ICS 13.060.01
CCS Z 10/39

T/GXAS

团　　体　　标　　准

T/GXAS 653—2023

水生态化学品复合污染风险评估技术规程

Technical code for water ecological risk assessment of chemical combined pollution

2023－12－20 发布　　2023－12－26 实施

广西标准化协会　　发 布

前　　言

本文件参照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。

本文件由桂林理工大学提出并宣贯。

本文件由广西标准化协会归口。

本文件起草单位：桂林理工大学、恒晟水环境治理股份有限公司、中国地质科学院岩溶地质研究所。

本文件主要起草人：覃礼堂、莫凌云、曾鸿鹄、梁延鹏、宋晓红、罗为群、代俊峰、李海翔、王慧。

水生态化学品复合污染风险评估技术规程

1 范围

本文件界定了水生态复合污染风险评估涉及的术语和定义，确立了评估原则、评估程序，规定了危害识别、危害表征、暴露评估、风险表征、报告编制、档案管理的操作指示。

本文件适用于水体水生态复合污染风险评估。

2 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。

HJ 1111 生态环境健康风险评估技术指南 总纲

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水生态化学品复合污染 chemical combined pollution of water ecology

两种或两种以上化学污染物共同暴露于水生态环境引起的污染。

3.2

物种敏感度分布 species sensitivity distribution

描述不同物种由于生活史、生理构造、行为特征和地理分布等的不同，对某一污染物的敏感性差异遵循的概率分布规律。

4 评估原则

4.1 科学性

充分收集已有数据和信息，基于最新科学证据，根据水生态环境管理需要、评估目的、数据可获得性和有效性，科学合理确定评估方案，确保评估过程的系统性、完整性以及评估结论的客观性。

4.2 层次性

在现有认知水平和技术措施条件下，根据水生态环境管理需求，利用可获得数据信息和工具方法，由单一到多种化学品污染进行逐级评估。

4.3 谨慎性

风险评估结果应包括在现实最不利情景下，敏感人群或高暴露人群暴露于环境中化学性因素的健康风险。

4.4 透明性

评估过程应公开、透明，确保相关利益相关者的参与和监督。其中，应特别注意记录评估的制约因素、不确定性和假设及其处理方法、评估中的不同意见和观点、直接影响风险评估结果的重大决策等内容。

5 评估程序

评估程序包括：评估方案制定、危害识别、危害表征、暴露评估、风险表征和报告编制，见图1。

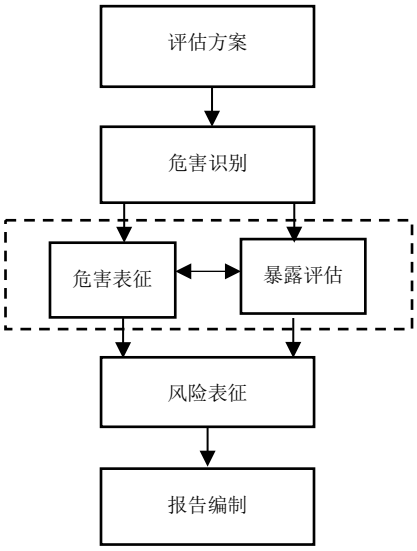

图1　水生态化学品复合污染风险评估程序

6　评估方案制定

6.1　评估目的

开展风险评估前应与风险管理者和相关方充分沟通，明确评估所要支撑的水生态化学品复合污染管理需求或需要关注的水生态化学品复合污染问题。

6.2　评估范围

通过与风险管理者及其他相关方的沟通、文献资料收集和分析、现场调研等，明确评估范围，包括：

a)　评估对象，根据评估目标，在水生态系统及其组成部分确定评估对象，确定能表征评估目标水生态复合污染风险的评估内容和测试内容；

b)　时间范围，综合分析评估对象的危害特征、暴露发生时间、受试生物生命阶段、暴露持续周期等，确定评估的时间范围；

c)　空间范围，综合分析评估对象的水环境特征、复合污染物的环境行为、评估对象的暴露特征等，确定评估的空间范围。

6.3　评估类型

6.3.1　定性评估用高、中、低等描述性词语表示风险的大小。

6.3.2　定量评估用数值表示风险的大小。

6.4　数据获取方法

通过文献查询、数据库搜索、模型预测、生物测试等方式获取污染物毒性数据。

6.5　评估要求

根据危害识别、危害表征、暴露评估和风险表征各过程的评估内容、评估步骤及技术要求，形成评估方案。

6.6　确定评估方案

充分征求管理者及其他相关方意见，确定评估方案。

7　危害识别

7.1 评估内容

确定可能对水生态形成风险的化学混合物（即化学污染物组合）和相关的生态危害。对于受污染的水体，确定污染的性质和程度。

7.2 评估步骤

评估步骤见图2，包括污染物识别、污染物数据收集、数据质量评价、证据综合和证据集成。

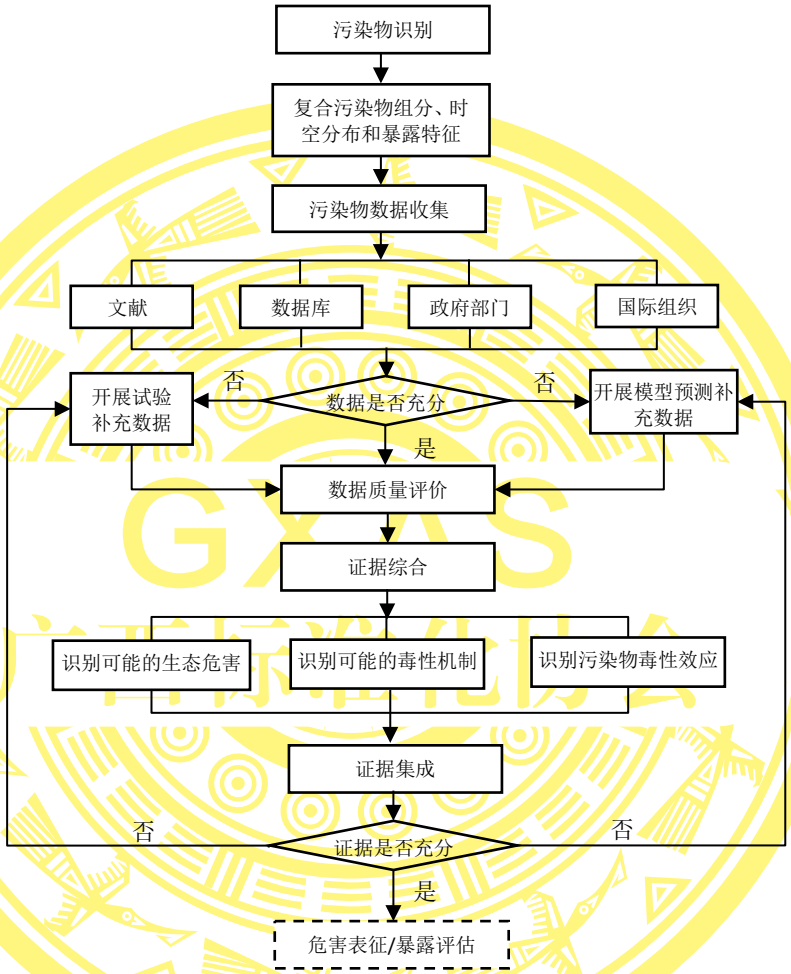

图2 危害识别评估步骤

7.3 评估要求

7.3.1 污染物识别

7.3.1.1 基于化学分析技术定性和定量分析水生态环境中化学污染物，识别化学污染物类别、时空分布及复合污染暴露特征，分析水生态环境化学污染物的污染现状。

7.3.1.2 化学污染物的分析检测，应采用国家标准的检测方法执行；对无国家标准检测方法的化学污染物，应分析采用数据的来源，保证污染物识别的可靠性和全面性。

7.3.2 污染物数据收集

7.3.2.1 根据所识别的化学污染物，从文献或数据库中收集单一污染物及其混合物对不同水生生物的毒性数据或开展暴露试验获取毒性数据。

7.3.2.2 应制定详细的数据收集策略，以全面收集国内外政府部门、国际组织发布的与危害识别或风险评价相关报告、国内外毒性数据库中的毒性数据、已公开发表的文献以及毒性试验数据等。对所收集

污染物数据进行筛选，包括删除重复数据和删除无关数据，建立目标化学污染物及其混合物数据库，并详细记录数据筛选的过程。危害识别所需的具体数据包括：

a) 基本信息：包括所有化学污染物的名称、美国化学文摘社登记号（CAS NO）、分子式、结构式、分子量等；
b) 理化性质：包括所有化学污染物的密度、熔点、沸点、饱和蒸汽压及蒸汽密度、溶解度、化学反应特性、稳定性等；
c) 毒性数据：包括水生生物的急性毒性和慢性毒性，具体包含单一物质或化学混合物的半数致死浓度（LC_{50}）或半数效应浓度（EC_{50}）、无效应浓度（*NOEC*）、预测无效应浓度（*PNEC*）等。

7.3.3 数据质量评价

7.3.3.1 制定数据质量评价方案，从研究设计、实施过程、质量控制、数据分析、研究结果等方面，评估每一项生物试验、定量结构-活性关系模型预测数据、文献收集或试验数据的可靠性。评估试验物种或代表性物种的选择、污染物浓度设置、测试终点选择、暴露时间等。

7.3.3.2 对所收集的或自行开展的科学研究数据质量进行可靠性和相关性评价，评估数据的收集方法和实验设计的质量。对于无可用信息和相关性差的文献或试验数据予以剔除，并记录文献或试验数据质量评价的过程。

7.3.3.3 同一种受试生物的数据采用相同的测试条件。

7.3.4 证据综合

7.3.4.1 识别水生态环境受试生物可能的生态危害或毒性效应，明确化学污染物可能的毒性作用机制，综合证据信息。

7.3.4.2 识别污染物毒性效应（如急性毒性、慢性毒性等）和效应终点（如反应、生理功能改变、死亡等）。

7.3.5 证据集成

7.3.5.1 基于证据综合结果，依据复合污染物的毒性数据做出证据充分性评价。经评价，证据充分的，进一步开展危害表征；证据不充分的，可开展定量结构-活性关系等模型、实验或调查等科学研究补充数据，进一步开展危害识别。无法进行科学研究补充数据的，则终止风险评价。

7.3.5.2 基于证据综合信息，针对每一种可能的生态毒性效应，集成受试生物证据和作用机制证据等不同证据链的信息，对目标复合污染物可能的生态危害或毒性效应做出总体判断（例如令人信服的证据、很可能的证据、可能的证据、证据不足等）。

7.3.5.3 对于具有令人信服的证据，进一步开展危害评估；对于证据不足的，需要确认数据缺失，并决定是否需要进行进一步的调查、试验或数据模拟。

7.3.5.4 判断受试生物证据需要考虑的内容包括：

a) 受试生物研究本身的可靠性和代表性；
b) 复合污染物与水生态危害或毒性效应的关联在不同研究、物种或种群间结论的可重复性；
c) 复合污染物暴露剂量、暴露时间与生态危害或毒性效应间存在剂量-反应（效应）关系；
d) 复合污染物与水生态危害或毒性效应间关联的强度及精确性；
e) 复合污染物与水生态危害或毒性效应间的关联与已知生物学原理的一致性；
f) 毒性作用机制的生物学合理性。

8 危害表征

8.1 评估内容

8.1.1 基于危害识别，定性描述复合污染引起个体或种群发生有害效应的危害等级。

8.1.2 建立复合污染物暴露与有害效应之间的剂量-反应（效应）关系，推导 EC_{50}、LC_{50} 等毒性参数，判断复合污染物可能的加和效应、协同作用或拮抗作用。

8.2 评估步骤

评估步骤见图3，包括适用性评估、定性危害表征和定量危害表征。

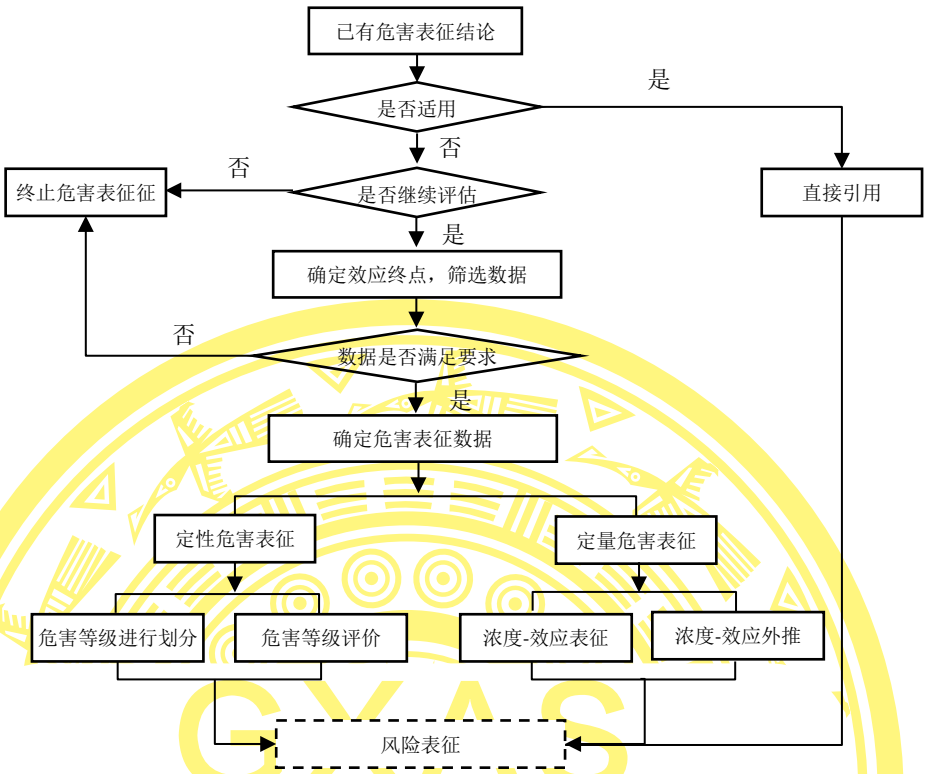

图3　危害表征评估步骤

8.3　评估要求

8.3.1　适用性评估

8.3.1.1　检索并评估国内外机构机构已发布的复合污染物危害表征结论。

8.3.1.2　根据国内机构机构已发布危害表征结论，如适用可直接引用这些结论；机构如果没有相关结论可用，或已有危害表征结论但评估后不适用，风险评价者应与需求方沟通，以确定是否继续开展危害表征；经沟通后，如果不需要继续进行危害表征，则终止该过程。

8.3.1.3　在进行危害表征时，首先基于危害识别结果确定用于危害表征的效应终点，并筛选相关数据。对危害表征所使用的数据进行质量评价，如果数据质量满足要求，则进行危害等级划分或进行剂量-反应（效应）建模预测毒性数据；如果数据质量不满足要求，且需继续进行危害表征，需补充额外的试验或调查数据。

8.3.1.4　根据所收集的复合污染物的毒性数据，如果判断复合污染物具有协同作用和拮抗作用，定量分析其相互作用大小。如果缺乏协同作用或拮抗作用信息，将污染物中加和作用与独立作用视为加和效应来计算污染物风险商。

8.3.2　定性危害表征

8.3.2.1　可直接采用已有的危害等级结果，或根据国内外机构机构发布的毒性等级标准（如化学污染物分类和标签规范），对复合污染物的危害等级进行划分。

8.3.2.2　可建立危害等级评价标准，定性或半定量评价复合污染物的危害等级。

8.3.3 定量危害表征

8.3.3.1 危害表征所需数据应尽可能包含更多不同受试生物毒性数据，对于缺乏的毒性数据可利用定量结构-活性关系或交叉参照等方法进行定量预测，危害表征数据至少包含三种不同营养级的代表性生物。

8.3.3.2 如果直接引用国内外机构发布的浓度-反应（效应）关系函数和毒性参数，应仔细研究这些参数的推导依据，包括效应终点和暴露时间等信息，并审查危害表征结论的时效性、可靠性和适用性。当不同机构结论不一致时，应分析原因。

8.3.3.3 根据原始文献数据推导剂量-反应（效应）关系函数和毒性参数时，应满足数据质量评价的要求，且需对暴露（或浓度）和反应进行定量测量，并确保研究设计合理，包括暴露（或浓度）分组、暴露（或浓度）范围和样本量等；同时存在多种数据来源（如同一受试生物的不同毒性数据）时，应权衡不同研究数据的可靠性和测试终点的一致性。

8.3.3.4 浓度-反应（效应）表征。针对不同暴露途径、暴露持续时间和毒性效应，确定用于浓度-反应（效应）关系建模的数据和效应终点，建立复合污染物暴露与效应终点间的浓度-反应（效应）关系函数，利用 Logistic、Weibull、Hill 等函数表征浓度-反应（效应）关系，比较不同模型的确定系数，选择确定系数最高的函数作为最优模型，建立浓度-反应（效应）关系，绘制浓度-反应（效应）曲线。

8.3.3.5 浓度-反应（效应）低浓度外推。根据评估需要，对未观察到的暴露（或浓度）范围的浓度-反应（效应）关系进行低浓度外推，推导毒性参数。针对不同暴露途径、暴露时间和作用模式的毒性效应，分别推导备选毒性参数。根据收集和实验测试的毒性数据，利用评估因子、物种敏感度分布模型等方法推导每个化学污染物或复合污染物的预测无效应浓度（*PNEC*）。

9 暴露评估

9.1 评估内容

定性或定量评估水生态环境复合污染物的暴露量。

9.2 评估步骤

评估步骤详见图4，包括确定暴露情景、建立暴露模型、定性暴露评估、定量暴露评估、协同作用或拮抗作用分析。

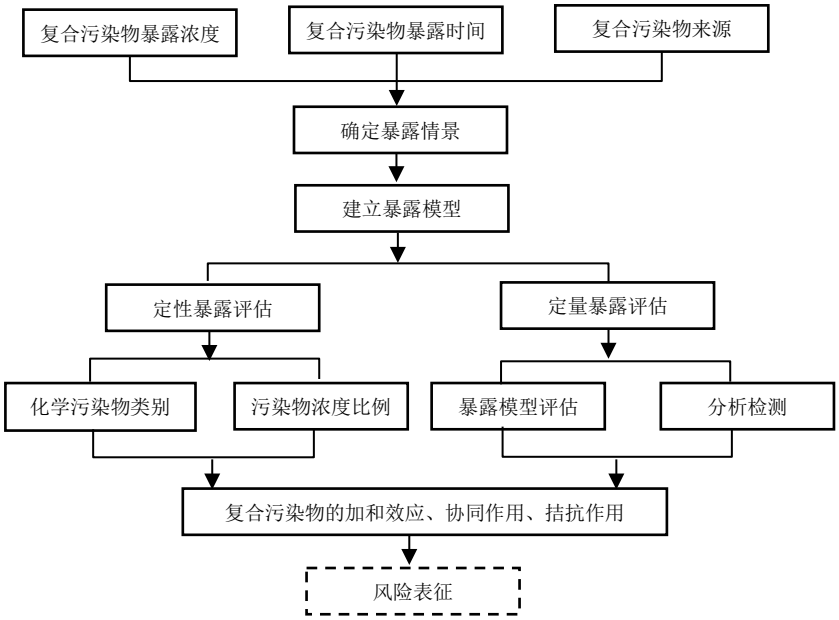

图4 暴露评估步骤

9.3 评估要求

9.3.1 确定暴露情景

根据评估目的，通过现场调查，确定水生态环境的暴露情景，包括复合污染物类别及其来源、暴露时间、暴露浓度等。

9.3.2 建立暴露模型

基于暴露情景，建立暴露评估的概念或数学模型，确定暴露评估方法，利用暴露浓度、暴露参数和测量方法等建立暴露模型。

9.3.3 定性暴露评估

根据污染物的化学结构、理化特性及暴露浓度等信息，确定有害化学污染物类别及混合暴露比例后，进行定性暴露评估。

9.3.4 定量暴露评估

9.3.4.1 采用暴露模型对不同化学污染物或复合污染物的暴露水平进行定量估计。
9.3.4.2 污染物浓度的检测方法参照国家相关标准或技术规范进行。
9.3.4.3 基于复合污染物的检测数据，确定水生态环境中复合污染物各组分的浓度及其时空分布。

9.3.5 分析协同作用或拮抗作用

基于95%置信区间的组合指数法、浓度加和（CA）、独立作用（IA）模型，获得复合污染物的毒性相互作用（加和效应、协同作用或拮抗作用）信息。

10 风险表征

10.1 评估内容

根据第6章、第7章、第8章的结果，定性或定量描述风险大小及其不确定性。

10.2 评估步骤

评估步骤见图5，包括信息收集、风险估计、不确定分析、复合污染物风险商计算和评估结论。

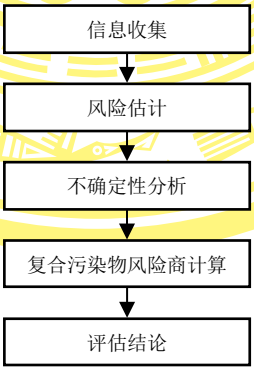

图5 风险表征评估步骤

10.3 评估要求

10.3.1 信息收集

收集复合污染物的毒性效应、效应终点、剂量-反应（效应）关系等信息。

10.3.2 风险估计

基于剂量-反应（效应）关系和暴露浓度，估计复合污染物暴露有害效应的风险。

10.3.3 不确定性分析

基于风险评估全过程应用的假设条件、模型参数及证据评价等，分析评估过程的不确定性。

10.3.4 复合污染物风险商

10.3.4.1 计算过程

利用浓度加和、独立作用和组合指数方法判断实际水样中的复合污染物是否发生相互作用，如复合污染物无相互作用或无法判定相互作用的情况下，则基于浓度加和模型计算复合污染物风险商，计算过程见图6。

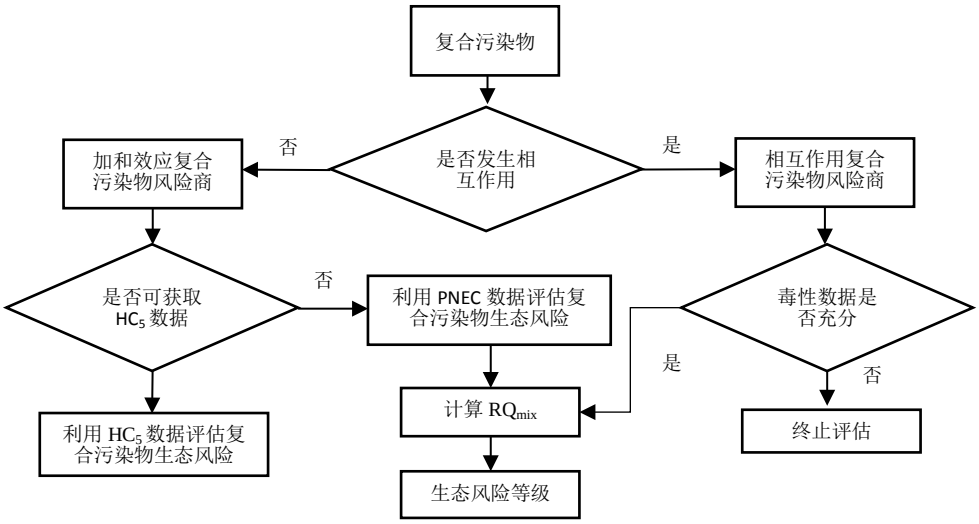

图6 复合污染物风险商计算过程

10.3.4.2 加和效应复合污染物风险商计算

计算方式如下：

a) 所有复合污染物组分均可获取 HC_5 数值，按式（1）计算：

$$RQ_{mix} = \sum_{i=1}^{n}\left(MEC_i/HC_{5,i}\right) \cdots\cdots (1)$$

式中：

RQ_{mix}——复合污染物风险商

MEC_i——第 i 个组分的检测环境浓度；

$HC_{5,i}$——第 i 个组分的 5%物种危害浓度。

注：物种敏感度分布模型至少需要10个不同物种的毒性数据，将这些毒性数据从小到大排序，标出相应的序数r，分别为1,2,3,…,n；然后以毒性数据的对数（以10为底）为横坐标，以累积概率(P=r/(n+1))为纵坐标作图；选用正态分布(log-normal)、逻辑(Log-Logistic)、高斯模型(Gaussian)或波尔Ⅲ模型(BurrTypeⅢ)等函数对这些数据进行拟合，根据决定系数(R2)和均方根误差（RMSE）数值评价函数的拟合优度，选择最佳的拟合函数构建物种敏感度分布模型，通过模型计算累积概率为5%时对应毒性数据值，既5%物质危害浓度(HC_5)。

b) 利用 PNEC 数据评估，按式（2）计算：

$$RQ_{mix} = \sum_{i=1}^{n}(MEC_i/PNEC_i) \cdots\cdots (2)$$

式中：

MEC_i ——第 i 个组分的检测环境浓度；

$PNEC_i$——第i个组分的预测无效应浓度，通过计算式：$PNEC_i$＝（$LC_{50,i}$或$EC_{50,i}$或$NOEC_i$）／AF获得。其中，AF为评估因子；$LC_{50,i}$、$EC_{50,i}$为第i个组分的半数致死浓度或半数效应浓度，如果$LC_{50,i}$、$EC_{50,i}$为急

性毒性数据，则AF取1000，如果为慢性毒性数据，则AF取100。$NOEC$为第i个组分的无观测效应浓度，如果利用该数值计算，则AF取10。对于同一个复合污染物组分，如果计算得出多个$PNEC$数值，则取最小值。

10.3.4.3 相互作用复合污染物风险商计算

相互作用复合污染物，如果已知复合污染物的LC_{50}、EC_{50}或$NOEC$，按式（3）计算：

$$RQ_{mix} = MEC_{mix}/PNEC_{mix} \quad (3)$$

式中：

RQ_{mix} ——复合污染物的检测环境浓度；

$PNEC_{mix}$——复合污染物的预测无效应浓度。

10.3.5 形成结论

根据定性或定量表征的水生态环境复合污染物生态风险，形成评估结论。根据RQ_{mix}数值，用高、中、低、无风险等描述水生态环境复合污染物的风险大小。不同风险等级划分为：$RQ<0.01$，无风险；$0.01\leqslant RQ<0.1$，低风险；$0.1\leqslant RQ<1$，中风险；$RQ\geqslant 1$，高风险。

11 报告编制

应符合HJ 1111报告编制要求，复合污染物评估结果报告表见附录A。

12 档案管理

档案应包括评估方案、危害识别评估内容、危害表征评估内容、暴露评估内容、风险表征评估内容，污染物评估结果报告表格，其中包括污染物危害识别、危害表征、暴露评估、风险表征和评估报告，评估档案永久保存。

GXAS 广西标准化协会

附 录 A
（资料性）
复合污染物评估结果报告表示例

复合污染物评估结果报告表示例见表A.1。

表A.1 复合污染物评估结果报告表示例

污染物名称	危害识别	危害表征	暴露评估	风险表征	最终评估结果
污染物1					
污染物2					
污染物3					
…					
复合污染物					

中华人民共和国团体标准

水生态化学品复合污染风险评估技术规程

T/GXAS 653—2023

广西标准化协会统一印制

版权专有　侵权必究