

附件 5

环境空气质量模型遴选工作指南（试行）

（征求意见稿）

编制说明

环境保护部
2015 年 8 月

项目负责人：李时蓓

工作指南名称：环境空气质量模型遴选工作指南

起草单位：中国环境科学研究院

环境保护部环境工程评估中心

环境保护部环境规划院

清华大学

主要起草人：孟凡 李时蓓 丁峰 胡翠娟 伯鑫 易爱华

胡京南 唐伟 何友江 陈义珍

环境保护部科技标准司项目管理人：陈胜

目 录

1	任务来源.....	76
2	指南编制单位.....	76
3	工作指南制定背景与意义.....	76
3.1	环境空气质量模型法规化建设背景.....	76
3.2	国际环境空气质量法规模型体系建设现状.....	77
3.3	国外环境空气质量法规性应用模型分类体系.....	85
3.4	国内法规模型建设现状.....	92
4	工作指南编制原则与技术依据.....	93
4.1	编制原则.....	93
4.2	主要技术依据.....	93
5	技术方法与工作过程.....	94
5.1	技术方法与路线.....	94
5.2	主要编制工作过程.....	95
6	主要内容及说明.....	96
6.1	环境空气质量模型遴选.....	96
6.2	模型遴选工作程序.....	97
6.3	模型遴选材料要求.....	99
6.4	环境空气质量模型验证技术方法.....	100
6.5	模型综合评价.....	107
6.6	指南附录.....	110
7	指南实施建议.....	110

环境空气质量模型遴选工作指南（试行）

（征求意见稿）

编制说明

1 任务来源

2013年，由环境保护部环境工程评估中心牵头，联合中国环境科学研究院、环境保护部环境规划院、清华大学共同承担环保公益性行业科研专项《国家环境质量模型法规化与标准化研究》（项目编号：201309062）。项目起止时间为2013年1月到2015年12月。

依托该项目，课题组研究了国际上主要发达国家大气和水的环境质量模型法规化制度建设现状，吸收并借鉴国外发达国家环境质量模型法规化、标准化建设内容、评价指标和认证制度，在调研我国环境质量模型实际需求的基础上，开展了我国环境质量模型法规化制度研究，提出了我国的环境质量法规模型发展方向，形成空气和水环境质量模型的评价指标和验证方法，为建立我国推荐模型（也称为法规模型）的认证制度奠定了基础。在此基础上，形成了《环境质量模型规范化管理暂行办法》（以下简称管理办法）以及《环境空气质量模型遴选工作指南（试行）》（以下简称工作指南）。

2 指南编制单位

项目主要编制单位为：中国环境科学研究院、环境保护部环境工程评估中心、环境保护部环境规划院、清华大学。

中国科学院大气物理研究所、环境保护部环境标准研究所等单位给予了技术支持。

3 工作指南制定背景与意义

3.1 环境空气质量模型法规化建设背景

法规模型的确定往往需要通过多种途径，如国家建立模型评估指标和验证系统、公开发表的科学论文、研讨会等。为帮助各级政府方便和正确地应用法规模型，环保部门往往还建立模型的技术支持系统，提供培训、标准化污染源数据、气象数据、水文数据等，以及统一的前/后处理软件和图形软件，有些还包括进一步的分析软件如环

境质量达标评估、健康风险评估等功能。目前国内已具备法规地位的模型有引自欧美主流的 AERMOD、ADMS 和 CALPUFF 空气质量模型，在《环境影响评价技术导则——大气环境》HJ2.2-2008 中以清单方式予以推荐，并在公众网络平台上（环保部评估中心网站）予以发布。发布的内容包括模型的运行程序、技术说明书、用户使用手册、典型应用案例等。在引入时，局地模型 AERMOD、ADMS 与 HJ2.2-1993 导则的模型进行了比较，并采用美国法规模型库中的验证数据进行了比较，保证了推荐模型的一致性、可靠性。目前，上述模型已被广泛应用于各环境管理领域，仅在环境影响评价领域每年就有上万本环境影响报告书使用推荐的模型。

但是，目前中国法规模型体系基本上还是空白，缺少地表水、地下水等领域里的法规模型，即使是大气领域的法规模型也存在很多问题：第一、大气领域的法规模型不健全，缺乏评估区域复合空气污染问题的区域空气质量模型（如臭氧、酸沉降），有毒污染物爆炸、泄漏等风险模型，人体健康评价模型，还有一些特殊的模型（如冷却塔排烟模型、岸边熏烟模型等）；第二、推荐模型直接采用美国 EPA 或欧洲等发达国家的法规模型，只与 93 版导则针对预测结果的衔接性进行了一些对比研究，没有采用中国实测数据进行验证，对模型在中国应用的不确定性没有评估；第三、由于中国特殊的地理特征和工业布局，复杂地形的应用远比国外常见和复杂，现有模型的复杂地形处理不能满足需求；第四、缺乏标准化的污染源数据格式、移动源、无组织排放、扬尘风沙等排放模型及数据格式体系；第五，没有长期的发展和更新计划，没有中国原发的研究成果；模型导则不够灵活，特别是缺乏新模型的准入和应用规范；第六、法规模型的开发和技术支持队伍薄弱。

鉴于中国环境空气污染状况和高速的经济发展，目前的法规模型体系很难适应环境管理的需求。开展中国法规模型的科学技术研究，是国家环境保护标准中急需的基础性研究项目，可以为国家环境规划、总量控制和环境影响评价提供技术支持和服务，具有十分重大的意义和紧迫性。

3.2 国际环境空气质量法规模型体系建设现状

3.2.1 美国环境空气质量模型法规化现状

美国在模型法规化建设方面位于世界领先地位。1978 年，美国首次颁发了空气质量模型导则，基本确立了环境空气质量模型的法规地位。经过三十多年的发展，在模

型分类体系、模型管理机构、模型法规化程序等方面积累了丰富的经验，建立了较为先进的环境空气质量模型法规化制度。

EPA 空气质量法规模型可分为三大类共计 31 种模型。主要包括扩散模型、光化学模型和受体模型（源解析模型）。扩散模型主要用于新改扩建污染源审批，光化学模型主要用于大尺度污染物扩散/大气化学反应模拟，受体模型主要用于反推确定污染源对受体贡献率。

其中较为广泛使用的扩散模型又可分为首选模型（AERMOD, CALPUFF）、其他推荐模型（BLP, CALINE3, CAL3QHC/CAL3QHCR, CTDMPPLUS, OCD）和备用模型（ADAM, ADMS-3, AFTOX, ASPEN, DEGADIS, HGSYSTEM, HYROAD, HOTMAC/RAPTAD, ISC3, ISC-PRIME, OBODM, OZIPR, Panache, PLUVUEII, SCIPUFF, SDM, SLAB），这些模型涵盖了从正常污染物排放扩散、突发性大气污染事故泄漏模拟等多个方面。

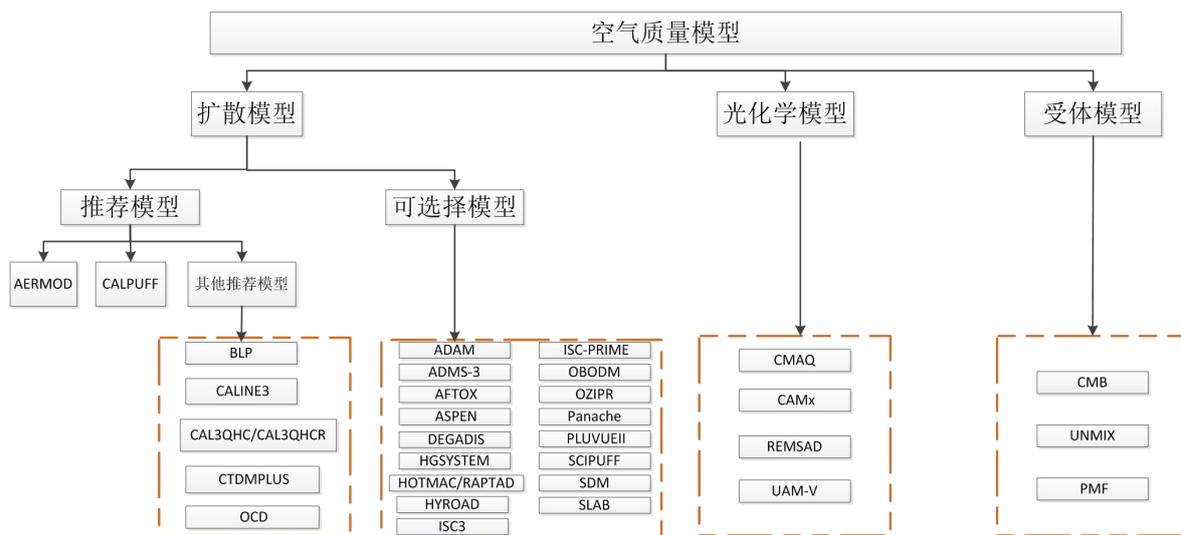


图1 EPA 空气质量模型分类体系

EPA 为环境空气质量法规性应用模型的主要管理机构，下设的空气质量标准和规划办公室（Office of Air Quality Planning and Standards, OAQPS）为预防和改善环境空气质量，组织开展了多个与环境空气质量相关的项目，涉及到空气质量监测、污染源排放系数、环境空气质量模型等多个领域。其中环境空气质量模型主要由空气质量模型工作组（Air Quality Modeling Group, AQMG）负责，AQMG 通过建立模型信息交换中心（Model Clearinghouse, MC）、定期举办空气质量模型会议/研讨会、完善模型导则来指导各州、各地区正确选择使用空气质量法规模型，对于拟作为推荐模型的环境空气质量模型，AQMG 还将负责组织专家进行同行审查。此外，空气质量模型工作组

还负责配合 EPA 研究和发​​展办公室 (Office of Research and Development, ORD) 发展的新的预测模型和新的预测技术, 并为空气质量规划和标准出台、政策/法规的制定提供环境空气质量模拟服务。AQMG 在法规模型的建立、应用推广过程中起到了重要的作用。

为统一发布模型相关信息, 美国 EPA 设立空气质量法规模型支持中心 (Support Center For Regulatory Air Models, SCRAM), 发布法规模型的技术文档、执行程序等; 并设置模型交流所 (The Model Clearinghouse), 便于各地区办公室或各州环保署在针对导则执行过程中的问题或批准使用清单之外的模型时与 EPA 进行意见交流, 同时, 模型交流所还设有专门的信息管理系统 (Model Clearinghouse Information Storage and Retrieval System, MCHISRS), 对 EPA 的各类回复意见以及各地区使用非导则推荐模型的情况进行汇总, 便于将来遇到同样情况时, 采取相同的处理方式, 保持国家层面的公正性和一致性。

为确定和更新环境空气质量法规性应用模型, 从 1977 年 8 月 7 日之后 6 个月开始, EPA 每 3 年至少举办一次模型会议 (Conference on Air Quality Models), 迄今为止, 已经召开 10 次会议。参会机构包括美国国家科学院、各州/各地方空气污染防治机构、相关联邦机构 (包括国家科学基金会, 美国国家海洋和大气管理局, 以及美国国家标准与技术研究所)、行业相关咨询公司、社会团体等。通过模型会议, EPA 可收集各界对环境空气质量法规性应用模型的发展建议, 并及时掌握其他先进模型的发展动态。

美国的空气质量法规模型确定过程往往与模型会议密切相关。推荐的法规模型认证程序如图 2 所示。其中, 模型开发过程中和法规模型认证过程中都包括同行审查 (Peer Review) 的环节, 前者由模型开发者组织开展, 后者由 EPA 组织开展。EPA 组织开展的同行审查是法规模型认证流程中非常重要的一环。

EPA 拟进行法规模型认证时, 筛选审查专家 3~4 人, 组成审查小组, 并同时将同行审查项目的协调工作委托给第三方公司; 由第三方公司将模型代码及技术文档提供给各审查专家, 并确定审查费用, 审查内容等; 审查专家按照分工对模型各项内容进行审查, 包括模型公式、模型技术文档和用户指南等文档资料、模型性能评估以及用户友好性, 各专家提交审查意见后由专家组组长汇总后发送各审查专家, 并开会讨论; 会后, 各专家对审查意见进一步修改和确定, 返回专家组组长, 由专家组组长统一汇

总递交第三方公司；第三方公司汇总审查意见、审查专家简历等各项内容后形成最终的审查报告，提交 EPA。

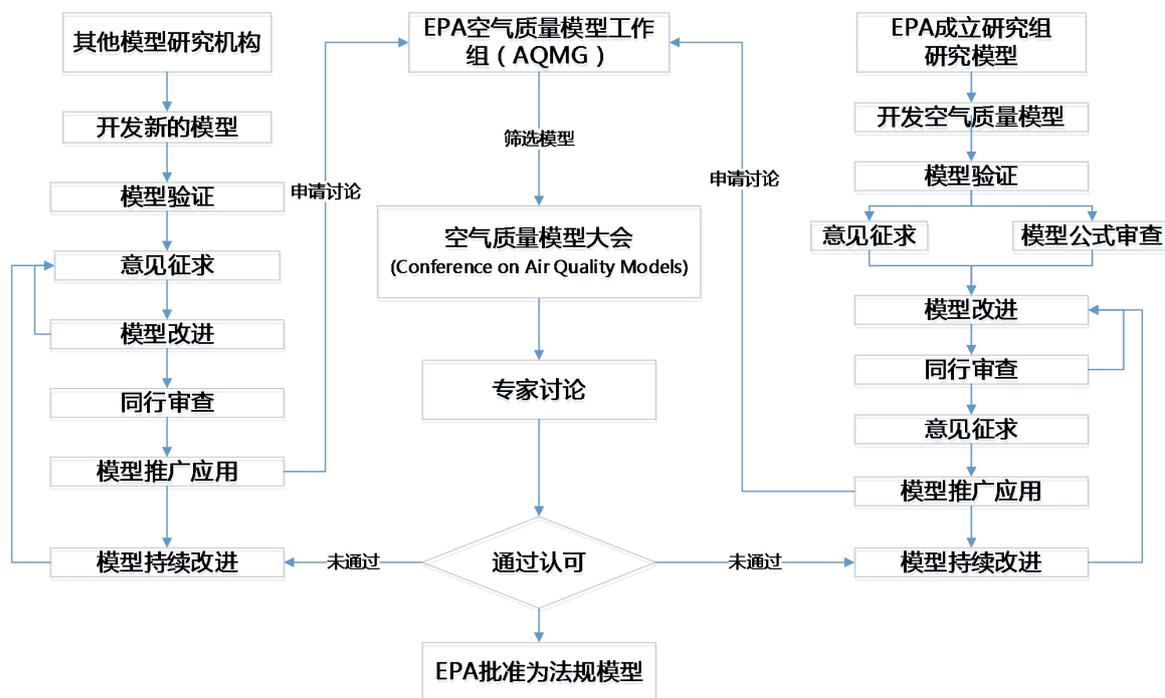


图 2 EPA 法规模型认证程序

3.2.2 英国环境空气质量模型法规化现状

根据英国环保局 ENVIRONMENT AGENCY POLICY EAS/2007/1/1 规定，英国不对任何模型进行推荐，使用者可自行选择任何经过独立验证并具有科学性的模型。虽然官方并未偏袒任何模型，但据咨询统计，英国使用较广的模型包括 AERMOD、ADMS、NAME 等，其中后两种模型为英国自行研发。

大气扩散模拟联络委员会 (Atmospheric Dispersion Modelling Liaison Committee, ADMLC) 在英国空气质量模型的规范化使用、促进各界交流等方面发挥了重要作用。大气扩散模拟联络委员会最早成立于 1977 年，由政府部门，公共事业单位和研究机构组成，并于 1995 年进行重组。该委员会目前包括有 15 个成员机构，包括：AMEC 公司、奥尔德玛斯顿原子武器研究所、国防科学与技术实验室、能源和气候变化部 (DECC)、环境，食品和农村事务部 (DEFRA)、环保局 (EA)、食品标准局、健康与安全执行局、健康保护局、英国内政部、英国气象局、HMS Sultan 核部门、苏格兰环境保护局、壳牌全球解决方案部门、韦斯特莱克斯研究所。

该委员会的主要职责在于为发放大气污染物排放许可证进行技术审核和为其他咨询机构提供指导。并定期举办大气模拟研讨会，积极促进成员机构之间的交流。

此外，英国皇家气象学会（RMS）也致力于推动空气质量模型在英国的规范化使用。1995年，英国皇家气象学会制定完成大气扩散模型导则，并在2004年完成修订更新（Guidelines for the Preparation of Dispersion Modeling Assessments for Compliance with Regulatory Requirements - an Update to the 1995 Royal Meteorological Society Guidance, ADMLC/2004/3）。此导则成为英国各咨询机构进行空气质量模型选用的重要准则之一，导则在大气扩散模拟联络委员会网站进行公布，供相关机构和公众免费下载。

此导则旨在促进正确挑选和使用大气扩散模型，其基本目标是要确保进行模拟时能进行模型的有效利用以达到法规要求。由于英国不对模型进行任何推荐，因此，其导则对具体应用过程中的模型选择做出了详细的说明。具体的模型筛选程序如图3所示。

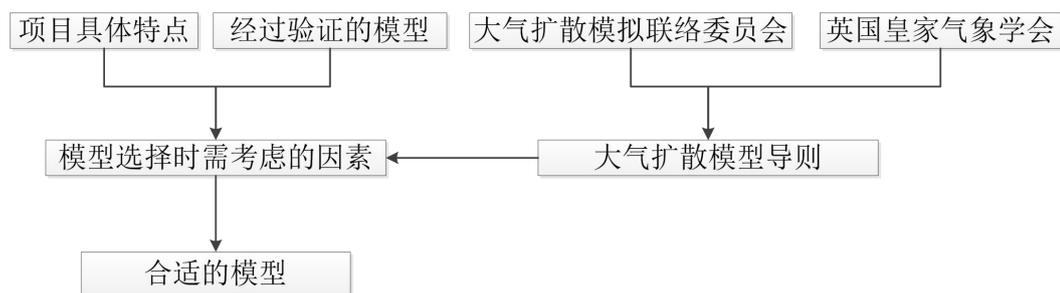


图3 英国大气扩散模型使用筛选程序

3.2.3 欧洲环境空气质量模型法规化现状

2011年建立的ETC/ACM（European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation）——减轻空气污染和气候变化的欧洲主题中心，前身为空气和气候变化的欧洲主题中心（European Topic Centre on Air and Climate Change, ETC/ACC）。

为规范化空气质量模型的使用，ETC/ACM建立了模型档案系统（Model Documentation System, MDS），迄今为止，系统收录了142种空气质量模型，涵盖了从正常污染物排放扩散到突发性大气污染事故泄漏模拟，从中小尺度到大尺度模拟等多个方面，提供了包括各模型适用领域、适用的污染源类型、空间范围、验证情况等多方面的信息，以最大程度协助使用者挑选最适宜的空气质量模型。

值得注意的是，ETC/ACM 强调对系统中的模型不进行任何强制性的推荐或指定，模型的合理选择主要根据项目需要和 MDS 提供的模型信息帮助。ETC/ACM 鼓励模型研发人员或研发团队向其提交新的模型，模型研发人员可登陆 MDS 模型提交系统，按照系统提示填入模型相关信息，提交待 ETC/ACM 审核通过后，即可收录进入 MDS。

3.2.4 新西兰环境空气质量模型法规化现状

根据 1991 年资源管理法 (The Resource Management Act (1991)) 规定，针对空气质量方面，新西兰环保局不具有正式执法权限，各地区的环境空气质量由区域委员会和地方当局自行管理。环保局主要为各地区提供指导意见，并协助开展公众教育活动。提供的指导包括制定环境空气质量导则 (ambient air quality guidelines) 和最佳实践指南系列 (good-practice guidance)，以及提供一些相应的研究报告。

新西兰目前常用模型包括 ISCST3、AERMOD、CTDMPLUS、CALPUFF、AUSPLUME、TAPM 等，但并不对模型的使用进行强制规定，而是通过制定《空气质量模拟最佳实践指南》(Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling)，指导模型使用机构如何正确选择和使用模型。该指南的发布意在提高环境空气质量模拟的一致性和准确性，给出合理的建议。但值得注意的是，这些建议并不是强制要求，实际使用的时候可以灵活选择。

3.2.5 台湾环境空气质量模型法规化现状

台湾环保署空保处于 2002 年开始全面开展环境影响评价相关的空气质量模式的法规化、标准化建设工作。同年 11 月，环保署颁布了《空气质量模式模拟规范》，按照规范规定，台湾的空气质量法规模式分为三类，分别为高斯扩散模式、轨迹模式及网格模式。高斯模式包括 AERMOD、ISC，轨迹模式包括 TPAQM，网格模式包括 CAMx、GTx、TAQM。

为保障各地区所选模式具有公正性和一致性，环保署建立了“空气质量模式支持中心”，此中心定位为决策技术支持的性质，横向整合产官学相关的人力人才与数据资源，经过数年的努力，已累积了相当的经验与成果，对空气质量保护决策起到了重要作用。中心主要职能在于统一发布法规模型的技术文档、与用户间进行模式相关问题的咨询讨论、提供用户进行模式在线模拟与资料查询、提供使用者整合性的资源服务以及提供空气质量模式技术相关资料等五项工作。并配合环保署空保处推动“容许增量限值”管制制度，与固定污染源“许可证制度”充份配套，以落实固定污染源的管

制，让相关单位(学术、产业、咨询公司、工程师、官方机构以及大众)能获得充份的信息与技术支持。

环保署制定了一整套严格的模型认可流程，当模型使用单位采用非公布的模型进行模拟时，需要按照流程进行审查，经认可后方可采用。认可后的模式进入法规模型清单，其执行文件及使用指南也将公告于相关网站上以提供其他使用者下载。目前，经过认可的台湾本土化空气质量模式包括台湾空气质量模式 TAQM (Taiwan Air Quality Model) 和 GTx 轨迹模式系统。

模式认证流程如图 4 所示。由环保署统一受理模式认可申请，并随即进行认可审查，审查过程分为数据完整性审查及实质审查两阶段。数据完整性审查系针对所提交的申请数据的完整性进行查核，包括文档数据和电子文档数据(预测数据)，由空气质量模式中心人员负责进行。实质审查则针对模式使用的合理性进行审查，具体包括模式种类、参数设定、污染事件筛选、输出入数据及测试验证方法及其结果的合理性等，本阶段审查委员人数为 3 至 5 人，由空气质量模式支持中心提出建议名单，由环保署进行裁定。若第一阶段所提交的数据不完整，则将申请数据退回并要求申请者补正。若在第二阶段—实质审查时涉及到资料的合理性问题时，申请者需按照审查委员的意见进行补正或说明，总补正次数以三次为限，总审查时间不得超过 60 个工作日，若最后审查结果未通过或未能于上述期限内完成模式的认可，则予以驳回。

通过模式认可审查后，由空气质量模式支持中心汇总整理审查委员的意见并编写模式认可说明，包括认可模式名称、使用区域、可模拟的污染物类型、季节限定、可使用的气象站数据及空气质量监测站数据等项目，并由环保署核发认可证，而经过认可的模式的执行文件及使用指南也将公告于相关网站上以提供其他使用者下载。

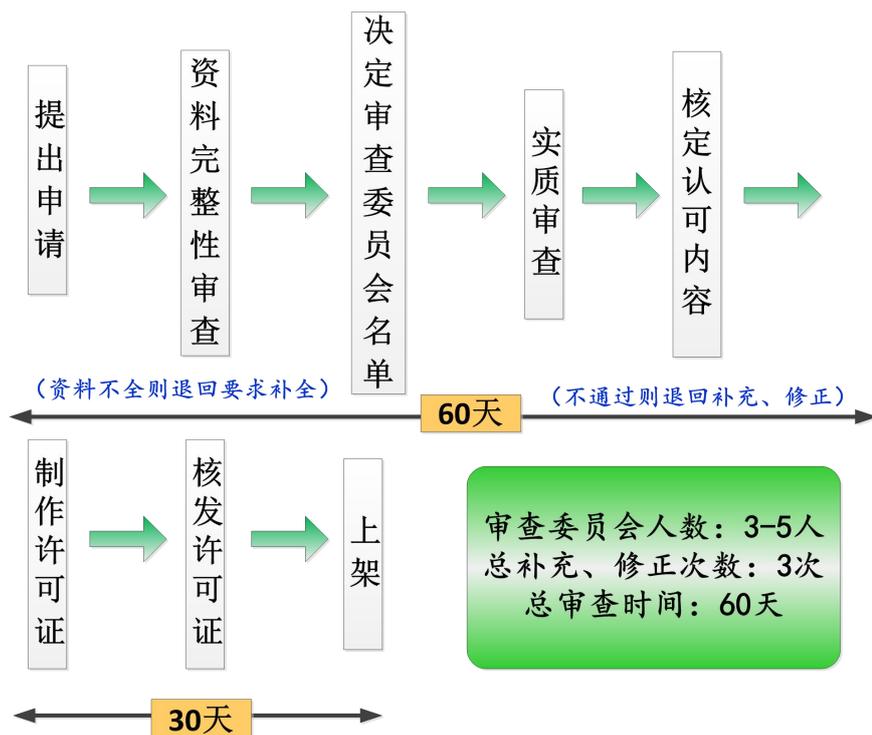


图 4 台湾空气质量模型认证程序

3.2.6 香港环境空气质量模型法规化现状

香港环保署全面负责香港的环境空气质量模型法规化工作。香港环保署就各类空气质量评估制订了评估方法和指引，包括：《选用模型和模型参数指引》、《评估整体空气质素影响指引》、《使用另类电脑模型进行空气质素评估指引》、《使用高斯烟流模型时对新鲜空气进气口的高度限制及其位置的估算指引》。这些指引介绍了香港常用的模型及其适用范围，进行环境空气质量预测/评价时的参数选择及其他注意事项。

香港使用较为广泛的环境空气质量评价模型为高斯模型，主要是由于其易用性和计算耗时较短。若源与受体之间地表类型、地形、障碍物的影响很小，可以采用高斯模型来模拟扬尘、交通或工业源对近场的环境空气质量影响。当某些情况下高斯模型不适用时，则可采用物理模型、数值模型或者中尺度模型。

香港列出的环境空气质量法规性应用模型包括 ISCST3、CALINE4、FDM、Ausplume、AERMOD 与自行研发的 PATH 模型 (Pollutants in the Atmosphere and Their Transport over Hongkong 香港大气污染物扩散模型)。值得注意的是，针对美国、澳大利亚等发布的法规模型，香港环保署采用直接引用的方式，但对具体参数选取会进行指导。对于由环境保护署 2001 年委聘顾问构建的 PATH 模型，则选取了两位外国专家进行审核，

这两位专家分别是美国科罗拉多州立大学的 Roger Pielke 教授和加拿大安大略省环境及能源部的 P. K. Misra 博士。

香港环保署在 2013 年修订的《使用另类电脑模型进行空气质素评估指引》中指出，没有任何一个模型能处理法规应用中的所有问题，换言之，迄今为止还不存在“万金油”型的模型。因此，为了确保在法规应用中能采用最好的模型，且模型不被滥用，项目建设单位和/或其环境咨询公司需评估可获取的不同模型以筛选采用最适用于本项目的模型。

需要采用列表之外的模型的情况包括：

- 1 被模拟的情况已经远远超出了列表中模型的能力范围；
- 2 替代模型的性能与列表中模型的性能相当或者更好；

当采用非列表中的模型时，需要经过环保署的批准。建设单位/环境咨询公司需提供的材料包括：

- 1 模型的详述、技术细节文档，包括：模型的数学公式和数据要求；模型之前的性能评估材料；一套完整的常用电子格式的输入和输出文件；

- 2 模型的性能评估；

基于以上信息，环保署再判断是否可在此项目中使用该模型。需要强调的是，提供充足材料的责任完全在于建设单位/环境咨询公司，并且其应该保证材料的正确性。

环保署可能已经有部分替代模型的信息，为避免资源浪费，建设单位/环境咨询公司应先与环保署沟通确认环保署已有拟采用模型的信息，若有，则不再需要建设单位/环境咨询公司提供。此外，环保署保留从建设单位/环境咨询公司获取进一步信息以进行技术审查的权利。

3.3 国外环境空气质量法规性应用模型分类体系

3.3.1 欧洲环境空气质量模型分类

根据空气质量模型研究对象的不同，设计方法的差异，涉及到具体的模型有很多种，可以从不同的角度以及采取不同标准加以具体区分。

- 以空间尺度作为划分标准，包括全球尺度、大陆尺度、区域尺度和局地尺度。

- 以时间尺度作为划分标准，包括情景模型 (episodic models)，长期统计学模型等。
- 按照输送方程描述方法的不同，可以分为欧拉模型和拉格朗日模型。

按照研究的大气环境问题的不同，可以分为酸沉降模型、光化学烟雾模型、气溶胶模型等。

参考 Zannetti (1993)，模型类别可分为以下几种：

(1) 烟羽抬升模型。在大多数情况下，进入到环境空气的污染物与周围的空气相比都具有较高的温度。大多数工业污染物通过烟囱或排气筒排放，因此排放之初具有一个初始的垂直动量。这两个因素（热力抬升和垂直动量）使得烟羽高度高于烟囱高度。烟羽抬升模型将计算这个抬升高度以及，在这个最初扩散时期内烟羽的一般扩散行为。现在的计算公式包括半经验公式和先进的烟羽抬升公式。

(2) 高斯模型。高斯烟羽模型是最常见的空气污染模型。它的基本假设为烟羽浓度在下风向水平和垂直方向均呈现高斯分布。美国环境保护署 (EPA) 推荐的模型几乎都是高斯模型。某些高斯模型已进行过修正，以满足特殊的扩散情况。简化版的高斯模型——高斯气候模型 (Gaussian climatological model)，可以用来计算长期平均浓度水平（如年均值）。

(3) 半经验模型。这一类别包括好几种类型的模型，这类模型主要是开发用于实际应用。尽管该类别中的模型有相当大的概念上的差异，但所有这些模型都有一个共同的特点就是大幅度简化和高度的经验参数化。这类模型的成员包括箱模型 (box models) 和各种参数模型 (parametric models)。

(4) 欧拉模型。惰性空气污染物的传输可以通过大气扩散方程（如质量守恒方程，欧拉法）的数值求解来进行模拟，这种模型通常内嵌于气象预报模型中。高级欧拉模型同时还包括精细的子模型用来描述湍流（如二阶闭合模型和大涡模型）。

(5) 拉格朗日模型。作为欧拉模型的另一种选择，拉格朗日法是以研究单个流体质点运动过程作为基础，综合所有质点的运动以此构成整个流体的运动。这一类别的模型包括所有将烟羽分解成如分段烟羽、烟团或粒子的模型。拉格朗日模型使用一定数量的虚拟粒子来模拟所选物理参数的动态变化。粒子的运动由平均速度和蒙特卡洛方法产生的半随机速度（脉动速度）来描述，污染物的输送由平均风速和波动引起的湍流共同决定。

(6) 化学模块。部分空气污染模型包括化学转化的计算模块。这些模块的复杂性不一，从简单的一阶反应（例如，二氧化硫转化为硫酸盐）到描述复杂的光化学反应均有。目前已经提出一些反应方案用于模拟化学物质的相互作用及其动力学，这些方案已经嵌入到拉格朗日和欧拉光化学模型中。在欧拉光化学模型中，三维网格覆盖整个计算域，每个时间步长每个计算网格内的所有化学反应都可被模拟。

(7) 受体模型。与扩散模型（计算到污染源对受体的影响）相反，受体模型从受体点观测得到的污染物浓度出发，将污染物浓度分摊到几个污染源上，这样做的基础是已知污染源和受体上污染物的化学成分。受体模型的基本思想是受体与污染源之间的污染物呈质量平衡的关系，其本质上是统计学模型，因此它们不包括排放量和浓度之间的确定性关系。然而，现在已经开发了一些基于扩散模型和受体模型的混合型模型，被认为是非常有前途的。

(8) 随机模型。随机模型是基于统计或半经验方法来分析空气质量的趋势、周期性变化、空气质量和大气观测值之间的相互关系，预测污染事件的演变过程。为实现这一目标，综合采用了多种技术，如频数分布分析、时间序列分析、自回归移动平均模型（box-jenkins 模型）、谱分析等。由于未建立输入—输出响应关系，随机模型在本质上是受限的，但其在某些实际应用中却非常有用，例如在短期的实时预测中，从实测数据中获得的趋势被证明为更贴近实际。

表 1 总结了目前各尺度的模型在不同领域的应用情况。其中数字 1 代表适用于环境监管领域（法规应用），2 代表适用于政策支持，3 代表适用于作为公众信息发布，4 适用于作为科学研究。

表 1 各种空气质量模型的应用领域划分

大气运动的尺度	小尺度		中尺度	大尺度
扩散尺度	局地尺度	局地-区域尺度	区域-大陆尺度	全球尺度
模型类型				
烟羽抬升模型	1, 2, 4			
高斯模型	1, 2, 4	1, 2		
半经验模型	1, 2, 3, 4	1, 2, 4		
欧拉模型	1, 2, 4	2, 3, 4	2, 4	2, 4

拉格朗日模型	4	4	2, 4	
化学模块	(1, 2) 4	2, 3, 4	2, 4	2, 4
受体模型		2, 4		
随机模型		2, 4		

大气运动的尺度：小尺度 (microscale) ——2km 以下，中尺度 (mesoscale) ——2km~2000km，大尺度 (macroscale) ——2000km 及以上

在环境监管（法规应用）方面，几乎所有欧洲国家都应用环境空气质量模型。模型预测的结果通常用于发放排污许可或环境影响评价，如新建工厂或高速公路的环境影响评价。概括而言，在环境监管领域，模型的主要作用是提供长期的污染物空间分布和平均浓度值，以便于与空气质量标准进行比较。

模型模拟的污染物种类包括 SO₂、NO₂、颗粒物，以及一些有毒物质，如重金属和有机化合物等，在某些情况下还要求模型能输出臭气成分的相关信息。但这一点上存在着争议，由于目前大多数模型不适宜处理浓度的变化波动情况，因此这个要求可能超出了大多数模型的适用范围。在欧洲法规应用中大气扩散模型的协调性倡议框架下，欧洲已经开发了一系列的标准化方法，如模型评估工具、参考验证数据集、软件以及模型评估的程序。

如前所述，欧洲并未指定某种或某些模型作为强制性或者推荐性的法规应用，但根据表 3-5 可以看出，从空间尺度而言，适用于环境监管目的（法规应用）的模型为局地尺度和区域尺度的模型，大陆尺度和全球尺度的模型在欧洲并不推荐作为法规应用；从模型类型而言，建议作为法规应用的模型包括烟羽抬升模型、高斯模型、半经验模型、欧拉模型和化学模块。这主要是因为从法规应用角度而言，模型需要具备发展成熟、简便易用、所需基础数据可获得等特点。表 2 总结了目前欧洲常用的模型分类情况。

表 2 欧洲常用模型分类表

模型名称	尺度	模型类别	是否包含化学反应
2-D OSLO	全球	2D-欧拉	是
3-D OSLO	全球	3D-欧拉	是
AUSTAL86	局地	高斯	否
CALGRID	局地-区域	3D-欧拉	是

模型名称	尺度	模型类别	是否包含化学反应
Cambridge model	全球	2D-欧拉	是
CAR	局地	半经验	否
CAR-FMI	局地	高斯	是
CIT	局地-区域	3D-欧拉	是
CONTILINK	局地	高斯	否
CTDMPLUS	局地	高斯	否
CTMK	全球	3D-欧拉	是
DISPERSION	局地-区域	半经验	否
DMU	区域-大陆	2D-欧拉	是
DRAIS	局地-区域	3D-欧拉	是
ECHAM	全球	3D-欧拉	是
EKMA/OZIPM4	局地-区域	化学	是
EMEP/MSC-E	全球	2D-欧拉	是
EMEP/MSC-E/acid deposition	区域-大陆	2 layer 欧拉	是
EMEP/MSC-W	全球	3D-欧拉	是
EMEP/MSC-W/photochemistry	区域-大陆	2D-拉格朗日	是
EMEP/MSC-W/acid rain	区域-大陆	2D-拉格朗日	是
EMEP/MSC-W/sulphur	区域-大陆	3D-欧拉	是
EPISODE	局地-区域	3 layer 欧拉	是
EURAD	区域-大陆	3D-欧拉	是
HARM	区域-大陆	2-D 拉格朗日	是
HARWELL	全球	2D-欧拉	是
HPDM	局地	高斯	否
HYPACT	局地-区域	3D-欧拉	否
IFDM	局地	高斯	否
IMAGES	全球	3D-欧拉	是
INPUFF	局地	高斯	否
ISCST2	局地	高斯	否
IVL	区域-大陆	2 layer 拉格朗日	是
Liège model	全球	2D-欧拉	是

模型名称	尺度	模型类别	是否包含化学反应
LOTOS	区域-大陆	3D-欧拉	是
Mainz model	全球	2D-欧拉	是
MARS	局地-区域	3D-欧拉	是
MATCH	局地-区域	3D-欧拉	是
MEMO	局地-区域	3D-欧拉	否
MERCURE	局地-区域	3D-欧拉	否
MOGUNTIA	全球	3D-欧拉	是
OML	局地	高斯	否
OSPM	局地		否
PLUIMPLUS	局地	高斯	否
RAMS	局地-区域	3D-欧拉	否
REM3	区域-大陆	3D-欧拉	是
ROADAIR	局地	高斯	是
SCALTURB	局地	高斯	否
STOCHEM	全球	3D-拉格朗日	是
TREND	区域-大陆	统计	是
TVM	局地-区域	3D-欧拉	否
UAM	局地-区域	3D-欧拉	是
UDM-FMI	局地-区域	3D-欧拉	否
UiB	区域-大陆	2D-欧拉	是
UiB model	全球	2D-欧拉	是
UK photochemical model	区域-大陆	2-layer-拉格朗日	是
UK-ADMS	局地	高斯	否

3.3.2 美国环境空气质量模型分类

美国常用的环境空气质量模型分类方法与欧洲大致相似，均可按照空间尺度、空间维数、输送方程描述方法、研究的大气环境问题等方法进行划分。

EPA 法规模型支持中心将环境空气质量法规性应用模型按照研究的大气环境问题分为三大类共计 31 种模型，包括扩散模型、光化学模型和受体模型。由于美国环境空气质量法规性应用模型大部分由 EPA、能源部、以及其他美国研究所开发或支持开发，

因此美国对环境空气质量模型类型的划分按照模型发展历程还可分为一、二、三代模型。

(1) 第一代空气质量模型主要包括了基于质量守恒定律的箱式模型、基于湍流扩散统计理论的高斯模型和拉格朗日轨迹模式。当时的模型一般以 Pasquill 和 Gifford 等研究者得出的离散不同稳定度条件下的大气扩散参数曲线和 Pasquill 方法确定的扩散参数为基础,采用简单的、参数化的线性机制描述复杂的大气物理过程,适用于模拟惰性污染物的长期平均浓度。高斯模式(如 ISC、AERMOD、ADMS)由于其结构简单,对输入数据的要求不高以及计算简便,20 世纪 60 年代以后,在大气环境问题中得到了最为广泛的应用。但近年来城市及区域环境问题如细粒子、光化学烟雾等往往与污染物在大气中的化学反应紧密相关,而第一代模型没有或仅有简单的化学反应模块,这使它们的应用受到了很大限制。但是这些模型结构简单、运算速度快、长期浓度模拟的准确度高,至今仍在常规污染物模拟方面被广泛使用。值得注意的是第一代空气质量模型的划分并不是非常明确,例如 ADMS、AERMOD、CALPUFF 模型应用了 90 年代以来大气研究的最新成果,与传统的第一代模型已有很大不同。

(2) 20 世纪 70 年代末 80 年代初,随着对大气边界层湍流特征的研究,研究者开展了大量室内试验、数值试验和现场野外观测等工作,发现高斯模型对许多问题都无法解答,这逐渐推动了第二代空气质量模型的发展。第二代欧拉数值空气质量模型中加入了比较复杂的气象模式和非线性反应机制,并将被模拟的区域分成许多三维网格单元。模型将模拟每个单元格大气层中的化学变化过程、云雾过程,以及位于该网格周边的其他单元格内的大气状况,这包括污染源对网格区域内的影响以及所产生的干、湿沉降作用等。这类模型在 1980—1990 年期间被广泛应用。这一时期一些三维城市尺度光化学污染模式(如 CIT、UAM 等模式)、区域尺度光化学模式 ROM 以及酸沉降模式(RADM、ADOM、STEM 等模式)开始得到研究。

(3) 第二代空气质量模式在设计上仅考虑了单一的大气污染问题,对于各污染物间的相互转化和相互影响考虑不全面,而实际大气中各种污染物之间存在着复杂的物理、化学反应过程。因此,20 世纪 90 年代末美国环保局基于“一个大气”理念,设计研发了第三代空气质量模式系统 Medels-3 /CMAQ, CMAQ 是一个多模块集成、多尺度网格嵌套的三维欧拉模型,突破了传统模式针对单一物种或单相物种的模拟,考虑了实际大气中不同物种之间的相互转换和互相影响,开创了模式发展的新理念。当前

主流的第三代空气质量模式还包括 CAMx、WRF-CHEM 等。特别是美国大气研究中心 NCAR 开发的 WRF-CHEM 模式考虑了气象和大气污染的双向反馈过程，在一定程度上代表了区域大气模式未来发展的主流方向。

表 3 美国环境空气质量法规性应用模型分类

模型类型	第一代	第二代	第三代
扩散模型	AERMOD, CALPUFF, BLP, CALINE3, CAL3QHC/CAL3QHCR, CTDMPLUS, OCD, ADAM, ADMS-3, AFTOX, ASPEN, DEGADIS, HGSYSTEM, HYROAD, HOTMAC/RAPTAD, ISC3, ISC-PRIME, OBODM, OZIPR, Panache, PLUVUEII, SCIPUFF, SDM, SLAB		
光化学模型		UAM-V, REMSAD	CMAQ, CAMx

3.4 国内法规模型建设现状

3.4.1 我国环境空气质量模型现状

目前国内已具备法规地位的模型有引自欧美主流的 AERMOD、ADMS 和 CALPUFF 空气质量模型，在《环境影响评价技术导则——大气环境》HJ2.2-2008 中以清单方式予以推荐，并在公众网络平台上（环境保护部环境工程评估中心网站）予以发布。发布的内容包括模型的运行程序、技术说明书、用户使用手册、典型应用案例等。在引入时，局地模型 AERMOD、ADMS 与 HJ2.2-1993 导则的模型进行了比较，并采用美国法规模型库中的验证数据进行了比较，保证了推荐模型的一致性、可靠性。目前，上述模型已被广泛应用于各环境管理领域，仅在环境影响评价领域每年就有上万本环境影响报告书使用推荐的模型。

3.4.2 我国环境空气质量法规模型存在的问题

目前我国法规模型体系基本上还是空白，缺少地表水、地下水等领域里的法规模型，即使是大气领域的法规模型也存在很多问题：

第一、大气领域的法规模型不健全，缺乏评估区域复合空气污染问题的区域空气质量模型（如臭氧、酸沉降），有毒污染物爆炸、泄漏扩散等风险模型，人体健康评价模型，还有一些特殊的模型（如冷却塔排烟模型、岸边熏烟模型等）；

第二、推荐模型直接采用美国 EPA 或欧洲等发达国家的法规模型，只与 93 版导则针对预测结果的衔接性进行了一些对比研究，没有采用中国实测数据进行验证，对模型在中国应用的不确定性没有评估；

第三、由于中国特殊的地理特征和工业布局，复杂地形的应用远比国外常见和复杂，现有模型的复杂地形处理不能满足需求；

第四、缺乏标准化的污染源数据格式、移动源、无组织排放、扬尘风沙等排放模型及数据格式体系；

第五、没有长期的发展和更新计划，没有中国原发的研究成果；模型导则不够灵活，特别是缺乏新模型的准入和应用规范；

第六、法规模型的开发和技术支持队伍薄弱。

4 工作指南编制原则与技术依据

4.1 编制原则

科学性原则。科学性原则是法规模型建设的基本准则。法规模型的筛选应方法得当、论证充分、科学实施。

开放性原则。法规模型采用推荐模型与备选模型相结合的方式，只要满足相关需求和模型遴选条件，并能通过模型法规化技术遴选的模型均可进入。

有序性原则。法规模型的建设应根据社会发展、环境保护需求，按先轻重缓急有序开展。

持续性原则。法规模型的建设应作为环境保护中的一项工作，持续进行，使国家环境空气质量法规性应用模型类型不断增加、性能不断提高。

4.2 主要技术依据

本办法编制过程中，参考了如下法律、法规、相关政策、标准等文件，具体包括：

《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》

《环境质量模型规范化管理办法》（试行）

5 技术方法与工作过程

5.1 技术方法与路线

工作指南编制过程综合运用的技术方法包括文献调研法、社会统计调查法、专家评估法等方法。

(1) 文献调研法

通过对有关专业文摘、索引、工具书、以及网络信息资源等文献进行检索，对国内环境质量法规模型的建设现状、存在问题、研究情况、法规认证制度等进行广泛的调查研究。并开展对美国 EPA、英国环保署、及欧盟，以及香港、台湾等国家/地区环境管理部门网站进行调研分析，分析国外环境质量法规模型体系的建设历程及现状，环境质量模型认证制度、体系等现状，形成国外环境质量法规模型调研报告。结合社会统计调查工作，根据我国在环境影响评价、环境保护规划、总量控制等管理过程中对环境质量模型的具体需求，提出我国环境质量模型标准化与法规化的主要方向，提出我国的环境质量法规模型体系框架与发展规划的建议。

(2) 社会统计调查法

通过调查问卷、座谈会、走访和实地考察等形式对国内外环境质量模型使用单位（环境管理部门、环境规划编制单位、环境影响评价文件编制单位），以及模型研发单位等进行调研。调查区域包括东部沿海经济较为发达的天津、广东、江苏、浙江等省市，中部内陆地区如内蒙、安徽、江西、河南等，西部边远地区如云南、宁夏等，结合历年研讨会收集各参会单位对模型的建议和需求，分析国内有关水环境质量与空气环境质量法规模型的建设现状以及管理与应用需求。结合文献调研成果，提出我国环境质量法规模型的评估指标、遴选程序等。

(3) 专家评估法

对空气环境质量模型建立评价指标体系，通过专家、用户等打分，模型比选分析，重点从模型基本理论、适用尺度、应用范围、计算输入输出、计算效率、模拟精度与可靠性、稳定性、通用性、界面友好性及模型共享程度等方面进行系统评估。

拟选择的专家和用户需具有代表性，涵盖环境规划、环境管理、环境评价等多个领域，分布在科研院所、政府机构、环评单位等多个行业。

5.2 主要编制工作过程

1) 2013年5月成立编制组：依托环保公益科研专项重点项目“国家环境质量模型法规化与标准化研究”的科研团队，成立了《环境质量模型法规化管理办法》、《环境空气质量模型遴选工作指南》、《地表水环境质量模型遴选工作指南》等编制组。

2) 2013年7月召开实施方案讨论会：收集国内外有关指南编制的资料；检索国内外模型法规化发展历史及现状、最新发布的相关技术指南。编制组召开实施方案专家讨论会，确定了指南编写大纲及工作进度安排。

3) 2014年3月课题组召开《环境空气质量法规模型认证指南》（初稿）专家讨论会，会后编制组根据专家意见，对文稿进行了相应修改。

4) 2014年4月16日，环保部科技标准司在北京召开第二批大气领域成果专家咨询会，课题组向专家汇报《国家环境空气质量法规模型管理办法》（初稿）。会后编制组根据审议意见，对文稿进行了相应修改。

5) 2014年10月20日，项目组组织召开《国家环境质量法规模型管理办法》（初稿）专家讨论会，对编制组修改完成《国家环境质量法规模型管理办法》（初稿），及配套的《国家空气质量法规模型遴选技术指南（试行）》、《国家水环境质量法规模型遴选技术指南（试行）》及《国家声环境质量法规模型遴选技术指南（试行）》（初稿）进行专家咨询。会后，编制组根据专家意见，再次对文稿进行了修改完善。

6) 2015年4月，环保部科技标准司在北京召开《环境质量法规性应用模型管理办法》及《国家环境空气质量法规性应用模型遴选技术指南》专家咨询会，编制组根据审议意见，对文稿进行了修改编制组根据审议意见，对文稿进行了修改。

7) 2015年5月，编制组根据与环保部科技标准司多次交流的反馈意见，修改完成《环境质量模型规范化管理暂行办法》、《环境空气质量模型遴选工作指南》及配套的编制说明。

8) 2015年7-8月，《环境质量模型规范化管理暂行办法》《环境空气质量模型遴选工作指南》及配套的编制说明在环境保护部内征求有关业务司（局）意见，并进一步修改完善。

6 主要内容及说明

6.1 环境空气质量模型遴选

6.1.1 模型的适用性

适用性主要因素包括模拟的区域尺度、地形，以及模拟的污染源类型、污染物性质、排放方式等。环境空气质量模型大部分是由各种功能模块搭建的综合性模型，不同模型的功能是相互交叉的。环境空气质量模型按不同功能分为六大类，即模拟尺度、污染源、污染物性质、排放方式、地形等、模型原理功能，模型分类体系框架见图 5。法规模型的发展以模型体系框架为方向，并结合需求的轻重缓急，有计划地进行。

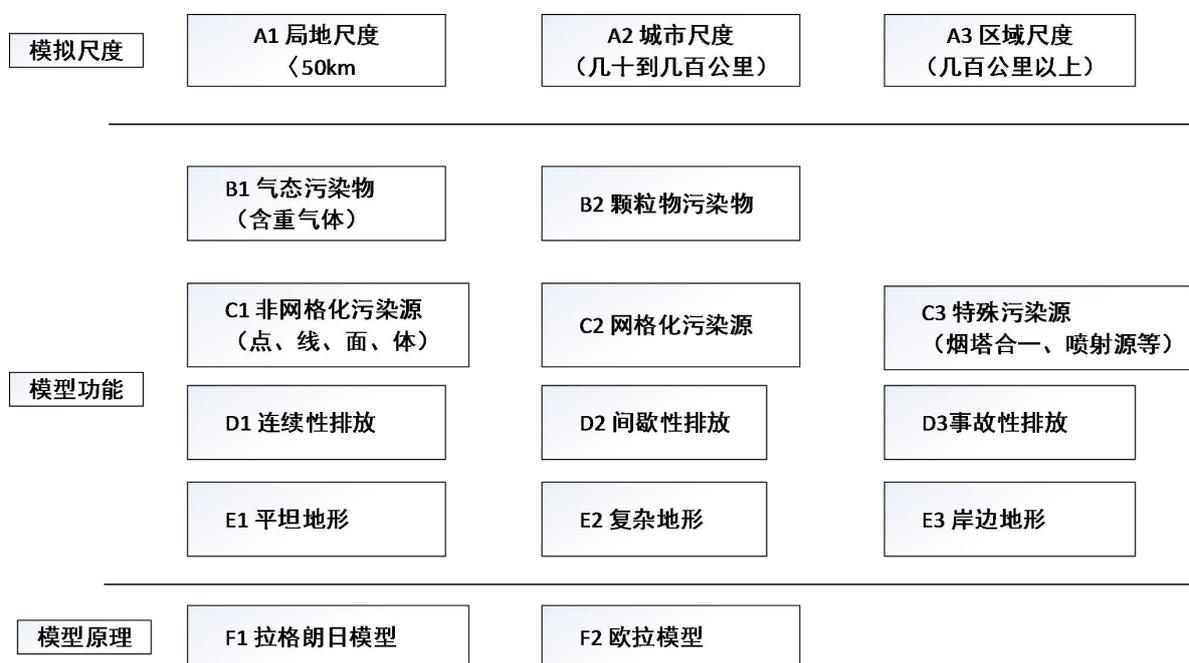


图 5 环境空气质量模型分类体系框架

(1) 按模拟尺度分类，可分为适用于局地尺度（五十公里以下）、城市尺度（几十到几百公里）、区域尺度（几百公里以上）等类别。

(2) 按污染物性质分类，可分为适用于模拟气态污染物（含重气体）和颗粒物污染物等类别。

(3) 按模拟污染源进行分类，可分为适用于模拟非网格化污染源（点源、面源、线源、体源）、网格化污染源和特殊污染源（如烟塔合一、喷射源）等类别。

(4) 按排放方式分类，可分为适用于模拟连续性排放、间歇性排放、事故性排放。

(5) 按模拟地形分类，可分为适用于平坦地形、复杂地形、岸边地形等类别。

(6) 按模型的原理进行分类，分为拉格朗日模型和欧拉模型

6.1.2 模型遴选方案设计原则

环境空气质量模型遴选方案包括遴选主体、遴选程序、遴选标准等多方面的内容。遴选方案的制定遵循“三化”原则。

遴选主体权威化。遴选主体需在环境空气质量模型法规化领域具有丰富经验，能较为准确地把握模型法规化应用领域的需求，同时应当遵循客观独立、公开公正、诚实信用的原则，遴选主体不得与待遴选的商业模型之间存在利益关系。

遴选程序标准化。遴选程序标准化是提高管理和遴选效率、保证公平性的有效手段，标准化的遴选程序可使遴选化繁为简，针对遴选过程中的每一个环节，制定科学化的操作规范，并在通常情况下，严格按照遴选程序进行遴选，防止遴选的随意性。

遴选标准公开化。准入标准公开化、透明化，有利于创造公平竞争、平等准入的环境，有利于推动国内环境空气质量模型的发展。

6.1.3 模型遴选基本方法

模型遴选对象主要来源于模型研发单位申报的模型和模型技术支持机构推荐的模型（不包括自己研发的模型）。本遴选指南将模型分为两大类，1. 按照非网格、简化的输送扩散算法、复杂化学、一般处理局地尺度的高斯模型；2. 网格化包含复杂物理、化学过程算法的输送化学转化模型。

模型遴选主要模型对物理化学过程模拟的科学性进行评估，采用符合主要法规应用需求的案例进行测试。

6.2 模型遴选工作程序

遴选技术工作主要包括模型科学性评估、模型各项性能测试和模型综合指标评价等模型评审工作。

模型研发单位申报模型的遴选工作程序：先由模型研发和应用单位提出申请，并按遴选要求提交相关材料；模型管理部门受理后，组织或委托相关模型技术支持机构对模型进行测评和评估；模型技术支持机构接受环境质量模型主管部门委托后，参考模型申请材料，对模型的原理、功能、适用性、应用情况及验证报告，对照模型评价指标和评价标准进行逐项分析、测评与评审，并从模型准确性、易用性、成熟性等综合指标进行评估，形成评估报告，并提交环境空气质量模型专业委员会；专业委员会结

合评估报告给出同意推荐或不同意推荐的结论，并提交环境空气质量模型专家委员会审议。

模型技术支持机构推荐模型的遴选工作程序：由模型技术支持机构根据环境质量模型规范化的发展需求，比选适用的主流模型，按遴选要求准备模型相关材料；并对模型准确性、成熟性、适用性等综合指标进行评估，形成评估报告，并提交模型环境空气质量模型专业委员会；专业委员会结合评估报告给出同意推荐或不同意推荐的结论，并提交模型专家委员会审议。

对于模型技术支持机构自己研发模型的遴选工作按模型研发单位申报模型的遴选工作程序进行。

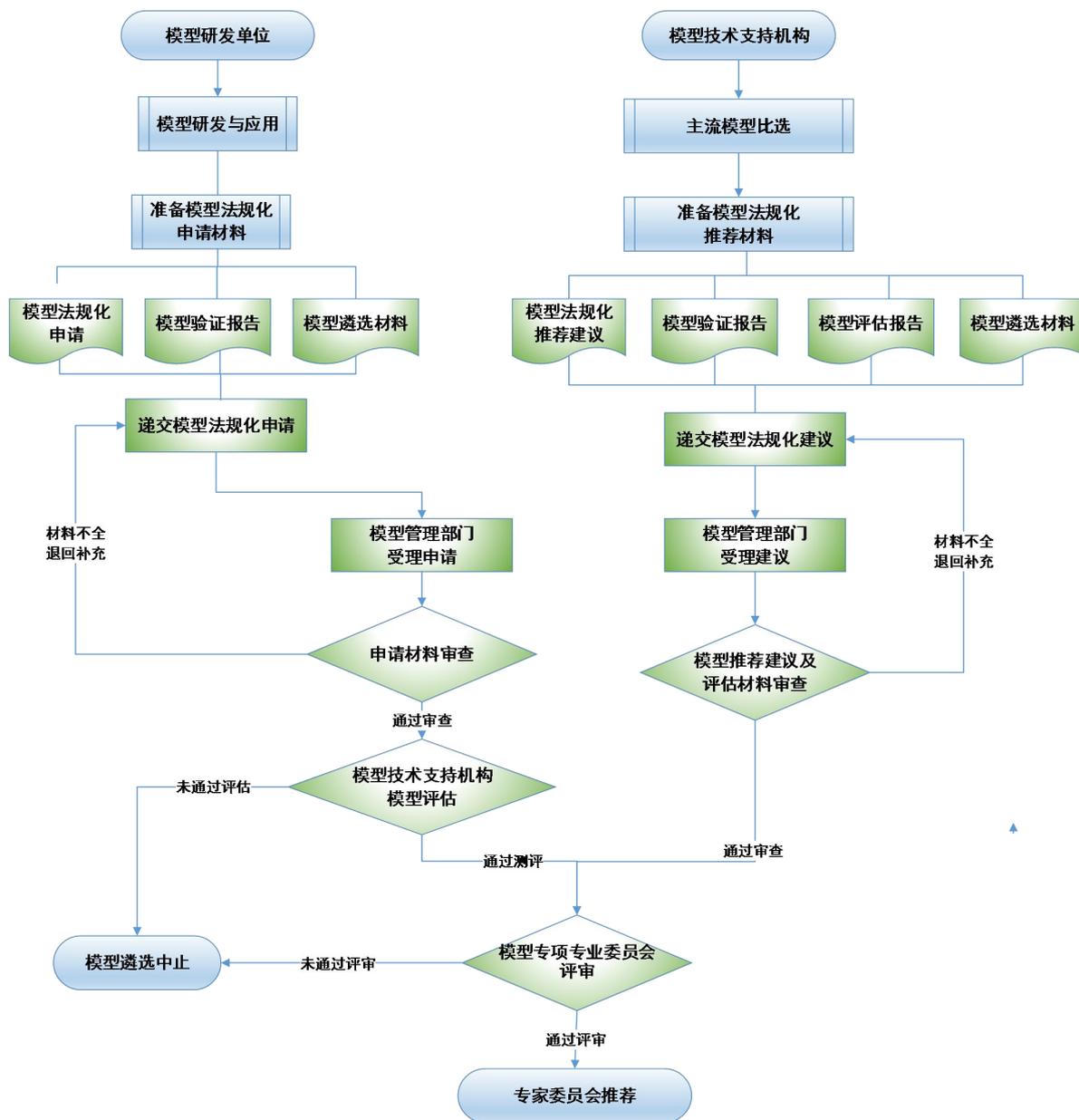


图 6 环境空气质量模型遴选程序

6.3 模型遴选材料要求

模型研发单位需填报《环境空气质量模型规范化申请表》（见附录 A），并随申请表提供模型文档资料清单，验证报告和验证数据，技术支持文档，以及模型应用说明等相关技术资料。

其中模型技术说明包括：模型的科学描述资料，包括物理、化学过程的应用公式描述、数值算法的报告及相关科学论文。

提交验证报告中涉及模型输入、输出的全部数据，验证数据必须是可读的电子文档。模型验证原则上采用模型主管部门发布的验证案例的验证数据，但在发布的验证

案例不适用的情况下,可采用自行提供的并由模型主管部门审核后验证案例进行验证,同时还需递交验证案例的原始数据及案例说明。

技术支持文档包括提供电子版的模型运行程序、程序源码等模型相关资料,并注明模型的版本号,程序源码是否公开。并提交带有模型计算方法的技术说明、模型需要的基本数据等相关说明,用户操作手册,模型更新情况等。

模型应用说明包括模型应用案例,国内外各行业、各领域应用情况,作为其他国家/地区推荐模型的情况,国内外相关研究成果发表情况等模型应用说明。

6.4 环境空气质量模型验证技术方法

6.4.1 模型验证要求

对于自主研发的模型,在模型遴选前应按本办法要求开展模型验证工作。对于已经过模型验证,且验证结果得到同行认可的国际主流模型,在进入法规模型遴选时不再开展模型验证。

根据模型模拟尺度和模型功能特点,模型验证一般需开展两方面工作:与验证案例进行对比,与现有法规模型或国际较为成熟的同类模型进行对比。

6.4.2 验证案例

验证案例一般由模型技术支持中心提供并发布。验证案例一般包括污染源与排放参数、气象数据、土地利用类型数据、地形数据等模型输入数据,以及监测点位、监测结果等监测数据。验证案例详细数据可登陆模型技术支持中心网站(www.lem.org.cn)下载。

当已发布的验证案例无法满足模型验证需求时,可采用经鉴定过的相关科研成果中的验证案例,并做出说明。

本指南提供国内外点源模型验证案例共 18 个(主要适用于高斯模型验证)。其中内蒙古正蓝旗上都镇—平坦地形验证案例,由中国环境保护部发布,其余 17 个由美国环保署发布的,可用于局地尺度点源模型验证。18 个验证案例中包括平坦地形、复杂地形和近海岸,涉及农村和城市两种土地类型,污染源排放高度从近地面源到 240 米不等,污染源有单点源和多点源,监测污染物种类有 SO₂、SF₆ 等,监测点范围从 0.2 公里到 50 公里,监测时间从 26 小时到长达 1 年。验证案例可在模型技术支持中心网站下载(<http://www.lem.org.cn/>)。

表 4 法规模型验证案例及说明

序号	地区	地形	土地利用类型	污染源数(个)	污染物释放高度(m)	污染物类型	监测点范围(km)	监测时间	数据来源
1	内蒙古正蓝旗	平坦	农村	1	240	S02	5	320 小时	中国环保部
2	AGA	平坦	农村	1	9.75~24.4	SF6	0.2	63 小时	美国环保署
3	Alaska	平坦/海岸	农村	1	39	SF6	3	44 小时	美国环保署
4	Baldwin	平坦	农村	1	184	S02	10	1 年	美国环保署
5	Bowline	平坦/海岸	农村	2	87、87	S02	0.85	1 年	美国环保署
6	Clify Creek	平坦	农村	1	208	S02	15	1 年	美国环保署
7	DAEC	平坦	农村	3	1、24、46	SF6	1	30 小时	美国环保署
8	EOCR	平坦	农村	1	1~30	SF6 等	1.6	246 小时	美国环保署
9	Indianapolis	平坦	城市	1	84	SF6	12	170 小时	美国环保署
10	Kincaid	平坦	农村	1	187	SF6	50	375 小时	美国环保署
11	Kincaid	平坦	农村	1	187	S02	20	4613 小时	美国环保署
12	Lee Wind Tunnel	平坦	农村	1	64.8	SF6	0.9	291 小时	美国环保署
13	Lovett	复杂	农村	1	145	S02	3	1 年	美国环保署
14	Martin's Creek	复杂	农村	8	60~183	S02	8	1 年	美国环保署
15	Millstone	平坦/海岸	农村	2	29、48	SF6 等	1.5	26 小时、36 小时	美国环保署
16	Prairie Grass	平坦	农村	1	0.46	S02	0.8	44 小时	美国环保署
17	Tracy	复杂	农村	1	91	SF6	8	128 小时	美国环保署
18	Westvaco	复杂	农村	1	183	S02	3	1 年	美国环保署

6.4.3 模型评价参考流程

模型评价验证技术流程包括：基础数据输入、参数设置、模型运算、结果统计、统计指标计算/统计图绘制、对比分析等阶段。验证流程可参考图 7。

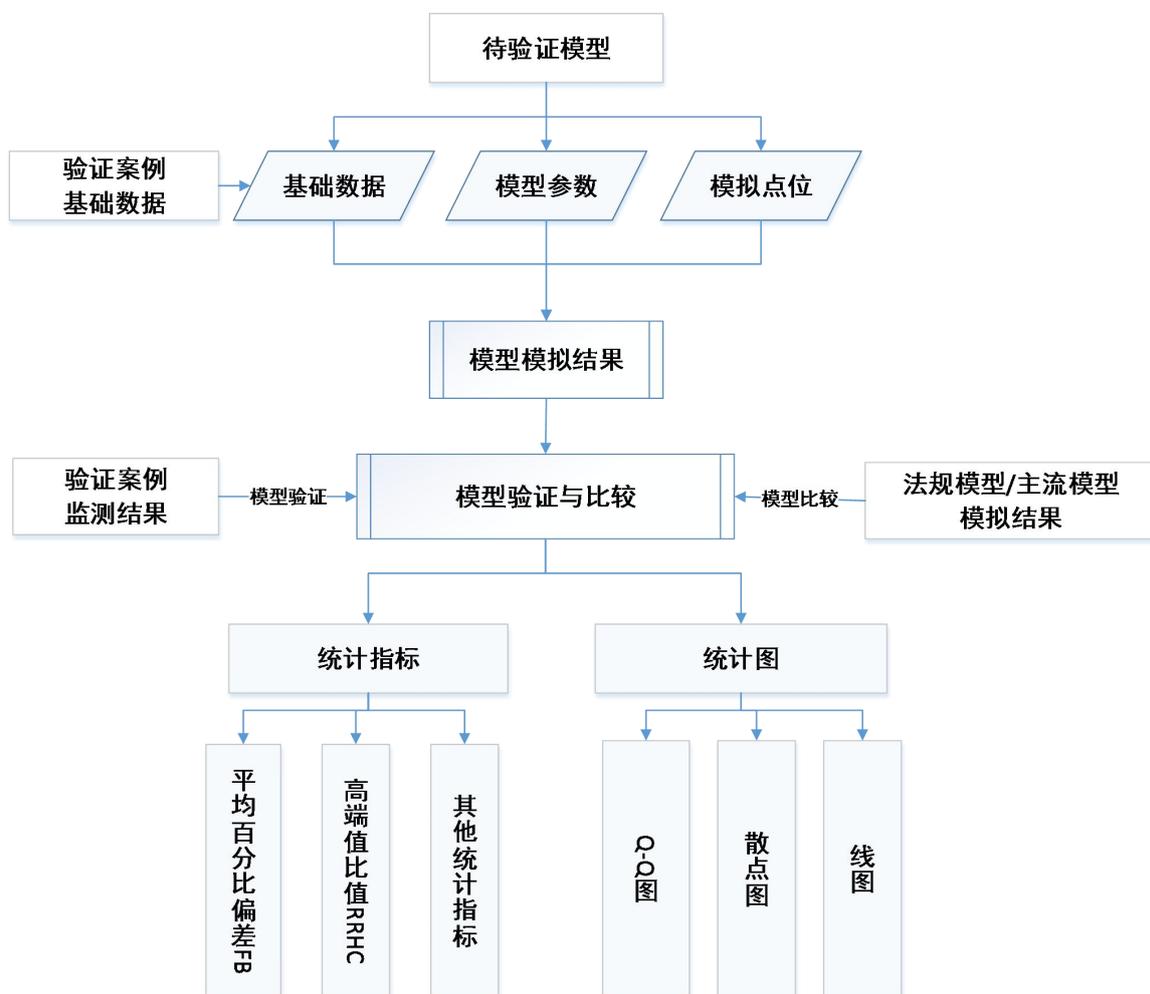


图 7 环境空气质量模型验证程序

(1) 基础数据输入：在模型中输入验证案例中提供的基础数据，如污染源与排放数据、气象数据、土地利用类型数据、地形数据等。

(2) 参数设置与模型运算：在模型中输入验证案例中提供的相关参数，按验证案例要求设置网格与计算点等，进行模型运算。

(3) 结果统计：将模型模拟值与验证案例监测值按地点、时段（小时、日均、年均等）分别进行统计，并统计其高端值、时空配对值。

(4) 统计指标计算/统计图绘制：按照各统计指标计算公式，对模拟值/观测值进行计算；绘制 Q-Q 图、散点图等统计图。

(5) 对比分析：采用统计指标、统计图，将待验证模型与现有法规模型/主流模型进行比较，并分析差异及原因。

模型验证常用的统计指标有：平均偏差、标准化平均偏差、平均百分比偏差、平均误差、标准化平均误差、平均百分比误差、相关系数 (R2)、高端值比值等。模型验证的统计图一般包括 Q-Q 图、散点图、线图。

6.4.4 模型评价方法

(1) 定性分析。采用 Q-Q 图、散点图等统计图方法，对模拟结果进行定性分析。

a) Q-Q 对比图。是对模型模拟值与验证案例监测值分别按值的大小排序，形成的序列对的图。横坐标为验证案例的监测值，纵坐标为模型模拟值。Q-Q 图不在时间或点位上一一对应，只是按值的大小进行排序，主要分析模型模拟值与验证案例监测值的大小分布的一致性。

b) 散点图。也称 XY 图，用于比较成对的数值。散点图是对模型模拟值与验证案例监测值进行时空配对后，形成的序列对的图，通常横坐标为验证案例监测值，纵坐标为模型模拟值。主要分析模型模拟值与验证案例监测值的吻合程度。

(2) 定量分析。采用累积频率误差 (Ef)、相关系数 (Correlation Coefficient, R2)、平均百分比偏差 (Fractional Bias, FB) 与高端值比值 (Ratio of Modeled/Observed Robust Highest Concentrations, RRHC)、标准化平均偏差 (Normalized Mean Bias, NMB)、标准化平均误差 (Normalized Mean Error, NME) 等方法，对模型模拟值与验证案例中提供的监测值进行定量分析。

6.4.5 验证标准

6.4.5.1 验证标准确定方法

在不考虑污染源源强、气象数据等基础数据准确性的情况下，预测值与观测值完全吻合的模型是理想的最佳模型，此时高端值比值为 1，模型平均百分比偏差 (FB) 为 0。但在当前的科学技术水平下，并无满足此类条件的模型。

为衡量模型的性能和预测准确性，给出一个或几个定量指标标准是十分必要的。目前，国际上发达国家虽无明确指定验证指标标准，但已有大量相关研究与管理中实际应用的成果面世。

美国 EPA 于 1992 年发布的《决定最佳空气质量模型的统计学方法与程序》(EPA-454/R-92-025, A statistical procedure for determining the best performing air quality simulation model) 中提出采用高端值 RHC 及平均百分比偏差 (即 FB 值) 对模型进行评估。建议模型对实测值的高估或低估最好在两倍范围内, 即 FB 值为 $-67\% \sim 67\%$, 高端值比值在 $0.5 \sim 2.0$ 的范围。

美国资深模型评估专家 Steven Hanna、国土安全研究与分析研究所 (Homeland Security Studies and Analysis Institute) 研究人员 Joseph Chang 指出, 对于城市模型, 至少应在半数或半数以上验证案例中能达到如下标准: 弧线上最高浓度的平均百分比偏差 (FB 值) 在 $-67\% \sim 67\%$ 范围内, 标准化均方误差 (NMSE) 应小于 6。

Boylan, J. Morris, R 等人在 2004 年召开的国家区域规划组织 (The National Regional Planning Organization, RPO) 模拟大会上建议采用 FERROR 和 FB 作为模型验证的指标, 因其在一般情况下波动较小。同时, 还提出了颗粒物模型的性能目标与标准。其中目标为: $FERROR \leq 50\%$, $-30\% \leq FB \leq 30\%$; 标准为: $FERROR \leq 75\%$, $-60\% \leq FB \leq 60\%$ 。对于有机碳 (OC)、元素碳 (EC) 等, 标准可适当降低。

(1) 区域模型验证结果

根据 2005 年更新的 CMAQ 评估报告 (CMAQ Model Performance Evaluation for 2001: Updated March 2005), 采用 IMPROVE、CASTNet、STN、NADP、AIRS、SEARCH 六大监测网络监测数据开展 CMAQ 验证, 涉及的污染物包括 EC、OC、PM_{2.5}、NH₄、NO₃、SO₂ 等颗粒物/气态污染物。表 6 为 CMAQ 预测结果与 STN 监测网络 EC 观测结果对比统计表。

各监测网络中各类污染物与 CMAQ 预测结果进行对比分析, 其平均百分比偏差 (FB 值) 验证结果统计如表 5 所示。根据统计结果可知, 模型对气态污染物的模拟平均百分比偏差 (FB 值) 范围位于 $-67\% \sim 67\%$ 范围内; 对颗粒物的模拟, 在 60% 置信水平下, 平均百分比偏差 (FB 值) 范围位于 $-67\% \sim 67\%$ 范围内。

表 5 CMAQ 验证结果 FB 范围统计

序号	污染物	100%置信水平下, FB 范围	其余置信水平下, FB 范围
1	EC	-49.11%~46.11%	
2	OC	-64.74%~58.82%	
3	PM _{2.5}	-70.63%~49%	94%置信水平下, FB 值范围为 -53.98%~49%
4	NH ₄	-76.63%~71.52%	94%置信水平下, FB 值范围为 -57.66%~61.04%
5	NO ₃	-147.11%~50.18%	60%置信水平下, FB 值范围为 -66.14%~50.18%;
6	SO ₄	-64.01%~29.17%	
7	HNO ₃	-21.37%~34.52%	
8	SO ₂	-20.89%~57.09%	
9	O ₃	-10.70%~18.31%	

(2) 局地模型验证结果

根据 2003 年 EPA 发布的 AERMOD 验证报告 (AERMOD:Latest Features and Evaluation Results; EPA-454/R-03-003), 采用了 17 个验证案例对 AERMOD 进行验证, 试验物种为 SO₂、SF₆, 对 AERMOD 模型性能衡量采用 Q-Q 图、高端值比值等方法。其中高端值比值见表 6 和表 7。根据结果可知, AERMOD 的高端值比值 RRHC 基本都位于 0.5~2.0 的范围内, 即模型对实测中的高端值高估或低估均在两倍范围。

表 6 AERMOD 与 ISCST3 模型采用无建筑物下洗案例的验证结果

序号	试验场地	物种	高端值比值 RRHC							
			AERMOD				ISCST3			
			小时值	3 小时值	24 小时值	年均高值	小时值	3 小时值	24 小时值	年均高值
1	Prairie Grass	SO ₂	0.89				1.5			
2	Kincaid	SF ₆	0.77				0.68			
3	Kincaid	SO ₂		0.98	0.94	0.3		0.56	0.45	0.14
4	Baldwin	SO ₂		1.24	0.97	0.97		1.43	1.14	0.63
5	Indianapolis	SF ₆	1.11				1.3			
6	Clifty Creek	SO ₂		1.05	0.67	0.54		0.98	0.67	0.31

7	Tracy	SF ₆	1.04				2.81			
8	Martins Creek	SO ₂		1.12	1.78	0.78		7.25	8.88	3.37
9	Lovett	SO ₂		1.03	1.01	0.85		8.2	9.11	7.49
10	Westvaco	SO ₂		1.06	1.07	1.59		8.50 (估计)		

表 7 AERMOD 与 ISCST3 模型采用下洗案例的验证结果

序号	试验场地	物种	高端值比值 RRHC									
			AERMOD				ISC-PRIME					
			小时值	3 小时值	24 小时值	年均高值	小时值	3 小时值	24 小时值	年均高值		
1	Bowline Point	SO ₂		1.14	1.43	1.5				1.23	1.42	1.35
2	Alaska North Slope	SF ₆	1.06					1.49				
3	Duane Arnold Energy Center	SF ₆	0.69(46-m release)					0.76(46-m release)				
			0.25(24-m release)					0.29(24-m release)				
			0.51(1-m release)					0.38(1-m release)				
4	Millstone Nuclear Power Plant	SF ₆	0.44(46-m release)					0.41(46-m release)				
			1.32(29-m release)					1.42(29-m release)				
5	American Gas Association	SF ₆	0.92					0.76				
6	Experimental Organic Cooling Reactor	SF ₆	1.72					1.69				
7	Lee Power Plant	SF ₆	0.51(neutral cases; rural)					0.49(neutral cases; rural)				
			2.50(stable cases; rural)					2.11(stable cases; rural)				

6.4.5.2 指南确定的模型准确性评价

模型验证原则上采用模型主管部门发布的验证案例的验证数据（见附录 C），但在发布的验证案例不适用的情况下，可采用自行提供的验证案例进行验证，提供的验证

案例的适用性必须与要验证模型的适用性一致，验证案例须通过环境质量模型专业委员的评审。

提交的验证报告、模型比较报告应详尽说明模型验证与比较结果的情况，分析模型验证结果和比较结果中存在差异及原因。

如显示的模拟结果不佳时，输入资料在经过严格的敏感性分析测试下，如有明显高估或低估的情形，则允许合理的调整输入资料以获取较好的模拟结果，但调整方案需有完整详细的说明。

采用模型验证案例法时，模型准确性的评价标准，原则上保证模型模拟值与实际监测值之间平均百分比偏差（FB）在 $-67\% \sim 67\%$ 范围内，高端值比值在 $0.5 \sim 2.0$ 范围内；模拟值与实际监测值的Q-Q图与散点图落在2倍范围内，并且模拟值整体不低于实际监测值。

采用模型比较验证法时，模型准确性的评价标准，对于高斯扩散模型，模拟结果与标准比对值之间的95%、50%、5%的累积频率误差应在 $\pm 20\%$ 范围内；相关系数大于0.2，并且模型模拟值整体不低于推荐模型模拟值。

对于区域欧拉网格模型，以标准化平均偏差（NMB）和标准化平均误差（NME）以及相关系数为评价依据来判断模型的准确性，按模拟的二氧化硫（ SO_2 ）、二氧化氮（ NO_2 ）、臭氧（ O_3 ）和细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）等污染物给出对应的评价标准，4种不同污染物模拟准确性的评价标准如下：

SO_2 : $-40\% < \text{NMB} < 50\%$, $\text{NME} < 80\%$, $R^2 > 0.3$;

NO_2 : $-40\% < \text{NMB} < 50\%$, $\text{NME} < 80\%$, $R^2 > 0.3$;

O_3 : $-15\% < \text{NMB} < 15\%$, $\text{NME} < 35\%$, $R^2 > 0.4$;

$\text{PM}_{2.5}$: $-50\% < \text{NMB} < 80\%$, $\text{NME} < 150\%$, $R^2 > 0.3$ 。

6.5 模型综合评价

6.5.1 模型评价指标体系

法规模型因为具有特定用途，不能仅仅考虑模型预测准确性，需要从不同侧面、不同层面加以评价。如果仅采用单一指标，很难做出全面评价。综合考虑法规模型在应用中需要注意的问题，结合多方专家咨询，从模型准确性、易用性、成熟度等方面，

分目标层、准则层、要素层和指标层选择一系列指标，给出各指标的评价标准，综合评价模型的优劣，从众多模型中评价筛选出可优先进行法规化的模型。模型评价指标体系设置见表 8。

表 8 模型评价指标

目标层	准则层	要素层	指标层
模型评价	模型准确性	验证案例一致性	国内验证案例
			国外验证案例
		与同类模型差异性	与已有法规模型差异性
			与同类主流模型差异性
	模型易用性	模型友好性	用户界面
			模型前处理
			模型后处理
			计算时间
			编程规范与代码开源
			共享程度
		技术支持度	模型技术文档
			用户手册
	模型成熟度	模型应用	交流平台
			研发历史
			用户数量
			文献数量
			应用领域

(1) 验证案例一致性：优先采用国内验证案例，根据模型是否与多个验证案例具有很好的吻合度，或能很好地反应趋势进行评价；无国内验证案例时，可采用国外验证案例进行验证。

(2) 与同类主流模型差异性：根据与法规模型或同类主流模型进行对比的结果，及差异、优劣势分析结果进行评价；当存在同类法规模型时，应与法规模型进行比较。

(3) 用户界面：根据用户交互界面的友好程度进行评价。

(4) 模型前处理：根据数据编辑及对第三方软件的数据兼容性进行评价。

(5) 模型后处理：根据模型是否有数据处理及可视化功能，与第三方可视化软件数据兼容性进行评价。

(6) 计算时间：根据同等条件下，模型运行所需要的时间进行评价。

(7) 编程规范与代码开源：根据与同类模型编程语言一致性、代码开放性、编程可读性和可扩展性进行评价。

(8) 共享程度：从收费情况方面进行评价。

(9) 模型技术文档：从模型原理等内容描述的情况方面进行评价。

(10) 用户手册：根据模型使用手册等文档内容是否翔实进行评价。

(11) 交流平台：从提供良好的技术支持和交流平台等方面进行评价。

(12) 研发历史：从研发历史、模型成熟度等方面进行评价。

(13) 用户数量：从模型应用流行度和应用范围等方面进行评价。

(14) 文献数量：根据与模型验证、应用等相关的高质量学术论文的数量进行评价。

(15) 应用领域：根据模型在国内外各领域应用推广情况、行业熟悉程度进行评价。

6.5.2 评价标准

从模型科学性和软件性能等方面进行综合评价。模型科学性包括高斯模型的边界层和大气稳定度、烟气抬升、化学转化、复杂地形和建筑物下洗和绕流、各类污染源的适用性，网格化输送化学转化模型的水平和平流、边界层和扩散、气相化学反应机理、气溶胶动力学和化学机理、云-降水及液相化学反应、气体和颗粒物干沉降、烟气抬升等模块的处理方式及算法，以及模型验证和应用等 20 项指标；模型软件性能包括模型前后处理、计算效率，用户交互界面、共享程度、源代码开放情况、模型技术文档、用户手册等 9 项指标。

通过 29 项指标对模型进行评价，每项评价指标按附录 B 的评价标准分为优、良、中、差四个等级进行客观打分，采用匿名专家主观投票的方法进行综合评价。

6.5.3 模型测评报告

模型技术支持机构根据《环境质量模型规范化管理办法》规定的职责，开展模型资料初审、模型指标测评、模型验证结果核查等模型评估工作。对受理的申请表及提交的相关资料的完整性、真实性进行初步审查；按模型指标评价方法对模型各项指标和性能进行打分；对验证报告使用的验收案例进行核查，对验证数据进行抽测；经初审、测评、核查后，形成模型评估报告，并提交环境空气质量模型专业委员会。

6.5.4 专家评审与推荐

模型专业委员会结合模型原理、功能、适用性、应用情况以及模型技术支持机构提交的模型评估报告进行评审，根据评审结果按同意推荐或不同意推荐给出结论。

不低于三分之二的专业委员评审意见为同意推荐的，视为通过模型规范化遴选，由环境空气质量模型专业委员会向环境质量模型专家委员会提出推荐建议。

6.6 指南附录

指南附录包括：附录 A（参考性附录）环境空气质量模型规范化申请表

附录 B 环境空气质量模型评价标准

附录 C（参考性附录）环境空气质量模型验证案例库

附录 D（参考性附录）环境空气质量模型规范化申请报告参考目录

7 指南实施建议

1) 规范环境质量模型的标准化应用。在国家层面设立专项科研经费，用以支持国家法规模型的建立。一方面，对急需引用的国际主流环境质量模型所需的参数，研究出本地标准化的参数，以减少由于模型参数的非标准化选择带来的计算结果的差异。另一方面，还需加强国家层面上的模型验证案例的研究工作，建立统一的模型检验标准，为模型法规化与标准化奠定基础。

2) 加大基础数据资源整合力度。环境质量模型在应用过程中所需的基础参数包括背景污染源、环境敏感点、气象、水文、地质、地理、土地利用等，但这些基础数据通常都掌握在不同的管理部门，基础参数及数据信息缺乏互通、共享机制。建议国家加大数据资源整合力度，统一解决基础数据资源共享问题。

3) 建立国家法规模型共享与服务平台。集成国家技术力量、数据资源、硬件能力等优势，采用云计算技术，搭建国家环境质量推荐模型服务平台。用于发布模型运行程序、用户手册、技术文档、模型验证案例等推荐模型技术支持文件，同时还利用 B/S 架构，提供环境质量模型调用服务，以规范模型标准化应用问题，和解决地方管理部门技术力量不足等问题。