ICS XX.XXX.XX
X XX

团 体 标 准

T/ACEF XXX-2025

空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估技术指南

Technical guidelines for health risk assessment of personal exposure to toxic components of particulate matter

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布 2025-XX-XX 实施

中 华 环 保 联 合 会 发 布

目　次

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。

本文件由北京科技大学提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件起草单位：北京科技大学、西安交通大学、中国环境监测总站。

本文件主要起草人：段小丽、武鹏鹏、谢洋旸、齐玲、吴少伟、张凤英、阎佳、曹素珍、王贝贝、秦宁。

本文件为首次发布。

空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估技术指南

1 范围

本文件规定了个体经呼吸途径暴露空气颗粒物毒害组分健康风险评估的原则、程序、内容及技术要求。

本文件主要适用于对可吸入颗粒物、细颗粒物等不同粒径的空气颗粒物中重金属、多环芳烃等化学性毒害组分的评估，不适用于对颗粒物中细菌、病毒等生物性组分的健康风险评估。

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。

GB 3095	环境空气质量标准
GB/T 18883	室内空气质量标准
HJ/T 194	环境空气质量手工监测技术规范
HJ 646	环境空气和废气 气相和颗粒物中多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法
HJ 647	环境空气和废气 气相和颗粒物中多环芳烃的测定 高效液相色谱法
HJ 664	环境空气质量监测点位布设技术规范
HJ 777	空气和废气 颗粒物中金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法
HJ 829	环境空气 颗粒物中无机元素的测定 能量色散 X 射线荧光光谱法
HJ 830	环境空气 颗粒物中无机元素的测定 波长色散 X 射线荧光光谱法
HJ 875	环境污染物人群暴露评估技术指南
HJ 877	暴露参数调查技术规范
HJ 949	民用建筑环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）渗透系数调查技术规范
HJ 956	环境空气 苯并[a]芘的测定 高效液相色谱法
HJ 1111	生态环境健康风险评估技术指南 总纲
WS/T 666	大气污染人群健康风险评估技术规范
WS/T 10006	环境化学污染物参考剂量推导技术指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

个体暴露 personal exposure

指人经口鼻及呼吸道接触空气中污染物的过程。

3.2

毒害组分 toxic components

颗粒物中对人体具有不良健康效应的化学成分，如颗粒物中重金属、多环芳烃等组分。

3.3

健康风险评估 health risk assessment (HRA)

按一定准则，对污染物作用于特定个体所产生的有害健康效应发生的可能性进行综合定性、定量评估的过程。

[来源：WS/T 666-2019，3.4，有修改]

3.4

暴露量 exposure dose

指人体经呼吸道接触环境污染物的量。

3.5

参考剂量 reference dose (RfD)

人体在一定时间内（短期、长期或终生）暴露于某环境化学污染物，而不产生可检测到有害效应的限值暴露量。

[来源：WS/T 10006-2023，3.1]

3.6

致癌斜率因子 Cancer Slope Factor （CSF）

指评估转化为潜在致癌物质的暴露水平与生物学效应之间关系的指标。

4 基本原则

4.1 科学合理性

空气颗粒物中毒害组分个体健康风险评估过程中所使用的模型方法、技术应与当前的科学水平相一致，具有合理性、准确性和有效性。

4.2 可操作性

确保拟定研究区域有可获得的数据资源，以及符合质量要求的数据；确保现场采样工作具备可操作

性；个体采样时，确保评估对象配合采样和调查工作。

4.3 全面性

在开展个体健康风险评估时，应充分识别并覆盖评估对象所处的全部可能暴露场景，确保评估结果能够全面反映其实际暴露水平与健康风险。并且充分考虑空气颗粒物中毒害组分的个体健康风险评估中个体暴露评估、危害识别、剂量-反应关系和风险表征之间的衔接性，健康风险评估结果要全面、清楚、简明扼要。

5 工作内容与程序

5.1 空气颗粒物中毒害组分的个体健康风险评估的工作程序见图1。

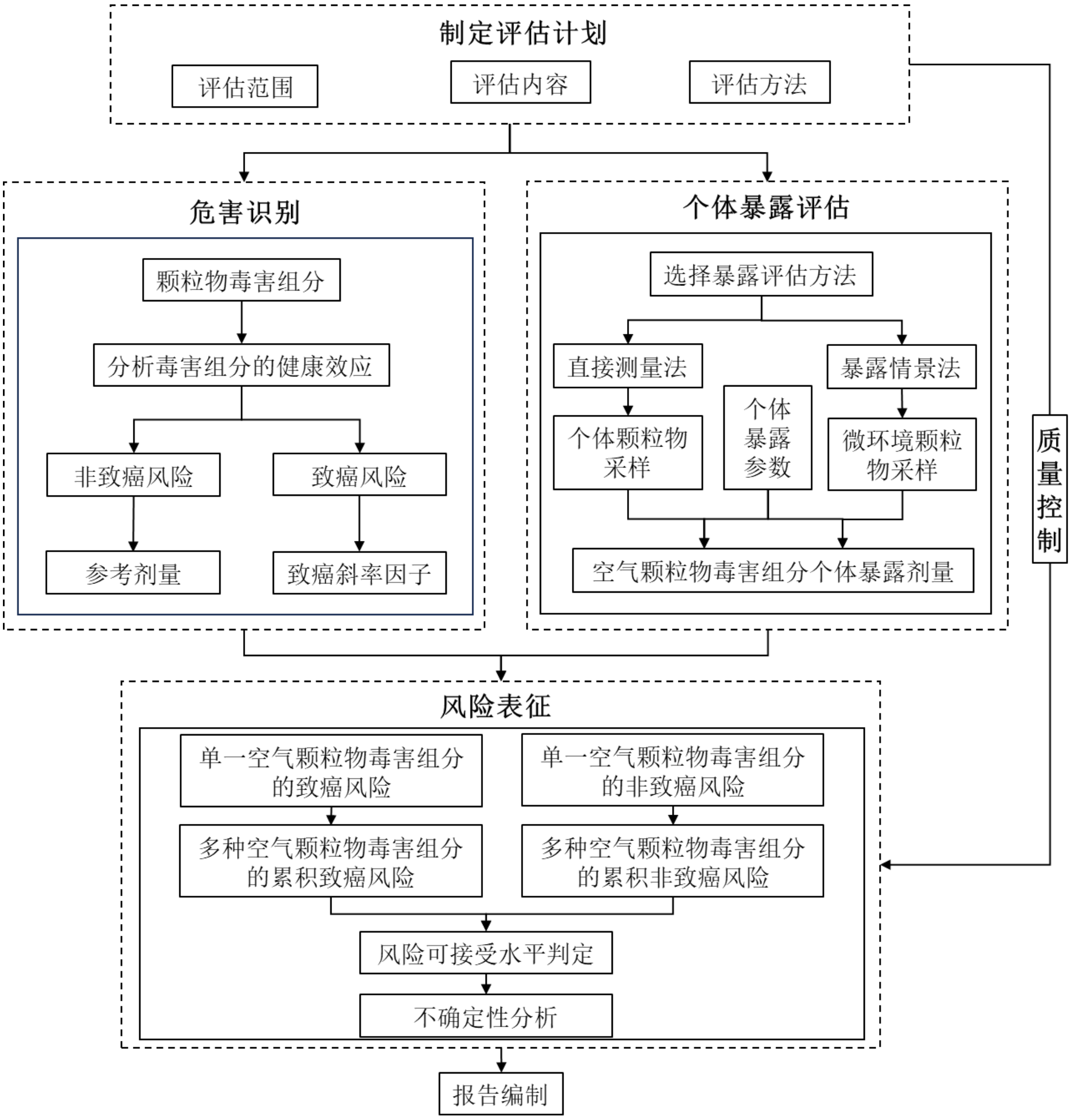

图1 空气颗粒物中毒害组分的个体健康风险评估工作内容与流程

5.2 制定评估计划

5.2.1 确定评估范围

开展空气颗粒物中毒害组分的个体健康风险评估前，根据评估目的，通过资料收集与分析、现场调查和人员访谈，综合分析评估对象的暴露状况、暴露途径、暴露时间、健康影响等多因素确定空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估的评估范围。

5.2.2 确定评估内容

根据已确定的评估目的、评估对象和评估范围，确定评估内容包括颗粒物毒害组分危害识别、个体暴露评估和风险表征等各个环节的具体工作，如现场调查、样品采集、样品保存及分析、暴露评估模型等。

5.2.3 确定评估方法

判断现场是否具备开展个体采样或固定点位采样的条件，明确是否有符合质量条件的数据，充分了解评估对象健康状况。根据获得的数据资料的可用性及评估对象的实际情况，应优先采用直接测量的方法；如评估对象无法满足佩戴个体暴露采样设备要求，则采用暴露情景估算的方法。

5.3 危害识别

5.3.1 危害识别

针对拟评估的空气颗粒物毒害组分或个体暴露评估中新发现的空气颗粒物毒害组分，通过查阅文献或相关毒性资料数据库，判断空气颗粒物毒害组分是否会导致人体健康危害，识别危害属于致癌效应还是非致癌效应。危害识别步骤及具体技术要求可按照 HJ 1111 执行。

5.3.2 参考剂量

对于空气颗粒物毒害组分，经呼吸暴露各种毒害组分的参考剂量可由世界卫生组织（WHO）等相关权威机构数据库查询。对于没有已经公布参考剂量的毒害组分，也可以参照 WS/T 10006 的方法进行推导得出。

5.3.3 致癌斜率因子

对于空气颗粒物毒害组分，经呼吸暴露各种毒害组分的致癌斜率因子，可由国际癌症研究署(IARC)等相关权威机构数据库查询。

5.4 个体暴露评估

5.4.1 基于直接测量的颗粒物毒害组分个体暴露评估

5.4.1.1 基于直接测量方法开展颗粒物毒害组分个体暴露评估，可参照图 2。

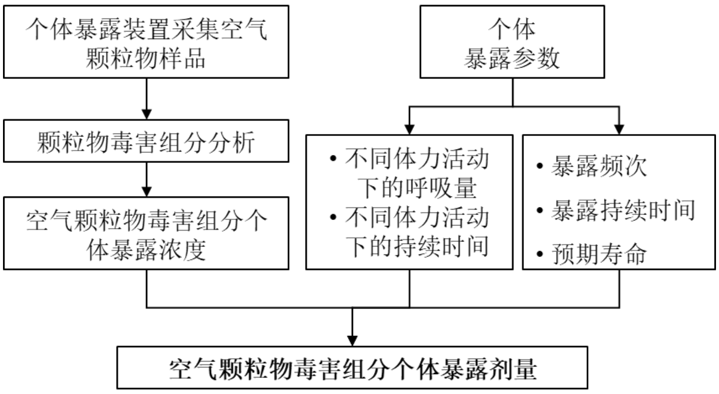

图 2 基于直接测量的颗粒物毒害组分个体暴露评估

5.4.1.2 空气颗粒物毒害组分个体暴露浓度

通过让评估对象佩戴个体采样泵，单次采集受试者 24 h 呼吸暴露的空气颗粒物样本。在参试的 24 h 内，每位受试者都要随身佩戴个体空气采样器；受试者在行动时需将采样头挂在胸前，睡觉时放在枕边，洗澡时要放在防潮且离呼吸最近的地方；采样流速在采样前应进行流量校准和测定，采样结束时应进行流量测定，同时在采样的过程中，需要对采样的初始流量、最终流量和采样时间等分别记录；样品采集、保存、运输及质量控制按照 HJ/T 194 中相关规定执行，样品毒害组分检测分析宜优先采用 HJ 646、HJ 647、HJ 956、HJ 777、HJ 829、HJ 830 等标准方法，如该毒害组分无标准方法，则采用文献中方法。

5.4.1.3 个体暴露参数

a）现场调查：评估对象身高、体重、不同体力活动下的呼吸量、不同体力活动持续时间、年均暴露频次（d/a）和暴露持续时间（a）等个体暴露参数依据 HJ 877 相关技术规定自行开展现场调查获得，其中个体呼吸量的获得可以通过直接测量法、人体能量代谢估算法和心率-呼吸量回归法。

b）收集资料：关于预期寿命参数，可以通过参考当地同类人群的预期寿命数据获取。

5.4.1.4 基于直接测量的单一空气颗粒物毒害组分个体暴露剂量通下公式（1）计算：

$$ADD = \frac{(\sum_{i=1}^{n} C \times IR_i \times t_i) \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \tag{1}$$

式中：

ADD——单一空气颗粒物毒害组分个体暴露剂量，mg/(kg•d)；

C——单日个体采样器监测的单一空气颗粒物毒害组分的浓度，μg/m^3；

IR_i——在体力活动 i 状态下的呼吸量，L/min；

t_i——在体力活动 i 状态下的时间，min/d；

BW——体重，kg；

EF——暴露频率，d/a；

ED——暴露持续时间，a；

AT——预期寿命，预期寿命年数×365d/a。

5.4.2 基于暴露情景估算法的空气颗粒物毒害组分个体暴露评估

5.4.2.1 基于暴露情景估算法开展空气颗粒物毒害组分个体暴露评估，可参照图 3。

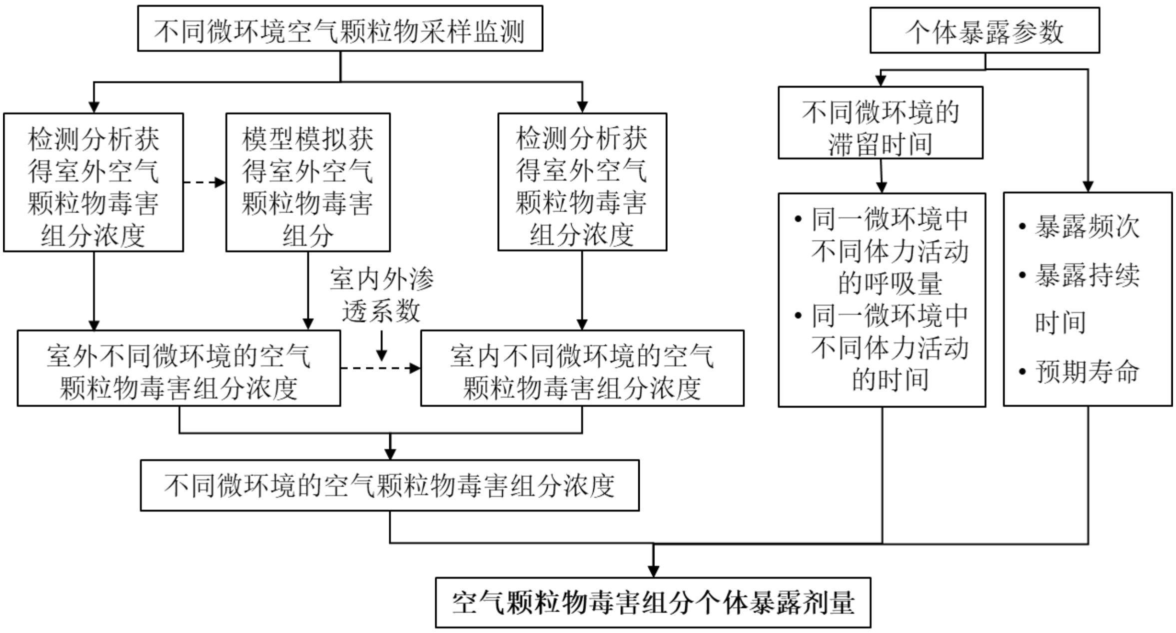

图 3 基于暴露情景估算法的空气颗粒物毒害组分个体暴露评估

5.4.2.2 不同微环境的空气颗粒物毒害组分浓度由室外不同微环境的空气颗粒物毒害组分浓度和室内不同微环境的空气颗粒物毒害组分浓度两部分组成。

a）室外不同微环境的空气颗粒物毒害组分浓度

室外不同微环境的空气颗粒物毒害组分浓度的获得，优先选择在室外微环境中布设固定点位采样监测空气颗粒物的方法；点位布设可参照 HJ 664 中相关规定执行，样品采集、保存、运输、质量控制及毒害组分检测分析参照 5.4.1.2 中方法。如空气颗粒物采样无法覆盖评估对象所有室外微环境，可以根据其他相关数据进行推算或者模型方法模拟获得高时间-空间分辨率的颗粒物毒害组分的模拟数据。

b） 室内不同微环境的空气颗粒物毒害组分浓度

室内不同微环境的空气颗粒物毒害组分浓度的获得，优先选择在室内微环境中布设固定点位采样监测空气颗粒物的方法；样品采集、保存、运输、质量控制及毒害组分检测分析参照 5.4.1.2 中方法。如空气颗粒物采样无法覆盖评估对象所有室内微环境，也可以根据室外空气颗粒物毒害组分的浓度乘以该颗粒物毒害组分的渗透系数得到。空气颗粒物毒害组分的渗透系数可由已发表的文献中获得（室内产生的颗粒物毒害组分不在本文件评估范围内），也可以参照 HJ 949 方法调查获得。

5.4.2.3 个体暴露参数

评估对象身高、体重、不同体力活动下的呼吸量、不同体力活动持续时间、年均暴露频次（d/a）、

暴露持续时间（a）和预期寿命等个体暴露参数的获取可参照 5.4.1.3 中方法。

5.4.2.4 基于暴露情景的空气颗粒物毒害组分个体暴露剂量通过公式（2）计算：

$$ADD = \frac{(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} C_i \times IR_j \times t_j) \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \tag{2}$$

式中：

C_i ——微环境 i 的空气颗粒物毒害组分的浓度，μg/m³；

IR_j——微环境 i 下体力活动 j 状态下的呼吸量，L/min；

t_j——微环境 i 下体力活动 j 状态下的时间，min/d；

ADD、BW、EF、ED、AT 含义同公式（1）。

5.5 风险表征

5.5.1 空气颗粒物毒害组分的非致癌风险计算

5.5.1.1 单一空气颗粒物毒害组分个体暴露的非致癌风险计算

$$HQ_i = \frac{ADD_i}{RfD_i} \tag{3}$$

式中：

HQ_i——单一空气颗粒物毒害组分 i 的危险商，无量纲；

ADD_i——单一空气颗粒物毒害组分 i 的个体暴露剂量，mg/(kg•d)；

RfD_i——空气颗粒物毒害组分 i 的参考剂量，mg/kg·day；

ADD 同公式（1）。

5.5.1.2 多种空气颗粒物毒害组分的非致癌风险计算公式如下：

$$HI = \sum HQ_i \tag{4}$$

式中：

HI——多种空气颗粒物毒害组分的非致癌风险，无量纲。

HQ_i同公式（3）。

5.5.2 空气颗粒物毒害组分的致癌风险计算

5.5.2.1 单一空气颗粒物毒害组分的致癌风险计算公式如下：

$$R_i = ADD_i \times CSF_i \tag{5}$$

式中：

R_i——单一空气颗粒物毒害组分 i 暴露的超额致癌风险，无量纲；

CSF_i——空气颗粒物毒害组分 i 的致癌斜率因子，[mg/(kg·day)]$^{-1}$；

ADD_i同公式（3）。

5.5.2.2 多种空气颗粒物毒害组分的累积致癌风险计算

a） 当健康结局终点一致时，多种空气颗粒物毒害组分的累积致癌风险计算公式如下：

$$R = \sum R_i \tag{6}$$

式中：

R——多种空气颗粒物毒害组分的累积致癌风险，无量纲。

b） 若所评估颗粒物毒害组分存在毒性当量因子，可采用毒性当量法计算

$$CR = \sum_{i=1}^{n} ADD_i \times TEF_i \times CSF_{ref} \tag{7}$$

式中：

CR——多种空气颗粒物毒害组分的累计致癌风险，无量纲；

TEF_i——单一空气颗粒物毒害组分 i 的毒性当量因子，无量纲；

CSF_{ref}——参考物的致癌斜率因子，$[mg/(kg·day)]^{-1}$；

ADD_i同公式（3）。

c） 本文件多种空气颗粒物毒害组分的累积致癌风险计算中，不考虑多种空气颗粒物毒害组分之间可能存在的协同效应和拮抗效应等情况，对于多种空气颗粒物毒害组分可能存在的复合效应谨慎处理。

5.5.3 风险评估结果判定

a) 对于单一污染物毒害组分，如果 GB3095 或 GB/T18883 中有规定，则优先参考。

b) 对于标准中没有规定限值的污染物，本文件规定环境空气颗粒物中单一毒害组分非致癌风险的可接受危险商 HQ 为不超过 1 为风险可接受。单一污染物的增量致癌风险的可接受水平为 10^{-6}。

6 质量控制

选择数据时要明确数据来源，考虑数据的应用条件、代表性和可解释性，以确保数据的适应性；核对数据的质量控制情况，包括问卷调查、空气颗粒物采样、实验室检测分析是否按照国家相关部门颁布的标准执行。

7 不确定性分析

a） 空气颗粒物样本采集过程中由于测量仪器造成的不确定性，以及颗粒物毒害组分检测过程中产生的不确定性影响；

b） 空气污染物毒害组分毒性值的不确定性, 如由动物实验外推得到的人的毒性值存在不确定性, 毒性值与暴露时间不匹配导致的不确定性等；

c） 评估对象吸入量、暴露时间等个体暴露参数带来的不确定性。

d） 空气颗粒物毒害组分个体健康风险评估过程中涉及的其他不确定性。

8 报告编制要求

空气颗粒物毒害组分个体健康风险评估报告应由评估目的、评估计划（包括评估范围、评估内容和

评估方法）、危害识别、个体暴露评估、风险表征和评估结论和建议组成，可参照附录A，也可参照HJ 1111中的具体编制要求执行。

附录A

（资料性）

空气颗粒物毒害组分个体健康风险评估报告模板

空气颗粒物毒害组分个体健康风险评估报告

1. 评估目的

包括评估对象和拟评估的空气颗粒物毒害组分。

2. 制定评估计划

主要包括：评估范围、评估内容和评估方法，评估的参与者，是否与其他机构开展合作，个体健康风险评估时间规划表，健康风险评估结果分析等。

3. 危害识别

a） 阐述所有被评估空气颗粒物毒害组分的理化特征，包括CAS号及分子量等。

b） 阐述所有被评估空气颗粒物毒害组分的健康效应，判断空气颗粒物毒害组分是否会导致人体健康危害，识别危害属于致癌效应和非致癌效应。

c） 由权威机构数据库查询致癌斜率因子和参考剂量，参考剂量也可根据标准方法推导得出，应写明具体方法。

4. 个体暴露评估

a） 阐述评估对象的地理位置、暴露途径、个体暴露行为模式等特征。

b） 如采用直接测量的方法，应阐述个体采样过程的采样设备、采样时间、采样流量等；如采用暴露情景的方法，应阐述不同暴露情景的采样情况，如涉及暴露模拟，应详细阐述所使用模型情况及模型验证结果。

c） 阐述空气颗粒物毒害组分分析的方法

d） 阐述空气颗粒物毒害组分个体暴露检测结果，或不同微环境的空气颗粒物毒害组分浓度。

e） 阐述评估对象所暴露评估目标污染物的暴露水平

5. 个体健康风险表征

个体的致癌风险和非致癌风险应以文字、图或表的形式表述，判断是否处于可接受风险水平。

6. 不确定性分析

对危害识别、个体暴露评估和风险表征等各个环节的不确定性进行描述、分析。

主要包括：

a） 描述评估对象呼吸量、暴露时长等个体暴露参数产生的不确定性。

b）描述空气颗粒物毒害组分在个体监测或不同暴露情景监测以及毒害组分检测分析过程中产生的不确定性。

c） 空气颗粒物毒害组分毒性值的不确定性，由动物实验外推得到人的毒性值存在的不确定性，毒性值与暴露时间不匹配导致的不确定性。

d） 个体健康风险评估结果的不确定性，如个体健康风险评估模型中涉及的参数的不确定性，多时

段多暴露情景暴露加和可能引入的不确定性。

e） 还应说明个体健康风险评估过程中涉及的其他不确定性。

7. 结果和建议

a） 根据评估目的给出个体健康风险评估结果。

b） 根据评估结果给出污染物控制、处理措施、健康防护等建议。

8. 参考文献

呈现个体健康风险评估过程中所应用的标准/规范/指南，以及相关文献和资料。