

ICS 13.030.20
Z 10

DB35

福建省地方标准

DB35/T 1597—2016

温排水监测技术规范

Technical Specification of Thermal Discharge Monitoring

2016 - 08 - 22 发布

2016 - 11 - 22 实施

福建省质量技术监督局

发布

前 言

本标准按 GB/T 1.1-2009 《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则编制。

本标准由厦门市环境保护局提出。

本标准由福建省环境保护厅归口。

本标准起草单位：厦门市环境科学研究院、厦门市环境监测中心站。

本标准主要起草人：王坚、蔡启欣、林清泓、张杰儒、黄屋、黄全佳。

温排水监测技术规范

1 范围

本标准规定了温排水的监测方法、技术要求和自动监测设施的运营维护管理办法。

本标准适用于向江河、湖泊、水库、海域等具有使用功能的水体排放温水，导致表层水体温度升高的监测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 3097-1997 海水水质标准
- GB 3838-2002 地表水环境质量标准
- GB 6920 水质 pH 值测定 玻璃电极法
- GB 12763.2 海洋调查规范 海洋水文观测
- GB 13195-1991 温度计法
- GB 17378.4 海洋监测规范 海水分析
- GB 50179 河流流量测验规范
- HJ 506-2009 水质溶解氧测定 电化学探头法
- HJ 730 近岸海域环境监测点位布设技术规范
- HJ 731-2014 近岸海域水质自动监测技术规范
- HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
- HY/T 143 小型海洋环境监测浮标
- HY/T 147.7-2013 海洋监测技术规程 卫星遥感技术方法

3 术语与定义

下列术语适用于本标准。

3.1

温排水 warm discharge

排入自然水体的温度高于自然水体的水。

3.2

黑体 black body

指如果某一物体对任何波长的辐射全部吸收，该物体称为绝对黑体，在自然界是不存在的，在理论

上具有重要地位，实验室可以通过人工制造出接近于黑体的表面。

3.3

亮度温度 bright temperature

当一个物体的辐射亮度与某一黑体的辐射亮度相等时，该黑体的物理温度就被称之为该物体的亮度温度。

3.4

像元 pixel

包含空间和光谱响应强度两个变量的遥感图像数据单元。

3.5

大气校正 atmosphere correction

消除或减弱卫星遥感影像在获取时在大气传输中因吸收或散射作用引起的辐射畸变。

3.6

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。

3.7

辐射校正 radiometric correction

对由于外界因素，数据获取和传输系统产生的系统的、随机的辐射失真或畸变进行的校正。

3.8

表面温度 surface temperature, ST

指水域表层水温度，一般指水域表面到 0.5m 水深的平均动力学温度。

3.9

空间分辨率 spatial resolution

遥感影像上能够识别的两个相邻地物的最小距离。

3.10

连续自动监测 continuous automatic monitoring

在监测点位采用自动监测仪器进行连续的样品分析的过程。

4 温度计法

4.1 监测点位布设

4.1.1 布设原则

以 HJ 730、HJ/T 91 的相关规定为原则。

4.1.2 布设方法

4.1.2.1 温排水点位布设

以温排水的排放口为中心,按一定间隔设置监测垂线;除河道宽度小于或等于 50m 时设置 1 条垂线、宽度为 50 m~100 m 时设置 3 条垂线外,一般不少于 5 条垂线,每条垂线上布设 5~10 个监测点并以经纬度确定点位坐标,原则上距离排水口越近,点位越密集。

4.1.2.2 背景点布设

在温排水排放口上游、不受温排水影响的区域设置背景点并以经纬度确定点位坐标。

4.1.2.3 温排水监控点布设

在温升 $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 区域,温排水与监测水域基本混匀处设置监控点位并以经纬度确定点位坐标。

4.2 监测频次与时间

4.2.1 根据不同水体功能和温排水监管需求进行监测;

4.2.2 受潮汐影响水体的监测,应分别在大潮期和小潮期进行,每个潮期分别在高平潮及低平潮时监测;

4.2.3 监控点位应获得周平均值,每周至少选取 4 d 进行监测计算平均值。

4.3 监测项目

必测项目包括:

- a) 水温;
- b) pH、溶解氧、流速、流向,根据需要可适当增加选测项目。

4.4 测定方法

各监测项目的测定方法应符合表 1 的相关要求,温度场分布采用克里金(Kriging)插值法进行统计(参照附录 B),要求计算出温差(t)在 $0.5^{\circ}\text{C}\leq t < 1^{\circ}\text{C}$ 、 $1^{\circ}\text{C}\leq t < 2^{\circ}\text{C}$ 、 $2^{\circ}\text{C}\leq t < 3^{\circ}\text{C}$ 、 $t\geq 4^{\circ}\text{C}$ 等的区域面积及所占比例。

表 1 测定方法

| 监测项目 | 分析方法 | 采用标准 |
|-----------|-----------------|---------------|
| 水温(海水) | 表层温度表法 | GB 17378.4 |
| 水温(其它地表水) | 温度计法 | GB 13195-1991 |
| pH(海水) | pH 计法(具有温度补偿功能) | GB 17378.4 |

表 1 (续)

| 监测项目 | 分析方法 | 采用标准 |
|-------------|-------------------|-------------|
| pH (其它地表水) | 玻璃电极法 (具有温度补偿功能) | GB 6920 |
| 溶解氧 (海水) | 电化学探头法 (具有温度补偿功能) | GB 17378.4 |
| 溶解氧 (其它地表水) | 电化学探头法 (具有温度补偿功能) | HJ 506-2009 |
| 海流 (流速、流向) | 海流计法 | GB 12763.2 |
| 河流 (流速、流向) | 流速仪法 | GB 50179 |

4.5 质量保证与控制

根据 HJ/T 91 中关于分析每批水样时均须做 10% 平行双样的要求, 监测过程中一条垂线上至少选择一个点位进行平行样监测, 其测量偏差应符合所采用标准的规定。此外, 监测过程的其它质量保证与控制措施, 应符合所采用标准的相关规定。

4.6 监测报告

监测报告的内容参照附录 A 的要求。

5 热红外遥感法

5.1 遥感监测的原理

一切物体都向外辐射红外和微波波段的电磁波 (热辐射), 且辐射强度与物体的温度呈正相关。每一种物体的化学和物理特性以及入射光的波长不同, 因此它们对入射光的反射率也不同, 其反射规律即为该物体的反射光谱。根据目标物的电磁波信息与物体的反射光谱相比较, 对物体进行识别和分类。

5.2 监测时间

所采用遥感影像数据的卫星过境时间。

5.3 监测项目

水温及水域温度场分布。

5.4 遥感数据的选择

5.4.1 数据选择原则

5.4.1.1 使用的数据应包含热红外波段, 并可以通过校正得到各波段的亮度温度;

5.4.1.2 波段间的相关性小;

5.4.1.3 温排水影响区域云量的覆盖率小于或等于 10%;

5.4.1.4 太阳天顶角小于 60° 。

5.4.2 遥感数据的选择

根据 5.4.1 选择覆盖所监测水域，具有 10.4 μm ~12.5 μm 热红外测温波段（单通道或多通道）卫星遥感数据。

5.5 热红外遥感图像解译

5.5.1 几何校正

必须对遥感图像进行几何校正，以获得具有几何精度的热红外影像图。

5.5.1.1 控制点(GCP)的选择原则

通常选择原始遥感影像上地面突变点作为控制点，如道路的交叉口、河流分叉或拐弯处、桥梁、建筑物等，这些地物标志明显，易于识别；

控制点的数量：对几何畸变程度较小的原始遥感影像，通常不少于 15 个；对几何畸变程度较大的原始遥感影像，通常要 30 个以上；在同一幅原始遥感影像图中，原则上中心区域的控制点少一些，四周区域多一些，在几何畸变程度相近的区域控制点要均匀分布。

5.5.1.2 校正方法

在每一幅原始遥感影像图上选择好控制点，求出这些控制点在数字化地图(1: 10000)上对应点的真实坐标，然后将这些已知坐标的控制点代入计算机的校正软件进行运算，要求校正后误差应小于 1 像元。

5.5.2 辐射定标与亮度温度换算

利用热红外卫星遥感数据，根据数据文件中记录的辐射参数，按公式（1）计算出地物在大气顶部的辐射亮度（L），按公式（2）计算相关波段的亮度温度（ T_b ）。

$$L = G \times DN + B \dots\dots\dots (1)$$

式中：

DN ——像元值，0~255

G 、 B ——所选波段的辐射参数，可由所获取卫星数据文件中的 gain、bias 得到。

$$T_b = \frac{K_2}{\ln(K_1 / L + 1)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

K_1 、 K_2 ——计算常数，可由所获取卫星数据文件中得到。

5.5.3 亮度温度与表面水温的计算模型

5.5.3.1 单通道算法

将卫星反演的亮度温度与水域表面实测温度用最小二乘法进行线性回归（公式 3），以获得亮度温度与表面水温的计算公式。

$$ST = a_0 + a_1 T_b \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- a_0, a_1 ——回归系数;
- T_b ——亮度温度, 单位为开尔文 (K);
- ST ——表面水温 单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

5.5.3.2 分裂窗算法

参照 HY/T 147.7-2013 中长波算法 (公式 4)、大扫描角度算法 (公式 5), 以获得亮度温度与表面水温 (ST) 的计算模式。

$$ST = a_0 + a_1 T_{b1} + a_2 T_{b2} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- a_0, a_1, a_2 ——回归系数;
- T_{b1}, T_{b2} ——各通道的亮度温度, 单位为开尔文 (K)。

$$ST = a_0 + a_1 T_{b1} + a_2 T_{b2} + a_3 (\sec \theta - 1) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- a_0, a_1, a_2 ——回归系数;
- T_{b1}, T_{b2} ——各通道的亮度温度, 单位为开尔文 (K);
- θ ——卫星天顶角, 单位弧度 (rad)。

5.5.4 温排水温度场分布

5.5.4.1 按 4.1.2.2 的要求设置背景点, 海域背景点还应根据潮汐情况选择不受温排水影响的位置, 将遥感反演获得的水域表面温度计算结果扣除背景点水温计算结果, 确定温排水温差分布。

5.5.4.2 在图像分类工具中利用克里金插值法 (Kriging) 进行水体温度场统计, 要求计算出温差 (t) 在 $0.5^{\circ}\text{C} \leq t < 1^{\circ}\text{C}$ 、 $1^{\circ}\text{C} \leq t < 2^{\circ}\text{C}$ 、 $2^{\circ}\text{C} \leq t < 3^{\circ}\text{C}$ 、 $t \geq 4^{\circ}\text{C}$ 等的区域面积及所占比例。

5.5.4.3 利用图像分类工具, 绘制温度场分布图 (1:100000), 并用绿、黄、橙、红等色阶表示不同温升强度区域, 建立水域温度场分布。

5.6 质量保证与控制

5.6.1 卫星数据

选取卫星数据时避免采用有明显条带或大面积数据缺失的原始数据, 监测时采用最接近卫星过境时刻发布的辐射定标系数。

5.6.2 空间分辨率

原则上红外影像空间分辨率在 300 m 或优于 300 m,若使用空间分辨率劣于 300 m 的红外影像数据,应在几何校正的控制点(GCP)中选取 3 个最易识别的控制点作为特征点,采用全球卫星定位(GPS)技术对该特征点进行定位,获取准确的地面控制点位置,减少图像误差。

5.6.3 建模的表面水温监测

要求选择至少 10 个点位,若监测水域已有水文观测站点直接将其纳入,不足 10 个点位的应按本标准中 4.1 的要求设置临时监测点位。选择与卫星遥感数据同步(或准同步)的时间,按 4.4 的要求进行水域表面温度监测;对于海域表面温度监测,用于建立算法的数据量不应少于 30 组。

5.6.4 监测结果检验

在不同温升区域按本标准中4.1的要求设置临时监测点位,选择与卫星遥感数据同步(或准同步)的时间,按4.4的要求进行水域表面温度监测,要求现场实测的表面水温与遥感监测结果的平均偏差小于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

5.6.5 监测时间

现场采样与卫星过顶的时间差不应超过 $\pm 3\text{h}$ 。

5.7 监测报告

监测报告的内容参照附录 A 的要求。

6 连续自动监测法

6.1 监测点位的布设

6.1.1 监测点位的布设原则

监测点位的布设以监控 GB 3097-1997、GB 3838-2002 中不同水体功能区为原则,同一水体功能区至少要设置 1 个监测点位。

6.1.2 监测点位的布设方法

- 6.1.2.1 避开湍流和容易造成淤积的部位,离河岸的距离不得小于 10m、距海岸一般不小于 500m;
- 6.1.2.2 传感器感应部分设在水下 0.5 m~1 m 范围内,枯水季节安装传感器的位置水深不小于 1m;
- 6.1.2.3 背景点布设见 4.1.2.2;
- 6.1.2.4 温排水监控点位布设见 4.1.2.3。

6.2 监测项目及分析方法

必测项目包括:

- a) 水温;
- b) 溶解氧、pH,根据需要可适当增加选测项目。

各监测项目的分析方法见表 2。

表 2 分析方法

| 监测项目 | 分析方法 | 采用标准 |
|------------|--------------|-----------------|
| 水温 | 热电偶或热电阻法 | 水和废水监测分析方法（第四版） |
| 溶解氧（海水） | 电化学探头法 | GB 17378.4 |
| 溶解氧（其它地表水） | 电化学探头法 | HJ 506-2009 |
| pH（海水） | pH 计法（带温度补偿） | GB 17378.4 |
| pH（其它地表水） | 玻璃电极法（带温度补偿） | GB 6920-1986 |

6.3 数据有效性规定

数据的采集和传输应符合 HY/T 143 的相关规定。

6.3.1 数据审核规定

每次使用标准物质（或饱和溶解氧浓度）核查过程中，若绝对误差小于相关标准的准确度误差限值，则上一核查周期以来该项目的监测数据为“有效”；若绝对误差大于相关标准的准确度误差限值但小于 1.5 倍限值，则上一核查周期以来该项目的监测数据为“可疑”，监测数据仅为参考；若绝对误差大于相关标准的准确度误差 1.5 倍限值，则上一核查周期以来该项目的监测数据为“无效”。

6.3.2 数据完整性规定

6.3.2.1 日均值

每日至少具有 16 h 监测的有效数据（可不连续）方可计算日均值，除 pH 外的各项指标日均值的计算采用算术平均方法，pH 均值则按氢离子活度算术平均值计算。

6.3.2.2 周均值

每周至少 5 个有效日均值方可进行周均值的计算和统计，计算方法同日均值。

6.3.2.3 季平均

每季至少 12 个有效周均值方可进行季均值的计算和统计，计算方法同日均值，在季平均统计前应对监测数据进行有效性审核。

6.4 质量保证与控制

6.4.1 建立技术档案

负责温排水自动监测系统运行的机构，需根据自动监测系统运行特点，建立技术档案、制定相应的运行管理办法，并在系统验收前，根据实际情况进行完善。自动监测系统的技术档案应包括项目立项及审批文件、子站布设论证报告、招标文件、采购合同、验收及相关材料、维护、维修、校准记录等。

6.4.2 检定要求

温度计至少每年应进行一次检定。

6.4.3 准确度、精密度检查

在设备验收和每次维修后必须进行精密度、准确度检查。溶解氧按饱和浓度进行检查，pH 的准确度按 pH=4.0、7.0、10.0 进行检查，所用标准物质必须是有证标准物质，其扩展不确定度小于或等于±0.08pH 单位（k=2），并在有效期内。

6.4.4 稳定性测试

参照 HJ 731-2014 中附录 C3.4 条款要求。在设备验收时采用单机在实验室连续测试方式进行，测试时间为 30 d。

测试方法：在仪器进行准确度检查后，计时为第 1 天，然后每天测试 3 次溶解氧饱和浓度和 pH=4.0、7.0、10.0 的响应值；测试后，将仪器放入当日经 0.45μm 滤膜过滤并煮沸 10min 后冷却至室温的实际水样或模拟水样中；30 d 中最大变化幅度应符合溶解氧小于或等于±0.3mg/L、pH 小于或等于±0.2pH 值的要求；当测试中发现漂移大于限值时，应停止测试，查找原因并重新进行测试。

6.4.5 比对测试

6.4.5.1 温度：将经检定准确度误差为±0.1℃的温度计测量结果与自动监测结果组成一个实际样品测试数据对，至少获得 5 个数据对，计算两种方法测量结果的绝对偏差，至少应有 3 对测试数据满足相对偏差小于或等于±1%的要求；

6.4.5.2 pH：将自动监测结果与国标法 GB 6920-1986 测试结果组成一组实际样品测试数据，至少获得 5 组数据，计算两种方法测量结果的绝对偏差，至少应有 3 组测试数据满足绝对偏差小于或等于±0.5pH 值的要求；

6.4.5.3 溶解氧：将自动监测结果与国标法 HJ 506-2009 测试结果组成一组实际样品测试数据，至少获得 5 组数据，计算两种方法测量结果的相对偏差，至少应有 3 组测试数据满足相对偏差小于或等于±20%的要求。

6.4.6 监测浮标

监测浮标的技术指标应符合 HY/T 143 的相关规定，浮体大小至少应满足 HY/T 143 的要求。

6.5 运行管理

6.5.1 巡检和标准物质核查

运行单位应配备专业技术人员，负责日常巡检维护。监测系统的巡检包括监测浮标体、分析仪器、数据采集与传输系统的运行状况等检查和记录，一般每两周至少一次巡检并使用标准物质、溶解氧饱和浓度进行 pH 和溶解氧的标准核查，核查结果用于数据有效性审核。

6.5.2 比对测试

每季度进行一次实际样品的比对测试，比对结果应符合 6.4.5 的偏差要求。

6.5.3 仪器维护

每月对溶解氧电极至少进行一次表面附着物清除，每 3 个月对 pH 电极至少进行一次表面附着物清除（海洋监测应每月至少进行一次表面附着物清除）。为保障系统正常和稳定运行，应建立故障报修制度和必要的备品备件库。

如果发现监测数据产生突变、连续不变或其它异常情况，应立即到现场进行仪器设备的检查，及时处理故障，确保数据的有效性。

6.6 监测报告

监测报告的内容参照附录 A 的要求。

附录 A

(资料性附录)

温排水监测报告内容

监测报告依据监测目的、内容和具体要求，可对下列三个章节及内容适当增减。“前言” 简述任务来源，监测任务实施单位，监测区域、监测时间与时段等简要说明。

- 1 温排水排放区域概况
 - 1.1 排放口状况
 - 1.2 排放区域的资源状况
 - 1.3 排放区域的功能状况
- 2 监测方案
 - 2.1 监测站位的选择与布设
 - 2.2 监测的区域与范围
 - 2.3 监测站位图
 - 2.4 监测时间与频率
 - 2.5 监测项目、分析方法
- 3 监测结果
 - 3.1 水温监测结果
 - 3.2 选测项目监测结果
 - 3.3 温排水温度场监测结果（以表格形式体现）
 - 3.4 温排水温度分布图
 - 3.5 自动监测结果

表A.1 _____温度场监测结果

| 类型 | 面积 (km ²) | 比例 (%) | 温度 (°C) | 备注 |
|-----------------|--------------------------|-----------|------------|----|
| 背景点 | | | | |
| 温排水监控点 | | | | |
| 0.5°C ≤ t < 1°C | | | | |
| 1°C ≤ t < 2°C | | | | |
| 2°C ≤ t < 3°C | | | | |
| 2°C ≤ t < 4°C | | | | |
| t ≥ 4°C | | | | |
| …… | | | | |
| 注：t表示温差。 | | | | |

附录 B

(资料性附录)

克里金 (Kriging) 插值法¹⁾

B.1 原理

克里金插值法的适用范围为区域化变量存在空间相关性,即如果变异函数和结构分析的结果表明区域化变量存在空间相关性,则可以利用克里金插值法进行内插或外推。其实质是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点,对未知样点进行线性无偏、最优估计,无偏是指偏差的数学期望为 0,最优是指估计值与实际值之差的平方和最小。因此,克里金插值法是根据未知样点有限领域内的若干已知样本点数据,在考虑了样本点的形状、大小和空间方位,与未知样点的相互空间关系,以及变异函数提供的结构信息之后,对未知样点进行的一种线性无偏最优估计。

B.2 定义

假设研究区域 a 上研究变量 $Z(x)$, 在点 X_i ($i=1, 2, \dots, n$) 处属性值为 $Z(x_i)$, 则待插点 $Z(x_0)$ 的克里金插值结果 $Z(x_0)$ 是已知采样点 $Z(x_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) 的加权和, 按公式 (B.1) 计算。

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$Z(x_0)$ — (x_0, y_0) 点位的估计值

λ_i —待定权重系数

根据克里金方法无偏、最小方差条件可得到待定权重系数 λ_i ($i=1, 2, \dots, n$) 满足公式 (B.2)。

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \dots\dots\dots (B.2)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

1) 克里金插值法又称空间局部插值法,是以变异函数理论和结构分析为基础,在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法。

d_{ij} —监测点位 (x_j, y_j) 与 (x_i, y_i) 的距离

$$S^2 = \frac{1}{2} \left[(ST_i - ST_0)^2 + (ST_j - ST_0)^2 \right] \dots\dots\dots (\text{B.4})$$

式中:

ST_0 —背景点位的表面水温;

ST_i 、 ST_j —监测点位 (x_i, y_i) 与 (x_j, y_j) 的表面水温。

$$r_{ij} = \frac{1}{2} S^2 \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

式中:

r_{ij} —从监测点位 (x_i, y_i) 到 (x_j, y_j) 的半方差。

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} & 1 \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{10} \\ r_{20} \\ \dots \\ r_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots (\text{B.6})$$

式中:

r_{i0} —待定点位到监测点位的半方差。

B.3 计算步骤

B.3.1 按公式 (B.3) ~ (B.5) 计算各监测点位之间的距离 d_{ij} 与半方差 r_{ij} ;

B.3.2 将 d_{ij} 与 r_{ij} 用最小二乘法进行线性回归, 能根据任意距离计算出相应的半方差;

B.3.3 分别计算温升 0.5℃、1℃、2℃、3℃、4℃ 点位到所有监测点的半方差 r_{i0} ;

B.3.4 对矩阵 (B.6) 求逆, 得到最优系数 λ_i ;

B.3.5 使用最优系数按公式 (1) 计算各温升区域的估计值;

B.3.6 在 ArcGIS 软件中调用克里金插值的步骤为: 打开 ArcToolbox 的 Spatial Analysis 模块, 然后选择“插值”工具中的“克里金法”, 输入各监测点原始数据、选择区域范围和网格大小、对区域进行网格化处理, 所有计算系统自动完成。