

避免踩踏悲剧,从“怎么走”和“如何躲”中找规律

■本报记者 杨晨

2022年韩国梨泰院踩踏事故,发生在一段有坡度的狭窄巷道里;2010年德国某音乐节踩踏事件,同样发生在斜坡上,而且是双向人流对冲。有研究者意识到,在踩踏事件中,斜坡加人群是一个被严重低估的风险组合。

四川大学灾后重建与管理学院副研究员谢玮团队针对这一长期被忽视的领域展开了系列实验。团队近期发表的两项研究分别探讨了两个核心问题:一个是“怎么走”,一个是“如何躲”。前者给虚拟行人加上了真实的步态,精确量化了斜坡上的步态变化,为预防类似梨泰院的斜坡踩踏事故提供了科学依据。后者则用成本-收益框架,从本质机理上揭示了迎面避让的决策逻辑,为解决行人运动方向冲突、提高疏散效率提供了量化工具。

两项成果分别发表在《安全科学》和《混沌、孤立子与分形》上,共同完善了行人与疏散动力学理论体系,为灾害场景下的人群应急疏散与复杂建筑的疏散路径规划提供了科学支撑。

传统模型的局限

传统社会力模型把行人简化成一个“质点”,用来计算并模拟其在走向目标及避开障碍物共同作用下的运动轨迹与速度变化,进而推演出人群整体的流动、拥堵等现象。研究人员指出,这个假设在平地上勉强可行,但应用于斜坡上具有明显的局限性。

上坡的时候,人会不自觉地迈小步、放慢速度,身体往前倾,以维持平衡。下坡时则会趋向用小碎步,身体稍往后仰,以防摔跤,改变的步长、步频、身体姿态,用一个圆点是没法模拟的。

同时,人行走时两脚交替落地,身体会左右摇摆,在狭窄的斜坡通道里,这种动态的空间占用和一个静止的圆形也截然不同。“头还隔着很远,但两个人的脚已经挤在一起了。”谢玮说。

虽然目前已有研究者将坡度因素引入传统

社会力模型,但只是针对特定角度作了参数调整,缺乏普适性。

为此,谢玮团队提出“双足社会力模型”,把人的运动分成两个层次来算。“第一层叫‘质心动力学’,负责决定人的身体重心往哪儿走、走多快。”谢玮向《中国科学报》介绍,“第二层叫‘双足运动学’,负责根据重心的指令,实时算出每一步迈多大、多宽、花多长时间。”

最关键的是,这两层是双向耦合的,如果腿发现坡太陡,迈不动,就会反馈给重心“慢一点”;如果重心突然要急转弯,腿也得赶紧调整落脚点。

团队设计了跑步机实验,设置了0°、5°、7°、12°共4个上坡坡度,采集真实行人的步长、步频、步态时间等数据,通过计算机仿真将结果外推到0°到30°的整个坡度范围。

基于这些数据,团队拟合出了通行能力、临界密度等关键参数随坡度变化的数学公式。模型精度通过了验证,以步长为例,模型输出的数据与实验数据平均相对误差仅6.03%。

研究发现,个体步长随坡度增大而缩短,从0°时的66.4厘米降至12°时的54.0厘米,步态时间从0.49秒延长至0.73秒,而步频从每分钟122步降至84步。

这些数字让“斜坡上人走得更小心”变得“具象化”。从集体层面上看,这种“小心”带来的后果是,随着坡度上升,坡道的通行能力下降,人群开始出现明显拥挤的临界密度反而升高。

“上坡时步长变短,每个人前后占用的距离较平地被压缩。坡度越高,步长越短,同样面积里能塞进更多人。”团队成员宣陈锐博士解释,在斜坡上,人群还未完全“堵死”时,每个人的步长已严重受限、站不稳,一旦有人摔倒就会引发连锁踩踏。

“现行的很多建筑设计规范在处理坡道通行能力时,往往只基于平地数值做简单折减,但研究表明,这种做法高估了陡坡的通行能力。”宣陈锐指出,现行规范忽略了通行能力随坡度真实衰

减的规律,而研究给出的拟合公式正好可以用于修正相关结果。

更值得警惕的是,行人速度对坡度的敏感区间集中在5°到10°。在这个看似平缓的范围内,速度的下降幅度最大。超过10°后,速度下降反而趋缓。身体对坡度的适应主要发生在这个“不太陡”的区间,因此缓坡段可能出现明显的人流减速,形成局部拥堵。“所以即使是看起来‘不太陡’的坡道,也需要设缓冲地带或加宽过道。”谢玮说。

迎面来人大脑在算什么

当对面有人走来时,人们都会下意识思考如何避免碰撞,计算什么时候开始避让,避让多少、什么时候停止避让。

谢玮团队对这一过程进行了科学拆解。他们设计了一个实验,让两个人从通道两端相向而行,起点分别是双方的终点。如果谁都不改变轨迹,就一定会撞上。

团队用摄像头拍下全过程,分析每个人什么时候开始避让、避让多少、怎么调整。实验共招募64人(32组),在2米、6米、10米这3种初始距离下重复多次,共获得约500条有效轨迹。这种“不躲必撞”的设置制造了最严重的冲突,便于观察决策时机和偏移量。

基于数据,团队提出了“预判-行动-调整-恢复”四阶段避让理论模型。“当你远远看到对面有人走来,大脑会下意识评估对方的速度和方向,判断是否会撞上。”宣陈锐指出,此时身体虽无明显动作,侧向速度已微微增加,进入预判准备。一旦确认“不躲必撞”,身体便会果断向一侧偏移,侧向速度迅速攀升,方向改变最为剧烈。“但偏到一定程度后,大脑开始‘再平衡’,再偏就浪费能量了。”谢玮表示,于是人的侧向速度下降,甚至小幅回摆。最后,双方擦肩而过,各自回到原本的直线路径上。

整个过程通常只需一两秒,快到行人自身都意识不到。研究团队通过成本-收益框架,精确捕捉到了这个决策过程。

“每一刻,行人都在算如何花费肌肉能量换取更大的安全距离。”谢玮解释,研究的价值在于把这种模糊的本能变成较为精确的数学公式。通过实验数据,他们算出了安全权重约为能量成本的两倍。

“安全优先,但并非不惜一切代价。”谢玮补充道,当继续加大偏移的边际安全收益已经不值得额外的能量投入时,行人就会切换策略。

用这个框架可以解释一些日常行为。“太礼貌”的人会继续保持在“行动阶段”,不断地偏移让路,过度投资安全余量。而“太争抢”的人则过早切换到能量节约模式,甚至从一开始就不投资安全余量。一般的正常行人天然地在两个极端之间找到了一个平衡点。

理解这个平衡点,有助于判断人群行为何时偏离正常决策模式。“比如,恐慌时安全权重急剧升高可能引发混乱踩踏,赶时间时安全权重过低导致碰撞风险。”谢玮解释。换句话说,掌握了正常人的避让决策模式,一旦观察到人群普遍过度避让或避让不足,就意味着行为已偏离正常模式,管理者可据此提前预警或调整疏导策略。

此外,避碰实验还发现,当两人从相距6米及以上的位置迎面走向对方时,每人向右侧偏移量基本稳定在约30厘米,并且所有人无一例外都靠右走。因此,设计双向坡道时,隔离带两侧至少应预留30厘米的空位,地面也宜画上靠右行走的标识。

多尺度、多因素耦合的疏散仿真平台

谢玮团队的两项研究分别回答了行人动力学中最根本的两个问题:一个是“怎么走”,一个是“如何躲”。

两项研究存在多重互补关系。“首先是从个

体到交互的层级互补。”谢玮指出,行人真实环境中的运动是自主运动和社会交互的叠加。“一个人在斜坡上走,既要适应坡度,又要在遇到对面来人时做出避让,两项研究分别提供了这两个层级的精确描述。”

同时,斜坡研究发现,坡度会压缩人的运动能力,而这些物理约束必然会影响到避碰决策,因为一个人用来躲闪的“可投资预算”,即可用的机动能力变小了,自然会调整策略,比如更早停止避让。这为未来将两个模型融合起来模拟真实场景中斜坡上的迎面人流行为提供了切入点。

斜坡研究从每个人的步长、步频出发,推导出人群整体的密度、速度、流量之间的关系。避碰研究从每个人的成本-收益决策出发,展示了微观的决策如何产生宏观可观测的四阶段行为模式。“两者共同印证了宏观的人群现象源于微观个体的物理约束与决策逻辑的耦合这一核心理念。”宣陈锐说,这体现了从微观机制到宏观涌现的方法互补。

基于目前的成果,研究团队计划将两者融合,让双足社会力模型中的虚拟行人不仅能在斜坡上用符合生物力学规律的步态行走,还能在遇到对向行人时按照成本-收益逻辑进行智能避让,构建一个从环境约束到个体运动再到社会交互的完整疏散动力学模型。

谢玮表示,目前实验对象以年轻人为主,今后要纳入老人、儿童、行动不便者等更多群体。当前斜坡模型只涉及上坡行走,下坡的生物力学机制和跌倒风险是未来研究的重点。“避碰研究目前聚焦于两人迎面场景,今后将扩展到多人交叉、十字路口等更复杂的环境。”

更长远看,团队希望融入负重、恐慌情绪、从众行为等更多真实因素,最终构建一个多尺度、多因素耦合的疏散仿真平台,为城市公共安全的设计提供更可靠的计算工具。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2026.107119>

<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2026.118126>

发现·进展

中国科学院广州生物医药与健康研究院

发现调控体细胞重编程“变阻器”分子

本报讯(记者朱汉斌)中国科学院广州生物医药与健康研究院跨物种干细胞与疾病建模研究团队首次发现,转录因子可充当调节细胞命运转变的“变阻器”而非简单的“开关”,并揭示了核受体在细胞命运塑造中的独特调控作用。相关成果近日在线发表于《干细胞报告》。

核受体作为一类整合多种细胞信号的重要转录因子,在发育、代谢、免疫等过程中发挥关键作用,但在体细胞重编程中的功能和机制尚不明确。

研究团队对小鼠49个核受体蛋白进行系统性重编程活性测试后,发现视黄酸受体相关孤儿受体(ROR)亚家族成员(Rora、Rorb、Rorc)均能一致性地提升重编程效率,其中Rora的促进效果最为显著。进一步的研究发现,随着Rora表达量升高,重编程效率呈现先升后降的变化,表现出清晰的“低剂量促进、高剂量抑制”效应。

研究团队进一步开展了Rora的结构与功能研究。通过结构域拆分,发现DNA结合结构域与配体结合结构域是Rora发挥促进功能所必需的,而N端结构域则是介导高剂量抑制效应的关键区域。在机制层面,研究团队整合多组学数据,提出如下模型:低剂量下,Rora通过削弱促炎因子IFN- γ 相关的免疫信号来促进重编程;高剂量下,Rora则通过抑制WNT通路输出导致重编程效率下降。该模型为理解Rora的剂量依赖性双重效应提供了机制线索。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2026.102870>

江苏科技大学

利用家蚕首次实现胶原蛋白高效合成

本报讯(记者陈彬)江苏科技大学教授王俊、谭安江团队利用转基因家蚕在蚕丝纤维中首次合成了完整重组人III型胶原蛋白(rhCOL III),为利用家蚕生物反应器规模化生产高价值活性蛋白及蛋白基功能材料提供了新策略。相关成果近日发表于《昆虫科学》。

研究团队首次利用piggyBac转基因技术,基于FibH表达系统实现了完整rhCOL III在蚕丝纤维中的高效表达,并通过亲和层析法分离纯化获得rhCOL III;细胞增殖与迁移实验证明其具有优良的生物活性与细胞相容性;含有rhCOL III的嵌合蚕丝纤维延展性与韧性得到了显著提升。

该研究不仅证明了转基因家蚕生物反应器生产高价值、高重复序列结构蛋白的可行性,同时利用家蚕生物反应器共同实现了生物活性蛋白的表达与蚕丝材料的改性,为利用家蚕生物反应器以实现高价值产物的生物制造提供了参考。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1111/1744-7917.70271>

鼎湖山保护区首次拍摄到白尾双足蜥

近日,广东鼎湖山国家级自然保护区(以下简称鼎湖山保护区)科研监测团队联合志愿者,在该保护区及其周边开展陆生脊椎动物固定样线调查时,发现并拍摄到白尾双足蜥活体影像。这是鼎湖山首次记录到该物种。

白尾双足蜥是爬行纲有鳞目双足蜥科双足蜥属动物,外形极具辨识度,体形似蚯蚓和盲蛇,成体体长约12至18厘米,躯体纤细圆滑,四肢高度退化,仅雄性留存一对短小瓣状后肢,雌性完全无四肢;躯体覆盖光滑的覆瓦状圆鳞,体色以浅褐、紫褐或暗灰色为主,头部短小,眼睛退化并隐匿于鳞片之下,尾部末端纯白色是其最醒目的识别特征。

该物种堪称山林里的“神秘隐士”,常年栖息于林下土壤缝隙、腐殖层或石块下方,营地下穴居生

活,昼伏夜出、极少暴露在地面,野外观测概率极低,是我国南方爬行动物中观测难度最高、野外记录最稀少的类群之一,相关资料十分稀缺。其完整生活史、繁殖行为、种群规模等基础信息至今仍未厘清。

目前,白尾双足蜥已被列入《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》,在《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷(2020)》中被列为易危等级,具有较高的保护与研究价值。此次白尾双足蜥的观测记录为研究其栖息习性、种群扩散提供了珍贵素材。

图①为白尾双足蜥与蜜蜂对比照;图②为白尾双足蜥头部特写;图③为白尾双足蜥尾部特写。

本报记者朱汉斌 通讯员张泽坤 报道



李昕欣:传感器研究从应用中来,到应用中去

■本报见习记者 江庆龄

2001年,刚从日本回国的李昕欣安顿好后的第一件事是去市场上跑了一圈。

作为中国科学院上海微系统与信息技术研究所(以下简称上海微系统所)研究员,他到传感器生产厂家、用到传感器的仪器厂商调研了一番,带着一堆问题回到了实验室。接下来该怎么干,他心里大致有了数。

“从应用中来,到应用中去”,李昕欣始终秉持这个理念,从产业一线寻找课题,将工业领域亟待突破的传感器需求提炼为科学问题,再以技术创新反哺产业发展。迄今他已带领团队申请发明专利200余项,其中数十项已实现成果转化并完成产品化落地。

把传感器做到科学仪器里去

多年在科研一线工作,李昕欣很早就认清了一个现实问题——高端科学仪器长期依赖进口。李昕欣强调,高端科学仪器是科研人员的重要工具,也是科学研究源头,必须自主可控。

传感器常被形容为机器的“感觉器官”。温度、压力、光线、气体等外界变化,往往都需要先通过传感器转化为设备能够识别和处理的信号。随着数字化转型持续推进,传感器这一基础器件的需求快速增长,应用场景不断拓展。“有的传感器变一种形式就是科学仪器。作为传感器的科研人员,一定要在科学仪器领域有所作为。”李昕欣是这么想的,也是这么做的。

获上海市技术发明奖一等奖的“变温谐振微悬臂梁的材料原位测量分析方法与科学仪器技术”便是一个例子。

最初,李昕欣和团队只是希望做出一种高灵敏传感器,用于气体和爆炸物检测。随着研究深入,他们发现,这项技术可以进一步用于制备科学仪器。

经过十余年攻关,团队把路走通了。在微米尺寸的悬臂梁上,他们集成了程序升温、微机械谐振驱动和频率检测元件,实现了在快速升温中原位测量化学反应或表面吸附引起的微小质量变化,分辨能力优于1皮克。

“这项发明首次实现超高灵敏度原位测量,使原来测不到的测到了、测不准的测准了,分析时长从数天缩短至数小时。”李昕欣说,“基于该技术,原来相互独立的吸附分析仪和热分析仪功能,可在一台仪器中全部实现,根本性地改变了以往分析仪器分类格局。”

李昕欣自豪的是,该国产高端科学仪器实现了“反向出口”,售往多家海外著名科研机构,支撑产出了一系列重要研究成果。

正因为亲身参与其中,李昕欣对高端科学仪器研发的战略意义有更深刻的体会:高端科学仪器的自主研发需要举国体制的有力支撑。

“高端科学仪器研发周期长,市场规模小、投资回报慢,却事关国家创新体系的底座,意义深远。”李昕欣表示。

享受科研“胜利”的快乐

成长为我国微纳电子机械系统和微纳传感器技术领域的知名学者,李昕欣的求学之路很关键。

1982年,17岁的李昕欣以优异成绩考入清华大学无线电电子学系。本科毕业后,他进入原机械部沈阳仪器仪表工艺研究所工作。几年下来,他一度感到迷茫:自己真正想做的,究竟是什么?

考虑再三后,李昕欣决定再拼一次。1991年底,李昕欣背着行李来到上海备考。之后的3个月里,他一边上课,一边埋头复习,硬是把多年未碰的课程重新捡了起来。最终,他

顺利考入复旦大学,师从鲍敏杭教授。

在复旦大学读书期间,李昕欣并不满足于“跟着导师做课题”,而是主动调研、构思选题、撰写实验方案,努力说服导师支持自己的想法。每当他在研究中遇到挫折而苦恼时,导师就提醒他“这是你自己想做的,不能退缩”。李昕欣没有让导师失望,在博士毕业时,做出了国内第一个微纳蝶翼。

这段科研训练奠定了李昕欣后续的科研价值观。“我不愿做别人‘嚼’过的。”李昕欣对科研选题的判断标准,除了创新性,还有未来应用潜力,以及当下是否具备解决的可能性。

在这一理念牵引下,李昕欣在传感器领域持续深耕。从横向往,团队研究方向涵盖了物理传感器、生化传感器、微纳电子机械系统和微纳传感器技术等不同场景;从纵向往,团队既重视论文和原创突破,也积极推动成果转化和产业应用,工作链条贯穿芯片制备、器件加工到应用推广等多个环节。

牵头做这么一大摊子的事情,要说没有压力是不可能的。李昕欣指了指满头的白发说:“好几次被人问退休几年了。”

他更常提到的是感恩。“我体会到了各种科研‘胜利’果实带来的喜悦。”李昕欣说,“我们这一代人很幸运,没有经历过战乱与饥饿,求学阶段得到了国家的培养,追求事业的时候又迎来了国家的高速发展,有了自我实现的舞台。”

“希望他们走得比我更远”

“目前,人们往往对‘用传感器’感兴趣,而缺乏对‘做传感器’的关注。”李昕欣始终认为,推动这一领域发展,既要做出成果,也要培养能够持续接力的人。

对于学生培养,李昕欣有自己的一套标准。



“我不喜欢引导他们去做什么,因为我们的想法难免有些保守,未必是好的。”他认为,年轻一代未来做什么,应当由他们自己判断、选择,前辈能做的是提供帮助和支持。

不过,想法可以发散,基本功必须扎实。学生汇报时,如果坐标轴不对、单位不规范、文字语法有问题……李昕欣会立刻打断,让对方回去检查确认后,再讨论。“他们也了解我的脾气,知道我做事不讨人。”李昕欣笑道。

在他看来,科研训练最终指向的是具备独立思考能力。他希望学生在博士毕业前,不仅能高质量完成既有课题,还能自主提出一个新课题。这意味着这名学生已经成长为独立的科研工作者。

在他看来,在李昕欣团队不在少数。他带出的学生中,有人加入高校或科研机构,成为国家相关领域的领军人才;有人进入产业界,迅速成为技术骨干;也有人带着实验室里的原创技术,走向产业一线。

“我希望他们发展得比我更好,走得比我更远。”李昕欣说。

