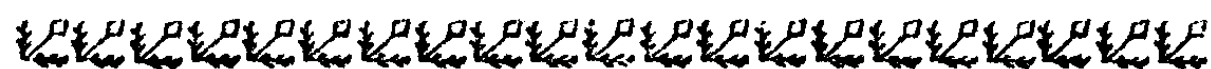


大气环境质量评价



(上册)

北京大学环境科学中心

1983. 9

前

言

本讲义是应“全国环境保护科技骨干培训班”的需要编写的。参加编写的有环境化学教研室的唐孝炎，李金龙，李文，陈旦华，王美蓉，大气物理教研室陈家宜，王淑芳，桑建国，空气动力学实验室尹洁芬，叶文虎等同志。另外中央气象局气象科学研究院赵铁林同志编写了第三章。

由于时间仓促，加之水平有限，讲义中定会有不少错误和遗漏之处，欢迎有关专家，学者批评指正，以便在改写时能有所改进和提高。

北京大学环境科学中心

1983年9月

目 录

- 第一章: 引 言
- 第二章: 大气环境质量评价
- 第三章: 大气污染物排放标准的制定
- 第四章: 大大气环境质量评价的现场测试 (一)
- 第五章: " (二)
- 第六章: " 和实验模拟 (一)
- 第七章: " (二)
- 第八章: " 的数值模拟
- 第九章: " 的模式计算
- 第十章: " 的内容实例

一、大气环境保护

现今当人们谈论起环境和环境保护的时候总离不开“生态系统”，“生态平衡”之类的术语。这不是偶然的，也不是人们为追求时髦而养成的习惯，而是反映了人们对环境保护认识的加深和提高。自从地球上出现人类以后，人一直是地球生态系统中最活跃最积极的因素，但在早期其数量较小，对生物圈和其他无生命环境的影响是有限的。到了远古时代人类发明了农业技术，人类开始了改造自然的活动，这种状况就有了变化。人类一方面要通过农牧业的生产活动干预自然界为自己的生存和发展创造更有利的条件，另一方面也为生态系各种群间的平衡起一些良好的作用与改造自然的同时人类对生态平衡也起了一些有害的付作用。当时富饶肥沃的米索不达米亚平原后来变成贫瘠的荒漠就是这种付作用的佐证。客观的说，直到工业革命以前人类改造自然的活动整体上是积极的，地球上生态系的平衡是顺乎客观自然规律的，对自然环境的破坏只是局部的或是说自然的变化中加上人类的次要作用而加速的破坏过程。到了工业革命以后生产中采用了大型动力机械，进而又大量开采使用煤和石油和其他资源，情况就发生了很大变化。特别是到了十九世纪末本世纪初，资本主义的大工业生产从欧洲扩大到北美和亚洲部分国家，自然环境的破坏程度加剧并且逐渐演化为全球性的问题。生态系的失调，人类和自然环境的矛盾迅速扩大。就这一点来看“生态学”一词的正式应用，“生态学成为一门独立的学科是晚近100年的事情不是偶然的。

大气圈是地球生态系中的重要一环，是生物赖以生存的物质

资源之一。大气层约略有 5×10^{15} 吨的空气，看起来是取之不尽用之不竭的。的确在 100 多年前人们已经看到森林的砍伐造成的水土流失，过渡开垦带来的良田荒芜，但绝无空气质量变坏和空气资源枯竭的忧虑。现在的情况变了，空气污染已成为威胁人类健康和进一步改善生活生产条件的紧迫问题，全球气质变坏的趋势及可能产生的生态链锁效应也提到日程上来了。这些问题的出现和以下几个因素直接有关：

1. 世界人口的加速增长；1800 年世界的总人口只有十亿，约相当于我国现有人口。可是据统计 1973 年已达 38 亿 6 千万，即将近翻了一番，到前两年又增加到 45 亿。七十年代期间世界人口的净增长率约为 2% 上下，按这种势头发展下去 2000 年全世界人口将达 60 亿以上。其中值得注意的是城市化的结果，城人口总数和人口密度比历史上任何时期都大并且密集的趋势比人口的增长还快。人口的增长加大了人类对环境的压力，城市的密集化，人口的集中使城市及附近的环境质量加速变坏，大气环境也不例外。既有的大气污染的公害事故几乎全是在城市或工业集中的市镇发生的。

2. 工业的高度发展；正如前面指出的自上一世纪末开始大型动力机械大量应用并向此前尚未开发的地区和国家传播开。特别是第二次大战后几十年时间内资本主义国家迅速恢复和竞争，工业生产无计划的发展，终年累月地有千万吨三废入江河湖海和大气。引起空气污染自不必说，长此以往全球大气层的气质也会下降造成目前尚在推测的危险后果。

3. 能源和资源的大规模开发和利用。随着人口的增长，生活水准的提高，工业的高度发展，能源和资源的需求消耗大大地增

加。其中由于无计划的发展，盲目追求不必要的生活水准所造成的能源和资源的浪费占环境污染相当大的比重。美国是最发达的资本主义国家，就其技术水平，所利用的能源资源的质量来说环境污染不应是一个严重的问题或至少比现有的情况要好，但事实上并不是这样。由于过渡发展和消耗，按人平均能量的消耗是其余各国的8倍，是我国人平均消耗量的20倍，和最不发达国家相比即高达1000倍。美国1970年的人口仅占世界人口总数的5.7%，而所占的能源消耗却为全世界总消耗量的33.4%。

从以上分析可以看出大气是地球生态系统对人类的生存和发展有着极其重要的意义的与系统。由于它的容量极大并具有稀释自净恢复的能力，对于人类活动的“反馈”只在近代才被觉察到。如果我们警觉到目前存在的冲击自然环境（当然包括大气环境）的诸项因素，符合客观规律地利用大气资源，那么大气环境的质量得以维持，局部地区的气质可以好转，大气仍旧能够为人类发展提供其自然力。否则不但大气污染问题得不到解决，一旦出现全球气质变坏，后果将是不堪设想的。

我国是世界上人口最多的国家，虽然近年来计划生育控制人口已卓有成效，但就人口的绝对量和城市人口密度这两方面看对环境的压力仍有加重的趋势。这是环境保护中的第一个不利因素。我国的发展规律和能源资源的开发利用的合理性方面和资本主义国家有本质的不同。但是，我们是发展中国家经济水平和技术水准尚不发达不能和迅速发展的工业及资源开发相适应，势必加重环境负担，这是第二个不利因素。与此有关的是目前我国一次能源以燃煤为主属于煤烟型的大气污染为取得单位能量而排出的污染物远大于石油和天然气，这是第三个不利因素。最后是环境科

学，环保技术尚处于较低的水平，能用于环境保护的资金有限。由于这种种种不利因素，10多年来我国的环境保护工作虽然取得了不少成绩，但和快速的工农业的发展相比尚有很大差距。就大气污染现状来说，某些地区的气质趋势缓和或有所改善，但有不少地方气质仍在继续恶化。至于从长远观点来规划大气环境保护，维持生态平衡，差距就更大了。这些都是值得我们重视的。

我国是社会主义制度的国家，在保护环境方面有许多有利的条件。首先是经济有计划按比例发展，工业和开发有统一的布局，可以避免盲目发展所造成的环境恶化同时也能合理利用能源资源，克服由于浪费而引起的加重环境负担。及其次是对环境问题的重要性是在工业发展的过程中就认识到了并立即着手去解决它；环境问题提出和环境保护工作在我国只有十年的历史，从总体上说目前已做到上下重视，初步形成了由中央至地方的环境科学和环境保护的科技队伍，在经济建设的规划布局，基本建设和工业设计中大多能把环境影响放在应有的地位去考虑。环境问题在发达国家已有较长的历史，积累了不少经验教训，有不少方面值得我们借鉴，这也是当前我们进行工作的一个有利因素。我们的任务是充分发挥有利条件，克服不利因素从保障人体健康，创造美好的生活生产环境和维持自然生态平衡这三个不同时间和空间尺度出发深入揭示大气环境和污染物的迁移转化规律并科学地用于大气环境保护工作加速我国环境科学工作的发展，保证四化建设的顺利进行。

二、大气的稀释能力和容量

大气不停地运动和交换使污染物能及时稀释和散布出去，不致使有害物质的浓度无限增长。烟囱排污是人们利用大气稀释能

力以保护环境传统方式。在大工业生产的早期烟囱主要起着辅助风机增加通风促进燃料完全燃烧的作用。尽管后来已不需要用烟囱来拔风，它不但没有被取消，相反地却越修越大越建越高。原因是高大的烟囱可以使大气污染物有更大的垂直空间进行扩散稀释，并且在更远的距离处才到达地面。遗憾地是如大家所知道，大气的散布和稀释能力在一定的气象条件下是固定的，须要也可以利用，但要用得合理并且是有限度的。要记住环境浓度总是和排放源强成正比，和风速成反比的定性规律。大气的稀释能力绝不会因为大量的排放和密集的多源排放而提高起来。相反地，由于多种污染物的排出在大气中经化学物理反应所产生的二次污染物而加重大气污染，或协同效应而加强对人体和其他生物的危害却是常有的事。北欧酸雨的起源和形成过程也告诫我们，在考虑大气污染物局地的稀释散布的同时，也应考虑到它们的区域性搬运和可能产生的全球效应。

大气层是一个容量很大的气库，其中还存在着许多使空气污染物迁移转化的过程，在整个地球历史时期内自然清除过程足以保持大气环境的洁净。表 1—1 列举了某些主要大气污染成份的源汇状况，其中包括了天然的和人为的年排放率，本底浓度和主要的汇。表中所列情况说明大多数污染物中天然过程的排放远大于人为的排放，并且本底浓度很低。但是有以下三方面的原因使我们不能盲目地乐观并继续滥用大气环境容量：①所谓环境容量是指在自然净化能力之内所能容许的污染物质排放量，是不至于破坏自然界中物质循环的极限量。有人认为环境容量因污染物的性质有很大差异。对于长时间内不能得到自然净化及自然界难分解的物质来说环境容量是零，这种观点有可取之处。事实上因为

为的排放，这类物质长年地停留在大气中或在自然界积总有达到影响生态甚至危及人类健康和生命的时候；②有些物质的绝对量和浓度虽小，对大气圈里的物质平衡和循环却有不可忽视的作用；③某些目前看起来不一定对动植物有害的物质浓度逐年增加，将来是否会带来有害的后果尚是在探索中的问题。以上三方面的具体例子分别是：DDT在环境中的累积和南极发现DDT的污染；氮肥分解，超音速飞机释出氮氧化物和大量使用氟里昂类除臭剂使平流层臭氧减少；由于化石燃料不断增加，大气中二氧化碳浓度也逐渐提高，从1860年到1970年 CO_2 的浓度自290 PPM增加到320 PPM，七十年代后期又增到330 PPM，预计到2030年大气中 CO_2 的浓度将达到1860年的二倍。DDT是自然界不能分解的农药，通过食物链最终在人体中累积。大气中臭氧含量减少会导致地球表面紫外辐射增加而诱发皮肤癌，也可能使动植物生理机能失调。而二氧化碳是地球红外辐射的主要吸收物质，它的浓度增加将减少地球向宇宙空间的辐射能量，结果会提高大气层温度，引起气候变化。其后果对人类是祸还是福现在还不能有肯定的答案。

总之，大气的自净能力在地球发展史的长时间内与污染物的常规排效率建立了平衡，额外的排放势必超过它的接纳能力。

三、环境评价

从上两段的分析我们已经知道在加速发展生产的同时要保证生活环境的质量只有采取控制污染物的排放和有预见性地安排生产生活活动，科学地利用环境容量和自净能力两种途径。简单地降低和限制生产来减少可排污在现实世界情况下是不现实也不合理，因为资本家为了掠取利润继续竞争着，而发展中和不发展国

表 1—1 大气中污染物的浓度, 源, 汇和排放量概况

污染物	主要排放源		年排放率 (kg)		本底浓度	主要的汇
	人为源	自然源	人为源	自然源	(mg/m ³)	
SO ₂	煤和石油燃烧	火山	65×10 ⁹	2×10 ⁹	1—4	降水冲刷, 乾沉积, 化学反应, 土壤和地表。水的吸收。
H ₂ S	化工废水的处理	火山, 生物质腐烂	8×10 ⁹	100×10 ⁹	0.3	化成SO ₂
N ₂ O	——	生物腐烂	——	590×10 ⁹	460—490	平流层光解, 土壤和水的吸收。
NO	燃烧	土壤细菌分解 N ₂ O和NO ₂ 的光解	53×10 ⁹	768×10 ⁹	0.25×25	化成NO ₂
NO ₂	燃烧	土壤细菌分解 NO的化		(计在H ₂ O中)	1.9—2.6	光化反应, 降水冲刷氧化成NO ₃ ⁻ 硝—酸盐
NH ₃	燃煤, 肥料 垃圾处理	生物质腐烂	4×10 ⁹	170×10 ⁹	4	降水冲刷, 与SO ₂ 起反应, 转 化为硝酸氨
CO	汽车尾气 其他燃烧	甲烷化, 森林火灾 海洋, CO ₂ 光解	360×10 ⁹	3000×10 ⁹	100	土壤吸收 化成CO ₂
O ₃	其他污染物的 光化反应	平流层中和对流层中的 中的光化学反应	?	?	20—60	光化反应, 土壤 植被和水的吸收
碳氢化合物	汽车尾气 燃油	沼泽, 森林的生 物过程	90×10 ⁹	480×10 ⁹	1000(CH ₄) 1(非H ₄ 烃类)	生物反应, 光化学转化
CO ₂	燃烧	生物呼吸, 腐烂 海洋	1.8×10 ¹³	4.8×10 ¹⁴		生物风化, 海洋吸收
气溶胶	工业排放 农业焚烧	火山, 海盐 土壤 林火	200×10 ⁹	1100×10 ⁹		降水冲刷,

家的人民为了实现独立自主的经济提高本国人民的生活水平应当而且正在加速经济的发展。因此控制污染的排放只能限于一个国家的局部范围，治理措施和改变工艺流程三方面的意义来理解。然而，正如大家所知道的，治理措施的费用常常非常昂贵，何况，在许多情况下尚没有成熟的技术。研究，评价，监测，模拟等等环保工作不直接减轻大气污染，但其费用比治理的小一两个数量级还多，实际上有助于减轻大气污染，维护环境生态平衡。不难想象，如果污染的治理很便宜，即不需要进行评价研究，反之人们就要通过认识环境规律以达到最有效控制的目的。环境评价恰恰就是在这种现实性、必要性和投资效益比的形势下提出来的并发展成为环境科学，环保工作的有机组成部分。许多国家都把环境评价做为环境法规的条文确定下来。

环境评价，包括水、气、土等环境和综合的环境都有两重含义，即环境质量评价和环境影响评价。前者是以现有污染源的排放所造成的环境影响为主要对象，因此常常叫做现状评价。后者即以拟议中，规划中或正在初步设计的重大工程和其他生产活动可能带来的环境影响和环境质量趋势为主要对象。这两种评价不是截然分开的。在进行现状评价的时候往往要落脚到改善环境质量的决策，决策措施和效果的优劣也应同时进行评价，这里就包含了予评价。环境影响评价是在现有环境质量和生态平衡下对预定的开发活动做出预测，对现状的认识也是必不可少的内容。应当指出的是，目前环保工作者只从狭义的角度理解环境评价，即在有人为污染源的时候对环境的影响。有些大规模开发活动未必有污染物排入环境，但对环境质量和生态平衡的影响却可能非常广泛。例如大规模垦荒，森林开发或水利工程。在这种情况下环

境影响更有深远的意义。以后我们只限于狭义的环境评价。

在什么情况下应当进行环境评价？按常识不难理解：在污染严重或有显著污染的地区即应进行环境质量评价；在某些有特殊的政治文化意义或生态意义的地区。例如政治文化中心，游览休养地，文物古迹集中区，自然保护区等等。即使未达到显著污染的程度也应按照具体情况进行考虑。适于环境影响评价范畴的是对周围环境有显著影响的重大开发活动。也就是说拟设置重大污染源，或有生态意义或周围有政治文化中心，古迹和自然保护区的情况。我国环境评价的确定权还没有明确的规定，但理应由相应的政府机构或同级的环保机构提出。在做出要不要进行评价的决定或确定评价任务和内容的时候要充分听取筹划设计部门，专家和当地群众的意见。

环境评价的内容取决于对评价的深度和广度的要求，而后者应当按照现状污染程度，拟议中的工程规模 and 环境影响大小而定。在一定意义上也依赖于可能投入评价工作的人力物力。主要以大气环境评价为例，一般地应包括以下内容：

环境质量评价（现状评价）

环境 污染的现状	环境浓度，污染物积累状况
造成的环境影响	人体健康，动植物；

心里学，环境美的要求方面

现状的成因	主要污染物；
	污染源和重大污染源；
	排放率和排放构形；
	环境的稀扩散转化规律（地形，气候，气象物理，化学转化因素）

现状模拟

数学模式

可能的改善措施

环保治理方案

最佳措施

定量预测治理的环境效果

环境影响评价(预评价)

环境本底的调查

与拟议工程的排放有关的环境浓度;对
气质有意义的本底;人群、动植物与其

现有污染源

他环境质量。与气质有关的。

拟议工程的环境影响 估计各种可能影响,定性的。

扩散稀释和迁移转化规律

地形和污染气象特点,转化因素
基本资料的观测,搜集分析,现
场实验。

现状和影响的模拟

数学模式

替换方案或环保措施评价

定性和定量的

综合分析

工程带来的长短期环境效应,
从环境保护角度提出决策的依据。

以上各项内容可因项目不同而有差异,最后的落脚点都是为
环境污染控制提供科学依据,领导机构再结合政治,经济,技术
各方面因素做出决策。

前面我们已经讨论过,环境保护工作的任务是把污染物质在
生态系统中的循环运动规律弄清楚,把污染物质控制在环境自净能力
所容许的限度内以保障生态平衡和人体健康。环境评价就是要掌
握污染物质的动态规律并且力求定量地估计出人为排放对环境造
成的影响,找出最大限度地减少这种影响的途径。图 1—1 表述
了大气污染物排放到形成环境影响的过程。对于其他环境情形也

是一样。

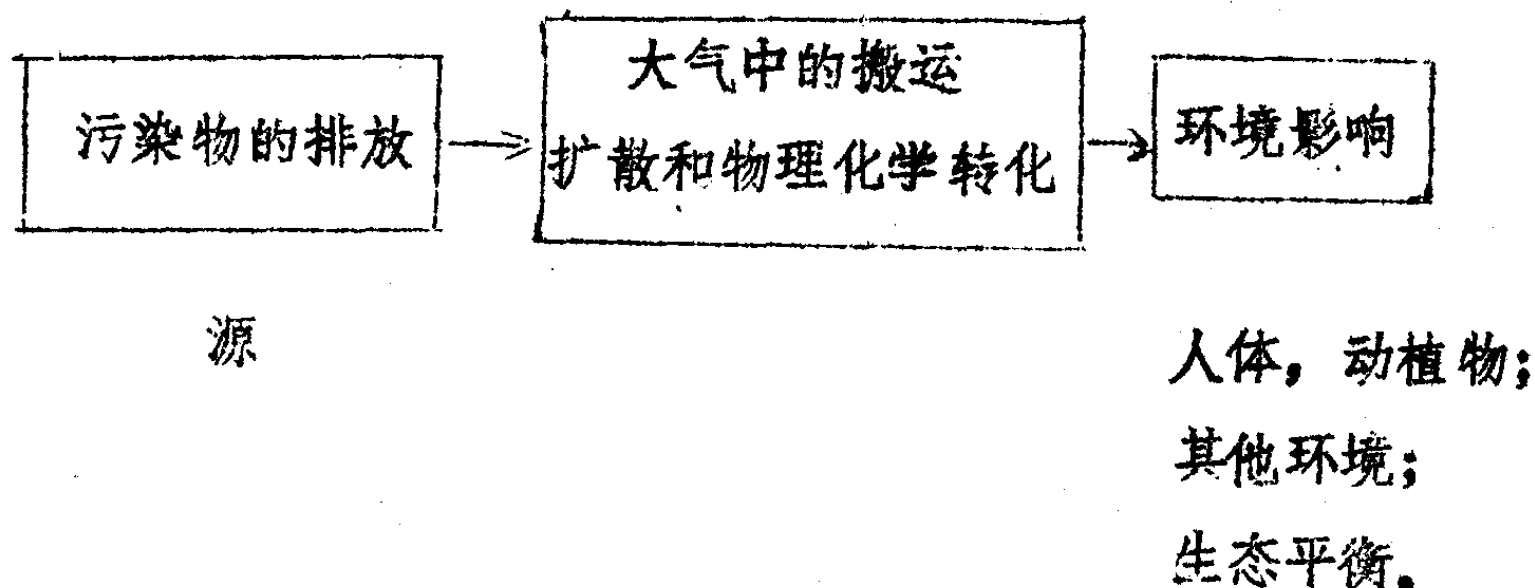


图 1—1 大气污染物排放的环境影响过程。

可以看出这一过程中最关键性环节是污染物在大气中的运动规律。恰恰是它最难捉摸，人们的认识最不够。环境评价的任务包含着力求客观准确地模拟这些规律，以使评价结果具有科学性而可做为决策的环境依据。这也是人们常常把大气扩散公式计算的结果叫做“大气扩散估计”或“估算”而不叫做“计算”的原因。因此在环境工作评价中有大量的调查工作，要充分吸取环境科学的基本原理和新成果，更有大量的科学工作要做，这些都是完成评价任务所不可少的。反对或对评价工作的同时进行必要的科学研究持怀疑态度是对环保工作无知的表现。

四、大气环境评价方法

环境评价要得到环境质量的优劣和环境影响程度的结论。问题是好坏和影响大小的标准是什么？在我国，按照特颁的条例规定：“大气环境质量标准”是评价大气环境质量，控制大气污染和控制大气污染物排放标准的依据”。大气环境质量标准是以保护人体健康，创造清洁适宜的生活环境，防止生态破坏和促进经济发展四方面为出发点制定的。在当前还不能充分把握大气的自净能力和容许污染物质的排放限度情况下，采用以上几方面综

合考虑所制定的标准做为评价的依据是科学和现实的。

在我国的环境标准中大气环境质量分为三级，并分别有相应的大气污染物浓度值。第一级标准是为保护广大自然生态和创造创造舒适美好的生活环境要达到的水平。第二级标准为保护广大人群健康和城市乡村的生态不破坏的水平。第三级标准是广大人群不发生急慢性中毒和保护城市一般植物需要达到的水平。显然这就为评价大气环境质量的优劣提供了相对客观标准。可以这么理解，达不到第三级标准的地区环境质量即属于较差，差或很差。如果现状满足第二级标准，由于附加的污染物排放而使大气质量降级，那么与附加排放相应的工业建设等活动对大气环境就有显著或重大影响。如此类推等等。应当指出，随着人们对环境规律认识的加深和国家经济技术水准的提高，现有的标准可能会有变动修改。但目前应是环境评价的依据。另外，不属于标准规定的污染物，或各污染物对人体和周围环境有明显协同作用情况下即应参照标准的出发点和参照国外的经验或通过进一步研究制定适当的依据。

这样一来，我们可以把大气环境评价的内容和过程综合地用图 1—2 的框图来表示。图 1—2 的意义不难理解，细节将在本课程中逐章进行探讨，这里只做以下几点原则说明：

①随着大气科学的发展，目前对于物理化学性质比较简单的污染物，在不复杂地形，水平范围几十公里以内的搬运扩散规律有较多的认识，已有可能把污染物的迁移转化表达成为数学形式。这就是扩散模式或叫气质模式。这样大气环境评价就可以建立在数学模拟的基础上，达到定量的水平。由于对污染物在大气中的物理化学过程认识不足，地形地物和几十公里以上的中尺度气象规律的复杂性，在这些条件下气质模式的建立

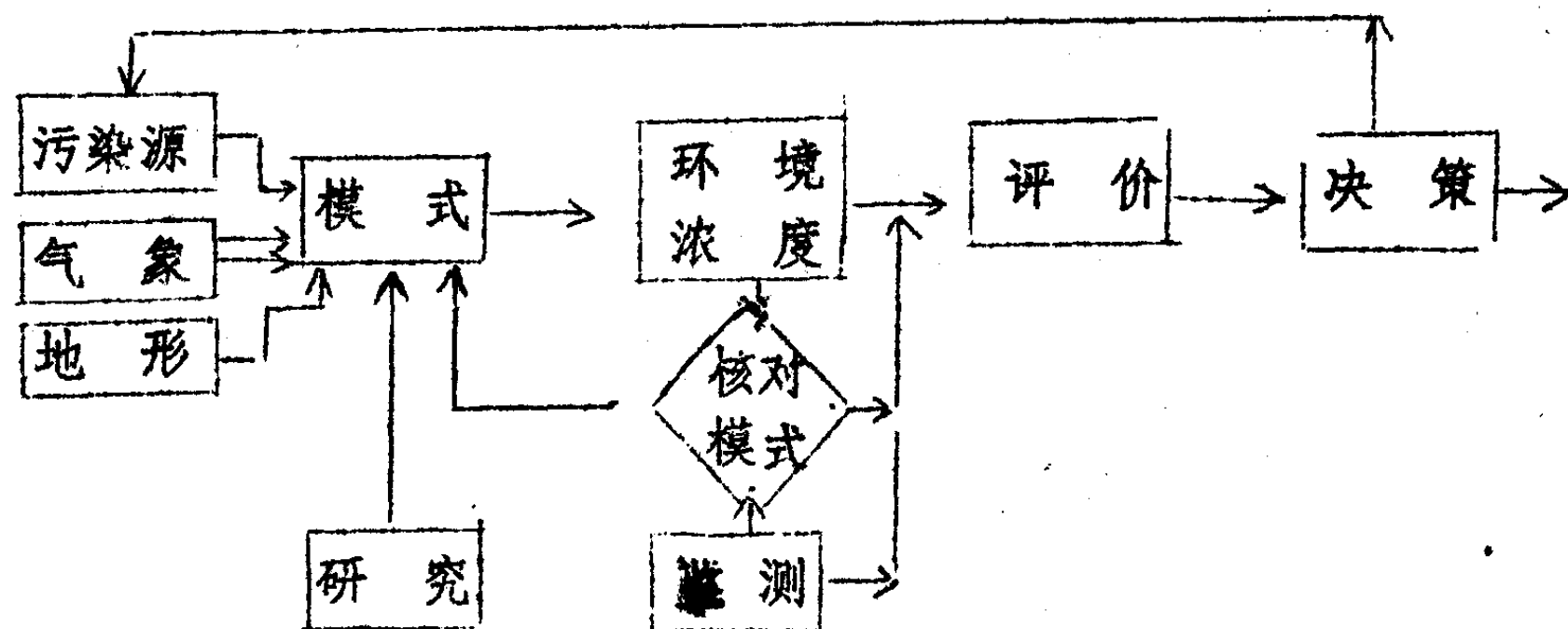


图 1—2 大气环境评价的环节和过程

和精确度等方面还存在不少问题。尽管如此，做为估计性的评价的基础还是可行的。相对于其他环境评价这是大气环境评价的特点和长处。在大气环境评价中气质模式已成为工作的核心。其具体功能和应用将在评价实例中讨论。

②如何气质模式符合污染物在大气中迁移转化的客观规律是使评价结果更精确可信的关键之一。根据排放源和污染物的性质，评价区的地形和地面特点，评价所覆盖的空间尺度和时间尺度（长期的或短期的）等等方面的差别，对污染物在大气中的扩散规律，中心小尺度气象学，污染物的化学反应动力学机理，干湿沉积过程等方面要求有不同程度的认识。就规律的认识或引用来源是环境科学的研究工作，但就其目的来说是为了建立一个较好的评价模式。就这个意义上环境科学研究和大气环境评价工作是紧密联系相互促进的。

③污染源和气象资料是数学模式的输入参数。缺乏这些基本

参数即数学模式就不能发挥其定量评价的功能。一个理论上严密、功能齐全的模式往往也要求有良好的污染源和气象资料做为输入数据。因此在评价工作中对污染源资料的调查和气象资料的整编应当给予足够的重视。另一方面，在污染源和气象资料不够详尽精确的情况下追求复杂的模式是没有必要的。监测数据可对模式计算进行核对检验，是证实模式的重要步骤。在可能条件下应按这一要求设计环境浓度监测。在没有条件进行模式计算的情况下，污染源，环境浓度和地形气象状况仍起着定性评价的作用。

我们已学习了必要的生态学，空气动力学，气象学和大气化学的基本原理，本课程将利用这些原理，围绕大气环境评价的各个环节逐一进行讨论。其中包括污染源和气象资料的获取，环境监测方法，模式的原理和计算，大气环境标准，评价的结果和应用等等。