

# 科学

## 一个全新的黄金时代



致总统的报告

著者

迈克尔·克拉齐奥斯

白宫科学技术政策办公室主任

2026 年 7 月

## 科学: 一个新的黄金时代

“美国的故事是一部充满无限创造力与远大抱负的史诗，由不屈不挠的开拓精神驱动，这种精神推动着探索与发现的进程。正是这种精神，让爱迪生的灯泡照亮世界，载着莱特兄弟翱翔天际，送阿姆斯特朗登上月球。如今，一个全新的科学发现前沿正展现在我们面前。”

唐纳德·特朗普总统

2025 年 1 月 23 日

# 目录<sup>1</sup>

转介信 v

特朗普总统的信 VIII

报告摘要 x

## 第一章

### 引言

科学进步仍是根本 1

作为我们成就的源泉 2

格局正在改变 3

新前沿与新方法 4

私营部门研发投入增长 5

线性模式不再适用 7

科研人员面临日益严峻的挑战 8

亟须科学支持的时刻 8

重拾领先地位 10 总统的使命 11

## 第二章

### 重振美国科技事业

科学体系陷入困境 13

摩擦加剧导致发展放缓 15

---

<sup>1</sup> 该目录页码仅对应英文原版页码，为方便对照阅读，本部分保留英文版对应页码。

在位者红利 15

精英选拔制度弱化 17

激励机制错位 17

可重复性危机 18

问责制缺失 19

更优的发展路径 20

适应科学领域的不断变化 22 新兴参与者 24

新机制 26

更完善的资助体系 27 奖项挑战赛 28

未来构想 29

基于组合的方法 30

推动持续创新 31

### 第三章

确保美国在关键技术和新兴技术领域的主导地位

我们必须选择自己的技术未来 33

被动模式的失败 34

选择引领 35

在自己的领域奋战 35

激发创新 36

构建的自由 37

测试场所 38

开放美国的实验室 40

调动私营部门力量 41

建立更紧密的合作关系 42

统筹重大项目 43

竞争前联盟 44

我们的民族特质 45

#### 第四章

确保科学技术更好地改善所有美国人的生活

科学与技艺的结合 47

我们的制造业基础 48

巨大潜力仍未被发掘 49

我们的教育体系失衡 50

我们必须将科学重构为更广泛的事业 51

扩大参与范围 52

一体化培训模式 53 转化的新路径 54

让所有人都能享受到进步 55

#### 第五章

新的黄金时代

智能时代 57

调整我们的机构 59

建设基础设施 61

创世纪使命 62 金标准科学 64

即将到来的构想 66

重新思考科学出版 67

协作与荣誉的新形式 68 我们的构建愿景 70

注释 73

附录

白宫 2028 财年政府研究

与发展预算优先事项备忘录 85

2028 财年研发优先领域 87

研发优先实践 95

实施 104

# 转递函

总统行政办公室科学技术政策办公室

哥伦比亚特区 20502

2026 年 7 月 21 日

尊敬的总统先生： .

81 年前，富兰克林·罗斯福总统致信万尼瓦尔·布什，委托他在二战后重组美国的科学事业。布什的回复是一份题为《科学：无尽的前沿》的报告。该报告确立了联邦政府在支持基础科学方面的角色，促成了国家科学基金会的成立，并在此后数十年间塑造了美国的科技战略。这份报告是“美国世纪”以及我们如今所处的科技世界的基石。

如今，在我们庆祝美国建国 250 周年之际，我们有责任再次夯实我们的根基。科学技术从未像今天这样对我国的安全与繁荣如此至关重要，尽管美国仍在引领科学进步的步伐，但全球竞争对手正奋起争先，试图挑战我们的领先地位。这一历史时刻要求我们推动体制现代化，以匹配我们过往的成就和未来的抱负。

在 2025 年 3 月 26 日的信中，恰逢我获得参议院确认担任科学技术政策办公室主任之际，你要求我结合 21 世纪带来的变革，重新审视美国的研发生态系统。

我在此提交的这份报告剖析了如今美国科研人员面临的种种障碍，同时也探讨了自 1945 年美国科研体系的基本架构确立以来，我们的科研事业发生的根本性变革。尽管我们在科研领域的投入不断增加，但科研产出效率却有所放缓。我们愈发依赖少数几类传统机构，激励机制也更倾向于鼓励循规蹈矩而非大胆探索。而曾经助力美国科研发现转化为国家实力的能力，也因数十年来的产业外包政策而逐渐衰退。

为应对这些及相关挑战，本报告为涵盖政府、学术界、慈善机构和企业的整个科技生态系统提出了建议。所有这些建议的核心基础是一个衡量成功的简单标准。十年后，美国的研究人员回顾我们的工作时应该会说：“那些我当时无法探究的关键问题，如今我可以自由探索了。”如果我们在四个总体目标上取得进展，这一目标就将实现。

首先，美国的科研体系应将个体科学家置于老牌机构之上。如果我们真心希望拓展科学家的能力边界，就必须直接投资美国研究人员以及驱动他们的大胆构想。如今我们的科研体系在很大程度上已沦为自我服务，而非服务于内部的科学家。联邦资助机构应支持更广泛的研究主体，包括新一代以使命为导向的研究机构，以拓宽我们的科学视野。同时，这些机构应立足当下科学的跨学科前沿进行架构搭建，而非沿用上个世纪的学术分科模式。

其次，联邦政府应从根本上改变研究资金的分配、发放和评估方式。政府不应采用“一刀切”的模式，而应资助更灵活的资助类型，包括快

速审批资助、长期展望资助，以及允许评审人员大力支持极具颠覆性非常规提案的新机制。联邦研究机构应评估自身作为资金配置方的表现，尝试新的资助方式，并以专业投资者的审慎性构建资金配置组合。

第三，联邦政府应设定明确的科学目标，并打造产业实力，将科学发现转化为技术实力。20 世纪最伟大的技术成就之所以得以实现，是因为政府领导人明确了国家优先事项，并调配资源去完成这些目标。如今，我们的竞争对手正与我们争夺战略技术价值链，甚至采用我们绝不会认可的手段。我们不能再想当然地认为美国科学的成果会惠及本国人民。政府必须调动全国企业的全部力量应对国家挑战，为美国的创新者扫清障碍，并让全国范围内的科研与制造工作重新紧密结合。

第四，我们必须让科研体系为人工智能革命做好准备。人工智能将加速并彻底改变我们开展科研的方式。但即便是性能最强大的人工智能模型，也会在为上个世纪打造的机构与系统这一瓶颈中运行受阻。在为美国科研更新基础设施的同时，我们必须对其进行重新设计，以适配人工智能时代。即便人工智能能大幅压缩从提出问题到得出答案的时间，我们仍需要人力来研发仪器或制作原型。我们也必须培养这方面的能力，投资先进制造业、技能型行业，以及传统学术体系之外的海量人才库与隐性知识资源。

在撰写本报告的过程中，我广泛咨询了全国科技界的人士，从推动核聚变技术取得改变世界重大突破的企业家，到渴望在大学神经科学领

域探索大胆构想的研究人员，再到为革命性药物研发平台提供资金的风险投资家。他们传递的信息清晰且鼓舞人心：只要具备合适的条件，美国的创新智慧将持续创造奇迹。

纵观我们的历史，每当面临的挑战需要我们做出改变时，美国人都展现出了非凡的勇气，愿意重塑我们的制度：从创办圣地大学、成立国家科学基金会，到启动阿波罗计划，每一代人都抓住机遇，拓展知识的边界，为进步铺就道路。如今，轮到我们来打造科学事业，让它引领美国迈向未来，在 21 世纪及之后的岁月里为美国人民带来繁荣。

总统先生，您呼吁打造美国创新的黄金时代。本报告是实现这一愿景的蓝图。我国曾攻克脊髓灰质炎、将人类送上月球、破译人类基因组、开启数字革命。在您的领导下，我们将把科技实力延伸至第二个美国世纪，持续创造引领现代世界的创新成果与科学发现。

敬上

迈克尔·克拉齐奥斯，主任

美国联邦总统唐纳德·J·特朗普阁下

白宫

华盛顿特区

# 特朗普总统的信

华盛顿白宫

2025 年 3 月 26 日

尊敬的克拉西奥斯先生：

科学进步与技术创新是驱动美国世纪的双引擎。曼哈顿计划开启了原子时代，阿波罗计划让我们赢得了太空竞赛，互联网则将我们连接至数字未来。今天，我们将开启美国创新的黄金时代。我们要让美国比以往任何时候都更安全、更健康、更繁荣，为每位公民打造一个美国卓越的未来，重筑美国梦。

20 世纪的成就并非偶然。第二次世界大战接近尾声时，富兰克林·D·罗斯福总统曾写过这样一封信给他的科技顾问万尼瓦尔·布什，委托他为了国家的繁荣去探索思想的新领域，并在和平时期开创科学事业。布什博士的回信为美国政府、

企业和学术界这一独特且成功的合作模式奠定了基础，正是这种合作造就了人类历史上最强大、最具生产力的国家。

但如今，海外的竞争对手试图取代美国作为全球顶尖奇迹制造国和知识产出国的地位。我们必须重拾 20 世纪推动我们取得如此辉煌成就的紧迫感。如今，是时候回归本源，为未来的世纪重塑美国的科学事业了。因此，正如罗斯福总统任命万尼瓦尔·布什那般，我也委任你应对以

下挑战，为美国人民交出满意的答卷。

首先：美国应如何巩固其在人工智能、量子信息科学、核技术等关键及新兴技术领域无可匹敌的全球领先地位，保持对潜在对手的优势？

我们需要加快研发步伐、**拆除监管壁垒**、强化国内供应链与制造业、推动强劲的私营部门投资，并助力美国企业在全球市场上更进一步。竞争对手国家正全力赶超美国，我们必须大胆开拓道路，以维持我们的技术领先地位。

第二：我们应如何重振美国的科技企业：秉持求真精神、**减轻行政负担**、**赋能科研人员取得突破性发现**？

**我们需要为科研体系打造新的范式，包括创新的科研资金筹措与成果共享模式**，重新定义美国开展科研探索的运作方式。**我们必须构建一个能够吸引顶尖人才、彰显功绩、守护我们的智力优势，并让科学家专注于有意义的研究工作，而非在行政琐事上耗费精力的生态系统。**

第三：我们如何才能确保科学进步和技术创新为经济增长提供动力，并改善所有美国人的生活？

在我的第一任期内，我们在美国的科技领先地位上取得了前所未有的进步。我们启动了美国人工智能计划，使美国在人工智能的开发与部署方面跃居前列。我们的国家量子计划为实现国家量子领先地位奠定了基础。我们组建了美国太空军，为美国进一步探索太空规划了全新且大胆的路线。所有这些举措都巩固了我们的安全、提升了我们的繁荣，并

再次确认了美国作为全球顶尖科技强国的地位。

如今，在经历了漫长四年的疲软与自满之后，我们必须将目光放得更高。我呼吁你们为科学的下一个前沿领域开辟道路。我们有机会巩固美国在全球的科技领先地位，开启美国创新的黄金时代。我们不仅仅是在与其他国家竞争；我们正致力于、努力着、拼搏着，让美国变得比以往任何时候都更强大。

谨启

/签/唐纳德·J·特朗普

尊敬的迈克尔·克拉齐奥斯

主任

科学技术政策办公室

华盛顿哥伦比亚特区 20502

# 报告摘要

## 第一章引言

美国的科学进步是 20 世纪的核心动力。它助力美国在二战战场赢得胜利，确保美国在冷战中取得胜利，并缔造了人类历史上最繁荣的国家。我们研发出了点石成金般的技术，让沙子拥有了思考能力，从硅芯片中构建出了数字世界。美国的科学攻克了脊髓灰质炎，将人类送上月球，还为人类带来了通用人工智能（AI）。这种领先地位改善了人们的生活，也塑造了现代世界的整体格局。

这些重大进步的基础是在第二次世界大战后的几年里奠定的，这在很大程度上归功于罗斯福和杜鲁门总统的首席科学顾问万尼瓦尔·布什所提出的远见。在他 1945 年的经典报告《科学：无尽的前沿》中，布什前瞻性地论证了联邦政府支持基础研究的必要性，为现代科学事业奠定了基础。然而，这一事业主要围绕着后来被称为技术进步“线性模型”的框架展开，即从基础研究到应用研究，再到技术和工业开发的线性流程。即便在当时，这一模型就已是一种简化，而在八十一年后的今天，它已越来越不足以描述科学进步的过程。如今的科学发现，往往是基础研究与应用研究之间的迭代循环，工业界和工程领域甚至在推动基础研究方面也发挥着至关重要的作用。

自布什报告发布以来的八十年间，政府对研发的资助，尤其是对高校和国家实验室基础科学的资助，合理地实现了增长。但在目前的美国，私营企业已成为研发资金最主要的来源，其占比从 20 世纪 50 年代至今几乎翻了一番。美国企业如今每年的研发投入约为 7000 亿美元，是政府和高等教育机构研发总支出的三倍多。这一发展趋势让科研领域的“蛋糕”越做越大，值得整个科研生态系统欢迎，但也要求联邦政府的资助方式做出相应调整。

近几十年来，新的挑战不断涌现。尽管自 20 世纪 90 年代以来生物医学领域的资金投入大幅增加，但重大突破的速度似乎有所放缓，药物获批数量也趋于停滞。如今的研究人员往往要将一半的时间花在文书工作和行政事务上，而联邦政府和高校不断膨胀的官僚体系更是加重了这一负担，进一步挤占了用于实际科研的资金。如今，美国公民在科学、技术、工程和数学（STEM）领域攻读研究生的比例有所下降。我们的竞争对手正以前所未有的力度向科研和工程领域投入资源，采取全社会协同的方式，抢占战略技术的制高点。与此同时，人工智能革命正在改变科研的开展方式，而传统的科研机构 and 基础设施尚未准备好充分利用这一变革。

美国之所以在科学进步领域引领世界，是因为美国人拒绝停滞不前。此前，我们曾通过大胆重塑科学架构来适应不断变化的环境，如今我们必须再次进行创新。科学技术发展对国家和经济安全的重要性前所未有，

而这一进步也与我们在全球的外交关系变得前所未有的紧密相连。

特朗普总统已明确阐述了其优先事项，他正致力于为美国创新新时代奠定基础。他要求本届政府重振国家科学事业，确保美国在新兴技术领域领先于外国竞争对手，并确保所有美国公民都能从新的科学突破和技术变革中获益。特朗普总统将美国的历史解读为一部充满雄心、探索与发明的篇章，讲述了那些不断追寻新探索前沿的先驱者的故事，如今这一精神尤其体现在科技领域。

后续章节为整个美国科学事业提供建议、见解与指导，涵盖政府、高校、私营部门以及公益慈善领域。

## 第二章重振美国科技事业

为扭转发展停滞、重拾突破势头，联邦政府必须让美国科学家能够全力开展研究工作。学术界的联邦资金支持仍基于本世纪中叶的既定模式，通过传统学科渠道分配，且过度集中于短期项目制拨款。评审小组常以共识制对提案设限，抑制了具有变革性的各种想法。当投资组合表现不佳时，相关机构几乎没有纠正的压力。我们必须卸下不必要的负担，将资金重新调整向卓越与风险探索倾斜，并在每年约 2000 亿美元的研发投资组合中融入持续的、基于证据的改进机制。

- **聚焦个体科学家：**让科研工作者重新成为美国科研事业的核心。将他们从如今占据近一半工作时间的日益繁重的行政负担中解放出来。

通过扩大可携带的研究生奖学金（如美国国家科学基金会（NSF）研究生研究奖学金计划（GRFP））、支持科研人员早期职业独立发展，以及效仿美国国立卫生研究院（NIH）主任先锋奖模式为最优秀和最具才华的科研人员提供长期资助，把赌注压在人才而非项目上。开辟标准学术体系之外的替代路径，并确保选拔完全基于个人能力，而非当下的政治潮流。

- **多元化资金筹集机制：**突破共识驱动的同行评审模式，采用更广泛的筛选机制以适配不同类型的科研工作。具体示例包括：赋予个人评审专家支持高瞻远瞩提案权利的“黄金通行证”、可快速做出资金决策的快速资助项目、为成果付费的奖励挑战赛与前瞻性市场承诺，以及将资金授权下放给科学家以整合分散专业知识的再授权模式。
- **打造新型机构模式：**如今许多最关键的问题，规模之大超出学术实验室的承载，跨学科属性之强超出单一部门的覆盖，商业化难度之大令私营企业望而却步。联邦资金应支持更多元的执行主体。新启动的 X 实验室可组建灵活高效、有明确时限的专业科学家与工程师团队，攻克特定瓶颈问题。高级研究计划局（ARPA）可赋予项目主管大胆决策的权限，并为其甄选研究人员来落地执行。以好奇心为驱动的研究机构能为顶尖人才提供长期探索根本问题所需的稳定环境。

- **减轻官僚主义负担：**过去几十年里，联邦拨款的相关要求大幅增加。如今有些拨款从提交到获批几乎需要两年时间，时长几乎与设计和生产相当首架波音 747。压缩评审周期，消除重复报告，控制支撑行政臃肿的间接成本回收，将这笔资金重新投入真正的科研基础设施建设。推进改革以减轻撰写科研基金申请的负担，重点向早期职业研究人员提供纾困支持。
- **将持续改进制度化：**资助方应像审视拨款申请评审那样，以同样的审慎态度关注自身绩效。在联邦科学机构中设立拥有充分自主权的元科学部门，该部门直接向机构负责人汇报，有权对评审和资助机制开展对照实验，并推动全机构的变革。提升项目官员的声望，扩大其在制定科学方向方面的自主权，并支持他们成为所助力塑造领域的规划者。

### 第三章确保美国在关键与新兴技术领域的主导地位

美国拥有全球最具活力的科研体系和最具活力的私营部门，这些机构总能将新颖理念转化为新兴产业。但仅靠科研领先地位并不能保证国家实力或经济活力。我们必须将科技企业紧密结合，确保在美国诞生的突破性创意能在国内快速完成原型制作、测试、生产和规模化扩张。

- **恢复无需许可的创新：**美国监管机构已擅长权衡采取行动的风险，却对不采取行动的代价视而不见。制定良好的规则需要现实世界的

证据，而建立这一证据基础只能依靠让创新者进行原型设计和试验。将总统在核能、制药和无人机领域的改革推广到其他行业。权衡收益与风险，简化审批流程，并利用监管沙箱在受控条件下测试新技术。

- **向美国建筑商开放联邦基础设施：**联邦政府拥有的设施和测试平台是初创企业无法独自复制的。扩大行业对美国实验室研究基础设施的使用权限，包括美国能源部（DOE）国家实验室、美国国家航空航天局（NASA）中心以及战争部（DOW）设施。在审批使用时，需兼顾创新潜力与科学价值，简化合作研发协议（CRADAs）和许可流程，进一步利用其他交易授权（OTA）推动私营部门参与共同设计研究方向，并扩大与私营部门的合作关系，共同投资尖端设备。
- **加强公私伙伴关系与人才流动：**美国最具创新性的科学研究已不再仅依托高校开展。扩大与机构相邻的基金会规模，聚焦小企业创新研究（SBIR）和小企业技术转移（STTR）项目以构建战略能力，并支持产业界、学术界与联邦机构共建联合中心。扩大产业界博士和博士后奖学金规模，促进人才在不同部门间顺畅流动，借助美国私营部门的优势为学术研究人员提供产业级资源。
- **组建竞争前联盟并发起重大挑战：**阿波罗计划和人类基因组计划之所以取得成功，是因为联邦政府调动了科学力量，其规模是任何单一机构都无法企及的。借助推动突破性进展的重大挑战，为具有国

家重要性的议题制定登月级别的任务。支持行业联盟，并利用联邦资源突破基础领域的共同工程瓶颈，正如极紫外有限责任公司（EUVLLC）为半导体光刻技术所做的那样。

- **以县和州为实验场：**联邦制是美国最大的优势之一。各州可以以联邦政府无法效仿的方式，在监管、审批和经济激励措施方面进行试点。支持州主导的实验，与行动最快的辖区合作，让地方展开竞争以支持区域创新。确保行之有效的创新战略在全国推广，推动每个县和州的科技进步。

## 第四章确保科技更好地造福全体美国人的生活

美国的科学创造力与创业文化为我们将突破性成果转化为技术、丰富每位美国人的生活奠定了基础。这种丰富性应包括制造业岗位的创造，而不仅仅是消费品的研发。通过重建科学与实操技艺之间的联系，联邦政府的引领作用能够确保科研发现带来的经济收益。包括就业岗位、供应商网络以及工人所掌握的工艺知识，惠及美国各个地区、各个经济领域的民众，让我们的技术领先地位代代延续。

- **整合实操培训：**技术不仅体现在论文和专利中，更蕴含在导师向学员传授的隐性知识里。要求大学和社区学院将实用技术培训与校外实习纳入科学、技术、工程和数学（STEM）课程体系。让实操经验和行业资质成为学位获取的组成部分。改革认证、招生与终身教职

制度，在认可学术成果发表的同时，对实际的技术工作给予同等奖励。

- **超越学术阶梯的开放科学职业：**为熟练工匠设立全国奖学金，开设驻场从业者项目，让机械师和技术人员与博士研究生并肩协作，并提供先进制造与实验技术方面的行业认可便携证书。将农村社区的爱好者和实验爱好者与正式的研究机会相连接，同时向当地居民开放大学的技术培训课程。
- **推动学徒制与职业发展路径现代化：**将注册学徒制拓展至科技领域。采用绩效付费资金模式，扩大佩尔助学金适用范围，支持社区学院成为科技人才区域中心。将这些中心与产业基地及联邦资助的创新和制造中心整合。
- **在全国范围内打造密集的本土创新集群：**技术领先地位诞生于科研与生产紧密结合的地方。扩大区域创新中心、制造研究院以及以国防工业基地为核心打造区域生态体系。与本地高校和国家实验室协同发力，培育特色优势、搭建人才储备通道。将这些举措与先进制造业回流相结合，重塑科研人员、工程师与技能型技术人员之间的联动反馈机制。

## 第五章全新的黄金时代

美国正站在一场科学革命的风口浪尖，人工智能将在此过程中加速

科研发现、放大人类的认知能力，并为我们应对一些最重大的挑战解锁解决方案。但“面向科学的人工智能”仍会受制于人类科研体系中的摩擦与低效。唯有大胆改革科研体系、构建国家级的基础设施，并确保人工智能所学习的知识库经过严格验证，我们才能充分利用人工智能及其带来的生产力提升。

- **启动并扩大创世纪使命：**为创世纪使命提供全额资金并将其拓展为美国首屈一指的人工智能科学旗舰计划，整合国家实验室中的超级计算机、人工智能模型、科学仪器和数据集，在十年内将美国科学研究的生产力和影响力提升一倍。该计划应聚焦于跨领域难题：在这些领域，突破性进展能开启下游整个发现分支，且人工智能可彻底变革科学研究本身的实践方式。
- **将黄金标准科学制度化：**基于有缺陷知识库运行的人工智能只会固化不科学的做法。通过《恢复黄金标准科学行政命令》，在所有联邦资助的研究中强制推行可重复性、透明度、数据共享和可证伪性，为人工智能驱动的科研发现打造可靠基础。
- **大规模构建验证基础设施：**尽管生成成本已呈指数级下降，但验证成本却并未随之降低。应投资于人工智能驱动验证系统、开放标准以及持续复制机制。制定标准以支持机器可审计的复制包开发，并对复制或反驳有影响力的科学成果的人员给予奖励。
- **加快自主实验进程：**闭环式自主实验室能将发现周期缩短数个数量

级，实现真正工业化规模的科学研究。聚焦机器人与自动化实验室领域的投资，借助产业需求与联邦研发力量，确保我国科学设备产业基础依托全球顶尖的软硬件技术，在即将到来的科学革命中发挥引领作用。

- **探索原生 AI 的科研机构：**如今的资助体系、发表制度和评价机制，都是为人类节奏的发现进程所构建的。应启动向原生 AI 机构的转型，包括采用更快速、更开放的科研发表形式、更细化的成果归因机制，以及能将资源导向突破成果至关重要的问题的新型市场机制。

# 第一章引言

## 科学进步依然至关重要

81 年前，万尼瓦尔·布什曾写道，科学进步将成为“我们国家安全、健康改善、就业增加、生活水平提高以及文化进步的关键要素”。<sup>1</sup> 布什从青霉素和雷达助力二战取得胜利的历程中，窥见了科学为美国带来的光明前景。在随后的 80 年里，他的远见被证实极具先见之明。

从那时起，美国的实验室取得了一系列惊人的突破：晶体管与集成电路、激光器与发光二极管、人类基因组图谱绘制及其编辑工具。布什所设想的“新产品、新产业和更多就业岗位”<sup>2</sup> 已化为现实，催生出计算机、生物技术、航空航天、电信等完整经济领域，如今这些领域吸纳了数千万就业人口，创造了数万亿美元的财富。得益于布什时代难以想象的技术，能源革命让美国成为全球最大的石油和天然气生产国。

如今，我们口袋里的小型计算机能让我们与横跨大陆的家人即时取得联系，解锁全球知识宝库，并指引我们穿梭于陌生的街道。材料科学的巨大进步为我们带来了从尼龙长袜、防弹背心、人造关节到战斗机等各类产品。我们将 GPS 卫星送入轨道，这些卫星能引导拖拉机实现精准播种，确保包裹准时送达，还能指引我们的部队穿越敌方控制的地形。我们开创了现代生物技术领域，发明了核磁共振成像（MRI）技术，并

研发出为我们无线世界提供动力的锂电池。而在布什发出那封信后的短短几十年间，我们登上了月球，并将科学仪器送到了太阳系的边缘。

我们的科学家取得的成就远不止于此。我们常常忘记，美国农民的产量在使用的劳动力仅为 20 世纪 40 年代的约四分之一的情况下增长了两倍，<sup>3</sup> 或者普通美国人的寿命比布什撰写那份报告时多活了十多年。<sup>4</sup> 在人们的记忆中，癌症已从一种死刑判决转变为数百万美国人可治疗的疾病。最常见的儿童白血病类型已从在 90% 的可治愈病例中均致命，<sup>5</sup> 且自心脏病死亡率达到峰值以来，相关死亡人数已下降超过一半。<sup>6</sup> 作为我们成就的源泉这些成就之所以能够实现，而且正是在美国这片土地上实现，完全是因为我们的人民和机构做出了深思熟虑的选择。

首先，与布什在其文章中所阐述的一致，政府的支持科研事业以实现国家目标方面发挥了至关重要的作用。这些目标包括攻克疾病、创造就业岗位以及保障安全。在战前联邦科研经费主要集中于农业的背景下，这一举措被证明是一项关键的远见卓识。并非所有有价值的研究都能吸引私人资本，尤其是那些仅能带来缓慢且分散回报的研究。在 20 世纪中期的资本环境中，没有投资者会资助建造粒子加速器的工作，也不会资助那些奠定基因组革命基础的基础性研究。

正如布什所指出的，“在某些科学领域，公共利益至关重要，但如果仅依靠私人来源的支持，这些领域的发展很可能不够充分。”<sup>8</sup> 如今，得益于这一远见，我们拥有了众多联邦机构来推动科学研究，其中包括

国家科学基金会（NSF）、能源部（DOE）国家实验室、美国国立卫生研究院（NIH）、美国国家航空航天局（NASA）、美国国家标准与技术研究院（NIST）、美国国防高级研究计划局（DARPA）以及联邦各部门和机构的其他研究部门。

其次，我国政府认识到，实现这些国家目标需要的协调力度远超单一机构所能承担，而我们的独特优势，无论是当年击败苏联，还是如今在科技竞赛中取胜，就在于充满活力的私营部门。在谈及青霉素的研发历程时，布什提到政府如何针对特定问题发起“协同攻坚”，支持医学院校、高等学府与制药行业开展研发工作，助力科研成果从早期实验室实验阶段逐步推进至大规模生产与应用。<sup>9</sup>这一模式成为成效显著的公私合作关系的基石，推动美国人登上月球，也促成了互联网的构建。公共资助的科研与私营企业之间的这种活力互动，至今仍是美国创新发展的核心动力。

第三，我们始终响应科学保持活力的号召。布什写道：“这个民族的开拓精神依然旺盛。”<sup>10</sup>“对于手握完成使命所需工具的开拓者而言，科学领域仍是一片大体未被探索的处女地。”<sup>11</sup>我们过往的每一次重大胜利，都需要极大的勇气和制度层面的变革。

他们迫使我们创造新的模式来推动科学进步：设立专门的科学资助机构，建立能够让现代电子产品实现大规模商业化的创新合作关系，以及推行放松航天领域管制等改革，为如今蓬勃发展的商业航天时代打开

了大门。

这种敢于涉足未知领域、挑战既有方法、并在旧有制度不再适用时创建新制度的意愿，奠定了如今支撑我们充满活力的经济与国家安全的科学领先地位。格局正在改变政府必须支持基础研究、基础研究推动国家繁荣以及美国的优势在于我们机构的活力，这些原则如今依然像布什首次阐述它们时那样可靠。但原则并非流程。布什也会第一个承认，自他撰写《科学：无尽的前沿》以来，开展基础研究的环境已经彻底改变。

1950 年，基础实验室里的十几位工程师推动了半导体技术的发展。如今，半导体行业每年在资本和研发上的投入超过 1000 亿美元，从业人员达数十万。<sup>12</sup> 他们不断攻克物理和材料领域的极限难题，并建造出布满机器人的晶圆制造厂，这些机器人能对硅原子进行逐个操控。

1950 年，科学家将打字稿邮寄给期刊编辑，编辑再从顶尖大学的个人人脉中挑选审稿人并寄送稿件副本。如今，研究人员完成论文后数小时内就会将其发布到网上。成千上万的人立即在社交媒体和讨论渠道上阅读并探讨该研究的价值。论文正式发表前数月，相关代码就已在互联网上被复制传播。

1950 年，数学家们独自在黑板前演算，翻阅图书馆里一摞摞的文件。如今，他们能在网上瞬间查阅到定理。计算机催生了实验数学，这是纸笔时代无法实现的。

编程语言为庞大的证明过程实现了模块化，让数十名数学家能够同

时从东西海岸针对同一个问题展开协作。

## 新前沿与新方法

我们所构建的制度决定了哪些问题会得到解决、哪些方法会被尝试、哪些风险会被承担，以及谁的才能为发现创新做出贡献。当这些制度与科学前沿的本质以及我们的国家需求相契合时，科学便会取得进步；而当它们出现错位时，丰富的资源和杰出的研究人员都将付诸东流。这种错位表现为研发投资的收益递减、对突破性想法的追求逐渐减弱，以及技术进步为美国民众带来的福祉增长放缓。

制度设计至关重要，因为个体研究者会遵循其所在机构发出的信号。以一位处于量子信息科学前沿的杰出研究者的激励机制为例。作为大学实验室的一名博士研究生，这位研究人员必须定期发表论文才能毕业，需要撰写能让期刊审稿人和论文答辩委员会满意的论述，还要建立能为自己带来学术工作机会的人脉。导师的科研经费限制了他能购置的设备。他围绕实验室现有的仪器设备设计实验，而非聚焦于最值得探究的问题。距离毕业还有两年时，他会主动寻找能推进论文论述的实验结果。当出现意外结果时，他有时会选择深入研究，但也会始终留意这对自己职业发展以及实验室未来经费可能带来的风险。

作为一名正在筹集风险资本的初创公司创始人，这位研究人员面临着不同的压力。他向投资者描绘了可扩展量子计算的宏大愿景。凭借数

千万美元的种子资金，他可以聘请工程师并快速开展研发。但他也必须在五年内实现营收，并在后续融资轮次持续推进的过程中保持清晰的发展叙事。他向投资者阐述的技术方案或许并非最佳路径，但改变方向则可能失去投资者的信心。市场压力带来的科研约束，是项目资助评审员可能不会施加的。

两条路径都能推动科技发展，但二者都以不同方式将人才引向不同的问题。取得的发现不仅取决于具有科学重要性的问题，还取决于这些问题与研究人员必须应对的激励机制之间的契合度。因此，作为国家科学事业的设计者，掌管联邦资金的公共官员有责任了解研究人员面临的限制，尽可能建立合理的激励机制，并在尚存的空白领域推动研发工作。唯有如此，我们才能解放美国科学家，赋予他们更广阔的探索自由。

大学在培养科研人员和探究基础问题方面依然至关重要。风险投资将私人资源投入具有高影响力的技术领域。联邦机构为市场无法单独支撑的研究项目提供资金。每类主体都承担着不可或缺的作用，但科学前沿始终在不断变化，需要各方持续积极地自我完善，以确保这些机构能够持续适应当前最关键问题的研究需求。

从布什的构想中诞生的这套体系支撑了过去的美国世纪。但每一代美国人都必须展现出勇气，在新的前沿领域需要重塑我们的制度。当农业需要科学基础时，我们设立了赠地大学；当追求突破性军事技术需要一个愿意资助传统资助方会拒绝的高风险创意的机构时，我们成立了国

防高级研究计划局；当新兴科技公司的长期发展周期与传统资本市场的能力之间出现差距时，我们构建了风险投资模式。

随着知识的不断进步，那些亟待解答的问题、解答这些问题所需的工具、所需协调的规模以及涉及的时间线都在发生变化。我们的前辈亦是如此，我们必须继续打造并完善科学体系，让每一个组成部分都能充分发挥作用，让创新者摆脱种种束缚，得以向着最宏大的目标迈进。一个全新的美国世纪，需要新的科学发现引擎来驱动。

## 发展私营部门研发

科研体系中一个尤为显著的变化是研究的资助方与执行者身份。当布什在 20 世纪中叶撰写其报告时，联邦政府是美国科学领域的主要资助者，调动全国的科研力量以赢得战争胜利。如今的格局定会让他大为震惊。私营企业目前已成为美国研发资金最主要的来源，从 20 世纪 50 年代至今，其占比大幅翻倍，而联邦政府的资金投入也实现了飞速增长。美国企业如今每年的研发投入约达 7000 亿美元，是政府和高等教育支出的三倍多。<sup>13</sup> 尽管这类投资过去主要集中在后期产品开发阶段，

但值得注意的是，用于基础研究的资金占比也在快速上升，尤其是在过去二十年里（图 1）。而布什曾认为市场无法单独支撑基础研究的开展。回顾近期两项具有变革性的发明，晶体管以及支撑现代机器学习的 Transformer 架构，二者均源自企业实验室，这些实验室拥有数千名

## 研究人员

往往能产出具有合作性、引用规范且针对深度学术问题的优质论文。现代工业巨头斥资开展最先进的实验，支付的薪资是学术界的数十倍乃至数百倍，从全国范围内吸纳顶尖人才。美国企业的研究人员因在半导体电子隧穿、表面化学、高分子科学以及激光领域的研究斩获诺贝尔奖，这既印证了其研究的严谨性，也彰显了其研究的基础性质。

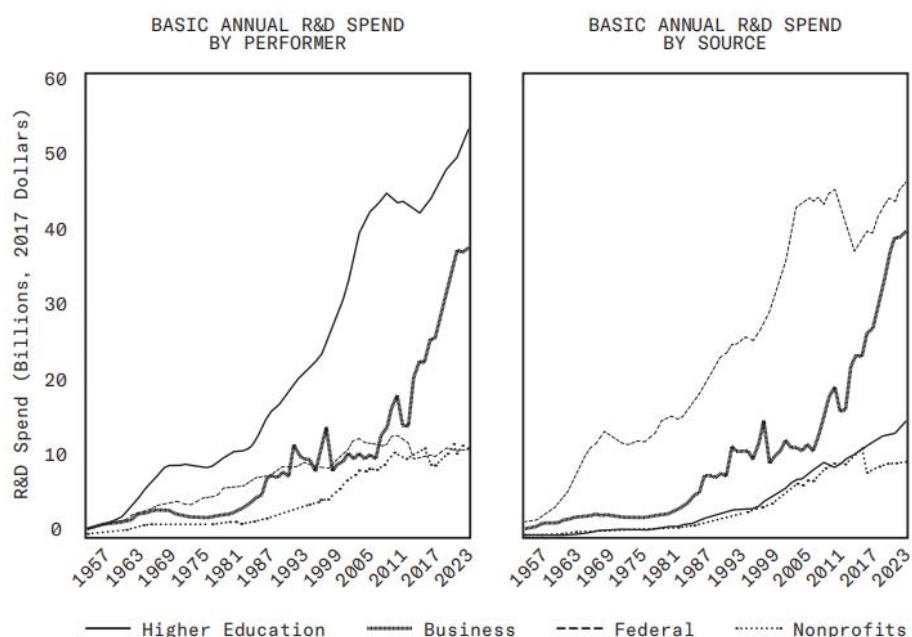


图1：过去二十年间，私营部门的基础研发领域发展迅速。如今，在美国基础研究领域的表现方面（左图），其已与高等教育机构并驾齐驱；在资金支持方面（右图），则与联邦政府不相上下。

这并非意味着学术机构的重要性有所下降，而是表明科学界的版图已然扩大。在某些领域，私人投资的规模远超联邦机构所能企及的水平。大学在扩大工程研究规模方面面临实际限制，除了太空探测、粒子加速器这类政府资助的大型科学项目外，鲜有例外；然而，如今博士研究生

和教授们可以筹集数亿美元创办企业，去追求基础性突破。小型初创企业越来越多地自主开展基础研究，为我们最具才华的科学家开辟了从事雄心勃勃研究工作的新路径。这些企业模糊了基础科学与应用科学的界限，将研发相结合，从而同时加速两者的发展进程。

## 线性模式不再成立

在 1945 年的报告中，万内瓦尔·布什提出了从基础研究、应用研究到开发的递进模式，这一模式后来被称为“线性模型”<sup>15</sup>。该框架明确了研发流程中各环节的作用：大学开展基础研究时无需承受实际应用的压力，企业则将科研发现转化为产品。在当时，这种分工既顺理成章，又成效显著。

然而，现代的科学发现正日益受到基础研究与应用研究之间持续迭代的影响。工程领域的挑战往往会揭示尚未解答的科学问题，而基础认知方面的突破又会反过来开辟新的工程路径。二者的关系是循环往复的，而非单向的。推动前沿发展所需的工具，无论是先进的制造设备还是专业的工程团队，往往存在于传统学术环境之外。如今，我们许多最具创造力的研究人员在各个领域间灵活流动，传递着思想与技术。科技与科学已深度相互依存，即便在数学这类最纯粹的理性领域（我们将在第五章探讨）亦是如此。

这种非线性也体现在唐纳德·斯托克斯在布什提出相关理念半个世

纪后所阐述的理论框架中。他将其称为“巴斯德象限”，如今这一概念在科学前沿领域的占比正不断提升<sup>16</sup>。斯托克斯认为，科研工作既可以追求基础性认知，又能以实际应用为导向，他还指出，诸多具有重大意义的科学进步恰恰都源于这种结合。此类研究的实例包括巴斯德对葡萄酒变质原因的探究、贝尔实验室晶体管的研究，以及香农的信息理论研究。我们这个时代的许多颠覆性发现，从斩获 2024 年诺贝尔化学奖的蛋白质折叠计算研究，到荣获 2025 年诺贝尔物理学奖的超导量子器件，均源自那些兼具理论雄心与实际问题的关联度的探索。

我国的国家实验室和联邦资助的研究中心长期以来一直是这类应用导向型研究的核心动力，而新建的现代科学中心也延续了这一发展模式。越来越多的科学家离开学术界进入工业界，并非因为他们放弃了以好奇心为驱动的探索研究，而是因为开展某些基础研究问题所需的工具、资源以及职业发展机会，正越来越多地集中在大学校园之外。未来的任务是助力科学家在不同类型的研究问题之间灵活切换，并为他们提供探索当今前沿领域所需的自由与资源。

## 我们的研究人员正面临日益严峻的挑战

这些快速变革要求我们的机构做出调整。正如第二章将阐述的，我们联邦资金体系中的很大一部分仍基于过时的假设。这并非对任职于这些官僚机构的优秀科学家和资助者的指责，而是机构惰性的产物，这种

惰性源于缺乏推动持续试验的市场选择压力。

例如，美国国家科学基金会（NSF）目前的组织架构仍主要以学科为核心，与 20 世纪 50 年代的模式基本一致，且其资源投放绝大部分集中于单一类型的执行主体：依托高校、由首席研究员主导的研究团队。许多联邦项目仍围绕线性模型构建，默认基础研究在学术界开展、应用开发在工业界推进。学术激励机制往往对跨机构合作持否定态度而非予以奖励。即便科研格局不断发生变革，各机构也几乎没有来自外部的改革压力，导致相关流程数十年来基本保持不变。

在学术界内部，有据可查的低效率加剧了这些结构性问题。随着时间推移，研究人员面临的行政负担不断加重；一项研究发现，研究人员将近一半的联邦资助研究时间花在文书工作上，而非研究或教学上。<sup>17</sup> 大学还向研究人员收取高额间接费用，这笔资金既用于合法的共享基础设施建设，也用于不断膨胀的行政冗余开支。美国国立卫生研究院（NIH）资助机构的有效间接成本率平均超过 40%，<sup>18</sup> 而这些机构往往也接受私人资助方 10% 至 15% 的间接费用。<sup>19</sup>

我们联邦拨款机构所蕴含的假设，以及它们主要服务的大学内部日益蔓延的低效性，二者相互强化。尽管研究人员自身认识到革新的必要性，但几乎没有任何政府部门有足够的意愿和授权去推行变革性的改革。

## 科学发展的迫切时刻

在全球舞台上，美国不再是科技领域无可争议的独大领导者。美国正面临将榜首位置拱手让给竞争对手的风险，这些对手能更快更新科研资助模式、保持更高的机构灵活性，还能在本国科研体系的不同部门间建立更紧密的联系。

过去二十年来，中国的研发支出占美国研发支出的比例从微不足道的水平飙升，按部分指标的购买力调整后，已与美国持平（图2）。即便是在冷战时期，美国也未曾面临过这样的局面，当时苏联的经济规模明显小于美国。除了研发支出的绝对规模外，中国政府还将科研能力视为全球竞争的核心支柱，将决策层级提升至最高层面，并在各行业间采取高度整合的合作模式。这种全民参与式的举措使中国能够集中资源投入基础科学研究，在关乎国家核心利益的技术领域快速取得进展，并推动其创新流程的完善，而在这一过程中，既得利益群体曾对变革持抵制态度。

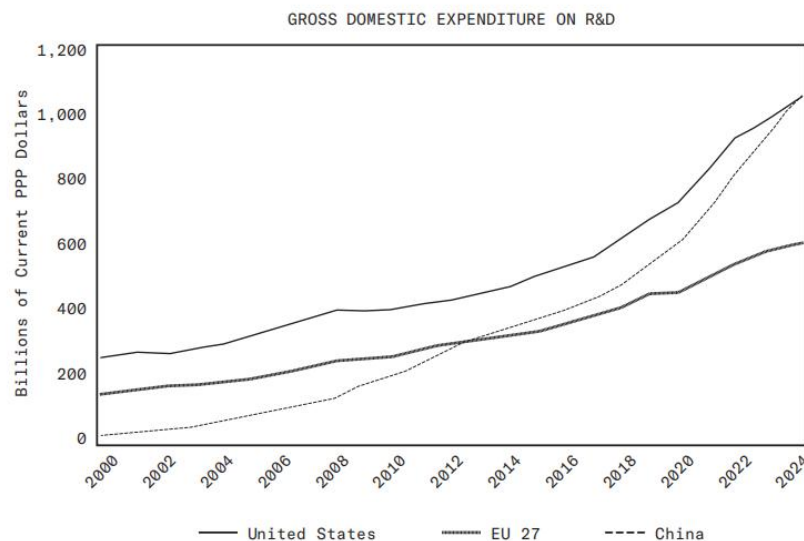


图2：美国首次在购买力平价（PPP）调整后的研发支出方面面临同等水平的竞争者。

中国并非唯一正在改革科研体系的国家。例如，英国已重组其资助体系以解决内部效率问题，包括成立元科学部门来收集数据并开发新型资助机制。挪威则基于组合模式组建国家研究理事会，其董事会在学科组合之外，还会根据政府长期研究计划中的主题优先级分配资助资金。全球各地不断涌现新的想法，而在凭借我们自身充满活力的慈善界、元科学界和学术圈，作为全球首屈一指的科学强国，美国也肩负着审视自身该如何加速科学发展进程的责任。

## 重拾领导力

除了强化科学发展之外，我们也有责任确保其带来的后续益处首先惠及美国民众。几十年来，美国一直资助大批外国学生，并在宽松的安全标准下容忍技术外流。截至 2024 年，在计算机科学和数学专业且已确定毕业后计划的美国博士毕业生中，临时签证持有者约占一半。<sup>22</sup>这种对外国人才的依赖将美国学生边缘化，而这一庞大的国内人才库至今仍未得到本国政府的足够支持。与此同时，我们耗费巨额成本培养顶尖的全球人才，结果却因外国政府招募这些人才去打造自身科技产业而让这一努力付诸东流。因此，数以万计的美国人对于用纳税人的资金投资本国理工科人才储备的意愿已大幅下降。

美国过度依赖外国留学生也带来了安全挑战，而我们的教育机构却缺乏应对这一挑战的能力。尽管特朗普政府初期采取的总统行动使我们

的研发生态系统如今受到的利用风险有所降低，但仍迫切需要采取全面的措施来保障研究安全。<sup>23</sup> 我们的竞争对手已学会利用开放与封闭科学体系之间的巨大不对称性，将我们的教育体系作为进入创新基地的切入点，同时还在打造国内项目，破坏全球科学规范。

美国以开放的态度开展研究、自由地发表成果、透明地分享方法。这些价值观是科学进步的核心。然而，按自身意愿分享信息与被他人利用之间存在关键区别；科学研究中未被分享的部分往往是其比较优势所在。而这些正是我们的竞争对手最竭力想要获取的。他们利用在我国大学接受教育的人力资本，从我们的论文中获取数据，却限制他人接触其自身信息，还在工厂车间里将我们实验室率先取得的突破性成果规模化。

长期以来，美国一直认为，仅凭美国本土的发现就能确立技术领先地位，而不管这些发现随后是转化为本国的产品、能力和产业，还是转化为国外的产品、能力和产业。这种毫无防备的开放所带来的后果，正实验室和市场的情况也同样严峻。美国率先研发出多项极紫外（EUV）光刻技术的关键支撑技术<sup>24</sup>，然而如今全球唯一能生产极紫外光刻机的公司总部却位于欧洲。美国开创了锂离子电池技术，但亚洲企业却主导着全球供应链，进而也掌控着电池化学研究领域。美国研发出的先进制造技术，如今却成为海外工厂的技术基础。如果只进行基础发现却不发展国内制造业，美国就只能承担研发成本，而竞争对手则能改进生产工艺，攫取经济、战略层面的收益以及知识回报。

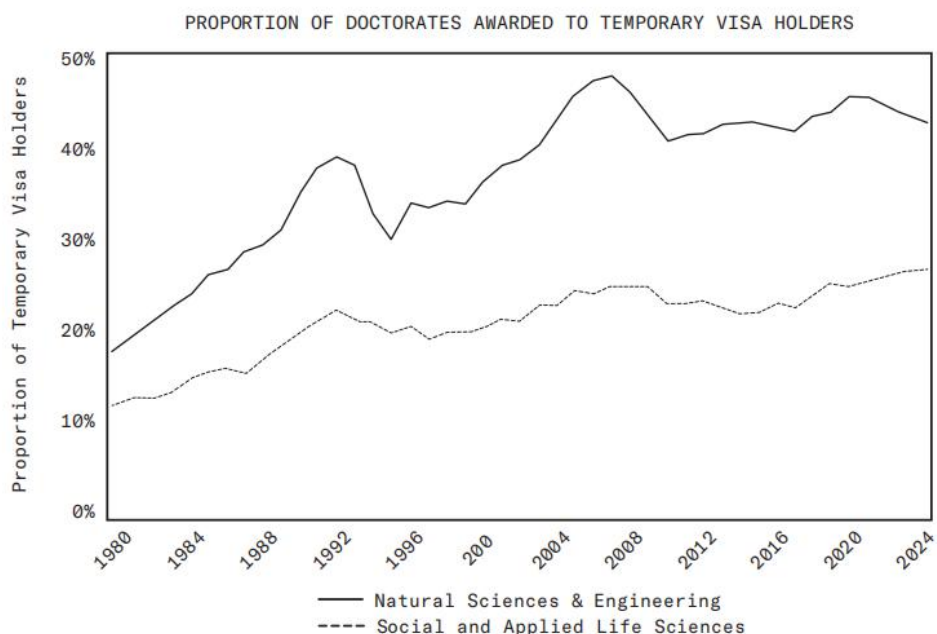


图3：过去四十年间，授予具有明确毕业后就业承诺的临时签证持有者的美国博士学位占比已翻倍：自然科学与工程领域从约20%升至40%，社会、行为及健康科学领域则从10%升至20%。

## 总统的任务指令

随着竞争对手效仿并改造我们的科学技术体系，要持续保持领先地位，我们就必须不断创新。在世界不断变化时停滞不前，绝非稳定之举。曼哈顿计划之所以能取得成功，不仅因为拥有杰出的物理学家，更因为我们建立了全新的机构，能够协调数千人协同攻关基础科学难题，攻克研制原子弹所需的庞大工程挑战。阿波罗计划之所以能登上月球，是因为美国国家航空航天局能够以任何大学或公司都无法企及的方式调配资源与人才。这两者不仅代表着新的资金投入，更从根本上为科研工作的组织形式带来了全新变革。

我们必须正视这样一个现实：工业领域的创新活动正以前所未有的

规模展开，国家科研体系中联邦、高校和企业三大支柱之间的工作平衡与协作模式也已发生转变。我们也必须承认，发现与技术进步的线性模式已不再成立。基础研究、常规专业科研与商业化之间的相互作用，远比此前设想的更为复杂。与此同时，美国创新体系所处的环境已走向全球化，因此也变得极易受到冲击；我们研发的技术依托于遍布全球的产业链，且面临着势均力敌的竞争对手的窃取风险。最终，支撑科学研究与共享的技术环境已因互联网和当下的信息技术发生了根本性变革，而人工智能的兴起正让这一变革持续加速。

纵观我们的历史，每当时代需要，美国人都会对国家制度进行重塑、改革与重建。每一代美国科学家、发明家和开拓者都抓住机遇，拓展知识的边界。值此美国建国 250 周年之际，我们必须铭记，我们的共和国是以勇气、创新和探索为核心特质的。

正如科学研究要求我们在证据与理论相悖时修正理论一样，科学发展放缓的迹象以及来自国外的激烈竞争，应当促使我们尝试新的体系、新的模式，以及新的科研资金投入、研究开展和成果转化方式。万尼瓦尔·布什的开拓精神呼吁我们去做他如今一定会做的事：为我们这个时代重新构想整个科研事业。

## 第二章重振美国科技企业

### 科学机器正陷入停滞

近一个世纪以来，美国最具决定性的优势之一，就是能够将新的发现转化为成果，造福美国民众。这一优势源于我们战后创新生态系统的强大：我们的大学、国家实验室，以及联邦资金与科研之间的共生关系。

正如布什在 1945 年所写道：

*一个国家如果其基础科学新知识依赖他国获取，那么无论其机械技术水平如何，其工业发展都会进展缓慢，并且在世界贸易中的竞争地位也会较为薄弱<sup>26</sup>。*

然而，我们如今的科学主导地位正面临风险。正如第一章所述，尽管我们在基础科学领域取得突破的能力仍令世界艳羡，但竞争对手正不断缩小差距。虽然联邦政府资助的科学研究继续为纳税人带来高额投资回报，但越来越多的研究表明，在众多领域，我们的科研人员正与一个日益僵化的体系抗衡，这一体系长期以来推高了科学研究取得进展的成本。<sup>27</sup>

尽管自 20 世纪 90 年代以来生物医学研究的资金大幅增加，但重大突破的速度似乎有所放缓，药物审批陷入停滞，而受日益加重的负担拖累，这一领域的生产力也出现了下滑。<sup>28</sup> 如今人们常提及“埃罗姆定律”

（反向的摩尔定律），用以描述每投入 10 亿美元研发经费所获批的新药数量这一可预见的下降趋势。自 1950 年以来，以每 10 亿美元研发经费获批的新药数量为衡量标准，制药业的研发效率经通胀调整后下降了约 80 倍，大约每 9 年就减半。<sup>29</sup> 此外，尽管美国国立卫生研究院（NIH）的预算自 20 世纪 90 年代以来已增加了一倍多，但我们并未看到突破性疗法、每美元投入的引用影响力或科学生产力均按比例增长<sup>30</sup>。

作为资助方和机构建设者，联邦政府在为美国科学家打造能够开展最佳研究工作的环境方面已经落后。有证据表明，在许多领域，维持以往进步速度所需的投入都大幅增加。一项著名研究表明，要维持摩尔定律所描述的晶体管密度的历史增长速度，需要的科研人员数量大幅增加。自 20 世纪 70 年代初以来，使晶体管密度翻倍所需的研究人员数量增长了超过 18 倍，这意味着“创意生产力”每年下降 7%。这一模式在农业和医学领域同样适用：在农业领域，以不同指标计算，自 1969 年以来研究投入增长了 3 至 25 倍，但产量增长基本持平；在医学领域，每项临床试验“挽救的生命年数”在 20 世纪 80 年代中期达到峰值，随后大幅下降<sup>31</sup>。

诚然，成熟科学领域的发展放缓或许不可避免。有人可能会认为，一旦众所周知的唾手可得的成果被攻克，研究进展的速度自然会放缓。这种放缓甚至可以被视为成功的证明。然而，这一观点在近代史上已被反复证明是错误的。而且，人们本应期待新的信息共享机制与科学知识

凝练方式，成为推动创新的反向力量。

一个科学领域看似停滞不前，却因一项新发现和科研机构的变革而迎来迅猛发展的模式，已经反复上演了无数次。事实上，这些间断平衡是科学发展的核心脉络。马克斯·普朗克曾有一段广为人知的经历：他的教授告诉他，物理学已几乎发展至与几何学等成熟学科相当的水平，然而普朗克本人在量子力学领域的发现，却彻底重塑了我们对物理世界的认知。19世纪末，许多医生认为自己的学科已臻于完善，有人甚至写道：“手术刀开拓的新领域，不可能永远有新的疆土可征服。”<sup>32</sup>但很快，医学教育的同步变革与研究型医院的兴起，为人们对疾病形成更全面的认知，也为我们如今熟知的现代医学奠定了制度基础<sup>33</sup>。

从当下的视角看，这棵树总是光秃秃的；但果实其实从未枯竭。我们只是缺少采摘它们的工具罢了。通过采用新的社会和物质技术，我们能够再次加快探索的步伐。与我们的前辈一样，我们有责任构想能够探索这片无尽前沿的新机器。

## 因日益增多的阻力而放缓

我们的第一步是消除那些阻碍我们最杰出的人才去追求最有可能带来变革性突破的想法的各种阻碍。试想一位年轻科学家，她为联邦政府资助的研究提出了一项颇具前景的提案，而在如今的机构体系中，她必须历经数十年累积下来的官僚体制层层关卡，才能申请到研究支持。

她花两到四个月起草提案，为需要资助的同一项目整理初步数据，并完成大学内部的审核流程。如果她在 2 月向美国国立卫生研究院(NIH)提交申请，能在年底前得知申请结果就算幸运了。某些资助项目的准备时间甚至长达 20 个月。<sup>34</sup>这几乎和波音 747 “巨型喷气式客机”从设计绘图到投入量产所用的时间一样长<sup>35</sup>。

如果她获得这笔拨款，将面临大量文书工作。从 1991 年到 2025 年 1 月，联邦政府对研究拨款新增了至少 270 项要求，这一速度远超为研究人员减轻行政负担所做的努力。<sup>36</sup>在大型机构，联邦协商的间接成本费率如今已达到直接研究费用的 50%至 60%，这位科学家在撰写申请时必须将这一数字牢记在心。<sup>37</sup>尽管实际费率通常接近 40%，但这仍是对研究预算的一笔沉重负担，直接影响到她的申请诉求。其中一部分用于支付她日常使用的合理基础设施费用，但大部分资金则用于资助其所在大学行政部门的扩张，这一扩张速度已超过研究本身的增长。

资深研究员可将文书工作委派给博士后研究人员，但我们这位科学家管理着小型实验室，无人可委派。她撰写资助申请所耗费的时间，本应用于实验或指导学生。这是一种对创新的隐形征税，虽未体现在联邦预算中，却让国家因错失诸多突破性成果而付出沉重代价。这些负担还形成了一种反常的激励机制，让擅长科研管理的科学家超越了那些科研表现出色的同行。这种压力对美国最需要的科学家们来说，尤为沉重。

## 在位税

学术之路漫长且充满挑战，能获得稳定职位的人寥寥无几。我们应鼓励学术生涯各个阶段的青年科研人员，从本科实验室助理到初任教职人员，去追求宏大且富有创意的想法。我们应支持并赋能那些坚持投身研究的科研人员从职业生涯一开始就专注于突破性研究。但数据表明我们并未做到这一点。1980年至2008年间，美国国立卫生研究院（NIH）首席研究员的平均年龄从39岁升至51岁（图4），而新任首席研究员的平均年龄也从36岁增至42岁，这一数值超过了同期相关领域诺贝尔奖获奖成果的平均产出年龄。<sup>38</sup>这些模式拉长了反馈循环，使得科研人员在漫长的学徒期内，职业发展偏向于风险更低、渐进式的项目。我们的青年科研人员已然目睹了科研队伍的这一逐渐老龄化趋势，并很可能会据此调整自身的职业抱负。

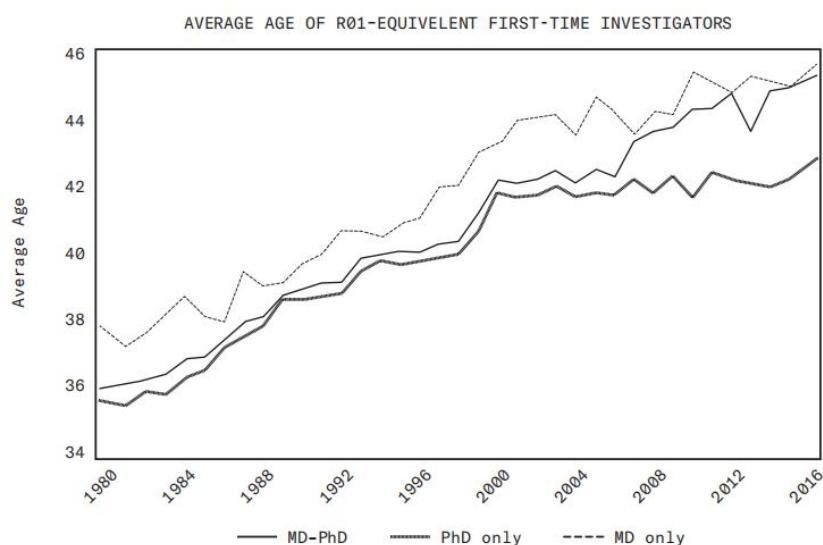


图4：过去四十年间，首次参与美国国立卫生研究院（NIH）研究项目的科研人员平均年龄持续上升，从1980年的35岁左右逐步增至目前的40岁出头，这一趋势在所有学历类型中均一致存在。

我们的科学家或许会认可，这些更长的训练周期反映了专业化程度的提升，但这种在位者动态也抑制了前沿领域的人员流动。普朗克那句著名的（被误引的）名言“科学的进步，一次只需要一场葬礼”就概括了这一效应，且该现象已有充分的文献记载。<sup>40</sup>研究表明，当生物医学领域的顶尖科学家意外离世时，外部研究者的贡献会涌入该科学家所在团队非正式主导的领域，而这些外部研究者的论文随后被高引的可能性也会更高。<sup>41</sup>在系统层面，研究人员发现，随着学科领域规模扩大，研究注意力会固化在固定的经典文献上。新论文更难取代核心观点，甚至是被高引用的观点，往往也是集中爆发式地获得引用，而非通过持续积累获得<sup>42</sup>。

## 被削弱的精英制度

我们这位崭露头角的科学家，还因功绩原则的变质而愈发沮丧。这一原则曾让美国的科研成果享誉全球、令各国艳羡。美国国家科学基金会（NSF）最初提出“更广泛影响”标准，本是为了确保纳税人资金惠及社会的合理举措，如今却演变成对评选流程的全面扭曲，让顶尖研究人员的发展空间愈发受限。2021至2024年间，NSF新增资助中聚焦多元化、公平性与包容性相关举措的占比，从不足百分之一飙升至四分之一以上。<sup>43</sup>这位科学家从曾共事的首席研究员那里摸清了新规则，不禁想给原本出色的技术提案披上意识形态的外衣，才能通过评审。直到不

久前，美国国家航空航天局（NASA）还要求研究提案须包含推进“包容性目标”的计划，且评审小组中半数成员须为“多元化、公平性与包容性专业人士”。<sup>44</sup>美国科学界的权威机构此前已将政治置于功绩和表现之上。20 世纪 20 年代，顶尖大学实施了限制犹太学生入学的配额制度。随着犹太学生占比从 6% 升至 22%，哈佛校长曾担忧存在“犹太问题”。这些手段如今看来依旧熟悉：以“品格”和“领导力”这类主观标准作为依据，通过多样性要求从犹太学生较少的地区招生，以及采用“整体化”评估来掩盖决策的实际依据。这些配额制度持续了数十年，将美国科学界部分最具天赋的人才拒之门外<sup>45</sup>。

我们应当从这段历史中吸取教训，而非重蹈覆辙。当符合条件的候选人因与自身科研能力无关的原因被忽视，当评判他们的标准是其身份而非其观点时，我们就损害了进步、发现的事业以及美国的科研竞争力。

## 激励机制失衡

即便这位雄心勃勃的年轻科学家成功闯过层层选拔关卡，她进入的研究院所的激励机制也与良好的科研行为严重相悖。观察资深同行后，这位科学家意识到，冒险挑战既定范式可能会危及她取得成果并获得终身教职的能力；然而等到她获得终身教职时，她最具创造力的岁月已经过去了很大一部分。她还注意到，终身教职与晋升制度似乎更看重数量而非质量。研究人员将把研究成果拆分成最小可发表单元的做法称为

“萨拉米切片法”，这种做法往往比雄心勃勃地开展变革性研究更能获得回报。

我们的科学家知道，存在一种更好的可行之法。私营部门实验室和初创企业通常会赋予年轻研究人员巨大的责任，让他们有机会改变世界。研究表明，当研究人员获得长期支持且能容忍早期失败时，他们的研究项目组合中既会有更多重大突破，也会出现更多失败尝试，这正是真正探索性研究的特征。<sup>46</sup>但与项目绑定、短周期的资助项目在联邦资助体系中占据主导地位，这位科学家感觉自己被迫转向更安全、更“易获资助”的研究领域。这些激励机制也能解释，为何如今她的同行往往要到四十多岁才能实现职业独立，而非像上一代人那样在三十岁出头便达成这一目标。

出版行业的生态进一步放大了这些问题。青年科学家很快就会发现，顶刊发表的所有文章都存在一种特定的叙事模式。元研究已证实，论文和专利的创新性出现了结构性下降，与过去几十年相比，它们的颠覆性更弱，也更难引领一个领域的发展方向。科学家们往往回避阴性结果，然而失败的实验往往比成功的实验更能带来启发。竞争环境进一步加剧了这种“阳性结果偏好”，挤压了那些缺乏清晰叙事、严谨的阴性发现研究以及工具开发的生存空间。由于该体系以论文数量做为报酬依据，它对数据集、开源代码、共享工程基础设施等公共品的投入严重不足。如今技术前沿领域所需的团队协作研究，被能带来个人学术声誉的研究

取代，最终走向消亡。

## 可复现性危机

正如众多美国科学界的领袖所一致认同的那样，科研界必须学会重视并激励可重复性研究，同时要求其成员对科学研究过程中的失误承担责任。

可复现性危机在社会科学领域尤为突出，它已对后续研究及公众信心造成损害。在一项试图复现 100 项心理学研究的调查中，成功复现的不足 40 项。<sup>48</sup> 这一挑战也波及其他领域。在阿尔茨海默病研究领域，2009 年一篇备受关注的论文发表在顶级期刊上的论文为治疗该疾病指明了一条颇具前景的路径。<sup>49</sup> 到 2012 年，其他研究人员证实了该研究结果无法复现，赞助该研究的制药公司也通过内部审查，基于其研究结论终止了药物研发。<sup>50</sup> 然而这篇论文的引用量超过 800 次，在接下来的十年里误导了研究重点的确定和联邦资金的分配。<sup>51</sup> 该论文的第一作者后来出任大学校长，而这篇论文最终在发表 15 年后才被撤稿，撤稿前不久，第一作者因其实验室存在数据操纵的广泛调查而辞职。<sup>52</sup> 科学审查流程最终发挥了作用，但为时已晚。

优秀的科学家深知知识具有概率性，证据是逐步积累的，而不确定性是其固有属性。但学术体系却迫使研究人员以确定的、非此即彼的形式呈现研究成果。期刊编辑追求清晰的叙事逻辑，大学新闻办公室需要

亮眼的标题。最终，在争夺关注的竞争中，细微的差别都被舍弃了。

这一失败已波及政治决策领域。除了一些值得关注但仍未得到足够认可的例外情况，新冠疫情期间的科学界主流未能认识到，科学只能描述世界的现状，而非应然的世界；它虽能为政策制定者提供参考，却无法决定最优政策，也无法确定应当做出的权衡取舍。关于关闭学校的科学共识，暴露出其在应对不确定性或整合跨专业知识方面存在严重能力不足。现有最充分的证据表明，儿童既未面临高感染风险，也不是主要的传播媒介。相反，远程教学和隔离带来的发展成本是完全可以预见的。然而，科学界官方采取了一种“团结一致、拒绝分歧”的应对方式，更倾向于盲目的共识，而非基于充分了解的不同意见。科学共识没有对自身的研究成果进行核验，没有向外界传达自身结论的不确定性局限，也没有对自身的假设保持怀疑态度。

## 缺乏问责制

即便我们的每一位科学家仍在开展改变世界的工作，创造拯救美国生命、保卫国土的奇迹，但这些挑战也反映出，在将科学事业与公共利益相绑定的问责链条上，存在系统性的断裂。

一边反复强调科学必须“独立”于政治，学术界的部分领域却对政府资金高度依赖。但正如布什所理解的，联邦对科学的支持必须在政治上负责。问责并不意味着规定研究议程的执行方式，也不

背离长期以来作为美国繁荣之源的基础研究。恰恰相反，这意味着要确保这一体系服务于作为其命脉的研究人员，而非围绕他们形成的既得利益集团。只有国家研究体系中那些直接对政治进程做出回应的部分，才能在众多潜在研究方向中确定优先项，为最能体现国家优先事项的方向提供资金，并在科学进程出现问题时进行监督。在一个由法律和公民自治的国家里，由人民选举产生的联邦政府应有权决定如何基于公共利益分配公共资源。

在这一框架内，联邦资助的科学家的独立职责是设计并实施研究与实验项目，以实现这些目标。一套合理且问责到位的体系，应当保障他们开展这项工作的自由。

“科学自主性”的提出初衷是让研究人员免受外部政治干预，但如今这一概念却常常被颠倒使用。自主性，乃至美国的思想自由文化，仍是我们最宝贵的科学财富之一，但它却被别有用心地用作逃避责任的挡箭牌。科学机构既不愿主动自我监管，甚至还会进行自身的政治干预，这往往牺牲了我们最杰出、最具活力的科研人才。那些获得科研资助的科学家，往往同时也是分配资助的评审人员，这种做法强化了一种共识，让既有的偏见得以延续。尤其是联邦资助机构，

缺乏私营部门所具备的反馈机制。在风险投资或慈善领域，错误的判断会受到市场的快速惩戒，失败的投资会导致机构破产。而在联邦体系中，若没有刻意的干预，拒绝一项突破性研究，或是资助那些毫无创

新的常规研究，都不会受到任何惩罚。

## 更优的前进之路

要让联邦支持的科学研究重获公信力，一个必要步骤是加强对科学资助的监督，通过审慎且有原则的资金分配，确保研究活动符合美国民众的最大利益。

我们的联邦机构每年分配约 2000 亿美元的研发资金。然而，我们没有一个系统性框架来确定这些资金能在何处带来最大的科学回报，反而将资金优先交给了那些占据主导地位的既有机构。这一流程所形成的资金组合是偶然形成的，而非经过精心规划。

要切实改善我们的投资组合配置，需要各方协同努力，但这并非不可能。我们已有实例证明，大胆创新的模型能够显著加快进展步伐，为我们的研究人员带来全新的科学机遇。

纵观历史，美国人开创了多种不同于以大学为基础、由首席研究员主导的拨款模式的科学进步支持方式。其中包括 1890 年成立的顶尖生物研究机构冷泉港实验室，以及 1930 年成立的高等研究院，后者为爱因斯坦、诺特、奥本海默和哥德尔等杰出人物提供了探索革命性思想的机会。每一个机构都为新型科学研究提供了立足之地。

另一个著名的例子是 DARPA,它为我们带来了 GPS、互联网、隐形战机和自动驾驶汽车。DARPA 并未将基于共识的评审小组作为主要决

策机制，而是赋予每个项目经理大胆押注技术的权力，并主动组建团队来落实这些计划。美国国会已注意到这一模式，设立了卫生高级研究计划局（ARPA-H）、能源高级研究计划局（ARPA-E）等类似机构，这些机构总计拥有数十亿美元资金，均围绕项目经理模式构建，而非采用传统的同行评审方式。

在过去十年中，越来越多的研究人员、慈善家和政策制定者将科学探究的视角转向科学本身，精准探讨如何减少科学领域的阻碍、协调激励机制、提升问责制，

并为科学事业注入更多活力。这一领域通常被称为元科学或“科学的科学”，目前已开始通过研究美国国防高级研究计划局（DARPA）或高等研究院等模式成功的原因，以及对新方法开展对照实验，来收集切实有效的严谨证据。

慈善机构和联邦机构如今正刻意运用这些研究洞见，并试点新的组织形式，以弥补传统学术体系无法填补的空白。例如，美国国立卫生研究院（NIH）近期设立了一个元科学办公室，而美国国家科学基金会（NSF）新成立的技术、创新与合作总局（TIP）已开始尝试替代传统同行评审的方式，与元科学研究人员合作，设计并实施关于替代资助机制的对照实验<sup>53</sup>。

这些零散的成功案例证实，我们可以系统地重新设计科学研究的组织方式、资金来源与实施路径。要实现这一潜力，我们需要理解科研工

作的本质发生了怎样的变化，以及新的这些变革所要求的制度形式，以及最能支持这些形式的资金机制。

答案不会来自任何单一改革，而来自持续实验构建能力，将科学方法应用于科学事业本身。

## 适应科学性质的变化

19 世纪和 20 世纪见证了一系列制度创新，开启了一个硕果累累的发现时代。早期时代的自然哲学中，一位学者可以自由涉猎我们如今所说的物理、化学和生物学领域，而这种模式已被专业化的学科所取代。每个学科都有自己的院系、期刊和研究人员。这一变革主要于 19 世纪在德国大学率先开启，为科学的职业化奠定了基础<sup>54</sup>。

美国采用了这种探索体系，并赋予其独特的变革。赠地大学让科学教育的机会变得普及，大学专业体系重构了本科阶段的培养模式，而工科大学则聚焦于产业发展。这些创新取得了显著的成功。学科深度与清晰的职业晋升路径相结合，促成了专业分工的形成，也让我们在科学领域占据了领先地位。

然而，支撑我们度过 20 世纪的学科框架，与 21 世纪的科学却格格不入。我们这个时代最重大的问题，比如蛋白质如何折叠并发挥功能、某些疾病如何由神经回路引发，以及我们如何利用聚变能，都不遵循学科部门的界限。

斩获 2024 年诺贝尔化学奖的蛋白质折叠问题并非单一学术领域所能攻克；它既需要深厚的生物化学知识，也离不开人工智能的发展和大规模工程技术的支撑。55 位获奖者中有两位来自企业研究实验室，在那里，团队协作式的科研模式整合了多元专业知识。第三位获奖者的研究最初由美国国家科学基金会（NSF）资助，后续又得到了私人慈善机构的大力支持，最终发展成一个隶属于大学的大型研究中心。<sup>56</sup> 这两项研究成果都依托于数十年的基础设施建设和开放科学实践，比如结构预测关键评估竞赛和蛋白质数据银行，这些成果由超过 6 万名实验人员共同打造，他们无偿分享自己的研究发现<sup>57</sup>。

机构的形态决定了其产出的科学成果的形态。<sup>58</sup> 以首席研究员和轮替的研究生团队为核心的大学实验室，擅长开展好奇心驱动的研究，同时也能培养现有学科中的下一代研究。拥有固定人员和紧密反馈机制的工业研发实验室，适合开展工程项目。<sup>59</sup> 国家实验室以及大规模跨国科学项目也拥有独特的能力，其规模之大，非任何单一主体所能维系。每一种形式都是一个载体，决定了哪些研究能够开展，哪些研究永远不会被尝试。

如今，越来越多的科学问题需要联邦项目组合中尚未大规模存在的研究载体，且这些问题无法催生能直接为企业利润做出贡献的即时成果。<sup>60</sup> 例如，绘制哺乳动物大脑的神经连接图谱，所需的并非按三年周期推进的研究人员，而是一支具备快速扩容能力且可从行业招聘人才的稳定

工程团队。这一研究需要工业级别的数据收集与分析，而在传统学术资助的碎片化体系下，这一要求难以实现。该研究产出的是一项公共产品，其带来的益处无法被单一生物技术公司完全独占。

这一模式也适用于其他关键问题。实现实用的核聚变能源，取决于等离子体物理、材料科学、先进制造和系统工程领域的进展，同时也依赖于通过风险投资实现规模化的能力。要充分理解认知机制以攻克精神疾病，需要借助新型神经记录探针、分析神经活动模式的机器学习套件，以及能够实施精准闭环治疗干预的系统。因此，创造新的制度形式，在推动新型科研项目落地方面发挥着核心作用。

美国国立卫生研究院（NIH）的标准 R01 研究经费是美国生物医学研究的主力，该经费通常每年为一个预先指定的项目提供 25 万美元的资助。它擅长支持小型团队针对易解决的问题开展以假说为导向的科学研究。但过度依赖这一资助模式会产生系统性的认知盲区。需要数千万美元资金、由数十人组成团队开展的项目，超出了任何单一研究人员所能组建的团队范畴。学术研究的项目范畴还进一步受到劳动力供给的影响。聘用博士后和研究生仍是培养下一代科学家的有效方式，但这种方式并不适合执行需要连续性、专业化和长期机构积淀的大型任务导向型项目。频繁的人员流动会割裂研究工作并拖慢进展速度。正如科研资助机构所指出的，没有任何一家科技公司会将核心研发工作托付给主要由临时受训人员组成的团队，然而这正是学术研究中的标准模式。<sup>61</sup> 一种

更平衡的做法是为科研人员、工程师和技术人员拓展稳定、薪酬优厚的职业发展路径，这些岗位对于机构持续发展的能力至关重要。

## 新型参与主体

在单个研究者的碎片化研究工作与粒子对撞机等数十亿美元的大型项目之间，存在着一个规模庞大的中等规模科研领域。这类科研问题需要数千万美元的资金、十到百人组成的协作团队，以及长达五年的时间周期。其研究范围既包括研发帮助帕金森病患者的微创脑机接口，也涵盖搭建解码免疫记忆的新型技术平台。这类项目通常对基础设施依赖度高、工程属性强且跨学科特征明显，在以首席研究员为主导的学术实验室中开展难度极大，在工业界也鲜有人涉足。制药企业更有强烈动力去攻克下一个药物突破，而非研发解码基础生物学的平台技术<sup>62</sup>。

ARPA 模型之所以被证明如此有效，是因为它恰好填补了中型技术发展领域的这一空白。通过提供数千万美元的拨款，这些机构可以组建新的研究团队，帮助初创企业应对宏大的工程挑战。从机器人卫星维护到配备人工智能的战斗机。

这种规模的资金在培育新技术能力方面成效显著，也可扩展至基础科学领域。在基础科学领域，政府并非仅仅采购武器系统，而是为了国家利益推动科学进步。

在私人资助方中，一类新型的聚焦型研究组织（或称“FROs”）已

开始填补这一空白。这类组织是有时间限制的非营利性研究初创机构，旨在攻克特定的科学瓶颈。它们聘请专业工程师和资深科研人员，积累机构知识储备，而非仅让研究生在培训流程中走马观花。它们产出开放数据集、研究平台和工具等公共产品，而非商业初创公司所追求的专有知识产权。与国家实验室旨在长期存续不同，FRO 是为完成特定使命而设立的，一旦目标达成便会解散。这些机构能够设定长期目标，瞄准具体瓶颈并为科研人员提供全额薪资支持，让科研人员摆脱无休止的基金申请工作。<sup>63</sup> 这种限时机制也让完成项目的科学家有机会重返学术界，或是创办初创公司并获取风险投资。

| 活动                                                               | 大学 | 企业实验室 | 联邦实验室 | 新型机构     |
|------------------------------------------------------------------|----|-------|-------|----------|
| 由好奇心驱动、由研究者主导的研究                                                 | +  | ×     | ≠     | Bydesign |
| 需要大规模工程支持的密集型科学                                                  | ×  | ≠     | ≠     | Bydesign |
| 长期规划的平台与工具开发                                                     | ×  | ≠     | +     | Bydesign |
| 公共产品数据与基础设施建设                                                    | ≠  | ×     | ≠     | Bydesign |
| 以使命为导向、致力于公共利益的科学研究                                              | ≠  | ×     | ≠     | Bydesign |
| 专有产品开发                                                           | ×  | +     | ×     | Bydesign |
| 劳动力培训与学徒制                                                        | +  | ≠     | ×     | Bydesign |
| <b>Legend:</b> +Well-Suited    ≠Partially-Suited    ×Less-Suited |    |       |       |          |

表 1：现有的制度形式，如大学、企业实验室和联邦实验室，各自都有其相对优势。未来的组织模式应旨在填补现有机构未能覆盖的科学空白。

FRO 模型为新型科学研究敞开了大门，也为研究人员提供了此前几

乎不敢涉足的思路，因为一直以来都没有实现这些思路的途径。学术激励机制会筛选掉团队协作式的执行模式；商业激励机制会筛选掉公共产品类研究；国家实验室则会筛选掉灵活招聘、快速推进的应变能力。**FRO**开辟了一片全新领域，这里的研究问题规模超出了联邦标准拨款的覆盖范围，商业价值不足以吸引风险投资，同时其高风险性与快速发展的特性也不适合政府机构来承接。

但 **FRO** 只是更广泛设计空间中的一个点（表 1）。正如冷泉港实验室和高等研究院的例子所表明的，还有许多其他可行的方法。有一项提案对一系列新型机构结构进行了分类，包括为基础科学研究提供最低限制约束的机构、针对特定瓶颈开展工作的 **FRO** 式团队，以及专注于发掘和种子基金支持非共识性想法的特定模式。<sup>64</sup> 还有学者探讨了共同勾勒出这一设计空间的各类变量：项目预期见效的时间周期、收益策略、知识产权政策、团队规模，以及利用明确的市场信号推动问题筛选等<sup>65</sup>。

只押注于现有的融资模式，就好比组建一支全由步兵构成的军队，虽适用于一种作战方式，却无法应对其他类型的战争。

幸运的是，有多种方法可以扩大联邦资助的范围，以支持这些创新。美国国立卫生研究院（NIH）和美国国家科学基金会（NSF）拥有运营技术授权（OTA），这使它们能够绕过传统的资助限制。我们的国家实验室也可以开辟路径，组建由联邦支持的灵活科研团队，开展限时任务。近期，美国国家科学基金会的技术、创新与合作伙伴关系理事会（TIP）

启动了 X 实验室项目，这是首个专门为资助传统学术机构之外的独立研究机构而设计的联邦项目。X 实验室将为全职的研究人员、科学家和工程师团队提供运营自主权，并根据里程碑节点提供资金，助力他们实现技术突破。这些团队不仅将产出论文、数据集等传统研究成果，还将掌握开发革命性平台技术所需的资源和资金储备，从而开辟新的科学研究领域。

美国国家科学基金会的 X 实验室为联邦科学资助的未来形态提供了概念验证。再以哺乳动物大脑图谱绘制为例：这是神经科学领域的重大挑战之一。由联邦政府支持的相关倡议可以依托广泛的公私合作关系，利用美国蓬勃发展的慈善领域提供的配套拨款，集结学术界最优秀的研究人员，打造能够规模化绘制连接组图谱的

“登月级”基础设施，就如同人类基因组计划让基因测序实现商业化一样。一个假设中的 X 实验室可助力绘制多种小型哺乳动物的奖赏与动机神经回路，生成独一无二的数据集。在医学领域，这些神经回路图谱将为绘制与抑郁症、成瘾症和自闭症相关的神经回路提供方法；在人工智能领域，它们将为构建更稳健的系统提供生物学参考架构，这些架构源自能抑制冲动、并使短期行为与长期目标相协调的自然结构<sup>66</sup>。

## 全新机制

改革后的和新建的科研机构还应配套更丰富多样的优化遴选机制，

以此确定哪些主体和何种类型的机构能够获得科研资金。正如某些机构更适合开展特定类型的科研项目一样，不同的遴选流程在识别和激励有潜力的人才与科研项目方面，也存在优劣之分。

2007 年诺贝尔奖获奖的机制设计这一经济学领域，为理解规则如何塑造行为与结果提供了理论基础。机制设计可以被理解为提出与传统经济学相反的问题：给定一个期望的结果，什么样的激励机制和制度能够实现它？该领域已经改变了我们分配频谱牌照、将住院医师与医院匹配，以及为互联网广告定价的方式。科学资助领域同样是应用该领域工具的广阔天地。

从本质上来说，我们面临的挑战在于，科学研究包含资助方无法直接观察的私人信息。同行评审成为解决这一信息问题的一种方案，尽管同行评审在甄别优质与劣质科研方面有着悠久且久经考验的历史，但它难以区分卓越的科研成果与仅仅是优秀的科研成果。此外，同行评审的可靠性较低，多位评审专家对同一份美国国立卫生研究院（NIH）提案进行评审时，往往会就该科研成果的可信度得出相互矛盾的结论。<sup>67</sup> 随着提案数量的增加，这些结构性缺陷会愈发严重。当一个资助机构只能为十分之一的提案提供资助时，杂音便开始盖过信号。共识驱动的评审小组往往会资助争议最小的想法，而非最具潜力的方案。

尽管这些问题已得到广泛认可，但改革进程却十分缓慢，原因在于激励机制存在不对称性。一次失败的试验会引来国会的审查，而维持平

庸的现状则几乎无人关注。因此，评审专家组成了一个便捷的责任保护伞，让决策可以归咎于“科学界”，而非任何可能被追责的个人。这个本应用来对冲风险的机制，最终却扼杀了突破性科学发展所必需的冒险精神。

但近期实验的证据表明，对资助机制进行调整能够在效率和科研产出两方面均带来显著提升。

## 更优的资助拨款方式

一种方法是改进同行评审的运作方式。在丹麦，一家私人基金会试验了一种“黄金通行证”制度，允许个别评审员为缺乏共识支持的非常规提案背书。<sup>68</sup>这种模式有助于挽救那些可能被同事否决的高风险突破性研究，同时依托双盲流程剔除职业背景因素，打破精英主义，为年轻或知名度较低的研究人员创造公平的竞争环境。<sup>69</sup>该方法还往往能吸引更多高质量的评审员，这些评审员拥有自主进行大胆科学决策的权力。

美国国家科学基金会（NSF）已开始在其技术创新计划局（TIP）旗下试点“黄金通行证”项目，且美国联邦外部资金资助机构中有更广泛采用该项目的空间<sup>70</sup>。

另一种方法是改变我们的资助方向，优先支持研究者而非项目。霍华德·休斯医学研究所（HHMI）利用慈善资金，在七年时间里提供了约1000万美元的长期支持，报告要求极低，同时容忍早期失败，押注于研

究者而非项目提案。<sup>71</sup> 研究人员将这些受资助者与同样成就斐然的联邦政府资助科学家进行对比后发现，获得更多学术自由的私人资助研究者，发表高影响力论文的速率几乎是同行的两倍，且更有可能探索真正新颖的研究方向。<sup>72</sup>

联邦机构也尝试过类似的方法，但这类方法在当前项目组合中占比仍过低。美国国立卫生研究院（NTH）专为模仿霍华德·休斯医学研究所（HHMT）项目而设立的主任先锋奖，取得了相当的成果<sup>73</sup>；而美国国家科学基金会（NSF）的职业发展奖（CAREERaward），尽管资助金额较小，也催生了无数突破性成果。这种押注于个人的理念同样可用于扶持青年研究人员。自 1952 年起，美国国家科学基金会研究生研究奖学金计划（NSFGRFP）已为美国部分最具潜力的新生博士生提供了直接资助。尽管在选拔机制的完善以及进一步赋予学生选择大学和首席研究员的

权利方面仍有工作要做，但这一方法已展现出显著的前景。该奖学金提供三年资助，且可在各机构间自由转移，让受助者能够追随学术机遇。成果不言而喻：已有四十多位研究生研究奖学金计划校友成为诺贝尔奖得主<sup>74</sup>。

这些长期限的资助可以与能在较短时间范围内提供灵活性的快速资助相匹配。美国国家科学基金会（NSF）设有绕过外部评审小组的快速决策机制，但这些机制尚未得到充分利用，且常常延误进度。与此同

时，一项由私人资助的美国项目证明，在不对科研质量造成显著影响的前提下，资助决策可在 48 小时内高效做出，而非 6 至 9 个月，申请准备时间也可缩短至 30 分钟，而非数月。<sup>75</sup> 在联邦资助机构中推广这类即时资助模式，既能鼓励科研人员对新颖想法承担更多风险，又能减轻行政负担。

## 奖项挑战

拉动机制是传统资金来源之外另一种强大且未被充分利用的替代方案，它围绕成果而非投入来协调激励机制。

传统的拨款是为付出的努力付费，比如研究人员的时间、设备和物资，无论项目是否成功都会拨付。而拉动式机制则颠覆了这一逻辑，它是为成果付费。

当目标明确但实现路径尚不清晰时，拉动型机制的合理性最为充分。最著名的例子是美国国防高级研究计划局（DARPA）自动驾驶挑战赛，这一赛事催生了整个行业。美国能源部（DOE）与美国高级研究计划局一能源（ARPA-E）也借助类似的奖励授权，推动了储能与电网技术的突破。<sup>76</sup> 相关的机制还有先行市场承诺，该机制可在相关产品问世前，为某一科学或技术能力保障市场需求。

此类方法能够产生巨大的投资杠杆效应。一项由私人资助的亚轨道太空飞行挑战赛提供了 1000 万美元奖金，却引发各参赛团队合计投入

数亿美元的研发资金。

<sup>77</sup> 同样，另一项奖金竞赛的开放架构吸引了非传统背景的解题者去解读无法打开的赫库兰尼姆卷轴，这一壮举最终并非由经验丰富的考古学家完成，而是由三名计算机科学与机器人学专业的学生实现。<sup>78</sup> 尽管这些机制并不适用于开放式、以好奇心为驱动的研究，但它们可成为激励应用导向型研究、推动技术商业化的有力工具。最优的创新组合既需要推动型机制来探索未知领域，也需要拉动型机制来填补已明确的技术缺口。

## 未来构想

这样的例子不胜枚举。其中一些机制已存在于我们的联邦项目组合中，应得到更多运用；另一些则有待进一步试验；还有一些甚至尚未被创造出来。每一种机制都针对同一核心挑战的不同方面展开应对。每一种机制都代表着一种假设，旨在如何激发真实信号、鼓励富有成效的风险承担，并将资源配置到能产生最大回报的领域。

例如，一个新思路是将决策权力下放。这样做可以借助群体智慧来发掘优质科研成果。为寻找有潜力的项目和个人而获得经济奖励的遴选者，能够为资助方筛选出值得资助的科学研究。从更大范围来看，“再资助”模式基于这样一种观察：最有能力发现突破性机遇的人往往缺乏为其提供资金的权力，而拥有权力的人却缺乏发现这些机遇的信息。再

资助模式弥补了这一差距，将资金分配权下放

给那些在共识形成之前就具备特定判断力、能识别出有前景研究成果的研究人员或专家。

现有的中介机构已通过慈善资金履行这一职能。可以通过以下方式扩展这一模式：由联邦机构为基于投资组合的再拨款组织提供资金，或者让各类科学家能够向其所在学术机构之外的任何人发放小额再拨款。

像二次融资这类更具推测性的机制仍处于早期测试阶段<sup>79</sup>。该模式更看重支持的广度而非深度。由众多小额捐助者支持的提案会比由少数大额捐赠者支持的提案获得更多匹配资金。二次融资能体现社区偏好而非守门人偏好，已在开源软件领域展现出应用前景，不过其在科学领域的应用证据仍有待收集。

最终必须提供一系列选项，供行使联邦资金管理权的人员进行选择。现行的选拔机制将决策权集中在过少的人手中，且所采用的机制无法承受其承载的重任。我们正处于赠款资助复兴的开端，联邦政府应当欢迎这种尝试。

## 基于组合的方法

私人资本配置者必须拿出成果，否则就会面临失去投资者的风险。慈善机构需要争夺捐赠者的信任。但当联邦项目官员的资助组合系统性表现不佳时，他们几乎得不到纠正性反馈，而各机构也很少对比不同资

助机制或分配策略的成果。

正如私营部门的投资基金会平衡投资组合并根据工作性质匹配相应机制一样，我们需要转向一种更具针对性的赠款方式。前文列举了多种机制工具：金票机制，能帮助我们跳出虚假共识的陷阱；基于个人的资助模式，将赌注压在研究者而非研究提案上；结果导向型机制，为最终成果而非前期投入付费；以及再授权机制，将决策权力下放给最接近前沿的人。每种机制都适用于特定问题，能在特定制度约束下良好运作，并带来具有特定风险特征的回报。

我们也可以有意识地将各类项目置于探索与利用的权衡关系中。大胆的科学押注能带来巨大回报；过去几十年间最重要的突破，往往都源于对解决实际问题所需的工具与框架的不懈追求。科学并非纯粹的随机漫步；拥有归纳偏性往往大有裨益。这就是巴斯德象限，即我们在第一章中讨论过的应用导向型基础研究领域。但纯粹由好奇心驱动的研究也能为社会带来巨大价值。黎曼对微分几何的抽象研究最终促成了爱因斯坦广义相对论的提出；群论领域最终推动了密码学编码、计算机图形学的发展，也加深了我们对基本粒子物理学的理解。

关键在于区分两种情况：一种是战略方向能够加速进展，另一种则是迷雾太重，只能进行探索性探寻。

因此，有针对性的赠款资助需要精心构建资金组合：兼顾高风险与低风险的投资方向；平衡针对个人、项目和机构的资金支持；并制定明

确的跨领域与能力领域资金分配策略。联邦机构应效仿专业投资机构的方式构建自身资金组合，基于明确的判断坚信最有可能取得突破的领域，同时为那些任何预判都无法预见的意外机遇保留空间。我们的目标是打造一个规模庞大、结构完善的资金组合，确保我们能在长期取得成功。

## 推动持续创新

该项目组合的基础应是每个联邦科学机构内设立一个元科学部门。每个部门应被赋予充分的权力，直接向机构负责人或行政主管汇报工作，以确保跨机构的可见性，并防止被特定项目或利益群体所掌控。每个部门应配备具备科学学习、项目评估和数据分析专业知识的研究人员，同时辅以轮岗项目官员，这些官员能带来赠款实际发放流程的运营知识。

联邦资助机构应培养系统性的差距分析能力，定期审查其资助组合，并推动更具针对性的资助项目分配，而非依赖上一财年的组合分配模式。这一流程既能识别瓶颈，也能找出解决这些瓶颈所需的基础能力。<sup>80</sup> 例如，元科学单位可以召集专家研讨会，维护动态更新的能力差距图谱，也可以与那些已开发出识别变革性研究机会的复杂方法的基金会开展外部合作。美国国防高级研究计划局（DARPA）的海尔迈耶问答准则就体现了这一理念学科，这就要求明确阐明一个项目所针对的空白领域，以及解决这一空白为何至关重要<sup>81</sup>。

这些部门还应被赋予更多权限，不只是为现有工具组合提供建议，

还应在各机构项目中试点新工具。美国国立卫生研究院（NIH）的一个部门可对研究小组是否使用“黄金通行证”进行随机化处理，随后追踪不同研究领域受资助项目的创新性及其被引影响力。美国国家科学基金会（NSF）的一个部门可对比快速资助项目与按标准评审周期推进的项目所取得的成果。美国国防部（DOD）的一个部门可就项目管理者在资助决策中拥有多大自主权开展实验，对比不同分支机构的数据。如果没有开展实验并强制项目办公室参与其中的权限，这些部门最终只会沦为只负责生成报告的合规性运营机构。确保获得这一权限的一种方式是为每个元科学部门划拨一笔预算，可重新分配给参与实验的项目管理者。其研究结果也应对外发布，为科学资助的有效做法构建更广泛的证据基础，并根据研究结果采取行动形成问责要求。英国于 2024 年成立的元科学部门提供了一个早期范例，该部门在成立第一年就发布了关于分布式同行评审、资助随机化部分实施以及评审员判断一致性等方面的报告<sup>82</sup>。所有这些机构层面的试验都必须配备最优秀的员工。

我们能够也必须将项目管理打造成科学界最抢手的职业之一，让有才华的人能够主导整个领域的发展方向。DARPA 的成功并非依赖于某一种单一机制，而是源于聘用了合适的项目管理者，并赋予他们真正的自主权。这首先需要让来自各行各业（包括企业界和慈善界）的人更容易短期进入政府任职，同时提升项目官员的声望和影响力，他们为协调各领域迈向重大突破所做的努力，往往未得到足够认可。我们需要招募

最顶尖的科研人才担任这些职务，然后真正赋予他们资源、自由，以及与攻克最棘手问题的顶尖人才建立联系的机会。

美国通过制度创新打造了现代科研体系，这一体系随后被全球其他国家采纳。我们必须再次率先引领这一变革。

### 第三章确保美国在关键与新兴技术领域的主导地位

#### 我们必须选择技术的未来

几个世纪以前，土地和人口决定了国家实力。工业时代将资本和制造能力列为国家主权与安全的基本构成要素。正如《总统国家安全战略》所明确指出的，技术能力向来能带来优势，而如今更是为所有这些要素的运作设定了规则<sup>83</sup>。

技术领导力助力塑造了现代美国。单靠科学无法造就这种领导力；还需刻意培养工程人才、打造机构能力、夯实工业实力，才能将发现转化为实际能力。我们的物理学家将薛定谔方程转化为终结第二次世界大战的武器，并确立了随后的核秩序。我们的工程师将香农的信息理论转化为承载全球数字通信的协议。我们的科学家将物理学和材料科学的进步转化为全球定位系统卫星，为各大洲的船只、飞机及精确武器提供导航。

科技已成为一个国家经济和军事实力的基础，是其在国际上独立行事的能力，也是其保持独特文化与生活方式的保障。美国的科技领先地位创造了巨大财富，保障了我们的国土安全，并将我国转变为世界其他国家的榜样。这一切都不能被视为理所当然。

技术优势的本质正在发生转变。正如第五章将探讨的，人工智能的

进步拓展了全球的创意生成能力，并将加速科学研究。这些能力将惠及美国的科学家。但这些益处也会被我们的竞争对手获得。随着新的发现工具得到更广泛的应用，仅靠卓越的科研实力所带来的比较优势可能会缩小。因此，我国同样需要加强其转化能力，即将创意转化为现实世界能力的过程。这正是本章的主题。

## 被动模式的失败

美国长期以来一直是全球科学突破最多产的来源。我们必须确保在将这些突破转化为国家实力方面同样具备强大能力，否则我们可能会眼睁睁看着美国科研成果的果实被他国率先收获。

几十年来，美国的科技政策一直基于一个不言而喻的假设：政府只需资助基础研究、扶持充满活力的经济，就可以相信技术实力会随之而来。向大学投入资金、保护知识产权、保持市场开放，那些保障国家安全、造福民众的创新就会如期而至。这就是战后科学秩序的隐性约定，而且在一代人的时间里，这一约定似乎奏效了。

这种自由放任的假设在与已构建起技术优势的对手交锋后便站不住脚了。如今，商业和研究已成为地缘政治的战场，与贸易政策的类比颇具启发意义。数十年来，美国一直认为开放市场会自然带来美国的繁荣，自由贸易则会通过最大化全球效率来惠及各方。然而，单边的开放政策却掏空了美国的工业基础。竞争对手一边利用我们的市场，一边保

护自身市场。贸易带来的收益仅流向了经济领域的一小部分，而整个社区却失去了生计。特朗普总统做出了必要的纠正，他认识到经济安全就是国家安全。

同样的逻辑也适用于科技领域。事实证明，认为仅靠联邦政府的研究投资就能维持美国技术主导地位的想法是天真的。我们为各类发现提供了资金支持，培养了研究人员，还发表了相关论文，但没有确保这些成果的收益归属于我们国家。创意理念以及开发周期中耗费时间和资源的环节，都被转移到国外，最终惠及他国。

美国研究人员发明了平板显示器；亚洲制造商则占据了市场。美国科学家开创了尖端电池技术；生产却转移到了海外。这一模式在数十年间、多个行业中不断重演。其根源在于我们采用了被动的发展模式，导致制造业空心化，而我们的竞争对手则采取了全面战略，刻意模糊公共与私人、民用与军用之间的界限，将任何领域的技术突破都视为国家主导发展的原材料。

## 选择引领

我国的技术发展成果由政策选择所塑造。互联网之所以成为美国的平台，是因为我们将开放性和竞争性融入了其底层架构。1969年我们实现登月壮举，源于国家意志。如今回望，这一成就与人类技术发展历程相比，显得格外突兀。相反，美国核能发展陷入停滞，并非因为技术原

理存在缺陷，而是过去半个世纪的监管决策使得核能建设变得无利可图。

在每种情况下，决定性变量是一系列制度、监管和战略选择，这些选择决定了科学能否转化为能力。竞争可能会促使各国采用人工智能、从基因型到表现型的研究、发展核技术并建造先进战舰，但无法决定它们具体如何推进，甚至无法确定推进的时间。在宽泛的技术发展轨迹下，存在多种未来可能性。问题是美国将为哪一种未来而奋斗<sup>84</sup>。

## 在我们的主场作战

没有任何国家，无论多么强大，都能在所有领域占据主导地位。在某些技术领域，我们必须奋勇向前，将自身优势转化为长期累积的持久胜势；而在另一些领域，我们则需要稳守阵地。我们或许不追求全面主导，但绝不允许对手达成这一目标。在战略重要性较低的领域，我们可以将精力集中在其他方向，确保优势归于合作伙伴，而非对手。

最重要的技术是那些为未来技术搭建平台的技术。掌控合适的基础平台能赋予结构性权力，让主导者制定其他参与者必须遵守的规则与标准。这些优势会不断累积，计算等领域的技术突破会为人工智能、生物技术等其他领域的突破性进展创造条件，形成不断强化领先者优势的反馈循环<sup>85</sup>。

半导体行业就是一个显著的例子。并非大自然预先决定了晶体管密度会如摩尔定律所述那样随时间呈指数级增长。相反，市场找到了方法

来利用、资助并发展让这种指数级增长成为可能的物理学与材料科学奇迹。反过来，掌控半导体供应链的国家如今正推着一个雪球，它每年都在变得更大，不断融入现代经济的比重越来越大。移动通信、卫星导航以及功能日益强大的人工智能系统。均构建于这一平台之上

胜利并不意味着孤立。诚然，掌握关键技术主权往往意味着具备自主研发生产这些技术的能力。但正如半导体行业的例子所表明的，技术领先也可以意味着战略整合，为合作伙伴的经济体提供推动经济增长的平台，比如借助更广阔的市场推动摩尔定律的滚雪球效应。所谓领先，就是通过自主选择研发哪些技术、制定哪些标准、掌控哪些供应链来掌握自身命运，而非任由他人的选择塑造这个世界。

要实现这些目标，我们必须认清并放大自身的真正优势。在我们的竞争对手中，有些企业尽管拥有产业实力，却将大量资金投入国家重点项目，任由私人市场萎靡不振，错失了从边缘领域涌现的突破性技术。它们的经济仍依赖投资驱动而非生产率驱动，即便研发投入不断增加，全要素生产率的贡献却在下降。此外，尽管其消费类应用的成功常被误认为是真正以研发为核心的创新，但在推动原创性前沿研究方面，它们仍远落后于美国<sup>86</sup>。

与此同时，美国的金融体系以其他国家无法比拟的规模将资本导向前沿技术领域。2024 年，美国风险投资机构的投资规模超过 2000 亿美元，占全球风险投资总额的 57%。<sup>87</sup> 我们的公开市场则展现出更为惊人

的态势。截至撰写本文时，美国七大科技公司的总市值超过了我们主要竞争对手的整个股市市值。这些数据不仅反映了庞大的资本储备，更体现了为成功退出提供回报的流动市场、保障合同执行与财产权的法律体系、具备长期投资视野的机构投资者，以及将失败视为成长教育而非耻辱的初创企业生态系统。

这里是我们的舞台。我们面前的任务，是将市场的蓬勃活力与科研实力相结合，释放造福美国民众的技术潜能。

## 释放创新

在过去几十年里，美国建立了一套监管体系，动辄出手叫停实体世界中的诸多创新。当获取许可的耗时比建造被许可项目本身还要长，当政府给出的默认答复是“不行”或“等等”时，最具才干的建设者便会另寻他处。

要么放弃尝试。这套制度会淘汰那些推动创新的个人和组织，也就是小型团队、非传统入局者，以及那些机会成本极高、不愿耗时数年等待审批的创业者。

核工业最极端地体现了这一问题。美国曾在核技术领域引领全球。我们建造了反应堆，培养了工程师，还制定了其他国家纷纷采用的安全标准。可后来我们却通过监管把这个行业逼到了停滞不前的境地。一座先进反应堆连地基混凝土都还没浇筑之前，必须先花五到六年时间与美

国核管理委员会（NRC）进行申请前磋商，之后还要再经历长达四年的设计认证流程。有一家公司不得不提交一份一万两千页的申请文件，而支撑这份申请的技术文档更是超过两百万页。美国能源部（DOE）为一个反应堆设计的相关流程提供了超过六亿美元的资金支持。随后还得提交联合许可申请，其中又包含耗时多年的安全与环境审查、强制性公众听证以及施工监管等环节<sup>88</sup>。

## 建设的自由

特朗普第一届政府着手解决核领域的这一监管困境，支持两党立法以改革核管理委员会的工作方式。<sup>89</sup>在第二届政府任期内，鉴于美国人工智能和制造业的能源需求带来的巨大压力，我们已采取行动彻底打破这一僵局。

2025年5月，总统签署了四项行政命令，全面改革美国的核监管框架：要求美国核管理委员会（NRC）在18个月内完成法规修订；为新建设申请设定许可审批时限；为已获得美国能源部（DOE）或美国电力公司（DOW）测试的反应堆开辟快速审批通道；并指示美国核管理委员会在监管决策中权衡核能对经济和国家安全的益处。配套行政命令要求美国能源部推动现有反应堆实现5吉瓦的功率提升，到2030年启动10座新型大型反应堆的建设，并动用《国防生产法案》的权限保障国内核燃料供应链。这是一代人以来最彻底的核改革举措，打破了将现状置

于美国民众利益之上的旧体系<sup>90</sup>。

在生物技术领域，美国在基因组学、基因治疗和基于 CRISPR 的医学等诸多基础领域取得了开创性进展，但我们的临床试验系统成本变得如此高昂，导致对美国科研成果的验证日益依赖海外机构。由加利福尼亚州阿拉米达市研发的一种有望为盲人恢复视力的视网膜假体，由于审批流程存在诸多挑战，不得不在欧洲开展临床试验。<sup>91</sup> 临床试验的单患者成本远高于其他经济体；美国科学家取得了突破，但验证和推广这些突破的基础设施却正迁往海外<sup>92</sup>。

在此，我们也已开始扭转这一趋势。美国卫生与公众服务部（HHS）启动了该部门历史上规模最大的放松监管行动。美国食品药品监督管理局（FDA）已采取措施，在监管审查中接受真实世界证据<sup>93</sup>，取消了每项药物申请默认需要两项临床试验的要求，转而支持一项具有确证性证据的效能充足的单一研究<sup>94</sup>，并为支持美国国家利益的药物加快审查进度。美国国立卫生研究院（NIH）推出了新平台，让科研界了解优先科学领域，无需新增资助公告机会，同时还取消了那些只增加负担却无相应益处的申请要求<sup>95</sup>。这些改革至关重要，它们必须成为一项持续努力的开端，以确保全球最具创新性的生物医学科学研究能在美国本土得到检验和应用<sup>96</sup>。

这些例子应该只是开端。美国最杰出的创新精神，向来以无需许可的实验为特征。这种自由让人们得以在每一步都无需请示的情况下，去

构建、测试、失败并重新尝试。

一种无需许可的创新方式并不意味着对技术进行鲁莽开发。在大规模部署上保持谨慎是明智之举，也是社会信任我们技术的基础。但政策制定者还必须考虑到发展停滞带来的危害：错失的经济增长、等待治愈方法而逝去的生命、因未能采用更先进技术而发生的工业和汽车事故。在现有规则不适用于新技术的情况下，允许在受控条件下进行真实世界测试的监管沙箱能够为制定合理规则提供所需的依据。我们的目标应当是消除阻碍美国知识转化为美国技术的程序性障碍，同时对成果保持真正的问责。

## 测试场所

大约七十年前，一群志同道合的业余火箭爱好者在爱德华兹空军基地以北的莫哈韦沙漠买下了一处私人试验场。从那以后，这个美国历史最悠久、持续运营至今的业余火箭团体一直在试射自制发动机。2003年，其衍生机构完成了注册。

作为一家非营利组织，他们就在隔壁从零搭建了必要的基础设施。他们搭建了静态试验台、加固了混凝土碉堡，还修建了推进剂储存点。他们拿到了处理高能炸药的联邦许可证，以及美国联邦航空管理局（FAA）的豁免许可，得以在周末将火箭发射至4万英尺高度。在此地的预约费用从几百美元到几千美元不等<sup>97</sup>。

每逢周六，在这座设施内，一对父女搭档在自家车库开展工作，他们身旁或许站着大学工程系学生以及休班的航空航天从业者，所有人都在开阔的沙漠中发射液体发动机。毗邻的机场更是在 2004 年成为获得美国联邦航空管理局（FAA）许可的商业航天港。<sup>98</sup> 依托这片租金低廉的场地、联邦许可以及共享的测试基础设施，多家火箭企业应运而生。它们斩获了美国国家航空航天局（NASA）的奖项，筹集了大量风险投资，还重塑了商业发射行业。<sup>98</sup> 业余发射场的导师被吸纳进初创企业，而初创公司的资深从业者又回来指导下一批火箭爱好者。这些组织在美国监管最为严格的行业之一中克服了重重困难，培育出了充满活力的创新生态系统。

如今，联邦政府还通过斯坦尼斯航天中心提供工业级的试验台，初创企业可以租赁相关设施，而无需花费数千万美元自行建造<sup>100</sup>。

提供测试基础设施并维持一个能让创新者大胆尝试的监管环境，是我们推动技术发展最重要的手段之一。

无论是用于火箭、先进制造、自主系统还是任何前沿技术的测试基础设施，都是一种赋能资源，它决定了下一家伟大的美国公司是在一片荒芜的空地上诞生，还是在学生的车库里夭折。无论人工智能系统在何处大规模部署，无论先进反应堆在何处建造和运营，无论合成生物学在农业和医学领域如何应用，由此形成的标准、供应链和知识库都将不断累积，使率先行动的国家占据优势。美国必须成为开展这类实验的地方。

尽管莫哈韦基地和斯坦尼斯航天中心等亮点为特定行业提供了发展契机，但在美国大部分地区，从科学发现到技术落地的门槛已变得极为严苛，导致许多极具价值的创意最终都未能实现。很多时候，创意在论文发表后便就此夭折。大学实验室里的一项突破，需要经过原型制作、真实环境测试、符合安全与性能标准验证、规模化生产，最终推向市场。而最具才华的技术构建者们正越来越多地转向软件领域，因为那里的监管负担最轻。

这也导致了如今我们所看到的经济发展失衡：重心从本土的实体经济，转向了硅谷的数字经济。

## 开放美国实验室

除了试验台之外，美国还拥有非凡的研究基础设施，这是历经数十年联邦投资逐步建成的。仅美国能源部就运营着 28 个用户设施，从阿贡国家实验室的先进光子源到橡树岭国家实验室的散裂中子源，这些设施提供的能力在全球其他地方都无法找到。<sup>101</sup> 这些设施凝聚了美国纳税人数十亿美元的资本投入，以及数十年积累的专业技术。

然而，历史上获取这一非凡基础设施的渠道过于狭窄、速度也过于缓慢。呼应第二章的一个核心观点，设施使用权限的评估体系是为学术价值评审而构建的。这套系统对追求发表成果的大学科研人员而言是适用的，却无法满企业家的需求，他们需要在竞争对手设定的时间节点

内完成技术验证。

向私营行业更广泛地开放这些设施，在评估时将创新潜力和商业紧迫性与科学价值一同纳入考量，将能成倍提升现有联邦投资的回报。实验室中存在一种较为陈旧的观念，认为与行业合作会削弱科研使命，但实际上这些互动对双方都有益：

外部使用者可以借助实验室庞大的知识库，同时也能让实验室的研究人员接触到新的、以应用为导向的问题。用户使用费带来的收入也能为设施扩容和新仪器购置提供资金支持，将目前处于产能不足状态的设施转变为自我维持的创新引擎。每一小时未被利用的设施时间都是一项被浪费的国家资产；每一笔再投资的行业收入，都意味着有一美元的联邦拨款可以腾出来用于研发下一代工具和设备。

大型联邦级设施只是整体情况的一部分。对创业者而言，小规模共享平台同样展现出了变革性的影响。国家量子与纳米技术基础设施项目提供共享洁净室使用权限，配备超过 2000 台可用设备，让初创企业能够研发半导体、光子学和量子设备的原型，而无需自建生产线，每小时的成本通常仅需数百美元。<sup>102</sup> 在生命科学领域，共享湿实验室降低了早期生物科技公司的资金门槛，使研究人员能在数周内完成从概念到实验的推进，而非像以往那样需要数年来建设专用设施。<sup>103</sup> 共享药品生产质量管理规范（GMP）设施则解决了更大的瓶颈问题。<sup>104</sup> 符合 FDA 标准的临床级材料生产

实现这些条件需要数千万美元的资本投入，而大多数初创企业在获得临床数据之前根本无法筹集到这笔资金。这就形成了一个死循环，而共享的良好生产规范（GMP）平台正是打破这一困局的关键。将这些平台拓展到各个行业 and 不同地区，将让任何怀揣好点子的美国企业家都能触手可及创新所需的实体工具。

我们的国家实验室和高校可以在更大范围内发挥类似的作用，成为为私营产业提供检测与评估服务的焕新枢纽。橡树岭、桑迪亚、劳伦斯利弗莫尔等机构拥有独特的技术验证能力，这是任何初创企业都无法独自完成的；在科研基础设施中接纳初创企业的高校，能够推动知识转化与人才输送渠道，让创新实现倍增。然而，相较于技术迭代的速度，国家实验室的授权与合作流程依旧缓慢。美国的研究高校也面临着类似的难题。不同高校的知识产权政策差异巨大，这给那些希望从多所高校获取授权的企业带来了阻碍。教职人员的激励机制通常更看重学术论文发表而非成果商业化，而且用联邦拨款购置的设备往往在项目间隙闲置，而本可使用这些设备的创业者却无权使用。

简化大学技术授权流程、规范联邦资助研究的知识产权框架，并以灵活条款向外部创新者开放大学设施的改革，将释放庞大的能力储备。这些能力如今仍被行政壁垒束缚。同样，简化管理实验室与产业合作的合作研究与开发协议、进一步利用技术转让办公室，以及减轻企业获取实验室技术授权的行政负担，将有助于我国科研机构向产业的运作效率

靠拢。

## 激活私营部门

联邦政府接下来的一项重要任务，是协调公共资助机构与充满活力的私营部门的工作。政府资助科研的方式尚未完全整合私营部门在基础研究和应用研发领域的迅猛发展。20 世纪 60 年代，联邦政府资助了美国全部基础研究的 70% 以上<sup>105</sup>。如今，联邦政府在基础研究资金中的占比已降至 40%，而企业的占比则大幅增长至 35% 以上。如今，我们最大的科技公司和顶尖制药公司为基础科学领域被引用次数最多的一些研究提供支持，或直接参与发表相关成果。单个科技公司的研发投入已超过美国国家科学基金会（NSF）的年度总预算。在人工智能、量子计算以及先进药物研发领域，最重要的研究越来越需要大学单独无法提供的能力。

在人工智能领域，训练前沿模型的企业掌控着价值数百亿美元的超级计算机，拥有拍字节级的专有数据，并且能以高校无法企及的方式，斥资数千万美元招募顶尖工程人才。这一现状造成了学术人才流失；然而，学术研究人员对该领域的长期发展仍至关重要，他们开展着企业缺乏动力去探索的下一代算法基础研究。若不建立新的合作模式，让学术科学家得以接触前沿级别的资源，支撑下一代人工智能技术突破的基础研究便会逐渐萎缩，我们的技术领先地位也将建立在愈发狭窄的机构基

础之上。当前亟须的是能够充分发挥公共与私人资金各自比较优势的机制。

## 更紧密的合作关系

作为第一步，我们需要扩大联邦拨款的范围。资金应向新型机构开放，无论是校企联合中心还是能够筹集股权的独立研究组织。

一些机制已然存在但尚未得到充分利用。正如第二章所讨论的，先进技术局（OTA）能够克服采购方面的限制，且不区分机构类型的拨款可惠及非营利组织、行业联盟以及独立研究人员。小企业创新研究（SBIR）和小企业技术转移（STTR）计划可以战略性地部署，以推动新的科学技术能力发展，将联邦资助的企业与科研机构联结起来。此外，我们的科研机构可参照美国国立卫生研究院基金会（FNIH），设立或强化各机构周边的独立基金会。<sup>106</sup> 美国国立卫生研究院基金会有一项涉及美国国立卫生研究院（NIH）与行业合作伙伴的公私合作项目：加速药物合作计划（AMP），该项目致力于缩短救命疗法的研发周期并改善治疗效果。阿尔茨海默病专项的 AMP 计划是十二个以疾病为重点的 AMP 项目之一，它通过实验验证了 20 个候选药物靶点，为临床试验的成功奠定了基础。<sup>107</sup> 此类基金会能够以联邦采购规则所不允许的方式融合公共和私人资本，按照商业条款签订合同，并接受行业合作伙伴的成本分摊，为公私合作提供了一种载体，这种合作既能以行业的速度推进，又能及

时响应政策重点。

然而，机构之间最有力的纽带是人力资本的流动本身。面向美国公民的行业博士项目可让他们在顶尖私立机构或国家完成博士阶段的培训，实验室将提供更高的津贴、真实的工作经验以及接触前沿问题的机会，同时也能让更多美国公民参与到基础研究中来。此类项目已有原型案例。<sup>108</sup> 其中包括行业博士后项目，我们最优秀的研究人员借此加入头部企业开展开创性工作；还有行业资助的博士奖学金项目，该项目形成了人才流动机制，为我们顶尖的数学和物理系注入新思想。劳伦斯伯克利国家实验室的“激活”（Activate）等项目为具有创业精神的科学家提供津贴、实验室使用权和指导，将其嵌入国家实验室环境，美国国家科学基金会（NSF）的投资也已将这些项目有效拓展至全国高校的新兴人才群体<sup>109</sup>。

我们可以在这些模型的基础上，打造更灵活的跨机构人才发展路径。扩大此类项目的规模，将为我们的研究人员拓宽发展空间。下一代研究人员不应被局限在单一的机构发展轨道上，也不应被迫冒险单向跳槽进入行业，而应能够在各类行业、机构和研究文化之间灵活流动。

## 统筹宏大行动

改革我国政府与私营企业之间的双边伙伴关系只是第一步。历史上许多最具变革性的技术成就，都需要集中全国力量，朝着没有任何单一

企业、大学或机构能够独立达成的目标共同努力。

人类基因组计划就是一个典型例子。该计划于 1990 年以美国国立卫生研究院与能源部的联邦合作模式启动，最初的资金来自里根总统 1988 年提交的预算提案。<sup>110</sup> 其发起者认为，完整的人类基因组参考序列以及通过该计划发展起来的测序技术，将成为整个生物医学领域的基础技术。尽管 20 世纪 80 年代末许多顶尖生物学家认为该计划尚不成熟，主张将资金更好地投入到单项研究资助中，但该计划的支持者仍大力推进其实施。

只有联邦政府才有能力组建并推动这一联盟完成这项计划。美国能源部国家实验室与美国国立卫生研究院资助的研究中心组成了一个分布式网络，其中包括华盛顿大学和怀特黑德研究所，这些机构围绕共同的里程碑开展工作，并遵循百慕大原则，该原则要求数据一经产生便立即向公众公开。该项目依赖于公共与私人力量的有效融合，在新型自动化毛细管测序仪的研发领域体现得尤为明显，联邦政府的需求推动了私人机构在仪器设备方面的创新加速<sup>111</sup>。1998 年，塞莱拉基因组公司作为私人竞争对手加入后，由此形成的公私合作动态进一步加快了。该项目提前完成，这笔 38 亿美元的联邦投资已带动约 7960 亿美元的经济活动。人类基因组计划充分体现了联邦政府的推动作用<sup>112</sup>。

人类基因组计划的故事充分体现了联邦政府如何推动美国在一项平台技术上占据领先地位。该计划面临的工程挑战与基础科学使命紧密

相连；存在可通过大规模协调来弥补的基础能力短板；同时还汇聚了一批以共同目标为导向的国家实验室和学术机构网络。计划的完成离不开公私合作，这种合作打破了各类机构之间的壁垒。

## 竞争前联盟

联邦政府拥有强大的权力，能够将分散的主体围绕共同目标整合起来。正如第二章所述，设计完善的重大挑战项目在那些具备明确指标和截止期限的问题上，彰显了这种统筹协调的能力，向外部主体开放参与领域是这类项目的优势所在。但并非所有共同面临的问题都适用于这一模式。部分技术难题处于基础科学与商业应用之间，其应用属性超出了学术资助的范畴，同时风险过高，没有任何单一企业能够独自承担。

这些全行业共同面临的竞争前问题，需要另一种工具：以联邦投资为支撑的合作式研发。

SEMATECH 是美国的标志性典范。到 20 世纪 80 年代，日本制造商已占据全球存储芯片市场的大部分份额。1987 年，14 家美国半导体公司整合资源，并通过美国国防高级研究计划局（DARPA）获得联邦资金支持，共同攻克光刻、蚀刻和材料加工领域的共性制造难题。<sup>113</sup> 该联盟解决了所有美国芯片制造商都需要解决但又无力单独解决的技术问题。

SEMATECH 模型催生了一个影响更为深远的后续成果。1997 年，

另一个半导体联盟极紫外有限责任公司（EUVLLC）与美国能源部的三家国家实验室签约，共同研发极紫外光刻技术。这项技术需要在等离子体物理、精密光学和材料科学领域取得突破，这是任何单一企业都无法独立实现的。到 2001 年，该联盟已制造出首台极紫外曝光工具原型，并申请了超过 150 项专利。<sup>114</sup> 经过随后二十年的不断优化，这项技术如今支撑着全球所有前沿半导体的制造。尽管当时的相关政策让一家欧洲公司占据了主导市场地位，但在本世纪当下这个阶段，极紫外光刻仍是最具战略重要性的工业技术之一，而它的存在因为美国的联邦实验室和半导体公司共同解决了这一问题。<sup>115</sup> 赛前合作联盟模式之所以奏效，是因为它瞄准了那些科学原理已被掌握但工程技术尚未攻克、共同技术风险是主要障碍的正确问题。如今，许多规模和复杂程度相仿的挑战正等待解决，例如将前沿半导体研究带回美国本土、精准编程生物组织，以及研发能够实现自我复制和原子级操控的下一代纳米技术。没有任何一家企业能单独攻克这些问题，传统的学术拨款也无法为其提供资金支持，而国家也不能将这些问题听之任之。

联邦政府锚定此类项目的能力，借助私人资本、整合分散的参与主体、在非季度盈利周期所能承受的时间跨度内持续推进相关工作，仍是其最具效力却未被充分利用的能力之一。

## 我们的民族特质

亚历克西·德·托克维尔在近两个世纪前谈及美国时曾指出：“开拓进取的魄力是其快速发展、实力强盛与成就伟大的首要原因。”他对这样一个社会赞叹不已：社会地位并非由出身决定，公民会自发组建社团解决问题，而非坐等上级指示；无论是现实的边疆还是思想的边疆，都在向敢于冒险的人招手。<sup>116</sup>这种文化至今仍延续着。美国人坚信，个人的才干理应获得施展的机会，自由的探索能催生真理，而创造出有价值之物的人也值得获得回报。

这种精神在我们的各州和各城市依然鲜活。美国的联邦制为我们提供了在各辖区同时开展多项试验的机会，打造监管测试平台、建设差异化基础设施并制定针对性激励措施。亚利桑那州允许企业在多数州尚未制定相关规则的数年前就在公共道路上运营自动驾驶出租车，借此成为全美领先的自动驾驶汽车测试平台。该州还进一步利用这一宽松环境，吸引了超过 1000 亿美元的半导体行业投资。犹他州于 2021 年通过了全美首个通用监管沙盒法案。怀俄明州则制定了一系列针对区块链和数字资产企业的专属法律。监管框架制定得当的州和城市会吸引资本、人才与产业；而那些做得不够好的地区，也会向成功的范例学习。

当我们的研究人员意识到缩放定律将彻底改变语言模型时，没有任何政府委员会批准过开展这一研究的决定。当我们的工程师认定可重复使用火箭具备可行性时，一个解除管制的航天产业应运而生，它调动了

巨额资本来实现火箭级的回收。这种模式打造庞大的科学人才与知识储备库，依托耐心资本实现无需许可的创新，并凭借监管弹性提供支持，正是美国巨大的竞争优势所在。

但在基础技术与敌对国家活跃的时代，无许可创新必须与战略目标相结合。本章所述的各项能力，尤其是探索与测试、从实验室走向实际可行性验证的能力，是将美国的魄力转化为美国主导地位的关键机制。联邦政府应积极鼓励各层级开展试验，为更多州、更多城市和更多机构成为创新实验室创造条件。在这场早期试验将锁定发展轨迹的竞争中，开展试验数量最多的国家将占据优势<sup>250</sup>。

多年来，从最初的 13 个殖民地开始，这一直就是美国的行事方式。

## 第四章让科技更好造福全体美国人的生活

### 科学与技艺的融合

在政策讨论中，我们常常把技术仅仅等同于知识产权和设备。我们关注的是可以申请的专利、可以记录的知识，或是可以制造的复杂机器。但科技能力远不只是其最显而易见的投入与产出。

一种更合理的分类法认为，技术以三种形式存在：工具、明确指令和流程知识。<sup>121</sup>以芯片制造为例。工具包括光刻机、蚀刻机、离子注入机等。明确指令是指设计蓝图和工艺规程。而流程知识，例如如何排查半导体良率问题、复杂变量如何影响晶圆清洗、如何设计下一代工艺节点以平衡性能与制造风险，则存在于经验丰富的工程师和技术人员的头脑中。

这种隐性知识无法被完全系统化。任何人都可以坐在钢琴凳前，面前摆着拉赫玛尼诺夫的乐谱，但要把它弹好，需要个人对音乐力度变化的掌控力以及指尖的技

正如化学家转型为哲学家的迈克尔·波拉尼所观察到的那样：“我们所知的，远多于我们能言说的”<sup>122</sup>。一名技艺精湛的焊工对金属特性的了解，是任何操作手册都无法涵盖的。比如铝材在变形前发出的预警信号，或是优质焊珠成型时发出的声响。机械师在多年的车床操作中，会

形成对切削工具的独特直觉。制药生产技术员则能识别出化学工艺中的细微差异，而这些差异直接决定了一批药物是否符合规格标准。

这种体现在经验丰富的员工身上的流程知识，是技术能力真正的基石。

这一点同样适用于科学实践。20 世纪 70 年代，社会学家哈里·柯林斯研究了多个试图复制一种新型激光器的实验室，他发现没有任何科学家仅靠自己发表的资料就能成功。那些成功制造出可用设备的人，都曾在一个已有相关经验的实验室里待过一段时间。制造激光器的知识通过人际交流传递，这种交流往往十分微妙，就连科学家自身也无法完整说清他们学到了什么<sup>123</sup>。

同样，合成生物学家在诱导细胞表达新型蛋白质的过程中，会通过无数次失败的实验不断进步。免疫学家凭借多年的经验积累和资深导师的指导，能凭直觉判断哪些实验方案能适用于难以伺候的细胞系，这种知识是任何方法学部分都无法涵盖的。这也是为何许多类型的科学专业技能需要在科研机构中接受多年的在职培训，也是为何仅靠学术出版物仍不足以传承科学技艺。

论文和专利并非进步的最终目标，而是培养更优秀的科学家、工程师和技术人才过程中的中转站。科学不仅仅关乎设备，任何实验室只要有足够资金都能购置，也不局限于可在一张纸上分享的操作指南。我们真正的竞争优势在于美国人才所蕴含的工艺知识。倘若没有技艺精湛的

从业者将其技艺传承给后人，这一发展引擎便会停滞不前。

## 我们的制造业基础

美国经历了一段持续的去工业化时期。制造业就业人数在 1979 年达到近 2000 万的峰值；如今仅约 1300 万，尽管人口增长了 50% 以上，制造业就业人数仍下降了约 35%。制造业在总就业中的占比从 1979 年的近 22% 降至如今的约 8%。

这种持续的下滑因合同研发的离岸外包而进一步加剧，尤其是在制药行业，该行业的实验室已大规模迁往海外。美国科技事业的命运与美国工业的命运密不可分，原因有两点。

首先，科学发现带来的大部分经济回报并非产生于发明的那一刻，而是产生于将新理念转化为可规模化生产的产品过程中。这些回报体现在发明之后的工作中：让设计具备可生产性的工程研发、对工艺的优化改进、降低成本、运营先进设施的熟练劳动力，以及支撑规模化的供应链关系。当技术转移到国外时，就业岗位、专业技术和创造下一代突破性成果的能力也会随之流失。

其次，科学与生产不断相互影响。正如第一章所述，基础研究顺畅流向应用研究、开发与生产的线性模式，向来只是一种简化。知识的流动不仅发生在理论研究者与实验人员之间，也出现在实验人员与工业领域之间。研究半导体物理的科学家会向为良率问题苦苦钻研的制造工程

师学习。设计新疗法的生物学家依赖能够扩大生产规模的工艺化学家。研发大扭矩执行器的机器人专家则得益于当地精密制造基地的存在，他可以开车沿街前往车削中心，站在机械师身边亲自优化设计。

这些反馈循环依赖于科研与工业能力的近距离结合。若缺乏本土制造能力，科学与技艺的结合便会弱化。科学家将无法接触到那些能激发新研究方向、提升研究质量的实际问题，而企业也会失去支撑技术领先地位的研究生态系统。我们需要将美国制造业迁回本土，这不仅是为了创造优质就业岗位，更是为了美国科学自身的长远健康发展。

## 巨大潜力仍待发掘

即便经历了数十年的离岸外包，美国仍孕育着全球最具活力的一些贸易社群。我们的国家由动手爱好者、业余爱好者和手工修理者组成。无数美国人从家人那里学会修车、操作电动工具、建造和维护自家房屋。从拓荒时代的谷仓共建，到 20 世纪的改装车文化，再到如今的创客运动，这种自己动手（DIY）的精神深深扎根于我们的文化之中。

登录任意视频平台，你会发现一个遍布建造者的国度。业余机械师展示精密制造的技巧。业余焊工分享钛合金焊接的技巧。电子爱好者维修故障示波器。业余无线电操作员、生物黑客、合成器建造者和无人机制造者都参与到共享技术知识的社区中。即便是核聚变、回旋加速器建造这类高度专业的领域，也吸引了专注的实验者。公共图书馆正日益提

供 3D 打印机和激光切割机，而当地商店则开设焊接和机械加工课程。

这种民众对技术工作的广泛参与，彰显了一大批有待培养的人才储备。超过一半的美国成年人会参与某种形式的制作或建造活动<sup>128</sup>。规模最大的 DIY 展会吸引了超过十万名参与者<sup>129</sup>。制造业就业岗位或许有所减少，但技术技能的文化根基仍存在于我们曾经招募机械师、工具制造师和工程师的同一群体之中。

## 我们的教育体系失衡

然而我们正规的教育和就业体系往往无法发掘这种潜力。在过去几十年里，大学教育的扩张是以职业培训为代价的，曾经开设机械加工课程的高中也将资源转向大学升学准备。随着工厂倒闭、社区衰落，年轻人接收到的信号十分明确：靠双手劳作只是退路，而非追求；成功意味着摆脱体力劳动，而非精通它。

这种文化转变因一场经济变革而得到强化，这场变革将体力劳动视为可在任何成本最低的地方获取的商品。这种偏见根深蒂固。在太多社区，政客和升学指导老师已将职业技术学校视为那些不具备攻读四年制大学学位资质者的安慰奖。过去二十年来，关停项目的手工课设备充斥于二手机械市场，这是我们在追逐所谓知识经济的过程中彻底放弃实践教育的有形证据<sup>130</sup>。

如今，账本两边的成本都清晰可见。数百万美国人具备从事技术工

作的能力和兴趣，却缺乏将这份兴趣转化为职业的清晰路径。与此同时，即便毕业生涌入职场，预计仍将有数百万个技术岗位空缺。<sup>131</sup>数十年来，联邦政府通过向就读于各类学院、大学和研究生项目的学生发放无限制贷款，推高了大学学费，让数百万人深陷债务，从而在职业教育领域设置了不利条件。<sup>132</sup>这一政策失误的根源在于，政府未能认识到，构建、维护和修缮实体世界的工作并非过去的遗留产物，而是未来一切繁荣的基石。

## 我们必须将科学重塑为一项更广泛的事业

我们太多的大学和顶尖科技课程都切断了理论与实践技艺之间的联系。工科学生学习燃烧理论，却很少有人能拆解并重建一台内燃机。研究生项目更看重以引用次数衡量的理论贡献，而非以就业岗位和经济效益衡量的实际应用。这导致如今的研究者一代，虽能用数学模型描述现象，却无法维修自己实验室里的设备。

这种收窄趋势与科学的实际发展路径背道而驰。正如第一章所讨论的，线性模型在许多领域已不再适用，在这些领域，科学发现越来越依赖来自现实世界的反馈。分子生物学和理论物理学中的一些最重要突破，源自那些深入了解自己研究仪器的科学家。他们不仅能设计实验，还能亲自制造和改造设备。

以莱因·韦斯为例，他因探测引力波获得了 2017 年诺贝尔物理学奖。

韦斯在纽约长大，靠捡拾军用剩余电子产品为生，自学制作业余无线电发射器，还修理损坏的设备赚取零花钱。从麻省理工学院退学后，他成了一名实验室技术员，与资深工匠共事，学习机械加工、焊接和锡焊技艺。

正是在魏斯所说的“实验科学中的即兴创作艺术”方面接受的这种训练，让他得以设计并制造出原型激光干涉仪，也就是后来的 **LIGO**。这台仪器探测到了来自 10 亿光年外黑洞碰撞的时空涟漪。正如魏斯所言：“我非常推崇所谓的学徒制。”<sup>133</sup>

科学训练与工艺技艺的脱节阻碍了美国的科学进步。支撑我们科学事业的隐性知识，通过实验实践和实操技术培训培养而成，只会变得愈发重要。国家实验室的粒子加速器需要能研发更高速调管的电气工程师；核聚变实验需要能与钨材料配合工作的真空技术专家和制造人员；绘制宇宙图谱的望远镜需要能将镜片研磨至纳米级精度的工匠。这些人很可能会成为下一次技术突破的核心贡献者。我们必须为各个学习阶段的 **STEM** 学生提供实操技术培训的机会，同时也要确保美国熟练技术工人有清晰的途径参与正规学术培训和科学研究。曾经作为美国文化特征的对工艺技艺、工业制造的推崇必须重拾，我们也会因此收获更丰厚的成果。

## 扩大参与度

我们的科学培训模式必须从三方面进行调整：融入技术培训、打破学术唯证书论、将基层学习与正规科学研究相衔接。

首先，我们必须让高校的理工科专业重新与实操性、实用性知识接轨。这需要将技术培训融入高校课程体系，打破“精英教育”与“职业教育”之间的壁垒，改革认证制度以认可实际的技术工作成果，包括将实操实习时长和注册学徒时长计入认证学位的考核中。全国范围内负责制定课程体系的相关人员，都应认真思考在智能资源愈发丰富、技艺知识愈发稀缺的时代，下一代最需要的专业技能究竟是什么。

其次，我们必须为科研事业开辟新的准入路径，这种路径应基于已证实的能力，而非仅看学术背景。如今，传统的学术阶梯是进入科研领域唯一被广泛认可的途径。我们必须搭建替代路径，让更多的创造者、工艺师和技术人员在自愿的情况下，能够参与学术培训和科学探索。国家奖学金项目可将熟练的机械师和实验室技术人员安排到国家实验室与研究大学工作，为他们开辟基于技能的资质认证和研究成果合著路径。类似艺术家驻留计划的“从业者驻留项目”，可将经验丰富的工匠与博士研究生安排在一起工作，让工匠们无需博士学位，也能接触专业设备、获得专业指导，并让其研究得到关注。国家实验室可在低温学、先进机械加工等领域打造便携且行业认可的资质认证体系。SBIR 等项目为技术人员创办的企业打开了大门，将资源导向那些并非以论文为起点

的创意。

第三，我们必须将数百万热衷于动手改造、制造和维修的美国人与工程学及研究领域联系起来。这对于农村学生而言尤为关键，他们在通往传统学术道路的过程中面临着独特的挑战。他们的家人从事 STEM 领域工作的可能性更低，学校获得行业支持的机会也更少，所在城镇人口较少，让他们更难找到志同道合的同伴。然而，我们许多最优秀的科学家和工程师，最初都是在谷仓里学会焊接，或是在成长过程中帮家人修理拖拉机。解决之道并非从社区中发掘人才，而是将前沿领域的资源带到他们身边，在创客文化与我们正规的科学事业之间搭建更多连接的桥梁。

## 集成训练模型

为了维持美国的科学领先地位，我们必须重建从社区学院到推广体系的一体化社区，让科技前沿不仅向少数精英开放，更向每一位有天赋、有兴趣推动其发展的美国公民开放。

社区学院是扩大科技类培训规模的天然基础。近年来国会为这些机构提供了大量资金，这是合情合理的。它们招收了约 40% 的本科生，是第一代大学生、退伍军人和在职人士接受高等教育的主要入口。<sup>134</sup> 他们还为学生提供课堂上的相关技术教学，将理论与在职培训相结合。

通过精准支持，社区学院能够成为区域科技创新枢纽，与关键产业、

美国国家科学基金会（NSF）区域创新引擎以及本地生态系统计划深度融合。这些合作关系可将共享设施使用权、设备捐赠以及行业主导的联合开发课程输送至已在培养美国顶尖技术人才的院校。特朗普政府已将扩大学徒制列为优先事项，指示联邦机构每年实现并超越 100 万活跃学徒数。美国劳工部（DOL）已转向绩效付费模式，

将面向雇主主导学徒制的传统前期拨款，替换为与学徒招聘和留存率挂钩的资金支持。<sup>135</sup> 此外，随着 2025 年《职业教育佩尔法案》的通过，短期培训项目首次有资格获得佩尔助学金资助。

进一步而言，我们可以将注册学徒制拓展至传统上未采用该模式的领域，尤其是科技领域。这些转变将推动我们建立更实用的教育体系，恢复一体化的导师指导模式，并将学习融入现实应用之中。<sup>136</sup> 为确保科学发展机会不受地域限制，培训资源必须在全国范围内均衡分布。美国农业部合作推广系统等项目可扩大职责范围，纳入关键科学与技术领域，在农村地区打造发展据点。急需技能型人才的雇主可与周边社区学院合作，捐赠设备并支持教学工作。这些项目应成为融入更广泛区域创新生态的切入点，助力青年人才与导师及同行建立人脉网络，将自身的创业活力投入共同项目中去。

## 翻译的新途径

美国的技术领导力屡次诞生于研究与生产密不可分的区域集群中。

20 世纪初，底特律成为全球汽车之都，不仅仅是因为福特的工厂，更因为密集的供应商、机械师和工程人才生态系统，让该地区具备了将汽车创新转化为大规模生产的独特能力。数千家小型供应商能够以全球最快的速度对新组件进行原型设计和制造<sup>137</sup>。

这类产业集群之所以有效，是因为它们在工业生产、科研与技术熟练劳动力之间建立起了紧密的联系。<sup>138</sup> 这一模式延续至今，不同区域各自专注于特定领域，比如亚利桑那州的光学产业、波士顿走廊的生物技术产业、科罗拉多州与亚拉巴马州的航空航天产业，以及中西部的先进制造业。在这些产业集群中，知识在本地不断积累，而技术熟练劳动力与密集的供应商网络之间形成的务实解决问题的文化，又进一步强化了这种知识积累。

随着美国将制造业外包出去，它也切断了这些联系以及这些联系所支撑的工艺知识。长期以来，美国的领导人一直认为我们可以保留高附加值的设计工作，同时放弃生产。但随着竞争对手开始大规模生产，他们提升了设计和迭代的能力。万斯副总统精准地捕捉到了这一动态，他指出，随着时间的推移，“从事制造业的地区会变得非常擅长设计产品。”

139

近期的联邦举措已迈出早期步伐，致力于扭转这一趋势并重塑美国的创新集群。美国国家科学基金会的区域创新引擎计划和商务部的技术中心项目调配资源，以激发传统沿海核心区之外的本地化生产生态。美

国制造研究所、美国国家标准与技术研究院的制造推广合作项目，以及美国国防部的八个微电子公共区域中心等项目，进一步推动行业合作、开放共享的研发基础设施建设，并助力由行业主导的劳动力培训。这些集群降低了小型制造商研发新产品、测试新技术应用的门槛，也为培养具备未来技能的制造业劳动力提供了支撑。全政府协同的产业政策进一步强化了这一转变，既增加了对美国本土制造产品的需求，也改变了企业选址生产的考量。联邦政府正运用创新的经济工具，吸引外国政府的投资承诺，从而为美国本土生产提供资金、培训美国工人，并构建美国的供应链体系。

尽管如此，联邦政府无法独自构建这些生态系统。州和地方政府掌握着关键的调控手段，包括土地使用与审批、教育与人才培养、核心机构建设等，这些手段使其能够培育出竞争优势。如果操作不当，这类竞争可能演变成逐底竞争，将公共资金转移给流动性强的企业；但如果操作得当，明智的政策能够培育出持久的区域生态系统。借助联邦制的优势，美国可以开展并行式试点，让 50 个州和数千个地方政府尝试不同的产业集群培育方式，竞相吸引投资与人才。

多项由州政府主导的举措充分体现了这一策略。当俄亥俄州新奥尔巴尼市宣布新建半导体制造工厂时，该州承诺提供约 20 亿美元激励资金，涵盖直接现金“本土化激励补助”、基础设施投资以及就业创造税收抵免。<sup>140</sup> 哥伦布市的一所社区学院目前牵头建立了覆盖全州的 23 所

高校网络，共同开发开放共享的课程体系，为学生提供通往芯片制造技术员职业道路的两年制学位培养方案。<sup>141</sup> 一家半导体企业已向俄亥俄州高等教育领域投入 5000 万美元，支持全面的半导体人才队伍建设，涵盖课程开发、师资培训、技能提升计划、实践教学及实验室设备升级，并整合了美国国家科学基金会提供的联邦资金。<sup>142</sup> 在德克萨斯州泰勒市，州政府对半导体制造业的支持吸引了近 50 亿美元资本投资，创造了数千个优质就业岗位。<sup>143</sup> 这些案例均表明，州政府将产业发展视为核心优先事项，推动地方政府、教育机构与产业界在人才培养方面形成协同效应。随着各地试点项目的推进，最成功的模式将被其他地区借鉴推广。

## 让人人共享发展成果

美国的创新从未局限于顶尖大学的实验室。在当地的一间工坊里，不同年龄段的爱好者携手合作，对一台计算机数字控制（CNC）机床进行改造，用于缠绕碳纤维包覆的压力容器。在东海岸的一处私人简易机场上，一家国防科技初创公司在跑道尽头支起了拖车，试验新型推进剂混合物。在新墨西哥州沙漠的台地上，一名学生在一间锈迹斑斑的棚屋里反复调试，试图利用实验室剩余设备拼凑出的惯性约束聚变装置来获取太阳能。正是通过动手实验、工艺知识的积累以及对行动的偏爱，创新在这些远离大型研究园区的地方不断向前推进。

若要让这一传统延续下去，我们就必须打造这样一个未来：创业精

神不受地域与资质的限制，乡村小镇的学生、小城市的机械师以及顶尖大学的研究人员，都能找到推动技术进步的途径。在这个未来里，科学不会被出身背景所禁锢，而是向所有具备天赋与干劲的人敞开。算力、制造设备和科研工具的成本不断下降，让这一愿景愈发触手可及。曾经只为大型企业所拥有的能力，如今落到了小企业、社区学院和个体创客的手中。

除了为科学事业开辟新的参与途径外，这一未来还将让所有人都有机会享受到科技进步带来的红利。过去，科学与技艺的融合催生了全新的市场、产业和就业形式。飞机机械师、现代焊接、数控加工和半导体制造在 20 世纪成为技艺精湛的工种，而在一代人之前，这些职业根本不存在。每一种职业都有其专属的隐性知识体系、专属的实践社群，以及与科学工程领域的紧密联系。它们为数百万美国人提供了体面的工作，也支撑了整个社区的发展。我们理应期待如今正在逐步成型的技术能带来同样的价值，但这一切的前提是我们要让广泛的参与成为可能。

重建我们的工业公共资源并非单一政府部门的工作。曾经定义美国工业的产业集群历经数代才建成，而当生产转移到海外时，它们仅用数年就被掏空了。应对这一时刻，需要重振构成美国工业公共资源的技能、供应商和隐性知识网络，并在全美百余个硅谷般的地区培育充满活力的科学家、研究人员和工匠社群。

美国科技领域的成就从来都不是某一个单一地区的功劳，而是始终

依托于分散的综合实力。曼哈顿计划汇聚了全国各地的人才，包括伯克利的物理学家、田纳西州的工程师以及新墨西哥州的工匠。航天计划从休斯敦、亨茨维尔到卡纳维拉尔角的多个州的设施中，雇用了数十万人员。20 世纪中期推动农场生产力大幅提升的农业现代化进程，是由赠地大学和推广服务人员助力实现的，他们服务于美国各个角落的社区。纵观美国历史，其科学创新的天赋一直是广泛存在且向所有人开放的，这一点也必须保持下去。

## 第五章新的黄金时代

### 智能时代

1945年7月，就在万尼瓦尔·布什向杜鲁门总统提交《科学：无尽的前沿》的同一个月，他发表了一篇配套文章，题为《我们可以这样思考》。前者为战后科学奠定了制度基础，后者则构想了其认知架构。布什预见到了科学事业将面临日益严重的阻碍，并写道：

研究的数量与日俱增。但有越来越多的证据表明，如今随着专业化程度不断加深，我们正陷入困境。研究者面对成千上万其他研究者的发现与结论时感到手足无措，这些结论在出现时，他根本没时间去理解，更不用说记住了<sup>144</sup>。

布什意识到，他所处时代的工具已经延伸了人类的体力与感知力。三角锤增强了拳头的力量，显微镜让视野变得更为敏锐。然而，用于拓展人类思维的工具仍处于初级阶段。布什提出了一种名为“记忆扩展器”的解决方案，这是一种能够存储、检索并关联人类所有累积知识记录的设备：

设想一款未来的个人使用设备，它是一种机械化的私人文件与图书馆。人们可以将自己所有的书籍、档案和通信信息存储其中，该设备实现了机械化，因此能以极快的速度、极高的灵活性被查阅。它是人类记忆的一种扩充且贴近个人的补充载体<sup>145</sup>。

自那之后的八十年里，布什所构想的工具以计算机、互联网以及如今的人工智能的形式成为现实。

如今，世界正站在一场重大变革的门槛上。仅在 2025 年，美国企业就投入了超过 4000 亿美元用于建设我们的人工智能基础设施投入，实际价值已超过阿波罗计划与曼哈顿项目经通胀调整后的成本总和<sup>146</sup>。如今，投入远超多数国家国内生产总值的资金被用于矩阵运算，如同城市规模的芯片交响乐团协同运作，共同训练新一代人工智能模型。

其结果是，即便在五年前，即便是最具前瞻性的人工智能研究人员也难以想象这样的人工智能系统。这些机器能够推理复杂问题、理解语境与细微差别、自主维护大型代码库，还能解决研究生水平的数学难题。

人工智能赋能科学的初步成果令人瞩目。专用人工智能系统已以原子级精度预测蛋白质结构<sup>147</sup>，从零设计新型蛋白质<sup>148</sup>，为药物研发构建分子动力学模型<sup>149</sup>，推动聚变研究的等离子体控制技术升级<sup>150</sup>，还从海量粒子物理数据中发现了人类分析师完全遗漏的隐藏现象<sup>151</sup>。到 2026 年，人工智能智能体可在无需人工干预的情况下编写完整的软件应用程序、分析实验数据并操作实验室设备。

在数学这一或许最纯粹的推理领域，人工智能系统已开始证明全新的定理，并催生了新型数学协作模式。随着每年数十亿美元投入人工智能研究，这些能力正快速提升。

然而，我们的目标不应仅仅是加快现有方法的发展，而应是对科研

体系进行改革，使我们能够突破人类认知与组织管理的局限。<sup>152</sup>如今，我们的大脑设定了严格的界限。工作记忆中只能容纳有限的变量，职业生涯中只能阅读有限的论文，一生中只能掌握有限的技巧。科学社会学亦是如此。学科将知识拆分，激励机制奖励渐进式研究，层级体系则压制非常规思维。甚至我们的沟通方式，也受限于文字、公式和图表这些可被接受的媒介。

人工智能为突破所有这些限制提供了可能。

思考一下科学家是如何消化知识的。如今的研究人员面临着与布什在 1945 年发现的相同问题，只是这个问题被极大地放大了。每年有数百万篇论文发表，<sup>153</sup> 篇的数量远超任何人在自己所属的细分领域所能阅读的范围，更不用说那些重要关联隐藏其中的相邻领域了。相比之下，人工智能系统能够从海量文献中提取并综合研究成果，识别出跨越学科界限的模式，还能在人类能力无法触及的假设与观点组合空间中进行探索。<sup>154</sup> 以科学数据的收集为例。直到最近，只有经过清洗和结构化处理的数据才能大规模可靠地使用。如今，人工智能系统可以处理并标注隐藏在旧出版物、档案和视频记录中的原始数据。<sup>155</sup> 用于发现 Transformer 架构的 Python 笔记本，<sup>156</sup> 或者安德鲁·怀尔斯在最终证明费马大定理之前堆满的那些草稿纸，如今机器和人类都能处理了。科学中那些从未被印刷出来的隐性知识，其背后的元数据也首次变得清晰可辨。

再想想实验本身的流程。传统上，实验都是人工设计、按顺序开展

的，且只有在结果审核后才会做出调整，这既限制了实验的速度，也束缚了其应用范围。而人工智能驱动的规划，配合工业级自动化实验室，将使我们能够借助为每一次实验量身定制的技术并行开展数据收集。在闭环运行模式下，人工智能系统可以精准识别哪些测量能获得最有价值的信息，并随着实验规模呈数量级扩大，实时调整研究方向。

布什在《我们可能思考的》中构想的认知工具终于问世了。如果我们能做好这一点，人工智能将推动科学流程的各个阶段加速发展。它将帮助确定最具影响力的研究问题，提出那些受限于自身专业背景和研究领域的研究者永远无法想到的假设。它会基于过往研究的全部共享成果，设计实验、优化实验方案并预判潜在问题。它能以远超当前水平的规模分析数据，还能预测复杂系统中的行为规律，从大规模的大脑动态到长期天气模式，这些规律此前是数学建模无法攻克的。它将加快科学成果的传播与验证速度，打破科学论文形式带来的束缚。同时，它也将越来越多地参与到将科学发现转化为可应用技术的工程研发工作中。

## 调整我们的机构

我们的任务是打造一家将智力边际收益最大化的科学型企业，这意味着要清晰地直面制约其工作开展的各类因素。其中有三个因素尤为突出。

首先是反馈的速度。粒子物理学家已经提出了无数关于我们宇宙的

理论，但目前我们缺乏实验数据来区分这些理论。再高的智力也无法凭空创造出尚未存在的观测结果。

其次是原子层面的速度。细胞会按照自身的节律分裂，而硬件则需要通过物理方式制造。没有任何认知能力能仅凭一己之力让火箭或半导体工厂在一夜之间自行建成。

第三点是我们自身机构带来的限制。出版体系、资助结构、监管框架、临床试验要求以及文化惯性，决定了研究开展的方式。这一点首先会在科研领域体现出来。

认知能力的日益丰富要求我们的科研机构进行相应转型。人工智能等新技术理应让我们满怀信心，但我们不能抱有幻想，认为人工智能会自然而然地修复我们的科研体系。即便每位科学家都能从使用人工智能中获益，也不意味着整个科学界会因此取得进步。这正是复杂系统反直觉的特性之一：个体层面的进步无法自动汇聚为集体的发展。

一个世纪以来，美国一直在大力扑灭森林火灾，每一次干预看似都取得了显著成效。但通过阻止小火情的发生，我们让枯木、茂密的灌木丛以及干枯的林下植被不断堆积，最终导致那些本可避免的火灾演变成了更难控制的特大火灾。

人工智能也可能对科学造成同样的影响，它会让每位研究人员的工作效率看似大幅提升，同时为灾难性且系统性的功能失调埋下隐患。<sup>157</sup>人工智能工具将使生成更多论文、更多资助申请以及更多同行评审提交

变得轻而易举。但如果科学进步的阻碍仅仅是这些成果的产出，我们早已身处科学的黄金时代了。可事实并非如此。

正如第二章所记载的，过去半个世纪里论文发表数量、研究人员数量和科研经费的指数级增长，并未带来相应的发现速度提升。颠覆性研究在总产出中的占比不断缩小，而重塑各领域格局的重大突破，其出现速度也并不比几代人之前更快。

因此，人工智能在科学领域的兴起要求我们更新相关制度机制，以规范资助项目、发表成果、奖励举措和纠错流程。只有能够协同生成并验证知识，科学才能有效运转。让有缺陷的范式更易拓展的模型可能会固化科学偏见；让同行评审充斥着未经深思的投稿的人工智能工具，会让本已不堪重负的评审系统雪上加霜。在这个智能资源充裕的时代，前文各章节探讨的诸多议题，包括推动人工智能聚焦关键问题的公私合作模式、恢复问责机制并奖励真正探索行为的元科学改革、容忍早期失败的新型资助机制、重建技术人才队伍与制造业基础，都变得愈发紧迫，而非有所缓解。

## 构建基础设施

前述章节提出的改革对于人工智能驱动的科学 research 同样至关重要。

人工智能将基础研究推向了产业领域，让跨学科合作成为必需，并

大幅提高了前沿科学的资本密集度。在此过程中，人工智能也使得前文所述的制度调整成为必要，以推动科研事业适配现代社会的发展。

第二章中的新型组织形式与资助机制至关重要，因为要充分利用人工智能推动科学发展，就需要在探索与工程实践之间进行紧密迭代，而传统学术院系的构建初衷并非支撑这种持续迭代。这还需要懂人工智能模型的领域科学家与懂科学的人工智能研究人员建立密切合作关系。如今，私人研究机构将机器学习研究人员与生命科学家安置在共享设施中，以最大化碰撞效应<sup>158</sup>，同时奖学金项目将人工智能研究人员与学术联合导师配对<sup>159</sup>。这些改革必须推广至整个科研领域。最终，我们需要建立人工智能原生的科研机构，其规则、基础设施、资本模式以及文化规范都围绕强大人工智能系统的应用而构建。

第三章中的公私合作至关重要，因为前沿人工智能的研发能力集中在私人实验室。训练前沿模型所需的计算集群成本高达数十亿美元，而能够操作这些设备的工程团队大多就职于少数几家公司，其薪资规模目前没有任何一所大学能够企及。让私营部门的技术能力与公共科研体系形成协同，需要精心设计相关机制。联邦实验室与人工智能企业之间现有的合作关系，正朝着这一目标迈出步伐，研究人员正运用尖端人工智能系统推动聚变能源发展、助力计算生物学取得突破，甚至实现了对火星漫游车的操控<sup>160</sup>。

最后，第四章中科学与技艺的重新关联至关重要，因为随着智能愈

发充裕，科学进步的制约因素已从构思理念转向在物理世界中实现理念。包含制造、加工以及发现赖以存在的基础设施的原子世界，将愈发决定进步的节奏。再多的智能也无法替代收集实验数据所需的仪器，或是研发和测试新技术所需的设施。重建学徒制、挖掘隐性知识、推动大学与区域制造生态重新关联的改革，恰恰针对这一制约因素。

## 创世纪使命

纵观我们的历史，从曼哈顿计划到阿波罗计划，每当国家的综合实力与恰当的制度设计相结合时，美国便取得了最伟大的科学进步。创世纪计划正是这一传统的新篇章，这是一项全国性的努力，旨在以其他国家无法企及的规模利用人工智能进行科学发现。

特朗普总统于 2025 年 11 月启动了“创世纪使命”，将其作为美国首要的

“人工智能赋能科学”倡议。设立该使命的行政命令要求能源部打造美国科学与安全平台，该平台将把美国最强大的超级计算机、人工智能系统、科学仪器及数据集整合为一个单一的发现引擎，旨在十年内将美国科学与工程领域的生产力和影响力提升一倍。

该使命依托无与伦比的国家能力基础。美国能源部的 17 个国家实验室构成了全球规模最大的科学基础设施集群，拥有约 4 万名科学家、工程师和技术人员，年度经费约 200 亿美元<sup>162</sup>。这些机构配备了我们最

先进的粒子加速器、同步辐射光源、超级计算机，以及覆盖材料科学、聚变能源和核安全领域的实验设施。除国家实验室外，美国药品监督管理局、国家科学基金会、国家海洋和大气管理局（NOAA）、退役军人事务部等机构还管理着数十年联邦投资积累的海量科学数据，涵盖基因组序列到气象模拟等范畴。创世纪使命将释放这一能力，包括打造基础技术和适配人工智能的数据集，以应对美国最复杂的科技挑战。

要充分发挥这一使命的潜力，必须解决四大关键挑战，否则这些挑战将制约人工智能赋能的科学研究。

首先是问题选择。并非所有科学问题都适合人工智能介入。最具潜力的问题具备特定特征，以当前的人工智能系统而言，包括庞大的组合搜索空间、大量结构化数据，以及可用于衡量进展的明确指标。例如，蛋白质结构预测就完全符合这些标准。其可能的构型空间极为广阔，数十年的晶体学数据提供了训练素材，而蛋白质结构预测关键评估（CASP）等基准测试则让研究人员得以衡量技术进步。

因此，该任务已指示能源部确定至少 20 项具有国家重要性的科技挑战，涵盖先进制造、生物技术、关键材料、核裂变与核聚变、量子

信息科学与半导体领域。相关挑战将每年进行复盘，以反映科学进展与国家优先事项。在人工智能研究资金充裕的当下，联邦政府的价值并非笼统地为人工智能提供资金，而是引导其聚焦于那些突破有望开启下游发现与应用全领域的问题，就像数十年前破解人类基因组所带来的

影响一样。

第二点是机构能力。创世纪使命旨在将本报告通篇概述的改革付诸实践，其中许多改革是在全国范围内开展人工智能驱动科学研究的前提条件。2025 年 12 月，美国能源部宣布与 24 家机构达成合作协议，包括头部人工智能企业、半导体制造商和云服务提供商<sup>163</sup>。这些合作以及后续将开展的众多合作，将确保该使命的成果覆盖整个国家研究生态系统。此外，作为对该使命的核心投资，转型人工智能模型联盟将动员国家实验室与行业合作，打造适配人工智能的全新数据，并支持开发能够利用美国能源部在各科学和工程领域独有的数据、设施和专业知识的基礎模型<sup>164</sup>。

第三点是数据基础设施。科学数据是人工智能驱动发现的原材料，但目前美国大部分最具价值的数据要么无法获取、要么未经整理，要么受限于限制性许可而无法使用。解决这一问题需要两种相辅相成的方法。第一种是开放联邦政府数据的访问权限。许多有价值的数据集之所以存在，是因为政府选择了构建它们，例如美国国家海洋和大气管理局（NOAA）的气象数据或材料项目（Materials Project）的无机晶体图谱。<sup>165</sup>作为该任务基础设施的基石，美国科学云（American Science Cloud）将助力国家实验室为更广泛的研究群体整理和分发美国能源部（DOE）适配人工智能的科学数据，并打破政府官僚体系的壁垒，释放隐藏的数据。第二种方法是为个体研究人员提供激励，促使他们整理并分享自己

的数据集。许多有价值的数据是自然产生的，当最贴近研究的人员意识到自己的实验记录或失败试验可能对他人有所帮助时，这些数据便应运而生。这类数据通常被弃置，有时是因为缺乏稳定的存储和整理资金，有时则是因为人们无法识别其信息价值。<sup>166</sup>例如，考虑到实验室自动化的发展前景，实验室操作流程和高难度实验的数据可能极具价值，但目前这类数据十分分散。该任务将直接解决这一问题，为数据集整理创造新的资金机会，并在各科研机构中推出新的激励措施，鼓励研究人员参与数据整理工作。

第四是将人工智能能力与实验基础设施相融合。从实验室到（后续环节），材料发现过程大约需要 20 年部署方面，闭环自主实验可将这一时间线缩短一个数量级<sup>167</sup>。这使得掌握这一平台技术的领先地位成为美国的战略要务。我们已在全国各国家实验室完成了自主设施的原型设计，例如劳伦斯伯克利国家实验室的 **A-Lab**（专注无机材料的固态合成），以及阿贡国家实验室的 **Polybot**（用于材料表征的模块化机器人平台）。但包括加拿大和中国在内的其他国家也在加速推进。

进一步实现自动化的限制远比资金问题更为深层。科学仪器行业数十年来的整合与离岸外包已催生了诸多意料之中的弊端，包括产品价格高昂、软件体验糟糕，以及将研究人员锁定在供应商生态中的专有数据格式。研究人员想要搭建自动化工作流程，往往需要花费数月时间才能让不同仪器设备实现通信。科学仪器本身必须从头开始重新设计以适配

自动化，采用开放接口和标准化数据格式。国家实验室拥有全球最集中的先进科学仪器设备，其采购能力能够推动这一重新设计进程。该计划已为 14 个项目提供了投资，这些项目聚焦于机器人技术、自动化实验室以及大规模实验的自主控制。<sup>169</sup> 这些工作是在美国国家科学基金会（NSF）同步推进的举措基础上展开的。NSF 已投入 3.8 亿美元初始资金，用于在学术机构和初创企业中建设可编程云实验室，以此启动美国本土的自主实验产业，这就如同 20 世纪 80 年代 NSFNET 在构建现代互联网骨干网络中发挥了关键作用一样<sup>170</sup>。

美国最杰出的人才和行业始终在国家最需要的时候挺身而出。创世纪使命正是向这一代科学家和工程师发出的号召，旨在推动美国在人工智能时代保持科学领域的领先地位。该使命的设计体现了本报告的核心信念。联邦政府的核心作用是构建发展环境而非主导科研探索，同时要认识到私营部门具备的能力是公共机构必须学会加以利用而非照搬复制的。

## 黄金标准科学

人工智能赋能科学的承诺建立在一个目前可能并不稳固的基础之上。我们正准备在科学文献上训练人工智能系统，部署它们生成假设，并信任其设计实验的能力，但它们将依赖的知识库中充斥着错误。

正如第二章详细阐述的，如今大多数研究人员都承认科学界正面临

可复现性危机。二分之一至三分之二的心理学研究未能通过复现验证，<sup>171</sup> 超过三分之一的知名实验经济学研究同样无法复现，<sup>172</sup> 还有一项研究发现，仅临床前生物医学研究中不可复现的研究成果，每年就造成约 280 亿美元的误导性浪费。<sup>173</sup> 每一个错误的研究结果都可能误导后续研究人员，在整个科研领域引发连锁性的失败。如果基础研究结果是错误的，那么科研产出的提升便毫无意义。

2025 年 5 月，总统签署了一项名为《恢复金标准科学》的行政命令，着手解决这一乱象。该命令确立了指导所有联邦资助研究的原则：可重复性、透明度、错误与不确定性的沟通、跨学科协作、对假设的质疑精神、假设的可证伪性、公正的同行评审、负面结果的认可以及利益冲突的规避。各机构被要求采用基于科学证据权重的方法，依据质量和相关性对每一项信息进行透明评估。

复制研究无法大规模开展，部分原因在于市场失灵。强大的激励机制促使研究人员发表新发现，新颖的研究主张既能带来资金支持，也能提升学术声望。另一方面，验证研究的激励机制却十分薄弱，证实他人的研究成果几乎得不到什么荣誉。此前开展的大规模复制研究均以失败告终，原因是这些研究需要大批专家人工验证每一项研究。人工验证无法应对每年发表的数百万篇论文，而且这一问题还将变得愈发严峻。

随着人工智能被引入科研流程，它有可能加剧这些问题。当生成听起来合理的科研成果变得比验证它们更容易时，错误的研究发现将会成

倍增加。人工智能领域的研究就是一个缩影：顶级学术会议的论文投稿量在一年内激增了 60%，超出了该领域评估新成果的能力范围。研究人员如今不仅要审阅毫无意义的人工智能生成投稿，还得反驳针对自己研究的低质量人工智能生成评审意见。<sup>175</sup> 其他领域也将走上同样的发展道路。

创世纪任务正在打造一台科学生成器，其配备的仪器能够以前所未有的规模实现科学发现。为了持续推进这一进程，我们还必须构建其必要的配套设施：一套严谨程度和规模与之相当的验证系统。这是解决可复现性危机、充分发挥人工智能对科学研究赋能作用所必须攻克的核心挑战。

人工智能本身有助于缩小生成与验证之间的差距，但前提是我们必须为必要的基础设施投入资源。人工智能已开始实现科学研究流程中大量环节的自动化。与此同时，“黄金标准科学”的各项要求，包括可重复性、数据共享和方法学文档记录，恰好为自动化验证的实现创造了条件。二者的结合有望实现低成本、持续的人工智能辅助验证。研究人员已经勾勒出此类系统的一种构想：由专门的智能体解析提交的论文，重建计算环境，在沙箱环境中执行分析，并将输出结果与声称的结论进行对比。<sup>176</sup> 如今用于审核人工撰写论文的同一套基础设施，未来或许能判断哪些机器生成的假设值得投入实验资源。

为应对当下的需求，美国国立卫生研究院（NIH）已启动一项全新

的机构级倡议，旨在提升可重复性研究的地位，明确关键研究与基础设施需求，以推动得出可验证且透明共享的严谨研究成果。<sup>177</sup>展望未来，联邦政府必须持续搭建验证基础设施与科研事业之间的连接纽带。这意味着要建立开放的应用程序接口（API）和互操作性标准，使验证功能能够接入期刊投稿系统、资助报告平台以及私营部门的人工智能（AI）研究工具；制定可重复性研究数据包的标准，确保计算类研究成果以机器可审核的形式呈现；设立针对成功复现或反驳有影响力论文的奖励机制。最终目标是构建一套常态化、低成本且与当前科研发现规模相匹配的验证体系。

## 未来展望

印刷机改变了可书写的内容、受众的阅读能力，以及知识积累的方式。研究型大学则打造了全新的知识生产体系。如今涌现的工具也将带来同样的变革，催生新型协作模式、新的验证标准，以及分配注意力与声誉的新机制。

数学领域已有的进展清晰地展现出人工智能与黄金标准科学结合所带来的变革性潜力。在数学中，验证一个证明往往比发现一个证明容易得多，这种有利于验证的不对称性使其成为检验人工智能与黄金标准科学潜力的天然试验场。借助证明助手，证明一个全新数学结论的挑战，可简化为对定理表述的形式化过程。以及构建出证明助手能够接受的论

证链条。然而，从历史来看，形式化过程过于烦琐，因此并未受到重视。将单个定理转化为机器可验证的代码可能需要数月的艰苦工作。2020年开展的“液体张量实验”是一项旨在将凝聚态数学中的一个结果进行形式化的项目，专家们为此付出了近两年的努力<sup>178</sup>。

在过去两年里，大语言模型已让数学家能够将普通的数学表述实时转化为这些形式化语言。这一进展速度令人惊叹。2024年初，一个雄心勃勃的项目启动，旨在借助证明助手将素数定理形式化。经过18个月的努力，全球二十多位研究人员协作推进，该项目取得了阶段性进展，但仍在复分析的核心难题上停滞不前<sup>179</sup>。随后，2025年9月，一家采用人工智能技术的初创公司仅用三周时间就完成了该项目，涵盖了1100条经过形式化验证的定理和定义<sup>180</sup>。

数学协作传统上依赖于小型的、基于信任的网络，在这类网络中，参与度取决于个人声誉与亲疏关系。形式化验证则以数学确定性为基础取代了这一模式，使得协作规模能够突破个人信任的限制。

有观点认为，未来的数学家或许会成为工业化体系的构建者，而非单打独斗的手艺人<sup>181</sup>。这一职业可能会发展出更多角色，包括设计证明策略的统筹者、提供专业知识的领域专家，以及操控人工智能工具的熟练从业者。我们所研究的数学也将发生改变。当人工智能承担起烦琐的计算工作时，整类问题都变得可解，由此开辟出新的科学前沿。

数学领域的证明辅助工具与人工智能驱动验证技术，是可在各学

科领域推广的“黄金标准科学”工具的原型。在任何核对答案比寻找答案更简单的场景中，人工智能不仅有望重塑科学发现的模式，还将重构决定科研主体与科研方式的社会结构。

## 重新思考科学出版

期刊体系是为另一个时代设计的。17 世纪科学期刊问世时，当时活跃的科研人员或许只有数百人，他们通过书信往来交流。如今，全球全职科研人员达 900 万，在数万种期刊上发表的文章数以百万计。

科学传播的基础设施未能跟上科学本身的规模，而人工智能只会扩大这一差距。<sup>182</sup> 出版体系的结构性问题不只体现在规模上。期刊人为制造稀缺性，推崇保密而非开放协作。少数匿名且无报酬的审稿人，他们可能存在既得利益、专业能力有限，或是根本没有足够时间，决定了何为合法的科学研究。该体系的形式更青睐打磨精致的叙述，而非对研究过程的如实记录。零结果、失败的实验、方法学细节以及研究选择背后的真实动因，很少能得以发表。

随着人工智能赋能的科学发展，这些挑战只会愈发严峻。当任何人都能以工业化规模生成看似合理的研究成果时，当前用于评估科研生产力的各项指标，如发表的论文数量、累计的引用次数以及获得的影响因子，都将因可被操控而沦为古德哈特定律的牺牲品。

随着信息技术的发展，获得私人资助的部分研究机构已不再支持传

统的期刊发表。研究人员通过预印本、数据存储库和动态笔记本等替代渠道发布研究成果，这些成果能在其所在社群内快速获得评审和验证。他们发现，当研究人员不再为可发表的成果单元进行优化时，实验设计方式会发生改变。他们变得更具创造力、更注重协作，也更关注研究结果是否具有实际价值，而非能否构成一个引人入胜的故事。

科学传播的未来可能与当下大相径庭。研究人员可能会更频繁地发布更简短的成果，包括数据集、代码、初步发现和方法论说明。随着基础数据的变化，动态论文可能会自动更新。公开同行评审（公开进行而非闭门开展）有望形成更快的反馈循环。这一点在机器学习领域已清晰可见，该领域的研究者早已快速复现发布到在线知识库的论文，并将社交媒体平台变成辩论的论坛。

## 新型合作与学术评价方式

如今人工智能赋能科学领域的前沿进展，比如人工智能模型和自主实验室，在很大程度上仍反映了现有的科学体系结构。但结合新兴的去中心化技术，这些进展预示着人工智能体有望迎来更深刻的变革。这些智能体不再仅仅协助人类研究人员，而是会作为自主参与者融入科学体系中。

这一转型的一个关键基础是更细化的信用归属。基于区块链的系统能够为科学贡献创建不可篡改的记录，为每一个上传的数据集、每一次

运行的分析、每一个提出的假说打上时间戳，并将每一项记录与其创作者关联起来<sup>183</sup>。当记录具备完整的可追溯性且全面涵盖所有贡献时，信用归属就不必是零和博弈。对数据集、代码库、协议等共享资源的贡献，将变得清晰可见且可获得相应回报。

另一个构建模块将是服务于科学知识的新型金融交易模式。去中心化自治组织这种通过集体治理来汇集资源并进行分配的社区，正开始绕开传统机构的把关者，直接为科学研究提供资金。<sup>184</sup> 结合了恰当的评分反馈与统计聚合的预测投票，也已被证明能基于已在推进的技术趋势，比预测市场更准确地预判科学发展。<sup>185</sup> 这些机制共同作用，能够依据群体智慧而非委员会审核来调配资源，有望以更快、更高效的方式实现这一目标。

这些内容为构建一个持续的、由市场调节的、基于智能体的科学经济体系奠定了基础。试想一下，一位资助者为某种罕见疾病首个经过验证的治疗靶点悬赏一百万美元。一个研究相关问题的智能体发现了一个有前景的线索，于是发布一笔小额悬赏来复制这一发现。其他智能体评估该问题是否在自身能力范围内，为这项工作竞标，并签约一家可通过互联网访问的自动化实验室，该实验室开展实验并返回经过加密签名的结果。智能体评估证据，更新其模型，并将结论发布至分布式账本。当结果模棱两可时，人类专家提供自动化系统所欠缺的判断。智能合约在里程碑得到验证后自动发放资金。

在这样的世界里，实验信息将成为可交易的商品，价格机制将取代低效的机构协调。市场可以形成以支持科学事业，例如预测市场向资助者披露即将出现的技术、悬赏市场将资源导向未解决的问题、声誉市场追踪哪些主体能产出可靠成果。主体之间将直接互动，通过微交易交换数据、假设和计算时间。整个系统会持续运转，速度远超任何人类机构，但仍需依靠人类判断来决定哪些突破值得高额悬赏、哪些问题需要机器尚无法提供的研究框架。

基于智能体的科学经济体系将重塑科学研究的开展方式。智能体可能会专门从事成果复现工作，通过验证或驳斥那些人类觉得过于烦琐而不愿核查的论断来获利。另一些智能体则可能专注于阴性结果，这类结果虽被期刊拒之门外，但对于探索同一领域的人而言却具有真正的价值。智能体不受学科界限、职业激励机制以及人类注意力局限的约束，能够聚焦于最有价值的研究问题，而非那些能产出可发表成果的课题。

云实验室成为这个经济体系中的工厂。现有的自动化设施已能在无需人工干预的情况下合成分子、开展分析并得出结果。随着这类设施不断普及并实现接口标准化，它们将成为任何智能体都能访问的网络节点。一个针对蛋白质折叠问题提出假设的人工智能，可以与科罗拉多州的一家实验室签订合作协议，开展晶体学实验，在数小时内获取结果，并将这些结果整合到下一轮的推理过程中，同时与波士顿的人类研究人员展开协作。长期以来制约实证科学发展的物理实验环节，如今变得如同计

算操作一样触手可及。

如今，这一切都尚未以成熟的形式存在，但各个组成部分正各自崭露头角。它们最终是会融合成本文勾勒的这类系统，还是演变成我们目前无法想象的形态，尚无定论。但这一愿景与布什最初的主张一脉相承，科学知识的前沿开放、广阔，且值得我们不断探索。持续探索的责任，义不容辞地落在了我们肩上。

## 我们的构建愿景

数千年来，科学知识与技术进步都受限于人类心智的认知能力。知识无论在形成过程中多么具有集体性，都必须存放在个体思想家的头脑中，通过人类的沟通模式传递，并符合我们为引导探索而创造的社会技术。而这个时代正在走向终结。

我们的文明建立在青铜和钢铁之上，这些物质是我们发现并加以利用的，却并非我们设计的。21 世纪的文明将建立在我们从基本原理出发研发的材料之上，超材料以自然界从未尝试过的方式折射光线，可编程物质可根据指令重新配置，自组装结构如同生命体般生长，却服务于工程用途。从锻造炉到半导体工厂的演进耗时数个世纪；而从半导体工厂到分子组装机的发展，或许只需数十年。

我们或许能开始像如今设计电路一样精准地改造细胞：编程免疫系统以完全的特异性追踪恶性肿瘤，调控细胞分化与组织生长来修复受损

器官，还能逐原子设计疗法，而非通过试错去发现。若我们能把这一切都做好，在一代人的时间里，如今夺走数百万人生命的疾病，如心血管衰竭、神经退行性疾病和癌症，或许会逐一被我们当下着手研发的手段攻克。

技术转型已然开启。在特朗普政府执政的第一年，已有超万亿美元的投资承诺落实，用于先进制造基础设施建设以及那些在现实世界布局业务的科技企业。这一代最顶尖的人才正致力于机器智能领域的突破及其在科学领域的应用。每天都有新公司成立，它们致力于研发新型材料、设计突破性药物、建造核聚变发电设施，同时探索数学中尚未解决的猜想。

与此同时，手工艺的复兴让先进技术成为可能。美国人正在将精密轴承研磨至百万分之一英寸的公差，为手术激光和显微镜打磨光学镜片，为航天器和医疗植入物纺制碳纳米纤维，还培育出纯度极高的半导体晶体。这个国家正在重新发掘自身的制造能力，因为人们认识到，前沿领域的发展依托两类知识：一类是显性知识，可被记录和传授；另一类是隐性知识，只能通过实践习得。美国的实力始终源于一种文化，它既尊崇科学也敬重技艺，还向所有具备天赋与兴趣的人敞开学习之门。

为了持续这一进展，我们必须创新科研方法。科学是支撑我们技术探索的知识宝库。未来数十年的科学或许能创造出无人能完全掌握的知

识，这些知识由无人能完全审核的系统验证，却比我们以往构建的任何成果都更可靠。未来的科研基础设施或许能利用数万亿个人工智能智能体，在各个科学领域开展实验、验证猜想并挖掘洞见，而人类研究者则负责确定方向、提出问题、整合研究成果，并做出需要智慧而非计算能力的判断。我们迫切需要开始为这一人工智能赋能的未来做准备，建立相关机构、激励机制与信息系统，让我们能够信任那些无法独自理解的内容，并掌控那些无法完全预测的方向。

当万尼瓦尔·布什给罗斯福总统写信时，美国面临着一个选择：是继续战时的科学动员，还是让这股势头消散。我们选择了建设。由此诞生的机构为美国奠定了

半个世纪的科学主导地位转化为了安全与繁荣。但这些优势已不足以应对我们如今面临的全新前沿领域。

本报告阐述了必须取代它们的事物：搭建起基础研究与应用生产之间桥梁的新型合作关系、摒弃共识导向转而奖励创新勇气的新机制、让科学重新与制造业和工艺相结合的新基础设施，以及为人工智能赋能的科学发现新时代所做的准备。我们的竞争对手对此心知肚明；他们正在打造自己的体系，以抢占这一科技新世代的先机，并主导其应用方向。

那么，这项任务就落在了我们这一代人肩上。我们需要设计出相关制度、标准和能力，以引领一个规模更大、发展更快且个人难以完全理解的科学事业。在这一过程中，我们不仅将决定美国技术实力的未来，

也将塑造人类知识本身的发展轨迹。若美国想要持续为民众带来繁荣与安全，迎接这一挑战至关重要。

## *End Notes*

1. Vannevar Bush, *Science, the Endless Frontier*, 75th anniversary ed. ( National Science Foundation, 2020 ) , xiv.
2. Bush, *Science, the Endless Frontier*, 1.
3. U.S. Department of Agriculture, “ A Look at Agricultural Productivity Growth in the United States, 1948-2017,” USDA Blog, March 5, 2020, <https://www.usda.gov/about-usda/news/blog/look-agricultural-productivity-growth-united-states-1948-2017>.
4. Elizabeth Arias et al., “United States Life Tables, 2023,” *National Vital Statistics Reports* 74, no. 6 (National Center for Health Statistics, July 15, 2025), <https://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr74/nvsr74-06.pdf>.
5. Ching-Hon Pui and William E. Evans, “ A 50-Year Journey to Cure Childhood Acute Lymphoblastic Leukemia, ” *Seminars in Hematology* 50, no. 3 ( 2013 ) : 185–196, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3771494>.
6. Earl S. Ford et al., “Explaining the Decrease in U.S. Deaths from Coronary Disease, 1980–2000,” *New England Journal of Medicine* 356, no. 23 (2007) : 2388–2398, <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMsa053935>.
7. Keith Fuglie et al., *Agricultural Research and Development: Public and Private Investments Under Alternative Markets and Institutions*, AER-735 ( U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, May 1996 ) , <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details?pubid=40696>.
8. Bush, *Science, the Endless Frontier*, 9.
9. Bush, *Science, the Endless Frontier*, 13.
10. Bush, *Science, the Endless Frontier*, xiii.
11. Bush, *Science, the Endless Frontier*, xiii.
12. Semiconductor Industry Association, 2025 SIA Factbook, <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2025/05/2025-SIA-Factbook-FINAL-1.pdf>.
13. National Center for Science and Engineering Statistics, *National Patterns of R&D Resources: 2023-24 Data Update*, NSF 26-313 ( National Science Foundation, February 2026 ) , <https://nces.nsf.gov/pubs/nsf26313>.
14. National Center for Science and Engineering Statistics, *National Patterns of R&D Resources*.
15. Bush, *Science, the Endless Frontier*, 17–21.
16. Donald E. Stokes, *Pasteur’s Quadrant: Basic Science and Technological Innovation* (Brookings

Institution Press, 1997) .

17. Sandra L. Schneider et al., 2018 Faculty Workload Survey: Primary Report (Federal Demonstration Partnership, 2020), <https://thefdp.org/wp-content/uploads/FDP-FWS-2018-Primary-Report.pdf>.
18. Pierre Azoulay et al., “Indirect Cost Recovery in U.S. Innovation Policy: History, Evidence, and Avenues for Reform” (NBER Working Paper No. 33627, National Bureau of Economic Research, June 2025), <https://doi.org/10.3386/w33627>; Congressional Research Service, “NIH Indirect Costs Policy for Research Grants: Recent Developments,” CRS Insight IN12516, April 17, 2026, <https://www.congress.gov/crs-product/IN12516>.
19. National Institutes of Health, “Supplemental Guidance to the 2024 NIH Grants Policy Statement: Indirect Cost Rates,” NOT-OD-25-068, February 7, 2025, <https://grants.nih.gov/grants/guide/notice-files/NOT-OD-25-068.html>.
20. National Science Board, Discovery: R&D Activity and Research Publications, NSB-2025-7 (National Science Foundation, National Center for Science and Engineering Statistics, July 23, 2025), <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb20257>; Central Intelligence Agency, “A Comparison of Soviet and U.S. Gross National Products, 1960-83,” research paper, released as sanitized, 1999, [https://www.cia.gov/readingroom/docs/DOC\\_0000498181.pdf](https://www.cia.gov/readingroom/docs/DOC_0000498181.pdf).
21. National Science Board, Discovery: R&D Activity and Research Publications; Organisation for Economic Co-operation and Development, Main Science and Technology Indicators (OECD, 2026), <https://www.oecd.org/en/data/datasets/main-science-and-technology-indicators.html>.
22. National Center for Science and Engineering Statistics, Doctorate Recipients from U.S. Universities: 2023, NSF 25-300 (National Science Foundation, December 2, 2024), Figure 8, <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsf25300>.
23. Donald Trump, National Security Presidential Memorandum 33: United States Government Supported Research and Development National Security Policy, January 14, 2021.
24. Chuck Gwyn and Stefan Wurm, “EUV LLC: An Historical Perspective,” in EUV Lithography, ed. Vivek Bakshi (SPIE Press, December 10, 2008), <https://doi.org/10.1117/3.769214>.
25. National Center for Science and Engineering Statistics, “Table 6-3: Temporary Visa Holder Research Doctorate Recipients with Definite Postgraduation Commitments, by Major Field of Doctorate: 2024” in Doctorate Recipients from U.S. Universities: 2024 Data Tables, NSF 25-349 (U.S. National Science Foundation, 2025), <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsf25349>.
26. Bush, Science, the Endless Frontier, 17.

27. Andrew Fieldhouse and Karel Mertens, “The Returns to Government R&D: Evidence from U.S. Appropriations Shocks,” Working Paper No. 2305 (Federal Reserve Bank of Dallas, 2024) , <https://www.dallasfed.org/research/papers/2023/wp2305>.
28. Nicholas Bloom et al., “Are Ideas Getting Harder to Find?” *American Economic Review* 110, no. 4 (2020): 1104–44; Michael Park et al., “Papers and Patents Are Becoming Less Disruptive over Time,” *Nature* 613 (2023) : 138–44.
29. Jack W. Scannell et al., “Diagnosing the Decline in Pharmaceutical R&D Efficiency,” *Nature Reviews Drug Discovery* 11, no. 3 (2012) : 191–200, <https://doi.org/10.1038/nrd3681>.
30. The NIH budget doubled from \$13.6 billion in 1998 to \$27.1 billion in 2003. See: Bruce Alberts et al., “Rescuing US Biomedical Research from Its Systemic Flaws,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, no. 16 (April 14, 2014) : 5773–5777, <https://doi.org/10.1073/pnas.1404402111>.
31. Bloom, “Are Ideas Getting Harder to Find?”
32. Adam Mastroianni, “Ideas Aren’t Getting Harder to Find and Anyone Who Tells You Otherwise Is a Coward and I Will Fight Them,” *Experimental History* (blog) , May 17, 2022, <https://www.experimental-history.com/p/ideas-arent-getting-harder-to-find>.
33. Paul Starr, *The Social Transformation of American Medicine: The Rise of a Sovereign Profession and the Making of a Vast Industry*, updated ed. (Basic Books, 2017) .
34. National Institute of Allergy and Infectious Diseases, “Timeline for Funding Decisions,” National Institutes of Health, last reviewed September 30, 2024, <https://www.niaid.nih.gov/grants-contracts/timelines-funding-decisions>.
35. Joe Sutter and Jay Spenser, *747: Creating the World’s First Jumbo Jet and Other Adventures from a Life in Aviation* (Smithsonian Books, 2006) .
36. Council on Governmental Relations, “Changes in Federal Research Requirements Since 1991,” January 2025, [https://www.cogr.edu/sites/default/files/RegChangesSince1991\\_Dec%202024.pdf](https://www.cogr.edu/sites/default/files/RegChangesSince1991_Dec%202024.pdf).
37. Pierre Azoulay et al., “Indirect Cost Recovery and American Innovation: Context and Ideas for Reform,” *Institute for Progress*, July 24, 2025, <https://ifp.org/indirect-cost-recovery-and-american-innovation>.
38. Kristin R. W. Matthews et al., “The Aging of Biomedical Research in the United States,” *PLOS One* 6, no. 12 (2011) : e29738, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029738>.
39. National Institutes of Health, “Average Age and Degree of NIH R01-Equivalent First-Time Awardees 1980–2016,” *Early Stage Investigator Related Data, NIH Grants and Funding*, last updated September 9, 2024, <https://grants.nih.gov/policy-and-compliance/policy-topics/>

early-stage-investigators/related-data.

40. Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers*, translated by Frank Gaynor (Williams & Norgate Ltd., 1950), 33–34.
41. Pierre Azoulay et al., “Does Science Advance One Funeral at a Time?” *American Economic Review* 109, no. 8 (2019): 2889–2920, <https://doi.org/10.1257/aer.20161574>.
42. Johan S. G. Chu and James A. Evans, “Slowed Canonical Progress in Large Fields of Science,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118, no. 41 (2021): e2021636118, <https://doi.org/10.1073/pnas.2021636118>.
43. Ted Cruz, D.E.I.: Division, Extremism, Ideology: How the Biden-Harris NSF Politicized Science (U.S. Senate Committee on Commerce, Science, and Transportation, October 2024), [https://www.govinfo.gov/app/details/GOVPUB-Y4\\_C73\\_7-PURL-gpo234941](https://www.govinfo.gov/app/details/GOVPUB-Y4_C73_7-PURL-gpo234941).
44. Igor R. Efimov et al., “Politicizing Science Funding Undermines Public Trust in Science, Academic Freedom, and the Unbiased Generation of Knowledge,” *Frontiers in Research Metrics and Analytics* 9 (2024): 1418065, <https://doi.org/10.3389/frma.2024.1418065>.
45. Jerome Karabel, *The Chosen: The Hidden History of Admission and Exclusion at Harvard, Yale, and Princeton* (Houghton Mifflin, 2005).
46. Pierre Azoulay et al., “Incentives and Creativity: Evidence from the Academic Life Sciences,” *RAND Journal of Economics* 42, no. 3 (September 12, 2011): 527–554, <https://doi.org/10.1111/j.1756-2171.2011.00140.x>.
47. Michael Park et al., “Papers and Patents Are Becoming Less Disruptive over Time.”
48. Open Science Collaboration, “Estimating the Reproducibility of Psychological Science,” *Science* 349, no. 6251 (2015): aac4716, <https://doi.org/10.1126/science.aac4716>.
49. Anatoly Nikolaev et al., “Retracted Article: APP Binds DR6 to Trigger Axon Pruning and Neuron Death via Distinct Caspases,” *Nature* 457 (2009): 981–989, <https://doi.org/10.1038/nature07767>.
50. Genentech, “Findings of 2023 Genentech Review of 2009 Nature Paper and Related Research,” April 6, 2023, [https://www.gene.com/media/statements/ps\\_040623](https://www.gene.com/media/statements/ps_040623).
51. Nikolaev et al., “Retracted Article: APP Binds DR6 to Trigger Axon Pruning and Neuron Death via Distinct Caspases.”
52. Theo Baker, “Stanford President’s Research Under Investigation for Scientific Misconduct, University Admits ‘Mistakes’,” *The Stanford Daily*, November 29, 2022, <https://stanforddaily.com/2022/11/29/stanford-presidents-research-under-investigation-for-scientific-misconduct-university-admits-mistakes>; Retraction Note, *Nature* 625, no. 7993 (2024): 204, <https://doi.org/10.1038/d41586-024-00000-0>.

53. [org/10.1038/s41586-023-06943-3](https://doi.org/10.1038/s41586-023-06943-3).
54. Dalmeet Singh Chawla, “‘Golden Tickets’ on the Cards for NSF Grant Reviewers,” *Nature* 614 (2023) : 604–605, <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00579-z>; Villum Foundation, “The Villum Experiment,” <https://villumfonden.dk/en/group/grantsubarea/villum-experiment>.
55. R.D. Anderson, “Germany and the Humboldtian Model,” in *European Universities from the Enlightenment to 1914* (Oxford University Press, 2004) , <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198206606.003.0004>.
56. Nobel Prize Outreach, “The Nobel Prize in Chemistry 2024,” press release, October 9, 2024, <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2024/press-release>.
57. “The Audacious Project: Launching the Protein Design Revolution,” UW Medicine, April 17, 2019, <https://give.uwmedicine.org/ipd-audacious>.
58. John Moult et al., “A Large-Scale Experiment to Assess Protein Structure Prediction Methods,” *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics* 23, no. 3 (November 1995) : ii–v, <https://doi.org/10.1002/prot.340230303>; “Protein Data Bank: Key to the Molecules of Life,” NSF Impacts, U.S. National Science Foundation, <https://www.nsf.gov/impacts/protein-data-bank>.
59. Michael Nielsen and Kanjun Qiu, “A Vision of Metascience: An Engine of Improvement for the Social Processes of Science,” October 18, 2022, <https://scienceplusplus.org/metascience>.
60. Ben Southwood, “The Rise and Fall of the Industrial R&D Lab,” *Works in Progress*, August 28, 2020, <https://worksinprogress.co/issue/the-rise-and-fall-of-the-american-rd-lab>.
61. Sam Rodriques and Adam Marblestone, “Focused Research Organizations to Accelerate Science, Technology, and Medicine,” *Federation of American Scientists*, September 24, 2020, <https://fas.org/publication/focused-research-organizations-to-accelerate-science-technology-and-medicine>.
62. Ben Reinhardt, “Unbundling the University,” *Speculative Technologies*, February 2025, <https://www.unbundle-the-university.com>.
63. Caleb Watney, “Launching X-Labs for Transformative Science Funding,” in *The Techno-Industrial Policy Playbook* (The Foundation for American Innovation; American Compass; The Institute for Progress; New American Industrial Alliance Foundation, 2025) , <https://www.rebuilding.tech/posts/launching-x-labs-for-transformative-science-funding>.
64. Adam Marblestone et al., “Unblock Research Bottlenecks with Non-Profit Start-Ups,” *Nature* 601, no. 7892 (January 11, 2022) : 188–190, <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00018-5>.
65. Caleb Watney, “Launching X-Labs for Transformative Science Funding.”
66. Stuart Buck, “A Taxonomy of R&D Orgs: What Is New, What Is Missing?” *Good Science*

Project, forthcoming.

67. Adam Marblestone and Andrew Payne, “Mapping the Brain for Alignment,” Institute for Progress, August 11, 2025, <https://ifp.org/mapping-the-brain-for-alignment>.
68. Heidi Williams, “Building a Better NIH,” Institute for Progress, May 17, 2023, <https://ifp.org/building-a-better-nih>.
69. Chawla, “‘Golden Tickets’ on the Cards for NSF Grant Reviewers.”
70. Ishan Sharma et al., “Piloting and Evaluating NSF Science Lottery Grants: A Roadmap to Improving Research Funding Efficiencies and Proposal Diversity,” Institute for Progress, February 2, 2022, <https://ifp.org/piloting-and-evaluating-nsf-science-lottery-grants>.
71. Chawla, “‘Golden Tickets’ on the Cards for NSF Grant Reviewers.”
72. Howard Hughes Medical Institute, “Mid-Career & Senior Faculty Program,” <https://www.hhmi.org/programs/investigators>.
73. Pierre Azoulay et al., “Incentives and Creativity: Evidence from the Academic Life Sciences.”
74. Francis S. Collins et al., “NIH Roadmap/Common Fund at 10 Years,” *Science* 345, no. 6194 (2014) : 274–276, <https://doi.org/10.1126/science.1255860>.
75. NSF Graduate Research Fellowship Program, “About GRFP,” <https://www.nsfgrfp.org/about.html>.
76. Patrick Collison et al., “What We Learned Doing Fast Grants,” *Future*, June 2, 2022, <https://future.com/what-we-learned-doing-fast-grants>; Heidi Williams, “To Speed Scientific Progress, Do Away with Funding Delays,” *The Washington Post*, August 14, 2023, <https://www.washingtonpost.com/opinions/2023/08/14/heidi-williams-science-research-funding>.
77. Defense Advanced Research Projects Agency, “The DARPA Grand Challenge: Ten Years Later,” *DARPA News*, March 13, 2014, <https://www.darpa.mil/news/2014/grand-challenge-ten-years-later>.
78. XPRIZE Foundation, “Mojave Aerospace Ventures Wins That Competition That Started It All,” <https://www.xprize.org/news/mojave-aerospace-ventures-wins-the-competition>.
79. Vesuvius Challenge, “Vesuvius Challenge 2023 Grand Prize Awarded: We Can Read the Scrolls!” February 4, 2024, <https://scrollprize.org/grandprize>.
80. Vitalik Buterin et al., “A Flexible Design for Funding Public Goods,” *Management Science* 65, no. 11 (July 2, 2019) : 5171–5187, <https://doi.org/10.1287/mnsc.2019.3337>.
81. Adam Marblestone et al., “Introducing the Convergent Research Gap Map,” *Essential Technology* (blog), April 15, 2025, <https://www.essentialtechnology.blog/p/introducing-the-convergent-research-gap-map>.

gent-research.

82. “Heilmeier Catechism,” Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), <https://www.darpa.mil/about/heilmeier-catechism>.
83. UK Metascience Unit, A Year in Metascience (2025), (Department for Science, Innovation and Technology and UK Research and Innovation, June 30, 2025) , <https://www.gov.uk/government/publications/a-year-in-metascience-2025>.
84. The White House, National Security Strategy of the United States of America (November 2025), <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2025/12/2025-National-Security-Strategy.pdf>.
85. Allan Dafoe, “ On Technological Determinism: A Typology, Scope Conditions, and a Mechanism,” Science, Technology, & Human Values 40, no. 6 (2015) : 1047–1076, <https://doi.org/10.1177/0162243915579283>.
86. W. Brian Arthur, Increasing Returns and Path Dependence in the Economy (University of Michigan Press, 1994) .
87. National Science Board, Discovery: R&D Activity and Research Publications.
88. KPMG Private Enterprise, “2024 Global VC Investment Rises to \$368 Billion as Investor Interest in AI Soars While IPO Optimism Grows For 2025 According to KPMG Private Enterprise’s Venture Pulse,” press release for Venture Pulse, January 2025, <https://kpmg.com/xx/en/media/press-releases/2025/01/2024-global-vc-investment-rises-to-368-billion-dollars.html>.
89. U.S. Nuclear Regulatory Commission, “Pre-application Process,” last reviewed or updated May 13, 2026, <https://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/advanced/new-app/general-guidance/pre-app-process>; Office of Nuclear Energy, “NRC Approves First U.S. Small Modular Reactor Design,” U.S. Department of Energy, September 2, 2020, <https://www.energy.gov/ne/articles/nrc-approves-first-us-small-modular-reactor-design>; Office of Nuclear Energy, “NRC Certifies First U.S. Small Modular Reactor Design,” U.S. Department of Energy, January 20, 2023, <https://www.energy.gov/ne/articles/nrc-certifies-first-us-small-modular-reactor-design>.
90. 89 Nuclear Energy Innovation and Modernization Act, Pub. L. No. 115–439, 132 Stat. 5565 (2019) .
91. Erik Cothron, “Fact Sheet: President Trump’s Nuclear Energy Executive Orders,” Nuclear Innovation Alliance, May 29, 2025, <https://nuclearinnovationalliance.org/fact-sheet-president-trumps-nuclear-energy-executive-orders>.
92. “PRIMA Visual Prosthesis,” Science Corporation, <https://science.xyz/technologies/prima>.
93. Aylin Sertkaya et al., U.S. Department of Health and Human Services, Office of the Assistant Secretary for Planning and Evaluation, Examination of Clinical Trial Costs and Barriers for Drug

Development, July 24, 2014, <https://aspe.hhs.gov/reports/examination-clinical-trial-costs-barriers-drug-development-0>.

94. U.S. Food and Drug Administration, “FDA Eliminates Major Barrier to Using Real-World Evidence in Drug and Device Application Reviews,” press announcement, December 15, 2025, <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-eliminates-major-barrier-using-real-world-evidence-drug-and-device-application-reviews>.
95. Vinay Prasad and Martin A. Makary, “One Pivotal Trial, the New Default Option for FDA Approval—Ending the Two-Trial Dogma,” *New England Journal of Medicine* 394, no. 8 (February 18, 2026) : 815–17, <https://doi.org/10.1056/NEJMs2517623>.
96. National Institutes of Health, “Highlighted Topics,” NIH Grants & Funding, last updated December 10, 2025, <https://grants.nih.gov/funding/find-a-fit-for-your-research/highlighted-topics>; National Institutes of Health, “Updated Application Policies: NIH Administrative Burden Reduction Efort Removal of Requirements for Letters of Intent and Unsolicited Applications Requesting \$500,000 or More in Direct Costs,” notice no. NOT-OD-26-019, NIH Guide for Grants and Contracts, December 3, 2025, <https://grants.nih.gov/grants/guide/notice-files/NOT-OD-26-019.html>.
97. U.S. Food and Drug Administration, “Commissioner’s National Priority Voucher (CNPV) Pilot Program,” last modified April 28, 2026, <https://www.fda.gov/industry/commissioners-national-priority-voucher-cnpv-pilot-program>.
98. Kim Stringfellow, “Peace, Love and Rockets: Amateur Rocketry in the Mojave,” PBS SoCal, August 31, 2017, <https://www.pbssocal.org/shows/artbound/peace-love-and-rockets-amateur-rocketry-in-the-mojave>; Friends of Amateur Rocketry, Inc., <https://friendsofamateurocketry.org>.
99. Mojave Air and Space Port, “America’s First Inland Space Port,” <https://mojaveairport.com/about-us/page/americas-first-inland-space-port>.
100. NASA, “NASA and X Prize Announce Winners of Lunar Lander Challenge,” press release, June 6, 2013, <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-and-x-prize-announce-winners-of-lunar-lander-challenge>.
101. NASA, “NASA Stennis Inks Expanded Test Complex Agreement with Relativity Space,” press release, September 7, 2023, <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-stennis-inks-expanded-test-complex-agreement-with-relativity-space>.
102. “Office of Science User Facilities,” U.S. Department of Energy, <https://www.energy.gov/science/office-science-user-facilities>.

103. National Nanotechnology Coordinated Infrastructure, <https://nni.net>.
104. BioLabs, <https://www.biolabs.io>.
105. U.S. Food and Drug Administration, “Current Good Manufacturing Practice (CGMP) Regulations,” last modified November 21, 2025, <https://www.fda.gov/drugs/pharmaceutical-quality-resources/current-good-manufacturing-practice-cgmp-regulations>.
106. National Center for Science and Engineering Statistics, National Patterns of R&D Resources.
107. Foundation for the National Institutes of Health, <https://fnih.org>.
108. National Institutes of Health, “Accelerating Medicines Partnership (AMP) ,” last reviewed July 16, 2025, <https://www.nih.gov/amp>.
109. “A Doctoral Program for Full-time Employees,” Northeastern University, <https://phd.northeastern.edu/industry-and-experiential-phd-program>.
110. “Activate,” Entrepreneur Futures Network, <https://entrepreneurfutures.org/activate>.
111. Robert Cook-Deegan, *The Gene Wars: Science, Politics, and the Human Genome* (W. W. Norton, 1994) , 102.
112. Francis S. Collins et al., “The Human Genome Project: Lessons from Large-Scale Biology,” *Science* 300, no. 5617 (April 11, 2003) : 286–90, <https://doi.org/10.1126/science.1084564>.
113. Simon Tripp and Martin Grueber, *Economic Impact of the Human Genome Project* ( Battelle Memorial Institute, Technology Partnership Practice, May 2011 ) , <https://battelle.org/docs/default-source/misc/battelle-2011-misc-economic-impact-human-genome-project.pdf>.
114. United States General Accounting Office, *Federal Research: SEMATECH’s Efforts to Strengthen the U.S. Semiconductor Industry*, RCED-90-236, September 13, 1990, <https://gao.gov/assets/rced-90-236.pdf>.
115. Sandia National Laboratories, “ Partners Unveil First Extreme Ultraviolet Chip-Making Machine, ” April 11, 2001, <https://newsreleases.sandia.gov/partners-unveil-first-extreme-ultraviolet- chip-making-machine>.
116. Gwyn and Wurm, “EUV LLC: An Historical Perspective.”
117. Alexis de Tocqueville, *Democracy in America*, trans. Henry Reeve, vol. 2, bk. 3, ch.18.
118. “Autonomous Vehicles Testing and Operating in the State of Arizona,” Arizona Department of Transportation, Motor Vehicle Division, <https://azdot.gov/mvd/services/professional-services/autonomous-vehicles-testing-and-operating-state-arizona>.
119. “TSMC Arizona,” Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, <https://www.tsmc.com/static/abouttsmcaz/index.htm>.
120. Regulatory Sandbox Program Amendments, H.B. 217, 2021 Gen. Sess. (Utah 2021) .

121. James R. Holbein and Justin Holbein, “Wyoming Laws More Crypto-Friendly with Issuance of State Stablecoin,” Braumiller Law Group, PLLC, <https://www.braumillerlaw.com/wyoming-laws-more-crypto-friendly-with-issuance-of-state-stablecoin>.
122. Dan Wang, “How Technology Grows (a Restatement of Definite Optimism),” blog, July 24, 2018, <https://danwang.co/how-technology-grows>; Dan Wang, *Breakneck: China’s Quest to Engineer the Future* (W. W. Norton & Company, 2025) .
123. Michael Polanyi, *The Tacit Dimension* (Doubleday, 1966) .
124. Harry Collins, *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice* (University of Chicago Press, 1992) .
125. Wang, “How Technology Grows.”
126. Katelynn Harris, “Forty Years of Falling Manufacturing Employment,” *Beyond the Numbers* 9, no. 16 (November 2020) , <https://www.bls.gov/opub/btn/volume-9/forty-years-of-falling-manufacturing-employment.htm>.
127. U.S. Bureau of Labor Statistics, “All Employees, Manufacturing [MANEMP],” FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis, March 2, 2026, <https://fred.stlouisfed.org/series/MANEMP>.
128. U.S. Bureau of Labor Statistics, “All Employees, Manufacturing [MANEMP].”
129. Tim Bajarin, “Maker Faire: Why the Maker Movement Is Important to America’s Future,” *Time*, May 19, 2014, <https://time.com/104210/maker-faire-maker-movement>.
130. Will Holman, “Makerspace: Towards a New Civic Infrastructure,” *Places Journal*, November 2015, <https://placesjournal.org/article/makerspace-towards-a-new-civic-infrastructure>.
131. Matthew B. Crawford, “Shop Class as Soulcraft,” *The New Atlantis*, no. 13 (Summer 2006): 7–24, <https://www.thenewatlantis.com/wp-content/uploads/legacy-pdfs/TNA13-Crawford.pdf>.
132. Nick Moore, “Connecting Talent to Opportunity: A National Challenge to Build Talent Marketplaces,” *Homeroom Blog*, U.S. Department of Education, January 13, 2026, <https://www.ed.gov/about/homeroom-blog/connecting-talent-opportunity-national-challenge-build-talent-marketplaces>; Heather Hennerich, “The Jobs and Degrees Underemployed College Graduates Have,” *Open Vault Blog*, Federal Reserve Bank of St. Louis, August 13, 2025, <https://www.stlouisfed.org/open-vault/2025/aug/jobs-degrees-underemployed-college-graduates-have>.
133. Rita R. Zota, “A Snapshot of Federal Student Loan Debt,” CRS Report No. IF10158, February 19, 2025, <https://www.congress.gov/crs-product/IF10158>.
134. Rainer Weiss, “Biographical,” *NobelPrize.org*, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2017/weiss/biographical>; Bryan Marquard, “Rainer Weiss, Nobel Prize-Winner Who Helped Unlock

- Secrets of the Universe, Dies at 92,” The Boston Globe, August 31, 2025, <https://www.boston-globe.com/2025/08/31/metro/mit-nobel-prize-winner-rainer-weiss-passes-away>.
135. American Association of Community Colleges, “AACC Fast Facts 2025,” February 2025, [https://www.aacc.nche.edu/wp-content/uploads/2025/02/AACC2025\\_Fact\\_Sheet.pdf](https://www.aacc.nche.edu/wp-content/uploads/2025/02/AACC2025_Fact_Sheet.pdf).
  136. U.S. Department of Labor, “US Department of Labor Announces \$145M in Funds Supporting Performance-Based Registered Apprenticeship Expansion across Key Industry Sectors,” news release, February 13, 2026, <https://www.dol.gov/newsroom/releases/eta/eta20260213-0>.
  137. Robert I. Lerman, “Proposal 7: Expanding Apprenticeship Opportunities in the United States” (The Hamilton Project, Brookings Institution, 2014) , [https://www.hamiltonproject.org/assets/legacy/files/downloads\\_and\\_links/expand\\_apprenticeship\\_opportunities\\_united\\_states\\_lerman.pdf](https://www.hamiltonproject.org/assets/legacy/files/downloads_and_links/expand_apprenticeship_opportunities_united_states_lerman.pdf); Amy Simon, “Revitalizing the Federal Apprenticeship System,” American Compass, June 8, 2022, <https://americancompass.org/revitalizing-the-federal-apprenticeship-system>.
  138. Steven Klepper, “Disagreements, Spinoffs, and the Evolution of Detroit as the Capital of the U.S. Automobile Industry,” Management Science 53, no. 4 (2007) : 616–631, <https://doi.org/10.1287/mnsc.1060.0683>.
  139. Philip E. Auerswald and Lewis M. Branscomb, “Valleys of Death and Darwinian Seas: Financing the Invention to Innovation Transition in the United States,” The Journal of Technology Transfer 28 (2003) : 227–239, <https://doi.org/10.1023/A:1024980525678>.
  140. J.D. Vance, “Remarks at the American Dynamism Summit” (speech, Third American Dynamism Summit, Washington, D.C., March 18, 2025) .
  141. Tyler Buchanan, “Over \$2 Billion Worth of Incentives Brought Intel to Ohio,” Axios Columbus, January 31, 2022, <https://www.axios.com/local/columbus/2022/01/31/over-2b-worth-of-incentives-brought-intel-to-ohio>.
  142. Columbus State Community College, “Columbus State Leading New Ohio-Wide Community College Collaboration Creating Two-Year Degree Pathways to Chip Manufacturing Technician Careers at Intel,” September 8, 2022, <https://www.csc.edu/about/news/2022/intel-ground-breaking-sept-22.shtml>.
  143. Chris Bournea, “Intel Announces \$50 Million Investment in Ohio Higher Education,” Ohio State University College of Engineering, March 18, 2022, <https://engineering.osu.edu/news/2022/03/intel-announces-50-million-investment-ohio-higher-education>; Gabriela Cruz Thompson, “Intel Addresses Semiconductor Workforce Shortage,” September 24, 2023, <https://newsroom.intel.com/corporate/intel-addresses-semiconductor-workforce-shortage>.

144. Office of the Texas Governor, “Governor Abbott Announces Texas Semiconductor Innovation Fund Grant to Samsung Austin Semiconductor,” press release, September 17, 2025, <https://gov.texas.gov/news/post/governor-abbott-announces-texas-semiconductor-innovation-fund-grant-to-samsung-austin-semiconductor>.
145. Vannevar Bush, “As We May Think,” *The Atlantic*, July 1945, <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/1945/07/as-we-may-think/303881>.
146. Bush, “As We May Think.”
147. Rolfe Winkler et al., “Big Tech’s \$400 Billion AI Spending Spree Just Got Wall Street’s Blessing,” *Wall Street Journal*, July 31, 2025, <https://www.wsj.com/tech/ai/tech-ai-spending-company-valuations-7b92104b>.
148. John Jumper et al., “Highly Accurate Protein Structure Prediction with AlphaFold,” *Nature* 596 (2021) : 583–589, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2>.
149. Joseph L. Watson et al., “De Novo Design of Protein Structure and Function with RFdiffusion,” *Nature* 620 (2023) : 1089–1100, <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06415-8>.
150. Tong Wang et al., “Ab Initio Characterization of Protein Molecular Dynamics with AI2BMD,” *Nature* 635 (2024) : 1019–1027, <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08127-z>.
151. Jonas Degraeve et al., “Magnetic Control of Tokamak Plasmas Through Deep Reinforcement Learning,” *Nature* 602 (2022) : 414–419, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04301-9>.
152. ATLAS Collaboration, “Search for New Phenomena in Two-Body Invariant Mass Distributions Using Unsupervised Machine Learning for Anomaly Detection at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS Detector,” *Physical Review Letters* 132, no. 8 (2024) : 081801, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.081801>.
153. Hiroaki Kitano, “Nobel Turing Challenge: Creating the Engine for Scientific Discovery,” *npj Systems Biology and Applications*, vol. 7, no. 29 (2021) , <https://doi.org/10.1038/s41540-021-00189-3>.
154. National Center for Science and Engineering Statistics, “Publication Output by Region, Country, or Economy and by Scientific Field,” in *Publications Output: U.S. Trends and International Comparisons*, NSB-2023-33 (National Science Foundation, December 11, 2023) , <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb202333/publication-output-by-region-country-or-economy-and-by-scientific-field>.
155. Conor Griffin et al., “A New Golden Age of Discovery: Seizing the AI for Science Opportunity,” *AI Policy Perspectives* (blog) , November 26, 2024, <https://www.aipolicyperspectives.com/p/a-new-golden-age-of-discovery>.

156. Haotian Teng et al., “ Chiron: Translating Nanopore Raw Signal Directly into Nucleotide Sequence Using Deep Learning, ” GigaScience 7, no. 5 ( 2018 ) , <https://doi.org/10.1093/gigascience/ giy037>.
157. Ashish Vaswani et al., “ Attention Is All You Need, ” in Advances in Neural Information Processing Systems 30 (2017) , 5998–6008.
158. Sayash Kapoor and Arvind Narayanan, “ Could AI Slow Science? Confronting the Production-Progress Paradox, ” AI as Normal Technology ( blog ) , July 16, 2025, <https://www.normaltech.ai/p/ could-ai-slow-science>.
159. “ About, ” Arc Institute, <https://arcinstitute.org/about>.
160. “ 2026 AI-for-Science Independent Postdoctoral Fellowship Program, ” FutureHouse, <https://www.futurehouse.org/fellowship>.
161. Anthropic, “ Lawrence Livermore National Laboratory Expands Claude for Enterprise Use to Empower Scientists and Researchers, ” July 9, 2025, <https://www.anthropic.com/news/lawrence-livermore-national-laboratory-expands-claude-for-enterprise-to-empower-scientists-and>; U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration, “ NNSA’s Los Alamos National Laboratory Launches Frontier AI Models on the Venado Supercomputer, ” August 28, 2025, <https://www.energy.gov/nnsa/articles/nnsas-los-alamos-national-laboratory-launches-frontier-ai-models-venado-supercomputer>; National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory, “ NASA’s Perseverance Rover Completes First AI-Planned Drive on Mars, ” January 30, 2026, <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasas-perseverance-rover-completes-first-ai-planned-drive-on-mars>.
162. Exec. Order No. 14363, “ Launching the Genesis Mission, ” Federal Register 90 (November 28, 2025 ) : 55035, <https://www.federalregister.gov/documents/2025/11/28/2025-21665/launching-the-genesis-mission>.
163. U.S. Department of Energy, “ Energy Department Launches ‘Genesis Mission’ to Transform American Science and Innovation Through the AI Computing Revolution, ” November 24, 2025, <https://www.energy.gov/articles/energy-department-launches-genesis-mission-transform-american-science-and-innovation>.
164. U.S. Department of Energy, “ Energy Department Announces Collaboration Agreements with 24 Organizations to Advance the Genesis Mission, ” December 18, 2025, <https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-collaboration-agreements-24-organizations-advance>

genesis.

165. U.S. Department of Energy, Office of Science, The Transformational AI Models Consortium, DOE National Laboratory Program Announcement LAB 25-3560, August 22, 2025, <https://science.osti.gov/-/media/grants/pdf/lab-announcements/2025/LAB-25-3560-000001.pdf>.
166. The Materials Project, Lawrence Berkeley National Lab, <https://next-gen.materialsproject.org>.
167. Conor Griffin et al., “A New Golden Age of Discovery: Seizing the AI for Science Opportunity.”
168. Subcommittee on the Materials Genome Initiative, Materials Genome Initiative: Strategic Plan (National Science and Technology Council, Committee on Technology, December 2014) , [https://www.mgi.gov/sites/mgi/files/mgi\\_strategic\\_plan\\_-\\_dec\\_2014.pdf](https://www.mgi.gov/sites/mgi/files/mgi_strategic_plan_-_dec_2014.pdf).
169. Charles Yang, “Antitrust & the Science Instrument Industry,” The Republic of Science (blog), December 8, 2025, <https://republicofscience.substack.com/p/antitrust-and-the-science-instrument>.
170. U.S. Department of Energy, “Energy Department Advances Investments in AI for Science,” December 10, 2025, <https://www.energy.gov/articles/energy-department-advances-investments-ai-science>.
171. National Science Foundation, “Test Bed: Toward a Network of Programmable Cloud Laboratories (PCL Test Bed) ,” Solicitation NSF 25-541, July 16, 2025, <https://www.nsf.gov/funding/opportunities/pcl-test-bed-test-bed-toward-network-programmable-cloud-laboratories/nsf25-541/solicitation>.
172. Open Science Collaboration, “Estimating the Reproducibility of Psychological Science,” Science 349, no. 6251 (August 28, 2015) : aac4716, <https://doi.org/10.1126/science.aac4716>.
173. Colin F. Camerer et al., “Evaluating Replicability of Laboratory Experiments in Economics,” Science 351, no. 6280 (March 3, 2016) : 1433–1436, <https://doi.org/10.1126/science.aaf0918>.
174. Leonard P. Freedman et al., “The Economics of Reproducibility in Preclinical Research,” PLoS Biology 13, no. 6 (2015) : e1002165, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002165>.
175. Exec. Order No. 14303, “Restoring Gold Standard Science,” Federal Register 90 (May 29, 2025) : 22601, <https://www.federalregister.gov/documents/2025/05/29/2025-09802/restoring-gold-standard-science>.
176. “There was a 59.8% increase in ICLR submissions in 2025 alone” as stated in Jaeho Kim et al., “Position: The AI Conference Peer Review Crisis Demands Author Feedback and Reviewer Rewards,” Proceedings of the 42nd International Conference on Machine Learning 267 (2025): 81634–81651, <https://proceedings.mlr.press/v267/kim25am.html>.

177. Abel Brodeur and Bruno Barbarioli, “The Replication Engine,” Institute for Progress, The Launch Sequence, August 11, 2025, <https://ifp.org/the-replication-engine>.
178. National Institutes of Health, “Replication to Enhance Research Impact Initiative,” NIH Common Fund, last reviewed February 4, 2026, <https://commonfund.nih.gov/replication-initiative>.
179. Mathlib community, “Completion of the Liquid Tensor Experiment,” Lean community blog, July 15, 2022, <https://leanprover-community.github.io/blog/posts/lte-final>.
180. Leila Sloman, “‘A-Team’ of Math Proves a Critical Link Between Addition and Sets,” Quanta Magazine, December 6, 2023, <https://www.quantamagazine.org/a-team-of-math-proves-a-critical-link-between-addition-and-sets-20231206>.
181. Math, Inc., “The Strong Prime Number Theorem,” GitHub repository, 2025, <https://github.com/math-inc/strongpnt>.
182. Terence Tao, “A Conversation with Terry Tao, Inaugural Veritas Fellow,” interview by Jesse Han and Jared Duker Lichtman, Math, Inc., YouTube video, December 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=4ykbHwZQ8iU>.
183. Seemay Chou, “Scientific Publishing: Enough is Enough,” Astera Institute (blog), June 2, 2025, <https://asterainstitute.substack.com/p/scientific-publishing-enough-is-enough>.
184. Timothy K. Mackey et al., “A Framework Proposal for Blockchain-Based Scientific Publishing Using Shared Governance,” *Frontiers in Blockchain* 2, (2019) : 19, <https://doi.org/10.3389/fbloc.2019.00019>.
185. “The Community of the DAO,” *Nature Biotechnology* 41 (2023) : 1357, <https://doi.org/10.1038/s41587-023-02005-1>.
186. Gaia Dempsey, “Why I Reject the Comparison of Metaculus to Prediction Markets,” Metaculus, February 24, 2023, <https://www.metaculus.com/notebooks/17599/why-i-reject-the-comparison-of-metaculus-to-prediction-markets>

## *Annex*

## 致各行政部门和机构负责人的备忘录

发件人： 迈克尔·克拉齐奥斯

总统科技助理兼科技政策办公室主任

拉塞尔·沃特

管理与预算办公室主任

主 题： 开启美国创新新黄金时代：

2028 财年政府研发预算重点

美国在科学技术领域的领导地位是其经济繁荣、国家安全和公共卫生的基石。值此美国宣布独立 250 周年之际，我们正站在美国创新新黄金时代的门槛之上。美国在将定义本世纪的新兴技术领域，从前沿人工智能、量子技术到先进核裂变与核聚变的领导地位，部分取决于联邦对基础研究的核心投入，而基础研究与应用导向的探索是各类科学与工程学科发展的根基。技术的飞速变革正在改变科学研究的开展方式、我们如今能够提出的科学问题，以及我们能够研发的科学仪器。为开启这一新的黄金时代，我们必须重振支撑美国科学领导地位的研发体系。

八十年前，万尼瓦尔·布什的《科学：无尽的前沿》为现代美国科学事业奠定了基础，催生了国家科学基金会，并促成了联邦政府、大学与

企业之间的合作，助力美国赢得了这一世纪。如今，这一事业正受小布什未曾预料到的各种力量重塑的影响。全球竞争对手正竞相挑战美国的科学领先地位，研发出推动发现与创新的新方法。与此同时，我们自身的科研体系已失去平衡。如今，企业在创新乃至基础研究领域的贡献占比不断提升，其在全国研发资金中的占比在过去半个世纪翻了一番，但联邦政府在科研资助方式或与私营部门合作模式上，基本未进行更新。政府在研发领域的投入创下历史新高，然而非国防类投入大多集中在生命科学领域，重大突破的推进速度也有所放缓。尽管美国仍能取得颠覆性发现，但我们往往无法在国内充分利用这些成果，将实现发现产业化的制造业和供应链拱手让给了海外竞争对手。我们面前的机遇十分明确：

通过让产业更深入地融入科研体系、资助颠覆性科学研究（尤其是物理科学和工程领域）、将科学发现与制造业及熟练技艺重新关联起来，美国能够再次将科学发现全面转化为广泛的繁荣发展，创造新的应用场景、高薪岗位以及更具活力的区域经济。

本备忘录为联邦各部门及机构提供指导，旨在重塑美国的科技事业体系，落实《科学：新黄金时代》中的建议，并推进总统关于打造美国创新黄金时代的愿景。该指导明确了行政部门的研发优先事项，供各机构在制定 2028 财年预算及相关规划时酌情考量。这些优先事项包括：

（一）将研发组合向基础研究、物理科学和工程领域倾斜；（二）推进

国家科技使命；（三）运用人工智能和新兴技术加速 美国科研与创新；（四）扩大研发基础设施以服务更广泛的生态系统；（五）将科学进展转化为更强大的区域生态系统和普惠型繁荣；（六）探索新的资助机制和制度模式以支持前沿科学；（七）探索更有效的方式发掘和培养科学人才；（八）对联邦科研资助方式进行严谨研究、评估与改进；（九）将联邦研发融入更广泛的科技事业体系。各机构在向管理和预算办公室（OMB）提交 2028 财年预算时，应酌情纳入本指导内容。

## 2028 财年研发重点领域

### 投入基础研究推动新兴技术实现科学突破

基础研究（涵盖各理工科领域的基础研究与应用导向型研究）仍是美国科技领先地位的基石。美国从基础研究中获得了远超常规的长期安全、经济与社会效益，这类研究拓展了知识前沿，推动新产业发展。联邦政府相较于私营部门的比较优势正体现在此，即支持那些回报周期长、收益覆盖面广且私营部门难以实现的研究工作。各机构在向管理与预算办公室提交 2028 财年预算申请时，应着力提高基础研究在后期研发投入中的占比。

拜登政府的多项战略技术优先事项，包括人工智能、量子信息科学、半导体、先进通信、机器人技术、先进制造、核裂变与核聚变以及空间系统，均依赖于物理科学、计算机科学和工程领域的基础研究。然而，尽管这些领域的战略重要性不断提升，但长期以来，物理科学和工程学在联邦研究项目中所占的比例却有所下降。各机构应在预算指导框架内，优先确保拨给物理科学（物理学、化学、材料科学、空间科学等）、计算机科学以及相关工程和数学学科的资金，既保持绝对规模，也提升相对占比，尤其是在与国家安全相关的研究项目中。此外，为支持政府在生物技术和生物制造领域的优先事项，各机构应将生物科学领域的基础研究置于生命科学之上。生命科学是一个范围更广的类别，其核心并非

基础研究。

各机构在向管理和预算办公室（OMB）提交 2028 财年预算时，应注明拟议活动的研发性质分类（占其研发资金组合的百分比），并明确机构计划通过哪些具体项目将资金组合向早期研究工作倾斜。对于机构拟大幅扩大后期开发活动的情况，应说明在没有联邦支持的情况下此类活动为何无法开展。各机构应优先为以下方面提供资金：

- **物理科学。**各机构应优先开展物理科学领域的基础研究，包括凝聚态与量子材料相关研究物理学，包括关联态、磁学态和拓扑态；光子学，聚焦于光的产生、调控与探测；原子、分子与光学物理，聚焦于精密测量与系统的量子调控；超导物理及其他量子现象物理；等离子体与高能量密度物理；极端条件下的核物理与物质物理；引力物理与大地测量学；空间与行星物理学，涵盖空间系统运行所处的辐射、等离子体及空间天气环境。这些领域为量子科学、半导体、先进通信网络、未来计算技术、先进核裂变与核聚变能源，以及包含新型传感模式、高精度定位、导航与授时技术在内的空间探索技术提供了基础支撑。
- **化学与材料科学。**各机构应优先开展化学与材料科学领域的基础研究，包括电子材料、光子材料与量子材料；决定材料制备与器件性能的表面、界面及缺陷化学；极端环境用材料（如抗辐射、面向等离子体、耐高温材料）；材料的结构、性能、合成与表征（涵盖凝

聚态物理与材料理论、陶瓷、金属、聚合物及生物材料)；电化学与固态离子学；以及催化、合成与反应机理研究。这些领域是量子科学与半导体的基础，并广泛应用于先进制造、能源生产与存储、核燃料循环、光子学以及航天与高超音速系统。

- **数学与计算机科学。**各机构应优先开展数学和计算科学领域的基础研究，包括应用与计算数学、数值分析与不确定性量化；经典与量子信息论；算法、计算复杂性与密码学（含后量子密码学）；优化与控制数学；统计学、概率论与数据科学基础；以及高性能计算与未来计算基础。这些领域是先进通信网络与信息安全系统、量子信息科学与未来计算的支撑，也是聚变能源、先进制造与航天系统所依赖的建模、仿真与验证技术的基础。
- **工程科学。**各机构应优先开展工程科学领域的基础研究，包括微电子、光子学、量子与微系统器件工程及早期制造；电磁学、射频与推进科学；热学、流体力学与机械科学（含固体力学和材料力学）；复杂系统的动力学、估计与控制（含天体动力学、制导与导航）；以及磁学、超导与电力系统工程。这些领域是半导体与先进通信网络、先进制造、航天系统、机器人技术以及裂变与聚变能源的基础支撑。
- **生物科学。**承担通用、广泛生命科学研究任务的机构应优先开展生物科学领域的基础研究，包括分子生物学、细胞生物学与结构生物

学；生物化学与化学生物学；遗传学、基因组学以及合成生物学与工程生物学；神经科学与认知和行为的神经基础；还有微生物学与定量生物学。这些领域为生物技术与生物制造、神经科学与脑机接口，以及人类健康与治疗学提供支撑。

## 推进国家科学技术使命

从曼哈顿计划到阿波罗计划，美国一些最伟大的科学成就都源于目标明确的国家使命，这些使命将全美最杰出的人才凝聚在一个宏大的共同目标之下。本届政府为全球竞争的新时代复兴了这种以使命为导向的模式，推出了一系列国家科技计划，瞄准那些将定义未来世纪的技术。联邦研发工作通过在从基础发现到成果展示的各个阶段提供支持，维系私营部门无法单独承担的长期、高风险研究，并促成政府、企业、学术界和慈善机构之间的合作关系（国家使命最终正是通过这些合作关系得以实现），从而具备推动这些计划推进的独特优势。实现这些目标需要全国上下集中精力、共同努力。各机构应在适当时机将自身的研发投资与本届政府的国家使命保持一致，其中包括：

- **人工智能：**启动“创世纪使命”，利用人工智能在十年内将美国研究机构的生产力和影响力提升一倍，包括针对国家科技挑战的机构专项贡献以及计算领域的相关工作依据第 14363 号行政命令，为美国科学与安全平台建设研究基础设施量子：用于应用开发与发现科

学的量子计算机（QC-ADDS）项目，旨在依据第 14413 号行政命令，研发可开启量子赋能科学发现时代规模的量子计算机；

- **核聚变：**根据美国能源部的《核聚变科学与技术路线图》，美国将于 21 世纪 30 年代中期实现商用电核聚变发电的示范；
- **太空领域：**依据第 14369 号行政命令，实现美国人于 2028 年重返月球表面、建设月球基地、启动美国国家太空核动力倡议，并打造一套反应迅速、适应性强的国家安全太空体系架构。
- **机器人技术：**具备灵巧操作、移动能力且能在真实环境中可靠运行的通用自主系统，以此开启由人工智能驱动的实体科学发现时代以及美国再工业化进程；**半导体：**下一代半导体技术，包括极紫外及以上光刻技术、3D 先进封装，以及面向未来半导体器件和工艺节点的新型材料。

各机构应通过其可动用的全套研发政策工具来支持这些使命。各机构应通过 2028 财年预算编制流程及其他既定的预算审查渠道，明确其具体使命相关的研究重点和项目如何在符合法定权限、机构使命及可用资源的前提下，为这些国家目标提供支撑。在提交 2028 财年预算时，各机构应考虑如何优先安排研发基础设施，包括用户设施、测试平台和高性能计算资产，以满足使命需求，并扩大与高校和行业合作伙伴的共享范围。各机构还应规划相关投资，充分运用其掌握的各类人才培养和激励机制，包括设立研究生和博士后奖学金以打造这些使命所需的专业

人才队伍，以及设置奖项、重大挑战项目和竞赛，动员最广泛的创新力量攻克最棘手的问题。

## 为科学发现的新时代奠定基础

人工智能及新兴技术通过解锁全新的实验与分析能力、打造科研组织的全新模式、催生新的科学研究领域，拥有推动科学变革的巨大潜力。2025 年 11 月，特朗普总统发起了“创世纪使命”，这是一项跨政府部门的举措，旨在利用人工智能驱动的计算革命，目标是在十年内将美国科学与工程领域的生产力和影响力提升一倍。该计划并非扎堆于私人资本已十分充裕的人工智能研究细分领域，而是旨在确保美国的科研体系能率先、最快地利用这些技术，在整个科学领域实现突破。

各机构应酌情确定将人工智能及其他新兴技术整合到研究中的机会；为人工智能赋能科学转型做好联邦科学仪器、数据集和计算资源的准备；并将对创世纪使命的支持作为研发工作的核心优先事项。各机构在该领域的拟议工作应在 2028 财年 预算提案中予以说明。各机构应优先为以下方面提供资金：

**人工智能作为科学发现的工具。**各机构应资助将人工智能作为科学发现新工具的研究，而非仅将其作为增强现有能力的工具。各机构应寻找将人工智能巧妙整合到科学工作流程中的提案，而非那些为实现渐进式收益而应用人工智能，或未明确说明为何该问题需要特定人工智能方

法的项目。在适当情况下，各机构应将研发资金与创世纪使命的国家科技挑战领域保持一致，并根据自身优先事项提出新的或扩展的挑战领域。考虑到私营部门在人工智能领域的投资规模，各机构应优先考虑企业不太可能独自开展的工作，包括前竞争研究成果和赋能平台技术。

**科学基础模型开发。**各机构应提出投资计划，支持领域专用科学基础模型的研发，这类模型可实现自然现象的高保真模拟，并加速突破“创世纪使命”国家科技挑战领域的科学发现，这些领域包括先进制造、生物技术、关键材料、核裂变与核聚变、量子信息科学以及半导体；同时应根据需要与其他机构开展协调。此类模型需要经过筛选的科学数据集以及计算资源，而没有任何执行方能够单独提供这些资源。这使得联邦政府具备得天独厚的优势，可将其打造为科研界共享的、竞争前阶段的资产。

**面向人工智能的科学数据生成。**各机构应提出相关举措，推动内部科学数据集的开放共享，并投入资金建设数据基础设施，确保这些数据可用于人工智能的训练与推理。各机构应制定激励机制，鼓励研究人员整理和共享那些因缺乏专项资金或认可而被弃置的有价值数据，包括实验记录、阴性结果以及实验室流程产生的运行数据。各机构还应支持构建具有前瞻性的全新数据集，这类数据集有望开辟全新的研究领域，或为美国的科技事业创造极高价值。随着实验室自动化技术日趋成熟，各机构应规划对基础设施的投入，以实现工业化规模的数

据采集，为未来快速、自主的科学发现 奠定基础。

**人工智能与科学仪器的融合。**各机构应在创世纪任务的基础上，提议在机器人技术、自动化实验室、用户设施现代化方面进行投资，以在闭环人工 智能科学工作流程中开展运营，并对大规模实验实施自主控制。在这些实验中，人工智能系统可生成假设、开展实验、解读结果并实时迭代。各机构应利用自身的采购能力，打造适配人工智能的科学仪器国内供应链，推动这些仪器重新设计，使其具备开放接口、标准化数据格式和跨厂商互操作性，从而让研究人员能够更便捷地连接仪器，并选用最适合自身研究工作的软件工具。

## **拓展世界级研发基础设施，实现广泛应用**

联邦研发的生产力取决于科学基础设施，其中包括开展研究所需的物理平台、用户设施、仪器设备、计算资源以及实验室空间。这些资产规划周期长、固定成本高，其运行需求远超所资助的项目经费，且往往是单个研究人员和机构难以承担的。当这类基础设施实现广泛共享时，科学家能够开展前沿研究，专注于做出最优质的科研成果，而非耗费时间和资金自行搭建科研基础设施与设施。

各机构在向管理与预算办公室提交 2028 财年预算时，应审慎评估科学基础设施需求，而非将其视为研究拨款的剩余部分。尤其需要指出的是，鉴于中型仪器设备在历史上相对于其科学重要性一直存在资金不

足的问题，各机构应提议对这类设备进行投资。这类投资需在一个财年内全额拨付，且与政府的优先事项保持一致；同时还应投资先进计算设备，并为用户设施和共享平台提供持续的运营支持。若各机构提议大幅削减或推迟此类投资，需为该提议提供理由，并说明将如何弥补由此产生的资金缺口、保障现有设施的正常运营。为扩大科学基础设施投资的覆盖范围，各机构应优先为以下项目提供资金：

科技生态系统的用户设施。各机构应提议对尖端研发基础设施和仪器设备进行投资，助力研究人员和创新者验证新假设、测试原型并规模化推广新技术，降低前沿研究的门槛。提议的投资应与政府总体优先事项保持一致，既要通过解决延期维护问题最大化现有基础设施的利用效率，也要通过缩减规模提升效率；必要时，需新增基础设施，以实现包括私营部门和其他非联邦研究人员在内的广大研究群体的最大利用率。各机构应考虑增加联邦研发设施可及性所需的资源，具体措施包括：采用评估标准，在考量科学价值的同时兼顾创新潜力和商业紧迫性；简化合作研发协议和许可流程；减轻行业用户的行政负担。这些安排应鼓励设施利用行业成本分摊机制和用户费用收入来扩大产能，并为下一代仪器设备提供资金支持。

面向联邦研发项目的先进计算资源。计算是人工智能赋能科学研究的基础，联邦基础设施必须跟上研究人员如今对计算规模和灵活访问的需求。

各机构应提出投资方案，扩大先进计算基础设施的访问渠道，包括统一访问门户、标准化应用程序，以及能让研究人员在不同设施间无缝转移研究工作的通用数据与软件环境。申请流程应降低学生、独立研究人员和小型团队的准入门槛，针对快速周转项目尤其如此。联邦计算投资应提供

与商业市场差异化的能力，例如用于敏感研究的高安全数据中心、可访问 独特的联邦数据集，以及专用的人工智能加速器和计算架构。在商业计算 具备成本效益且能满足研究人员需求的领域，各机构应推进公私合作，或通过商业提供商采购算力，以提升敏捷性并缩短科研周期。

## 利用研发强化区域制造业与产业协同

联邦研发投资可被用于将科学发现转化为惠及全体美国人的益处，筑牢广泛型繁荣根基，助力本国再工业化进程。实现这些目标需要联邦投资，既要将基础研究与先进制造业相结合，强化区域产业生态体系，打造韧性供应链，培育高素质技术人才队伍，同时最大限度地撬动非联邦投资。

各机构应优先为战略性技术领域的制造业研发提供资金支持，目标是构建国内制造能力和供应链，以生产下一代半导体、先进材料、生物技术、核技术和机器人产品。制造业研发涵盖整个研究领域：制造事物

的制造科学，包括工艺科学、材料科学、计量学、自动化以及基础物理、化学和工程学；先进工程方法和生产技术；诸如制造创新研究所、中试线和示范设施等转化项目，用于连接实验室发现与生产；还有供应链分析。通常应考虑成本分摊安排，在适当时机，后期制造和示范活动预计需进行成本分摊，而早期制造科学的支持条件应符合基础研究的相关要求。

# 研发优先实践

## 1、制定新机制支持前沿科学

美国必须持续拓展开展科学研究所依托的机构体系与研发资助机制，让顶尖研究人员能够应对当前存在的最具挑战性的科技难题。这些机制需充分考虑正在重塑科研事业的各类因素，包括企业与慈善机构资助规模的扩大，以及真正融合的多学科团队所凸显的重要价值。

联邦政府应激励新的制度模式，以补充传统的由首席研究员主导的实验室、工业实验室和联邦研发设施。同时，应在传统的共识导向同行评审（其在推进既有研究方向方面表现出色）之外，引入新的评审机制，更好地识别高风险高回报的研究、青年科研人才以及超出既有学科边界的想法。各机构应采用审慎的基于组合的策略，将资金机制与它们旨在解决的科技挑战相匹配，通过明确组合不同模式、风险类型和时间跨度，最大化联邦投资回报。更丰富的制度结构和资金机制选择将催生新型科研工作模式，鼓励科研人员开拓新的研究方向，并吸引更多优秀的评审人员，赋予其大胆决策的权力。

鼓励各机构审查其现有的机构模式和资金机制，探索新的模式和机制以填补国家重点领域的空白，并依据以下原则构建均衡的联邦研发项目组合：

- **支持多元化的机构组合。**联邦政府应打造一套机构组合，共同推动

国家科技体系的核心目标，包括开展各类科研工作、培养下一代科学家，以及将科学发现转化为惠及美国民众的实际效益。各机构应明确那些因现有机构均不适合承担而尚未解决的目标。一个显著的空白领域是灵活的中等规模科研：这类科研依赖基础设施、属于多学科基础研究，需要组建 10 至 100 人的协作团队。各机构已开始通过美国国家科学基金会（NSF）的 X 实验室、高级研究计划局等新型模式来填补这些空白。各机构应考量这些模型，并尝试设计新的方案，以支持开展新型的科学研究。

- **延长变革性研究的资助期限。**各机构应为 2028 财年预算制定相关提案，扩大长期资助的数量，理想期限为五年及以上，让顶尖研究人员拥有充足时间和自主权，开展大胆且雄心勃勃的研究项目，这类项目最重要的成果可能需要数年时间才能显现。此类资助应在第一年全额拨款，所有资源提前预留，以最大程度减少行政负担，同时降低研究人员为获得持续资助而急于产出阶段性成果的压力。这种前期投入应配套明确的绩效指标和定期审查，且需明确在必要时可撤回资金并重新分配。美国国立卫生研究院（NIH）主任先锋奖、美国国防部范内瓦·布什教员奖学金等现有项目，为创新性基础研究提供长期、以研究者为中心的支持提供了有益范例。
- **扩大探索性项目快速资助的使用范围。**各机构应考虑在获得授权且资源允许的情况下，设立或扩大灵活、低门槛的“快速资助”项目，

以支持初步 研究、探索性项目以及时效性强的工作。此类项目应具备简化的申请流程（仅需数页文字）、不到一个月的快速审核时限，且资助金额需根据概念验证工作进行调整。各机构应鼓励更多地利用现有机制，并确保这些机制能 按预定时限发挥作用，同时根据需要制定额外的快速审批通道。

- **设计具有前瞻性的奖项与挑战赛。**设计精良的奖项能够推动跨学科合作，吸引非传统参与者入局，调动大量私人资本，并以相对有限的资金催生全新产业。各机构应扩大奖项与挑战赛的应用，以推进国家使命的达成。为最大化吸引非传统团队参与，机构应聚焦成果导向的目标，而非限定具体实现方法。奖项需实现私人投资与联邦投资至少 3:1 的杠杆效应，同时可搭配前置采购承诺、监管快速审批、联邦测试设施使用权等配套激励措施。
- **探索新兴的资助机制。**各机构应与管理和预算办公室（OMB）以及科学技术政策办公室（OSTP）合作，研究、试点并评估除上述机制之外是否存在 现有模式或额外的创新资助机制设计。可考虑的机制包括（视情况而定）：“黄金通行证”，即允许各机构的技术评审人员推荐可能无法通过共识驱动的评审小组的非常规提案，这类小组往往倾向于资助更多渐进式的进展；提前市场承诺，在科学或技术能力尚未具备时，依据可用拨款以及针对明确标准的能力验证，发出对该能力的需求信号；再授权模式，将资助权下放给在职科学

家，以利用分散的专业知识；以及更具探索性的方法，如二次资助或特征值资助。此类模式可能发掘出那些因过于分歧而难以进入委员会的有价值想法，并通过赋予评审人员独立的科学判断权来吸引更多高质量的评审者。这些方法并非资助工作的万能解决方案，但随着各机构寻求更有效地支持美国科技事业，应对其在联邦研发项目组合中的潜在作用进行适当探索。各机构应确保新的资助机制严格遵守自身的法定权限和利益冲突政策，且受资助的提案需达到符合“金标准科学”要求的科学严谨程度。

## 2、识别并培养顶尖技术人才

联邦政府应以服务国家的科学家、工程师和技术人员为核心导向，为他们提供开展最佳工作所需的支持、自由与机遇。科技人才培养项目应选拔最优秀、最杰出的美国公民，同时要认识到这些人才遍布全国，并非仅集中在大城市。这些项目应尽早发掘并投资给潜力巨大的学生和职场初期人士，同时培养他们对美国科技事业的长期归属感。

拥有科技人才培养项目的机构，包括研究生奖学金项目、K-12 科学、技术、工程和数学（STEM）教育项目以及技能型技术人才培养项目，应审查现有工作，并在适当时机通过既定的预算和政策流程提出修改建议或新的应对措施，以：

- **在全国范围内发掘杰出人才。**科技人才培养计划应发掘并支持所有不同地域、收入水平和人口统计特征的有才华美国人。杰出人才的

评判标准是其展现出的技术能力，而非背景或身份。因此，各机构应将选拔流程锚定在能预测科学、技术、工程和数学（STEM）领域成功的标准上，例如推理能力评估、领域竞赛、工程作品集及技术工作成果，而非依赖自我推荐、个人陈述、机构推荐或外在表现与资质。各机构应利用基于择优原则的识别机制，尽可能覆盖更多人群（如学术能力评估测试（SAT）成绩或其他标化量化评估），以发掘被忽视的人才。

- **扩大 K-12 阶段 STEM 优质拓展机会。** 针对性项目可通过增加学生接触科学职业发展路径的机会、为学生对接专业导师及能力相当的同伴，加速 K-12 阶段 STEM 高端人才的培养。相关机构应在合适情况下支持 K-12 阶段 STEM 拓展机会，比如寄宿制数理项目和奥林匹克风格竞赛，让高能力学生沉浸在先进科技环境中，并将其志向导向尚未解决的重大前沿问题。
- **拓展实操性技术学习。** 科技人才培养项目应让学员尽早且持续接触真实的技术环境。各机构应将在学术机构、企业及联邦实验室的研究实习视为高质量科技人才培养项目的标准组成部分。此类实习须具备实质性内容，持续时间至少为一个学期，并让学员有机会切实接触到传统学术环境中无法获得的先进科学仪器、数据集以及科研挑战。各机构应早在高中阶段，就通过基于工作的学习、职业培训、创客空间使用以及机械加工车间课程，拓展实操性技术学习的机会。

- **支持青年科研人员。**各机构应加强对研究生、博士后研究人员和青年教职人员的支持，因为这一群体的科研创造力往往处于巅峰，但获得的机构支持却最为薄弱。各机构应扩大奖学金项目的使用范围，并解决限制研究生、博士后研究人员和青年科研人员在科技领域寻找机会时流动性的相关问题。这些项目可以为青年科学家提供在他们职业生涯最关键的阶段提供资源与知识自由，鼓励他们留在国家的科技事业队伍中。
- **支持与机构隶属无关的个人。**科技人才培养项目应赋予个人选择研究机构、导师和研究课题的灵活性。各机构应优先推行直接向学生和研究人員拨付资金的项目，效仿美国国家科学基金会的研究生研究奖学金计划，如此一来，受资助者可将补助金用于任何最契合自身目标的合格机构，且在更换机构时仍可保留该资助，从而激励各机构为争夺早期人才资源展开竞争。各机构应建立能力，对受资助个人在多年发展阶段中的情况进行纵向追踪，最大程度减少个人重新寻找并申请资助的需求。
- **打造灵活的跨领域人才发展路径。**应鼓励国家顶尖科研人才在整个职业生涯中，在不同的研究文化和工程环境中积累经验。各机构应通过提高学术奖学金的灵活性、设立跨机构岗位（如联合行业或联邦实验室的博士项目）、为技能型技术人员参与学术培训和科学探索提供替代途径，来扩大科学家、工程师和技能型技术人员在学术

界、工业界和联邦研发机构间灵活流动的机会。

- **鼓励广泛的奖学金后服务。**联邦对个人的投资应强化国家的科技事业体系。各机构应考虑在奖学金项目中纳入服务要求，同时对服务进行宽泛界定，涵盖个人利用所学知识推动该事业发展的各类方式。符合要求的服务可包括学术研究、培养下一代美国科学家、创业、参与国防工业基地工作、担任影响联邦科技优先事项的顾问角色，或在政府和军队任职。各机构应力求使任何服务要求具备足够灵活性，以便奖学金获得者在奖学金结束后能够把握影响力最大的机会，并吸引最优秀的申请者。

### 3、打造自我迭代的科研型机构

联邦政府每年在研发领域投入约 2000 亿美元，但在研究哪些资助机制、机构模式、人才培养计划和研究实践能产生最显著的科学成果方面，分配的资源相对较少。各机构应以资助科学研究同等的严谨态度对待科学资助，打造持续学习、试验和改进的组织能力。各机构应酌情参考以下指导，评估是否建立元科学能力：

- **建立元科学能力。**各机构应建立元科学能力，评估哪些项目切实有效，并推动全机构改革。核心职责应包括：研究资助机制、同行评审、出版实践等因素如何影响科学成果；试点新型资助机制和机构模式；评估试点项目，并为机构层面的整体项目组合管理提供参考。这些职能应在机构内部足够高的层级设立，以实现真正的跨机构变

革。

- **建立系统化的差距识别能力。**各机构应具备系统对比其赠款投资组合与所在领域未解决的科学和技术挑战现状的能力，而非主要依赖历史资助模式。机构应与行业、学术界和慈善机构合作，维护“差距图谱”，用以识别未被满足的需求、重复开展的工作以及新兴机遇。差距图谱应直接指导投资组合的构建，帮助机构选择合适的资助机制和机构模式，以聚焦最关键且被忽视的差距。
- **为元科学构建数据基础设施。**各机构应开发专为元科学设计的数据基础设施，包括整合应用级数据、评审行为与评分以及奖项与后续成果之间关联的系统。这些系统应支持对获奖者和惜败申请者的长期追踪。各机构应将具备构建和维护这些系统技能的软件工程师与数据科学家的人力及合同运营评估，作为核心机构能力。
- **提升并赋能机构项目官员。**联邦研发资金的成效在很大程度上取决于各机构能否招募杰出的项目官员，并赋予他们真正的自主权，以界定技术问题、构建研究组合并朝着宏大目标推进管理。各机构应考虑采取措施，招募顶尖科学家、工程师、企业家和慈善家参与有期限的公共服务，提升他们的声望、知名度与权威度。机构还应评估各类可选方案，包括降低招聘非传统背景项目官员的门槛、扩大《政府间人事法》等轮岗机制的适用范围，以及制定具有竞争力的薪酬体系和职业发展路径，让项目管理成为顶尖科学人才提升职业

发展的机遇。此外，机构应制定或强化相关机制，确保所有参与资金资助建议与决策的员工都严格遵守利益冲突相关政策。

- **减轻行政负担。**各机构应在资助和研究流程中减轻行政负担，以最大化纳税人资助科研的成效。这包括明确科研界的相关要求，消除超出联邦法规 和法律要求的过度合规行为。各机构应考虑提出协调建议，尽可能统一并 标准化资助要求、表格及提交流程，同时审慎权衡新要求或新法规带来的 监管增量收益与给研究人员造成的累积负担。各机构还应探讨减轻联邦技术转让领域行政和监管负担的方案，以增加私营部门对研发的投资。

#### 4、将联邦研发融入更广泛的科技体系

联邦研发是规模更为庞大的国家科技体系的一部分，这一体系涵盖私营企业、学术界、州和地方政府，以及将科研发现转化为生产的区域经济。为实现联邦投资收益最大化，各机构应更加主动地将自身研发工作与这一更大的体系相融合。这意味着要寻找更多机会扩大非联邦成本分担的应用，使联邦资金能够吸引并借助私营及其他非联邦投资的力量，而非孤立存在。这也意味着联邦研发与非研发投资之间需进行协调，以支持符合法定宗旨的区域创新生态系统与国内制造中心发展

- **推动基础研究与应用研究的深度融合。**在许多前沿技术领域，科学发现、工程研发与制造研发并非按顺序推进，而是呈迭代且紧密耦合的关系。在合适的情况下，各机构应提议组建研究联盟、建立合

作关系，将基础研究与制造研发相融合，以契合当下科学研究多学科交叉、工程化程度高的开展模式。各机构在该领域的资金支持应确保与产业合作推进长期研究议程，聘用职业科学家、工程师和技术人员，将基础发现作为公共成果发布，同时对特定工艺创新进行授权许可，并与制造设施和试验平台实现空间共置。各机构应探索此类机构如何能够提供可持续的基础设施，构建与区域经济优势相契合的本地化创新生态系统。

- **扩大非联邦成本分担的使用范围。**联邦研发资金在催化而非替代私人及非联邦投资时效果最佳。各机构应在现有资源范围内规划资金提供机会，优先支持那些纳入来自行业、慈善机构、州和地方政府或国际合作伙伴的有意义的非政府成本分担的倡议。成本分担安排彰显市场认可度、加速成果转化、分散风险并扩大纳税人资助研究的影响力。此类安排应借助外部资助者在特定子领域积累的深厚专业知识，并利用其网络识别优质的资助申请机会。各机构应审查成本分担型研发的现有授权，包括合作协议、公私伙伴关系、联盟模式及其他适用的交易授权，并在法定或监管障碍得以解决的情况下提议扩大相关授权。
- **将联邦研发与非研发投资相结合以支持区域生态系统。**联邦研发的影响关键取决于周边生态系统，包括劳动力、基础设施、资本、供应链以及将发现转化为经济增长的机构。各机构应协调研发投资与

联邦非研发投资，包括在劳动力和教育、经济领域发展、基础设施、小微企业支持、制造业推广以及采购工作，以强化区域创新生态系统，确保联邦科研成果惠及美国各地社区，尤其是在那些依托区域专业优势能加速特定行业研发的地区。各机构应在联邦政府内部开展协调，包括通过管理与预算办公室、国家科学技术委员会以及在必要时通过机构间协议，寻找机会统筹布局、有序推进或联合划拨研发与非研发资源，以支持基于区域的发展战略，并确保联邦政府在特定地区的投资形成互补。

- **将产业融入劳动力培训。**科技劳动力项目应最大化与私营部门的合作，私营部门正日益主导基础和应用研究，拥有独特的科学仪器、数据和计算资源，还能以高校无法比拟的方式招募顶尖理工科人才。在可行的情况下，各机构应与产业建立合作，以吸引更多优质的申请者并放大联邦投资，具体可通过产业共同出资（如学费、津贴和可转移研究经费）、带薪实习岗位、研究基础设施使用权、课程开发以及专家指导等方式实现。

## 实施

为落实本备忘录“2028 财年研发重点领域”部分设定的预算编制优先事项，各机构应遵循 2028 财年向管理和预算办公室提交预算的标准流程。

此外，在本备忘录发布后 90 天内，每个在 2026 财年研发预算授权金额达到 30 亿美元及以上的机构负责人，应向总统科学技术助理(APST)和管理与预算办公室主任 (OMB 主任) 提交一份行动计划，说明该机构拟如何落实本备忘录“研发优先实践”部分所规定的计划实施指导意见。机构行动计划应明确其 2026 财年和 2027 财年预算的计划执行如何支持上述优先实践。本备忘录所涉的预算编制相关事项不在行动计划范围内，而应体现在各机构向 OMB 提交的 2028 财年预算申请中。每份行动计划均需明确针对每项研发优先实践的具体措施（如新增资金机会、项目征集公告、试点举措、致科研界的声明、内部组织调整等）、实施时间线以及责任部门。科技政策办公室 (OSTP) 与 OMB 将协调这些行动计划的实施，并视情况发布补充指导意见。



白宫