

附件 3

《扬尘源遥感监测技术规范（征求意见稿）》
编制说明

《扬尘源遥感监测技术规范》

标准编制组

二〇二五年九月

目 录

1 项目背景	2
1.1 任务来源	2
1.2 工作过程	2
2 标准制订的必要性分析	3
2.1 扬尘的环境危害	3
2.2 相关生态环境管理工作的需求	4
2.3 规范化开展扬尘源遥感监测的需要	5
3 国内外相关分析方法研究	6
3.1 主要国家、地区及国际组织相关分析方法研究	6
3.2 国内相关分析方法研究	6
3.3 与行业相关标准规范的衔接	8
3.4 文献资料研究	9
4 标准制订的基本原则和技术路线	9
4.1 标准制订的基本原则	9
4.2 标准制订的技术路线	10
5 标准主要技术内容	10
5.1 标准结构框架	10
5.2 标准适用范围	11
5.3 规范性引用文件	11
5.4 术语和定义	11
6 主要条文说明	12
6.1 总则	12
6.2 数据准备和处理	13
6.3 质量保证和质量控制	16
6.4 报告编制	18
7 对实施本标准的建议	18
8 参考文献	18

《扬尘源遥感监测技术规范（征求意见稿）》编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

扬尘源指在自然力或人力作用下各种无组织、无规则排放地表松散颗粒物质的颗粒物排放源。扬尘源是大气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}等）的重要来源之一。

为贯彻落实党中央、国务院关于坚决打赢打好蓝天保卫战的决策部署，2017年起，生态环境部创新建立了监督帮扶工作机制，有效打通政策制定最前一公里和制度落实“最后一公里”。2022年，在部领导的谋划指导下，监督帮扶探索和创新形成一套基于“线上+线下”两个战场的工作新体系，充分发挥各级各地主观能动性，上下联动、合力攻坚，推动远程监督、非现场执法取得显著成效。

为全面落实“五个精准”要求，强化扬尘源管控，自2020年起，首次把扬尘源监管纳入监督帮扶的工作任务，发挥卫星遥感数据和空间分析技术的优势，精准指导地方整治扬尘污染问题，推动区域空气质量持续改善。应用范围涉及京津冀及周边地区、汾渭平原、苏皖鲁豫、长三角、珠三角等80余个城市，累计共推送2万余个扬尘源，提取扬尘源面积约1500 km²，提升现场检查的工作效率。通过构建扬尘源遥感监测业务化运行体系，开拓扬尘源遥感监测、地面核查与监管、远程和现场协同的管理新模式，建立扬尘源遥感分类体系和业务化运行体系，为扬尘源防治和综合监管工作提供稳定、高效的技术手段，为扬尘源的科学监督和精准治理提供有力的抓手。

为更好地履行机构改革后生态环境部对扬尘源管控的职责，同时为指导各地开展扬尘源遥感监测工作，及时掌握各类扬尘源空间分布情况，为扬尘源监管和执法提供支撑。2022年5月，生态环境部以《关于开展2021年度国家生态环境标准项目实施工作的通知》（环办法规函〔2022〕205号）的形式下达了《扬尘源遥感监测技术规范》（以下简称《规范》）项目。项目编号为2022-17项目，项目承担单位为生态环境部卫星环境应用中心，项目参与单位为北京师范大学和中国环境科学研究院。

1.2 工作过程

2020年以来，以提升扬尘源综合管控水平为核心，生态环境部开展以遥感监测为主要技术手段的多轮次扬尘源远程监督帮扶，扬尘源遥感监测已在部执法局开展持续稳定的业务化运行体系，为扬尘源现场检查工作提供了精准的定位和技术支撑，极大地提高了扬尘源现场监管的工作效率，为2020—2024年远程监督帮扶春季和秋冬季扬尘源现场检查工作，提供技术支撑。

同时，形成扬尘源清单式的遥感监管工作机制，提升了现场执法的工作效率。为现场执法工作提供了精准的扬尘源问题线索，准确定位扬尘源的空间位置，并积累了很多好的经验做法，同时技术流程和方法也不断在各轮次监督帮扶工作中得到优化和完善。遥感解译精度评价达到90%以上，不断加强遥感解译和现场检查的协同，提高了扬尘源遥感监测的精度和现场检查的工作效率。

（1）标准起草

2022 年，生态环境部卫星环境应用中心接到项目任务后，成立了标准编制组。标准编制组总结前期扬尘源遥感监测的经验成果，与地方、技术单位进行了深入的交流讨论，在充分总结梳理前期工作的基础上，通过系统调研，分析了扬尘源遥感监测国内外相关标准，结合前期文献资料分析和基础研究，听取各方意见，逐步修改完善，形成了《规范》（征求意见稿）及《规范》（征求意见稿）编制说明。

（2）标准开题论证

2024 年 7 月 23 日，受生态环境部生态环境执法局委托，生态环境部环境标准研究所组织召开本标准开题论证会，专家组听取标准编制单位关于标准草案和标准开题论证报告的汇报，经过质询、讨论，认为标准编制单位提供的材料齐全、内容完整，符合标准开题论证审查的要求。标准编制单位对标准的相关技术要求，进行了调研和梳理分析，目标清晰，结构合理，提出的技术路线可行。专家组一致同意通过该标准的开题论证，并提出具体建议：1、进一步完善国内外相关研究基础；2、根据专家意见，进一步完善草案和编制说明。编制组根据专家组提出的审查意见，修改完善。

（3）标准征求意见稿技术审查

2025 年 1 月 22 日，受生态环境部生态环境执法局委托，生态环境部环境标准研究所组织召开了本标准征求意见稿技术审查会。审查委员会听取了标准编制单位关于标准征求意见稿的主要技术内容、编制工作过程的汇报，经质询、讨论，认为标准编制单位提供的材料齐全、内容完整；标准征求意见稿主要技术内容合理。审查委员会通过该标准征求意见稿的技术审查，并提出具体建议：1、进一步完善标准文本中适用范围和术语定义等相关内容的表述；2、进一步修改完善标准编制说明中对于标准技术内容的说明；3、按照《环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565-2010）对标准文本和编制说明进行编辑性修改。会后编制组根据专家意见进一步修改完善标准公开征求意见稿和编制说明。

2 标准制订的必要性分析

2.1 扬尘的环境危害

扬尘是指地表松散颗粒物在自然力或人力作用下进入环境空气中形成的一定粒径范围的空气颗粒物。由于扬尘多为细小的颗粒物，颗粒物浓度很大，在人为活动以及自然风力条件的影响下，会随风扩散，当发生自然降水时，还可能形成腐蚀性较强的酸雨。扬尘由于颗粒物粒径十分微小，在被植物表面吸附后，会致使植物枯萎死亡，当颗粒物进入人体内时，由于粉尘的化学性质，将会引发人体疾病。

扬尘源指在自然力或人力作用下各种无组织、无规则排放地表松散颗粒物质的颗粒物排放源。扬尘源是大气颗粒物（PM₁₀ 和 PM_{2.5} 等）的重要来源之一。根据《关于深化生态环境保护综合行政执法改革的指导意见》，生态环境保护执法包括污染防治执法和生态保护执法。当前，扬尘源监管的主要手段仍是日常执法巡查，通过定期对扬尘源进行排查，消除环境风险隐患，依法查处扬尘源的环境违法问题，对于扬尘源的环境风险和违法行为，进行快速、及时和全面掌握，仍是生态环境保护执法的一大难点。

因此，现场执法监管手段效率较低、时间滞后，执法线索快速、动态、持续的年度更新成本更高，无法满足新形势下执法监管需求，亟待引入新的技术和新的工作模式，开展全面、准确、高效的监管。基于卫星遥感及地理信息系统等先进技术，监测扬尘源现存的环境风险，筛查扬尘源问题线索，以及扬尘源现状和变化的状况，既可以为生态环境保护执法提供有效线索，推进生态环境保护执法的迅速处理、精准施策和全面整改，也使得远程监督帮扶的创新性管理理念，得以准确落实。

自 2020 年起，生态环境部卫星环境应用中心对扬尘源遥感监测工作，进行了持续性探索 and 系统性创新，在生态环境部 2020—2024 年重点区域空气质量远程监督帮扶工作中，积累了扬尘源遥感信息提取的技术方法和流程，构建了成熟的业务化运行体系，运用遥感技术有力支撑了扬尘源管控能力，提高现场执法效率。

为贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国大气污染防治法》《关于深化生态环境保护综合行政执法改革的指导意见》等规定，精准提取扬尘源的空间位置，为现场执法监管提供问题线索，支撑重点区域空气质量改善远程监督帮扶，生态环境部执法局组织编制了《扬尘源遥感监测技术规范》。

2.2 相关生态环境管理工作的需求

（一）相关法律法规、政策文件的要求

2018 年，中共中央、国务院印发了《关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》，明确提出“坚决打赢蓝天保卫战，强化国土绿化和扬尘管控。在城市功能疏解、更新和调整中，将腾退空间优先用于留白增绿。落实城市道路和城市范围内施工工地等扬尘管控。”2021 年，中共中央、国务院印发了《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》，明确提出“强化施工、道路、堆场、裸露地面等扬尘管控。”

《中华人民共和国大气污染防治法》第一百一十七条和第一百二十三条明确指出，对建筑施工或者贮存易产生扬尘的物料未采取有效措施防治扬尘污染的；未密闭煤炭、煤矸石、煤渣、煤灰、水泥、石灰、石膏、砂土等易产生扬尘的物料的；对不能密闭的易产生扬尘的物料，未设置不低于堆放物高度的严密围挡，或者未采取有效覆盖措施防治扬尘污染的；装卸物料未采取密闭或者喷淋等方式控制扬尘排放的；码头、矿山、填埋场和消纳场未采取有效措施防治扬尘污染的；对以上行为进行责令改正，拒不改正的，则进行相应的行政处罚。

《生态环境保护综合行政执法事项指导目录（2020 年版）》“第 72 条和第 85 条”明确提出生态环境部门作为责任部门，以《中华人民共和国大气污染防治法》第一百一十七条和第一百二十三条内容为依据，对扬尘源进行监督管理。

通过制定和推广应用扬尘源遥感监测技术规范，能及时发现各类扬尘源空间分布状况，为扬尘源监管和执法提供精准和直接的问题线索，有效推动扬尘源治理，切实落实国家关于扬尘管控的相关法律法规、文件和政策。

（二）生态环境监管需求

扬尘对北方城市环境空气 $PM_{2.5}$ 的贡献率平均在 30% 左右，南方城市一般在 20% 左右。与其他颗粒物来源相比，扬尘源具有开放性、空间多源广泛性、排放随机性等特征。扬尘源防治的成本少、见效快，仍有较大的可控空间。目前，扬尘源多数区域依赖人工巡查或简易

监测设备，在实际监管中也存在“一管就有效，一松就反弹”的问题。

依赖传统的地面调查手段难以及时、全面地发现和掌握扬尘源的空间分布状况。而卫星遥感技术具有宏观性、及时性、客观性等特点，是开展扬尘源监测和监管的最佳手段。管控扬尘源对空气质量的负面影响，实现精准治污、科学治污、依法治污，提高执法效能，按照党中央、国务院决策部署，持续推进打好污染防治攻坚战，生态环境部监督帮扶探索和创新形成一套基于“线上+线下”两个战场的工作新体系，积极探索扬尘源精细化管理模式，构建“卫星遥感+空间技术”相结合的科技手段，破解了扬尘源现场难以准确定位、地面排查难以全面、动态监管难以实现等问题，积累了一套成熟的遥感调查技术方法和流程。推动实现扬尘源远程、精准和高效监管，更好地指导地方开展扬尘源管控工作。

（三）与现场执法协同

自2020年起，我部开始将卫星遥感、无人机等高科技手段应用到扬尘源监管工作中，积累了较为成熟的扬尘源遥感监测技术方法和流程，监测结果直接应用于重点区域空气质量改善远程监督帮扶工作。为有效支撑监督帮扶，及时准确发现扬尘源发生的空间位置，评估整改成效，卫星中心坚持“边技术攻关、边现场应用、边迭代优化”的工作原则，聚焦扬尘源遥感监测技术规范制定、技术方法创新、核查精度提高、现场发现问题率提升，初步形成一整套扬尘源遥感监测的解决方案。通过持续的技术攻关和实践探索，着力推动“扬尘管控”迈向标准化。

在远程监督帮扶多轮次的扬尘源专项检查中，利用卫星遥感技术提供问题线索2万余条，遥感识别的总体精度达到95%以上，现场问题认定率从60%提高到80%，切实推动扬尘源现场执法的精准度，有力支撑远程监督帮扶工作。同时，现场核查反馈的具体情况，不仅是对遥感监测结果的实地核验，更是直接反映该技术方法在实际监管工作中的适应性和可操作性，验证其是否真正满足“远程监督帮扶”高效、精准的需求，是对整套技术方法体系科学性与实用性落地的重要验证。现场核查发挥了“发现问题+验证技术”的双重作用，推动扬尘源遥感监测技术持续优化迭代、提升方法可靠性与应用价值。

综上所述，为更好地履行机构改革后，生态环境部对扬尘源监管的职责，同时指导地方开展行政区域范围内的扬尘源遥感监测工作，从遥感影像上快速、高效而客观地提取各类扬尘源信息，避免调查组织和具体实施过程中人力、物力、财力上的不必要浪费，有利于降低扬尘源常态化监管的经济成本，为后续更高效、有针对性地开展扬尘源监测、成效评估、执法监管和督察等工作创造有利条件。因此，迫切需要从国家层面出台配套的技术规范。

2.3 规范化开展扬尘源遥感监测的需要

扬尘源遥感监测是快速、有效地筛查扬尘源问题线索的技术手段，通过全面、及时地提取问题线索，协助部生态环境执法局实现扬尘源监管的常态化和制度化。基于遥感开展扬尘源问题线索筛查，目前未有相关现行技术规范，造成扬尘源无法持续、动态地开展监管，严重影响扬尘源日常监管工作。针对当前扬尘源远程监管，缺乏统一技术规范的局面，急需出台一套科学统一的扬尘源遥感监测的调查技术方法和流程。

目前，生态环境标准中，没有针对扬尘源遥感监测的技术规范。《规范》的内容注重为扬尘源监管服务，能有效地实现由被动监管转为主动监管、日常监管，由分散式监管转为系

统性监管，扬尘源遥感监测和地面现场检查结合，大大提升扬尘源监管中主动发现问题、快速应对问题的能力，有利于提升区域大气污染防治能力。因此，制定《规范》是国家环境保护标准体系建设的现实要求。针对当前扬尘源遥感监测缺乏统一技术规范的局面，急需出台一套科学统一的扬尘源遥感监测技术方法和流程。

3 国内外相关分析方法研究

3.1 主要国家、地区及国际组织相关分析方法研究

卫星遥感是根据电磁波理论，应用各种传感器对远距离目标所辐射和反射的电磁波信息，进行收集、处理，并最后成像，从而对地面各种目标物进行识别的一种综合技术。随着卫星遥感技术的发展，国外已将卫星遥感受用于水环境遥感、生态环境遥感和大气环境遥感领域。

水环境遥感监测分为海洋水色遥感和内陆水体遥感监测。国际上的海洋水色探测器，能够监测海洋表层的许多污染状况，如浮游生物富集区、赤潮、海上油污、海洋表面水温，海流移动、混浊流、倾倒的垃圾污物、河口地区及沿海地带的环境特征等，监测指标包括叶绿素 a、悬浮物、水温等。由于内陆水体面积相对较小且污染类型多样，内陆水体遥感监测要求更高的空间分辨率和光谱分辨率，国际上通常采用空间分辨率较高的陆地卫星系列。

生态环境遥感监测主要是开展持续的土地覆盖数据库和持续动态的更新，国际地圈生物圈计划（IGBP）和国际全球环境变化人文因素计划（IHDP）共同推进完成了一套全球土地覆被分类体系和解译数据。美国和欧洲共利用遥感手段研制了 5 套全球地表覆盖数据产品，从植被、沙漠化、森林、草地、湿地和冰雪的监测，到森林蓄积量、城市扩张、水域面积动态监测、水量统计、水系和地表水体分布范围、资源开发和生态系统功能监测等。

大气环境遥感监测手段从早期的多光谱探测，发展到多角度探测，再到偏振探测和主动激光探测，探测精度不断提高。传统被动光学遥感具有覆盖范围大、时间分辨率高等优点，但不能提供大气垂直廓线信息，且探测精度有限。而激光主动探测则能弥补其缺点，直接获取廓线信息，探测精度也有较大提升。从欧美等国大气环境监测卫星的发展历程和未来规划来看，激光遥感卫星也越来越多。采用主被动结合，多光谱、多角度、偏振、激光等多手段综合探测气溶胶是国际上主流发展方向。

国际上广泛应用的生态环境卫星遥感监测产品，提取信息未包括扬尘源这项区域空气质量监测重点关注的要素，无法满足我国生态环境管理中精准治污的要求，与重点区域空气质量改善远程监督帮扶的具体工作要求，还有一定差距，无法满足扬尘源监管的实际需要。

3.2 国内相关分析方法研究

经过几十年的快速发展，国内的遥感技术已经广泛应用于水体、大气和生态环境等诸多领域。

在水环境遥感监测方面，我国已建立了蓝藻水华分布、饮用水水源地风险源、核电站温排水、水体富营养化、悬浮物、水体石油污染等水环境指标的遥感反演与信息提取技术流程，并且实现了水华、饮用水水源地风险源、核电站温排水监测业务化。（1）蓝藻水华分布监

测：利用蓝藻水华水体和正常水体的光谱特征不同，通过目视识别法或植被指数法，判别水华发生的区域。（2）饮用水水源地风险源监测：通过高分辨率卫星数据，采用面向对象分类方法结合人工解译方法，结合地面调查，可识别出水源地一、二级保护区内的主要风险源，目前已发布《饮用水水源地生态环境保护执法监管遥感调查技术规范》（HJ 1356）。（3）核电站温排水监测：核电站温排水热污染可以导致温排水区的生物群落结构发生改变，并对生态系统产生重要影响。利用热红外遥感方法和现场观测方法，对核电站温排水热污染进行监测和评价。

在生态遥感监测方面，主要集中在生态参数提取、土地覆盖与城市扩张动态监测、生态环境质量和功能动态监测和评价，在区域尺度上开展各类自然保护地、重点生态功能区、矿产区和尾矿库等监测。（1）生态参数提取：利用遥感技术对地表状况的定量参数（包括植被参数、生物物理参数等）进行监测，首先构建遥感信号与地表状况参数之间的经验、半经验或物理模型，再通过对遥感信号反演获取生态参数。（2）土地覆盖：基于卫星遥感数据，从影像中解译获取区域生态系统分类数据，在此基础上，提取森林、草地、灌丛、农田、水体、裸地、城市等生态系统各类型及其面积，计算各生态系统分类数据，通过内部类型的变化率、转换强度和动态度，分析各生态系统内部结构的格局及其动态变化特征。（3）生态环境质量监测：通过对卫星遥感影像的分析和处理，评价生态系统的质量状况，反映生态系统的基本特征与健康状态，反映自然生态系统维持现有服务功能的持续性和稳定性，主要监测指标为生物量、净初级生产力、植被覆盖度等。（4）生态系统功能监测：利用卫星遥感数据，监测的生态系统功能主要包括水文调节、水土保持、水源涵养、洪水调蓄、防风固沙等。（5）各类自然保护地监测：以国产高分卫星遥感数据为基础，采用遥感分类解译的方法，提取各类保护地各级功能区内的农业用地、居民点、工业用地、采石场、能源设施、旅游设施、交通设施、养殖场、其他人工设施等人类活动信息，并对各类人类活动的面积、数量和百分比进行统计，已发布《自然保护地人类活动遥感监测技术规范》（HJ 1156）。

（6）重点生态功能区监测：利用国产高分卫星遥感数据，以县域为监测单元，开展现状年和纳入转移支付年份，国家重点生态功能区自然生态系统的植被覆盖变化的遥感识别，提取矿产资源开发、工业用地、城镇开发建设、固体废物堆放等类型。（7）矿产区和尾矿库监测：矿产资源开发过程中造成的地貌形态、植被等改变，根据矿区用地和其他用地类型之间影像的光谱差异，提取矿区边界内土地覆盖信息；尾矿库是矿山企业在采矿选矿过程中用来堆放尾砂的场所，采用高分影像，能够快速识别尾矿库的位置、面积，确定其数量、规模及类型等，进行动态监测。

在大气遥感监测方面，综合利用可见光、紫外、红外等高光谱遥感，可以实现对大气环境的遥感监测和分析。发达国家对沙尘、大气气溶胶、臭氧的监测基本实现业务化应用，我国对沙尘、秸秆焚烧火点、大气气溶胶、臭氧、大气污染物遥感监测等开展业务化运行，也取得了重要进展。（1）沙尘遥感监测：利用卫星可见光、红外遥感数据，对沙尘发生、发展过程及强度开展监测，通过对沙尘信息的特征波段选择、沙尘信息与环境背景信息的分离等研究，对浮尘、扬沙等弱沙尘信息的增强处理，建立沙尘信息遥感定量化提取模型，并在沙尘分布监测的基础上开展沙尘等级监测。（2）秸秆焚烧火点遥感监测：卫星遥感火点监测，是利用内部含有火焰的高温像元，与背景常温像元在中红外和热红外波段辐射能量的差

异，来识别地面火点，已发布《卫星遥感秸秆焚烧监测技术规范》（HJ 1008）。（3）大气气溶胶遥感监测：利用卫星遥感影像的光谱信息和空间信息，分析气溶胶的分布和含量，工业烟雾、火灾浓烟和大规模沙尘暴，在卫星遥感影像上都有清晰的图像特征，可确定分布范围。（4）臭氧遥感监测：利用热红外和紫外高光谱卫星，开展臭氧浓度垂直廓线数据遥感监测，分析其时空变化特征。（5）大气污染物遥感监测：大气污染物主要有二氧化硫、氮氧化物、温室气体等。这些污染物具有各自分析所固有的辐射和吸收光谱特征，可通过测量大气散射、吸收及辐射的光谱特征值，从中识别出这些组分。

卫星遥感虽然可以从更大的空间尺度上来监测大气污染的状况，但目前国内外专门针对扬尘源分类遥感监测相关研究却少有报道。其主要原因在于很难将遥感信息提取和业务化应用相结合。生态环境监管部门对卫星遥感信息提取的需求主要表现在：（1）实时性：生态环境监管部门要求获得及时的扬尘源空间分布信息，用以分析区域或重污染天气空气质量动态变化情况等；（2）持续性：生态环境监管部门要求获得重点关注区域内，扬尘源在一段时间内的空间分布和动态变化情况等。（3）精准性：生态环境监管部门要求扬尘源遥感监测结果的精准性，以便指导执法人员进行现场检查，本标准规定了扬尘源的遥感识别，提供的问题线索，可有效协助生态环境执法机构加强扬尘管控。

2010 年，我国高分辨率对地观测卫星系统重大专项全面启动，包含数颗高分卫星和其他观测平台。其中，“高分一号”卫星具有高、中空间分辨率对地观测和大幅宽成像相结合的特点，对大尺度地表观测和环境监测具有独特优势。“高分二号”卫星具有高空间分辨率、高定位精度，有效提升了监测效能。“高分六号”卫星具有高分辨率、宽覆盖、高质量成像、高效能成像，与“高分一号”卫星组网运行后，将使遥感数据获取的时间分辨率大大缩短。以上国产高分卫星的数据保障，使得扬尘源遥感监测的业务化运行得以实现。

相关技术规范：为防治城市扬尘污染，改善环境质量，2007 年，生态环境部发布了《防治城市扬尘污染技术规范》（HJ/T 393—2007），该标准规定了防治各类城市扬尘污染的基本原则和主要措施，适用于城市规划区内各类施工工地，铺装与未铺装路面，广场及停车场，各类露天堆场、货场及采矿采石场，城区裸土地面，物料混合、装卸、传送与运输等场所和活动产生扬尘的污染防治。为指导、规范扬尘源颗粒物排放清单编制的技术方法、技术流程、质量管理等内容，2014 年，生态环境部发布了《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 92 号），指南适用于指导在城市、城市群及区域尺度开展扬尘源颗粒物排放清单的编制工作。本标准基于《防治城市扬尘污染技术规范》（HJ/T 393—2007）和《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南（试行）》的工作基础和分类体系，制定了扬尘源空间精准定位的遥感监测技术内容和技术流程。扬尘源遥感监测的类型和定义见“3 术语和定义”和“表 1”，以下扬尘源的类型和定义引自《防治城市扬尘污染技术规范》（HJ/T 393—2007）和《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 92 号）。

3.3 与行业相关标准规范的衔接

为实施扬尘源的精准化管控，通常需要事先建立清单。《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 92 号）中确定，编制扬尘源颗粒物排放清

单时，首先应对清单编制区域内的排放源进行初步摸底调查。排放清单的计算空间尺度，可以为省、市、区以及根据区域联防联控划定的重污染区域和地理大区等。数据调查收集过程应与现有数据统计体系结合，优先从环境统计、污染源普查等数据库中获取相关信息。

《扬尘源遥感监测技术规范》及时弥补现有统计数据库在扬尘源覆盖范围、时效性和空间精度上的不足，使摸底调查更全面、更精准，是高效实施《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南（试行）》中“排放源初步摸底调查”环节的关键技术支撑和数据保障手段。两者在数据类型、基础空间尺度（省、市、区）上一致。卫星遥感提供的大范围、实时、精准的扬尘源空间分布数据，直接服务于扬尘源清单编制所需的源识别、空间定位和活动水平数据收集。卫星遥感提供源识别和空间定位数据，直接服务于排放清单编制，紧密协同，共同推动扬尘源的精准化管控。

3.4 文献资料研究

相关文献分析显示遥感技术已被广泛用于国内土壤、道路、施工现场等扬尘源的监测和识别。从监测的手段上，主要包括大区域的中分辨率卫星监测，中分辨率与高分辨率卫星结合监测，局地尺度的高分辨率卫星监测、航空遥感监测，以及点位尺度的遥感成像仪的定位监测。从监测方法上，主要包括目视解译、特征向量采集，以及构建包含地表信息、大气气溶胶光学厚度和气象条件等的综合模型。监测方法的选取，主要取决于监测的空间尺度和遥感数据源的精度。高分遥感影像解译是目前对扬尘源进行准确的识别和分类的主要手段。

目前国内外相关标准均仅关注扬尘源的某一种类型，虽然开展了遥感识别方法的梳理，但尚无标准系统规范扬尘源遥感识别流程。与国内外相关标准相比，本标准根据国家对扬尘源监管的业务需求，综合考虑扬尘源的遥感信息提取流程和解译方法，并从扬尘源目标提取和动态变化的角度出发，提出了扬尘源问题线索的筛查方法，是首个扬尘源遥感监测标准，也是首个基于遥感技术手段开展扬尘源遥感监测，并生成扬尘源图斑、点位和清单的标准。

本标准采用的扬尘源遥感监测方法，是在充分调研国内外相关研究进展的基础上，通过综合对比，筛选和构建的相对成熟且准确性高的方法。该方法也在实践过程中不断进行改进，达到了在行业部门推广应用的标准。

4 标准制订的基本原则和技术路线

4.1 标准制订的基本原则

4.1.1 适用性

本标准内容以及分类体系，与我国现行的扬尘源保护和管理相关法规标准的内容相协调，与污染防治和空气质量改善的目标相配套，与环境保护的现状相符合，具有普适性，能够普遍适用于各类型的扬尘源遥感监测。

4.1.2 针对性

本标准应针对扬尘源遥感监测工作，制定扬尘源遥感监测分类体系、监测流程、方法和指标，为扬尘源监管和执法工作提供技术参考。

4.1.3 可操作性

本标准方法应具有可操作性，涉及数据源易获取，要求明确、方法可行、流程清晰，使用者易于理解与操作，且提取的扬尘源精度较高。

4.2 标准制订的技术路线

基于行政区划矢量数据和影像数据，生成扬尘源空间分布的现状数据，并编制扬尘源遥感监测报告，技术路线见图 1。

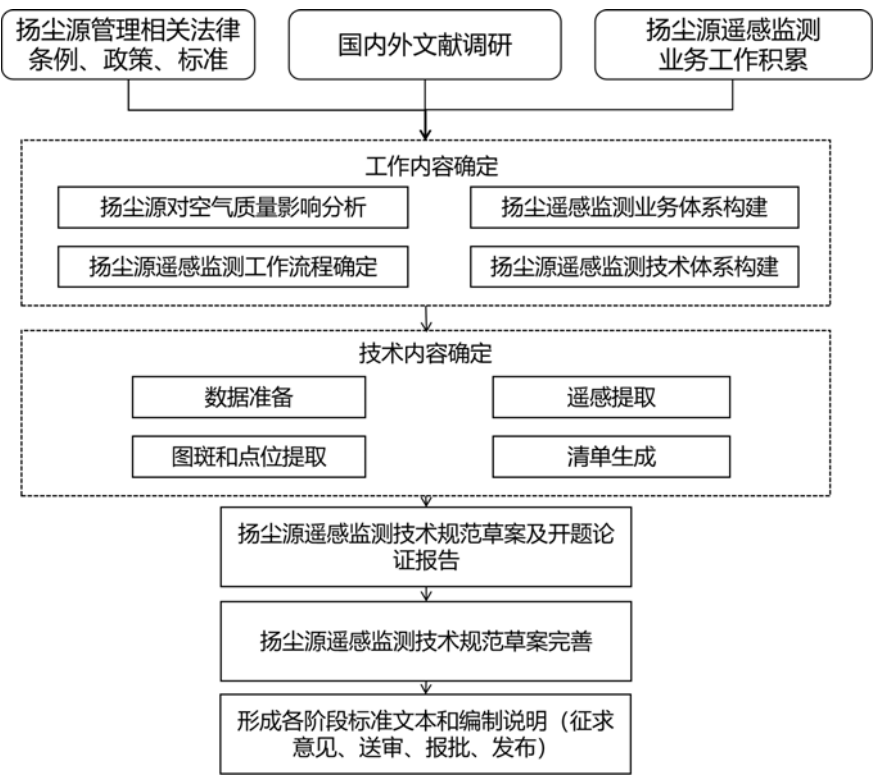


图 1 扬尘源遥感监测制（修）订技术路线图

5 标准主要技术内容

5.1 标准结构框架

本标准规定了利用卫星遥感技术对扬尘源遥感监测的工作流程、数据准备、遥感分析、图斑和点位提取、清单生成、报告编制。介绍了监测范围、监测频次、遥感影像收集和处理的具體要求。规定了遥感的监测对象与方法。介绍了质量控制中遥感解译的数据检查、精度评价方法和技术要求。本标准内容主要包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、数据准备和处理、质量控制、报告编制和附录 8 个部分。

- （1）适用范围：本标准中主题内容和适用范围。
- （2）规范性引用文件：本标准中引用的标准、规范等。
- （3）术语和定义：本标准中关键词语解释。

- (4) 总则：本标准中总体和共性的内容。
- (5) 数据准备和处理：本标准中前期数据准备和处理。
- (6) 质量控制：本标准中扬尘源遥感解译的数据检查、精度评价方法和技术要求。
- (7) 报告编制：本标准中遥感监测报告编制的内容和技术要求。
- (8) 附录：本标准的 1 个规范性附录和 3 个资料性附录。

5.2 标准适用范围

本标准规定了扬尘源遥感监测的数据准备和处理、扬尘源图斑和点位提取、清单生成、质量控制、报告编制等相关要求。

本标准适用于利用卫星遥感技术对扬尘源进行监测的活动。

5.3 规范性引用文件

本标准引用了《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 92 号），GB/T 2260，GB/T 14950，HJ/T 393，HJ 1156，HJ 1166，HJ 1236，GDPJ 06，DD 2013 涵盖本标准部分术语和内容，因此，作为规范性引用文件。

5.4 术语和定义

本部分为执行本标准制定的专门术语和对容易引起歧义的名词进行定义。

“3.1 扬尘”的定义基于“HJ/T 393 防治城市扬尘污染技术规范”中“3.1 扬尘”的定义。主要包括因工程建设、建（构）筑物拆除和建筑装修装饰施工，临时占用（挖掘）市政道路和地下管线工程施工、土石方作业、物料堆放和运输、市政道路保洁作业、采矿采石及加工作业、建筑垃圾处置、城市园林绿化作业等活动以及因道路破损、地面裸露产生的扬尘。

“3.2 扬尘源”的定义基于《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 92 号）对“1.4 扬尘源”的定义。

“3.3 土壤扬尘源、3.4 道路扬尘源、3.5 施工扬尘源、3.6 堆场扬尘源”的定义均参考 HJ/T 393 中“3.2-3.5”的定义。

“3.7 遥感解译”的定义基本沿用了《全国生态状况调查评估技术规范—生态系统遥感解译与野外核查》（HJ 1166）中“遥感影像解译”定义，并在此基础上根据扬尘源遥感监测业务工作的实际特点稍作修改。

“3.8 解译标志”的定义主要参考《遥感影像解译样本数据技术规定》（GDPJ 06）的样本数据的相关内容，结合扬尘源遥感监测的需求进行定义。

“3.9 扬尘源图斑、3.10 扬尘源点位和 3.11 扬尘源清单”的定义，均是扬尘源遥感监测结果，实际应用于生态环境现场执法检查的具体内容进行的界定。扬尘源图斑的面状矢量数据，用于确定扬尘源的空间分布范围。扬尘源点位的点状矢量数据，可导入第三方地图进行现场导航，用于扬尘源现场检查的精准定位。扬尘源清单，用于扬尘源的统计分析和指导辅助现场检查。

6 主要条文说明

6.1 总则

总则部分规定了扬尘源遥感监测单元、监测类型、监测频次、坐标系、计量单位、影像和矢量数据格式、技术路线。

本标准制定了扬尘源遥感监测工作流程，见图 2。主要包括遥感影像数据和矢量数据的准备和处理，扬尘源图斑、点位的提取，清单的生成，质量控制和报告编制等技术流程。

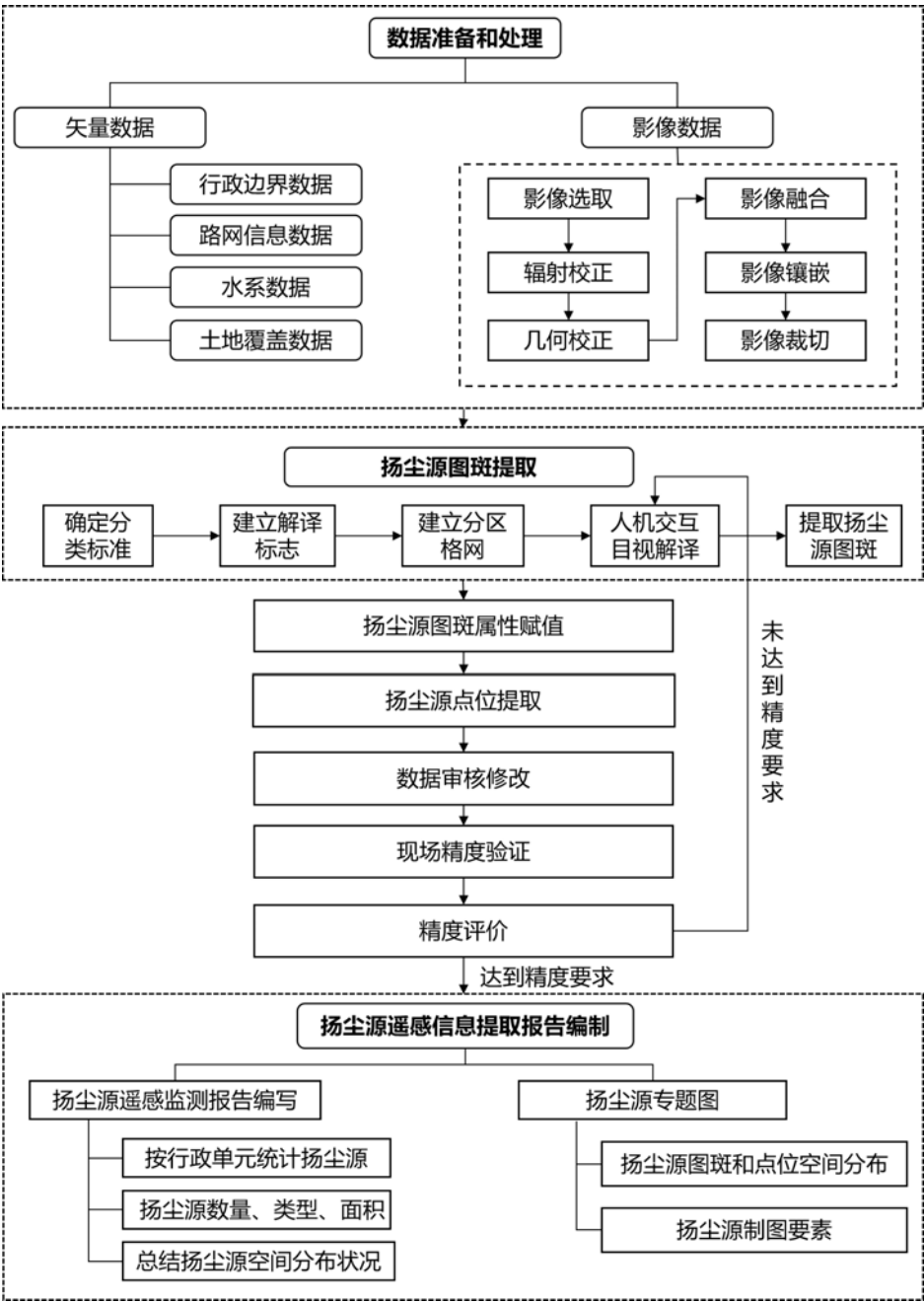


图 2 扬尘源遥感监测技术路线图

6.2 数据准备和处理

6.2.1 矢量数据准备和处理

获取监测单元内的行政区划边界、路网、水系、土地覆盖等数据，并对数据进行空间矢量化处理，为扬尘源遥感监测提供范围和数据基础。

6.2.2 遥感数据准备和处理

基于近五年来，扬尘源遥感监测的业务工作实践经验，以遥感解译的四类扬尘源为目标，本标准制定了对遥感影像的空间分辨率、时间、波段、云量和质量的要求，在标准要求的基础上，分析并选取适合目标区域的遥感影像。

根据影像的判读标志，如色调、形状、位置、大小、阴影、布局、纹理等特征，结合不同扬尘源类型的调查范围的矢量边界以及其他矢量数据，从影像上识别各类扬尘源信息，生产扬尘源空间分布现状数据。

（一）影像选取

空间分辨率优于 2 m，其中，空间分辨率米级的数据能清晰提取扬尘源（如裸土、堆场、施工区域）的边界和空间分布细节。亚米级数据可辅助评估苫盖比例、植被覆盖状况。

时间分辨率：选择最新时相的遥感影像，同时与历史影像数据对比，分析扬尘源的分布范围变化。

波段要求：红、绿、蓝、近红外波段。其中，真彩色（RGB）用于遥感解译识别扬尘源图斑。近红外波段可增强植被与裸土的光谱差异。

云量控制：监测区云量 $\leq 5\%$ 。云层遮挡可能导致扬尘源漏检，需通过多景影像拼接或相邻时段数据补全。

质量要求：影像色彩层次丰富、纹理清晰、无畸变，确保地物可辨识性（如区分裸土与硬化路面）。

（二）影像辐射校正

影像辐射校正以景为单位，对由于外界因素，数据获取和传输系统产生的系统的、随机的辐射失真或畸变进行校正。消除大气散射、传感器误差等导致的辐射失真，确保反射率数据客观性。

（三）影像几何校正

影像几何校正以高精度基础地理数据作为参考。选择道路交叉点、建筑物顶点等稳定地物作为控制点，且控制点均匀分布，避免局部畸变。

（四）影像融合

影像融合以景为单位，对几何校正后满足精度要求的全色与多光谱影像，进行融合，融合后的影像保留多光谱信息（如植被、土壤光谱特征），增强纹理细节（如道路、施工工地、堆场边界）。融合影像可同时支持遥感解译（高纹理）与光谱分析（如扬尘源类型提取）。

（五）影像镶嵌

当监测区域超出单幅遥感图像所覆盖的范围时，通常需要将两幅或多幅图像拼接起来形成一幅能覆盖全区的较大图像，该过程为图像拼接或图像镶嵌。通过几何校准后，所有影像需与标准影像严格对齐，避免接缝错位。直方图匹配或色彩平衡，消除不同时相/传感器的

亮度差异，色调均衡。

（六）影像裁切

按照监测区域边界范围裁切镶嵌影像。剔除无关区域，减少数据量，聚焦监测范围。

影像辐射校正参考 GB/T 14950 “5.195 辐射校正”的定义。遥感影像处理技术方法和精度要求参考 HJ 1156 中“6.2 影像准备和处理”、DD 2013 中“6 影像数据处理”的相关要求执行。

6.2.3 扬尘源图斑提取

（一）建立解译标志库

根据扬尘源类型，结合影像中的色调、形状、位置、大小、阴影、布局、纹理、不同扬尘源类型的分布区域等特征，以及路网分布数据，建立各类型扬尘源解译特征表，具体见表 1，各扬尘源类型特征如下：

土壤扬尘源：分布在裸地、农田、河道等透水面上，影像中有明显的边界，边界内有汽车碾压、机器松土等痕迹、纹理特征模糊。

道路扬尘源：主要分布于国道、省道、县道、乡道和专用公路等处，影像上的铺装或未铺装道路具有明显的尘土覆盖的迹象。

施工扬尘源：主要分布于正在施工的工地、道路和工厂等，影像上有明显破碎的低矮平房，塔吊，未形成的建筑施工设施、整体纹理特征清晰。

堆场扬尘源：主要分布于石料加工场地、混凝土搅拌场地、其他工厂料场，影像中有料堆，有相关厂房以及车辆运输的痕迹。

表 1 扬尘源解译标志表

_____省_____市_____县 表编号：_____建立人：_____

序号	扬尘源类型 ^a	扬尘源代码 ^b	影像特点 ^c	地面属性 ^d	影像样本 ^e	影像轨道号 ^f
1						
2						
3						
...						
a 扬尘源类型为解译目标的扬尘源类型。 b 扬尘源代码为解译目标的唯一编码。 c 影像特点为解译目标在遥感影像中的颜色、纹理、图案、大小、形状、色调、阴影等属性的描述。 d 地面属性为解译目标的地理定位、相邻地物、周边环境、地形等属性的描述。 e 影像样本为不同扬尘源类型的遥感影像的示例。 f 影像轨道号为标识解译影像的编号。						

结合影像的色调（如裸土灰白色、道路灰黑色）、形状（道路条带状、堆场规则堆体）、纹理（施工区清晰结构、堆场颗粒感）等特征，叠加路网、土地覆盖等矢量数据，区分扬尘类型。

通过解译特征和解译标志表，可系统化、标准化识别四类扬尘源，为遥感监测提供可操作的分类依据。

（二）建立分区格网

通过将监测区域划分为规则的网格单元，实现以下目标：

- （1）空间标准化：统一地理单元，降低空间分析的不确定性；
- （2）精细化排查：逐一解译网格内扬尘源信息，避免遗漏；
- （3）效率提升：适用于大范围监测。

（三）人机交互目视解译

根据扬尘源类型遥感解译标志，采用人机交互、自动或半自动的解译方法，人工修正为辅，对扬尘源类型进行识别与修正。

（四）提取扬尘源图斑

将已识别并修正的扬尘源分类结果，转换为矢量图斑数据集，可用于精确统计扬尘源面积、位置及分布密度。

扬尘源遥感识别流程以“分区解译—集中提取”为核心，兼顾效率与精度。首先，将监测区按统一地理单元，划分为规则网格单元，通过空间分割降低复杂区域的分析难度；然后，基于遥感解译标志，采用人机交互方式（如自动分类+人工修正）对网格内扬尘源进行精细化识别；最后，通过空间分析工具提取图斑，生成数据集。

6.2.4 扬尘源图斑属性赋值

扬尘源图斑属性赋值以唯一编码为核心，首先按 GB/T 2260 规则逐级嵌套“省—市—县”代码，结合年份、本年度监测轮次、类型（如“SG”表示施工扬尘）、序号，生成扬尘源矢量图斑唯一编码（例：13-01-02-2024-1-SG-0001）。计算面状图斑面积（保留整数位），补充行政区划名称与生产日期（年/月/日格式），最终形成兼具空间与属性信息的结构化数据集。全流程强调唯一编码的规范性和数据可追溯性，满足扬尘源精准管理与跨行政区域对比的需求。

6.2.5 扬尘源点位提取

扬尘源点位提取是基于面状图斑，生成中心点坐标，通过属性关联构建“面—点”映射关系，生成清单，见表 2。主要有以下几个步骤：

- （1）坐标提取：基于几何中心算法生成高精度点位（小数点后六位），形成矢量数据集；
- （2）属性关联：根据唯一编码，实现图斑与点位的一一对应，确保数据的一致性；
- （3）信息汇总：整合行政区划、类型编码、中心点坐标等字段，为清单生成提供基础；
- （4）清单生成：以数量、面积、中心点坐标为核心指标，用于统计分析与现场检查；
- （5）数据格式：通过 Shapefile（矢量数据格式）与 KMZ（导航）适配多场景需求。



图 3 扬尘源图斑和点位的空间示意图

表 2 扬尘源问题清单统计表

序号	省份 ^a	地市 ^a	区县 ^a	唯一编码 ^b	扬尘源类型 ^c	图斑面积 ^d	经度 ^e	纬度 ^e	其他说明
1									
2									
3									
...									
^a 扬尘源图斑对应的省、市、县名称。 ^b 扬尘源图斑的唯一编码，编码方式具体见章节 6.2.4。 ^c 扬尘源类型为解译目标的扬尘源类型，具体见表 1。 ^d 图斑面积单位平方米，保留整数位。 ^e 经度、纬度为扬尘源图斑中心点经纬度坐标，经纬度填表形式为：经度和纬度均为小数度数，保留 6 位小数。									

6.3 质量保证和质量控制

质量保证与质量控制主要包括数据检查、精度验证和精度评价。

数据检查：通过人机协同检查，扬尘源数据在空间精度（位置准确）、完整性（无遗漏）、拓扑正确性（无重叠/缝隙）和属性一致性（编码规范）达到质控要求。通过“机器预检-人工核验-现场修正”的三级校验体系，确保数据的可靠性。（1）检查内容：矢量数据图斑勾绘准确性、拓扑关系、图斑与点位空间匹配度；属性信息字段填写规范性、属性表与空间数据一致性；（2）验证方法：①人机交互检查：人工目视解译结合 GIS 拓扑规则自动校验；②实地核查：逐源现场验证位置、类型、现状，补充现场照片/视频，修正遥感解译误差；（3）文档管理：按“一源一表”生成核查表，见表 3，按行政区汇总。

表 3 扬尘源现场核查表

_____省_____市_____县

核查日期：_____核查人：_____复核人：_____扬尘源图斑编码^a：_____

是否存在		照片编码 ^a	
------	--	-------------------	--

实际经度 ^b		实际纬度 ^b	
遥感解译类型 ^c		实际类型 ^d	
潜在扬尘源			
防范措施			
其他需要说明问题			
a 扬尘源图斑编码按照扬尘源清单中扬尘源图斑唯一编码填写，现场核查中新发现的扬尘源则按照 N1、N2 顺序编号。			
b 实际经纬度填表形式为：经度和纬度以小数点的格式，保留六位小数。			
c 遥感解译类型按照遥感解译的扬尘源类型填写。			
d 实际类型按照现场核查的扬尘源类型填写。			

精度验证：实地核查是对遥感提取的扬尘源图斑和点位，进行实地逐一核查，确定扬尘源是否存在，位置、类型是否准确，补充现场新发现的扬尘源及相关信息。扬尘源图斑和点位，经过实地核查不存在，需在扬尘源清单中删除。资料整理是对扬尘源遥感实地核查成果的空间和属性信息修改完善，做到“一（扬尘）源一表”，对现有扬尘源管理措施进行可行性分析，并按行政区汇总整理。

精度评价：主要包括精度评价方法和精度评价要求。

根据现场核查确定遥感解译类别对应的实际类别情况，基于提取范围所有扬尘源与非扬尘源类别的遥感解译结果和现场核查情况建立混淆矩阵，并计算总体精度和制图精度。

构建 n 行 n 列的混淆矩阵，用于比较扬尘源解译类别与实际类别。 n 即类别数量。矩阵的每一列代表了遥感解译类别，每一行代表了实际类别，如表 4。

扬尘源遥感解译总体精度要求不低于 90%，制图精度要求不低于 85%以上，未达到精度要求的需重新开展扬尘源遥感调查，包括遥感解译与现场核查，直至生成符合精度要求的扬尘源清单。

通过比对遥感解译和现场核查的扬尘源，对扬尘源遥感提取信息的质量进行评价。对于不符合精度要求的数据，应重新进行遥感解译与现场核查。

表 4 混淆矩阵表

		遥感解译类别				合计
		1	2	...	n	
实际类别	1	x_{11}	x_{21}	...	x_{n1}	N_{+1}
	2	x_{12}	x_{22}	...	x_{n2}	N_{+2}
	...	...	...	...	...	...
	n	x_{1n}	x_{2n}	...	x_{nn}	N_{+n}
合计		N_{1+}	N_{2+}	...	N_{n+}	N
注：本标准中，考虑扬尘源类别时，包括 4 个扬尘源类别和非扬尘源类别。 N 为遥感解译的扬尘源与非扬尘源目标总数， N_{+n} 为实际类别为 n 类的目标数量， N_{n+} 为遥感解译类别为 n 类的目标数量。						

(1) 总体精度 (Overall Accuracy) :

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^n x_{kk}}{N}$$

式中：OA——总体精度；

x_{kk} ——实际为 k 类，遥感解译也为 k 类的目标数量；

n ——取 5（包括 4 个扬尘源类别和非扬尘源类别）或实际需要控制的类别总数；

N ——遥感解译的扬尘源和非扬尘源目标总数。

（2）制图精度（Producer Accuracy）

$$PA_k = \frac{x_{kk}}{N_{+k}}$$

式中： PA_k ——第 k 类的制图精度；

x_{kk} ——实际为 k 类，遥感解译也为 k 类的目标数量；

N_{+k} ——实际类别为 k 类的目标数量。

精度评价方法参考 HJ 1236 中“8.2 质量评价”相关内容执行。

6.4 报告编制

扬尘源遥感监测报告编写包括扬尘源图斑和点位的现状情况分析、各行政单元内详细情况统计、扬尘源现状专题图制作 3 个方面的内容。

扬尘源总体情况分析：统计监测区域内扬尘源的数量、类型、面积情况。

按行政单元统计扬尘源：统计监测区域内，不同行政单元的扬尘源数量、类型和面积及比例，总结各类型扬尘源的空间分布状况。

扬尘源专题图：根据解译的扬尘源图斑和点位空间分布数据，制作扬尘源空间分布专题图。对扬尘源遥感监测结果进行专题制图，在图廓外标注经纬度刻度。制图要素包括标题、图例、比例尺、指北针和经纬网。

7 对实施本标准的建议

本标准通过构建扬尘源遥感监测内容、技术流程、方法和技术要求，可以为规范各类扬尘源遥感监测和监管工作提供数据基础。各地也有开展地方扬尘源遥感监测的迫切需求，建议尽快征求意见并发布实施。

为保证本标准的有效实施，建议生态环境部门加强扬尘源遥感监测的技术培训，保障扬尘源遥感监测结果的准确性和可靠性，促进标准在科研以及其它领域的应用。

8 参考文献

- [1] 方洪科, 刘贵芬, 朱从旭, 苗振华. 山东省滨州市裸露地面遥感监测及简要分析[A]. 中国环境科学学会 2023 年科学技术年会论文集（四）[C]. 中国环境科学学会, 中国环境科学学会, 2023: 3.

- [2] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Guidelines for handling excavated acid-producing material: PB91-194001[R]. Springfield: U.S. Department of Commerce National Information Service,1990.
- [3] 姚金光. 高分卫星影像镶嵌方法的研究及应用[D]. 济南大学, 2023.
- [4] 辛尚龙. 基于地理信息系统的京津冀及周边地区“2+26”城市扬尘源排放清单研究[D]. 华北电力大学(北京), 2022.
- [5] 常泽巍. 基于卫星遥感的运城市扬尘源颗粒物排放清单研究[D]. 华北电力大学(北京), 2020.
- [6] 李莉莉. 哈尔滨市高分辨率扬尘源排放清单及控制对策的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2018.
- [7] 梁珊. 典型建筑工地施工扬尘污染特征与排放因子方法研究[D]. 上海交通大学, 2019.
- [8] 常宏咪. 北京奥体中心监测站颗粒物污染特征及周边施工扬尘影响研究[D]. 北京化工大学, 2021.
- [9] Information and documentation-the Dublin core metadata element set: ISO 15836:2009 [S/OL]. [2013-03-24].
- [10] 遥感影像解译样本数据技术规定 (GDPI 06—2013)
- [11] 摄影测量与遥感术语 (GB/T 14950—2009)
- [12] 全国生态状况调查评估技术规范—生态系统遥感解译与野外核查 (HJ 1166—2021)
- [13] 防治城市扬尘污染技术规范 (HJ/T 393—2007)
- [14] 自然保护地人类活动遥感监测技术规范 (HJ 1156—2021)
- [15] 扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南 (试行) (环境保护部公告 2014 年 第 92 号) .
- [16] 陈建军. 从数字地球到智慧地球[J/OL]. 国土资源导刊, 2010,7(10):93[2013-03-20].
- [17] DES MARAIS D J, STRAUSS H, SUMMONS R E, et al. Carbon isotope evidence for the stepwise oxidation of the Proterozoic environment[J]. Nature, 1992,359:605-609.
- [18] SAITO M, MIYAZAKI K. Jadeite-bearing metagabbro in serpentinite mélange of the “Kurosegawa Belt” in Izumi Town, Yatsushiro City, Kumamoto Prefecture, central Kyushu[J]. Bulletin of the geological survey of Japan, 2006,57(5/6):169-176.
- [19] WALLS S C, BARICHIVICH W J, BROWN M E. Drought, deluge and declines: the impact of precipitation extremes on amphibians in a changing climate[J/OL]. Biology, 2013,2(1):399-418.
- [20] 熊文成, 徐永明, 李京荣 等. 基于中高分辨率卫星数据的城市扬尘污染源监测——以天津为例[J]. 遥感信息, 2017, 32(3):5.
- [21] 姜晟, 纪轩禹, 李旭文 等. 江苏省工地和裸地扬尘遥感监测方法研究与结果分析[J]. 环境监控与预警, 2022, 14(1):12-18.
- [22] 李婷婷,徐涛,耿凯宇,等. 基于遥感监测的工地和裸地扬尘排放与管控 [J]. 中国环境科学, 2023, 43 (06): 2823-2832.
- [23] 赵海珍,徐炜达,刘牧远. 大气污染重点区域热点网格精细化监管的成效、问题与改善策

- 略 [J]. 环境与可持续发展, 2022, 47 (03): 53-57.
- [24] 金兴,祝新友,王晨昇,等. “高分一号”卫星数据遥感影像分类方法研究——以内蒙古维拉斯托地区为例 [J]. 矿产勘查, 2017, 8 (06): 1069-1078.
- [25] 李文楷,刘原池,刘子越,等. 基于正样本-背景数据的校正混淆矩阵 [J]. 海南大学学报 (自然科学版), 2023, 41 (03): 293-302.
- [26] 邱昀,姜磊,李金香,等. 深度学习在裸地扬尘源监测中的应用研究 [J]. 中国环境监测, 2023, 39 (S1): 72-79.
- [27] 马国鑫,韩豫,陆建飞,等. 基于无人机的施工扬尘污染源自动监测系统设计与实现 [J]. 中国环境监测, 2018, 34 (01): 151-156.
- [28] 谢龙水. 采石场和露天矿扬尘监测 [J]. 世界采矿快报, 1995, (07): 9-10.
- [29] 陈峥嵘,李飞,程伶俐,等. 上海市典型道路扬尘源解析 [J]. 上海第二工业大学学报, 2021, 38 (02): 98-107.
- [30] 卢滨,董军,相震. 杭州市扬尘污染控制对策探讨 [J]. 环境科学与管理, 2013, 38 (07): 83-86.
- [31] 徐涵秋. 福建省长汀县河田盆地区近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析 [J]. 生态学报, 2013, 33 (10): 2946-2953.
- [32] 陈科,周军,聂春晓,等. 工地扬尘管控措施效果量化研究 [J]. 环境工程技术学报, 2024, 14 (02): 437-445.
- [33] 宋立来,李廷昆,毕晓辉,等. 京津冀地区高空间分辨率土壤扬尘清单构建及动态化方法 [J]. 环境科学研究, 2021, 34 (08): 1771-1781.
- [34] 晁娜,蒋琦清,朱俊,等. 省级高空间分辨率扬尘源排放清单研究 [J]. 中国环境监测, 2020, 36 (05): 63-71.
- [35] 秦建新,朱柯颖,吴涛,等. 长沙市城区施工扬尘和土壤扬尘污染时空特征研究 [J]. 中国环境监测, 2020, 36 (04): 69-79.