

egts™

EGTS 环境效益

根据由 Envisa 进行的独立研究和分析





Envisa 成立于 2004 年，是一家专门从事可持续航空的全球性环境咨询公司。该公司的专家团队为业内最大的企业以及涉及环境影响和权衡评估、当地空气质量、全球温室气体排放、排放交易计划、噪声建模、飞机回收利用研究和 LCA、预测及环境管理等议题的重大研究项目提供支持。

缩略语

APU	Auxiliary Power Unit (辅助动力装置)
CAEP	ICAO Committee on Aviation Environmental Protection (国际民航组织航空环境保护委员会)
CO	Carbon Monoxide (一氧化碳)
CO₂	Carbon Dioxide (二氧化碳)
DET	Dual Engine Taxi (双引擎滑行)
EASA	European Aviation Safety Agency (欧洲航空安全局)
ECS	Environmental Control System mode for APU (APU 环境控制系统模式)
EI	Emissions Index (grams of pollutant per kilogram of fuel) (排放指数 (每千克燃料的污染物克数))
EPA	US Environmental Protection Agency (美国环境保护局)
FAA	US Federal Aviation Administration (美国联邦航空管理局)
GSE	Ground Support Equipment (地勤设备)
ICAO	International Civil Aviation Organization (国际民用航空组织)
LTO	ICAO Landing/Take-off cycle (国际民航组织着陆 / 起飞周期)
MES	Main Engine Start mode for APU (APU 的主发动机启动模式)
NO_x	Nitrogen Oxides (氮氧化物)
PM	Particulate Matter (颗粒物)
SET	Single Engine Taxi (单引擎滑行)
UHC	Unburned Hydrocarbons (未燃碳氢化合物)

1.0	执行摘要	5
2.0	EGTS™ 简介	6
3.0	监管和环境推动因素	6
3.1	标准污染物	6
3.1.1	二氧化碳 (CO ₂)	6
3.1.2	氮氧化物 (NO _x)	7
3.1.3	颗粒物 (PM)	7
3.1.4	其他污染物	8
3.2	航空公司视角	8
3.3	机场视角	8
3.3.1	机场排放清单	8
3.3.2	机场碳足迹	8
4.0	排放源分析	9
4.1	方案与工作周期	9
4.2	主发动机排放	11
4.3	APU 排放	11
4.4	牵引车排放	11
5.0	单次飞机滑行效益	12
5.1	欧洲机场	12
5.1.1	滑入	12
5.1.2	滑出	13
5.2	美国机场	14
5.2.1	滑入	14
5.2.2	滑出	15
5.3	排放量比较	16
6.0	机场效益：中型机场案例研究	17
6.1	假设	17
6.2	结果	17
7.0	结论	18

图列表

图 1. 着陆 / 起飞 (LTO) 周期	7
-----------------------	---

表列表

表 1. EGTS 滑行操作输入参数	10
--------------------	----

人们对减少航空排放对当地空气质量和全球气候变化问题的影响有浓厚的兴趣。

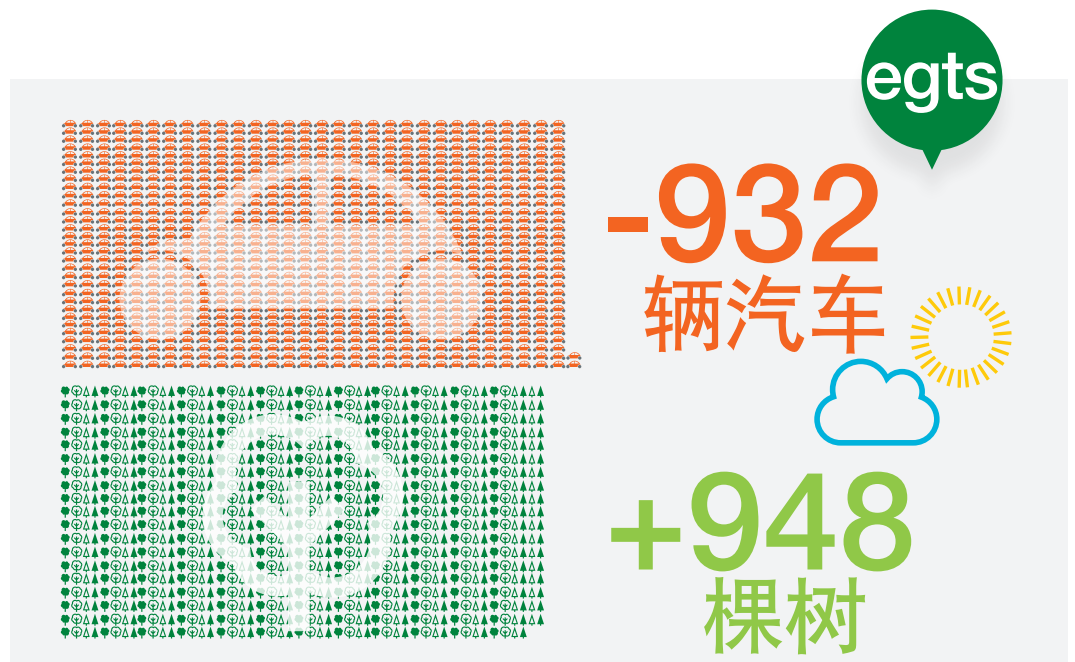
针对气候变化问题，在全球和国家级别都有减少 CO₂ 排放的目标，但对于当地空气质量问题，在全球层面并无管制的内容。大多数情况下，存在健康影响的污染物（如 NO_x 和颗粒物）由规定空气质量阈值的地区和国家法规来控制。

由于空气质量是一种有多种来源的现象，可能要求在特定位置的任何机场回应有关其对环境空气质量水平造成的影响的问题。

航空公司渴望被视为“更环保”，但也需要更符合成本效益，因此，这驱使他们寻求创新方法来减少燃油消耗及相关排放。

本白皮书公布的效益依据由总部设在巴黎的航空和环境领域专业咨询公司 Envisa 进行的独立研究和分析。研究和分析中采用了国际公认的模型、方法和数据库来评估在单次飞机滑行操作和典型机场实施方案中，与双引擎滑行 (DET) 相比，单引擎滑行 (SET) 和 EGTS 的好处。本白皮书的内容主要是针对可从 EGTS™ 技术中获得最大益处的窄体双引擎喷气式飞机。

本文论证了 EGTS 可以形成有用和重要的组成部分，通过引入更清洁的电动滑行操作来减少飞机地面滑跑排放量。在美国机场的一架 A320 飞机中每年典型使用 EGTS，预计可实现的 CO₂ 减排量相当于种植多达 948 棵树，可实现的 NO_x 减排量相当于减少 932 辆汽车。此外，由于优化了地面操作，它可以实现明显更大的节约 - 不依赖于后推牵引车，通过减少喷气机尾喷危险提高地面人员的安全等。



当今的涡扇发动机是针对飞行，而不是针对在地面上为飞机提供动力而优化的。飞机每次滑行时，在登机口和跑道之间消耗的燃料数量是不成比例的。对于与实际飞行长度相比，在跑道和登机口之间花较长时间滑行的短程和中程飞机，这种问题变得更为明显。

通过在主起落架上安装电动马达，及使用 APU 发电机供电，EGTS 使飞机能够在没有牵引车的情况下从登机口推出，且在不使用引擎的情况下滑行。换句话说，除去起飞之前几分钟与着陆之后的几分钟作为引擎必要的预热及冷却时间，飞机在地面上将仅仅使用电能滑行。

3.0 监管和环境推动因素

1 ICAO 文件 9889, 附件 B 到附录 1, 脚注 3 到表 B-1 http://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf

3.1 标准污染物

有许多标准污染物被视为会危害人类健康或影响气候变化，因此，目前针对航空业对这些污染物进行控制或正在控制过程中。航空业的标准污染物包括：二氧化碳 (CO₂)、氮氧化物 (NO_x)、颗粒物 (PM)、一氧化碳 (CO) 及未燃碳氢化合物 (UHC)。

二氧化碳 (CO₂)，燃烧石化燃料的直接产物，是与气候变化相关的温室气体。这种污染物作为受监管排放物，在认证中受到严格审查且需要采取基于市场的措施（即排放交易计划）。

氮氧化物 (NO_x) 的排放会造成地面臭氧问题，自 1981 年以来就一直在主推进引擎中受到控制，并继续成为更加严格的法规关注的对象。

颗粒物 (PM) 被列为对人类健康有影响的物质，并在最近成为监管的重点。目前的计划表明，最早可能会在 2016 年对航空业的 PM 进行监管。

其他污染物（包括 CO 和 UHC）必须满足阈值水平，但在大幅减排方面没有太大压力。以下各节将更详细地介绍污染物及其背景。

3.1.1 二氧化碳 (CO₂)

二氧化碳 (CO₂) 是最重要、存在时间最长的温室气体 (GHG)。这方面的举措可追溯到 1997 年的京都议定书，议定书中呼吁减少所有人类活动产生的（即人为）CO₂，尤其是发电和运输产生的二氧化碳。减少航空“碳足迹”或 CO₂ 排放量的政治压力（尤其是来自欧洲的政治压力）很大。二氧化碳是燃烧的直接产物，燃烧每 kg 的 Jet-A 燃料就会产生约 3.16kg CO₂，如 ICAO 文件 9889¹ 所述。

由于 CO₂ 的排放量与燃油消耗成正比，而燃油消耗又属于直接经营成本，因此，无论是在经济方面还是在环保方面，这种污染物都是减排的首要考虑因素。减少 CO₂ 的主要方法是通过提高产品效率或运营效率来减少燃油消耗。



3.1.2 氮氧化物 (NOx)

鉴于氮氧化物 (NOx) 对当地空气质量和全球气候变化的影响, 这种污染物的排放量历来是控制和减排的重点。从当地空气质量角度来看, NOx 排放物会发生化学反应, 在地面水平形成臭氧/烟雾, 从而产生人类健康问题。从气候变化的角度来看, 高空飞行过程中排放的 NOx 排放物可与臭氧层发生相互作用, 从而改变入射辐射的平衡, 并加剧全球变暖。这种污染物几乎在所有移动和固定动力源 (包括航空) 领域都受到控制。

自 1981 年以来, 国际民用航空组织 (ICAO)、美国 EPA 和各国运输部门 (FAA、EASA、加拿大运输部等) 对民用航空飞机产生的污染物水平进行了限制, 出于当地空气质量考虑, 重点放在了机场运营上。有关飞机的监管框架如图 1 所示。

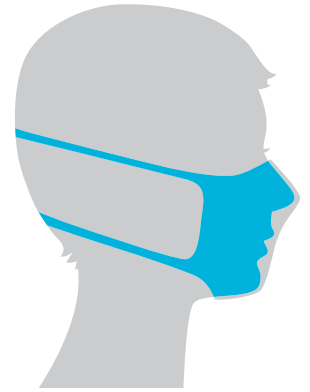
着陆 / 起飞 (LTO) 周期在由进近、滑行、起飞和爬升模式组成的周期中产生的排放量总计可达 3,000 英尺。自 1981 年以来, 允许的 NOx 排放水平已下调 4 次, 最近一次是在 2013 年 12 月 31 日, 从而将允许的 NOx 水平降低了 50%。在 NOx 减排方面显然有不少监管关注, 这种污染物往往是当地空气质量问题方面最常引用和研究的污染物。

3.1.3 颗粒物 (PM)

大气中的颗粒物 (PM) 可影响能见度、生态系统、表面沉积、大气组成、云层形成、降水和气候, 吸入人体时, 还会产生严重的健康影响 (有关示例, 请参阅 EPA 网站 <http://www.epa.gov/pm/>)。颗粒物是由多种来源产生的, 其中包括单质碳 (或烟尘)、土尘、有机成分、硫酸铵和硝酸铵、矿物成分和金属。燃气涡轮发动机往往会排放超细颗粒物 (20 到 500 纳米), 比人发小 1000 倍, 但它目前并不受监管机构直接控制。国际民航组织 (ICAO) 航空环境保护委员会 (CAEP) 已表示高度重视这种污染物的控制, 并正致力于在 2016 年的 CAEP 第 10 次会议上出台新的认证标准。

由于目前可用的发动机和 APU 认证数据有限 (基于发烟数), 我们认为, 目前用于对 PM 排放进行建模和评估的方法暂时不够有力, 无法在本研究中进行比较。

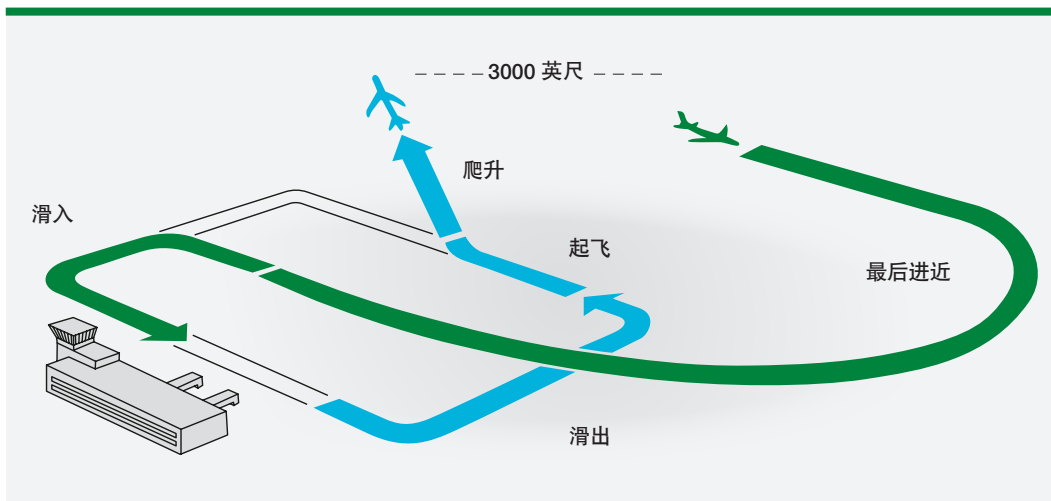
PM



NOx



图 1. ICAO 着陆 / 起飞 (LTO) 周期



² <https://www.iata.org/policy/environment/Documents/atag-paper-on-cng2020-july2013.pdf>

³ FAA VALE 网站 <http://www.faa.gov/airports/environmental/vale/>

⁴ FAA EDMS 网站 http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/edms_model/

⁵ “APU 排放”，作者 Randy Williams，霍尼韦尔与美国 EPA 的来往信件，2000 年 9 月 29 日

⁶ LASPORT 网站 <http://www.janicke.de/en/home.html>

⁷ <https://www.eurocontrol.int/services/airport-local-air-quality-studies>

⁸ <http://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-Airport-model.html>

3.1.4 其他污染物

其他航空标准污染物包括一氧化碳 (CO) 和未燃碳氢化合物 (UHC)。对涡扇发动机而言，这两种污染物都受到控制，使用与 NO_x 排放相同的总计着陆 / 起飞周期。通常，这些污染物必须低于阈值水平，但在加大控制力度或降低允许水平方面一直没有公开压力。高浓度的 CO 存在危险性，但处于开放空间的现代发动机不会产生高浓度的一氧化碳。UHC 排放物可能会受到更严格的监管，尤其是如果此类排放物意味着气体颗粒物前体（作为未来挥发性颗粒物标准的一部分）。

3.2 航空公司视角

航空公司非常积极地应对气候变化问题。作为行业整体，航空公司已针对不久的将来（2020 年）及以后发布了² 极具挑战性的目标。

- 2020 年之前，全球年平均燃油效率提高 2%，2021 年到 2050 年，实现每年 2% 的意愿性全球燃油效率改善率；
- 从 2020 年起，将国际航空全球净碳排放量保持在同一水平的共同中期全球意愿性目标 (CNG2020)。

不过，航空公司不只在应对气候变化方面发挥作用，他们当然也会凭直觉努力降低燃油成本，因为这些成本在其运营成本中占相当大的比例。

3.3 机场视角

从机场的角度来看，在分析 EGTS 所能带来的好处时，应考虑两个主要影响因素。首先，机场必须设法管理其所有活动产生的排放量，并能证明这些活动对环境空气质量的影响。

其次，现在越来越多的机场开始管理他们的“碳足迹”，也就是机场活动产生的 CO₂ 量。在公众认可的协会支持下，机场周围居民密切关注着当地空气质量。

3.3.1 机场排放清单

为了符合当地或国家法规，世界许多地区的机场都需要进行详细的建模并保留排放清单。根据美国《清洁空气法》，处于环境保护署 (EPA) 指定的国家环境空气质量标准 (NAAQS) 排放不达标地区的机场必须提交并保留排放清单，并且必须采取相应措施来减少排放。在这种情况下，可以获得联邦资助，即通过自愿机场低排放计划³ 获得。通常情况下，大城市中心都处在排放不达标地区，因此，大多数美国大型机场每年都会建立排放清单。

这些清单是通过美国联邦航空管理局创建并管理的排放扩散建模系统 (EDMS⁴) 在美国编制的。EDMS 软件包含所有机场地区排放源，包括飞机、地勤设备、运输和当地道路交通。EDMS 还包含霍尼韦尔等制造商提供的 APU 排放数据（在 2000 年提供给 EPA 的数据⁵）。在欧洲，有几个机场（包括希思罗机场和苏黎世机场）因其各自地区的当地空气质量问题而必须出示排放清单。在欧洲，有许多可用的建模工具，包括 LASPORT⁶、ALAQ⁷ 和 ADMS⁸。

3.3.2 机场碳足迹

越来越多的机场现在开始意识到场所的所有活动产生的碳足迹。机场碳排放认证 (ACA) 是由 ACI 欧洲制定的机场碳排放管理认证标准。该计划旨在对机场管理和减少碳排放的努力进行独立评估和认证。这项独立计划包括四个级别：“计算”（级别 1）、“减少”（级别 2）、“优化”（级别 3）以及“碳中和”（级别 3+）。在成熟级别（3 和 3+），机场要求第三方参与碳足迹减少，因此，采用 CO₂ 减排滑程序程和技术的航空公司可在此阶段发挥重要作用。

4.0 排放源分析

本节涉及相对于目前的现状(双或单引擎滑行),通过实施 EGTS 滑行系统来减少标准污染物的定量。本节将介绍几种用于比较的方案及相关假设。我们基于单次飞机滑行(第 4.1 节)并在机场级别(第 4.2 节)对燃油消耗和排放进行了比较。作为背景,还将介绍主发动机、APU 和牵引车排放量。最后,将计算与现状相比的 EGTS 排放量,以及与其他措施相比的排放量减少。

4.1 方案与工作周期

为了评估 EGTS 对排放的好处,我们研究了两种方案。我们考虑了两组滑行时间:欧洲平均水平和美国平均水平。在欧洲,根据 CODA 数据库,平均滑入时间是 6 分钟,平均滑出时间是 12 分钟。而在美国,窄体飞机的平均滑入时间是 7 分钟,平均滑出时间是 17 分钟(根据美国交通统计局 T-100 数据库 - 2011 年数字)。

对于每组滑行时间,将 EGTS 效益与双引擎和单引擎滑行进行了比较。案例研究的输入参数总结列于表 1。

燃油消耗和排放通过由 Envisa 开发的模型基于 FDR 数据来计算。对于所有方案,对登机口推出之后的排放量进行了比较。此序列中包含主发动机启动模式中的主发动机启动和 APU 操作。飞机起飞的排放量计算从飞机推出(离开航站楼)开始,在跑道入口结束。考虑了最高达 3 分钟的发动机预热。对跑道出口与停机位之间的飞机到达排放量进行了建模。考虑了 3 分钟的发动机关闭时间,其中一分钟对应于跑道上的着陆滑跑(只要发动机处于怠速状态即开始冷却,在无反向着陆时即是如此,这是目前最常用的做法)。

案例 1 是将双引擎滑行 (DET) 与 EGTS 进行比较的案例。在这种方案中,目前的情况是飞机在滑入和滑出操作时都使用 DET。假设需要用 4 分钟时间使用牵引车推出飞机,包括从登机口往返运送牵引车的时间。EGTS 替代方案会使用 100% 的滑行操作,在滑入和滑出时都使用 EGTS,主发动机进行预热和冷却的实际时间是 3 分钟。(即对于欧洲机场,滑入是 3 分钟双引擎滑行 + 3 分钟 EGTS,滑出是 9 分钟 EGTS + 3 分钟双引擎滑行)。这种情况预计将成为将 EGTS 与现状相比最乐观的情况。

案例 2 是将单引擎滑行 (SET) 与 EGTS 进行比较的案例。在这种方案中,目前的情况是飞机在滑入和滑出操作时都使用 SET。对于 SET 操作,假设 APU 在 ECS 条件下运转,主发动机预热和冷却时需要使用 3 分钟双引擎滑行。假设需要用 4 分钟时间使用牵引车推出飞机,包括从登机口往返运送牵引车的时间。EGTS 替代方案会使用 100% 的滑行操作,在滑入和滑出时都使用 EGTS,主发动机进行预热/冷却的实际时间是 3 分钟(即对于欧洲机场,滑入是 3 分钟双引擎滑行 + 3 分钟 EGTS,滑出是 9 分钟 EGTS + 3 分钟双引擎滑行)。考虑到单引擎滑行将日益普遍,这种情况预计将成为将 EGTS 与现状相比较为现实的情况。



4.0 排放源分析

	案例 1 双引擎滑行与 EGTS	案例 2 单引擎滑行与 EGTS
飞机	A320	A320
发动机	CFM56-5B4/3	CFM56-5B4/3
APU	ICAO, APU (100 – 200) 个座位, 较新的类型	ICAO, APU (100 – 200) 个座位, 较新的类型
滑入发动机操作	100% 双引擎滑行	100% 单引擎滑行
总滑入时间	6 分钟 (欧盟) / 7 分钟 (美国)	6 分钟 (欧盟) / 7 分钟 (美国)
滑出发动机操作	100% 双引擎滑行	100% 单引擎滑行
总滑出时间	12 分钟 (欧盟) / 17 分钟 (美国)	12 分钟 (欧盟) / 17 分钟 (美国)
使用主发动机时, 滑行期间的 APU 操作 :	双引擎滑行时关闭	单引擎滑行时使用 ECS
发动机预热时间	3 分钟	3 分钟
发动机冷却时间	3 分钟	3 分钟
登机口推出的 牵引车时间	4 分钟	4 分钟
替代 EGTS 操作滑入	仅 100% EGTS	仅 100% EGTS
替代 EGTS 操作滑出	仅 100% EGTS	仅 100% EGTS
替代 EGTS 牵引车 操作滑出	无 (不推出)	无 (不推出)
替代 EGTS 操作 APU	100% APU MES 负载	100% APU MES 负载

表 1. EGTS™ 滑行操作输入参数

4.2 主发动机排放

CFM56-5B4/3 排放量从公开的 ICAO 发动机废气排放数据库⁹ 直接提取。发动机废气排放数据库列出了额定推力大于 6000 lbs 的所有涡扇发动机的排放量。7%、30%、85% 和 100% 额定推力时的着陆 / 起飞周期点排放量在表格中列出 (请参见第 3.2.1 节)。与排放效益计算有密切关系的是 7% 推力点, 称为“滑行”点, 根据发动机废气排放数据库, 7% 推力点时的燃油流量和排放量为:

燃油流量 = 0.102kg/s
 NOx 排放指标 = 4.22g NOx / kg 燃油
 CO 排放指标 = 32.07g CO / kg 燃油
 UHC 排放指标 = 1.92g UHC / kg 燃油
 发烟数 = 2.1

假设主发动机在滑行操作的 7% 额定推力时工作。但对于单引擎滑行, 假设主发动机的燃油流量比双引擎滑行时高 28%。

4.4 APU 排放

所研究的 APU 对应于针对小型飞机 (100 至 200 个座位, 较新的类型) 的 ICAO 当地空气质量手册 (9889) 提供的普通 APU。对于双和单引擎滑行, 假设 APU 在“空载”模式下工作一分钟, 直到其启动并稳定。启动后, APU 会切换到在“正常负载”下工作的 ECS 模式。对于主发动机启动, APU 在“高负载”下工作。

假设在 EGTS 模式下工作以便为飞机提供动力并提供电力和环境控制系统 (ECS) 支持, 相当于在主发动机启动 (MES) 模式下工作, 比只使用 ECS 模式的燃油流量高 25% 左右。

	空载启动 (kg/h)	正常运行 (ECS) (kg/h)	最大负载 (kg/h)
NOx	0.364	0.805	1.016
UHC	2.662	0.094	0.091
CO	3.734	0.419	0.495

APU 排放

4.3 牵引车排放

假设通常需要使用柴油牵引车将飞机从登机口推出, 并假设 EGTS 系统使飞机能够在不使用此牵引车的情况下推出。推出牵引车排放取决于牵引车类型、功率以及发动机负载。牵引车类型对应于适合净功率为 95kW 的窄型飞机的柴油发动机。假设牵引车的市场配售日期为 1999 年 1 月。为了评估保守方案, 我们还考虑了较旧的推出牵引车。

我们确定了在高负载或正常负载下使用牵引车的三个主要阶段:

- “牵引车到达”: 牵引车从停机位移动到飞机处并与飞机相连 (正常负载)
- “牵引车推出”: 推动飞机 (高负载)
- “牵引车离开”: 牵引车与飞机分离, 并返回停机位 (正常负载)

燃油流量 = 6 L / 小时
 NOx 排放指标 = 9.2g Nox / kg 燃油
 CO 排放指标 = 5g CO / kg 燃油
 UHC 排放指标 = 1.3g UHC / kg 燃油

燃油流量提取自苏黎世机场进行的一项研究¹⁰ 以及欧盟非道路移动机械排放量的排放指标。2004 年指令。(http://transportpolicy.net/index.php?title=EU:_Nonroad:_Emissions。欧盟指令 2004/26/EC)。

⁹ EASA 发动机废气排放数据库
<http://www.easa.europa.eu/environment/edb/aircraft-engine-emissions.php>

¹⁰ Fleuti, Emanuel. Aircraft Ground Handling Emissions at Zurich Airport. 2004



5.0 单次飞机滑行效益

本节基于单次飞机滑行概括介绍了 EGTS 的好处。这将是飞机运营商最感兴趣的部分。

此计算不包括推出之前在登机口的 APU 操作，在起飞和爬升期间（即在跑道上）产生的排放量。它只分析地面运动。假设使用 EGTS 时，无需使用牵引车将飞机从登机口推出。

此处给出了欧洲和美国机场典型滑行时间的示例。

5.1. 欧洲机场

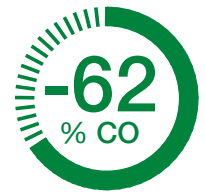
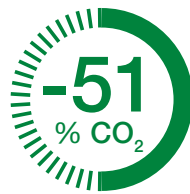
5.1.1 滑入

采用双引擎滑行技术时，滑行时间为六分钟的滑入运动的燃油消耗是 73kg。

案例 1 : EGTS 与 DET

如果在滑行时使用 EGTS 而不是主发动机，滑入运动的燃油消耗降低。采用 EGTS 技术时，滑入运动的燃油消耗是 36kg，比双引擎滑行时燃油消耗的一半还少。

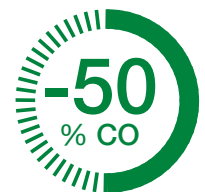
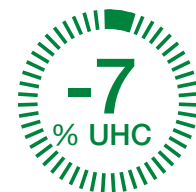
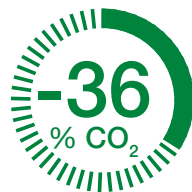
总体而言，对于案例 1，EGTS 系统提供了将燃油消耗和 CO₂ 排放量减少 51%、将 NOx 排放量减少 41%、将 UHC 排放量减少 29%、将 CO 排放量减少 62% 的机会。



案例 2 : EGTS 与 SET

如果在滑行期间关闭一个主发动机，则与双引擎滑行相比，燃油消耗将减少 24%，减少到 56kg。采用 EGTS 技术时，滑入运动的燃油消耗是 36kg，比采用单引擎技术时的燃油消耗少 36%。

总体而言，对于案例 2，EGTS 系统提供了将 NOx 排放量减少 22%、将 CO 排放量减少 50%、将 UHC 排放量减少 7% 的机会。此外，CO₂ 排放量估计会减少 36%。



	燃油消耗 (kg) : 总计	CO 排放量 (kg) : 总计	CO ₂ 排放量 (kg) : 总计	UHC 排放量 (kg) : 总计	NOx 排放量 (kg) : 总计
DET	73.44	2.36	231.34	0.14	0.31
SET	55.81	1.79	175.82	0.11	0.24
EGTS	35.82	0.89	112.83	0.10	0.18
SET 与 DET	-24%	-24%	-24%	-24%	-24%
EGTS 与 DET	-51%	-62%	-51%	-29%	-41%
EGTS 与 SET	-36%	-50%	-36%	-7%	-22%

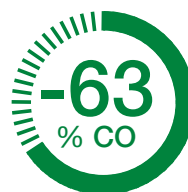
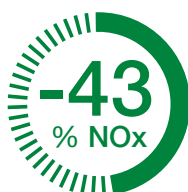
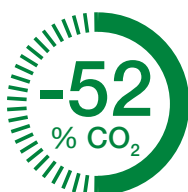
5.1.2 滑出

对于示例方案中的滑出运动，采用双引擎滑行技术时的总燃油消耗是 143kg。

案例 1：EGTS 与 DET

如果在滑行时使用 EGTS 而不是主发动机，滑出运动的燃油消耗降低。采用 EGTS 技术时，滑出运动的燃油消耗是 69kg，比双引擎滑行时燃油消耗的一半还少。

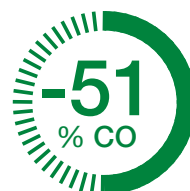
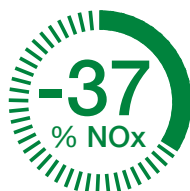
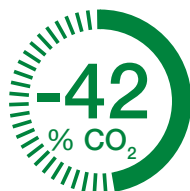
总体而言，对于案例 1，EGTS 系统提供了将 NOx 排放量减少 43%、将 UHC 排放量减少 51%、将 CO 排放量减少 63% 的机会。此外，CO₂ 排放量估计会减少 52%。



案例 2：EGTS 与 SET

与 DET 相比，单引擎滑行可将燃油消耗减少约 16%，产生的燃油消耗为 120kg。使用 EGTS 时，可进一步大幅减少燃油消耗。采用 EGTS 时的燃油消耗为 69kg，相当于比单引擎滑行减少了 42%。

总体而言，对于案例 2，EGTS 系统提供了将 NOx 排放量减少 37%、将 UHC 排放量减少 40%、将 CO 排放量减少 51% 的机会。此外，CO₂ 排放量估计会减少 42%。



	燃油消耗 (kg) : 总计	CO 排放量 (kg) : 总计	CO ₂ 排放量 (kg) : 总计	UHC 排放量 (kg) : 总计	NOx 排放量 (kg) : 总计
DET	142.86	4.46	450.02	0.31	0.63
SET	119.68	3.38	376.99	0.25	0.57
EGTS	68.83	1.67	216.83	0.15	0.36
SET 与 DET	-16%	-24%	-16%	-18%	-10%
EGTS 与 DET	-52%	-63%	-52%	-51%	-43%
EGTS 与 SET	-42%	-51%	-42%	-40%	-37%

5.2 美国机场

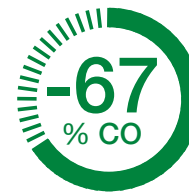
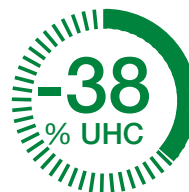
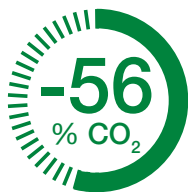
5.2.1 滑入

采用双引擎滑行技术时，滑行时间为七分钟的滑入运动的燃油消耗是 86kg。

案例 1：EGTS 与 DET

如果在滑行时使用 EGTS 而不是主发动机，滑入运动的燃油消耗降低。采用 EGTS 技术时，滑入运动的燃油消耗是 38kg，比双引擎滑行时燃油消耗的一半还少。

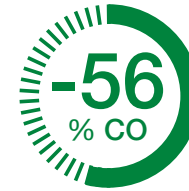
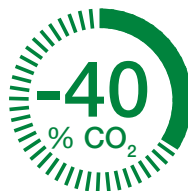
总体而言，对于案例 1，EGTS 系统提供了将燃油消耗和 CO₂ 排放量减少 56%、将 NOx 排放量减少 45%、将 UHC 排放量减少 38%、将 CO 排放量减少 67% 的机会。



案例 2：EGTS 与 SET

如果在滑行期间关闭一个主发动机，则与双引擎滑行相比，燃油消耗将减少 26%，减少到 64kg。采用 EGTS 技术时，滑入运动的燃油消耗是 38kg，比采用单引擎技术时的燃油消耗少 40%。

总体而言，对于案例 2，EGTS 系统提供了将 NOx 排放量减少 26%、将 CO 排放量减少 56%、将 UHC 排放量减少 17% 的机会。此外，CO₂ 排放量估计会减少 40%。



	燃油消耗 (kg) : 总计	CO 排放量 (kg) : 总计	CO ₂ 排放量 (kg) : 总计	UHC 排放量 (kg) : 总计	NOx 排放量 (kg) : 总计
DET	85.68	2.75	269.89	0.16	0.36
SET	63.65	2.04	200.49	0.12	0.27
EGTS	37.89	0.89	119.35	0.10	0.20
SET 与 DET	-26%	-26%	-26%	-26%	-26%
EGTS 与 DET	-56%	-67%	-56%	-38%	-45%
EGTS 与 SET	-40%	-56%	-40%	-17%	-26%

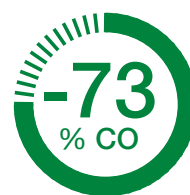
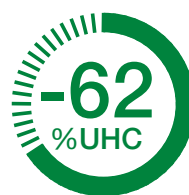
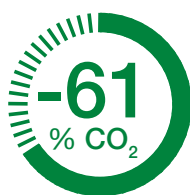
5.2.2 滑出

对于示例方案中的滑出运动，采用双引擎滑行技术时的总燃油消耗是 205kg。

案例 1：EGTS 与 DET

如果在滑行时使用 EGTS 而不是主发动机，滑出运动的燃油消耗降低。采用 EGTS 技术时，滑出运动的燃油消耗是 79kg，比双引擎滑行时燃油消耗的一半还少。

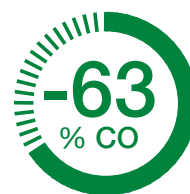
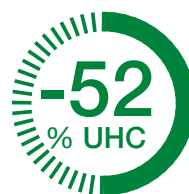
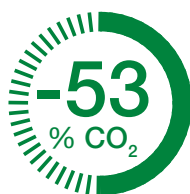
总体而言，对于案例 1，EGTS 系统提供了将 NOx 排放量减少 51%、将 UHC 排放量减少 62%、将 CO 排放量减少 73% 的机会。此外，CO₂ 排放量估计会减少 61%。



案例 2：EGTS 与 SET

与 DET 相比，单引擎滑行可将燃油消耗减少约 18%，产生的燃油消耗为 168kg。使用 EGTS 时，可进一步大幅减少燃油消耗。采用 EGTS 时的燃油消耗为 79kg，相当于比单引擎滑行减少了 53%。

总体而言，对于案例 2，EGTS 系统提供了将 NOx 排放量减少 46%、将 UHC 排放量减少 52%、将 CO 排放量减少 63% 的机会。此外，CO₂ 排放量估计会减少 53%。



	燃油消耗 (kg) : 总计	CO 排放量 (kg) : 总计	CO ₂ 排放量 (kg) : 总计	UHC 排放量 (kg) : 总计	NOx 排放量 (kg) : 总计
DET	204.06	6.43	642.80	0.43	0.89
SET	167.89	4.68	528.88	0.34	0.80
EGTS	79.18	1.71	249.43	0.16	0.43
SET 与 DET	-18%	-27%	-18%	-21%	-10%
EGTS 与 DET	-61%	-73%	-61%	-62%	-51%
EGTS 与 SET	-53%	-63%	-53%	-52%	-46%

¹¹ NCSU 树的力量。有关树的事实 <http://www.ncsu.edu/project/treesofstrength/treefact.htm>

¹² 欧洲汽车制造商协会网站 <http://www.acea.be/automobile-industry/passenger-cars>

5.3 排放量比较

将通过 EGTS 系统实现的减排量与改善环境的切实措施进行比较是很有用的。本节涉及估算采用 EGTS 系统相当于种植树木的数量或从公路上减少的汽车数量。比较的基础是每年飞行 2,000 次的 A320 上的 EGTS 平均使用率，假设 EGTS 的平均使用率是滑出 75%，滑入 90%。

就种植的树木而言，根据一项北卡罗莱纳州研究，一棵树每年可吸收高达 48 lbs (21.8kg) 的碳，即 40 年可吸收 2000lbs (908kg) 碳。

如果我们考虑欧洲机场，采用 EGTS 的单架 A320 机场滑行实现的 CO₂ 减排量与 DET 相比为 351kg CO₂ (滑入减排 118kg，滑出减排 233kg)。因此，如果每年飞行 2,000 次，每架配备 EGTS 的飞机将减排 561,900kg CO₂ (飞行 2,000 次乘以 (75% × 233 + 90% × 118) kg CO₂ / 次飞行)，相当于种植约 619 棵树 (减排 561,900kg 除以每棵树 908kg CO₂)。

如果我们考虑美国机场，采用 EGTS 的单架 A320 机场滑行实现的 CO₂ 减排量与 DET 相比为 543kg CO₂ (滑入减排 151kg，滑出减排 393kg)。因此，如果每年飞行 2,000 次，每架配备 EGTS 的飞机将减排约 861,300kg CO₂ (飞行 2,000 次乘以 (75% × 393 + 90% × 151) kg CO₂ / 次飞行)，相当于种植约 948 棵树 (减排 861,300kg 除以每棵树 908kg CO₂)。

如果每年飞行 2,000 次，每架使用 EGTS 的飞机实现的 CO₂ 减排量将相当于种植多达 948 棵树。

据欧洲汽车制造商协会提供的数据，欧洲汽车行驶的平均距离为 13,000 km。第 715/2007 号 EC 法规中包含的氮氧化物 (NOx) 排放欧 6 标准为 0.08 g/km。因此，欧洲汽车每年平均产生的 NOx 为 1.04kg NOx (13,000 km 乘以 0.08 g/km)。

对于欧洲机场，采用 EGTS 的单架 A320 机场滑行实现的 NOx 减排量与 DET 相比为 397g NOx (滑入减排 126g，滑出减排 271g)。

因此，如果每年飞行 2,000 次，每架配备 EGTS 的飞机将减排 633kg NOx (飞行 2,000 次乘以 (75% × 271 + 90% × 126) g NOx / 次飞行)，相当于减少 609 辆汽车 (减排 633kg 除以每辆汽车 1.04kg NOx)。

对于美国机场，采用 EGTS 的单架 A320 机场滑行实现的 NOx 减排量为 615g NOx (滑入减排 162g，滑出减排 452g)。

因此，如果每年飞行 2,000 次，每架配备 EGTS 的飞机将减排 970kg NOx (飞行 2,000 次乘以 (75% × 452 + 90% × 162) g NOx / 次飞行)，相当于减少 932 辆汽车 (减排 970kg 除以每辆汽车 1.04kg NOx)。

如果每年飞行 2,000 次，每架使用 EGTS 的飞机实现的 NOx 减排量将相当于从公路上减少多达 932 辆汽车。

6.0 机场效益：中型机场案例研究

6.1 假设

为了评估 EGTS 在机场级别的效益，我们使用真实的中型机场（苏黎世机场）作为案例研究进行了一项研究。这项研究基于两周的空中交通数据，这两周分别在六月和一月。我们计算了这两周的燃油消耗和排放。

分析了两种方案：双引擎滑行与 EGTS，以及单引擎滑行与 EGTS。

为了提出较为保守的方案，考虑只有 30% 符合 EGTS 使用条件的飞机实际装配了 EGTS。符合 EGTS 使用条件的飞机是 A320 和 B737 系列。

由于必须留出起飞前发动机预热和保持的最短时间，因此符合 EGTS 使用条件的飞机滑出时间大于 5 分钟。要应用 EGTS，滑入时间应大于 3 分钟。此外，还是考虑到保守方法，由于在停机超过 6 小时之后，最好让发动机预热较长的时间，因此当天的首次飞行并未应用 EGTS。

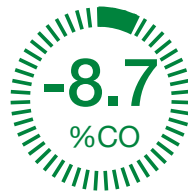
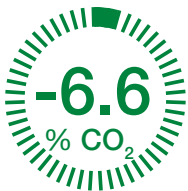
符合条件的飞机的平均滑出时间是 14 分钟，滑入时间是 5 分钟。由于需要除冰，一月的滑出时间较长（17 分钟）。

单引擎滑行也已应用于 A320 和 B737 系列，但仅限于滑入，因为在实践中，航空公司目前并未将其应用于滑出。

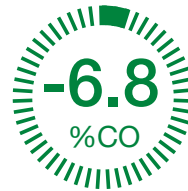
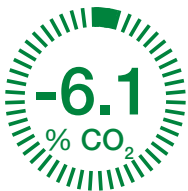
6.2 结果

	总计运动次数	燃油消耗 (kg) : 总计	CO 排放量 (kg) : 总计	CO ₂ 排放量 (kg) : 总计	UHC 排放量 (kg) : 总计	NOx 排放量 (kg) : 总计
全部 DET	9,778	1,526 399	43,618	4,808,209	4,932	6,514
30% EGTS	1,183.20	1,425 461	39,815	4,490,247	4,589	6,162
30% SET	708.0	1,517 863	42,709	4,781,322	4,836	6,495
SET 与 DET		-0.6%	-2.1%	-0.6%	-2.0%	-0.3%
EGTS 与 DET		-6.6%	-8.7%	-6.6%	-7.0%	-5.4%
EGTS 与 SET		-6.1%	-6.8%	-6.1%	-5.1%	-5.1%

EGTS 与 DET



EGTS 与 SET



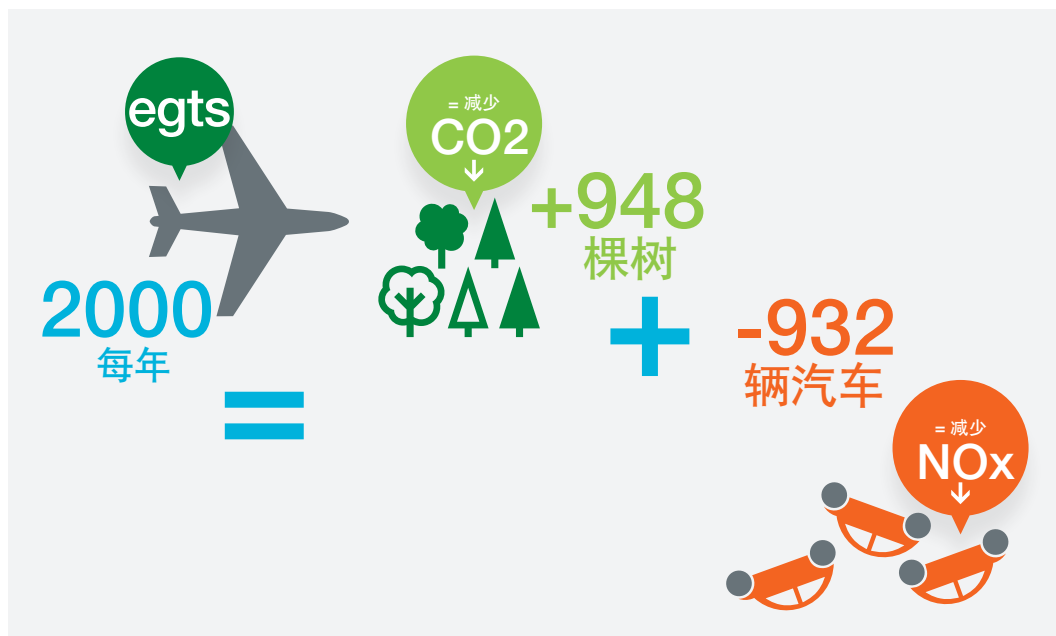
7.0 结论

人们对减少排放对当地空气质量和全球气候变化问题的影响有浓厚的兴趣。针对机场而言，人们对减少 NO_x 和 CO₂ 排放，同时保持或减少其他污染物（包括未燃碳氢化合物和一氧化碳）有独特的兴趣。力求从技术和操作方面减少飞机、地勤设备及机场区域其他来源排放的国家、区域和地方法规非常繁多。

本白皮书论证了 EGTS 可以形成有用和重要的组成部分，通过引入更清洁的电动滑行操作来减少机场地面操作排放量。

与目前的滑行技术（双引擎滑行或单引擎滑行）相比，EGTS 预计将大幅减少机场环境中的所有标准污染物，包括 NO_x、CO₂、UHC 和 CO。在典型的欧洲机场级别，与双引擎滑行操作相比，30% 的 EGTS 采用率就能将排放量减少达 9%。

在美国机场，使用 EGTS 的每架飞机每年实现的 CO₂ 减排量将相当于种植多达 948 棵树，实现的 NO_x 减排量相当于减少多达 932 辆汽车。



Honeywell Aerospace

1944 E Sky Harbor Circle
Phoenix, AZ 85234
USA
www.honeywell.com

Safran

2, Boulevard du Général
Martial Valin
75724 Paris Cedex
France
www.safran-group.com



本档中提供的有关性能、运营效益和成本节约的所有估计均基于霍尼韦尔和Safran 数据。

C61-1276-000-001
2014 年 7 月

© 2014 EGTS International