《面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术指南（征求意见稿）》

编制说明

《面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术指南》编制组

二零二零年三月

项目名称：2019年中国环境科学学会标准（第二批）

承担单位：生态环境部卫星环境应用中心

项目联系人：高强 010-62246242

编制组负责人：朱利 13488658872

编制组联系人：黄莉 18810913281

目 录

[1 工作简况 1](#_Toc16786774)

[1.1 任务来源 1](#_Toc16786775)

[1.2 工作过程 1](#_Toc16786776)

[1.3 主要起草人及所做的工作 1](#_Toc16786777)

[2 指南制订基本原则 2](#_Toc16786778)

[3 指南编制的目的、必要性和技术路线 2](#_Toc16786779)

[3.1 指南制订的目的和作用 2](#_Toc16786780)

[3.2 指南制订的必要性分析 2](#_Toc16786781)

[3.3 城市下垫面遥感提取的研究综述 3](#_Toc16786782)

[3.4 指南制订的技术路线 9](#_Toc16786783)

[4 指南主要技术内容、实验验证及试行结果 9](#_Toc16786784)

[4.1 指南的主要内容 10](#_Toc16786785)

[4.2 主要技术步骤 12](#_Toc16786786)

[4.3 提取精度评价方法 17](#_Toc16786787)

[5 与相关标准的关系分析 18](#_Toc16786788)

[6 采用国际标准的程度及水平说明 18](#_Toc16786789)

[7 重大分歧或重难点的处理经过和依据 20](#_Toc16786790)

[8 贯彻措施及预期效果 20](#_Toc16786791)

[9 其他应说明的事项 20](#_Toc16786792)

[参考文献 21](#_Toc16786793)

《面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术指南（征求意见稿）》编制说明

# 工作简况

## 任务来源

根据《国务院关于印发水污染防治行动计划的通知》（国发〔2015〕17号）的有关要求，开展《面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术指南》制订工作。环境保护部卫星环境应用中心承担本指南的编制任务，合作单位为南京师范大学，项目立项时间为2019年。

## 工作过程

2019年，原环境保护部科技司下达任务后，环境保护部卫星环境应用中心和南京师范大学按有关文件精神，召集相关技术人员迅速组建了《面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术指南》指南编制组，并根据课题相关要求，认真制定实施方案和工作计划，明确了编制组成员及分工。

根据工作计划进度安排，指南编制组系统收集了国内外文献资料，开展前期调研工作。包括收集整理有关城市下垫面遥感分类、城市不透水面提取等方面的遥感相关技术规范的国内外相关技术指南和参考文献，调研已有文献中使用的数据源与技术方法。同时，编制组还依托所承担的国家水专项任务，积极开展了相关技术方法与技术流程的预实验研究。在前期大量工作的基础上，编制组确定了本指南编制的原则、技术路线和要求，完成开题报告和指南文本初稿等。

2019年1月9日，环境保护部环境标准所在北京主持召开了课题开题论证会（咨询会），论证委员会（专家组）听取了指南编制组关于《面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术指南》开题论证报告和指南初稿内容介绍，经质询、讨论，一致认为：1. 指南编制单位调查研究充分，提交的指南编制说明和指南草案材料齐全，结构合理，内容详实、完整、规范。2. 指南定位准确，编制原则科学合理，具有可操作性。该指南的编制可以为面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取工作提供技术指导。论证委员会（专家组）通过该指南的开题论证，并提出如下修改意见和建议：进一步完善面向城市面源的典型城市下垫面分类体系；进一步完善指南文本和编制说明；建议指南按照生态环境部环境指南绿色通道项目管理。

根据论证委员会提出的修改意见，编制组进行了相关资料的收集，对指南文本草案进行了优化和完善。期间编制组多次召开讨论会，详细研究城市下垫面分类体系及遥感提取方法。对指南的科学性、可行性、可操作性与我国城市下垫面相关研究情况进行多方论证。同时，多次征求环境保护部指南研究所的意见，对指南文本和编制说明进行了进一步的修改，最终形成了指南文本征求意见稿和征求意见稿编制说明。

## 主要起草人及所做的工作

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **职称/职务** | **单 位** | **在项目中担负的工作** |
| 朱 利 | 高级工程师 | 生态环境部卫星环境应用中心 | 总体设计，进度管理，协调组织 |
| 王雪蕾 | 高级工程师 | 生态环境部卫星环境应用中心 | 城市面源污染相关理论研究 |
| 汪闽 | 教授 | 南京师范大学 | 城市面源污染相关技术方案研究 |
| 吕恒 | 教授 | 南京师范大学 | 标准项研究与制定 |
| 冯爱萍 | 工程师 | 生态环境部卫星环境应用中心 | 典型城市下垫面分类体系研究 |
| 黄莉 | 初级工程师 | 生态环境部卫星环境应用中心 | 典型城市下垫面分类体系研究 |
| 徐逸 | 初级工程师 | 生态环境部卫星环境应用中心 | 提取精度评价方法研究 |
| 周亚明 | 工程师 | 生态环境部卫星环境应用中心 | 提取精度评价方法研究 |
| 孟斌 | 工程师 | 生态环境部卫星环境应用中心 | 遥感影像预处理与特征提取 |
| 杨红艳 | 工程师 | 生态环境部卫星环境应用中心 | 遥感影像预处理与特征提取 |

# 指南制订基本原则

（1）适用性、可操作性原则

本指南的内容应具有普遍适用性，方法应具有可操作性，能够为基于遥感影像分类的城市下垫面提取等相关业务部门进行城市下垫面提取提供技术参考。

（2）科学性、先进性原则

本标准在编制过程中应积极借鉴和利用国内外相关研究成果，运用可靠的原理、成熟先进的技术和科学的方法，保证制定的指南具有科学性和先进性。

（3）经济技术可行性原则

指南中采用的技术方法应经济可行，确保按照该指南开展城市下垫面遥感提取时，涉及到的卫星遥感数据源比较容易获取、方法比较容易实现，提取成本较低，经济可行。

# 指南编制的目的、必要性和技术路线

## 指南制订的目的和作用

城市下垫面是指在热量、动量和水汽交换过程中与大气相互作用的地球表面(如土壤、草地、水体等)。各种类型的城市下垫面(包括建筑、水体、道路、绿地和农用地等)的空间形态和结构布局构成了城市的景观格局，同时也直接影响着城市的气候与环境变化。人类活动及城市化的迅速发展是下垫面性质改变的主要因素，对城市下垫面进行提取和解析对城市的环境的动态监测具有重要意义。

目前，遥感技术广泛用于城市环境的调查和监测。相较实地调查，基于遥感影像的自动分类技术具有快速、高效而不失客观的特点，在地表信息获取领域中发挥重要的作用。利用中、高分辨率影像，在地面实测光谱数据、遥感知识库等数据源支持下，结合面向对象、深度学习及规则分类等主流分类算法与部分人工辅助，实现城市典型下垫面地物类型的精细提取和分类，为城市面源污染的遥感监测提供数据支撑。

## 指南制订的必要性分析

### 3.2.1利用遥感技术实现城市水环境监测的技术需求

要改善城市的水环境，必须首先从源头控制污染。城市污染源可分为点源和面源。对水污染而言，点源污染主要包括工业废水和城市生活污水污染，通常有固定的排污口集中排放。城市面源污染是指在降水的条件下，雨水和径流冲刷城市地面，使污染物进入受纳水体引起的环境问题。过去我国的城市污水处理率很低，点源是主要的。近年来我国城市污水处理厂建设加快，处理量逐年增加，污水处理率不断提高。随着点源污染控制的不断完善，城市面源污染所占比例正在日益提高。我国对城市面源污染缺乏系统深入的研究，对它的控制是环境控制领域最薄弱的环节之一。因此急需建立城市面源污染估算模型，为城市水环境监管提供技术支撑。

多年来，我国以地面监测布点布网、采取常规采样或自动站进行物理或化学分析测量、主要针对水、空气、噪声等环境要素的环境监测体系已经相对成熟，是目前我国城市环保系统开展环境监测的基础性技术体系。但目前的地面监测系统无法控制整个城市和重点区段的水环境质量，更不能实现城市水环境污染事故的跟踪、监视。并且比较费时费力投入较高，而且，由于人力和财力的限制，采样点位布置数量有限，得到的数据点稀疏，无法反映城市水环境整体的现状；即使花费了大量的人力及财力，监测密度也只能做到部分点每月监测1次，个别重点水域每月两至三次，无法对整个进行动态的、实时的监测。特别是一些突发性、大范围的环境质量变化不能被及时捕捉，例如工厂排污的预测预报、跨行政区污染事故的防范和影响范围监测等，都因缺少面上的宏观观测能力而力不从心，数据的频次、时效和代表性都远滞后于环境管理与决策的需要。因此以点位为基础的城市水环境监测网络已经远不能满足不断发展的全方位把握全国城市环境质量大范围的业务化环境保护工作的需求。

遥感技术在宏观性、动态性、科学性方面具有明显的优势，遥感技术在水环境质量以及区域性宏观生态指标调查中有很大的应用潜力。遥感具有的多时相、多光谱、大范围的观测能力是其它常规技术所不具备的。随着全世界各国政府和公众对水环境问题的日益关注，城市水环境遥感监管也进入一个新的发展时期。在理论上正从定性发展到半定量、定量，从分散发展到集成；在技术上已由可见光发展到红外、微波，从单一波段发展到多波段、多极化、多角度，从单一遥感器到多遥感器的结合；并正在向业务化方向发展。

我国目前发射了高分系列卫星，是具有高空间分辨率的遥感商业卫星，其高空间分辨率特性给城市水环境遥感监测提供了可能。高分卫星数据的使用，为我国城市水环境监管提供重要的数据源，极大地缓解目前内陆城市水环境遥感监测国产数据源严重缺乏的局面。其高时间分辨率的特点，也将为水环境遥感动态监测的业务化运行提供良好的数据支持，为突发性城市水环境污染事件的实时监测提供可能。集成遥感技术自主研发适合城市特征的面源污染模型是城市水环境遥感监管的重要组成部分，其技术前提则是依托遥感影像，实现城市下垫面类型的高精度分类和信息提取。为了更好地开展城市面源遥感监测，在现有遥感数据源和城市面源监测业务需求基础上，结合现有遥感监测实例，从城市下垫面遥感提取的数据源、内容、方法、技术流程等方面入手，制定统一的技术指南，用以指导、规范城市水环境的遥感监测工作。

### 3.2.2环境保护与管理的需求

我国《国家环境保护“十二五”规划》明确提出统筹开展环境质量指南、环境监测规范、环境基础指南制（修）订规范、管理规范类环境保护指南等制（修）订工作。完善大气、水、海洋、土壤等环境质量指南，完善污染物排放指南中常规污染物和有毒有害污染物排放控制要求，加强水污染物间接排放控制和企业周围环境质量监控要求。对水环境治理推进环境风险源识别、环境风险评估和突发环境事件应急处置指南建设。在2015年4月，国务院印发《水污染防治行动计划》，环保部印发了《水污染防治工作方案编制技术指南》。其中明确提出了要对流域水质提出质量目标清单，并分析黑臭水体原因等。《面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术指南》是为满足完善我国环境保护指南体系的新形势、新要求，是提高我国环境监测、预警和应急能力的基础，为治理污染物排放、保护水生态环境提供有力支撑。

### 3.2.3尚无城市面源的下垫面遥感提取技术指南

在面向城市面源的下垫面遥感提取方面，我国还没有形成统一的技术指南。在相关技术领域，如全国国土资源调查、地理国情监测任务中，应用遥感技术实现土地利用分类已是常规技术手段。这些领域均对城市区域土地利用（覆盖）类型的多级分类（辨识）体系和相关指南进行了确定，但在地物的遥感分类识别方面的技术方法和技术流程上则没有明确规定，在实际应用中也基本没有相关指导规范。随着卫星遥感技术的不断发展，可应用到环境监测的遥感数据源呈现多样化，新型遥感技术，如面向对象遥感图像分析、深度学习分类等新型机器学习技术迅猛发展，将以上技术应用到城市水环境遥感监测领域的相关技术指南也急需发展。因此，在新的环境形势和技术指南发展需求下，为有效利用卫星遥感技术进行城市面源的下垫面提取工作，对全国各级城市管理部门、监督人员、科研人员提供相应的技术指导，研究制定符合我国国情、科学实用的《面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术指南》十分必要。

## 城市下垫面遥感提取的研究综述

在城市遥感领域，实现多要素城市下垫面提取主要依赖于遥感图像分类等主流技术。按技术实现方式，实现城市土地利用与土地覆盖遥感分类技术基本可分为：1）传统基于像元的方法；2）面向对象图像分析技术；3）基于新型机器学习（深度学习）的遥感分类技术等等。

### 3.3.1 技术分类体系

（1）基于像元的遥感分类方法

传统像元特征提取角度进行方法设计，是一种基于像元操作层次上的图像分析，主要步骤包括：1）图像预处理，其中包括辐射校正、几何校正、消除噪声、图像增强、多源图像融合等等；2）特征的描述与提取，包括提取图像的基本视觉特征，如光谱特征、纹理特征和有限邻域范围内像元集的派生特征等等；3）特征向目标的映射，如采用监督、非监督分类的方式，实现特征的图像分类。近年来，随着众多高空间分辨率遥感卫星的相继发射，高分辨率遥感卫星数据的处理与应用研究逐步成为遥感应用研究领域的热点。高分辨遥感图像信息的高度细节化，光谱混淆现象严重，而基于像元的方法提取的特征有限，造成基于像元的分类方法在处理中高分辨率遥感图像上往往在精度上难以满足要求。基于像元的特征分析与人们认识和描述世界的方式不太一致，因此方法难以进行领域知识、专家经验、地学模型的融合，造成方法的提取效果、应用面等方面的局限性。从图像工程的角度，基于像元的遥感图像分析方法还不是真正意义上的图像分析，属于图像处理的范畴，只能处于图像工程的底层。



图3.1 基于像元遥感图像分类方法的处理流程

（2）面向对象分类方法

面向对象图像分析技术首先通过一定的分割方法对遥感图像进行分割，在提取分割单元（图像分割后所得到的内部属性相对一致或均质程度较高的图像区域，在土地利用应用领域这种分割单元类似于土地利用斑块）的各种特征后，在特征空间中进行对象识别和标识，从而最终完成信息的分类与提取。面向对象的图像分析由于其处理的对象从像元过渡到了特征基元的对象层次，更接近人们观测数据的思维逻辑，在可以参与后继分析的特征数量上远较前者丰富，因此也更易于地学知识融合。采用面向对象技术，在解决常规图像分类时的椒盐噪声效应、结果的可解释性上有很大优势，因此对中、高分辨率图像分类有着积极的作用。

面向对象分类和传统基于像元的方法的主要技术区别在于引入了图像分割环节，在数据预处理、特征选择，以及分类流程上，并无太大区别。一般采用带训练样本的监督分类、模糊规则分类器实现分类流程。



图3.2 面向对象遥感图像分类方法的处理流程

（3） 基于新型机器学习的遥感分类方法

深度学习作为机器学习算法中的一个新兴技术，其动机在于建立模拟人脑进行分析学习的神经网络，它能通过海量的训练数据和具有很多隐藏层的深度模型学习更有用的特征，最终提升分类的准确性。深度学习技术通过有监督或无监督的方式学习层次化的特征描述取代了手工选择图像特征的工作。其中，深度学习模型中的卷积神经网络(Convolution Neural Network，CNN)通过卷积操作进行特征的提取和高层抽象，模型输出直接是图像识别的结果。将深度学习模型应用到遥感图像分类中的主要步骤有：训练数据集的准备，即将已知类别的遥感图像进行类别标记；深度学习模型的训练，利用准备好的训练数据集以及深度学习模型文件，设置学习率、步长和最大迭代次数等超参数进行模型训练；深度学习分类，即利用训练数据集训练得到的深度学习模型对未知遥感图像进行分类。



图3.3 卷积神经网络进行遥感图像分类的一般流程

### 3.3.2 相关方法研究进展

黄露、黄海[16]针对土地利用，采用了甘肃省庆阳市2010年7月Landsat4－5TM影像为基础数据，TM影像第6波段空间分辨率为120m，其余各波段均为30m。以中科院土地利用分类标准，该系统将土地利用分为6大类，分别为耕地、林地、草地、城乡工矿居民地、水域和未利用地，以及25个小类，采用监督分类的方法，主要流程为影像数据预处理、分类标准确定、建立感兴趣区、样本检验、监督分类方法选取（选取的ENVI中最小距离分类法、多级切割法和最大似然分类法）和分类后处理。实验分类精度为60%~80%，Kappa Coefficient = 0.8061。

周兴东、王志勇[17]等人针对土地利用分类，以徐州市2000年10月6日的TM图像为信息源，影像空间分辨率为30—120m。分类的类别分别为水体、市区建筑用地、道路、乡村、植被山、裸山和农田。采用监督分类、非监督分类和综合阈值法三种分类方法，主要流程是采用三种分类方法分别重复多次提取水体、植被和建筑用地，然后对分类结果进行对比。结果表明监督分类和非监督分类每一次结果均不相同，缺乏客观性，综合阈值法一旦波段和阈值确定，分类结果就确定了。

陈健飞[18]等针对城市下垫面分类提取，采用了星载高光谱数据Hyperion，空间分辨率30米。研究区域为广州市东山区、海珠区北部以及天河区西部，该试验区是广州市主要的城市建筑密集区。分类的类别是水泥混凝土、铺路混凝土、黏土瓦屋顶、较老建筑屋顶、裸土、高反射未知物、低反射未知物、林地、草地、水体。采用了线性混合光谱分解识别地物的方法，主要技术流程：手动提取终端像元，首先对水体与植被做分层掩膜，继而参考约翰-霍普金斯大学提供的标准光谱库的人工建筑物波谱，对光谱角度制图方法所产生的规则影像进行密度分割，获取与参考光谱夹角最小的端元准确位置，再通过高空间分辨率影像QuickBird数据对其进行准实地验证，尽可能提纯并获取相应地物影像端元，最后，应用线性光谱分解模型提取出广州市区地表物质的丰度，由丰度图设定阈值生成地物分类图。

陶伟[19]针对城市下垫面提取，采用高光谱数据Hyperion，空间分辨率30米。以杭州市城西市区为研究区域。分类的类别有植被、道路、水体、裸地、红瓦屋顶、灰瓦屋顶、油毡屋顶、青铁皮屋顶、水泥混凝土屋九类，采用监督分类中的SAM（光谱角匹配法）和线性光谱分解法。主要技术流程：先影像预处理，波段重采样，提取九类地物的端元光谱并建立参考光谱库，然后利用两种分类方法分别对最佳波段选择前后及数据融合前后的高光谱影像进行识别分类。

在基于面向对象技术进行土地分类方面，Li等[20]使用资源一号02C星搭载国产遥感卫星数据，空间分辨率为10m的2012年杭州区域遥感影像，针对实现准确的城市土地覆盖分类，提出光谱与空间领域信息、判别分析、面向对象法结合的技术流程体系，实现了城市土地覆盖的准确分类。共分为居民地、道路商业工业用地、森林、水、农田、荒地、草地共七类。通过计算图像纹理、空间自相关特征、形状指数、植被指数、不透水面含量等信息，与光谱信息结合，经过判别分析和相关分析的筛选，实现面向对象的分类和两种指标的精度评价。

宁小刚等人[21]采用1米空间分辨率的IKONOS数据，以及0.5米空间分辨率的WorldView-2江阴市数据，利用基于对象和多尺度的分类方法，在植被，水，建筑，道路，农田，裸地等六个层次的基础上，提取了城市土地覆盖的信息。先通过基元对象的方式对图像进行多尺度分割，根据土地类型特征建立土地覆盖类型知识库来提取类型，通过模糊隶属分类函数进行对象分类。

Tais Grippa[22]等人利用0.5m分辨率的pansharpened立体WorldView-3图像，研究区域包含布基纳法索瓦加杜古、达喀尔等。将目标分为道路、房屋、裸土、树木、草地、树林、水、阴影等八类。先使用python环境中开发的开源半自动处理链进行分割，通过使用提供的参考层标记图像中的每个对象来创建训练和验证样本，最后以极限梯度增强分类器Xgboost及RF、SVM共三个面向对象分类方法进行结果对比分析，提出基于极端梯度推进的分类器Xgboost在土地利用分类相较于传统面向对象分类方法的优势。

张春华[23]等人利用2015年Landsat8 OLI遥感影像中空间分辨率为30m的1~8波段影像和DEM作为分类数据源，结合野外调查数据，采用面向对象的分类方法对昆嵛山地区土地覆盖信息进行提取，将其分为草地、耕地、建设用地、阔叶林、裸地、水体、针叶林等七类。先采用多尺度影像分割遥感影像，基于像元从下至上的逐级区域合并，实现分割对象的异质性最小化，再利用ESP算法确定昆嵛山地区影像的最佳分割尺度，最后选取特征参数建立分类规则实现面向对象分类。

戴莉莉[24]等人以数据地面采样距离均为5cm的德国波兹坦地区的航空影像、数字表面模型(DSM)以及地面真实参考影像为实验数据，构建城市建筑、城市绿地(包括草地和树木)这两种地类的分类规则。利用不同数量的训练样本，首先使用Boruta算法对先验样本数据集进行特征选择，然后根据隶属度函数构建分类规则集，最后引入置信区间概念，确定分类规则的阈值。该方法可以达到较好的分类精度。

为了克服深度学习训练训练效率慢以及自然场景训练样本不适用高分遥感影像等问题，张良培组[25]提出了一种SatCNN模型，用于高分辨率遥感影像场景分类。实验数据采用的是SAT-4和SAT-6数据集，SAT-4数据集包括贫瘠地区、林地、草地、其他4类共计50万张图片，SAT-6数据集包括建筑、贫瘠地区、林地、草地、道路、水体6类共计40.5万张图像。实验结果表明，该方法不仅能够平衡模型的泛化能力和训练效率，而且能够更有效地捕捉到高分辨率遥感影像的内在特征，具备较高的效率和场景分类精度。

为了充分识别高分辨率遥感影像上的复杂图像模式与语义标签，杜世宏组[26]提出了一种结合面向对象与深度学习的高分辨率遥感影像分类方法。该方法通过卷积神经网络提取遥感影像的深度特征，然后通过面向对象分析提取目标的对象特征，以此来实现对城市复杂场景中的边缘信息与高度抽象的深度特征信息相结合，最后综合利用两种特征对土地利用类型进行预测。实验数据采用了北京地区的Worldview-2影像，与意大利帕维亚地区的ROSIS传感器数据。其中北京地区的分类类别为商业建筑、住宅建筑、道路、植被、公园、阴影、裸地、其他不透水层，帕维亚地区的分类类别为水体、林地、草地、裸地、砖砌建筑、沥青路、柏油路、瓦片建筑、阴影。实验结果表明，将深度学习和面向对象的分类方法相结合，可以有效识别复杂城市场景中的不同土地利用类型，其中商业建筑与住宅建筑的分类准确率超过了90%。

为了克服传统深度卷积神经网络（DCNN）的三波段影像应用限制，以及土地利用模式中的“块状效应”问题，黄波[27]提出了一种半转移深度卷积神经网络（STDCNN），实现了遥感影像分类从土地覆盖到土地利用的飞跃。此外，在生成分类基础单元时，设计了一种基于街道数据的骨架分解定位方法，能将大图像自适应地分割成较小处理单元，以保持土地利用分布模式的完整性。实验数据采用的是woldview-2与worldview-3遥感影像数据，实现了对香港与深圳超过160km2城市地区的土地利用分类，类别包括商业区、工业区、办公区、密集住宅区、一般住宅区、稀疏住宅区、林地、水体、开放地区、集装箱码头、道路。结果显示，香港土地利用分类的整体精度达到了91.25%，深圳土地利用分类的整体精度达到了80%。主要技术流程包括：首先在高分遥感影像数据上采集样本完成STDCNN模型训练，然后通过对街道数据的骨架分解定位来获取街道块与分类样本，最后根据分类样本的类别可行度以及样本间的空间关系来确定街道块的最终类别，以此实现对城市土地利用类型的分类。

针对高分辨率遥感影像图谱特征单一的问题，邵振峰[28]提出了图谱特征逐层融合的多分类器集成不透水面提取模型，实现了基于深度学习的不透水面提取方法，构建了多尺度不透水面提取和检测技术体系，针对不透水面信息提取中的自适应机制问题提出了多尺度提取概念模型。基于资源三号、高分一号和高分二号等高分遥感影像数据，首次完成了中国31个省（直辖市、自治区）的2m不透水面专题信息提取。主要技术流程包括两个阶段：首先，利用深度卷积网络对影像局部特征进行提取，保留两个池化层以得到更为密集的特征图，并引入空洞卷积来扩大卷积核的感受野；然后，将输入影像根据其领域关系构建成网络图，在深度网络提取特征的基础上，进一步引入高阶语义信息对特征进行优化，最终实现不透水面的精确提取。

为了解决面源污染评价问题，曾红娟[29]等人采用30m分辨率的LandsatTM影像和2.5米分辨率的SPOT-5全色波段图像融合，针对海南松涛水库，通过提取土地覆盖面积和植被覆盖类型、面积，结合田间表层土壤所测性质研究对比不同土地类型下吸附性非点源污染情况，该研究将土地利用类型划分为裸土、橡胶园、桉树、水和其他五类。结果表明不同的土地覆盖类型在面源污染方面具有较大不同，通过对下垫面类型进行合理的区分识别可以对面源污染的研究起到极大推动作用。

非遥感领域的大量同类研究也为我们采用面向城市面源的思想研究城市面源污染提供理论依据。比如王军霞[30]等人采用非遥感数据研究，考虑城市环境的特殊性，将城市下垫面按照水文效应和面源污染特性不同划分为屋面，庭院，交通道路，城市水环境四类，每类下垫面中选取一定数量的点进行现场监测，根据选取的典型点位的监测结果，研究城市面源不同下垫面呈现不同的污染特征，该研究成果对于在遥感领域采取面向对象研究城市面源污染具有重要指导意义。

将面向城市面源思想结合到遥感影像城市污染源分类识别中，陈德坤[31]等人使用2.5m分辨率的SPOT-5卫星影像，以深圳市为研究区域，采用基于像元分类法与面向对象法相结合的遥感提取方法，先通过经验目视解译根据建筑物密度将影像划分为高密度、中密度、低密度3种典型建筑物密度区域。分别对3种典型建筑物密度区域的屋面和路面进行提取试验，以基于湿式采样法对典型的屋面和路面样点进行污染物的单位面积累积量采样，并结合遥感提取地物信息估算地表污染物累积量。该方法提高了屋面和路面提取的目视效果和分类精度，测算了面源污染单位面积累积量。因此在基于城市面源的基础上实现典型城市下垫面的提取可促进研究城市面源污染。

通过分析可知，以上研究往往面向分类任务和不同研究区、在数据源、分类体系、技术方法各不相同，而且虽然遥感分类技术为遥感应用领域的传统问题，随着深度学习等技术发展，在分类性能上有了很大提高，但要实现精度细分类粒度的高精度分类难度依旧较高。目前该技术领域采用（中）高分辨率影像，利用新型面向对象、深度学习等技术是技术主流和发展方向。但目前在遥感分类体系、技术流程上，往往欠缺统一标准和技术规范。为此，建立相应指南有急迫性、必要性。

## 3.4 指南制订的技术路线

### 3.4.1技术路线图



图4. 1 技术路线图

### 3.4.2指南制定过程中的技术难点及解决途径

指南制定过程中的技术难点是确定满足城市下垫面提取精度的分割识别算法和确定符合实际典型下垫面类型分类体系。解决途径，本技术指南将借鉴借鉴国内外的已有方法，开展深入研究，对于典型下垫面类型分类体系及方法，针对高分辨率遥感影像上地物的光谱特征和下垫面分类的应用需求，综合国内外地理国情监测、国土资源调查、城市下垫面（土地利用现状）遥感分类方面的指南、规范，给出具体的分类体系及提取方法规范。

# 指南主要技术内容、实验验证及试行结果

## 指南的主要内容

本指南主要包括适用范围、术语和定义、分类体系、技术流程和操作方法等部分。

（1）适用范围：本指南适用于中高分辨率遥感影像中，城市面源污染监测的典型城市下垫面遥感提取工作。

（2）术语和定义：面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取及分类的有关概念、内容及方法流程进行了定义。

（3）分类体系：针对城市面源的遥感识别，选择30米空间分辨率以内的高分辨率遥感影像作为信息提取数据源。将典型城市下垫面区分为屋顶、道路、城市绿地、水体、自然湿地、施工用地、农田、林地及温室大棚等一级类别，在一级类别中，将道路、城市绿地和农田等划分二级类，如表1所示。

表1 典型城市下垫面分类体系

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ⅰ级分类 | Ⅱ级分类 | 含义 |
| 1.屋顶 |  | 住宅楼、办公楼、商场等建筑物屋顶面 |
| 2.道路 | 硬化道路 | 高速公路、国道、省道、县道等公路用地 |
| 非硬化道路 |
| 3.城市绿地 | 道路绿地 | 指有植被覆盖处 |
| 停车场绿地 |
| 其他绿地 |
| 4.水体 | 湖泊 | 地表水水域 |
| 河流 |
| 5.自然湿地 |  | 由湿地植物和水体覆盖的土地类型，包括内陆沼泽、湖泊湿地、河滩地、森林/灌丛湿地、泥炭沼泽、红树林和盐沼等 |
| 6.施工用地 |  | 指工程建设类用地 |
| 7.农田 | 水田 | 有水源保证和灌溉设施，在一般年景能正常灌溉 |
| 旱地 | 无灌溉水源及设施，靠天然降水生长作物的耕地 |
| 8.林地 |  | 生长乔木、灌木、竹类、果园以及沿海红树林地等林业用地 |
| 9.温室大棚 |  | 透光、保温或加温、用来栽培植物的设施 |

1）屋顶

屋顶主要是指住宅楼、办公楼、大型商场等建筑物的顶面，其在卫星影像中呈现块状分布且形状规则。

2）道路

道路分为硬化道路和非硬化道路，是指居民地以外的各种道路（包括护路林），如高速公路、国道、省道、县道等公路用地。其在卫星影像中呈现线状分布，呈深灰色或黑色，形状较为规则。

3）城市绿地

城市绿地主要指城市中有植被覆盖的地方，主要分为道路绿地、停车场绿地和其他绿地。道路绿地指城市道路两旁的绿化带和行道树，包括乔木、灌木等；停车场绿地主要指室外停车场周边的草地等植被；其他绿地则为公园绿地、小区绿地等。在真彩色显示的遥感影像中呈绿色或深绿色。

4）水体

水体包括天然地表水水域和水利设施用地，如湖泊、河流、水库及坑塘等。在遥感影像中，水体边界明显、表面均匀且纹理较细，呈深绿色或灰黑色（假彩色影像）。

5）自然湿地

自然湿地是指由湿地植物和水体覆盖的土地类型，包括内陆沼泽、湖泊湿地、河滩地、森林/灌丛湿地、泥炭沼泽、红树林和盐沼等。

6）施工用地

施工用地指工程建设类用地，主要包括建筑施工、道路施工和未动工用地等。

7）农田

农田包括水田和旱地。水田是指有水源保证和灌溉设施，在一般年景能正常灌溉，用以种植水稻，莲藕等水生农作物的耕地，包括实行水稻和旱地作物轮种的耕地，其在卫星影像中一般呈现淡绿色，收获后呈灰黑色，形状规则，边界明显。旱地包含3类：①无灌溉水源及设施，靠天然降水生长作物的耕地；②有水源和浇灌设施，在一般年景下能正常灌溉的旱作物耕地；③以种菜为主的耕地、正常轮作的休闲地和轮歇地。其在卫星影像中呈淡绿色，收获后呈亮白或亮粉色，形状规则，边界明显。

8）林地

林地指的是连续面积大于0.067公顷、郁闭度0.20以上、附着有森林植被的土地，包括乔木林、红树林、灌木林、竹林和果园等。其在卫星影像中呈片状或带状，阔叶林鲜绿色，针叶林暗绿色，林地纹理较均一，灌木林则由于灌木种类不同略有粗糙感。

9）温室大棚

温室大棚是一种能透光、保温或加温、用来栽培植物的设施。在不适宜植物生长的季节，能提供温室生育期和增加产量，多用于低温季节喜温蔬菜、花卉、林木等植物栽培或育苗等。温室的类型较多，根据用途可分为种植温室、养殖温室、展览温室、实验温室、餐饮温室、娱乐温室等。其在卫星影像中一般呈规则矩形形状。

（4）技术流程：针对城市下垫面特点，基于面向对象图像分类、深度学习分类技术，实现基于高分辨率遥感影像的城市下垫面的自动分类和类别提取。

主要技术流程如图4.1所示。在分类前，需对遥感影像进行几何配准、辐射定标、几何校正等预处理工作，使其满足图像分类的要求。分类识别可基于多种分类模式，或多分类集成模式实现。基于样本的监督分类通过面向对象图像分类或深度学习分类技术实现。基于知识规则的分类，通过对待分类影像构建知识规则集，实现对影像的直接分类或对监督分类的进一步精化处理。

采用面向对象图像分类，首先对遥感影像进行图像分割获取对象基元，并根据城市面源下垫面分类体系进行不同类别样本的采集，选定分类特征，建立分类模型开展分类。分类也可通过对对象基元构建知识规则集的方式实现。采用深度学习技术进行图像分类，是在类别样本采集的基础上，训练神经网络分类模型并完成图像分类。分类完成后，对地物提取结果进行结果检验、精度评价。根据自动分类的质量，补充人工修订等分类后处理操作，并根据其用途制作专题地图。



图4.1 面向城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术流程

（5）质量控制：依据本指南提供的对监测数据及解译数据的质量保证及控制措施做了具体规定。

（6）评价方法：把分类图与指南数据（图件或地面实测调查）进行比较，然后用正确分类的百分比来表示分类精度。实际工作中，多采用抽样方式以部分分割斑块或部分类别代替整幅图像来进行精度分析。

## 主要技术步骤

### 4.2.1遥感数据选择

选取空间分辨率在米级分辨率高空间分辨率卫星遥感影像数据。遥感影像数据至少覆盖提取城市90%以上面积；在提取城市内，基本无云覆盖。水陆掩膜、云掩膜及观测几何条件等辅助数据坐标系及投影应与遥感影像数据保持一致。

### 4.2.2数据预处理

针对面向面源的城市下垫面遥感提取的遥感数据预处理主要包括：空间裁剪或拼接、几何校正、辐射校正、影像融合，均可以利用成熟的商业遥感软件（例如ENVI、ERDAS、PCI等）专门的功能模块进行。

一般来说，如果城市下垫面提取范围小于选择的遥感影像覆盖区域，需要进行空间裁剪，以利于后续数据的处理效率。在不影响空间制图和尽可能裁剪区域成较小范围的原则下，依据待提取城市区域的左上角和右下角经纬度，对所选取的遥感影像进行空间裁剪，范围要略大于城市区域，空间裁剪有利于后续数据处理的效率。

如果待提取城市大于所选择的遥感影像覆盖区域，通过相邻的多幅遥感影像拼接后可以包含待提取城市，则需要进行空间拼接处理，以保证待提取城市对象的完整性。图像拼接就是通过对相邻影像图的无缝拼接处理，把这些影像图相互间的重叠部分去掉，从而为在逻辑上将这些影像图整合成覆盖区域的一幅影像图创造条件。具体图像拼接方法可参考《生态环境遥感监测技术》（中国环境出版社，2013）关于图像镶嵌部分描述。

几何精校正和空间投影转换保证城市下垫面获取位置的几何准确度，也可为后续连续多时向城市下垫面提取提供相互匹配条件。根据目前业务需求和几何校正的普遍技术水准，基于参考影像或空间几何信息，开展几何精校正和空间投影转换，精度控制在1个像元内可以满足面向面源的城市下垫面遥感提取需求。具体几何校正方法可参考《生态环境遥感监测技术》（中国环境出版社，2013）关于几何校正部分描述。

辐射定标，主要还是利用卫星遥感数据头文件提供的辐射定标系数，将各个波段的灰度值（digital number，DN）转换为各个波段的表观辐亮度值，其公式为：

 （1）

式中，L为表观辐亮度；DN为灰度值；b为偏移量；g为绝对定标系数增益。

要注意的是，卫星遥感的辐射定标系数随着时间会有改变。辐射校正公式参考《航天光学遥感器辐射定标原理与方法》（科学出版社2013，顾行发等编著）。

采用高空间分辨率的全色影像和对应低空间分辨率的多光谱影像进行融合，数据源如GF1、GF2、ZY3、WorldView和Geoeye等影像。影像融合将这些多源信道采集的在空间、时间、波谱上冗余或互补的遥感数据按照一定规则或算法进行运算处理，突出有用的专题信息，消除抑制无关信息。应根据实际需要和融合目的选择合适的融合方法，按照各种方法的原理和步骤进行。在融合过程中每一步变换都有一系列的参数要确定和选择，这些参数会影响最后的融合效果，因此一种融合算法也需要进行多次试验，同时不同融合方法之间也需要进行对比，之后才可以确定最适当的融合方法以及融合时选择怎样的参数。具体影像融合方法可参考《生态环境遥感监测技术》（中国环境出版社，2013）关于影像融合部分描述。

### 4.2.3图像分割

选择合适分割方法，将遥感图像划分为内部具有均质性的斑块，即对象基元，并提取图像特征。

以常见多精度分割算法为例，首先设置参数，包括面积尺度、形状因子权值和紧凑度权值。从一个单个像元开始，分别与其邻居进行计算，以降低最终结果的异质性，当一轮合并结束后，以上一轮生成的对象为基本单元，继续分别与它的邻居对象进行计算，这一过程将一直持续到在用户指定的尺度上已经不能再进行任何对象的合并为止，并采用局部相互最适应准则来保证每次合并的结果是所有可能合并方案中异质度最小。在实际应用当中，要通过设置分割尺度参数来定义异质度的阈值，在阈值内的就合并，异质度超过阈值就不能合并，所以需要根据不同的分类目标选择合适的参数，以得到合理的分割结果。

在异质度合并准则中，参数选择分割结果有着重要的影响，其中主要的影响参数有以下几个：

1) 分割尺度

分割尺度是一个关于多边形对象异质性的阈值，决定生成最小影像对象的大小，分割尺度越大，所生成对象层的多边形面积越大但数量越少，反之亦然。同时，分割尺度还能直接影响影像信息提取的精度，对于确定地物要素，最优分割尺度值是分割后的多边形能将此类地物类型的轮廓显示勾勒清楚，并能用一个或几个对象表示出这种地物。

2) 波段权重

它是影响分割结果的重要因素之一，取值在［0，1］之间。某波段的权重越高，表示分割过程中该波段信息使用的较多，应根据不同的波段对处理目的影响程度设置权重因子。

3) 均质性因子

包括光谱与形状因子。通常情况下，光谱因子最为重要，因为光谱信息是影像中所包含的重要数据，同时形状信息有助于避免分割过程中造成影像对象形状的不完整，光谱信息用于完善具有光滑边界的影像对象，紧凑度用于根据较小的对象差异性，依据紧凑度目标把不紧凑的目标区域分开。因此，分割时一般要遵循两个原则: ①尽可能设置较大的光谱权值；②对那些边界不太光滑但聚集度较高的影像应尽可能减少形状因子的权重或不要形状因子。

### 4.2.4训练样本采集

训练样本可以在分割图斑上采集，也可直接在图像上采用ROI的方式采集，或外部数据源导入方式。采集分类类别所需样本，需要保证样本质量、一定数量，以及不同类别的样本量的均衡性。

训练样本选择的原则包括：

1） 训练样本必须具有典型性和代表性，即所含类型应与研究地域所要区分的类型一致。

2）使用的外部数据源应与图像保持时间和空间上的一致，以便于确定图像与外部数据 源的对应关系。

3）训练样本确定后可通过直方图来分析样本的分布规律和可分性。一般要求单个类训练样本的直方图是单峰，近似于正态分布的曲线。

4）在具体分类时，要根据对工作地区的了解程度和图像本身的情况来确定样本数量。

### 4.2.5深度学习模型训练

通过采集的训练样本对监督分类模型进行训练。对于深度学习等神经网络方法，可以选择从头训练或增量训练方式，并对基础学习率，最大迭代次数，权重衰减项等基本参数进行调参。

将带标签样本集分为训练数据集和测试数据集，其划分比例为4:1，供模型训练使用；模型训练的目标通常用损失函数最小来表示，损失函数度量的是预测值与真实值之间的差异，损失函数为：

其中代表了预测值，代表了真实值。

在最小化损失函数时，可以通过梯度下降法来一步步的迭代求解，得到最小化的损失函数和模型参数，梯度下降法的计算公式为：

其中表示学习率，是关于的一个函数，点为当前所处位置，为梯度方向，减去它即前进方向为梯度的反方向，通过学习率的步长，得到了点。

利用测试数据集对训练模型进行测试，即得到模型的训练精度（Accuracy），其计算公式为：

其中表示测试数据的总数量，表示测试数据中分类属性与标签一致的数量。

### 4.2.6特征选取

从对象基元的特征集合中挑选、变换、派生出分类区域所适用的特征参与分类，如对象基元光谱、形状、纹理、空间关系等。如采用深度学习新型分类模型，可省略该步骤。

主要特征包括：1）光谱统计特征：区域（segments）或目标的平均光谱值或方差等统计量；2）形状特征：面积和周长、主轴方向等等；对于形状特征，重点研究能够表达基元大小不变性及旋转不变性的参数表示方法（如特征矩算子），可采用傅立叶描述子或边界矩描述子、转折函数等进行表达；3）纹理特征：是对图像或其中小块的空间颜色分布和光强分布的统计，可采用LBP（local binary patterns）或者灰度共生矩阵进行表达；34）空间关系：主要是建立基元之间空间拓扑关系，包括横向空间关系和纵向的空间尺度转换关系。

1）面积、周长

面积(A)主要指一个对象包含像素的个数，可以简单使用种子填充算法实现，它在一定程度上可以区分大小物体。周长(C)可以通过在进行轮廓跟踪算法的同时计数的方法实现。

2）矩形度R

矩形度(R)是指用目标图像的面积和包围该图像的最小的矩形面积之比作为目标矩形度的一种度量参数。即：

 （2）

其中，A是物体的面积，是物体外接矩形的面积，矩形度反应了物体对其外接矩形的填充程度。对矩形物体R取最大值1，对纤细物体R取较小值，对圆形物体R取值为π/4。

3）长宽比r

长宽比是外接矩形MER的宽与长的比值。即

 （3）

长宽比可以将纤细物体与方形或者圆形物体区分开来。一般物体越细长，r值越大，而圆形物体或者形状接近正方形的物体其长宽比较小为1。

4）圆形度C

圆形度用来刻画物体边界的复杂程度，它们在圆形边界时取最小值。最常用的圆形度是周长的平方与面积的比。即：

 （4）

对于圆形物体C取最小值4π，而越复杂物体C取值越大

5）形状指数s

形状指数用来描述图像对象边的平滑度。公式为

 （5）

式中：A为一个图像对象的面积，e指一个图像对象与其他图像对象所共用的边数之和，或指在整幅图像中处于边缘的边数之和。

### 4.2.7深度学习分类

采用特定分类算法对待分类区域的所有对象基元进行分类判别，初步获取所需下垫面类别。深度学习分类输出的是每个分类图像的属性以及分成该属性的概率值，通过激活函数Softmax函数得到概率，该函数用于多分类过程中，将多个神经元的输出映射到（0,1）区间内，函数表达式为：

其中i表示数组中的第i个元素，j表示数组中的第j个元素。

在最后选取输出结点的时候，选取概率最大的结点作为预测目标，即选择最大概率值所对应的属性作为该图像的类别。

### 4.2.8规则分类

分类规则可以根据特定地物的特定分布规律、空间组合关系等，建立特定规则。通过不同分类规则的层间传递，使得分类规则的建立不仅可以利用本层对象信息，也可以利用比本层高或低的其他层次的对象信息。

在设置类别提取规则时，首先确定规则适用对象和范围，然后找到合适的特征阈值，最后设置分类规则并执行。规则的形式包括“某特征值<阈值”或者“某特征值>阈值”或者“阈值1<某特征值<阈值2”。一个单一的规则能使一个具体的算法应用到一个具体特定的区域，条件信息为选择特定区域的分类提供了很好的语义信息。如对于水体类别，水对象斑块的亮度较暗，并且近红外波段值较低，设置水体亮度阈值与近红外波段阈值，然后定义规则“斑块的亮度均值<水体亮度阈值”和“斑块的近红外波段均值<水体近红外波段阈值”。最后执行规则，把满足规则的斑块作为水体的分类结果。对于深度学习的一级分类结果，同样可以使用规则分类作进一步精化处理。如对于一些水体斑块误分为道路的情况，这里可以利用类相关特征把它们重新分类为水体。由于道路与水体一般没有过长的共同边界，因此可以先找到一个合适阈值，如0.2，并针对道路斑块设定相应规则“与水体斑块的共同边界线<0.2”。最后执行规则，把满足规则的所有道路斑块修正为水体。

### 4.2.9分类后处理

为了保证分类结果的可读性，碎斑处理是一个非常重要的分类后处理工作，需要对分类结果中的“分类噪声”进行滤波处理。利用地物类别分布的空间关系，将分类图中过于孤立的类别像素去除，或把它们归并到周围较为连续的类别中去。

对于非监督分类，由于事先不知道实际有多少地物类，在策略上总是先分出较多类，然后对照实际情况或根据已有知识，确定最后需要的类别。因此，需要将某些光谱上不同的类合并为一个地物类。监督分类虽然知道实际有哪些地物类，但同物异谱现象产生的错误分类同样需要类别合并。

分类结果统计是图像分类中必不可少的内容，包括各类在各波段的平均值、标准差、最低值、最高值、协方差矩阵、相关系数矩阵、特征值、各类的像素数和占像素数的百分比、精度检验等。根据这些统计参数可以绘制各类的光谱曲线，计算相应的植被指数等，有助于进一步确定分类结果的可靠性。

分类后，类间可分离性是类间相似性的一个重要量度，可用各类之间的距离矩阵来表示。利用距离矩阵进行系统聚类，可以帮助确定各类之间的关系，建立分类体系。

### 4.2.10结果检验

把分类图与标准数据（图件或地面实测调查，如第三次全国土地调查数据、航空影像等）进行比较，然后用正确分类的百分比来表示分类精度。主要评价方法包括混淆矩阵、总体分类精度和Kappa系数，具体计算方式见5.3.2节。此外，实际工作中，多采用抽样方式以部分分割斑块或部分类别代替整幅图像来进行精度分析，如在参考数据中随机选取一定数量的检验点，通过检验点的类别（城市下垫面类型）计算提取结果的总体精度。

### 4.2.11结果输出

对分类记过进行矢量化处理，形成分类成果图。根据需要和用途，设置投影、比例尺、地图图例等，制作专题图。

## 提取精度评价方法

### 4.3.1评价指标

城市面源的下垫面遥感分类精度由混淆矩阵、总体分类精度和Kappa系数来衡量。具体地物提取精度则为影像中正确提取的像素与该地物总像素的比率。

### 4.3.2评价方法

定性评价与定量评价方法。定性评价即由经验人员通过目视直接观察，对分类或提取结果进行评估。定量方法通过混淆矩阵（Confusion Matrix，CM）、总体分类精度（Overall Accuracy，OA）和Kappa系数来表示。

（1）混淆矩阵（CM）

混淆矩阵是对整体影像分类结果进行精度评价的一种标准方式，也被称为误差矩阵。它根据真实地表及训练样本的空间相关性，将分类结果的每一种地物类别分别计算出正确分类、错误分类和漏分的样本数量及其所占的百分比，统计并显示在一个*n*行*n*列的矩阵中。一般的表示形式为：

  (3-12)

式中，*CM*表示一个*n*行*n*列的混淆矩阵，*n*代表类别数量，表示第类地物被划分到第*j*类中的像元数量。混淆矩阵中主对角线上的数字表示相应地物正确分类的像元数，其值越大，则表明分类结果精度越高；反之，数值越小，则表明影像中被错分和漏分的地物较多，分类精度就越低。

（2）总体分类精度（OA）

总体分类精度即被正确分类的像元总数占总像元数的比率，一般用百分数来表示。混淆矩阵主对角线上的数值总和表示被正确分类的像元总数，总像元数为影像中所有参与评价的像元总数，其公式定义如下：

  (3-13)

式中，*n*为类别数量，表示第类地物被正确分类的像素数，*N*为用于精度评估的测试样本中的总像元数。

（3）Kappa系数

Kappa系数是用来判定两幅图像之间吻合程度或精度的指标。它通过将测试样本中的总像素数乘以正确分类的总像素数，再减去某类位于混淆矩阵中所在行列上的总像素数，然后除以总像素数的平方减去某类位于混淆矩阵中所在行列上的总像素数。其公式定义为：

  (3-14)

式中，*N*为用于精度评价的测试样本中的总像素数，*n*为类别数量，*X*(*i*, *i*) 表示第类地物正确分类的像素数，*Xi*,: 和*X*:,*i*分别表示混淆矩阵中第行和第列上的像素数。Kappa系数与总体分类精度的区别在于总体精度只利用对角线上正确分类的像元数量参与计算，而Kappa系数不仅考虑了被正确分类的像元，还考虑了各种被错分与漏分的像元，能更全面地反映影像分类结果的好坏。该值越高，说明影像的分类结果越好

# 与相关标准的关系分析

本标准内容引用了下列文件或其中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 14950-2009 摄影测量与遥感术语

CJJ/T 100-2017 城市基础地理信息系统技术标准

GB/T 21010-2017 土地利用现状分类

# 采用国际标准的程度及水平说明

城市面源污染的城市下垫面遥感信息提取技术指南的核心首先是建立相应的下垫面覆盖类型的遥感分类体系。从国内外范围来看，均没有专门针对城市下垫面遥感提取的分类标准体系。

在国内方面，可参考的分类体系为国情监测指南和土地利用现状分类的相关指南。它们包括[7-11]：

《中华人民共和国土地管理法》：将“农用地、建设用地、未利用地”定为土地三大类型。

国家《土地利用现状分类》（GB/T 21010-2017）规定：“耕地、园地、林地、草地、商服用地、水域及水利设施用地、工矿仓储、住宅用地、公共管理与公共服务用地、交通运输用地、特殊用地、其他用地”属于一级地类。“水田、水浇地、旱地、果园、茶园、橡胶园、其他园地、乔木林地、竹林地、红树林地、森林沼泽、灌木林地、其他林地、天然牧草场、沼泽草地、人工牧草地、其他草地、零售商业用地、批发市场用地、餐饮用地、旅馆用地、商务金融用地、娱乐用地、其他商服用地、工业用地、采矿用地、盐田、仓储用地、城镇住宅用地、农村住宅用地、机关团体用地、新闻出版用地、教育用地、科研用地、医疗卫生用地、社会福利用地、文化设施用地、体育用地、公用设施用地、公园与绿地、军事设施用地、使领馆用地、监教场所用地、宗教用地、殡葬用地、风景名胜设施用地、铁路用地、轨道交通用地、公路用地、城镇村道路用地、交通服务场站用地、农村道路、机场用地、港口码头用地、管道运输用地、河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、沿海滩涂、内陆滩涂、沟渠、沼泽地、水工建筑用地、冰川及永久积雪、空闲地、设施农用地、田坎、盐碱地、沙地、裸土地、裸岩石砾地”属于二级地类。

国家《基础地理信息数字产品土地覆盖图》（CH/T 1012-2005）规定：“耕地、林地、园地、草地、水域、建成区、未利用地、湿地”为一级地类。“水田、旱地、有林地、灌木林地、其他林地、水体、冰川和永久积雪、海涂、滩涂、沙地、戈壁、盐碱地、裸土地、其他用地”为二级地类。

国家《城镇土地分等定级规程》（GB/T 18507-2001）：规定了具体的权重计算公式来划分“商服用地、交通用地、公共管理与公共服务用地、基本设施用地”的具体类别。

国家《城市用地分类与规划建设用地标准》（GB 50137-2011）：根据人口占比与规划建设对“居住用地、非建设用地、公共管理与公共服务用地、商业服务设施用地、工业用地、物流仓储用地、交通设施用地、绿地”进行详细定义与划分。

国家《第三次全国土地调查总体方案》调查了“全国耕地、园地、林地、草地、商服、工矿仓储、住宅、公共管理与公共服务、交通运输、水域及水利设施用地等地类分布及利用状况”。

城市地理国情监测数据将城市区域划分为：“低矮房屋建筑区、多层及高层房屋建筑区、风景名胜区、旅游区、旱地、水田、天然牧草地、人工牧草地、果园、花圃、灌木、乔木、露天采掘场、其他人工采掘场、公路、铁路、水域、荒草地、盐碱地、沙地、裸地、其他构筑物”。

从世界范围来看，许多国家和组织都开展了国土资源调查方面的项目或工程，对于指南制定具有一定借鉴意义的包括[12-15]：

美国联邦地理数据委员会(FGDC)成立地表覆盖工作组以土地功能作为分类的主要依据制定地表覆盖分类标准(ECCS)，将土地利用与土地覆盖分类划分为已利用土地、耕地、草地、林地、水域、湿地、裸地、苔原冻土地、冰雪覆盖地和其他用地。

美国地质调查局(USGS)在Digital Line Graph and Quadrangle Maps 标准系列包含建成区、水系、交通运输、地形、地表非植被覆盖与植被覆盖等标准，规定相关内容分类和描述方式(针对每项监测都有具体的标准，例如针对地表覆盖)。

欧盟在欧洲空间信息共享基础设施(INSPIRE)指令中规定土地覆盖类型包含：人工地表（如城市建筑区、工业区、商业区、交通区、矿山、人工的非农业种植区等）、农业区域、森林覆盖、半自然区域（如灌木丛、草本植物、森林混合区）、沼泽、水体、湿地、永久积雪和冰冻地等。

以上国家现行法规和标准只是规定了广义的土地利用（覆盖）的分类体系，但未具体针对遥感影像土地利用分类和典型地物提取的技术实施流程制定专门的技术指南，关于面向城市面源污染的城市下垫面遥感提取的相关技术规范则更处在空白阶段。然而，利用遥感分类等技术手段，实现城市下垫面遥感提取的相关研究较多，部分研究将其应用到城市面源污染。根据下垫面遥感提取研究的所采用的主要技术，可将其大致区分为传统基于像素的分类与信息提取技术、面向对象的遥感分析技术，以及目前较为新型的基于深度学习的遥感分类技术。为此，《指南》编制组对相关研究进行了分类综合，对所采用的数据源、分类体系、技术方法进行分析，以期建立规范、通用性的技术流程，并为正式标准规范的最终建立奠定技术基础。

# 重大分歧或重难点的处理经过和依据

指南在制定过程中严格遵照相关行业通用标准，采用标准化流程，因此在编制“指南”中无重大意见分歧。指南制定过程中的技术难点是确定满足城市下垫面提取精度的分割识别算法和确定符合实际典型下垫面类型分类体系。

# 8 贯彻措施及预期效果

本指南为现阶段城市面源的典型城市下垫面遥感提取技术指南，建议各地综合考虑实际情况进行实施。建议指南发布实施后，根据实施情况及下垫面提取方法与评价的技术发展情况适时对本指南进行修订，同步加强相关科学研究。

本指南执行过程中，建议各地根据获取数据的分辨率和实地情况考虑分类体系的详细程度，对于超高分辨率遥感影像可以进一步细化，而对于高分辨率影像则可以根据指南的分类体系进行实施；建议在进行提取结果评价时，尽量选取实时性高的数据进行精度评价分析。

举行标准宣贯会，以满足相关单位企业学习理解、应用实施新标准的行业需求。满足相关单位企业学习理解、应用实施新标准的行业需求。

# 9 其他应说明的事项

无

# 参考文献

1. 夏亚茜,方一帆,李立.国外卫星遥感应用标准情况综述[J].卫星应用,2014(7):34-38.
2. GB/T 30115-2013,卫星遥感影像植被指数产品规范[S].北京:中国标准出版社,2013.
3. GB/T 34514-2017,陆地观测卫星遥感数据分发与用户服务要求[S].北京:中国标准出版社,2017.
4. GB/T 35642-2017,1:25000 1:50000光学遥感测绘卫星影像产品[S].北京:中国标准出版社,2017.
5. 唐华俊,周清波,姚艳敏,等.农业空间信息标准与规范 [M].北京:中国农业出版社,2016.
6. 周月敏, 周翔. 中国高分辨率对地观测系统共性应用技术规范体系框架研究[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(9):1298-1305.
7. GB/T 21010-2017, 土地利用现状分类[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
8. GB/T 18507-2001, 城镇土地分等定级规程[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
9. GB 50137-2011, 城市用地分类与规划建设用地标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
10. 第三次全国土地调查总体方案, 2018.
11. CH/T 1012-2005, 基础地理信息数字产品 土地覆盖图[S]. 北京:中国标准出社,2005.
12. 乔朝飞. 国外地理国情监测概况与启示[J]. 测绘通报, 2011(11):81-83.
13. 张静, 郭玉芳. 地理国情监测中地表覆盖分类体系研究[J]. 测绘标准化, 2012(3):8-10.
14. 张静, 兀伟, 郭玉芳等. 国内外地理国情监测相关标准分析与思考[J]. 测绘与空间地理信息, 2014(1):168-171.
15. 耿爱君, 许晖. 欧洲空间信息基础设施综述[J]. 测绘标准化, 2010(4):35-40.
16. 黄露, 黄海. 基于监督分类的土地利用遥感影像提取方法研究——以甘肃省庆阳市为例[J]. 技术与市场, 2017(4).
17. 周兴东, 于胜文, 王志勇等. 徐州市遥感图像土地利用分类方法研究[J]. 中国水土保持, 2007(4):57-58.
18. 陈健飞, 林征, 陈颖彪. 基于高光谱线性混合光谱分解识别人工地物[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009, 17(2):206-218.
19. 陶伟. 基于Hyperion高光谱数据的城市地物识别与分类研究[D]. 浙江大学, 2013.
20. Li-gang MA,Jin-song DENG,Huai YANG,Yang HONG,Ke WANG. Urban landscape classification using Chinese advanced high-resolution satellite imagery and an object-oriented multi-variable model[J].Journal of Zhejiang University-Science C(Computers &amp; Electronics),2015,16(03):238-249.
21. N. Xiaogang, Z. Jixian and C. Zhiyong, "Object-based city land cover classification and change analysis with multi-temporal high resolution remote sensing images in Jiangyin," Joint Urban Remote Sensing Event 2013, Sao Paulo, 2013, pp. 107-110.
22. S. Georganos, T. Grippa, S. Vanhuysse, M. Lennert, M. Shimoni and E. Wolff, "Very High Resolution Object-Based Land Use–Land Cover Urban Classification Using Extreme Gradient Boosting," in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 15, no. 4, pp. 607-611, April 2018.
23. 张春华,李修楠,吴孟泉,秦伟山,张筠.基于Landsat 8 OLI数据与面向对象分类的昆嵛山地区土地覆盖信息提取[J].地理科学,2018,38(11):1904-1913.
24. 戴莉莉,李海涛,顾海燕,余凡.特征优选下的遥感影像面向对象分类规则构建[J/OL].测绘科学:1-11[2019-01-06].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4415.P.20180626.1402.018.html.
25. Zhao W , Du S , Emery W J . Object-Based Convolutional Neural Network for High-Resolution Imagery Classification[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2017:1-11.
26. Zhao, Wenzhi , S. Du , and W. J. Emery . "Object-Based Convolutional Neural Network for High-Resolution Imagery Classification." IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (2017):1-11.
27. Huang, B (Huang, Bo);Zhao, B (Zhao, Bei);Song, YM (Song, Yimeng).Urban land-use mapping using a deep convolutional neural network with high spatial resolution multispectral remote sensing imagery[J].Remote Sensing of Environment.2018：73-86.
28. 邵振峰, 张源, 黄昕, 朱秀丽, 吴亮, & 万波. (2018). 基于多源高分辨率遥感影像的2 m不透水面一张图提取. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 1909-1915.
29. H. Zeng, D. Zheng, S. Yang, X. Wang, Y. Gao and Z. Fu, "RS & GIS based assessment of adsorptive non-point source pollution in eucalyptus and rubber plantation at the water source area of Hainan," 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Cape Town, 2009, pp. III-152-III-155.
30. 王军霞,罗彬,陈敏敏,解淑艳,唐桂刚,李纳,吴鸿霁,罗晓慧.城市面源污染特征及排放负荷研究——以内江市为例[J].生态环境学报,2014,23(01):151-156.
31. 陈德坤,秦华鹏,徐宏亮,张香丽.城市屋面与路面的遥感提取及污染物累积分析[J].环境科学与技术,2017,40(02):91-97.
32. 韦玉春, 汤国安, 汪闽等, 遥感数字图像处理教程（第二版）. 2014: 科学出版社.
33. 环境保护部卫星环境应用中心, 中国环境监测总站. 生态环境遥感监测技术. 2013: 中国环境出版社.
34. 顾行发等, 航天光学遥感器辐射定标原理与方法. 2013: 科学出版社.