

附件 2

水体抗生素生态风险评价技术标准：危害识别、暴露评估与风险表征

一、范围与规范性引用文件

1.1 范围

本技术标准规定了实验室抗生素类物质在水体环境（包括但不限于地表水、废水等）中进行生态风险评价的原则、程序、方法和技术要求。

1. **适用对象**：本标准适用于对进入水体环境的各类抗生素类物质（如磺胺类、喹诺酮类、大环内酯类等）进行生态风险评价。
2. **评估类型**：本标准聚焦于生态风险评价，核心是通过比较环境暴露水平与生态毒性阈值，定量表征抗生素对水生生态系统的潜在风险。
3. **空间范围**：主要适用于地表水环境（如河流、湖泊）以及点源排放的废水（如城市污水处理厂进水、出水），为其生态风险管理提供技术依据。
4. **技术方法**：本标准所规定的评价技术框架、危害识别、暴露评估及风险表征方法，主要依据国家生态环境风险评估技术体系，采用风险商值法（RQ）或风险表征比率（RCR）作为核心量化工具。

1.2 规范性引用文件

下列文件对于本标准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标准；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 34708 化学品风险评估通则：本标准中生态风险评估的通用原则和程序框架参照此通则。

HJ 1111—2020 生态环境健康风险评估技术指南 总纲：本标准遵循该总纲规定的风险评估通用技术框架，包括危害识别、危害表征、暴露评估和风险表征的核心程序及不确定性分析要求。

化学物质环境与健康危害评估技术导则（试行）：本标准中关于化学物质危害识别、剂量-反应关系评估及预测无效应浓度（PNEC）推导的技术要求参照本导则。

HJ 168-2020 环境监测分析方法标准制订技术导则：本标准中涉及的样品采集、前处理、仪器分析及质量控制/质量保证环节的方法建立与验证，参照此导则执行。

HJ 877 化学物质环境暴露评估技术导则：本标准中暴露场景构建、暴露模型选择及暴露参数获取参照此导则。

注：本标准中涉及的预测无效应浓度（PNEC）等关键毒理学参数，可引自国际公认的权威数据库（如 NORMAN Ecotoxicology Database）或依据上述规范性文件要求推导得出。样品中抗生素的定量分析可参照基于**在线固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法（Online SPE-UPLC-MS/MS）**等等效灵敏、准确的方法标准。

二、术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1 危害识别

根据《生态环境健康风险评估技术指南 总纲（HJ 1111—2020）》，危害识别是指根据流行病学调查、体内外试验、（定量）构效关系等科学数据和文献，定性分析目标环境因素是否具有危害性，并确定其毒性效应、作用的靶器官、产生的效应终点及其作用模式或机制的过程。

2.2 危害表征

根据《生态环境健康风险评估技术指南 总纲（HJ 1111—2020）》，危害表征是指基于危害识别结果，定性描述危害等级，或定量建立暴露与有害效应之间的剂量-反应（效应）关系，并推导毒性参数的过程。其核心是确定用于风险评估的毒性阈值，如预测无效应浓度（PNEC）。

2.3 暴露评估

根据《生态环境健康风险评估技术指南 总纲（HJ 1111—2020）》，暴露评估是指定性或定量估计人群或环境在特定暴露情景下，通过不同途径暴露于目标环境因素的强度、频率和持续时间的过程。在本标准中，特指对抗生素在水体环境（如地表水、废水）中浓度的测定或预测。

2.4 暴露情景

根据《生态环境健康风险评估技术指南 总纲（HJ 1111—2020）》，暴露情景是指对人群或环境暴露于目标环境因素的条件和过程的描述，包括暴露来源、暴露途径、暴露浓度、暴露频率、暴露持续时间以及暴露人群特征或环境受体等。

2.5 风险表征

根据《生态环境健康风险评估技术指南 总纲（HJ 1111—2020）》，风险表征是指综合危害识别、危害表征和暴露评估结果，定性或定量描述风险大小及其不确定性的过程。在本标准中，主要采用风险商值法（RQ）或风险表征比率（RCR）进行定量表征。

2.6 不确定性

根据《生态环境健康风险评估技术指南 总纲（HJ 1111—2020）》，不确定性是指由于知识或数据的缺乏，对风险评估过程中所使用的参数、模型及假设的认知不完整所导致的风险估计值的可信程度或变异范围。

2.7 风险表征比率

风险表征比率（Risk Characterization Ratio, RCR）是定量表征风险的核心指标，为环境暴露水平与生态毒性安全阈值的比值。根据《化学物质环境与健康风险表征技术导则（试行）》，环境风险表征比率（RCR_{env}）的计算公式为预测环境浓度（PEC）或环境检测浓度（MEC）与预测无效应浓度（PNEC）的比值（RCR_{env} = PEC / PNEC 或 RCR_{env} = MEC / PNEC）。RCR ≤ 1 通常表示风险可接受。

2.8 风险商值

风险商值（Risk Quotient, RQ）是风险表征比率（RCR）在生态风险评估中的具体应用，其含义与 RCR_{env} 相同。计算公式为 RQ = MEC / PNEC。通常采用以下分级标准进行风险判断：RQ < 0.1 为无或低风险；0.1 ≤ RQ < 1.0 为中风险；RQ ≥ 1.0 为高风险。

2.9 预测无效应浓度

预测无效应浓度（Predicted No Effect Concentration, PNEC）是指预期低于此浓度时，不会对特定环境受体的生态结构或功能产生不利影响的化学物质浓度。它是推导生态毒性阈值的关键参数，通常基于可靠的生态毒理学数据（如对藻类、溞类、鱼类的急性或慢性毒性数据），通过评估因子法或物种敏感度分布法推导得出。在本标准所引用的案例中，PNEC 值通过查询 NORMAN Ecotoxicology Database 等权威毒理学数据库获得。

2.10 环境检测浓度

环境检测浓度（Measured Environmental Concentration, MEC）是指通过规范的采样、前处理和分析方法，实际测定得到的环境介质中目标抗生素的浓度。在暴露评估中，MEC 常作为预测环境浓度（PEC）的直接数据来源，用于风险商值（RQ）的计算。

2.11 在线固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法

在线固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法（Online Solid Phase Extraction-Ultra Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry, Online SPE-UPLC-MS/MS）是一种用于水体中痕量抗生素分析的高灵敏度、高选择性的仪器分析方法。该方法将样品在线富集、净化与色谱分离、质谱检测一体化，自动化程度高，适用于复杂水体基质中多种抗生素类化合物的同时、快速、准确测定。

三、技术框架与总体程序

本技术标准遵循生态环境风险评估的通用科学框架，并针对水体环境中抗生素类物质的生态风险评价特点进行具体化。评价的核心在于通过比较环境暴露水平与生态毒性阈值，定量或定性地表征抗生素对水生生态系统的潜在风险。

3.1 总体技术框架

抗生素类物质在水体环境中的生态风险评价，是一个基于证据链的系统性科学过程。其总体技术框架遵循“危害评估-暴露评估-风险表征”的核心逻辑，并贯穿不确定性分析，最终服务于风险管理决策。完整的通用框架通常包含问题形成、危害识别、危害表征、暴露评估和风险表征五个递进环节。

在实际操作中，针对水体环境中抗生素的生态风险评价，流程可整合与简化，其核心程序与数据流向如图 1 所示，主要包括以下三个关键阶段：

危害识别与表征：确定目标抗生素的生态毒性，并获取其预测无效应浓度（PNEC）。

暴露评估：通过监测或模型预测，获取目标水体中抗生素的暴露浓度（MEC 或 PEC）。

风险表征：综合危害与暴露信息，计算风险商值（RQ），判定风险等级，并进行不确定性分析。

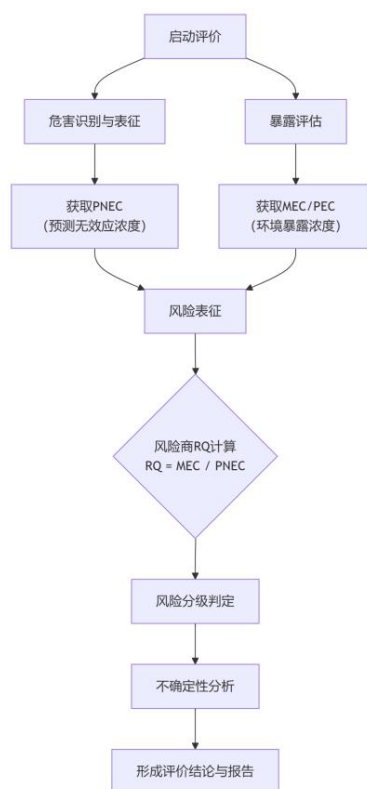


图 1 水体抗生素生态风险评价技术程序图

3.2 危害识别与表征

本环节旨在明确目标抗生素对水生生物的潜在有害效应，并定量推导出用于风险比较的毒性阈值——预测无效应浓度（PNEC）。

危害识别：通过检索科学文献与权威数据库（如 NORMAN Ecotoxicology Database），识别并确认目标抗生素对代表性水生生物（如藻类、溞类、鱼类）的急性与慢性毒性效应。

危害表征与 PNEC 推导：基于可靠的生态毒理学数据，遵循《化学物质环境与健康危害评估技术导则（试行）》等相关技术规范，采用评估因子法或物种敏感度分布法推导 PNEC。PNEC 表

征了长期或慢性暴露下，对大多数水生生物不会产生不利效应的最高浓度，是风险评价的基准值。

3.3 暴露评估

本环节旨在定量或定性估计目标抗生素在水体环境（如地表水、污水处理厂进出水）中的浓度水平。

暴露情景：需明确描述评价的空间范围（如某河段、湖泊或污水处理厂排放口）、时间频率及受体（水生生态系统）。

暴露浓度获取：优先采用**环境监测浓度（MEC）**作为暴露数据。应按照本技术标准后续章节（第八至十章）规定的样品采集、前处理与分析检测方法，获取具有代表性的水体中抗生素浓度数据。在缺乏监测数据时，可采用环境归趋模型进行**预测环境浓度（PEC）**的估算。

3.4 风险表征

本环节是评价的核心，通过整合危害表征与暴露评估的结果，对生态风险进行量化与分级。

风险商值法（RQ）：采用商值法进行定量风险表征。计算公式为：

$$RQ_i = MEC/PNEC$$

式中：RQ为风险商值；MEC为环境监测浓度（或PEC）；PNEC为预测无效应浓度。

风险分级判定：根据计算得到的RQ值，对单一抗生素的生态风险进行分级：

RQ < 0.1：无风险或低风险；**0.1 ≤ RQ < 1.0：**中风险；**RQ ≥ 1.0：**高风险。

复合风险表征：当水体中存在多种抗生素时，应考虑其联合效应。通常采用**风险商加和模型**进行初步评估，计算复合风险商（ RQ_{sum} ）：

$$RQ_{sum} = \sum RQ_i (i = 1 \text{ to } n)$$

式中， RQ_i 为第*i*种抗生素的风险商。 $RQ_{sum} \geq 1$ 表明存在不可接受的复合生态风险。

四、数据记录与报告格式要求

为确保实验室抗生素类物质在水体环境中生态风险评价工作的**科学性、可追溯性与可比性**，所有评价过程产生的数据、计算过程及最终结论均需按照统一格式进行记录、归档和报告。报告编制应遵循**系统性、透明性**原则，清晰呈现从数据获取到风险结论的完整逻辑链条。

4.1 报告总体框架

一份完整的生态风险评价报告应至少包含以下组成部分，其结构与内容要求参照《生态环境健康风险评估技术指南 总纲（HJ 1111—2020）》中关于报告编制的通用框架，并结合生态风险评估特点进行具体化：

1. **评估方案：**明确评估目的、评估范围（地理范围、水体类型、时间尺度）、评估受体（水生生物）、技术路线与核心方法（如风险商值法）。
2. **危害识别与表征（PNEC 推导）：**系统阐述目标抗生素的生态毒性效应及推导预测无效应浓度（PNEC）的过程。

3. **暴露评估：**详细描述环境暴露浓度（MEC 或 PEC）的获取方法与结果。
4. **风险表征：**综合呈现风险商值（RQ）的计算结果、风险等级判定及不确定性分析。
5. **评估结论与建议：**基于风险表征结果，给出明确的风险管理结论及后续工作建议。

报告及所有记录数据应长期归档，以备核查和后续研究使用。
报告的表述应**清晰、一致、合理**，便于环境管理者及相关方理解与应用评估结果。