

气候变化正悄然改变大气性质、运动和物理过程,空中飞行的不确定因素增加

# 晴空颠簸加剧,气候变暖搅动全球航运

近年来,飞机巡航阶段遭遇晴空颠簸的概率增加,强度也有所增大。随着全球气候变暖,大气作为航空运行的环境,其性质、运动和物理过程等都在悄然改变。事实上,气候变暖引起的强对流天气频发、海平面上升、候鸟迁徙习惯改变等,都会给未来的空中航道带来种种不确定因素。

不仅是航空业,不断增强的台风亦会给海上运输带来更多安全隐患。未来,因极地海冰消融而开通的北极航道,或将改变世界贸易格局。

全球航运业面临的挑战提醒我们,除了酷暑、暴雨、干旱、洪水等极端天气事件,气候变暖对人类社会的影 响正不断向各方面渗透。及时察觉并应对这些变化,将是气候危机时代“地球村”居民们的共同课题。



▲海拔仅3米的马来西亚槟榔屿国际机场。  
▲美国航空公司一架空客A319飞机因鸟击而受损。  
▲高温运行中的航空器。

■徐婷

2023年7月10日,国航CA1524航班飞行中遭遇晴空颠簸,导致两人受伤;2023年2月12日,西部航空PN6392航班遭遇气流发生剧烈颠簸下坠;2022年5月1日,印度香料航空一航班飞行途中遭遇严重颠簸;2020年8月20日,国航CA1704航班在8900米左右高度上遭遇晴空湍流,出现急速颠簸……近年来,飞机在飞行途中遭遇强烈颠簸的新闻频频出现,受到广泛关注。

在多种飞机颠簸中,晴空颠簸是飞机巡航阶段可能遭遇的一种常见类型,是指发生在飞行高度6000米以上、与对流云无关的颠簸。由于它发生在晴朗的天气条件下,因此难以被飞机上装载的气象雷达探测到。而飞机一旦遇

到,颠簸强度往往会在中度及以上,如果乘客或乘务人员此时未系好安全带,可能会受伤。

随着全球气候变暖,大气作为航空运行的环境,其性质、运动和物理过程等都在改变,晴空颠簸出现的频率、强度和持续时间也会随之变化。而且,气候变暖影响的不仅仅是飞机巡航高度的航空,地面低空环境、机场基础设施等也会受到不同程度的影响。

欧洲航行安全组织对其提供服务的国家所进行的一项调查显示,86%的受访者表示适应气候变化对飞机制造业至关重要。而据国际民用航空组织(ICAO)的调查,65%的受访国家认为气候变化已经影响了本国的航空运输,30%的国家已经实施了适应气候变化的措施。

## 气候变暖影响航空,晴空颠簸只是冰山一角

晴空颠簸的形成是因为高空存在晴空湍流,晴空湍流是高空风切变的产物。有气候模式模拟显示,当大气中二氧化碳浓度增加一倍,北大西洋冬季高空晴空湍流的中位强度将增加10%~40%。其中,轻度晴空湍流会增加59%,轻至中度增加75%,中度增加94%,中至重度增加127%,重度晴空湍流则将增加149%。

由此可见,随着碳排放增多,高空中的晴空湍流会变得更强,各种强度的晴空湍流更加频繁,越强的晴空湍流频率增幅越大。而相关气象资料的数据统计显示,这些情况正在真实世界中发生:1979年至2017年间,北大西洋地区高空急流的风切变强度增加了15%;1979年到2020年,中纬度地区(南北纬30°至60°之间)的晴空湍流有显著增加。

从持续时间上看,1979年至2020年间,北大西洋上空出现的严重及以上强度的晴空湍流的年总持续时间从17.7小时增加到27.4小时,增幅高达55%;中度及以上强度的晴空湍流从70.0小时增加到96.1小时,轻度湍流则由466.5小时增加到546.8小时。

数据显示,晴空湍流频率增大趋势最显著的地区是在东亚,如果这种趋势继续下去,将会对西北太平洋地区上空的飞行运行产生重要影响。

除了晴空颠簸,全球变暖还会从多方面影响人类的空中通道。

例如,航路风和温度的变化将会改变未来的飞机飞行时间。目前,大型商用客机的典型巡航高度在8至12千米。总体而言,气候变暖未来将会使向东航行的跨大西洋航班顺风增加,从而缩短飞行时间,向西飞行的航班则需要飞行更久。

随着大气二氧化碳浓度的增加,一架从美国纽约肯尼迪机场飞往英国伦敦希思罗机场的飞机,途中所遭遇的顺风和逆风在所有季节都会有所增加,增幅可达14.5%,但从总体平均风速变化来看,航班跨大西洋飞行的耗时将平均增加2%。

此外,航路温度也会随着气候变化而变化。在特定巡航条件下,飞机真实飞行速度将每十年下降0.18±0.05%;30年后,每8小时的长途飞行时间增加2至3分钟,大约增加1%。也就是说,航路温度也会影响飞行时间。

众所周知,大型迁徙性鸟类撞击飞机可能会降低飞机气动性能,严重时可能造成发动机损坏。然而,气候变暖正在使不少候鸟的生活习性悄然变化。当它们改变迁徙时间、调整飞行高度,就可能与原本“风马牛不相及”的飞机相遇,从而给飞机航路带来安全隐患。例如,在太平洋地区,由于厄尔尼

诺现象改变了一些动物食物来源的可获得性,不少南方物种向北扩张,动物的春季迁徙也开始提前。由于目前所有航班的飞行路线及安全建议,均基于已知的大型迁徙性鸟类行为,这些新变化可能会带来不可预测的鸟击隐患。有统计显示,全球机场附近的鸟击事件一直在增加。

## 地面风和温度变化,挑战飞机性能与飞行安全

除了对高空大气的影响,气候变暖还会显著改变地面气温和地面风,而这将会直接阻碍飞机性能的有效发挥。

物理学常识告诉我们,气温升高会使空气密度减小。因此,当地面温度变得更高时,飞机在靠近地面的飞行阶段,其发动机燃烧燃油时单位时间内获取的氧气就会减少,这会使得飞机性能有所降低。其最直接的影响就是飞机的最大载重量减小,起飞和降落时所需的跑道距离有所增加。

据预测,本世纪中叶(2021-2050年)到本世纪中后期(2071-2100年),飞机的夏季平均起飞距离将增加1.6%-11%。以波音737-800飞机为例,未来夏季,它的起飞距离将额外增加3.5米至168.7米。对于跑道足够长的机场,只需增加飞机的滑跑距离,而对于跑道较短的机

场,就必须对超过某个温度阈值的飞机限制重量,以确保安全起飞。

自1980年以来,随着地表温度的升高,各机场夏季需要对航班限重的天数已有所增加。研究发现,在未控制的高排放假设情境下,到2050年至2070年,美国四个主要机场每年5月至9月间对波音737-800飞机的限重天数将增加50%-200%。

限重对于航空公司的影响十分显著。以希腊希俄斯机场和空客A320为例,1988年至2017年间,每架飞机所需减少的有效载荷相当于搭载38名乘客及其行李或航行1300千米的燃料。

此外,飞机在运行中也有温度限制。2017年6月20日,美国菲尼克斯气温超过49℃,由庞巴迪CRJ支线飞机执飞的40余个航班由于高温被取消,

原因是气温超过了其运行的最高温度。地面风在飞机起飞和降落阶段发挥着重要作用:逆风是飞机起降最有利的条件;顺风会使飞机起飞或着陆滑跑距离增长,也会带来冲出跑道的风险;侧风则会使飞机对不准跑道,发生滚转等。因此,在飞机起降时,对顺风和侧风有相应限制。气候变暖给地面风带来的改变,可能影响航空安全系数。

此外,气候变暖使强对流天气增加,也会对航空造成影响。在机场范围内,对流天气会增加航班的延误和取消。

在航行过程中,对流天气可能会让飞机更多遭遇颠簸、积冰、低能见度、风切变及闪电等安全威胁。有研究预测,2050年的春季和夏季,荷兰东南部城市马斯特里赫特上空的对流天气将会增加。这些对流天气可以发展到17千米的高度,将迫使航线延长、飞机爬升和下降坡度更陡、空速降低,所有这些都对尾气排放、飞行时间和飞行成本产生不利影响。而且,这还会使更多飞机进入其他空域,从而产生潜在的安全问题。

## 绘制变暖风险图,百余国确认航运已受影响

气候变暖造成的一大后果是海平面上升,未来几十年,这将给不少低海拔沿海机场带来严峻考验。

自1900年以来,全球海平面上升了0.2米。预测显示,到2150年,在一定程度变暖情景下,海平面可能上升1至5米。这可能会使海平面高出许多低海拔沿海机场的跑道。例如,马来西亚槟榔屿国际机场海拔仅3米,美国纽约肯尼迪机场海拔为4米,意大利罗马菲乌米奇诺机场海拔为5米。还有研究表明,如果全球平均温度上升2℃,海平面上升将使低海拔沿海地区1238个机场中的100个机场低于平均海平面。

目前看来,欧洲、北美和大洋洲的不少机场处于危险之中,但东南亚和东亚的风险最高。受益于日益增强的防洪措施,目前该风险已降低了23%,但要在2100年将风险维持在当前水平,可能需要高达570亿美元的投入。

除了平均海平面的升高,强降雨、台风等恶劣天气的发生,对低海拔沿海机场的防洪、排水能力也是巨大考验。这些极端天气可能会使机场运行中断,且中断恢复时间不确定,尤其对于枢纽机场而言,影响将非常巨大。

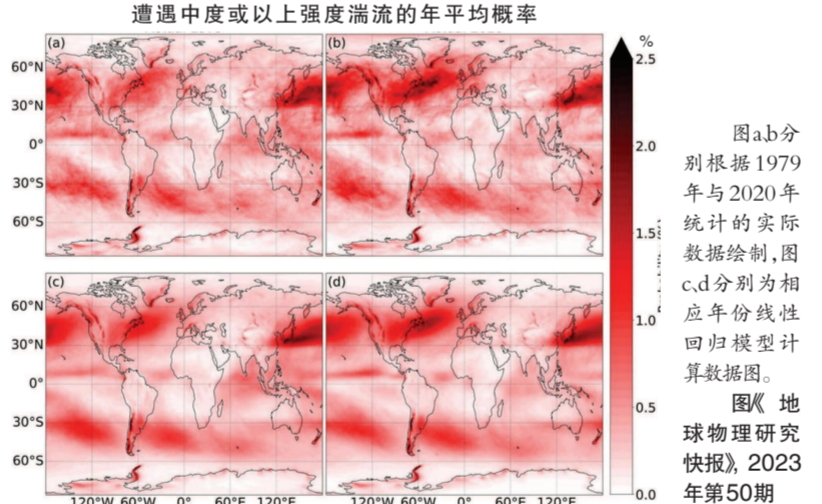
全球气候变暖所引起的极端天气事件,还包括中高纬度地区冬季的极寒。当极寒事件频发,机场的除冰车、防冻液等设施设备物资储备也需动态调整,某些地区的供暖需求也会增加。气候变化和航空市场的变化对机

场而言是双重挑战。未来几年,航空市场的恢复将给新兴市场和成熟市场的运营带来越来越大的压力。预测显示,即使是在相当成熟的欧洲航空市场,一些地区也会出现较高增长率。其中,东南欧和中欧的航空市场预计增长最快,但这些地区恰好也是气候变化潜在影响最大的地区。因此,这些地区可能不得不在应对航空市场需求快速增长的同时,应对气候变化所带来的挑战。

2019年,国际民用航空组织(ICAO)对其193个成员国展开调查,了解他们对气候变化适应的理解和相关计划,并根据调查结果绘制了风险图。其中,65%的受访国家认为气候变化已经影响了本国的航空运输,另有15%的受访国家预计到2030年将受到影响。在具体行动方面,30%的国家已经实施了适应气候变化的措施,另有25%的国家计划在十年内实施,只有6%的国家尚未制订相应计划。

欧洲航行安全组织在2018年对其提供服务的国家进行调查,86%的受访者表示适应气候变化对飞机制造业至关重要,53%的受访者已经开始制订相应计划。就特定组织而言,48%的组织认为自己已经受到影响。展望2050年,57%的组织预计将受到影响,仅10%的组织明确表示不会受到影响。

(作者为中国民航飞行学校航空气象学院讲师)



图a,b分别根据1979年与2020年统计的实际数据绘制,图c,d分别为相应年份线性回归模型计算数据图。图《地球物理研究快报》,2023年第50期

# 北极冰融,新航道或将改变世界贸易格局

■于华明 董利民

研究表明,全球变暖会导致海平面上升、生态系统改变、气象和海洋灾害频发,从而威胁到人类生存和发展。作为国民经济重要组成部分的海上航运业,也会受到气候变化的巨大影响。尤其是未来北极航道的开通,很可能改变世界贸易格局。

## 台风增多变强,威胁航行安全

目前,科学界普遍认为,全球变暖会加强台风活动。近30年的台风数据

显示,全球台风总体上呈现出显著增强的趋势。

全球变暖会增加大气和海洋的热量,产生更大的动能,进而更易生成台风、强台风、超强台风等海洋气象灾害,伴随而来的台风浪和风暴潮,对于船只航行安全极为不利。船舶在大风大浪中航行时,风速、海浪、海流的阻力可能使船舶的主机超负荷运行,航海仪器、通信设备等可能受到损坏。台风风速可达17级,最大风速70米/秒以上,可掀起十几米甚至几十米的巨浪,如果在此时靠近台风,船只会被掀翻而沉没。

2015年10月1日,美国一艘载有33

名船员的“El Faro”号集装箱船,于当地时间9月29日离开佛罗里达州后,因遭遇四级飓风“华金”(Joaquin)而失踪。10月31日,美国海军搜救队在海底发现这艘集装箱船,并确认船上33名船员全部遇难。这成为美国近30年来最大的海上事故。

此外,全球变暖导致海平面上升,使得港口维护的难度逐年增大。海平面的不断上升会使港口在现有设计高程的情况下,抵御风暴潮和海浪的能力不足,影响船只靠泊。

全球变暖还会导致陆地上的冰原和冰川大量融化,融化的水随河流进入到海洋,从而增加海水的体积。另一方面,海水温度的增加,也会减小海水密度,增大海水体积。全球海平面上升始于20世纪初,从1900年到2016年,地球上的平均海平面上升了0.2米左右。按照目前的气候变暖速度,到2100年,海平面将升高到足以使马尔代夫无法居住。在较为极端的变暖情况下,到2100年全球海平面将上升1.89米。

## 北极航道将现,经济价值凸显

据预测,到本世纪末,北极地区在夏季将只有10%的区域被冰面覆盖,三个月的夏季时段内均可供船只通航。未来,北极将出现一条可能在一年中的大部分时段均可顺利通航的新航道。这条能够以更短距离连接欧亚的

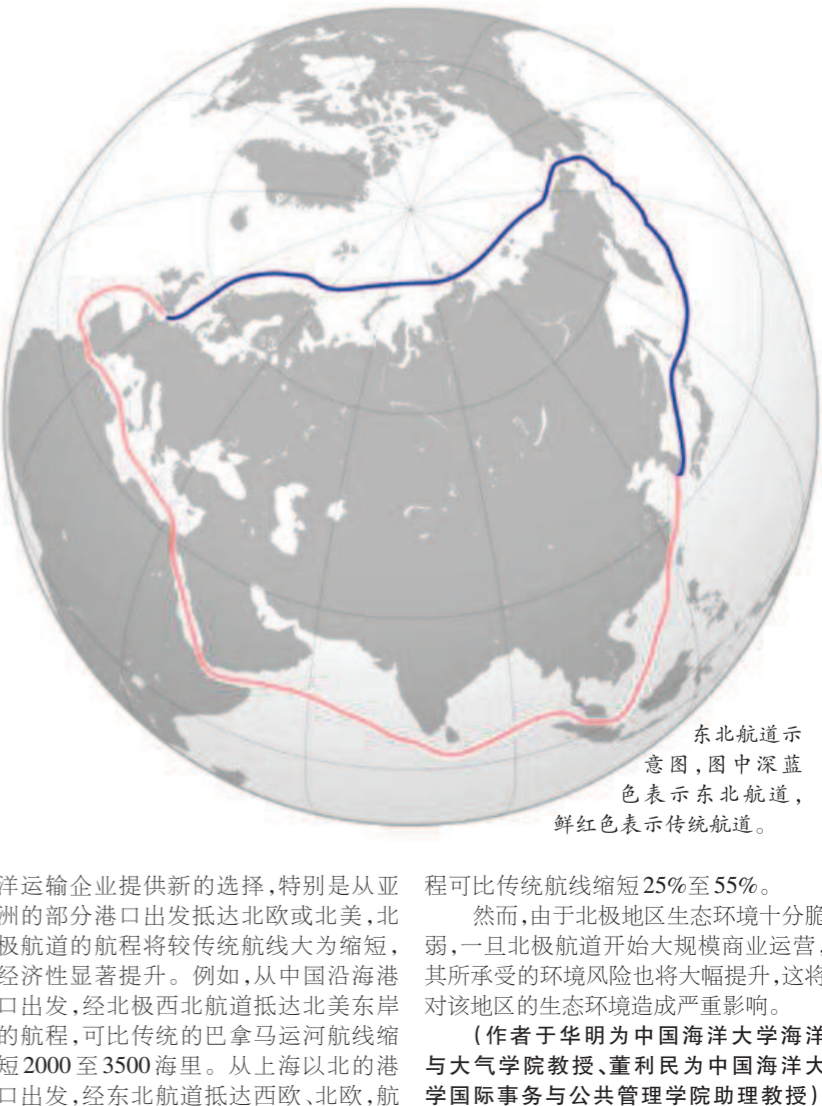
新航道的出现,蕴含着巨大的贸易潜力和经济价值。

所谓北极航道是指穿越北冰洋,连接太平洋与大西洋的海上通道,包括穿越加拿大北极群岛之西北航道、穿越欧亚大陆北冰洋近海之东北航道,以及穿越北冰洋中部之中央航道。其中,东北航道和西北航道的主要部分分别位于俄罗斯和加拿大沿海海域;东北航道中连接白令海峡与俄罗斯西北喀拉海的部分又被称为北方海航线。由于诸多岛屿和群岛的存在,北方海航线与西北航道均非由单一的通道组成。

具体而言,北方海航线自西向东途经5个海域和10个海峡。俄罗斯将北方海航线划分为传统(沿岸)航线、高纬度航线、中央航线以及近极点航线四条主要航线。根据北极理事会发布的《北极海运评估报告》,西北航道主要由穿越加拿大北极群岛的5至7条航线组成。

与传统航道相比,北极航道运输距离较传统航线可缩短一半以上,这意味着货物运输的成本与时间将大幅减少,这必将对传统航线造成冲击。例如,日本的集装箱从横滨运送到荷兰的鹿特丹港,经非洲好望角需要航行29天,若经马六甲海峡和苏伊士运河需要22天;但如果同样的船舶经过北极航线,仅需15天就可以到达。

由此可见,北极航线一旦开通,未来世界贸易格局可能会发生巨大改变。对我国而言,北极航道将为我国远



东北航道示意图,图中深蓝色表示东北航道,鲜红色表示传统航道。



在飓风“华金”中失事的“El Faro”号。