

航空脱碳： 展翅欲飞

业界观点

www.shell.com/DecarbonisingAviation
[#MakeTheFuture](https://twitter.com/ShellAviation)



IN COLLABORATION WITH

Deloitte.

目录

- 3 前言**
- 4 调研目的**
- 5 摘要**
- 16 我们的现状**
 - 脱碳推进因素
 - 难减排行业脱碳
 - 航空业的二氧化碳排放
 - 减少航空排放的方法
- 32 僵局：脱碳阻碍**
 - 脱碳准备情况：总结
 - 市场和客户需求
 - 监管激励
 - 技术一致
 - 角色和决策明确
 - 资产更新换代的容易度
 - 基础设施更新换代的容易度
- 49 航空脱碳：新方法**
 - 临界点 - 展翅欲飞
 - 市场和客户需求
 - 监管激励
 - 技术一致
 - 角色和决策明确
 - 资产更新换代的容易度
 - 基础设施更新换代的容易度
- 76 航空计划：加速脱碳**
 - 脱碳路径
 - 到2030年的航空计划
 - 如何共同发力
- 85 鸣谢
参考资料**



前言

航空为人与人相聚及全球获取商品和服务架起空中桥梁，也为抗击新冠疫情提供了重要的物流支持。航空对世界经济至关重要，其2019年所支持的世界GDP达到3.5万亿美元，占全球GDP总量的4.1%。同年，在新冠疫情爆发之前，全球航空客运量达到45亿人次。然而，它也贡献了全球约3%的二氧化碳排放。而且，随着其他行业脱碳速度的加快，航空业到2050年的碳排可能占据全球排放总量高达22%。

航空业的未来需要面对众多严峻挑战。若要以所需的速度和规模减少碳排，航空业必须携手共同改变。代表全球大多数航空公司的国际航空运输协会，提出了到2050年将净排放较2005年减少一半的目标。但若想实现净零排放，该行业必须加快前进的步伐。

这意味着该行业不仅需要制定出实现净零排放的清晰路径，还需展现出更远的雄心壮志和更强的领导力。包括壳牌等供应商在内，约有一半行业参与者已做出到2050年实现净零排放的承诺；但我们都必须做出更多努力，必须重视协作的力量！

我们必须共同努力，了解挑战，然后寻找并确定解决方案。本报告代表了一个开始。它

将代表全球68家组织机构的100多位航空业内领袖和专家聚集到了一起。谨此诚挚地感谢他们付出的时间、精力和热情！本报告探讨了航空业的净零目标，以及如何才能实现这些目标。它试图解答三个关键问题：“航空业为何应当改变？航空业该如何改变？航空业能以多快的速度改变？”。其同系列报告阐述了壳牌自身所采取的行动。在壳牌，我们正在探索实现零碳航空的路径，其中包括氢燃料、可持续航空燃料和基于自然的解决方案等。

本报告表明，只要政府、客户、能源公司或航空公司等相关各方，都携手采取正确的行动，一个错综复杂的行业也有潜力取得更大的进步。

以可持续航空燃料为例，它或许是当今最具前景的碳减排解决方案。在达到所需的部署规模之前，它仍面临许多挑战，包括需要更大的原料供应能力，更好的供应基础设施，以及更明确的、鼓励生产可持续航空燃料的政策。所有这些要素缺一不可，而且越早拥有越好。

因此，无论您的员工经常乘坐飞机出差，还是您的公司经常空运货物，亦或您是一家希望使用更多可持续航空燃料的航空公司，我们都欢迎您与壳牌合作！我们可以共同努力，寻找您业务活动中的碳减排机会，帮助航空业在2050年实现净零排放。

这是我们与德勤联合发布的第三份关于最难以实现低碳转型的行业脱碳问题的报告。这三份报告都传递出一条共同的信息：无论您是专门从事航空业务，还是拥有一条还涵盖公路货运或航运的供应链，现在都需要行动起来！

作为壳牌行业脱碳业务执行副总裁，我认为这些报告表明，如果我们行动足够迅速，变革的潜力将有多大！在遭受全球新冠疫情的冲击之后，航空业面临的是重新开始的机会。只要齐心协力，我相信我们能帮助航空业适应净零世界！



卡洛斯·莫雷尔
(Carlos Maurer)

壳牌集团行业脱碳业务
执行副总裁

调研目的

本报告反映100多名高管和专家的观点，他们来自68家涵盖航空业几乎所有细分领域的组织机构；另外还有来自全球6,000名休闲和商务旅客的观点（请参阅附件01）。其目的在于：

- **采用全面视角。**许多脱碳研究侧重于孤立的特定挑战或利益相关群体。考虑到因素之间的相互影响，航空业必须采用更全面的视角，以涵盖经济、监管和组织等因素。本报告建立在市场现有的知识体系基础上。
- **加快实现净零的进程。**参加本次调研的航空业内专家，正处于需要做出脱碳决定的关键时刻。我们与他们携手制定出一系列解决方案和行动计划，以帮助航空业立即行动起来，并指明前进路线。
- **反映行业心声。**脱碳事业不是任何单个利益相关群体能单独完成的，它需要所有人的共同努力。必须了解不同群体和地区的不同动机及挑战，才能使全行业共同行动起来，带来切实的改变。

本报告反映业内高管和专家在采访和业内工作会议中与我们分享的见解，不代表壳牌或德勤的立场。与参与者之间的所有接触，都以尊重竞争法的方式进行。

01 调研参与者

102 位航空业内高管和专家.....

35 CEO和高管	33可持续发展领导者和专家	21技术领导者和专家	8政策和法规专家	5战略家
-----------	---------------	------------	----------	------

.....代表全球68家组织机构

18商业航空公司和货运航空公司	6机场	9货主和公司	9 OEM、技术和基础设施提供商	10研发和金融机构	8行业组织	8监管机构和NGO
37欧洲			21北美		10亚洲和其他地区	

.....以及来自全球的6,000名旅客

3,000名休闲旅客	3,000名商务旅客	覆盖6个国家：澳大利亚、加拿大、中国、德国、英国和美国
------------	------------	-----------------------------

说明：“地区”代表组织总部所在地区。大多数参与调研的组织都是跨国经营。航空业内高管和专家的观点，通过单独的一对一采访收集。旅客的观点通过详细的调查收集。OEM是指原始设备制造商。

摘要



航空对世界经济至关重要，其支持的世界GDP达到3.5万亿美元，占全球GDP总量的4.1%¹。它帮助促进文化交流，为全球运送商品和服务。航空业为抗击新冠疫情提供了重要的物流支持：闲置飞机经过改装，用于运输个人防护用品、疫苗及其他必需物资。航空业还将世界各地的人联系在一起。过去两年的疫情封锁突出了人际交往的需要，航空能让人们乘坐飞机去看望朋友、亲人和商业伙伴。

然而航空也贡献了全球约3%的二氧化碳排放，并且，随着未来几年全球经济的继续发展，随着新社会群体进入到中产阶级，航空业务量还将持续增长。随着人们找到新的方式进行虚拟会议和远程工作，新冠疫情可能给航空旅行的未来带来一些变化。但长期预测表明，总体而言，新冠疫情不太可能对航空业务量造成持久影响。若不采取行动，预计到2050年，航空排放将在2019年的基础上增加一倍以上。

通过与全球航空业内100多名高管和专家的合作，我们已将通常看上去无法解决的问题分解成能够解决的具体问题。我们通过围绕三个核心问题来进行这项工作：“航空业为何应当改变？航空业能否改变？航空业能以多快的速度改变？”。这给我们带来了九条主要的调研发现（请参阅附件02）。

02 调研的重要发现

航空业为何应当改变？	1. 由于航空业的复杂性和航空业“仅占全球碳排放3%”的观点，航空通常被认为是一个 不需要优先脱碳 的行业。但现在有 必要立刻采取行动 。	3. 通过认可机制和 差异化主张 实现的 长期客户需求 ，将在为航空公司减排提供 资金和激励 方面发挥根本性作用。
航空业能否改变？	2. 航空业面临一些 脱碳阻碍 ，主要包括： <ul style="list-style-type: none"> ▪ 目标不够激进，未得到当地法规的支持，且受国际一致性需求的约束； ▪ 可持续航空燃料成本过于高昂，许多业内人士表示不确定如何降低成本，并担忧原料供应能力； ▪ 休闲旅客不愿意承担低排放解决方案的成本；且 ▪ 对碳抵消的质量、透明度和宣传有顾虑，导致碳抵消的使用有限。 	4. 基于供需的 国家和地区政策激励 ，将 加速可持续航空燃料 在地区和全球的使用和 监管
航空业能以多快的速度改变？		5. 碳抵消 可为脱碳早期阶段 提供重要的资金支持 。但这需要碳抵消变得 更透明且易核查 。碳抵消必须在 情感上更吸引旅客 ，且产生的影响应更明确。
		6. 因为无需重新设计飞机， 选择可持续航空燃料作为脱碳的主要手段 ，将获得更为显著的减排效果。因此， 投资和研发工作可以主要集中在扩大生产规模和降低成本上 。
		7. 跨行业合作 对于成功部署可持续航空燃料至关重要。它能 降低制氢、直接空气捕获和生物质转化等必需技术的成本 ，并确保 有效利用稀缺资源 。
		8. 为满足社会期望， 脱碳路径需要更加雄心勃勃 ，投资需要尽早开始。可持续航空燃料需达到足够的产量，以使成本降低至在15年内可实现大规模应用所要求的水平。
		9. 单个行动计划应融入到 代表价值链的所有环节的 总体计划 中：从能源供应商到最终客户。这些计划应该 系统地部署 在政策有利、市场条件良好且可持续航空燃料准入地地区。

1. 调研的重要发现

由于航空业的复杂性和航空业“仅占全球碳排放3%”的观点，航空通常被认为是一个不需要优先脱碳的行业。但现在有必要立刻采取行动。

由于被认为是难脱碳行业，且碳排放目前在全球排放总量中只占3%，航空一直被排除在一些应对气候变化的重大行动之外。例如，《巴黎气候变化协定》未纳入航空业，欧盟碳排放交易体系（ETS）部分地排除了航空业，只计算欧盟境内航班的碳排放。

一位来自非政府组织的受访者表示：“政策制定者和业内人士以航空排放相对较低为借口推迟行动。”

但是，随着其他行业的脱碳，航空排在总排放中的占比将提高。本次调研的许多参与者表示，现在是时候提高全球对航空脱碳的重视了。我们有机会重塑飞行方式，以打破航空与排放之间的联系。

要想在未来二三十年内取得减排事业的重大进展，航空业必须更多地利用目前已有的选择。

其中最重要的一个选择是可持续航空燃料。可持续航空燃料的形式多样，绝大多数的生命周期温室气体排放低于传统化石燃料。所有形式的可持续航空燃料都有进一步的优势，即作为一种掺入型燃料，可以在不需要对飞机设计或机场基础设施进行重大更改的情况下使用。

碳抵消是目前已有的另一个选择。通过碳抵消，旅客和航空业的其他参与者可通过购买项目产生的碳信用来补偿排放，这些项目要么减少温室气体，例如利用植物吸收二氧化碳，要么避免温室气体排放，例如阻止乱砍滥伐。其结果能实现净零排放，例如，当航班排放的二氧化碳被碳抵消项目吸收的温室气体抵消时。

受访者指出，短期内应优先利用这两个选择来减少排放。与此同时，该行业还必须致力于持续改进飞机运营效率，并开发电池和氢燃料等替代推进技术。这些技术为实现零排放飞行提供了可能，但转向使用它们比从煤油转向可持续航空燃料困难得多。若能现在



开始开发替代推进技术，到本世纪40年代末和50年代，它们可能在某些应用中变得可行。

航空是个高度集中的行业，意味着少量的制造商、航空公司和机场在各自的市场中占据

着很大的市场份额。市场份额和影响的集中意味着该行业可以相对快速地做决策，并产生全球影响。然而，由于投资周期和机队更新周期漫长，航空业必须现在就行动起来，才能在2050年充分地减少碳排。

2. 调研的重要发现

航空业面临一些脱碳阻碍，主要包括：

- **目标不够激进，未得到当地法规的支持，且受国际一致性需求的约束。**这造成整个行业普遍持观望的态度。一位航空公司代表指出：“没有激励或未明确何时能有激励的目标，使得行业参与者停滞不前。”
- **可持续航空燃料成本过于高昂，许多业内人士表示不确定如何降低成本，并担忧原料供应能力。**取决于所用的原料，可持续航空燃料目前比传统航空燃料昂贵2-8倍。在无任何政策激励的情况下，如果明天即将一架典型长途航班所用的煤油全部替换成可持续航空燃料，那么航空公司运营成本或票价将上涨30-200%。随着供需的增长和碳价的上升，可持续航空燃料成本在几十年内可能与传统航空燃料持平。以植物或动物产品，如农作物或农林业废弃物为原料的生物可持续航空燃料，是目前成本最低的一种可持续航空燃料；但其供应存在结构限制，并且随着容易获取的原料逐步耗尽，成本有可能上升。合成可持续航空燃料是利用来自低排放源的氢气与从其他工业过程或空气中捕获的二氧化碳来制取。合成可持续航空燃料的技术没有生物可持续航空燃料成熟，因此生产成本高出很多。合成可持续航空燃料还要与其他行业争夺氢气，但有人认为它到2050年将比生物可持续航空燃料成本更低，产量更高。
- **休闲旅客不愿意承担低排放解决方案的成本，**因为他们总是期望买到便宜的机票，而不认为自己应对排放负责。来自一家研发机构的受访者表示：“将额外的可持续发展成本转嫁给选择最便宜座位的旅客是很困难的。”尽管有85%受访的休闲旅客表示他们愿意为抵消排放买单，但真正付诸行动的人只有不到1%。与此同时，随着疫情发生后商务旅客所占份额可能下降，航空公司利润率遭受更大压力，这可能影响到所有旅客购买机票的价格。
- **对碳抵消的质量、透明度和宣传有顾虑，导致碳抵消的使用有限。**有些碳抵消的质量低下，市场充斥着许多不同的标准和项目类型。许多都与过去发生的项目有关，所在地与排放发生地相去甚远，且所付费用与减少温室气体之间无明确的关联。一位飞机运营商表示：“人们希望在他们花钱购买碳抵消后，在世界的某个地方真正种上了树，但目前对于是否真正地种有树仍无法查证。”这导致碳抵消的使用有限，使得航空业在开发其他脱碳路径期间难以补偿它产生的排放。

这四个阻碍因素被受访者提及的频率最高，但受访者也指出了与附件03中所列的六个框架因素有关的阻碍。一位制造商表示：“**如果没有资产、基础设施、政治支持和客户的意愿，一切都无法进行。所有这些要素缺一不可，且相互之间必须协调一致；我们必须有在所有这些方面共同努力。**”该制造商所说的话可能意味着，“软性”阻碍因素也在阻碍行业的进步，它们包括增值思维，缺乏全行业协作，以及倾向于实施许多零散的小型项目，而不是从整体上解决问题。

总体而言，虽然航空属于难脱碳行业，但掺入型燃料可避免对新飞机和基础设施的需求。道路运输等行业需要车队进行更新换代，需要生产电池和氢能等替代能量载体，且需要新建基础设施。而航空业可以使用现有的飞机和加油基础设施。

03 航空脱碳的阻碍¹



说明：(1) 基于作为掺入型燃料的可持续航空燃料。资产更新换代的容易度和基础设施更新换代的容易度，更多是阻碍电池电动飞机和氢燃料飞机的因素





3. 调研的重要发现

通过认可机制和**差异化主张**实现的**长期客户需求**，将在为航空公司减排提供**资金和激励**方面发挥根本性作用。

大型科技公司、金融机构和咨询公司等大型商务旅客，以及食品和电子产品制造商等货主，必须在创造低排放航空需求方面发挥带头作用。他们自身的净零目标需要他们减少员工差旅和货物运输所产生的排放。许多这种客户的价格敏感度低于休闲旅客，因为航空旅行费用通常在他们的成本中占比较小。通过结合企业客户对可持续航空燃料和碳抵消的需求，可形成激励航空公司采取行动的市场拉力。

也必须鼓励休闲旅客发挥自己的作用，比如通过向支持脱碳的客户与可持续航空燃料和碳抵消有关的奖励。这些奖励可以是功能性的，如优先登机或餐饮升级；也可以是情感上的，如设置专门的座位或候机区。正如一位航空公司代表所言：“**我们已开始向使用碳抵消的客户提供更高的会员积分，这使得碳抵消的使用率提升至远超过1%的行业平均水平。**”

4. 调研的重要发现

基于供需的**国家和地区政策激励**，将**加速可持续航空燃料**在地区和全球的使用和监管

必须制定2050年实现净零的目标，以及激进的中期（截至2030年）行动措施，以使航空业与能源系统中的其他参与者步调保持一致，并营造需要立即行动起来紧迫感。目标应有政策措施的支持。在供应侧，可以通过最低掺入比、差价合约、税额减免和市场激励（如加州低碳燃料标准），促使燃料生产商投资生产可持续航空燃料。在需求侧，可以通过航线限制、定价机制和化石燃料税——如碳税或排放交易制度，制定针对购买选择的激励措施。

该行业无需等待全球在监管法规上达成一致，针对重要交通枢纽和旗舰航线的国家和地区政策将有助于创造推动力。英国最近宣布将航空排放纳入国家排放足迹中²，以及德国的合成可持续航空燃料路线图³，就是这样的例子。

5. 调研的重要发现

碳抵消可为脱碳早期阶段提供重要的资金支持。但这需要碳抵消变得更透明且易核查。碳抵消必须在情感上更吸引旅客，且产生的影响应更明确。

碳抵消对于帮助航空业减少净排放有着直接作用。在其他航空脱碳方法发展成熟之前，碳抵消将扮演尤为重要的角色。

碳抵消或许也能发挥更长远的作用；当可持续航空燃料供需达到规模化时，通过碳抵消可抵消剩余20-40%与生物可持续航空燃料有关的排放。

鉴于此，该行业必须解决对碳抵消的忧虑。航空业必须更好地宣传碳抵消对于脱碳的重要作用；必须确保所有碳抵消符合严格的标准和保证机制，并确保客户知道这一点。可以让碳抵消在情感上更吸引客户，为此可以包含更多能除去二氧化碳而非避免碳排放的项目，以及更多距离旅客的住宅和企业更近的项目。碳抵消的营销销售方式也应改进，比如，可以用“选择退出”取代“选择加入”的方式。

受访者特别提到“嵌入”——即筹集的资金直接在行业内使用的例子，以此说明该行业可如何将投资资金保留在行业内，以促进研发及可持续航空燃料生产。

6. 调研的重要发现

因为无需重新设计飞机，**选择可持续航空燃料作为脱碳的主要手段**，将获得更为显著的减排效果。因此，**投资和研发工作可以主要集中在扩大生产规模和降低成本上。**

将可持续航空燃料作为未来二三十年内的主要脱碳路径至关重要。通过将重要枢纽机场周围的一些生产基地转为生物可持续航空燃料工厂，整个航线甚至地区都能相对快速地脱碳。通过尽早投资合成可持续航空燃料，使其从实验室中的小批量生产走向持续的大规模生产，可让广泛使用可持续航空燃料成为可能。调研参与者预计，到2050年，生物及合成可持续航空燃料的航空减排贡献将达到60%以上。

通过提高与原料有关的透明度，减少采购过程中的摩擦，更多的使用认证，简化沟通，并采取“订购+认证”（book & claim）机制来



向远离供应点者开放准入，可显著加快对可持续航空燃料的需求。

还应开发新融资机制以使投资回报明朗化。指数投资基金可以帮助投资者将技术风险分散到多个项目中，从而吸引机构投资者参与转型初期的投资。

需要更高效的技术来捕获生产合成可持续航空燃料所需的二氧化碳。这些技术包括碳捕获、埋存与利用（CCSU）来自炼钢等其它工业过程的二氧化碳，以及直接从空气中捕获的二氧化碳（DAC）。这些技术在航空以外的领域也有广泛的用途。

不同行业的公司应集中资源，投入到最具前景的研发项目中。从事这些不同行业的企业或组织，如能源供应商、金融机构和研究机构等，必须发挥重要的协调作用。通过这种方式，所需技术的发展速度可能比每个部门单独开发的速度更快。虽然合作对于加快进度很重要，但也需要跨行业协调和政策措施，以确保有限的原料被投入到能产生最大影响的地方。

7. 调研的重要发现

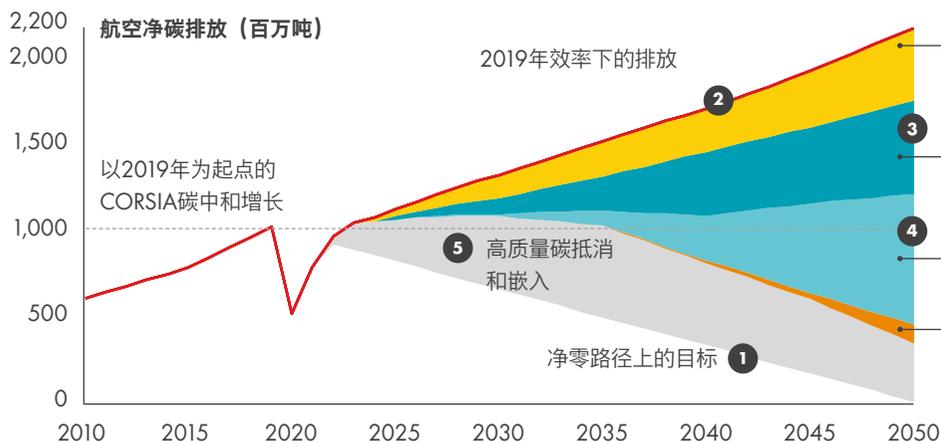
跨行业合作对于成功部署可持续航空燃料至关重要。它能**降低制氢、直接空气捕获和生物质转化等必需技术的成本，并确保有效利用稀缺资源。**

可持续航空燃料实现大规模生产和成本降低所需开发的许多技术，对其他行业也有用处。例如，生物可持续航空燃料需要探索新的生物原料及开辟新的生产路径，二者也都能帮助化工和航运等行业实现脱碳。合成可持续航空燃料需要大幅改造大型电解装置，以利用可再生能源将水分解成氧气和氢气来生产出零碳“绿氢”。钢铁、道路运输、航运和化肥行业也需要绿氢来帮助它们脱碳。还

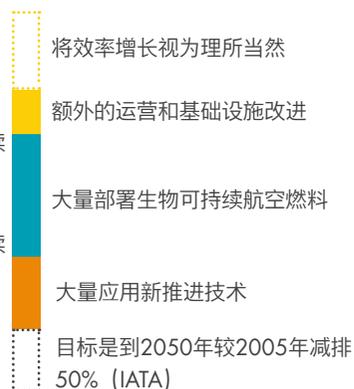


壳牌位于德国莱茵的能源和化学品工业园，这里也是REFHYNE欧洲联盟的PEM电解制氢装置所在地。
图源：© Dieter Jacobi/welcome for Shell International Ltd.

04 脱碳路径 - 业界观点



与典型行业报告的比较



与典型行业报告的主要区别

- 1 2050年达到净零
- 2 不将效率增长视为理所当然
- 3 生物可持续航空燃料的潜力有限
- 4 合成可持续航空燃料更早实现规模化
- 5 高质量碳抵消和嵌入

资料来源: 采访; ATAG (2020); IATA (2021); ICAO (2019); 壳牌能源转型远景 (2021); 德勤分析

8. 调研的重要发现

为满足社会期望，脱碳路径需要更加雄心勃勃，投资需要尽早开始。可持续航空燃料需达到足够的产量，以使成本降低至在15年内可实现大规模应用所要求的水平。

大多数研究参与者认为航空业很快采用净零排放目标是理所当然的。

一位航空公司高管表示：“社会不再接受航空业的特殊地位。我们必须和所有其他行业一样进行脱碳，以维护信誉。”

净零目标需要我们大幅加快行动步伐，并且是从现在开始（请参阅附件04）。

与典型计划相比，投资必须大大加快或提前，且须涵盖所有目前可行的脱碳选择，如效率、生物可持续航空燃料、合成可持续航空燃料和碳抵消。依靠单一的选择不可能达到所需的净排放减少量，应以不同于目前的方式对待脱碳选择本身。

航空脱碳路径在方向上是正确的，但细节需要改进。

航空公司高管

首先，许多受访者表示，该行业不应继续理所应当认为改进飞机设计或运营就能带来效率提升。它们是减少燃油消耗和碳排放的重要途径，但实现难度会越来越大。

其次，由于生产生物可持续航空燃料所需的可持续原料供应存在不确定性——尤其是从长远来看，因此能源企业和其他航空利益相关者必须比之前设想的更快、更大规模地加速

开发合成可持续航空燃料。投资这两种可持续航空燃料，将使我们能够扩大生产规模，并将成本降低至在15年内可实现大规模应用所要求的水平。

再次，航空业必须大幅提升碳抵消的使用，并确保它们都符合严格的质量标准。这在短期内可持续航空燃料尚未发展成熟之前尤其重要。

最后，为迎接真正的零碳未来做好准备，该行业必须持续投资替代推进技术，即使这些技术在2050年前的贡献有限。

9. 调研的重要发现

单个行动计划应融入到代表价值链的所有环节的**总体计划中**：从能源供应商到最终客户。这些计划应该**系统地部署**在政策有利、市场条件良好且可持续航空燃料准入地区。

行业利益相关者确定了15个克服脱碳阻碍和加速航空脱碳进程的解决方案或行动建议。其中有些已在研究当中，还有一些则是全新的，或是能为克服某个特定阻碍提供更高效的方法（请参阅附件05）。

短期内（2022 - 2025年）应专注于能**释放**出加速度的解决方案。本阶段的主要工作包括：获取商务旅客和货运客户的需求承诺，为支持可持续发展的休闲旅客制定奖励机制，以及对碳抵消进行改进。本阶段应能看

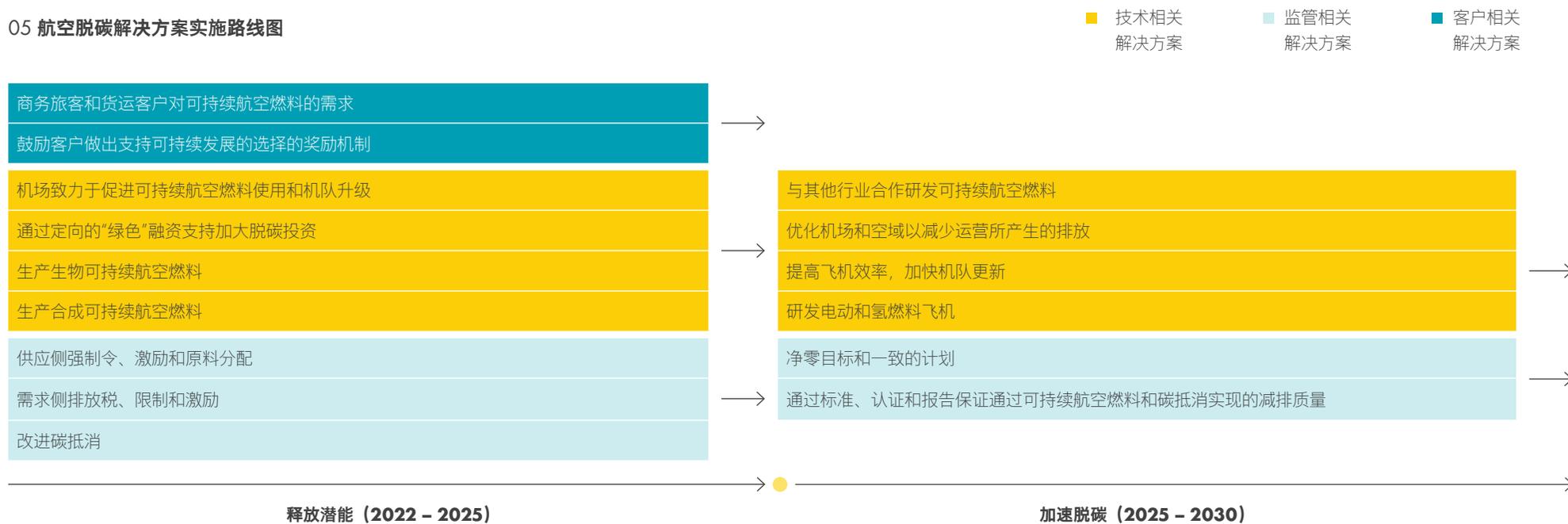
到对可持续航空燃料生产的大规模投资，尤其是在政策和客户环境最有利的地区，如美国和北/西欧。政策制定者和金融机构应通过提供定向激励来支持前期投资。

接下来是**“加速”**阶段（2025-2030）。2050年的净零目标可能被广泛地接受。将建立研发和供应合作伙伴关系，以便能用更低的成本生产更多的可持续航空燃料。机队更新和优化空域使用带来的运营效率提升，将进一步降低燃油消耗，从而让使用可持续

航空燃料更具经济可行性。标准、认证和报告让跟踪进程变得更容易。为加速实现零排放航空技术的开发，也必须推动电动和氢燃料飞机的发展。在2030年前落实这些解决方案，将为该行业到2050年实现脱碳奠定基础。

虽然每个解决方案都很重要，但按照“眼光长远、小处着手、快速扩展”的原则，将它们组合部署才能发挥其真正的价值。

05 航空脱碳解决方案实施路线图



说明：解决方案的实施时间与大多数活动的预计实施时间有关；但大多数解决方案同时需要短期、中期和/或长期的努力。



我们不能等待技术来拯救，必须利用如今已有的所有选择，立刻行动起来。

旅行社

在有些地方可以相对较快地构建第一条净零价值链和净零定期航线。它们需要支持因素，如支持性的法规，机场之间紧密配合，具有环保意识的商务旅客占很大比例，以及能够扩大可持续航空燃料生产等。这样的环境允许航空公司使用可持续航空燃料和高质量的碳抵消来开通首个净零定期航班。除了具有营销效应外，这种联系还可创造大规模的需求，从而帮助降低可持续航空燃料生产成本。通过它们，航空公司可以检验对支持可持续发展的客户的奖励机制，以便之后用于其他航线，再逐步发展成为行业标准。随着技术的成熟和市场条件的改善，这些净零价值链应得到系统地扩展。

我们只需构建一条日常运行的系统化可持续航线，很快就会有其他同行效仿，因为他们终将走上脱碳之路。

能源专家

受访者认识到，航空脱碳的挑战如此艰巨，任何单个组织甚至单个利益相关群体都不可能单独应对。但共同努力使航空业能够在短期内推出具体解决方案，并实现长期的重要目标。先行者有可能更早地接触到不同的见解，从而让他们在市场竞争中脱颖而出。他们很有可能能够分担风险和投资成本，并影响结果为他们所用。转型初期与客户及航空部门的接触，能为他们未来的业内关系奠定良好的基础。随着这些先期行动不断扩大并造出声势，更多公司将加入进来，在整个行业创造必要的规模和影响力。

如此，航空脱碳之旅**即可准备起飞！**

我们的现状



脱碳推进因素

2015《巴黎协定》提出了远大的目标，即将全球变暖控制在对比工业化前 2°C 以内，并努力将其限制在 1.5°C 内。这在一定程度上要求我们到2050年实现净零温室气体排放（碳中和）。作为响应，许多国家、行业及单个组织纷纷设定目标，并开始制定限制碳排放的计划。全球、国家、地区和行业层面都在采取行动。已有许多积极信号，但联合国环境署仍指出：“按照当前的无条件承诺，全球升温正迈向 3.2°C 。”显然，我们必须付出更多努力。必须采取更有力的放矢、能真正付诸行动的方法来加速脱碳。这些方法往往需要被整个行业都采用，例如，有时在不同行业面临相同的挑战时，可能需要一种更为统一的跨行业的方法。则需进行协调一致的跨行业合作。

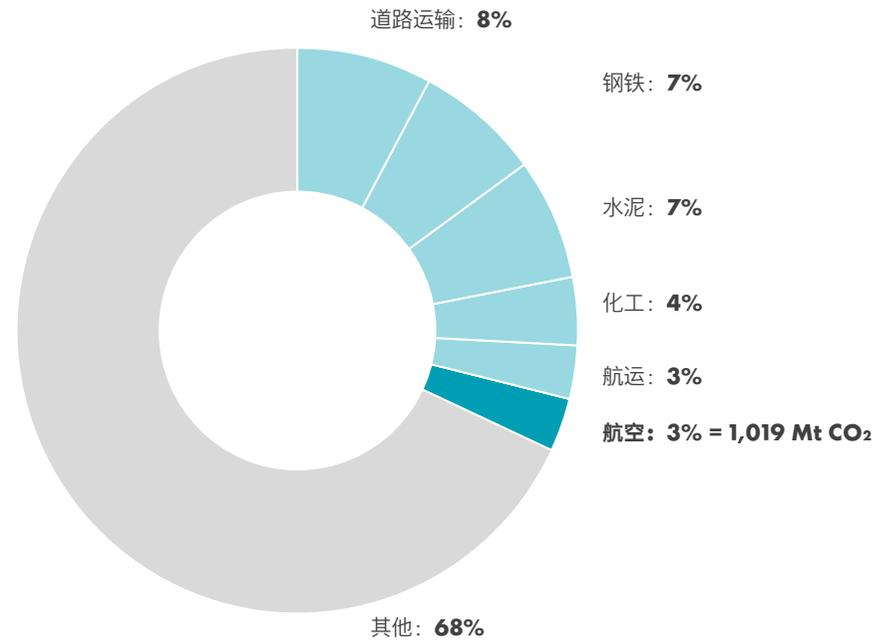


难减排行业脱碳

有六个难减排行业：道路运输、钢铁、水泥、化工、航运、航空。据国际能源署（IEA）估计，2019年全球大约32%的碳排放来自于这些行业（请参阅附件06）。这些行业的共同点有：资产寿命周期长，能源依赖度高，电气化难度高等。因此，相比能源系统中的其他参与者，这些行业脱碳的技术要求更苛刻，成本更高昂。随着其他行业的脱碳速度不断加快，难减排行业面临的压力和关注可能将增大。

虽然包括《巴黎协定》在内的大多数减排目标，都侧重于导致全球变暖的碳排放，但影响全球气候的也并非全是二氧化碳排放。在航空业，这些排放包括氮、硫、烟尘和飞行云的形成等。它们对气候的影响非常复杂，尚不确定该如何量化⁴。因此，在认识到我们需要更深入地了解导致全球变暖的所有因素的同时，本次调研侧重于如何减少航空业的二氧化碳排放，即如何脱碳。

六个难减排行业总共占据全球32%的碳排放



资料来源：IEA（2021）

航空业的二氧化碳排放

我们的现状：航空是世界经济、全球繁荣和国家发展的根本。

航空可极大地促进国家的社会经济发展。该行业所支持的世界GDP达到3.5万亿美元，占全球GDP总量的4.1%⁵。如果航空业是个国家，它的GDP则排在世界第17位⁶。几十年来，以收入客公里（RPK：付费旅客的旅行距离）计算的航空业务量逐年增长。这些增长是由商业全球化和世界大部分地区日益繁荣的经济带来的。

除了以上所述的益处外，航空业还推动了全球旅游业的兴起，而全球旅游业贡献了约10%的全球GDP⁷。航空业让世界各地的人相聚到一起，帮助促进文化交流，并为全球运送商品和服务。它直接支持1,100万个工作岗位，如航空公司和机场；间接支持1,800万个工作岗位，如燃料供应和基建⁸。

航空业还为抗击新冠疫情提供了重要的物流支持。闲置飞机经过改装，用于运输个人防护用品、疫苗及其他必需物资到世界各地，帮助抗击疫情。

新冠大流行所带来的不便极大地扩展了远程工作的可能。然而，疫情封锁也让许多人强烈地意识到人际交往的需要，以及航空旅行可以让他们与亲人朋友团聚。

一些质疑该行业的组织，如“飞行羞耻运动”给人造成的印象是，减少航空业对全球变暖的影响的方法就是完全停止飞行。这些运动往往忽略了航空业给个人和国家带来的重大经济效益。研究参与者指出，将过多注意力集中在避免飞行上的意外后果，可能是不重视开发减少与飞行有关的排放所需的解决方案。



我们的现状：中长途航班的客运量占87%，排放量占81%。

约11%的世界人口（约8亿人）乘坐飞机⁹。平均而言，每人每年乘坐5到6次飞机，这意味着航空业每年运输的旅客达到约45亿人次。按排放量和RPK计算，这些客运航班占航空业务量的85%¹⁰（请参阅附件07）。剩余15%的排放来自货运航班。

1,000公里以下的短途航班占航空客运量的13%（请参阅附件08），占总排放量的19%。短途航班的排放强度最高，因为每次起飞都需要大量能量进行爬升，爬升的能耗很多时候占飞行总能耗的一半以上¹¹。但大多数排放（81%）都来自中长途航班。

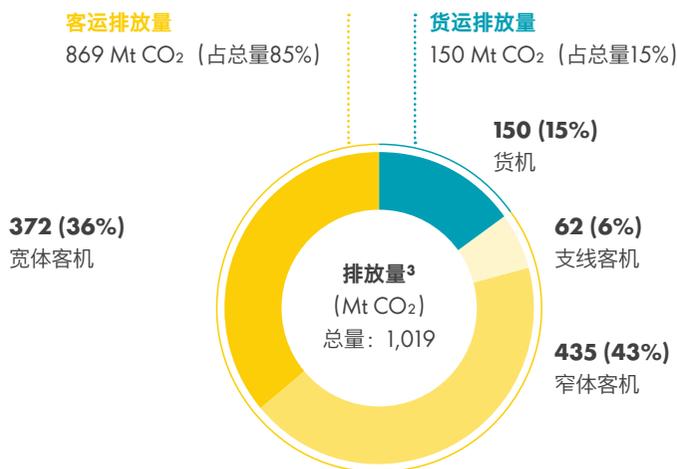
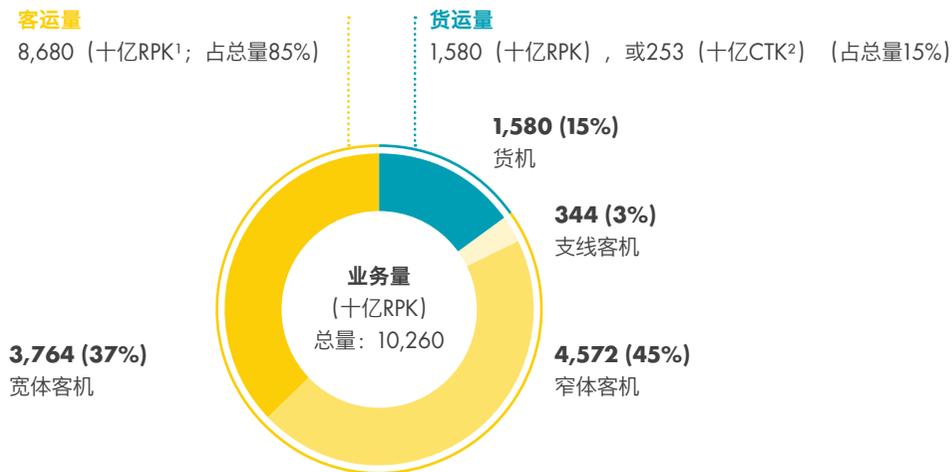
在有些国家，火车可作为一种替代短途航班、更环境可持续的选择。一些政府最近出

台了法规，鼓励改用其他交通工具，业内称之为“方式转变”。例如，法国禁止了高铁可达的国内短途航班。奥地利和德国也宣布了取消部分国内短途航班让位于铁路交通的计划。

但在大多数低收入国家，以及许多收入较高的国家，铁路网络尚不够发达，无法支持从飞机到火车的旅行方式转变。在少数地方，如日本、中国和西欧部分地区等，高铁只是少数线路上的一种选择¹²。

距离越长，替代航空的选择越少。乐观地估计，从航空转到铁路仅能减少约4,500万吨碳排放¹³，约占全球客运排放量的5%。一位航空公司代表指出：“方式转变在某些国家受到了很大关注，但其全球影响微不足道。”

07 全球航空业务量和排放量（2019）

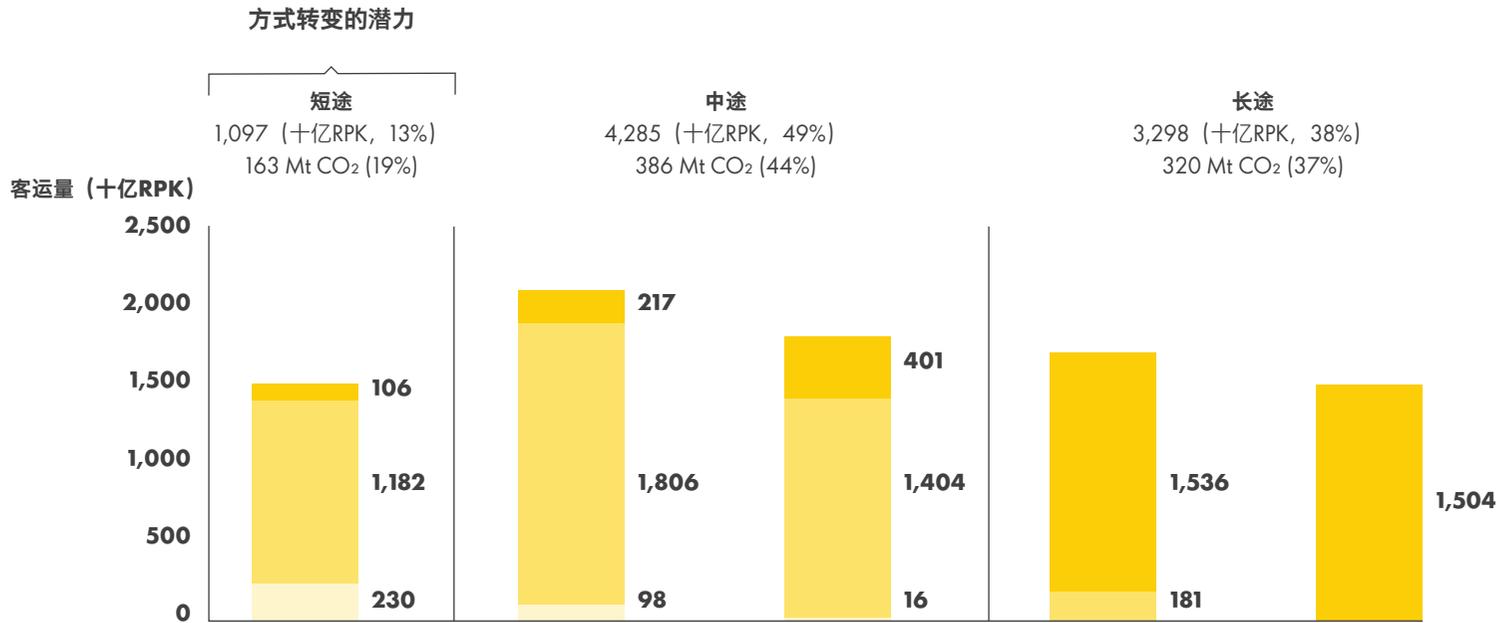


资料来源：ICCT（2020）；IEA（2021）；德勤分析

说明：（1）RPK = 收入客公里，代表付费旅客的旅行公里数；（2）CTK = 货运吨公里，根据160千克的旅客等效货物质量（PEFM）估计，一吨除以160千克等于6.25，因此1 CTK等于6.25 RPK（Chandra et al., 2014），含腹舱货物，不含行李；货机未进行机型划分；

（3）百万吨二氧化碳

08 按飞行距离计算的客运量 (RPK) (2019)



航线距离 (km)	0-1,000	1,001-2,000	2,001-4,000	4,001-8,000	8,001-15,000	总计
航线示例	伦敦-柏林	伦敦-罗马	伦敦-贝鲁特	伦敦-纽约	伦敦-雅加达	
十亿RPK	1,097	2,222	2,063	1,790	1,508	客运量 = 8,680 (十亿RPK)
排放量 (Mt CO ₂)	163	210	176	170	150	客运排放量 = 869 Mt CO ₂
排放强度 (g CO ₂ / kRPK ¹)	149	95	85	95	99	

■ 宽体
■ 窄体
■ 支线

资料来源: ICCT (2020) ; IEA (2021) ; 德勤分析
 说明: (1) g CO₂/kRPK代表每千收入客公里的二氧化碳排放克数

我们的方向：随着人口和经济的增长，航空业务量到2050年预计将增长一倍以上。

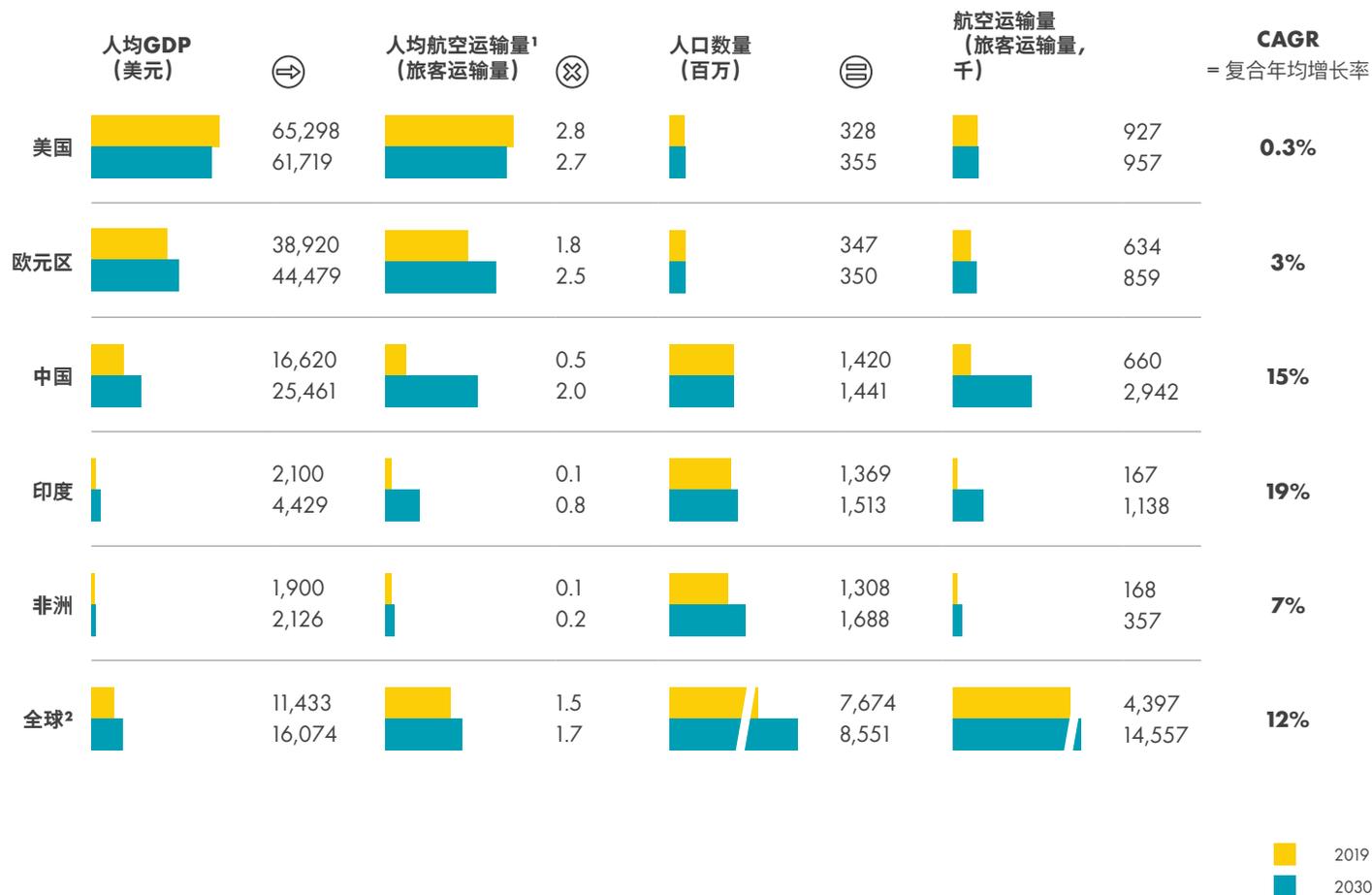
航空业务量增长是导致该行业排放增加的根本原因。航空业务量历来与人口增长和经济活动同步增长。过去30年，随着许多人摆脱贫困成为中产阶级——尤其是在亚洲，商务旅行和休闲旅行都在增加。

新冠大流行导致航空旅行显著减少，但预计不会对航空业务量造成持久影响。大多数观察员认为，随着疫情后全球经济复苏，航空业务量未来几十年将会增长（请参阅附件09）。在人口和经济增长最为显著的亚洲和非洲，航空业务量的增长可能最大。¹⁴

未来几十年，所有地区都将出现增长，尤其是在中产阶级不断壮大的地区。

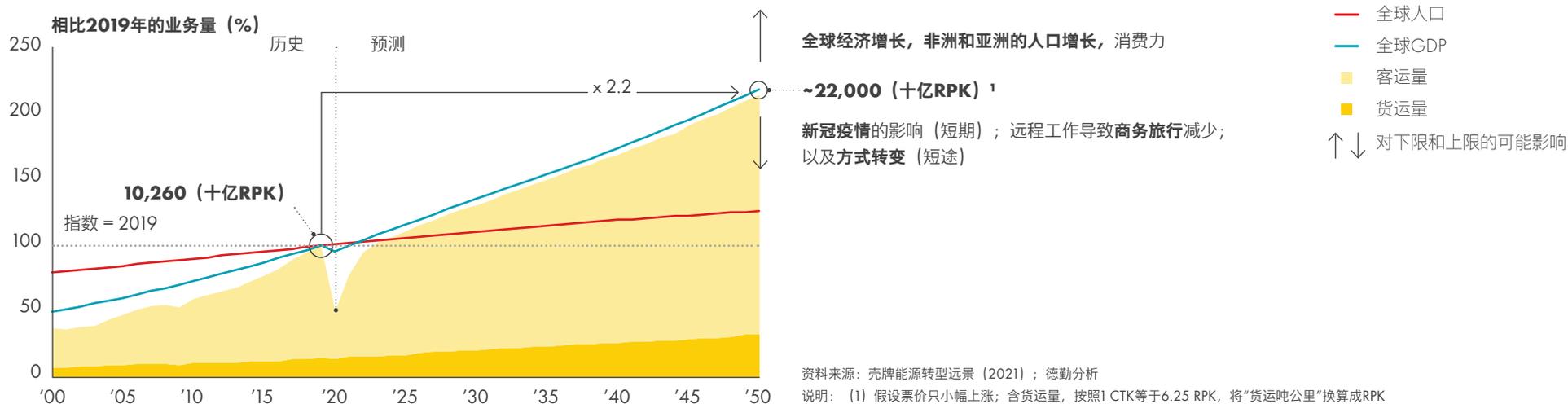
发动机制造商

09 航空旅行量的驱动因素 (2019 vs. 2030 (预测数据))



资料来源：非洲经济展望 (2021)；彭博社 (2019)；OECD (2021)；Statista (2021)；世界银行 (2021)；德勤分析
 说明：(1) 人均航空运输量基于所有国家的平均历史趋势线预测；(2) 全球平均人均GDP 和人均航空运输量，以及全球总人口数和航空运输量

10 航空业务量增长预测 (指数, 2019 = 100)



一个相对保守的观点是, 未来30年, 航空客运量将比2019年增加一倍以上, 到2050年将达到约22万亿RPK (请参阅附件10)。“发达”国家和“发展中”国家都能对这一增长做出贡献; 发达国家尚未显示出饱和迹象, 而在发展中国家, 收入水平较低的人开始乘坐飞机。

对航空业务量的长期预测并不一致。例如, 国际能源署预测航空业务量到2050年将达到15.6万亿RPK, 而航空运输行动小组 (ATAG) 预测的是20万亿RPK。预测结果的差异主要源自对疫情对旅客行为的影响的预测不同。

由于疫情期间已经习惯了远程工作和数字会议, 商务旅行恢复速度预计相对较慢。休闲旅行恢复速度预计更快。一位行业协会高管表示: “人们渴望旅行。一旦疫苗开始发挥作用, 限制解除, 世界许多地区明年可能恢复正常。”随着疫情旅行限制的解除, 休闲旅行需求的不断增长, 可能帮助该行业迅速恢复到疫情前水平。

我们的方向: 若不采取行动, 则随着航空业务量的增长, 预计到2050年排放将增加一倍

以上。行业目标将无法实现, 距离净零排放将很遥远。

航空业已制定两项国际适用的减排目标。

联合国国际民航组织 (ICAO) 已制定自2020年起实现碳中和增长的目标。该目标将通过全球“国际航空碳抵消和减排计划” (CORSIA)¹⁵来实现。

国际航空运输协会 (IATA) 已做出到2050年净排放相比2005年减少一半的承诺。这相当于相比2019年减少65%的净排放。

许多受访者表示, 鉴于社会对能源转型的期望越来越高, 这些目标还远远不够。他们认为, 航空业应像许多其他行业一样, 到2050年实现完全碳中和 (净零)。

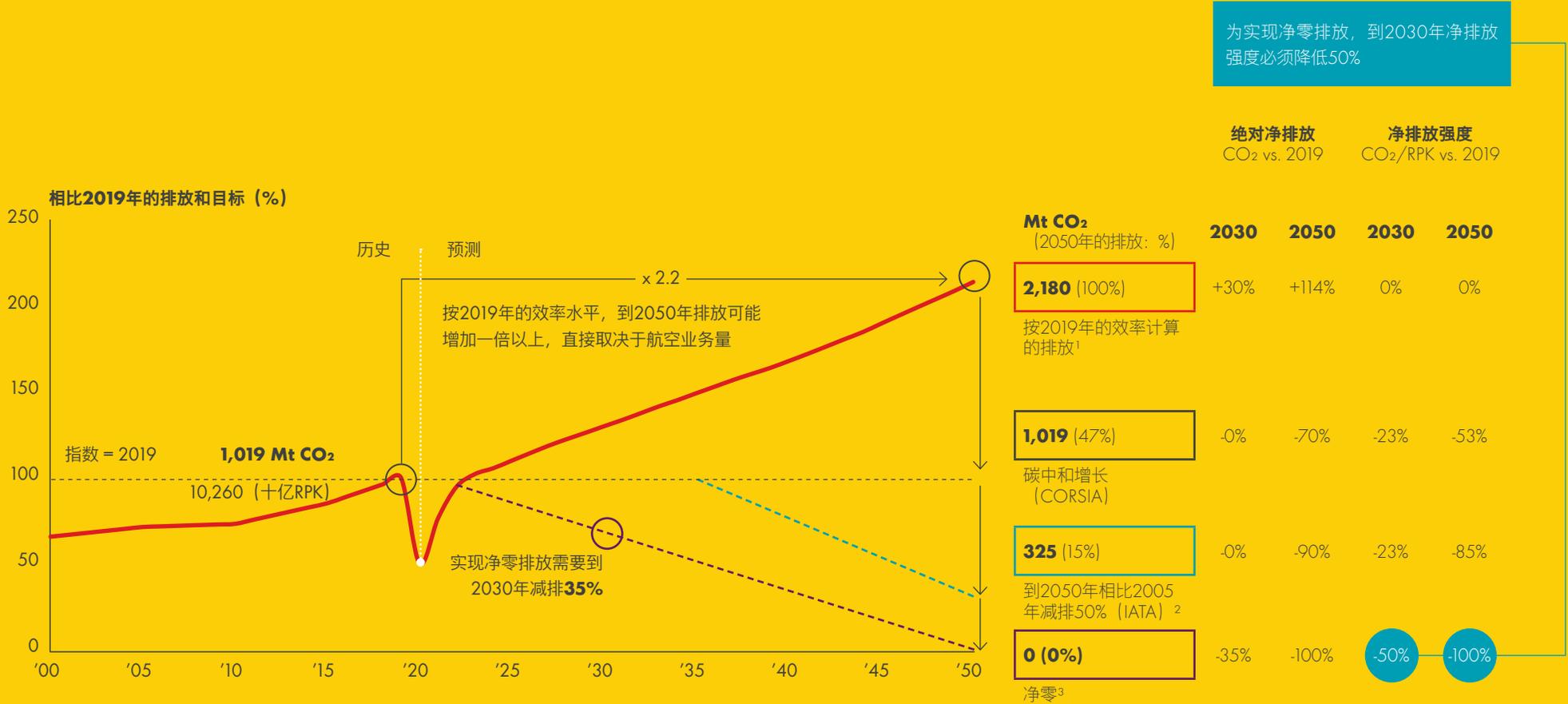
提高航空效率的主要动机一直以来都来自于经济。降低油耗可使运营成本降低。减少排放往往被视为效率提高所带来的额外益处。传统上, 实现效率提高的主要方法是机队更新, 即更换航空公司的机队。例如, 由于空气动力学特性改进、轻量构造和发动机更高效, 波音787梦幻客机比其前身 (如767) 燃油效率提高了20 - 25%¹⁶。



但受访者表示，未来几十年内，提高效率对总排放的影响较小，因为它们的影响将被日益增长的航空业务量掩盖。按照当前的效率水平，在燃料结构无根本性改变的情况下，预计未来30年航空业的绝对排放将比疫情前增加一倍以上（请参阅附件11）。一位机场运营商表示：“燃油效率产生的影响已被航空业务量的增长所掩盖。重要的是绝对排放，而非相对排放。”

若继续按照当前的形势发展，则到2050年与净零排放的差距可能高达21.8亿吨CO₂。换言之，这相当于印度2018年的碳足迹（26.5亿吨CO₂），而印度是仅次于中国和美国的全球第三大碳排放国¹⁷。航空业若想在2050年实现净零排放，到2030年必须将绝对净排放减少35%，将净排放强度降低50%。

11 航空排放预测和目标 (以2019年为基准, Mt CO₂ = 1,019)



资料来源: IATA (2021); ICAO (2019); 壳牌能源转型远景 (2021); 德勤分析

说明: (1) 按2019年的效率计算的排放取决于航空业务量; (2) 由于在2035年之前需要同时致力于CORSIA的碳中和增长, 故IATA的目标从2035年开始; (3) 假设实现净零目标的路径从2022年排放水平开始, 以防后期的减排负担加重

我们的现状：航空是个高度集中的行业，这意味着它更容易加快脱碳进程。

仔细研究全球的航空机队可以发现：

- 最大的两家发动机制造商占据约75%的市场份额；
- 最大的两家飞机制造商拥有90%以上的市场份额；
- 排名前25位的航空公司几乎占据全球航空业务量的一半；且
- 在全球的10万家机场中，排名前25位的机场几乎占据收入客公里（RPK）和排放的一半。

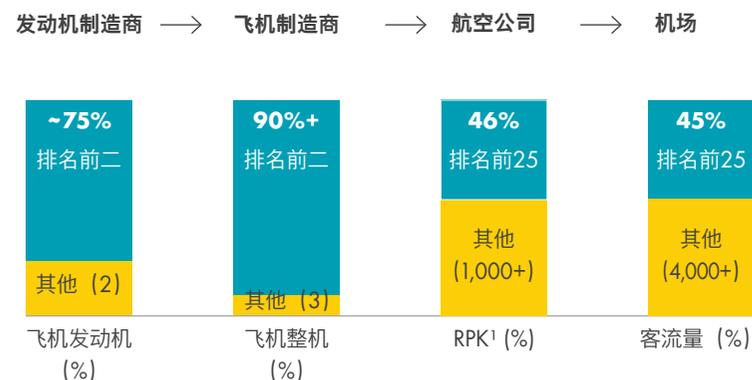
这意味着，就制造、资产所有权和排放而言，航空是个高度集中的行业（请参阅附件12）。

许多调研参与者表示，这种高集中度可以帮助航空脱碳。在供应侧，主要发动机和飞机制造商、机场和航空公司占据高市场份额，使得可以相对快速地做决策，并产生重大的全球影响。

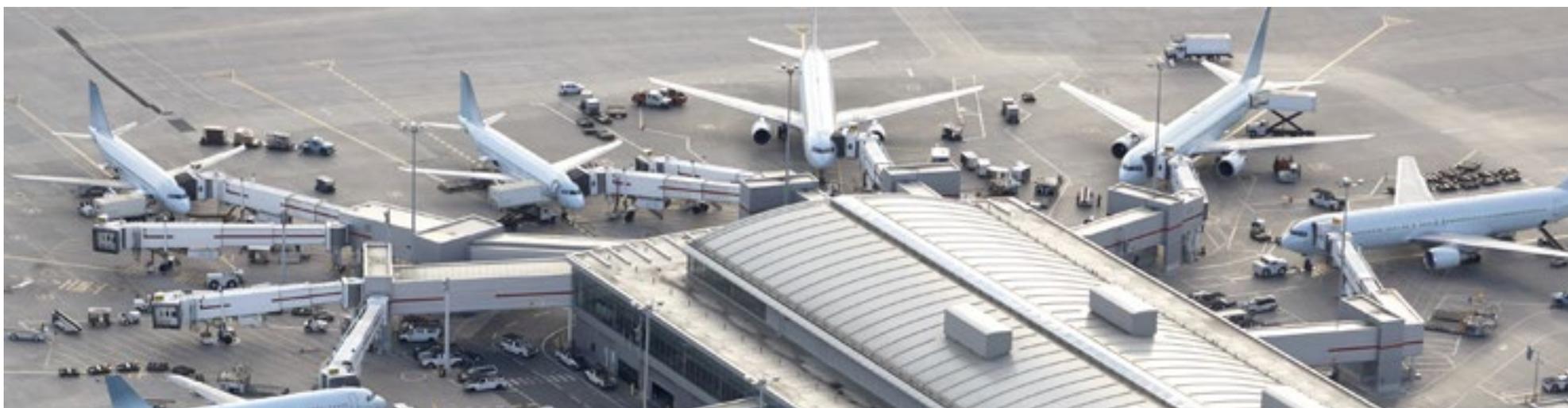
在需求侧，排放主要来自飞行常客。在全球约8亿名航空旅客中，1.5亿至3亿人贡献了大约一半的航空排放（请参阅附件13）。

对该旅客群体的财务和行为支持，对于帮助航空脱碳尤为重要。

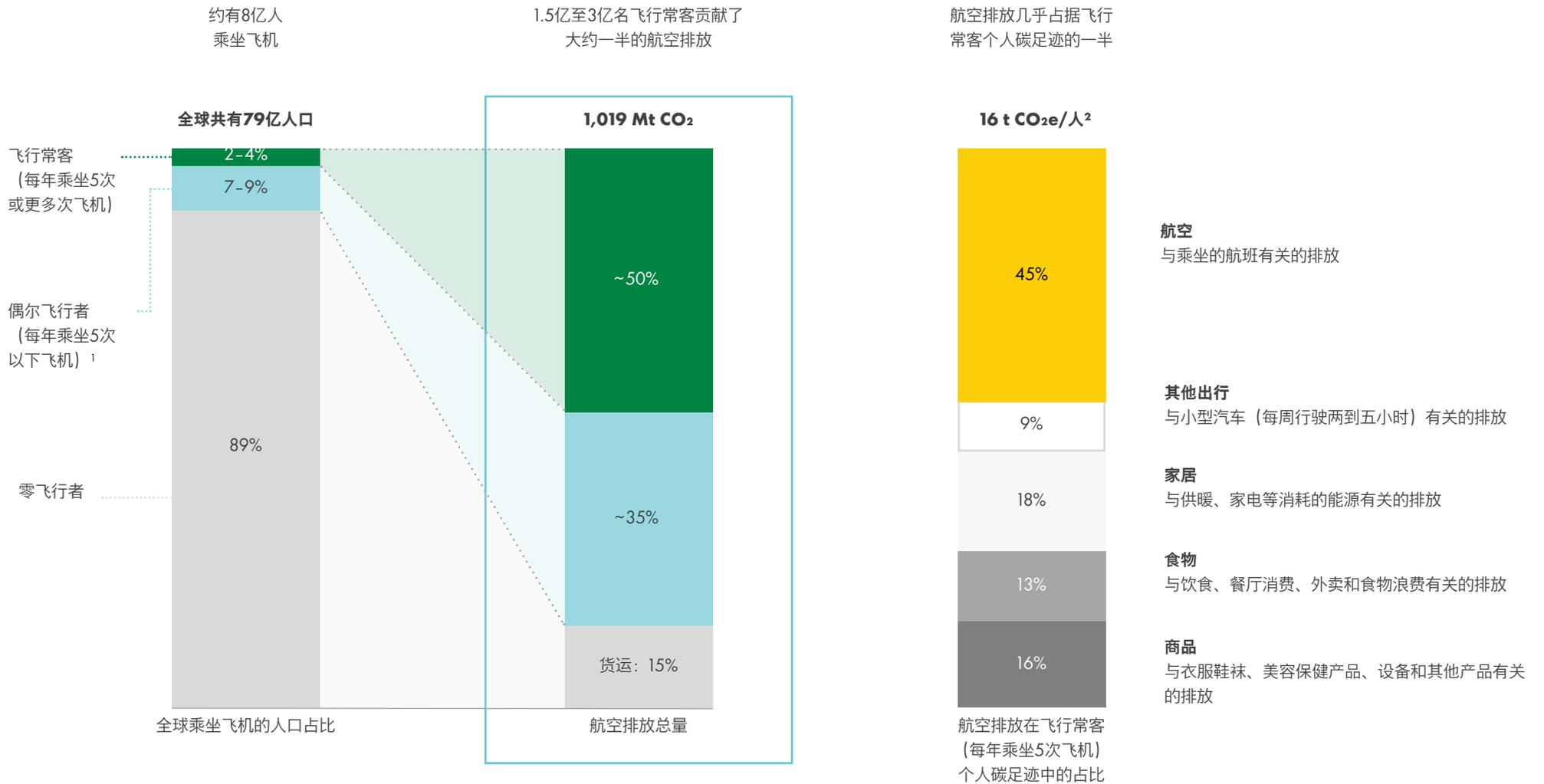
12 航空业的市场份额



资料来源：IATA (2020) WATS+；ICAO (2016) 空中航行报告；ICAO (2019) 年度报告；RoutesOnline (2019) 全球最忙航线；Statista (2020) 发动机制造商市场份额；Statista (2020) 制造商交付至全球机队的飞机数量；ICCT (2020)；德勤分析
说明：(1) 含货运量，按照1 CTk等于6.25 RPK，将“货运吨公里”换算成RPK



13 旅客和排放的集中度 (举例)



资料来源: 航空中心 (2015); Gössling and Humpe (2020); ICCT (2019); UNFCCC (2020); WWF的碳足迹计算器 (2021); 德勤分析说明: (1) 偶尔飞行者包括每隔几年坐一次飞机的人; (2) 基于英国公民, 单位: 二氧化碳当量的吨数

减少航空排放的方法

我们的现状：行业知道如何减少航空排放，且必须增加使用目前已有的选择。否则将无法在剩下的时间里充分地解决气候变化问题。

行业利益相关者希望可持续航空燃料、效率提升和大幅增加高质量碳抵消的使用，能为2050年之前的减排发挥关键作用（请参阅附件14）。

转向电池或氢燃料等替代推进技术，比从煤油转向可持续航空燃料困难得多。一位飞机制造商表示：“需要几十年来重新设计飞机，并转向新的零排放技术。”

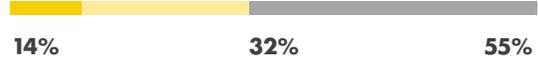
煤油飞机系统用了50多年才达到目前的性能水平和可靠度。基于电池或氢燃料的新系统要达到类似的性能和可靠性需要几十年时间，且有时还无法成功。

对于电动飞机，必须大幅改善电池重量和体积限制，以达到与煤油喷气燃料相同的能量密度。这可能导致其不适合承担中长途旅客运输任务。同样，即使被压缩成液体并储存在零下250°C，液氢体积也是煤油喷气燃料的4倍¹⁸。一位制造商表示：“氢的处理和储存是个严峻挑战。燃料电池根本无法扩展以支持长途飞行，直接燃烧技术需要数年来开发。”

一位行业协会高管认为旅客和监管机构的担忧也可能延缓新技术的采用：“即使新技术已准备就绪，出于安全考虑，它也可能不被社会接受或监管机构批准。”



14 航空减排选择

脱碳选择	描述	对于2050年之前的脱碳影响的行业观点	适用性	看法 (以2050年之前为基准)
 效率提升	改进设计和运营以减少油耗	 55% 35% 10%	所有航班	重要选择, 但影响会逐渐减弱
 可持续航空燃料	用产自可持续原料的燃料替代基于化石燃料的煤油	 78% 20% 2%	所有航班	未来30年的 主要脱碳选择 ; 能在 现有飞机中使用
 碳抵消	投资本行业以外的减排或脱碳项目	 50% 29% 21%	所有航班	可在其他选择达到规模化之前发挥重要作用
 氢燃料	(低排放) 氢燃料燃烧, 和/或通过燃料电池转化为电能	 14% 32% 55%	中短途航班	需要低温储存和新的机身设计。开发、确保安全、认证和大规模部署所需的 时间长
 电池	若使用绿电充电, 则是零排放的电动推进技术	 12% 14% 73%	短途航班	受限于电池重量和体积, 只适用于 超短途航线
 行为改变	通过远程工作和方式转变减少航空需求	 15% 25% 60%	所有航班	任何行为改变 所产生的影响, 都有可能被 整体人口和经济增长 所掩盖

■ 重大影响 ■ 中等影响 ■ 有限影响

资料来源: 德勤分析

给使用替代技术带来挑战的另一个因素是业内所称的“基础设施锁定效应”。现有的基础设施可以用于可持续航空燃料, 但必须为氢燃料飞机和电池电动飞机构建新的加油或充电能力。

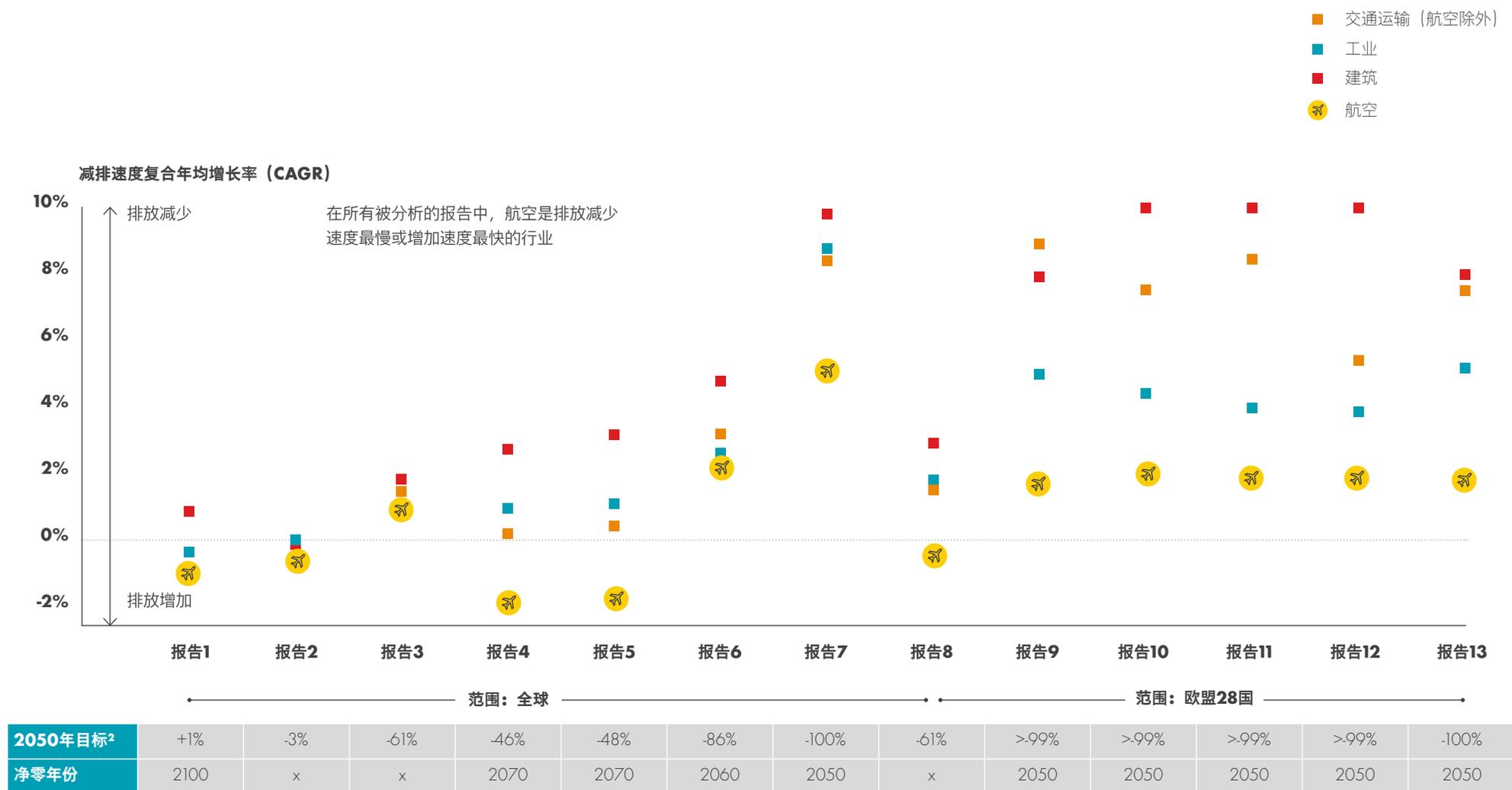
一切都是围绕如何将液体燃料加入飞机中而构建。任何其他技术都将是个棘手的难题。

航空公司高管

这些阻碍意味着, 航空业若想及时地脱碳, 就不能坐等新技术的出现。要想在未来二三十年内取得重大进展, 航空业必须加大使用目前已有的选择。它应大幅扩大可持续航空

燃料的部署, 使用更多高质量的碳抵消, 并寻求进一步的效率提升。与此同时, 航空业也必须致力于开发新技术, 为更长远的未来做准备。

15 在之前的行业报告中，航空与其他行业之间的脱碳速度对比¹



资料来源：IEA（能源技术视角 - 2017, 2050净零排放 - 2021）；壳牌（“天空”远景 - 2018, 能源转型远景 - 2021）；欧盟委员会（为所有人创造一个清洁地球——将欧洲建设成为繁荣、现代、有竞争力和气候中和经济体的长期战略愿景 - 2018）；欧洲气候基金会（2050净零排放：从能否实现到如何实现的转变 - 2018）；德勤分析

说明：（1）CAGR基于排放从基准年到2050年的减少或增加幅度。不同报告所采用的基准年不同；（2）所有行业而不只是航空业的目标

1. 调研的重要发现

由于航空业的复杂性和航空业“仅占全球碳排放3%”的观点，航空通常被认为是一个不需要优先脱碳的行业。但现在有必要立刻采取行动。

总体而言，航空排放仅占全球碳排放总量约3%¹⁹。由于占比相对较小，加之普遍认为航空脱碳难度高，往往导致它对帮助世界实现净零排放的作用不受重视。主要脱碳报告和远景对航空的重视度都低于其他行业（请参阅附件15），且政策举措通常也将航空排除在外。例如，欧盟于2005年推出排放交易体系（ETS），直到7年后也就是2012年才纳入航空业的碳排，且只考虑欧盟境内航班的碳排放²⁰。

在改变航空业对全球碳排放的贡献相对较小的看法之前，很难为航空脱碳创造所需的条件。一位NGO代表指出：“政策制定者和业内人士以航空排放相对较低为借口推迟行动。”几位高管表示，若能更明确地指出，随着其他行业脱碳速度的加快，航空业到2050

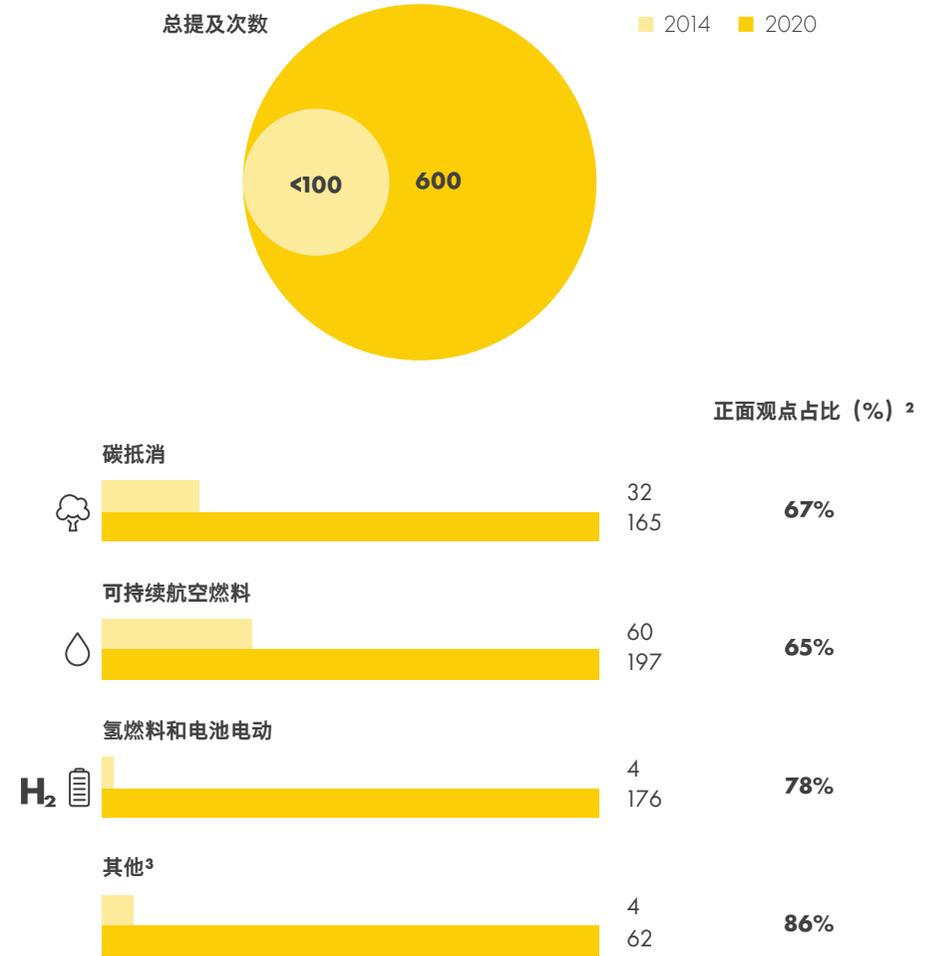
年的碳排可能占据全球排放总量高达22%²¹，则紧迫感可能更强。

若到2050年航空排放占据全球排放总量的四分之一，社会还能允许它继续经营吗？

航空公司高管

有迹象表明，对航空的关注正在增加。近年来，科学期刊中提及航空脱碳的次数增加了6倍以上（请参阅附件16）。社会运动迫使航空排放被提上议事日程²²。业内外人士都意识到航空业需要立即采取行动。一位航空公司高管表示：“脱碳的压力只会不断上升。如果现在不采取行动，我们会落后。”

16 主要科学期刊和文章中对航空脱碳方法的提及次数¹



资料来源：新闻稿；德勤分析

说明：（1）在被分析的不同文章中，提及航空脱碳的文章在2014年的占比小于2%，在2020年的占比约为4%；（2）代表将特定主题归类为“可取”的文章占比（基于自然语言处理技术）；（3）代表提及次数较少的主题（如“飞行羞耻”）和将提到的主要脱碳选择放在一起讨论的文章（如同时探讨生物燃料和可持续航空燃料的文章）

僵局：脱碳阻碍



脱碳准备情况：总结

根据在与行业高管和专家的采访和研讨会中收集的意见和建议，我们制定出一套系统的方法来评估航空业的脱碳准备情况。通过聚焦于三个核心问题（请参阅附件17），本研究采取全面的、涵盖全行业的方式来研究脱碳。

它将通常看上去无法解决的问题分解成能够解决的具体问题。基于受访者的各种不同反馈，我们从六个方面来评估航空业的脱碳准备情况。

在评估中得出的大多数结论都能全球适用。航空业高度标准化和集中，这意味着全球的脱碳阻碍因素在许多方面是一致的。但也存在地域差异。有些地区（如欧洲和加利福尼亚）的脱碳进程略微领先，尤其是在市场和客户需求及监管激励方面。为了能从迄今已取得的进展中总结经验，本报告中的案例研究都以这些更领先的地区为主。



17 脱碳准备框架

框架问题	框架因素	因素描述
航空业为何应当改变？ 考虑可能促使利益相关者行动起来的因素。	1. 市场和客户需求	来自社会、客户、金融机构和投资者的压力和激励，能为飞机、发动机和推进系统制造商、业主和运营商投资低排放技术创造动力。
	2. 监管激励	地区和地方监管机构所运用的手段。这其中可能包括补贴和减税等激励手段，以及罚款、碳信用额度和碳税等反向激励手段。
航空业能否改变？ 考虑脱碳在可预见的未来是否具备可行性。	3. 技术一致	替代燃料和其它低排放技术的技术与商业可行性，及发展路径是否明确。
	4. 角色和决策明确	做决定是否容易，任务职责是否明确，以及行业中的关键利益相关群体所关注的重点是否一致。
航空业能以多快的速度改变？ 考虑实现全面变革所需的努力程度。	5. 资产更新换代的容易度	如何完成机队的更新换代。这取决于成本、复杂度和寿命，开发替代技术的速度，以及替代技术对机队运营的影响。
	6. 基础设施更新换代的容易度	如何实现绿色燃料的规模化生产，并将它们交付给机场，且准备充电或加油基础设施。所需的产能越高，基础设施越分散，挑战也越大。



总体而言，因为能够使用掺入型燃料，航空业的脱碳准备较为积极。但当前的脱碳努力面临着阻碍。

为了加速航空脱碳，该行业必须共同认识到并同意立即采取行动的迫切需要。主要有四个阻碍：

- **目标不够激进**，未得到当地法规的支持，且受国际一致性需求的约束。这造成整个价值链普遍持观望的态度。
- **可持续航空燃料成本过于高昂**，许多业内人士表示不确定如何降低成本，并担忧原料供应能力。
- **休闲旅客不愿意承担低排放解决方案的成本**，因为他们总是期望买到便宜的机票，而不认为自己应对排放负责。
- 对碳抵消的质量、透明度和宣传**有顾虑**，导致碳抵消的使用有限。

这些阻碍因素被受访者提及的频率最高。他们也指出了与上述的脱碳准备框架中所列的其他因素有关的阻碍。

2. 调研的重要发现

航空业面临一些脱碳阻碍，主要包括：

- 目标不够激进；
- 可持续航空燃料成本过于高昂；
- 休闲旅客不愿意承担低排放解决方案的成本；且
- 对碳抵消有顾虑。

一位制造商表示：“如果没有资产、基础设施、政治支持和客户的意愿，一切都无法进行。所有这些要素缺一不可，且相互之间必须协调一致；我们必须在所有这些方面共同努力。”

在与来自世界各地的行业高管和专家召开的研讨会中，我们进一步地提炼了这些阻碍因素。结果汇总在附件18中。后面的章节将更详细地阐述六个框架因素及相关阻碍。

18 航空脱碳阻碍¹

框架问题	框架因素	参与者对阻碍因素重要性的看法	主要阻碍
航空业为何应当改变？	1. 市场和客户需求	60%	<p>由于利润低，价格竞争激烈，航空公司难以承担额外成本。他们还需要偿还新冠大流行期间累积的巨额债务。</p> <p>休闲旅客不会自愿为低碳解决方案买单，因为在他们看来航空旅行已被极大的商品化，他们不认为自己应对排放负责。</p> <p>疫情发生后商务旅客所占份额可能下降，导致航空公司利润遭到更大压力，这可能使所有旅客的成本上升。</p>
		90%	<p>全球目标不够激进，距离净零非常遥远，且到本世纪20年代末才生效，使得立即采取行动的压力减弱。</p> <p>没有监管机构对航空公司、设备制造商或燃料供应商的激励来支持目标实现。</p>
	3. 技术一致	30%	<p>取决于所属类型，可持续航空燃料比传统航空燃料昂贵2-8倍。由于可持续性方面的担忧和需要与其他行业竞争，生物可持续航空燃料存在结构性原料限制。</p> <p>对碳抵消的质量、透明度和宣传的顾虑，导致碳抵消的使用受阻。</p>
		4. 角色和决策明确	30%
航空业能以多快的速度改变？	5. 资产更新换代的容易度	30%	<p>由于存在航空公司携带额外燃油飞行及机场运营和商业安排复杂化的风险，机场和燃料供应商担心要求非同等地增加可持续航空燃料掺入比所引发的反应。</p> <p>按照目前的更新速度，机队升级为更高效的飞机需要几十年。</p>
		6. 基础设施更新换代的容易度	60%



说明：（1）基于作为掺入型燃料的可持续航空燃料。资产更新换代的容易度和基础设施更新换代的容易度，更多是阻碍电池电动飞机和氢燃料飞机的因素；（2）“携带额外燃油飞行”是指飞机在价格便宜的始发机场加注过多燃油，以避免在价格昂贵的到达机场加油的费用。

市场和客户需求

任何脱碳行动首先要考虑的问题之一是如何筹集资金。无论旅客和货运客户是否支持脱碳的概念，他们都必须参与其中。但60%的受访者认为，不愿意为减排买单是必须克服的一个关键障碍。这是由许多因素造成的（请参阅附件19）。

业界观点：由于利润率低，价格竞争激烈，航空公司难以承担额外成本。他们还需要偿还新冠大流行期间累积的巨额债务。

航空业一直以来利润率都很低，这使其更难承担脱碳的成本。

航空是个全球性行业，有许多公司提供类似的服务，竞争非常激烈。这种竞争主要是提供最低票价，而非差异化服务。该行业的运营模式和动态价格机制，旨在实现资产利用率最大化，确保上座率和飞机不闲置。这些通常被放在盈利前面。产生的收益通常用于扩张性投资，以保护市场份额，而非利润。结果导致航空公司净利润率结构性偏低，只有不到5%。²³

附件19

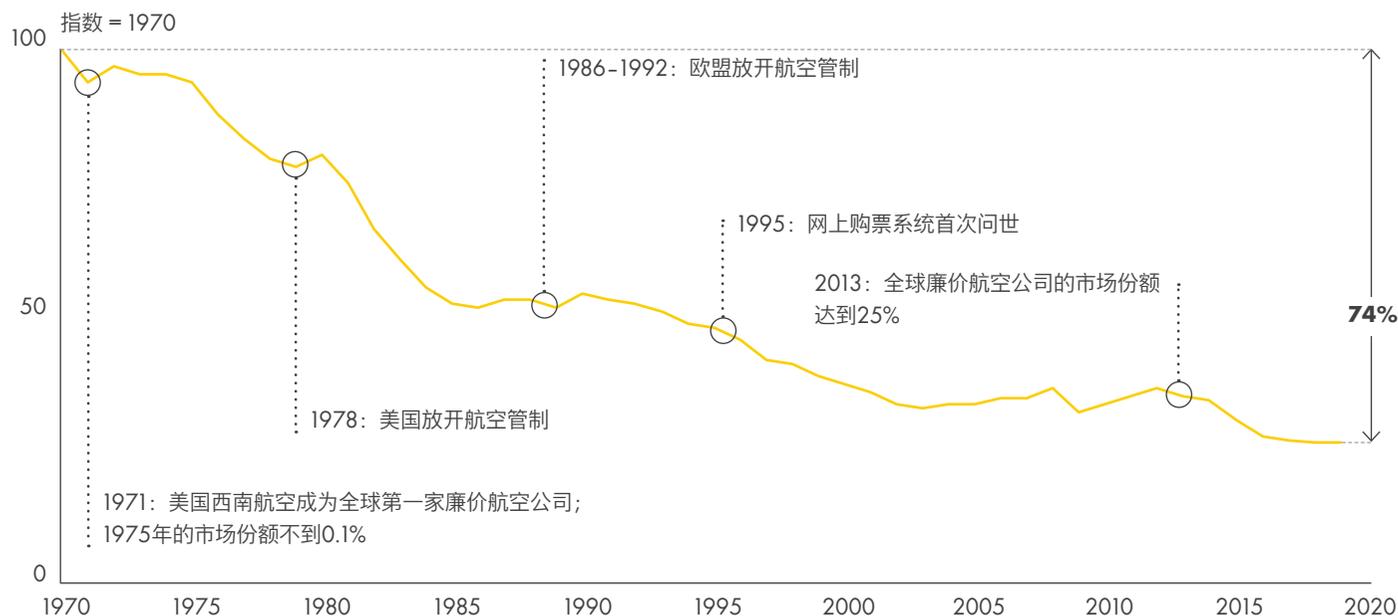
受访者见解

60%

60%的受访者认为，**缺乏市场和客户需求**是阻碍脱碳的重要因素之一。



20 平均机票价格的发展 (指数, 1970 = 100)



	1970 ¹	2017
伦敦至纽约	\$3,375	\$940
纽约至洛杉矶	\$1,442	\$278
米兰至巴黎 ²	\$480	\$70

资料来源: 阿拉斯加航空 (2016); ATAG (2021); 欧盟航空 (2017); 欧洲议会 (2020); IATA (2018); Statista (2021); 大西洋月刊 (2013); 交通地理期刊 (2015); 世界银行 (2021); 德勤分析说明: (1) 按2017年美元通胀率调整后的历史数据; (2) 1992年的历史价格数据

每个经济舱座位的行业平均利润是1美元, 使得很难再增加额外的成本。

航空公司高管

航空公司还因为新冠疫情背负起沉重的经营亏损和巨额债务。过去两年里, 由于政府援助和不断攀升的私人债务, 航空业总债务剧

增了2,200亿美元²⁴。一位行业协会代表指出: “疫情之后, 由于商务旅行减少, 以及需要偿还巨额债务 (国家援助), 航空公司的处境将更加艰难。”

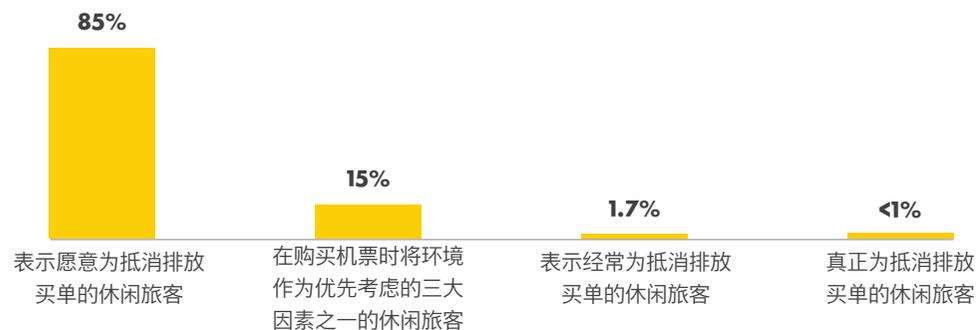
一些受访者表示, 航空公司可能需要从根本上改变它们的业务模式, 以寻求新的收入来源和差异化、可持续的价值主张。否则, 航

空公司可能无法承担转型的成本, 无法跟上社会的步伐。

业界观点: 休闲旅客不会自愿为低碳解决方案买单, 因为在他们看来航空旅行已被极大地商品化, 他们不认为自己应对排放负责。

过去40年里, 随着航空旅行从身份的象征变得近似日用品, 航空已变得更加便利; 机票价格自1970年以来已下降74%²⁵ (请参阅附件20)。这是由管制放开、某些航线的航班频次增加和廉价航空公司不断崛起等原因导致的²⁶。廉价航空公司的市场份额在2019年达到30%。

21 休闲旅客表明的购买碳抵消的意愿和实际表现



资料来源：旅客调查；采访

这使得客户对价格越来越敏感。正如一位来自研发机构的受访者所言：“价格和航班频次仍是休闲旅客考虑的主要因素。”

激烈的票价竞争使得航空公司不愿意将脱碳成本转嫁给旅客。同样，对价格敏感的旅客也不愿意通过购买碳抵消等方式来为支持脱碳而买单。

将额外的可持续发展成本转嫁给选择最便宜座位的旅客是很困难的。

来自研发机构的受访者

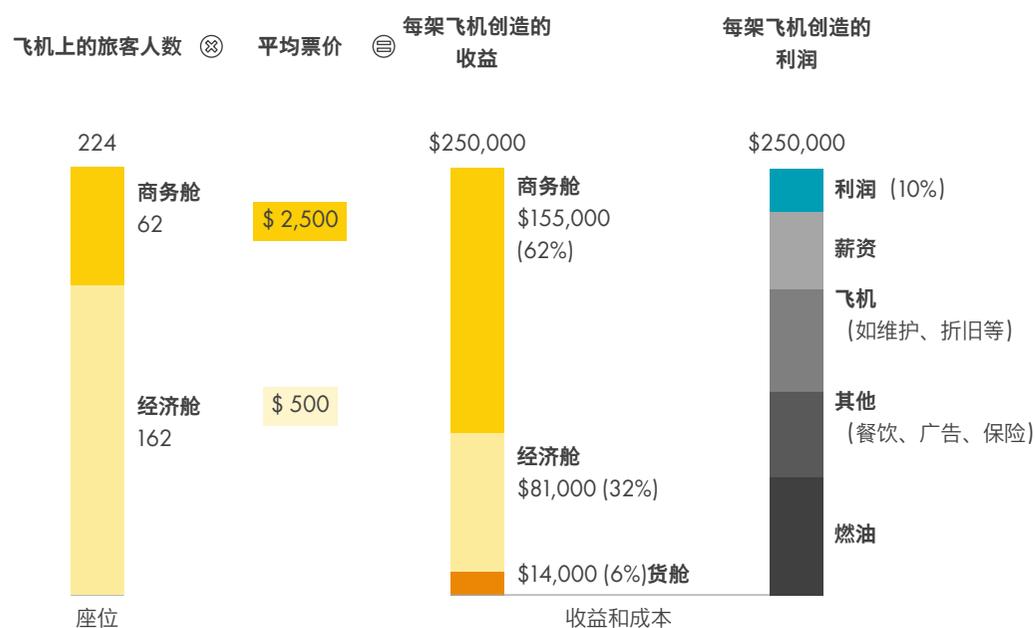
在本次调研中对全球6,000名旅客开展的调查似乎证实了这一点（请参阅附件21）。据业内人士称，尽管有85%的旅客表示他们愿意为抵消排放买单，但只有1.7%的旅客表示他们经常这样做，而真正这样做的人占比更小。

该调查还显示，只有约30%的旅客认为自己有责任承担减排成本。近三分之二的旅客表示，这完全是航空公司和飞机制造商的责任。这些发现表明，除了政策支持和航空公司的贡献，可能还需要与乘客进行更有效的沟通以及新的价值主张，来为脱碳努力提供资金支持。



22 商务旅行减少的经济影响（举例）

以从伦敦希思罗机场飞往纽约肯尼迪机场的典型波音777航班为例¹



资料来源: aircraftstats.com; Brons, Pels, Nijkamp & Rietveld, Tinbergen Institute (2002); BTS (2017); 福布斯 (2020); IATA (2008); 投资百科 (2021); 麦吉尔大学 (2017); 德勤分析
说明: (1) 不考虑副业收益; 所有数据已进行取整处理; (2) 按照1:2的比率, 75%的商务舱座位改为经济舱座位; (3) 同时维持当前的盈利水平

业界观点: 疫情发生后商务旅客所占份额可能下降, 导致航空公司利润率遭受更大压力, 这可能使所有旅客的成本上升。

疫情爆发前, 商务旅客贡献了航空公司约三分之二的收入; 因此, 商务旅行减少将对航空公司的利润率造成压力。

客为支持脱碳而支付额外费用的意愿进一步降低, 或者导致需求降低。

正如一位航空公司高管所指出的, 疫情后的商业模式重估可能会为“机票价格的结构性价估创造机会, 使其包含实际飞行成本。”

受访者预计, 商务旅行的疫情复苏所需时间长于休闲旅行。这是由远程工作的发展和大公司越来越多地做出减排承诺导致的。在疫

为维持盈利水平, 航空公司可能不得不调整旅客结构以及机票价格 (请参阅附件22 - 场景3)。机票价格普遍上调, 可能导致休闲旅

在某些情况下, 票价上涨甚至可能导致乘坐飞机的人数减少。虽然这在短期内对减排有积极的影响, 但并不利于为长远的航空燃料结构转型提供资金支持。更积极的意义是,

监管激励

航空业的全球性，加上世界各地采取不同的政治、政策和模式，使其成为一个很难监管的行业。

90%的利益相关者表示，缺乏足够的监管激励是阻碍脱碳的重要因素之一（请参阅附件23）。他们呼吁制定激进和强制性的全球目标，以及通过监管引导和激励提供更多支持。

业界观点：全球目标不够激进，距离净零非常遥远，且到本世纪20年代末才生效，使得立即采取行动的压力减弱。

许多行业利益相关者表示，不管是CORSIA通过将净排放稳定在2019年的水平来实现“碳中和增长”的目标，还是IATA将净排放到2050年相对于2005年减半的目标²⁷，都不够激进。

一些参与者强调，CORSIA的目标只在2027至2035年期间才对成员国具有约束力。一位航空公司高管表示，这造成了一种“**这些目标近期内不会产生任何实质性影响**”的印象。在缺乏普遍接受的全球和行业目标的情况下，一些国家制定了自己的目标，比如英国提出了到2050年实现国际航空净零的计划。这些国家的行动都是出于良好的意愿，但调研参与者表示，导致的结果可能是在这个复杂的全球性行业各自为政。一位航空公司代表指出：“**航空业不能处在真空中，必须被纳入全球和地区目标中。**”

业界观点：没有监管机构对航空公司、设备制造商或燃料供应商的激励来支持目标实现。

受访者表示，全球目标虽已制定，但缺乏所需的监管激励来支持目标的达成²⁸。

没有激励或未明确何时能有激励的目标，让行业参与者停滞不前。

航空公司高管

利益相关者指出，需要财务和非财务支持机制来推动可持续航空燃料和碳抵消的大规模使用。这些激励应解决来自多个角度的挑战，包括产能和基础设施支持，以及航空公司面临的燃油价差。

尽管有迹象表明将颁布可持续航空燃料掺入强制令²⁹，但这些机制无法或不足以使可持续航空燃料与传统煤油一样便宜。

附件23

受访者见解

90%

调研参与者认为，**缺乏监管激励**是阻碍脱碳的重要因素之一



技术一致

相比其他的难减排行业（如航运），航空业内部对于脱碳所需的技术解决方案更能达成一致。只有约三分之一的参与者表示，缺乏技术共识是重要阻碍之一（请参阅附件24）。换言之，虽然业内一致承认可持续航空燃料的核心作用，但对于经济性、采用速

度以及生物和合成可持续航空燃料的相对占比，仍有不确定性。此外，行业利益相关者认识到对碳抵消质量的担忧仍是个挑战。

业界观点：取决于所用的原料，可持续航空燃料比传统航空燃料昂贵2-8倍。由于可持续

性方面的担忧和需要与其他行业竞争，生物可持续航空燃料存在结构性原料限制。

未来二三十年里，航空业将把在现有机队中使用可持续航空燃料作为主要脱碳路径。

简言之，可持续航空燃料主要有两种类型（请参阅附件25）。一种是生物可持续航空燃料，原料为生物质，如农作物和农林废弃物等动植物材料，包括海藻和废弃动物油。另一种是合成可持续航空燃料，由低排放的氢气与二氧化碳反应制取。这些可持续航空燃料比传统煤油昂贵2-8倍（请参阅附件26）。

附件24

受访者见解

30%

调研参与者认为，**技术不一致**是阻碍脱碳的重要因素之一

25 可持续航空燃料的主要类型和行业观点

技术	原料	减排潜力 (%)	适用性	观点	
				到2030年	到2050年
生物可持续航空燃料	生物质	60-80% ¹	可作为掺入型燃料用于大多数现有的飞机	⊕ 拥有成熟的生产技术，如加氢处理酯和脂肪酸（HEFA）	⊕ 更多原料来源有待探索，生产技术有待发展
				⊖ 原料来源引发对可持续发展的新担忧	⊖ 供应有限，争夺农林用地，供应分散
合成可持续航空燃料	氢气、CO ₂ /CO	50-100% ²		⊕ 可以先用蓝氢 ³ 和通过碳捕获技术获得的CO ₂	⊕ 规划了许多大型氢能和碳捕获项目
				⊖ 最初的氢气供应量有限	⊕ 价格很快变便宜

资料来源：采访；ATAG（2020）；Clean Sky 2 JU和FCH 2 JU（2020）；IATA（2021）；IEA（2019）；Scheelhaase, Maertens & Grimme（2019）；世界经济论坛（WEF）的“清洁天空倡议”（2020）

说明：（1）使用纯生物可持续航空燃料时，减排潜力可达80%；（2）利用从空气中捕获的二氧化碳和绿氢合成时，可达到净碳中和；（3）蓝氢是用烃类制取，但通常通过碳捕获与封存（CCS）进行脱碳

26 航空燃料的经济分析，含碳排放成本



资料来源：绿氢生产商的预测；De Jong等人，生物燃料生产成本优化

说明：(1) 一般认为，从工业生产中捕获CO₂的成本由捕获主体承担；(2) 资本支出含CO₂活化装置（逆水煤气变换或CO₂电解）及合成装置（费托工艺）；(3) 2050年的CO₂成本为\$300/tCO₂，下限为50%（\$150/tCO₂），上限为200%（\$600/tCO₂）；(4) 煤油的碳强度：0.0715 tCO₂/GJ；生物可持续航空燃料的碳强度：0.0143 tCO₂/GJ（使用纯生物可持续航空燃料时，相比煤油的减排幅度可达80%）；基于CCU的合成可持续航空燃料的碳强度：0.03575 tCO₂/GJ（假设CO₂减排由CO₂捕获主体和最终排放主体均等分担）；基于DAC的合成可持续航空燃料的碳强度：0 tCO₂/GJ；(5) 下限以高碳价为基础，上限以低碳价为基础

在无任何政策激励的情况下，如果明天即将一架典型长途航班所用的煤油全部替换成可持续航空燃料，那么航空公司运营成本或票价将上涨30-200%。随着供需的增长，可持续航空燃料成本可能在几十年内达到与煤油持平的状态。

生物可持续航空燃料技术比合成可持续航空燃料技术更成熟。取决于所用的生产技术和原料，生物可持续航空燃料目前比基于化石燃料的煤油贵2-4倍。尽管一些人认为生物原料可能变得更便宜，但他们也认识到，由于土地使用要求，生物原料的供应可能会受到结构性限制，对粮食商品价格³⁰上涨有潜在的推动作用。这意味着能提供给航空业的生物可持续航空燃料数量有限。

大多数调研参与者认为合成可持续航空燃料是最佳的长期解决方案，但它的产量仍旧受限于可再生电力制取的低排放氢气的供应及相关成本。合成可持续航空燃料，若利用从工业过程（如炼钢）中捕获的二氧化碳，成本预计是煤油价格的5倍；若利用基于直接空气捕获（DAC）技术获得的二氧化碳，成本预计是煤油价格的8倍以上。

然而从长远来看，合成可持续航空燃料面临的结构性挑战预计将比生物可持续航空燃料

少。氢气产量预计将大幅增长，且氢气和二氧化碳价格预计将大幅降低。

合成可持续航空燃料最初很昂贵，但从长远来看，价格会迅速下降，最终可能比生物可持续航空燃料更便宜。

能源专家

两种可持续航空燃料与传统煤油的价差，也取决于是否对碳排放定价。随着碳价的发展，生物可持续航空燃料的成本到本世纪20年代末至30年代中期可能与传统煤油持平；合成可持续航空燃料的成本到本世纪30年代初至40年代中期可能与传统煤油持平。

业界观点：对碳抵消的质量、透明度和沟通的顾虑，导致碳抵消的使用受阻。

碳抵消是一种抵消碳排放的方法，可通过资助减少全球温室气体总量，或避免温室气体总量增加（例如阻止乱砍滥伐）的项目来实现。碳抵消项目有200多种³¹，如果执行到位，它们是在没有其他解决方案情况下的有效减排途径。一位航空公司代表指出：**“若要认真地对待净零目标，我们不能避开碳抵消。”**



CORSIA已明确碳抵消对航空业的作用。许多航空公司现在都提供碳抵消，但参与度非常有限。一些调研参与者表示，其主要原因在于怀疑碳抵消的质量和缺乏透明度。一位

航空公司代表指出：“有成千上万的项目，但无法辨别其优劣。”这意味着航空公司倾向于采用满足监管要求的最便宜的选择：“航空公司登录该系统后，只会购买符合CORSIA要

求的最便宜的碳抵消项目。”一位旅行社代表指出。

有人对资金的实际用途也有疑虑。一位政策制定者表示：“我们并不总是清楚有多少碳抵消成本是用在手续费上，有多少是真正用在减排上。”一位飞机运营商表示：“人们希望在他们花钱购买碳抵消后，在世界的某个地方真正种上了树，但这是否会发生仍然是个疑问。”

有些受访者还提到了重复统计的问题，即，与碳信用额度有关的温室气体减排量被统计两次。例如，某个项目可能向想要抵消碳排放的国际航空公司出售一些碳信用额，但该项目所在国可能将这些碳信用额也算作本国为实现净零排放所做的努力和贡献。一位NGO代表总结道：“对于是谁在什么时候声称了什么缺乏信任。”

受访者还表示，缺乏有效的沟通意味着航空业无法说服旅客购买碳抵消。超过四分之三的旅客不明白何为碳抵消³²。来自某知名旅行社的受访者表示：“如果因为航空业缺乏沟通，导致旅客不理解为何碳抵消很重要，就不是旅客的错。”

有些人认为，如果碳抵消项目临近旅客住所或航线，则旅客对它的热情可能更高。一位航空公司代表指出：“我们希望抵消靠近我们住所或者航线上的碳排放，而不是在某个与我们不相干的地方。”与未来相关的项目，有助于提高对碳抵消质量的看法。一位航空公司高管表示：“当我们花掉一美元时，肯定希望这个钱被花在有用的地方，而不是为已经发生过的事情买单。”

大多数受访者一致认为，航空业必须更加努力，为旅客提供高质量和透明化管理的碳抵消，并说服旅客购买。这项工作必须迅速行动起来，因为在其他脱碳方法发展成熟之前，碳抵消可以发挥重要的作用。一位旅行社代表指出：“企业现在不使用碳抵消是很悲剧的。如果要等到可持续航空燃料实现规模化生产，我们可能失去社会的经营许可。”



角色和决策明确

由于航空业高度集中，只涉及少数几家大公司，只有30%的受访者认为，角色和决策明确是阻碍脱碳的重要因素之一（请参阅附件27）。所发现的挑战主要与对脱碳选择的了解有限及专注于小型独立的项目有关。

业界观点：整个航空业对不同脱碳选择、它们的影响及可用性的认识存在很大不一致。

自喷气发动机发明以来，飞机推进技术或燃料结构一直未发现重大变化。这导致围绕飞机技术和燃料结构的长期投资决策一直以来都相对简单，只需了解运营需求和燃油价格即可。

近几年情况发生了变化，如今需要考虑不同类型的可持续航空燃料和替代推进技术作为未来的选择。航空公司高管需要对他们不熟悉的技术做出重要的投资决策。许多高管承认他们缺乏了解细节所需的知识或能力。一位航空公司高管就表示：“**我知道喷气发动机，也知道煤油。现在我需要将它们与氢燃**

料和电池电动推进技术、不同的碳抵消选择和不同类型的可持续航空燃料做比较——你能告诉我纤维素生物燃料是什么吗？”其他行业利益相关者也面临类似的困境。一位金融机构代表指出：“**我们必须了解技术才能进行投资，但正在探讨的许多技术都是未经验证的新技术，存在不确定性。**”

因为需要在过去的要求之外发展技术专业知识，导致行动一再拖延。

业界观点：增值思维，缺乏全行业协作，以及侧重于许多零散的小型项目，似乎在阻碍该行业的进步，导致该行业缺乏实际行动。

许多受访者认为，尽管多年来一直都在讨论增加可持续航空燃料产量和使用的必要性，但该行业始终难以取得实际成效。

受访者认识到，传统供需模式可能无法解决问题。部分挑战在于可持续航空燃料生产商与购买方（航空公司）之间的“先有鸡还是先

有蛋”之争。航空公司指责生产商应供应更多可持续航空燃料。而生产商则表示，因为煤油便宜很多，航空公司对可持续航空燃料并无实际需求。

一位航空公司代表指出：“需求不是问题。我们正在与供应商合作以获取可持续航空燃料，但他们未及时做出正确的投资，导致现在无法交付。”但一位可持续航空燃料生产商则表示：“你必须能够支付溢价才表示你有需求。”

必须有更多切实的承诺，因为仅靠“纸上谈兵”很难构建起供应链。

可持续航空燃料生产商

一位物流公司高管表示，整个行业必须和政策制定者合作，通过例如大型长期的措施来解决这个问题。该物流公司高管认为，一个潜在的解决方案可能是签订承购协议，让航空公司同意购买供应商未来生产的、一定比例的可持续航空燃料：“**燃料供应商看到了投资风险。他们需要大型的长期承购协议和政策支持来保证需求。**”该高管补充道，金融机构也需要长期的解决方案：“**因为稳定的现金流是重中之重，所以他们需要10年以上的行业承诺，以谨慎地降低所有风险。**”他还总结道：“**我们需要看到银行、制造商、航空公司、机场和政策制定者合作开展大型行动计**

附件27

受访者见解

30%

30%的调研参与者认为，**角色和决策不明确**是阻碍脱碳的重要因素之一。

划，而不是空泛的理论对话。我们需要采取实际行动。”

资产更新换代的容易度

30%的受访者认为，更新机队所需的时间和努力是阻碍脱碳的重要因素之一（请参阅附件28）。这一比例相对较低，因为受访者知道，可持续航空燃料可作为掺入型燃料用于现有的飞机。只有在考虑替代推进技术时，资产更新换代的容易度才成为更重要的阻碍因素。

业界观点：由于存在航空公司携带额外燃油飞行及机场运营和商业安排复杂化的风险，

机场和燃料供应商担心要求非同等地增加可持续航空燃料掺入比所引发的反应。

作为“ReFuelEU Aviation”和“Fit for 55”立法提案的一部分，欧盟最近颁布了一项强制令，要求自2025年起燃油供应商在向欧盟机场供应的燃油中逐步提升可持续航空燃料的掺入比，到2050年须达到63%³³。风险在于，一些航空公司将通过选择替代航线，或在欧盟以外的机场额外携带更便宜的燃油来应对。

由于飞机需要消耗更多能源运输比旅程所需更重的燃油，所以这可能导致更高的净排放。在短途航线集中度较高、或在主要长途航线的其它枢纽附近的机场最大。

在航空领域，一个国家强行变革几乎是不可能的——航空公司只会选择绕开它！

政策顾问

一些机场高管也表示，在未统一监管可持续航空燃料掺入的地方，只对部分航空公司推出可持续航空燃料，可能导致机场运营和商业安排复杂化。缺乏协调一致性会带来更大的复杂性，从而可能让潜在的先行者望而却步。

业界观点：按照目前的更新速度，机队升级为更高效的飞机需要几十年。

近年来，航空业的效率有了显著提升。通过降低油耗和维护成本，每一代新飞机都带来了经济效益。

考虑到机队更新的成本和飞机二三十年的技术寿命，受访者表示，以目前的速度，更新包含大约21,500架飞机的全球机队需要几十年。如今的机队平均服役年限为11至12年，其中近70%的飞机是上世纪90年代建造的³⁴。

附件28

受访者见解

30%

30%的调研参与者认为，**资产更新换代的复杂性**是阻碍脱碳的重要因素之一

此外，由于对未来的技术、监管和需求不确定，航空公司还可能进一步推迟机队更新计划。好消息是，新冠疫情加速了那些将其视作提高机队效率的机会的航空公司机队更新。一位金融机构代表指出：“**由于需求低迷，疫情至少加速了一些老旧飞机的淘汰，比如已使用30年的波音747，这帮助提高了效率。**”



基础设施更新换代的容易度

60%的受访者认为，基础设施更新换代是阻碍脱碳的重要因素之一（请参阅附件29）。他们强调了可持续航空燃料的原料和供应限制，并表示替代推进技术将需要全新的生产和供应基础设施。

业界观点：由于结构性供应限制、技术成熟度和与其他行业的竞争，生物可持续航空燃料的供应存在不确定性。

目前市场上几乎所有的可持续航空燃料都由第一代生物质原料制成，利用加氢处理酯和脂肪酸生产技术从糖、淀粉和植物油转化而来（请参阅附件30）。对这些原料的可持续性的担忧造成了结构性限制，这使可持续性燃料在规模上难以发挥。一位NGO代表指出：“如今所用原料的问题在于，要么需要取代粮食作物，要么需要砍伐森林，二者本身都存在可持续性问题。”航空业可使用的生物

安全燃料数量也将受到其他行业竞争需求的限制。公路货运使用了大部分现有的生物燃料，并拥有完善的供应链。来自航运和化工等其他行业的需求也在增长。

以废弃物为原料生产的第二代生物燃料，不存在可持续发展方面的问题。但目前生产技术尚不成熟，且几乎没有收集和运输原料的完整供应链。一位NGO代表指出：“能我们将我们制造的所有废物转化成燃料固然很好，但目前还没有人证明他们能大规模地进行商业化生产。”

技术被开发出来后，还需要时间和巨额投资来达到足够的规模。一位能源公司代表指出：“一个中试厂如今的造价高达4亿美元，且需要3至5年才能建成。”随着技术的成熟，成本将会降低；但随着市场规模的扩大，获得优质原料可能变得越来越困难。

为了解决对生物燃料原料可持续性的担忧，必须确保“从作物到掺入”（从种植作物到将生物可持续航空燃料注入油箱）的全过程实现透明化。这将增加整个过程的复杂性，但对解决诸如某个设备制造商所表达的担忧至

附件29

受访者见解

60%

60%的调研参与者认为，基础设施更新换代的复杂性是阻碍脱碳的重要因素之一

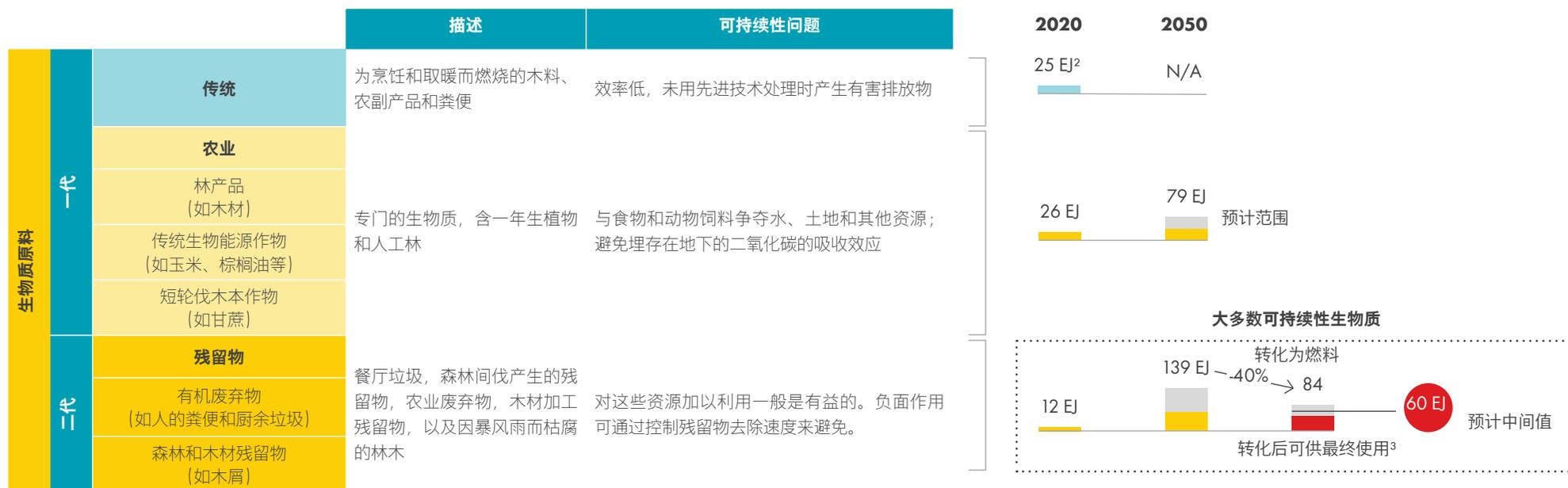
关重要，该设备制造商表示：“有一种风险是，一旦生物燃料发展起来后，一些生产商可能寻找不可持续的原料来满足需求。这只是转移了问题，而非解决问题。”

业界观点：合成可持续航空燃料的生产技术尚不成熟，且需要与其他行业争夺氢气。

合成可持续航空燃料是由氢气和二氧化碳反应制取，气候中性与否取决于是否使用可再生电力制氢以及二氧化碳的来源。



30 生物质原料¹



资料来源：IEA：到2050年实现净零排放（2021）；IEA技术路线图：供应可持续性生物能源（2017）；IPCC SSREN 2012
 说明：（1）HEFA是目前唯一的生产技术，可将植物油和废弃油脂转化成可持续航空燃料；（2）EJ = 艾焦耳 = 10¹⁸焦耳；（3）考虑到转换损耗

合成可持续航空燃料的供应理论上无限的，但在现实中，则因为需要开发商业化生产技术、“绿氢”（利用可再生能源制取）的供应、以及直接空气捕获（DAC）及碳捕获、埋存与利用（CCSU）的成本而受限。

生产商业规模的绿氢所需的大型电解装置短缺，所需的可再生能源成本仍然较高。与更成熟的生产工艺相比，电解的成本很高，因此电解装置的市场一直很小。

利用可再生能源制取氢气用于生产燃料时出现的转换损耗，也降低了合成燃料的吸引

力。与工业等竞争行业直接使用绿氢相比，这些损耗很高。绿氢和可再生能源目前都首选直接使用。

然而，某第三方物流供应商表示：“可再生能源和电解装置的规模化发展，对于支持合成可持续航空燃料有巨大作用。”

如果拥有强劲的合成可持续航空燃料解决方案，我们可能不需要任何氢燃料飞机。

飞机制造商

航空脱碳：新方法





越来越多的政界和商界领袖都在做出减少碳排放的承诺。美国已重返《巴黎气候变化协定》，欧盟和亚洲国家已做出脱碳承诺。航空业也越来越受到公众的关注，媒体如今开始谈论解决方案和实施，而不仅仅是目标。比如，英国最近宣布将航空排放纳入国家排放足迹中³⁵，以及德国的合成可持续航空燃料路线图³⁶。

企业客户正寻求通过新的航空旅行和货运服务采购方式来实现自身的净零目标。有些企业不仅仅使用碳抵消，它们还与航空业合作寻找应对脱碳挑战的技术解决方案。脱碳投资在不断增长。主要制造商正在加大可持续航空燃料的发展³⁷。最近的风险投资已将投资导向未来可能用于推进商用客机的替代推进技术初创企业³⁸。

附件31

受访者见解

90%

90%的调研参与者认为**脱碳是他们企业的前三大优先事项之一**

90%的调研参与者表示，脱碳是他们企业的前三大优先事项之一。这个事实足以说明脱碳对于航空业的重要性（请参阅附件31）。所有利益相关群体都对脱碳持积极态度，其中货主、商务旅客、航空公司和制造商的态度最为强烈。北美和欧洲的受访者对待脱碳最为积极，但由于航空业的全球性，所有地区都需认识到这一问题的重要性。

临界点 - 展翅欲飞

我们可以通过结合其他的行业调研，包括之前发布的两份同系列报告：《[航运脱碳：齐心协力](#)》和《[公路货运去碳化：整装待发](#)》，来正确地评估航空脱碳的进展。

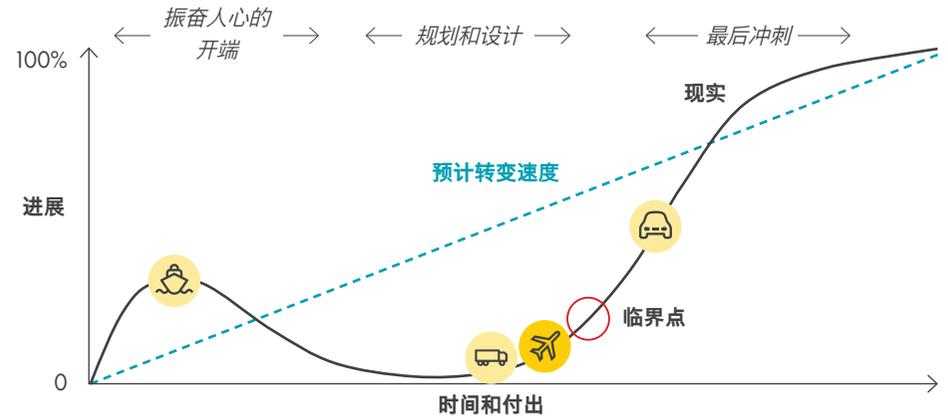
在早期阶段，围绕“可能性的艺术”的探讨和初期试点项目的成功，通常会产生乐观的预期，即认为行业范围内的解决方案即将出现。随着预料之外的问题导致所需技术和基础设施的广泛部署被延迟或复杂化，这种乐观情绪最终往往会减弱。与此同时，许多受访者认为，航空业比人们通常想象的更接近进入脱碳的“最后阶段”（请参阅附件32）。解决方案是已知的，很大一部分排放可以通

过无需飞机或机场基础设施做出全新改变的掺入型燃料来解决。

相比之下，公路货运行业的脱碳解决方案已知，但需要新资产和基础设施；航运业也需要新资产和基础设施，且尚不清楚未来可用的燃料。

但航空业要成功脱碳仍有许多工作要做。虽然路径比其他行业更清晰，但需要付出的实际行动有很多。必须立即行动起来！

32 脱碳 vs 典型变革经历的阶段（举例）



航空

- 解决方案已知，经济性和时间表尚不确定
- 技术投资侧重于能量载体而非资产，使得部署速度比其他行业更快，如公路货运行业的纯电动汽车和燃料电池汽车
- 现在需要投资来发展解决方案和实现规模化

1. 振奋人心的开端 - 以航运为例

- 乐观地认为再有20多年“该行业”就能找到一条脱碳路径。
- 需求和技术一致是主要阻碍因素—事情看上去是抽象的。
- 大多数投资都在未来

2. 规划和设计 - 以航空和公路货运为例

- 进展速度似乎低于预期。
- 基础设施和大规模燃料生产的实际阻碍令人怯步。
- 新资产仍然昂贵很多，但必须立刻投资（“我该买哪辆卡车？”，“我要用多少可持续航空燃料？”）

3. 最后冲刺 - 以私家车为例

- 进展速度肉眼可见。
- 基础设施正在大规模地建设，资产正在更新换代。
- 新资产的成本接近平价，投资“容易”。

资料来源：Kanter (2006) “自信：连赢和连输是如何开始和结束的”；Raffaelli (2018) “领导和管理变革”；德勤分析

解决方案

航空高管和专家确定了一系列克服脱碳阻碍的潜在行动举措。这些行动举措在研讨会和评审会议上被提炼成15项解决方案或行动建议。

这15项解决方案中有些已在研究当中。通过我们的调研并与利益相关者接触，有助于确定哪些有效，哪些无效。另外一些解决方案则是全新的，或是能为解决阻碍提供全新的、更高效的方法。

受访者指出，尤其是在转型的初期，应部署所有现成的减排选项，因为**“我们不能坐等技术来拯救，必须利用我们的工具箱中如今所拥有的一切工具。”**一位旅行社代表证实道。

一位来自银行的受访者利用合成可持续航空燃料来说明这一点：**“都知道我们需要扩大可持续航空燃料的产能；但该如何扩大，我们却没有详细的计划。例如，在开发合成可持**

续航空燃料时，我们需要认真考虑蓝氢和回收二氧化碳的作用，以在我们为更可持续的绿色解决方案做准备的同时，促进可持续航空燃料的使用。”

一位航空公司高管给出了类似的反馈：**“我们现在已明白解决碳抵消担忧的必要性和重要性。与其说是这里或那里的小调整，不如说是通过消费者的眼睛重新思考，这将增加他们的影响，创造直接的价值观。”**

受访者还指出，虽然每个解决方案独立来看都很重要，但依靠任何单个解决方案都无法解决问题。若想取得进展，必须进行从原料收集一直到低排放飞机升空的全价值链整合。

我们现在将根据上述六个框架因素来探讨15项解决方案。



市场和客户需求

解决方案1: 商务旅客和货运客户对可持续航空燃料的需求

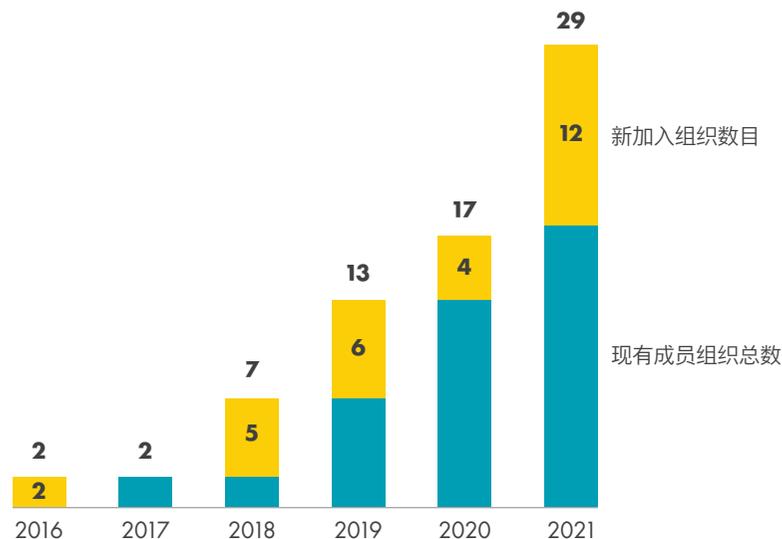
大型科技公司、金融机构和咨询公司等大型商务旅客，以及食品和电子产品制造商等货主，必须在创造低排放航空需求方面发挥带头作用。他们自身的净零目标需要他们减少员工差旅和货物运输所产生的排放。拥有这种净零目标的企业年总营收达到11.4万亿美元，超过美国GDP的一半³⁹。

确切地说，近30%《财富》100强企业已加入科学减碳倡议组织（SBTi），SBTi要求加入的组织设定与《巴黎协定》一致的目标⁴⁰。加入SBTi的企业数量正在加速增长（请参阅附件33）。

随着企业面临来自员工、投资者、客户和其他利益相关方要求实现目标的压力，这些承诺正在转化为实际行动。

公司需求在刺激使用可持续航空燃料的航班和大规模承购协议的需求方面起着关键作用。企业客户也是比休闲旅客更集中的一个客户群。例如，大约200家大公司占据全球航空旅行16%的份额（请参阅附件34）。这种集中使得航空公司能够将脱碳工作集中在相对较少的客户身上，这些客户能形成支持脱碳的关键力量。商务旅客和货运客户通常能承受增加的成本，比如价格更高的商旅机票。一位大型企业货主表示：“因可持续航

33 加入科学减碳倡议组织（SBTi）的《财富》100强企业



大公司与航空有关的承诺示例

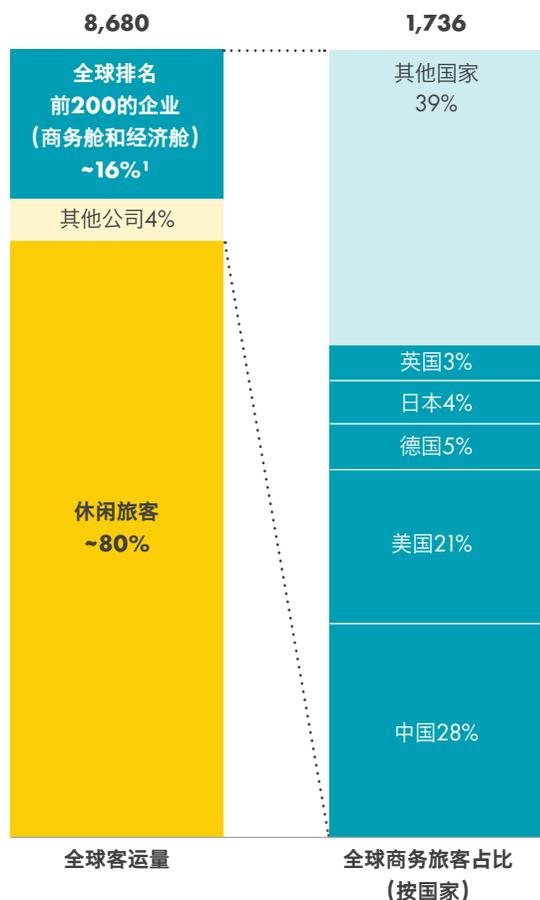
- 微软**与阿拉斯加航空公司和荷兰皇家航空公司合作，通过可持续航空燃料和/或可持续航空燃料碳信用额，抵消其员工商务旅行产生的碳排放。
- 亚马逊航空**购买了约2,300万升可持续航空燃料，预计将减少最多20%的排放。
- 壳牌与美国运通全球商务旅行公司（GBT）**结盟，帮助增加可持续航空燃料的供应，以期到2050年实现净零排放。
- 德勤**与美国航空、达美航空和联合航空签订可持续航空燃料协议，避免了约50亿吨二氧化碳的排放。
- 作为长期净零战略的一部分，**联邦快递**已承诺从红岩生物燃料公司（Red Rock Biofuels）购买1,300万升可持续航空燃料。

资料来源：Air Cargo News；商务旅行；公司网站（2021）；Green Air；科学减碳倡议组织（2021）；德勤分析说明：29%以上《财富》100强企业拥有气候变化承诺。以上分析只包含加入科学减碳倡议组织（SBTi）的企业

3. 调研的重要发现

通过认可机制和差异化主张实现的长期客户需求，将在为航空公司减排提供资金和激励方面发挥根本性作用。

34 企业客户在全球航空旅行中所占的份额 (2019; 十亿RPK)



资料来源: ICCT (2020); 美国交通运输部; 商务旅行新闻 (2019); 全球商务旅行协会 (2018); 美国旅行协会 (2020)

说明: (1) 根据在美国航空消费中排名前100位的公司进行的估算。

空燃料而提高的票价只占我们商品总成本的一小部分, 但航空排放却占我们碳足迹的很大一部分, 我们必须实现2030年的减排目标。“这在可持续航空燃料可能比煤油昂贵很多的短期内尤为重要。

航空旅行占我们碳足迹的80%以上, 我们必须向客户证明我们言行一致。

货主

首批使用可持续航空燃料的航线, 可能是那些商务旅客最集中的航线, 原因如一位航空公司高管所言: “如果你周一早晨从阿姆斯特丹飞往伦敦, 飞机上可能全部是商务旅客。所有这些旅客都对价格不敏感, 他们的公司正在努力实现减排目标。”

微软等组织已与航空公司签署可持续航空燃料价格协议, 以抵消本企业航空旅行产生的碳排放, 并帮助承担额外的燃料成本。寻求减少航空排放的大公司也可考虑通过大型购买者联盟来聚集需求。最近的一个案例, 就是由环境保护基金和落基山研究所创建的可持续航空购买者联盟 (请参阅附件35)。

这些联盟将向市场发出清晰的需求信号, 并让大公司更容易减少航空排放。一位监管机构代表指出: “我们必须制定一种能够聚集需求而不违反竞争法的机制。我们目前正在研究这个问题。”

航空货运客户也能发挥重要作用, 尤其是在短期内。来自一家物流公司的受访者表示: “许多货运客户正在寻找机会, 通过提供更可持续的产品来实现差异化, 或者已制定有自己的减排目标。”因为运输的产品性质—如易腐品、鱼类和花卉等, 他们也几乎没有其他运输方式可以选择。

航空货运通常在产品总碳足迹中占很大比例, 但在总成本中只占很小比例。当运输的商品数量很大时, 成本可以分摊到每件商品上, 使得每件商品新增的成本很低。一位大型货主表示: “对于诸如太阳镜之类的大批量运输的商品, 每件商品增加的净零运输成本只有几便士。”这些因素可能促使航空货运客户成为采取脱碳措施的先行者。

有些货运客户已在显示出买单意愿。例如，最近推出的DB Schenker和汉莎航空每周往返法兰克福和上海的航班，使用可持续航空燃料和碳抵消来实现完全碳中和，据报道需求很大⁴¹。虽然单个客运和货运航班也很重要，但大公司的可持续航空燃料承购协议对于增加产量可以发挥关键作用。一位燃料生产商表示：“**新生产项目需要签订10-15年期承购协议来筹集所需的资金。**”

为了让这些解决方案发挥作用，可持续航空燃料需要整合到碳减排框架中，以允许大型企业实现目前无法做到的减排需求（请参阅“解决方案7”）。

解决方案2：鼓励客户做出支持可持续发展的选择的奖励机制

航空公司必须改进激励个人旅客的方式，以促使他们利用机会为碳抵消和可持续航空燃料买单来减少他们产生的排放。

一种方法是向参与的旅客提供特定的“功能性益处”，如提前登机、优先安检通道、优先座位或餐饮升级。澳洲航空（Qantas）等一些航空公司已在使用这些方法。澳航的旅客每花1澳元购买碳抵消，即可获得10分会员积分；澳航还将碳抵消作为默认而非选择加入的选项，需要旅客主动选择退出。这使得约

有10%的澳航旅客购买碳抵消⁴²，远高于研究者提到的行业平均使用率。

虽然功能性益处可发挥重要作用，但迎合旅客的社交和情感需求可能更有效（请参阅附件36）。一些受访者指出，在有些国家，可持续飞行可能成为一种“身份象征”，类似于在主打“有机”产品的高端超市购物。可能是不同颜色的机票或飞机座椅头枕，或者是对碳抵消量最多的旅客进行排名。例如，在社交媒体上展现个人贡献的能力可能需要考虑在内。必须谨慎地处理这种奖励和认可，以使其能帮助激励旅客行为，而不造成过度分化。

航空公司还可以通过讲述受气候变化影响个人的引人注目的故事，或提供帮助乘客居住的社区和环境的项目所产生的补偿，来满足乘客的情感需求。



3.5 可持续航空购买者联盟（SABA）

SABA是落基山研究所（RMI）和环境保护基金（EDF）为加速实现净零航空而创建的一个企业联盟。

SABA的使命是，支持可持续航空燃料生产和技术实现规模化，并制定一套健全而透明的可持续航空燃料认证标准。

SABA的成员（如波音、德勤、微软等）通过聚集对可持续航空燃料证书的需求，激励可持续航空燃料的生产和使用，并与监管机构合作进行政策规划和制定，来创造影响力。

资料来源：RMI, Climate Group



36 让绿色主张对旅客更具吸引力的方法



旅客可通过抵消航空旅行所产生的排放，或帮助承担可持续航空燃料的额外成本，来降低旅行的影响。

这些解决方案如今已然存在，但使用它们的旅客相对很少。要改变这一局面，航空公司可开发一系列内容来鼓励更多旅客使用。

在机场，绿色行李牌或机票等视觉标识，有助于让这些客户与众不同，并让自己的减排贡献而感到自豪。

在办理登机手续和登机时，航空公司可提供免费行李托运、快速办理登机手续或提前登机直接优惠，以使绿色主张更具吸引力。

登机后，航空公司可提供专属座席、更大伸腿空间或视角标识（如绿色头枕）等更多直接优惠。旅客还可通过可选的、关于使用可持续航空燃料的飞机直播节目，或者成功的碳抵消项目故事，来了解自己所带来的影响。

可通过飞机上的宣传和影像，重点讲述成功案例，并表明每个人可如何帮助应对气候变化。也可借助它们来感谢已经做出贡献的旅客，以使旅客感到被认可。

上述提到的一些内容可帮助构建一种共同体意识，为至关重要，知道他们是一场更大规模运动的一份子，能够帮助推动巨大改变。

最后，不能只停留在单个航班上。航空公司可以允许乘客持续提升他们的影响，从而创造可以累积并用于兑换机票或其他服务的绿色积分。和航空公司会员等级一样，绿色积分也可进行分级，以使持续一贯地选择减少碳足迹的旅客能享受更多优惠。

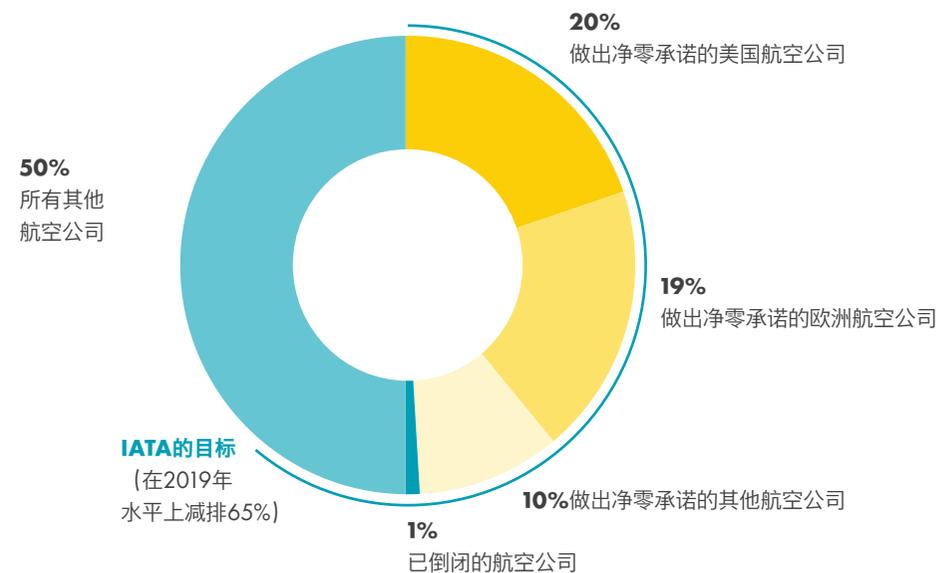
监管激励

解决方案3：净零目标和一致的计划

受访者表示，航空业需要更雄心勃勃的2030年脱碳目标，并应承诺到2050年实现碳中和。这些目标将有助于航空业与能源系统中的其他参与者保持步调一致，并促使其以更强烈的紧迫感行动起来。

许多航空公司已经做出了净零承诺（请参阅附件37）。这其中包括美国航空协会、欧洲航空协会和寰宇一家联盟的成员，这些航空公司总计占据目前航空市场50%的份额⁴³。有些国家（如英国⁴⁴）已将其国际航空所产生的排放纳入到减排目标中。

37 已公开做出2050净零承诺的航空公司航空碳排放占比（2019）

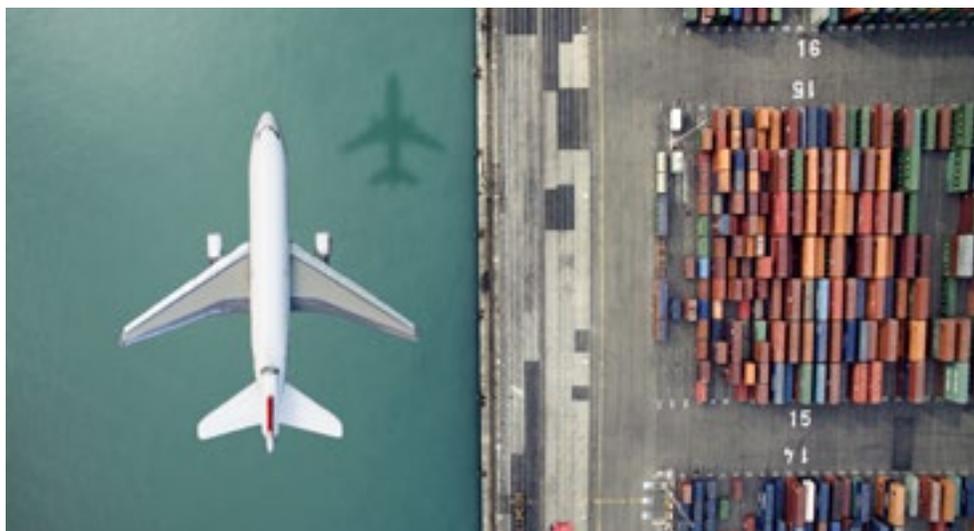


资料来源：ICCT (2021)

一些受访者表示，2022年的国际民航组织大会或第26届联合国气候变化大会，是将各方利益相关者召集到一起、制定新目标的绝佳机会。制定未来5年、10年和20年的、清晰的监管里程碑至关重要。这些里程碑应转化为针对燃料生产商、航空公司和其他航空利益相关方的政策，以帮助创建一条清晰的投资路径，推动变革步伐。

解决方案4：供应侧强制令、激励和原料分配

需要强制令、激励和政策指引来帮助加速可持续航空燃料的生产和使用。这些措施已在德国（请参阅附件38）和加州等地投入实施，其中加州的新生产项目已显著增多⁴⁵。下面，我们将逐一探讨被提及次数最多的、能增加低碳燃料供应的政策手段。（请参阅附件39）



可持续航空燃料强制掺入比

可持续航空燃料强制掺入比原则是指，规定必须在化石燃料煤油中掺入的、以及在特定地方给飞机加油时必须使用的可持续航空燃料最低数量。这可减少排放，并促进可持续航空燃料的开发和生产。

在包含欧盟27国、英国和欧洲自由贸易联盟（EFTA）的四个国家的泛欧盟地区，“ReFuelEU Aviation”提案⁴⁶旨在促进可持续航空燃料的生产和使用。欧盟委员会已考虑过不同的选择，最终认定在煤油中强制掺入一定比例的可持续航空燃料，是帮助平衡供需和降低投资风险的最佳方式。在最近的“Fit for 55”相关提案中，欧盟委员会提出，可持续航空燃料强制掺入比到2025年将达到2%，2030年达到5%，2040年达到32%，2050年达到63%，其中包含最低比例的合成航空燃料。⁴⁷

我们需要强制掺入比来确保未来十年投资能够到位，但在此之后，系统应能自我维持和市场化。

能源公司

一些个别欧盟国家甚至制定了更雄心勃勃的掺入目标，芬兰和挪威甚至表示，到2030年，生物可持续航空燃料应占到航空燃料的30%⁴⁸。

为确保有效，必须颁布额外的政策来支持强制令，以降低“携带额外燃油飞行”的风险，即在有可持续航空燃料强制令的地区以外购买更便宜的燃料。“携带额外燃油飞行”不仅削弱了强制令的效用，且会因运输不需要的额外燃料而产生更多排放。一位机场受访者指出：“诸如0.8%的强制掺入比很小，不会导致‘携带额外燃油飞行’。但随着强制掺入比的上升，‘携带额外燃油飞行’的风险也会上升。”

低碳燃料标准

在加州的市场化机制中，碳强度比指定基准更低的交通燃料可被授予低碳燃料标准（LCFS）碳信用额度。而需要抵消碳强度更高的燃料碳排放的组织可以购买这些碳信用额度。碳强度基准每年设定一次，以与减排目标保持一致⁴⁹。

一些来自美国的受访者对LCFS项目的益处持肯定态度。一位行业协会代表指出：“它为开发全生命周期排放更低的可持续航空燃料指明了一条清晰的路径。”为了表明LCFS项目已帮助降低了可持续航空燃料的成本，一位机场受访者表示：“LCFS使加州成为了可持续航空燃料的市场，并缩小了可持续航空燃料与传统喷气燃料的价差。”

随着可持续航空燃料在成本上变得更有竞争力，采取LCFS举措的政策制定者也必须考虑取消低碳燃料补贴，使得财务负担更多地落在燃料购买者而非纳税人身上。

差价合约/绿色补贴

由于价格比煤油贵，增加可持续航空燃料产量的关键制约因素是不确定能否找到买家。在政策制定者认为强制令属于过度干预的地区，可以使用“差价合约”（CfD）机制。

这些机制以前曾在电力行业试验过，为促进可再生电力的生产发挥了重要作用。采用CfD机制时，能源生产商可获得的财务支持，等于低排放解决方案（如可持续航空燃料）与化石燃料（如煤油）之间的价差。这使得生产商能以市场价供应低排放解决方案，从而让低排放解决方案成为航空公司的一个可行选择。一位发动机制造商表示：“在

需求侧，CfD是强制掺入比和碳税的一个很好补充。”

免税

激励可持续航空燃料生产的另一种方法是提供免税优惠。这种优惠不应广泛地提供，而应定向地鼓励特定类型的投资。

例如，用于道路运输的生物柴油市场目前比可持续航空燃料更有吸引力。因此，生产商通常倾向于投资生物柴油而非可持续航空燃料。一位航空公司代表指出：“鼓励可持续航空燃料而非可再生柴油的激励措施，是可持续航空燃料实现规模化生产的关键。”

一位受访者提到美国为此所做的努力时表示：“国会正在考虑批准一项旨在弥补可持续航空燃料与可再生柴油之间的价差的免税提案。”根据美国提出的《可持续天空法》（Sustainable Skies Act），对于生命周期温室气体排放减少至少50%的可持续航空燃料，能源生产商可获得每加仑1.50美元的免税优惠。在50%基础上每多减排一个百分点，生产商还可再获得每加仑1%的免税优惠。⁵⁰若与煤油相比减排幅度达到80%，则能获得每加仑1.80美元的免税优惠。

4. 调研的重要发现

基于供需的国家和地区政策激励，将加速可持续航空燃料在地区和全球的使用和监管

稀缺资源分配

航空业需要生物质和氢气作为生产可持续航空燃料的原料。但其他行业也需要生物质和氢气。需要政策措施来确保原料被分配给最需要的行业，也就是没有其他脱碳路径可供选择的行业。这种分配可通过对现有的生产征税或帮助弥合不同行业之间的价差等激励措施来实现。例如，美国最近提出的《可持续航空燃料法》旨在专门为航空业创建一种类似于LCFS的激励机制，以激励供应商不再只生产用于道路运输的生物柴油。⁵¹

政策干预还应支持现有供应量不太可能达到航空脱碳所需水平的其他原料。政策干预应设法增加对可再生电力及碳捕获、埋存与利用（CCSU）和直接空气捕获（DAC）技术开发的投入。这种干预将能促进生产合成可持续航空燃料所需的绿氢和二氧化碳的生产。它们可以是生产或研发激励，或是利用碳税和其他可持续发展相关的税收资助相关项目。

虽然从经济性上考虑目前尚不具备成本竞争力，但仍需要供应侧的激励措施来让可持续航空燃料解决方案快速实现规模化。我们有可能看到符合某一个地区燃料生产市场动态的地方性法规，如北美的税收抵免和LCFS式机制，以及欧盟的绿色补贴。





38 德国的合成可持续航空燃料路线图

2021年，德国联邦政府和业界一起发布了扩大合成可持续航空燃料市场规模的路线图。

该路线图将为2030年年产20万吨合成可持续航空燃料铺平道路，该产量足够供应德国目前三分之一的国内航班。虽然计划最初使用二氧化碳废气作为原料，但未来的目标是使用直接空气捕获技术。

德国将通过颁布强制性的最低掺入比——2026年为0.5%，到2030年逐步提升至2%——来支持合成可持续航空燃料的使用。

德国环境部长舒尔策（Schulze）指出：“电转液”燃料必须尽快找到从实验室走向工业生产的路径。”

资料来源：德国联邦环境、自然保护和核安全部

因此，重要的是学习当地实施的供应激励措施，以便应用在其他地区，以增加其全球影响。

解决方案5：需求侧排放税、限制和激励

单靠供应侧的强制令和激励措施不足以实现脱碳。还需要需求侧的政策措施，以帮助弥合传统喷气燃料与可持续航空燃料之间的价差，并鼓励增加可持续航空燃料的使用。被提及频次最高的政策手段包括碳税和定价机制（如机票最低限价）。

碳税和排放交易制度

碳税和排放交易制度共同构成了所谓的“碳价”。它们实际上是通过碳排放定价来鼓励避免排放。

碳税是对温室气体排放征收的。排放交易制度（ETS）（也称“限额与交易”）需要政府设定上限（即“限额”），即该制度所允许的最高排放量。政府为低于允许的最高排放量的每一单位排放制作许可证。企业必须为它们产生的每一单位排放获取许可证。它们必

须从政府获取许可证，或从其他公司购买许可证。

碳税和排放交易制度使得使用化石燃料的成本更高昂，因此可能有助于缩小低碳燃料（如可持续航空燃料）和煤油之间的价差。它们也被视作量化碳排放的环境成本的一种方法，能够更清晰地反映出社会的真实成本。

一位制造商表示：“碳价和排放交易制度是解决方案的一部分，旨在缓解价格竞争性行业的价格差异。”在国际范围内征收碳税很重要。不应像目前的欧盟一样，只限于对一系列特定国家境内的航班征收碳税。

受访者认为，航空公司所缴纳的碳税收益应被保留在行业内，用于技术开发和减排。一位航空公司代表指出：“税收的问题在于，资金并未留在本行业内，甚至通常也未用在任何对环境有积极影响的事情上。”

其他征税机制包括英国最近提出的飞行常客税或“绿色税”⁵²。

虽然碳税作为一种解决方案在有些地区可以接受，但受访者也提出了顾虑。有位受访者表示：“有些市场已对机票征收10多种税。它们太复杂了，经常是从不同的角度对同一个对象重复征税，而我们并不清楚这些资金的用途。”

线路限制和定价机制

低价机票让航空旅行变得更加容易，但在拥有可行的替代交通工具时，超低价机票——有些低至10美元/300+英里航线——正在受到质疑。德国和法国等一些国家正在探索颁布价格下限或限飞被高铁网络覆盖的线路。

超低价航空市场的利润极其微薄，1美元的差价可以促成一笔交易，也可毁掉一笔交易。这使得个别航空公司无法承受任何额外的成本，否则可能在竞争中处于劣势地位。一位廉价航空公司代表指出：“我们无法率先采用更昂贵的燃料。这对我们而言都是成本。毕竟票价最低的才可能是赢家。”

政府在特定航线上为所有航空公司强制设定的最低票价，有可能降低非必需旅行需求。必须谨慎地管理这些措施，以保持航空畅通。它们应与可持续航空燃料强制令等措施相结合，以确保增加的利润被用于解决航空脱碳问题。

39 可能的政策手段

利益相关者	监管对象	如何监管			
发动机/飞机制造商	生产的发动机和机身	最低能效标准	对低效能发动机/机身组合征税	替代技术研发激励（如先进生物燃料、电动、氢燃料）	
航空公司	拥有的机队	激励加速机队更新	飞行有效载荷和容量优化的激励措施		
	购买的燃料	根据碳排放征收燃料税	限额与交易机制（如排放交易制度）	碳抵消和减排要求（如CORSIA）	研发激励（如为试验提供资助）
	航线	空域协调一体化	差异化机场使用费或准入（如优先机位）	使用运输方式转换限制短途航班	
基础设施提供商/能源企业	销售的燃料结构	可持续航空燃料强制掺入比（如生物可持续航空燃料和/或合成可持续航空燃料的占比）	差价合约（CFD），用于补偿燃油价差	免税优惠（如低碳燃料标准）	提高燃料税（如增值税）
	基础设施建设	为可持续航空燃料和替代推进技术制定（安全）标准	直接投资可持续航空燃料生产项目	行业定向稀缺资源分配（如生物质、氢）	
客户/货主	票价	定价机制（如设定价格下限）	直接和/或分级环境税（如绿色税或飞行常客税）		
金融机构	融资组合	提供贷款前的最低可持续融资标准			

资料来源：采访；德勤分析

技术一致

解决方案6：改进碳抵消

碳抵消对于帮助航空业减少净排放有着直接作用。在其他解决方案发展成熟之前，碳抵消将扮演尤为重要的角色。

碳抵消或许也能发挥更长远的作用；当可持续航空燃料供需达到规模化时，通过碳抵消可抵消剩余20-40%与生物可持续航空燃料有关的排放。

航空业必须解决对碳抵消的顾虑，并强调它们在脱碳中的重要作用。必须确保所有碳抵消符合严格的标准和保证机制，并更好地向客户宣传它们的作用。通过以下方式，可以部分地解决客户对碳抵消的顾虑：

- 尽可能多地侧重于无法通过市场机制实现的项目，例如，将更多资金用于基于自然的碳捕获解决方案。减少用于开发可再生能源的资金，因为这些项目在大多数情况下在财务上已实现自我持续
- 激励开发距离排放发生地更近、且能马上而非20年后产生影响的项目，因为一般认为这对旅客更有吸引力；

- 确保产生碳抵消的项目是额外的，即如果碳抵消不存在，相关项目就不会发生——例如，只是保护根本不会被砍伐的树木的项目是无效的；
- 通过清晰和有说服力的沟通，并在可能时选择更多位于当地的、真实可见的项目，鼓励客户使用碳抵消；且
- 提高资金使用的透明度，以解决对高间接费用的疑虑——如与减排不直接相关的项目成本。

上述措施还必须标准和保证机制的支持，以确保对碳抵消质量的信心。碳抵消项目应按照质量进行分类，以方便弄清谁在何时提供了高质量的碳抵消（请参阅附件40）。一位企业采购员强调需要信息汇集者以便能够比较碳抵消项目时表示：“**我不知道我选择的项目是不是最好的，因为我无法看到还有哪些选择，也无法比较不同的选项。**”

应更新现有监管框架（如CORSIA）的最低质量门槛，以确保所使用的碳抵消与对大气中的温室气体总量有影响的项目有关。一位

NGO代表指出：“**都选择最便宜的碳抵消选项，是没有任何作用的；因为那些项目通常对碳排放无太大影响。**”

航空公司还应将碳抵消更好地融入到购买体验中：“**在网站上销售碳抵消的方式很难令人心动。我买完票时，并不想点击进入另一个页面，去考虑购买碳抵消。**”一位OEM高管表示。

航空公司还必须考虑用“选择退出”取代“选择加入”的方式。事实证明，这样做是有效的。一位运营商表示：“**过去几乎没有人使用碳抵消；而现在，就因为这个简单的改变，使用碳抵消的私人客户达到80%，包机客户达到100%。**”

可用“嵌入”这个词来代替抵消，即筹集的资金直接用于该行业的脱碳，如用于生产可持续航空燃料和研发。一位旅行社受访者表示：“**可持续的航空投资资金可让旅客直接为脱碳做贡献，比将它用于其他地方更有吸引力。**”至少对于企业客户而言，确保这些项目所带来的减排能被考虑到很重要。

5. 调研的重要发现

碳抵消可为脱碳早期阶段**提供重要的资金支持**。但这需要碳抵消变得**更透明且易核查**。碳抵消必须在**情感上更吸引**旅客，且产生的影响应更明确。

在能大规模供应可持续航空燃料之前，碳抵消是我们唯一的选择。

航空公司高管

40 碳抵消工具

作用	避免			消除	捕获
工具	社区项目	工业项目	可再生能源	自然解决方案	直接空气捕获
描述	通过提高能源效率和转变所用的燃料，帮助社区减少碳排放。通常位于发展中国家	调整工厂、油田和农场的运营，以减少排放（如甲烷）	通过水力、风力、太阳能、地热和废弃生物质发电项目构建可持续能源	再造林、复垦、森林保护、可持续土地管理和农业	直接从空气中捕获CO ₂ 的新技术
价格（\$/吨CO ₂ ）	\$1-100	\$1-100	\$1-150	\$2-150	\$100-800
可用性	中	中	高	高	低
优势	<ul style="list-style-type: none"> 支持发展中国家低碳发展 将投资导向需要资金的社区事业 	<ul style="list-style-type: none"> 支持发展中国家低碳发展 支持以更可持续的方式生产原料 	<ul style="list-style-type: none"> 减少对化石燃料的需求 支持可再生能源市场的发展 	<ul style="list-style-type: none"> 创造就业 保护生物多样性 直接计算碳效益 	<ul style="list-style-type: none"> 空间利用效率高，可在包括非耕地在内的很多地点建设
风险	<ul style="list-style-type: none"> 无法验证或核查结果 	<ul style="list-style-type: none"> 不是额外的，即有无碳抵消都可能实现减排 	<ul style="list-style-type: none"> 无法准确计量对排放产生的影响 不是额外的，即有无碳抵消都可能建成发电项目 	<ul style="list-style-type: none"> 无法验证永久性 	<ul style="list-style-type: none"> 非永久

资料来源：采访；EIC（2020）；黄金标准（2021）；ICAO（2021）；联合国碳抵消平台（2021）；UNFCCC（2021）；世界银行集团（2020）

解决方案7：确保可持续航空燃料和抵消减排质量的标准、认证和报告

通过提高与质量和可持续性有关的透明度，并采取机制来向远离供应点的购买者开放准入，可加快对可持续航空燃料的需求。

有些企业客户会区分生物可持续航空燃料的原料，寻求选择那些被认为最可持续的原料，而避免任何与森林砍伐或取代粮食作物有关的项目。因此，生产商必须让可持续航空燃料的来源实现透明化，让购买者来选择他们要买的。

标准和认证对于保证可持续性标准和减排量有着明确的作用。

NGO

这些标准的表达应当清晰，以帮助解决如今使用的行话晦涩难懂的问题。一位制造商表示：“我并不理解‘纤维素’或‘气化’的意思，只

知道有些原料被认为更可持续，而我想知道哪些原料更可持续。”

广泛采用的标准也能帮助创造对更优质原料的需求。

购买可持续航空燃料的市场仍远未成熟。先行购买的企业客户采用的购买方式各不相同

同，有的直接找生产商购买，有的找单个航空公司购买，还有的则通过航空公司联盟购买。一位企业客户表示：“我们想利用可持续航空燃料减少旅行排放，但没有可供选择的航班，我们不知道从谁那里购买，价格是多少，或者这个价格能为我们抵消多少排放。”

为帮助达成购买协议，航空业必须构建市场及合同和定价机制。购买者也必须能获得证

明可持续航空燃料已帮助他们减少排放和碳足迹的证书。一位可持续航空燃料生产商表示：“制定了碳减排目标的企业愿意掏钱来实现这些目标，但目前可持续航空燃料帮助不了他们。”

认证项目必须从生产者到购买者全程可追溯，以避免重复统计。一位第三方物流公司受访者表示：“购买可持续航空燃料将像购

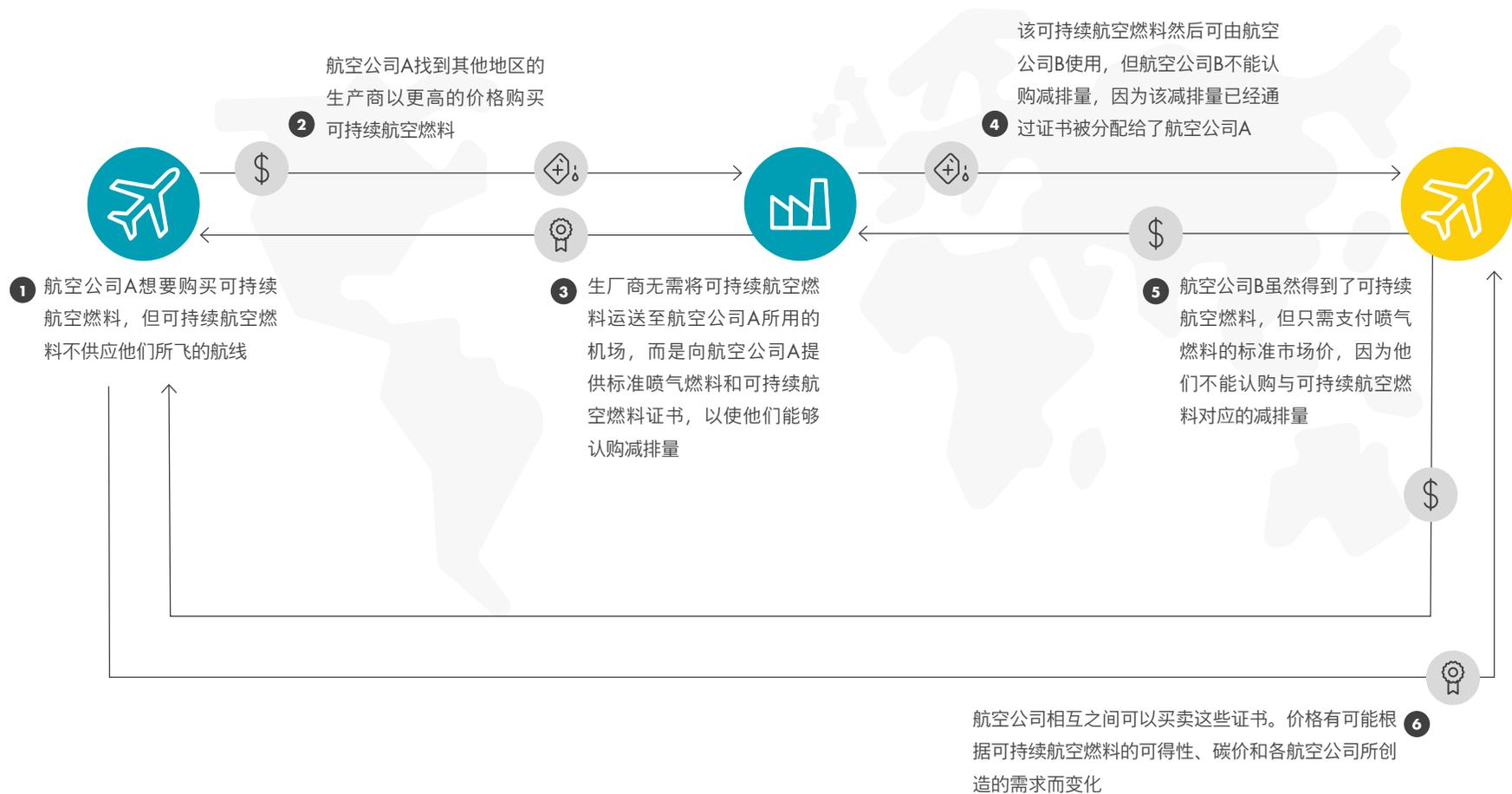
买钻戒一样：需要证书来证明你所购买的东西。必须改进透明度、认证和溯源，它们可能帮助增加可持续航空燃料的使用。”

短期内，证书还可帮助远离供应点的购买者获取可持续航空燃料。可交易的证书或“订购+认证”（book & claim）机制，将有助于扩大可持续航空燃料的市场。它们还能创造释放进一步投资所需的规模。“订购+认证”机制

（请参阅附件41）也有助于解决长距离运输可持续航空燃料所造成的排放问题，从而帮助缩小价差。一位航空公司代表指出：“在一个市场生产可持续航空燃料，再用柴油卡车运送到其他市场，对减排是没有帮助的，因为燃料生产商到了其他市场要价可能更高。”这种问题可通过区块链技术来解决，该技术可避免重复统计，并确保证书来源的唯一和真实性。



41 可持续航空燃料“订购+认证”机制（举例）



资料来源：采访；德勤分析

解决方案8：研发电动和氢燃料飞机

虽然商用电动和氢燃料飞机似乎还有很长的路要走，但它们都有可能在未来的航空领域发挥作用。两者都是比合成可持续航空燃料更节能的解决方案，因为在可持续航空燃料生产的每个阶段（电解制氢和氢气制可持续航空燃料）都有能源损耗。它们也能避免与高海拔燃烧有关的气候问题。

虽然航空业应立即使用当前可用的所有脱碳选择，但也应开发可在未来使用的电动和氢燃料飞机技术。

大型机身和发动机制造商可持续进行研发投入以解决航空特有的技术挑战，同时也应寻求与想要解决类似挑战的其他行业建立合作。例如，航空业可与汽车和电力行业进行电池能量密度和氢储存方面的合作。航运和航空可相互帮助，解决与氢能应用有关的共同挑战。如此即可汇聚各方资金和智慧，帮助解决共同的问题。

市场应继续向探索航空技术的初创企业开放准入。例如，已有多笔与电动垂直起降（VTOL）技术有关的大型特殊目的收购公司（SPAC）交易。先为特定的商业应用开发技术，在技术成熟后再扩展到更广阔的市场，是取得成功的常用思路。

随着技术的进步，航空公司和机场应确定第一批使用替代推进技术的可行航线，并尽快开始试验。虽然这些技术对于一些航线的可行性仍是很大的疑问，但它们对于短途航班较为乐观。一位受访者表示：“到2040年，我们可能开始在通勤航空领域看到电池电动飞机。”

机场也表现出乐观的态度，正在建设一些考虑到未来需求的新开发项目。一位机场受访者表示：“我们新建的航站楼将为氢燃料飞机做好准备。”



角色和决策明确

6. 调研的重要发现

因为无需重新设计飞机，**选择可持续航空燃料作为脱碳的主要手段**，将获得更为显著的减排效果。因此，**投资和研发工作可以主要集中在扩大生产规模和降低成本上。**

解决方案9：与其他行业合作研发可持续航空燃料

虽然如今已能生产可持续航空燃料，但是需要进一步的技术发展来降低成本和扩大生产。该技术对其他行业也有用处。航空和其他行业可通过合作开发共同所需的技术来相互帮助。

第一代生物可持续航空燃料技术已经成熟，但对原料的可持续性存在担忧。事实证明，如果不砍伐森林来为生物燃料作物腾地，或不在本可以用于种植粮食的土地上种植生物燃料作物，便很难增加生物可持续航空燃料供应。一位NGO受访者表示：“我们在等待氢气的同时，必须能够生产不与粮食争夺土地或造成土地使用问题的生物可持续航空燃料。”

需要创新来扩展原料来源：热化学和生物化学路径需要进一步开发以能使用新原料。

合成可持续航空燃料成本最高的环节是制氢和通过DAC获取二氧化碳。降低这些成本将是实现大规模生产的关键。

未来十年，可捕获和重复使用由炼钢等其他行业排放的二氧化碳来生产合成可持续航

空燃料。这意味着可以回收而非完全避免排放，但也能显著减少最终进入大气的二氧化碳数量。并且所需的技术目前比DAC更容易获得。

合成可持续航空燃料所需的氢气成本不断下降，但我们还需要可负担的二氧化碳。

能源公司

应利用现有研发经费——来自行业碳税的收入和通过“嵌入”（投资行业价值链内的减排项

目）筹集的资金，为上述技术发展提供资金支持。也应开发新融资机制，如ESG投资基金，以帮助资助试验项目和管理技术失败的风险。

与其他行业合作可帮助技术实现规模化发展，帮助更高效地利用资金和创意。公路货运、航运和电力行业都将受益于可负担的绿氢及更广泛的先进生物燃料供应。



7. 调研的重要发现

跨行业合作对于成功部署可持续航空燃料至关重要。它能**降低制氢、直接空气捕获和生物质转化等必需技术的成本，并确保有效利用稀缺资源。**

解决方案10：机场致力于促进可持续航空燃料使用和机队升级

机场可倡导发展低排放技术，但同时可以做出更多的努力来加速可持续航空燃料使用和提升运营效率。



有些机场已开始对符合低排放和低噪音标准的飞机收取不同的机场使用费（请参阅附件42）。受访者指出，机场还可提供其他福利，比如给更高效率的航空公司分配黄金时段。一位机场代表解释道：“我们已看到机队更新速度更快的航空公司能享受机场使用费降低的福利。”

公有机场也应利用国家脱碳目标，争取资金用于激励航空公司和燃料供应商采用更高的可持续航空燃料掺入比。一位机场受访者表示：“我们政府已创建主要针对脱碳的疫情复苏基金。作为我们国家的碳排放大户，我们正努力帮助弥合掺入型可持续航空燃料与煤油之间的价差。按照如今的掺入比，我们可用这笔资金来弥补数千架航班的成本差异。”

排名前25位的机场运输45%的旅客，所以一些领先的机场可以创造巨大的影响。在不引起反垄断担忧的情况下，机场应组建“自愿联盟”，以采取一致的标准，签订长期协议，并在主要城市和枢纽分享经验教训。

解决方案11：优化机场和空域以减少运营所产生的排放

机场和国家政府对于提高航线和机场运营效率可以发挥直接作用。虽然机场运营的碳排放仅占行业总排放量2%⁵³，但减少这一影响的技术已经具备，许多机场已经实现了碳中和。^{54, 55}

为实现碳中和所采取的措施包括：购买或生产可再生能源，改进隔热技术，采用节能设备，以及使用电动地勤车辆。通过改进为到达旅客提供陆路接驳服务的公共交通等措施，有些机场也在减少他们的间接排放（范畴2和3）。



42 刺激对低排放资产的需求的机场

荷兰史基浦机场正采取财务激励措施鼓励航空公司提高清洁度、降低噪音。最清洁、最安静的飞机收费降低至基本费率的45%，而高排放飞机则被最高提升至基本费率的180%。

伦敦希思罗机场实施了“安静绿色飞行”（Fly Quiet and Green）计划。该机场追踪航空公司排放目标执行情况，并根据航空公司运营产生的排放进行公开排名。这一举措旨在嘉奖表现好的航空公司，定期向航空公司提供反馈，并帮助航空公司提高它们的评级。

资料来源：史基浦，希思罗

因为可帮助机场降低能源成本，许多此类项目几年之内就能带来积极的投资回报。取得成功的机场应给出成功蓝图，以帮助其他机场减少排放；同时跨地区的机场之间应开展更多合作，以帮助传播有效实施行动计划的最佳实践知识。

受访者表示，改进地面操作和提高起降（LTO）循环效率可显著减少排放。

只需解决机场滑行和等待降落的低效率问题，即可减少近10%的能耗和排放。

机场高管

通过开放和更好地协调国际空域，可以显著改进飞机航线。一位受访者表示：“**因为与国际空域有关的成本和复杂性，我们几乎无法使用最直接的航线飞行。如果没有这个问题，**

我们无需任何投资，即能立即轻松减少10%-20%的排放。”

国际空域的主要问题是国家间不同的成本机制，以及军事用途造成的限制。潜在的优化空间很大，但进一步协调国际空域的难度很高。存在战略和地缘政治壁垒，且空域收费可能是一些国家的重要收入来源之一。

可能很难达到受访者提到的10%-20%的综合减排幅度（请参阅附件43 - 运营效率），但航空业仍然可以通过不依赖空域收入的国家之间更好的合作，在相对没有战略和地缘政治复杂性的领域取得进展。

43 效率提升潜力

	设计效率			运营效率	
	发动机设计	机身设计和材质	飞机运力	空中交通管理	地面操作
描述					
	升级发动机的设计和配置	增加使用能减少阻力的轻量结构和材质，如碳纤维复合材料	最大化飞机载重量，包括旅客和货物载重量	协调空域及准入禁飞区	优化地面操作，如单引擎或电动滑行，最优起降路线
2050年效率提升潜力（以2020年为基准）	20-30%		5-20%	5-10%	5-10%

资料来源：采访；空客；ATAG - 2050路标 - “高提升潜力”；欧洲航空安全组织；IATA - 2050年飞机技术路线图；IPCC；连线

说明：由于不同因素之间相互依赖，不能将各项提升潜力相加得到总和；据飞机运力分析估计，廉价航空公司目前的运力为97%，其余航空公司的平均运力为82%

资产更新换代的容易度

解决方案12：提高飞机效率，加快机队更新

未来十年，通过使用轻质复合材料，从四引擎变为双引擎配置，以及改进发动机设计，可实现效率提升，从而帮助减少航空排放。

一位制造商表示：“每一代新飞机油耗通常比前一代减少15%。”这些改进也使航空公司能够降低油耗，从而减少排放，并帮助负担可持续航空燃料的额外成本。

2009年，航空业商定了从2009到2020年实现年均燃油效率提升1.5%的目标⁵⁶。基于自1990年以来实现的54.3%显著效率提升，航空业自2009年以来效率又提高了1.4%⁵⁷。这相当于约1.3%的复合年均减排率⁵⁸。

我们不能单纯地依靠现有技术变得更高效。没有推进技术或燃料类型的彻底转变，我们能实现的效率提升正在达到临界点。

飞机制造商

加速机队更新可为实现大规模的全球机队效率提升创造机会。有些航空公司和租赁公司已趁疫情导致的业务中断来加速升级改造项目。例如，汉莎航空和新加坡航空继续接收订购的新飞机，同时加速老飞机退役。其中一家航空公司的代表公开表示：“我们投入使用的**新飞机效率比我们要淘汰的高30%。**”随着疫情之后航班需求的增长，航空公司应设法先让最先进的飞机复飞，并在可能时停止使用旧机型。

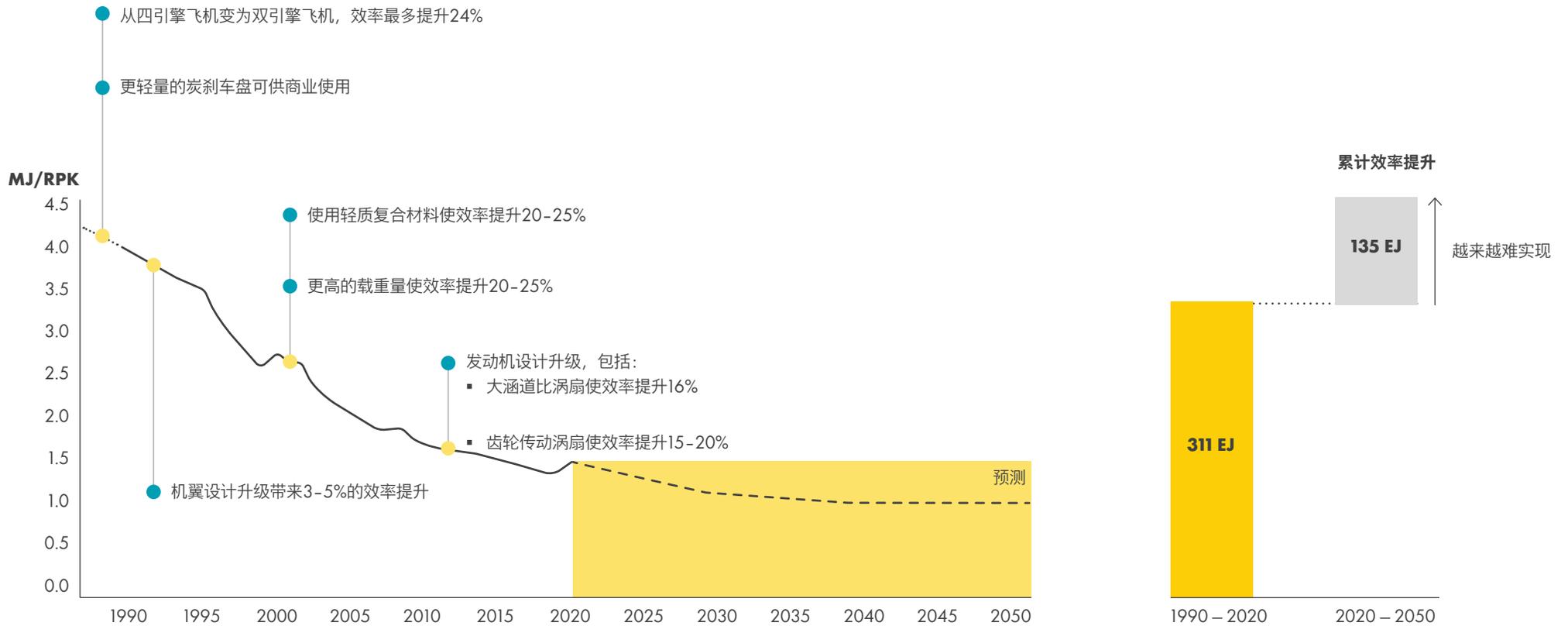
为帮助航空公司进行机队更新，金融机构和政府必须大力提供资金支持。政府可给疫情援助资金附加碳减排条件。有些政府已经是这样做的。例如，向法航-荷航集团提供的83亿美元一揽子援助，是以该航空公司集团遵守严格的碳减排计划为条件⁵⁹。政府也可采

用类似于欧洲重型公路货运标准的要求，该标准对车队实行常规污染物排放限制⁶⁰。

然而，受访者认为，随着最落后的飞机在本世纪20年代退役，能效提升将越来越难实现，大多数受访者认为可实现的排放强度降低目标为20%-30%（请参阅附件44）。



44 历史飞机设计带来的能效提升



资料来源：ATAG - 航空效率入门指南（2016）；波音（2009）；波音（2019）；ICCT（2018）；欧洲航空安全组织（2021）；国家地理（2013）
 说明：累计效率提升是基于1990年的效率计算而来，EJ = 艾焦耳 = 10⁹焦耳

解决方案13：通过定向的“绿色”融资支持加大脱碳投资

为到2050年实现净零排放，所有行业全球实现脱碳预计到2030年每年将耗资4万亿美元⁶¹。航空脱碳需要巨额投资来扩大可持续航空燃料生产规模，更新机队，开发新技术，以及升级基础设施。例如，10个最大租赁机队2020年的摊销金额高达1,670亿美元以上，而它们的合计市场份额不到20%⁶²。

为了为这些投资筹集资金，航空业必须吸引愿意平衡ESG投资的短期回报风险与长期收益的新投资商。受访者认为，航空业需要类似于“波塞冬原则”（Poseidon Principles）的融资机制，该倡议由银行和其他行业利益相关者专为航运业而发起，旨在提供一个全球的责任船舶融资框架。该框架衡量贷款的碳强度，使得放贷决策可以考虑到气候因素。金融机构可用一个项目的高可持续发展评分来平衡其更大的经济风险。“波塞冬原

则”也帮助为评估和披露金融机构的贷款组合是否与所采用的气候目标一致制定了一项通用基准⁶³。一位受访者表示：“航空业需要类似于‘波塞冬原则’的融资机制，使得在进行投资时，出租方和放贷者能在气候目标上保持一致。”

对投资周期长的担忧是需要解决的阻碍之一。一位金融机构代表指出：“其他能源转型市场，如风能和太阳能，都有长期的激励机制。”来自购买者联盟的承购协议和执行政府规定的最低票价，预计有助于稳定现金流和鼓励项目投资。

能源企业也有能力帮助进行脱碳投资。一位受访者表示：“凭借他们的运营和资产融资专业知识，能源公司可为支持客户承担更多技术规模化发展的风险发挥一己之力。”能源公司能以长远的眼光看待投资回报，拥有可用的资金，且可承担更多的项目风险。



基础设施更新换代的容易度

解决方案14：生产生物可持续航空燃料

利用某些原料生产生物可持续航空燃料的技术已经成熟，但全球产量相对较低。2020年的总产量不到0.01 EJ（19万吨），占全球航空需求的0.1%。⁶⁴

本报告概述的上述解决方案解决了增加可持续航空燃料产量所需的需求、技术开发和融资问题。本解决方案重点是将那些解决方案综合到一起，并扩展原料供应链，以便生产更多的可持续航空燃料。

随着生物可持续航空燃料生产规模的扩大，原料来源将变得更加稀少，且开发成本也将更加高昂。航空业将必须开发新型原料，同时提高供应现有原料的效率。一位燃料生产商表示：“很多问题都源自于原料限制，但潜

在的生物质来源有很多；挑战在于如何高效地获取和处理它们。”例如，目前有大量待利用的城市固体废物、农业残留物和林木生物质（请参阅附件45）。

应通过迅速扩展现有试验项目，并在易于获取原料的地区快速构建新机制，来加速生物可持续航空燃料的开发。虽然需要关注原料来源，但我们必须当心的是，不能“**过于追求完美，否则我们永远都只能使用烃类燃料**”一位业内人士表示。

虽然生物质供应量理论上能满足航空业的所有需求，但有一部分生物质将用于其他行业。土地使用限制和与其他行业的竞争，可能造成92 EJ以上的供应差额（请参阅附件46）。据国际能源署（IEA）预计，生物质到2050年将满足50%至60%的航空需求。

一部分这些需求可以更早地释放出来。随着公路货运业开始电气化，可以抽出用于生产卡车用生物柴油的生物质来生产供飞机使用的可持续航空燃料。

正如解决方案7所指出的，随着原料供应规模的扩大，认证机制对于保证质量和可持续性至关重要。



45 生物可持续航空燃料产量不断上升

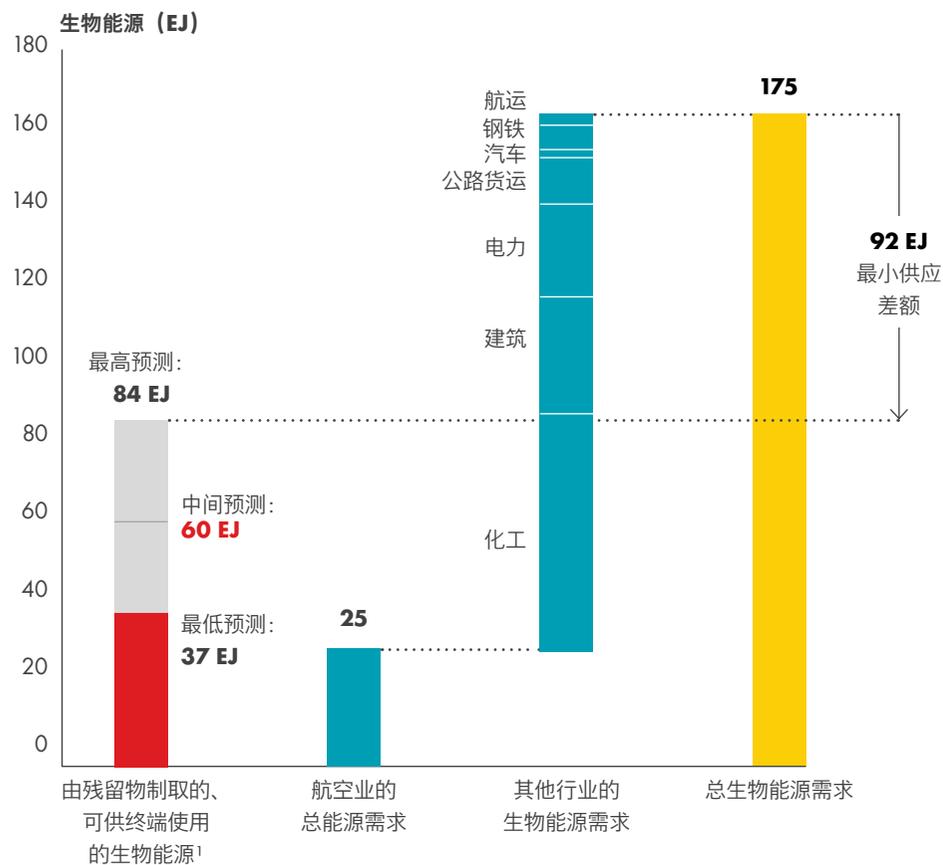
随着对SAF的需求预计不断增长，人们正在不断寻求最佳和最可持续的原料。作为低品位、后回收的混合废物，城市固体废物就是这些潜在的原料之一。

许多公司都在研究利用城市固体废物生产可持续航空燃料。在这个过程中，固体废物先被气化，生成由氢气和一氧化碳组成的合成气；合成气再通过所谓的费托工艺被转化成可持续航空燃料。

在英国，Velocys公司计划利用这项技术每年将5万吨城市固体废物转化成可持续航空燃料。在荷兰，Enerkem公司正计划在一个类似的项目中每年再转化36万吨城市固体废物。

资料来源：Velocys, Enerkem

46 生物能源供应和需求 (2050, EJ)



资料来源: IEA: 到2050年实现净零排放 (2021); IEA技术路线图: 供应可持续性生物能源 (2017); IPCC SSREN (2012); 德勤能源系统模型

说明: EJ = 艾焦耳 = 10¹⁸焦耳

解决方案15: 生产合成可持续航空燃料

因为单靠生物可持续航空燃料不足以达成2050净零目标, 所以合成可持续航空燃料将在航空脱碳中扮演重要的角色。未来10 - 20年, 合成可持续航空燃料可能比生物可持续航空燃料更昂贵。至关重要是现在就要立即开始扩大合成可持续航空燃料生产规模, 以更快地降低它的价格, 并确保它在2050年能够发挥作用。

合成燃料相比化石煤油更纯净、更清洁, 且效率高4%。而且与生物技术相比, 他们不需要太多的土地利用。这些合成燃料被视为最终状态。

飞机制造商

需要投资来增加生产合成可持续航空燃料所需的可再生电力、氢气和回收二氧化碳的供

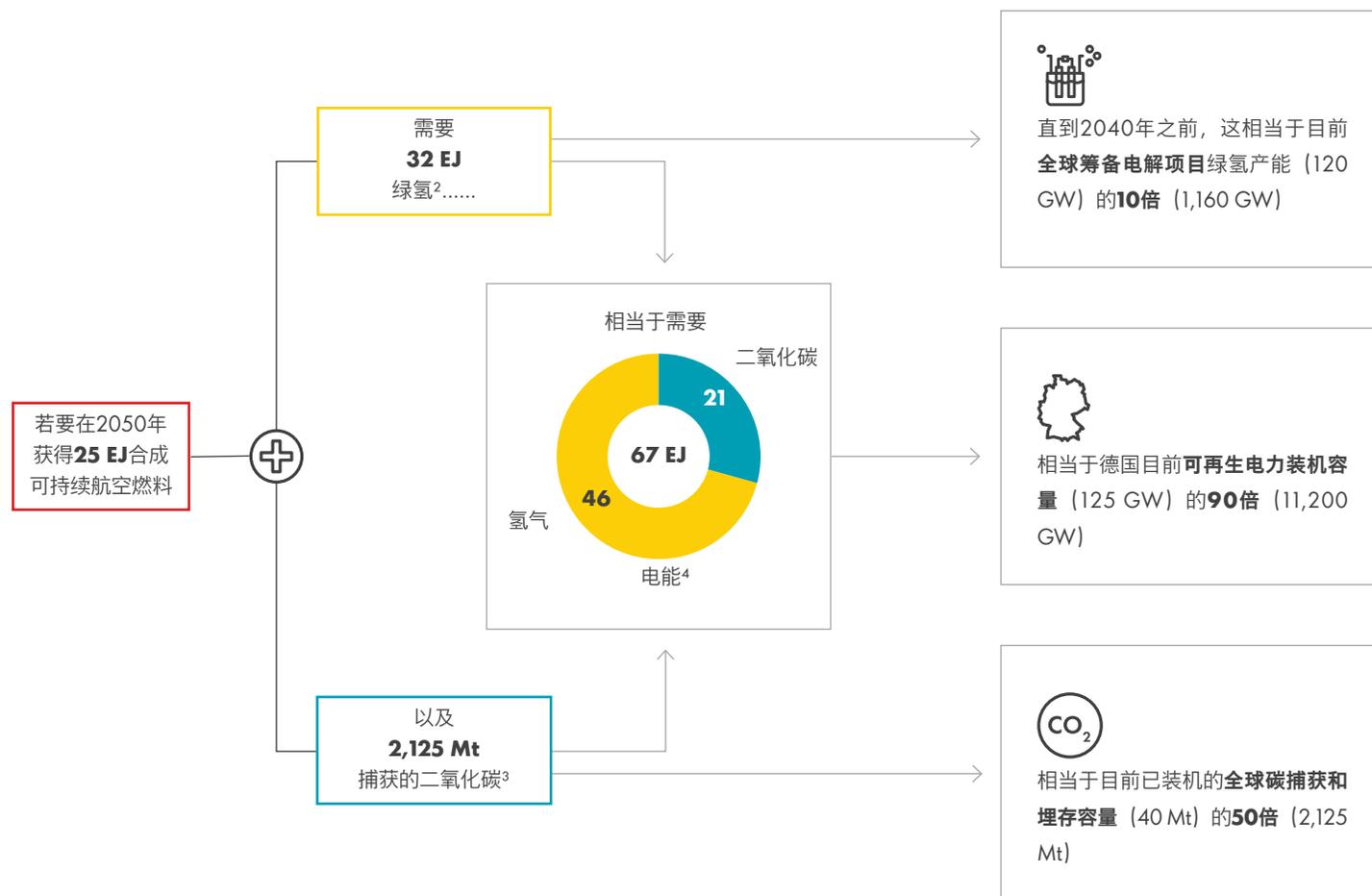


应。通过持续投资可再生能源项目，并通过研发支持和资助，协助进一步地开发如直接空气捕获（DAC）、电解装置及合成可持续航空燃料精炼工艺等，政策制定者在这方面大有可为。

应在靠近原料供应和需求中心的战略位置建立试点项目，以帮助开发合成可持续航空燃料技术并开始创造供给。从可再生能源中获取航空所需的所有原料将是一项挑战。到2050年，如果要给所有航班都添加合成可持续航空燃料，那么我们将需要共67 EJ可再生电力（请参阅附件47）。短期内，蓝氢也有可能发挥作用。这将有助于加快技术的发展，同时扩大可再生原料的供应。

政府应为未来的可再生能源项目投资建立清晰的路线图，生物和合成可持续航空燃料生产商都应就未来的生产做出承诺。这能让燃料的未来前景拥有更大的确定性，从而有助于释放出来自行业内部和外部的投资。

47 合成可持续航空燃料的规模（2050, EJ）



资料来源：全球碳捕获和埋存技术研究所 - 碳捕获和埋存技术在全球的现状（2020）；IEA（2020）；IRENA - 可再生能源产能统计（2020）；Kraan等人，只依赖技术的能源转型导致押注太阳能燃料；IRENA - 绿氢成本降低；Rystad RenewableCube（2021）；德勤能源系统模型

说明：（1）2050年22,000 bRPK的总能源需求（预测）相当于25 EJ（艾焦耳）；（2）假设每焦耳合成可持续航空燃料需要1.28焦耳氢气；（3）假设生产1吉焦耳合成可持续航空燃料需要85 kg二氧化碳；（4）假设每吨捕获二氧化碳需要效率达到70%的电解装置和10 GJ电能

航空计划： 加速脱碳



脱碳路径

大多数研究参与者认为航空业很快采用净零排放目标是理所当然的。一位航空公司高管表示：“社会不再接受航空业的特殊地位。我们必须和所有其他行业一样进行脱碳，以维护信誉。”净零目标需要我们大幅加快行动步伐。安于现状不可能实现净零目标，必须从现在开始加速。

更雄心勃勃的目标不足以带来改变。航空业已开发了许多可能的脱碳路径，但行业利益相关者表示现在必须有全新、全面和更实际的方法：“航空脱碳路径在方向上是正确的，但细节需要改进。”一位行业专家表示。

与先前的计划相比，投资必须大大加快或提前。一位业内人士表示，先前公布的计划存在“曲棍球棒效应，这种方法很冒险，它假设很大一部分努力和减排将在2040年后奇迹般地取得成功。”航空业也认识到，构建所需的能力和做出改变都需要时间，但若更多更早地付出努力，则能提高成功几率。大多数调研参与者认为，所有目前可行的实现脱碳的方法都必须发挥作用，包括效率提升、生物可持续航空燃料、合成可持续航空燃料和碳抵消（请参阅附件48）。依靠单一的方法

不可能达到所需的净排放减少量。该行业还应完善关于如何使用这些方法的细节，以便能够发挥出它们的最佳效果。

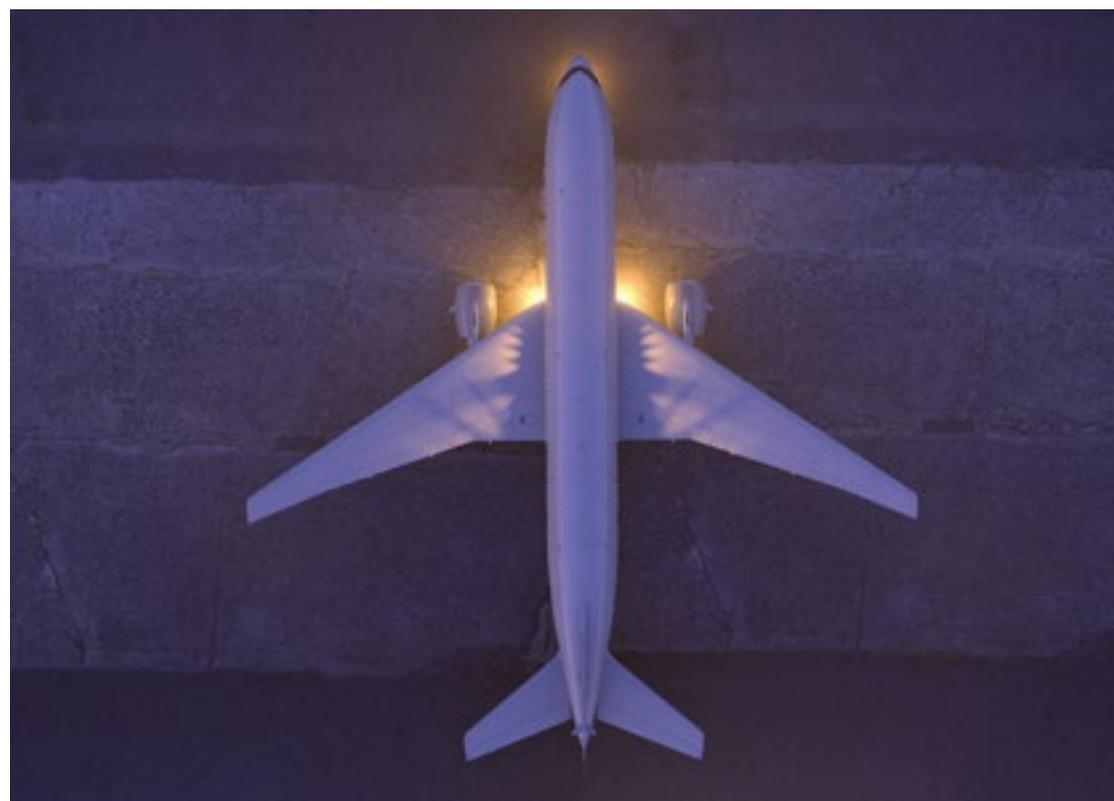
许多受访者表示，航空业不应继续将运营效率视为理所当然。大多数先前制定的计划都包含了每年1%-2%的效率提升，就好像它们无需付出重大努力就能实现，并且能无限期地持续下去。但一位航空公司受访者表示：

“很难相信我们还能将这一提升幅度再保持30年。”

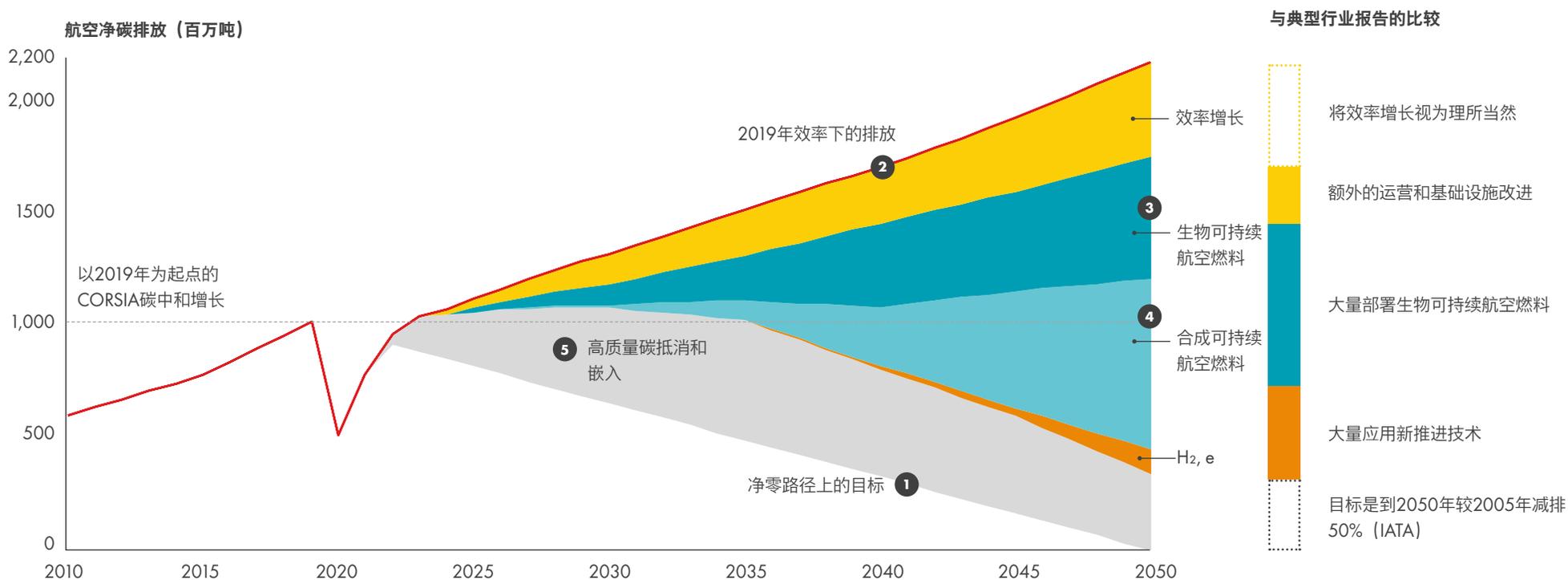
尤其是从长远来看，生产生物可持续航空燃料所需的可持续原料供应存在很大不确定性。由于其他行业正在与航空业竞争生物质，因此很难对未来30年生物可持续航空燃料的原料供应情况做出完全准确的估计。但是不太可能有足够的生物质原料和生物可持

8. 调研的重要发现

为满足社会期望，脱碳路径需要更加雄心勃勃，投资需要尽早开始。可持续航空燃料需达到足够的产量，以使成本降低至在15年内可实现大规模应用所要求的水平。



48 脱碳路径 - 业界观点

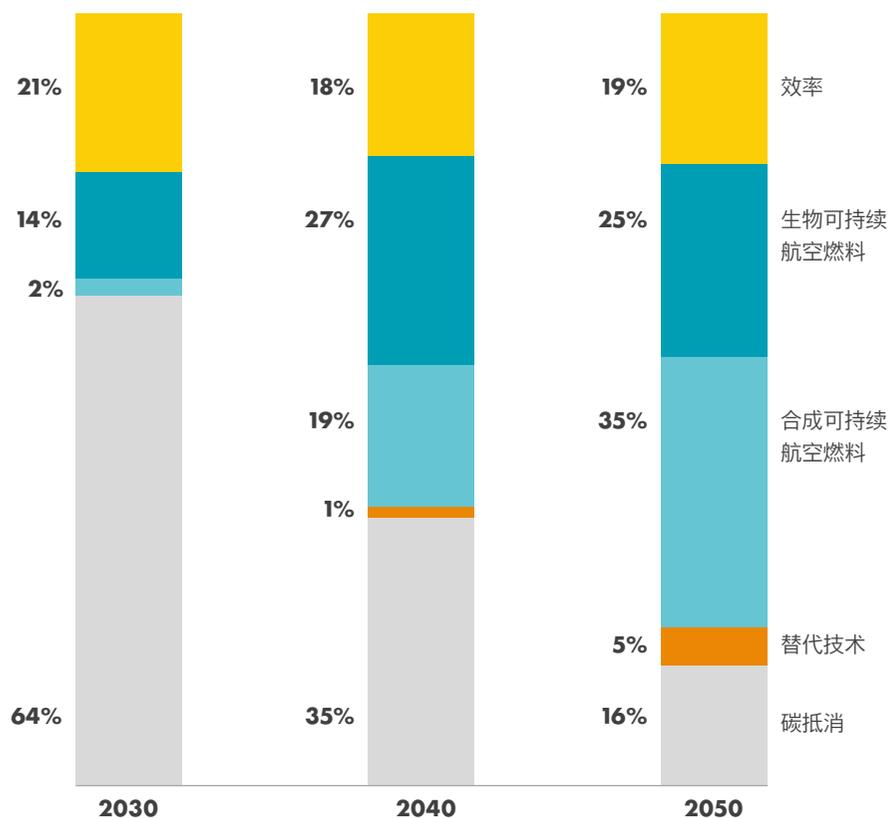


与典型行业报告的主要区别

- 1 2050年达到净零
- 2 不将效率增长视为理所当然
- 3 生物可持续航空燃料的潜力有限
- 4 合成可持续航空燃料更早实现规模化
- 5 高质量碳抵消和嵌入

资料来源: 采访; ATAG (2020); IATA (2021); ICAO (2019); 壳牌能源转型远景 (2021); 德勤分析

49 脱碳选择对碳减排的贡献 – 业界观点



续航空燃料生产能力，来满足20-30%以上的航空可持续燃料需求。因此，调研参与者表示，必须加快合成可持续航空燃料的开发，使其能够更快地达到商业规模。一位航空公司高管表示：“合成可持续航空燃料并非没有挑战，但它是基于相对不受限制的资源，并且只要进行正确的投资，就能扩大它的生产。”若能更早开始，到2040年，合成可持续航空燃料对减少航空排放的贡献将和生物可持续航空燃料一样大。该行业预计，到2050年，合成可持续航空燃料的航空减排贡献可能达到30-40%（请参阅附件49）。

航空业还必须确保所有碳抵消达到高质量，并努力大幅增加它们的使用。碳抵消必须发挥更大的作用，而不只是在可持续航空燃料

实现规模化生产之前发挥补偿作用；它还应通过除去二氧化碳来推动减排，以及为该行业的研发提供资金。到2030年，碳抵消对减少航空净排放的贡献预计最高达到50%。而随着碳抵消平均质量的提升，它们的成本也将上升，最终与其他脱碳选择持平。一位发动机制造商表示：“尤其是在接下来的10-15年内，高质量的碳抵消将发挥重要作用。”但随着2050年的临近和可持续航空燃料越来越容易获得并发挥更大的减排作用，碳抵消的相对重要性将逐渐下降。

与此同时，航空业还必须投资开发能在未来发挥作用的替代推进技术，即使它们在2050年之前的减排贡献有限。



资料来源：采访；德勤分析

到2030年的航空计划

短期内（2022 - 2025年）应专注于能**释放**出加速度的解决方案（请参阅附件50）。本阶段首先关注需求侧因素。大公司和货运企业比休闲旅客更愿意、也更有能力为脱碳买单。因此，大公司和货运企业将为提供可持续航空燃料的长期需求保证发挥根本性作用。它们必须在这方面与航空公司和燃料供应商密切合作。

航空业必须提出能鼓励休闲旅客采用绿色解决方案的新价值主张。这些主张还能帮助负担脱碳成本，并提升休闲旅客对他们能如何帮助减少自身和航空业对气候变化的影响的意识。航空公司、机场和旅行社必须决定如何才能最好地让这些主张有效地发挥作用。

我们需要一种与旅客合作的新方式，需要提供一些新鲜的东西来吸引他们的注意力，让他们愿意为脱碳买单。

碳抵消经理

应推出更多高质量的碳抵消项目。应向旅客清晰地传达它们的益处和影响，以增加它们的使用和促进可持续发展。这需要碳抵消提供者、监管机构、技术开发商、能源公司和其他方面的共同努力。我们发现，通过初创企业和规模企业来带动新业务模式，创新可对碳抵消发挥重要作用。



航空业不能单纯依靠需求来实现可持续航空燃料和其他脱碳方法的持续增长。需要与燃料生产和使用有关的法规，来支持可持续航空燃料成本达到与现有燃料持平的水平。虽然法规最初更局限于当地，但向地区范围内扩展很重要。一位航空公司代表指出：“**作为一个行业，我们必须避免将这个全球性产业经营成各自为政的局面。**”当地和地区监管机构必须与IATA、CORSIA和其他机构密切合作，以便能以连贯和一致的方式进行变革。

监管和需求起初能让生物可持续航空燃料产量增加。首先实现产量增加的将是容易获取原料且具备有利条件的地方，如加州。

未来几年必须加大合成可持续航空燃料研发投入。应更快速地生产更多合成可持续航空燃料，且应将更多合成可持续航空燃料与生物可持续航空燃料混合。航空业应与其他行业开展绿氢、DAC及CCU方面的合作，以努力改进技术，并增加用于生产合成可持续航空燃料的低排放氢气和二氧化碳的供应。一

9. 调研的重要发现

单个行动计划应融入到代表价值链所有环节的**总体计划**中：从能源供应商到最终客户。这些计划应该**系统部署**在政策有利、市场条件良好且可持续航空燃料准入地区。

家能源公司表示，他们及竞争对手都必须大力投资合成可持续航空燃料，以使其“从实验室中的小批量生产走向持续的大规模生产。”

接下来是“加速”阶段（2025-2030）。本阶段将围绕2050年的净零排放目标进行，将达成一致的目标实现计划。全行业必须共同努力，以达成一致的目标，并明确帮助实现目标的行动方和行动内容。在本阶段，可持续

航空燃料——包括生物和合成——的生产规模将随着需求的增长而扩大。标准、认证和报告对于扩大可持续航空燃料的益处和使用至关重要。“订购+认证”机制将在产量相对低的时期帮助远离供应点者获取可持续航空燃料。增加可持续航空燃料产量，需要能源公司、当地和地区监管机构、大公司、航空公司及金融机构之间密切合作。

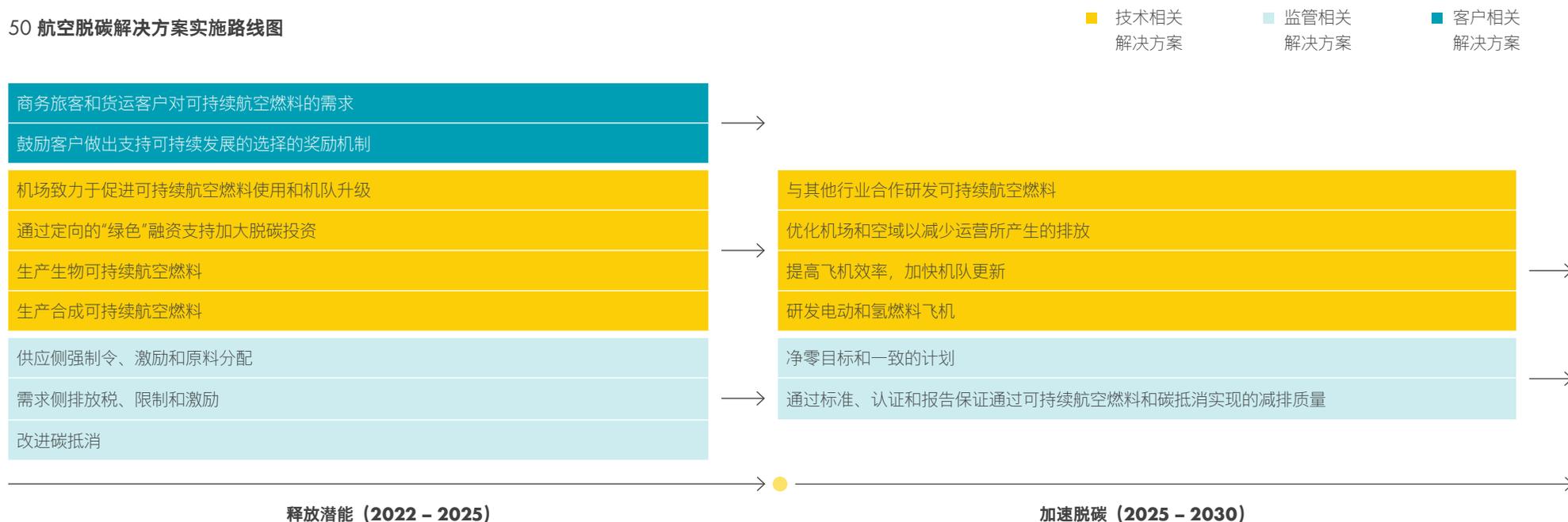
政府和行业监管机构必须合作寻找最佳解决方案，以解决生物可持续航空燃料供应量不足，以及生产合成可持续航空燃料所需的绿电和绿氢短缺的问题。监管机构必须确保航空业拥有充足的生物可持续航空燃料和合成可持续航空燃料供应。

机场必须相互合作，以倡导做出使用脱碳燃料的承诺。机场还应努力通过节省地面作业

的能耗来减少排放，并与政府及航空公司合作，倡导更高效地利用可用空域。

与此同时，航空业必须与其他行业进行研发合作，以降低燃料和替代技术的成本。因为服务于众多行业，且能为新燃料及其效率提供保证，能源公司将在这方面发挥重要作用。

50 航空脱碳解决方案实施路线图



说明：解决方案的实施时间与大多数活动的预计实施时间有关；但大多数解决方案同时需要短期、中期和/或长期的努力。

如何共同发力

受访者认识到，航空脱碳的挑战如此艰巨，任何单个组织甚至单个利益相关群体都不可能单独应对。但共同努力（请参阅附件51）使航空业能够在短期内推出具体解决方案，并实现长期的重要目标。先行者有可能更早地接触到不同的见解，从而让他们在市场竞争中脱颖而出。他们很有可能能够分担风险和投资成本，并影响结果为他们所用。转型初期与客户及航空部门的接触，能为他们未来的业内关系奠定良好的基础。随着这些先期行动不断扩大并造出声势，更多公司将加入进来，在整个行业创造必要的规模和影响力。

虽然每项措施都很重要，但它们结合在一起才能发挥出最大作用。航空业应遵循“**眼光长远、小处着手、快速扩展**”的原则。通过遵循这一原则，航空业可仔细挑选一些地区，率先提供低排放或净零排放航班。所选择的地区必须具备有利条件，如支持性的法

规，机场之间紧密配合，具有环保意识的商务旅客占很大比例，以及能够扩大可持续航空燃料生产等（请参阅附件52）。

一条高曝光度和定期运行的低排放或净零排放航线创造的益处，可能远超无数架小规模 and 运行一次的试验航班。该服务可以基于拥有配套基础设施的可持续航空燃料，以及拥有相应的客户奖励机制的高质量碳抵消。这种服务将对其他航线起到示范作用，最终发展成为行业标准。一位能源专家表示：“**我们只需构建一条日常运行的系统化可持续航线，很快就会有其他同行效仿，因为他们终将走上脱碳之路。**”

众多志同道合的企业和机构密切合作并引领先河，是助力航空脱碳的关键。

如此，航空脱碳之旅**即可准备起飞！**



51 每项解决方案所需的角色

		解决方案								
		OEM	航空公司	大公司	货主	旅行社	监管机构	机场	金融机构	能源公司
航空业为何应当改变?	市场和客户需求	1 商务旅客和货运客户对可持续航空燃料的需求								
		2 鼓励客户做出支持可持续发展的选择的奖励机制								
	监管激励	3 净零目标和一致的计划								
		4 供应侧强制令、激励和原料分配								
		5 需求侧排放税、限制和激励								
航空业能否改变?	技术一致	6 改进碳抵消								
		7 通过标准、认证和报告保证通过可持续航空燃料和碳抵消实现的减排质量								
		8 研发电动和氢燃料飞机								
	角色和决策明确	9 与其他行业合作研发可持续航空燃料								
		10 机场致力于促进可持续航空燃料使用和机队升级								
		11 优化机场和空域以减少运营所产生的排放								
航空业能以多快的速度改变?	资产更新换代的容易度	12 提高飞机效率，加快机队更新								
		13 通过定向的“绿色”融资支持加大脱碳投资								
	基础设施更新换代的容易度	14 生产生物可持续航空燃料								
		15 生产合成可持续航空燃料								

■ 引领者
■ 支持者

52 航空业如何在短期内实现脱碳

政府支持:

有吸引力的当地法规可支持可持续航空燃料生产集群的增长。强制令确保将稀缺资源分配给航空，并弥合可持续航空燃料与现有燃料之间的价差。



航空公司
征税、监
管和激励。

通过标准、认证和报告保证通过可持续航空燃料和碳抵消实现的减排质量。



供应侧强制令、激励和原料分配



针对燃料生产商的可持续航空燃料强制令和激励



客户需求:

通过“订购+认证”机制在重要商务和货运航线上与志同道合的客户合作，以实现净零排放的旅行和货物运输。



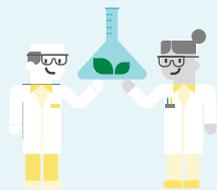
商务旅客和货运客户对可持续航空燃料的需求



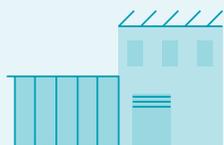
鼓励客户做出支持可持续发展选择的奖励机制

原料供应:

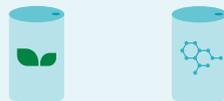
可持续航空燃料生产集群靠近原料来源，如生物质和氢气，创造在当地使用可持续航空燃料的机会，并避免需要新建生产配送基础设施。需求推动供应实现规模化。



与其他行业合作研发可持续航空燃料



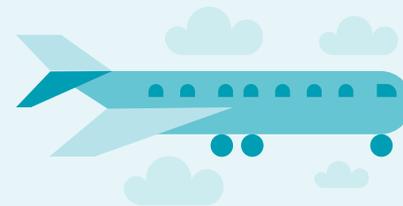
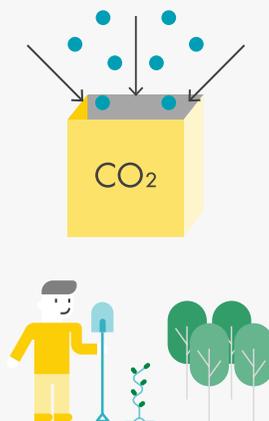
生产生物可持续航空燃料 生产合成可持续航空燃料



通过碳抵消避免排放:

经过严格认证的高质量碳抵消和嵌入，以及直接资助低碳燃料路径的开发。

改进碳抵消



航空业2025年的目标
拥有定期运行的
净零航线。



鸣谢

对所有参与本次研究的人员表示诚挚的感谢！感谢你们付出的时间、精力和热情！你们的付出，在新冠疫情全球大爆发的背景下显得尤为可贵！

参考资料

- 1 跨越国界的航空益处, [“为经济体创造附加值”](#), 2021年5月26日访问
- 2 gov.uk, [“英国将到2035年减排78%的新目标写入法律”](#), 2021年8月2日访问
- 3 路透社, [“德国政府和航空业同意‘绿色’航空燃料计划”](#), 2021年8月2日访问
- 4 EASA (2019), [“2019欧洲航空环境报告”](#)
- 5 跨越国界的航空益处, [“为经济体创造附加值”](#), 2021年5月26日访问
- 6 跨越国界的航空益处, [“为经济体创造附加值”](#), 2021年5月26日访问
- 7 跨越国界的航空益处, [“旅游赋能者”](#), 2021年5月26日访问
- 8 跨越国界的航空益处, [“就业”](#), 2021年5月26日访问
- 9 Gössling & Humpe (2020), [“航空的全球规模、分布和增长: 对气候变化的影响”](#)
- 10 “收入客公里”代表付费旅客(即飞行员和机组人员除外)的旅行公里数
- 11 Epstein and O’Flarity (2019), [“考虑利用电动飞机减少航空碳排放”](#)
- 12 环境与能源研究所 (2018), [“简报 | 全球高铁发展情况”](#)
- 13 IEA (2021), [“到2050年实现净零排放”](#)
- 14 ATAG (2020), [“2050路标”](#)
- 15 ICAO (2020), [“CORSA是什么, 它如何发挥作用?”](#), 2021年5月10日访问
- 16 波音 (2019), [“首飞: 787梦幻客机庆祝首飞10周年”](#), 2021年7月7日访问
- 17 忧思科学家联盟 (2020), [“每个国家的碳排放占比”](#)
- 18 美国能源部, [“氢储存”](#), 2021年7月30日访问
- 19 二氧化碳数据未考虑航空业的非二氧化碳排放(如氮、硫、烟尘)及飞行云的形成。非二氧化碳排放物对气候的影响非常复杂, 尚不确定该如何量化和平衡它们的影响
- 20 欧盟, [“减少航空排放”](#), 2021年6月4日访问
- 21 欧洲议会 (2015), [“国际航空和航运的减排目标”](#)
- 22 福布斯 (2020), [“飞行羞耻运动在欧洲的蔓延: 原因是否在于格蕾塔·通贝里 \(Greta Thunberg\)”](#), 2021年7月6日访问
- 23 IATA (2021), [“航空业财务展望更新”](#)
- 24 IATA (2021), [“航空业财务展望更新”](#)
- 25 ATAG (2020), [“2050路标”](#)
- 26 Statista (2021), [“廉价航空公司2007至2020年的全球市场份额”](#), 2021年6月4日访问
- 27 IATA (2009), [“到2050年排放减半——航空业向哥本哈根带来目标”](#)
- 28 ICAO (2020), [“何为CORSA及它有何作用?”](#), 2021年5月10日访问
- 29 可持续航空燃料强制掺入比在第58页有更详细的介绍
- 30 金融时报 (2021), [“‘柴油 vs 甜甜圈’: 新生物燃料精炼厂挤兑美国食品行业”](#), 2021年9月9日访问
- 31 CDM (2021), [“不同类型的CDM项目”](#), 2021年7月7日访问
- 32 基于在本次调研中对6,000名旅客开展的调查
- 33 欧盟委员会 (2021), [“欧洲议会和理事会关于确保可持续航空运输的公平竞争环境的法规提案”](#)
- 34 Oliver Wyman (2021), [“全球机队及MRO市场预测 \(2021-2031\)”](#)
- 35 英国政府新闻稿 (2021), [“英国将到2035年减排78%的新目标写入法律”](#)

- 36 德国政府新闻稿 (2021), [“联邦政府、州和行业就扩大气候友好型和基于电力的航空燃料市场规模的路线图达成一致”](#)
- 37 劳斯莱斯 (2021), [“劳斯莱斯首次进行在商用飞机中使用100%可持续航空燃料的试验”](#)
- 38 Zero Avia (2021), [“ZeroAvia再获2430万美元注资, 启动50座以上零排放飞机的大型发动机开发”](#)
- 39 联合国 (2020), [“净零承诺数不到一年就翻倍”](#), 2021年6月25日访问
- 40 科学减碳倡议组织 (2021), [“推动雄心勃勃的企业气候行动”](#), 2021年7月7日访问
- 41 International Airport Review (2021), [“DB Schenker和汉莎货运推出每周飞行一次的碳中和货运航线”](#), 2021年7月30日访问
- 42 澳洲航空, [“澳航集团削减碳排放”](#), 2021年8月2日访问
- 43 ICCT (2021), [“半杯水: 邀请IATA更新气候目标”](#)
- 44 英国政府新闻稿 (2021), [“英国将到2035年减排78%的新目标写入法律”](#)
- 45 美国国会 (2020), [“H.R.8769 - 可持续航空燃料法”](#)
- 46 欧盟委员会 (2020), [“可持续航空燃料 - ReFuelEU Aviation”](#)
- 47 欧盟委员会 (2021), [“欧洲绿色协议: 欧盟委员会提议欧盟经济和社会需要转型以实现气候目标”](#), 2021年7月16日访问021
- 48 Biofuels international (2019), [“芬兰政府提出让生物燃料在航空燃料中的占比达到30%的目标”](#)
- 49 CARB (2021), [“低碳燃料标准”](#)
- 50 Aviation Today (2021), [“新法规可为使用可持续航空燃料的美国航空公司带来免税优惠”](#)
- 51 美国国会, [“H.R.741-- 可持续航空燃料法”](#), 2021年6月24日访问
- 52 英国可持续航空, [“英国航空业强化实现净零排放的承诺, 并公布首个中期脱碳目标”](#), 2021年6月24日访问
- 53 机场碳认证, [“机场解决他们的碳排放”](#), 2021年6月25日访问
- 54 FAA, [“机场减碳”](#), 2021年6月25日访问
- 55 国际机场理事会, [“欧洲机场承诺到2050年实现他们掌控之下的净零排放”](#), 2021年6月25日访问
- 56 IATA, [“航空和气候变化资料单”](#), 2021年6月25日访问
- 57 ATAG, [“3号资料单: 追踪航空效率”](#), 2021年6月25日访问
- 58 ICCT, [“新型商用喷气式飞机的燃油效率趋势 \(1960-2014\)”](#), 2021年6月25日访问
- 59 Transport & Environment, [“解释法航获得援助的‘气候条件’”](#), 2021年6月25日访问
- 60 欧盟委员会, [“欧洲议会和理事会2009年6月18日的 \(EC\) 595/2009号法规”](#), 2021年6月25日访问
- 61 IEA (2021), [“到2050年实现净零排放”](#)
- 62 Statista 2020和德勤分析, [“2020年领先的飞机运营租赁公司 \(按机队价值\)”](#)
- 63 波塞冬原则 (2019), [“全球的负责任船舶融资框架”](#)
- 64 空客 (2020), [“可持续航空燃料: 实现清洁飞行的方法”](#), 2021年9月2日访问

免责声明

荷兰皇家壳牌集团直接和间接投资的公司为独立的实体。在本报告中，为了方便起见，有时使用“壳牌”、“壳牌集团”、及“荷兰皇家壳牌”等词，它们一般是指荷兰皇家壳牌集团及其子公司。同样，“我们”、“我们的”一般也用于指代荷兰皇家壳牌及其子公司或者为公司工作的人。这些措辞也用于简单区别某家特定公司。本报告中所用的“子公司”、“壳牌子公司”和“壳牌公司”是指荷兰皇家壳牌直接或间接控制的实体。壳牌拥有联合控制权的实体和非法入业务一般分别称为“合资公司”和“联合运营业务”。壳牌拥有重大影响但既无控制权也无联合控制权的实体称之为“关联公司”。为了方便起见，“壳牌股权”用于表示壳牌在一家实体或非法人联合组织中持有的、除开所有第三方股权之后的直接和/或间接所有者权益。

本报告包含来自壳牌“天空1.5”远景的数据和分析结果。壳牌远景并不是对未来的预测。包含本报告中所包含场景的壳牌远景并非壳牌的战略或业务计划。在制定公司战略时，我们将壳牌远景作为需要考虑的众多可变因素之一。社会最终能否达成脱碳目标不在壳牌的控制范围之内。虽然我们打算在脱碳之旅中与社会保持一致步

调，但只有政府能构建成功框架。“天空1.5”远景的数据源自壳牌的“天空”远景，但是有重要的更新。第一，该远景对新冠疫情的影响和疫情后复苏，采用了与“天空1.5”远景描述相一致的模型。第二，它将这一预测融入到了“天空”（2018）远景中现有的、2030年之前的能源系统数据中。第三，核心远景中引入了自然解决方案的全面规模化，因而能采用这一全面规模化的最新模型。（2018年，达到到本世纪末将升温控制在对比工业化前1.5°C的目标所需的自然解决方案，是按照对“天空”远景的敏感度进行分析的。在IPCC的《全球升温1.5°C特别报告》（SR15）中也审核并包含了这一分析。）第四，首次呈现了我们新的石油天然气供应模型，以及与“天空1.5”远景描述和需求相一致的展望。第五，“天空1.5”远景吸收了不同来源的、截至2020年的最新历史数据和估算，尤其是来自国际能源署的全面能源统计数据。和“天空”远景一样，“天空1.5”远景同样假设社会能实现《巴黎协定》中将升温控制在1.5°C的延伸目标。它立足于现在看来颇具难度而又实际的发展动态，但探索了一条以目标为导向的、实现这一目标的路径。通过考虑如今的现实情况，结合切合实际的变革时间表，我们重新设计了实现这一目标的路径。当然，社会要实现

这一目标可以选取一系列潜在的路径。虽然实现《巴黎协定》目标及“天空1.5”远景中描述的未来，并保持全球经济增长，极具挑战性；但如今这仍是一条技术上可能的路径。

壳牌的运营计划、展望和预算是以10年为期预测的，每年更新一次。它们反映了当前的经济环境，以及我们合理预计的未来十年的情况。因此，壳牌的运营计划、展望、预算和价格设想未反映我们的净零排放目标。未来，随着社会逐步迈向净零排放，我们预计壳牌的运营计划、展望、预算和价格设想将反映这一进展。

此外，在本报告中我们可能提到“壳牌的净碳足迹”，它包含壳牌生产能源产品所产生的碳排放，壳牌供应商为我们生产能源产品供应能源所产生的碳排放，以及壳牌客户使用我们销售的能源产品所产生的碳排放。壳牌只控制自身的排放。使用“壳牌的净碳足迹”一词只是为了方便，并不代表这些排放是来自壳牌或其子公司。

本报告包含关于荷兰皇家壳牌有限公司的财务状况、运营结果和各项业务的前瞻性陈述（其含义见美国1995年证券诉讼改革法案规定）。除历史事实之外，所有其他陈述均是或可能被视为前瞻性陈述。前瞻性陈述是指，基于管理层的当前预期和假定，而做出的关于未来预期的陈述，其中包含已知和未知风险及不确定因素，可能导致实际结果、业绩或事件与前瞻性陈述中明示或默示的情况大相径庭。前瞻性陈述包括但不限于，有关荷兰皇家壳牌有限公司可能面临的市场风险的陈述以及表达管理层的预期、信心、估计、预测、计划和假设的陈述。这些前瞻性陈述是指使用诸如“预期”、“相信”、“可能”、“估计”、“希望”、“打算”、“可以”、“计划”、“目标”、“展望”、“也许”、“预

计”、“将”、“试图”、“目的”、“风险”、“应当”以及类似词语或表述的陈述。荷兰皇家壳牌有限公司未来的运营可能受到诸多因素的影响，使得其运营结果与本报告中的前瞻性陈述差别迥异。这些因素包括（但不限于）：（a）原油和天然气的价格波动；（b）壳牌集团产品的需求变化；（c）货币汇率波动；（d）钻探和生产结果；（e）储量估计；（f）市场损失和行业竞争；（g）环境风险和自然风险；（h）查明合适的潜在收购财产和目标以及成功谈判并完成交易的相关风险；（i）在发展中国家和受到国际制裁的国家从事业务的风险；（j）立法、财政和法规方面的发展，包括应对气候变化的法规性措施；（k）不同国家和地区的经济金融市场条件；（l）政治风险、项目延期或提前、审批和成本估算；（m）传染病所造成影响的相关风险，例如新型冠状病毒肺炎的爆发；以及（n）贸易条件变化。本声明不保证未来的股息支付将匹配或超过以前的股息支付。本声明中包含或提及的警示陈述明确限制了本报告所包括的全部前瞻性陈述。读者不应不适当地依赖于前瞻性陈述。关于其他可能影响未来业绩的因素，请参见皇家荷兰壳牌20-F（截止到2020年12月31日，可登录www.shell.com/investor上打开或www.sec.gov下载），读者就此同样应给予考虑。所有前瞻性陈述仅应截至本报告发布之日（2021年9月20日）有效。荷兰皇家壳牌有限公司及旗下任何子公司均无义务公开更新或修改任何前瞻性陈述以反映新信息、未来事件或其他信息。由于上述风险，结果可能严重偏离本报告的前瞻性陈述中明示、默示或隐含的情况。

在本报告中，我们可能使用了SEC准则严格禁止在向SEC提交的文件中使用的词语。敦促投资者仔细考虑我们在表20-F、文件编号 1-32575（可登录SEC网站www.sec.gov下载）中披露的信息。

如欲了解更多信息，请访问：

www.shell.com/DecarbonisingAviation

[#MakeTheFuture](#)

欢迎与我们互动：

[壳牌LinkedIn主页](#)

[德勤LinkedIn主页](#)

© 2021 Shell International B.V.

保留所有权利。未经Shell International B.V. 事先书面同意，禁止以任何形式或任何途径复制、在检索系统中保存、发布或传播本文档的任何部分。

