

时速 600 公里磁浮系统洞口“惊雷”有解了

■本报记者 王昊昊

如果天空中突然传来一声巨响,除了雷声,它还可能是飞行器突破音障时产生的音爆。在高速轮轨列车、超高速磁浮列车领域,也存在着类似的音爆。当一列高速列车“贴地飞行”般钻进隧道,若没有技术护航,隧道洞口可能会传来堪比小型爆炸的巨响——这不是科幻电影的场景,而是超高速列车面临的真实威胁。

中南大学高速列车研究中心对此展开了系列研究。最近,该中心研究人员揭示了时速 600 公里磁浮列车驶过隧道时产生音爆的原理,还给它装上“静音阀”,将隧道口音爆强度降低 95.7%。4 篇相关论文均发表于《流体物理学》,其中 1 篇被美国物理学联合会《科学之光》(AIP Scilight)专访报道。

被速度唤醒的音爆

2007 年,我国铁路完成第 6 次大提速,旅客列车的运行速度由原来的时速 60 公里增至时速 200 公里。

微气压波是指高速列车进入隧道时,因空气压缩形成的压力波动在隧道出口释放而产生低频声波的物理现象。“当时日本等国家的高速列车在运行时,已遇到微气压波造成的可感知的音爆现象,但他们没找到很好的解决办法。”论文通讯作者之一、中南大学高速列车研究中心教授熊小慧说。

2005 年,还在中南大学读研究生的熊小慧在导师带领下,前往遂渝线时速 220 公里试验现场,开展隧道微气压波研究。那是我国首次开展隧道微气压波研究。“大家只在文献中了解到有微气压波,不知道它具体如何发生、发展。”熊小慧表示。而那次他们也没有在实验中捕获微气压波,大家失望而归。

转机出现在 2009 年。那年 12 月,武广高铁正式开通运营,最高运营时速为 350 公里。当时速 350 公里的高速列车通过武广高铁大瑶山 1 号隧道时,列车司机频繁报告洞口出现“爆炸声”。

“当时很多科研团队和铁路主管部门



熊小慧（左）指导团队成员开展研究。受访者供图

负责人都到了隧道口,想听听音爆的声音究竟有多大,结果发现它的动静远超想象。”熊小慧说。

一系列的研究表明,速度是音爆产生的核心“推手”,以前列车运行时没有出现音爆,是因为列车运行速度未达到“唤醒”它的程度。

研究表明,高速列车时速在 350 公里以下时,微气压波主要为次声波,危害表现为低频共振;当速度更高时,其整体频率向高频转移,尤其是在长大隧道中,初始压缩波的非线性累积效应更强,洞口音爆的强度和危害性成倍放大,构成高速铁路运营安全的严峻挑战。

铁路隧道一般建在山地、峡谷等地质条件复杂、地形险峻的地区。基于上述研究成果,中南大学高速列车研究中心通过在隧道口安装洞口缓冲结构的方式,有效缓解了音爆的强度。

“高速列车进入隧道时会压缩空气产生压力波,传播至隧道出口处,就形成冲击波。缓冲结构相当于在压力波和冲击波间增加一个减压梯度,使压力波能量减小。当压力波和冲击波间的能量差变小,音爆强度就会

随之降低。”熊小慧比喻说,音爆强度大就像喝汽水前用力摇晃瓶体然后开盖,会发出“砰”的声音;增加缓冲结构相当于让汽水里的二氧化碳“回归平静”后,再打开瓶盖。

找到音爆“临界点”

虽然音爆威胁解除了,但它随着速度加快如何演变,一直是研究的热点。

2019 年 5 月,我国时速 600 公里高速磁浮试验样车在青岛下线。“磁浮列车时速 600 公里时,微气压波幅值随车速呈三次方以上激增,可达 10³ 帕量级。”论文通讯作者之一、中南大学高速列车研究中心讲师陈光表示,若不攻克此难题,隧道口的音爆将成为干扰设备、损伤结构、侵扰旅客与居民的现实威胁。

以往研究表明,微气压波与车速、隧道洞口形状、隧道长度和隧道内构等参数紧密耦合。对于时速 600 公里的磁浮系统,研究的核心挑战在于,初始压缩波在长大隧道内传播时,其非线性效应累积过程有何质变?洞口音爆的形成机制和压缩波传播规律是否遵循既有高速轮轨模型?

高速运动物体“推挤”空气时会形成一道能量集中的强冲击波——激波,超声速流动、爆炸等过程中都会出现激波。2015 年有学者提出高速铁路隧道内可能形成激波的设想。

研究团队在实验室里搭建了缩小版的“隧道—列车”模型,用高压气体驱动模型车,模拟时速 600 公里磁浮列车冲进隧道的瞬间。结合数值模拟,他们发现,当列车如活塞般突入隧道,在时速 600 公里时,初始压缩波在长距离传播中会迅速合并、加强为弱激波。正是这股弱激波在隧道出口的突然释

放,导致了剧烈的洞口音爆。

基于此,团队提出了弱激波形成距离预测公式,用于评估音爆发生的临界隧道长度。结果显示,对于时速 600 公里磁浮系统,音爆临界长度骤降至 2 公里左右。也就是说,时速 600 公里的磁浮列车,在经过 2 公里及以上长度隧道时会产生音爆,而时速 350 公里的高速轮轨列车则在经过 6 公里至 10 公里的隧道时容易产生音爆。

我国山地丘陵众多,2 公里以上隧道在铁路网中比比皆是。这意味着若不采取措施,未来大部分高速列车隧道出口都可能成为“爆源”,直面微气压波危害。

给隧道穿上“吸音海绵衣”

针对高速列车经过隧道产生的微气压波,过去常用的办法是给隧道口安装缓冲结构,或把车头设计得更尖,但这些手段在时速 600 公里磁浮列车面前效果骤降。

“就像用雨伞挡台风,根本扛不住。”论文第一作者、中南大学高速列车研究中心博士生王凯文说。团队意识到,必须跳出传统思路,才能找到全新解决方案。

转机藏在一个常见的物品里——海绵,这种多孔材料具有减震、吸音等功能。一次试验间隙,团队成员灵光一闪:“既然海绵能吸声音,那它能不能吸收压缩波?”

顺着这个思路,团队开始系统研究多孔材料的“耗能”原理:当压缩波遇到布满小孔的结构,一部分能量会被孔内的空气摩擦消耗,一部分会在孔洞里面来回反射“跑丢了”,就像湍急的水流遇到布满鹅卵石的河床,冲击力会大大减弱。

受洞口开孔缓冲结构及道砟吸能原理启发,团队将多孔材料引入隧道气动领域,提出“洞口多孔缓冲结构+洞身多孔涂层”协同抑控新策略。他们系统揭示了多孔缓冲结构如何有效削减初始压缩波的梯度幅值,通过精细调控明显约束了最终微气压波的幅值与影响范围;阐明了洞身敷设多孔涂层对压缩波传播的关键作用——能成功抑制传播过程中导致弱激波形成的非线性效应累积。

面向时速 600 公里磁浮工程应用,团队提出多孔材料微气压波抑控方案,即在隧道两端设置 100 米长的多孔材料缓冲结构,并在洞身全线敷设多孔涂层。模型试验中,当模拟时速 600 公里的模型车穿过 1 公里长的隧道,出口处的微气压波幅值从 800.8 帕降到了 34.7 帕,效果远超传统方法约 60%的缓解率,实现了质的飞跃。

“就像给隧道口装了个减压阀,又给洞身铺了层能量海绵,先给初始压缩波‘当头一棒’,再让剩下的波在传播中慢慢减弱。”王凯文解释称。

“时速 600 公里磁浮的气动挑战,远非微气压波这一项。”熊小慧表示,高速气动噪声、瞬态复杂流场、极端环境运行稳定性等每一项都关乎未来超高速列车的安全、舒适与环保。团队将依托国际领先的动模型试验平台,持续向更高速度、更复杂工况下的气动安全核心难题发起冲锋。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1063/5.0196330>
<https://doi.org/10.1063/5.0231438>
<https://doi.org/10.1063/5.0245283>
<https://doi.org/10.1063/5.0260612>



他们首次量化全球湿地碳汇

■本报记者 袁一雪

湿地是地球上固碳效率最高的生态系统之一,以仅占陆地面积 3%~13%的体量,储存了全球超 1/3 的土壤有机碳。

不过,湿地生态系统固碳的时空分布及其对全球陆地碳汇所作贡献依旧不明确。主要原因是当前主流的全球碳收支模型对湿地生态系统的描述相当有限,这不仅降低了对湿地乃至全球陆地生态系统碳汇估算的精确度,也不利于湿地的科学管理。

针对这一问题,中国科学院南京土壤研究所研究员丁维新带领团队基于全球原位观测数据绘制了湿地水位时空分布图,结合环境因子数据库和机器学习方法,评估了全球湿地碳汇的时空变异特征,首次量化了全球湿地碳汇。

相关成果近日发表于《自然—生态与进化》。

开发数据模型

“以往的湿地碳汇评估工作通常聚焦于特定湿地类型或特定区域的不同湿地类型,通过测量植被和土壤碳储量来估算湿地固碳量。由于调查工作间隔时间较长,无法详细、高精度地描述湿地碳汇的时间变化特征,因此在全球尺度上,迄今仍缺少对湿地生态系统碳汇功能时空格局的系统评估。”论文通讯作者丁维新告诉《中国

科学报》。

为此,他们开发了全球湿地水位—碳通量联动模型,将湿地净生态系统生产力(NEP)作为因变量,以全球环境数据集(气候、植被、土壤、水文、地形等)为自变量,筛选出湿地 NEP 的主要影响因子并量化其权重,基于随机森林算法,刻画了湿地 NEP 的时空分布。基于该模型,他们从 606 篇论文中整理出全球 642 个研究站点的 2295 项湿地水位原位观测数据,构建了全球湿地水位数据库和 NEP 数据库。

据丁维新介绍,2295 项原位观测数据主要包括两类:一类是全球湿地 NEP 数据集,涵盖了不同的气候带和湿地类型,例如泥炭湿地、苔原湿地、沼泽湿地、洪泛平原等;另一类是全球湿地水位数据集。

估算精度提升 1 个数量级

在大数据支撑下,研究人员发现,2000 至 2020 年间,全球湿地的平均固碳速率达 1004Tg C year⁻¹,其中 70%来自热带湿地。

“此前已有两项研究估算全球湿地固碳量分别为 830 和 685Tg C year⁻¹,但它们未考虑地上静水层深度的动态变化。这次我们通过新构建的湿地水位数据集将该因素纳入考虑,有效提升了湿地碳汇估算的精确度。”丁维新解释说,“不仅如此,我们还绘制了 0.25 度×0.25 度分辨率的全球湿地水位

动态变化图,实现了对全球湿地时空变化的高精度约束,与以往研究相比,精度提升了 1 个数量级。”

精度提升,数据也随之细化。他们发现,亚马孙流域和东南亚湿地受气候影响后会影响全球湿地碳汇量。这一点在 2005 年的数据中得以呈现。

“2005 年是关键时间节点,此前全球湿地碳汇呈下降趋势,在此之后则逐步回升。”丁维新表示。这是因为 1995 年至 2005 年间亚马孙流域的植被供水量持续下降,而且由于热带北大西洋变暖异常,亚马孙流域在 2005 年经历了特大干旱;在东南亚地区,湿地主要受准周期性厄尔尼诺和南方涛动干旱影响。

“气候变化诱发的干旱事件导致 2005 年前这些地区湿地碳汇能力减弱。”丁维新说。此后,亚马孙流域、苏门答腊岛等仍是湿地碳吸收量减少的热点地区。但是,气候变暖、变湿使得北半球中高纬度地区湿地固碳量呈增加态势,最终使 2005 年后全球湿地固碳量呈上升趋势。

此外,研究人员发现,过去 20 年北半球中高纬度湿地碳汇持续增加,而热带和南半球中高纬度湿地碳汇则呈下降趋势,总体来说,全球湿地生态系统碳汇能力维持相对稳定。但是,不同区域湿地碳汇的差异主要受水文要素驱动,在全球气候变化背景下,日益加剧的水文极端事件将削

发现·进展

中国农业科学院植物保护研究所等

40 年间重大入侵物种造成 2363 亿美元经济损失

本报讯(记者李晨)中国农业科学院植物保护研究所农业入侵生物预防与监控创新团队联合法国巴黎萨克雷大学等机构研究人员聚焦我国主要农林人入侵物种,基于我国 40 年(1980—2020)入侵物种的危害数据,首次系统评估了我国外来入侵物种造成的经济损失,阐明了经济损失与管理政策间的关联。近日,相关论文在线发表于《普通昆虫学》。

外来入侵物种防控事关国家粮食安全、生物安全、生态安全 and 人民群众身体健康。据统计,我国已确认外来入侵物种达 660 余种,数量多、分布广,防控形势严峻。多年来,如何科学评估入侵物种造成的经济损失一直是行业的难点和痛点。

研究发现,自 1980 年以来,我国 11 个重大入侵物种造成的总经济损失达 2363.5 亿美元,其中隐性损失达 2232.5 亿美元,占比 87%;而显性损失仅 103.3 亿美元,占 13%。

截至 2020 年,我国发布的 352 项入侵物种管理政策与经济损失呈显著正相关。2006 年后政策数量快速增加,与经济损失的上升趋势高度吻合,反映出政府对入侵危害的响应逐步加强。这表明当前我国外来入侵物种的管理政策滞后于物种危害发生情况,证明我国外来入侵物种防控还处在“被动防御”状态。

研究建议,加快完善外来入侵物种的早期智能监测预警系统,织牢外来入侵物种风险监测预警网络,推进防控策略从“灾后治理的被动处置”向“前瞻预警的主动防御”积极转变;科学评估入侵物种带来的经济损失,定量分析物种对我国经济和生态系统的危害程度,依据危害水平或风险高低,选择“已造成重大危害”或“具有高扩散和危害风险”的物种,“一策一策”精准治理,科学灭除。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1127/entomologia/3171>

中国科学院昆明植物研究所等

揭示横断山区杜鹃的“生存智慧”

本报讯(记者高雅丽)对于植物来说,“繁殖”与“生长”、“花朵”与“叶片”哪个更重要,这个问题一直众说纷纭。中国科学院院士、中国科学院昆明植物研究所研究员孙航团队联合高山植物功能生态学学者,对横断山区高、低海拔生境内的优势种类杜鹃进行了研究,重点关注其花、叶抗冻性,以及种间和种内开花、展叶的物候时序,从适应进化角度提供了线索。近日,相关研究成果发表于《树木生理学》。

研究发现,高、低海拔生境内杜鹃种类的新生叶片在百年时间尺度上发生低温冻害的可能性为零;相反,高、低海拔生境内的早花杜鹃的花朵则面临明显的低温冻害威胁。

有趣的是,高海拔生境内新生叶片相对“安全”并非全因抗冻性更强——部分种类的抗冻性甚至与低海拔种类接近,比如栎叶杜鹃,新叶抗冻性仅为 -4.0℃,而是主要依靠精准控制展叶物候发生的时间,把新生叶片的生长安排在夏至日前后。高、低海拔的早花种类,比如多色杜鹃、腋花杜鹃,都选择了“先花后叶”的物候策略。这能让敏感的新叶避开低温冻害,而花朵在获取更多资源的同时,也承担了更多冻害损伤风险。

因此,对山地多年生木本植物而言,“繁殖”和“生长”的天平可能更倾向后者。尤其是叶片寿命仅有两年的常绿杜鹃类群,1 年甚至多年无后代的结果尚可承受,而叶片一旦损失则可能面临生存的巨大挑战。

该研究首次探讨了横断山区杜鹃花属植物繁殖和营养器官抗冻性与花、叶物候间的进化关系,同时揭示了物种的适应策略。其中,关于抗冻性具有系统发育保守性的观点,为开展后续研究奠定了基础。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaf036>

安徽医科大学

早进食可缓解睡眠期间夜间光危害

本报讯(记者王敏 通讯员毛丽娟)安徽医科大学教授孙莹团队首次通过真实环境监测,揭示卧室夜间光照与青年血糖代谢异常的关联,并创新性提出“昼夜节律依赖性进餐时间”的调节作用,为光污染健康防控提供了科学依据。近期,研究成果发表于《生态毒理学和环境安全》。

数据显示,全球 83% 的人生活在人工光源环境中,夜间光污染以每年 10% 的速度增长。这种 24 小时不间断的光照环境,对人们的健康产生了深远影响。

孙莹团队历时 3 年,对 256 名 18 岁至 22 岁的大学生进行系统调查,发现看似平常的“夜间光线暴露”,可能是导致我国青年糖尿病发病率持续攀升的重要因素之一。

研究团队使用便携式照度计对参与者的卧室环境进行了精准监测,发现当卧室平均夜间光照强度大于等于 3 勒克斯(约为月光亮度的 30 倍)或单次暴露超 3 勒克斯的时长大于等于 50 分钟时,受试者的空腹胰岛素水平、胰岛素抵抗指数等血糖代谢指标显著升高。

“3 勒克斯的光照强度仅相当于一盏小夜灯或电子设备待机时的微光。”论文第一作者、安徽医科大学博士生李琪解释,这种低强度夜间光线的长期暴露,可能通过抑制褪黑素分泌、扰乱生物钟等机制损害葡萄糖稳态。

研究首次提出“昼夜节律依赖性进餐时间”,发现调整进餐时间可有效缓解光照危害,即早餐不晚于 9 点,晚餐不晚于 7 点,在 8 小时至 12 小时内完成全天进餐,睡前 5 小时结束进食。

“数据显示,有 3 项以上早进食习惯者,睡眠期间夜间光危害效应降低 60% 至 80%。”孙莹介绍,“调整进餐时间是一种可行的干预策略,尤其在无法完全避免夜间光污染的情况下,养成早进食规律可能成为保护代谢健康的重要措施。”

相关论文信息: <https://doi.org/10.1016/j.jcoenv.2024.117589>