

“胖五”氢泵涡轮诞生记

■本报记者 沈春蕾 通讯员 刘言

近日,我国长征五号 B 运载火箭首飞成功,其近地轨道运载能力大于 22 吨,是目前我国近地轨道运载能力最大的火箭。

在长征五号 B 运载火箭强大的“心脏”中有一个核心部件——氢泵涡轮,由中国科学院金属研究所(以下简称金属所)科研团队研制而成。

金属所该项目负责人、钛合金研究部主任杨锐带领的这支科研团队攻克了钛合金粉末近净成形技术,从 2016 年开始应用于被称为“胖五”的长征五号首次发射,并沿用至今。

找到应用出口

“氢泵涡轮的作用是将火箭体内的大量液氢燃料高速输送到发动机燃烧室,与液氧混合燃烧产生推力。”杨锐告诉《中国科学报》,“若氢泵涡轮出现问题,火箭会瞬时因失去动力坠落。”

2000 年至 2005 年间,在国家有关部门支持下,金属所钛合金研究部从国外引进建设了国内第一台钛合金洁净雾化制粉设备。杨锐说:“原计划将其用于研制航空发动机部件,但当时这个想法太超前,国内没有需求和经费支持渠道。”

为此,杨锐不得不寻求国际合作经费支持。2006 年,金属所与欧洲的研究机构联合申请欧盟第六框架计划下的中欧航空合作项目“钛合金粉末近净成形”,尽管合作项目未获批准,但学术交流持续开展。

2008 年 2 月高温结构金属间化合物国际会议在美国圣地亚哥召开,作为会议 4 名主席之一的杨锐,因未及时拿到签证无法参加,直到会议结束后 3 个月他才拿到签证,刚

好赶上 5 月在美国加州长滩召开的第六届国际热等静压学术会议。

会上,两篇关于钛合金粉末热等静压研究的报告引起了杨锐的注意,这两篇报告都是关于制备火箭氢氧发动机的氢泵涡轮的:一篇来自俄罗斯莫斯科化学加工研究所,研究关于如何提高粉末钛合金性能;另一篇来自日本金属技术公司,是模拟粉末的热等静压成形过程的。

听完这两篇报告,杨锐眼睛一亮,这正是自己两年来苦苦寻找的钛合金粉末的应用出口。

良好的开局

2008 年 8 月,长征五号氢氧发动机的氢泵涡轮作为配套项目正式发布。“当时已有两家单位就此研究了一段时间,但进展不理想,总体单位为确保氢氧发动机研制进度,将这个攻关任务进行公开招标。”杨锐清楚记得,上报项目申请书的截止时间是 2008 年 10 月 31 日。

“准备项目答辩的时间很紧,只有一个多月,团队面临的问题是没有任何前期工作基础。”杨锐告诉《中国科学报》。

为此,杨锐紧急召集集团成员制定对策,立即启动研究,希望在项目答辩前掌握关键数据,支撑研究方案,并指定当年博士刚毕业两年的徐磊作为研究骨干。

科研条件具备之后,人是最关键的因素。2002 年,在粉末设备建设期间,杨锐招收了博士研究生徐磊,作为开展钛合金洁净粉末冶金研究的储备人才。因设备缺乏符合要求

质量合格的粉末。

“整个研究磕磕绊绊,不尽理想,直到博士毕业答辩,设备也没安装好。”徐磊告诉《中国科学报》,2007 年,他博士毕业后在南京福特汽车公司找了一份工作。

一年后,当徐磊听说设备终于安装好了,便立即辞职回到金属所继续该方向的研究工作。

氢泵涡轮在零下 253℃ 下高速旋转工作,承受巨大载荷,粉末冶金制备的钛合金材料性能能否满足应用要求是项目面临的第一个挑战。

杨锐带领团队加班加点工作,在短时间内完成了母合金、电极、制粉、包套、热等静压、样品加工、性能测试全过程,并通过反复试验优化参数。研究部副主任刘羽寅,研究员雷雪峰等紧急分头安排落实,对工作按计划进度完成也起到了重要保障作用。

低温力学性能测试环境苛刻,要求很高,当时全国只有中科院理化技术研究所低温中心具备相关条件和资质。该中心负责人李来凤曾在金属所获得硕士学位,他一接到请求即全力协调加班测试。

测试结果表明,制备的粉末合金性能稳定,高于技术指标要求,良好的开局给了团队极大鼓舞。杨锐说:“当时有 4 个团队参加项目竞争,但答辩的时候两个团队临时撤出,最终我们以较扎实的工作基础和详尽具体的研究方案胜出。”

艺高人胆大

虽然拿到了项目,但这是杨锐团队第一次开展粉末冶金部件研究。“文献上只见大致轮廓和最终结果,对关键技术和工艺过程只

字不提,研制难度可想而知。”

“该项目名义上研究周期是五年,但用户需要尽快开展一系列试验,而手上无试验件可用,正‘等米下锅’,因此沟通时对进度要求很紧。”杨锐表示,氢泵涡轮属于闭合空腔结构,内部无法进行机加工,对成形后的尺寸精度要求很高,而粉末致密化时体积收缩高达 30%,控制复杂形状轮廓尺寸的难度极大。“这是项目遇到的最大技术障碍,如果完全依靠一轮一轮反复实验优化尺寸,成本极高,且时间上不允许。”

当时,杨锐正作为首席科学家承担材料计算设计的一个“973 计划”项目,团队在材料计算模拟方面有较好积累。在着手部件成形试验之前,徐磊开展了大量的模拟计算,有效减少了必需的实验验证轮次,使大幅度压缩研制周期成为可能。

涡轮的空腔是靠放置内部型芯实现的,若采用硬质型芯,虽然有利于高温成形时控制尺寸,但冷却时易将部件内部结构撑裂。若采用软质型芯,虽然可避免裂纹,但尺寸控制难上加难。

由于杨锐团队掌握了计算模拟成形过程的关键技术,他们对尺寸控制的能力显著增强。于是,杨锐团队采用了软质型芯方案,成功解决了尺寸精度与成形开裂的矛盾。

此外,涡轮去除型芯需要采用选择性腐蚀技术,金属所腐蚀科学与技术有深厚的积淀,团队很快就解决了这个难题,并在研究员董俊华等人的帮助下优化了方案,缩短了部件制造周期。

攻克重重难关,金属所团队在一年半时间内制造出了合格的氢泵涡轮样件,为氢氧发动机研制提供了有力支撑。



机器学习可提升太阳耀斑预报能力

本报讯(记者倪思洁)5 月 12 日,记者从中科院国家空间科学中心(简称空间中心)获悉,该中心研究人员发现,利用机器学习方法可以更完善地描述太阳耀斑活动区中性线梯度图像特征,提取出新的耀斑先兆因子,有利于提升耀斑预报能力和预报提前量。该成果日前发表于《天体物理学杂志》。

作为空间天气中的重要现象,太阳耀

斑及其伴随或引发的太阳质子事件、日冕物质抛射事件,可能引发剧烈的空间环境扰动,严重威胁航天器和卫星的安全。研究太阳耀斑爆发的先兆因子,建立起满足空间天气业务预报需求的太阳耀斑预报模型,是空间天气预报的重点内容。

于是,中科院空间环境态势感知技术重点实验室副研究员王晶晶、研究员刘四

清等人,利用机器学习方法,开展了太阳耀斑爆发的先兆因子提取,以及太阳耀斑预报建模的研究。

2019 年,他们曾利用活动区中性线梯度图像,对十二个传统的耀斑先兆因子(磁通量、螺度平均值等)进行改造,将活动区中性线梯度作为权重代入了先兆因子的计算中,提取了一组新的耀斑先兆因子。结果表明,新

颖的、可反映太阳耀斑爆发物理机制、与耀斑爆发具有很强相关性的先兆因子,对进一步提升耀斑预报的能力至关重要。

此次,科研人员利用核函数,从活动区中性线梯度图像中成功提取了两个新的耀斑先兆因子,并与两个相似的传统先兆因子进行对比后发现,新的先兆因子在用于预报强耀斑时,明显优于传统先兆因子,能够将预报时间提前至 72 小时,有利于提升耀斑预报能力以及预报提前量。

相关论文信息: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab7b6c>
<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab441b>

警惕！2070 年极限高温降临

研究称届时 1/3 地球人居住地将如撒哈拉沙漠腹地一样热

■本报记者 冯丽妃

日前,中、美、欧科学家在发表于美国《国家科学院院刊》的一项新研究中指出,除非温室气体排放下降,否则 50 年后,地球上 1/3 人口居住的地区将如撒哈拉沙漠腹地区域一样炎热。

由国际考古学家、生态学家、气候学家组成的研究团队警告:如果碳排放继续快速累积,地球将越来越可能陷入前所未有的危机之中。

35 亿人居住环境将不宜生存

近 6000 年来,人类在宜居的气候条件下繁衍生息。全球大多数人口集中在狭窄的气候带,这些区域年平均气温为 11~15℃,只有少数人生活的地区年平均气温为 20~25℃。

“人类对适宜气候条件的持续需求令人惊讶,这也表明了人类生存和繁衍的基本约束条件。”荷兰瓦格宁根大学教授马汀·谢弗尔说。谢弗尔与中国南京大学教授徐驰共同开展了这项研究。

但是人类活动导致的温室气体排放正在推动全球平均气温上升,地表升温速度远高于海洋,且炎热地区的人口增长更快。研究认

为,在碳排放持续增加的情景下,到 2070 年,普通人生活环境的气温将上升 7.5℃,高于全球平均气温上升幅度(略高于 3℃)。

这意味着 50 年后,全球约 30%的人口、19%的陆地面积将处于平均气温超过 29℃的环境中。

“这将让 35 亿人处于几乎无法生存的环境中。”研究报告的作者之一、丹麦奥胡斯大学珍·克里斯汀·斯文宁说。

“坦率地说,最初我们对研究结果也感到十分惊讶。”徐驰说,“我们得到的结论如此惊人,因而我们又多花了一年时间对所有假设和计算进行了核对。为了保证透明度,我们决定公布所有数据和计算机代码,方便他人进行后续研究。”

唯一出路是迅速减少碳排放

“新冠肺炎疫情彻底改变了世界,这在几个月前简直无法想象。我们的研究结果显示,气候变化也会带来类似后果。”谢弗尔说。气候变化发生的速度较慢,但与此次疫情不同的是,这种变化无法逆转。

“阻止气候变化的唯一方法就是迅速减

少碳排放。”谢弗尔说。

快速减少温室气体排放可使陷入上述极端生存条件的人口减少一半以上。“如果人类能够成功遏制全球变暖,上述影响可大幅减少。”报告作者之一、英国埃克塞特大学气候专家、全球系统研究所主任蒂姆·雷恩顿说。

雷恩顿表示,计算显示,现有气温水平每上升 1℃,就约有 10 亿人口失去适宜生存的气候条件。“现在必须以更加人道而非货币化的方式,来说明遏制温室气体排放的益处。”他说。

应对极端升温急需全球共同努力

报告作者指出,如果气候变化不受遏制,面临极端高温的 35 亿人口中有一部分可能会选择迁徙,但除气候因素之外,还有很多因素会影响人们的迁徙决定,而通过气候适应可缓解部分迁徙压力。

“对因气候变化而迁徙的人口规模进行预测依旧很难。”谢弗尔说,“人们倾向于留在自己的家乡,同时在一些地区,加强本地气候适应工作也有很大空间。但在发展中国家,为了实现气候适应,必须首先快速提高社会福利和人口素质。”

研究强调,必须用全面的方法应对气候变化,包括制定气候适应措施,应对社会问题、提高治理能力、为居住地遭受气候影响的人们争取发展权利,以及提供富有同情心的法律援助。

虽然该项研究聚焦在全球尺度,但其研究途径和结果也有助于分析气候变化对各国的社会影响。根据全球气候模型的预测结果,我国中南部地区的气候适宜性(基于气候生态位的视角)可能降低,而北方大部分地区的适宜性可能有所上升。制定气候变化的局部适应措施,考虑气候缓解的潜在成本,在宏观层面对于我国社会经济的可持续发展具有参考价值。

“这项研究成果也值得中国关注。显然,我们需要全球共同努力,才能保护我们的后代免受气候变化造成的巨大影响。”徐驰说。

“新技术和全球共同努力增强了我们重建人类历史的力量。”美国华盛顿州立大学考古学家蒂姆·科勒说,“这一研究提醒我们关注一个长期被忽视的事实,尽管人类社会在持续发展,但人类一直保持着对气候条件的紧密依赖。我们也从考古学中发现气候变化加速人口迁徙的诸多案例。”

相关论文信息: <https://doi.org/10.1073/pnas.1910114117>

发现·进展

中科院青藏高原研究所等

揭示喜马拉雅高山树线变化速率调控因素



本报讯(记者韩扬眉 通讯员刘晓倩)近日,中科院青藏高原研究所生态格局与过程团队研究员梁尔源及合作者揭示种内关系也是调控喜马拉雅山中段树线爬升速率的重要因子,深化了对高山树线变化驱动机制研究的理论认识。相关研究成果发表于《生物地理学杂志》。

高山树线是树木分布的海拔上限,对温度变化具有潜在的敏感性。在气候变暖背景下,树线趋向于向高海拔迁移。在喜马拉雅山区连续分布着高山树线,它是指示气候变化对高寒生态系统影响的敏感生态过渡带。已有研究显示,树线上升对于温度的响应并不是线性的。那么,除气候因子外,生物因子是否也调控树线变化速率?

生物因子可分为种内关系和种间关系。研究人员基于喜马拉雅山中段树线样地网络调查发现,树线爬升速率不仅受降水和种间竞争限制,还受种内关系影响。随着降水减少,树线幼苗趋于集群分布,且集群强度与树线爬升速率显著呈负相关,即树木之间相邻距离越大,爬升速率越快,反之爬升速率越慢。其中,34.7%的树线爬升速率由树木集群分布强度决定。

研究进一步表明,温度与降水的交互作用影响幼苗集群分布状态,进而调控树线爬升速率。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1111/jbi.13840>

中科院古脊椎动物与古人类研究所等

发现中国迄今最晚离龙化石

本报讯(记者崔雪芹)近日,中科院古脊椎动物与古人类研究所董丽萍等与日本、英国同行合作在《系统古生物学杂志》发表论文,他们在辽宁黑山县白垩统沙海组煤层发现了离龙类新属种——侏儒黑山龙。

离龙类是一类已灭绝的水生/半水生爬行动物,最早出现于中侏罗世,至中新世消失。

“该发现说明了在我国,离龙类在热河生物群的繁盛之后并没有消失,而是继续延续了下去;另外,该动物的形态原始,但出现时代晚,说明离龙类的演化过程是复杂的,并不是简单地由更进步类群演化替代了原始类群的过程。”董丽萍告诉《中国科学报》。

沙海组产出了数量较多的脊椎动物化石,其中哺乳动物丰富,有多瘤齿兽类、三尖齿兽类、真兽类等。董丽萍表示,由于沙海组为煤系地层,没有可测年的层位;不同化石类群的研究学者对沙海组年代存有争议。“从其中产出的脊椎动物化石来看,我们认为沙海组应位于九佛堂组之上,因此黑山龙是我国报道的时代上最晚的离龙类。”

据悉,沙海组产出的脊椎动物化石多为零散骨片,团队在黑山龙标本表面也只看到了一个齿骨和一个髌骨。通过高精度 CT 扫描在岩石内部发现了更多骨片,包括小半个头骨和一些零散骨片。研究人员对扫描数据建模,再虚拟放大、镜像模型后进行 3D 打印,最终恢复了侏儒黑山龙的大部分头骨结构。与侏罗纪的栉颌鳄和青龙相似,黑山龙吻短、下颞孔未闭合。根据下颌长度推测,侏儒黑山龙的体长约 30 厘米,与栉颌鳄和潜龙的大小相当。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1080/14772019.2020.1749147>

青岛农业大学

找到提高花生幼苗耐盐性方法

本报讯(记者廖彦 通讯员周维维)近日,《植物生理学》在线发表了青岛农业大学农学院花生研究中心团队的新成果。课题组发现,通过对花生幼苗喷施顺—3—己烯基乙酯外源物质,可以有效提高幼苗素质和耐盐性,促进盐碱地花生种植。

顺—3—己烯基乙酯是植物遭受如昆虫取食等的机械损伤后产生的一种挥发性物质。研究表明,这类物质的大量产生,能够诱导植物对后发生物胁迫的保护机制。然而,该类物质在植物非生物胁迫应答中发挥的作用罕见报道。

该项研究中,花生研究中心团队通过外源喷施顺—3—己烯基乙酯对花生幼苗预处理,结合转录组数据分析,表明外源顺—3—己烯基乙酯显著上调了花生幼苗盐胁迫下叶片光合系统和抗坏血酸—谷胱甘肽循环系统相关通路的基因表达水平。生理数据分析表明,顺—3—己烯基乙酯还提高了叶片细胞氧化还原平衡系统相关酶活性,维持了叶片中较高的 AsA/DHA 和 GSH/GSSG,以及叶片和根系中较高的 K⁺/Na⁺,降低了盐胁迫对植株生物量造成的损失,有效提高了花生幼苗耐盐性。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1111/pp1.13110>