

用一生飞一次 ——无人机高空风能发电展望

撰文 / 李兴春

据说，生活在侏罗纪晚期的翼手龙，虽长有翅膀，却并不会飞，只会滑翔。它耗费漫长时间攀登至高耸的山顶，然后一跃而下，借助上升气流在空中不停地盘旋，捕食昆虫等猎物，很久以后才会落到地面。而一旦落地，它的生命便结束了。巧合的是，中国有一款知名的无人机名为“翼龙”；更奇妙的是，未来可能会出现像翼手龙一样的无人机，用一生完成一次飞行。

无人机，说简单些，与许多人小时候玩过的无线电遥控航空模型相似；说专业些，它是一种无需人员驾驶、可自主完成飞行任务的智能航空设备。很多时候，“无人”反而能实现“有人”无法企及的突破。

无人机可以载着我们的幻想飞上万米高空，在这里，它能完成许多有人驾驶飞机难以胜任的任务。它最大的优势是：可以飞临危险的战场和灾害现场执行任务，避免飞行员伤亡。除此之外，它还有一种特殊的用途，也是我们的一个科学幻想，那就是无人机高空风能发电。

百米以上的高空，风能远比地面更加充沛、强劲、持续且稳定：万米高空平流层的平均风能密度可超过5千瓦/平方米，而地面的平均风能密度大多不足1千瓦/平方米。如果能在百米以上的高空架设一台风力发电机或建

造一座风力发电站，就可以开发利用这种高效率、低成本、清洁无污染的高空风能。目前，设计和试验的高空风能发电方案，主要是“风筝式”或“拴系飞艇式”（由拴在地面的缆绳牵引的飞艇）两类。

这两种发电方式的核心逻辑是：将风力发电机设置在风筝状发电平台或拴系飞艇上送入高空，在高空直接发电，再将电能通过“风筝线”或拴系缆绳输送回地面——这根“风筝线”或拴系缆绳在拉住发电机的同时，也是一根传输电能的电缆。此外，还可以将涡轮机或风叶设置在风筝状平台或拴系飞艇上，在高空中将风能转化为“风筝线”或拴系缆绳拉伸的机械能，输送回地面后再转化为电能——这根“风筝线”或飞艇的拴系缆绳则充当了传动装置的角色。2025年9月，在新疆哈密首次升空发电的S1500型兆瓦级浮空风电系统，便是一种拴系飞艇式高空风能发电系统。

但无论是风筝式还是拴系飞艇式发电机，都需要至少一根长长的缆绳与地面连接，这对缆绳的材料强度、耐腐蚀性等都提出了极高的要求，而且还存在诸多不便，因此并非最佳的高空风能发电方案。

要规避这类方案的弊端，可以设想一种“未拴系飞艇式”高空风能发电方案，将风力发电机直接设置在无缆绳束缚的浮空飞艇上，

实现长期甚至半永久性在空中悬浮发电，就无需与地面通过缆绳相连了。由于是长期甚至半永久性地悬浮在空中飞行发电，这种未拴系飞艇还应该是无人飞艇。毕竟，操作人员难以在飞艇上长期生活。而且既然是风力发电，那未拴系飞艇将长期处于狂风中，危险性较高，只适合使用无人飞艇。如此一来，无人的未拴系飞艇与无人机的概念相契合，未拴系飞艇式高空风能发电自然也就归入我们设想中的无人机高空风能发电范畴了。

如今，最新研制的长航时留空无人机可以连续在空中飞行1年，未来甚至有望延长至5年，完全满足长期在空中发电的需求。这意味着，我们无须再依赖飞艇，可以直接使用常规动力（特别是电力）无人机，省去了飞艇需要充入比空气轻的气体以获得升力的繁琐流程。

与风筝式、拴系飞艇式发电机相比，无人机发电机无需缆绳固定，哪里风大就往哪里飞，四处收集风能，发电效率更高。这种高效率使得无人机发电机仅需使用少量发电量就可以自给自足，供应自身动力需求，剩下的余额便是“赚”来的电能“暴利”。

此外，无人机可以集中在同一地点起飞、返航，无需像风筝式或拴系飞艇式发电机那样在各地分散建设地面设施，大幅降低了成本；同时，无人机发电机无需专门制造，可以在现有的多功能无人机上，额外“搭载”一台风力发电机及相关辅助设备，就可以在执行其他飞行任务的同时“捎带”发电，同样有利于降低成本。

当然，无人机高空风能发电也面临许多有待解决的技术难题，最核心的是如何将电能用无线的方式输送回地面——例如，先将电能转化为微波甚至长波发射至地面，由地面接收器接收后转化为电能。目前，这种无线电力传输技术已渐趋成熟，一旦成功应用，无人机高空风能发电将成为比风筝式或拴系飞艇式高空风能发电更好的方案；甚至有望在无人机上研发

高空无线充电技术，使其在发电的同时，以无线方式为地面所有电器供电，从手机到电动汽车都将不再受限于充电器和充电桩，为用户带来更大的便利。

要让无人机在高空长期顶风冒雨飞行却不“散架”或失控，除了充足的动力，还需要依靠坚固的机身、稳定的结构等，以应对强大的风力和其他天气现象的不利影响。按照现在科学技术发展的水平，找到适配的新材料、完成合理的设计制造并非难事。如果我们能对高空气象规律有更深入的认识——例如，二战时期，日本在实施“飞象行动”的过程中，利用美国盛行的西风带中较窄的定向高速风带向其投放气球炸弹进行轰炸。若能借助这类风带，则可以让无人机更快、更稳和更安全地飞行。

值得一提的是，地面智能汽车的无人驾驶技术，也可以“延伸”应用于高空的无人机，为无人机安装人工智能自动驾驶系统，即便在失去对无人机操纵控制的某种紧急情况下，无人机也可以自主判断风力风向等气候条件，实现避险飞行、自动续航或安全返航。

中国是高空风能资源大国，例如新疆哈密万米以上平流层的高空风能资源总量可达地面的40倍以上，江浙鲁区域的高空风能资源条件十分优越，中国的无人机技术也取得了长足发展，逐渐跻身世界先进行列。将这两项优势结合起来，有望让具有高空风能发电功能的无人机在中国的蓝天乘风远行、迎风翱翔。

在这样的基础上，我们甚至可以设想一种“超长航时留空无人机”，它在空中连续飞行发电的时间，不止1年、5年，而是十几年甚至几十年，等于无人机的全部寿命；它就像是一颗从太空“降级”停留在大气层的人造地球卫星。如此一来，它便像真正的翼手龙一样，用一生完成一次飞行，直至落地时寿命终结、使命完成。对它而言，飞一次就足够了。

编辑 / 杨颖容