的方向,会有决定性的影响。

总的来说,近十年来亚核物理的进展日益显示出杨振宁——密尔斯型规范场的重要性。不论是强作用中的色动力学,电—弱统一场论,或是强—电—弱大统一理论,理论的数学结构都是以规范场理论作基础。规范场理论已隐隐然形成一个具有“统一性”的原理。

五、结语

本文因资料、时间和篇幅关系,只能介绍现代物理学范畴里的几个代表例子。本刊以后会有专题的文章对现代物理学的分支作简介。

本文对现代物理学的介绍是在“统一性”概念的基础上,强调物理范畴里三个“量子梯阶”间的相互关系,我们也强调基础物理的研

究和科学技术发展二者之间相辅相成的关系。物理研究的健全发展,在于在各项分支里均衡地奠定深厚的根基。

· 上接 82 頁 ·

哈洛夫妇由这一系列研究中得到下列结论。婴儿期的社会经验对恒河猴成年以后的社会行为有很大的影响。在婴儿期的社会经验中,与母亲的交往固然重要,但更重要的是有年纪相若的玩伴。与玩伴相处的经验,即使每天只有短短的二十分钟也可以在相当程度上弥补小猴失去母亲可能造成的后果。

哈洛夫妇的“恒河猴发展研究”的一系列实验在一九六〇年代中先后发表以后,一时洛阳纸贵,各学术杂志,及各大学教科书,均争相转载,在心理学及教育学界都起了很大的影响。这一系列的实验本身固然有趣,但更重要的是哈洛夫妇由这些实验中有系统地证明了婴儿期社会环境对恒河猴社会行为发展的影响。恒河猴的行为和人类的十分类似,由此指出了一个更重要的可能性:人类的母性、母子之情和社会行为是不是也可能受早期生活社会环境的支配呢?这是个值得我们探讨的问题。另一个更值得我们注意的事情是:心理学,虽然研究的是心理状况,但这种种心理状况往往可以由具体的行为中观测出来。从哈洛氏这一系列的研究中,我们可以清楚地看出科学方法在心理学上的运用了。 ㊟

· 上接 90 頁 ·

的 0.2%,社会问题的研究远比自然科学复杂,研究的结果也不如自然科学肯定,因此这方面的发展本身也是问题。

最后要提的是农业研究,美国不是以农业为主要经济活动的国家,因此农业研究也处于次要的地位,只占全国投资的 2%,这种比率较之中国是不相称的。由此我们也可看出对美国科研的分布,只能提供一个借鉴,真正的分布还要根据中国的经济活动和成长而定。 ㊟

参考文献:

- An Analysis of Federal R & D Funding by Function
National Science Foundation 1978
- National Patterns of R & D Resources
National Science Foundation 1977
- Statistical Abstract of the United States 1978
U. S. Department of Commerce, Bureau of the Census
- Research Center Directory 1979
Gale Research Company, Detroit, Michigan
- Directory of Federal R & D Installations
National Science Foundation 1970 ㊟