工程如何与气候变化共存

■本报见习记者 金梦婷

“目前人类的知识还没有到能够预测哪条冰川会在哪一天崩塌的程度。”近日，在广州召开的2026年气候变化与可持续发展工程国际会议上，中国科学院院士姚檀栋一句话把大家的思绪拉回到两个多月前的吉隆口岸。

8月26日，喜马拉雅山南坡冰雪岩体崩落，裹挟泥沙石块冲入吉隆藏布河谷，引发特大山洪泥石流，席卷中尼边境吉隆口岸。截至9月5日18时，灾害造成43人遇难，519人失联。

冰川和冻土趋于不稳定，山谷间的口岸、道路、房屋如何与频发的冰崩、泥石流共存？气候基准发生漂移，百年尺度工程如何重新校准？这些问题成为本次会议的核心命题。

从科学发现到工程应用的对接是系统工程

科学界已就全球变暖、极端天气增多、海平面上升等趋势形成基本共识，但从“知晓海平面上升30厘米”到“确定海堤加高幅度、材料选型与生态缓冲带宽度”，仍有完整的工程技术链条需要跨越。

美国北卡罗来纳州立大学教授肯尼思·孔克尔曾亲身经历过在飓风中断电、断水、断网半个多月。2024年9月的飓风海伦在北卡罗来纳州西部造成250余人死亡，最大降雨量780毫米。孔克尔由此提出，这类降雨越来越频繁，工程师用来确定排水能力的降水频率数据是否还算得准？

孔克尔参与建设的Atlas 15正是为了解决这个问题。Atlas 15是美国第一套明确将未来气候变化纳入考量的降水频率估计体系。他指出，气候科学能提供可靠频率估计值，但全球变暖给长寿命基础设施带来额外风险，这部分风险仍存在不确定性。

不确定性并不意味着可以等待。水坝设计寿命百年，口岸公路使用数十年。传统工程设计假设气候是稳态的，过去数十年气象数据被视为未来数十年甚至上百年的气候条件。工程师据此推算“百年一遇”的洪水水位、“五十年一遇”的风压，确定堤坝高度与建筑标准。这一假设正在失效。

姚檀栋指出，科学揭示规律，技术寻求突破，工程实现落地。但工程实践中的新问题也会推动科学研究，二者是互动关系，而非先后关系。

针对吉隆口岸的灾难，姚檀栋认为，社会不可能投入无限成本监测每一条冰川。他提出“防灾、减灾、避灾”三管齐下的综合应对思路，但方案落地需要跨部门协同、科学数据与工程选址对接、应急预案真正覆盖高风险区域。“这不是科学家一个群体能完成的事。”姚檀栋说，不同部门各有目标，从科学发现到工程应用的对接过程本身即是系统工程。

从“装几块光伏板”到系统重构

谈及减碳，公众最为熟悉的画面是光伏板与风力发电机。中国工程院院士贺克斌给出的数据表明，减碳的工程内涵远超日常认知。

2025年，全球太阳能和风能发电量首次超过煤电，其中60%的贡献来自中国。中国每10度电中有4度来自非化石能源，其中2度来自风电与光伏。中国新能源汽车保有量已超过3000万辆。

与之相伴的是一系列深层次工程问题：3000万辆电动车需要充足绿色电力，而风电与光伏本身依赖气象条件。贺克斌团队的研究揭示了一个严峻的现实——用以减碳的新能源系统，自身也脆弱地暴露于气候风险之下。

研究数据显示，全球平均风能和太阳能资源每变化1%，复合的风能太阳能干旱事件可能变化超过12%，进而导致极端电力短缺增加近30%。当极端天气损毁风电与光伏设施时，新型电力系统韧性将面临考验。对此，贺克斌提出，集中式与分布式电源相结合，长周期储能与需求响应相协同，即“源网荷储”一体化。

这种系统重构在土木工程领域同样存在。中国工程院外籍院士郝洪给出数据：全球建筑业消耗约28%的能源，产生约37%的碳排放，占用约50%的自然资源。中国比例更高，建筑业消耗44.8%的能源，产生48.3%的碳排放。郝洪团队正将废旧轮胎等工业废弃物加工为再生建材，既解决垃圾围城问题，又减少原生材料消耗。

从“抵抗自然”到“与风险共存”

传统工程思维追求绝对控制：修筑足够高的堤坝抵御大洪水；建造足够坚固的结构抵抗强台风。但在气候不确定性加剧背景下，绝对控制既不经济，也不现实。

“韧性”成为会议高频关键词。郝洪阐述的下一代土木工程结构要求可持续、有韧性、智能化。结构不再被动承受荷载，而是能够自适应、自修复。他列举了一组对比数据：2010年海地7.0级地震造成20余万人死亡，同年新西兰克赖斯特彻奇7.1级地震却实现零死亡；两次地震震级相近，伤亡相差悬殊，差别在于建筑抗震设防与工程质量。土木工程因结构损伤破坏造成的经济损失极大，甚至超过部分中等国家一年的国内生产总值。

美国密苏里科技大学教授Grace Yan提出“与龙卷风共舞”，其核心思路并非建造无比坚固的结构硬抗灾害，而是设计能吸收冲击、快速恢复的系统。

此外，适应气候变化的工程范式正从“抵抗”转向“共存”：不再假设人类可预测所有风险并据此设防，而是承认不确定性，设计即使遭遇超预期事件也不至于崩溃的系统。

中国科学院院士郭华东团队建设的可持续发展大数据国际研究中心（SDG中心）已向联合国提供17套全球尺度的数据产品，全球122个国家在使用中国可持续发展科学卫星数据。“没有数据就没有监测，没有监测就没有评估，可持续发展议程就无从谈起。”郭华东表示，中国在全球可持续发展数据基础设施建设中发挥着引领性作用。

中国工程院副院长陈杰提出3个方向：深化机理探究、加强工程应用、推动开放合作。他表示，工程是将科学认知转化为现实防护、将减排承诺转化为基础设施、将国际协议转化为日常运行的“最后一公里”，也是最实在的一道防线。

《全球科技创新中心100强（2026）》发布

本报讯（记者江庆龄）11月25日，华东师范大学全球创新与发展研究院发布《全球科技创新中心100强（2026）》研究报告。报告依托创新要素全球集聚力、科学研究全球引领力、技术创新全球策源力、产业变革全球驱动力、创新环境全球支撑力五大维度评价框架，持续追踪全球主要科创城市发展动态，刻画全球创新网络演化特征，研判全球科技创新竞争新态势。

评估结果显示，2026年全球科技创新中心的演进呈现“格局总体稳定、区域位次调整、功能优势分化、城市群协同深化”的特征。旧金山湾区、纽约和北京稳居全球前三，全球“北美—欧洲—亚太”大三角格局保持稳定，亚太头部城市加快进位；中美构成两大核心集聚极，但优势结构差异明显；科创中心加快向城市群集聚，竞争正由单一城市比拼转向城市群内部功能互补的体系化竞争。

中国科创城市优势集中在科学研究、专利产出、传统产业转型升级；短板集中在顶尖原创人才、全球风险资本、国际化创新软环境。本次榜单中，中国共有23座城市入围全球百强，其中5座城市进入前30强，分别为北京（第3位）、上海（第9位）、深圳（第13位）、杭州（第20位）、广州（第30位），长春、宁波、郑州为新晋百强城市。

从整体结构看，中国科创中心呈现“科研引领突出、技术产业能力向头部集中、创新环境偏弱”的特征。深圳、杭州技术创新与产业变革均进入前20强，但创新环境仅列第66位和第71位；南京、武汉、西安、长沙科学研究分别列第9位、第11位、第22位和第26位，创新环境单项均未进入全球前80强。科研与产业的长板，尚未同步转化为综合竞争力的提升。

为什么有些人感染HIV后长期不发病？——不是『更强的免疫应答』，而是『更稳的免疫状态』

■孙彩军

40多年来，艾滋病（AIDS）已从“死刑判决”变成一种可以被长期管理的慢性病。抗逆转录病毒治疗（ART）能够把艾滋病病毒（HIV）压制到检测不到的水平，让HIV感染者拥有接近普通人的寿命。但一个根本性困境始终未能突破：ART无法根除HIV，一旦停药，潜伏的病毒总会重新抬头。

临床上也有一小部分感染者，长期不出现与HIV相关的症状，但这些人并不是“自愈”了。科学界迄今尚未发现真正意义上的HIV自愈者，因为HIV与任何其他病原体都不同。例如，超过90%的人乳头瘤病毒（HPV）感染会在1至2年内被免疫系统自发清除；15%至50%的丙肝病毒（HCV）感染者能在急性期不经治疗自发清除病毒。但HIV把自身遗传物质整合进宿主细胞基因组，建立起潜伏感染的病毒储存库，人体免疫系统似乎无法识别并清除这些藏起来的病毒。

这就引出了一个根本性的科学难题：到底什么样的免疫状态，才能真正控制甚至清除HIV？如果连一个“自愈”的样本都没有，疫苗设计和治愈策略就失去了最直接的“保护性免疫蓝图”。

目前，至少有3类“天然实验”正在帮助科学家逼近这个问题的答案。

第一类：不用药也能长期不发病的人

临床上有一小部分感染者，在不接受ART的情况下，能够长期维持稳定的$CD4^+$T细胞数量、不出现与HIV相关的症状。这些被称为HIV长期不进展者（LTNP）并不是“自愈”了，而是体内仍有病毒，只是病毒与免疫系统之间形成了一种长期“停火状态”。理解这种“停火状态”是如何维持的，是HIV治愈研究最核心的切入点之一。

近日发表于《病毒学杂志》的一项单细胞转录组研究，给这种“停火状态”画出了一幅清晰的分子画像。该团队对LTNP、典型进展者和健康供者的外周血单个核细胞分别进行了scRNA-seq分析。研究结果指向一个反直觉的结论——LTNP的免疫特征不是“更强”，而是“更受控”。

由此可以看出，LTNP的免疫系统处于“低炎症、低耗能、高稳态”的平衡之中——它没有对病毒发动一场全面战争，因为那意味着持续的免疫激活、组织损伤和$CD4^+$T细胞的逐渐耗竭；它选择的是一种更经济的策略：控制火势，而不是烧掉整片森林。

第二类：不用药也能把HIV控制在检测不到的人

还有一类人能把血浆HIV载量压制到检测不到的水平，同样不需要用药。这类人被称为精英控制者（EC），提供了比LTNP更极端的控制表型。2026年发表于《艾滋病病毒和艾滋病最新意见》的一篇综述文章系统梳理了EC免疫机制的最新证据。

综述文章指出，EC的NK细胞是被“训练”过的记忆样先天效应细胞，树突状细胞抗病毒程序增强，因而能更好地“感知病毒”并“启动适应性免疫”。其I型干扰素反应紧密调控、空间受限，而非全身性的炎症风暴。

如果说先天免疫提供的是“受控的警戒”，那么$CD8^+$T细胞提供的就是“精准的清除能力”。2026年发表于《科学－转化医学》的一项研究揭示，在停药后能够持久控制病毒的患者中，HIV特异性$CD8^+$T细胞不仅没有在慢性抗原刺激下被耗尽，还保留了自我更新和再次扩增的能力，如同一支没有被派上前线的突击队。

因此，EC的免疫保护机制更为清晰：受控的先天警戒、未耗竭的$CD8^+$T细胞预备队、低水平的系统性炎症，三者构成可持续的免疫控制，而非注定耗尽免疫资源的消耗战。

第三类：一个“感染了却不生病”的物种

如果说人类中的LTNP和EC是“罕见个体”，那么非洲绿猴提供的则是一个物种层面的天然模型。

非洲绿猴是猴免疫缺陷病毒（SIV，HIV的近亲）的天然宿主。它们终生携带高水平的SIV复制，病毒载量与未经治疗的致病性HIV/SIV感染相当，却不会进展为艾滋病样疾病。这种“带毒不发病”的状态不是病毒本身变弱了，而是宿主在漫长的进化中适应了病毒。

2025年《艾滋病病毒和艾滋病最新意见》发表的一篇综述文章指出，这种非致病性的核心机制之一是急性期维持肠道上皮屏障的完整性，从而避免慢性炎症的启动。非洲绿猴的肠道黏膜通过伤口愈合机制来避免损伤，可能还有独特的抗炎微生物组的贡献。更值得注意的是，这些机制独立于病毒复制水平，也独立于$CD4^+$T细胞的活化和耗竭。

其意义在于，疾病进展的关键可能不在病毒复制多高，而在宿主能否避免“病毒复制—黏膜损伤—慢性炎症—免疫耗竭”这一恶性循环的启动。非洲绿猴的策略是在入口处止损，不让病毒触发最终摧毁免疫系统的炎症连锁反应。

疫苗与治愈策略或许要换一个思路

把上述3类模型的研究数据放在一起，一个逐渐清晰的蓝图浮现出来：保护性免疫可能不是产生“更强的杀伤”，而是诱导出“更受控”的免疫应答，避免免疫系统的过度动员和慢性耗竭。HIV最阴险的地方，恰恰在于它利用免疫激活本身来摧毁免疫系统——被激活的$CD4^+$T细胞是病毒最好的靶细胞，持续的炎症是耗竭和储存库维持的驱动力。LTNP、EC和非洲绿猴的共同智慧，就是不给病毒这个可乘之机。

这对疫苗和治愈策略的启示深远。成功的HIV疫苗可能不仅需要广谱中和抗体（bNAbs），还需诱导“不引发慢性炎症的、受控的T细胞和先天免疫状态”。如果疫苗诱导的免疫反应本身是高度炎症性的，短期增强免疫原性的同时，可能为病毒创造更多靶细胞和更有利的储存库环境。

治愈策略也应符合这一逻辑。一项CAR-T细胞疗法在早期感染者中实现了停药后最长92周的病毒抑制，感染更久者则未获得持续疗效——这说明干预的时机和免疫背景同样重要。

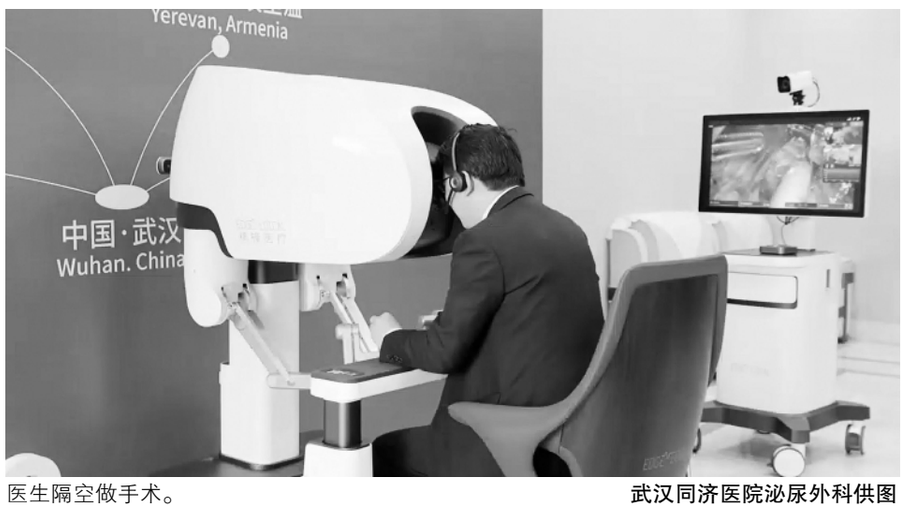
HIV疫苗和治愈的困难根植于一个悖论：病毒利用免疫系统来摧毁免疫系统。任何简单地“增强免疫”的策略，如果不加控制，都可能被病毒反过来利用。

LTNP、EC和非洲绿猴，用3种不同的方式展示了同一个理念：低炎症、低耗能、高稳态或许比“更强的杀伤”更接近HIV功能性治愈的真正方向。

虽然这些天然模型提供了唯一可及的人类和灵长类“保护性免疫活样本”，但它们仍是“模型”。答案尚未完全揭晓，但方向正在变得清晰：不是追求更强的免疫，而是学会更聪明地平衡。

（作者单位：中山大学生物安全学院）

医生在武汉、患者在雅典，跨洲际隔空手术取得成功



医生隔空做手术。 武汉同济医院泌尿外科供图

本报讯（记者李思辉）近日，中华医学会第三十三届全国泌尿外科学术会议在武汉举行。会上，一场隔空手术展演引人关注：手术操作端设在武汉，病人远在8000多公里外的希腊雅典。患者接受机器人辅助远程手术，最终取得成功。

这是中华医学会史上首次组织跨洲际远程机器人手术集中演示。医生坐在主控台前，注视屏幕、操控手柄、下达指令，手术机器人依靠机械臂完成对异国他乡患者的病灶切除、止血、缝合等精细操作，手术画面实时传回武汉。

该远程外科技术由中国科学院院士、中华医学会泌尿外科分会主任委员张旭团队联合国内企业历经十余年研发。据介绍，中国团队研发的相关技术和诊疗方案不仅可以在国内助力优质医疗资源下沉，而且可以在跨国乃至跨洲诊疗上发挥作用。2026年，该团队的一项远程机器人手术多中心随机对照研究成果发表于《英国医学杂志》，为远程外科模式提供了高级别循证证据。

发现·进展

中国科学院地质与地球物理研究所等

地震成像捕捉到板片撕裂关键证据

本报讯（记者冯丽妃）大洋俯冲如何转向大陆碰撞，其间会产生哪些深部构造现象？这是固体地球科学的核心难题。处于转换进程中的特提斯构造域则是天然实验室。中国科学院地质与地球物理研究所研究员陈凌、兰海强等团队联合伊朗、法国学者，对扎格罗斯—莫克兰俯冲—碰撞转换带开展宽频带地震台网观测，识别出两处位置与展布方向均不同的板片撕裂，为理解这一转换的早期过程提供了关键地震学证据。近日，相关研究成果在线发表于《自然－地球科学》。

扎格罗斯—莫克兰是新特提斯洋闭合、洋陆转换的关键地带。团队在此布设1条主测线、5条辅助测线的宽频带流动台阵，采集2017年至2018年近18个月远震波形，提取约5.7万条多频段P波、S波走时数据，用有限频走时层析成像重建上地幔三维波速结构。结果显示，两侧板片样貌截然不同：东侧莫克兰大洋板片在弧前呈约300公里长的低角度俯冲段，至火山弧下方转为陡倾，至少延伸至450公里深处；西侧扎格罗斯大陆岩石圈俯冲不超过300公里，其下保留一块与上覆板片分离约100公里的古大洋残片。

研究还揭示了两处启动机制完全不同的撕裂。扎格罗斯一侧为水平撕裂：大洋岩石圈密度大、持续下沉，大陆岩石圈密度小、下沉受阻，洋陆过渡带在差异运动下近水平撕裂并向侧向扩展，最终使浅部大陆板片与深部大洋板片分离，留下缺口。近垂向撕裂发育于构造转换边界与莫克兰海沟交汇处，由一片低速异常区将相邻板片分隔；它不同于海沟后撤主导的经典模式，可能由碰撞前缘持续北推、转换边界不断增长触发，起始于约800万年前，已向南扩展约200公里。

研究建立的近水平与近垂向撕裂协同演化模型，为认识俯冲—碰撞转换早期洋陆岩石圈如何逐步分开提供了新见解与关键地震学约束。

相关论文信息：
https://doi.org/10.1038/s41561-026-02129-4

中国科学院海洋研究所

阐明青岛近海显著增温的物理机制

本报讯（记者廖洋 通讯员王冰）近日，中国科学院海洋研究所海洋动力与生态环境模拟与预报研究组在青岛外海海水增温研究中取得新进展。这项发表于《海洋系统杂志》的研究，不仅揭示了青岛外海海水显著增温的事实，也阐明了其背后的物理机制，为理解我国近海对全球变暖的响应提供了新见解。

我国近海海温的长期变化趋势及其驱动机制一直缺乏系统的定量认识。中国科学院黄海海洋观测研究站在青岛外海布放了浮标并长期维护。研究团队基于其2010年1月至2025年8月的观测数据，结合卫星遥感海温资料和团队构建的区域海洋模式结果，开展温度收支分析和数值敏感性实验。

研究结果表明，青岛近海海表温度以约0.12摄氏度/年的速率显著上升，2010年1月至2025年8月期间累计升温近2摄氏度，卫星观测数据同样证实了这一增温趋势。

为探明海水增温原因，科研人员进行热量收支分析后发现，青岛近海海水升温主要来自海面热量净盈余。其中，海洋和大气之间交换的热量贡献最大，包含温差直接传递的热量以及海水蒸发相关的热量，而海流输送和辐射的影响相对有限。

数值模型可以复现实际观测到的海水升温趋势，在此模型基础上，团队进一步开展数值敏感性实验。实验结果显示，保持其他条件不变，当气温设定为常年平均状态时，升温现象就完全消失。然而，换成常年平均风场或者辐射条件则几乎不会改变升温趋势。

大范围气候波动有可能先改变这片区域的气温，再间接影响海水温度，不过这套完整的作用逻辑还需继续研究确认。

相关论文信息：
https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2026.104333

香港科技大学等

利用三维成分波开辟钛合金设计新范式

本报讯（记者朱汉斌）近日，香港科技大学助理教授张天隆团队与合作者利用“增材制造构筑的三维成分波”，研发出一种全新的钛合金设计策略。相关成果发表于《自然－通讯》。

研究团队利用激光粉末床熔融过程中的原位合金化，在Ti-6Al-4V合金内构筑出相互连通的微米级钼（Mo）成分波，从而在空间上形成具有不同相稳定性和变形行为的区域。

钛合金具备高比强度、优异的耐腐蚀性和良好的生物兼容性，广泛应用于航空航天、汽车、生物医疗等先进结构领域。然而，传统钛合金的加工硬化能力有限，在塑性变形过程中容易出现应变局域化，限制了其在关键安全结构上的广泛应用。

研究发现，三维成分波将合金划分为3个特征区域，并在受力加载时触发不同的变形机制。分布于不同空间的变形机制并非独立运作，而是通过彼此间的力学相互作用产生异质变形诱导应力，使各种变形机制随着外加应力增加而逐步启动。这种依序且协同的变形过程，能有效维持材料的加工硬化能力，并推迟应变局域化的发生。

凭借该设计，团队研发的Ti64-6Mo合金实现了约557兆帕的加工硬化增量，超过传统钛合金典型上限的两倍，同时兼具1236兆帕的高抗拉强度和11.5%的均匀延伸率。

该研究打破了传统合金设计追求化学成分均匀的固有框架，证明增材制造过程中产生的成分非均匀性可以加以善用，并借此在三维空间上精准调控相稳定性、协调多种变形机制。这种成分架构设计理念为开发具有高加工硬化能力的钛合金开辟了新范式，未来有望推广至其他先进结构材料。

相关论文信息：
https://doi.org/10.1038/s41467-026-76618-w