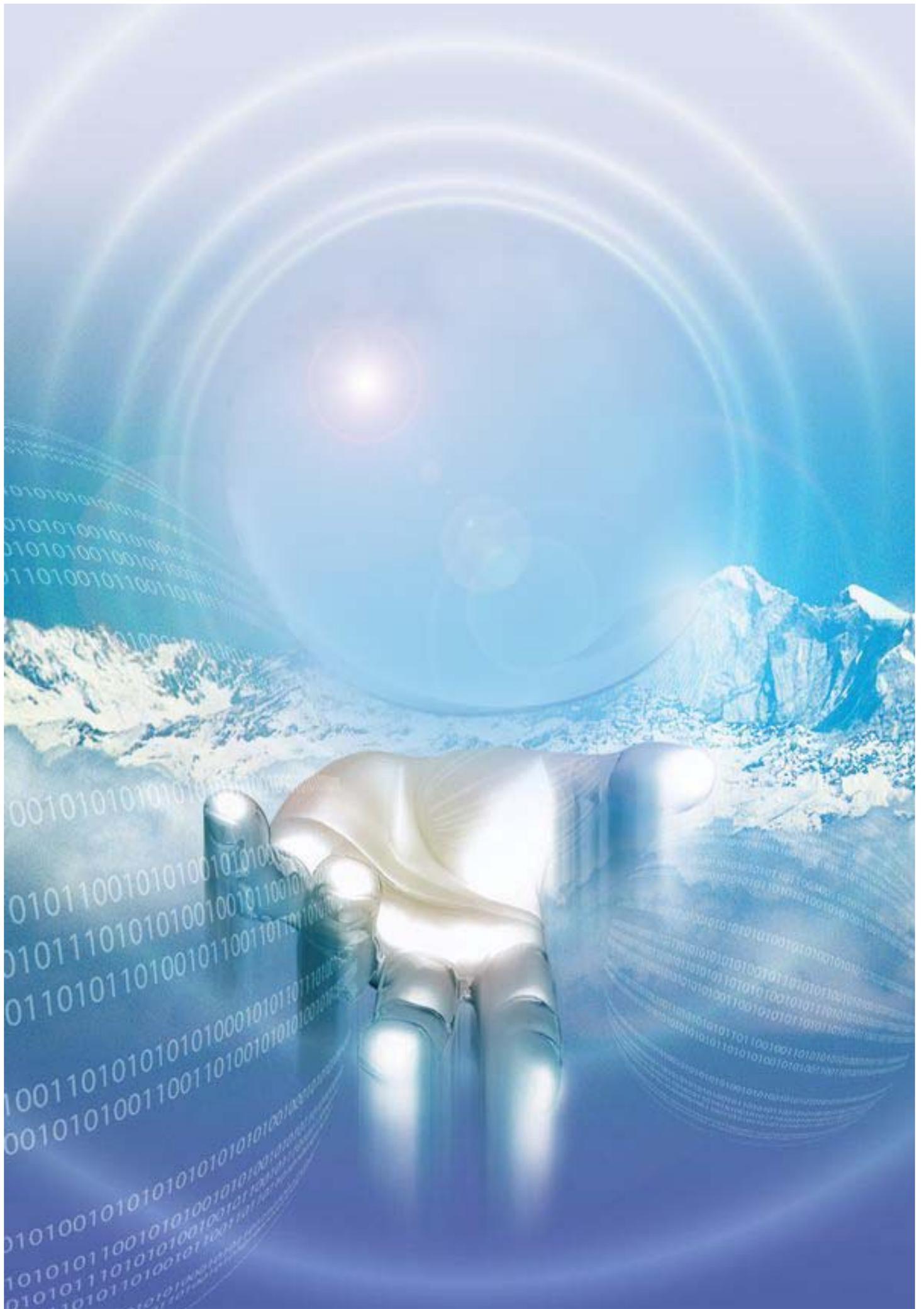


An abstract sculpture composed of numerous sharp, angular, light-colored fragments that resemble shattered glass or crystalline structures. The fragments are arranged in a complex, overlapping pattern, creating a sense of depth and movement. The lighting is soft and diffused, highlighting the facets and edges of the pieces. The overall color palette is a mix of pale blues, greys, and off-whites, with some darker shadows in the recesses of the sculpture.

21世纪人类面临的14大科技难题

<http://www.engineeringchallenges.org>



2月15日，美国国家工程院公布由专家评选出的人类在21世纪面临的14大科技挑战，内容涉及四大主题：环境的可持续性、健康、减少易被攻击性和生活乐趣。这些挑战由美国全国科学基金会邀请来自各个领域的专家评选，评选结果已由来自50多个领域的其他专家审阅。专家认为，如果这些难题被攻克，人类生活质量将有所提高。

我们的翻译工作希望能为未来我所科研创新工作提供借鉴和参考。由于14大科技挑战涉及领域广泛，而我们的英语和专业知识水平有限，翻译中在所难免出现了诸多错误或不确切之处，请读者谅解。

- 1 如何经济有效地利用太阳能
- 2 核融合发电
- 3 研发二氧化碳封存技术
- 4 控制氮循环
- 5 使全球民众喝上洁净水
- 6 可持续发展的城市规划
- 7 建立人体健康信息系统
- 8 开发基因药物
- 9 对人脑的逆向工程
- 10 防止核恐怖事件
- 11 保护网络空间
- 12 增强虚拟现实
- 13 发展个性化学习
- 14 推动自然科学的发展

如何经济有效地利用太阳能

目前，在全球所消耗总能量之中，太阳能利用的比重很小——尚不到1%。但其应用潜力远不止于此。

作为一种能量来源，没有什么可以与太阳相比。太阳不停地释放出巨大能量，这些能量远大于以往人类技术所能生产的各种能量。太阳释放的能量不断辐射到宇宙空间中，只有很小一部分到达地球表面，但即使这些也相当于现在人类所利用能源的一万多倍。



太阳能的重要性

太阳能对人类能源需求的贡献是巨大的——全球的太阳能发电是一个数十亿美元的行业，且仍在增长之中。即便如此，目前太阳能产业在总能源市场中占的比例仍然很小，不足全球消耗总能量的1%，而矿物燃料（如煤、石油、天然气等）则占到了约85%。

这些矿物燃料不是一种永久性的主要能量来源，它们终将开采殆尽。除此之外，现有的油、气供应也不能满足快速增长的能源需求态势。在矿物燃料中，煤炭资源丰富，但其直接燃烧会带来大气污染和水污染等问题。与其它矿物燃料相比，煤炭的使用更易增加大气中二氧化碳的含量。

太阳能资源丰富，即可免费使用，又对环境无任何污染，是新型可再生能源之中的首选，它是解决未来能源短缺问题的有效出路。但太阳能的开发利用尚存在诸多挑战。

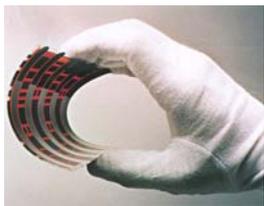
目前太阳能利用中存在如下几个技术上的薄弱环节：太阳能的收集、转化、蓄能（即把晴朗白天的太阳辐射能尽量贮存起来以供夜间或阴雨天使用）。针对这三个方面，迄今已经研究出各种各样的技术手段，并取得了不同程度的成功。例如，可以依靠集热器对太阳能进行采集，通过加热水或空气将太阳能转化成热能，再进一步通过热力学循环来发电，即太阳能热利用。另外，还可以依靠光伏装置把太阳光直接转化成电能——太阳能光电池。

太阳能光电池的效率

当前已经商业化的太阳能电池主要是硅太阳能电池，其效率通常只有10%~20%。考虑其制备费用后，太阳能电池的发电成本是当前电价的3~6倍，即18~30美分/千瓦。所以，为了使太阳能发电变得更经济，就需要努力改善电池的效率，降低电池的制备成本。

改善太阳能电池的效率是很有希望的。虽然受硅材料的电子特性的影响，当前标准硅太阳能电池的最大理论转换效率只有31%。但对电池的材料和结构等进行改进，有望突破上述极限值。如：多带隙电池的效率可达34%，实验室中用的太阳能电池效率已经超过40%。

改进太阳能电池效率的另一个方法是应用纳米技术，即在原子或分子尺度上（即纳米尺度，一个纳米为十亿分之一米）研究物质结构。最近有实验报道：采用元素铅和硒的纳米晶，将有助于提高太阳能电池效率。[Schaller et al.]原因如下所述。普通的光电池吸收一个太阳光子后，一部分能量用于产生一个电子，还有一部分入射能量会损失为热能。而在铅和硒的纳米晶中，每吸收一个光子形成多于一个的电子，即多重激子产生的MEG效应，MEG提供了将普通光电池中损失的热能转化为额外电能的机会。另外，也有实验表明，采用硅纳米晶时也会发生这个现象。理论预测，纳米技术有望使光电池的效率达到60%或更高。当然，在实际应用中，由于受各种因素的影响，此值会偏低。另外，基于此类纳米晶的太阳能光电池的电路设计与结构也需要进一步开发。[Beard et al.]



如何使太阳能更加经济？

用某些新材料来制备太阳能电池，可以降低其制备成本。加利福尼亚理工学院的化学家Nathan Lewis曾在Science杂志上撰文：太阳能电池材料领域的突破，将大大降低太阳能发电的成本，促进其全球性应用。

[Lewis 799]



太阳能光电池材料的一个重要指标是纯度。材料内缺陷的存在会阻碍载流子的移动，造成载流子复合，光能损失，所以当前光电池材料对纯度有一定的要求，而这导致成本增加。若载流子在材料中的传输距离短到可与其散射长度相当（即载流子只需传输通过很薄的材料），这样以来缺陷/纯度就不是一个很敏感的问题了。但是材料很薄时也会有弊端：不能吸收足够的阳光。为此，科学家们想到两种方法。第一，设计这样的材料：使其沿一个方向很厚（用于吸收太阳光），沿另外两个方向很薄（载流子的传输方向）。纳米棒的固态光伏电池就是这个原理，光沿纳米棒的轴向被吸收，载流子沿径向传输。第二，借助染料分子来承担吸收太阳光的任务（并给出载流子），即染料敏化纳米晶电池，其中的二氧化钛纳米晶用于收集载流子。但就目前来看，上述两类电池的光电转化效率较低，提高其市场竞争力尚需进行很大的改进。

如何存储太阳能

尽管太阳能电池在效率和成本方面已经有了很大的改进，但为了使太阳能成为连续、稳定的能源，还必须很好地解决蓄能问题，即把晴朗白天、阳光充足地带的太阳辐射能尽量贮存起来以供夜间或阴雨天、阳光稀少地带使用。目前蓄能也是太阳能利用中较为薄弱的环节之一。

为大容量、长时间、经济地贮存太阳能，科学家研究了很多技术，如抽水蓄能、大规模太阳能电池组/发电站等，将太阳能转换为（水）电能进行贮存，但这些技术的转换效率较低。最近新发展起来的超导贮能、飞轮储能等新技术则大大提高了效率及灵活性。[Ranjan et al., 2007]

另一种可能的储能途径是人工模拟光合作用分解水的过程——即光解水制氢。从分解水的角度而言，在绿色植物光合作用中，首先是光合作用通过光氧化水放氧储能，然后是二氧化碳的同化反应，通过光化学反应储存了氢，同时也储存了碳。太阳能分解水制氢，只需从原理上去模拟光合作用的吸光、电荷转移、储能和氧化还原反应等基本物理化学过程。氢燃烧后只生成水，洁净无污染，是一种绿色能源，可用于氢燃料电池汽车等。光解水制氢的关键在于研制和开发出具有高效率的催化剂。天然催化剂——存在于生物活性细胞内的酶——的催化效率远远优于现有的工业催化剂。科学家正在致力于研制能够与天然酶相媲美的催化剂，以期提高光解水的效率。基于光解水的氢燃料电池将成为太阳能产业中备受瞩目的明星行业。

太阳能是极具优势的新能源。倘若能够在太阳能电池的成本、效率、有效蓄能方面取得技术突破，那么太阳能将以绝对优势取代化石燃料，成为一种取之不尽、用之不竭的永久性能源，促进人类文明的繁荣兴旺。

References

- Beard, M.C., et al. 2007. Multiple Exciton Generation in Colloidal Silicon Nanocrystals. *Nano Letters* 7(8): 2506-2512. DOI: 10.1021/nl071486l S1530-6984(07)01486-5
- DOE (U.S. Department of Energy). 2007. Solar America Initiative: A Plan for the Integrated Research, Development, and Market Transformation of Solar Energy Technologies. Report Number SETP-2006-0010. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Solar Energy Technologies Program. Washington, D.C.: DOE.
- DOE. Solar Energy Technologies Program Multi-Year Program Plan 2007-2011. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington, D.C.: DOE.
- Lewis, N.S. 2007. Toward Cost-Effective Solar Energy Use. *Science* 315(5813): 798-801. DOI: 10.1126/science.1137014
- Ranjan, V., et al. 2007. Phase Equilibria in High Energy Density PVDF-Based Polymers. *Physical Review Letters* 99: 047801-1 - 047801-4. DOI: 10.1103/PhysRevLett.99.047801
- Schaller, R.D., and V.I. Klimov. 2004. High Efficiency Carrier Multiplication in PbSe Nanocrystals: Implications for Solar Energy Conversion. *Physical Review Letters* 92(18): 186601-1 - 186601-4. DOI: 10.1103/PhysRevLett.92.186601



核融合发电

人工核融合发电已经历了小规模试验示范阶段。为了促进其商业推广，要在提高效率，降低成本，减少对环境的不良影响等方面下功夫。

如果核融合发电（Fusion Energy）一旦成功，那么笔记本电脑锂电池中所含的锂足以供您及家人15年的用电要求。锂可以提供核融合所需的一种关键元素——氘，用来和氚（氘，氚皆为氢的同位素）进行核融合。理论上来说，基于锂和氢的核融合可以为人类提供永无匮乏之虞的新能源——核能。

什么是核融合

核融合是太阳能量的来源。在太阳内，极高温和重压把特定元素的原子核压缩成更重的原子核，这个过程中质量有轻微损失，根据质能方程 $E=mc^2$ ，该过程损失的质量汇聚转化为巨大能量。

核融合能提供干净的能源，然而地球上的反应器无法制造出太阳内部那种高压，只能靠比太阳更高的热度来弥补这方面的不足。科学界主要是利用氢的同位素氘（重氢）和氚（超重氢）来进行核融合。

地球上的海洋能确保氘的供应源源不绝。氚则具有放射性，在自然界非常罕见，但透过简单的核反应方程式，就能把锂转变为氚，用来和氘进行融合。几公吨锂就可以每年产生1000兆瓦特的电。而锂这种元素，在地壳和海水中蕴藏量丰富，因此供应也不是问题。

如何控制核融合

人工核融合已经历了小规模试验示范阶段，目前的问题是如何将其推广为一种经济、有效、环境友好的产业。

一项旨在探索核融合可控性的大型国际科技合作项目——国际热核聚变实验反应堆（ITER）将在法国南部卡达拉舍建造。参与这一计划的有欧盟、美国、俄罗斯、日本、韩国、印度和中国。ITER的目标是成功达到维持聚变反应所必需的功率（500兆瓦），并且至少使这种状态保持300秒钟。届时ITER将成为首个能够稳态、高效、无限的核能源的工程。

科学家正在研究各种各样的新方法来完成核融合反应。其中最具可行性的方式就是磁力约束带电粒子来控制核融合。实现磁力约束，需要一个能够产生足够强的环形磁场的装置——托克马克（tokamak），在这台装置的真空室内加入反应物质，在超过10万摄氏度的磁场中，原子中的电子就脱离了原子核的束缚，形成等离子体。带电粒子会沿磁力线做螺旋式运动，所以等离子体就这样被约束在这种环形的磁场中。ITER将全力建造和测试托克马克装置，以求达到对超高温等离子体的稳定约束。

ITER项目从2009年开始建造，预计在2016年组装完毕，并进行放电实验，产生等离子体，到2025年输出功率达到50万千瓦的能量（但不涉及发电）。ITER的初衷即是扫清技术障碍，严加安全措施，让核聚变能源为全人类服务。

什么是核聚变反应堆运行中的障碍

首当其冲的是聚变堆包层材料问题。等离子体环绕在屏蔽包层的环形包套中，屏蔽包层将吸收50万千瓦热功率及核聚变反应所产生的所有中子（更高级的装置中还将涉及到在包层中产生氚）。包层的设计要求覆盖了抗辐射结构材料、氚增殖材料、中子倍增材料的选择以及包层的有效冷却等问题。



为了全方位打造核聚变反应堆，除了包层材料外，还需要在超导磁铁、真空系统等方面进行诸多改进。

为解决上述所面临的问题，各国科学家正在共同努力。例如，欧盟和日本正在计划成立国际核材料辐射机构，用于核材料的开发与测试。另外，机器人维护修复项目也正在进之中。一旦突破这些障碍，核聚变将为人类提供无限的能量。

核聚变产能是否安全

从安全角度看，核聚变的反应产物是无放射性污染的氦。另外，由于核聚变需要极高温度，一旦某一环节出现问题，燃料温度下降，聚变反应就会自动中止。也就是说，聚变堆是次临界堆，绝对不会发生类似前苏联切尔诺贝利核（裂变）电站的事故，它是安全的。

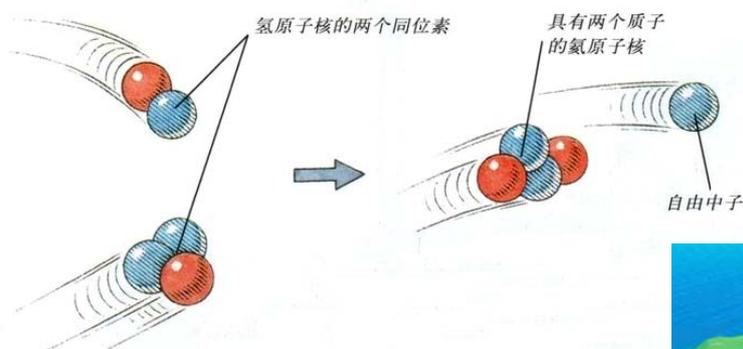
因此，聚变能是一种无限的、清洁的、安全的新能源。这就是为什么世界各国，尤其是发达国家不遗余力，竞相研究、开发聚变能的原因所在。

从安全角度看，一个失控的核子反应堆系统是不具任何危险的——只需停止原料供应即可。另外，就辐射问题而言，关键是控制好第一代等离子的产生，因为接下来由中子引发的链式反应的辐射就很小了。

总之，核能是一种几乎取之不尽、用之不竭的洁净能源。建造安全、有效、可靠、低成本的核反应堆是核能商业化的关键所在。进入21世纪，核聚变研究在世界上取得了一些令人鼓舞的成果，向着实用化方向迈出了一大步。今后，我们要加快其研究发展，以期早日使核能造福于人类。

References

- Girard, J.P., et al. 2007. ITER, safety and licensing. *Fusion Engineering and Design* 82(5-14): 506-510. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2007.03.017.
- Holtkamp, N. 2007. An overview of the ITER project. *Fusion Engineering and Design* 82(5-14): 427-434. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2007.03.029.
- Magaud, P., G. Marbach, and I. Cook. 2004. Nuclear Fusion Reactors. Pp. 365-381 in *Encyclopedia of Energy*, Volume 4, ed. C.J. Cleveland. Elsevier Science: Oxford, U.K. DOI: 10.1016/B0-12-176480-X/00305-3.



研发二氧化碳封存技术

二氧化碳捕获与封存对减少全球温室气体排放具有深远的意义，将为减缓气候变化带来希望。

二氧化碳是造成全球变暖的主要温室气体之一。为有效缓解全球变暖的趋势，要减少二氧化碳的排放，或者将排放的二氧化碳捕捉并储存在地下或海洋里。

二氧化碳所带来的问题

在工业革命发生之前，空气中的二氧化碳含量大约是280pp(每100万份空气含280份二氧化碳)。工业革命以来，人类创造了巨大的财富，但这是以排放巨量的二氧化碳为代价的。在200多年的时间里，大气中的二氧化碳含量从280ppm上升到380ppm，并还在继续上升，而地球能承受的极限是450ppm。二氧化碳如同是地球的“被子”，能够捕捉来自宇宙的热量，为地球在宇宙中遮挡寒冷(否则地球上所有的生物都可能被冻死)。但这条“被子”不能太“厚”，如果地球的温度过高，就会引发一系列生态危机，如海平面上升、病虫害增加、海洋风暴增多等等，直到地球完全不适宜居住。

人为二氧化碳排放的主要来源是能源生产和交通运输中的化石燃料燃烧。遏制二氧化碳的排放是极困难的，除非我们能很快不烧化石燃料。但我们可以采取另外一种途径减少二氧化碳含量：捕获二氧化碳，储存起来，使其远离大气层。

什么是二氧化碳的封存

二氧化碳封存即是对燃烧化石燃料所产生的二氧化碳进行捕获、储存，使其长期与大气隔绝。

如何捕获二氧化碳

二氧化碳的收集有3种方式：后燃烧捕集法、富氧燃烧法、预燃烧碳捕集技术。

后燃烧捕集法是在排放废气中把二氧化碳捕获，是目前从大气中捕获二氧化碳的主要方法。由于燃烧后排放的废气中二氧化碳浓度不高，因此必须利用化学吸附剂从废气中把二氧化碳捕获住，使得捕获成本偏高。不少饮料和干冰制造厂皆采用这种方法来攫取二氧化碳，同样的方法也运用在燃烧煤炭的火力发电站。届时电厂的烟囱将被“吸收塔”取代，塔内的化学物质会把二氧化碳从氮、水蒸气等其它气体中分离出来并加以吸收。化学物质经处理后会与二氧化碳分开并送回吸收塔重新使用。

还有一种由燃烧源头直接产生高浓度二氧化碳的方法，就是利用富氧燃烧。一般燃烧是以空气提供燃烧所需的氧气，氧气浓度仅为21%，若以高浓度或95%以上的氧气，则成为富氧燃烧。这时燃料中的碳与氢在纯氧中燃烧，由于少了空气中的氮气，燃烧后的废气中含有90%以上的二氧化碳，便不需要再经分离步骤，就能直接把二氧化碳压缩封存或再利用。目前科学家正在研究如何以更经济的方式制造纯氧。

预燃烧技术是基于从煤气化或高压下天然气蒸汽转化得到的高含氢气混合物中分离二氧化碳的一种技术。这种技术不仅方便了二氧化碳的分离，还可用于大规模制氢。



二氧化碳的封存技术

将二氧化碳注入能量衰竭的油层，可提高油气田采收率，同时对于保护环境也有积极意义。二氧化碳纯度在90%以上即可用于提高采收率。二氧化碳在地层内溶于水后，可使水的黏度增加20%~30%，运移性能提高2~3倍；二氧化碳溶于油后，使原油体积膨胀，黏度降低30%~80%，油水界面张力降低，有利于提高采油速度、洗油效率和收集残余油。二氧化碳一般可提高采收率7%~15%，延长油井生产寿命15~20年。二氧化碳来源可从工业设施如发电厂、化肥厂、水泥厂、化工厂、炼油厂、天然气加工厂等排放物中回收，既可实现使气候变暖的温室气体的减排，又可达到增产油气的目的。

不过枯竭的油田和天然气田无法将大量二氧化碳全容纳，科学家正考虑将二氧化碳贮存在地下含盐气孔的多孔岩层内。适合的二氧化碳地下地点通常应当远离任何地下饮用水源，至少距地表800米。在地下800米深处，环境压力是大气压力的80倍，压力高得足以使注入的二氧化碳处于液体或“超临界”状态，在这个状态，二氧化碳的密度几乎与它要取代的地层中水的密度相同。

地下封存要考虑到二氧化碳的泄漏问题。多孔岩层内的二氧化碳犹如数以百计的氦气球，上面坚硬的岩石则好比马戏团的帐篷。帐篷如有裂缝或表面倾斜，气球得以顺势往一旁向上移动，就能脱离帐篷。地质学家最好选择封存储层具有良好封闭性的冠岩，必须搜索岩层内有渗漏之嫌的缺陷，还要确认可能导致岩石破裂的注入压力值。

就阻隔二氧化碳返回大气层的目的而言，把二氧化碳灌注于海底沉积物中时，会有最佳的隔离效果。上方巨大的水压及海水良好的密闭性有效的防止了二氧化碳的泄漏。这种方式尤其适合近海区域，但增设成本较高。另外，我们也可以利用二氧化碳与海水中的钙离子产生化学反应，形成碳酸钙，提升二氧化碳的封存量及封存稳定性。

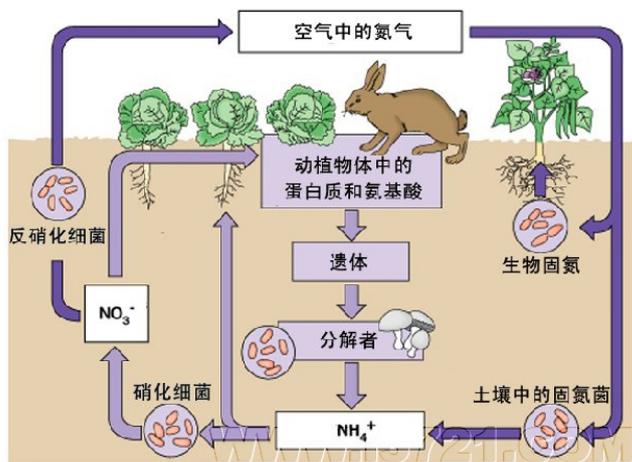
二氧化碳封存概念已经经历约25年的研究并取得了很大进展。但截止到目前为止，在大规模封存上尚存在技术及成本问题。对此，我们仍将坚持不懈地努力。正如哈佛地理学家Daniel Schrag认为的一样：一想到万亿吨二氧化碳所带来的严重后果，困难就不是那么显著了。[Schrag, p. 812]



References

- Herzog, H., and D. Golomb. 2004. Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use. *Encyclopedia of Energy*, ed. C.J. Cleveland. Vol. 1. Elsevier Science: .
- Lal, R. 2004. Carbon Sequestration, Terrestrial. *Encyclopedia of Energy*, Vol. 1 (Elsevier Inc.).
- Schrag, D.P., et al. 2007. Preparing to Capture Carbon," *Science* 315, p. 812. DOI: 10.1126/science.1137632.
- Socolow, R.H. 2005. Can We Bury Global Warming? *Scientific American* (July 2005), pp. 49-55.
- Zenz House, K. et al. 2006. Permanent carbon dioxide storage in deep-sea sediments," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103 (15 August 2006), pp. 12291-12295.

控制氮循环



工程师可以通过更好的施肥技术以及妥善的保存和回收废物来重建氮循环的平衡。尽管这个问题还不象“温室效应”那样受人关注，但是正如使用矿物燃料作为能源对环境产生的负面影响一样，人类活动对全球氮循环的影响也对工程界提出了巨大的挑战。

氮循环为何如此重要

氮在生产食物的过程中扮演重要角色，因此氮循环反映了人类对能源更为根本的需求。植物从周围环境（包括大气）中吸收氮用以生产食物，地球上的化学物质和生命是通过氮循环相联系的。控制农业生产对全球氮循环的影响成为可持续发展所面临的严峻挑战。氮是氨基酸（构成蛋白质的基元）和核苷酸（构成DNA的基元）的基本成分，因此所有的生物都需要它。幸运的是，地球上的氮几乎是用之不竭的——它是空气的主要成分，占将近80%。它在空气中以氮分子的形式存在，每个氮分子由两个氮原子构成。然而，氮分子很难参加化学反应，因此空气中的氮不能被有机生命直接利用。在自然界中，只有闪电和某些有特殊化学能力的微生物可以把氮分子分解。这类微生物通常生活在土壤中，有时与一些植物的根共生。这些微生物通过酶的催化作用将环境中的氮分子转化成可以被植物吸收的养分，这个过程被称为固氮作用。植物将这种被固定的氮转化成有机氮——这种氮可以与碳结合成各种各样的分子，这些分子构成了植物和以植物为食的动物。

与这种过程相反的是脱氮作用。在脱氮过程中，生物体将含氮的养分作为它们的能量来源，并将氮分子释放到大气中，这样就完成了氮的循环。脱氮过程会产生一些对大气有污染的含氮的副产物。

氮循环过程存在什么问题

目前，微生物固氮（闪电也有少量作用）几乎是氮从环境中到生物体的唯一途径。然而，目前人类生产的氮的养料破坏了自然界的氮循环，在人类活动所引起的固氮作用中，有一半以上是由肥料引起的。另外一个重要因素是种植豆类植物，包括大豆和苜蓿。这类植物是固氮微生物的宿主，因此会使生长它们的土壤富氮。第三个因素是燃料燃烧时产生的氮的氧化物，燃烧产生的高温使空气中的氮分子分裂。这些人类活动使固氮作用的发生比工业时代之前增加了一倍，而这种变化将导致温室效应的加剧、臭氧层的变薄、烟雾和酸雨的增加以及饮用水的污染。

我们为什么应该关注氮循环

氮生产企业每年从大气中使用将近1亿立方米的氮气用以合成氨，在生产过程中产生的高温和高压给生物酶催化固氮作用提供了巨大动力。人为地从大气中消耗氮气活动引起了一系列严重的环境问题。农田中施加的肥料是氧化亚氮的主要来源，而氧化亚氮是一种重要的温室气体，一个氧化亚氮分子吸收热量的能力是二氧化碳的200倍。另外，氧化亚氮分子不溶于水并且不易与其他物质反应，因此会在空气中存在很长时间——长达数世纪之久。最终，当其上升至平流层时，阳光会将其变成二氧化氮，这将破坏大气臭氧层化学反应链中的关键环节。

虽然肥料释放出来的固氮气体能在较低大气层中反应生成臭氧，但它们是污染者而不是保护者。这些反应释放出来的活性氮还会在空气中产生大量的悬浮颗粒导致严重的呼吸系统疾病、癌症及心脏病。另外，肥料释放出来的氮的氧化物也是促使酸雨形成的原因。

另外，其他形式的固氮，比如施肥过程中产生的亚硝酸根离子也使水污染问题进一步恶化。饮用水中硝酸根浓度过高会直接威胁人类健康，导致“蓝婴综合症”。固氮化合物导致水生环境富营养化，使得浮游植物（小的水生植物）数目激增，水中的氧含量下降，从而产生了水系统“死亡区”。

普林斯顿大学的Robert Socolow认为，“如果固氮和脱氮过程不能在全球范围达到平衡，地球上剩余的固氮就会无情的增长，给生态环境和人类健康带来各种各样的问题”。

工程上可以做什么

在不使环境退化的条件下，未来我们需要通过巧妙的办法补救人类行为对氮循环的破坏以维持稳定的可持续食品供给。在过去的40年里，由于高产作物的开发和优化助长肥的使用，才使得食物产量的增长与人口增长保持同步。

增加脱氮作用的工程措施可以降低多余的固氮的积累，我们面临的挑战是如何能够产生氮分子——而不是温室气体氧化亚氮。同样，控制燃料高温燃烧时产生氮的氧化物的技术也需要进一步改进。工程革新主要需要提高从生产肥料到回收食物垃圾等各种与氮相关的人类活动的效率。目前，耕种过程中产生的固氮只有不到一半转化到收获的庄稼中了。而庄稼中的氮也只有不到一半存在于人类吃的食物中。换言之，从农场到饲养厂再到污水处理厂的整个过程中，被固定的氮在不同阶段都发生了转移。工程师需要找出这些转移点并设计体系防止氮的流失。

例如，在施肥过程中应用一些技术方法可以使肥料中更多的氮最终转化到植物中。另外一些革新可以降低氮的流失、浸出和侵蚀（这些作用将肥料中大量的氮从植物中带走，进入地下水和地表水），还有一些方法着眼于降低来自土壤和水系统的氮。

回收有机垃圾也是有效的方法。粪肥是一种很好的肥料，但是饲养厂和牛奶厂与种植庄稼的土地之间距离很远，这就使得运输粪肥成本很高。而且，粪肥和食物垃圾同样面临生态环境的挑战，例如，它们会散发沼气和氧化亚氮等温室气体。工程上面面临的挑战是如何收集并利用这些气体，以及如何将粪肥变成球状的有机肥料。我们需要找到一种方法既可以减少这些废料温室气体和其他气体的排放，又可以提高它们作为可运输的经济肥料的潜力。

在强调氮循环问题的同时，专家们还不应忘记施肥和耕种大大地提高了世界食品产量，而这种提高使得世界很多地方免于饥饿的威胁。减轻农业对氮循环破坏的努力可能会导致食品的消费，因此，在采取各种措施的同时我们还应减小其对贫困人口的影响。

References

- C. Driscoll et al., "Nitrogen pollution in the northeastern United States: Sources, effects and management options," *BioScience* 53 (2003), pp. 357-374.
- C. Driscoll et al., "Nitrogen pollution: Sources and consequences in the U.S. Northeast," *Environment* 45 (2003), pp. 8-22.
- K. Fisher and W.E. Newton, "Nitrogen Fixation," *Encyclopedia of Applied Plant Sciences* (Elsevier, 2004), pp. 634-642.
- Galloway et al., *Bioscience* 53 (2003), p. 241.
- R.W. Howarth, "The nitrogen cycle," *Encyclopedia of Global Environmental Change, Vol. 2, The Earth System: Biological and Ecological Dimensions of Global Environmental Change* (Chichester: Wiley, 2002), pp. 429-435.
- R.W. Howarth et al., "Nutrient pollution of coastal rivers, bays and seas," *Issues in Ecology* 7 (2000), pp. 1-15.
- R.W. Howarth et al., *Ecosystems and Human Well-being, Vol. 3, Policy Responses, The Millennium Ecosystem Assessment* (Washington, D.C.: Island Press, 2005), Chapter 9, pp. 295-311.
- D.A. Jaffe and P.S. Weiss-Penzias, "Nitrogen Cycle," *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (Elsevier, 2003), pp. 205-213.
- National Research Council, *Clean Coastal Waters: Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution* (Washington, D.C.: National Academies Press, 2000).
- Robert H. Socolow, "Nitrogen Management and the Future of Food: Lessons From the Management of Energy and Carbon," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96 (May 1999), pp. 6001-6008.
- "Reactive N in the environment," UNEP, 2007.
- "No 4.: Human alteration of the nitrogen cycle: Threats, benefits and opportunities," UNESCO-SCOPE Policy Briefs (2007).

使全球民众喝上洁净水

当今世界的水供给正在面临新的威胁，经济的、先进的技术可以使世界上成百上千万的民众受益。

当英国诗人Samuel Taylor Coleridge写到“水啊，水啊，盈满四方，竟无涓滴可饮尝。”的时候，他并没有想到21世纪全球水资源的情况。他说的并不是很离谱，今天，世界上的许多地方，饮用水以及其它用途用水已经成为一个紧要问题。

我们面对的水危机究竟有多严重

由于缺少清洁用水所引起的死亡人数比由于战争导致的死亡人数还要多。现在，世界上大约每6个人中就有1个人喝不上水，而缺少基本用水卫生的人数要比这个数字多出2倍。在一些国家，有超过半数的人喝不上安全的饮用水，因此饱受疾病困扰。有人估计，世界上每天约有5,000名儿童死于腹泻有关的疾病，如果用水卫生可以保障的话，这一死亡人数将大大降低。

世界上有足够的水。全球来看，有丰富的水资源，只是水的分布并不是按需分配的。例如，加拿大有足够多的水，大大多于当地人口的需要，而在中东和北非地区（仅举这两个地区为例）持续遭受水资源短缺问题。即使在某些国家内部，例如巴西，一些地区被丰富的水覆盖，而另一些地区由于遭受干旱而极度缺水。从许多例子中可以看到，政治和经济的壁垒阻碍了某些地区民众获得洁净水。在许多发展中国家，排放的有毒物质和地下蓄水层中发现的砷等有毒物质污染着水资源。

饮用水和个人用水只占全球用水总量的一小部分——家庭用水通常只占用水总量的5%。除了卫生方面，大部分水都用在了农业和工业。当然，不与人类活动相关的生态过程也需要用水，对于一个健康的、可持续发展的未来来说，开发确保足够水供给的方法是当务之急。

当前，地球上绝大部分的水都在海洋里，没有淡化的海水满足不了大部分的使用需求。地球上3%的水是清洁的，但绝大部分以冰或雪的方式存在。在许多地下蓄水层中的水大多沉积于早期湿润的时代，现在对某些蓄水层中水的利用已经超过了它们的补给率。

最近一份联合国报告警告“解决水和清洁水的危机是21世纪早期人类发展中的最大挑战之一” [United Nations Development Programme, p.1]

水供给从何而来

从凿井到修建大坝，工程师们想方设法满足水供给和社会需求。为满足环境和生态系统的保护和日益增长的需要，还要开发更加先进的方法。

在美国、中国、印度和其他国家大范围所采取的一个方法是将水从过剩区域调配到缺水地区。这种调度工程短期内可以缓解一些城市的压力，但不是个广泛、长期、环保的解决方案。同时，这种方法也不能解决农业需要的问题。进一步来说，调水给某些民众就意味着使其他一些人的用水量减少，这将导致政治问题。

什么是海水淡化

海水淡化就是将盐从海水里去除。海水淡化不是一个新的想法，现在已经被中东一些地区采用了。沙特阿拉伯就占了全世界淡化海水的十分之一，以色列采用淡化技术满足了全国四分之一家庭用水。现代淡化工厂采用反渗透技术，使用隔膜来分离盐。目前世界上有12,000多家海水淡化工厂。



但是淡化工厂的兴建很昂贵，并且需要大量能源来运行，使得海水淡化只能在沿海富裕国家实现。因此对于水供给问题最严重的贫穷国家来说，意义不大。

减少能源使用，也就是降低成本的新技术将对淡化起到帮助作用。现在开发了一种被称作是“纳米渗透”的潜在新方法，该方法使用了微小的碳管将盐过滤掉。实验证明，这种管子（由于尺寸在纳米量级上被称作纳米管）具有强大的过滤能力。

即使有了这种先进技术，只靠淡化是不能解决世界水问题的，还要寻求其他方法。

还有哪些提供清洁水的技术

目前正在开发可以循环利用污水和污水治理的技术，这样一来就可以使循环水用在灌溉和工业方面。循环水甚至可以用来补给蓄土层。但需要有效的净化手段和严格的安全保证来确保循环水的安全。（在这方面有许多纳米技术可以派上用场，例如，纳米过滤膜可以过滤污染物，同时可以让营养物质通过。[Hillie et al., pp.20-21]）

还有一项与众不同的技术就是想方设法地减少水的使用。农业灌溉消耗了大量的水，在发展中国家，灌溉用水经常超过用水总量的80%。对农作物灌溉采用改进的技术，比如“滴灌”，将大大减少农业用水。一些国家，如约旦，已经使用滴灌技术，大大的降低了用水量，但对于植物生长来说，这不是一个完美的方法（比如，该方法不能提供足够的水来净化土壤）。城市供水系统的水流失也是一个大问题。一个改善水供应和安全的措施是小型分散蒸馏设施，对于基础设施和分布问题严重的地区来说这尤其是一个好方法。一个主要的问题是使偏远、低收入地区的经济地获得水资源。现在一些项目是建立便宜的蒸馏设施，这样可以将污染物从水源里除掉，例如，一个比洗碗机还小的简单设施就能为100个人提供每日的清洁水。

这些方法将有助于解决水资源分布不公的问题。例如，在一个国家内部，对于富裕地区来说，可以得到清洁便宜的用水。而对于贫穷地区来说，他们不得不从中间人那里花更多钱来买到水，或是从不安全的自然界水源里得到水。解决世界水问题必须在考虑到这些不公平的问题里寻求出路。

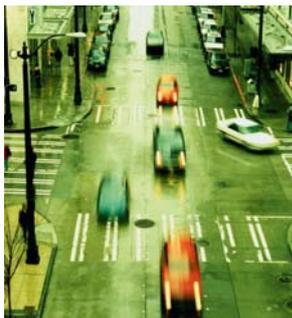
References

- Gleick, P.H., et al. The World's Water 2006-2007: Biennial Report on Freshwater Resources. Chicago: Island Press.
- Hillie, T. et al. 2006. Nanotechnology, Water, and Development. Dillon, CO: Meridian Institute.
- United Nations Development Programme. 2006. Human Development Report 2006: Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis. New York: Palgrave Macmillan.
- U.S. Census Bureau, Population Division. International Programs Data. Accessed July 2007.
- The World Bank, Middle East and North Africa Region. 2007. Making the Most of Scarcity: Accountability for Better Water Management in the Middle East and North Africa: A MENA Development Report. Washington, D.C.: World Bank Publications.
- World Health Organization (WHO)/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. 2005. Water for Life: Making It Happen. Paris: WHO Press.
- World Water Assessment Programme. 2006. Water: A Shared Responsibility: The United Nations World Water Development Report 2. Paris and New York: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and Berghahn Books.

可持续发展的城市规划

优良的设计和先进材料的使用可以改善运输、能源、给水和排水系统，并且可以创建可持续发展的城市环境。

2005年，美国土木工程师协会发布了一项报告，给不同类型的美国城市规划打分，平均分为D。



什么是城市规划

城市规划是用来支撑社区、地区、国家的各基本系统的总和。它包罗万象，包括：给排水系统，道路、铁路网络，国家电网和天然气网络。未来或许还会有氢能源网络。

城市规划的现状是怎样的

和其他一些国家一样，美国的基础设施正在老化，功能也不能满足日益增长的需求，缺少足够的经费来维护基础设施。21世纪的工程师面对的严峻挑战是使支撑现代社会的基础设施现代化。

在城市地区，该问题尤其突出，因为不断增加的人口为社会支撑系统不断施压，自然灾害、事故、恐怖袭击威胁着基础设施的安全。不单只是美国有这类城市基础设施的问题，人口超过1000万的大城市也会面对严峻的挑战，这些城市大多分布在亚洲。在世界上许多地方，基本的基础设施需求仍然是问题多多，如何尽可能大范围、经济地提供服务是工程师面临的一项挑战。

进一步来说，解决这些问题必须尽可能做到可持续性发展，要考虑到环境和能源的利用（尽管城市仅占地球表面的一小部分，却消耗着大部分资源并制造了大量的污染），还要顾及到尽力提高生活品质和城市美化。

维护基础设施需要做些什么

当然，维护基础设施并不是一个新问题。几千年以来，工程师们开动脑筋设计出了给水排水系统。近几个世纪以来，人类扩展并完善了传递信息和能源的系统，从开始的电报电话线路到现在无处不在的通讯系统，有线电视、手机电话、因特网都依赖于良好的基础设施建设，风能和太阳能的发展也是如此。

既有的一些基础设施都埋于地表，这就为维护和更新制造了麻烦。一方面，在许多情况下，不能完全做到记录所有地下管网和电缆的工作。一项主要的挑战就是设计方法来绘制标记地下基础设施，这样就可以协助完善并防止损害这些基础设施。

英国目前正在实施着这样一项工程，目的就是用地面上发出的电磁波信号来定位埋在地下的管道。该方法原理就是找到能通过土壤反射电磁波的金属结构，就像是夜间通过反射器使自行车更容易看到一样。

怎样改善运输系统

运输是城市规划的一项主要问题。公路和高速公路仍旧是主要的运输通道，因此他们的维护和改善仍是一项主要的挑战。但更大的挑战是集成运输系统，使得个人车辆运输、公共交通、自行车和步行都尽可能地变得简单。日益重要的一个问题是为老年人和残疾人提供便捷的交通。



世界各地的城市正在开发集成方法，通过建立运输中枢，例如，所有的交通运输组合（铁路、公共汽车、出租车、人行道、自行车道和停车场）都方便地组合在一起。在香港，许多交通服务由一个系统联系起来，只需要一张卡片就可以为所有这些服务项目买单，还包括了汽油费和停车费。

在城市许多地区可以开发集成能源、水和垃圾（固体和液体）的系统。该方法可以提高可持续发展能力，通过城市规划来减轻由于满足城市居民的需要而产生的压力。在新发展地区和新城市引进这种方法尤其有益，在接下来几十年里，中国和印度将大批涌现这种城市。

这些服务可以帮助支持日益增长的城市人口，确保民众的生活环境经济且舒适。工程学将在民用和商用住房的建设中，提供环境友好、节能建筑方面发挥作用。

怎样建立更好的基础设施进行城市规划

新材料可能会为解决这些难题提供帮助，但可能只有通过开发崭新的建筑方法才能取得显著进步。人工建设已经有几百上千年的历史了，计算机技术和机器人技术的发展使得建设过程实现自动化成为可能，例如，可以大大地提高建设效率并且降低成本。连接大型中央车站的电网和分布各处的电网也会受益于计算机技术。

所做的城市规划既要实用，又要美观。大桥自古以来既被看作运输载体也被视作艺术品。桥、建筑，甚至于立交桥都会为城市增加艺术吸引力，精心的设计可以极大的美化城市环境。

过去几十年里，城市规划缺少对城市外观环境的考虑。现在，建筑美学的觉醒开始广泛地影响城市规划设计，城市绿地就是一个例子。

处理城市雨水径流就是将美学纳入规划的例子。运用风景设计来管理径流水的流动，被称作“绿色规划”，在处理污染的同时还美化了城市。同时，还需要重新考虑为城市硬化地面的问题，应改进设计来降低地面温度并使雨水渗入地下。合理的工程设计可以达到多重目的，例如，排水、清洁水的同时还为城市提供了宜人的风景，改善了野生动物的生存环境，为民众提供了休闲场所。

重建和改建城市基础设施需要面对的问题超过了工程学的范畴。有许多政治、政策问题需要克服。正如美国土木工程师协会的报告指出的那样，在许多地方经费极度短缺是一个大问题。对既存的基础设施不想办法注入新科技反而任之老化将使问题恶化。

当然，对规划工程来说，一项主要的挑战不仅仅是设计新的方法，更重要的是将这些方法的价值向社会大众普及。

References

American Society of Civil Engineers. 2005. Report Card for America's Infrastructure. <http://www.asce.org/reportcard/2005/page.cfm?id=203>

Bill Wenk. 2007. Green Infrastructure BMPs for Treating Urban Storm Runoff: Multiple-Benefit Approaches," *Water World* (July 2007). www.pennnet.com/display_article/297781/41/ARTCL/none/none/Green-Infrastructure-BMPs-for-Treating-Urban-Storm-Runoff--Multiple-Benefit-Approaches

Zielinski, S. 2006. New Mobility: The Next Generation of Sustainable Urban Transportation," *The Bridge* 36 (Winter 2006), pp. 33-38.



建立人体健康信息系统

强大的健康信息系统不仅支持日常的门诊记录，并且在面对流行疾病爆发以及发生生化进攻时可以起到重要作用。

当你呼叫911急救电话时，救治结果很大程度上取决于对你本人健康情况相关信息的掌握和处理的方式。

什么是健康信息系统

人类生活的每一方面都受到信息时代的影响，其中受影响最深的莫过于健康和医疗。随着计算机渗透到生活的各个方面，人们对于健康信息系统有一个共识，健康信息的获得、管理和使用将大大提高医疗保健的质量和效率以及公共健康紧急情况的应对能力。健康和生物医学信息系统包含了与个人和全球有关的问题，它涵盖了个体病人的详细医疗记录、政府之间和国际医疗机构之间在爆发大规模疾病时的信息共享。在21世纪为保持人群健康还需要采取系统工程方法来重新设计医疗制度，并综合地方、地区、国家和全球健康信息系统网络。

在个人层面上，生物医学工程师构想了一个分布计算工具的新系统，该系统将收集经核定的医疗数据，并

将之安全地存储于一个网络，该网络致力于帮助提供快捷与有效的医疗服务。

目前已经被广泛开发的基本医疗信息系统用来维护医生、诊所、医院的病例，在许多情况下，该系统已经在多家医疗机构中实现了信息共享。但是，还要做许多工作来使该信息系统最大化地使用，确保病人隐私得到保护，防止有可能的滥用，例如，被医疗保险公司或雇主滥用。

怎样改进健康信息系统

一方面，现在的医疗记录很让人头疼，因为它是由旧式的纸张与新科技计算机混合组成的。另一方面，计算机的记录有时并不兼容，即使在一个医院里，对于不同数据也会采用不同的程序。在地区、国家和全球网络上共享信息会更加复杂，这是由于计算机系统的差异和数据记录规则的差异造成的。未来的系统必须实现无界限信息共享，确保建立内置信息的准确更新和找到证实病人身份的方法。

记录个体病历仅仅是这项挑战的一小部分。另一个很大的目标是开发可靠的系统来为临床医生、病人和档案医疗研究信息提供相关的支持。面对海量信息时，医生需要电子系统来帮助他们寻找针对个体病人的信息，还需要诊疗支持系统来提供及时有针对性的医疗服务。

Stanford大学的Russ Altman认为“有这样一个需要，开发一种方法以代表生物学知识，这样计算机就可以对此采用标准的方式进行存储、处理、检索以及干扰。” [Altman p. 120]

健康信息系统如何改进健康服务

除了收集、维护信息，健康信息系统也应该通过一些新技术来提高健康服务质量。这些新技术中的一些将包括在没有看医生的情况下收集医疗数据，例如佩戴一些设备来监控脉搏和体温。监控设备还可以以嵌入病人衣服或植入体内的形式存在。

这些设备正在从微电子机械系统领域里涌现出来，用来进行健康医疗递送，比如无线集成微系统，即WIMS。无论病人是在家里还是在医院里，含有无线发射接收装置的小型传感器将持续不断地监控病人。如果与标准化的电子健康记录共同操作的话，当病人需要照顾时，WIMS将通知健康专家，或者在需要时向病人体内自动释放药物，这样每一个病房都可以变为重症监护室（ICU）。将这些设备与健康信息系统紧密的集成起来将把该项挑战提高到一个崭新的高度。

信息系统如何应对突发公共卫生事件

在地区到全球范围，一个有效的健康信息系统将使健康专家可以发现、跟踪并且控制突发公共卫生事件或恐怖主义袭击。

对于人类社会来说，生化战争并不新鲜。在古代的时候，战士就已经在敌人的饮用水里下毒。现在，有关生化战争的威胁不仅来自于战争，还来自于恐怖分子，这些恐怖分子可以在任何时间、任何地点发动生化战争。保护人类免受这样的攻击将需要精细复杂的系统来作出快速有效的应对。

由于问题的复杂化将导致面对该项挑战的难度，因为恐怖分子有大量的多种的生化武器库。这些威胁中最为人所熟知的可能就是有毒化学物质了。有毒气体，例如氯气和光气，将使人窒息而死。芥子气让人的皮肤糜烂，神经毒气（实际上是液体）麻痹人致死的方式就像杀虫剂杀死蟑螂那样。

大部分科学家认为，尽管化学袭击已经够严重的了，可是仍没有生物袭击来得危险。让人担心的是威力强大的生物毒素，包括炭疽，蓖麻毒素和肉毒中毒神经毒素。

炭疽引起了广泛的关注，不仅是由于它在美国2001年导致的死亡事件，还因为它具有大规模致死的能力。如果空投炭疽病毒的话，成百上千的死亡场景并不难以想象。如果供给即时的话，抗生素将有效的消灭炭疽。但是，机会很小，当细菌离开有毒化学物质时，还需要其他的防御措施。



如何应对生化武器的进攻

在应对生化恐怖袭击时提供给信息系统的信息包括三个部分。首先是监控和探测——监视空气、水、土壤和食物，及时发现袭击的早期特征。接下来是快速的诊断，需要这样的系统可以完成分析和确定有毒物质并且跟踪有毒物质的方位和在人群中的分布程度。最后是采取应对措施，快速地开发并大规模生产解毒剂、疫苗或是其他的治疗措施来降低生化供给造成的损害，并且要跟踪这些措施的有效性。

如何有效经济地监控环境并且尽早发现这些有毒物质是一项很大的挑战，人类正在致力于开发敏感的检测器。例如，“人造鼻子”是一种计算机芯片，它们可以区分上千种致命的化学物质。尽管这些系统的灵敏度还比不上犬类，对于该系统的优化在工程上将是一项很大的挑战。还可以通过生物检测器来检测有毒物质和病毒，当有危险性的分子通过时，非常小的生物“纳米孔”可以被用来发送电信号。

另外一种新奇的技术不仅可以用来跟踪入侵分子本身，还可以跟踪人体对于这些入侵分子产生反应所生成的分子。在面对细菌时，免疫系统细胞（嗜中性白血球）可以改变它们的内部化学成分。对这些改变做出分析可以为分辨入侵分子提供线索，并且制定最好的应对措施。最终，区分不同威胁细胞所产生的反应所建立的数据库将使通过简易的血液测试就能快速判别生物战争病原体成为一种可能。

如何应对流行疾病

自然生物体所产生的破坏力是最大的。从14世纪消灭了欧洲几乎一半人口的黑死病到1918年杀死了2000万人的西班牙流感，历史一次又一次地目睹了疾病所带来的灭绝人类的巨大威力。

在21世纪，流感或其他不知名的病毒威胁仍旧考验着医学，由H5N1病毒传输的禽流感就是一个迫在眉睫的危险。

疾病处理预案的主要目标是建立一个良好的早期预警系统，这在很大程度上将依赖全球性的监控来诊断大范围流行病的发作与传播。现在已经建立了一些类似的系统，它们监控门诊和用药的数据，如果这些数据突然增加的话，就说明了一场流行性疾病的爆发。

但是某些情况会对这些统计造成假相，这就需要更加精密的监控手段，这将包括跟踪公共网络点击流量来解释急性特征并且将它们与地理代码（例如邮政编码）关联起来，建立集成的全国信息科技设施对此将有很大的帮助。因为在有些情况下，关闭学校或工厂以及隔离区可能减轻医院的压力，民众也可能会为了防止被感染而有意的回避医院。在另一方面，由于听信了关于疾病的谣言，健康的人群也可能会到医院区寻求预防手段。在任何一种情况中，流行性疾病的统计数据都将出现偏差。

分析数学的新方法可以起到帮助作用，尤其是用数学方法来描述健康医疗各项数据关系的网络时。换言之，不仅监视单独的数据流，还要监测各项数据之间相关比例的关系，这样就可以提供贴近真实情况的更加准确的数据。这些分析可以帮助确定由于暂时性人口的增加（例如，奥运会）而导致的某个城市的医疗现状情况的突变不会被误认为是一场流行性疾病的爆发。

类似地，当流行性疾病真的爆发时，数学方法也可以帮助设计最有效的医学响应计划。对抗流行性疾病的措施包括旅行管制，关闭学校以及建立隔离区，还包括注射疫苗或抗病毒药物。

这些措施的有效性取决于很多因素，例如病毒的传染性和致命程度、抗病毒药物和疫苗的效果、公众对于隔离区和旅行管制的配合等。这样一来，对于用数学方法来理解这样的关系网络就十分必要了，正如反馈系统必须考虑到人类之间的相互作用。这些模型可能要考虑到“小世界”现象，这当中由于人群的各种关系，病毒得以快速地通过人群进行传播，正如分散在世界不同地区的人可以由几个朋友联系起来那样。

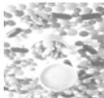
现在对这些方法的研究还处于早期，研究结果表明对于疫苗和药品的有效使用是控制流行性疾病的关键。结果就是，必须开发大规模生产疫苗的新方法，或许使用更快的细胞培养方法而不是采用传统的受精卵培育病毒的方法。需要建立一个系统可以快速地获得病毒的标本，快速地设计治疗方案和疫苗。该系统需要技术来保证快速测试，还需要一个系统来加速常规的步骤。如果病毒在数天或几个周内爆发并且扩散的话，耗时数年的常规审批就会使得人类在抗击病毒的战争中不战而败。

伦敦帝国理工学院的Neil Ferguson和同事认为“对于新病毒特征尽可能收集详尽的数据，实时分析这些数据，随时调整对病毒的了解作出应对措施，这一点至关重要”。[Ferguson et al. p. 451]

毋庸置疑，信息系统的价值就在于帮助保护公共安全和推进个体的医疗保障。但是，随着这些新的数据库和科技开发带来了新的挑战：防止信息的泄密和信息的滥用。在开发这些新技术的同时，还应当采取措施来保证信息本身不会被蓄意破坏，个人的信息不会被非法泄漏。

References

- R.B. Altman, "Informatics in the care of patients: Ten notable challenges," *West J Med* 166 (February 1997), pp. 118-122.
- Robert Booy et al., "Pandemic vaccines: Promises and pitfalls," *Medical Journal of Australia* 185 (20 November 2006), S62-S65.
- James C. Burnett et al., "The Evolving Field of Biodefense: Therapeutic Developments and Diagnostics," *Nature Reviews Drug Discovery* 4 (April 2005), pp. 281-297.
- Fabrice Carrat et al., "A 'small-world-like' model for comparing interventions aimed at preventing and controlling influenza pandemics," *BMC Medicine* 4 (2006), p. 26.
- Neil M. Ferguson et al., "Strategies for mitigating an influenza pandemic," *Nature* 442 (July 27, 2006), pp. 448-452. DOI:10.1038/nature04795.
- Timothy C. Germann et al., "Mitigation strategies for pandemic influenza in the United States," *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103 (April 11, 2006), pp. 5935-594.



开发基因药物

工程师们正在开发新的系统来利用遗传信息、检测人体细微的变化、评估新药物和释放疫苗。

医生们很早就知道不同人对于疾病的敏感程度不同，对药物的反应也不一样。但是，由于缺少对于个体差异的认知，目前所开发的治疗方案都是适用于群体而非个体。

基因科学如何影响基因药物的开发

人类的DNA含有20,000多种基因，这些基因都储存在我们的细胞核里。基因是一种化学编码，是蛋白质和其它生命物质的蓝图，细胞按这个基因蓝图组合分子。

人类的基因蓝图基本上是一致的，是由大约30亿个密码“字母”组成，每个字母对应于DNA分子的一个化学单元。1%DNA分子的不同（往往仅仅是一个化学字母不相同）就导致了人类多姿多彩的特征。

除了外表，基因的差异存在于人体的脑部和其它部位，这些差异有时使得一些人易患某种疾病的概率增加，还有一些差异将显著地影响人体对医学治疗的反应。

理想状况下，医生可以基于个体差异来诊断和治疗病人，这就叫做“基因药物”。它的核心是将基因信息和临床数据结合起来优化用药以达到治疗个体病人的要求。基因药物将被用来更好地理解人体蛋白质组学和代谢物组学。

美国食品和药物监督局的Lawrence Lesko认为“基因药物可以被看作是对疾病进行预防、诊断、治疗和监控的一种综合的、有潜力的方法，这样一种方法将优化解决个体健康问题。” [Lesko p. 809]

目前，针对某些疾病已经部分开始使用基因药物。例如，与乳腺癌有关的基因变异可以预测妇女对该疾病发展与康复的敏感程度，并为采取预防措施提供有力指导。在某些乳腺癌的病例中，赫赛汀（一种用于治疗早期或转移性乳腺癌的新型基因药物）的使用将使病人产生一种特殊的蛋白质，从而有效地控制疾病的发展。

然而，广泛高效地研发基因药物仍是一个很大的挑战。基因专家、临床医生以及工程师等多个领域专家的通力合作，将有助于完成这一挑战。

什么阻碍了开发基因药物

工程上的一项挑战是开发更好的系统来快速获取病人的基因组，另一项挑战是收集和管理病人的大量信息，还有一项是开发经济便捷的诊疗设备（基因芯片和传感器）来诊查血液中的微量化学物质。

另外，需要改进系统来找到针对个体病人的有效并且安全的药品。现在测试药品安全有效性的“黄金法则”是随机的临床实验，即将病人分组，有的小组发放新药，有的小组发放安慰剂，通过这样的随机测试来评价药物的性能。但是该方法判别药物疗效是基于总体的平均结果而不是针对个体而言的。

此外，还需要发展新的方法让基因药物快速有效地到达人体的患部。例如，研究人员正在想办法让纳米颗粒在躲避人体自然免疫反应的同时到达人体的特定部位。这种纳米颗粒可以对人体内部环境做出灵敏的反应，比如只有当血液中葡萄糖浓度高时才释放胰岛素。

在合成生物学这一新领域里，新的生物材料正在取代或帮助修复受损伤的人体组织。有些是包含生物信号的支架，它将吸引干细胞并引导它们长成特定的组织类型。掌握合成组织工程将使组织和器官再生成为可能。

基因药物带来的好处是什么

药物的基因化将带来许多好处，比如将更早期地发现疾病（或患病风险），这可以更好地诊治和预防疾病。还可以避免一些昂贵或无用的治疗，医疗花费也会降低，还将减少反复的实验并保证最优的药品剂量。更加乐观的应用是，基因药物可以提供治疗癌症的途径，实现的方法是分析为什么有些人会患癌症而有的人不会患癌症，为什么有的癌症病人可以被治愈而有的人就不行。

当然，向基因药物的过度开发会带来社会和道德方面的问题。即使解决了技术方面的问题，还有个人基因隐私的问题，并且即使到本世纪末期，仍旧会有大量的人享受不到基因药物带来的益处。

怎样对抗抗药感染

基因药物的治疗方法使人类在与病原体的战争中拥有了更多的治疗手段，但是有时会使问题恶化。人体一旦产生抗药性，对药物最不敏感的病原体存活了下来并且可以再次爆发，作为自然选择的结果他们成为微生物种群里面主要的种类。这将产生新的问题，当微生物的世界采取适者生存的进化规律时，药物将失去作用。常用药物由于提高了对手的抗药性而将会失效。“抗药源无论是寄生虫、细菌还是病毒，都不再能用常见的抗感染药物治疗了”（世界卫生组织的David L. Heymann）。

未来，人类将会依赖开发新的方法来对付多重抗药性。其中一项挑战是充分弄清楚抗药性是怎样产生、怎样发展以及怎样传播。进一步讲，寻找和开发新药物的系统也要自我进化，还要寻找打败抗药源的新方法。



抗药性不是什么新鲜事儿。历史上对付这一问题的方法是扩大搜寻新抗生素的范围，这一方法现在仍然有效。许多对抗由疾病产生微生物的药品都与土壤天然细菌里所含的化学物质相似，这也为寻找药物提供了有效的途径。还可以在生态环境、植物或是生长于极限条件下（例如，深的湖泊和海洋）的细菌里寻找药物。

举个例子，和昆虫共生的细菌可能提供新的用来制造抗感染药物的化学成分。植物能提供很多具有抗菌特性的有意思的化合物，同时可以通过基因控制来利用这些化合物中的不同组成物进行实验。并且化学工程师还可以在实验室里通过连接组合出全新的用以制药的化学分子。

例如，与昆虫共生的细菌可以为制造抗感染药物提供新的化学成分，植物可以提供许多具有抗细菌特性的奇妙化合物，同时可以通过基因控制来利用这些化合物中的不同成份进行实验，化学工程师可以通过实验发明新的药物分子。

进一步的措施包括直接打击病原体的抵抗武器。通过将抗生素与具有轻微抗菌作用但却具有解除细菌防御分子作用的药物结合起到治疗作用，另一种综合治疗方法是使用能打击入侵抗源（能将抗生素排除到细胞外）的化合物。

抗药问题不仅局限于细菌和抗生素，对抗爱滋病和流感病毒的抗病毒药也面临同样的问题。事实上，理解病毒的抗药性的发展对于预防流行疾病具有特别重要的作用。使用任何抗微生物药品必须考虑到所加速引起的抗药性。

发明基因药物过程中工程的作用是什么

现在医生开的有些药品并不正确，也不必要，导致了没有任何医疗作用的抗药性。研制基因药物的挑战与开发药品的挑战类似：开发更有效的工具和技术来快速分析诊断，以便筛选大量的药品并提供及时的治疗方案。

更快、更精确的诊断可以带来更具有针对性和有效性的治疗。医生不能总是精确的诊断引起感染的细菌类型，因此通常采用具有攻击多种细菌功能的抗生素。能够及时确定具体真正感染的细菌的仪器可以帮助缩小选取药物的范围，降低产生抗药性的风险。开发特定有机体抗生素可能成为本世纪最重要的生物医学工程的挑战之一。

在对付特定的生物体病原时这可能尤其具有挑战性。一个系统必须能够快速分析病原体攻击人体的方法并能够快速生产出合适的药物。在抗击病毒时，必须制造出能够关闭病毒体自我复制功能的小分子。制造蛋白质的指令都存储在DNA的基因中。另一种称作信使RNA的生化分子能够复制这些基因指令并把他们送到细胞用来合成蛋白质的地方。有时候，其他一些小的RNA分子会附着在信使RNA分子上并使其失去生物活性，这样就是通过阻碍信使RNA的传递来阻碍蛋白质的合成，这一过程被成为RNA干涉。如果可以生产出能附着在病毒的信使RNA并使其失去活性的小RNA的话，我们就可以阻碍病毒的再生。这一过程的关键就是要破译病毒的基因分子序列，从而能够设计并制造出有效的小RNA分子。

传统的疫苗已经表现出预防疾病的能力，甚至有些像天花这样的传染病已经被根除了。所以我们可以针对疾病来设计疫苗。个性化疫苗是可以想象的，但是，我们需要更有效和更可靠的方法来开发疫苗从而提供对疾病的免疫，尤其是当面临大范围的传染病时。

References

- Erwin P. Bottinger, "Foundations, Promises, and Uncertainties of Personalized Medicine," *Mount Sinai Journal of Medicine* 74 (2007), pp. 15-21.
- Manfred Dietel and Christine Sers, "Personalized medicine and development of targeted therapies: The upcoming challenge for diagnostic molecular pathology. A review," *Virchows Arch* 448 (2006), pp. 744-755.
- David L. Heymann, "Resistance to Anti-Infective Drugs and the Threat to Public Health," *Cell* 124 (February 24, 2006), pp. 671-675. DOI 10.1016/j.cell.2006.02.009.
- W. Kalow, "Pharmacogenetics and pharmacogenomics: Origin, status, and the hope for personalized medicine," *The Pharmacogenomics Journal* 6 (2006), pp. 162-165. doi: 10.1038/sj.tpj.6500361
- L.J. Lesko, "Personalized Medicine: Elusive Dream or Imminent Reality?" *Clinical Pharmacology & Therapeutics* 81 (June 2007), pp. 807-816.
- M.P. Lutolf and J.A. Hubbell, "Synthetic biomaterials as instructive extracellular microenvironments for morphogenesis in tissue engineering," *Nature Biotechnology* 23 (January 2005), pp. 47-55.
- Gerard D. Wright and Arlene D. Sutherland, "New strategies for combating multidrug-resistant bacteria," *Trends in Molecular Medicine* 13 (2007), pp. 260-267. doi: 10.1016/j.molmed.2007.04.004.
- Mike West et al., "Embracing the complexity of genomic data for personalized medicine," *Genome Research* 16 (2006), pp. 559-566.



对人脑的逆向工程

工程学和系统神经科学的结合促进了医疗业、制造业和通讯业的长足进步。
几十年来，工程领域一些科研人员一直致力于创造能够思考的机器，即能够模拟人工智能的电脑。



为什么要对大脑进行逆向工程

虽然目前人类已经开发出一些会思考的机器并让他们在某些领域内掌握了一些特定的技巧——比如下国际象棋——但是广义上的人工智能还远没有实现。

一些专家认为，人工智能目前存在的部分问题是设计中并没有充分考虑真实的大脑情况。早期研究人工智能的人在处理如何思考时的做法就像航空工程师不去研究鸟类却想实现飞行一样。事实上，了解真实大脑如何工作的秘密可能会对人工智能提供最好的指导。通过对人脑的逆向工程来揭示大脑的秘密可以让我们有很大的机会用流水线制造汽车或者电脑的方式来制造人工智能。

理解人脑如何工作将会获得比制造更聪明的电脑更大的好处。通过研究大脑所获得的进步可能会反过来使大脑进一步受益。理解大脑工作的方法可以使工程师们能够模拟出大脑的行为，从而更深入地理解大脑是怎样工作的以及为什么会失效。类似的模拟能够对解决大脑紊乱问题提供更准确的实验方法，从而检验药物或者神经植入等生物科技手段的效果。未来将有可能用新材料植入人体来替代失去的或是受损的神经细胞从而实现同样的神经功能，这样的科技进步将使我们有可能解决神经紊乱的问题。植入体内的电子器件可能会让失忆症患者重新恢复记忆，让盲人重见光明，让残疾人重新恢复行动能力。

复杂的电脑模拟还可以应用于很多其他领域。例如，模拟细胞内蛋白质的交互作用可以为设计和检验药物提供一种全新的方法。同时，电脑模拟的功能并不仅仅局限在生物科学领域，也许它还可以预测一场地震的影响，从而帮助指导人员疏散和灾后重建工作。

有效模拟现实情况的能力很多都来源于通过人脑逆向工程所获得的更强大的计算能力。通过研究人脑是如何自我学习，研究人员可以更好地了解如何设计能同时处理多重信息流的计算设备，而不是像现在的个人电脑一样一次只能实现一条指令。真实大脑的另一个特点是它拥有大量相互关联的神经细胞，这就相当于电脑的信号传输转换器。典型的神经细胞能形成数以万计的相互关联，而传统电脑上的信号传输转换器只有2到3个相互关联。模拟人类活动的人工智能系统，例如模拟视觉的系统就需要创造出更多更复杂的内在相互关联。

这一信息有哪些应用

已经有一些人工智能方面的应用得益于人脑的逆向工程。这方面的例子包括应用于语音识别的人工智能算法和自动化工厂里的机器人视觉处理系统。在未来，更先进的人工智能软件将有可能指导某些设备进入人体，从而进行医学诊断和治疗。

人工智能对人类医疗和保健可能产生的更大影响是利用这方面的科技来修复受损的大脑。由于受伤或者疾病而受损的海马组织（这是人脑中重要的与学习和记忆有关的组织）会干扰神经细胞间用于形成和恢复记忆的某些电信号。通过了解健康大脑中正确的电信号模式，工程师们已经开始设计能模拟大脑自身通讯功能的电脑芯片。在正常组织受损而无法传递信号时，这种芯片就能起到传递的作用。原理上，可以用一块可植入的芯片来存储健康组织发出的信号，然后利用这些信号来克服受损组织带来的影响。这种可作为替代的电信号可以帮助受损大脑恢复正常的记忆。



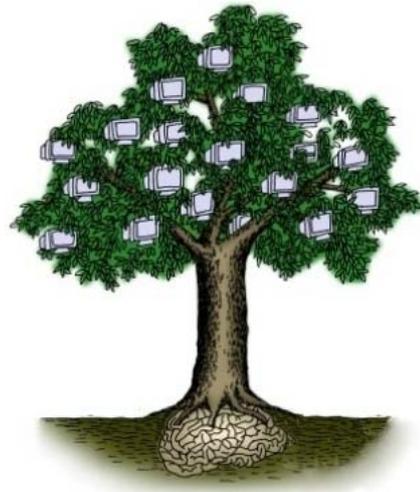
“神经修复术”已经获得了一定的应用，例如通过耳蜗植入来治疗失聪，通过刺激电极来治疗帕金森综合症，开发“人工视网膜”的项目也取得了一定的进展，我们可以用光敏芯片来帮助恢复视觉。

更具挑战性的制造能控制人工智能四肢系统的计划目前也在进行中。工程师们设想了一种电脑控制的植入系统，这种系统可以从上千个脑神经细胞中接受信号，再通过无线传输的方式将这些信号送到一个接口仪器上，然后就可以把大脑的指令进行解码。这个接口能够将信号传送到人工四肢上，甚至直接将信号传送到神经和肌肉上，从而指导人工四肢实现大脑想要的动作。

其他的一些研究探索还包括如何了解一个不能活动的病人的想法并把相关信号送到外接的电脑上，从而让不能说话或者不能移动的病人可以和外界交流，这些研究已经取得了一定的成功。

需要什么来完成对大脑的逆向工程

目前取得的进步已给人留下了深刻印象。但是为了彻底了解大脑能给我们提供哪些有用的信息以帮助我们制造会学习和思考的机器，我们首先需要开发出更先进的技术来理解大脑本身。在这方面，现代利用非侵入方法同时监测多个脑细胞的技术就是一个重大的技术突破，但是大脑神秘的通讯代码还没被破译出来。神经细胞在通讯时会发出电脉冲进而释放出被称为神经传递素的小分子，这种小分子是一种化学信使，它能从一个神经细胞跳到相邻的神经细胞上，从而激发相邻细胞产生信号（或者在某些情况下制约相邻细胞产生信号）。因为每个神经细胞都接收成千上万个其他神经细胞传递过来的信号，并且神经细胞相互连接的网络非常复杂，所以要追溯信号传输的完整轨迹是及其困难的。



更进一步来说，这些信号本身就是复杂的密码——神经细胞参考接收到的信息，总合后以不同的速率释放信号。有时候信号发射得很快速，有时候信号发射得平缓，大多数思维活动似乎是基于大脑中多重神经细胞的同步信号发射来完成的。想要整理分析神经细胞信号的复杂性，了解它们的机理、传递路径和反馈路径，这是一个巨大的挑战。

今天的电脑拥有电子逻辑电路，这种电路是闭合或开路的，但是如果工程师们能够模拟出像神经元那样能够处理多重信号的系统，他们就能创造出更加强大的电脑。在任何条件下全面理解人脑活动的原理都会给深入理解智能甚至理解意识创造出新的途径，这也就毫无疑问地为工程师们提供更广阔的视野来创造更美好生活。

References

- Berger, T.W., et al. Restoring Lost Cognitive Function," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* (September/October 2005), pp. 30-44.
- Griffith, A. 2007. Chipping In," *Scientific American* (February 2007), pp. 18-20.
- Handelman, S. The Memory Hacker," *Popular Science* (2005).
- Hapgood, F. Reverse-Engineering the Brain," *Technology Review* (July 11, 2006).
- Lebedev, M.A. and Miguel A.L. Nicolelis. Brain-machine interfaces: Past, present, and future," *Trends in Neurosciences* 29 (September 2006), pp. 536-546.



防止核恐怖事件

防止和应对核攻击事件的技术需求正在增加。

早在2001年以前，负责国家安全的人就开始担心由于恐怖袭击而有可能直接导致30万人员的伤亡和数千平方英里国土的流失。

从核时代的开始，全世界适合制造核武器的核材料就备受关注。某些国家可能缺乏足够的安全措施来应对偷窃或者贩卖核弹，而用于研究或者发电的核反应堆分布在全球各处，这些反应堆都可以为核装置提供原料，并且用类似的原材料来制造核武器的知识已经广为公开，这就导致了只要掌握核原料就可能制造出核弹。

物理学家Richard Garwin和Georges Charpak认为“我们不应该认为那些恐怖分子或者其他一些想制造核武器的人不会学习相关的知识。”

那些想制造核威胁的恐怖分子所面临的主要障碍是如何获得核裂变材料，这主要包括铀或高浓度的钚等一些可以进行快速核裂变的材料。当今世界已经被生产出的铀和高浓度钚分别约有两百万公斤。而要制造一颗核弹，只要不到十公斤的铀或者几十公斤的高浓度钚就可以了。

核裂变，也就是让原子核分裂开，这一现象最先是在铀元素中发现的。要制造一颗核弹，只需要含有90%以上铀235的高浓度铀，而一般铀矿石里只含有不到1%浓度的铀235。用在核电站里的这类材料也仅仅浓缩到3%到5%的浓度，所以这是不能用来制造核弹的。然而高浓度可以用来制造核弹的铀还是被生产出来以满足特定核反应堆的需要(例如核潜艇里的反应堆和一些用来进行科学研究的反应堆)，这些高浓度铀就有可能被恐怖分子所利用。

除了铀，另一个重要的问题来自合成放射性元素钚。由铀原子在反应堆中反应获得的钚本身就是一种放射性元素，并且它还是一种用来制造核弹的理想材料。现在，全世界有超过1000个核反应堆，除了一些用来发电外，其他大部分是用于科学研究的，而不论从什么样的反应堆里获得的钚都可用来制造武器。

因此，核安全成了21世纪最迫切需要解决的政治议题之一。除了政治和管理方面，这一问题也牵涉到很多技术难题。简单地说，工程上需要面对很多挑战，这其中包括在世界范围内寻找并跟踪危险核原料，确保其安全，还要防止被恐怖分子利用等问题。

如何防止恐怖分子利用核攻击

挑战包括以下几个方面：(1)如何保证核原料安全；(2)如何探测尤其是远距离探测到核原料；(3)如何消除潜在核装置的威胁；(4)在核爆炸之后如何应对紧急情况和清除污染以及如何与公众沟通；(5)找出是谁制造了核攻击。所有这些方面都有工程上的难题需要解决，有些是纯技术问题，而有些是系统性问题。

一些技术上的问题是关于信息网——需要建立起一个可靠的监测系统来追踪现有的核武器和核原料，防止恐怖分子盗窃或从黑市上贩卖这些东西。

另外一个可能的威胁是一些狡猾的恐怖分子可能会购买一些被拆除后的核弹的内部剩余部件，或是从核电站买一些核燃料，然后利用这些材料来组装简易的爆炸装置。我们有理由相信，这种爆炸装置可能会产生巨大的威胁，其爆炸威力可能达到摧毁广岛的那颗原子弹威力的十分之一。

如果收买了一些专业的核武器设计人员，那么恐怖分子就可能制造出更具威胁的装置，其威力可能等价于甚至超过广岛原子弹。如果在城市引爆了这种炸弹，就可能造成超过10万的人员伤亡。

当然，制造一个完整的核弹可能不是那么容易，因此恐怖分子们也许会尝试制造其他类型的混乱，其可能的手段是用常规的爆炸物引爆炸弹从而使放射性元素在城市里蔓延。这类“核污染炸弹”可能不会立即造成很大的人员伤亡，但是它会污染大面积的环境，造成城市经济运行大危机，还会长期增加癌症的发病率。目前在医院、研究机构和工业上应用着上百万个放射源，想完全切断放射性原料的流通途径是比较困难的。应对这种“放射性污染炸弹”的攻击，工程上的难题是如何进行人员和地点的监控并清理环境。

由于担心安全问题，像发电之类的和平利用原子能的事情变得复杂起来。想要确保一个国家在利用核能发电的同时不生产出可以用来制造核弹的钚是不太容易的。如果一个国家建造反应堆的时候选

择单次燃料循环而把钚和其他高放射性元素混在一起，那样钚就不容易被提取出来，而如果采取封闭燃料循环使得这个过程反复进行的话，钚就容易被提取出来。简单的记录很容易伪造或者遗漏，包括人员检查或者监控录像之类的监控手段也不是完全可靠的。

工程上有哪些解决方案

一个可能的工程上的解决方案是制造一种被动监测的仪器，把它放置在核反应堆附近，从而传输反应堆容量的信息，报告钚的转移。(如果这种装置能检测到反应堆是处于最大限度地生产钚而不是最大限度地产生能源的模式，那么这种装置将是非常有用的。)这种装置已经在设计和实验中了。

当然，如果危险的核材料已经被从核反应堆或者其他一些来源转移了出来，那么防止这些材料被运送到可以使用的地点也是一个严峻的问题。由于非常多的合法的大型集装箱都可以被运送到美国境内，因此想要防止核原料的过境将是一个巨大的挑战。单独检查每个入境的集装箱成本非常大也很耗时，因为每个集装箱可以装30吨的货物，且每年有大约1千万个集装箱被运达美国。已经提出并试验了很多检验隐藏在集装箱中核材料的方法，但是大多效果不好。

虽然如此，现在有一个方法可能会起作用。这个俗称“原子能洗车”的高级扫描系统可以将集装箱放在其传送带上，并同时对其进行扫描，这个过程很像是自动洗车的过程。当集装箱通过这个装置时，将会受到中子脉冲辐射，而中子这种普通的亚原子级别的粒子通常是用来诱发核反应的。那样的话，如果集装箱内有可以用于制造武器的核材料，中子就可以引起核裂变反应。而裂变反应又可以反过来制造出会发射伽马射线的放射性物质，伽马射线是在集装箱外有效地探测到的。此外，那些残留的放射性物质可以被大量的水所屏蔽。高能x射线不仅不会留下放射能，还可以探测其射线束前的障碍，但是会对像照相底片之类的东西造成损坏。

可能会开发一种模拟程序来帮助发货时的包装人员，保证他们的包装能够方便接受目前对所装内容的安全检查。如果包装不合格，就可能进行更复杂的安全检查，这也要多收费。

目前，俄罗斯和美国的Sandia国家实验室已经共同实施开发了实时监测系统，这一系统可确保防范未经官方授权的存储有可以制造核武器的集装箱。工程师们遇到的难题是在可接受的成本范围内如何推广这一系统。

毫无疑问，其他方面的核危机也将出现，同时我们也需要能够防止多样化的核攻击的方法。但是工程师们的智慧加上精巧的监管体系，还有基础物理学研究带给我们对原子秘密的理解，都使我们有信心面对21世纪所有的核威胁。

References

Bernstein, A. et al. 2002. Nuclear reactor safeguards and monitoring with antineutrino detectors," *Journal of Applied Physics* 91: 4672-4676. DOI: 10.1063/1.1452775

Bowden, N.S., et al. 2007. Experimental results from an antineutrino detector for cooperative monitoring of nuclear reactors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 572: 985-998.

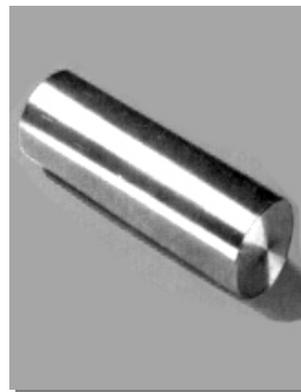
Garwin, R. and G. Charpak. 2001. *Megawatts and Megatons*. New York: Knopf.

Hecker, S.S. 2006. Toward a Comprehensive Safeguards System: Keeping Fissile Materials Out of Terrorists' Hands. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 607: 121-132.

National Research Council. 2002. *Making the Nation Safer: The Role of Science and Technology in Countering Terrorism*. Washington, D.C.: National Academies Press. pp. 39-64.

Nuclear Threat Initiative. 2006. *Seeing the Danger is the First Step: 2006 Annual Report*.

Slaughter, D.R., et al. 2007. The nuclear car wash: A system to detect nuclear weapons in commercial cargo shipments," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 579: 349-352. DOI:10.1016/j.nima.2007.04.058



保护网络空间



保护网络空间这不仅仅是防止个人身份被窃，银行、国家安全以及基础设施的重要系统也可能处于危险之中。

在21世纪，个人隐私和国家安全都依赖于对网络空间——信息共享网的保护，而这一系统直到20世纪晚期才出现。

为什么网络空间安全很重要

电子计算和通信的发展给工程界造成了前所未有的挑战。这些挑战包括保护传播信息的机密性和完整性，阻止身份被窃，以及防止诸如在布鲁斯·威利斯主演的电影《虎胆龙威4》中所出现的场景——电脑黑客们接连摧毁了运输、通讯系统和电力高压输电网。

正如电影所描述的，电子信息流的网络已经深入到了现代生活的每一个方面。从控制交通灯到安排飞机航班，计算机系统实际上控制了运输的每一种形式。收音机和电视信号、手机以及电子邮件都为通讯如何依赖计算机提供了鲜明的例子——不仅仅是在日常生活中，对军事、金融和应急设施同样如此。提供电、气和水的公用事业系统也会因为网络空间中断而瘫痪，对任何网络的攻击都将对个人和社会造成灾难性后果。

事实上，在金融和军事计算机系统中已经发生过网络安全的严重攻击，身份盗窃是一个兴起的问题，病毒和其它网络攻击困扰着大大小小的计算机，也破坏互联网上的商业和通讯。

然而对于安全系统的研究和发展还没有取得太多进展，目前的策略就像是在堤坝上堵住洞——只是当攻击被发现了才造出一些软件补丁。

对于保护网络空间的工程解决方案是什么

历史上，对计算机保护的常用方法被称为“周边防御”，即在一个子网的入口放置路由器和防火墙以拦截攻击者的访问。网络安全专家很清楚周边防御方法并不奏效。所有的这种防御都能最终被侵入或绕过。即使没有这些外界破坏，系统也不安全，例如“拒绝服务”攻击会向服务器发出大量伪造请求，造成服务器超载，进而导致服务器丧失功能。

目前，存在的问题要远超过可能的解决方案，工程界亟待解决的网络安全问题还有许多。举例来说，需要更好的方法来鉴别计算机系统硬件、软件和数据并核实用户身份。生物测定技术，比如指纹识别器，可能是努力的方向。

一个严峻的挑战是开发更多的安全软件。要做到这点，一个途径可能是通过更好的编程语言，在编写程序时就加入安全保护。此外也需要新的技术，使得在软件安装前就能检测其易受攻击的特征，而不是在软件投入使用后等着攻击来袭。

目前引导因特网上数据通行的协议可以用来让信息隐藏其真实的起源地，因此另外一个挑战是使因特网上流经不同路由器的数据更安全，避免信息被转移、监控或者篡改，而要获得安全的工程方法，首先是监控和快速探测任何可能的威胁，其次，问题一旦被探测到，立即采取对策、维修和恢复的技术，这个过程中还应该为抓捕从事网络犯罪或者网络恐怖活动的罪犯进行取证。

最后，工程师必须认识到一个网络安全系统的成功取决于对整体系统的安全，而不只是保护其中的各个部分。因此，打击网络犯罪和网络恐怖主义必须依靠个人、社会、政府的共同努力。

在另一方面，还要考虑计算机用户的心理状态——如果安全系统不堪重负，人们会考虑网络安全的便利性和功能性而避免使用它们。因此需要更多地研究人们是如何同他们的计算机、因特网以及信息文化的关系。文化和社会因素可能会影响人们对计算机和电子信息的利用，这有可能增加破坏网络安全的风险。同样地，研讨计算机犯罪的心理学和社会学也应该是有益的。系统必须要做到不仅对抵抗外来者是安全的，而且要对那些意图从里面破坏系统的内在人员同样有效。

而且，需要评估有关网络安全的法律、法规对人们如何使用或者误用电子信息的影响。也许更重要的是，对于网络安全这一复杂任务的研究，政府需要给与支持 and 资助。

References

Harrison, K. et al., "Security Through Uncertainty," *Network Security* (February 2007), pp. 4-7.

Wulf, W.A. and Anita K. Jones, "Cybersecurity," *The Bridge* 32 (Spring 2002), pp. 41-45.

President's Information Technology Advisory Committee, "Cyber Security: A Crisis of Prioritization" (February 2005).

National Research Council, *Cybersecurity Today and Tomorrow: Pay Now or Pay Later* (Washington, D.C.: National Academies Press, 2002). Available online at http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10274

National Research Council, *Toward a Safer and More Secure Cyberspace*, eds. Seymour E. Goodman and Herbert S. Lin (Washington, D.C.: National Academies Press, 2007). Available online at http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11925

增强虚拟现实

虚拟现实是使人产生如同在不同环境当中的错觉，可以用于训练、治疗和交流。

对大多数人来说，虚拟现实主要包括玩计算机视频游戏或者看科幻电影。在好莱坞电影里就有有关虚拟现实的描述，从1983年只有比较简陋观影装置的《头脑风暴》到完全虚拟世界的《黑客帝国》。

但是在许多专业领域，从精神治疗到教育，虚拟现实正成为一个强有力的新工具，可以用来训练实践人员，治疗病人，并且在各种娱乐方面得到了越来越多的应用。例如，虚拟现实目前已经被用于工业设计，工程师虚拟地制造出完整的汽车和飞机以便于试验设计原理、人类工程学、安全方案、维护通道等等。

什么是虚拟现实

虚拟现实只是一个让人产生幻觉的环境，它可以给用户身处它地的感觉。当你安全地坐在家，虚拟现实能带你到一场足球比赛、一场摇滚音乐会、一次大洋深处的海底探险、或者是一次围绕木星的太空站飞行。它能允许用户在大金字塔附近骑骆驼、驾驶喷气式飞机或者实行大脑手术。

虚拟现实所能做的不仅仅是描述这些活动的场景——它还能创造真实存在的幻觉。但是，毕竟用笔记本电脑飞行模拟器来驾驶波音777飞机并不能真正地感受那种从地面飞速上升5英里高的感觉。然而，虚拟现实尝试着将视觉、声音、触觉和情绪全部结合起来给大脑一组真实的感觉。

而它确实能够做到这一点。研究表明，沉浸在虚拟现实情景中位于悬崖边缘的人做出像现实一样的反应——心律上升并且大脑抵抗要越过边缘的命令。同样虚拟现实还有许多社会上的应用。已经表明，人们也能在同与真人一模一样大小的虚拟人物打交道时实际地做出反应，例如当被要求弄疼一个虚拟人时也会表现出不安，即使使用者知道那并不是一个真实的人而这种不安并不理性。显然有可能利用虚拟现实来哄骗大脑做出反应，如同那幻想环境是真的一样。

虚拟现实的实际应用有哪些

虚拟现实有着大量的潜在应用。目前它已经被用来治疗患上一些恐怖症的病人。将有恐高症的人们置于虚拟的悬崖边缘能够减轻这种恐惧，而这种方式要比沿着真正的悬崖行走要安全得多。在治疗害怕蜘蛛的病人身上也取得了类似的成功。

另外还有一些实验已经测试了虚拟现实在治疗社会焦虑症（比如害怕公开演讲）方面的应用，而且表明这对于一些更加严重的紊乱问题（例如创伤后应激障碍）的治疗是成功的。虚拟现实在各种各样的研究、教育和培训等方面也存在优势。有些神经系统科学家相信虚拟现实实验能够对意识和知觉的本性提供深邃的了解。外科医生能够在对真正的病人开刀之前练习虚拟手术，士兵能够在不会射击真子弹的虚拟世界里学习战斗策略。

虚拟现实也可以用于商业方面，提高视频会议的水平能使身处全球各地的人们能在一个共享的环境里交流。允许身在异地的人们亲密地看、听和触摸彼此，对于军队和应急小组就尤为重要了。

所有这些想法的实现需要给用户配备一个虚拟现实界面——通常是一个装在头上的显示屏以盖住眼睛和耳朵——通过这个界面用户跟一台电脑相联系。电脑存储了所



有需要的信息以产生虚拟的场景和声音。具有代表性的是，视觉信息和声音信息分别传进眼睛和耳朵，带来真实的立体图像和二维或者三维的声音感觉。当用户移动他们的头时，电脑快速产生新的图像来表现人们在真实世界里移动之后看到的東西。即头部移动导致看到事物的相应变化，就像在真实生活中一样，这是一个非常强大的装置使用户沉浸在虚拟世界里。

需要哪些工程方面的进展

为了让虚拟现实系统有效地完全模拟现实，必须要克服一些工程障碍。视频显示的分辨率必须足够高，要有足够快的更新率，使得场面看起来和动起来都跟真实生活中一样。视野必须足够宽，光线和阴影必须足够真实以维持真实场面的幻觉。而且对于要求比较高的模拟，对重构出声音、触觉和情感的感觉尤其苛刻。

当在这些方面都取得进展的时候，虚拟现实对于更有想法的描述仍不完善，它不可能精确地复制出虚拟环境中缜密的细节。尤其将“虚拟人”置于场景中与用户交流将成为一个更严峻的挑战。

神经系统科学家Maria V. Sanchez-Vives和计算机科学家Mel Slater认为“一个能自觉地与真实人交流的虚拟人的表演，例如通过语音识别生成有意义的句子、面部表情、情绪、皮肤颜色和色调、以及肌肉和关节移动，仍然超出了实时计算机图像和人工智能的力。”[Sanchez-Vives, 第335页]

至今虚拟现实用户面对的仍然是甚至有些粗糙的“虚拟人”。因此虚拟现实研究面临的挑战之一就是什么级别的细节能让用户产生幻觉，换句话说就是如何实现让用户对那些虚拟事件和模拟以真实的方式做出反应。目前，准确地产生声音和触觉要比视觉上的精确度更重要。

触觉是尤其艰难的一个挑战。对于一些用户，含有感应器的手套能记录下用户手的移动并提供触觉反馈，但还略显粗糙。这对于训练外科医生并不够用，当外科医生划过虚拟的组织时应该在不同地方感觉到解剖刀沿着组织移动受到不同程度的阻力。而且，如今的技术并不能让你在碰到一件虚拟的家具时感觉到意外的撞击。

为了解决这些问题所付出的努力正处于开始阶段。一个可能的方法是使用电流变液体，它们能够在受到不同强度的电场后改变其厚度。或许一台先进的虚拟现实计算机会用到这个效应来发送电子信号来调节手套或者衣服对触觉的阻抗力，从而给用户提 供触觉反馈。

下面这些可能不是虚拟现实，但与之相关的概念却正在网络中形成，因为互联网已经主宰了真实世界的人们所主导的整个虚拟人物世界。一个被称为“第二人生”的网站已经拥有了数百万的参与者，一些人只是访问一下，一些人则是购买了虚拟的财产，建立了虚拟的商业，并通过各种通讯渠道和其他的住户交流并建立起关系。

但是，这样的世界能够与真实世界相融合，关于物理环境的计算机记录（可以由“谷歌地球”和“微软虚拟地球”软件提供）可以与像“第二人生”这样的网站交织在一起，进而有可能虚拟地访问真实位置、搜索一座城市的饭店和旅馆并参加其他虚拟的旅游活动。

References

Doug A. Bowman and Ryan P. McMahan, “Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough?” *Computer* 40 (July 2007). <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MC.2007.257>

D. Klein et al., “Modelling the response of a tactile array using electrorheological fluids,” *J. Phys. D: Appl. Phys.* 37 (2004), pp. 794-803.

Wade Roush, “Second Earth,” *Technology Review* (July/August 2007).

Maria V. Sanchez-Vives and Mel Slater, “From presence to consciousness through virtual reality,” *Nature Reviews Neuroscience* 6 (April 2005), pp. 332-339.



发展个性化学习

教育应该基于不同的学习方式、速度和兴趣，因人而异才更加可行。

很多年来，研究人员都在争论看字读音教学法和单词识别教学法哪一个才是教小孩子阅读的最好方法，双方观点都有很多支持者。

然而，当问一个一年级教师时，答案可能是取决于小孩子本身。一些小学生对整体单词法更加喜欢，而另外一些则通过语音学习更快。年轻的大脑（和老一些的大脑一样）并不都是一样的，学习应该是因人而异的。

贯穿整个教育体系，教学一直遵循“一个尺寸适合所有人”的学习方法，不顾天资或者兴趣方面的差异而简单地给每个人都提供完全一样的教育方法。成人教育也是坚持一成不变，忽略了年龄、文化背景、职业和动机的差异。

最近，随着个性化喜好的不断增长，导致了更多的适应学生个体需求的“个性化学习”。个人化的学习方法包括学生们能自己掌握进度的程序以及设计能匹配学习者个性的程序。

为什么个性化学习是有用的

有些学习者很能自我激励和自我驱动，通过自己或者只需要很少的指导就能最好地学会探索知识。另外一些学习者通常在遇到自己感兴趣的科目时能自我促进，他们喜欢得到一些指导和更加结构化的方法。还有别的学习者通常受外部奖励来激励，他们可能通过阶梯教学法学得最好。有些可能完全抵制共同学习，对于别人建立所要获得的目标没有一点动力或者兴趣。

这些大体分类为发展个性化教育提供了基础，但真正的个性化学习可能要更加精细。在学习者的基本类型中，一些喜欢跟着例子学习，另外的喜欢通过寻找问题的答案来学习，还有的喜欢通过自己解决问题来学习。在不同的条件下，人们甚至可能会转换他们的偏好，有时候喜欢例子而有时候喜欢问题。

并不奇怪，基于此许多人努力尝试在教室或者是通过因特网采用计算机化教育来实现个性化学习。在许多尝试满足个性化教育的方案当中，挑战在于研制出智能的以网络为基础的教育体系，例如“推荐系统”可以使网络资源引导个体学习，以及以适应学生能力的方法等等。

目前有哪些个性化学习系统

网络教育目前已经很普遍，设计出的系统可以存储教育内容，将之发送给学生并促进教学者和学习者之间的相互交流。信息多媒体模块能以任何顺序提供文本、音频、视频、动画或者静态图像以适应学生。

教育内容的传输是个性化教学的一个重要部分。例如，在智能辅导系统中采用不同的顺序来为每个人提供所设计的内容。这种方法可能包括使用预评估来判断个人最有效的学习习惯，依据这些信息来修改内容的顺序。

现在已经开发出许多优化顺序的方法。其中一种用于其他领域来解决复杂问题的精妙方法就是“遗传算法”（之所以如此命名是因为其与进化的自然选择相似），它除去不成功的顺序，为新一轮测试修改成功的顺序，而在这新的测试中最不成功的被去掉而最好的被重新修改。

然而通常一些个性化学习方法都应用于教育，也可以为特定的学习问题设计出别的系统，比如为了掌握第二语言的推荐系统。

经常可以在网络上见到“推荐系统”，例如搜索引擎通常会推荐其他选择。在一些卖书或者音乐的网站，推荐系统会根据别人已经购买的物品来建议给用户其他的选择。但是这些系统还没有大量的开发用于教育。

一种特定的针对将英语作为第二语言学习的推荐系统能帮助发现最适合激励个体学习者的阅读语句。在这种系统里，学生的错误和学习弱点能够被追踪，而且学生能为他们所学的课程评分，然后关于弱点和兴趣的数据被用于生成适合个人的课程。

为了提高学习工程学能做什么

目前神经科学方面的研究使人们对学习过程中的神经流程有了新的认识，这为进一步细化个人化的教育提供了线索。由于个体偏好的多样性和人脑的复杂性，发展能优化学习的教学方法是将来软件工程师的主要挑战。

工程师将在这些复杂问题的许多方面发挥作用，尽管解决方案需要来自很多学科人们的共同努力。当神经科学和医学检测技术方面的进展在探索大脑学习的问题时，进一步的挑战也出现了。掌握这些先进软件可以使学习受益，新的研究甚至可能提供通往瞬间获取知识的道路，就像在电影《黑客帝国》中一个叫Trinity的人通过瞬时下载到她大脑中的知识学习驾驶直升机。这种复杂的知识传递在21世纪可能不会实现，但带有这类情节的电影将不再会被认为太离奇。

References

- Canales, A. et al. 2007. Adaptive and intelligent Web-based education system: Towards an integral architecture and framework. *Expert Systems with Applications* 33(4): 1076-1089. DOI: 10.1016/j.eswa.2006.08.034
- Hsu, M.H. 2008. A personalized English learning recommender system for ESL students. *Expert Systems with Applications* 34(1): 683-688.
- Huang, M.J. et al. 2007. Constructing a personalized e-learning system based on genetic algorithm and case-based reasoning approach. *Expert Systems with Applications* 33(3): 551-564. DOI: 10.1016/j.eswa.2006.05.019
- Liu, J., C.K. Wong, and K.K. Hui. 2003. An Adaptive User Interface Based on Personalized Learning. *IEEE Intelligent Systems* 18(2): 52-57. DOI: 10.1109/MIS.2003.1193657
- Margaret Martinez, M. 2002. What is Personalized Learning? *The e Learning Developers' Journal* May 7: 1-7.



推动自然科学的发展

在未来的世纪，工程师将与科学家继续共同努力探索自然中的未解之谜。

在大众看来，科学家和工程师有着明显的工作分工，科学家的工作是探索、试验并发现，工程师则是创造、设计并建造。

实际上，这种区别是很模糊的，工程师通过多种方法来参与科学发现的过程。大型试验和探索研究中，为获取诸如物理、生物领域的新信息，经常需要工程技术专家来设计工具、设备、系统。

工程学将如何影响生物学研究

生物学家总是在寻找更好的工具来了解我们的身体和大脑。在人类基因库里仍有许多像激活和抑制过程中基因是如何工作这样的未解之谜，科学家还需要更多地了解基因和疾病之间的关系，还有DNA“无用”序列的作用等等。

要探索这样的领域，生物学家将依赖于工程学的帮助。新型显微镜或是新的生化方法来探明身体里细胞和分子的奥秘。新的数学计算方法已经应用到新兴学科“系统生物学”中，它们能更好地促进疾病治疗并更好地帮助人类理解健康生命的含义。更有兴趣的是，被称为“合成生物学”的生物工程学科能设计出在药学燃料、环境清理等应用方面都有用的完全精细的生物化学制品和系统。

关于人类大脑的秘密，研究大脑的新方法应该有助于研究人类的记忆力、学习、情绪和思想。通过这个过程，精神紊乱等问题能得以解决，学习和思想的技巧能得到增强。最终，这些进展能最大限度地解答关于人类自身、起源和意识等问题。

工程学将如何帮助我们探索宇宙

某种程度上，只有一个问题可以与人类的意识问题相比较，这就是在地球之外的宇宙中是否还有其他生命形式。为寻求证据而对宇宙的探索是工程学最艰巨挑战之一。即使抛开外星生命的问题，空间探索也是一个相当大的挑战。长距离的人类空间飞行面临着许多困难，例如，辐射的危险，配备足够的食物、水和氧气供应等等。工程学的专门



知识将对克服这些困难非常关键，科学家正在努力拓展这些专业知识。例如，一些研究设想研制出一组由微生物组装连接成的生物反应器，这些微生物的新陈代谢能将人类垃圾（有时候也还有微生物自己的垃圾）转化成能够支持长期太空旅行的资源。

但是太空的诱惑力远远不止对于寻求新奇生命和探索新现象的渴望。太空代表了存在本身的神秘，宇宙的尺寸和年龄超过了绝大多数人的理解能力。现代天体物理学的方法和工具通过对一些特征的探测，惊奇地表明，宇宙好像是从一个无限小的点长大成一个原始的火球。物质和能量结合成星系、恒星、行星等，甚至组成了更加复杂的组成矿石、植物和动物的原子。

在所有这些引人注目的复杂问题下面存在着一个令人尴尬的事实——科学家们并不知道宇宙主要是由什么构成的。我们只知道宇宙中所有物质和能量中很小的部分，绝大部分的物质是未知身份的暗物质，而更多的是一种神秘的能量，它对太空施加一个排斥力，导致宇宙以越来越快的速度在膨胀。

工程师们正在不断地以更有好更经济的方式来研究太空，力求回答这些问题。在地面和太空中各种新式改良的望远镜组成了研究设备的一部分，其它设备，诸如测量重力波在太空中的微小波动，或者是探测微中子流（这是一种很难捕获而且很轻的粒子）等等。

这些或者其他方法能否揭开宇宙中最黑暗的秘密仍然不得而知。对早期物质做进一步的研究，也许还需要像爱因斯坦那样利用人类思考的力量解决物理问题。也许只有当科学家在成功发现物理学的最终规律后才能有答案。

在这方面，接下来的问题是是否存在一个数学模型能描述所有的物理定律，就像爱因斯坦所相信的那样。而找到答案可能需要新的工具来解开物质和能量的秘密。或许工程师们将能够发明出更小、更便宜、更加强大的粒子加速器，使物理学家们能探索超过目前技术范围的领域。

另外一个发现统一定律的可能途径是了解世界上最微小最基本的组成单元是如何工作的，这是量子物理学的基础。工程师和物理学家目前正在合作开发基于量子定律的计算机。除了它们本身的实际价值，这样的计算机或许会揭示出量子世界本身一些新的规律。

总之，自然科学的前沿代表了工程师、科学家和社会本身所面临的巨大挑战。工程学在寻求自然之谜上的成功将不仅提高人类对于生命和宇宙的理解，而且将给工程师们提供一些奇妙的新视界，并将提高人类生活的乐趣和文明的活力。

翻译 张艳丽 崔颖 杨帆 王刚 王慷
校审 刘言
设计 李文菲

“这些入选挑战最终都可以被人类攻克，只要我们运用创造力并做出不懈努力。大多数难题可在本世纪早期攻克，其中一些能够也应该尽早攻克。”

——评审委员会主席、美国前国防部长威廉·佩里

“任何一个难题的攻克都会极大提高全球每一个人的生活质量。”

——美国国家工程院院士长查尔斯·维斯特