

HJ

中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 1213—2021



滨海核电厂温排水 卫星遥感监测技术规范（试行）

Technical specification to thermal discharge monitoring
for coastal nuclear power plants based on satellite remote sensing (on trial)

本电子版为正式标准文本，由生态环境部环境标准研究所审校排版。

2021-11-26 发布

2022-03-01 实施

生态环境部 发布

目 次

前 言	ii
1 适用范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义	1
4 任务目标与要求.....	2
5 技术流程与方法.....	2
6 质量控制	6
7 成果形式要求.....	6
附录 A（资料性附录） 滨海核电厂温排水卫星遥感监测产品示例	8



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》和《中华人民共和国核安全法》，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，制定本标准。

本标准规定了滨海核电厂温排水卫星热红外遥感监测的技术流程与方法。

本标准的附录 A 为资料性附录。

本标准首次发布。

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 2021 年 11 月 26 日批准。

本标准自 2022 年 3 月 1 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（试行）

1 适用范围

本标准规定了滨海核电厂温排水卫星热红外遥感监测的技术流程与方法。
本标准适用于滨海核电厂温排水产生的表层海水热影响的监督性监测。
其他向水体排出工业用水产生的热影响监测可参照本标准执行。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 3097	海水水质标准
GB/T 13989	国家基本比例尺地形图分幅和编号
GB/T 15968	遥感影像平面图制作规范
GB/T 34514	陆地观测卫星遥感数据分发与用户服务要求
HJ 1037	核动力厂取排水环境影响评价指南（试行）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

温排水 thermal discharge

用于输送废热的冷却水和工业过程用水，其水温高于排放区自然水体的温度。

[来源：HJ 1037—2019, 3.9]

3.2

潜排区 potential thermal plume area

温排水在空间上可能出现的温升包络范围，即潜在可能发生温排水排放的范围。

3.3

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。

3.4

温升区 temperature rising area

由温排水引起的受纳水体温度超过该区域自然水体温度的范围。

3.5

离散多点平均法 average temperature method of multi-discrete points

当具备 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 潜排区边界线时，以该边界线为参考，否则以当前影像不少于 100 km^2 范围内高于遥感反演平均温度 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区域的边界线为参考，在参考边界线外 $200\text{ m}\sim 500\text{ m}$ 缓冲区内，按相等间距布

设基准参考位置,将此基准参考位置内遥感反演的平均温度作为基准温度的方法,称为离散多点平均法。

注:离散多点平均法属于位置参考类型的方法,每景影像独立提取。

3.6

临近区域替代法 average temperature method of adjacent replaceable area

在遥感反演历史温度数据统计基础之上,选定 0.5 °C 潜排区之外的最为相近的临近稳定区域作为基准参考位置,将此基准参考位置内遥感反演的平均温度作为基准温度的方法,称为临近区域替代法。

注:临近区域替代法属于位置参考类型的方法,每景影像独立提取。

3.7

海湾平均温度法 average temperature method of gulf area

在海湾空间范围内,将扣除潜排区范围后遥感反演的平均温度作为基准温度的方法,称为海湾平均温度法。

注:海湾平均温度法属于数值统计类型的方法,每景影像独立提取。

4 任务目标与要求

4.1 任务目标

利用卫星热红外遥感数据,反演获得核电厂附近海表温度,依据 5.2.6 获得相应的基准温度,并根据 5.2.7 从热红外遥感监测的海表温度结果中提取温排水空间范围和不同强度空间分布。

4.2 监测指标

本标准的监测指标有两个:

- a) 温排水表层温升空间分布范围;
- b) 不同温升强度表层分布面积。

4.3 遥感数据源要求

核电厂温排水遥感监测对热红外卫星遥感数据源的要求应满足如下条件:

- a) 空间分辨率:根据实际情况选用,至少能获取一级温升强度(见表 1)影响的空间范围;
- b) 波谱范围:海表温度反演选择 8.0 μm ~12.5 μm 谱段范围,水陆分离宜选择 0.39 μm ~2.53 μm 谱段范围;
- c) 噪声等效温差:8.0 μm ~12.5 μm 谱段的噪声等效温差宜 ≤ 0.5 K;
- d) 绝对辐射定标精度:8.0 μm ~12.5 μm 谱段的绝对辐射定标精度宜 ≤ 1 K;
- e) 数据范围:应完全覆盖核电厂温排水潜排区;
- f) 云量:核电厂潜排区上空的云层覆盖率不宜超过 5%;
- g) 其他:应避免有条带的数据参与处理,或采用影像官方发布单位提供的条带修复方法处理后的无条带数据。

5 技术流程与方法

5.1 监测技术流程

核电厂温排水卫星遥感监测技术流程见图 1。

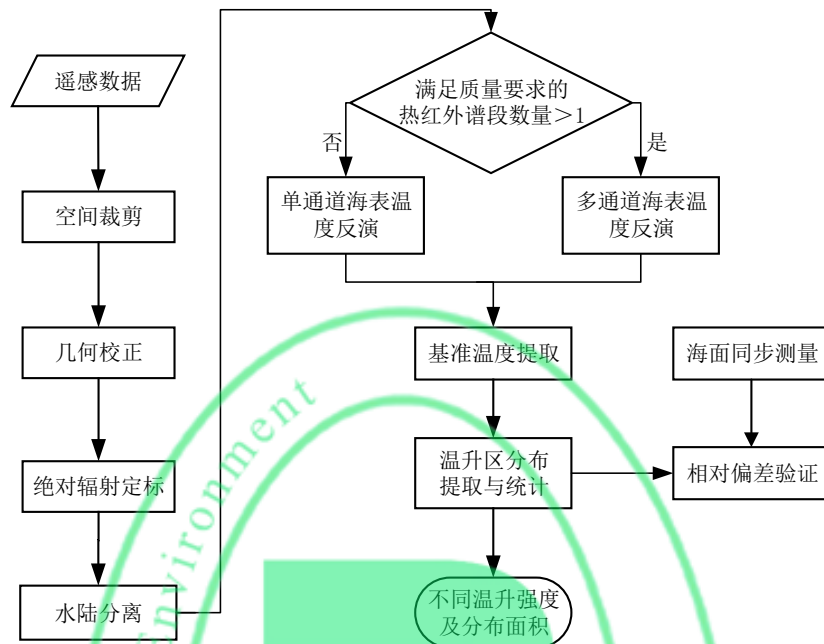


图 1 核电厂温排水卫星遥感监测技术流程图

5.2 监测技术方法

5.2.1 空间裁剪

空间裁剪范围设定技术要求如下：

- 以核电厂温排水排放口为中心，空间上应完全覆盖温排水影响区域；
- 应兼顾制图时表达周边标志性地理要素需求，适当扩展空间裁剪范围。

5.2.2 几何校正

几何校正技术处理要求如下：

- 宜采用 WGS84 UTM、西安 80、CGCS2000 等常用的投影方式；
- 宜采用参考影像或空间点位坐标信息进行几何校正，校正精度应控制在 1 个像元以内。

5.2.3 绝对辐射定标

绝对辐射定标技术操作步骤如下：

- 从卫星数据头文件或卫星官方网站获取不同谱段对应的绝对辐射定标系数；
- 利用卫星给定的绝对辐射定标公式，将图像灰度值转换为表观辐亮度。

5.2.4 水陆分离

水陆分离技术处理要求如下：

- 对于不受潮汐影响的固定水岸，通过固定边界线进行水陆分离，获取水陆掩膜；
- 对于易受潮汐影响的水岸，每景影像单独利用可见光、近红外及热红外影像，通过监督分类、水体指数、角距相似度指数等，获取水陆掩膜。

5.2.5 海表温度反演

5.2.5.1 基本要求

根据传感器热红外谱段本身数量，以及各谱段绝对辐射定标精度、噪声等效温差能否达到要求（见 4.3 c）、d），选择单通道海表温度反演方法或多通道海表温度反演方法（见 5.1），条件同时满足时，优先使用多通道海表温度反演方法。对于典型的海表温度反演方法具体技术步骤见 5.2.5.2、5.2.5.3。

5.2.5.2 单通道海表温度反演

只有一个热红外谱段的卫星遥感数据采用单通道海表温度反演模型，单通道海表温度反演模型宜采用辐射传输方法，技术步骤及要求如下：

- a) 依据大气辐射传输模型，计算大气透过率、大气上行辐射和大气下行辐射三个基本参数；
- b) 按照公式（1）计算经海表发射率校正后的等效黑体辐亮度，即海表温度为 T_s 的黑体辐亮度。

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

式中： $L(T_s)$ ——等效黑体辐亮度， $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ；

T_s ——遥感影像反演的海表温度， $^{\circ}C$ ；

L_{sensor} ——表观辐亮度， $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ；

L_{up} ——大气上行辐亮度， $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ；

L_{down} ——大气下行辐亮度， $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ；

τ ——大气透过率，无量纲；

ε ——海表比辐射率，无量纲。

- c) 按照公式（2）和公式（3）建立热红外谱段黑体温度 T_i 与等效黑体辐亮度 $B_{eff}(T_i)$ 查找表，从中查找海表的等效黑体辐亮度 $L(T_s)$ 对应的海表温度 T_s 值，实现等效黑体辐亮度向温度的转换。建表过程中，温度步长取 0.1 K，温度区间涵盖 273.15 K 至 318.15 K，即 $0^{\circ}C$ 至 $45^{\circ}C$ 。

$$B_{eff}(T_i) = \frac{\sum_{\lambda=\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} B(\lambda, T_i) f(\lambda)}{\sum_{\lambda=\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} f(\lambda)} \quad (2)$$

式中： $B_{eff}(T_i)$ ——黑体温度为 T_i 时的等效黑体辐亮度， $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ；

$f(\lambda)$ ——通道响应函数，无量纲；

$\lambda \in [\lambda_{min}, \lambda_{max}]$ ——通道响应的波长区间， μm ；

$B(\lambda, T_i)$ ——温度 T_i 、波长 λ 的黑体辐亮度， $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ；

$$B(\lambda, T_i) = \frac{c_1 / \lambda^5}{\exp(c_2 / \lambda T_i) - 1} \quad (3)$$

式中： $B(\lambda, T_i)$ ——温度 T_i 、波长 λ 的黑体辐亮度， $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ；

λ ——通道响应的波长， μm ；

T_i ——黑体温度， $^{\circ}C$ ；

c_1 ——常数项，取值 $1.19104 \times 10^{-16} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr})$ ；

c_2 ——常数项，取值 $14387.7 \mu\text{m K}$ 。

5.2.5.3 多通道海表温度反演

具有两个及以上热红外谱段的卫星遥感数据宜采用多通道进行海表温度反演，多通道海表温度反演宜采用劈窗算法形式，以两个谱段数为例，其他多个谱段数可同理参考，技术步骤及要求如下：

- a) 利用等效黑体辐亮度-温度查找表，将两个热红外谱段的表观辐亮度 L_{sensor} 分别转换为表观亮温；
- b) 按照公式（4）将两个热红外谱段的表观亮温转换为海表温度。

$$T_s = A_0 + A_1 T_{i1} + A_2 T_{i2} \quad (4)$$

式中： T_s ——遥感影像反演的海表温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_{i1} ——谱段 $i1$ 的表观亮温， K ；

T_{i2} ——谱段 $i2$ 的表观亮温， K ；

A_0 、 A_1 、 A_2 ——与传感器相关的反演模型系数。

5.2.6 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应保持一致，基准温度提取方法包括位置参考类型（见 3.5、3.6）和数值统计类型（见 3.7）。技术步骤及要求如下：

- a) 判别海域类型，选择相应的基准温度提取方法：
 - 1) 开放式海域：采用位置参考类型方法，判断核电厂首台机组首次临界前是否存在至少一年热红外遥感影像数据，若存在则采用临近区域替代法获取基准参考位置，若不存在则采用离散多点平均法获取基准参考位置。
 - 2) 半封闭式海域：采用数值统计类型方法，即海湾平均温度法。
- b) 根据选定的基准温度提取方法，从待监测海表温度反演结果影像上提取或统计基准温度 T_0 。

5.2.7 温升区分布提取与统计

依据遥感反演的海表温度，按照公式（5）提取温排水的温升区分布，并通过分级来标识温升强度，分级规范参见 GB 3097 对水温温升的等级要求。温升强度分级及专题图对应的色标（RGB 值）参见表 1，成果报告内容示例参见附录 A。

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

式中： ΔT ——温升， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_s ——遥感影像反演的海表温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_0 ——遥感影像提取的基准温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

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 温升强度分级与制图规范

温升强度	逐级强度				累计强度
	温升范围 ($^{\circ}\text{C}$)	R 值 (红)	G 值 (绿)	B 值 (蓝)	温升范围 ($^{\circ}\text{C}$)
一级温升	[+1, +2)	255	255	0	≥ 1
二级温升	[+2, +3)	255	0	195	≥ 2
三级温升	[+3, +4)	255	170	0	≥ 3
四级温升	[+4, +5)	255	0	0	≥ 4
五级温升	≥ 5	115	0	0	≥ 5

5.2.8 海面同步测量

利用有效海面同步测量试验,进行卫星遥感监测与海面同步测量试验的比对与互验。海面同步测量技术要求如下:

- a) 应不早于卫星过境前 2 h 且不晚于卫星过境后 2 h,完成海面星地同步测量试验;
- b) 测量范围应覆盖全部潜排区,测量点位应“近密远疏”,即越靠近排水口测量点位越多;
- c) 测量距水面 0 cm~50 cm 深度处水体温度,同一点位测量频率应不低于 5 次;
- d) 同步定点测量试验时段内的水体温度序列,并利用该序列对测量试验的水体温度进行自然变化校准。

5.2.9 相对偏差验证

海面同步测量结果与遥感监测结果采用相对偏差值来评估二者一致性,相对偏差按照公式(6)计算,总面积相对偏差宜在 15% 以内。

$$\Delta S = \frac{|S_{RS} - S_{FE}|}{S_{FE}} \times 100\% \quad (6)$$

式中: ΔS ——总面积相对偏差,无量纲;

S_{RS} ——遥感监测的温升总面积或各强度面积, km^2 ;

S_{FE} ——海面同步测量的温升总面积或各强度面积, km^2 。

6 质量控制

不同技术环节质量控制主要指标要求如下:

- a) 空间裁剪:不同时相影像裁剪后空间范围应保持一致;
- b) 几何校正:满足 5.2.2 b);
- c) 绝对辐射定标:采用最接近卫星过境时刻发布的绝对辐射定标系数,绝对辐射定标精度应 $\leq 1 \text{ }^\circ\text{C}$;
- d) 水陆分离:水陆混合像元应划归为陆地部分;
- e) 海表温度反演:宜采用相对精度进行评估,相对精度应 $\leq 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- f) 基准温度提取:同一电厂应采用同一基准温度方法,基准温度提取的准确性采用 5.2.9 进行评估和验证;
- g) 温升区分布提取与统计:不同级别温升区空间上不得交叉重叠,同一级别温升区在空间上应保持连续;
- h) 海面同步测量:海面同步测量所使用的仪器设备应定期进行维护和校正,质量管理应遵循所在实验室质量管理体系的相关要求;
- i) 相对偏差验证:对于不满足 5.2.9 精度指标要求的遥感监测结果,应重新调整基准温度提取方法。

7 成果形式要求

7.1 滨海核电厂温排水卫星遥感监测工作成果应包括:监测数据、专题图以及报告等。

7.2 监测数据应包括原始遥感数据、预处理后遥感数据、海表温度反演结果数据和温升监测结果数据,相关要求见 GB/T 34514 和 5.2.7 表 1。

7.3 专题图制作应符合 GB/T 13989 和 GB/T 15968 的规定,具体作法可参见附录 A 图 A.1。

7.4 报告编制应包括监测区域内容与指标、数据来源和成果内容等信息。



附录 A
(资料性附录)

滨海核电站温排水卫星遥感监测产品示例

图 A.1 给出了某核电站某次温排水遥感监测温升空间分布及各等级温升的逐级强度分布。表 A.1 给出了基于该次卫星遥感监测结果逐级强度的面积和比例统计，表 A.2 给出了基于该次卫星遥感监测结果累积强度的面积和比例统计。

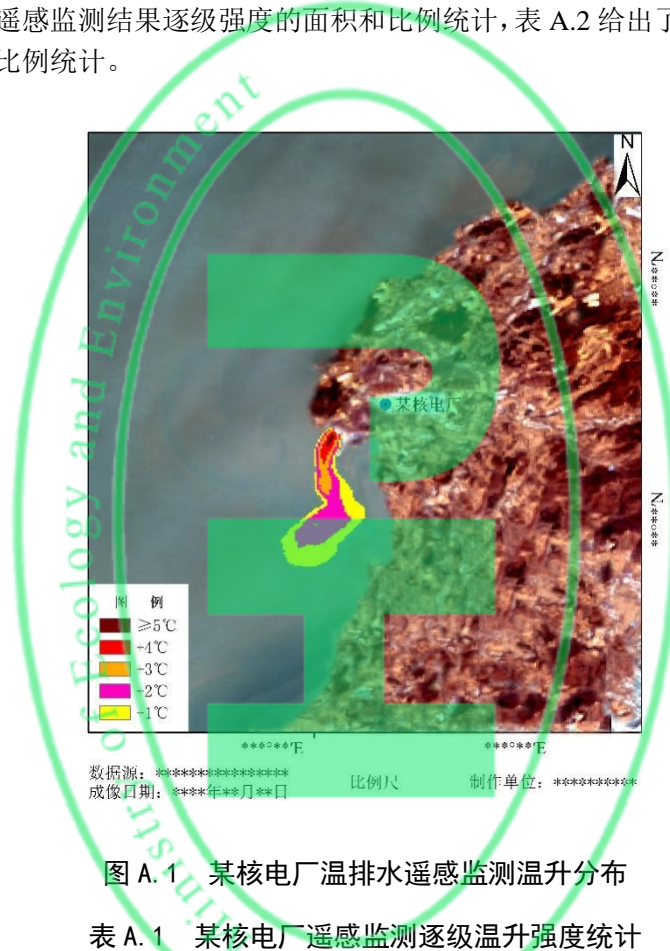


图 A.1 某核电站温排水遥感监测温升分布

表 A.1 某核电站遥感监测逐级温升强度统计

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
五级温升	0.01	0.70

表 A.2 某核电厂遥感监测累积温升强度统计

温升强度	面积 (km ²)	面积比例 (%)
一级温升	1.43	100
二级温升	0.75	52.45
三级温升	0.21	14.69
四级温升	0.07	4.90
五级温升	0.01	0.70

