

亚洲及太平洋经济社会委员会

泛亚铁路网工作组

第 6 次会议

2019 年 12 月 10 日至 11 日，曼谷

临时议程* 项目 6

使用空中无人机检查和监测 铁路基础设施

使用空中无人机检查和监测铁路基础设施

秘书处的说明

摘要

根据开展活动以加强交通运输相关技术的政策、系统、方案和措施的规划、设计、实施和投入运行这一任务，^a 亚洲及太平洋经济社会委员会秘书处于 2018 年 9 月启动了与澳大利亚莫纳什大学铁路技术研究所的研究合作。其目的是探讨空中无人机这一迅速扩展的技术部门在铁路基础设施检查和监测中的应用，以便更好地了解这项技术对铁路的长期可持续性益处及其监管和技术影响。

本文件概述了这项联合研究的主要结论，即空中无人机与铁路基础设施的测量和监测有关的技术能力、风险和局限性。调研结果为形成结论奠定了基础，这些结论涉及可以或应该适用于无人机应用的法律和监管条件，以及公共政策可以激励或支持铁路部门乃至整个交通运输部门利用无人机开展创新的方式。在此背景下，泛亚铁路网工作组不妨审议文件中着重指出的问题，交流意见和经验，并就如何使用空中无人机为维护泛亚铁路网提供具有成本效益和可持续的解决办法向秘书处提供进一步指导。

^a 见经社会第 73/4 号决议、E/ESCAP/MCT(3)/11 和 E/ESCAP/73/33。

* ESCAP/TARN/WG/2019/L.1。

一. 导言和背景

1. 《2030 年可持续发展议程》和可持续发展目标要求在国家、区域和全球各级采取雄心勃勃的、跨部门协调一致的行动，以确保世界环境与发展委员会界定的可持续发展，即既满足当代需求又不危及后代满足其需求能力的发展。¹ 提供和获得适当水平的基础设施和交通运输以确保国家和区域可持续发展的重要性已得到广泛承认，其中包括交通运输部门可以为实现可持续发展目标作出的贡献。

2. 近年来，特别是随着交通运输可持续性概念的推行，基础设施再次受到关注。可持续发展目标中着重指出，需要发展优质、可靠、可持续和有抵御灾害能力的基础设施，包括区域和跨境基础设施，以支持经济发展和提升人类福祉，重点是人人可负担得起并公平利用上述基础设施。这又提出了新的问题：如何开展基础设施规划和投资，以考虑到拥有可持续和有抵御灾害能力的基础设施的意义所在，以及促进完成这一目标所需的政策决定。

3. 在这一背景下，通常认为，新的交通运输解决方案或截然不同的技术的出现可以给交通运输带来深刻的变革，并满足对运输系统能力和整体表现日益增长的要求。事实上，技术进步正在极大地改变现代交通运输网络，给运输部门带来革命性的变化，从而进一步提高系统维护和管理的效率，同时实现人员和货物从始发地到目的地的可持续和安全流动。

4. 在这方面，有必要研究空中无人机在提高铁路系统的效率和可持续性方面的当前和未来应用。商业内幕网信息情报部将无人机定义为可以自主飞行或由个人遥控驾驶的飞行器。根据这一定义，该部门估计，2021 年无人机的销售额可能超过 120 亿美元。与 2016 年 85 亿美元相比，这将是 7.6% 的复合年增长率。² 顾能集团 2016 年发布的一份报告中预测，到 2020 年，商用无人机的数量将是人工驾驶飞机的 10 倍，也就是全球范围内有大约 230 480 架商业性经营的无人机。此外，同一报告估计，2017 年无人机单一架次的劳动力成本已经低于 300 美元。³

5. 目前有几个例子表明如今是如何在铁路网部署空中无人机的。配备高分辨率像机、传感器和扫描仪的无人机能够进行精确的偏远基础设施巡查，并执行以前由人力执行的危险活动。这包括在高空工作、进入危险场所以及从安全位置对运营中的网络资产进行监测和巡查。据估计，几百架固定翼无人机可以监测大约 20 万公里的铁路轨道。⁴

¹ A/42/427, 附件。

² Andrew Meola, “Drone market shows positive outlook with strong industry growth and trends”, Business Insider Intelligence, 13 July 2017.

³ Gartner, “Gartner says almost 3 million personal and commercial drones will be shipped in 2017”, 9 February 2017.

⁴ Single European Sky Air Traffic Management Research Joint Undertaking, *European Drones Outlook Study: Unlocking the Value for Europe* (n.p., 2016).

6. 2017年，普华永道估计，用于公路和铁路部门基础设施维护的无人机技术全球潜在市场总值约为40亿美元。⁵ 在新加坡，陆路交通管理局的目标是部署无人机以供城市大众捷运系统的维护性巡查，并加强地下隧道巡查，以便在未来几年内逐步取代人工工作。⁶ 在印度，铁路分局将采购无人机，用于铁路基础设施的项目监测和维护。⁷ 还在铁路环境中部署无人机进行结构监测，包括以下：监测桥梁和隧道等关键资产；轨道沿线环境安全监测（例如火灾、爆炸、地震、洪水和山体滑坡）；现场安全监测（包括发现入侵、物品失窃或移动、涂鸦和破坏行为）；安全监测（例如，及早发现轨道元件/设备故障和轨道上的障碍物，以及情况评估，包括水平交叉路口的视线评估和紧急情况/危机管理）。

7. 然而，尽管空中无人机以大大低于传统方法的成本展现了经济和安全优势，但存在部署方面的挑战仍有待解决，如航空风险、飞行管理、培训和专业技能，以及隐私和网络安全问题，所有这些都值得进一步考虑和研究。作为朝这一方向迈出的第一步，本文件由亚洲及太平洋经济社会委员会（亚太经社会）交通运输司和澳大利亚莫纳什大学铁路技术研究所联合编写，旨在概述空中无人机在铁路基础设施检查和监测中的应用，以期更好地了解这项技术所涉及的监管和技术影响。

8. 虽然政策讨论往往侧重于扩大基础设施和补上缺失的路段，但本文件旨在为解决铁路基础设施维护问题提供一个基础，这一问题往往被低估，但却是交通运输系统的一个关键方面。在此背景下，澳大利亚被选为在铁路环境中应用空中无人机的主要范例，原因是：(a) 莫纳什大学铁路技术研究所的专门知识；(b) 该国在空中无人机方面的经验，该国在与空中无人机相关的法律和监管环境方面处于相对先进的状态，及其提供的审查经验教训和持续存在的挑战的广度；(c) 由于其40 000多公里铁路网在不同类型的地形和天气条件下运营，以及在城市和轻轨环境中使用无人机有现成的实例，澳大利亚可以审查的实例多种多样。澳大利亚的铁路网长度在世界各国中居第六位，相信澳大利亚的实例可以为整个亚太区域提供宝贵的启示。特别是，澳大利亚可以提供与泛亚铁路网有关的启示，泛亚铁路网的很大一部分将受益于可获得和负担得起的巡查、监测和主动维护方法。为此，在分析过程中还参考了本区域的其他实例。

9. 监管往往落后于技术进步的步伐。全球无人机行业正在蓬勃发展，这给政策制定者带来了挑战。鉴于飞行员驾驶的飞机和遥控驾驶的飞机之间的相似性，在国家一级对商用无人机的监管通常从扩大航空部门现有的监管框架

⁵ PwC, “Clarity from above: transport infrastructure, the commercial applications of drone technology in the road and rail sectors”, January 2017.

⁶ 新加坡，陆路交通管理局，“无人机：铁路养护的未来”，2018年4月20日。可查阅：[www.lta.gov.sg/content/dam/ltaweb/corp/PublicationsResearch/files/ReportNewsletter/Connect/Apr%202018/03%20Drone%20\(On%20The%20Go\)%20.pdf](http://www.lta.gov.sg/content/dam/ltaweb/corp/PublicationsResearch/files/ReportNewsletter/Connect/Apr%202018/03%20Drone%20(On%20The%20Go)%20.pdf).

⁷ Press Trust of India, “Railways to deploy drones to monitor projects”, *The Economic Times*, 8 January 2018.

开始，以涵盖商用无人机运营。⁸ 早在 2002 年，澳大利亚就在世界各国中率先制定了无人机法规。截至 2016 年，其立法经修订，已经纳入了非娱乐性无人机的规定。

10. 本文件概述了在铁路基础设施的测量和监测方面，空中无人机的技术能力、风险和局限性。调研结果为形成结论奠定了基础，这些结论涉及可以或应该适用于无人机应用的法律和监管条件，以及公共政策可以激励或支持铁路部门乃至整个交通运输部门利用无人机开展创新的方式。

二. 铁路基础设施中空中无人机的技术能力和效益

11. 定期维护和巡查程序通常要求人员在铁路走廊内进行目视检查。已经实施了一系列安全协议以便将风险降至最低，但这些可能需要占有或占用轨道来检查轨道路段，成本高昂，因为这些路段有时缺乏清晰的可进入安全区。涵洞等其他资产被指定为封闭空间，在开展巡查之前，需要达到额外的安全培训和人力资源要求。这往往会使涵洞检查既费时又费钱。

12. 空中无人机为铁路轨道巡查提供了遥控替代方案，并避免了额外的安全培训和人力资源需求。无人机在协助政府、铁路行业和相关组织方面发挥重要作用这一点日益深入人心，无人机的部署正在改变和挑战所有相关各方的传统范式和操作程序。下文简要阐述了目前使用空中无人机的部分实例。

A. 轨道边植被管理

13. 若轨道边植被高度超出轨道和/或道碴区段出现轨道边植被，则可能导致轨道和机车部件损坏，或增加脱轨风险。植被过多造成的湿滑状况要求机车加大牵引沙子的用量，进一步污染了道碴。由于制动能力降低，植被过多还可能增加铁路设备与公共道路交叉口的车辆和/或行人交通之间发生冲撞的可能性。此外，铁路运行中有许多可能的点火来源，包括操作制动设备、柴油发动机、车轮、过热轴承和钢轨打磨设备而产生的火花。这些火源加上干燥的灌木和杂草，在炎热干燥的条件下构成了火灾危险，可能危及公众或损害建筑物、财产和环境。

14. 在此背景下，空中无人机正有效用于选择性植被监测，这反过来又促进了路权内的主动控制，以实现以下目标：保持道路和人行横道处的视线能见度；保持弯道处的视线能见度；提供铁路标志和信号的清晰能见度；保持铁路通信和配电线路完好；对于必须在这些区域工作的列车车组人员和轨道养护人员，减少其人身伤害风险；降低火灾隐患；将用于探测岩石坠落和滑坡的设备附近的木本植物和灌木予以清理，避免其干扰设备的正常功能；清理影响铁路站点安全的植被，使安全围栏后的路权更加通畅。

⁸ 经济合作与发展组织，国际运输论坛，《企业伙伴关系理事会，(不)确定的天空？未来世界的无人机》(2018 年，巴黎)。

B. 基础设施和资产检查

15. 目前，绝大多数露天轨道必须由保安和养护人员予以监测，因为在数百公里长的铁路沿线部署固定摄像头的成本高得令人望而却步。对轨道和护栏执行现场检查以防外人闯入或违反安全行为的工作非常艰巨，使用空中无人机可以提高监测业务的效率，同时腾出工作人员来照顾价值更高的关键资产。

16. 为此目的而部署无人机预计可以节约多少成本尚有待适当探讨。在其他部门使用空中无人机的经验表明，在检查陆上风力涡轮机方面，每台涡轮机的检查费用可以减少 50%，大宗货物储油罐的评估可以比手工方法快几天完成，传统上需要关闭几天时间的烟囱烟道检查可以在几个小时内完成，成本节省高达 90%。⁹

17. 因此，合理的假设是，使用空中无人机也可以为铁路节省成本，同时也支持减少“道碴区步行”或人为干预这一长期战略。做到在勘查期间不停工，避免了人工进入轨道区需要关闭铁路网络的高昂成本。在可能需要攀爬或攀登的难险区域进行勘查，需要受过专门训练的工作人员，而无人机勘查减少了所需人员数量。

18. 同时，空中无人机能够从以前用传统方法无法进入的地区采集数据。这为更容易和更频繁地收集数据提供了可能。然而，增加巡查多个资产的能力是另一种问题。巡查建筑物的频率越高，捕获的数据就越多。这些数据最终需要分析，预计这将导致对审查数据的专家的需求增加。这可能导致传统铁路劳动队伍的逐步变革，从而对该部门的培训和招聘工作产生相应的影响。

19. 此外，空中无人机的使用在关于如何使用无人机控制的数据方面引起了新的道德和法律问题，包括如何确保隐私权得到坚持，以及如何将与部署无人机的目的相关的数据与偶然收集的可能与其他机构有关的数据区别开来。例如，在澳大利亚，居住在无人机巡查地点附近的人表达了对隐私的担忧。目前，解决这些投诉的方法是向居民和企业通报任何可能影响他们的无人机作业，并在收集的究竟是哪些信息方面保持透明度。诸如此类的关切突出了解决数据所有权问题的必要性，特别是在巡查的基础设施为私人所有的情况下，并明确界定是否可以出于收集数据本身目的以外的目的，与政府当局（例如执法部门）分享数据，以及在何种条件下分享数据。对于铁路沿线可能存在的任何商业敏感基础设施，应慎之又慎。

方框 1

澳大利亚空中无人机的铁路应用

- 在澳大利亚，州级单位新南威尔士州交通运输局指出，该州的交通运输集群正在广泛使用空中无人机，以提供一系列业务效益，包括对自然环境的监测和监视。该局还指出，可以设想使用无人

⁹ Uwe Weichenhain and Sascha Schuster, “Drones: the future of asset inspection”, Roland Berger, 29 January 2019.

机来确保环保局的规定得到遵循，并且未来有可能进一步扩大空中无人机的使用。^a 例如，该局已经确定了可以通过使用无人机更好地控制以下安全关切：(1)故意破坏和涂鸦；(2)盗窃；(3)非法侵入和自杀企图；(4)攻击员工和顾客。

- 在昆士兰中部遭受龙卷风灾害后，澳大利亚最大的铁路货运运营商之一 Aurizon 使用空中无人机捕捉数据以评估损失，并规划重建工作。龙卷风造成的损失估计为 24 亿美元，其中包括昆士兰州中部的 Aurizon 煤炭网络遭受的严重损害。对基础设施造成的损失包括通道中断，这被证明是 Aurizon 重建工作的障碍。Aurizon 还使用无人机巡查铁路资产，并指出空中无人机可能还有其他用途，包括进行巡查和检查电信塔、桥梁和其他建筑物。空中无人机还可以用于获取有关资产的高清晰度检查信息，而不会对列车运行产生任何影响。^b
- 昆士兰铁路公司使用无人机提供了昆士兰凯恩斯和罗克汉普顿之间 13 座钢桁桥的高分辨率详图，这些桥梁的式样从 100 米的单跨桥梁到 700 米的八跨桥梁不等。使用 Telstra 第四代无线系统 (4G) 互联网在现场捕获数据并上传到云端，在云端立即对数据进行地理标记并处理，以便交付给工程师，而无需任何人攀爬、穿越或进入铁路走廊内的危险区域。^c
- 澳大利亚铁路轨道公司也在使用无人机在铁路停运之前进行轨道巡查。该公司使用以 4K 视频格式录制的无人机，在 2018 年第一次重大铁路维修停运前完成了桥梁的技术巡查。^d
- 墨尔本地铁列车公司使用无人机来识别破坏者和非法入侵者。无人机配备了摄像头，包括热成像摄像头，并部署在网络的特定路段以应对事件。数据被反馈到公司的控制中心，并传递给警方。该公司拥有三架无人机，这些无人机已经用于重大公共活动。
- 在墨尔本的雅拉河谷铁路隧道中进行了试验，对一种能够在封闭空间安全飞行的无人机原型进行测试。该无人机配备了激光传感器，可以对封闭空间进行测量，并实现无人机在封闭空间内的定位。

^a Engineers Australia, “The buzz about drones: how it could benefit transport in the future”, 7 June 2018.

^b Allie Coyne, “Aurizon uses drones to inspect rail assets: safer for workers, better for data”, iNews, 31 October 2014.

^c Airsight Australia, “Case study - bridge inspections” (2019 年 5 月 3 日读取)。

^d Sage Swinton, “Drones used by Australian Rail Track Corporation for track inspections ahead of rail shutdown”, The Maitland Mercury, 19 February 2018.

三. 技术局限性和风险

20. 在铁路线上部署空中无人机可能会带来重大的安全风险和运营挑战。首先，空中无人机需要沿着相当长的轨道线路段飞行。鉴于关于保持在视线内的现行规定，即要求在没有视觉辅助的情况下观察和控制无人机，这本身就是一个挑战。许多国家对驾驶员可以遥控空中无人机的最大距离作出了规定。要超过这些最大距离，经常需要监管部门的审批、额外的培训和进一步的风险评估。从操作的角度来看，摄像头故障或视频联接丢失迫使飞行员借助视觉和操纵来控制飞机，这可能比较困难，有时在距离超过 600 米时甚至是不可能的。空中无人机的驾驶员将不得不与带电的架空线路、悬垂的植被和路过的火车所构成的无处不在的风险作斗争。

21. 此外，封闭空间在整个铁路网中司空见惯，并且经常是空中无人机巡查的目标。然而，某些风险与空中无人机的使用相关联，例如无法使用卫星定位系统的环境。这些为空中无人机带来了许多挑战，因为它们主要依赖卫星系统进行位置报告和自主导航。这样的环境包括桥梁、隧道和天空视野有限的深谷。需要特别注意意外的信号丢失，这可能会在一些空中无人机中引发不可预知的行为。封闭空间也存在强大的气流，在操作空中无人机时必须考虑到这一点。所选系统应能够在最强阵风气流中保持方位，以防止出现飞散情况。

22. 此外，大多数空中无人机都经不起碰撞，因此必须妥善避免碰撞风险，以免对空中无人机和基础设施造成损害。一种常见的碰撞风险涉及架空线路和轨道侧设备。驾驭这些风险很难。在带电的架空输电线下方飞行，可能会对大多数空中无人机的机载罗盘造成干扰，而将无人机置于铁路走廊内则存在无人机与铁道车辆碰撞的风险。无人机超视线运行也会加大碰撞风险。在铁路方面，虽然存在争议，但只要降低相关风险，此类操作可能是在漫长的铁道线上使用空中无人机的主要优势之一。传统的航空概念依赖于“看到并规避”这一原则，这取决于飞行员要亲自坐在飞机上控制飞机。对于空中无人机，这一原则只能在视线内进行操作时遵循，或者使用正确的技术，通过延长视线来执行。然而，即使到那时，碰撞风险也不是完全消除。

23. 在这方面，应进行飞行活动的预先规划和现场评估，以考虑到任何不可预见的风险。必须把握好快速部署和严格飞行规划之间的利益冲突。需要实施充分的安全系统，以确保业务操作在风险规避和运营效率之间取得微妙的平衡。通常，由于与铁路走廊相关的危险不断变化，最佳的飞行计划是在即将开始运营之时才完成的。透彻了解作业区附近的列车运行至关重要。此外，了解盲区和能见度有限的地区是避免空中无人机和机车车辆碰撞的关键。

四. 视线限制

24. 与保持在视线内要求有关的问题经常被认定为影响铁路轨道等线性基础设施的无人机作业的最重要问题。空中无人机飞行不可避免地需要超出视线，以完成远距离轨道检查等任务。法规可能是超视线运行最具挑战性的部分。

25. 普遍认为，如果操作员不能直观地观察到无人机及其周围环境，则会增加发生事故的可能性。与此类操作相关的一些问题包括无法看到地形及其如何变化；看不到其他进入空域的空中飞行器；无法确定当地的天气状况；以及空中无人驾驶飞机可能超出遥控距离，从而失去了对无人机的控制能力。¹⁰

26. 在目前的技术条件下，可以假定无人机的超视线运行是可能的。随着铁路不断采用空中无人机技术，该行业正开始制定一套自己的标准和要求，以实现其监测、评估和巡查的目标。

27. 然而，这种操作需要对高度的认识。这可以通过在空中无人机上添加传感器来解决。然而，与空中无人机一起使用的飞行规划工具必须能够计算飞行路线。较好的方法可能是将地形跟随功能集成到飞行计划和飞行控制软件中。然而，这样的解决方案也有其自身的挑战，例如确保获得足够精确的地形数据和无人机机载定位系统的可靠性。卫星定位系统的实时运动学解决方案已经存在，但大多数需要保持在距基线 10 公里以内才能接收强校正，这与大多数铁路所希望的距离不一致。

28. 另外一项要求是走廊飞行规划能力。使用航路点进行长距离飞行并不能提供足够详细的信息，以确保空中无人机避免从人头顶上飞过或飞越限制区或执行高度剧变。走廊飞行规划很可能要依赖于地理围栏，以确保无人机保持在预定区域内。¹¹

方框 2

关于超视线运行的部分国家法规

澳大利亚

经事先批准，允许进行超视线运行。澳大利亚认证无人机运营者协会呼吁建立一个全澳洲大陆的无人驾驶交通管理系统，以促进将所有形式的无人机透明和协调地融入国家领空。有人认为，这种做法将解决不安全和不遵守规定的运营方所造成的重大且日益严重的安全问题。建立无人交通管理系统将为超视线运行提供必要的条件。

中国

有限度地允许进行超视线运行。空中无人机的超视线运行必须在白天进行，路线优先权必须礼让其他飞行器。

日本

目前允许在第三方不太可能进入的区域(例如山、河、湖和森林)进行超视线运行，同时计划在 2025 年颁布更宽松的法规。法规要求所有重量超过 200 克的空中无人机的操作员应当用目光时时刻刻监视无人机及其周围环境。

¹⁰ 美利坚合众国交通部，《无人驾驶飞行器系统在国际铁路中的应用》(2018 年，华盛顿特区)。

¹¹ 同上。

印度

超视线运行只能在指定的无人机走廊内进行，条件如下：空中无人机须经证明适合在该特定无人机走廊飞行；该空中无人机的飞行必须符合相关授权中规定的目的；空中无人机不得携带任何与操作目的无关的未经授权的有效载荷。此外，空中无人机仅可在指定的、经授权处理预先批准的无人机类型作业的，无人机场起飞和降落。

五. 法律和监管环境

29. 国家一级对商用无人机的监管的通常做法是将其作为航空部门现有监管框架的延伸。在这方面，无人机本质上是具有特殊特征的飞行器，其中最明显的是飞行员不在机上。¹² 因此，无人机通过控制站进行遥控或通过电脑化进行自主操作。虽然无人机本身并不是新技术，但最近它们的供应、能力和可负担性飙升，给传统的国家监管和执法模式带来了困难。

30. 从国际法的角度来看，普遍认为无人机属于《国际民用航空公约》第 8 条的范围，其中涉及无人驾驶飞机。该条规定，无人驾驶飞机只能在一国特别授权的情况下才能飞越该国领土，并且必须按照该授权的条款进行操作。此外，每个国家必须确保此类飞机的飞行受到控制，以避免对民用航空器构成危险。因此，在第 8 条中正式确立了国家消除对其管辖范围内其他航空器的风险这一义务。此外，根据该条，在默认情况下，禁止各国允许其无人驾驶飞机在其管辖范围以外运营。因此，国际无人机运营目前并未实施。根据本公约，并按照国际民用航空组织制定的国际空域标准，各国对无人机的监管措施主要集中在隔离空域和非隔离空域的概念上。如果视为飞机，那么无人机无法遵守传统的空中规则和国际民用航空组织发布的技术标准，因此不适合非隔离空域。¹³

31. 因此，无人机通常只允许在隔离空域中运行，只能保持在 500 英尺以下，以便与大部分空中交通隔开。某些其他条件也通常适用，最明显的是涉及接近建成区的情况，如机场和军事设施附近的保护区，以及保持在视线内的要求。约有 20 个司法管辖区实施了专门的条例以应对这些关切。澳大利亚、加拿大、新西兰、大不列颠及北爱尔兰联合王国和美利坚合众国是较早纳入此类法规的部分例子。

32. 关于无人机的使用，最常提及的关切是：(a) 国家没有专门立法应对无人机，(b) 执法机制不健全，(c) 目前的监管限得太死，阻碍了无人机技术和创新的进一步发展。业界已查明的其他关切是与安全、安保、空域准入、无线电通信频谱和监管考虑有关的问题。¹⁴

¹² David Hodgkinson and Rebecca Johnston, *Aviation Law and Drones: Unmanned Aircraft and the Future of Aviation* (London, Routledge, 2018).

¹³ 同上。

¹⁴ 同上。

33. 在安全保障方面，越来越明显的是，需要新的保障措施来筛选和核验无人机运营人，包括但不限于地面站安全保障、控制无人机实际进入地面设施以及控制连接的适当加密或网络安全协议。¹⁵

34. 空中无人机的使用日益增多，也给有限的无线电通信频谱带来了压力。像空域准入一样，频谱分配有限，而其需求却不断增长，这势必导致分配并安排优先次序。¹⁶ 其他考虑因素包括运营的授权和许可、人员和运营人颁证以及赔偿责任问题。

35. 澳大利亚早在 2002 年就开始实施无人机法规，成为第一个制定此类法规的国家；截至 2016 年，澳大利亚立法已被修改，纳入了非娱乐性无人机的规则。¹⁷ 澳大利亚根据重量和使用类型来规范无人机的运营。操作员需要获得执照，完成培训，达到最低的飞行小时数，并有飞行安全程序。重型无人机的飞行操作员需要为其飞机获得适航证书。

36. 在中国，自 2015 年以来，已经发布了无人机运营的指导方针和规定。¹⁸ 还创建了一个动态数据库系统(称作“无人机云”)来监控无人机运营。当操作员在禁飞区附近放飞无人机时，该系统会触发警报以通知运营人。未接入无人机云的用户必须在飞行前咨询当局。规定了两种操作方式：视线内运行和超视线运行。视线内运行必须在白天进行。重量在 1.5 公斤至 150 公斤之间的无人机的规定将其速度限制在每小时 100 公里内。无人机运行需要一名指定的驾驶员，他将对所有事故负有法律责任。根据国家《轻小无人机运行规定(试行)》，空中无人机分为七类。重量低于 1.5 公斤的无人机不受监管，但必须安全操作，以避免对第三方造成伤害。

37. 直到最近，印度尚未出台无人机法规。¹⁹ 不过，法规正在草拟中以供审议。在印度，空中无人机被界定为由遥控驾驶的飞机、遥控飞行员和指挥控制链路组成。这一定义很重要，为监管和限制无人机运行铺平了道路。允许无人机用于包括监测、灾害管理、调查、商业摄影和测绘等民用活动。印度所有的无人机运行都需要一个独特的识别号，并由该国民用航空总局颁发。收到独特的识别号后，必须在无人机上贴上刻有该编号的标识牌。只有印度公民或在印度注册的公司才能获得独特的识别号。无人机的所有权须注册登记，并可经某些手续转让。第三方损害责任保险是强制性的，运营商有责任在 24 小时内将任何事件或事故通报航空安全局、民航总局和民航安全局。所有高度 61 米以上的飞行都需要许可证，也是由民航总局逐案颁发。无人机作

¹⁵ 同上。

¹⁶ 美国，《无人驾驶飞行器系统在国际铁路中的应用》。

¹⁷ 澳大利亚议会、农村和区域事务和交通运输参考委员会，《影响远程驾驶飞机系统(RPAS)、无人驾驶飞行器系统(UAS)及相关系统的安全商业和娱乐使用的当前和未来的监管要求》(2018, 堪培拉)。

¹⁸ Droneregulations.info, “China”, Global Drone Regulations Database. 可查阅：<https://droneregulations.info/China/CN.html> (2019 年 7 月 9 日读取)。

¹⁹ 无人机教练，“印度的无人机法律”，可查阅：<https://uavcoach.com/drone-laws-in-india/>；印度民航部，“民用航空要求”，民航总局网站，可查阅：<http://dgca.nic.in/rules/car-ind.htm> (均于 2019 年 7 月 10 日读取)。

业必须在白天良好的视觉气象条件下进行，地面能见度超过 5 公里，风速低于每小时 37 公里。重量 2 公斤以上的无人机的驾驶员必须年满 18 岁。驾驶员完成实际培训，必须在操作全过程中展示可以对无人机进行令人满意的控制。除非在经营许可证中明确允许，否则禁止无人机投放或排放物质。

38. 日本于 2015 年 4 月对《民用航空法》进行了修订，纳入了无人机监管。²⁰ 成立了一个涉及几个部委和公共当局的机构间理事会，并于 2018 年制定了一份关于空中工业革命的路线图，以监管空中无人机的商业使用。根据路线图，所有无人机都应在视线内运行。目前允许有限的超视线应用，并在路线图中设想到 2025 年更广泛地部署无人机，包括用于物流服务。无人机不能携带易燃材料等危险品，必须避免掉落任何东西。

39. 俄罗斯联邦于 2015 年推出了第一份关于无人机运行的立法草案，简要规定了认证和无人机登记标准，并于 2016 年 3 月生效。²¹ 根据这项立法，每一次飞行必须有一个机组，包括一名飞行员和一名观察员，飞行全过程中他们都必须在场并为飞行负责。机组人员必须有一个飞行方案，类似于常规飞机。飞行方案信息应包括无人机型号、飞行目的、飞行时间和估计的飞行地区或区域。无人机必须在白天运行，并且有机上文件记录。

40. 总体而言，大多数此类国家的法律框架旨在保护财产和确保地面人员和其他空域用户的安全。然而，各国对保险、隐私、许可证和其他飞行限制等问题的处理方式大不相同。

41. 特别是，与无人机运行的赔偿责任和保险有关的问题在许多国家是未知领域，因为无人机运行的性质使得难以在制造商、运营商、驾驶员、软件供应商或参与无人机业务的任何其他实体之间分配责任。在航空领域，赔偿责任通常包括地面或空中撞击对人员和财产(第三方)造成的损害。对于航空方面的第三方责任(无论是上机驾驶还是遥控驾驶)，尚无国际通行制度。虽然存在一项全球法律文书(《外国飞机对地面(水面)上第三方造成损失的公约》)，但批准该文书的国家寥寥无几。因此，管辖第三方损害赔偿责任的规则以国内法为基础。赔偿责任可以通过对潜在赔偿水平的上限进行限制，也可以是无限的，对被告可能承担赔偿责任的金额没有上限。在实践中，赔偿将受到所购买的保险单金额的限制。因此，存在对最低保险要求作出规定的法规。在管制空中无人机主要基于航空的基本概念这一前提下，可能需要进一步考虑将空中无人机的特性纳入传统保险单计算中。

六. 部分政策考虑

42. 在政策方面的考量，首要问题似乎是需要标准化和有效监管。然而，目前的标准各行其是，支离破碎，给行业的增长带来了困难。在这方面，最终

²⁰ Hiromi Hayashi and Kohi Toshima, “Regulations on Drone Flights in Japan”, in *The International Comprehensive Legal Guide to Aviation Law 2019*, Alan D. Meneghetti and Philip Perrotta, eds. (London, Global Legal Group, 2019).

²¹ 俄罗斯联邦，莫斯科市长办公室，“飞起来：驾驶无人机时应遵循的规则”，莫斯科市长和莫斯科政府官方网站，2017 年 9 月 27 日。

应区分清楚，哪些可以视为在铁路环境中风险减轻的常规无人机活动，哪些是需要额外风险评估的特殊、高风险作业。事实是，商用无人机的应用不仅已经在铁路环境中进行，而且还在随着这一快速进步的技术而不断扩张。在这方面，需要考虑的基本问题包括行业在多大程度上应制定业务标准和安全协议，并确定政府可以在干预和监管无人机的安全和合法部署方面的适当的政策空间。

43. 例如，世界上许多国家允许超越视线的有限运行，但获批的要求可能差异很大。随着超视线运行今后会不断扩大，不同的司法管辖区可能会采用基于最佳做法和经证实的安全规程的统一要求，从而使国际法规和国家法规更加协调一致。

44. 空中无人机崛起成为航空的一个独特部分，给其他空域用户带来了明显的挑战。空中交通的安全隔离是人工驾驶航空中的一个关键安全原则，带来了空中交通管制系统的发展。这些系统在国家和国际两级运作，根据《国际民用航空公约》附件中规定的空中规则提供共同的运行环境。

45. 几个国家认识到，使用空中无人机的低空和交通密度挑战远非假设情况。自 2014 年以来，美国国家航空和航天局和联邦航空管理局一直在开展并行的重大研究方案，任务是开发无人驾驶飞行器系统交通管理架构，为在 100 英尺至 400 英尺的高度上运行的无人机提供空中交通管制服务。²² 同样，欧盟委员会在 2016 年 11 月底宣布启动一项关于无人驾驶空域(或称“U 空间”)的研究计划，也是针对 100 英尺至 400 英尺空域类别中的无人机运行的。²³ 2016 年 12 月，新加坡民航管理局和南洋理工大学启动了一项为期四年的研究计划，旨在开发一套完整的国家无人驾驶交通管理系统。²⁴ 虽然这一进展的影响力将远远超出铁路使用无人机的范围，但它也可能对铁路应用有明显的好处。

²² Parimal Kopardekar and others, “Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations”, paper presented at the Sixteenth American Institute of Aeronautics and Astronautics Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Washington, D.C., June 2016.

²³ Single European Sky Air Traffic Management Research Joint Undertaking, *U-space: Blueprint* (Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2017).

²⁴ Innovation Toronto, “Singapore developing drone air traffic control systems”, 30 December 2016.

方框 3

新加坡的国家无人交通管理研究计划

新加坡很早就采用了商用无人机运营，但该国面临的根本挑战是可用空域极其有限。此外，空域准入是一个重要的经济和安全考量。商用无人机行业的崛起加剧了这些压力，导致新加坡空域飞行申请经常因为用户需求冲突而被拒绝——即使建议的运营本来是符合国家的监管要求的。对空中无人机空域准入的这种限制反过来又被视为对商用无人机行业整体发展的障碍，包括对国家重要信息技术基础的次级影响。

2016年12月，新加坡民航管理局和南洋理工大学宣布了一项为期四年的联合研发计划，旨在创建国家无人交通管理系统，作为克服这一空域准入挑战的一种手段。拟议的架构将包括以下特点：为空中无人机指定空中走廊；划定机场和其他关键基础设施等敏感区域周围的禁飞区，使用地理围栏强制执行；集成到空中无人机中的“发现并规避”系统，以帮助防止撞击；以及一个由地面协调站组成的国家网络，可以调度无人机交通流量，监控飞机速度，并确保安全隔离。预计开发方案将广泛利用各个技术和研究学科，包括自动化、机器人、传感器处理和数据融合。最初的开发活动将主要依靠基于实验室的工作，使用模拟来测试概念。

^a 更多信息，见新加坡，“新加坡民航管理局和南洋理工大学拓展空中交通管理研究合作伙伴关系”，新加坡民航管理局网站，2018年2月8日。

46. 另一个考虑因素是无人机运营人应对其使用负责这一基本概念。若在禁止的空域以不安全的方式或为了非法目的提供无人机服务，则当局应能采取行动，并追究一个或多个运营人的责任。若尚未立法，则这一原则就需要在国家法律中予以澄清。此外，无人机有必要在随时随刻都有一个可识别的所有人或运营人，以便可以强制执行责任。

47. 在这方面，主管当局应澄清适用的保险和第三方责任制度，并监测针对潜在受害者和损害的赔偿机制。可以设想建立赔偿基金，以涵盖未购买保险的无人机用户造成的事故受害者，类似于汽车保险部门使用的制度。应效仿印度，将无人机事件的报告纳入总体事件报告要求中。系统的连贯一致的事故报告将提高安全性，并有助于保险公司进行风险分析，从而形成第三方责任保险费的基础。

48. 将空中无人机集成到铁路系统中最终只能作为一个渐进的创新过程对待，而不能作为有明确终点的目标。这项技术的使用将会发展壮大。各国政府和其他主管当局和部门组织将需要调整 and 适应其规则和程序，以容纳不断扩大的业务。虽然几个国际组织在应对这些挑战方面取得了长足进步，但需要创新监管框架，以容纳空中无人机带来的新的现实情况。随着未来十年中无人机行业的迅速扩张，这些问题的挑战性不会减少，其资源密集度也不会降低。

49. 关于无人机的益处、挑战和政策考量的讨论摘要见本文件附件。

七. 供工作组审议的问题

50. 亚太经社会的战略交通运输优先事项之一是通过整合科学、技术和创新等手段，追求优质、可靠、可持续和有抵御灾害能力的基础设施。在此背景下，工作组不妨审议其在支持对交通运输基础设施规划、投资、维护和运营中采取当代和前瞻性做法方面的潜在作用。

51. 在这方面，不妨考虑是否、以及在何种情况下，可以制定区域方针。事实上，目前的国际法律框架确实省略了国际商用无人机业务，留给国家司法机关自行制定最适合其目的的框架。同时，在技术中立和功能等同的基础上，各种技术和工具的使用越来越多地被编入国际文书。继而出现了这一问题：是否可以将技术中立性和功能等同结合起来，制定所谓的软方法（例如，准则、最佳做法和范例），从而将国际商用无人机业务纳入区域和次区域法律框架？这是否能够如想象的那样推动政策周期与技术发展速度保持一致？

52. 在这方面，工作组不妨采取以下行动：

- (a) 审议本文件及其附件重点指出的问题；
- (b) 交流意见和经验；
- (c) 审议如何使用空中无人机为维护泛亚铁路网提供具有成本效益和可持续的解决办法，并就这一事项向秘书处提供进一步指导。

附件

与部署空中无人机用于铁路基础设施的检查和监测有关的主要好处、挑战和政策对应

好处	挑战	可能的政策对应
提高效率，降低成本	<ol style="list-style-type: none"> 1. 对与铁路有关的无人机作业/飞行的工作人员进行培训并颁证 2. 确保提供安全的地面设施，无人机和相关设备仅供授权人员使用 3. 降低与无人机超视线运行有关的风险，使立法者可以对其安全性感到满意，并制定更灵活的立法，以便对其进行授权，从而能够对铁路轨道长线性路段、涵洞、隧道和桥梁等进行检查 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 将基础设施的特殊情况纳入针对基础设施行业的合理培训和许可要求的法规和定义中 2. 针对商用无人机运营人（包括用于铁路）的国家框架立法 3. 制定政策来应对铁路等特殊类别的超视线作业，包括考虑为路权沿途的无人机走廊建立无人驾驶空中交通控制系统
加大数据收集的频率和详细程度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 待分析数据增多，将需要额外的专业知识或技术 2. 铁路所需人员配置可能开始发生变化 3. 将为作业目的收集的数据与偶然收集的数据（数据所有权问题）截然分开将会有困难 4. 应慎用于商业敏感基础设施或其他禁区设施 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 将无人机运营纳入国家数据相关政策 2. 更新并调整铁路培训和教育，对高素质工程师和数据分析师提供征聘优惠 3. 针对使用商用无人机收集数据的所有权和管理，制定明确和可执行的法律 4. 关于铁路线可到达的敏感地点的空域法规的应用和可执行性
加强巡查偏远或危险地点资产的铁路人员的安全	<p>与飞行规划和运营相关的风险增加，包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> (a) 与其他无人机、铁道机车或架空线路碰撞或在封闭空间中碰撞 (b) 与无人机事故相关的赔偿责任 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 确定和编纂安全飞行规划和运营的行业最佳做法，并将最佳做法纳入国家准则 2. 制定明确和可执行的赔偿责任和保险制度