

中国大气污染源解析的 现状、问题与展望

冯银厂

(fengyc@nankai.edu.cn)

南开大学

主要内容

- 我国源解析技术发展历程
- 不同源解析技术特点
- 面临的主要问题与解决途径
- 我国源解析工作的现状和国家要求
- 展望

主要内容

- 我国源解析技术发展历程
- 不同源解析技术特点
- 面临的主要问题与解决途径
- 我国源解析工作的现状和国家要求
- 展望

我国源解析技术发展历程

面临的问题

污染源贡献值
如何确定

1980'

2010'

解决途径

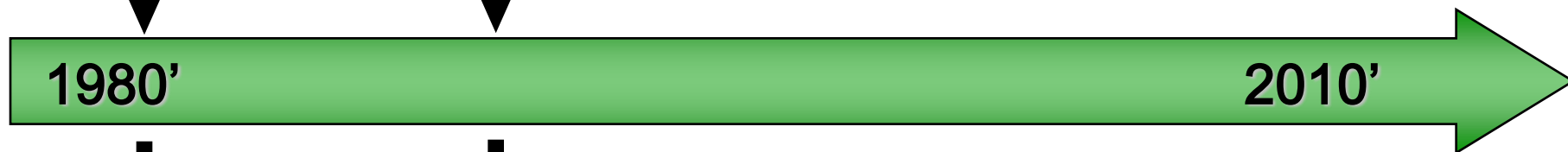
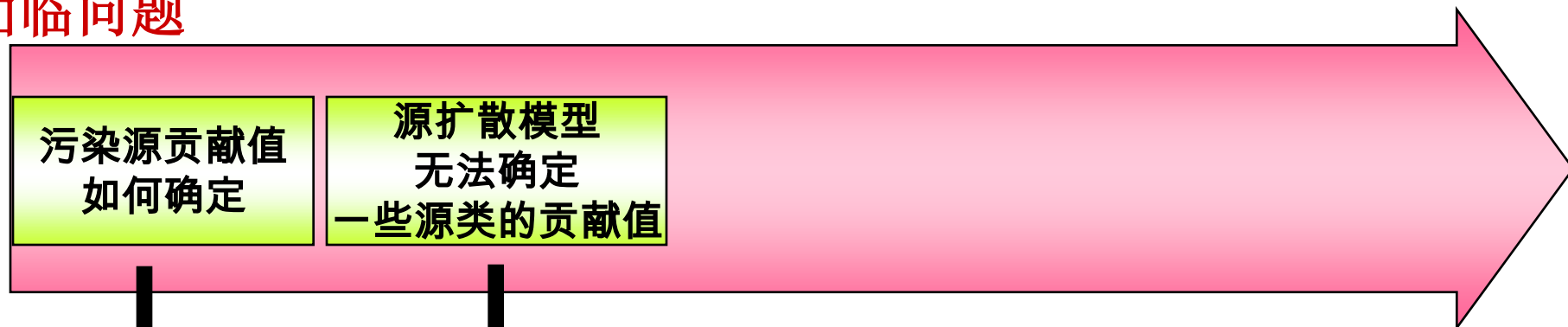
源解析技术

源扩散模型

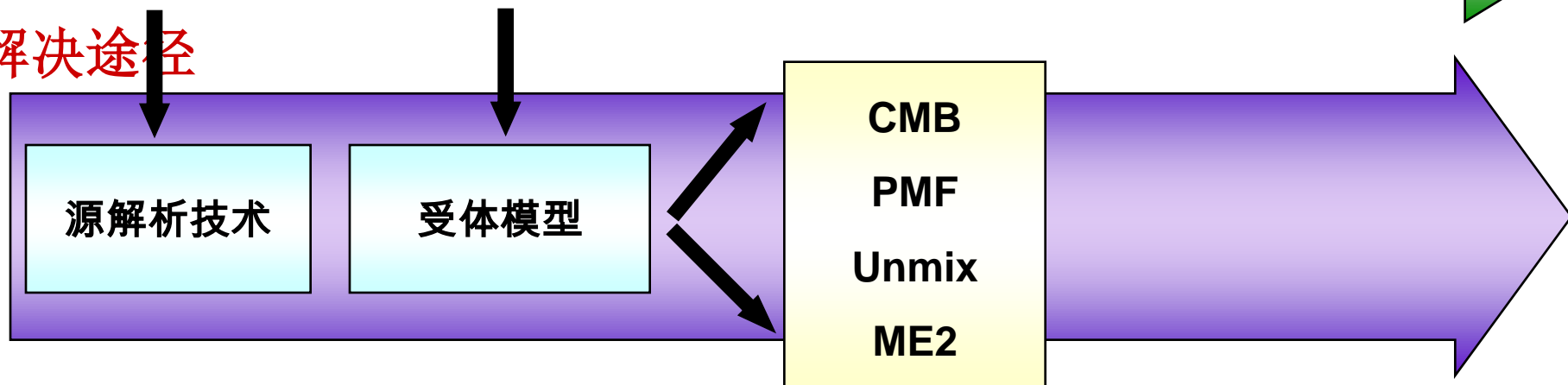
统计学方法

我国源解析技术发展历程

面临的问题

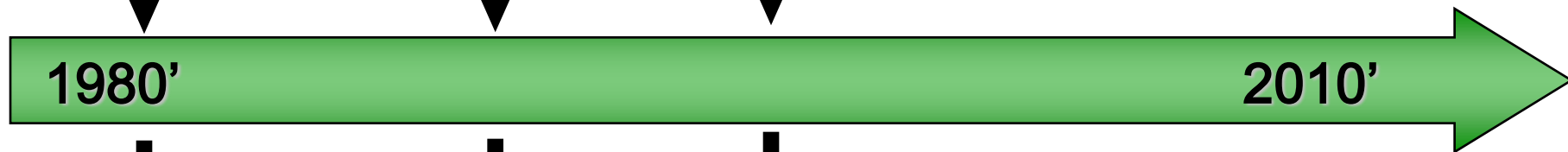
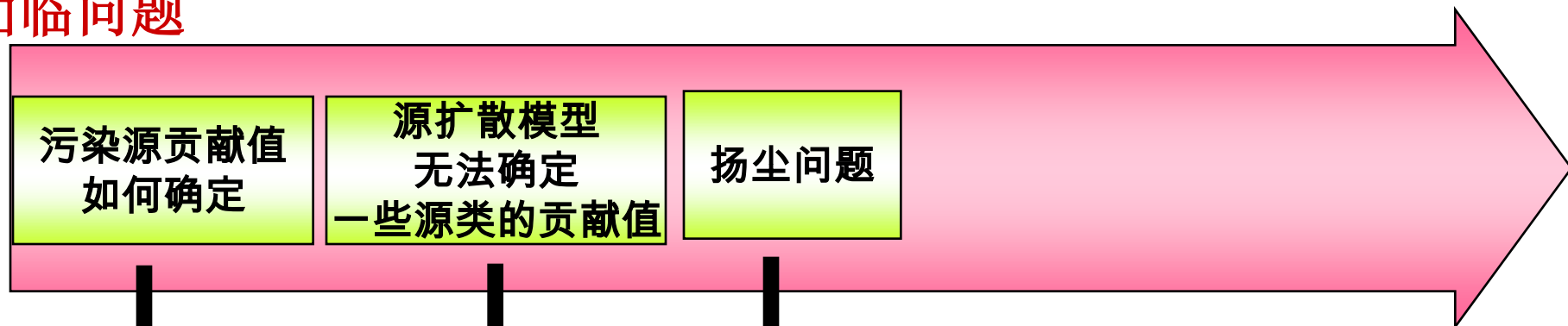


解决途径

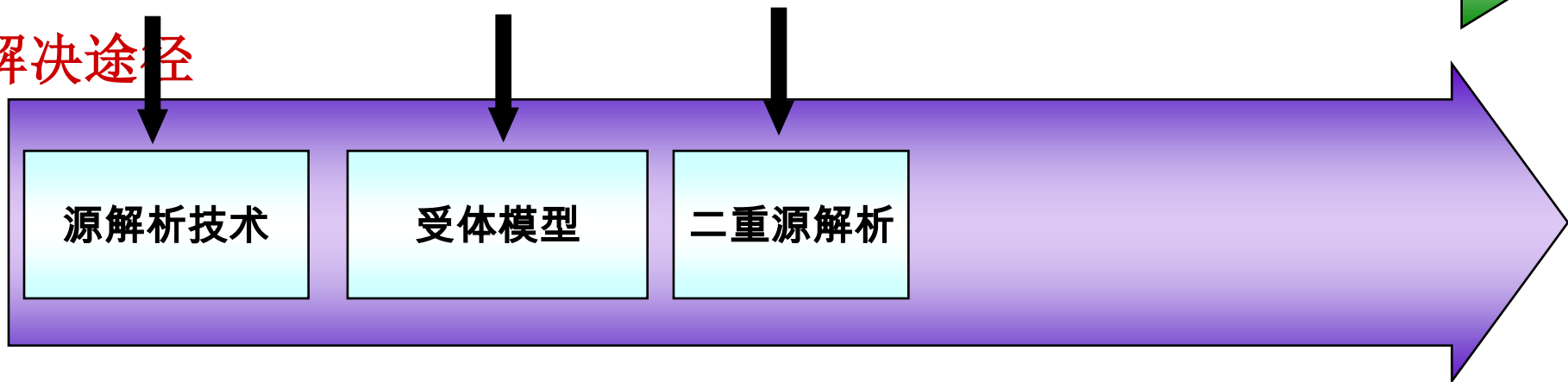


我国源解析技术发展历程

面临的问题

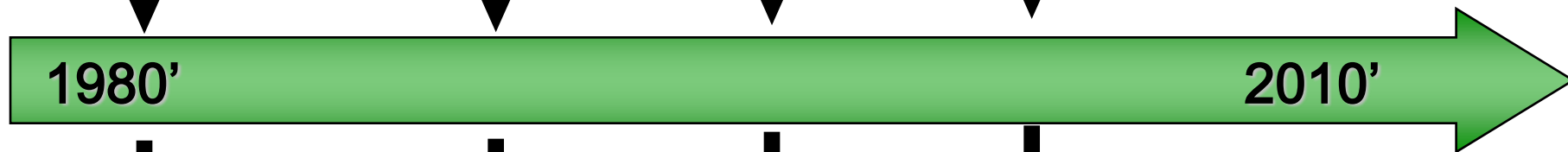
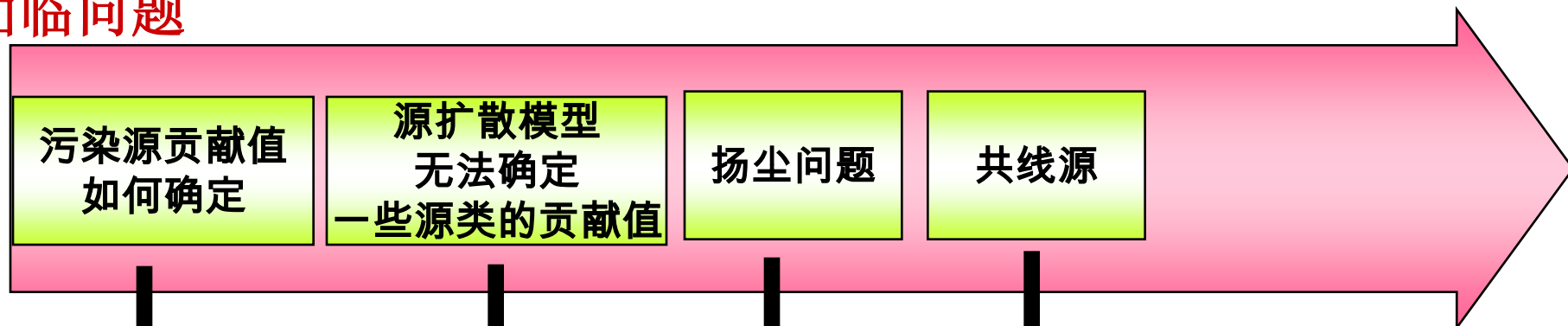


解决途径

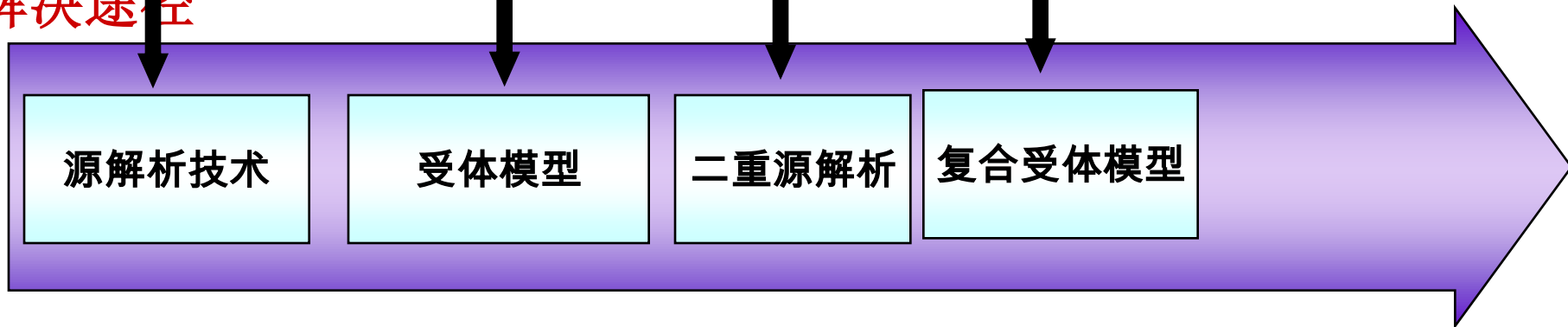


我国源解析技术发展历程

面临的问题

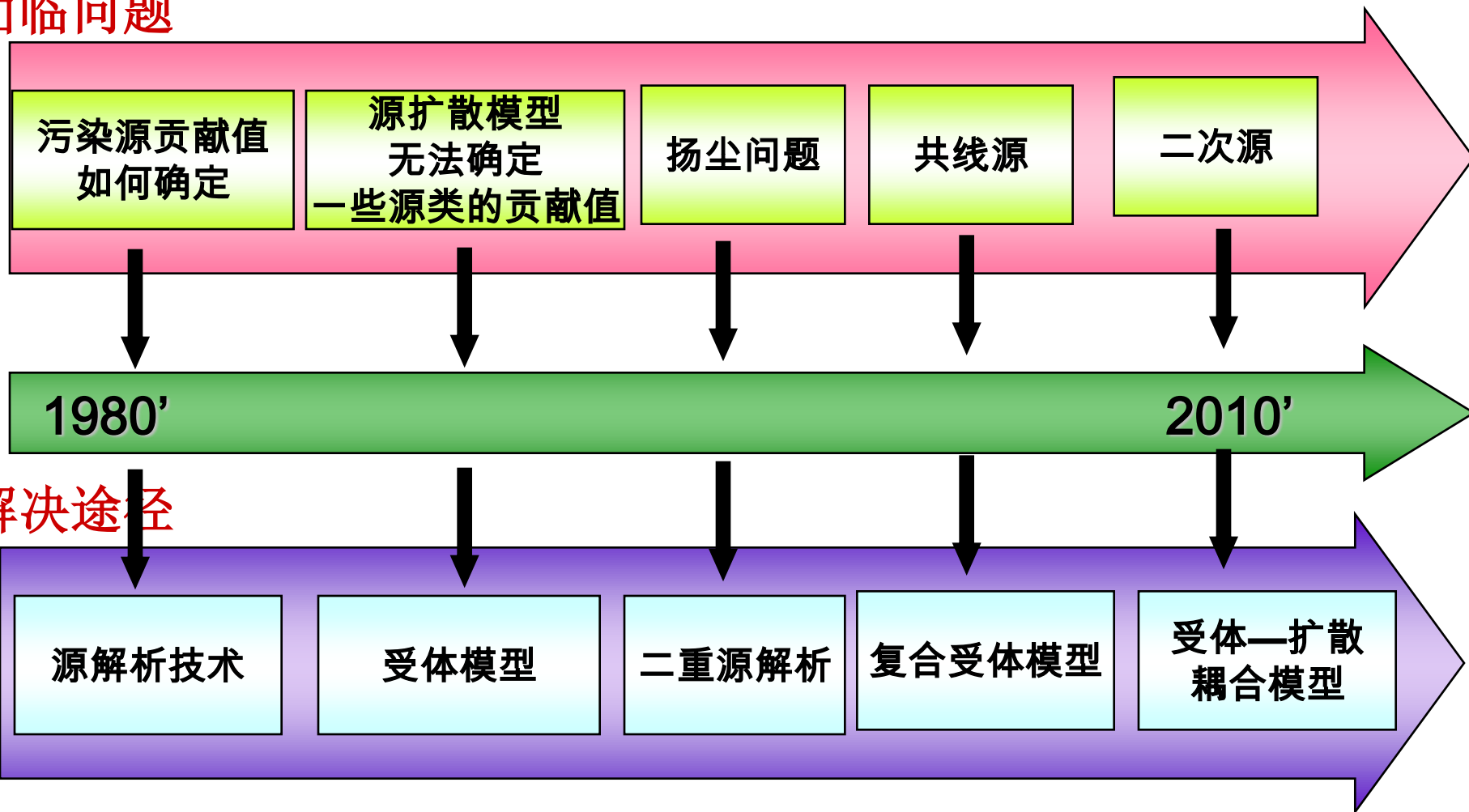


解决途径



我国源解析技术发展历程

面临的问题



主要内容

- 我国源解析技术发展历程
- 不同源解析技术特点
- 面临的主要问题与解决途径
- 我国源解析工作的现状和国家要求
- 展望

源解析技术指南



中华人民共和国环境保护部

Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China

政府信息公开

文号: 00014672/2013-01300

来源: 科技普及与宣传信息/科技普及

发布机关: 环境保护部

生成日期: 2013年08月14日

主题: 关于发布《大气颗粒物来源解析技术指南(试行)》的通知

文号: 环发[2013]92号

主题词:

环境保护部文件

环发[2013]92号

关于发布《大气颗粒物来源解析技术指南(试行)》的通知

各省、自治区、直辖市环境保护厅(局),新疆生产建设兵团环境保护局,江河保护区管理机构:

近年来,随着我国社会经济的快速发展,在我国多个地区接连出现以颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})为特征污染物的灰霾天气,对人民群众的身心健康和社会经济发展产生严重影响。大气颗粒物来源解析工作是科学、有效开展颗粒物污染防治工作的基础和前提,是制定环境空气质量达标规划和重污染天气应急预案的重要基础和依据。为指导各地开展大气颗粒物来源解析工作,环境保护部发布《大气颗粒物来源解析技术指南(试行)》。

大气颗粒物来源解析工作是定性或定量识别大气颗粒物的来源,是一项长期、复杂且系统的技术性工作。大气颗粒物来源解析涉及多种技术方法、模型选择、样品采集与分析、化学成分谱的科学构建、模型运算以及解析结果评估与应用等,必须强化技术要求和科学规范。

各地应根据空气质量现状、工作基础和污染防治目标,结合社会经济发展水平与技术可行性,科学选择适宜的来源解析技术方法;同时,也要按照标本兼治和循序渐进的原则,针对颗粒物来源解析工作的长期性和专业性要求,加强针对性监测,注重数据积累,增强科学研究,加快人才培养,加强能力建设,开展技术交流与培训,提升颗粒物来源解析工作的水平和能力,不断提高颗粒物来源解析精度。

附件: [大气颗粒物来源解析技术指南\(试行\)](#)

环境保护部

2013年8月14日

附件

大气颗粒物来源解析技术指南

(试行)

第一章 总则

1.1 编制目的

为贯彻落实《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》和《大气污染防治行动计划》,推进我国大气污染防治工作的进程,增强大气颗粒物污染防治工作的科学性、针对性和有效性,根据《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》、《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)及相关法律、法规、标准、文件,编制《大气颗粒物来源解析技术指南(试行)》(以下简称“指南”)。

1.2 适用范围

1.2.1 本指南适用于指导城市、城市群及区域开展大气颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})来源解析工作。

1.2.2 本指南内容包括开展大气颗粒物来源解析工作的主要技术方法、技术流程、工作内容、技术要求、质量管理等方面。

1.3 编制依据

《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》

适合当地实际的源解析技术方法；随着源解析技术进步与环境信息资料的完备，不断完善和更新源解析结果。

1.6 组织编制单位

本指南由环境保护部科技标准司组织，南开大学、中国环境科学研究院、中国科学院大气物理研究所、北京工业大学、北京大学等单位起草编制。

第二章 大气颗粒物来源解析技术方法的适用性

制定环境空气质量达标规划和重污染天气应急方案，要以颗粒物来源解析结果为依据。各地应根据“标本兼治”、“因地制宜与循序渐进”原则，结合环境管理目标、需求，以及开展颗粒物来源解析工作所需的基础条件（基础数据、技术能力等），选择适合实际情况的大气颗粒物来源解析技术方法。

目前大气颗粒物来源解析技术方法主要包括源清单法、源模型法和受体模型法。大气颗粒物来源解析技术方法的适用性见表1。

表1 主要大气颗粒物来源解析技术方法的适用性

技术方法	优势和局限性	必备条件	可达目标
源清单法	方法简单、易操作，定性或半定量识别有组织污染源	收集统计基准年研究区域各污染源污染物排放量	得到排放源清单及重点排放区域和重点排放源的污染物排放量
源模型法	定量识别污染的本地和区域来源，可预测；解析源强未知的源类尤其是颗粒物开放源贡献困难	建立与源模型要求相适应的高时间和高空分辨率的排放源清单、气象要素场	定量解析本地和区域各类源的贡献；针对具有可靠排放源清单的点源，定量给出贡献值与分担率；对于面源和线源，定量解析各源类的贡献

技术方法	优势和局限性	必备条件	可达目标
受体模型法	可有效解析开放源贡献；定量解析污染源类，不依赖详细的源强信息和气象场；不可预测	采集颗粒物样品，分析颗粒物化学组成	定量解析各污染源类，尤其是源强难以确定的各颗粒物开放源类的贡献值与分担率，识别主要排放源类的来向
源模型与受体模型联用	定量解析污染源的贡献；工作量大，成本高	建立高分辨率的排放源清单和气象要素场；采集颗粒物样品	定量给出污染源贡献值与分担率，定量解析出本地和区域各类源的贡献

解析常态污染下颗粒物的来源，为制定长期颗粒物污染防治方案提供支撑，建议使用受体模型；细颗粒物（PM_{2.5}）污染突出的城市或区域，建议受体模型和源模型联用。

解析重污染天气下颗粒物污染的来源，为颗粒物重污染应急响应决策提供支撑，建议受体模型和源模型联用；同时基于在线高时间分辨率的监测和模拟技术，开展快速源识别。

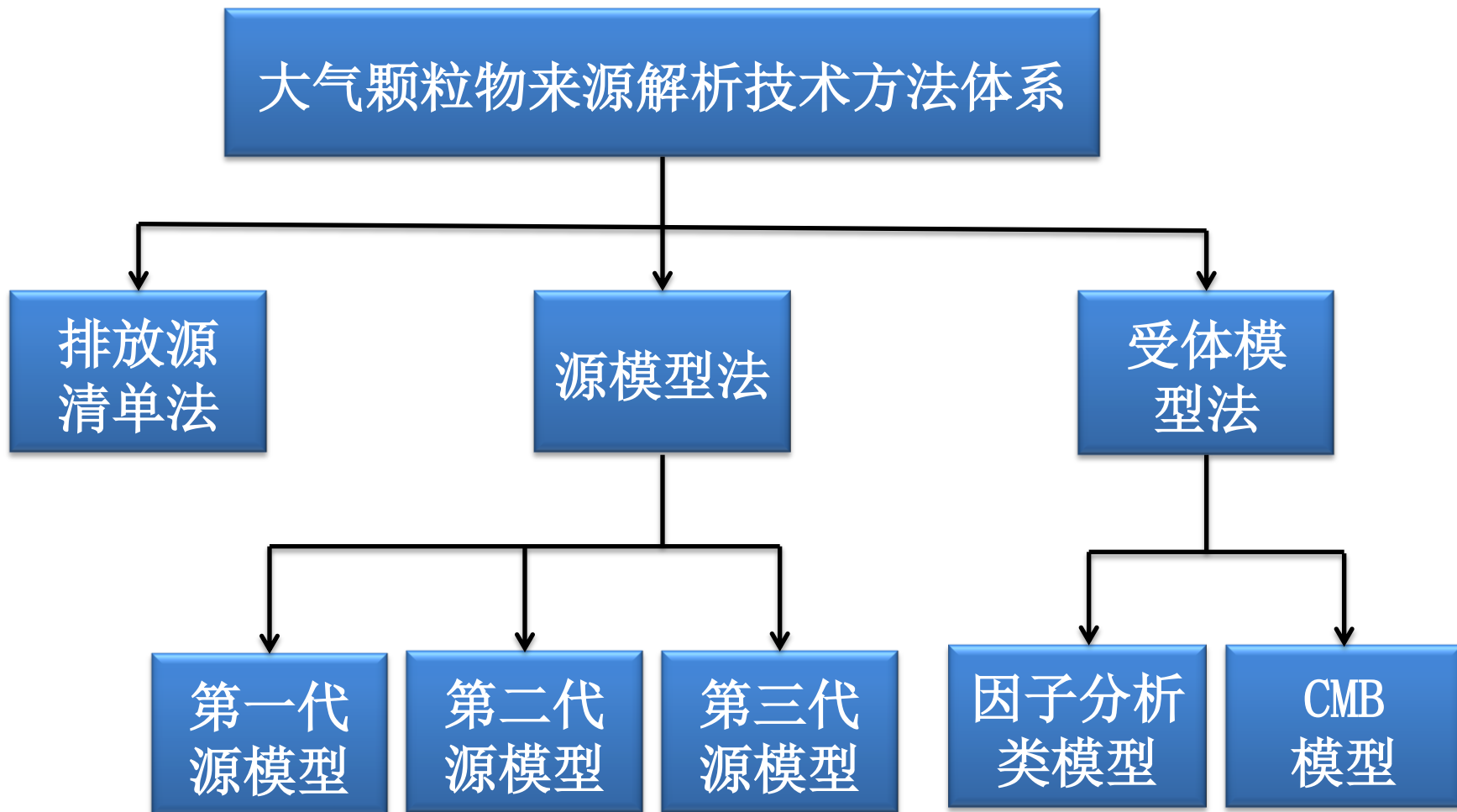
评估颗粒物污染的长期变化趋势和控制效果，建议使用受体模型。评估多污染物协同控制的环境效益，建议使用源模型。

对于大气污染防治工作基础较好的重点区域，如京津冀地区等，建议在动态更新污染源清单的基础上，采用源模型和受体模型联用解析本地和区域的颗粒物来源；其他城市或区域根据自身条件，以受体模型为基础开展颗粒物来源解析工作，并逐步建立颗粒物源成分谱、详细的动态源排放清单和模型联用的方法体系。

第三章 大气颗粒物来源解析技术方法

大气颗粒物来源解析技术方法主要包括源清单法、源模型法和

源解析技术分类



源解析技术的特点

排放源清单法

定性或半定量识别主要颗粒物排放源

根据颗粒物源排放清单，统计颗粒物排放总量及各区域、各行业、各类颗粒物排放量，计算重点排放区域、重点排放源对当地颗粒物排放总量的分担率。

源解析技术的特点

排放源清单法

特点：

方法简单、易操作，定性或半定量识别有组织污染源

可达目标：

得到排放源清单及重点排放区域和重点排放源的污染物排放量

源解析技术的特点

排放源清单法

存在问题：

无法对各源类贡献进行定量解析，无法评估开放源等没有源强的源类贡献，无法预测

源解析技术的特点

源模型法

特点：

定量解析污染的类别来源和地区来源，可预测；解析源强未知的源类尤其是颗粒物开放源贡献困难

可达目标：

定量解析出本地和区域各类源的贡献；针对具有可靠排放源清单的点源，定量给出贡献值与分担率；对于面源和线源，定量解析各源类的贡献。

源解析技术的特点

源模型法

问题：

难以计算源强不确定的源类贡献如开放源，对于二次颗粒物需要当地的化学机制、源排放的粒径分布及成分等详细信息，实现困难。

源解析技术的特点

受体模型法

受体模型主要包括化学质量平衡模型（CMB）和因子分析类模型（PMF、PCA/MLR、UNMIX、ME2等）。

国内外广泛应用的是CMB模型和PMF模型。

源解析技术的特点

受体模型法



CMB模型的特点

源解析技术的特点

受体模型法

PMF模型法特点:

- 分析受体浓度及浓度变化的不确定性、提取因子
- 依据源标识组分，识别源类，进而解析源贡献

源解析技术的特点

受体模型法

PMF模型法数据拟合要求：

PMF模型不需要输入源谱数据，但要求大量的受体浓度数据

源解析技术的特点

受体模型法

PMF模型法样品采集要求：

PMF模型法颗粒物受体样品的采集及分析过程的要求与CMB 模型源解析技术基本相同。重要区别在于， PMF模型法中受体样品应在同一点位进行采集，有效受体样品量不少于80 个。

源解析技术的特点

受体模型法

特点：

可有效解析开放源贡献；定量解析污染源类，不依赖详细的源强信息和气象场；不可预测

可达目标：

定量解析各污染源类，尤其是源强难以确定的各颗粒物开放源类的贡献值与分担率，识别主要排放源类的来向。

源解析技术的特点

受体模型法

问题：

源成分谱的有效性、共线性源类、二次颗粒物等问题会干扰源解析的结果

主要内容

- 我国源解析技术发展历程
- 不同源解析技术特点
- 面临的主要问题与解决途径
- 我国源解析工作的现状和国家要求
- 展望

源解析面临的主要问题与解决途径

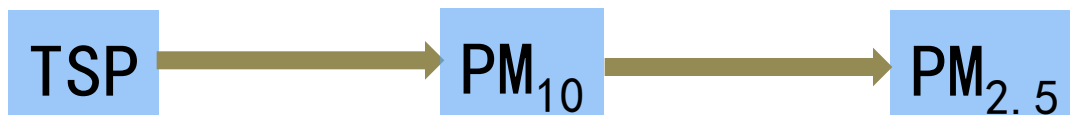
目标：提高颗粒物源解析结果的**可靠性**

当前所面临的主要问题：

- 颗粒物污染特征；
- 源解析结果的不确定性。

➤ 颗粒物污染的特征

我国大气颗粒物污染类型的演变



源解析面临的主要问题与解决途径

➤ 源解析结果的不确定性

一套数据多重结果

- 所包含的源类不同；
- 同样的源类，贡献大小的顺序不同。

➤源解析结果的不确定性

一组数据多种结果现象

拟合结果一

源	贡献值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	分担率 (%)	TSTAT	参与拟合的组分
土壤风沙尘	83.90	32	2.1	
煤烟尘	86.52	33	1.8	Al、Si、Ca、Ti、 TC
建筑水泥尘	36.71	14	2.2	
机动车尾气尘	20.97	8	2.8	
诊断指标	R SQUARE	0.95	PERCENT MASS	87.07
	CHI SQUARE	0.28	DF	1

➤源解析结果的不确定性

一组数据多种结果现象

拟合结果二

源	贡献值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	分担率 (%)	TSTAT	参与拟合的组分
土壤风沙尘	83.90	36	2.3	
煤烟尘	86.52	15	1.9	Al、Si、Ca、Ti、 V、Fe、Pb、TC、 OC
建筑水泥尘	36.71	41	2.0	
机动车尾气尘	20.97	6	2.6	
诊断指标	R SQUARE	0.99	PERCENT MASS	98.56
	CHI SQUARE	0.16	DF	4

源解析面临的主要问题与解决途径

➤ 影响源解析结果不确定性的主要因素

- ◆ 测量数据的有效性；
- ◆ 方法选择与诊断指标；
- ◆ 源解析结果的选择。

“内因”与
“外因”

源解析面临的主要问题与解决途径

➤ 提高结果可靠性的途径

□ 提高测量数据的有效性

• 源成分谱有效性

- ① 源样品采集的真实性、代表性和个性；
- ② 原始数据的判断与筛选；
- ③ 源成分谱构建方法。

源解析面临的主要问题与解决途径

源成分谱的构建

- 采集当地污染源样品，构建源谱数据
- 参考现有的源谱数据库：南开大学颗粒物源谱数据库1.0版、USEPA speciate4.2

源解析面临的主要问题与解决途径

➤ 提高结果可靠性的途径

□ 提高测量数据的有效性

• 受体化学组分含量的有效性

- ① 样品采集的代表性；
- ② 原始数据的判断与筛选；
- ③ 多张滤膜如何构成一个样品。

源解析结果的验证与评估

➤ 提高结果可靠性的途径

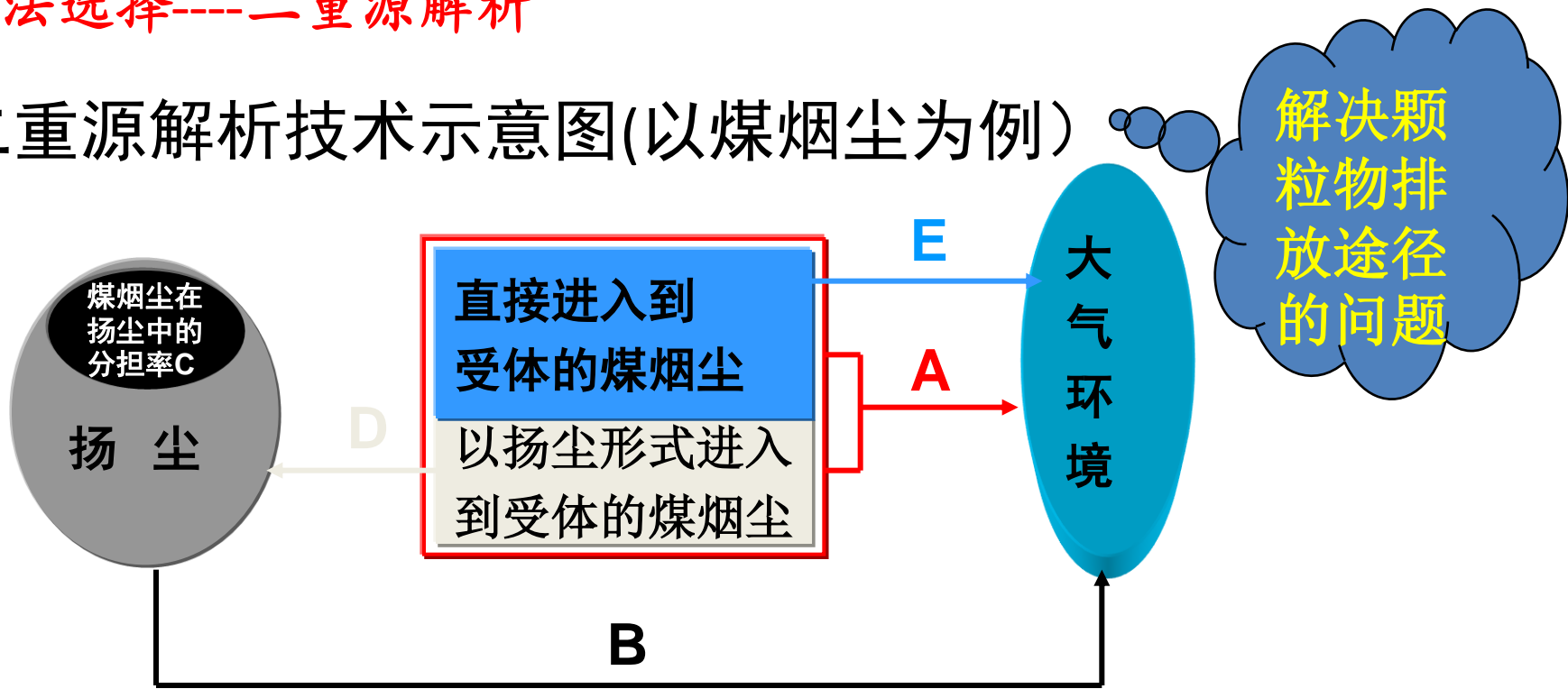
□ 有针对性的选择方法，理解各项模型诊断指标的意义

● 方法选择

对于扬尘污染问题突出的城市，共线性源类的存在导致解析结果出现负值，建议采用二重源解析技术或复合受体模型；对于复合污染特征明显的城市，建议考虑二次颗粒物的影响，采用 CMB-嵌套迭代模型或结合源模型技术方法进行解析。

● 方法选择----二重源解析

二重源解析技术示意图(以煤烟尘为例)



济南市环境空气中TSP二重源解析结果 (%)

$D=B \times C$

$E=A - D$

源类	A _i	B	C _i	D _i	E _i	二重解析结果
扬尘		34				34
土壤风沙尘	32		39	14	18	18
燃煤尘	33		22	8	25	25
建筑尘	14		38	12	2	2
机动车尾气尘	8		<1	2	6	6

● 方法选择----复合受体模型

主要解决源类的共线性问题

共线性问题带来的影响:

CMB 模型: 往往得到负值的结果

因子分析类模型: 共线性源类集中在一个因子中

● 方法选择----复合受体模型

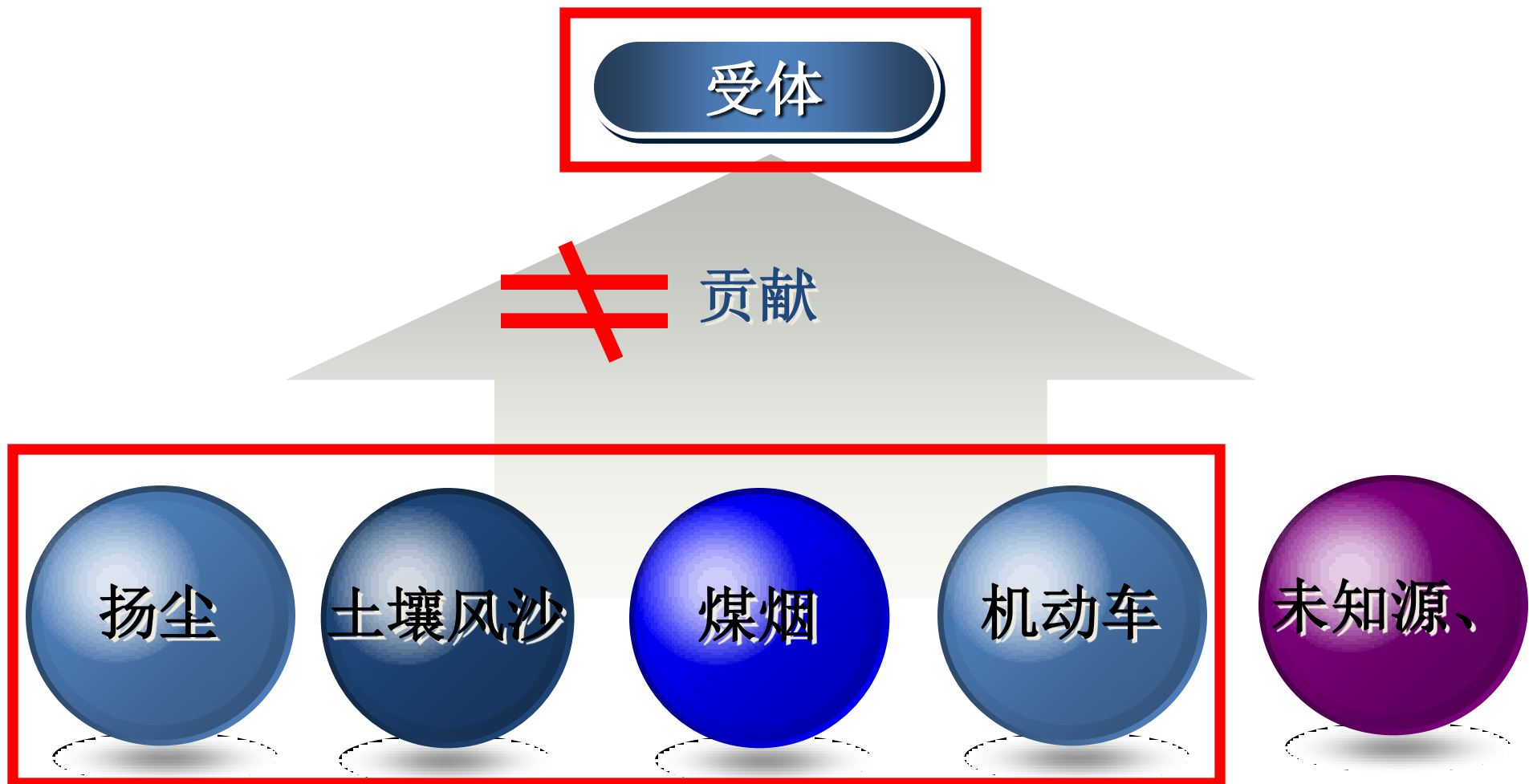
共线性问题

提高源和受体的匹配程度

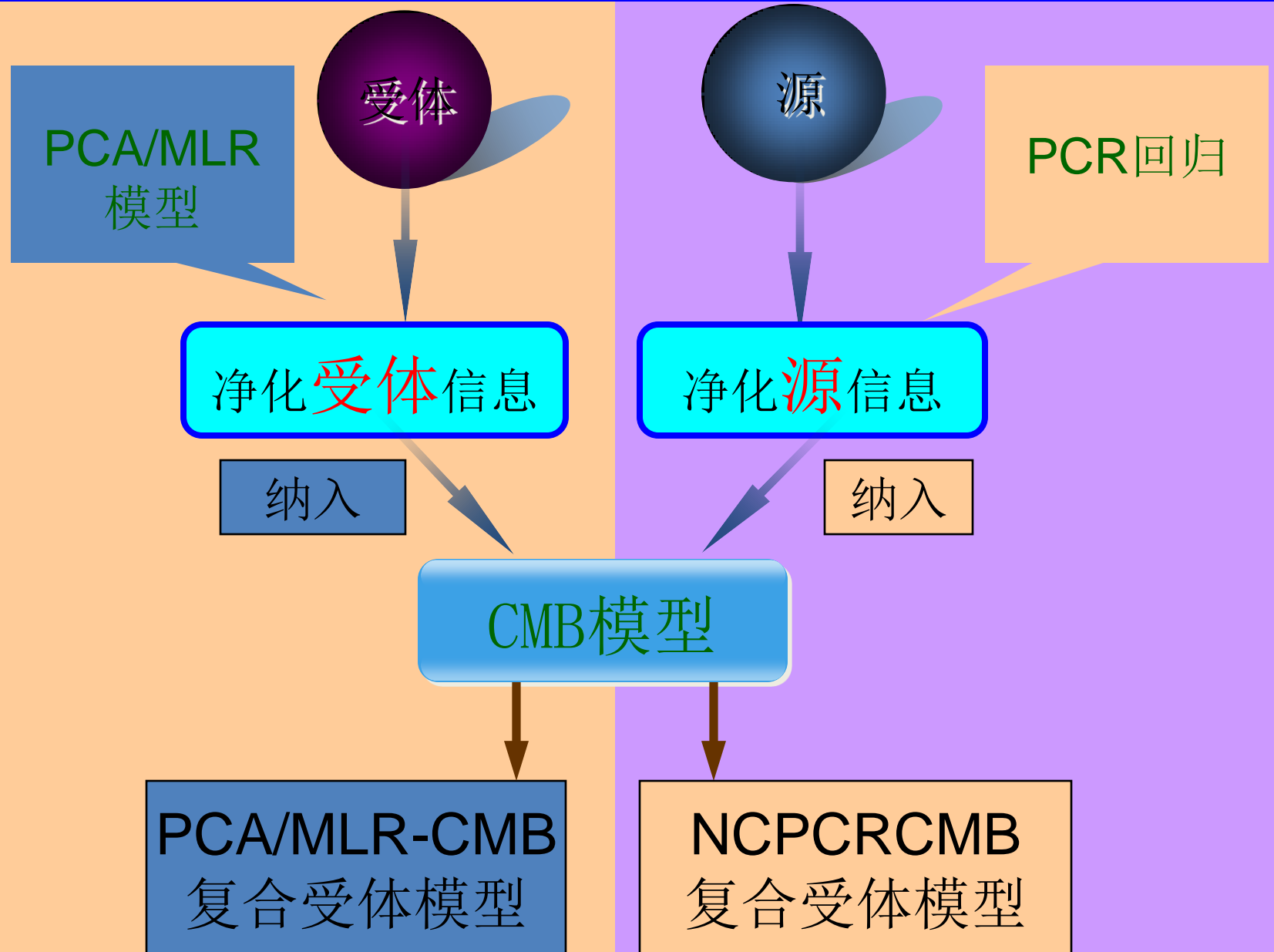
构建符合受体模型

● 方法选择----复合受体模型

源与受体的匹配程度是导致共线性问题严重的重要原因。



技术路线



● 方法选择----复合受体模型

降低受体中未知源类的信息，提高源和受体匹配程度，定量估算共线性源类



● 方法选择----复合受体模型

将非负限制主成分回归法纳入CMB迭代运算中，降低源成分谱噪音，定量估算共线性源类的信息。

The screenshot shows the NCPCRCMB software interface. On the left, there are three panels for selecting sources, receptors, and species. The 'Source' panel has 'Select all sources' checked, with 'residual oil' and 'sea salt' selected. The 'Receptor' panel has 'receptor' selected. The 'Species' panel has 'Select all species' checked, with 'OC', 'AL', 'SI', 'CL-', 'K', 'CA', and 'TI' selected. The main window displays a table of concentrations for various sources and receptors, and a table of standard deviations. A large red text box is overlaid on the bottom right of the screenshot.

Concentration	resuspend	soil dust	coal	vehicle	cement	wood	residual oil	sea salt
	-26.97386	37.61062	90.61242	33.24527	21.44624	-12.32407	14.15619	11.54067

Standard Deviation	resuspend	soil dust	coal	vehicle	cement	wood	residual oil	sea salt
	198.65							

**NCPCRCMB复合受体模型科学
计算软件1.0版，南开大学**

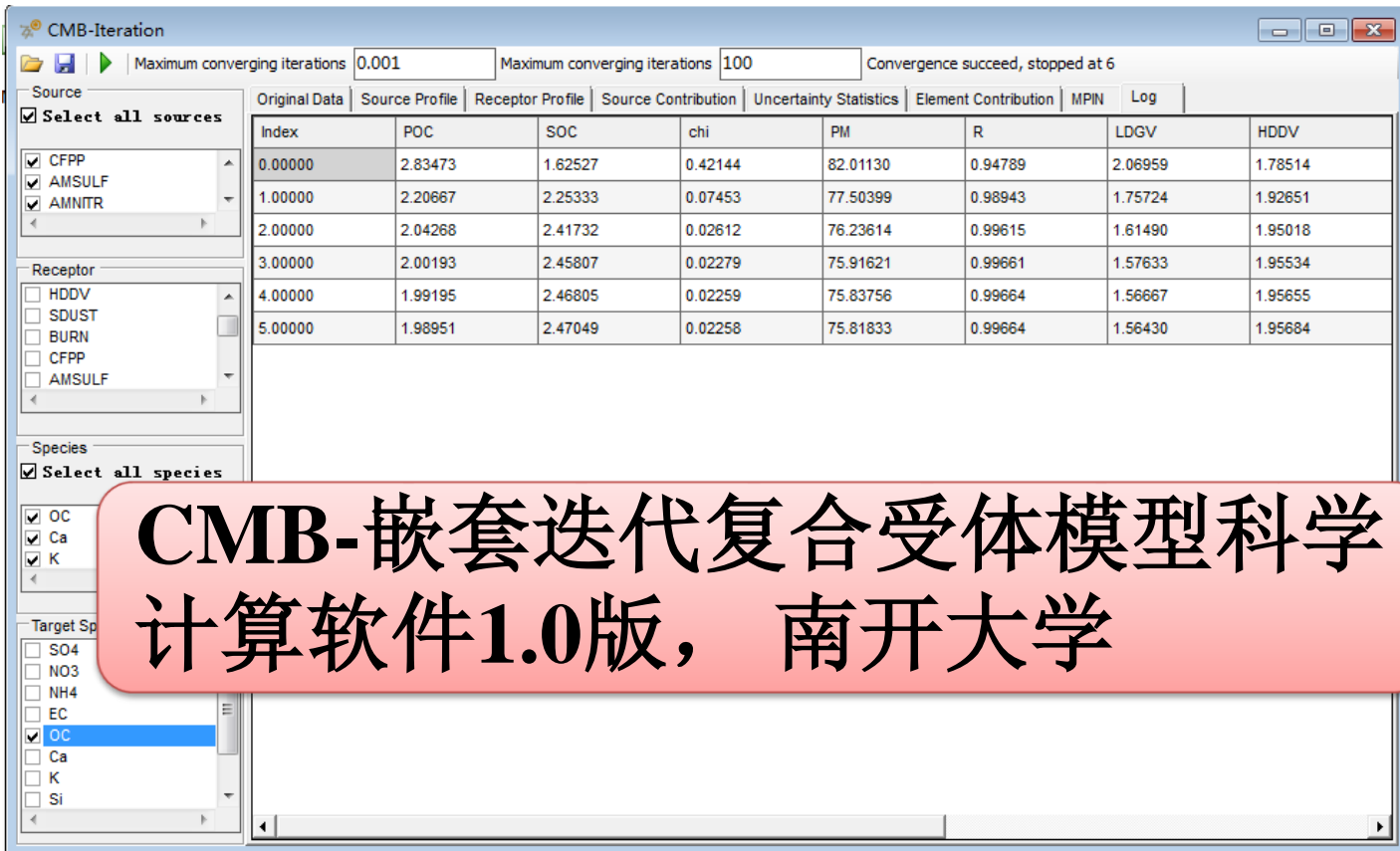
● 方法选择----二次颗粒物来源解析

二次颗粒物问题

$PM_{2.5}$ 中二次粒子是主要的化学组分，目前
没有直接的监测方法，同时也难以获得实
际的成分谱。

● 方法选择----二次颗粒物来源解析

通过嵌套迭代法不断“扣除”受体中二次颗粒物浓度，最后定量解析二次源类



The screenshot displays the CMB-Iteration software interface. The main window shows a table with columns for Index, POC, SOC, chi, PM, R, LDGV, and HDDV. The table contains 6 rows of data. The interface also includes several panels for selecting sources, receptors, species, and target species. A text overlay in the bottom right corner reads: "CMB-嵌套迭代复合受体模型科学计算软件1.0版, 南开大学".

Index	POC	SOC	chi	PM	R	LDGV	HDDV
0.00000	2.83473	1.62527	0.42144	82.01130	0.94789	2.06959	1.78514
1.00000	2.20667	2.25333	0.07453	77.50399	0.98943	1.75724	1.92651
2.00000	2.04268	2.41732	0.02612	76.23614	0.99615	1.61490	1.95018
3.00000	2.00193	2.45807	0.02279	75.91621	0.99661	1.57633	1.95534
4.00000	1.99195	2.46805	0.02259	75.83756	0.99664	1.56667	1.95655
5.00000	1.98951	2.47049	0.02258	75.81833	0.99664	1.56430	1.95684

CMB-嵌套迭代复合受体模型科学计算软件1.0版, 南开大学

源解析结果的验证与评估

➤ 提高结果可靠性的途径

□ 有针对性的选择方法，理解各项模型诊断指标的意义

● 模型诊断指标

① CMB模型：TSTAT、 χ^2 、 R^2 、PM、C/M等

② PMF模型：Q值、不确定性分析等

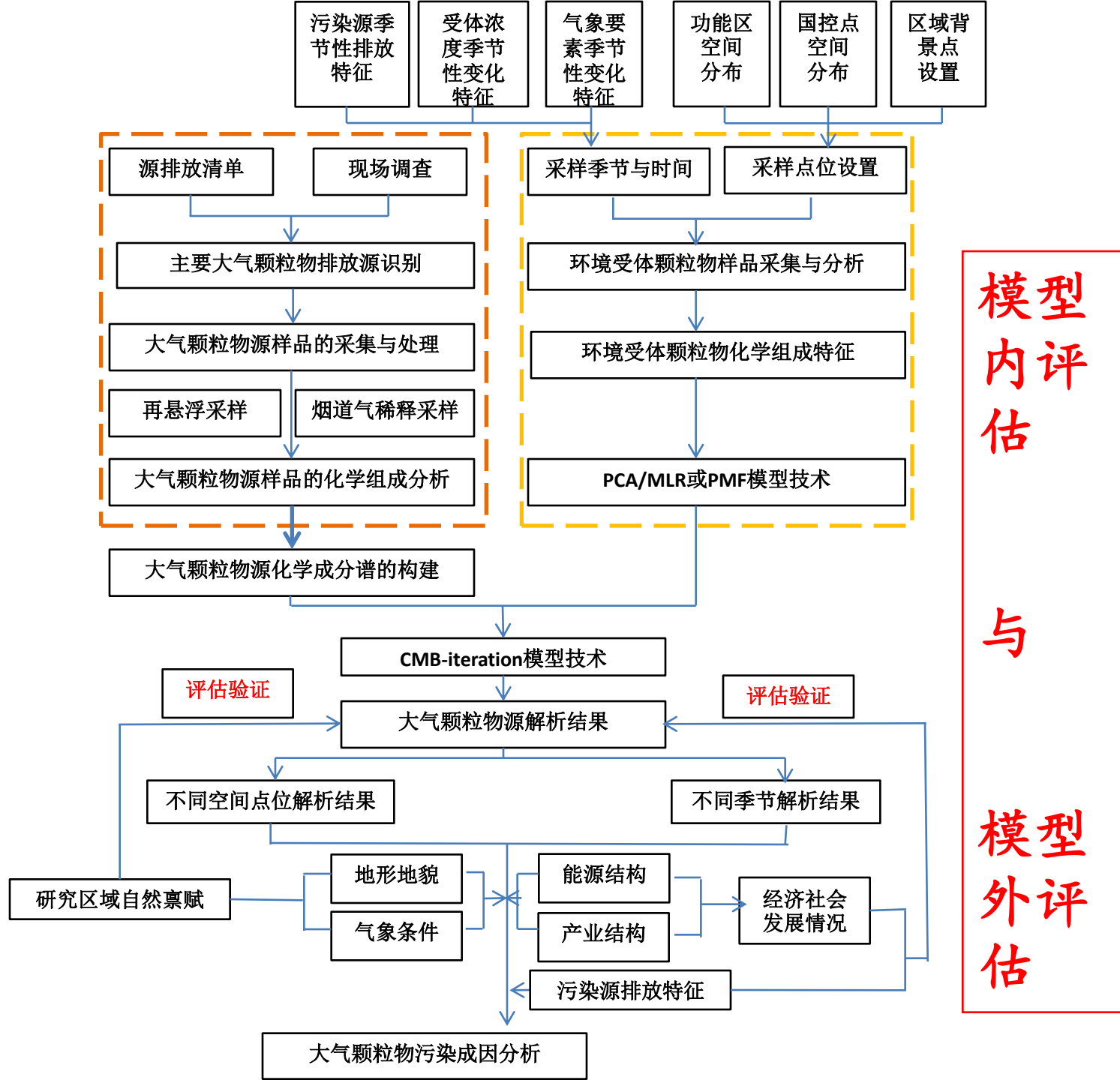
源解析结果的验证与评估

➤ 提高结果可靠性的途径

□ 源解析结果的选择

- 源解析模型的诊断指标
- 结合污染源调查，SO₂、NO_x的污染状况等相关信息
- NKCMB2.0软件的“穷举法”功能
- 经验判断

源解析综合技术路线图



当前源解析技术面临的问题

- **区域源解析问题：**
三维源解析技术结合污染源来向识别技术
- **源类和污染源问题：**
源解析结果结合污染源排放清单技术
- **快速源解析问题：**
基于单颗粒飞行质谱数据的实时源解析技术

主要内容

- 我国源解析技术发展历程
- 不同源解析技术特点
- 面临的主要问题与解决途径
- 我国源解析工作的现状和国家要求
- 展望

我国源解析工作的现状和国家要求

现状:

很多城市已经开展了颗粒物来源解析研究工作



我国源解析工作的现状和国家要求

国家要求:

- 各地方城市都必须开展常态化的源解析研究工作
- 《全国重点地区城市大气污染物来源研究联合工作方案》

主要内容

- 我国源解析技术发展历程
- 不同源解析技术特点
- 面临的主要问题与解决途径
- 我国源解析工作的现状和国家要求
- 展望

展望

- 我国污染源成分谱的完善
- 二次粒子的来源解析
- 多种源解析技术的耦合
- 快速源解析技术的发展
- 源解析过程的质控



南開大學

Nankai University

谢谢!

国家环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室

State Environmental Protection Key Laboratory of Urban Ambient Air Particulate Matter Pollution Prevention and Control