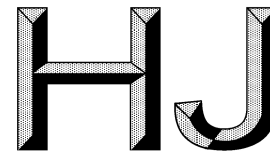


附件 1



中华人民共和国国家生态环境标准

HJ□□□-202□

滨海核电厂温排水卫星遥感监测 技术规范

Technical specification for thermal discharge monitoring to coastal nuclear
power plant based on satellite remote sensing
(征求意见稿)

202□-□□-□□发布

202□-□□-□□实施

生态环境部

发布

目 次

前 言.....	11
1. 适用范围.....	1
2. 规范性引用文件.....	1
3. 术语和定义.....	1
4. 技术原理.....	1
5. 监测技术与方法.....	2
6. 质量控制.....	5
附录 A （资料性附录） 核电厂温排水卫星遥感监测示例.....	6

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国海洋环境保护法》，指导滨海核电厂温排水卫星遥感监测工作，规范滨海核电厂温排水卫星遥感监测方法，防治水体环境热影响，保障滨海核电厂附近海域环境质量，制定本标准。

本标准规定了滨海核电厂温排水卫星遥感监测的技术方法。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部核电安全监管司、法规与标准司组织制订。

本标准起草单位：生态环境部卫星环境应用中心。

本标准生态环境部 20□□年□□月□□日批准。

本标准自 20□□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

滨海核电厂温排水卫星遥感监测技术规范

1. 适用范围

本标准规定了滨海核电厂温排水卫星遥感监测的技术方法。

本标准适用于滨海核电厂温排水造成的海水热分布监测。

内陆核电厂温排水热分布监测和向水体直排的火电厂热分布监测可参考本标准执行。

2. 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件或其中的条款。其中，注明日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB/T 14950—2009 摄影测量与遥感术语

GJB 2700—1996 卫星遥感器术语

3. 术语和定义

GB/T 14950—2009、GJB 2700—1996界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 大气校正 atmospheric correction

消除大气因素对卫星遥感测量参数影响的各种处理。

[来源：GJB 2700—1996，3.1.5.12]

3.2 几何校正 geometric correction

为消除影像的几何畸变而进行投影变换和不同波段影像的套合等校正工作。

[来源：GB/T 14950—2009，5.190]

3.3 温排水 thermal discharge water

核电厂用于冷却降温的水体进入自然水体扩散后，形成在空间上温度高于其周边水体的混合水体，即为温排水。

3.4 基准温度 reference temperature

为客观提取和评价温排水的影响区域和强度而设定的一个评价基准，以符号 T_0 表示。

3.5 温升区 temperature rising area

温排水所在或影响的空间区域，也叫温升混合区。

4. 技术原理

4.1 提取原理

地物表面温度越高，热辐射能量越强，利用热红外传感器探测超出一般水体温度的温排水所在区域。通过阈值划分设定，提取温排水不同等级空间分布。

4.2 监测内容

- a) 温排水空间分布范围；
- b) 不同温升等级分布位置与面积。

4.3 遥感数据源要求

核电厂温排水遥感监测对数据源的要求主要如下：

- a) 空间分辨率：对于发电机组电功率总和在1000MW（含）以上，且采用直流冷却方式将冷却水排回自然水体的滨海核电厂，空间分辨率至少要求在300米，100米以内更为合适。
- b) 波段设置：在热红外谱段8.0-12.5 μm 范围内具有单通道或多通道，用于温升区提取；在可见近红外通道范围内至少具有红、绿、蓝三通道或近红、红、绿三通道，用于云检测和水陆分离。

4.4 处理流程

温排水卫星遥感监测处理的一般流程如图1所示。选取合适的卫星数据后，先对影像几何与辐射进行处理，包括空间裁剪、几何校正和辐射定标，进而得到表观辐亮度；通过大气校正、水陆分离和云识别，将表观辐亮度转换为海表辐亮度；利用查找表，将海表辐亮度转换为海表温度；最后，提取基准温度，并利用基准温度进行温升分布提取与统计。

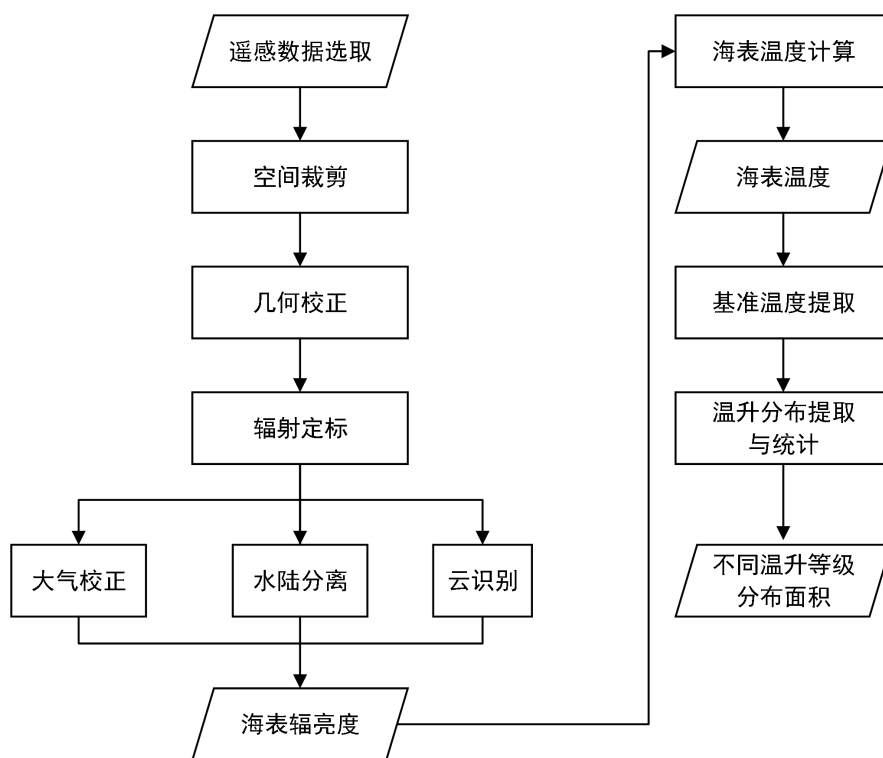


图1 核电厂温排水卫星遥感监测处理流程

5. 监测技术与方法

5.1 遥感数据选取

选取的遥感数据要完全覆盖核电厂温排水影响区域；在核电厂温排水影响区域内，云覆盖率推荐不超过5%。

5.2 空间裁剪

以核电厂温排水排放口为中心，以完全覆盖温排水影响区域为原则，同时兼顾制图时表达周边标志性地理要素需求，设定空间裁剪范围。

5.3 几何校正

基于参考影像或空间点位坐标信息，进行几何校正，校正精度控制在1个像元以内。

5.4 辐射定标

基于卫星数据头文件提供的信息，利用绝对定标系数将灰度值图像转换为表观辐亮度图像，计算公式为：

$$L_{sensor} = DN * gain + L_0 \quad (1)$$

式(1)中：

L_{sensor} ——表观辐亮度，常用单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ ；

DN——灰度值，无量纲；

gain——绝对定标增益，与 L_{sensor} 量纲相同；

L_0 ——绝对定标系数偏移量，与 L_{sensor} 量纲相同。

5.5 水陆分离

对于不受潮汐影响的水岸，可通过固定边界线获取水陆掩码；对于易受混淆影响的水岸，可通过遥感影像基于归一化水体指数、角距相似度指数等获取水体空间分布范围。

5.6 云识别

对于有云覆盖影像，可通过设定多组可见光波段阈值，提取云覆盖区域，从多组结果中挑选最优结果。

5.7 大气校正

基于辐射传输模型（如 MODTRAN），计算获得大气透过率、大气上行辐射和大气下行辐射三个基本参数，利用式(2)计算经水表发射率校正后的等效黑体辐亮度，即海表温度为 T_s （单位，K）的黑体辐射亮度：

$$L(T_s) = \frac{L_{sensor} - L_{up}}{\tau \varepsilon} - \frac{(1 - \varepsilon)L_{down}}{\varepsilon} \quad (2)$$

式(2)中：

$L(T_s)$ ——水表辐亮度；

L_{sensor} ——表观辐亮度；

L_{up} ——大气上行辐亮度；

L_{down} ——大气下行辐亮度；

τ ——大气透过率；

ε ——水表比辐射率。

注：辐亮度单位均为： $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ ，大气透过率和水表比辐射率均无量纲。

5.8 海表温度计算

本标准推荐采用构建查找表方法来计算海表温度，具体方法如下。

首先建立温度与对应热红外通道等效辐亮度 $B_{eff}(T_i)$ 的关系：

$$B_{eff}(T_i) = \frac{\sum_{\lambda=\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} B(\lambda, T_i) f(\lambda)}{\sum_{\lambda=\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} f(\lambda)} \quad (3)$$

式 (3) 中:

$f(\lambda)$ 为通道响应函数, $\lambda \in [\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$, 即通道响应的波长区间, $B(\lambda, T_i)$ 为温度 T_i 、

波长 λ 的黑体辐亮度, 可以根据下式普朗克方程计算得到:

$$B(\lambda, T_i) = \frac{c_1 / \lambda^5}{\exp(c_2 / \lambda T_i) - 1} \quad (4)$$

式 (4) 中:

$c_1 = 1.19104 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $c_2 = 14387.7 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ 。

利用以上两个公式构建热红外通道等效辐亮度 $B_{\text{eff}}(T_i)$ 与温度 T_i 关系查找表。建表过程中, 温度步长取 0.1K, 温度区间涵盖 193K 至 353K。

通过查找表, 从 $B_{\text{eff}}(T_i)$ 查找海表辐亮度 $L(T_s)$ 对应的温度值, 即为海表温度 T_s 值。

5.9 基准温度提取

5.9.1 基本原则

准确的基准温度 (T_0) 提取对于温升区范围的客观性监测具有重要意义。对于卫星遥感监测而言, 基准温度以当天遥感影像反演的海表温度结果为基础, 不宜采用当天实测的动力学海表温度 (包括浮标测量手段和船只测量手段)。本标准推荐以下几种常用方法, 进行基准温度提取。对于同一个核电厂, 遥感监测温排水基准温度提取方法需保持一致, 以保证遥感监测与评价的一致性, 最优基准温度方法选取需利用未受核电厂温排水影响的长期时段内的遥感反演海表温度进行最优评估, 以确定最适用该核电厂的基准温度提取方法。

5.9.2 常用方法

(1) 离散多点平均法

基于数模结果, 在温升混合区最大包络线外选取多点, 利用多点遥感反演温度值的平均值作为基准温度。

(2) 海湾平均温度法

在海湾空间范围内, 先扣除数模模拟的温升混合区, 再以扣除后的海湾平均海表温度为基准温度。

(3) 临近区域替代法

对于开放式海域类型, 由于无法确定海湾分布范围, 且远近海区域温度差别较大, 可以在对历史温度数据统计的基础上, 选定不受温排水影响的最为相近的临近稳定区域, 以此区域的平均温度为基准温度。

5.10 温升分布提取与统计

基准温度确定后, 基于遥感反演的海水表面温度, 采用式 (5) 提取温排水的温升分布信息, 并通过各分级来标识不同温升强度, 具体分级规范及专题图对应的色标 (RGB 值) 参见表 1。

$$\Delta T = T_s - T_0 \quad (5)$$

式 (5) 中:

ΔT 为温升, T_s 为遥感反演海表温度, T_0 为基准温度。

根据各级温升水体所占的像元数及影像的空间分辨率大小，计算各级温升的分布面积和所占比例。

表1 不同温升强度分级与制图规范

温升强度	温升范围	R值	G值	B值
一级温升	[+1℃, +2℃)	255	255	0
二级温升	[+2℃, +3℃)	255	0	195
三级温升	[+3℃, +4℃)	255	170	0
四级温升	[+4℃, +5℃)	255	0	0
五级及以上温升	≥5℃	115	0	0

6. 质量控制

6.1 卫星数据质量

在进行温排水遥感监测前，应保证遥感原始数据的质量，避免有条带的数据参与后续处理，导致结果的误识别。同时，避免云层所占比例过多，无法得到有效监测结果。参考原则是遥感图像云层覆盖在提取范围内不超过5%的数据为有效数据。

6.2 几何校正精度

为保证卫星遥感监测结果具有一致性和可比较性，几何位置配准精度控制在1个像元以内。

6.3 监测结果精度

为评估温排水遥感监测精度，采取海面星地同步试验测量方法进行卫星遥感监测比对与验证。利用测量水体动力学温度的仪器，测量排水口周边大范围内（包含温升混合区）水体温度，通过空间插值将海面测量离散值形成连续温度场，进而提取温排水空间范围与等级，将海面测量与遥感监测结果进行比对，分析二者结果的一致性和可靠性，采用相对误差对二者结果进行评估，如式（6）所示。

$$\text{相对误差} = \frac{S_{RS} - S_{FE}}{S_{FE}} \times 100\% \quad (6)$$

式（6）中：

S_{RS} 为遥感监测的温升总面积或各强度面积， S_{FE} 为地面试验测量的温升总面积或各强度面积，总面积相对误差建议控制在15%以内为宜。

附录 A

(资料性附录)

核电厂温排水卫星遥感监测示例

图A.1给出了某核电厂某次温排水遥感监测温升空间分布及各等级温升强度分布。表A.1给出了基于该次卫星遥感监测结果的信息统计，表A.2给出了各级强度的面积和比例统计。

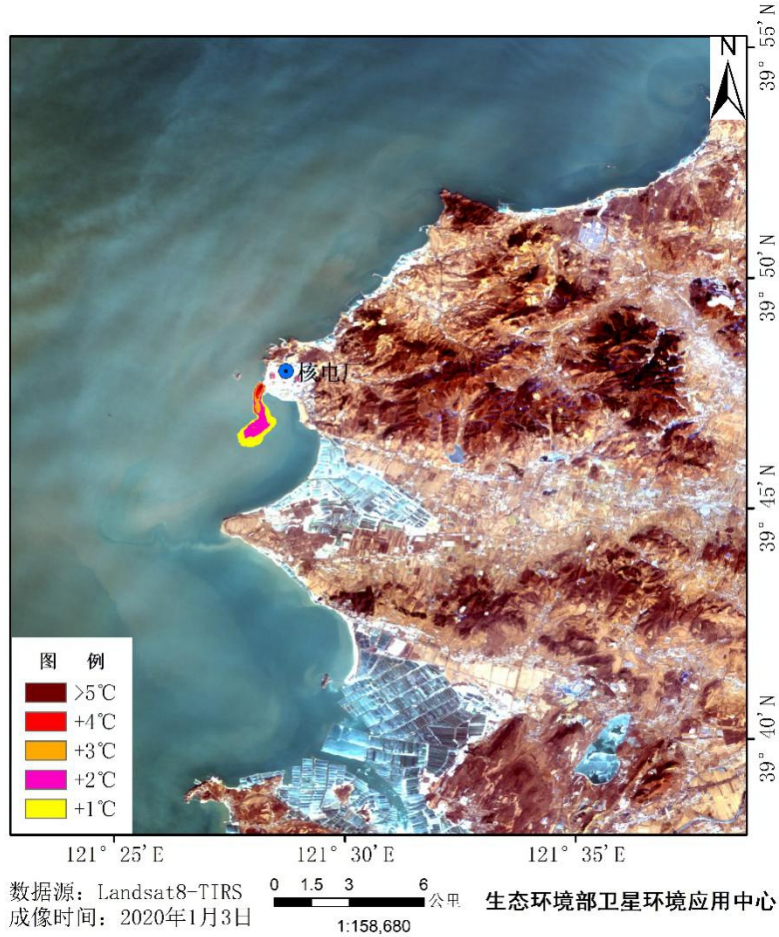


图 A.1 某核电厂温排水遥感监测温升分布

表 A.1 某核电厂遥感监测温升信息统计

指标名称	面积(km ²)	最小值(°C)	最大值(°C)	均值(°C)	标准差(°C)
热异常面积	1.43	1.15	8.88	5.50	0.98

表 A.2 某核电厂遥感监测温升强度统计

温升强度	面积(km ²)	面积比例(%)
一级温升	0.68	47.55
二级温升	0.54	37.76
三级温升	0.14	9.79
四级温升	0.06	4.20
五级及以上温升	0.01	0.70