|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 07.060 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png CNEA |   A 45 |

     团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

核电厂海洋环境监测规范

第1部分 温排水监测

Specifications for monitoring the marine environment of nuclear power plants

Part 1 ：Thermal discharge Monitoring

（本草案完成时间：2024年12月20日）

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国核能行业协会  发布

目次

[前言 IV](#_Toc191041565)

[引言 V](#_Toc191041566)

[1 范围 1](#_Toc191041567)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc191041568)

[3 术语和定义 1](#_Toc191041569)

[4 总体要求 2](#_Toc191041570)

[4.1 观测大纲 2](#_Toc191041571)

[4.2 监测内容 2](#_Toc191041572)

[4.3 监测时间选择 2](#_Toc191041573)

[4.4 仪器设备 2](#_Toc191041574)

[4.5 资料分析 2](#_Toc191041575)

[5 固定站连续温度监测 2](#_Toc191041576)

[5.1 监测内容 3](#_Toc191041577)

[5.2 站位布设 3](#_Toc191041578)

[5.3 监测时间与频次 3](#_Toc191041579)

[5.4 监测方法 3](#_Toc191041580)

[5.5 质量要求 3](#_Toc191041581)

[6 全潮监测 3](#_Toc191041582)

[6.1 监测内容 3](#_Toc191041583)

[6.2 全潮站点布设 3](#_Toc191041584)

[6.3 监测时间及频次 4](#_Toc191041585)

[6.4 监测方法 4](#_Toc191041586)

[6.5 质量要求 4](#_Toc191041587)

[7 断面监测 4](#_Toc191041588)

[7.1 监测内容 4](#_Toc191041589)

[7.2 断面布设 4](#_Toc191041590)

[7.3 监测时间和频次 5](#_Toc191041591)

[7.4 监测方法 5](#_Toc191041592)

[7.5 质量要求 5](#_Toc191041593)

[8 表流迹线温度监测 5](#_Toc191041594)

[8.1 监测内容 5](#_Toc191041595)

[8.2 漂流浮标要求 5](#_Toc191041596)

[8.3 监测时间及频次 5](#_Toc191041597)

[8.4 监测方法 5](#_Toc191041598)

[8.5 质量要求 6](#_Toc191041599)

[9 航空遥感监测 6](#_Toc191041600)

[9.1 监测内容 6](#_Toc191041601)

[9.2 航空遥感前期准备 6](#_Toc191041602)

[9.2.1 航空遥感平台选择 6](#_Toc191041603)

[9.2.2 热红外成像系统要求 6](#_Toc191041604)

[9.2.3 飞行要求 6](#_Toc191041605)

[9.2.4 航线布设 6](#_Toc191041606)

[9.2.5 像控点布设 6](#_Toc191041607)

[9.3 监测时间与频次 6](#_Toc191041608)

[9.4 海面同步监测 7](#_Toc191041609)

[9.5 航空遥感影像预处理 7](#_Toc191041610)

[9.5.1 广角畸变校正 7](#_Toc191041611)

[9.5.2 遥感影像拼接 7](#_Toc191041612)

[9.5.3 几何校正 7](#_Toc191041613)

[9.6 遥感温度反演 7](#_Toc191041614)

[9.6.1 大气辅助数据 7](#_Toc191041615)

[9.6.2 水表比辐射率辅助数据 7](#_Toc191041616)

[9.6.3 反演算法选择 8](#_Toc191041617)

[9.7 遥感温度校正 8](#_Toc191041618)

[9.8 遥感温度验证 8](#_Toc191041619)

[10 卫星遥感监测 8](#_Toc191041620)

[10.1 监测内容 8](#_Toc191041621)

[10.2 卫星影像收集 9](#_Toc191041622)

[10.3 卫星遥感影像预处理 9](#_Toc191041623)

[10.3.1 辐射定标 9](#_Toc191041624)

[10.3.2 大气校正 9](#_Toc191041625)

[10.3.3 海水表面温度反演 9](#_Toc191041626)

[10.3.4 反演数据验证 9](#_Toc191041627)

[11 资料分析 9](#_Toc191041628)

[11.1 固定站连续温度监测 9](#_Toc191041629)

[11.2 全潮监测 9](#_Toc191041630)

[11.2.1 温度 10](#_Toc191041631)

[11.2.2 海流 10](#_Toc191041632)

[11.2.3 潮位 10](#_Toc191041633)

[11.3 断面监测 10](#_Toc191041634)

[11.4 表流迹线温度监测 10](#_Toc191041635)

[11.5 航空遥感监测 10](#_Toc191041636)

[11.6 卫星遥感监测 10](#_Toc191041637)

[12 成果评价 10](#_Toc191041638)

[12.1 专家评审 10](#_Toc191041639)

[12.2 行业组织评审 10](#_Toc191041640)

[附 录 A （规范性） 温排水监测记录附表 11](#_Toc191041641)

[A.1 固定站温度观测记录表 11](#_Toc191041642)

[A.2 全潮站位情况记录表 12](#_Toc191041643)

[A.3 断面监测现场记录表 13](#_Toc191041644)

[A.4 表流迹线现场记录表 14](#_Toc191041645)

[附 录 B （规范性） 温排水监测专题报告编写大纲 15](#_Toc191041646)

[B.1 温排水现场监测专题报告编写大纲 15](#_Toc191041647)

[B.2 温排水卫星遥感监测专题报告大纲 16](#_Toc191041648)

[B.3 温排水航空遥感监测专题报告大纲 17](#_Toc191041649)

[附 录 C （资料性） 温排水卫星遥感监测海表温度计算方法 18](#_Toc191041650)

[C.1 辐射传输方程法 18](#_Toc191041651)

[C.2 Qin单窗算法 18](#_Toc191041652)

[C.3 普适单窗算法 19](#_Toc191041653)

[C.4 Qin劈窗算法 19](#_Toc191041654)

[C.5 改进劈窗算法 20](#_Toc191041655)

[C.6 反演参数计算 20](#_Toc191041656)

[参考文献 21](#_Toc191041657)

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国核能行业协会提出并归口，技术支持单位为上海核工程研究设计院有限公司、核工业标准化研究所、苏州热工研究院有限公司、华能核能技术研究院有限公司。

本文件起草单位：福建福清核电有限公司、中国核电工程有限公司、天津水运工程勘察设计院有限公司、交通运输部天津水运工程科学研究院。

本文件主要起草人：薛峻峰、白凯、王彦龙、陈鸿飞、李双伟、范小猛、陈春晖、龚智明、谢昌铭葛士亭、林颖越、许莉萍、文先华、张晓娜、郑伟、刘杰、沈小明、范长新、刘亮、祁祥礼、杨正清、刘振宇、张骞、范子斌等。

本文件首次发布。

1. 引言

为了贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》，结合核电运维阶段的具体需要，规范核电厂海洋环境的监测工作，及时了解和掌握核电厂附近海区海水温度、温排水扩散范围和温升程度，为准确科学评价滨海核电温排水对周边海洋生态环境的影响提供依据。

本文件主要依据GB/T12763.2-2007《海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测 水温观测》、HJ1213—2021《滨海核电厂温排水卫星遥感监测技术规范》、NB/T 20299-2014《核电厂温排水环境影响评价技术规范》、HJ1037-2019《核动力厂取排水环境影响评价指南》、JTS 132-2015《水运工程水文观测规范》中的相关要求，以现行的HJ 1213—2021（国家生态环境标准）《滨海核电厂温排水卫星遥感监测技术规范》为基础，总结国内多个核电厂已完成温排水监测工作经验，结合核电厂海洋环境的特点和实际情况进行编制，是对现行行业规范、标准的综合、细化和补充。

核电厂海洋环境监测规范

第1部分 温排水监测

* 1. 范围

本文件提出了核电厂海洋环境监测中温排水监测工作中的监测内容、时间及频次、监测方法和结果评价（数据处理）等内容。

本文件适用于核电厂海洋环境中温排水监测专题研究工作，为使用者开展温排水监测工作提供技术规范。

* 1. 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，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

GB/T 12763.2-2007 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测

GB/T 14914.2-2019 海洋观测规范 第2部分：海滨观测

HJ 1213-2021 滨海核电厂温排水卫星遥感监测技术规范

NB/T 20299-2014 核电厂温排水环境影响评价技术规范

HJ 1037-2019 核动力厂取排水环境影响评价指南

JTS 132-2015 水运工程水文观测规范

GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范

GB/T 14950-2009 摄影测量与遥感术语

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

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]

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。

[来源：HJ 1213—2021, 3.4]

表层海水温度 sea-surface temperature

海水表面到0.5m深处之间的海水温度。

[来源：GB/T 14914.2-2019，3.2]

固定站连续温度监测 Fixed station continuous temperature observation

在工程海域固定位置，采用测温仪进行的连续温度监测。

断面监测 sectional observation

在调查海区一水平直线上设计多个观测点，由这些观测点的垂线所构成的面称为断面。在此断面之站点上进行的海洋观测称为断面观测。

[来源：GB/T 12763.2-2007，3.16]

走航监测running observation

根据预先设计的航线,在单船或多船携带走航式传感器采集观测要素数据。

[来源：GB/T 12763.2-2007，3.19]

连续监测 continuously observation

在调查海区有代表性的测点上，连续进行25小时以上的海洋监测。

[来源：GB/T 12763.2-2007，3.17]

同步监测 synchronous survey

在调查海区若干站点上，同时进行相同海洋环境要素的监测。

[来源：GB/T 12763.2-2007，3.18]

海洋生态敏感区 marine ecological sensitive area

海洋生态功能价值较高，且遭受损害后较难恢复其功能的海域，主要包括各级自然保护区、国家公园、生态保护红线所在区域、特殊生境（红树林、珊瑚礁、海草（藻）床、盐沼等）、珍稀濒危海洋生物的天然集中分布区，重要河口、海湾、海岛及其周围海域，重要水生生物的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道、海洋特别保护区、海洋自然历史遗迹和自然景观等。

像元 pixel

数字影像的基本单元。

[来源：GB/T 14950-2009，4.67]

水表比辐射率 water surface emissivity

海水表面在温度、波长处的辐射出射度与同温度、同波长下的黑体辐射出射度的比值。

广角畸变改正 wide-angle distortion correction

对热红外广角镜头拍摄视角大导致的影像畸变进行改正。

像控点 image control point

用于图像几何校正的实测控制点。

无人机影像温度 drone image temperature

无人机红外遥感影像反应出的测区温度，包含表层海水温度与大气温度。

同步点对 synchronize point pairs

航空遥感观测与固定站连续温度监测、断面监测数据中同时刻、同位置的观测点。

* 1. 总体要求
     1. 观测大纲

在项目开展前，根据相关规范和技术要求，搜集以往的研究成果，编制工作大纲，以此作为工作依据。

* + 1. 监测内容

根据核电厂的技术任务书相关要求，宜进行固定站连续温度监测、全潮监测、断面监测、表流迹线温度监测、航空遥感监测、卫星遥感监测等内容，并在厂区附近布置临时气温观测站，同步观测测验期间气温情况，并搜集其他气象资料。

* + 1. 监测时间选择

应根据厂区所在区域的气候条件、海域的水流条件、河流影响以及电厂运营情况等因素确定，一般宜选择冬季和夏季等典型季节的大、中、小潮期。

* + 1. 仪器设备

所使用的仪器设备精度指标需满足整体工作要求，具备检定合格证书。开展测量工作前应进行仪器标定，测温仪器标定精度应达到±0.05℃。

* + 1. 资料分析

核电厂排水口海域温度场的变化受多种因素的影响，单一的监测手段很难反映温度场的变化规律，应采用固定站连续温度监测、全潮监测、断面监测、表流迹线温度监测、航空遥感监测、卫星遥感监测等多种手段获取的不同类型数据进行综合分析。

* 1. 固定站连续温度监测
     1. 监测内容

在温排水监测区域布设固定温度监测站，宜采用自容式测温仪进行长期连续温度监测。

* + 1. 站位布设

运维阶段应以温排水的排放口为中心,在≥4℃温升线、3℃~2℃之间和冬季2℃温升线、夏季1℃温升线附近，结合红外遥感和卫星遥感温度标定的需要布设固定温度观测站，原则上距排水口越近，点位越密集，数量应根据机组温排水流量的大小确定，应不少于10个。

根据测区温度扩散情况，选择在不受温排水影响的区域设置固定水温监测站，以获取海域本底温度资料。

宜在温排水监测潮间带区域内布设1~2个地温监测站，以监测近岸浅滩地温与水温的变化过程。

* + 1. 监测时间与频次

监测时间和频次应根据目标海域的水动力特征确定，宜覆盖冬夏两季的大、中、小潮期，持续时间应不少于10日，监测时间间隔不大于30分钟，自动观测每3秒采样1次，取1分钟内的平均值作为观测值。

* + 1. 监测方法

固定水温监测站应按设计位置建站，实际建站定位误差不宜大于（5+1.5H）m，H表示测站最大水深（下同）。

在排放口、取水口、潜排混合区等特征站位分别布设固定站，宜采用浮标式进行三点法监测，其余点位宜采用浮标式进行一点法监测，具体分层标准按表1执行。

1. 固定温度站标准监测层次划分

| 点位类别 | 测点数 | 测点位置水深H（m） |
| --- | --- | --- |
| 特征点位 | 3 | 水面下0.5m、0.5H、水底面上0.5m |
| 其余点位 | 1 | 水面下0.5m |

表层海水温度应根据下列原则确定：

1. 当海水表面与海面下0.5m处的温差小于0.1℃时，可直接采用海面下0.5m水温数据作为表层海水温度；
2. 当海水表面与海面下0.5m处的温差大于或等于0.1℃时，应依据第六章和第七章监测到的海水表面与海面下0.5m的温度关系进行修正，以作为表层海水温度。

地温监测站宜在海面下0.5m、地面以上5cm、地面以下5cm、30cm位置分层布设。

监测时应填写固定站温度观测记录表，主要包含测站站号、仪器型号、仪器SN码、实际经纬度等信息，记录过程中禁止涂抹，具体格式见附表A.1所示。

监测过程中应及时查看各站测温仪器的安全和获取数据的质量，如发现缺失数据、异常数据、记录曲线间断或不清晰时，应立即补测。

* + 1. 质量要求

数据获取率不低于95%。

测量精度应满足相关规范要求，水温监测的精确度应不低于±0.05℃、分辨率应不低于0.01℃。

* 1. 全潮监测
     1. 监测内容

在设计位置布设全潮监测站，在开展温度监测的同时，应同步开展工程海域流速、流向、潮位等水文要素监测。

* + 1. 全潮站点布设

根据海域实际情况，在具有代表性和特征性的区域布设全潮监测站，数量应不少于6个，其中3个点布设在潜排区，3个点布设在潜排区外；

运维阶段应在≥4℃温升线、3℃~2℃之间和冬季2℃温升线、夏季1℃温升线附近布设站位；

根据观测站不同的水深情况确定合适的监测层次，温度标准监测层次按表2执行，水文要素标准监测层次按表3执行；

全潮观测应列出监测站位情况表，格式见附表A.2；

在工程海域附近应布设潮位监测站，潮位站附近需具备满足四等水准精度要求的水准点。

1. 全潮温度监测标准监测层次划分

| 垂线水深H（m） | 测点数 | 测点位置水深H（m） |
| --- | --- | --- |
| H＜5 | 3 | 表层、0.6H、底层 |
| H≥5 | 6 | 表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H底层 |
| 1. 温度表层为水面下0.5m，底层为海底面上0.5m，当海水温度垂向变化剧烈时监测层次可适当增加。 | | |

1. 全潮海流监测标准监测层次划分

| 垂线水深H（m） | 测点数 | 测点位置水深H（m） |
| --- | --- | --- |
| ＜2 | 1 | 0.6H |
| 2≤H＜5 | 2 | 0.2H、0.8H |
| 5≤H＜8 | 3 | 0.2H、0.6H、0.8H |
| 8≤H＜11 | 5 | 表层、0.2H、0.6H、0.8H、底层 |
| ≥11 | 6 | 表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底层 |
| 1. 海流表层为水面下0.5m，底层为海底面上0.5m。 | | |

* + 1. 监测时间及频次

监测时间和频次应根据目标海域的水动力特征确定，宜覆盖冬夏两季的大、中、小潮期，每个潮期的持续时间应不少于25小时，测量时间间隔应不大于1小时，在无人机遥感监测期间应加密监测。

* + 1. 监测方法

各测船在测量开始前按设计坐标导航就位，采用单点系泊停船，记录每个潮次测量时的实际站位坐标。

在规定时间将设置为深度模式的温盐仪缓慢（30~50cm/s）投放至水底，进行剖面温度观测，垂向水温数据分层间隔应不大于0.1m。

表层海水温度按照海面下0~0.5m的温度平均值确定，并分析表层海水温度与海面下0.5m温度的相关性，用于修正固定站连续温度监测数据和同步观测的海水温度数据，表层海水温度的修正按5.4.3要求确定。

全潮海流监测每小时整点同步观测分层流速、流向，转流时加密为0.5小时，分层间隔不大于1m。各测站在转流后1小时统一收测（以转流为准，在转流前开测，转流后结束，满足潮流闭合要求）。

* + 1. 质量要求

数据完整率应不小于95%。

其余要求按照GB/T 12763.2和GB/T 14914.2的有关规定执行。

* 1. 断面监测
     1. 监测内容

在温排水监测区域布设断面，采用船舶进行走航式表层海水温度监测。

* + 1. 断面布设

断面应穿越温排水潜排区并均匀布设，走向应与主潮流流向或岸线垂直，测线起点一般为靠岸方向，终点应包络1℃温升线区域外；

温排水的排放口采用海底管道排放时，主测线布设宜采用螺旋线或45°斜线；

断面数量应不少于5条，当涉及海洋生态敏感区时应适当增设断面，每条长度不宜超过8km；

断面上温升区变化特征处宜布设垂向水温监测点采集剖面水温数据，每条断面垂向水温观测点不宜少于5个，垂向分层按照表2划分；

断面监测前应画出断面分布图，格式见附表A.3。

* + 1. 监测时间和频次

监测时间和频次应根据目标海域的水动力特征确定，在大潮、中潮和小潮期间宜选取每个潮型的涨憩、落急、落憩、涨急4个特征潮态进行断面温度监测，宜根据现场情况在每个潮态节点前开始监测，与航空遥感监测同步进行。

* + 1. 监测方法

测量前应对仪器进行时间校正；走航测温仪器按时间模式进行数据采样，采样间隔宜设置为1s；垂向测温仪器按深度模式进行数据采样，垂向分层间隔应不大于0.1m。

将用于走航的测温仪器固定在测量杆上，安装在船舶侧弦1/2处，温度传感器离水面的垂直距离不得超0.5m，监测过程中避免测温仪器露出水面或被漂浮物覆盖。

测船沿断面进行走航温度监测，最大船速不超过2m/s，每个特征潮态温度监测应在1小时内完成。

测船到达垂向水温点后减速停船，将垂向测温仪器缓慢（30~50cm/s）投放至水底，采集垂向水温数据。

垂向水温点监测时，表层海水温度按照海面下0~0.5m的温度平均值确定，分析表层海水温度与海面下0.5m温度的相关性，用于修正断面走航监测采集到的温度数据，表层海水温度的修正按5.4.3要求确定。

海上风力等级超过5级时，应停止作业。

* + 1. 质量要求

数据完整率应不小于95%。

水温监测的精确度应达到±0.05℃、分辨率应达到0.01℃。

走航测温时平面定位误差应不超过2m，定位中心应与测温中心一致，其偏差不大于图上0.3mm，超出时应进行归心改正。

* 1. 表流迹线温度监测
     1. 监测内容

采用漂流浮标沿流迹线监测沿程表层海水温度分布，同步监测海流运动轨迹。

* + 1. 漂流浮标要求

漂流浮标应具有防水外壳、卫星定位模块、水温传感器、存储器卡、数据传输装置、电池、水帆等组成部分，可以实时接收卫星定位信号，浮标形状宜为圆形，以减少风等外界环境的干扰。

漂流浮标宜采用网络信号和北斗信号双通道模式，确保数据传输路径不中断，能够实时发送位置至数据终端。

* + 1. 监测时间及频次

表流迹线温度监测应在风力小于5级，海况相对较好的情况下进行。根据现场情况，监测时间应包含大、中、小潮期间的涨憩、落急、落憩、涨急4个特征潮态，应与断面监测和航空遥感监测同步进行。

* + 1. 监测方法

测量前对仪器进行时间校正，温度传感器按时间模式进行数据采样，采样间隔宜设置为1s。

温度传感器应固定在浮标合适位置，入水深度不超过0.5m，宜为0.3m，用于监测表层海水温度。

以排水口附近为起点，投放漂流浮标，浮标应随涨落潮主流方向自由漂浮，避免浮标进入附近的洄流区。

测船位于漂流浮标后方缓慢行驶，不影响浮标正常运动。若遇到障碍物影响浮标自由漂浮时，观测人员应回收浮标并选择合适位置重新投放，继续观测至此次潮态结束。

监测过程中断时，应记录发生时间和产生原因，记录格式应满足附表A.4要求。

通过客户端实时监测浮标的位置及运动路径，每个观测时段结束后，可生成漂流轨迹和沿程水温变化图。

监测结束后及时回收浮标，回到指定起始位置准备下一次观测。

* + 1. 质量要求

数据完整率应不小于95%。

漂流浮标的定位精度小于2m，所搭载的测温仪器精度应小于±0.1℃，采样时间间隔宜小于30s。

* 1. 航空遥感监测
     1. 监测内容

利用航空遥感影像获取监测海域特定时刻的表层海水温度，分析不同潮态下温升的影响范围与面积。

* + 1. 航空遥感前期准备
       1. 航空遥感平台选择

应根据项目需求选择合适的航空遥感平台。

* + - 1. 热红外成像系统要求

1. 测温范围至少在-10℃~100℃；
2. 传感器测温灵敏度应不大于0.2℃；
3. 传感器测温误差不超过0.3℃；
4. 成像分辨率不低于640x512。
   * + 1. 飞行要求
5. 在项目开展前，应与相关空域管理部门沟通，获取计划时间的飞行许可，特别是要准确掌握当地允许的飞行高度、范围和时间等要求，适时修正工作大纲监测计划，以获取同步监测数据；
6. 飞行姿态、航向重叠度、旁向重叠度、飞行速度、飞行高度以及影像倾角与旋角等要求，参照GB/T 39612执行；
7. 根据空间分辨率和测温精度需求，飞行高度不宜超过800m，定位误差不大于±2m；
8. 观测期间，测区内应满足少云且云层不低于800m、无雾霾能见度不小于10km、风速不大于5级等气象条件，下雨时应立即停止观测。
   * + 1. 航线布设
9. 根据飞行范围、航空飞行器数量、飞行速度、有效飞行时间、航高、红外遥感镜头视场角等因素，合理制定飞行方案，以便于划分飞行区块。
10. 在飞行区块内一般应垂直于岸线或温升等值线布设航线。
    * + 1. 像控点布设
11. 像控点应尽量布设在两条航线的旁向重叠范围内，当旁向重叠过小、相邻航线像控点不能共用时各航线应分别布点；
12. 像控点应不少于4个，并优先在影像边缘布设；
13. 无法布设像控点时，应进行免像控点几何校正，定位精度不低于5m。
    * 1. 监测时间与频次

根据监测海域的水动力特征确定监测时间，宜在大潮、中潮和小潮期间选取每个潮型的涨憩、落急、落憩、涨急4个特征潮态进行航空遥感监测，根据现场情况，每次飞行宜选在潮态节点前开始。

每个特征潮态的监测时间应在1小时内完成，与断面温度监测和表流迹线温度监测同步进行。

* + 1. 海面同步监测

在进行航空遥感监测的同时，需要通过固定站连续温度监测、断面监测、全潮监测以及表流迹线温度监测等监测手段进行表层海水温度的同步监测，用于校正航空遥感监测结果。

固定温度监测站和全潮监测站的同步监测可以获取工程海域特征点位的海水温度数据，与航空遥感监测的数据结果建立同步关系后，可用于校正遥感监测的海水温度数据。

断面监测和表流迹线温度监测与航空遥感监测同步进行，三种监测手段获取的数据具有更好的同步性，用于遥感监测温度数据的校正效果更好。

当断面监测和表流迹线温度监测的同步数据量满足要求时，可优先用于确定校正参数；否则可利用固定温度监测站和全潮监测站获取的特征点同步数据确定校正参数。

随机选取现场温度监测同步数据量的70%数据用于确定校正参数，其余用于校正后温度的验证。

* + 1. 航空遥感影像预处理
       1. 广角畸变校正

融合航空遥感可见光波段的影像，对热红外影像进行校正。校正时优先选择直线、折线等规则形状地物。经广角畸变校正后，热红外影像应无明显的镜头畸变。

* + - 1. 遥感影像拼接

遥感影像宜选择SIFT算法结合高精度POS数据进行拼接。

* + - 1. 几何校正

利用遥感软件，根据像控点位置信息对航空遥感影像进行配准，解算转换矩阵，实现影像的几何校正。经几何校正的影像，平面误差不超过1个像元。校正点选取的原则如下：

1. 选择原始遥感影像上的道路交叉口、河流分叉拐弯处、桥梁、建筑物、电厂附近岸线拐点、养殖池围堤拐点、防波堤端点、码头前沿、海岛上明显地物点等为校正点；
2. 对几何畸变较小的影像，校正点应不少于15个；对几何畸变程度较大的影像，校正点应不少于30个，并应优先在影像边缘选择校正点；几何畸变程度相近的区域校正点应均匀分布。
   * 1. 遥感温度反演
        1. 大气辅助数据
3. 与大气相关的辅助数据可以采用如下方式获取：
   1. 具备观测条件时，应观测成像时刻的大气透过率、大气上行辐射和大气下行辐射数据；
   2. 不具备观测条件时，可利用微波卫星、高（多）光谱卫星模拟和MODTRAN、6S大气模型模拟分析得到上述数据。
4. 大气辅助数据的精度、不同来源的大气辅助数据选择顺序应满足如下要求：
   1. 观测数据站位应位于排水口10km范围内，观测数据绝对误差应小于3%；
   2. 利用模拟再分析数据时，应利用温排水临近海域的数据进行验证，绝对误差应小于5%；
   3. 利用模型模拟时，应利用2种及以上模型进行交互验证，相对误差应小于5%；
   4. 数据选用的优先顺序为观测数据、卫星模拟数据、大气模型模拟数据。
      * 1. 水表比辐射率辅助数据
5. 数据获取
   1. 具备测量条件时，应采用直接测量法或间接测量法获取；
   2. 不具备测量条件时，应利用遥感反演的方式获取。
6. 数据质量
   1. 利用测量法时，测量时间与遥感影像成像时间差不应超过5分钟；
   2. 利用遥感反演时，应利用2种及以上模型进行交互验证反演精度；
   3. 利用遥感反演水表比辐射率时，应优先使用与反演表层海水温度来源相同的传感器。传感器来源不一致时，遥感影像的成像时间差不应超过5分钟；
   4. 水表比辐射率的取值范围一般为0.975-0.995。
      * 1. 反演算法选择

根据温度传感器不同，可采用辐射传输方程法、Qin单窗算法、普适单窗算法等方法反演海水表层温度，各方法具体算法见附录C，不同情形下的算法推荐顺序如下：

1. 对于利用单个热红外波段的计算海水表面温度的遥感传感器，可用辐射传输方程法、Qin单窗算法、普适单窗算法等计算海水表面温度；对于利用两个及以上热红外波段计算海水表面温度的传感器，可用改进劈窗算法和Qin劈窗算法等计算海水表面温度；
2. 对于仅利用一个热红外波段计算海水表面温度的传感器，可通过观测获得海面大气透过率、大气上行辐射和大气下行辐射三个基本参数时，计算方法推荐顺序依次为：辐射传输方程法、普适单窗算法、Qin单窗算法；
3. 对于仅利用一个热红外波段计算海水表面温度的传感器，在不具备观测大气条件，但可利用微波卫星、高（多）光谱卫星、MODTRAN、6S 等大气模型模拟上述参数时，计算方法推荐顺序依次为：辐射传输方程法、普适单窗算法、Qin单窗算法；
4. 对于仅利用一个热红外波段计算海水表面温度的传感器，在不具备观测大气条件，且难以利用微波卫星、高（多）光谱卫星、MODTRAN、6S 等大气模型模拟上述参数时，计算方法推荐顺序依次为：Qin单窗算法、普适单窗算法、辐射传输方程法；
5. 对于利用两个及以上热红外波段的传感器，计算方法推荐顺序依次为：改进劈窗算法、Qin劈窗算法；
6. 在高水面平均大气温度或高大气水分含量条件下，不建议使用普适单窗算法；
7. 辐射传输方程法不适用于热红外通道波段范围较宽且官方尚未公布波谱响应函数的传感器。
   * 1. 遥感温度校正

航空遥感监测获取的影像温度需根据海面实测温度进行校正，将空气影响剔除,得到海水表层温度，校正步骤如下：

1. 将反演后红外遥感影像与固定水温观测站数据、表层走航测温数据按平面位置叠加，在设定时间尺度为±600s，空间尺度为1个像元的基础上，找出不同数据间的同步点对；
2. 分析这些同步点对之间的对应关系，找出对应规律，建立校正模型，对反演后的表层海水温度进行系统误差校正，同步点对数据应包含最高温度值和最低温度值的整个温度域值区间，校正方法应具有区域普适性，可采用线性回归算法；
3. 建立海面实测温度与红外遥感获取的影像温度数据间的转换关系，对温度反演后的影像温度进行系统误差校正。
   * 1. 遥感温度验证

引入平均绝对误差（MAE）指标验证遥感温度反演精度。指标计算公式为：

()

式中：

——同步监测获取的表层海水温度值；

——遥感影像反演温度值；

——去除用于校正数据外的其他同步点对数据集。

遥感反演温度平均绝对误差应不大于0.3℃。

* 1. 卫星遥感监测
     1. 监测内容

通过对卫星影像数据的处理，反演监测海域特定时刻的海水表层温度，可计算温排水排放后的温升、范围与面积。由于卫星遥感具有监测面积大，时间广、分辨率相对低、易受天气影响等特点，在采用卫星遥感监测时，宜采用航空遥感并行进行监测，以达到相互验证的目的。

* + 1. 卫星影像收集

搜集到的卫星影像应满足以下基本要求：

1. 收集时间为核电厂建设前和温排水监测日期内的卫星过境时间影像，拼接影像应为同一传感器成像且成像时间差不超过5分钟；
2. 成像传感器在热红外谱段8.0～12.5范围内应至少有1个通道；
3. 温排水监测区域云量的覆盖率不大于5%；
4. 空间分辨率至少在300m以内，优先采用分辨率100m以内的影像；
5. 可见光、近红外谱段应至少有红、绿、蓝或近红、红、绿通道；

应收集核电厂建设前以及建设后不同阶段卫星过境时间影像，包括大、中、小潮和涨、落潮时刻具有代表的卫星遥感图片，用于分析不同阶段不同时刻温度场的变化。收集的卫星影像中至少包括一张与海面实测期间同步影像图片，用于数据验证，与海面实测同步影像时间差应不超过30分钟。

收集的在海面实测期间的遥感影像图片无法满足使用要求时，宜采用有关研究成果或与实测资料相近时段的遥感影像进行数据验证比对，反演的温度场成果可作为参考使用。

* + 1. 卫星遥感影像预处理
       1. 辐射定标

为了消除传感器本身的误差，确定传感器入口处的准确辐射值，需将图像的亮度灰度值转换为大气外层表面反射率（或称为辐射亮度值），计算公式为：

()

式中：

——波段的光谱辐照度，单位为；

——波段的像元值；

——波段的偏移参数；

——波段的增益参数。

参数数值可以从影像的元文件中获得。

* + - 1. 大气校正

大气校正方法众多，应根据可见光波段和热红外波段的特点分别进行。航天遥感温度反演宜使用辐射传输模型进行大气校正，例如6S、MODTRAN等模型。

* + - 1. 海水表面温度反演

海水表面温度反演算法可按照9.7.3的原则进行选择。

* + - 1. 反演数据验证

提取海面实测数据和航空遥感数据分别与卫星遥感反演数据对比，平均绝对误差均应不大于0.5℃。

* 1. 资料分析
     1. 固定站连续温度监测

按照固定站连续温度监测内容和目的，对监测数据整理计算，提交包含站位编号、坐标以及与观测时间相对应温度值的监测成果报表。通过对监测成果报表计算，统计各测站最高、最低以及平均温度值，并分析典型潮态下各固定站温度与时间的变化关系。

* + 1. 全潮监测

全潮监测内容应包含逐时水深、流速、流向、温度等水文要素，分别提供温度报表、潮位报表和潮流报表。

* + - 1. 温度

温度报表应包括站位编号、坐标、观测起止时间以及与观测时间相对应的温度值等内容，通过成果报表，可进行全潮期间的平均水温、最大水温、水温垂向分布等内容的统计分析。

* + - 1. 海流

海流报表应包括站位编号、坐标、观测起止时间以及与观测时间相对应的分层流速、流向等内容，其中海流数据分层要求按照6.2要求进行，垂线平均流速、流向应采用矢量合成法计算。

海流分析应包括：①潮段平均流速、流向 ②垂线平均涨、落潮流最大流速、流向 ③涨、落潮段测点最大流速 ④海流的垂向分布 ⑤涨落潮流历时 ⑥潮流准调和分析 ⑦潮流类型、运动形势分析 ⑧潮流的可能最大流速 ⑨余流等内容。

* + - 1. 潮位

潮位报表应包括站位编号、坐标、观测起止时间以及与观测时间相对应的潮高等内容，通过潮位报表可进行全潮观测期间潮位特征分析、潮汐调和分析以及潮汐性质分析等。

* + 1. 断面监测

利用走航测温采集的不同潮态下各测线数据，输出形成位置坐标与海水表层温度对应的三维数据（x、y平面坐标值，h温度值）成果报表，并据此展绘成CAD格式的成果图，勾绘水温等值线，直观展示温排水在各特征潮态下扩散方向、程度及范围。垂向水温点应分析水温值随深度的变化情况。

* + 1. 表流迹线温度监测

利用漂流浮标自由运动过程中采集的轨迹坐标和温度数据形成三维数据（x、y平面坐标值，h温度值）成果报表，并根据浮标漂流迹线绘制表流迹线观测图，图中需注记日期、时间、潮型及比例尺等信息。

* + 1. 航空遥感监测

结合海面实测温度数据，进行成果分析，成果包括航空遥感影像图、航空遥感热红外温度场编码图、温升场编码图以及温升包络线与面积分析结果。

* + 1. 卫星遥感监测

结合海面实测温度数据，进行成果分析，成果包括卫星遥感影像图、卫星遥感温度场编码图、温升场编码图以及温升包络线与面积分析结果。

* 1. 成果评价
     1. 专家评审

通过成立行业内相关领域专家组的方式进行专家评审，形成专家组评审结论，以评审专题研究成果结论的科学性和正确性。

* + 1. 行业组织评审

通过行业协会、学会、第三方机构等社会团体组织的行业评审，行业社会团体组织给出评审结论，以评审专题研究成果结论的科学性和正确性。



附 录 A  
（规范性）  
温排水监测记录附表

* 1. 固定站温度观测记录表

| 调查船： | 海区： | 天气： |
| --- | --- | --- |
| 测站水深： | 仪器型号： | 仪器SN码： |
| 测站编号 |  | 现场工作情况 |
| 纬 度 |  |  |
| 经 度 |  |
| 采样间隔 |  |
| 偏移距离 |  |
| 入水时间 |  |
| 出水时间 |  |
| 电池电量 |  |
| 海 况 |  |
| 固定站水温测量值 | | |
| 观测日期 | 观测时间 | 水温值（℃） |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
| 观测者： | 计算者： | 校对者： |

* 1. 全潮站位情况记录表

| 站号 |  | 海区 |  | 调查船 |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 仪器型号 | |  | | 记录人 |  |
| 大潮 | 坐标 | 东经 |  | 北纬 |  |
| 全潮情况 |  | | | |
| 中潮 | 坐标 | 东经 |  | 北纬 |  |
| 全潮情况 |  | | | |
| 小潮 | 坐标 | 东经 |  | 北纬 |  |
| 全潮情况 |  | | | |

* 1. 断面监测现场记录表

| 项目名称 |  | 项目编号 |  | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 断面与站位图： | | 站位编号及坐标 |  | | |
| 编号 | 监测要素 | 经度 | 纬度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 坐标系 |  | 投影 |  |
| 绘图人 |  | 时间 |  |

* 1. 表流迹线现场记录表

| 调查船 |  | 海区 |  | 天气 |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 仪器型号 |  | | 仪器SN码 |  | |
| 测站编号 | | |  | | |
| 起点纬度 | | |  | | |
| 起点经度 | | |  | | |
| 采样间隔 | | |  | | |
| 海 况 | | |  | | |
| 表流迹线监测情况记录表 | | | | | |
| 时间 | | 出水/入水 | | 原因 | |
|  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |
| 观测者 |  | | 校对者 |  | |

附 录 B  
（规范性）  
温排水监测专题报告编写大纲

B.1 温排水现场监测专题报告编写大纲

按照表B.1编制温排水现场监测专题报告。可根据项目的特点和相关工作的具体要求，对有关章节做适当增减。

* 1. XX项目温排水现场监测专题报告编写大纲

| 1 项目概况 |
| --- |
| 2 监测内容 |
| 3 监测工作 |
| 3.1 实施依据 |
| 3.2 技术路线 |
| 3.3 站位布设 |
| 3.4 监测时间 |
| 3.5 仪器设备及监测方法 |
| 3.6 资料处理与分析 |
| 4 质量查询 |
| 4.1 组织结构设置 |
| 4.2 质量保证文件 |
| 4.3 仪器设备控制 |
| 4.4 过程控制 |
| 4.5 记录控制 |
| 5 海水温度监测分析 |
| 5.1 时间变化 |
| 5.2 平面分布 |
| 5.3 垂向分布 |
| 1. 结论与建议 |

B.2 温排水卫星遥感监测专题报告大纲

按照表B.2编制温排水卫星遥感监测专题报告。可根据项目的特点和相关工作的具体要求，对有关章节做适当增减。

* 1. XX项目温排水卫星遥感监测专题报告大纲

| 1 项目概况 |
| --- |
| 2 监测工作 |
| 2.1 实施依据 |
| 2.2 技术路线 |
| 2.3 遥感数据 |
| 2.4 现场监测数据 |
| 3 质量控制 |
| 3.1 组织结构设置 |
| 3.2 质量保证文件 |
| 3.3 数据质量控制 |
| 3.4 过程控制 |
| 4 遥感温度反演与验证 |
| 4.1 遥感数据预处理 |
| 4.2 算法选择与参数获取 |
| 4.3 表层海水温度反演 |
| 4.4 反演结果验证 |
| 5 成果分析 |
| 5.1 温度场 |
| 5.2 温升场 |
| 5.3 温升包络线与面积 |
| 1. 结论与建议 |

B.3 温排水航空遥感监测专题报告大纲

按照表B.3编制温排水航空遥感监测专题报告。可根据项目的特点和相关工作的具体要求，对有关章节做适当增减。

* 1. XX项目温排水航空遥感监测专题报告大纲

| 1 项目概况 |
| --- |
| 2 监测工作 |
| 2.1 实施依据 |
| 2.2 技术路线 |
| 2.3 飞行路线 |
| 2.4 站位布设 |
| 2.5 监测时间 |
| 2.6 仪器设备及监测方法 |
| 3 质量控制 |
| 3.1 组织结构设置 |
| 3.2 质量保证文件 |
| 3.3 数据质量控制 |
| 3.4 过程控制 |
| 4 监测结果与验证 |
| 4.1 数据预处理 |
| 4.2 温度校正 |
| 4.3 温度验证 |
| 5 成果分析 |
| 5.1 温度场 |
| 5.2 温升场 |
| 5.3 温升包络线与面积 |
| 6 结论与建议 |

附 录 C  
（资料性）  
温排水卫星遥感监测海表温度计算方法

C.1 辐射传输方程法

辐射传输方程法的具体计算过程如下：

1. 利用Planck方程求解海水表面温度：

(C.1)

式中：

——海水表面温度的数值，单位为开尔文（K）；

，——常量的数值；

——海表辐射亮度值的数值，单位为W/m2∙sr。

1. ，，其中，，是有效波长。和也可参照相关研究成果或有关机构验证过的经验数值。

C.2 Qin单窗算法

Qin单窗算法的具体计算过程如下：

1. 利用下式求解表层海水温度：

(C.2)

式中：

——海水表面温度的数值，单位为开尔文（K）；

a，b——回归系数的数值，可按照相关研究成果或有关机构验证过的经验数值；

——高亮温度的数值，单位为开尔文（K）；

——大气向上平均作用温度的数值，单位为开尔文（K）；

可用Planck函数求解，计算公式如下：

(C.3)

式中：

——表观辐亮度的数值，单位为瓦每平方米每立体角每微米（）；

，——常量，可通过遥感影像的头文件查询，也可参照相关研究成果或有关机构验证过的经验数值。

(C.4)

式中：

，——回归系数的数值，和的计算可参照相关研究成果或有关机构验证过的经验数值；

——水面平均大气温度（海面以上2 m处 ）。

1. C和D的计算公式如下：

(C.5)

式中：

——水表比辐射率的数值，无量纲；

——大气透过率的数值，无量纲。

(C.6)

1. 参数获取要求
   1. 大气透过率（）和水表比辐射率（）可参照9.7.1和9.7.2中的方法获取；
   2. 水面平均大气温度可在成像时刻实际测量获取，也可利用经过验证的大气温度产品。

C.3 普适单窗算法

普适单窗算法的具体计算过程如下：

1. 利用下式求解表层海水温度：

(C.7)

式中：

——表观辐亮度的数值，单位为瓦每平方米每立体角每微米（）；

——水表比辐射率的数值，无量纲，可参见9.7.2获取；

——中间变量；

——大气函数。

1. 和的计算公式如下：

(C.8)

(C.9)

式中：

——亮度温度的数值，单位为开尔文（K）；

——波段的有效波长的数值，单位为微米（）。

1. 大气函数（）的计算公式如下：

(C.10)

式中：

——大气水分含量的数值，单位为克每平方厘米（）；

——与波长相关的谱函数的数值，具体数值可以参照相关研究成果或有关机构验证过的经验数值。

1. 大气透过率也可利用9.7.1的方法进行；大气水分含量可利用经过验证的卫星反演的、气象预报的等大气水分含量产品。

C.4 Qin劈窗算法

Qin 劈窗算法的具体计算过程如下：

1. 利用下式求解表层海水温度：

(C.11)

式中：

——表层海水温度的数值，单位为开尔文（K）；

——遥感传感器波段i热红外通道的亮度温度的数值、单位为开尔文（K）；

——遥感传感器波段j热红外通道的亮度温度的数值、单位为开尔文（K）；

——中间变量。

1. 的计算方法如下：

(C.12)

(C.13)

(C.14)

式中：

——波段i或波段j对应的系数的数值，可采用相关研究成果或有关机构验证过的经验数值；

——波段i或波段j对应的中间变量的数值，可用和表示。

(C.15)

(C.16)

式中：

——波段i或波段j对应的水表比辐射率的数值，无量纲；

——波段 i 或波段j在传感器视角θ处的大气透过率的数值，无量纲；

和可参照 9.7.2中的方法获取。

C.5 改进劈窗算法

改进劈窗算法公式如下：

(C.17)

式中：

——两个波段热红外通道的水表比辐射率均值的数值，无量纲，其计算方法可参照9.7.2的方法获取；

——两个波段热红外通道的水表比辐射率差值的数值，无量纲，其计算方法可参照9.7.2的方法获取；

——波段i热红外通道的亮度温度的数值、单位为开尔文（K）

——波段j热红外通道的亮度温度的数值、单位为开尔文（K）；

——各项系数的数值，可通过实验室数据、大气参数数据以及大气辐射传输方程的模拟数据集换算得到。

C.6 反演参数计算

1. 归一化植被指数

(C.18)

式中：

——近红外波段；

——红波段。

1. 植被覆盖度

(C.19)

式中：

——完全是裸土或无植被覆盖区域的值；

——完全被植被覆盖的值。

1. 水表比辐射率

主要是通过遥感反演的方法计算，直接反演利用同一卫星多个热红外波段数据反演；间接反演通过归一化植被指数（）估算。

1. 黑体辐射亮度

(C.20)

式中：

——卫星传感器接收到的热红外辐射亮度值；

——大气向上辐射亮度；

——大气向下辐射亮度；

——水表比辐射率；

——大气透过率。

、和可以根据MODTRAN模型计算得到。

参考文献

1. GB/T 12763.2-2007 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测
2. GB/T 14914.2-2019 海洋观测规范 第2部分：海滨观测
3. HJ 1213-2021 滨海核电厂温排水卫星遥感监测技术规范
4. NB/T 20299-2014 核电厂温排水环境影响评价技术规范
5. HJ 1037-2019 核动力厂取排水环境影响评价指南
6. JTS 132-2015 水运工程水文观测规范
7. GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范
8. GB/T 14950-2009 摄影测量与遥感术语