



歼-15T舰载战斗机在福建舰上电磁弹射起飞,起飞助理做出放飞手势(资料照片)

据新华社报道,2025年11月5日,福建舰入列,作为全球首艘采用常规动力电磁弹射技术的航空母舰,福建舰的技术突破标志着中国航母跻身世界前列。那么电磁弹射到底是什么,与蒸汽弹射相比,又有什么不同呢?今天我们就来说一说。

福建舰独门绝技“电磁弹射”到底好在哪儿?

电磁弹射和电磁炮竟是“亲戚”?

其实电磁弹射,某种程度上说,有一点像另一种形式的“电磁炮”,都采用直线电机,只不过前者用来弹射飞机,后者用来发射弹丸。电磁炮发射的弹丸一般几克到几百克,最大也不过上千克,根据目前的实验,其弹丸最快速度可达每秒数千米。而电磁弹射器的速度就要低得多,每秒几十米到几百米就可以满足要求,应用范围是大载荷的短程加速,典型应用就是对航空母舰上舰载机的弹射起飞。而火箭电磁发射装置也与航母电磁弹射器原理接近,同样具备加速平稳、冲击力小等一系列优点,未来的应用领域将十分宽广。航母上的电磁弹射器主要由储能系统、弹射直线电机、电力电子变换系统和控制系统四部分组成,其中弹射直线电机是核心,通过控制输往弹射直线电机的电流大小,产生相应的推力,将舰载机在短距离内加速至起飞速度。电磁炮所发射的弹丸通常都是在发射管内,而电磁弹射器弹射的飞机则是“骑”在驱动器上弹射的。

飞机为什么要用弹射器起飞?

世界上最早的弹射器是由美国西奥多·埃利森海军上尉于1911年研制成功的。这种弹射器由三条绳索和一块砧码组成,但由于设计太过原始,几乎没起到什么作用。后来,埃利森又研制成功了压缩空气式弹射器,于1912年11月12

日进行了人类史上第一次弹射起飞。不过,它的发明并没有引起多少关注。因为那时候的飞机重量很轻,速度也低,不需要弹射也可从飞行甲板上起飞。这种较轻较慢的舰载机对航母的要求也不高,就算在货船上铺上木质跑道也能飞,这也是以前为什么航母建造速度很快的原因。后来随着喷气式战斗机的出现,飞机变得更重了,就需要更长的助跑距离才能达到起飞速度。弹射器才变得日渐重要起来。而第二次世界大战结束时,航空母舰上所装备的弹射器都是液压的,弹射能量极小,根本无法满足喷气式飞机的需求,可航母的长度都是有限的,就限制了跑道的长度。为达到缩短起飞距离的要求,这时候就出现了滑跃甲板的设计理念,让航母的甲板尽头翘起来一块,利用这样的一个坡度给飞机提供一个向上的升力,像辽宁舰、山东舰和印度的两艘,还有英国的两艘都是这样,这些航母都源自于第二次世界大战期间英国皇家海军的设计。旨在通过倾斜起飞平台帮助重型舰载机在短距离内获得升力,同时具有结构简单,容易维护、成本低廉等优点。那么如果是更重的飞机,例如固定翼预警机,滑跃甲板也就无法满足起飞需求了。同时舰载战斗机滑跃起飞会消耗更多动能,导致燃油和挂弹量受限,无法满油满弹起飞,制空时间和战力都受到了极大的限制,这时候蒸汽弹射起飞的方式又得到了极大的重视。

蒸汽弹射器如何工作?

弹射飞机起飞的时候,你会看到跑道上的弹射轨道会冒出一股烟,那就是蒸汽弹射了。烧水就会产生蒸汽,锅炉是提供蒸汽的设备,也等于是一个储能装置。蒸汽弹射器是以高压蒸汽推动活塞,进而带动弹射轨道上的滑块,把链接其上的舰载机在45米距离内加速至250千米/小时以上投射出去。这给了飞机一个推力,像弹弓一样将飞机发射出去,这种方式不仅缩短了助跑距离,同时舰载机也可以满油满弹起飞,大幅提升了留空时间和战术灵活性。蒸汽弹射器只有一个弹射活塞是运动部件,而舰载机的重量,弹射时的蒸汽压力,航母的航速、风向等都是事先确定的。决定可靠性的关键时刻就是弹射开始后的1秒多时间内,在这样短的时间内,弹射活塞出问题的概率是非常低的。那么蒸汽弹射舰载机起飞就几乎相当于一个可控的过程,它的安全性甚至要比从陆地上起飞还要高一些。不过,蒸汽弹射对淡水有很高的依赖度,单次弹射大约要消耗近1吨淡水(蒸汽)。而产生蒸汽的是航母上的高压锅炉,高盐、高硬度的海水又根本不能进入锅炉,因此海水淡化设备也成为关键组件。而且,蒸汽弹射器包含大量的系统和分系统,比如蒸汽包、液压泵、水力刹车、蓄压器等等,维护起来非常繁琐。

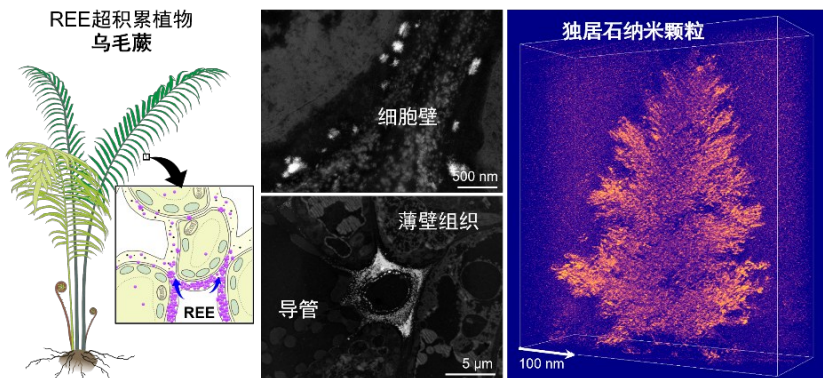
电磁弹射,又稳又快

面对现代海战装备的加速发展,蒸汽弹射的缺陷也是已经越发凸显。特别是无人机由于重量太轻所需的力量太低,而且轻型无人机的结构强度很难承受蒸汽弹射器工作时的瞬时冲击力,难以安全起飞。据估计,典型蒸汽弹射器的峰平加速比为1.15~1.2(注:指最大加速度与平均加速度之比,这个数字越接近1,表明加

速过程越平滑可控),但有些情况下实际记录的值已经在2.0以上。这导致蒸汽弹射器在相同的设定条件下,两次不同的弹射的末速度变异范围,可能达到5~7节之多,这都是因为缺少像电磁弹射那样的反馈和闭环控制系统。此外,蒸汽弹射的启动段虽然爆发力很强,但随着活塞运动的速度和气缸容积的增加,到了弹射冲程的末端,弹射器的峰值过载会迅速衰减,有时候又会表现出推力不足。而电磁弹射的峰平加速比,都要求保持在低于或等于1.05的范围,而末速度变异范围则限制在0~3节。此外,电磁弹射的原理决定了它“热身”更快。由于电磁弹射是利用电能转化为电磁能,进而转化为机械能把飞机弹出去。其中,弹射导轨就是100多米长的直线电动机,轨道旁是一组一组的电磁铁,每一组都由电脑单独控制。给第一组通电后,磁力会把滑块吸过来,然后要精准控制它断电,不然会被吸回去。接着第二组通电,之后也要精准控制它断电,重复以上的操作就可以把战机推出去。

电磁弹射器的制动和复位,只要通电就能工作,在完全关闭的冷态条件下15分钟内就能达到使用状态,也就是说电磁弹射具备很高的冷启动效率。而蒸汽弹射则需要始终保持待机状态,要求锅炉必须始终能够提供足够的蒸汽,战备值班时,还需要不断给弹射槽预热。而电磁弹射只要保持通电,就可以做到全天候随时待命了。此外,比起蒸汽弹射系统,电磁弹射系统在结构上也要简单得多,因此电磁弹射系统更便于维护。由此可见,电磁弹射器不仅突破了目前蒸汽弹射器弹射性能的极限,也有效拓宽了下一代航空母舰能够弹射的舰载机吨位及型普范围,这就为未来更多的各种功能和类型的航空器提供了上舰弹射的可能。

新发现 植物体内不仅有“稀土矿” 还有“加工厂”



稀土元素在乌毛蕨中生物矿化为独居石纳米多晶聚集体 研究团队供图

我国研究人员在一种名为乌毛蕨的蕨类植物体内,不仅发现大量富集的稀土元素,还首次观测到这些稀土元素在植物组织细胞间“自我组装”,形成了一种名为“独居石”的矿物。

这是科学家首次在天然植物中发现稀土元素的生物成矿现象,为未来稀土资源的可持续利用提供了新路径。相关成果于11月5日在线发表于国际学术期刊《环境科学与技术》。

稀土被誉为“工业维生素”,是人工智能、新能源、国防等重点领域不可或缺的核心战略资源,但传统稀土矿物开采伴随着生态环境破坏。近年来,中国科学院广州地球化学研究所朱建喜研究员团队致力于寻找更清洁、更可持续的稀土获取方式。

此前,科学界已发现乌毛蕨等一批特殊的稀土“超积累植物”,即对稀土元素具有超强富集能力。它们仿佛土壤中的“稀土吸尘器”,能高效吸收并浓缩分散在环境中的稀土元素。

在该研究中,科学家观测到,在乌毛蕨

叶片的维管束和表皮组织中,从土壤中吸收的稀土元素会以纳米颗粒形式沉淀,并进一步结晶成一种名叫“独居石”的矿物。进一步研究发现,该过程实际上是一种植物的自我保护机制,就像是植物在体内“打包封存”有毒物质,把可能伤害细胞的稀土离子,稳稳锁进矿物结构中,实现稀土的钝化和自然“解毒”。

研究人员表示,独居石是工业上重要的稀土矿石,主要在岩浆或热液活动等地质过程中形成,但天然独居石中常伴生放射性铀、钍元素,给开采与应用带来挑战。而乌毛蕨在自然生长的常温常压条件下所形成的“生物独居石”,纯净、无辐射,展现出极具潜力的绿色提取前景。

研究人员认为,此次发现不仅为已知超积累植物的研究打开新窗口,还为未来稀土资源的可持续利用打开思路:通过种植乌毛蕨等超积累植物,可在修复污染土壤、恢复稀土尾矿生态的同时,从植物体中回收高价值稀土,真正实现“边修复、边回收”的绿色循环模式。

据人民网