

氢能航空运行场景研究



崔容, 杨晨光

中国商飞北京民用飞机技术研究中心, 北京 102211

摘要: 氢能是实现航空业“低碳”运行的重要路径, 氢能飞机设计及氢能航空的体系级应用成为研究焦点。本文分析了民航运输体系为保障氢能飞机运行的新场景, 从氢能供应链条和终端使用保障出发, 对不同预期目标下的机场基础建设和运营提出了要求; 进一步对体系级场景下的飞机运行场景开展了研究, 识别了氢能飞机因使用氢燃料替代航空煤油而在各运行阶段引发的新场景, 分析了各场景对飞机设计的影响。最后以氢能支线飞机设计为例, 基于已识别的飞机运行新场景, 初步定义了飞机在使用氢燃料时应满足的部分顶层研制需求。通过研究, 初步捕获了氢能航空从供应链条至终端使用的运行要求和基础保障, 为氢能飞机和氢能机场方案设计提供输入。

关键词: 氢能源; 场景分析; 飞机设计; 系统工程; 需求捕获

中图分类号: V37

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2024.01.005

为积极应对全球气候变化、加速实现碳中和目标, 航空业以期通过提高传统飞机能效、使用可持续航空燃料或开发使用电、氢等新能源的新机型等手段来大幅减少碳排放^[1]。氢能飞机采用氢作为主要动力来源来为飞机提供推力, 其技术路线包括氢燃料电池提供飞机动力和氢能驱动燃气涡轮发动机提供动力。使用氢燃料替代航空煤油, 不仅可以实现二氧化碳减排, 还能大幅减少其他污染物的排放, 因此氢能航空被认为是航空业未来实现污染物减排和“低碳”运行的关键^[2-3]。英国和美国的能源部均发布了涉及氢能航空发展的顶层战略规划, 欧盟发布了《氢能航空》研究报告, 通过分析氢能技术的可行性及其对经济的影响, 提出了氢能航空发展路线图^[4]。空客、CFM、普惠、罗罗等航空企业纷纷开展对氢能飞机和氢涡轮发动机、氢燃料电池等相关技术的研发工作, 加速在氢能航空领域的布局^[5-7]。

氢能飞机作为实现长期减碳目标的可行手段之一, 不仅面临飞机设计本身的革命性技术突破难题, 还对民航运输体系氢能基础建设提出巨大挑战。为遵循适航要求, 商用飞机研发必须从预期的运行场景出发, 分析不同场景下的运行要求和使用限制, 进行合理的功能性能设计, 保证系统预期的行为皆在可接受的安全范围之内^[8]。因此, 在氢能飞机研发过程中, 需研究飞机使用氢燃料替代航空煤油

在各阶段预期的运行场景, 从而捕获区别于传统飞机的研制需求。氢能飞机能顺利投入商业运营的前提是通过监管方许可以及民航运输体系能保障氢能的安全供应和使用。因此, 需从氢能航空的体系级场景出发, 分析氢能在供应链条和终端使用中为民航运输体系提出的新要求。

本文对实现氢能航空的民航运输体系预期场景进行识别和分析, 通过不同场景组合得到不同预期目标下需关注的机场建设与运营要求, 并对体系级场景下的飞机运行场景开展研究, 以氢能支线飞机为例, 初步提出部分区别于传统飞机的顶层研制需求。

1 民航运输体系新场景

1.1 场景定义

场景(scenario), 在系统工程中被定义为系统在使用过程与其操作者、外部环境对象之间相互交互、相互作用过程中的事件或某个画面^[9]。场景分析是一种常用的需求捕获方法, 通过分析系统在运营场景中的预期行为, 可以降低系统中重要需求被忽视的可能性^[10]。分析民航运输体系使用氢作为飞机动力来源的场景, 可以快速捕捉氢能应用对燃料供应链、机场基础设施和运营、飞机产品设计的影响。

1.2 民航运输体系新场景分析

当氢气产生后, 需要被压缩或液化, 然后运输至机场并

收稿日期: 2023-07-25; 退修日期: 2023-10-24; 录用日期: 2023-12-07

引用格式: Cui Rong, Yang Chenguang. Research on operation scenarios of hydrogen-powered aviation [J]. Aeronautical Science & Technology, 2024, 35(01): 47-52. 崔容, 杨晨光. 氢能航空运行场景研究[J]. 航空科学技术, 2024, 35(01): 47-52.

存储,最终以液氢形式被加注到飞机上使用。因此,氢能应用产生的民航运输体系新场景可以主要分为氢制备场景、氢运输场景、氢储存场景和氢使用场景。

(1)氢制备场景:使用可再生能源制备氢气的过程。目前,常用的氢气生产方式主要为化石燃料制氢、工业副产品制氢和电解水制氢。尽管使用化石燃料和工业副产品制氢成本较低,但需要明确的是,只有低碳来源的氢气才能实现碳减排,因此使用碳捕捉、利用与存储等先进技术捕获温室气体来产生“蓝氢”才是可行场景,而最理想的场景则是使用风能、水力、太阳能等可再生能源电解水制氢。在可获得风能发电的沿海地区、水力发电的岛屿、太阳能充足的高海拔地区建设可生产氢气的机场,将是未来实现氢能航空的部署路径之一^[11]。

(2)氢运输场景:氢能源从生产地被运输至机场的过程。将生产的氢气液化或压缩,可通过长管拖车输送至较小规模、较近的机场,也可以采用管道输送至较大规模、远距离的机场。对于液氢或转化的有机液体氢可通过船舶进行远距离运输。

(3)氢储存场景:液氢在机场的低温存储。氢能源最终将以液态形式被加注到飞机上使用,因此机场必须具备储存液氢的能力。采用液氢拖车输送的支线机场可在安全边界内的有限空间里存储三天的液氢量以满足需求^[4],而通过管道输送高压氢气的大型机场还需建设液化设施和储氢设备。

(4)氢使用场景:液氢被加注入飞机并在飞机上使用的过程。机场可通过液氢加注车对飞机补充燃料,从长远来看,也可像航空煤油一样通过运输管道系统(泵)对飞机加注燃料。液氢在飞机上使用与飞机运行场景强相关,通过对飞机运行新场景的研究可以捕获飞机产品研制新需求,详见第2节分析。

1.3 新场景下机场建设与运营要求分析

氢能航空的实现不会一蹴而就,通过对未来可能的民航运输体系氢能应用场景进行分析,在不同的氢制备场景、氢运输场景、氢储存场景和氢使用场景组合下,依据技术的可实现性得到近期、中期、远期目标对应的场景,对机场提出基础设施建设和运营的要求,见表1。

1.3.1 液氢通过拖车被运送至机场场景

欧盟 Clean Sky 2 计划中提出,未来 10~15 年,氢能通勤飞机、支线飞机和短程飞机可能会投入市场,到 2035 年或 2040 年可认为是氢能航空早期加速发展阶段。假设 2040 年一个普通支线机场的基础燃料供应有 10% 从航空煤油转

表1 不同预期目标下机场基础设施建设需求

Table 1 Requirements for airport infrastructure construction under different expected goals

可实现性	可行机场	机场基础设施建设需求						
		液氢拖车	液氢加注车	液氢储存库	氢运输管道	液化装置	液氢管道加注系统	电解水制氢装置
近期目标	不太繁忙且交通运输便利的支线机场	●	●	●				
中期目标	富氢地区的干线、枢纽机场		●	●	●	●	●	
远期目标	具有丰富可再生能源地区的机场		●	●	●	●	●	●

化为氢,约每天需供应 10t 液氢^[4]。若一辆液氢拖车可装载 4t 液氢,2.5 辆液氢拖车的装载量则满足一个机场的每日所需。因此,作为近期可实现的目标,可以选择部分不太繁忙且交通便利的支线机场,通过液氢拖车运送液氢储罐至机场,仅在机场储存和使用液氢。考虑备份和紧急情况,可在机场存储三天的液氢用量,约 30t,所需的储罐容积约为 420m³。目前,国内卧式高真空多层绝热储罐容积约为 300m³,蒸发率为 0.25%~0.3%,总高度约为 7m,占地面积约为 120m²,两个储罐即可满足存储需求。这样的机场在保障正常供应航空煤油的同时,仅需建设一个千余平方米的液氢储存库,配备几辆液氢拖车和液氢加注车即可满足氢能飞机的燃料需求。由于相同热值的氢燃料体积远大于航空煤油,为包容储氢罐,氢能飞机机身会比同座级的传统飞机长,机场的停机位需重新规划。

为确保运营安全,需充分考虑氢能飞机液氢加注及其他地面服务并行时的安全防护措施。从运营成本来考虑,液氢的生产、运输和存储成本依赖于氢能源领域的相关技术提升,预计到 2050 年,液氢使用成本将降至目前价格的 1/4,基本上与同等热值的化石燃料持平^[4]。

1.3.2 管道输送氢气至机场液化场景

氢能飞机将从短程逐步拓展到中程航线飞行,最终拓展到远航程飞行。到 2050 年,假设所有支线机场 50%、枢纽机场 25% 的燃料替换成液氢,航空业的液氢需求量约为 4×10⁷t,占全球液氢需求总量的 10%。对于普通支线机场,使用拖车运送液氢至机场的场景依然可行,但对于枢纽机场,每天需要 125 辆拖车运送液氢,这可能会给机场附近拥

堵的道路带来安全隐患。因此,需要规划中长期目标下的场景,对于部分枢纽机场或者富氢地区的干线机场,通过管道输送氢气,到机场液化后存储和使用。该场景下机场除了需要液氢拖车、加注车、储存设备以外,还需与氢能源供应公司合作建设氢气运输管道(或改装天然气/航油管道),配备大型氢气液化装置,有条件的机场还可考虑建设液氢管道加注系统。

该场景对机场空间布局提出了更高要求,液氢储存库、液化装置的占地面积不容小觑。在安全防护和运营效率的限制下,机场为保障航油和液氢两个加油系统并行需要进行大量的基础建设。目前,关于低温液氢及特性的安全管理法规并不明确,需要在实现近期目标的过程中,由监管部门、机场、燃料供应商、飞机制造商和航空公司共同研究和完善。

1.3.3 机场电解水制氢场景

从长远来看,在可再生能源发电和水力资源丰富的地区,建设使用电解水生产氢气并液化的机场也是一种可行场景。对机场的建设要求更多在电力和水资源方面,适合建设成以机场为中心的氢能源运输体系,带动当地的氢能产业整体发展。

2 飞机运行新场景

2.1 飞机运行场景定义

飞机运行场景分析是指以飞机本身为对象,从用户使用飞机的视角出发,考虑在飞机运行、维护过程中,飞机与外部环境之间的一系列交互活动和物理联系,从中捕获对应的飞机产品研制需求。以飞机运行阶段维度来区分,飞机运行场景涵盖地面服务、航路飞行和维护修理等场景。与使用传统航空煤油或可持续航空燃料(SAF)相比,氢能飞机需在各运行阶段考虑液氢的特性,通过分析各阶段识别的新场景得到飞机对应的新功能和设计需求。

2.2 地面服务新场景

飞机地面服务场景是指飞机在抵达廊桥、机坪或停机位等机场活动区后,由机场地面提供燃料、电源、气源、空调等补给,完成飞机清洁、货物装卸、旅客上下机等工作。使用液氢替代航油需要额外考虑以下新场景。

(1) 液氢加注场景

在飞机飞行前,应使用液氢加注车或液氢管道加注系统(泵)对飞机补充计划内的燃料,安全快速完成加注车的接近和对接、清扫、冷却、加注、清扫、加注车的移除与撤离,满足过站服务时间需求。与液氢液氧火箭加注氢燃料不

同,飞机短停期间需维持机上储氢罐低温状态,因此液氢加注前无须预冷储氢罐,只需对加注软管实施快速吹扫和冷却,可节省大量时间。国外研究表明,在大多数情况下,相同热值的液氢比航空煤油加注时间更短^[12]。在加注过程中应考虑氢气回收以提升经济性。当液氢罐长时间停用或确认被污染时,应在液氢加注前对内容器进行充分的吹扫置换,避免因杂质冷凝固化引起管路或阀门堵塞,导致保护装置失效。

(2) 液氢低温维持场景

飞机短停期间,加注液氢使得机上储氢罐内的氢可通过被动绝热技术维持低温液态形式,或通过地面电源补给在主动制冷技术控制下维持低温液态形式。该场景可避免后续航行前的长时间预冷工作,并控制氢损耗。

2.3 航路飞行新场景

飞机航路飞行场景是指飞机从航前准备开始,经推出、滑行、起飞、航路运行、进近、着陆、着陆后滑行、飞机关机,直至航行结束的过程。无论是使用氢涡轮发动机还是使用氢燃料电池,在飞机飞行过程中都需考虑以下场景。

(1) 液氢存储场景

被加注的液氢应可在飞机储氢罐内通过被动绝热技术/主动制冷技术控制维持低温液态形式,氢的液/气状态可被实时监控。为减低飞机的重量和体积,应对储氢罐的储氢质量分数提出要求。为确保安全性,储氢罐应满足一定的额定充满率,需设置防止过充的安全阀,其内容器和真空夹层均应设有安全泄放装置,以避免液氢气化导致的储氢罐过压破裂。此外,储氢罐需满足一定的蒸发率要求以提升经济性。

(2) 氢燃料控制场景

液氢经燃料输送系统被分配至动力系统/辅助动力系统,为其提供能量,并可通过安全可靠的热管理系统完成氢涡轮发动机或氢燃料电池系统的热交换,提升能源效率。氢燃料控制系统可以按照氢的相变阶段分为液氢控制和氢气控制两部分。液氢控制主要负责控制从储氢罐出口到动力系统换热器这一段距离内的液氢压力、温度和流量;氢气控制一般在动力系统内,负责氢气管路延程的压力、温度监控和控制调节阀^[13]。

(3) 排放场景

氢涡轮发动机或氢燃料电池产生的污染物排放场景。与航空煤油相比,氢涡轮发动机直接燃烧氢会导致排放更多的水蒸气,但颗粒物排放会大幅减少,因此在 30000ft(1ft≈0.3048m)以上形成的飞行尾迹光学冰晶变薄,将降低对气候

的影响^[14]。此外,由于氢燃料的火焰温度比航空煤油高,其燃烧产生的氮氧化物要高于航空煤油燃烧产生的氮氧化物,这对发动机的氮氧化物减排提出了新挑战。氢燃料电池不产生氮氧化物,并且产生的水蒸气温度更低,可以考虑依据飞行所处的大气状态在飞机内部收集,以减少尾迹卷云的形成。目前,对由水蒸气排放引起的凝结尾迹和卷云对气候的影响的研究还不够充分,需进一步探索该场景下的排放标准。

(4)氢泄漏场景

飞行过程中,储氢罐、燃料输送系统、氢动力系统发生氢气泄漏的特殊场景。该情形应能通过氢气浓度检测及时发出警报,当浓度超过一定范围时需考虑关闭管路阀门以防止氢气泄漏至飞机舱室中。

(5)应急放氢场景

飞行过程中,飞机在紧急情况下迅速排放机内燃料的特殊场景。飞机在飞行同等航程下,使用液氢燃料的质量仅为航空煤油的1/3,需要采取空中应急放氢以降低重量快速降落的情形更少。该场景下需对应急放氢的速率提出要求,若排放至大气中的氢气浓度过高,可能需采用末端点火的方式将氢气转化为水蒸气排放。

(6)着陆场景

飞机进近至决断高度后逐渐增大抬头姿态,至飞机接地、滑离跑道或在跑道中静止的场景。因为液氢的存储和传输系统额外增加了飞机的结构重量,氢能飞机的着陆重量远大于传统飞机的着陆重量,该场景下需考虑增加起落架的强度。若发生硬着陆,需考虑对液氢相关系统的防撞防火保护。

2.4 维护修理新场景

(1)氢损伤场景

对飞机储氢罐、氢燃料控制系统、氢动力系统由氢损伤引起的破坏进行维护修理。氢损伤是指由氢与材料相互作用引起的材料性能受损的现象。飞机上可能出现储氢罐鼓包、高铁螺栓氢致开裂、高强钢氢致裂纹、氢致塑性下降等情况。为确保安全性和维修性,相关系统的结构设计应满足一定的首次翻修和翻修间隔需求。同时,需依据涉氢服役不同工况对各部件开展相应的材料研究,建立材料组织与性能数据库,为氢能飞机的安全性设计提供理论和数据支撑。

(2)健康监测场景

对飞机储氢区域的结构缺陷、损伤、应力等进行综合健康状态监测^[15],同时对结构内部损伤以及发生在结构上的撞击进行实时监测,可实现储氢区域的视情维护。

2.5 基于新场景的飞机顶层研制需求分析

基于飞机运行新场景分析,可对氢能飞机应该具备的功能和产品设计的不要求进行定义,在对场景的层级细分下,可以捕获飞机设计的各层级需求^[16]。本文以氢能支线飞机设计为例,结合初步识别的氢能飞机运行场景,从飞机总体设计、运行、维修性、系统设计等维度提出部分氢能飞机特殊的顶层研制需求。

对于飞机总体设计需求,需定义飞机的能源形式,定义基准燃料密度,并提出能源管理、应急放氢等能源系统功能;分析运行新场景,氢能带来的约束主要体现在过站服务时限、机场类型对飞机尺寸的限制;维护维修新场景则捕获了飞机健康监测系统需求。对于液氢系统本身,需定义储氢和输运功能,定义储氢罐质量分数、充满率、蒸发率、设计服役目标等指标,见表2。

表2 氢能支线飞机部分顶层研制需求
Table 2 Partial top-level development requirements of a hydrogen powered regional aircraft

需求维度	需求 ID	需求内容
总体设计需求	Req1	飞机应采用液氢作为能量来源
	Req2	飞机应采用高效的能源管理系统,提升一次能源转化效率
	Req3	飞机燃料基准密度应为 0.071kg/L
	Req4	飞机应具备应急放氢功能
运行需求	Req5	飞机的全服务地面过站时间应不大于 30min
	Req6	飞机的尺寸应不超过 ICAO 附件 14 中 4C 类机场所限制的飞机尺寸
维修性需求	Req7	飞机应具备对关键结构的状态参数进行采集、数据转换和数据存储能力
系统设计需求	Req8	飞机液氢系统应具备燃料储存功能,并在飞行包线内向动力装置和辅助动力装置提供正常工作所需的燃料
	Req9	飞机储氢系统的质量分数应不低于 30%
	Req10	飞机储氢系统的额定充满率应不低于 90%
	Req11	飞机储氢系统的液氢蒸发率应低于 1%/天
	Req12	飞机储氢系统的设计服役目标应与飞机主结构相同

在实际工程中,飞机研制需求既包含来源于客户和局方的外部需求,也包含来源于技术驱动、生产制造驱动、可靠性驱动的内部需求,应在持续捕获内外部需求的过程中换代更新。

3 结束语

本文对氢能航空运行预期场景开展研究,分析了民航运输体系氢制备、氢运输、氢储存和氢使用等体系级场景,对机场基础建设和运行做出了规划。可优先发展支线机场,配备少量液氢拖车运输燃料,少量液氢加注车向飞机补充燃料;枢纽机场作为中期发展目标,在液氢需求量大幅提升的前提下应通过管道输送氢气至机场,在机场建设液化装置,并考虑增设液氢管道加注系统以提升机场周转率;在可再生能源丰富的地区建设电解水生产氢气并液化的机场,形成以机场为中心的氢能源运输体系是更长远的目标。

在体系级场景下,本文通过对飞机运行场景的分阶段研究,识别了氢能飞机在地面服务、航路飞行和维护维修等阶段的新场景,因液氢与航空煤油或SAF的物理化学属性不同,加注、低温状态维持和储存、燃料控制、维护修理等场景都对飞机设计提出了新的要求。此外,氢泄漏、应急放氢、硬着陆等特殊场景需要飞机为安全性提供更多保障。本文以氢能支线飞机设计为例,从飞机总体设计、运行、维修性、系统设计等维度对部分顶层研制需求进行了初步定义。随着全球民航政策法规的逐渐明朗和氢能产业技术的飞速发展,氢能航空的基础建设将逐渐开展,通过场景分析捕获的氢能飞机研制需求在换代更新中会更为精确。

AST

参考文献

- [1] Nelson E S, Reddy D R. Green aviation: Reduction of environmental impact through aircraft technology and alternative fuels[M]. London: CRC Press, 2017.
- [2] 李开省. 碳中和目标下航空能源转型研究[J]. 航空科学技术, 2021, 32(9): 1-11.
Li Kaisheng. Research on the transformation of aviation energy under the goal of carbon neutrality[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(9): 1-11. (in Chinese)
- [3] 张扬军, 彭杰, 钱煜平, 等. 氢能航空的关键技术与挑战[J]. 航空动力, 2021, 3(1): 20-23.
Zhang Yangjun, Peng Jie, Qian Yuping, et al. Key technologies and challenges of hydrogen aviation [J]. Aerospace Power, 2021, 3(1): 20-23. (in Chinese)
- [4] Hydrogen-powered Aviation. A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050 [EB/OL]. (2020-05-07). https://www.cleansky.eu/sites/default/files/inline-files/20200507_Hydrogen-Powered-Aviation-report.pdf.
- [5] Norris G. Airbus reveals refined ZEROe blended wing body concept[J]. Aerospace Daily & Defense Report, 2022, 279(35): 1-15.
- [6] Roland B. Green air travel reaches for new horizons[EB/OL]. (2021-09-10). <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Environmentally-friendly-air-travel-continues-to-grow-and-grow.html>.
- [7] 纪宇晗, 孙侠生, 俞笑, 等. 双碳战略下的新能源航空发展展望[J]. 航空科学技术, 2022, 33(12): 1-11.
Ji Yuhuan, Sun Xiasheng, Yu Xiao, et al. Development prospect of new energy aviation under carbon peaking and carbon neutrality goals[J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33(12): 1-11. (in Chinese)
- [8] 徐浩军. 航空器适航性概论[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2012.
Xu Haojun. Introduction to aircraft airworthiness[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2012. (in Chinese)
- [9] Jackson S. Systems engineering for commercial aircraft[M]. 2nd Edition. England: Ashgate Publishing Limited, 2015.
- [10] 谢陵, 方俊伟, 徐州. 基于功能场景分析的飞机需求捕获和确认方法研究[J]. 科技资讯, 2015(18): 83-84.
Xie Ling, Fang Junwei, Xu Zhou. Research on capture and confirmation method for aircraft requirements based on functional scenario analysis[J]. Science & Technology Information, 2015(18): 83-84. (in Chinese)
- [11] Hoelzen J D, Silberhorn T Z. Hydrogen-powered aviation and its reliance on green hydrogen infrastructure: Review and research gaps[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2022, 47(5): 3108-3130.
- [12] Jonas M, Daniel S, Nicolas M, et al. Refueling of LH2 aircraft-assessment of turnaround procedures and aircraft design implication[J]. Energies, 2022, 15(7): 2475-2475.
- [13] 李维, 曹俊, 肖为. 氢燃料发动机技术及发展趋势[J]. 航空动力, 2022(2): 39-42.
Li Wei, Cao Jun, Xiao Wei. Technology and development trend

- of hydrogen gas turbine[J]. *Aerospace Power*, 2022(2): 39-42.
(in Chinese)
- [14] Snijders T, Melkert J. Emissions testing on gas-to-liquid kerosene blends[EB/OL]. (2011-01-01). https://www.researchgate.net/publication/241859504_Emissions_testing_on_gas-to-liquid_kerosene_blends.
- [15] 袁慎芳,王劼,徐秋慧,等. 基于导波-高斯混合模型蒙特卡罗迁移度量的结构损伤量化诊断方法研究[J]. *航空科学技术*, 2023, 34(3): 33-39.
- Yuan Shenfang, Wang Jie, Xu Qiuhui, et al. Research on quantitative diagnosis method of structural damage based on Guided Wave-Gaussian mixture model Monte Carlo migration measurement[J]. *Aeronautical Science & Technology*, 2023, 34(3): 33-39. (in Chinese)
- [16] INCOSE. *System engineering handbook*[M]. USA: Wiley, 2006.

Research on Operation Scenarios of Hydrogen-powered Aviation

Cui Rong, Yang Chenguang

COMAC Beijing Aircraft Technology Research Institute, Beijing 102211, China

Abstract: Hydrogen energy is an important path to achieve low-carbon operation in the aviation industry, and the design of hydrogen-powered aircraft and the system level application had become research focuses. The innovative operation scenarios of the civil aviation transportation system to ensure the operation of hydrogen-powered aircraft were analyzed. Focusing on the hydrogen supply chain and terminal use guarantee, requirements are proposed for airport infrastructure construction and operation under different expected goals. Under system level scenarios, aircraft operation scenarios were further investigated. The innovative scenarios, triggered by the use of hydrogen fuel as a substitute for aviation kerosene, were identified in various operational stages, with the analysis on the impact on aircraft design. Finally, based on the identified innovative operational scenarios of the aircraft, taking the design of hydrogen powered regional aircraft as an example, the partial top-level development requirements that the aircraft should meet when using hydrogen fuel are preliminary defined. The operational requirements and basic support for hydrogen-powered aviation from the supply chain to the end use have been preliminarily captured, providing input for the design of hydrogen-powered aircraft and hydrogen airport.

Key Words: hydrogen energy; scenario analysis; aircraft design; systems engineering; requirements capture