

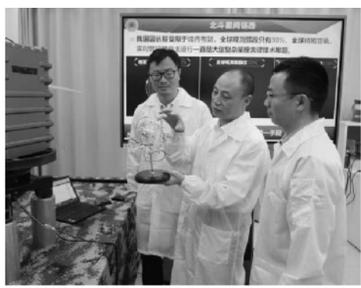
4.8万颗卫星抵100万颗

中国方案可服务全球80亿用户

■本报记者 王昊昊 通讯员 张照星 姚忠祥

“星链”引发低轨卫星巨型星座竞相发展。按现实增长模型预测,2036年全球在轨卫星数将飙升至27万颗。届时太空会被“挤爆”,导致严重“堵车”。

国防科技大学教授杨俊团队提出面向天基智能发展需求的开放共享可持续性巨型星座(OSSMC)建设方案,仅靠约4.8万颗卫星就可为全球80亿用户提供按需定制、即时响应的服务,其服务效能与百万颗卫星相当。相关成果近日发表于《国家科学评论》。



团队成员探讨科学问题。 王昊昊/摄

近地空间拥堵增加碰撞风险

天基系统是以太空中的卫星、空间站等航天器为核心,辅以地面站、控制中心等地面配套设施,实现信息获取、传输、处理与服务的一体化系统。它就像“太空版的基础设施网络”,把太空资源与地面需求连接起来。

“具有卫星发射能力的国家都拥有天基系统。”论文通讯作者、国防科技大学研究员郭熙业表示,在航天科技迅猛发展的当下,太空的战略价值愈发凸显,吸引着越来越多的国家投身其中。美国、日本、英国、印度等国家纷纷发布太空战略文件,完善自身太空战略布局。

近地轨道正成为新的“战略要地”。美国空军专业太空追踪网站SpaceTrack数据显示,目前全球在轨卫星数量已超1.5万颗。

据统计,自“星链”掀起低轨星座竞赛潮以来,全球已提交300多份星座计划,预计部署超百万颗卫星,太空正变得越挤越“挤”。考虑卫星轨道运动安全距离,在同层与跨层间最小安全距离均为50千米的情况下,300至2000公里低轨空间仅能容纳17.5万颗卫星。

“也就是说,在卫星最小安全距离下,低轨空间的卫星数上限为17.5万颗,而2036年全球在轨卫星数预计将飙升至27万颗,空间资源的有限性与需求的爆炸式增长形成尖锐矛盾。”郭熙业说,每新增一颗卫星,就会增加其撞击地球轨道上其他运行物体的风险,太空垃圾正以每年5%的速度增长,带来极为严

重的安全问题。

不仅如此,随着低空轨道卫星越来越多,其对近地空间的影响也会越来越大。比如光污染,“星链”卫星上装备了巨大的太阳能板,这些太阳能板反射光线成为光污染的新来源。更重要的是,这些新增卫星会干扰人类对太空的天文观测,对地面望远镜和空间望远镜造成潜在干扰。

该团队成员、国防科技大学副教授李献斌表示,未来更多空间站的部署、外星球探测任务相关航天器的往返与驻留,将进一步挤占有限的轨道空间,若不加以科学规划,就可能造成近地轨道陷入拥堵甚至瘫痪,严重制约后续太空探索活动的开展。

一颗卫星不再只能干一件事

太空的卫星已经很多了,为什么各个国家还在不断发射新卫星?

“关键原因是传统的天基系统功能孤立、服务固化,资源闲置率超90%。”李献斌表示,传统卫星就像一个“功能孤岛”,有的卫星专门负责通信,有的只做导航,有的只能进行遥感观测,每颗卫星只有单一功能,彼此之间几乎没有关联。各国各自为战的发展模式又导致卫星重复建设,太空中有很多卫星功能相同。

数据显示,若维持现有格局,到2030年,全球空间系统成本将突破万亿美元,而服务效能却因轨道拥堵不升反降。

“星链”引发了低轨卫星巨型星座竞相发展,曾有百余名科学家“上书”国际电信联盟,建议叫停其后续卫星发射计划。”论文共同第一作者、国防科技大学助理研究员覃俊祥介绍,尽管空间可持续性发展问题在《自然》《科学》等国际刊物上引起广泛讨论,但遗憾的是一直没有给出解决方案。

如何破题?研发团队首先寻求理论突破。他们建立了开放共享可持续星座设计理论框架,解决复杂天基系统动态优化和资源最优配置难题。

他们提出“卫星资源实体化抽象”理论,将传感器等硬件解耦为虚拟资源,打破传统卫星功能固化局限。覃俊祥解释,这是把卫星上的传感器等硬件设备转化成一个个虚拟资源,就像在手机上使用的各种App,不用关注手机硬件具体是什么型号,只要有对应的虚拟功能就能用一样,这种转化让资源调配更灵活。

在此基础上,团队建立“天基用户需求-资源动态映射”多目标优化理论。它能根据不同用户的多样化需求,智能匹配对应的卫星资源,就像“智能导购”一样,能够精准找到满足用户需求的资源组合;建立星群协同服务优化智能算法理论框架,让太空中的卫星不再孤立,而是像一个“团队”一样协同工作。

“要打破过去一颗卫星只能干一件事的模式。”郭熙业表示,理论创新实现了整个卫星星座全局参数的优化,从而最大化提升天基系统资源效能,全面提升通信、导航和遥感一体化服务质量。

让4.8万颗卫星等效百万颗

在理论突破基础上,该团队进行硬件和范式革新,创新提出“传感器+网络+智能计算”(SNAI)的智能卫星架构,构建基于“云池端”(CPT)范式的智能天基系统。

硬件革新方面,SNAI把卫星拆分成一个

个标准化的“资源单元”,它们就像通用零件,包括负责感知信号的传感单元、负责数据传输的网络单元、负责处理数据的智能计算单元。这种开放式架构不仅大大降低卫星建设成本,还让卫星资源利用率大幅提升,单是传感资源的覆盖范围就比以前扩大13倍。

系统革新方面,CPT范式重塑天基系统的服务模式。借鉴互联网“全球一张网”的理念,智能天基系统通过云端统筹实现全球卫星资源的智能调度。

不仅如此,CPT范式还通过“池化管理”的方式,把分散在太空中的卫星资源像“蓄水池”一样聚合起来。这样一来,不管是地面上的用户,还是太空中的用户,都能实现对这个“空间资源池”的“一点接入、全域调度、全时服务”。也就是说,用户只要通过一个接入点,就能调用全球的卫星资源,而且随时随地都能享受服务,相当于打造了一个全球共享的“太空资源仓库”。

“就像我们用手机联网,不管在全球哪个角落,只要有信号就能使用网络服务一样。”李献斌说。

“这种服务模式的转变,让天基系统从以前的被动服务变成智能自主服务。现在用户随机提出的任务,成功率能提升到97%,卫星资源的利用率和服务效率也都有显著提高,还实现了软件和硬件的相互独立,后续不管是更新软件功能,还是更换硬件设备,都不会互相影响。”覃俊祥告诉《中国科学报》。

据团队测算,通过前述系列创新,天基系统的资源效能被最大化提升,只用4.8万颗卫星就能实现过去100万颗卫星的服务效果,大幅提升航天资源利用率。

李献斌介绍,OSSMC建设方案若在非洲撒哈拉以南地区开展应用,智能天基系统通过动态调配卫星资源,可使该区域互联网覆盖率从现有的12%提升至85%。按现有规划,到2030年,采用该方案的全球空间系统,卫星数量可减少70%。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf344>

舞台剧《华夏之光——文明的烛火》开启西藏巡演

本报讯(记者高雅丽)10月12日至17日,为庆祝西藏自治区成立60周年,由中国科技馆与中国煤矿文工团联合出品的原创沉浸式舞台剧《华夏之光——文明的烛火》走进西藏自然科学博物馆,举行为期6天的公益演出。作为该剧2025年全国巡演的收官之作,演出将以“科学+艺术+文化”的融合形式,为西藏各族群众呈现一场贯通古今、连接中西的科学文化盛宴。

剧目以北宋1054年“天关客星”观测记录与当代高能天文学中“标准烛光”蟹状星云的研究为主线,构建了一场跨越千年的科学对话。剧中,北宋科学家苏颂、司天监官员杨德

与当代“拉索”科研团队展开精神联动,生动展现了中国古代天文学的卓越成就、当代科技的自主创新,以及科学精神的赓续传承。

该剧自2024年国庆首演,2025年剧目在编创上全面升级,进一步突出科学家精神的代际传递。剧中现代部分聚焦以“拉索”团队为代表的当代“追光者”,展现他们从西藏羊八井到四川海子山,在青藏高原上建立起全球海拔最高、灵敏度最强的宇宙线观测站的科研征程。

《华夏之光——文明的烛火》剧照。 中国科技馆供图



珠峰暴雪千人被困 “黄金季”不再绝对安全

■魏科

刚刚过去的“十一”长假,珠穆朗玛峰东坡突发暴雪,近千名徒步者因此被困。部分营地积雪厚度达数米,多处帐篷被压垮,人员出现失温现象,卫星电话电池因失温而失效,连负责运输的牦牛都难以行动。

事件发生后,西藏日喀则市应急管理局随即启动应急响应,协调西藏登山协会、边防、公安及民间救援队,动用多架直升机实施空地协同救援。至10月8日,所有被困人员安全撤至定日县。

一日四季,瞬息万变

珠峰地区位于北纬28度附近,是南亚季风与西风带季节进退的“锋区”。这里冬季受西风带影响,大风凛冽、天气严寒,一般大雪封山会成为常态;夏季受南亚季风影响,山区雨多、能见度低,道路湿滑,容易发生洪水和滑坡等自然灾害。每年有两个徒步探险活动的窗口,第一个为西风带减弱之后、夏季风爆发之前的春末,一般在5-6月。第二个为南亚季风后撤、西风带急流建立之前的秋季,一般在9-10月。如果是挑战攀登珠峰,春季最适宜的好天气时段一般不超过7天。而如果仅在珠峰东坡山谷附近进行徒步活动,适宜的时间稍长,不过依然需要关注山区的天气变化。

高原山区天气常“一日四季”,瞬息万变。白天太阳辐射强度比平原高30%-50%,地面急剧升温,近地层形成旺盛对流;一旦高空有弱冷空气侵入,极易触发短时雷暴、冰雹或降雪,往往十几分钟就由烈日转雨雪。山区地形

复杂,白天坡面受热快,空气沿山坡上升形成谷风,把谷底水汽带到山顶冷却成云;傍晚坡面辐射冷却,冷空气下沉成山风,把高处云系迅速“压”回谷底,造成局地性夜雨或晨雾。

另外,高海拔地区也易受高空扰动影响,例如急流波动或局地低涡过境,高空动量下传,可使风速快速增大到8级以上,云底高度迅速下降,形成“黑云压顶、雪花横飞”的剧烈变化。因此,在珠峰东坡山谷附近进行徒步活动很少有天气一路晴好的时候。尤其是在珠峰东坡嘎玛沟徒步,一般花费五六天到两周的时间,其间需要在野外露营。在这么长时间里,遭遇多变天气成为必然。这就需要充分准备,不仅要有齐全的装备和充沛的体能,更要有强大的意志力和危机应对能力。

复杂地形天气预报是世界级难题

在此次珠峰东坡暴雪事件中,10月1日至3日,天气较为晴朗,气温适宜,符合往年同期气候规律。但从4日凌晨开始,天气迅速恶化,短时间内降雪量剧增,部分地区积雪厚度超过1米,这在珠峰东坡10月初的历史记录中极为罕见。在此次暴雪发生过程中,南亚地区有低压系统活动,提供了充足的水汽来源,低压东侧的东南风将水汽从孟加拉湾源源不断地输入喜马拉雅南麓地区,而珠峰东坡地区就成为最终的水汽抬升点,是本次暴雪过程的主要天气系统。

值得注意的是,暴雪事件发生时,在我国南海东侧有今年第21号台风“麦德姆”活动。

“麦德姆”北侧有强劲的偏东气流,这支气流与其北侧的副热带高压气流汇合,对天气系统加强和水汽输送都起到远程调控作用。

喜马拉雅山区环境恶劣,人烟稀少,有人值守和无人值守的自动观测站都比较少,基本是观测的盲区。另外,复杂地形区域的天气预报是世界级难题,不仅需要顶级的计算资源和数值预报系统,更需要经验丰富的预报员。近年来,快速发展的人工智能为天气预报提供了新希望,但目前还无法提供如此复杂的地形区域的精准预报。

在此次事件中,除了少数户外运动“发烧友”单独活动,大多数游客参加的都是有组织的商业活动。在这种高度依赖天气状况的活动中,缺乏强大的气象信息支援,容易产生巨大风险。我国气象部门一般承担公共气象服务,而专门为企业和相关活动提供气象信息服务的商业机构数量稀少,这将是未来发展的热点领域。

全球变暖加剧户外运动风险

全球变暖正在让世界各地的极端天气频率和强度大幅增加,也给高原地区带来新风险。高原地区存在“高海拔放大效应”,升温幅度远超全球平均值。升温导致0℃层高度抬高,雨雪转换线上升,同等降水更易以降雨、湿雪或雨夹雪形式出现,增加徒步者失温与滑坠风险。

升温还使大气中水汽含量增加。按照大气物理学规律,气温每升高1℃,空气中最大含水量增加约7%。目前全球升温已接近

1.5℃,含水量已增加超过10%,容易导致极端降水。

另外,喜马拉雅山区雪崩槽与冰沟纵横,冰川、冰瀑、冰塔林、冰洞、冰桥密布,斜坡上是滑动-滚动混杂的块石、碎石。气候变暖可导致冰床融水增加,冰体裂隙贯通,易诱发冰崩、岩崩、碎屑流和泥石流。这些都会大幅增加高原地区户外运动的风险,也对基础设施、重大工程和人员安全构成持续威胁。

近年来,我国探险类户外运动呈爆发式增长,已成为大众广泛参与的运动方式:山地徒步、越野跑、攀岩、漂流、滑雪、潜水等项目全面开花。根据国家体育总局等部门发布的《户外运动产业发展规划(2022-2025年)》,2025年我国户外运动产业总规模将超3万亿元。与此同时,大众化也伴随事故攀升,“野生景点”违规穿越、领队资质缺失、极端天气突发性成为主要风险源,也成为影响产业可持续发展的瓶颈。

此次珠峰东坡暴雪事件表明,在气候变暖、极端天气事件频发的背景下,基于传统经验的所谓“黄金季节”已非绝对安全。对于“看天吃饭”的户外运动,徒步者、组织者及监管部门需高度关注极端天气风险,厘清各自权责,补齐各自短板。“户外运动+气象”的需求也急需商业气象服务快速发展,以期在气象部门的公共气象服务之外,为特定的越野活动提供气象保障。

雪山之巔壮美绝伦,但唯有尊重科学、敬畏自然,方能在“世界屋脊”安全前行。(作者系中国科学院大气物理研究所研究员)

科普话强国

编者按

党的二十届三中全会提出,当前和今后一个时期是以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业的关键时期。中国科协科普部特邀院士专家,畅谈科技强国。本期“科普话强国”栏目,带领读者走近刘恩亭创新工作室,揭开“中国速度”背后的创新力量。

2008年,中国首条高速铁路——京津城际铁路刚刚开通。深夜的维保工区内,气氛紧张。时任中铁电气化局运管公司永乐工区工长刘恩亭正对着一组接触网数据凝神思索。高铁接触网检修,不仅精度要求高,而且责任重大,在当是毫无成熟经验可循的“无人区”。一场围绕“中国速度”保驾护航的科技攻坚,悄然启幕。

传统检修依赖“眼观手量”,经验感觉,如同皮尺丈量,误差大、效率低。更换接触网棒绝缘子等作业,需要人员在高压高空环境下操作,重量大、空间窄、不差毫厘。与此同时,铁路“天窗点”时间极其宝贵,任何烦琐、耗时的流程,都直接影响线路的通畅。一线工人们面临安全、效率与质量三重压力。

破题之思源于一个细微的习惯。刘恩亭在沉思时,总不自觉摩挲腕间的手表。精密的齿轮与分秒不差的走时,让他豁然开朗:“优秀的钟表讲究分秒不差,高铁检修标准同样追求分毫不差。为何不能像维修钟表一样维修接触网?”

这一闪光点点燃了创新“火花”,更凝练为团队此后坚持的核心理念。

在这个团队里,没有“抽象的难题”,只有“具体的任务”。他们把接触网检修的核心需求转化为一个个可落地的项目,靠集体智慧逐个突破。

团队研发的“防坠落式新型插杆”,开创性地实现了“地面操作,高空执行”。作业人员无需再肩扛手拉进行高风险受累作业,从根源上消除了高空失控隐患。

面对接触网更换时导线捋面精度差、耗时长的难题,团队研制的“接触线捋面器”需要多人反复调整,凭经验完成的作业,变为一人操作、一次到位的标准化流程,使作业耗时大大缩短,在宝贵的“天窗点”内抢出了效率。

更为重要的是,团队将检修从“粗放用力”推向“精密微操”。在扳手上集成数字扭矩显示,确保每个螺栓紧固力精确达标;在捋面器上安装高精度标尺和水平仪,实现“调整即测量”。同时,他们为关键操作制定了如“高铁接触网中心锚结线夹螺栓力矩为44N·m”“导高误差范围±2mm”等数字标准,让“达标”有了清晰、统一的判据。

团队还把创新实践固化为行业工法与标准。针对吊弦检修形成的《高速铁路接触网吊弦检修工法》,重新定义并固化了最佳作业步骤,提高了天窗时间内劳动产出和吊弦修后质量,节约26%的人、机、料支出,实现了节支降耗的目标。

团队建立的京津城际接触网“一杆一档”档案,为线路上5284根支柱上了“户口”。而这一创新工作思路,成为全国高速铁路维护管理工作中可复制、可推广的有效经验和行业标准化管理的起点。

2014年“刘恩亭创新工作室”正式挂牌。截至目前,团队已完成十多个科研项目,获得多项国家发明专利。在有效提高接触网设备检修质量、降低作业安全风险的同时,使对应项目作业时间减少20%至40%,累计节约生产费用超千万元。

工具和工艺的创新仅是起点。面向国铁集团修程修制改革和专业融合的新要求,团队的视野已投向更“智慧”的未来。

团队正聚焦智能检修与数字化,致力于研究数字孪生技术在接触网检修中的应用,通过物联网和大数据技术实现设备全生命周期管理与智能化检修,为应急处置提供强大技术保障。

团队不仅致力于开发接触网智能巡检机器人检测维修系统,还专注研究多专业融合的维修组织模式、整合工务、电务、供电资源,实现智能化减人,全面提升维修能效。

团队的行稳致远,离不开强大的凝聚力。在团队内部,现在已是中铁电气化局运管公司北京管内段副段长的刘恩亭以“头雁引领”激发“群雁齐飞”,不断强化这种力量。面对现场难点,他总是率先冲在一线,营造“容错、试错、纠错”的开放环境,并通过创新奖励基金、职业发展通道等机制,构建创新活力持续迸发、人才梯队不断完善、技术经验有效传承的可持续发展局面。

凝聚力量背后,是上一致的目标和信念。当被问及技术创新和攻关的动力之源时,团队中的每个人都作出了相同的回答:“我是一名共产党员,也是中国中铁劳模。别人说不行的事,我偏要试试!”

「别人说不行的事,我偏要试试」——「中国速度」背后的「精度守护者」

■本报记者 杨晨