

团体标准
《空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估技术指南》
(征求意见稿)

编制说明

中华环保联合会
技术指南编制工作组
二〇二五年八月

项目名称：空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估技术指南

起草单位：北京科技大学、西安交通大学、中国环境监测总站

主要起草人：段小丽、武鹏鹏、谢洋旻、齐玲、吴少伟、张凤英、
阎佳、曹素珍、王贝贝、秦宁

目 录

1 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 必要性和可行性.....	2
2.1 必要性.....	2
2.2 可行性.....	3
3 国内外研究现状.....	4
3.1 国外研究现状.....	4
3.1.1 美国.....	4
3.1.2 世界卫生组织.....	7
3.1.3 欧盟.....	7
3.1.4 日本韩国.....	7
3.2 国内研究进展.....	8
4 编制原则.....	8
5 主要技术内容说明.....	8
5.1 确定依据.....	8
5.1.1 政策法律依据.....	9
5.1.2 技术依据.....	9
5.2 层次框架.....	10
5.3 技术要点.....	10
5.3.1 范围.....	10
5.3.2 规范性引用文件.....	10
5.3.3 术语和定义.....	11
5.3.4 基本原则.....	12
5.3.5 个体暴露评估.....	13
5.3.6 风险表征.....	14
5.3.6 质量控制.....	15
5.3.7 不确定性分析.....	15
6 对实施本文件的建议.....	16

1 项目背景

1.1 任务来源

近十年来，我国在大气污染防治方面实施了一系列政策措施，如《大气污染防治行动计划》（2013-2017 年）、《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（2018-2020 年）等，空气质量取得了显著改善，但空气污染治理仍有很长的路要走。已有研究表明空气污染物特别是颗粒物对人体健康影响没有阈值，长期暴露于空气污染环境中，心血管疾病发病率可增加 20%至 30%，慢性呼吸道疾病的风险也显著提升。颗粒物暴露不仅影响呼吸系统和心血管系统，还可能导致神经系统和免疫系统的损害，甚至增加某些癌症的风险。2021 年，WHO 进一步收紧了针对 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的全球空气质量推荐值，我国颗粒物浓度水平距推荐值仍有一定距离。随着颗粒物浓度的降低，未来颗粒物治理将从浓度为导向转变以健康为导向，空气颗粒物来源和成分复杂，且具有一定的时空异质性，颗粒物中毒害组分是具有明确毒害作用且部分具有污染源指示特征的组分，准确的评估环境空气颗粒物中毒害组分的个体暴露健康风险，是设定环境空气质量基准、制定大气污染控制政策、防范疾病风险从而实现精准、科学防污的重要依据。因此，亟需制定《环境空气颗粒物毒害组分个体健康风险评估技术指南》，指导科研人员和政策制定者提供规范的环境空气颗粒物毒害组分个体健康风险评估流程和方法，实现环境空气颗粒物毒害组分个体暴露健康风险的准确评估。

因此，编制组在资料收集、现场调查、数据分析的基础上编制了《环境空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估技术指南》，编制任务在北京科技大学的牵头下，与西安交通大学、中国环境监测总站共同完成。

1.2 工作过程

本标准是项目组关于空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估多年相关成果的凝练，标准编制工作分以下几个阶段开展。

2023 年 3 月，项目承担单位北京科技大学成立标准制订编制组(以下简称编制组)。编制组初步拟定了标准制订的原则、工作目标、工作内容和路线，

讨论了在标准过程中可能遇到的问题、标准定位及侧重点，并根据标准编制任务，制定了详细的标准编制计划与任务分工。

2023 年 3 月—2024 年 3 月，编制组检索、查询和收集国内外相关标准和文献资料，对现有关于空气颗粒物毒害组分的个体暴露健康风险评估的方法、研究进展以及存在的问题进行了调研，在整理借鉴的基础上进行归纳和总结，对空气颗粒物毒害组分的个体暴露健康风险评估方法中涉及的危害识别、个体暴露评估和危害表征等主要内容进行了初步的探讨和总结，确定了空气颗粒物毒害组分的个体暴露健康风险评估的技术路线和主要研究内容。

2024 年 3 月—2024 年 6 月，在北京、西安等代表性城市招募人群队列，通过个体采样和固定采样等方式获得颗粒物滤膜并获得受试者行为活动数据。

2024 年 6 月—2024 年 10 月，将队列人群采集的颗粒物组分滤膜进行实验室分析获得颗粒物组分数据，验证空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估方法的可行性。

2024 年 10 月-2025 年 1 月，编制组根据拟定的技术路线，开展的现场调研和技术验证等研究成果，并在此基础上编写了开题论证报告及标准草案。

2025 年 3 月，邀请行业内相关专家进行了标准方向、内容和规划等方面的审查，并提出了标准草案相关修改意见。

2025 年 5 月，邀请专家对团体标准制定流程及相关要求进行深度解析，标准主编人员汇报标准编制进度、修改情况及待解决的问题，专家对存在的问题提出可行性建议。

2025 年 8 月，中华环保联合会组织召开了本项目的征求意见稿技术审查会。专家组听取了标准编制组的汇报，经过质询、讨论，专家组通过了该标准征求意见稿的技术审查，会后，编制组按照专家意见对标准文本征求意见稿和编制说明进行了修改。

2 必要性和可行性

2.1 必要性

空气颗粒物来源和成分复杂，准确评估空气颗粒物毒害组分暴露是揭示空气颗粒物健康影响的前提，也是设定空气质量基准、制定大气污染控制政策、防范

疾病风险从而实现精准、科学防污的重要依据。通过对《“健康中国 2030”规划纲要》、中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要等国家政策法规及相关标准文献的调研，以及卫生健康标准体系中的环境健康领域的管理需求，目前环境健康领域已经形成了室内空气污染物相关标准体系、公共场所空气污染物相关标准体系，而空气颗粒物毒害组分暴露健康风险评估方面，仅发布了《大气污染物人群风险评估技术规范》（WS/T 666-2019），尚未形成系统性评估体系，缺乏空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估的标准化流程，该标准的制定面向国家在空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估的标准化需求。

该指南的编制有助于建立统一的、规范的、科学的方法以指导各地卫生健康部门、环保部门及科研人员开展空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估，为开展基于个体水平的空气颗粒物毒害组分的健康风险优先次序识别提供技术支持。本标准立足空气颗粒物毒害组分健康风险评估，颗粒物毒害组分是污染源识别的指示物，可作为研究区域实现精准治污、科学治污，且本标准切合《中华人民共和国环境保护法》第 39 条明确要求“国家建立、健全环境与健康监测、调查和风险评估制度；鼓励和组织开展环境质量对公众健康影响的研究”，和《国家环境保护“十三五”环境与健康工作规划》部署发布涵盖调查、暴露评估、风险评价领域等一系列技术规定。暴露评估是环境健康风险评估的核心步骤，是科学认识环境与健康关系的基础。本标准的编制也为完善我国环境标准体系、实施环境健康风险管理提供有力的技术支撑。

2.2 可行性

多年来，我国不断投入资金升级监测设备，在大气污染监测与模拟技术领域已取得显著进展。如今在许多城市建设了超级监测站，能够高精度地实时监测颗粒物的浓度、成分等关键数据。在个体监测设备方面，个体颗粒物组分离线采样器实现了便携和长续航，为获得个体水平颗粒物组分提供了便利，如美国 BUCK 和 SKC 的个体采样器可实现 24h 的监测，香港科技大学的 PES 可实现 6h 的个体颗粒物采样，为空气颗粒物毒害组分个体健康风险提供必要基础。

目前，结合生物测试和化学分析的效应导向分析（EDA）、基于流行病学的暴露组关联分析（EWAS）和基于人群健康效应的颗粒物毒害组分识别技术等识

别颗粒物毒害组分的方法发展，为识别空气颗粒物毒害组分提供了评估依据。

编制组先后完成了我国成人和儿童的暴露参数调查，并形成了我国首部《中国人群暴露参数手册》，掌握了暴露参数完整的一手数据资源，为空气颗粒物毒害组分个体健康风险提供数据基础。

项目组主持或参与编制了 4 项环境标准包括《暴露参数调查基本数据集》（HJ 968-2019）、《暴露参数调查技术规范》（HJ 877-2017）、《生态环境健康风险评估技术指南 总纲》（HJ 1111-2020）和《儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法》，具备编制标准的相关经验，为本标准的编制奠定了基础。

此外，我国在大气污染防治领域已建立了较为完善的政策法规体系和标准规范框架，这为技术指南的编制提供了良好的政策环境和制度保障。同时，编制组与国内相关部门和机构之间长期保持着密切的沟通与协作，能够高效地整合资源，为技术指南的编制工作顺利推进提供有力保障。

3 国内外研究现状

3.1 国外研究现状

3.1.1 美国

20 世纪以来，全球发生了多起重大空气污染健康事件，如伦敦烟雾事件、洛杉矶光化学烟雾事件等，空气污染对人群健康影响引起了各国政府及公众的广泛关注，大气污染健康风险评估模型也得到了进一步发展。美国是最早研究暴露评估技术的国家，在大气污染健康风险评估方法学等方面做了大量工作，1976 年《有毒物质控制法》（Toxic Substances Control Act, TSCA, 1976）提到了化学品对人类健康的暴露风险。美国国家科学院于 1983 年提出环境健康风险评估的经典模型，在全球得到广泛应用。

$$ADD = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

式中：

ADD——污染物的日均暴露剂量，mg/（kg·d）；

IR——摄入量；

C——某种污染物的浓度；

EF——暴露频率；

ED——暴露持续时间，a；

BW——体重，kg；

AT——平均暴露时间，d。

1986 年，美国环境署(USEPA)发布了《暴露评估指南》(Guide lines for exposure assessment)，建立了暴露评估的纲领性框架，并于 1992 年进行修订。1992 年，美国环保局提出了《暴露评价技术导则》(Guidelines for Exposure Assessment)，之后又提出了《暴露评价术语》、《暴露评价实例分析》等，详见表 1。

表 1 美国环保局暴露评价方面的有关工具

类别	编号	美国环保局		
		名称	英文名称	发布时间
技术规范	1	暴露评价技术导则	Guidelines for exposure assessment	1992 年
	2	暴露评价研究中采样和分析方法的选择	Identification of Time-integrated Sampling and Measurement Techniques to Support Human Exposure Studies	2004 年
	3	皮肤暴露评价的原则和应用	Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications	1992 年
	4	化学物质的暴露评价方法	Methods for Assessing Exposure to Chemical Substances	1983—1989 年
	5	二恶英类化合物的暴露评价	Estimating Exposures to Dioxin-Like Compounds	1994 年
	6	超级基金暴露评价手册	Superfund Exposure Assessment Manual	1988 年
	7	暴露情景实例	Example Exposure Scenarios	2004 年
	8	暴露评价中数据模型的选择标准	Selection Criteria for Mathematical Models Used in Exposure Assessments	
暴露参数手册	1	暴露参数手册	Exposure factor handbook	1997 年
	2	儿童暴露参数手册	Child-Specific Exposure Factors Handbook	2002 年
	3	暴露手册中参数的正态分布	USEPA Options for Development of Parametric Probability Distributions for Exposure Factors	2000 年
	4	社会人口学参数	Sociodemographic Data Used for Identifying Potentially Highly Exposed Populations	1999 年
	5	食品摄入分布	Food Intake Distributions	2003 年
模型	1	暴露相关的剂量模型——用于估计人体的暴露和	Exposure Related Dose Estimating Model (ERDEM) for Assessing Human Exposure and Dose	2004 年

类别	编号	美国环保局		
		名称	英文名称	发布时间
		剂量		
	2	暴露评价中数据模型的选择标准	Selection Criteria for Mathematical Models Used in Exposure Assessments	1987—1988 年
	3	土壤有机物归趋迁移模型	EMSOFT: Exposure Model for Soil-Organic Fate and Transport	
	4	生理药代动力学模型	Physiologically Based Pharmacokinetic (PBPK)	
	5	毒性和风险估算软件	Dose and Risk Calculation Software	
	6	农药风险评估工具	Pesticide Inert Risk Assessment Tool	
软件	1	基准剂量软件	Benchmark dose software	
	2	食品潜在暴露模型	Dietary Exposure Potential Models	
	3	重金属风险筛选工具	Metal Finishing Facility Risk Screening Tool (MFFRST)	
数据库	1	人体暴露数据库	Human Exposure Database System	
	2	人体活动模式数据库	Human Activity Database	
	3	生物标志物数据库	BioMarkers Database	
	4	人群暴露环境化合物的生物标志物数据库	National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals**	
	5	国家健康与营养调查数据库	National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) Database	
	6	国家人体脂肪组织数据库	NHATS Database National Human Adipose Tissue Survey	
	7	综合风险信息系统和数据库	Integrated Risk Information System (IRIS) & Database	

暴露参数是大气暴露风险评估模型所需要的重要基础数据。美国也是最早开展暴露参数研究并发布暴露参数手册的国家，USEPA 于 1989 年出版了第一版《美国暴露参数手册》（Exposure factors handbook），后又经过 1997 年和 2011 年两次修订，形成了完整的暴露参数数据集；2002 年发布了《儿童暴露参数手册》（Child-specific exposure factors handbook），并于 2008 年进行了修订和完善。

3.1.2 世界卫生组织

世界卫生组织（WHO）在环境健康基准系列（Environmental health criteria, EHC）中对人体暴露评价的方法进行了规定。此外，在一些文件中也涉及暴露评价的方法。如表 2 所示，可以看出，WHO 对于暴露评价的技术方法术语、质量控制、不确定性、模型等都有专门的规定，其中最主要的是 EHC214 人体暴露评价。

表 2 世界卫生组织暴露评价的技术方法

类别	中文名称	英文名称
EHC 系列	EHC 214 人体暴露评价	EHC 214 Human Exposure Assessment
	EHC 170 暴露限值参考值	EHC 170 Guidance Values for Human Exposure Limits
	EHC 170 生物标志物和风险评价的概念和原理	EHC 170 Biomarkers and Risk Assessment: Concepts and Principles
	EHC 222 健康风险评价中的生物标志物	EHC 222 Biomarkers in Risk Assessment: Validity and Validation
其他	暴露评价和健康风险评价术语	Exposure Assessment and Risk Assessment Terminology
	暴露模型的表征和应用原则	Principles of Characterizing and Applying Human Exposure Models
	化学物暴露评价中的数据质量	Guidance on Data Quality in Chemical Exposure Assessment
	暴露评价中的不确定性分析	Guidance on uncertainty in Exposure Assessment

3.1.3 欧盟

欧盟已建立起了化学品安全管理的技术规范体系，并对化学品风险评估、暴露评估开展研究。在欧盟《关于化学物质注册、评估、许可和限制法规》(REACH) 及其相关法律中规定对人类健康和环境有严重影响的危险化学品应进行暴露评估，对基于化学品整个生命周期的暴露评估进行了规范要求，并制定了一系列的模型和工具以规范暴露评估。如英国的 CSOIL 模型、CLEA 模型、意大利的 ROME 模型、丹麦的 CETO 模型和比利时的 Vlier 模型。并且欧盟开发建立了适合欧洲居民特点的 ExpoFact 暴露参数数据库，并于 2007 年发布该数据库成为欧洲各国环境暴露和风险评估研究的重要参考。

3.1.4 日本韩国

2003 年，日本对《化学物质审查和生产控制法》(CSCL)进行修订，更加重视评估和管理化学物质对环境的危害，由环境省制定了《化学品初步风险评估指南》，其中就考虑了暴露因素。2007 年日本发布了《日本暴露参数手册》，以用

于环境暴露风险评估。韩国于 2009 年在基于本国居民人体特征基础上，编制发布了《韩国暴露参数手册》。

3.2 国内研究进展

我国在暴露评估方面起步较晚，虽取得了较大进展，但还未形成暴露风险评估标准体系。目前已发布的标准有《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014)、《环境污染物人群暴露评估技术指南》(HJ 875-2017)、《暴露参数调查技术规范》(HJ 877-2017)、《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)、《大气污染人群健康风险评估技术规范》(WS/T 666-2019)、《暴露参数调查基本数据集》(HJ 968-2019)等。尚无空气颗粒物毒害组分的个体暴露健康风险评估的相关标准。

环境保护部分别在 2014 年和 2016 年发布了《中国人群暴露参数手册(成人卷)》《中国人群暴露参数手册(儿童卷：0-5 岁)》和《中国人群暴露参数手册(儿童卷：6-17 岁)》，促进了暴露风险评估的快速发展，使得在暴露风险评估中有了本土化参数。

4 编制原则

(1) 科学性原则

基于暴露科学、暴露风险评估的理论基础，以科学研究成果、实践经验和技術可行性为依据充分借鉴国际上发达国家的暴露评估方法，结合我国实际进行本土化创新，保证暴露评估技术方法具有科学性。

(2) 规范性原则

标准的编制按照 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》有关规定，确定标准的结构和内在关系，标准条文层次的划分符合 GB/T 1.1 的规定。

5 主要技术内容说明

5.1 确定依据

在充分调研国内外相关部门已开展的空气颗粒物毒害组分的个体暴露健康风险评估相关工作及内容的基础上，结合一系列现场调查、监测工作成果和实践

经验，制定本规范主要技术内容，使技术规范符合目前工作的需要和管理需求。

5.1.1 政策法律依据

《中华人民共和国环境保护法》

《中华人民共和国大气污染防治法》

《大气污染防治行动计划》

《空气质量持续改善行动计划》

5.1.2 技术依据

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

5.2 层次框架

技术规范由 7 部分组成，包括：

- (1) 适用范围
- (2) 规范性引用文件
- (3) 术语和定义
- (4) 基本原则
- (5) 工作内容与程序
- (6) 质量控制
- (7) 不确定性分析
- (8) 报告编制

5.3 技术要点

5.3.1 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空气颗粒物(如：可吸入颗粒物、细颗粒物等不同粒径)中化学性毒害组分(如：重金属、多环芳烃等)的评估，不适用于对颗粒物中生物性组分(如：细菌、病毒等)的健康风险评估。

5.3.2 规范性引用文件

本文件主要引用了 16 个规范性文件，具体引用内容如下：

表 3 规范性文件及具体引用内容

编号	文件号	规范性引用文件	引用内容
1	GB 3095	环境空气质量标准	参照标准中组分的相关规定
2	GB/T 18883	室内空气质量标准	参照标准中组分的相关规定
3	HJ/T 194	环境空气质量手工监测技术规范	引用作为固定点位监测的标准方法
4	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	引用作为毒害组分分析的标准方法
5	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	引用作为毒害组分分析的标准方法

6	HJ 664	环境空气质量监测点位布设技术规范	引用作为固定点位监测的标准方法
7	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	引用作为毒害组分分析的标准方法
8	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	引用作为毒害组分分析的标准方法
9	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	引用作为毒害组分分析的标准方法
10	HJ 875	环境污染人群暴露评估技术指南	主要引用了“3 术语和定义”中“3.5 暴露量”
11	HJ 877	暴露参数调查技术规范	主要参考了“7.3 现场调查”和“8 模型估算法”
12	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	引用作为室内外渗透系数调查的标准方法
13	HJ 956	环境空气 苯并[a]芘的测定 高效液相色谱法	引用作为毒害组分分析的标准方法
14	HJ 1111	生态环境健康风险评估技术指南 总纲	主要参考了“8.3.4 定量暴露评价”、“9 风险表征”
15	WS/T 666	大气污染人群健康风险评估技术规范	主要引用了“3 术语和定义”、参考了“6 基于大气污染物毒性资料的人群健康风险评估”；引用作为参考剂量的推导方法
16	WS/T 10006	环境化学污染物参考剂量推导技术指南	主要引用了“3 术语和定义”中“3.1 参考剂量”

此外，本文件还借鉴了 USEPA 的《暴露评估指南》(Guidelines for exposure assessment,1992)的基本框架与暴露模型，《中国人群暴露参数手册(成人卷)》《中国人群暴露参数手册(儿童卷：0-5 岁)》和《中国人群暴露参数手册(儿童卷：6-17 岁)》，充分吸纳我国一系列人群暴露风险评估的研究成果和工作经验，提出了空气颗粒物毒害组分的个体健康风险评估技术要求。

5.3.3 术语和定义

本文件共有 6 个术语和定义，主要来源见表 4。

表 4 术语及定义来源

术语	定义来源	说明
个体暴露	-	在本文件中个体暴露仅指个体经口鼻及呼吸道接触空气中污染物的过程，不考虑其他途径

毒害组分	-	颗粒物是复杂的混合物，其中像重金属、多环芳烃等对健康具有不良效应的在本文件中称为毒害组分
健康风险评估	《WS/T 666-2019 大气污染人群健康风险评估技术规范》3.4，有修改	健康风险评估引自 WS/T 666 中 3.4，本文件将人群定义改为个体
暴露量	《HJ 875-2017 环境污染物人群暴露评估技术指南》3.5	在本文件中暴露量仅指经呼吸道接触污染物的量，不考虑其他途径
参考剂量	《WS/T 10006-2023 环境化学污染物参考剂量推导技术指南》3.1	引自 WS/T 10006 中 3.1，未做修改
致癌斜率因子	-	是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，一般由毒理学结果推导而来

5.3.4 基本原则

（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。

说明：在空气颗粒物中毒害组分个体健康风险评估中，科学合理性是确保评估结果可信和可推广的核心原则。所选用的模型、方法和技术应充分依据当前国内外的科学研究成果与技术发展水平，符合相关学科的理论基础与实践要求。评估工具和计算方法应具备可重复性和可验证性，能够准确反映污染物暴露水平与健康效应之间的关系。同时，应综合考虑数据来源、适用范围与不确定性分析，确保结果在科学逻辑上自洽，并能为后续风险管理与决策提供有力支撑。

（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。

说明：在空气颗粒物中毒害组分个体健康风险评估中，可操作性原则要求评估全过程在实际条件下能够顺利实施并取得符合质量要求的数据支撑。首先，应确保所选研究区域具备可获得且可靠的数据资源，包括环境监测数据、气象数据、人口健康数据等，并符合质量控制与质量保证的标准。其次，现场采样方案需在技术上可行、流程清晰，并能在既定时间与条件下完成，避免因操作复杂或条件受限影响数据完整性。最后，在个体暴露采样和调查环节，应考虑被调查对象的接受度与配合程度，合理设计调查方法和采样流程，以保障评估工作的顺利开展

和结果的科学性。

（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、危害评估、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。

说明：全面性原则强调在空气颗粒物中毒害组分个体健康风险评估中，应最大限度覆盖和反映评估对象的真实暴露情况及其健康风险。评估过程中需系统识别评估对象可能经历的所有暴露场景，包括不同时间段、不同活动方式及不同环境条件下的暴露，避免因遗漏关键情境而低估或高估风险。同时，应确保个体暴露评估、危害评估、剂量-反应关系分析与风险表征等环节在逻辑上紧密衔接，形成完整的评估链条。最终输出的健康风险评估结果应具备全面性、准确性和易理解性，使其既能满足科学研究的严谨要求，又便于管理和决策部门参考与应用。

5.3.5 个体暴露评估

5.3.5.1 直接测量方法

个体暴露评估通过使用便携式监测设备，直接测量个体在不同活动场景下（如室内、室外、通勤途中）吸入的颗粒物浓度。常见的设备有个人可吸入颗粒物采样器、微型空气质量监测仪等。研究人员可让受试者佩戴个人采样器，在一天内不同时间段、不同场所进行采样，然后分析采样滤膜上的颗粒物的毒害组分含量，结合受试者的呼吸频率、暴露时间等信息，计算出个体的暴露剂量。该方法由于监测仪器与调查对象在监测期间均处于同一环境，监测数据能够反映调查对象实际暴露水平。

5.3.5.2 暴露情景方法

基于暴露情景的个体暴露健康风险评估方法，通过对不同微环境污染水平的监测和人体暴露行为模式的分析，能够相对全面、真实地反映个体在日常生活中所受到的污染暴露水平及其潜在健康风险。相比于传统的环境监测数据直接推算暴露量，该方法不仅考虑了污染物在不同微环境（如室外交通道路、公共场所、室内家居、工作环境等）的浓度差异，还将个体在这些微环境中的停留时间、活动类型、活动强度等行为特征纳入评估，从而能够更准确地计算出

个体实际吸入或接触污染物的剂量。这种方法在应对污染物浓度时空分布不均、个体活动模式差异较大等问题上具有显著优势，能够避免单一监测点数据无法反映个体真实暴露水平的局限。同时，对于部分无法监测的微环境可以通过暴露模拟的方法获得微环境污染物浓度。

5.3.6 风险表征

5.3.6.1 空气颗粒物毒害组分个体暴露的非致癌风险

空气颗粒物中含有多种毒害组分，如金属、有机碳、无机盐等。有些组分即使不具备直接致癌性，也可能通过呼吸道长期累积，对呼吸系统、心血管系统、神经系统和免疫系统造成不良影响。开展空气颗粒物毒害组分个体暴露的非致癌风险评估，旨在量化人体暴露于颗粒物中有害组分后可能产生的非致癌健康影响。风险表征通常基于暴露剂量与剂量-反应关系，通过计算个体暴露的平均每日剂量（Average Daily Dose, ADD）或累积暴露剂量，并将其与相应的参考剂量（Reference Dose, RfD）进行比较。非致癌风险常用的指标是风险比（Hazard Quotient, HQ），即暴露剂量与参考剂量的比值。当 HQ 值大于 1 时，表明潜在健康风险存在，需引起关注。具体方法包括：首先，通过监测和采样获得个体暴露的空气颗粒物毒害组分浓度，结合个人活动模式、呼吸率和暴露时间等参数，计算实际吸入剂量；其次，依据国家或国际权威机构发布的毒性参考值，评估暴露剂量对应的健康风险水平；最后，采用统计分析和敏感性分析，探讨风险的变化范围及不确定性。该方法不仅能反映不同个体在不同暴露情景下的风险差异，还能辅助制定科学合理的环境管理措施和公众健康保护策略。通过系统的非致癌风险表征，有助于提前识别和预防潜在的慢性健康危害，保障人群的呼吸系统及全身健康。

5.3.6.2 空气颗粒物毒害组分个体暴露的致癌风险

空气颗粒物中许多毒害组分如重金属（砷、镍、铬等）和多环芳烃（PAHs）等具有致癌潜力，个体长期暴露于这些污染物中可能引发癌症。致癌风险表征是结合环境监测数据与毒理学参数，量化个体暴露后癌症风险的重要步骤。通常通过慢性日均暴露剂量（CDI）结合致癌斜率因子（SF）的计算，CDI-SF 法结合吸入率、暴露频率、体重等参数，提供更精细的致癌风险估计。此外，针对具有类似毒理机制的多种化合物（如多环芳烃）常用毒等效浓度（Toxic Equivalency

Quotient, TEQ) 方法。TEQ 通过将各组分的浓度乘以其相对毒性因子 (TEF), 统一换算为一种代表化合物的毒性当量浓度, 再基于该当量浓度计算总致癌风险, 解决了多组分复杂混合物的风险合并问题。致癌风险表征为环境管理提供科学依据, 指导颗粒物污染控制和排放标准制定, 同时帮助公众理解风险、采取防护措施。准确的风险表征有助于实现精准污染治理和健康保障, 是科学研究与环境健康政策之间的重要桥梁, 具有显著的理论价值和应用前景。

5.3.6 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。

说明: 质量控制在数据收集与分析过程中起着至关重要的作用, 直接关系到研究结果的可靠性和科学价值。首先, 明确数据来源能够保证数据的真实性和权威性, 避免因数据来源不明或不规范带来的偏差和误导。其次, 考虑数据的应用条件、代表性和可解释性, 能够确保所选数据能够准确反映研究对象的实际情况, 提高研究结论的适用性和推广价值。此外, 核查数据采集和处理的质量控制措施, 如问卷设计是否科学合理、空气颗粒物采样过程是否严格遵守标准、实验室检测分析是否符合国家规范, 能够最大限度地减少人为误差和系统误差, 保证数据的准确性和一致性。严格的质量控制不仅提升了数据的可信度, 也为后续数据分析和模型建立提供了坚实的基础。特别是在环境健康领域, 数据的高质量直接影响风险评估的科学性和政策制定的合理性。因此, 重视并落实全面、系统的质量控制, 是确保研究成果具有科学性、客观性和实用性的关键环节。只有通过规范的质量控制, 才能为科学研究和公共卫生决策提供有力支持。

5.3.7 不确定性分析

对空气颗粒物毒害组分个体健康风险评估各个环节的不确定性进行描述和分析, 主要包括:

- 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。

说明：不确定性分析在空气颗粒物毒害组分个体健康风险评估中具有重要意义，是保证评估结果科学性和合理性的关键环节。首先，采样和检测过程中的仪器误差及实验操作差异会导致数据存在一定的波动和偏差，这些测量不确定性直接影响暴露剂量的准确性，进而影响风险评估的可靠性。其次，毒性值的不确定性也是一个不可忽视的问题。许多毒性参数是基于动物实验通过外推方法得到的，存在种属差异和暴露条件不匹配等问题，这些都会对风险估计产生偏差，导致风险可能被高估或低估。最后，个体暴露参数如吸入量和暴露时间的变异性，也使得每个人的实际暴露存在差异，增加了健康风险评估的复杂性和不确定性。通过系统地分析和量化这些不确定性因素，能够帮助研究人员识别关键影响因素，明确结果的可信区间，避免盲目依赖单一确定值，提升风险评估的透明度和科学依据。此外，不确定性分析有助于指导数据采集和模型改进，优化研究设计，促进决策者制定更合理的环境管理和健康保护措施。因此，全面、不遗漏地开展不确定性分析，是实现科学、公正、合理风险评估不可或缺的重要步骤。

6 对实施本文件的建议

本文件为现阶段指导性标准，建议标准发布实施后，加强相关基础科学研究，并根据标准实施情况适时对本文件进行完善、修订与补充。