

# 第1章 引言

理想世界中，科学家和公众可能会对造成环境和人类健康问题的有关因素有精确、完整和毫无争议的信息。这些信息和分析将使决策者能精确无误地判断何种管理法规会给人类健康和环境带来可计量效益，确定监管控制的相关费用以及制定用于降低暴露危害概率的控制措施的时间计划表。决策者将能精确地预测这些预期的法规是否会导致失业或反而催生新的方案，人类社群是否会遭遇困扰或得到激励，这些法规是否会不合理地承受来自受其影响的产业、国家机构和部族部落的压力。即使缺乏可用信息，决策者至少可以分析信息中的不确定性及其对公众健康、经济和广大公众的预期影响。此外，在理想世界里，所需的必要信息及分析的时间、品质、数量不受限制，所以决策者能利用相关数据顺利地做出决策。

然而在现实世界，决策者并没有那么全面的信息来支撑决策以及预测这些决策将带来的影响和后果。尽管存在这些不确定性，还是必须做出决策。影响环境决策的多重因素(包括人类健康风险)的可用数据，很少包含所有相关的考虑事项。例如，在动物实验中得出的测试物质的毒性效应可能是明确无争议的，但人类暴露于同一物质环境中可能存在这种潜在风险或许就不确定且争议不断。在一些地方，某种化学品的环境暴露标准对人群来说是可测量和复制的，但在其他地方就只能适用于特定的模式判断。研究者或许有数据证明某地的土壤中含有某种污染物，但却没有数据信息判定居民们是否暴露在这种污染物中。更重要的是，居民是否处在潜在危害边缘。依据某种数据，运用熟练的方法量化不确定性也许是可行的，但没有试验过其他数据则对其效用也不确定，而且收集额外的信息需要时间和资源。因此，数据和分析常常存在不确定性，决策又总是基于充分理解和欠充分理解信息的结合。

为符合其“保护环境和人类健康(US EPA, 2011)”的使命(见专栏 1-1)<sup>①</sup>，US EPA 评估了环境和人类健康风险的性质、大小及可能性，确定了减少这些风险和最大限度保护环境及公众健康的可能的监管措施<sup>②</sup>。同时，在决定恰当的监

---

① 本报告所讨论的多条原则同样适用于生态风险评估和决策制定，但因为委员会重点关注人类健康，因此本报告提出的问题仅与 EPA 任务中人类健康部分有关。

② 本报告中，当提及 EPA 任务时，委员会通篇使用术语“公众健康”。委员会使用“公众健康”这一术语，包括整个群体和个人或整个群体中的个别亚群体。

管措施时，将其他因素也纳入考虑保护公众的必要性。其中的每个步骤都含有不确定性，这些不确定性可以定性或定量地评估，或定性评估与定量评估并用。US EPA 所面临的挑战，是决定如何充分开发和利用对决策过程中数据和分析的不确定性评估。

### 专栏 1-1

#### 美国环境保护署的使命

美国环境保护署的使命是保护环境和人类健康，尤其要：

- 确保所有美国民众在他们所生活、学习和工作的地方免受重大健康风险；
- 确保利用全国力量来降低根据现有的最科学的信息而得出的环境风险；
- 确保保护环境和人类健康的联邦法律公平、有效地得到强制执行；
- 确保环境保护在美国的自然资源、人类健康、经济增长、能源、交通运输、农业、工业和国际贸易的相关政策中成为必不可少的考虑事项，而这些因素同样要在环境政策的制定中加以考虑；
- 确保社会各界，包括团体、个人和企业，以及国家政府、地方政府和部落政府，可以充分利用精确的信息有效地参与到控制环境和人类健康风险的活动中；
- 确保环境保护有助于建立多样化的可持续发展社会，促进经济增长；
- 让美国和其他国家一起保护全球环境，并起到带头作用。

来源：US EPA, 2011

## 1.1 不确定性和环境决策

人类健康风险评估<sup>①</sup>，是美国环境保护署用于制定控制环境和人类健康管理决策的最有力的手段之一。有史以来，美国环境保护署的决策制定中对不确定性的分析和考虑，一直专注于人类健康风险评估所使用的数据和分析中的不确定性，包括暴露科学、毒理学及建模等领域基础科学的健康风险评估。

人类健康评估的主要目标是形成一个表述——“风险表征”，该表述是关于

<sup>①</sup> 人类健康风险评估是一个系统性过程，在这个过程中，组织和评估科学信息以及其他与对人类健康造成威胁的性质和量级有关的信息(NRC, 1983)。

暴露在一个给定源或某些情况下的复合源中人类健康受到危害的可能性。风险表征应当包含对与评估相关的、科学上的不确定性及其对评估的影响的陈述，包括技术专家对评估结果所具有的信心的清晰描述。这些信息将供美国环境保护署在做出管理决策时使用(US EPA, 2000; NRC, 2009)，同时也供公众使用。健康风险评估中的不确定性可能起源于这些问题，例如，关于“如何从暴露在一种化学品或与人类暴露的相关的其他化学品的动物暴露实验中得到数据”抑或如何从各种化学品暴露(尤其是低剂量化学品暴露)间关系的不确定性，以及某种健康危害的不确定性。

指导美国环境保护署决策的法令和流程表明，数据和分析中的不确定性因素在决策过程中有合法性和可推断性的一面。国会、法院，以及像美国国家研究委员会这样的咨询机构，已经意识到人类健康风险评估和环境决策中不确定性的必然性。而且在某些情况下，这促使美国环境保护署在决策过程中特别关注该必然性。因此，作为美国环境保护署决策考虑的一部分，不确定性的起源、必然性及合理性具有法律依据和科学依据。以下将讨论这两大依据。

### 1.1.1 法律依据

为完成使命，美国环境保护署出台了管理条例来管理国会授权的项目。虽然管制美国环境保护署的法令对人类健康风险评估中的不确定性并不总提供明确的参考，但一些法令仍清楚地暗示美国环境保护署可使用的信息具有不确定性，并允许该机构在制定规章过程中依据此不确定性信息。换句话说，美国环境保护署在出台管理条例时，考虑和说明不确定性的必要性在该机构的管理法则中是隐含的。例如，只要环境和人类健康安全系数达标，空气<sup>①</sup>和水<sup>②</sup>的相关法令认可并允许决策中不确定性的存在；其他法令则需要该机构判定可能的环境危害并保证未来不会对环境对人类健康造成危害<sup>③</sup>。国会明确承认除人类健康风险外，其他因素也存在固有的不确定性。例如，“合理确定的规则带来的经济影响”<sup>④</sup>这一陈述表明，国会承认在制定管理决策时，数据和信息可能不完整、具有争议或适用于各种解释结果，抑或在制定规章时，现有数据和信息的使用需要对将来未知或不确定的事件与情况做出假设。尽管法规条文显得含糊和不完整，事实上这种条文纳入国会法律，表明它认可美

① Clean Air Act Amendments of 1990, Pub. L. No. 101-549 (1990).

② Clean Water Act Amendments, Pub. L. No. 107-377, Sec. 1412(b)(3)(B)(iv) (1972).

③ Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act of 1947, Pub. L. No. 80-104 (1947).

④ Toxic Substances Control Act of 1976, Pub. L. No. 94-469, Sec 6(c)(D) (1976).

国环境保护署谨慎地解释该法令并根据工作经验、专业知识和决策必备条件来制定办法。

此外，一些法令明确授权美国环境保护署向国会和其他实体机构以报告形式陈述不确定性。例如，美国《清洁空气法》(CAA)<sup>①</sup>要求美国环境保护署向国会报告“风险评估方法和其他健康评估技术的不确定性，以及对任何降低这种风险的社会努力造成的不良健康和环境后果”；美国《清洁水法》(CWA)修正案<sup>②</sup>要求美国环境保护署在对外公开的公文中规定“在切实可行的范围内，识别在公共健康影响评估和协助解决不确定性的研究过程中出现的每种重大不确定性”。

另外，一些法规包含的许多条款，详述和阐明了关于人类健康风险评估中有关不确定性的立法目的。例如，1996年美国颁布的《食品质量保护法》(EQPA)明确指定以下关于农药的审批：“在阈值效应情况下，婴儿和儿童的农药残留物安全系数标准应是普通人的十倍”<sup>③</sup>。1996年《安全饮用水法修正案》(SDWA)同样明确陈述了人类健康风险评估及评估不确定性的情况：

管理者必须在公众知道的、用于支持该章节管理条例的公文中详细说明(可行范围内)：

1. 参与任何公共健康影响评估的每个群体；
2. 特殊人群的预期风险和风险的重点评估；
3. 合理的风险上限估计及下限估计；
4. 公共健康评估过程中识别的重大不确定性及能协助解决不确定性的研究；
5. 直接与支持或不支持调解科学数据中矛盾相关的方法及任何公共健康影响评估的、管理人员所熟知的同行评审研究。<sup>④</sup>

实际上，法院在美国环境保护署早期就已拥护该机构的法律权威，支持该机构必要时对决策过程中的不确定性做出解释。例如，1980年，通过支持美国环境保护署决策和当时关于颗粒物的新法案《国家环境空气质量标准》(NAAQS)的决策，哥伦比亚特区巡回审判辖区美国上诉法院认可并扩展了美国环境保护署解释不确定性的需要<sup>⑤</sup>。在确认美国环境保护署依据《清洁空气法》颁布的管

① CAA Amendments of 1990, Pub. L. No. 101-549, Sec. 112(f) (1) (C) (1990).

② CWA Amendments, Pub. L. No. 107-377, Sec. 1412(b) (3) (B) (iv) (1972).

③ 42 U.S.C. § 346a(b) (2) (C) (1996).

④ SDWA Amendments of 1996, Pub. L. No. 104-182, § 300g-1(b) (3) (1996).

⑤ 40 CFR pt. 50.

理条例时，法院指向“该空气法案预防方向”<sup>①</sup>，提到“空气污染对健康的影响的不确定性是必然的”<sup>②</sup>以及“国会规定，管理者必须运用他的判断精确设置空气污染标准，以帮助他在不确定性存在的情况下能采取行动”<sup>③</sup>。

### 1.1.2 科学依据

作为一门学科，不确定性在科学界被看作测量方法中自然合理的一部分，因而也就被看作用于决策的技术数据中能预料的一部分。要取得科学进步，“不确定性”“差异性”及“不一致性”往往必须为实验的新路线和新发现指明方向(Lindley, 2006)。然而，理解和不确定性存在情况下的变异性与更二元、更绝对的、围绕美国环境保护署的管理决策与法庭决策中的变异性大相径庭。为缩小两边的差距，科学界已努力向管理条例决策者提供更全面的风险评估观点，以及许多已发布的关于注重管理决策的科学报告，并在一定程度上关注支持人类健康管理条例决策的信息中所含有的不确定性及其含义。

过去30年来，《美联邦政府的风险评估：管理评估过程》(后面简称《红皮书》)(NRC, 1983)的原始报告概述的两个核心主题是：(一)人类健康风险评估中相关不确定性的特殊含义；(二)风险评估与风险管理之间的交界面，即估算风险与决定如何管理这些风险之间的界面。这两个核心主题支配着美国环境保护署的健康风险评估及决策的核心部分。对于不确定性的陈述，《红皮书》(NRC, 1983)注重风险评估方面的不确定性，在一定程度上专注于经济分析方面的不确定性：“‘化学药剂的健康效应类型、可能性及大小评估，提议的监管措施造成的经济效应评估’，抑或是当前和可能的未来人类暴露范围评估，这三种评估通常具有高度不确定性”。这篇报告强调，有必要将不确定性列为健康风险的一个特性：“在这一步骤中也将描述‘先前步骤中不确定性’的总体反应”。同时，还强调了传达不确定性的必要性及缺乏如何去实施传达这一步的指导：“风险的最终表述由‘风险表征’衍生而来，将为管理条例决策者所使用……在表达基本数据的不确定性及其哪种剂量反应评估与哪种风险评估应当相

① Lead Industries Ass'n, Inc. v. EPA, 647 F.2d 1130, 1155 (D.C.Cir. 1980), 64 [http://openjurist.org/647/f2d/1130/lead-industries-association-inc-v-environmental-protection-agency].

② Lead Industries Ass'n, Inc. v. EPA, 647 F.2d 1130, 1155 (D.C.Cir. 1980), 63 [http://openjurist.org/647/f2d/1130/lead-industries-association-inc-v-environmental-protection-agency].

③ Lead Industries Ass'n, Inc. v. EPA, 647 F.2d 1130, 1155 (D.C.Cir. 1980), 63 [http://openjurist.org/647/f2d/1130/lead-industries-association-inc-v-environmental-protection-agency].

结合以对潜在风险给出最终的评估方面，几乎没有指导可以帮助解决。”<sup>①</sup>

仅仅 10 年后，为响应其职责，《风险评估中的科学与判断：管理评估过程》(NRC, 1994)将目光投向评估人类健康风险以及量化这些评估中的不确定性的统计方法上。根据该报告，美国环境保护署将极大的注意力放在量化和表达健康风险评估中的不确定性方面。

《认识风险：了解民主社会里的决策》(后面简称《认识风险》)(NRC, 1996)讨论了管理条例决策(包括美国环境保护署制定的决策)在大范围背景下评估健康风险所固有的不确定性。委员会写道：“近年来，评估、描述和呈现不确定性的分析方法及解析不确定性成分的方法在发展中取得了重大进步，用于分析不确定性的明文规定的指导方法也可供决策者使用。然而，委员会注重不确定性在分析风险特征中的作用；而在讨论不确定性时，着重于不确定性分析作为评估、考虑和认识风险的有效迭代过程中的一部分所扮演的角色。”同时提议“或许最需要的是识别和关注这些对认识风险状况及对其做出决策至关重要的不确定性”，强调了“社会因素、文化因素和制度因素在决定不确定性如何在支持风险表征工作中被考虑、解决或忽略的重要意义”。换言之，《认识风险》强调了解释人类健康风险评估不确定性的主观性，以及被社会文化因素(如公共价值和偏见等因素)影响的主观性如何影响不确定性的特征分析。

美国总统/国会委员会关于风险评估和管理的最终报告(1997a)介绍了一个面向环境风险决策的风险管理框架(见图 1-1)。构造此框架的三大原理：一、将健康问题和环境问题放在更广阔的真实情境中<sup>②</sup>；二、在适当可行的情况下，让利益相关者参与到风险管理过程的所有阶段；三、新信息出现时，为风险管理者(这里特指决策者)和利益相关者提供重审框架各个环节的机会。当讨论日常风险评估中健康风险特征分析的不确定性时，该报告建议定性描述不确定性而非定量分析，因为“对决策者和公众来说，定性的方法可能比定量评估和定量模型更实用、更易理解”。在该报告第 2 卷，委员会进一步讨论了不确定分析，着重于健康风险评价和经济分析(美国总统/国会委员会论风险评估和管理，1997b)。然而研究表明，对定性描述的解释因人而

① 作为对此报告和随后的 NRC 报告重点的回应，EPA 将风险特征看作风险评估的基本要素。重要的是，在评估过程中收集不确定性分析，为决策者进行描述。出于这个原因，EPA 指导文件中的风险特征几乎总是包括不确定性。类似地，在其他事情当中，“透明性”几乎总是包含完全披露不确定性这一理念，所考虑选项的基本原理以及做出的选择。

② “本文中的评估问题涉及评估特定化学品的不同来源或化学品接触，考虑到其他化学品(那些能影响某一风险或造成其他风险的化学品)、评估其他类似风险，以及评估不同接触程度对健康造成的影响”(Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management, 1997b, 第 5 页)。

异 (Budescu et al., 2009; Wallsten and Budescu, 1995; Wallsten et al., 1986)。进一步的讨论请参考第 6 章。

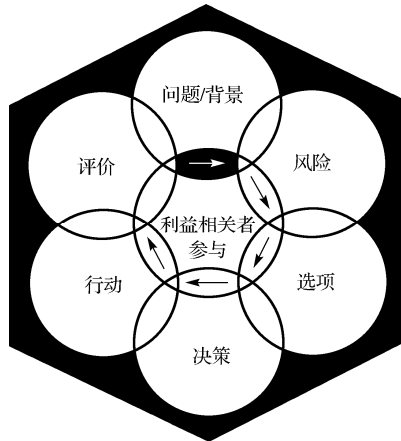


图 1-1 《美国总统/国会委员会论风险评估和管理》关于风险管理决策的管理框架。委员会设计此框架来“帮助所有类型的风险管理者(如政府官员、私营商业机构和民众)做出合理的风险管理决策”。该框架包含 6 步：明确问题或背景；分析背景问题中的相关风险；审查处理风险的选项；决策实施哪个选项；采取行动实施决策；评价行动结果。此体系应当协同利益相关者实施，如果开发新的信息资源改变了风险管理的性质或需要，应该运用迭代的方法实施(来源：《美国总统/国会委员会论风险评估和管理》，1997，第 3 页)

《科学与决策：推进风险评估》(NRC, 2009)强调风险评估是一门应用科学，用于帮助评价风险管理选项，因此在进行风险评估时应将这一目的考虑在内；进一步阐述了“对所有风险评估中固有的不确定性和变异性的描述也许会复杂或相对简单；描述的详细程度应与给风险管理决策提供信息的必备条件相匹配”(第 5 页)。该报告建议美国环境保护署采用三阶段结构，“在评估早期对风险管理选项做一个广泛的探讨，让利益相关者在整个过程中踊跃参与，在大范围的机构项目中考虑使用生命周期式方法”。这个结构的第三阶段，即风险管理阶段，包括识别除人类健康风险评估外影响管理条例决策或被该决策影响的因素。这些因素包括以上讨论的法令要求美国环境保护署考虑的因素，如技术与成本因素。然而，《科学与决策：推进风险评估》并没有讨论这些因素中的不确定性以及不确定性如何影响美国环境保护署的决策。

最近，《美国食品药品监督管理局的决策风险表征结构》(NRC, 2011)强调了“风险表征应当重视决策”，认为“选择性的决策对健康的可能影响，而不是比较不同的健康危害和环境危害”。除人类健康风险外，这篇报告探讨了在某些情况下美国食品药品监督管理局决策时考虑的其他因素，如社会因素、政

治因素和经济因素。<sup>①</sup>这些因素通常与人类健康风险紧密相连。该报告简要讨论了风险特征分析(风险表征)中的不确定性,并没有对在 美国食品药品监督管理局决策中起作用的其他因素的不确定性进行探讨。

过去几十年,隶属于美国环境保护署的科学咨询委员会已经提出在风险评估与决策中考虑各种不确定性的重要性。例如,科学咨询委员会强调了辐射评估(US EPA, 1993, 1999b)、《清洁空气法》法案(US EPA, 2007)、微生物危险性评估(US EPA, 2010b)、专家的引导(US EPA, 2010b)及风险构架对比法(US EPA, 1999a)中不确定性的重要性。

这些报告对风险评估科学、不确定性分析科学和环境管理条例决策科学做出了巨大贡献。尽管其中有大量报告越过健康风险评估探讨了影响管理条例决策的因素,但在讨论决策的不确定性分析和应用时,这些报告侧重于人类健康风险评估中的不确定性;而通常对管理条例决策中要考虑的其他因素的固有不确定性不进行探讨。本报告拓宽了对不确定性的探讨,包含了除人类健康风险评估以外的其他因素的不确定性。

## 1.2 背景与委员会职责

美国环境保护署的重要环境法规需要该机构开发和利用科学数据与科学分析来评估潜在的人类健康风险(例如,《清洁空气法》第 108、109 节<sup>②</sup>,《联邦杀虫剂、杀真菌剂和灭鼠剂法》(FIFRA)第 3 节<sup>③</sup>,《美国有毒物质控制法》(TSCA)第 4 节<sup>④</sup>)。因此,科学信息内部的不确定性因素(即数据和分析资料)被纳入了健康风险评估过程中。坚实的数据库能够使任何特定化学品经受监管审查,而不确定性因素总是质疑风险评估的可靠性和相关管理条例决策的科学可信度。由于某些方面对不确定性的解释带有主观色彩,不同的风险评估员、监管者和观察员会从不同角度运用风险评估和不确定性分析,从而得出了不同的解释。

不确定性的存在延误了每个决策,因为人们认为或是力争悬而未决的问题需要更明确的答案,并且通过研究来提供问题的答案。然而很遗憾的是,研究并不总能提供明确的信息,也许根本不可能获得非常明确的信息;或者能获得,

---

① EPA 将经济因素定义为“通知经理关于风险成本和减少风险的利益,风险缓解成本或补救选择以及分布影响”(EPA, 2000, 第 52 页)。当讨论经济分析时,通过使用分布分析法,EPA 包括净社会利益的检查,对工业、政府和非盈利组织的影响,以及对各种亚群体,特别是低收入和少数个体和儿童的影响(EPA, 2010a)。

② CAA of 1963, Pub. L. No. 2-206 (1963).

③ FIFRA of 1947 to regulate the marketing of economic poisons and devices and for other purposes, Pub. L. No. 80-104 (1947).

④ TSCA, Pub. L. No. 94-469 (1976).



但需要更多的除可利用时间和资源之外的额外时间和资源。在许多例子中，额外的研究可能会解决某种不确定性，但同时又会滋生新的不确定性。由于延误保护措施的实施，不确定性对决策的延误会威胁到公众的健康。尽管不确定性的存在，报告《评估提议的空气法对公众健康的效益》中这些内容都强调了做出决策的必要性：“即使重大的不确定性也不意味着促进和保护公共健康的行动应当被推迟……通过研究来改善决策的可能性必须与公共健康费用相平衡，因为控制措施的实施会被延迟。完全确定性是一个不可能实现的理想。”(NRC, 2002, 第 127 页)因不确定性而延迟风险评估会减少先前的实践，这些实践可以弥补给定化学物信息缺乏的不足，为评估者提供有科学依据的一贯方法。例如，通过从动物数据到人类数据、高剂量到低剂量的推断，运用不确定性因素，做出暴露设定，或通过依靠其他预设值的方法。利用单一的定性分析方法或烦琐的定量方法，推迟决定也会低估不确定性的评估。

美国环境保护署在风险评估中处理不确定性分析时拥有一套日益复杂的方法。这些方法对于做决策以及美国环境保护署决策的传达带来了新的挑战，包括需要深思熟虑后决定何时需要使用不同方法、怎样向非技术人员的利益相关者充分传达复杂的统计分析。与不确定性不同，透明性和科学严谨性并没有阻止决策，而是被用于帮助确保负责任地使用不确定信息。然而，这忽视了对人类健康风险评估中的不确定性及美国环境保护署在决策中起一定作用的其他因素的不确定性的关注。

考虑到不确定性存在下决策所面临的挑战，美国环境保护署要求美国医学研究所(IOM)召开委员会，以此来为其决策者以及这个国家和地区的工作伙伴在面对不确定性时，为控制不同情况下的风险提供指导方法。美国环境保护署同样需要寻找方法来指导不确定性信息怎样被呈现，以全力帮助决策者做出正确的决策并增加这些决策对公众的透明度。

美国环境保护署特别指出：“根据现有的文献、理论和经验，委员会将对如何充分使用评估过程中不确定性的定量信息提供最准确的判断和基本原理，以控制影响人类健康的环境风险，并向人们传达这个信息”<sup>①</sup>。美国环境保护署要求委员会处理的具体问题将在专栏 1-2 中详细介绍。

### 专栏 1-2

#### 关于委员会的任务声明

根据现有的文献、理论和经验，委员会将对如何充分使用评估过程中不

<sup>①</sup> 与其诉求一致，本报告中委员会关注“与人类健康有关的环境风险”，并没有直接提出生态风险评估。然而，委员会注释，本报告所讨论和制定的多条原则同样适用于与生态风险有关的决策。

确定性的定量信息提供最准确的判断和基本原理，以控制影响人类健康的环境风险，并向人们传达这个信息。

明确规定，委员会将处理以下问题：

- 在不同的健康政策预案下，不确定性怎样影响风险管理？
- 在公众健康决策的其他领域有什么具有发展潜力的新方法或新技术？这些方法对美国环境保护署的决策者及其工作伙伴来说有什么利弊？
- 是否有其他方式能让美国环境保护署从不确定性的定量特征分析中获益（如，能告知研究优先顺序的信息技术价值）？
- 传达不确定性的什么方法能确保风险信息得到合理利用？何种沟通技术能加强风险信息使用者（如风险管理者、新闻工作者及民众）对不确定性的理解？
- 美国环境保护署在使用这些可能的方法做决策和传达不确定性时将会面临哪些执行挑战？应采取什么措施来应对这些挑战？是否有临时方法可供美国环境保护署使用？

## 1.3 会议过程

美国医学研究所召开了一次专家会议<sup>①</sup>，这些专家分别来自不同领域，包括风险评估、公共健康、健康经济学、决策分析、公众政策、风险沟通及环境和公共健康法领域（见附录 B 关于委员会成员的介绍）。委员会共举行了五次会谈，其中包括两次公开会议：委员会成员和外来专家一起讨论了相关问题，并讨论了美国环境保护署的职责。附录 C 呈现了公开会议议程。

## 1.4 委员会处理其职责的办法

### 1.4.1 报告的听众

委员会把美国环境保护署决策者作为本报告最主要的听众，而且让报告也面向其他环境专业人员、新闻工作者和对决策有兴趣的观察员。

---

<sup>①</sup> Michael Taylor 和 Robert Perciasepe 分别自委员会辞职，因为两人各自在食品药品监督管理局和 EPA 有所任命。Steven Schneider 于 2010 年 7 月去世。这三名成员对本报告的制定做出了重大贡献，但在最终报告批准里并没有提到他们。

### 1.4.2 “任务声明”包含的问题

委员会发现阐明“任务声明”里的问题很有益处。委员会被提问：“不确定性在不同的健康政策预案下怎样影响风险管理？”然而，委员会发现，周密考虑不确定性怎么能够或应当怎样影响决策及帮助决策者更为重要，而不是关注当前它怎样影响风险管理决策。

尽管委员会职责中强调了“怎样充分利用不确定性的定量信息”以及“美国环境保护署怎样从不确定性的定量表征中获益”，职责的其他方面需要越过度量分析而更广泛地考虑不确定性。例如，“不确定性在不同的健康政策预案下怎样影响风险管理”“来自决策过程其他领域的方法和技术”以及“用于沟通不确定性的什么方法能确保风险信息得到合理利用”的问题，需要同时考虑不确定性的定性分析和定量分析。不确定性的描述性叙述和定性叙述对决策者乃至公众都有指导意义，而且通常比更多的技术性定量分析更易于利用和理解。事实上，有时运用描述性叙述或同时运用描述方法和定量方法更合适。因此，委员会把其职责解释为需要同时用描述分析法和定量分析法，或同时用叙述分析和数值分析法对决策的不确定性进行审查。

### 1.4.3 不确定性来源：影响决策的因素及其不确定性

美国环境保护署的决策过程涉及各种各样的法律、活动、参与者和决策产物。国会颁布的法规和行政令为美国环境保护署决策过程中的考虑事项确立了基本准则和主要组成部分(见表1-1的举例说明)。然而，健康影响是美国环境保护署所有决策中的重要组成部分，一些法规要求只根据健康影响而不是考虑费用或其他因素来做出决策，另一些法规则要求考虑技术可行性或成本，或两者都考虑在内。例如，《安全饮用水法》<sup>①</sup>发布的饮用水标准要求考虑费用及技术可行性。相比之下，美国环境保护署根据《国家环境空气质量标准》<sup>②</sup>颁布的标准仅考虑公众健康的保护；虽然当国家监管机构为响应该标准而制定执行计划时，可以考虑费用、可行性和其他因素。

除了这些法定要求，行政命令要求政府机构(包括美国环境保护署在内)在发布某项管理条例时，把“效益—成本”分析作为管理分析的一部分(除非法规禁止)(稍后将对“效益—成本”分析做进一步探讨)。一系列行政命令(见第

<sup>①</sup> SWDA, Pub. L. No. 93-523.

<sup>②</sup> 42 U.S.C. § 7409 (b) (2010).

12866号<sup>①</sup>和第13563号<sup>②</sup>《行政令》：行政机构；第13579号《行政令》：独立的监督管理机构），除了论述进行监管影响分析的必要外，规定各机构应评估现有监管备选方案的所有费用和收益，包括不管制的替代方案。2003年美国行政管理和预算局发布了A-4通告，为各机构提供了进一步的分析指引。行政令13563除了讨论成本效益分析之外，还要求包括EPA在内的各机构制订一项计划对规章制度进行定期的、回顾性的分析。美国行政管理和预算局向国会发表了一份年度报告：关于这些法规和条例的费用和所带来的效益(OMB, 2011)<sup>③④</sup>。这份文件总结了整个政府部门花费的费用与得到的效益，包括一系列潜在的效益，反映了不确定性的某些方面。

表 1-1 关于考虑除人类健康风险外的其他因素的法定要求(节选)

法规与方案	考虑事项
《清洁空气法——国家有害空气污染物排放标准》	<p>要决定是否在“有害空气污染物”列表上添加新的或删除原有的污染物，美国环境保护署必须考虑该污染物是否如预料的那样对人类健康或环境产生负面影响，而不考虑费用与技术可行性。</p> <p>美国环境保护署“最高达到控制技术”和“一般可用控制技术”的测定可以考虑费用因素。</p> <p>对于“最高达到控制技术”，美国环境保护署可以考虑该控制技术是否能实现“最大程度降低”有害空气污染物排放量，“最大程度降低”完成降低此排放量所花费的费用，以及“最大程度降低”任何非空气质量健康、环境影响和能源需求。</p> <p>至于“一般可用控制技术”，美国环境保护署反而会选用“通常可用的控制技术和管理规范”。</p>
《国家环境空气质量标准》	<p>该标准必须被设置为“保护公众健康必不可少”的级别，考虑“足够的安全系数”（一级标准）；被设置为“保护公共利益免受已知或预期的，与周围空气中空气污染物有关的不利影响”的必不可少的标准（二级标准）。</p> <p>该法规给国家监管机构分配执行职责，监管机构可能在制定《州实施计划》过程中考虑费用、可行性及其他因素。为了得到必需的许可，在一个对于指定污染物来说未达到国家环境空气质量标准的地方，相关人员提拟的该污染物新来源地必须达到最低可实现排放率。有了“最高达到控制技术”和“一般可用控制技术”的测定，确定费用中及环境影响中的不确定因素可能与一个决策相关。</p>
《安全饮用水法》	<p>若要遵循基本饮用水管理条例来管制一种污染物，美国环境保护署必须先判定该污染物是否对人类健康及利益产生不利影响。最高污染物标准目标必须不考虑实施费用，达到无已知健康影响以及支持足够的安全系数的标准。</p> <p>《安全饮用水法》下的强制性实行的“最高污染标准”，是建立在经济与技术可行的水平上的。设立这个标准需要考虑众多因素，比如要考虑可计量与不可计量的因健康风险而减少的利益，可计量与不可计量的花费，以及污染物对一般大众及像婴儿与老人这样的特定人群的影响。</p>

此外，《行政令》要求考虑管理条例对特定人群的影响。举例来说，第13045号《行政令》要求对关于环境健康风险或安全风险的法规做一定的分析，因为监管

① Exec. Order No. 12866. 58 FR 51735 (October 4, 1993).

② Exec. Order No. 13563. 76 FR 3821 (January 21, 2011).

③ Exec. Order No. 13045. 62 FR 19885 (April 23, 1997).

④ Exec. Order No. 13563. 76 FR 3821 (January 21, 2011).

机构有理由相信这些风险会不成比例地影响儿童。第 12898 号《行政令》“解决少数族裔人口和低收入人口中环境公正问题的联邦措施”<sup>①</sup>，鼓励监管机构开展活动，“在某种程度上，确保此类项目、政策和活动不会对没有参与的人(包括特定人群)产生影响，不因为他们的民族、肤色和国籍就否定他们(包括特定人群)的益处，而使他们(包括特定人群)受制于这些项目、政策与活动”<sup>②</sup>。

前面已经探讨了涉及管理条例决策的因素。比如，美国环境保护署的《风险表征手册》描述了影响决策的 7 个因素，即风险评估、经济因素、技术因素、法律因素、社会因素、政治因素和公共价值(US EPA, 2000)。最近，报告《美国食品药品监督管理局的决策风险表征框架》为美国食品药品监督管理局的决策者呈现了一个框架，其中的 4 个因素(即：与公共健康风险评估相关的风险表征因素、经济因素、社会因素和政治因素)是美国环境保护署考虑过的(NRC, 2011)。在图 1-2 中，委员会改进了这个框架，以阐明美国环境保护署依据法律背景在许多决策中考虑过的 3 个主要因素——人类健康风险评估、经济和技术可行性，以及其他因素，诸如社会因素(如环境公正)和政治背景。其中一些因素在美国环境保护署监管的重要法规中探讨过，美国环境保护署许多关于风险评估的指导公文认可这些因素。然而，其中几乎没有讨论与这些因素有关的数据和分析资料的不确定性，以及这些因素及其不确定性怎样影响决策；而不是“声明”中所描述的那样：“一旦风险特征完成，工作重点将转向决策者传达分析结果。决策者在达成一个管理决策过程中运用风险特征分析的结果、其他技术因素及非技术社会及经济因素。这些指导方针不打算用来指导风险管理决策中非科学的部分。”(US EPA, 2001, 第 51 页)此外，图 1-2 中也提及其他因

① Exec. Order No. 12898. 77 FR 11752 (February 28, 2012).

② Exec. Order No. 12898 Section 2-2. 77 FR 11752 (February 28, 2012).

*a* 42 U.S.C. § 7412 (b) (2) (C).

*b* 42 U.S.C. § 7412 (d) (2).

*c* 42 U.S.C. § 7412 (d) (5).

*d* 42 U.S.C. § 7409 (b) (1).

*e* 42 U.S.C. § 7409 (b) (2).

*f* 42 U.S.C. § 7410; see also *Union Elec. Co. v. EPA*, 427 U.S. 246, 266-67 (1976) (discussing how, although the U.S. EPA cannot consider costs in deciding whether to approve or disapprove an SIP, a state can do so in structuring its proposed SIP).

*g* 42 U.S.C. § 7503 (a) (2).

*h* 42 U.S.C. § 300f(1) (B); 300f(2).

*i* 42 U.S.C. § 300g-1 (b) (4) (A).

*j* 42 U.S.C. § 300g-1 (b) (3) (C) (i) (I) & (II).

*k* 42 U.S.C. § 300g-1 (b) (3) (C) (i) (III) & (IV).

*l* 42 U.S.C. § 300g-1 (b) (3) (C) (i) (V).

素。这些被提及的因素可能包括决策的政治背景或社会因素，如环境公正。其他因素(特指图 1-2 中提及的所有因素)中的不确定性很难(可能的情况下)量化，因此本报告将不会深度讨论对这种不确定性的分析。虽然如此，这种不确定性可能影响美国环境保护署的决策，就如第 5 章至第 7 章谈及的，决策者能意识到这些因素并清楚这些因素怎样影响决策，这是至关重要的。

美国环境保护署在人类健康风险评估的不确定性分析方面做了大量高技术的科学工作。虽然委员会不负责审查这些不确定性分析的技术方面，但它审查了关于背景的一些风险评估中的不确定性分析(见第 2 章)。同时，委员会还审查了一系列指导性公文、咨询委员会递交的报告以及来自美国科学研究委员会的建议。如上所述，这三项侧重于应对风险评估的不确定性而不是影响美国环境保护署决策的其他因素。决策不确定性的参考文献一般讨论人类风险评估过程中的不确定性(NRC, 1983,1994,1996,2009,2011)。

委员会的职责不仅仅只关注与人类健康风险评估有关的不确定性，还要求委员会更全面地看待决策过程中的不确定性。例如，其职责提出“不确定性怎样影响风险管理”“美国环境保护署如何用其他方式从不确定性的定量表征(例如，告知研究优先顺序的信息技术价值)中获益”的问题，且广泛涉及了美国环境保护署的决策。委员会担忧，仅仅集中注意力与资源在减少风险评估的不确定性上，可能会造成最重要的不确定性因素可以得到解决的虚假信心；不尝试分析在决策中需要解决的其他因素及其不确定性的特征，即使极度关注怎样减少人类健康风险评估中的不确定性也可能显得不够。因此，委员会检查了除人类健康风险外的其他因素的不确定性评估和决策过程中这些不确定性所扮演的角色(见第 3 章)。尽管其他因素的相关数据和分析资料中的不确定性并不总是能被量化，本报告探讨了意识到这些因素及其潜在不确定性，这些因素怎么影响决策，以及在讨论美国环境保护署的决策依据时传达这一信息的重要性。

当进一步了解其职责时，委员会发现美国环境保护署在其管理决策过程的不确定性可以通过许多方式评估。决策中的不确定性可以仅依靠设定的标准评估，也就是说，空气中臭氧浓度限值、饮用水中砷的含量标准及危险废弃物场地修复标准限值是否适当或超出防护水平。那些决策也可以通过它们的技术依据及科学依据(如风险评估、成本、可行性分析或监管影响分析)的性质来评估。此外，也可以根据决策的形成过程来评估。例如，依据公众参与的机会、决策过程的透明度、整个决策过程中是否建立社会信任来评估。由于以上这些方面都与决策过程密不可分，且每一方面都有助于理解决策过程中的不确定性，委员会在面对不确定性做决策时要以广阔的视角看待这些方面。

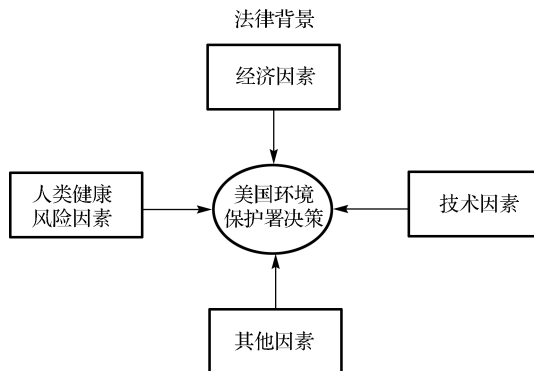


图 1-2 美国环境保护署决策中考虑的因素

注释：决策的法律背景，即国家环境法里的法定要求与约束条件，用关于数据预期、时间安排和截止时间、公众参与及其他考虑事项的总则，影响着整个决策过程。此外，法律背景在很大程度上决定了美国环境保护署决策过程中考虑的其他因素，尤其是人类健康风险、技术因素和经济因素。同时，这些环境法允许环境管理条例在制定和实施过程中使用相当大的自由裁量权。本图是参照《美国食品药品监督管理局决策的风险表征框架》（全国科学研究委员会，2011）里的图形制作的。虽然要量化其他因素，包括社会因素（如环境公正和政治局势）更具挑战性，但它们在美国环境保护决策过程中也起到一定的作用。

## 1.5 不确定性的类型

美国环境保护署的所有决策都涉及不确定性，而各个决策的不同类型的不确定性差别很大。要使不确定性分析有效，关键的第一步是要确定特定决策问题中的相关不确定性类型。理解不确定性的类型，将有助于美国环境保护署决策者决定何时投入资源以降低不确定性，以及怎样将这些不确定性因素考虑在决策中。

在本报告中，委员会将不确定性因素划分为两类：一、统计学变异性和异质性不确定性（也称偶然性不确定性或外生性不确定性）；二、模型参数不确定性（也称认知不确定性）。委员会还探讨了第三类不确定性——深度不确定性（即风险评估中潜在的关于基本过程和基本假设的不确定性）<sup>①</sup>，此类型依据不确定性的程度划分而来。必须是来自统计学变异性和异质性不确定性或者模型和参数不确定的不确定性才叫深度不确定性。化学品风险评估员通常将不确定性及变异性视为两个独立的特性，但在其他领域，不确定性包含

<sup>①</sup> 深度不确定性，也称严重不确定性和艰难的不确定性（CCSP，2009）。

统计学变异性和异质性不确定性及模型和参数不确定性这两种特性 (Swart et al., 2009)。委员会论述了其将统计学变异性和异质性不确定性划分为不确定性的一种论据(见专栏 1-3)。

下面讨论三种类型的不确定性。

### 1.5.1 统计学变异性和异质性不确定性

有时变异性和异质性一起被称为偶然性不确定性,指环境、暴露途径和亚种群敏感性的自然变化 (Swart et al., 2009)。变异性和异质性是研究体系固有的特性,决策者不能控制 (NRC, 2009; Swart et al., 2009),也不能随着所收集的信息变多而减弱。然而,经验估计变异性和异质性能通过研究更好地得以理解,从而提高该估计的精确度。

#### 专栏 1-3

##### 不确定性 VS 变异性与异质性:委员会对这几个术语的运用

在化学品风险评估背景下的不确定性通常被狭义地定义。例如,《科学与决策》(NRC, 2009)定义不确定性为“信息的缺乏与不完全”。该文章定义变异性和异质性为“由异质性与多样性引起的真正属性差异”,正如先前的那些报告一样 (NRC, 1983, 1994),没有将变异性和异质性视为不确定性的特殊类型。

在其他背景(如气候变化的研究)下,变异性和异质性被视为一种类型或性质的不确定性 (CCSP, 2009)。此外,与化学品风险评估有关的报告强调了风险评估中对不确定性和变异性和异质性这两者进行评估的重要性,以及强调在决策过程考虑这两种特性的意义 (NRC, 1983, 1994, 2009)。当美国环境保护署做管理决策时,必须考虑可能缺失的信息,及所拥有的信息中存在的变异性和异质性,以及该变异性和异质性的不确定性。因而委员会在本报告中论述了变异性和异质性。一般所说的“不确定性”,指其定义中包含变异性和异质性的不确定性。

变异性和异质性出现在已知的或可确定的概率分布范围内。虽然需要收集一些额外的数据,通常还是可以通过标准的统计技术将变异性和异质性定量化。如果变异性和异质性在某种程度上源自异质性,则可根据人口特征、经济特征和地理特征,用相关的百分比和百分比的不确定性概率分布将人群划分到子类别。不同类别的分类可以缩小每个类别的概率分布范围。基本参数的变异性和异质性通常取决于个人特征、地理位置和其他因素。而现在没有足够大的样本去检测人群之间真正潜在的差异或确保该样本数据对被研究人群有充分的代表性。



在决策者控制之外，许多变量会影响一项特定决策的合理性和决策结果(如社会经济因素或发展决定性因子)，而将这些因素模型化并不总是可行的。比如，也许有太多的社会经济因素需要大样本来分析，而没有足够的时间做合理的统计调查和分析，或者在分析中禁止使用一些社会人口变量。长期的研究议程往往可以估计这些变量，而且对具体决策的回顾性评估有助于明确决策所带来的影响并改善决策过程。

### 1.5.2 模型和参数的不确定性

模型<sup>①</sup>不确定性和参数不确定性，二者共同组成认知不确定性。该不确定性包括连接环境风险起因、影响与降低风险行动之间的模型本质相关的科学知识有限所产生的不确定性，以及关于模型的具体参数的不确定性。对于模型，存在各种各样的分歧，比如：何种模型最适合当下利用，哪种变量应当包括在模型内，模型的函数形式(也就是说模型化关系是否是直线形式、指数形式或其他形式)，以及依据其他背景所收集的数据而得出的调查结果怎样对当下的问题具有普遍性(例如，依据动物实验得出关于人类研究结果的普遍性)。在根据这些信息做决策时，这些分歧又增加了不确定性，因而委员会在讨论不确定性时会考虑科学上的分歧。

理论上，可以通过额外的研究降低模型和参数的不确定性(Swart et al., 2009)。模型具体参数值的相关问题有时可以通过文献综述和各种技术方法(如元分析法)解决。往往需要抛开根据评估一组给定参数得出的观察结果去准确推断结果，用于推断的模型函数形式会对模型输出结果产生极大影响。直线型函数形式与曲线型函数形式可能会导致两种截然不同的预测结果，而且理论几乎不能为函数形式的选择提供指导。最好的解决办法是在观测到的数据范围内重审各类函数形式是否合适，比较由其中一种或两种(即直线型函数形式与曲线型函数形式)得出的预测结果；然而这些方法并不总富有成效。

利用由一组与政策规定的合适人群相似的人群而得到的数据，将有助于处理研究结果的普遍性。在实践中，这可能要运用由人群实验得出的数据来补充从动物对照实验中得到的数据。由动物和人类实验得出的数据兼有重要优点和弊端，而且在理想情况下，这两种数据都可使用。在某些情况下，这两种数据

---

① “模型”定义为一个“现实的简化，建造模型以洞察和选择个别物理、生物、经济或社会体系的属性。数学模型以量化术语的方式表达简化”(NRC, 2009, 第96页)。模型参数是“模型术语，决定具体模型样式。对于计算模型来说，这些术语在模型运行或模拟期间是固定的，它们定义模型输出。可以将它们改变成不同的运行方式，并将此作为开展敏感性分析的方法，或达到校准目的”(NRC, 2009, 第97页)。

会产生相似的研究答案或可能诠释答案之间的差异。有时，某一领域的专家可以根据目前的研究、他们的专业经验或者这二者的结合来量化模型参数的不确定性。当然这种方法并不能替代研究，但如果要这样做，就应当根据最准确的数据、模型和可利用的评估资料，让专家去整合量化这方面的知识。美国环境保护署的同行评审过程以及他们向美国咨询委员会的咨询就是例子。这些方法将在第 5 章讨论。

### 1.5.3 深度不确定性

深度不确定性是指不可能通过额外的研究在决策所必需的时间范围内被降低的不确定性 (CCSP, 2009)。当人们不理解环境过程，科学家对环境过程本质存在根本分歧以及所有方法不能用于描述特征过程 (如检测和评价化学混合物) 时，通常会产生深度不确定性。当深度不确定性存在时，是否能解决这些分歧将不得而知。换句话说，“对于以下情况，当分析人员不知道或决策各方不能达成一致时，就存在深度不确定性：(1) 用来描述一个系统的变量之间的相互作用的合适模型；(2) 这些模型中的变量和参数不确定性的概率分布；(3) 怎样估量可能结果的可取性。” (Lempert et al., 2003, 第 3 页)

在深度不确定性情况下，可能无法得知各种监管选项与其相关事项的选择概率。深度不确定性往往发生在这样的情况下，即当决策的时间范围异常地长久或之前没有对重大意外事件后出现的问题进行分析过，如在未来 10 万年里的气候变化或地质处置库中放射性核素的迁移这样的事件。同样，关于基本情况 (即无干扰因素的情况) 的暴露水平，关于经济增长度，抑或关于经济活动与暴露度之间关系的未来变化、不良结果所带来的损失以及怎样估量这些损失——即不同损失度的规定效用水平，也都会存在重要分歧。例如，专家们可能会就水体溢油对人体健康、生活质量、动物种群和就业的影响有不同的观点。专栏 1-4 将举例说明深度不确定性情况下所做的决策。

#### 专栏 1-4

##### 举例：深度不确定性情况下所做的决策<sup>a</sup>

20 世纪 80 年代中期，英国对其牛群爆发疯牛病期间所做的决策体现了决策中的深度不确定性。公共卫生官员必须决定是否因为制备疫苗所用的器皿中的胎牛血清所带来的潜在风险，而一定要暂停预防传染病的儿童免疫计划。在描述决策背景时，迈克尔·罗林斯爵士是这样陈述的：

“几乎没有科学可以继续研究得出想要的结果。羊瘙痒病和疯牛病是由同一朊病毒引起的这个假设仅仅是一个假设。如果要通过实验去证实或反驳则需要两到三年的时间。我们没有信息证明朊病毒是否是‘母体—胎儿’式传播，也没有证据证明胎牛血清做成的疫苗是否含有感染性物质。同样，需花费两到三年时间才能得出结果。我们对‘剂量—反应’关系及病情向前发展的概率一无所知，同时，也需要两年时间才能得到可利用的信息。”

尽管面临与幼牛得疯牛病的风险相关的深度不确定性，必须尽快做出相应决策，没有时间降低该不确定性。患疯牛病的未知风险必须与幼儿复发白喉、百日咳及其他传染病的风险相权衡。若撤销免疫计划三年，则造成患致命性传染病的风险达到100%。这个决策的目的是继续实施免疫计划。幸运的是，实施该计划后从此没有爆发类似疯牛病的相关疾病。在他的演讲中，罗林斯爵士指出他们得出了正确的结论，虽然我们可能还没有充分的理由使大家相信这个结论。然而，以上事件告诉我们：在我们的工作领域，所有的决策不但需要良好的基础科学，往往也需要判断。

<sup>a</sup> 2011年5月21日，迈克尔·罗林斯爵士在马里兰州巴尔的摩接受国际药物经济学与临床实证研究协会艾维迪斯·多内贝迪安临床实证研究终生成就奖时发表的获奖感言中描述了这一决策。演讲文本网址：<http://www.ispor.org/news/articles/July-Aug2011/avedis.asp> (accessed March 17, 2012).

当主要监管机构对决策中的系统模型、先验概率或成本函数的意见不一时，用于评估不确定性的数据收集和分析或者专家的指引都不可能对决策有效。我们的任务是，尽管存在深度不确定性，要运用已有的科学和判断向人们传达我们如何做决策以及当获得更多信息时重新审视这些已做出的决策。

## 1.6 本书概览

如上所述，美国环境保护署的不确定性分析专注于人类健康风险评估中出现的 uncertainty。在第2章，委员会将简要探讨美国环境保护署怎样评估和考虑这些风险评估中的不确定性，并运用案例研究说明这些不确定性对美国环境保护署决策的影响。委员会继而越过美国环境保护署决策中狭隘的关注范围，在第3章着眼于在美国环境保护署决策中起一定作用的其他因素(如经济、技术、社会及政治因素)所固有的不确定性。第4章委员会将审查其他公共健康政策下的决策，这些政策主要检查用于公共健康领域的方法和技术是否能改善美国环境保护署的决策过程。在第5章，委员会将前3章探讨过的信息运用到美国环境保护署的监管决策背景中，并论述影响美国环境保护署决策的不同因素中的

不确定性如何应纳入该机构的决策过程，将不确定性放在《科学与决策：推进风险评估》(NRC, 2009)一文所呈现的三段式结构中。委员会还推荐了评估各种不确定性及优先考虑美国环境保护署不同决策中哪些不确定性的方法。附录 A 对其中一些方法做了详细介绍。科学的专业指导对决策的不确定性分析是必要的，但仍不够。决策透明度、社群价值的考虑及利益相关者的加入是已达成的决策中最终建立信任的先决条件，这是使人们最终接受政府决策的前提 (Kasperson et al., 1999; NRC, 1989, 1996; Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management, 1997a)。第 6 章致力于美国环境保护署管理决策过程的各个方面。第 7 章讨论本报告的实际意图，包括根据第 2 章至第 6 章的讨论而引出的建议。附录 B 和附录 C 分别是委员会成员的简介和委员会两次公开会议的议程。

## 1.7 参考文献

- Budescu, D. V., S. Broomell, and H. H. Por. 2009. Improving communication of uncertainty in the reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Psychological Science* 20(3):299–308.
- CCSP (Climate Change Science Program). 2009. *Best practice approaches for characterizing, communicating, and incorporating scientific uncertainty in decisionmaking*. [M. Granger Morgan (lead author), Hadi Dowlatabadi, Max Henrion, David Keith, Robert Lempert, Sandra McBride, Mitchell Small, and Thomas Wilbanks (contributing authors)]. A report by the Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1993. Re: Quantitative uncertainty analysis for radiological assessment. [http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/8FE9A83C1BE1BA-7A85257323005C134F/\\$File/ANALYSIS%20ASSESS%20%20RACCOM-93-006\\_93006\\_5-9-1995\\_86.pdf](http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/8FE9A83C1BE1BA-7A85257323005C134F/$File/ANALYSIS%20ASSESS%20%20RACCOM-93-006_93006_5-9-1995_86.pdf) (accessed November 20, 2012).
- . 1999a. An SAB report on the National Center for Environmental Assessment's comparative risk framework methodology. [http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/83F6D5FD42385D-46852571930054E70E/\\$File/dwc9916.pdf](http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/83F6D5FD42385D-46852571930054E70E/$File/dwc9916.pdf) (accessed November 20, 2012).
- . 1999b. An SAB report: Estimating uncertainties in radiogenic cancer risk. [http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/D3511CC996FB97098525718F0064DD44/\\$File/rac9908.pdf](http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/D3511CC996FB97098525718F0064DD44/$File/rac9908.pdf) (accessed November 20, 2012).

- . 2000. *Risk characterization handbook*. Washington, DC: Science Policy Council, US EPA.
- . 2001. Guidelines for developmental toxicity risk assessment. *Federal Register* 56(234):63798–63826.
- . 2007. Benefits and costs of Clean Air Act—direct costs and uncertainty analysis. [http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/598C5B0B5A89799A852572F4005C406E/\\$File/council-07-002.pdf](http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/598C5B0B5A89799A852572F4005C406E/$File/council-07-002.pdf) (accessed November 20, 2012).
- . 2010a. Guidelines for preparing economic analyses. <http://yosemite.epa.gov/ee/epa/eed.nsf/pages/guidelines.html> (accessed January 10, 2013).
- . 2010b. Review of US EPA’s microbial risk assessment protocol. [http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/07322F6BB8E5E80085257746007DC64F/\\$File/US EPA-SAB-10-008-unsigned.pdf](http://yosemite.US EPA.gov/sab/sabproduct.nsf/07322F6BB8E5E80085257746007DC64F/$File/US EPA-SAB-10-008-unsigned.pdf) (accessed November 20, 2012).
- . 2011. Our mission and what we do. U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.US EPA.gov/aboutUepa/whatwedo.html> (accessed November 20, 2012).
- Kasperson, R. E., D. Golding, and J. X. Kasperson. 1999. Trust, risk, and democratic theory. In *Social trust and the management of risk*, edited by G. Cvetkovich and R. Lofstedt. London: Earthscan. Pp. 22–44.
- Lempert, R. J., S. W. Popper, and S. C. Bankes. 2003. *Shaping the next one hundred years: New methods for quantitative, long-term policy analysis*. RAND Corporation.
- Lindley, D. 2006. *Uncertainty: Einstein, Heisenberg, Bohr, and the struggle for the soul of science*. New York: Random House.
- NRC (National Research Council). 1983. *Risk assessment in the federal government: Managing the process*. Washington, DC: National Academy Press.
- . 1989. *Improving risk communication*. Washington, DC: National Academy Press.
- . 1994. *Science and judgment in risk assessment*. Washington, DC: National Academy Press.
- . 1996. *Understanding risk: Informing decisions in a democratic society*. Washington, DC: National Academy Press.
- . 2002. *Estimating the public health benefits of proposed air pollution regulations*. Washington, DC: The National Academies Press.
- . 2009. *Science and decisions: Advancing risk assessment*. Washington, DC: The National Academies Press.
- . 2011. *A risk-characterization framework for decision making at the Food and Drug Administration*. Washington, DC: The National Academies Press.
- OMB (Office of Management and Budget). 2011. *Report to Congress on the benefits and costs of*

- federal regulations and unfunded mandates on state, local, and tribal entities*. Washington, DC: OMB.
- Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management. 1997a. *Risk assessment and risk management in regulatory decision-making. Final report*. Volume 1. Washington, DC: Government Printing Office.
- . 1997b. *Risk assessment and risk management in regulatory decision-making. Final report. Volume 2*. Washington, DC: Government Printing Office.
- Swart, R., L. Bernstein, M. Ha-Duong, and A. Petersen. 2009. Agreeing to disagree: Uncertainty management in assessing climate change, impacts and responses by the IPCC. *Climatic Change* 92:1–29.
- Wallsten, T. S., and D. V. Budescu. 1995. A review of human linguistic probability processing: General principles and empirical evidence. *The Knowledge Engineering Review* 10 (01) :43–62.
- Wallsten, T. S., D. V. Budescu, A. Rapoport, R. Zwick, and B. Forsyth. 1986. Measuring the vague meanings of probability terms. *Journal of Experimental Psychology: General* 155 (4) :348–365.