

科学中的计划和自由*

樊春良

(中国科学院科技政策与管理科学研究所 北京 100080)

摘要:计划和自由之间的关系是贯穿20世纪科学发展的一个重要的政策议题,这一议题充分反映了科学与社会之间不断变化的互动关系。本文考察了20世纪有关计划和自由之间关系政策争论的内容和意义,进而通过分析科学史上的案例,论述科学中计划与自由之间的关系。

关键词:计划与自由;基础研究和国家目标;微波辐射器和激光的发明;晶体管的发明;

中图分类号:G301 文献标识码:

计划和自由之间的关系是贯穿20世纪科学发展的一个重要政策议题。从30年代发生在英国的Michael Polanyi和J.D.Bernal之间的那场著名的争论,到“二战”后美国的Vannevar Bush和Martin Kilgore之间的争论,一直到90年代出现在美国以及其他国家的关于基础研究与国家目标之间关系的广泛讨论,自由和计划之间的关系是一个反复出现的主题。这些争论关心的是为了达到所期望的和可行的社会经济目标,国家科学事业(特别是基础科学)计划的可行性、范围和程度。这一议题充分反映了科学与社会之间不断变化着的互动关系:尽管科学已经对社会和经济发展做出了巨大的贡献,但是在不同的环境下,社会需求的压力仍然会对科学的发展提出新的要求。另一方面,也反映科学与技术之间不断进化的多种多样的关系,科学和技术已经不是简单的。因此,这一议题包含着丰富的认识论和社会学因素,具有重要的理论和实践意义。

本文的目的是考察这些政策争论的内容和意义,通过分析科学史上的案例,论述科学中计划与自由的关系。

1. 历史上的争论

2.1 Polanyi和Bernal之间的争论

在20世纪30年代末的英国,化学家-哲学家M. Polanyi和化学家、科学学的奠基人J.D.Bernal就科学的计划与自由问题展开了一场激烈的争论。这场争论对欧洲的科学产生了深远的影响。

Polanyi和Bernal争论的焦点是,为了达到所期望的可行的和明确的社会经济目标,国家科学事业计划的可行性和范围。Polanyi强调,如果科学要对长远的社会目标做出贡献,科学共同体需要自治和自我管理。自主性是科学产生应用的必要条件。贝尔纳则看到自主性科学的无效性,相信只有通过包括政府和社会有关方的共同“计划”,科学对人类巨大的潜在利益才能实现。

贝尔纳的观点集中反映在1939年出版的《科学的社会功能》中。该书有力地论证了在社会中计划科学的必要性,强调需要充分地投资和适当地使用人力资源。贝尔纳把科学看成是转变社会和自然的一种工具,认为应该为社会福利计划科学。第一次世界大战,显示科学不再只是富人和发明家的业余爱好,科学对国家的生存和发展是重要的。贝尔纳的思想反应了这种状况。同时,贝尔纳感到英国科学界绅士般的良好感觉,掩盖了科学内部的无效性。他担心科学失去所获得的本来就不充分的资源。贝尔纳把苏联看作科学对社会做潜在

贡献的希望模式，

Polanyi的观点是，科学是完全自主的事业，科学系统是自我调节的共同体。像经济学自由放任学派看待社会中的经济活动一样，他们认为企业和私有产权的自由不仅是固有的权利，而且是实现经济有效性的最好途径，Polanyi认为自由不仅是科学家不可剥夺的权利，而且是最优实现科学有效性的手段。像经济的最大化增长一样，科学的最大化成长会自动带来其他社会目标的实现。因此，社会干涉科学，会减慢科学进步，并因此会降低社会介入科学所期望获得的收益。↪

2.2 Bush和Kilogore之间的争论

“二战”之后，Polanyi 和Bernal之间争论的问题在美国复活。围绕着如何保持和利用战时动员的科技资源为国家服务的问题，出现了不同的观点。Vannevar Bush成为Polanyi观点的代表，Martin Kilogore参议员成为Bernal观点的代表。

Bush的观点清楚地表达在1945年的报告科学《科学——永无止境的前沿》中：基础研究导致新知识，最终不可避免地会得到实际应用，但是我们不可能预测它将会有什么具体的应用。因此，政府应该提供的是足够的资金支持基础研究，保证探索的自由。布什把大学作为战后科学政策的中心：

“首要的，正是在这些机构中（大学），科学家可以工作在一个相对免于不利的惯例、偏见和商业需要的压力的环境中。它们提供了相当程度的个人思想自由……”

令人满意的基础研究的进展，很少发生在通常的工业实验室中。有一些显著的例外情况，是真的。但是即使是在那样的例子中，在对科学发展起着如此重要的自由方面，工业实验室无法与大学相比。”↪

参议员Kilogore和Bush一样，对支持科学发展及其社会经济前景热情高涨，但他坚持，在设立国家研究议程时，应该密切和政治制度的关系，而不是为科学共同体的自治的需要。Kilogore设想的科学模式与19世纪农业研究系统及其扩展的服务系统和国土补助大学（land grant colleges）类似，强调研究大学的地理分布，严格的政治义务，扩散新的知识，适应潜在用户的需要。-

布什的主张最终获得胜利，美国科学基金会（NSF）于1950建立。在NSF建立前，美国的科学是由海军研究办公室和卫生研究院的目标导向型的研究主导着。NSF 的建立，表明自由探索的研究在国家政策水平上获得承认：基础研究可以通过能力建设对国家目标做出间接的贡献。

1.3 90年代 美国关于基础研究和国家目标的争论---NSF的使命

自80年代开始，随着德国和日本经济力量的兴起，经济竞争力成为美国经济政策的一个关键词，也逐渐成为美国科技政策的一个主题。到90年代，关于基础研究和国家目标之间关系的争论日益激烈。从G.布什政府的后期到克林顿政府初期的一段时间里，基础科学面向经济回报发展的压力显著地表现出来，充分地反映在两个基础研究的支持机构——国家科学基金会（NSF）和国家卫生研究院（NIH）的政策调整之上。我们可以从NSF政策调整，再一次看到计划和自由之间的关系成为争论的焦点。

自80年代，像NIH一样，NSF面临着面向工业界重新定向的压力。到了1992年，在国会关于批准NSF预算的辩论中，国会坚持NSF保留支持国家计算机网络、绿色技术和引导工业界的敏捷制造技术的资金，但不同意预算增加。这意味着基础研究的资金实际上大大减少。当时，NSF 正值制定战略计划的过程中，争论的中心也是是否屈服国会的压力，把重点转向支持工业界。NSF的主任Walter Massey 在给基金会的决策机构——国家科学理事会（NSB）一份备忘录中，敦促NSB使NSF成为带头把基础研究成果从学术共同体转移到市场的联邦机构。NSB感到NSF的支持基础研究的传统角色需要加强，于是成立“关于NSF的未来”委员会，专门研究这个问题。委员会向700名大学校长、研究中心主任、资深教授和年轻的科学家发函征求意见，收到数百封回函响应。这些反应普遍认为所期望的变化太大，是不可能实现的，认为已经运行很好的系统不应该修整，而指导的或计划的研究是自由探索的创造性研究基础上产生的，NSF 应该保持支持基础研究的不可替代的角色。最后，委员会建议保持现有的地位，告诫任何减少NSF支持研究者个人主导的研究的危险性，并告诫不要对有关帮助工业的前景期望过高。但是，这并不是表示NSF拒绝响应满足国家的需要，而是要求工业界更多地介入优先领域的设置和成果的评价。实际上，这已向国会要求大大迈进一步。↪ 1993年之后，争论继续进

行。国会在赞同NSF未来委员会的结论的同时，提出基础研究的类型是多种多样，所谓战略研究类型是可以按国家目标计划和组织的，建议把更多的资金投到战略研究领域。- 一年对话的结果，取得不同的效果。

1994年国会批准NSF在11年里按17%增长的预算。

1.4 小结

在20世纪中反复出现的关于计划和自由之间的争论，从科学是否可以按社会经济目标计划，发展到在什么范围和什么程度可以计划和指导科学的发展。这些争论表明，按学科内部的逻辑自由探索和按社会经济需求计划或指导这两极之间丰富的张力，塑造着科学的发展。为了充分认识科学中的自由和计划的关系，我们需要深入分析科学史上的具体实例。

2. 科学史的启示

科学作为探索自然规律的活动，存在着固有的不确定性。在科学史上，出乎意料的发现屡见不鲜，几乎可以称得上是科学发展的一条规律。即使是大科学家，对科学前景的看法也不能幸免落入错误的断言中。科学史上最出名的例子莫过于19世纪末伟大的物理学家凯尔文勋爵对物理学大厦业已建成的乐观展望。几十年之后（1933年），在凯尔文勋爵发表乐观预言的同一个大厅中，伟大的实验物理学家、核物理之父Rutherford断言原子核裂变是不可能的，他嘲笑“由破裂原子产生能量是很无聊的一件事情，任何期望从转变这些原子获得能源的人正在空谈。”仅仅5年之后，Rutherford断言不可能的核裂变现象发现了。同样，基础研究的应用也是意料不到的，例如，研究X射线，并未考虑到它的应用，却得到了重大的应用。另一方面，许多预期的研究目标并没有实现，50年代，美国、苏联和英国几乎同时开始了受控核聚变辐射研究，计划五年完成，到60年代末还远没有达到预期目标。其中不仅是技术问题，也有着基础研究的问题。另外的一个著名的失败例子是美国70年代大举设立的攻克癌症的研究计划。

但是，进入80年代后，科学不可预见的观点受到挑战。这是80年代以来新兴技术（新材料、生物技术等）深深依赖于基础研究的新发展。由此，科学研究在某些方面是可以预测和计划的。比如，可能的突破对相关学科和相关技术领域的影响。同样，在科学史上也有计划成功的例子，例如，晶体管的发明在某种程度上即是计划成功的例证。

为了深入分析科学中自由和计划的关系，我们具体分析20世纪最重要的两个由科学研究带来技术发明的实例——激光和晶体管，前者是自由探索性研究产生的，后者可以视为计划带来的。虽然这两个案例并不能涵盖计划和自由之间关系的所有的特征，但是可以充分地表明其中主要特征。

2.1 分子光谱学的研究和微波激光器及激光的发明

激光（Laser, light amplification by stimulated emission of radiation）和其先驱——微波激光器(Maser ,microwave amplification by stimulated emission of radiation)产生于分子光谱学的研究。微波激光器发明于1954年，激光发明于1960年，两者都是基于受激辐射原理。从历史发展来看，激光是把微波激光器的原理从微波领域自然推广到可见光领域而产生的。

分子光谱学产生于“二战”时期的雷达技术。制作雷达的实际工作提出的微波与物质（特别是气体）相互作用的问题，打开了一个全新的物理学领域。战后初期，美国分子光谱学的研究主要集中在战争期间最早介入雷达研制工作的几个重要实验室（贝尔实验室，西屋公司，RCA，哥伦比亚大学）的研究组中，这些实验室大部分是工业实验室。虽然这些大公司实际上已经深深地卷入到分子光谱学的研究中，但并没有感到这个新兴研究领域对他们的工作会有什么用。几年之后，这些类型的研究在工业实验室中基本上消亡，全部转入大学中。公司研究人员或被管理层调到到其他工作，或转到大学中。而在大学中，因为分子光谱学的研究对分子和原子的行为提供了深刻的洞察力，吸引了大量优秀的学生和研究人员。-

在“二战”结束后，微波激光器和激光的发明人Charles H. Townes（1964年诺贝尔物理学奖获得者）在贝尔实验室给管理层写过一个关于开展分子光谱学研究的建议，指出：“微波无线通讯现在已经扩展到覆盖着充足

的分子共振的短波领域，其中量子力学理论和光谱技术会对无线电工程提供帮助”，提出分子光谱学可能会应用到信号探测、定向和衰减控制等方面。但是，他的建议并没有得到热情响应。于是，Townes来到哥伦比亚大学。在那里，他受到有远见的美国军方服务合同的资助。Townes按照自己的路线坚持探索。1951年他在解决常规的微波源对毫米和亚毫米范围无能为力的难题时，想到用共鸣振荡器来保持受激辐射所产生的放大效应。® 1954年，J.Gordon H. Zeiger用新的放大原理产生了第一台振荡器。之后，Townes把微波激光器的研究原则推广到可见光领域，带来了激光的发明。

对分子光谱学的研究带来重要技术的发明，并不是在大学的管理层比工业有着更高明的预见能力，而是，重要的是研究者能够按照自己认为重要的、值得做和可行的方向自己决策，持续探索。当Townes产生微波激光器的构想后，他带领研究生P.Gorden和H.Zeiger进行这个项目的研究，工作了两年之久，基本上没有人认为会取得研究成果。来实验室参观的人，看完展示的实验，通常说：“哦，是的，很有趣的想法”，然后就离去了。一次，I.Rabi和P.Kusch——哥伦比亚大学物理系的前主任和主任，一起来到Townes的办公室，劝他应该停止他的研究项目。他们认为Townes的工作不会有效果，正在浪费钱。（两个人都是诺贝尔奖获得者！）两人和Townes共同依靠着同样的资助，他们的意见实际上代表着许多人的看法。四个月以后，当Townes正在和他的其他学生们进行一个Seminar的时候，Gorden突然闯进来，兴奋地跳跃着喊着：实验成功了！当微波激光器成功发明之后，Kusch非常友好地承认，他应该认识到Townes对自己正在做得比他知道得更多。┐

Townes在1999年出版的回忆录《激光是怎样发生的——一个科学家的探险》这样写到：

“这一历史，包括微波激光器和它的光学版本——激光的随后影响，导向重要的一点结论。这一点结论必须放在任何长期的科学或技术计划的最前面。一些历史学家，回头看我们那些日子，断定我们在某些方面是被军方指挥、管理、操纵、或调遣，好像海军已经很明确地期望在毫米微波上的应用，甚至期待象微波激光器和激光这样的东西。负责预算的政治家和计划者，也普遍相信资助机构必须把计划集中在特殊有用的方向上。从我们自身经验的有利地位，我们可以说，海军对于所有象微波激光器和激光这样的东西并没有特殊的期望。出于这个领域新的东西都是靠着我们。军方对我的微波激光器工作似乎并不感兴趣，直到后来得到证明的时候。关键的是，我在我认为有趣的和重要的方面自由地开展。当人们后来回顾时，原因和效果有时掉转过来。工业界和军方是重要的慷慨支持的源泉，但是，通过我的整个职业生涯的经验——这也是许多其他科学家共有的——我必须说服其他人，包括资助者，让我跟从自己的本能和兴趣。这常常会有收益。”

┐

2.2 固体物理学研究和晶体管的发明

晶体管是贝尔实验室的科学家于1948年发明的。晶体管可以说是研究计划成功的一个典型实例。根据在战争期间参加军事技术研制任务的经验，W.Shockley看到了固体物理学的前景。他认为贝尔实验室应该加强，坚信这会给通讯技术带来新的发展。他的设想得到研究部主任M.J.Kelly的大力支持。1946年贝尔实验室开始支持和组织半导体研究。

虽然Kelly和Shockley看到了固体物理研究的应用前景，但是研究的目标并不是以发明特殊的实用技术为出发点，而是对固体（特别是半导体）物理学前沿的深入理解，认为在这个领域取得的进展可能会带来广泛的应用前景，对一系列通讯技术的改进是很有成效的，例如，放大器、检测器和热电装置。也就是说，晶体管的发明并不是项目设定好的。-

半导体研究项目一开始就充满了不确定性。能否实现放大作用，如果能、怎样实现，都是不确定的。在最初的几年，研究只是积累一般的有关放大器的知识。Shockley发展了A.H.Wison在1932年的工作，预言了场致效应的存在，提出对半导体薄膜施加电场以控制电流。但是，早期的从锗的实验没有观测到这种效应。

J.Bardeen在解释这种现象中提出了表面态存在性质，指出克服表面束缚，就可以使电流放大。他和W.Brattain通过检验表面态理论的实验，发现了使半导体传导率发生变化的新方法，即在适当的结点导流入电流。进一步解释这些实验，发现了最小载流子的重要性，Shockley设计出结接触晶体管。E.Braun和S.Macdonald在研究半导体电子学的名著《微型革命》一书中指出：晶体管发明有两个突出的特征，一是理论家Bardeen和实验家

Brattain的成功合作。另外一个则是创造场致效应放大器的失败和放弃最初计划的结果。①

2.3 小结

微波辐射以及激光可以视为自由探索的结果。工业界没有看到产生于其实验室的新兴的学科——分子光谱学的应用前景，放弃了对它的支持，而亲身工作在第一线的科学家看到了新学科的前景，坚持按学科的发展路线持续探索，意外地发现了微波激光器，随后带来了激光的发明。晶体管的发明被视为研究计划的结果。贝尔实验室的Kelly和 Shockley，的确预见到固体物理学的重要性——虽然最初没有预见最终的具体结果，鼓励和组织物理学家探索着这个领域。尽管微波激光器和晶体管从研究目标到组织过程有着不同特点，但是两者却都相当的一致性。

从研究的预见性和目标来 两者的研究都不是局限在具体的技术目标上，而是获取自然现象的新知识和新信息。Townes看到了分子光谱学的前景，但是并没有想到微波激光器和激光这样的技术。贝尔实验室的研究目标是对固体（特别是半导体）物理学前沿的深入理解，相信在这个领域中新取得的进展可能会带来广泛的应用前景。最初并没有预测到晶体管这样的放大器，而最后发明的晶体管，也不是最初设想的那种。

从研究过程来看，两者都体现出科学研究的探索性和不确定性特点。微波激光器的发明过程，生动地体现了研究者个人在科学研究道路上按自己的想法探索的历程。由一个小组开展的半导体研究工作，充分体现出科学研究的探索性本性。不仅最初没人能预测出结果，而且没人能预测到理论和实践的进展。它并不是象事后所说的从几个研究途径中选择了一个好的途径，而是随着研究的进行，不断变化思路，不确定性慢慢排除，技术路线渐渐明确。这靠的是研究小组中科学家之间有效的接触，通过信息交流，互相深入了解对方的工作；而这又靠的是科学自由研究的传统，让科学家自己去把握、选择信息，按自己的洞察向有前景的地方前进。

从基础研究如何带来应用的角度看，微波激光器和晶体管的发明都有着潜在的技术应用背景。Townen指出，正是战争期间的雷达研究，通过设置科学问题，通过提供战争期间剩余的仪器做实验以及培训物理学家掌握产生无线电和微波的技术，引发了战后分子光谱学研究的兴起。② 而贝尔实验室半导体项目的设立，则和二战期间真空管无法满足高频探测的难题和晶体探测器重新受到重视的技术需求有着密切的联系。同时，在研究过程中，科学和应用双方想法的交流和汇集对技术的发明起着关键作用。Townes能够发明微波激光器和激光，得益于他工程背景和科学背景的结合。③ 而晶体管的发明，则与贝尔实验室科学家的对实际仪器感兴趣的“仪器头脑”（device-minded）以及科学家与工程师在研究过程的紧密合作是分不开的。④

概括地说，计划和自由是从资助者水平上区分的，从研究者及研究过程来看，自由探索则是科学研究的基本特征。科学研究计划决定的是在广泛应用背景之下的可能会取得回报的研究方向，具体的结果如何，还得靠科学家自己自由地探索。

3.计划和自由的关系

自由探索是科学研究的灵魂，但是科学研究并不是发生在纯粹的象牙塔中。科学研究的实际环境对研究的方向和问题等起着反馈作用。从现代科学的发展来看，大多数科学的发展都有着直接和间接的应用背景，科学与技术也有着多种多样的联系的渠道。回过头来看，Polanyi的强调科学的自治和Bernal强调社会需求的驱动是简单的二分法。计划和自由之间并不是截然对立的。正如H.Brooks指出的：“科学计划的真正问题是怎样在科学内部自治和社会对科学需求之间做最好的调整”⑤。在短期内，可能会相互冲突，在长期内，可以达到相互支持，尽管相互支持和冲突的程度一直存在着争论。因此，根本的问题是认清计划的根据、目标和范围，保持计划和自由之间的协调与平衡。

3.1 计划的前提

计划的前提是可以预见（至少可以预先评估）研究的成果对社会经济的具体贡献。虽然从总体上说，科学研究具有不可预见性，但是在某些方面可以预见的。（1）可以预见对相关技术发展的可能影响。科学和技术存

在着双向的相互联系和作用。对于科学与技术的关系，普遍的观点认为科学的目标不是在于解决实际问题，而是对自然规律的认识，但是这种新的认识可能带来技术的突破，即使它的目的本身不是这样。科学史上的经典例证是麦克斯韦对电磁波的研究，导致无线电的发现。但是，科学和技术的关系还有着相反方向的联系：技术塑造科学的发展。新技术的产生，其性质常常并没有得到很好的理解，对其应用范围的认识也是有限的。围绕着新技术的产生，就会带来相关的科学研究的兴起。金属学的产生是为了更好地理解决定钢性质的要素，计算机科学是随着现代计算机的出现而成为一个学科领域的。激光的发明，不仅促进光学的发展（之前光学还是一个相对小的学科），也带动了固体物理学的研究，使原子光谱学和气体放电物理学得到复兴。概言之，新技术的改进和发展，为相关科学研究的发展提供的强大的动力和大量的机会。因此，可以预测，在这些与技术发展密切相关科学领域（例如，微电子、材料和半导体等）的研究将会得到很高的潜在回报。虽然具体结果不可预测，但是可以预见总体方向和可能的应用范围。（2）可以预测一个领域的进展对另外一个领域的影响。这种观点反映科学发展呈现出的学科发展之间相互影响和作用的结构性特点。

3.2 计划的目标

科学研究的目的是获得新的知识和新的信息。不论是从科学知识的特点（科学知识是中间产品，不能直接应用），还是从科学系统运行的报酬机制（承认新知识内在的科学价值，而不是应用价值）来看，把科学目标限定在具体的实用结果或实用路线上，注定是要失败的。因此，按社会经济需求制定的科学计划的目标仍是对某一研究领域新知识的理解，而不是针对特定的应用，但是要考虑到可能的进展所带来的潜在应用。因此，要从内在的标准和可能的贡献两方面把握计划的目标。

3.3 计划的制度安排

按社会经济目标计划科学，基本的特征是结合科学机会和潜在的需求，判断的标准就不能仅仅根据科学上的选择标准，还要有社会和经济上的标准。在制定计划的过程中，需要以各种方式结合和平衡“自上而下”和“自下而上”两种选择机制以及专家和潜在用户双方的参与。

所谓“自上而下”，是由政府有关机构或资助部门，根据国家需要，提出计划领域，由高层组织的专家决定研究议程，并提出指导路线，项目执行者选择的余地很少；或者资助提出一般的方向和项目要求，由研究者根据计划方向提出项目建议。“自下而上”，是指建议完全是由底层科学家提出，不受需求导向的限制，但是在评价和选择的过程中，可以吸收需求方的观点。

如果运用科学为社会服务的过程可以看作最大程度地把科学机会和社会需要联系在一起，选择评价过程必须适当地编入专家和潜在用户双方的参与。专家一般来说有能力评估科学进步的机会，而潜在用户的代表可以更好地确认社会需求。机会和需要的最大平衡只能通过包括两者在内的深入的相互接触和相互教育过程中实现。目前许多国家普遍采用的Foresight实践主要功能之一就在于加强双方的互动。

3.4 计划和自由之间的关系

我们可以看出某些领域是有用的，但是我们不能预测某些领域是无用的。因此，计划和自由的关系的核心是促进整个研究体系的协调发展，保持有目标的计划和自由探索研究之间的平衡，有指导性的研究或按国家目标支持的研究与研究者个人按学科发展提出研究之间的平衡。其中重要的问题，应该保持相当的部分资源支持以学科内部逻辑驱动的研究，这是国家研究体系健康发展的保证。

计划和自由之间并没有截然的冲突。自由探索的研究可以转化为计划的研究。激光的历史表明，当Townes早期在分子光谱学，是按照学科理解驱动的自由探索研究，几乎没有人看出应用的结果。但是，当一旦微波激光器得到证明，即使量子电子学仍然处于幼年期，但是资助者已清楚认识到他们应该对增加量子电子学的资助，因为将会对军事应用技术有真正的价值。因此，从自由探索研究的进展中提升出计划的研究是一项重要的工作。

虽然在资助者看来在微波激光器发明前后，研究是在不同的层次上，但是，对于研究者来说，每天的工作和动机没有变，仍然是追求基本概念的理解。因此，创造良好的机制，保持科学研究活跃的探索精神始终是重要的。

3.5计划的局限

从社会经济发展角度计划科学的发展，是一个不断探索的学习过程。计划目标的实现取决于多种因素。计划本身并不能消除科学研究所固有的不确定性。由于计划者面临着预算的压力，计划的指向常常是可以证明的、看得见的发展。因此，会有着牺牲将来，换取眼前收益的危险。同样，过分地强调实用，可能会限制在某一特定的路线而放弃其他有前景的发展方向。

参考文献

1. E.Braun and S. Macdonald.. Revolution in miniature : the history and impact of semiconductor electronics re-explored in an updated and revised second edition Cambridge University 1978,
2. Harvey Brooks, The Government of Science , The MIT Press 1968
3. Harvey Brooks,“The Evolution of U.S.Science Policy ”, in Technology ,R&D, and the economy (edited by Bruce L.R.Smith and Claude Earfield), The Brookings Institution and American Enterprise institute, Wastingon, D.C.1996 .
4. Vannevar Bush, Science: The Endless Frontier Reprint. National Science Foundation ,1960
5. Committee on Sience ,Space ,and Technology ,U.S. House of Representatives , The Future of the National Science Foundation, in AAAA Science and Technology Policy Yearbook (edited by Abert H. Teich , Stephen D.Nelson and Celia McEnaney), American Association for the Advancement of Sience ,1994
6. Susan E.Cozzens, “Linking Research to National Goals: Recent Discussion in the United States”, in Using Basic Research : National Policies for Linking Basic Research with Socio-economic Objectives in the USA,UK,The Netherlands, Germany and France . An Occasional Paper of the Center for Research Policy, University of Wollongong , March ,1995,
7. Michael Polanyi, “The Republic of Science: Its Political and Economic Theory”, in Criteria for Scientific Development: Public Policy and National Goals (Edited by Edward Shills) ,The M.I.T. Press 1968
8. R.R.Relson, “The Link between Science and Invention:The Case of the Transistor” in R.R.Relson, The Sources of Economic Growth. Harvard University Press ,1996
9. C.H. Townes, How the laser happened ----Adventures of a scientist, Oxford University Press ,1999
10. C. H. Townes, ‘Quantum Mechanics and Surprise in Development of technology’, Science, Vol.159, no.3,816, (February 16,1968) 。
11. C.H.Townes, ‘Ideas and Stumbling Blocks in Quantum Electronics’, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.QE-20, No.6, June 1984, p547

Freedom and Planning in Science

Fan Chunliang

Abstract: The issue on the relationship between freedom and planning is one of most important issue running through science development in 20th century. This paper review three famous debates about the issue in 20th century and study two important cases in 20th century. Based on the review and case study, this paper expound the relationship between freedom and planning.

Key words: Freedom and planning in science, Basic research and national goal ,the Invention of maser and laser, the Invention of transistor