

海域大型藻类卫星遥感监测技术导则

Technical Guidelines for Satellite Remote Sensing Monitoring of
Macroalgae in Sea Area

（征求意见稿）

本草案完成时间：2026.7.10

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

 4.1 监测目的 2

 4.2 基本原则 2

 4.3 监测内容 2

 4.4 监测范围 2

 4.5 监测时段与频次 2

 4.6 数学基础 3

5 卫星数据获取 3

 5.1 数据选取原则 3

 5.2 光学卫星数据要求 3

 5.3 SAR 卫星数据要求 3

 5.4 辅助数据要求 4

6 卫星数据预处理 4

 6.1 光学卫星数据预处理 4

 6.2 SAR 卫星数据预处理 4

7 大型藻类信息提取 4

 7.1 影像掩膜 4

 7.2 光学遥感自动提取 5

 7.3 SAR 遥感自动提取 5

 7.4 人工修正 6

8 指标计算 6

 8.1 覆盖面积计算 6

 8.2 分布面积计算 6

 8.3 聚集度计算 6

 8.4 发生频次计算 6

9 专题图制作 7

 9.1 影像专题图 7

 9.2 监测专题图 7

 9.3 专题图配色与符号要求 7

 9.4 命名与格式 7

10 监测报告编制 8

 10.1 报告内容 8

10.2 命名规则 8

附录 A （资料性） 常用光学卫星数据参数..... 9

附录 B （资料性） 常用 SAR 卫星数据参数..... 11

附录 C （资料性） 常用光学卫星数据预处理技术与方法..... 12

附录 D （资料性） 常用 SAR 卫星数据预处理技术与方法..... 14

附录 E （资料性） 大型藻类信息提取常用方法..... 15

附录 F （资料性） 专题图制图示例..... 18

参 考 文 献..... 22

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》给出的规则起草。

本文件由江苏省地质调查研究院提出。

本文件由江苏省自然资源标准化技术委员会（JS/TC54）归口。

本文件起草单位：江苏省地质调查研究院、国家卫星海洋应用中心。

本文件主要起草人：詹雅婷、王玉军、朱叶飞、宋珂、王晓辉、赵立鸿、苏一鸣、戎 欣、王 鹏、
屈 帅、许应石、杭亮、胥超、薛文勇、徐朱、张亚玲、秦学红、徐莹、郭茂华。

海域大型藻类卫星遥感监测技术导则

1 范围

本文件规定了江苏海域大型漂浮藻类的光学与SAR卫星遥感监测范围、内容、数据要求、监测技术与方法、专题图制作及监测报告编写等内容。

本文件适用于江苏海域大型藻类卫星遥感业务化监测工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

HY/T 0331 绿潮生态调查与监测技术规范

HY/T 217 绿潮预报和警报发布

T/YH 1029.6 卫星遥感产品星地验证规范 第6部分：后向散射系数

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 浒苔绿潮 *Ulva prolifera green tide*

以浒苔为优势种，在适宜环境条件下爆发性增殖或大量聚集，形成海面大规模漂浮的绿色藻类现象，对海洋生态环境造成异常影响甚至引发灾害，在江苏海域主要发生于夏季及前后。

[来源：HY/T 0311-2022，3.1，有修改]

3.2 马尾藻金潮 *Sargassum golden tide*

以马尾藻属褐藻为优势种，在适宜环境条件下爆发性增殖或大量聚集，形成海面大规模漂浮的黄褐色藻类现象，对海洋生态环境造成异常，在江苏海域主要发生于冬季至次年春季。

3.3 大型藻类 *macroalgae*

海洋中个体较大、肉眼可见的多细胞藻类，本文件特指江苏海域范围引发海洋生态环境问题的浒苔和马尾藻。

3.4 覆盖面积 *coverage area*

大型藻类覆盖海洋表面的面积。

[来源：HY/T 217-2017，2.1，有修改]

3.5 分布面积 **distribution area**

大型藻类分布区域最外缘包络线所围合的海域面积，反映藻类分布的空间范围。

[来源：HY/T 217-2017，2.1，有修改]

3.6 聚集度 **aggregation degree**

大型藻类覆盖面积与分布面积的比值，表征大型藻类在海面的聚集程度。

3.7 后向散射系数 **backscattering coefficient**

合成孔径雷达（SAR）入射方向目标单位截面积的雷达反射率，或目标单位面积的平均雷达散射截面，表征海面目标与背景水体的微波散射强度。

[来源：T/YH 1029.6-2024，3.3，有修改]

4 总体要求

4.1 监测目的

通过光学和SAR卫星遥感技术获取江苏海域大型藻类的位置分布及面积等信息，为江苏海洋生态的灾害预警、应急响应和生态评估提供信息支撑。

4.2 基本原则

监测工作遵循以下原则：

- a) 科学性：采用成熟、可靠的监测技术方法，保证监测结果客观准确；
- b) 规范性：执行统一的技术流程和成果表达要求，确保结果具有一致性、可比性和可追溯性；
- c) 时效性：在满足精度要求前提下快速形成监测成果，满足业务化应用需求；
- d) 适用性：监测技术方法应充分考虑江苏海域的环境特征与大型藻类的生物特性，从而保证监测结果的真实有效。

4.3 监测内容

采用光学卫星或SAR卫星影像数据，监测大型藻类的分布位置、覆盖面积、分布面积、聚集度与发生频次。

4.4 监测范围

江苏管辖海域及外侧海域，地理范围为31° 00′ N～35° 08′ N、119° 00′ E～122° 00′ E，其中北侧边界为苏鲁海域分界线。

4.5 监测时段与频次

浒苔绿潮监测时段为每年4月至8月，常规监测频次原则上为每日一次，以可获取的有效卫星影像为准。在大型藻类高发期或快速扩展期，应结合影像获取情况、实际需求和浒苔绿潮的发展态势进行加密监测。

马尾藻金潮监测时段为每年11月至次年6月，监测频次原则上为每日一次，以可获取的有效卫星影像为准。

4.6 数学基础

监测工作中的数据几何处理、空间定位与面积量算等环节应统一采用以下数学基础，确保成果的一致性与可比性。

- a) 坐标系统：2000国家大地坐标系；
- b) 比例尺：卫星影像空间分辨率50m~250 m的，比例尺不低于1:1 000 000；空间分辨率10m~50 m的，比例尺不低于1:500 000；空间分辨率优于10 m的，比例尺不低于1:200 000；
- c) 投影方式：高斯-克吕格投影。比例尺小于或等于1:500 000时采用6度分带；比例尺大于1:500 000时采用3度分带。中央经线根据监测范围所处投影带确定。

5 卫星数据获取

5.1 数据选取原则

综合考虑云层覆盖情况、业务需要、影像拍摄情况等因素，选择适宜的光学或SAR卫星影像。光学卫星影像优先作为数据源，当光学卫星数据因云雨天气等原因无法获取时，应优先采用同期SAR数据作为替代。全域卫星监测宜采用30 m~100 m分辨率卫星影像、补充100 m~500 m低分辨率影像；针对重点海域采用优于30 m分辨率的卫星影像。

5.2 光学卫星数据要求

- a) 光学卫星数据应至少包含红绿蓝（RGB）波段与近红外（NIR）波段；
- b) 优先选用云量少于20%、覆盖完整、辐射质量合格的影像；若云量较高但监测目标区清晰可辨，应在成果中说明有效观测范围；
- c) 全域常规监测中宜选用30m~100m分辨率影像；重点海域根据任务需求选用优于30m分辨率影像。

常用光学卫星数据参数见附录A。

5.3 SAR 卫星数据要求

- a) 频段宜采用C波段、L波段或X波段成像；
- b) SAR极化包括同极化（VV、HH）与交叉极化（VH、HV），实际应用中应根据成像特征与海面状况选择适宜的极化方式与组合，优先选用全极化或双极化数据；

c) 全域常规监测中宜选用优于30 m分辨率影像；重点海域根据任务需求选用优于10m分辨率影像。常用SAR卫星数据参数见附录B。

5.4 辅助数据要求

- a) 基础地理数据：包括海岸线、行政区划、领海基线、领海线、主要岛屿等；
- b) 现场调查数据：包括船舶、无人机等现场调查数据，用于遥感提取结果的真实性检验，与卫星过境时间差原则上不宜超过2小时；
- c) 气象海洋环境数据：包括但不限于海面风场、海流、海浪、海表温度等，可来源于浮标观测、卫星反演产品及海洋再分析数据。

6 卫星数据预处理

6.1 光学卫星数据预处理

光学卫星数据预处理步骤包括：

- a) 辐射定标：将卫星影像数码值（DN）转换为大气顶辐射亮度或表观反射率；
- b) 大气校正：消除大气散射和吸收影响，获取海表反射率；
- c) 几何校正：消除影像几何畸变，平面定位精度优于2个像元；
- d) 云检测：识别并掩膜云覆盖区域，标记像元为云层。

常用光学卫星数据预处理方法见附录C，预处理内容可根据获取卫星数据的级别调整。

6.2 SAR 卫星数据预处理

SAR卫星数据预处理步骤包括：

- a) 辐射定标：将影像数码值转换为后向散射系数；
- b) 入射角归一化：将整幅影像或多时相影像的入射角归一化到参考入射角，消除因雷达入射角变化引起同类地物后向散射系数的差异；
- c) 几何校正：基于卫星数据自带的定位信息完成地理编码，并优先利用海岸线交点、岛屿边界、人工地物等稳定特征点进行几何精校正，平面定位精度优于2个像元；
- d) 斑点噪声抑制：采用滤波方法降低相干斑噪声，同时保持边缘信息。

常用SAR卫星数据预处理方法见附录D，预处理内容可根据获取卫星数据的级别调整。

7 大型藻类信息提取

7.1 影像掩膜

基于岸线数据生成陆地与岛屿掩膜，基于云检测结果生成云掩膜，合并掩膜后剔除陆地、岛屿及云覆盖区域，得到有效海域数据。

7.2 光学遥感自动提取

大型藻类自动提取方法主要包括指数阈值分割法、基于人工构建特征的监督分类方法和深度学习方法。光学遥感自动提取应根据影像质量、海况背景、监测目标和业务化运行要求，优先采用指数阈值分割法；在海况背景复杂、云雾干扰较强或需要提高自动化程度时，可采用机器学习等方法。

7.2.1 指数阈值分割法

基于完成大气校正后的反射率数据计算大型藻类指数，常用指数包括归一化植被指数（NDVI）、漂浮藻类指数（FAI）、差值植被指数（DVI）等。FAI仅适用于含短波红外（SWIR）波段的卫星数据。根据卫星影像的波段配置、空间分辨率等优选指数类型，指数阈值可采用经验阈值或自适应阈值确定，其中自适应阈值宜采用最大类间方差法等方法。

阈值设定应结合浒苔绿潮、马尾藻金潮卫星影像光谱特征、指数分布特征、背景水色和海况条件综合确定；对于近岸浑浊水体、薄云干扰或耀斑影响较明显的影像，宜采用更为严格的判别阈值或增加约束条件，并结合多时相或辅助信息进行修正。阈值分割结果应保留连续性较好的藻类斑块，并设置最小连通域面积阈值（一般取3~5个像元），剔除面积过小、形态异常或明显受噪声影响的孤立像元。

阈值分割完成后应利用假彩色合成影像、指数影像或其他多源数据进行解译精度评价。对于分割边界不清或受云影影响的区域，应在结果中注明较低可信度；当指数分割边界与影像目视判读边界存在明显偏移时，进行阈值调整。

7.2.2 机器学习法

机器学习法可采用基于人工构建特征的监督分类方法和深度学习方法。基于人工构建特征的监督分类方法可采用支持向量机、随机森林、决策树等，输入特征可包括波段反射率、藻类指数、纹理特征和局部统计特征。

深度学习方法可直接利用多光谱、多时相或多源融合影像样本进行特征自动提取与分类分割，适用于复杂背景下的浒苔绿潮与马尾藻金潮识别及云、云影等干扰目标的剔除。深度学习方法应根据任务需求选择分类、检测或分割模型，输入样本应包含目标区域及其对应标注信息，样本类别宜包括浒苔绿潮、马尾藻金潮、海水、云、云影和船舶等典型目标。训练样本应具有代表性，并覆盖不同藻类聚集密度、水色背景和成像条件；模型训练后应通过独立验证样本进行精度评估，评价指标包括准确率、召回率、F1分数等，评价结果应满足监测业务需求。必要时可采用无监督聚类方法进行候选区识别或样本辅助。

7.3 SAR 遥感自动提取

SAR遥感自动提取宜基于浒苔绿潮、马尾藻金潮与海水表面后向散射系数差异，采用阈值分割法进行识别。经预处理后的后向散射系数影像，可结合影像直方图分布、经验阈值或自适应阈值实现藻类与海水分割。对于海况较稳定、背景较均一的影像，可采用全局阈值；对于风速变化较大、海面纹理差异明显或近岸背景复杂的影像，可采用局部自适应阈值或分区阈值提高分割稳定性。阈值分割完成后结合多源影像和现场调查数据进行一致性检查，当分割边界与实际分布存在明显偏移时，应进行阈值调整。

7.4 人工修正

自动化提取结果应在假彩色合成影像、指数影像或SAR影像基础上，采用图像增强手段辅助人工目视判读修正，修正过程应保持客观可重复、避免主观扩展，以确保信息提取准确性。

- a) 光学影像中因云影、薄雾、水色变化等因素造成遗漏的斑块，结合多源数据进行补充；
- b) 光学影像中因耀斑、泡沫、悬浮泥沙等造成误提的非藻类区域，予以剔除；
- c) 对浒苔与马尾藻疑似共存、混合分布或类别判别不确定区域，应结合多时相影像、光谱特征、现场调查资料及历史分布规律进行综合判别，必要时开展人工修正，并记录判别依据；
- d) SAR影像中，因海面风速变化、海浪破碎产生的误提区域，予以剔除；因船舶、平台等人造目标产生的误提区域，予以剔除；
- e) SAR影像中，因藻类聚集密度较低、后向散射差异不明显造成的遗漏斑块，应结合多源数据进行补充；
- f) 结合现场调查资料对提取结果进行验证校准，现场调查数据与卫星过境时间差不宜超过2小时。不具备同步条件时，可采用 ± 6 小时内现场数据，并记录说明。

藻类指数定义、判别公式及参数设置参见附录E。

8 指标计算

8.1 覆盖面积计算

将信息提取栅格数据结果转换为矢量面要素，通过地理信息系统空间分析工具获取各矢量面要素的在统一投影下的几何面积，得到覆盖面积。

8.2 分布面积计算

单块藻类分布区域划定以单块藻类覆盖区外缘为基准，采用缓冲区分析方法向外扩展3km生成分布包络线；当空间相邻藻类覆盖区外缘距离小于10 km时，将相邻分布区合并后重新生成包络线。所有划定的藻类分布区面积之和为总分布面积。

8.3 聚集度计算

某一海域的藻类覆盖面积与分布面积的比值，用于表征大型藻类在监测海域的聚集程度，取值范围0~1，数值越大表示藻类越集中。

8.4 发生频次计算

将监测海域划分为规则网格，网格大小根据监测需求确定，一般为5 km或10 km。统计监测时段内各网格中大型藻类出现的频次，生成网格频次分布图。统计时应考虑有效观测次数，避免因云覆盖等原因导致频次统计偏差。

9 专题图制作

9.1 影像专题图

影像专题图以光学、SAR影像为底图，直观反映监测海域整体状况和大型藻类宏观分布特征。

影像专题图应包含以下要素：

- a) 真彩色或标准假彩色增强影像图，应清晰显示大型藻类的空间分布状况；
- b) 卫星数据源及其空间分辨率、影像成像时间；
- c) 投影方式、坐标系和比例尺；
- d) 图例、经纬度网格、指北针等基本制图要素；
- e) 海陆分界线、行政区划名称等辅助信息，可根据制图需要标注；
- f) 制图单位和制作时间。

9.2 监测专题图

监测专题图在影像专题图基础上叠加大型藻类监测成果信息，突出反映大型藻类的空间分布、种类组成及相关统计结果。

监测专题图应包含以下要素：

- a) 浒苔绿潮与马尾藻金潮覆盖区矢量边界；
- b) 大型藻类分布区矢量边界；
- c) 云覆盖区域矢量边界；
- d) 大型藻类覆盖面积、分布面积等统计指标；
- e) 投影方式、坐标系和比例尺；
- f) 图例、经纬度网格、指北针等基本制图要素；
- g) 海陆分界线、行政区划名称等辅助信息，可根据制图需要标注；
- h) 制作单位和制作时间。

9.3 专题图配色与符号要求

专题图中不同要素的配色与符号应清晰可辨、协调一致，具体要求如下：

- a) 浒苔绿潮与马尾藻金潮分布区应采用易于区分的不同颜色表示；
- b) 陆地、海域背景色应形成适当对比；
- c) 领海基线、领海线等专题要素应采用标准线型表示；
- d) 行政区划、地理标注应清晰易读；
- e) 经纬度网格标注应完整规范。

具体配色与线型参见附录F.1。

9.4 命名与格式

专题图文件名应与图名一致。影像专题图名依据实际监测结果命名为“江苏海域XX卫星遥感影像图+成像日期”，监测专题图名为“江苏海域XX卫星遥感监测专题图+成像日期”，其中XX分别为浒苔绿潮、马尾藻金潮或大型藻类（两者同时存在时）。成果图输出为包含空间分辨率和地理坐标信息的GeoTIFF格式；浏览图输出为JPEG或PNG格式，分辨率不低于300dpi。

专题图制图示例见附录F。

10 监测报告编制

10.1 报告内容

监测报告应对监测工作与成果进行系统说明，按概况、方法、结果、附件组织，主要内容包括：

- a) 概况：监测时段、海域范围、期数、编制日期及单位等基本信息；
- b) 方法：数据源、预处理方法及大型藻类信息提取方法；
- c) 结果：大型藻类分布位置、覆盖面积、分布面积、聚集度、重点防控区域等监测成果；
- d) 附件：影像专题图、监测专题图、面积统计表等附图附表。

报告应包含编制、审核、批准签署信息。

10.2 命名规则

监测报告命名格式：XXXX年江苏海域大型藻类卫星遥感监测报告+编制日期（YYYYMMDD）。

附录 A
(资料性)
常用光学卫星数据参数

表 A.1 常用光学卫星数据参数

卫星名称	传感器	空间分辨率 (m)	波段数 (个)	常用波段（中心波 长/nm）	幅宽 (km)	重访周 期 (天)	地 区
HY-1C/D	海岸带成像 仪（CZI）	50	4	蓝（460）、绿（560）、 红（650）、近红外 （825）	950	3	中国
HY-1E	中分辨率可 编程成像光 谱仪 （PMRIS）	100	19	蓝（490）、绿（565）、 红（665）、近红外 （865）、短波红外 （1245）	950	1	中国
GF-1	宽幅多光谱 相机（WFOV）	16	4	蓝（485）、绿（555）、 红（660）、近红外 （830）	800	4	中国
	全色多光谱 相机（PMS）	2（全色） /8（多光 谱）	5	全色（675）、蓝 （485）、绿（555）、 红（660）、近红外 （830）	60		中国
GF-1B/C/D	全色多光谱 相机（PMS）	2（全色） /8 m（多 光谱）	5	全色（675）、蓝 （485）、绿（555）、 红（660）、近红外 （830）	60	4	中国
GF-2	全色多光谱 相机（PMS）	0.8（全 色）/3.2 （多光谱）	5	全色（675）、蓝 （485）、绿（555）、 红（660）、近红外 （830）	45	5	中国
GF-4	可见光近红 外（VNIR）	50	5	全色（675）、蓝 （485）、绿（560）、 红（660）、近红外 （840）	400	1	中国
GF-6	全色多光谱 相机（PMS）	2（全色） /8（多光 谱）	5	全色（675）、蓝 （485）、绿（560）、 红（660）、近红外 （830）	90	4	中国
	宽幅多光谱 相机（WFOV）	16 m	8	蓝（485）、绿（555）、 红（660）、近红外 （830）	800	4	中国

续表 A.1 常用光学卫星数据参数

卫星名称	传感器	空间分辨率 (m)	波段数 (个)	常用波段(中心波长 /nm)	幅宽 (km)	重访周 期 (天)	地区
ZY1-02D	可见光近红 外 相 机 (VNIC)	2.5 (全 色)/10 (多光谱)	9	全 色 (677) 、 蓝 (486.5) 、 绿 (564.5)、红(660)、 近红外 (950)	115	3	中国
ZY3- 01/02/03	全色多光谱 相机	2.1 (全 色)/5.8 多 光谱	5	全 色 (650) 、 蓝 (485)、绿(555)、 红 (660)、近红外 (830)	50	5	中国
CBERS- 04A	宽幅相机	2 (全色) /8 (多光 谱)	5	全 色 (675) 、 蓝 (485)、绿(555)、 红 (660)、近红外 (830)	90	5	中国
Sentinel- 2A/B	多光谱成像 仪 (MSI)	10/20/60	13	蓝(490)、绿(560)、 红 (665)、近红外 (842)、短波红外 (1610、2190)	290	5	欧洲
Landsat- 8/9	陆地成像仪 (OLI)	15 (全色) /30 (多光 谱)	11	全色(590)蓝(480)、 绿(560)、红(665)、 近红外(865)、短波 红外 (1610、2200)	185	16	美国
Terra/Aqu a	中分辨率成 像 光 谱 仪 (MODIS)	250/500/10 00	36	蓝(469)、绿(555)、 红 (645)、近红外 (858.5)、短波红外 (1240、1640、2130)	2330	1	美国
COMS	静止轨道海 洋水色成像 仪 (GOCI)	500	13	蓝(490)、绿(555)、 红 (660)、近红外 (865)	2500	1	韩国
GEO- KOMPSAT- 2B	第二代静止 轨道海洋水 色 成 像 仪 (GOCI-II)	250	13	蓝(490)、绿(555)、 红 (660)、近红外 (865)	2500	1	韩国

附录 B
(资料性)
常用 SAR 卫星数据参数

表 B.1 常用 SAR 卫星数据参数

卫星名称	成像 波段	常用成像 模式	空间分 辨率 (m)	幅宽 (km)	重访周期 (天)	极化方式
高分三号 GF-3	C 波段	精细条带	10	100	29	HH/VV、VV+VH、 HH+HV+VH+VV
		标准条带	25	130		
陆地探测一号 LT-1	L 波段	条带模式	12	100	8	HH/VV、VV+VH、 HH+HV+VH+VV
TerraSAR-X	X 波段	条带模式	3	30	11	HH/VV、VV+VH
COSMO- SkyMed	X 波段	条带模式	3	40	5	HH/VV、VV+VH
RADARSAT-2	C 波段	超宽精细	5	125	24	HH/VV、VV+VH、 HH+HV+VH+VV
Sentinel-1A/B	C 波段	干涉宽幅	20	250	6	HH/VV、VV+VH

附录 C
(资料性)
常用光学卫星数据预处理技术与方法

C.1 辐射定标

辐射定标是将卫星影像记录的无量纲亮度值转换为具有物理意义的辐射亮度或表观反射率的过程。辐射定标应利用影像附属文件提供的定标参数进行计算，包括增益和偏移值。定标后辐射亮度单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 。辐射定标是后续大气校正和指数计算的基础，应确保不同时相、不同传感器影像之间的辐射可比性。

C.2 大气校正

大气校正是消除大气分子和气溶胶散射吸收影响，获取真实海表反射率的过程。大气校正可采用以下方法：

- a) 辐射传输模型法：利用6S（Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum）、MODTRAN（Moderate Resolution Atmospheric Transmission）等辐射传输模型，设置适合海洋大气的水气溶胶与海洋模式参数，进行大气影响校正。
- b) 瑞利散射校正法：是辐射传输模型法的简化形式，仅考虑大气分子瑞利散射，适用于气溶胶影响较小的清洁海域，基于瑞利散射理论计算大气路径辐射并进行校正。
- c) 黑暗像元法：利用清洁水体等黑暗像元估算气溶胶光学厚度进行校正。当整幅影像中缺乏黑暗像元时，该方法不适用。

大气校正后影像应能有效还原藻类与水体的光谱特征，提升归一化植被指数NDVI、漂浮藻类指数FAI等指数计算的准确性。

C.3 几何校正

几何校正是消除影像几何畸变，建立影像像元与地理坐标对应关系的过程。几何校正应满足以下要求：

- a) 控制点选取：地面控制点应均匀分布，数量不少于20个，优先选用海岸线交点、岛屿边界、人工地物等特征明显位置。控制点拟合均方根误差应小于1个像元，作为几何校正的输入质量控制指标，其精度要求高于影像整体平面定位精度，可通过剔除残差过大的点后迭代解算，以保证定位精度。
- b) 校正模型：可采用有理函数模型（RPC，Rational Polynomial Coefficients）或多项式模型。有理函数模型适用于带有RPC参数的卫星影像，可直接利用RPC参数进行校正。多项式模型适用于无明显地形起伏区域，多项式阶数根据影像畸变程度确定，一般不超过3次。
- c) 坐标变换：建立影像平面坐标与地图坐标之间的对应关系。变换系数通过控制点拟合计算获得，在精度要求较高的情况下，可适当增加控制点数量，以提高几何校正结果的稳定性和准确性。

d) 重采样方法：在几何校正过程中，需对影像进行重采样以生成规则格网影像。常用重采样方法包括：

最近邻点法：取原始畸变图像中距离共轭位置最近的已知像元点的灰度值作为输出像元的灰度值。该方法能保持原光谱信息不变，但几何精度较差，校正后图像的灰度值具有不连续性，原光滑边界可能出现锯齿状。

双线性内插法：用原始畸变图像上共轭位置的四个邻近已知像元灰度值进行二维线性内插。该方法具有平滑效果，能消除锯齿现象，但可能造成高频信息丢失。

三次卷积法：在每个重采样位置周围的 4×4 像元邻域内进行二维重采样，利用一元三次多项式近似逼近理论上的最佳重采样函数。该方法计算量大，但能较好地保持图像边缘和高频细节，几何精度高。

e) 精度要求：平面定位精度优于2个像元，校正后影像应与基础地理数据吻合。

C.4 云检测

云检测是识别并掩膜云覆盖区域的过程，避免云层与藻类光谱混淆导致误提。云检测可采用以下方法：

a) 光谱阈值法：利用云在可见光波段的高反射率和热红外波段的低温特性提取云像元。当影像中海面背景均一、云与下垫面光谱差异显著时，可采用全局固定阈值快速检测；当光照或地物背景复杂时，宜采用动态阈值法，基于直方图分析自动确定阈值，如在地表峰值往云一侧直方图曲线斜率最大变率处设定分割点，或采用最大类间方差法自适应计算。云检测结果应避免将高浓度藻类误判为云。

b) 纹理特征法：利用云与海面、大型藻类的纹理差异，采用灰度共生矩阵、分形维数等方法识别云层。云在影像上通常表现为纹理均匀、边界模糊的特征，与海面波浪纹理和藻类斑块纹理存在明显差异。

c) 聚类分析法：基于多光谱特征对影像像元进行聚类，将光谱特征相似的像元归为一类，通过类别属性判别云像元。

d) 深度学习方法：采用卷积神经网络、Transformer等深度学习模型进行云识别，提高复杂云况下的检测精度。该方法需要大量训练样本，适用于业务化运行和自动化处理场景。

云检测结果应生成云掩膜文件，用于后续信息提取时剔除无效区域。云检测方法应避免将高浓度藻类误判为云。

附录 D

(资料性)

常用 SAR 卫星数据预处理技术与方法

D.1 辐射定标

辐射定标是将SAR影像数码值DN转换为后向散射系数 σ^0 的过程，利用影像附属文件提供的绝对定标常数计算：

$$\sigma^0=10\times\log_{10}(DN^2/K)$$

式中，K为绝对定标常数，定标后的后向散射系数单位为分贝（dB）。不同卫星传感器存在差异，具体计算公式以各卫星数据定标文件为准。

D.2 入射角归一化

入射角归一化是消除因成像入射角随视距变化或多时相轨道差异导致同类地物后向散射系数变化的校正过程。在大范围影像拼接、多时相动态监测及采用统一阈值提取大型藻类时，宜进行入射角归一化，将不同入射角的后向散射系数归一化至参考入射角，以提升多时相、多源数据的一致性。常用方法包括基于余弦函数的余弦校正法，以及基于影像不同入射角与后向散射系数样本建立统计关系的经验模型法，条件允许时宜优先采用本地数据建立的经验模型。

D.3 几何校正

几何校正是消除SAR影像几何畸变，建立像元与地理坐标对应关系的过程。可采用距离多普勒定位模型或有理多项式系数RPC模型，平面定位精度优于2个像元。

D.4 斑点噪声抑制

斑点噪声抑制是降低SAR影像固有相干斑噪声的过程，应在抑制噪声的同时保持边缘信息和纹理特征。由于SAR影像发射与接收微波信号之间的相干特性，导致影像存在固有的斑点噪声特性，可采用空间滤波方法进行抑制。常用滤波方法包括：

a) Lee滤波：基于完全发育的斑点乘性噪声模型，假定先验均值和方差可由均质区内计算局域的均值和方差来得到，使用滤波窗口内样本均值和方差的自适应滤波算法。Lee滤波能有效抑制均质区域噪声，同时在一定程度上保持边缘信息。

b) Frost滤波：基于指数脉冲响应函数，通过局部统计特性调节滤波强度，能较好保持边缘。滤波窗口内中心像元的权重随距离增大而减小，减小率由局部变异系数调节。

c) 改进的Sigma滤波：基于像素值分布范围的滤波方法，假设同质区域内像素值服从高斯分布，通过设定Sigma范围选择参与滤波的像素，能有效保持细节。

滤波窗口大小应根据影像分辨率和大型藻类特征确定，一般采用3×3、5×5或7×7像元。窗口过小噪声抑制效果不佳，窗口过大可能模糊边缘和细节。滤波后影像应进行质量评估，确保藻类斑块边界清晰可辨。

附录 E (资料性) 大型藻类信息提取常用方法

本附录列出了江苏海域大型藻类遥感识别中常用的信息提取方法，包括光学遥感指数法、监督分类法、深度学习方法以及SAR遥感阈值分割法，并给出了浒苔与马尾藻的区分方法，所列方法仅作为示例性参考。NDVI、DVI等指数法适用于具备红波段与近红外波段的卫星数据；FAI指数法适用于具备近红外与短波红外波段的卫星数据；监督分类方法可利用多波段光谱特征，在复杂背景条件下有效区分藻类与其他地物；深度学习方法可实现特征自动提取与端到端识别，对复杂海况和干扰因素具有较强鲁棒性；SAR阈值分割法适用于C波段、L波段、X波段等SAR数据。实际应用中宜综合考虑所选卫星传感器的波段配置、空间分辨率、极化方式等参数及海况条件，结合数据类型选用适宜的方法，具体可参见附录A、附录B。

E.1 光谱指数法

指数法基于光学卫星多光谱影像的光谱特征，通过构建植被或藻类指数，设定阈值提取大型藻类信息。常用指数包括归一化植被指数NDVI、漂浮藻类指数FAI、差值植被指数DVI等。各指数计算所用波段波长范围因传感器而异，绿光波段约为520nm~600nm，红光波段约为630nm~690nm，近红外波段约为800 nm~900 nm，短波红外波段约为1200 nm~2100 nm。

E.1.1 光谱特征分析

浒苔绿潮和马尾藻金潮在可见光—近红外波段具有不同的光谱特征：

a) 浒苔绿潮：藻体鲜绿色，在绿光波段附近存在反射峰，在红光波段附近存在吸收谷，在短波红外波段反射率相对马尾藻金潮较高。

b) 马尾藻金潮：藻体黄褐色，由于含有墨角藻黄素，在绿光、红光及短波红外波段反射率相对浒苔绿潮偏低。

对于浒苔绿潮、马尾藻金潮混生的情况，除光谱特征差异外还可结合二者暴发季节、主要分布海域、纹理特征等差异要素进行区分判别。

E.1.2 归一化植被指数 NDVI

NDVI利用近红外与红光波段反射率差异增强漂浮藻类信号，定义如下：

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

式中：

ρ_{NIR} ——近红外波段大气校正后海表反射率；

ρ_{RED} ——红光波段大气校正后海表反射率。

NDVI取值范围为-1至1。一般情况下，大型藻类覆盖海域的NDVI值明显高于清洁水体区域。

E.1.3 漂浮藻类指数 FAI

当卫星数据包含短波红外SWIR波段时，可采用FAI指数，其定义如下：

$$FAI = \rho_{NIR} - [\rho_{RED} + (\rho_{SWIR} - \rho_{RED}) \times (\lambda_{NIR} - \lambda_{RED}) / (\lambda_{SWIR} - \lambda_{RED})]$$

式中：

ρ_{NIR} 、 ρ_{RED} 、 ρ_{SWIR} ——近红外、红光、短波红外波段大气校正后海表反射率；

λ_{NIR} 、 λ_{RED} 、 λ_{SWIR} ——相应波段中心波长，单位为 nm。

FAI对大气散射和太阳耀斑不敏感，适用于复杂大气条件下的藻类提取。

E.1.4 差值植被指数 DVI

DVI通过近红外与红光波段反射率的差值增强漂浮藻类信号，定义如下：

$$DVI = \rho_{NIR} - \rho_{RED}$$

式中：

ρ_{NIR} ——近红外波段大气校正后海表反射率；

ρ_{RED} ——红光波段大气校正后海表反射率。

DVI对藻类覆盖密度变化较为敏感，适用于藻类聚集度较高区域的提取。

E.2 基于人工构建特征的监督分类方法

监督分类方法通过选取代表性样本，利用多光谱特征对影像进行分割分类，实现大型藻类与背景水体、云及其他目标的区分。常用流程包括样本选取、特征构建、分类判别及后处理。

E.2.1 样本选取

训练样本应具有代表性且数量充足，覆盖不同聚集密度、不同海况条件下的藻类分布情况。样本类别应包括浒苔、马尾藻、海水、云、云影、船舶等江苏海域典型地物。

E.2.2 分类方法

常用监督分类方法包括：

- 最大似然法：基于贝叶斯判别准则，适用于样本光谱特征符合正态分布的场景；
- 支持向量机：通过核函数将样本映射到高维空间寻找最优分类面，适用于样本数量有限的情况；
- 随机森林：集成多个决策树进行分类，对噪声和过拟合具有较好鲁棒性；
- 决策树分类：基于多波段特征构建决策树模型，能够实现大型藻类及海水等海域地物的识别与区分。决策树特征可包括波段反射率、植被指数、波段比值等，通过分层判别实现江苏海域多目标的有效提取。

E.3 深度学习方法

深度学习方法利用语义分割网络自动提取影像深层特征，实现大型藻类端到端识别。常用网络包括U-Net、ResUnet、SegNet等，适用于多源遥感影像大型藻类信息提取，对复杂海况和云影干扰具有较强鲁棒性，可用于业务化监测中的自动化处理。

E.4 SAR 遥感阈值分割法

SAR遥感自动提取通常基于大型藻类与海水表面后向散射系数差异，采用阈值分割法进行识别。

E.4.1 后向散射系数分析

SAR影像中，大型藻类与周边海水后向散射系数存在差异，表现为亮度对比差异，差异方向与强度受海面风速、极化方式及藻类聚集密度等因素影响。一般同极化通道VV或HH的对比度优于交叉极化通道VH或HV。

E.4.2 阈值确定方法

阈值确定可采用经验阈值法、直方图分析法或自适应阈值法：

- a) 经验阈值法：基于业务监测经验确定固定阈值；
- b) 直方图分析法：根据影像后向散射系数直方图的双峰分布确定谷底值作为阈值；
- c) 自适应阈值法：采用最大类间方差法或局部自适应阈值方法确定分割阈值。

因海况、风速等因素影响，单一阈值难以适应所有场景，必要时可采用局部自适应阈值方法提高局部区域卫星影像分割精度。

附录 F
(资料性)
专题图制图示例

F.1 配色与符号样式

专题图制作中不同要素的配色与符号推荐采用以下样式：

- a) 浒苔分布区采用RGB(56,168,0)的绿色填充，边界线宽0.4mm；
- b) 马尾藻分布区采用RGB(255,170,0)的橙色填充，边界线宽0.4mm；
- c) 陆地采用RGB(255,255,190)的浅黄色填充；
- d) 海域采用RGB(190,230,255)的浅蓝色填充；
- e) 领海基线采用RGB(250,52,17)的红色实线，线宽0.2mm；
- f) 领海线采用RGB(0,112,255)的蓝色实线，线宽0.2mm；
- g) 地级市采用黑色同心圆符号标注，名称注记采用黑色宋体，字号根据图幅大小确定；
- h) 经纬度网格注记采用度分秒加方位标识的格式，字体为黑色宋体，字号根据图幅大小确定。

F.2 影像专题图示例

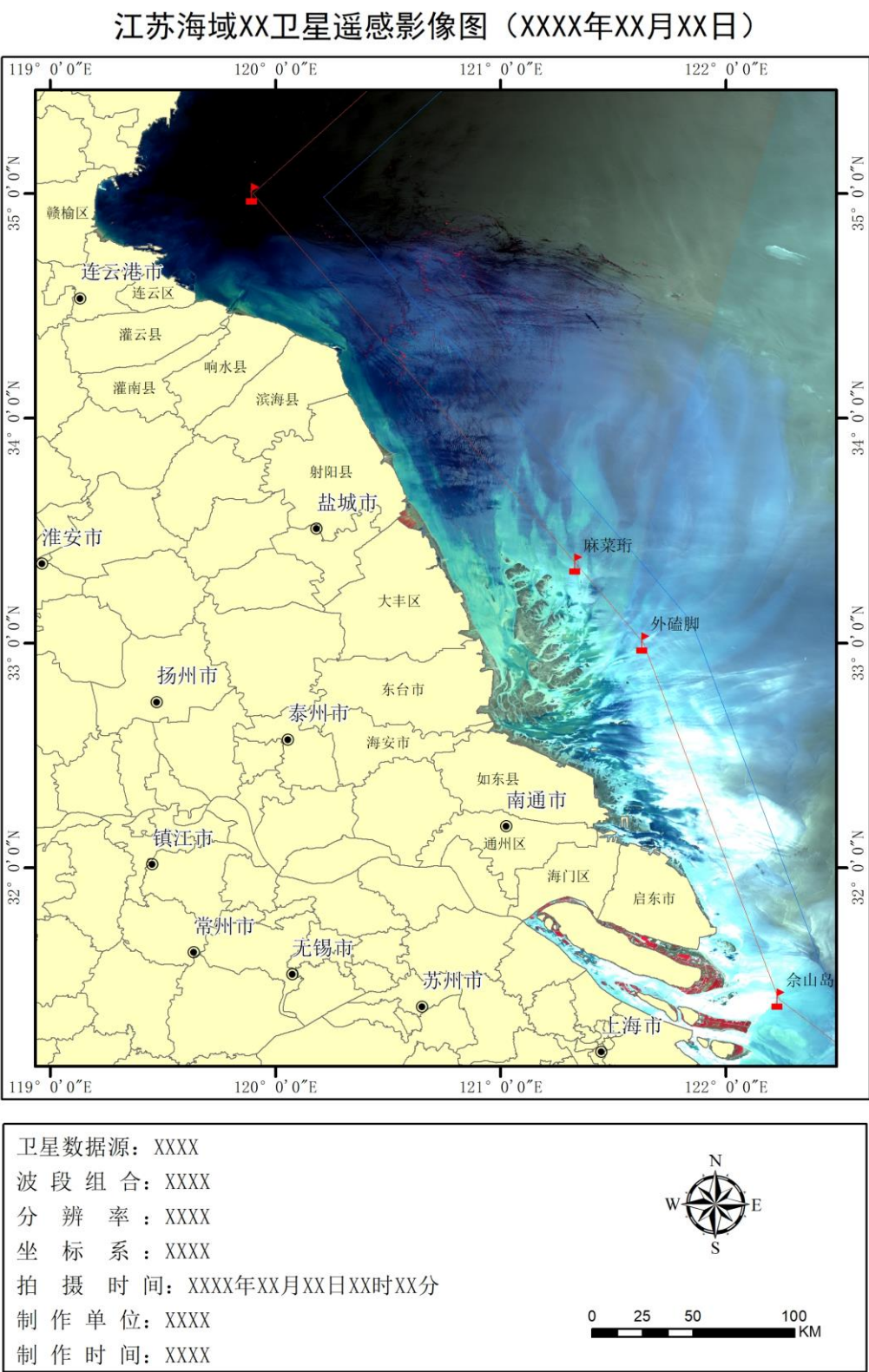


图 F.1 江苏海域大型藻类光学卫星遥感影像图示例

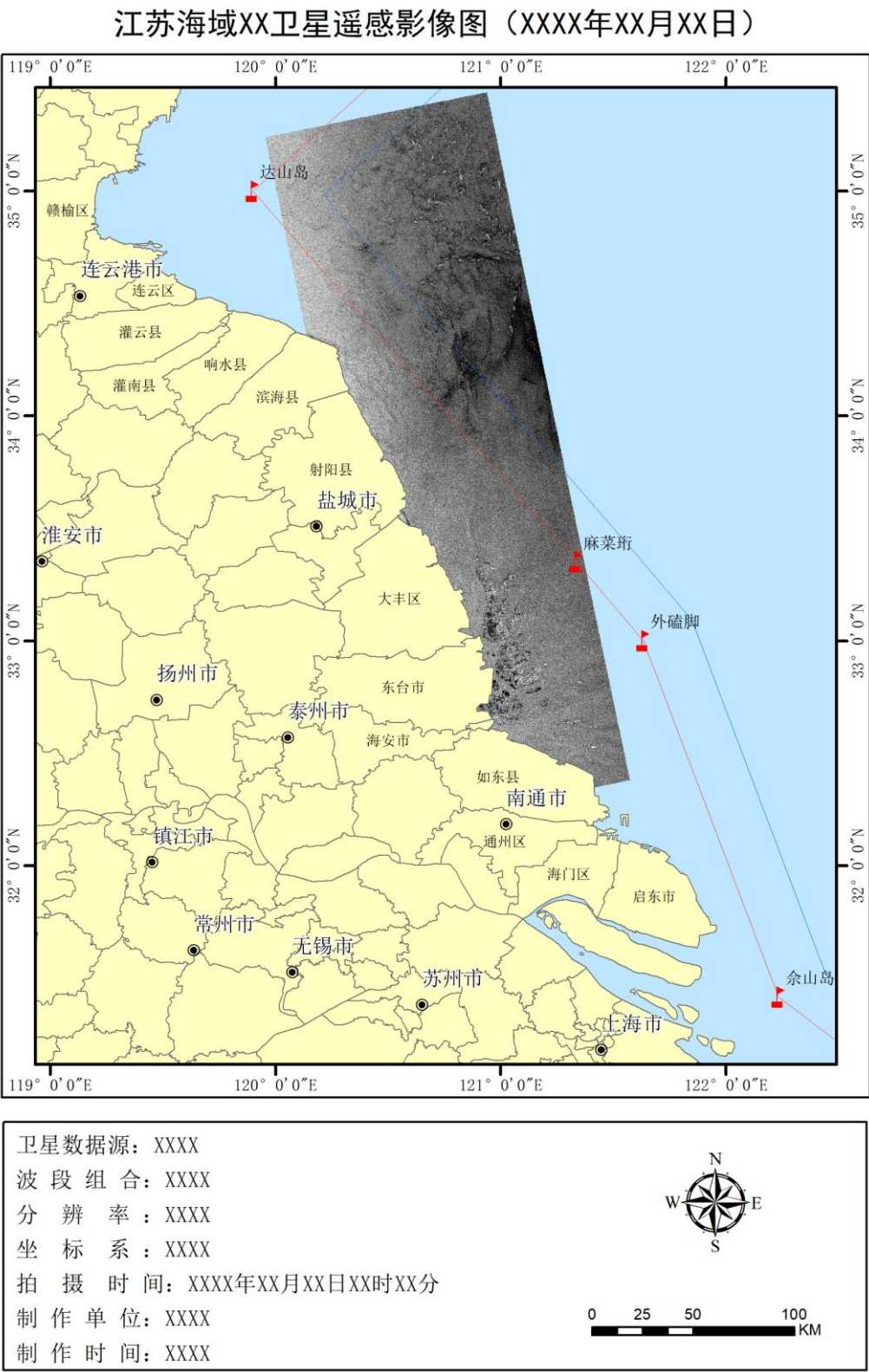


图 F.2 江苏海域大型藻类 SAR 卫星遥感影像图示例

F.3 监测专题图示例

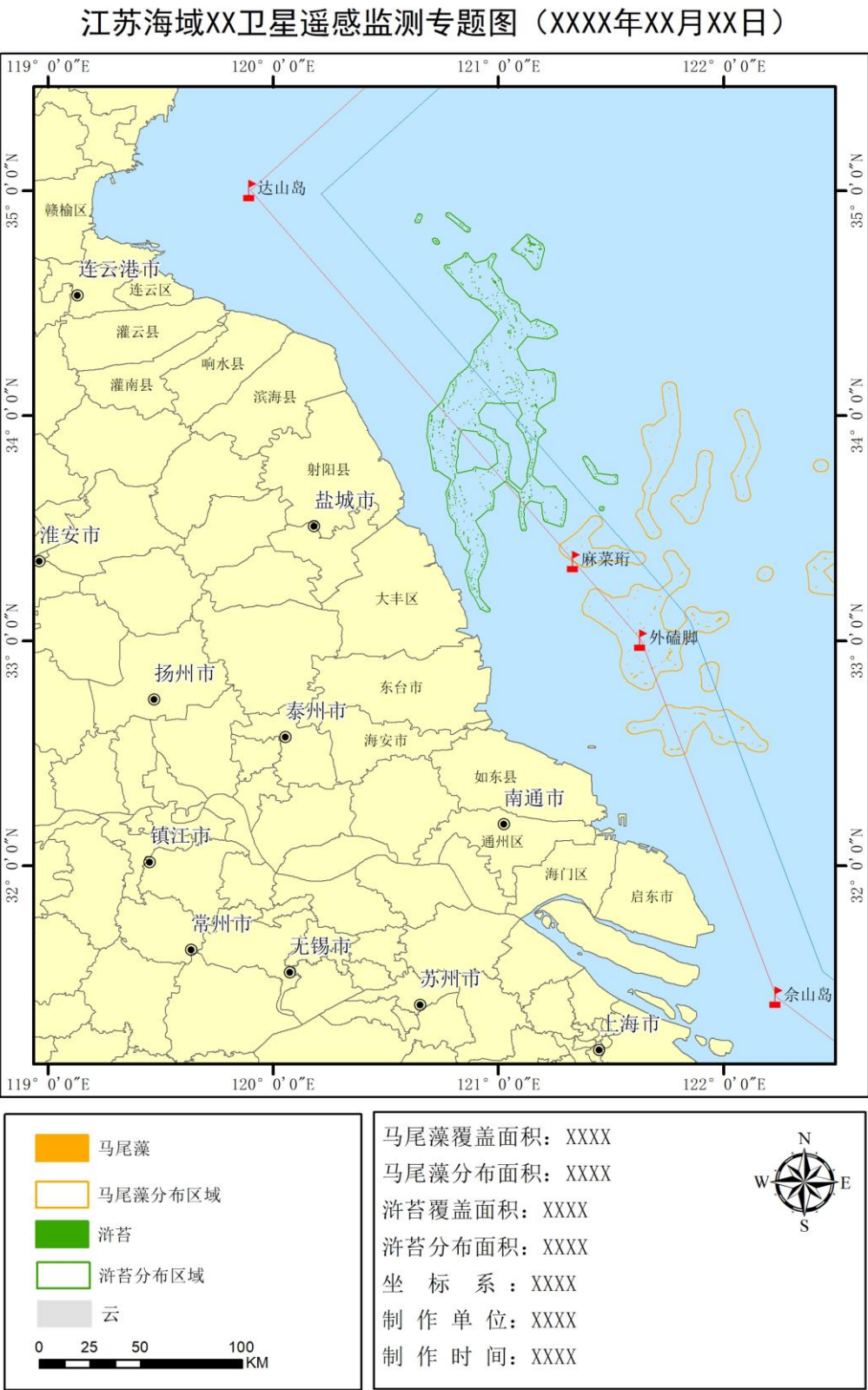


图 F.3 江苏海域大型藻类卫星遥感监测专题图示例

参 考 文 献

- [1] GB/T 13989-2012 国家基本比例尺地形图分幅和编号
- [2] GB/T 15919-2010 海洋学术语 海洋生物学
- [3] GB/T 15920-2010 海洋学术语 物理海洋学
- [4] GB/T 15921-2010 海洋学术语 海洋化学
- [5] GB 17378.4-2007 海洋监测规范 第 4 部分：海水分析
- [6] GB 17378.5-2007 海洋监测规范 第 5 部分：沉积物分析
- [7] HY/T 147.7-2013 海洋监测技术规程 第 7 部分：卫星遥感技术方法
- [8] 刘涛. 黄渤海及东海常见大型海藻图鉴. 北京: 海洋出版社, 2018
- [9] Hu C. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(10): 2118-2129
- [10] Hu C, Feng L, Hardy R F, et al. Spectral and spatial requirements of remote measurements of pelagic *Sargassum* macroalgae. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 167: 229-246
- [11] Qi L, Hu C, Xing Q, et al. Long-term trend of *Ulva prolifera* blooms in the western Yellow Sea. *Harmful Algae*, 2016, 58: 35-44
- [12] Xing Q, Hu C. Mapping macroalgal blooms in the Yellow Sea and East China Sea using HJ-1 and Landsat data: Application of a virtual baseline reflectance height technique[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 178:113-126.DOI:10.1016/j.rse.2016.02.065.