

高技术前沿

近日,在湖北东湖实验室,科研人员通过悬浮支撑和电磁推进的方式,成功在1000米距离内将1.1吨重的试验车加速至650千米/小时,测试速度打破了同类型平台全球纪录,成为全球最快的磁悬浮试验速度。

无独有偶。今年4月,中国航天科工集团在山西大同的真空管磁悬浮试验基地宣布,新一代“超级高铁”原型车完成首次超高速测试,时速突破1000公里。

通过上述新闻,我们能够感受到超高速轨道技术的快速发展,也能感受到,人类乘坐“超声速载具”出行的梦想正慢慢照进现实。

一般来说,在标准大气压下,声速大约是340米/秒

(1224千米/小时)。试想一下,如果未来的交通工具能以声速行驶,这将是一个什么概念?

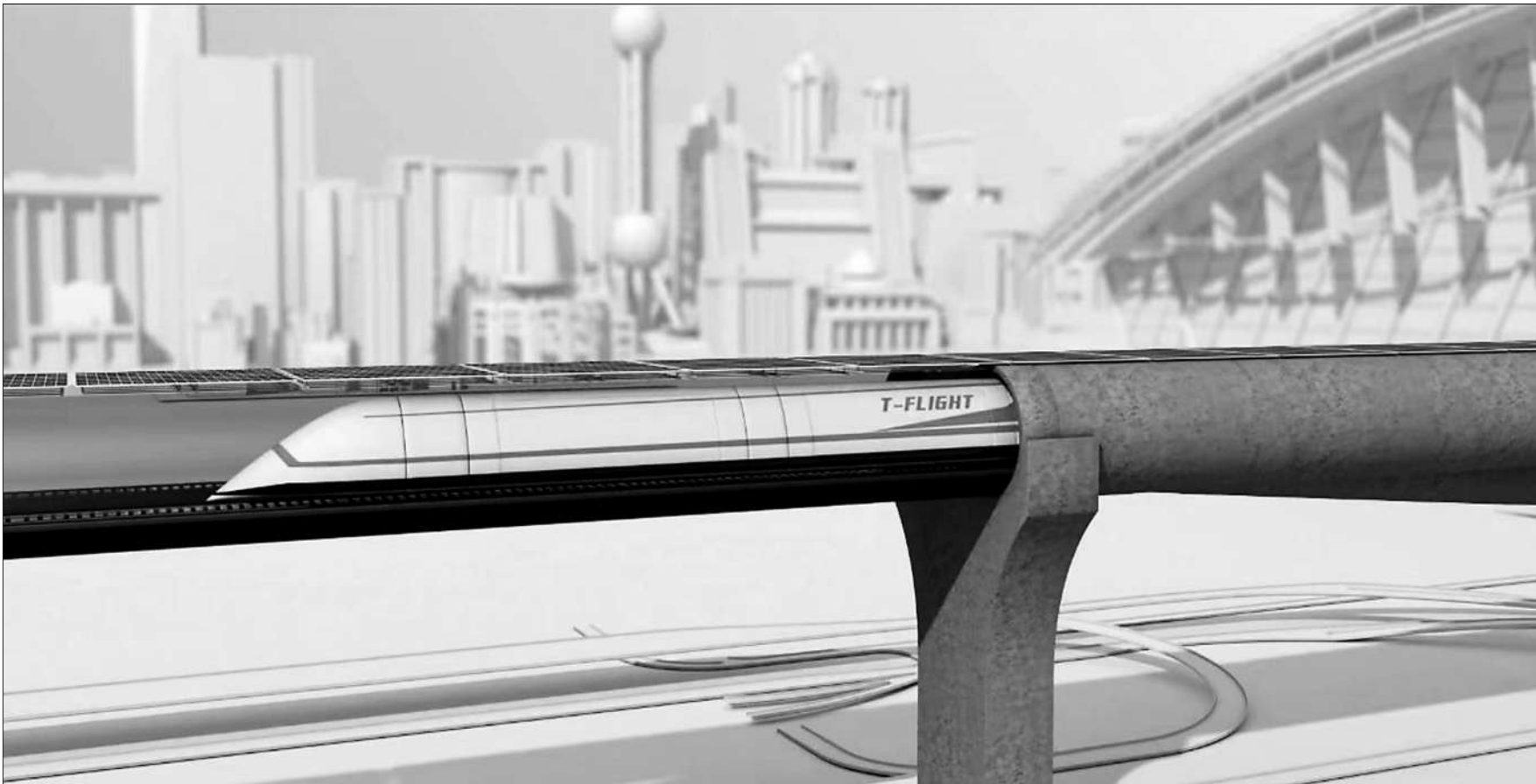
让我们从生活的场景中具体感知。

以北京到上海为例。北京到上海之间的距离大约是1200余千米,乘客如果选择自驾出行,需要十几个小时;如果乘坐民航客机,需要2小时左右;如果有一辆“超声速载具”,理论上只需要60分钟左右的时间,旅客就能跨越京沪。

那么,“超声速载具”的发展现状如何?人们距离乘坐“高速飞行列车”出行还有多远?本期,让我们一探其发展来路,现状与前景。

“高速飞车”离我们还有多远

■李金平 熊有德 梁 华



高速飞行列车效果图。

资料图片

突破声障“魔咒”的长期努力

超声速,顾名思义,就是指物体的运动速度超过了声速。

为了方便描述接近或者超过声速的运动,科学界引入了一个单位——马赫。1马赫就等于1倍声速。

事实上,超声速并非遥不可及的抽象概念。靶场上,子弹射出枪膛时的速度可达2倍声速以上;公园里,晨练的大爷甩鞭时,鞭梢末端会突破声速产生“声爆”,发出响亮的“啪”的一声;太空中,人类制造的许多飞行器,速度也远远超过了声速……

人类对速度的追求从未停歇。

20世纪初,随着航空技术的发展,飞机的速度逐渐提升。飞行员们发现,当飞机的速度接近声速时,飞机机身会剧烈震颤,操纵变得异常困难。这好像在人类面前筑起了一道难以跨越的无形的屏障,这种现象后来被称为“声障”。

实际上,“声障”是飞机超声速飞行时,空气动力学特性的突变导致的。声音传播的本质,是空气分子的振动传递。当物体以亚声速(低于声速)运动时,前方的空气会像“提前收到通知”一样,缓慢向物体两侧流动;当物体速度接近或超过声速时,空气分子来不及避让,会在物体前方堆积,形成一道强压缩波,这就是“激波”。

压缩波使物体受到的阻力急剧增加,升力也变得不稳定,这就是早期飞机难以突破声障的原因之一。

突破声障“魔咒”的历史性时期从20世纪40年代开始。经过长达数十年的发展,先后出现X-1试验机、F-100超声速喷气式战机以及“锆石”“钋首”高超声速导弹等武器装备。

同时,超声速技术也被拓展至民用领域。

1976年,英法联合研制的“协和”号客机投入运营。该客机能以约2马赫的巡航速度跨越大西洋,将巴黎/伦敦到纽约的航程缩短到3.5小时,比普通客机节省约一半时间。

然而,“协和”号客机也存在致命缺陷:飞行时产生的“声爆”噪声使其被禁止在陆地上空超声速飞行,仅能飞行跨洋航线;油耗约为普通亚声速客机的2倍以上,票价高昂……

不得不提及的是,2000年,“协和”号客机发生空难,最终于3年后退役,民

用超声速飞机就此陷入沉寂。

近年来,随着材料科学、空气动力学和推进技术的进步,民用超声速飞机再次成为行业热点。据悉,世界上许多公司正在研发新一代超声速客机,破解此前出现的“声爆”噪声污染等问题。

探索超声速飞行的技术密钥

要使飞行器突破声速稳定飞行,需要突破多学科技术。这些技术如同精密的齿轮,共同驱动飞行器实现超声速飞行。

动力系统——超声速飞行的“超级心脏”。

飞行器突破声速时需要克服巨大的激波阻力,克服阻力的过程离不开专门为此设计的超声速发动机。

超声速发动机的可变速气道如同气流“减速带”,借助可调节的几何型面,能够将超声速气流降为亚声速气流,随后对气流增压,再将其送入燃烧室。同时,位于发动机尾喷管上游的加力燃烧室,通过向排出的高温废气中额外喷油,使其进行二次燃烧,可以瞬间将推力提升50%以上。

此外,还有一些超声速飞行器使用组合循环发动机,这进一步拓展了飞行器的适用速度范围。灵活的组合模式设计,使组合循环发动机成为高超声速飞行的理想动力核心。

气动布局——驯服气流的“身形密码”。

采用直机翼的普通飞机在低速飞行时表现优异,但飞行速度一旦接近声速,飞机前方的空气聚集,如同在飞机前方骤然立起一道墙,使其受到巨大的激波阻力。

最早的“破墙利器”是后掠翼构型机翼。

后掠翼构型是指将机翼向后倾斜,这能有效分散和削弱激波阻力。例如,二战后的第一代超声速战斗机普遍采用这种设计方式,助力战机轻松跨越声障。

后来出现的三角翼构型机翼,前缘尖锐,结构强度高,在高速飞行时能高效“劈开”激波,同时在低速起降阶段能产生前缘涡流和有效的升力。“协和”号超声速客机,正是凭借这种三角翼构型驯服气流,以2马赫的速度高空飞行。

材料科学——抵御高温的“铠甲”。

物体以超声速飞行时,遇到激波产

生的强压缩效应,不仅会带来巨大阻力,还会引起强烈的气动加热现象。

当飞行器速度达到2马赫时,飞行器表面温度可达250℃;速度达到4马赫时,温度会飙升至900℃以上;以25马赫的速度闯入大气层的航天器,其表面温度足以熔化钢铁。

高超声速飞行器想要安全飞行,还要发展能够抵御这种“烈火考验”的先进材料。

研发人员最先发现了钛合金。这种材料比钢铁轻约40%,在300至500℃的高温环境下,仍能保持优异的结构强度。

碳纤维复合材料和陶瓷基复合材料,是研发人员发现的另外两种适用于高超声速飞行器的“高温铠甲”。

用于发动机喷口的陶瓷基复合材料,能直接承受1300℃以上的高温炙烤,成为飞行器隔离烈焰的“耐热屏障”;用于航天飞机鼻锥和机翼前缘的增强碳纤维复合材料,则像坚固的“高温盾牌”,可抵御飞行器重返大气层时面临的高达1500℃的极端气动热。

还有一种树脂复合烧蚀材料,堪称“舍身护主”的防护功臣。例如,我国的神舟飞船返回舱表面涂覆的树脂基复合材料,遇到高温会发生逐层烧蚀碳化,消耗自身材料带走大量热量,使飞船即便以25马赫的超高速进入大气层,舱内温度仍能维持在人体可接受的范围。

此外,还有一种主动冷却技术,可以说是飞行器的“随身空调”。

这种冷却技术通过在舱室壁内填充冷却剂,冷却剂遇热时像“发汗”般汽化,吸收大量热量,瞬间带走高温。

从云霄穿梭到地面疾驰

随着超声速时代的到来,超声速技术应用也渐渐辐射到地面领域。

环顾世界,许多国家纷纷将目光投向“高速飞行列车”领域。

早在20世纪80年代,中国科学家就开始深耕应用于“高速飞行列车”的磁悬浮技术。

2001年,西南交通大学研制的世界首辆载人高温超导磁悬浮实验车“世纪号”亮相,最高时速虽然仅有10公里,但验证了磁悬浮技术自悬浮、自导向的核心原理。

2013年,我国科学家提出“超级高铁”的构想,核心是“真空管道+磁悬浮

技术”。

今年4月,中国航天科工集团在山西大同的真空管磁悬浮试验基地宣布,新一代“超级高铁”全尺寸原型车完成首次超高速测试,时速突破1000公里。这一里程碑事件不仅标志着中国在超高速轨道交通领域的全球领先地位,更预示着人类陆路交通或将迈入“超声速时代”。

超声速技术实现从“云霄穿梭”到“地面疾驰”的关键之一,是减小空气阻力。

当列车时速突破600千米/小时,80%以上的阻力都来自空气。对于运行速度为300公里/小时的普通高铁而言,在行进时车头前方会形成“空气墙”,每前进1公里,列车相当于推开200吨空气。

而利用真空管道环境,则可有效解决这一问题。据悉,列车在接近真空的管道内运行,空气阻力降低至传统高铁的3%,能耗仅为飞机的1/10。这种环境不仅大大提高了列车的运行速度,还减少了列车运行过程中的噪声现象。

除此之外,“高速飞行列车”实现“地面疾驰”的另一个关键,是采用了高温超导磁悬浮技术。利用“同性相斥、异性相吸”的原理,推动列车前方的轨道磁场吸引列车,列车后方的轨道磁场排斥列车,从而产生强大的直线推力,驱使列车前进。这种“非接触”的驱动方式从根本上避免了机械摩擦,是实现列车时速1000公里以上超高速运行的前提。

不过,“高速飞行列车”若想顺利走向应用、走向市场,仍然面临一些挑战。

——真空管道的密封与维护。“高速飞行列车”的顺利运行,需要解决长达数百公里管道的真空维护成本极高;而另一方面,一旦真空环境泄露,列车将面临失压危险,威胁乘客安全。

——管道材料强度和韧度。真空管道外部承受大气压力,内部布置悬浮、抽气减压设备,这对管道材质性能提出了极高的要求。挑选强度大和韧度好的材料,对保证真空管道正常工作和乘客的人身安全至关重要。

未来,如果“高速飞行列车”研制成功,或将彻底改变人们对距离的认知——“一小时内穿梭北京、上海、广州”将不再是科学幻想,而是可能走进现实的“超级城市群通勤圈”。

当真空管道在神州大地上延伸,当“高速飞行列车”在近乎无阻的空间中加速至千公里时速……那些还在持续突破的核心技术,不仅将带来列车速度提升的飞跃,也将为全球交通技术的进步贡献中国智慧与中国方案。

论 见

2025年1月1日,我国成功应用“千帆星座”的低轨卫星进行宽带接入;3月12日,我国以长征八号遥六运载火箭以“一箭十八星”方式将“千帆星座”第五批组网卫星送入预定轨道;目前,“千帆星座”已全面进入常态化发射组网状态。“千帆星座”是中国首个正式组网的低轨巨型星座系统,不仅实现了中国商业航天从“单星定制”向“批量化星座生产”的历史性跨越,更标志着中国低轨巨型星座快速建设时代的到来。

近年来,随着太空拥堵、高轨维持难度增加等问题出现,美国、欧洲、俄罗斯等国家和地区纷纷布局建设低轨卫星星座。低轨航天器具备发射成本低、星座系统覆盖范围广、低时延等优势,近地轨道作为低轨飞行器的有效载体,也越来越受到各航天大国的重视。那么,近地轨道空间资源为何如此宝贵?

——距离地面更近,缩减发射成本。

近地轨道具有距离地面更近的先天气势,仅需要小推力火箭就能满足发射要求,将卫星送入轨道,这将大幅缩减发射成本。同时,相对于地球静止轨道,地面站与卫星之间的距离大幅缩短,大幅缩小了时间延迟;在覆盖范围上,完善的低轨星座可以实现全球无死角覆盖,将不受地形限制,有效覆盖海洋、极地、沙漠等地面网络盲区。

此外,近地轨道的优质轨位资源有限,仅能容纳6~8万颗卫星。根据国际电信联盟规定,地球低轨道资源的获取遵循“先登先占、先占先得”的原则。因此,美国SpaceX、英国OneWeb等公司竞相申请大规模低轨星座,试图通过快速占轨方式,保持长期垄断优势。

——为深空探索提供跳板,助力验证深空技术。

作为空间站、载人飞船,在轨服务平台等的驻留地域,近地轨道是深空探测任务的中转调试区,将助力验证深空技术。超低轨卫星以其便利的试验条件,有助于率先进行电推进试验、高精度姿控等前沿技术验证,服务于更深层次的深空任务。

以解决飞行器高速运动带来的通信问题为例。低轨卫星接近地球,绕行速度快,其高速移动影响数据传输的稳定性和可靠性,对地面接收设备提出更高要求。这个问题既是现实挑战,也是研发低轨卫星关键技术突破口。同样,这对深空探测任务中,需要在天地、天天接力通信方面的技术研究也具有借鉴意义。

——广泛应用于灾害监测、紧急救援、智能交通、智慧城市建设等领域。

传统高轨卫星数量少,一旦受损将对通信服务造成重大影响,此外,传统高轨卫星地面通信基站管理维护复杂,一旦出现故障难以及时修复。相比之下,低轨卫星数量多、分布广,可以互为备份、及时调整递补,

近地轨道空间资源为何如此宝贵

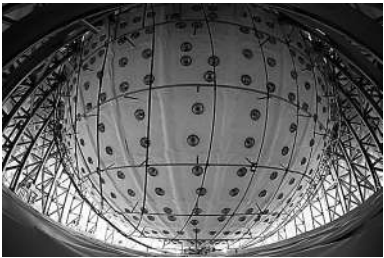
■徐 鹏 孙书鹏

利用这一优点进行科学设计布局,实现覆盖全球、实时通信的目标,能够增强抗毁弹性,可广泛应用于航天、航海、地面通信领域。

低轨轨道资源因通信质量、导航精度等方面的优势成为航天竞争新赛道,不过想要在这一赛道中取得优异成绩,仍然要攻克许多关键技术。例如,在低轨卫星的管理和维护方面,众多的卫星数量为精确跟踪和管理其位置和高度提出了新要求。一旦卫星接近地球表面,如果不能及时矫正和规范其轨道,可能导致卫星无法正常工作。此外,还需要充分考虑空间碎片对卫星影响,及时规避近地轨道空间碎片。这都对精确操控卫星、精准判断轨道环境变化,提出了新挑战。

江门中微子实验正式运行——捕捉“幽灵粒子”

新成果速递



江门中微子实验中心探测器。新华社发

据新华社消息,8月26日,江门中微子实验(JUNO)正式运行取数。据悉,JUNO位于广东省江门市附近的地下700米处,已成为国际上首个建成的下一代大型中微子实验装置。这座历时十余年建设的重大科学设施,将着手解决粒子物理学领域未来十年内的重大问题之一:中微子质量排序。

中微子是构成物质世界的基本粒子之一,也是宇宙中最古老、数量最多的粒子,从宇宙大爆炸起就弥散在宇宙中,无处不在却又“神出鬼没”,几乎不与任何物质发生反应,导致人们不仅看不到,就连探测也十分不易。

中微子还有一个非常重要的特性,就是具有极强的穿透力。比如,我们的

地球直径约为12700多公里,而中微子可以毫无阻挡地穿过地球,不会受海水和地层的阻挡,也无法干扰、拦截和破解,因此中微子的检测非常困难。在所有基本粒子中,人们对中微子了解最少,所以中微子又被称为“幽灵粒子”。

江门中微子实验的探测器核心是一个装载2万吨液体闪烁体的有机玻璃球,外壁镶嵌着数万只光电倍增管,一旦有中微子与之发生反应,就会发出微弱的光信号。

江门中微子实验由中国科学院高能物理研究所牵头,合作组包括来自17个国家和地区的约700名研究人员。从看不见摸不着的“幽灵粒子”,到一步步揭开神秘面纱,江门中微子实验是通向未知宇宙的一扇新窗口。

合作组发言人王贻芳表示:“完成JUNO探测器灌注并开始运行取数,是一个历史性的里程碑。这是国际上首次运行这样一个超大规模和超高精度的中微子绝对质量、检验中微子是否为马约拉纳粒子,进而解决多项粒子物理、天体物理和宇宙学的前沿交叉热点难题。”

按计划,江门中微子实验设计使用寿命可达30年,后期可升级改造为无中微子双贝塔衰变实验。升级后可探测中微子绝对质量、检验中微子是否为马约拉纳粒子,进而解决多项粒子物理、天体物理和宇宙学的前沿交叉热点难题。

(刘芳芳整理)