



## 和平利用外层空间委员会

### 联合国/西班牙/国际天文学联盟为科学和社会保持寂静夜空会议的报告

(西班牙拉帕尔马 (在线), 2021 年 10 月 3 日至 7 日)

#### 一. 引言

1. 作为联合国空间应用方案的一项活动,秘书处外层空间事务厅组织举办了联合国/西班牙/国际天文学联盟为科学和社会保持寂静夜空的会议。
2. 鉴于冠状病毒疾病 (COVID-19) 大流行,会议从 2020 年延至 2021 年。外层空间事务厅和西班牙政府商定将以混合方式举行这次会议,一些与会者在圣克鲁斯-德拉帕尔马参加会议,并在网上向更多与会者播放这次活动。由于 9 月 19 日开始的拉帕尔马库布雷·维耶亚火山爆发中断了岛上的活动,会议最终于 2021 年 10 月 3 日至 7 日完全在线上举行。
3. 该活动由西班牙政府和国际天文学联盟共同组织。它得到了作为当地组办方的加那利群岛天体物理研究所的支持,并得到了拉帕尔马委员会、圣克鲁斯镇和星光基金会的共同赞助。
4. 本报告介绍了会议的目标,并列入了与会详情、发言和讨论摘要以及结论和意见。

#### 二. 背景和目标

5. 2017 年,和平利用外层空间委员会商定外空事务厅将与国际天文学联盟联合组织举办一次关于光污染的一般性议题的会议。
6. 2020 年,虽然在 COVID-19 危机期间旅行受到限制,但这次会议的科学组织委员会于 2020 年 10 月 5 日至 9 日仍然组织举办了为科学和社会保持寂静夜空的线上研讨会。与会者讨论了三类干扰对天文学造成的影响:(a)夜间的人造光;(b)数量众多的低地球轨道卫星;和(c)无线电波长发射。鉴于所收到的初步调查结果和意见,科学组织委员会所属工作组编写了由国际天文学联盟于 2021 年 1 月公布的报告。智利、埃塞俄比亚、约旦、斯洛伐克、西班牙和



国际天文学联盟在一份题为“为科学和社会保持寂静夜空的建议”的会议室文件（A/AC.105/C.1/2021/CRP.17）中将报告所述建议提交给和平利用外层空间委员会科学技术小组委员会 2021 年 4 月举行的第五十八届会议。

7. 2021 年 10 月 3 日至 7 日举行的会议侧重于与这些建议有关的技术和政策行动，特别是确定究竟哪些利益攸关方和合作伙伴需要展开合作，以实施在保护寂静夜空方面令人满意的解决方案。会议日程列有科学组织委员会各工作组的专题介绍、特邀发言者演讲和经由论文摘要征集甄选的稿件。

8. 在这次会议上，可以有机会听取不同意见并让利益攸关方提出建议，从而方便外空委成员国更好了解所述及的各种要素。

### 三. 出席情况

9. 共有 724 人登记参加会议并获准登陆线上交流平台，其中 32%是妇女。

10. 下列 76 个国家派代表出席了会议：阿尔及利亚、阿根廷、亚美尼亚、澳大利亚、奥地利、阿塞拜疆、孟加拉国、白俄罗斯、比利时、巴西、文莱达鲁萨兰国、布基纳法索、喀麦隆、加拿大、乍得、智利、中国、哥伦比亚、克罗地亚、塞浦路斯、多米尼加共和国、埃及、埃塞俄比亚、法国、德国、加纳、希腊、危地马拉、洪都拉斯、匈牙利、印度、印度尼西亚、伊朗伊斯兰共和国、爱尔兰、意大利、日本、约旦、肯尼亚、黎巴嫩、利比亚、马来西亚、马耳他、墨西哥、摩洛哥、尼泊尔、荷兰、新西兰、尼日利亚、巴基斯坦、巴拿马、秘鲁、菲律宾、波兰、葡萄牙、大韩民国、罗马尼亚、俄罗斯联邦、沙特阿拉伯、塞尔维亚、斯洛文尼亚、南非、西班牙、斯里兰卡、瑞典、瑞士、泰国、突尼斯、土耳其、乌克兰、大不列颠及北爱尔兰联合王国、坦桑尼亚联合共和国、美利坚合众国、乌拉圭、委内瑞拉玻利瓦尔共和国、也门和津巴布韦。中国台湾省也派代表出席了会议。

11. 线上出席人数变化不定，取决于世界各地的时区；巅峰时期，约有 140 名与会者同时连线。

12. 请与会者在讨论期间利用在线平台以书面形式向发言者提问，组办方使用相同界面提供所有相关的补充信息。

### 四. 日程安排

#### A. 概述

13. 该日程安排包括专题介绍会、圆桌讨论和海报的简明介绍。首先讨论了夜间人造光所涉各个方面，然后是就卫星星座对天文学和射电天文学的影响展开了讨论并提出了建议。

14. 海报展示旨在作为面对面海报会议的线上等同物，它让更多举措得以展示，也使经验不足的发言者能够进行专题介绍。

15. 整个活动持续 5 天总共 28 小时。共有 69 个人参加并发言（22 名女性和 47 名男性）。

16. 活动结束后，发言者所作的专题介绍均见于外层空间事务厅网站（[www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/schedule/2021/2021\\_dark\\_skies.html](http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/schedule/2021/2021_dark_skies.html)）。

## B. 欢迎辞和主旨演讲

17. 活动时，加那利群岛天体物理研究所所长作为当地组办方并代表西班牙致欢迎辞。他回顾说，拉帕尔马的公民几十年来始终如一地支持天文活动，并对导致会议完全线上举行的特殊情况感到遗憾。

18. 随后，国际天文学联盟的代表以科学组织委员会的名义致欢迎辞。发言者提请听众注意，2020 年 10 月举行的线上研讨会的详细报告可在国际天文学联盟的网站上查阅（[www.iau.org/static/publications/dqskies-book-29-12-20.pdf](http://www.iau.org/static/publications/dqskies-book-29-12-20.pdf)）。报告载有建议，会议期间将进一步讨论这些建议的执行情况。

19. 外层空间事务厅的代表首先对与会者表示欢迎，然后解释了举行这次会议的原因。他对外空委工作的特殊性，以及一些代表团究竟是如何提请委员会注意寂静夜空这一主题的情况做了解释。科学和技术小组委员会第五十八届会议鼓励外空事务厅与诸如国际天文学联盟及其他利益攸关方等所有相关利益攸关方就该专题展开互动，并向小组委员会提交该互动的结果包括推进讨论该事项的结果以供其审议。本次会议可以协助就展开国际合作的各种机会进行重点突出的讨论。根据小组委员会第五十八届会议达成的一致意见，外层空间事务厅还将在 2022 年小组委员会第五十九届会议期间组织举办关于以寂静夜空为主题的行业专题讨论会。

## C. 夜间人造光

20. 第一场会议涉及夜间人造光日益增长的威胁及其对自然界的影响。光污染是造成昆虫灭绝和不必要的二氧化碳排放等重大挑战的一个促成因素。除了影响到天文学外，它还通过使暗空不复存在而损及人类文化遗产。夜间人造光特别是来自发光二极管照明的蓝光一直在快速增加，预计还会进一步增加。生态位直接受到影响，因为人造光改变了动物对栖息地、觅食和迁徙方式的选择。光照影响昼夜节律，进而影响到激素和季节节律乃至直接影响到生殖。在海洋中，光干扰了避开光的浮游动物的迁移。利用恒星导航的动物，尤其是利用银河系的光的候鸟，失去了这种参照也就失去了时间和能量。夜间人造光也影响了昆虫的整个生理状态；目前正在研究它对人口减少的责任。就它对人体健康负面影响的认识也在缓慢加深。应该以综合方式减少光污染，不仅仅是采取降低照明温度的方式，而且还要考虑何时何地的确需要照明。光污染是一个可以采用节约资源的方式加以解决的问题。虽然一些城市在设计室外照明以减少当地造成的污染时节省了能源并降低了成本，但反射光的卫星造成的天基污染是一个新出现的威胁，需要就此展开国际合作。

21. 第二场会议述及对天文遗址的保护问题。会上介绍了几个天文台的经验。由于它们往往由若干国家资助，并在另一国家建造，天文学界认为，有必要就保护天文场所免受夜间人造光照射的措施达成国际共识。四位发言者对各自国家在这方面的情况作了如下介绍：

(a) 在美国，最新的观测站设在光污染有限的地方；然而，应该采取旨在扭转目前此种污染增加的措施，使照明与需要相匹配，不需要时就积极采取减少光的管制措施，包括通过设定限额和进行宵禁的做法。在地平面上方不应投射任何光。在观测站邻近区域（例如 30 公里以内），使用某些颜色的光是合理的，而在同心区域则实施越来越严格的限制。照明设计不应超出安全基本要求最低值的 20%，光通量应当朝向所需之处，并为当地的环境专门设计；

(b) 西班牙签署了一项保护加那利群岛寂静夜空的天空法，相应条例于 1992 年生效。保护区把整个拉帕尔马岛和特内里费岛部分地区纳入在内；天空质量保护问题技术办公室确保这些措施得到执行，并实地进行不间断监测和检查。由于得到政治层面的大力支持、花大力气加强宣传并争取到岛上当地居民的支持而得以建立了监管框架；

(c) 摩洛哥于 2018 年启动了一个在阿特拉斯地区建立寂静夜空保护区的项目，以保护其免受马拉喀什、阿加迪尔和瓦尔扎扎特的光污染。该项目从测量当地照明情况和问题评估着手。预计 2023 年将获得国际寂静夜空协会的认可；

(d) 中国正在采取行动以拟订国家一级的寂静夜空保护标准，并说服地方政府落实照明上限。已经对一些空中交通路线做了修改以保护天文学。最终可能需要把一些观测站搬到人口较少地区的新的站点。对于射电天文学，中国正在测量和减轻无线电频率干扰，并正在考虑创建不受无线电干扰的区域。

22. 第三场会议讨论了夜间人造光对生物环境、人类和动物的昼夜节律以及人类整体健康的影响。夜间室外人造光是一种污染物，应该这样考虑：与其继续试图按照夜间的特征逐个减少夜间人造光，不如采取科学界定阈值并开展国际一级协调的全球做法，此种做法将更加有效，因为夜间人造光仍在世界范围内继续增加。光污染在很大程度上是由于对光的规划欠妥、管控不当。演讲者就光对人类昼夜节律的影响做了解释：此种节律稍长于 24 小时，并且每天都由于光而重新调整。决定人体生物钟的褪黑激素在白天会受到光线的抑制，而夜间的光线会扰乱其分泌。世界卫生组织宣称昼夜节律紊乱与多种疾病有关，是二级致癌物。因此，一些医学协会建议消除光源中的蓝光以保护人体健康。已经有越来越多的证据显示，褪黑激素受到抑制时人体中的癌细胞会发展，在其他动物物种中也观察到类似的效果。一位发言者解释说，已经有减少对健康负面影响的技术；然而，目前尚未规定照明行业必须评估其照明技术对环境造成的影响，照明行业可能不欢迎这种限制。

23. 第四场会议讨论了暗空绿洲的情况，介绍了德国、新西兰和西班牙的最佳做法，并解释了如何开展对环境负责的照明设计。除了天文学家和观星爱好者，公共卫生利益相关者现在也参与了对该问题的讨论。空气辉光是以每平方米烛光（亮度）来衡量的，任何高于每平方米 1 微烛光的数值都意味着天空被轻度污染，这意味着世界上约 80% 的人口生活在光污染地区。理想情况下，天文观测站应该设在高出自然气辉的占比不超过 10% 的地区，而其他地区可以忍受更光亮度，但地方政府没有能力应对或了解什么是全球危机。如照明公约等适用于暗空绿洲和城市环境的强有力准则，将使各国能够遵循全球既定的协议。也可界定关于暗空质量的可持续发展目标，一如西班牙星光基金会提出的建议。天文旅游在稳步发展。例如，拉帕尔马旅游业总收入的大约 10% 来自天文旅游。在新西兰，特卡波地区发展天文旅游并取得类似成果。天文旅游可以

弥补旅游业季节性的不足，并有助于防止人口减少。德国约有 44% 的人口无法观察到银河系，为了在自然公园测量天空亮度，人们决定创建暗空保护区，有越来越多的社区有兴趣加入其中。丹麦、德国和荷兰的环境部正在减少联合国教育、科学及文化组织世界遗产地瓦登海的光排放。关于光发展的跨学科研究目前处于早期发展阶段，尚未将研究转化为法律。需要进行对环境负责的照明设计来改善街道照明、建筑和体育设施照明、广告、景观照明、安全和安保灯以及活动照明。政策出版物迄今为止往往只涉及一些参数。需要有容易获得的照明测量工具、负责任照明指南、监管框架并给跨学科研究提供更多资金。

24. 会上展示了两张海报，是关于乌拉圭减轻光污染和夜间人造光对动物交流系统的影响。

25. 第五场会议涉及夜间人造光的测量和建模。对区域监测的测量可以使用测量单一方向天空亮度的简单设备从太空、飞机上或在地面上进行。这些设备是能够买到的，一旦予以校准，即可用于网络交流。诸如鱼眼镜头等其他设备，是能够进行“全天空”测量的不难获取并且费用合理的工具。需要一个有一个自然天空模型以评估夜间人造光产生的额外光线：正在基于卫星观测开发此种模型，而其他各种模型考虑了光污染的各种成分（直接光、间接光以及被诸如海盐或煤烟等气溶胶和分子反射或散射的成分）。此种模型十分复杂，计算量很大；适合非专家的简化版本正在开发之中。

26. 会上展示了三张海报。这些海报述及属于相对较新专题的对印度尼西亚光污染的测量；在突尼斯南部建立一个天文观测台的建议；及如何测量城市照明基础设施光谱和角度发射的变化以监测监管实施情况。

27. 第六场会议综述了就减少夜间人造光提出的建议。关于为保护天文遗址、暗空绿洲和生物环境所需行动的建议十分相似。会上的意见是，与其分别提出许多技术性建议，还不如认真考虑以下原则：(a) 拟订照明总体规划并进行高效设计；(b) 利用对光的自适应控制和光谱调谐，特别是为了限制蓝光；(c) 界定室外区域的标称和自适应照明等级，并针对与安全有关的各个照明等级提出基于研究的建议；(d) 采用附有相关限制的分区系统；(e) 限制保护区的天空辉光；(f) 限制建筑物正面的照明和彩色照明，屏蔽所有室外光线；(g) 用标准化计量系统进行光测量和监测；(h) 对商业和军事飞行做出规划，以把天文台邻近区域排除在外；(i) 支持关于夜间人造光影响的研究，特别是关于照明、医疗和环境研究之间的跨学科研究；(j) 确定长期目标，并拟订确保减轻不良影响的战略。

28. 总结发言后有三场专题介绍。国际照明委员会与国际度量衡委员会和国际标准化组织协同汇集了来自学术界和工业界的专家，在平衡兼顾各利益攸关方利益的前提下共同拟订立立场声明、技术文件和国际标准。法律的实施需要立法以界定明确的可追溯测量成果为依据。而测量又需要有已界定的测量数量、合适的设备、关于不确定性的定义和仪器合规评估程序。目前使用的仪器往往是为了不同的目的而设计的：它们需要进行适当的校准并具有可追溯性和评估不确定性的测量方法。“尽量减少天空辉光的准则”是国际照明委员会的一份长期出版物，它已经被一些监管机构和立法机关所采纳。委员会还确定了作为决策框架文件一部分的城市照明总体规划和照明区。在讨论期间，有与会者对这些标准是否基于证据有些怀疑，并担心会发生利益冲突。委员会代表就此澄

清道，文件由所有成员协商一致批准，既然有了新的研究成果，就需要对原有文件加以更新。

29. 第七场会议对政策建议和法律上的各种选项做了介绍。在讨论中，专家们提议将夜间的人造光作为污染物处理。如果承认做此处理，则将适用国际、国家和区域各级的相关环境法律和条例。例如，可以通过税收或限额交易计划来确定夜间人造光的可允许配额。讨论中反复提到环境影响评估的想法：这将迫使利益攸关方考虑环境影响，并让公众得以能够参与该工作。在讨论过度照明的关联性时，发言者强调，光妨碍了对外层空间的观测。由于外层空间既推动了科学的发展，也是产生科学灵感的来源，和平利用外层空间委员会是籍以加深对出于各种原因减少夜间人造光必要性的认识的工具。

30. 三位发言者讨论了在实施上的各种选项，例如基于自身利益的经济激励措施、限额交易计划和“从轻征税”。没有任何一种治理模式能够在所有各地方和所有各级别奏效。利用诸如把夜间人造光纳入环境法与卫生法指导意见和条例等现有法律基础设施将是最为简便的做法。由于会遇到反对意见，然后会允许有豁免做法，因此实施工作应分阶段逐步进行。停止不当照明或禁止劣质产品的预防措施应当与依靠资源充足的执法机构而采取的反应措施一并实施，以防止出现蓄意滥权的情况并将整治费用转嫁给灯具所有人。实施工作需要例如阅读标签等简单的度量，而不是技术度量。教育至关重要，但也需要有从国际法到地方法令的各个层面的法律。虽然条约可以由国家启动，但鉴于让天空保持暗黑所带来的地方优势，在例如对天文旅游感兴趣的农村地区有理由做出地方性决定。

31. 第八场会议提供了在国家和区域层面实施限制夜间人造光的国家政策的实例：

(a) 智利北部的天文台受到邻近城市夜间人造光增多的威胁。智利决定在该地区禁止蓝光，并对体育设施的照明实施限制。正在拟订一项新的法律；然而，执法仍然是一个问题。天文旅游在智利北部发展良好并惠及当地社区，而这又显然让它们有兴趣保护暗空；

(b) 在西班牙，除了保护加那利群岛的法律之外，还有区域一级的法律。光污染属于环境法所辖范围之内，但却没有任何整治机制，西班牙立法机关认识到大气污染与光污染在形式上的区别；

(c) 在葡萄牙，沿海地区夜间人造光显著增加，这无关人口的增长，主要是由于发光二极管技术的变化。已利用学校教育课程来提高认识。议会就该问题展开了讨论，但尚未立法，而葡萄牙环境署无权过问夜间人造光问题；

(d) 意大利在区域一级有各种关于光污染的法律。伦巴第是这方面的先行者，该地区收集了25,000个人签名，要求制定这方面的法律；然而，需要对法律进行更新以便把蓝光考虑在内，并且还需要对所产生的光总量加以管控；

(e) 在美国西南部和夏威夷，在没有凌驾一切的联邦法律的情况下，拼凑而成的监管条例决定了谁有管控照明的权力以及在何处实施此类管控。弗拉格斯塔夫是实施尽量减少光污染法令的第一个“国际暗空城市”，夏威夷在地方一级实施了各种法律，要求对光谱进行屏蔽和限制。没有法律规定往往倒有可能取得良好结果，特别是在改装路灯可以节省资金的情况下；

(f) 法国 2020 年 1 月实施了一项节能法律，通过具体措施减少夜间的人造光。全国保护夜空和环境协会还开发了一个“星空乡镇”的标签，已有 13,000 个地方予以采纳，在例如晚上 11 点至早上 5 点的特定时间段关闭公共照明；

(g) 在德国，昆虫数量的减少导致政府制定了一项行动方案。拟订了区域一级的法律，设有限制性措施和“对昆虫友善”的照明概念（有时间限制，只是做下行限制，温度低于 3,000 开尔文，没有紫外线）。2021 年 6 月的联邦自然保护法列有保护动物在夜间免受人造光照射的概念，但没有就何时可以照明做出规定，也没有任何“照明警察”。

32. 第九场会议是圆桌讨论，在讨论期间，小组成员的讨论内容包括如何编写一份附有建议的文件，及如何最能提请和平利用外层空间委员会注意该专题。在现有框架内开展工作可能会减少变革的阻力：已有禁止夜间人造光的成功立法的实例，同行压力可能会说服政府采取行动。将该问题与人类健康挂钩使其具有普遍意义。为提高认识做出更多努力将不无益处，因为说服当地居民是执法和守法的关键所在。从技术上讲，这些建议清楚明了：它们需要明确说明其主要目标究竟是制止夜间人造光的增多还是完全减少人造光。可以利用各种渠道向各国政府陈述情况，发言者指出，虽然许多人都承认卫星的问题与和平利用外层空间委员会有关，但夜间人造光问题还仍然需要得到类似的承认。由于许多地方除了观看星星之外仍然无从接触到外层空间，应该就能够看到星星是否是利用外层空间的一部分展开讨论。

#### D. 卫星星座

33. 第十场会议述及卫星星座观测及天文学家需要何种数据和软件处理来减轻其影响的问题。虽然空间交通管理是星座面临的一个基本问题，但有两个方面对天文学很重要：所反射的阳光和无线电频率的影响。受卫星影响的天文数据产品开放式数据储存库正在开发之中。就此种储存库的数据共享而言，天文学家更希望卫星运营商以标准化方式每隔八小时提供一次轨道信息，并且对误差设限。一些发言者就他们向天文学家和教育工作者介绍卫星星座观测活动做了解释。正在开发相关软件，以协助就干扰度最低的观测进行规划，或以数量表示卫星对观测数据的影响。这项活动界定明确，但需要有志愿者和资源才能开展下去。未来星座的许多航天器都会对观测产生影响，有时影响还很大：一些卫星很暗，不足以留下痕迹，但仍然会遮蔽其背景。在特定情况下，例如在观察金星或水星凌日时，观测不能等卫星离开望远镜的视场时才进行。天文学家将继续与所有感兴趣的运营商合作，并希望卫星运营商将资助数据储存库的开发，或者各国将为该研究提供资金。

34. 第十一场会议继续审视卫星观测情况，8 名发言者发表了意见。把智利的观测情况与大韩民国、西班牙和越南的观测情况进行了参照对比，比较了 Starlink 与 OneWeb 星座各种设计的卫星亮度，就其星等是否弱于七级进行了测量。其他一些发言者对卫星的表观星等进行了模拟：轨道越高，则卫星越亮。近地天体监视卫星从太空对卫星的亮度进行测量：它没有发现各种 Starlink 设计之间的亮度有任何差异，OneWeb 各类卫星间的可变度更大。当在地球的白天，地球的光芒照亮了航天器，太阳能电池阵列的背面非常明亮。一

些遥感星座的航天器也超过了 7 级。卫星也穿越了地基望远镜的视场：对于系外行星特性探测卫星空间望远镜来说，该望远镜在穿越恒星期间以高精度测光对系外行星进行了特性探测，只有约 0.2% 的图像包含卫星轨迹，因为该望远镜的视场小，曝光时间短。虽然对科学的影响微乎其微，但卫星已经对地基天文观测产生了影响。除了仪器的视场之外，望远镜的轨道决定了它是如何影响观测的。另一位发言者制作了对地球上各种望远镜取决于仪器曝光时间和视场而看到的卫星轨迹的模拟。可以对这项工作加以调整，用于模拟对太空望远镜的影响。另一位发言者回顾了现有大视场望远镜对科学的影响，并提出了描述此种观测特征的参数。

35. 总体而言，航天器因其形状和材料各不相同，对其反射率的评估十分复杂。碳纤维表面反射的光比金属少得多。需要保留评估航天器各代间设计的演变究竟是如何影响天文学的必要记录。一位发言者解释了对美国地面设施的影响，薇拉·鲁宾天文台因其视场开阔而受到的影响最大。射电望远镜周围地面上的无线电静区由国内规则协调，但卫星从头顶掠过，影响了地面观测：当射电波段观测不受天文学保护时，地球上没有一个位置会远到不受卫星影响。对于光学观测来说，任何缓解措施的结合都不会阻止踪迹的出现。美国国家科学基金会和美国天文学会关于卫星星座的讲习班提出了一些建议，该基金会可以为开发帮助安排观测的软件提供支持。

36. 第十二场会议涉及向天文学家展示算法和软件工具，以帮助其了解卫星何时会在图像中留下踪迹。到目前为止，志愿者已经开发了一个具有基本能力的原型和一个测试套件，以便在开发出更加强健有力的版本之前，从社区收集反馈。已经有掩盖踪迹的技术，但是随着卫星数量的增加，公开提供的有关卫星位置的信息不够准确，无法满足天文学家的需求。为了减少光纹，除了背景图像和卫星位置外，了解卫星亮度也会有所助益。一名发言者展示了中国国家天文台的万维望远镜，这是公开版的虚拟天文台，是一项在线进行天文学研究和教育的国际举措。该软件对卫星能见度进行计算，并可加以进一步开发，以模拟既有望远镜的视场。

37. 两名发言者对空间物体的激增如何增加了夜空亮度以及如何模拟今后情况的演变进行了评估。从单个来讲低于探测阈值的物体所发出的光合在一起仍然给天空中的光亮做出了贡献，特别是对具有大视场的探测器来说。从现有的卫星来看，卫星的数量在 20 年内增加了 4.5 倍，如今每平方米大约有 16 个微坎德拉，而自然的夜空大约有 200 个。它还没有阻止银河系在暗空中的能见度，但是天空某些区域中某些物体的能见度可能会受到影响，此种比例与按照某些标准而认定的光污染是相吻合的。在 15 年内还会增加 64,000 颗卫星，这将使天空亮度又提升若干个百分点。从理论上讲，所有这些 64,000 颗卫星会因为碰撞而破碎成 1 毫米的碎片，如果发生这种情况，星座造成的天空亮度就会增加 14 倍，如果碎片较小，亮度增加的倍数就会更高。

38. 随后进行的讨论所得出的结论是，天文学家需要有工具但也需要有保护夜空的政策行动。天文学家考虑通过媒体来宣传他们所做的努力，以争取能够为这些努力做出贡献的软件开发人员的参与。由于政策的拟订十分缓慢，说服工业界提供帮助并启动向公民进行科学普及的倡议可能更为有效。

39. 第十三场会议介绍了卫星运营商和卫星制造业的观点。运营商需要在设

计之初就考虑对天文学的影响，因为开发过程中的任何变化都将导致实施成本的增加，或者导致项目严重延迟。成本甚至可能会高得令人望而却步。虽然业界一直在评估如何降低航天器的亮度，但卫星射频信号需要能够穿过任何用于屏蔽所反射的阳光的材料：这种技术上的限制就造成备选的选项减少，目前还没有任何卫星制造商提出亮度保持在 7 级以下的设计。卫星制造业的工程团队可以在实验室中进行各种材料的模拟以评估其反射率，专业公司可以在发射前对材料进行测量和计算机模拟，但这都需要增加预算。最终只有在卫星发射后才能进行真实条件下的评估。需要进一步开发能够预测发射后能见度的工具。

40. 卫星行业一直在讨论如何提高空间系统设计者和监管者对天文学影响的认识；业内对如何实施空间安全措施已经在高度关注。业界行动方可以在发射后向天文学家提供支持观测的数据；然而，有关卫星位置的一些信息属于敏感信息，运营商可能并不想提供。对天文学家需要的大部分数据在保证数据安全的前提下可能会提供。正在就需要进一步讨论的建议进行对话。例如，在 600 公里以下的高度，能见度可能会降低，但较低的轨道自动需要有更多的卫星来提供同样的服务。业界可能偏向于基于满足性能指标的做法，而不是指令性做法。

41. 讨论侧重于如何确定适当的措施：在工程和操作方面的拟议限制需要以了解情况与符合实际为前提。天文学家之所以提出把 7 级作为目标的建议，是因为天文数据无法复原，但在能够采用该规则之前，首先需要证明这在技术上是可行的。作为监管工作的一个先决条件，在启动前可能需要请求进行环境影响评估。在此情况下，责任将转移给国家主管机构。这类措施可能会影响到卫星服务的财务可行性，一些运营商已经面临资金拮据的困难。与天文学家的对话需要继续进行，以便共同确定可行的备选方案。

42. 第十四场会议概述了各国的政策执行情况。电信项目和天文学界存在利益分歧并不新鲜：1961 年，西福特项目开创了一个历史上的先例，当时天文学家反对把数百万根金属偶极天线送入轨道的计划。除了空间机构之外，通常还由另外的利益攸关方监督科学支出，发放轨道许可证，并管理无线电频谱的使用。在联合王国，政府购买 OneWeb 的部分内容使该公司成为其空间战略的有机组成部分，皇家天文学会之后就此向议会提出质询。在欧洲一级，天文学家与欧洲议会成员举行了会议，并希望发起一场涵盖遗产和文化传统的关于失去暗空的社会影响的公共运动。一个专家组一直在利用来自 25 个国家的案例研究为国际天文学联盟编拟相关建议。该发言者引用阿根廷、加拿大和阿拉伯联合酋长国的情况对这些因素做了说明。许多国家大力推动支持空间经济的增长，但是对可持续性所持的关切往往没有转化为具体措施。许多国家在天文活动上投入了大量人力和财力，却没有一个适当的国家层面的论坛来平衡兼顾对天文活动和商业活动的兴趣。

43. 随后就如何界定“环境”进行了法律方面的讨论；例如，它是否包括拉格朗日点或火星表面，以及是否可以把保护太阳系天体免受地球生命污染的法律概念延展至天体。从一名从事诉讼工作的律师的角度来看，天文学涉及经济活动并投资于科学研究的事实是向政府提出反对增加天空亮度的一个有关联的论点。其他一些论点可能是，卫星重返大气层产生了影响到大气层的氧化铝，或者轨道是一种自然资源，地球环境应该由此而受到管制。

44. 国际电联的一名代表概述了如何监管无线电频谱和相关轨道的情况。光被认为不属于无线电频率的一部分，因此不受国际电联的管制。《无线电条例》是自 1906 年以来经由会议制定的一项国际条约，由所有签署国协商一致予以修订；研究小组在世界无线电会议举行之前就已经给改动做好了准备。研究小组参与者有成员国的代表，但也包括研究人员以及学术界和私营部门的代表。在国际电联对卫星网络办理登记由国家行政部门进行，而不是由运营商直接进行的；空间使用的每一个频率和相关轨道都需要在登入《国际频率登记总表》之前进行协调。《无线电条例》目前关于登记卫星网络的规定不包括对环境问题的任何具体审查。每当需要进行技术协调以解决所确定的信号干扰风险问题时，运营商和国家主管部门会直接进行讨论与协调，然后将其商定的结果通知国际电联。由于运营商在设计早期阶段即已提交初始请求，这些请求反映了他们的估计需求。初始申报材料可能包含更多的物理卫星和射频束，而在《登记总表》中登记的申报材料密切反映了频谱和轨道的使用。《无线电条例》没有对卫星数量的上限做出规定：只要新的系统满足运行要求，不对其他系统造成不可接受的干扰，就可以进行登记。保护现有服务和引入新的服务对于技术兼容性研究同样重要。国际电联旨在避免由于一些未能实现的理论性项目而造成把频谱和轨道放入仓库搁置不用：每个卫星网络将在七年内投入使用。自 2015 年以来，已根据星座对规则进行了调整：对其他服务进行保护的原则和“先到先得”原则仍然可以适用，而在第一颗卫星投入使用后，需要向国际电联申报部署方面的里程碑事件。

45. 发言者就政府如何能够要求运营商承担责任，以及任何希望保护天文学的国家如何把此类考虑纳入其卫星运营商许可证制度展开了讨论。

46. 第十五场会议侧重于国际政策。一名发言者讨论了是否将天文学视为受《关于各国探索和利用包括月球和其他天体在内外层空间活动的原则条约》保护的一种对空间的利用，以及如果卫星星座排除其他星座使用同一轨道，该条约所载不据为己有的原则是否适用。会上审查了环境法的各项原则，例如预防跨境损害的原则、事先防范的原则、污染者付费原则和关于可持续利用的原则。私人行为者不受国际公法的直接约束，但各国义务规范其活动，评估其遵守可适用国际环境法的情况，并考虑可持续性问题；非政府的活动应遵守与受影响缔约国进行协商的某种形式的义务。公司责任的概念可以适用于私人活动，也可以适用于外层空间：空间可持续性评级是一种可以自愿使用的能鼓励采取这种做法的工具。

47. 随后的讨论注意到发射后对罪犯进行监管的执行机制的缺失。各国需要考虑享有合法利益的所有各利益攸关方，在发放空间活动许可证的过程中，所关切的应该是国家一级的的问题，而不是国际法。和平利用外层空间委员会多年来一直在讨论空间碎片的威胁，而天文学的困境则是最近才出现的：有几个国家目前正在更新其条例以把空间碎片考虑在内，这也为考虑对环境的更广泛影响提供了机会。秘书长最近发表的《共同议程》<sup>1</sup>确认空间是全球公域，新来者不能推开其他各方。国际电联的预先通知程序要求希望发起新倡议者在国家间的双边进程中与受影响者进行协调以解决冲突。发言者就空间法的演变是否一如海洋法及究竟是由专门的国际法庭来解决争议还是趋向于仲裁展开了讨论。

<sup>1</sup> 见 [www.un.org/en/un75/common-agenda](http://www.un.org/en/un75/common-agenda)。

48. 天文学家和航天业的代表以及政策方面的专家出席了第十六场会议，就卫星星座进行了圆桌讨论。虽然利用卫星星座弥合数字鸿沟是对科学赋能的积极贡献，但发言者就所有卫星星座项目是否都有市场进行了讨论。5G 网络和互联物体技术的发展，业界对卫星互联网需求和服务的热情不断高涨：低延迟要求有低地球轨道星座而不是地球静止卫星。将众多物体送入轨道，并转向消费型电子产品的太空做法，产生了类似于在经济学中看到的海洋和高层大气污染“公域悲剧”的问题。有一名发言者指出，尽管该行业创新的速度很快，但空间活动相关规则已有几十年的历史。正在开发使航天器安全脱离轨道的技术并拟订这方面的国际准则，而且需要拟订空间可持续性方面的规则。发放许可证的经营者应纳入风险评估，以便各国了解它们所承担的风险及其对公共财政的潜在影响。最大的一些星座都意识到天文学存在的问题，并试图提出可由所有运营商实施的最佳做法，例如发射前的亮度建模和测试。监测在轨事件为执行规则所必需；然而，有一名发言者强调，在追踪某些物体方面可能存在问题，或者与出口管制法有关的挑战阻碍了此类数据的共享。

49. 有一名发言者指出，《外层空间活动长期可持续性准则》之所以未曾具体涉及星座的问题，是因为对这些问题提出的挑战仍在讨论之中。尚不清楚各国是否将天文学视为一项空间活动，或者《外层空间条约》的起草者是否考虑到了天文学。该发言者没有就如何对《条约》进行解释展开论述，而是建议在授权开展空间活动并对天文学感兴趣的国家经由国家立法采取务实做法。一些在天文学上投入巨资的国家也参与了星座研究。联合国不是通过制定新的条约来处理空间碎片减缓问题的，而是由一些国家选择把最佳做法和准则纳入其国家监管框架。发言者想知道拥有天文观测站的国家是否可以将监管界定为国家许可程序的一部分，并对不合规行为实施制裁。有与会者建议，应当收集对天文学有影响的支持性证据，然后拟订有助于天文学界向各国政府提出该问题的简单明了的建议。

## E. 射电天文学

50. 第十七场会议总结了射电天文学的情况。射电天文学对宽广频率范围和广阔空域进行高灵敏度勘测，因为一些现象非常微弱，仅在某些频率下可见。在卫星开始干扰观测时，天文学家手动修改射电望远镜的天线以过滤掉外来辐射。多年后，大量卫星使望远镜不堪应付，副作用难以预见，累积形成的噪音强大到足以使滤波失灵，将不得不对接收器进行重新设计。如果射电天文望远镜直接向接收器发射信号，遥感卫星的雷达操作也可能使射电天文望远镜饱和，甚至摧毁射电天文望远镜。搭载雷达的卫星数量大幅增加，达到数百颗。当射电天文学家试图直接联系该领域的新来者，以警示他们注意他们所可能造成的损害时，新的威胁已经出现：正在研究把太阳辐射转换成电能在地球上分配的卫星，尽管《无线电条例》是对在月球背面开展被动式科学的保护，但目前正在准备利用在轨电信和导航卫星开展前往月球背面的飞行活动。

51. 为了保护射电天文学，如果不需要，就不应该制作人工辐射（无论是光还是无线电波），而且此种辐射在非使用区也不应该能够被探测到。卫星应避免直接照射无线电静区，并采取措施减少来自天线旁瓣的辐射。

52. 保护射电天文学需要有各种频谱管理机构的资源；从事频谱管理工作的

少数天文学家无法如私营公司那样对该专题投入大量资源。需要激励年轻一代参与进来，因为频谱管理工作无助于提升科学方面的职业生涯。前往地球偏远地区以避免干扰不再是一种选项：宇宙微波背景测量对基础物理学至关重要，数据显示，地球静止卫星的亮度强于太阳。有与会者担心卫星星座同样会造成数据失真，由公共资金资助的许多实验也会受到严重影响。对所有望远镜来说，改装接收器或避免观测卫星都是不可行的，而延长观测时间以弥补数据方面的损失直接增加了科学成本。

53. 国际电联和各国的行政部门都对蓄意辐射实施了限制，并在全国范围内实施了对无意中的电磁辐射的限制。就对卫星而言，电磁辐射测试侧重于同发射装置的兼容性；没有特别考虑保护射电天文学波段。这并非少数一些卫星的问题，但在规模生产方面，随着卫星数量的增加，射电天文学波段的电磁辐射最大容量就需要降低，否则卫星可能会永久性关闭射电天文学观测的光谱窗口。

54. 一位发言者就如何使用无线电信号以探测流星及其在大气层中形成的电离轨迹进行了解释：信息经由轨迹对无线电波的反射和散射获得。世界各地就此使用了几部高灵敏度雷达。

55. 第十八场会议是射电天文学家与国际电联无线电通信局代表之间的圆桌讨论，在圆桌讨论上探讨了国际电联与和平利用外层空间委员会的作用。频谱管理已经从一个只有少数参与者参与的环境发展到一个高功率雷达和发射器设在高空平台，各运营商竞相争取需求的局面。卫星通信已经成为一项大生意，卫星运营已经从通常负责与国际电联互动的政府转移到私营公司。频谱管理实务的发展速度赶不上技术的发展。发言者认为，需要就国际电联无线电条例和委员会的作用展开更多讨论。天文学家需要与本国行政部门联系，而行政部门有权提议对《无线电条例》做出修改，首先是进行准备性研究，然后在制定这些条例的世界无线电会议上就议程项目提出建议。国际电联的代表澄清说，3,000 千兆赫以上的无线电频率不受管制，但是研究可以在包括光链路在内的任何频率下进行。据认为，由于《无线电条例》目前没有列入对射入空间的物体数量的正式限制，而外层空间事务厅代表秘书长负责保存射入外层空间的物体登记册，和平利用外层空间委员会将是讨论该议题的适当场所。就可持续利用问题在联合国一级展开讨论也是委员会的工作。

56. 参加讨论的与会者强调，例如怎样持续观测微波背景等有些问题特别尖锐，需要合力解决，可能的话需要空间研究委员会等国际科学实体的参与。批准某一星座会产生意想不到的广泛后果。

## 五. 意见和建议

57. 由外层空间事务厅和国际天文学联盟的代表联合主持的最后一场会议总结了会上就活动结束后所可采取的行动而发表的各种意见。随后进行了讨论，为会议准备材料的各专家组的代表均参加了讨论。

58. 会上把就夜间人造光提出的建议与关于保护天文台、暗空绿洲和生物环境的建议合并在一起。世界在逐渐对暗空视而不见，其影响所及，除了天文学之外，也会损害人类健康和自然的夜间功能：

(a) 对于特别保护的区域，需要界定可接受的总光照量，以及光照测量方法和制止光照增加的方式。目前已有关于光导向和光减弱的技术手段，基于使用上的动态分区调整光度，但不超出绝对需要的广度。正在就实现该目标的实际可行性展开讨论：工程师、规划者和决策者都希望国际照明委员会等组织能够为技术设计提供量化指导；然而，需要根据具体情况对数量上的要求进行调整；

(b) 需要一种文化上的改变：自然的黑暗应该是基线，只有在必要时才增加照明。如果人们能够看到夜空的自然状态，公众舆论将更有可能支持这一变化；

(c) 为了天基科学的成功，天文科学需要能够从地面进行观测。如果针对导向有误的光实施支持科学的措施，诸如健康和生物环境等其他领域及近地物体探测都将从中受益。

59. 关于卫星星座的建议涉及这几个方面：

(a) 为了减少损失，天文学家需要将使数据和软件发挥交互作用，并获得关于精确卫星位置的信息，以便对卫星穿过望远镜视场的时间做出预测。屏蔽软件的开发十分复杂，可能会在数据中引入假象。在将缓减服务用于专业用途之前，需要向这项工作提供资助；

(b) 卫星运营商和制造业一直在自愿基础上与天文学家展开讨论。从卫星项目开始之时就需要让双方参与进来，共同开发缓减措施。各国政府可鼓励进行这种协调，而业界应继续开展实验室的测试和建模，分享数据和最佳做法；

(c) 国家空间政策可以在许可证和授权程序方面顾及空间物体的亮度，这是各国如何履行其在《外层空间条约》下所持义务的核心。一些国家阐述了与空间活动有关的环境方面的问题。同样，可以拟订国际标准以界定空间物体的亮度以及实施限制的具体做法；

(d) 天文学需要更多的资金来完善缓减措施，该专题属于新课题的业界也需要有更多的资金；

(e) 在国际一级，天文学虽然可以被视为利用外层空间的一种形式，但电信同样是一种利用的形式；因此，需要在各国的需要之间找到平衡。可以考虑进行磋商，拟订将天文学考虑在内的指导方针。

60. 在射电天文学方面的建议认为，无论是夜间的人造光还是卫星的反射光，都不应该产生干扰射电望远镜的有害辐射。这对诸如研究微波背景的射电天文学学科尤其会构成严重问题，而《无线电条例》无法解决该问题：

(a) 应该要求卫星避免造成对射电望远镜和无线电静区的直接照射。而直接照明源于卫星操作方式及其方向以及天线旁瓣的高低；

(b) 建议没有具体提及频谱管理和国际电联。由于对射入外层空间的物体的登记受和平利用外层空间委员会制定的外层空间法律制度管辖，并且因为射入外层空间的物体登记册由外层空间事务厅掌管，外空委是讨论众多卫星在轨活动的适当场所。

61. 发言者强调了和平利用外层空间委员会的核心作用，并就如何把各种问题联系起来处理展开了讨论。一些成员国主张在科学和技术小组委员会 2022 年届会的议程上只有一个单一议题/项目，所拟议的措辞是“就卫星对天文学的影响进行一般性意见交流”。在本次会议上讨论的各种观点和建议可以为就开展国际合作的机会的讨论提供材料。

62. 据指出，和平利用外层空间委员会相关成员国可考虑提交一份就拟采取的行动提出建议的工作文件。

## 六. 结论

63. 为科学和社会保持寂静夜空的会议就减轻光源污染与干扰对光学和射电天文学的影响所可采取的涉面广泛的多项措施展开了讨论。

64. 西班牙常驻联合国代表团、国际天文学联盟和外层空间事务厅的代表在会议结束时向筹备活动的所有参与方表示感谢，并表示声援拉帕尔马人民。

65. 会上鼓励参与者使用专门的在线表格提供书面反馈，国际天文学联盟宣布设立一个专门负责该举措安排事宜的中心。

---