

文章编号:1001-2486(2011)01-0143-06

舰艇编队区域防空探索性建模与分析*

赵新,雷永林,李群,朱一凡

(国防科技大学 信息系统与管理学院,湖南长沙 410073)

摘要:舰艇编队的区域防空作战是一个复杂问题。具有体系特性的战略层规划一直是其中的重点和难点。探索性分析正是适宜解决这一难题的方法论,它可以通过高层次模型的定量探索,在深入细节之前对问题有个广度的了解。依照探索性分析的思想,从宏观层次描述舰艇编队区域防空问题;基于所设计的时间片影响图分析建模软件工具 EASim,建立了该问题的高层分析模型,并进行了简要的探索分析。

关键词:舰队区域防空;分析模型;影响图;探索性分析

中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**A

Exploratory Modeling and Analysis for Armada Area Defence

ZHAO Xin, LEI Yong-lin, LI Qun, ZHU Yi-fan

(College of Information Systems and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Armada area defense is a complex work. The long-range programming, the having System of Systems (SoS) characteristics at strategic level, is very important and difficult for it. It's necessary to use Exploratory Analysis(EA) to help us have a broad understanding about the issue, by quantificationally exploring at a high-level model that specially built for EA, before going deep into details. The Armada area defence issue was analyzed at macro-level view, a software tool-EASim to support EA based on time-sliced influence diagrams was developed, a high-level analysis model was built, and some simple analysis illustrations were given.

Key words: armada area defence; analysis model; influence diagrams; exploratory analysis

空中攻击力量一直是舰艇编队所面临的主要威胁之一,如何应对这种威胁,使用有限的人力、财力、物力,有效地发展武器装备体系是重要的问题。但是,由于舰艇编队本身的组成、指挥、通讯、作战方式等的复杂性,以及海军武器装备在作战中所明显呈现出来的个体差异等特点,使得这一问题的研究变得比较复杂。

舰艇编队区域防空问题应从战术、战役、战略等多种层次进行研究,并需要从多个分辨率、多个侧面进行认识。不同的视角和分辨率下的模型,能为问题的研究带来不同层次和侧面的亮点。其中,为解决该问题在大规模想定和深入的不确定条件下的决策问题,可以采用探索性分析的思路,构建问题的高层次、低分辨率分析模型,在深入细节之前就对问题有个广度的了解。这种模型抽象层次高、参数少、运行速度快,可以满足大规模想定空间中的快速、交互式探索的进行,从而获得对问题的宏观认识。

1 相关概念及工具

1.1 探索性分析

探索性分析方法^[1-4]是美国兰德公司20世纪90年代在联合一体化应急模型(JICM, Joint Integrated Contingency Model)和战略评估系统(RSAS, Rand Strategy Assessment System)的开发中逐步总结出来的一种定量系统分析方法。探索性分析的目标是通过理解系统中存在的不确定性对所研究问题的潜在影响,为战略决策提供量化的依据。

探索性分析是面向高层系统论证的分析方法。用于探索的分析模型是高度聚合、只有有限参数的低分辨率模型。模型描述的行为是系统所具有的能力和功能的整体体现,是系统的宏观整体行为,而不是系统中单个个体的具体行为。模型中的变量是问题中的抽象和聚合变量,是在一定聚合程度上的平均结果,变量之间的交互是在相对长的一段时间内的过程平均,反映的是一种期望值。这种高层抽象模型可以进行快速计算,

* 收稿日期:2010-04-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60974037,60974074);国家部委基金资助项目(9140C640505)

作者简介:赵新(1981—),男,博士生。

因此可以进行不确定性因素的大量探索,以此发现这些因素在不同时域内对系统行为的影响。

如果要对某些因素进一步考察,则需要建立更详细的支撑模型,或使模型族具有多分辨率模型的特征。有关于探索性分析建模的更多资料,可参考相关文献[1,5-7]。

1.2 时间片影响图形式的分析模型

影响图^[8-10]是对不确定性下的决策问题进行建模的有向无环图,是一种可用来表征和求解不确定性问题,综合反映定性、定量知识的概率网络,它也是信息交流的有效工具。使用影响图方法所进行的决策分析一般处于问题的战略层次。但就经典影响图本身来讲,它不包含时间的概念,也不允许关系回路的存在,其描述能力不足以有效地支持分析建模。

时间片影响图^[11-12]则是对经典影响图的一种扩展,动态性和有环反馈特征的引入使其描述因果影响关系网络问题的能力比静态解析模型更进一步。分析人员能以此描述复杂问题中的动态性和相互影响,建立关系明显、便于控制和分析的模型。

时间片影响图形式的分析模型节点网络系统可以形式化描述为:

$$NN = \langle D, M, N, A, h_N \rangle$$

其中, D 是节点索引的集合,即节点名的集合; M 是模块描述,表示的只是模型模块化、层次化组织形式,它本身没有变量值以及输入输出关联; N 是变量节点的集合; A 是影响弧段的集合; h_N 是等步长迭代时间的离散时间间隔。

对 $\forall d \in D$, 有 $N_d = \langle n, I_d, E_d, V_{ini}, V_d, \Delta_d, \Lambda_d, h \rangle$ 表示的是一个基本变量节点。其中, $n \in NP$ 表示变量的名称, NP 为变量命名空间; h 为迭代时间间隔; V_{ini} 量是节点变量的初始值,可以是一个数值,也可以是对其它变量的依赖函数; V_d 是基本变量节点每一时刻所对应的变量值; $I_d \subseteq D$ 是影响基本变量节点 N_d 的节点集; $E_d \subseteq D$ 是受基本变量节点 N_d 影响的节点集; $\Delta_d: \prod_{i \in I_d} V_i \times V_d(t) \rightarrow V_d(t+1)$ 是基本变量节点 N_d 的逻辑功能函数,即节点变量根据当前变量值及输入变量集中变量的当前值,计算得出下一时刻的节点变量值时所依赖的函数; $\Lambda_d: V_d \rightarrow \prod_{j \in E_d} V_j$ 是基本变量节点 N_d 的输出映射函数,即表示输出所指向的节点变量可以是多个,但每一时刻的输出变量值只有一个,即 $V_d(t)$ 。

1.3 分析建模环境——EASim

在借鉴已有成果^[12]的基础上,针对探索性分析的应用需求,设计并实现了建模工具 EASim,如图1所示。该图是模型示例的内部结构,其中的直角矩形表示决策节点,椭圆表示机会节点,圆角矩形表示一般变量节点,粗线圆角矩形表示子模块,六边形是目标变量节点,箭头表示了节点之间的影响关系。

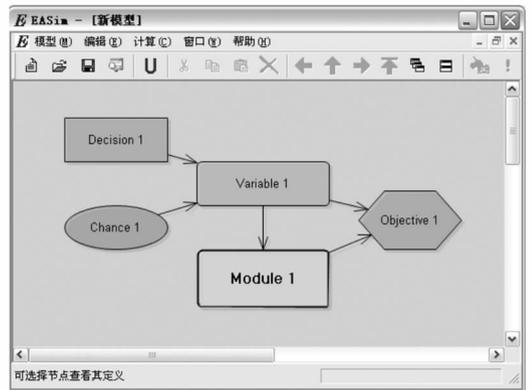


图1 EASim 建模环境

Fig.1 EASim modeling tool

图2是某变量节点的表达式定义视图,图上方左侧显示了变量的类型和名字等基本信息,右侧显示的是影响当前变量的数组型变量(称作维度)列表,图中间是变量的表达式定义,图下方是影响当前变量的输入变量列表和受当前变量直接影响的输出变量列表,可以在列表中进行方便的变量导航。

图2 变量节点定义视图

Fig.2 Definition view of variable node

EASim 从几个方面提供了处理复杂问题的能力和灵活性:支持时间片影响图建模,并进一步通过添加辅助节点图元提高了模型组织和运算能力;支持模型的层次化描述,使得大型模型的结构

和组织管理更趋向于简单化;提供模块化的组织方式和可视化表示能力,与人类对问题在空间和抽象层次上的认识能力相契合;提供了蒙特卡洛采样及多种数据统计方法,支持结构数据分析;嵌入了 Python 脚本语言及函数库,支持变量节点的函数、逻辑、方法描述,优化了解算效率。

基于 EASim 进行探索性分析的一般解题过程为:对影响问题的关键因素进行提取,并确定模型目标;勾勒各因素之间的因果关系,构建模型整体拓扑结构;通过属性定义给出各因素的定量描述,建立因素之间定量的数据层影响关系;对想定空间进行缩减,剔除无需探索的空间点;对剩余的想定集进行运行解算,得到运行结果;对运行结果进行探索分析,寻求鲁棒解。

2 分析模型构建

2.1 基本想定

舰艇编队的防御包括防空、反舰和反潜等形式,各种武器平台围绕中心作战平台形成了不同

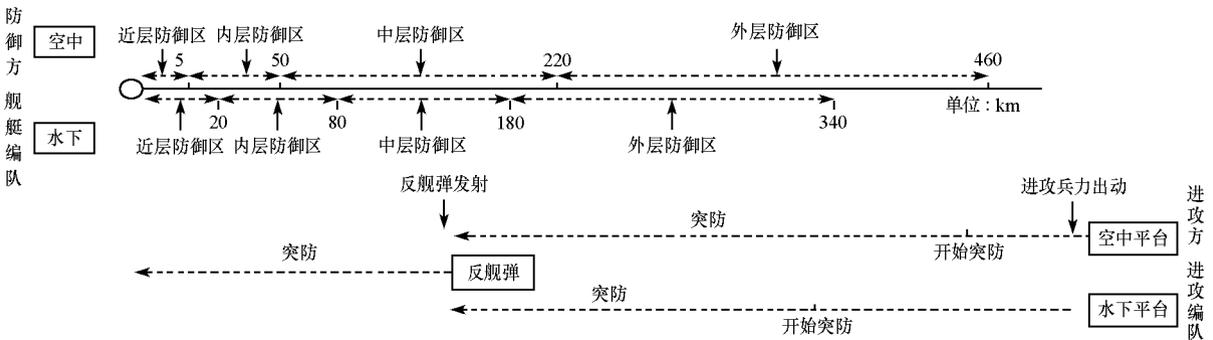


图 4 舰艇编队区域防空攻防过程的简化描述
Fig.4 Brief characterization of armada area defence process

假定进攻方使用“空中平台+水下平台”突防并发射反舰导弹进行反舰作战。进攻方空中和水下平台在防御方不同防御区进行突防,并在一定的距离发射反舰导弹后退出战斗;反舰导弹经过协同计算处理,作为唯一突防主体继续对舰艇编队进行空中突防及攻击。

2.2 影响图模型

基于上述假定和分析,依据相应的建模方式,在 EASim 软件环境中建立了舰艇编队区域防空问题的分析模型。图 5 给出了舰队防空作战问题分析模型的顶层概念视图,它由“进攻方编队进攻作战”、“防御方舰艇编队作战”、“防御方损失”、“进攻方损失”以及“任务目标”等 5 个模块组成,各个模块间相互存在影响关系。

图 6 给出的是目标模块的计算节点视图,其

的防御圈,而就其防空态势而言,可以有如图 3 所示形式。

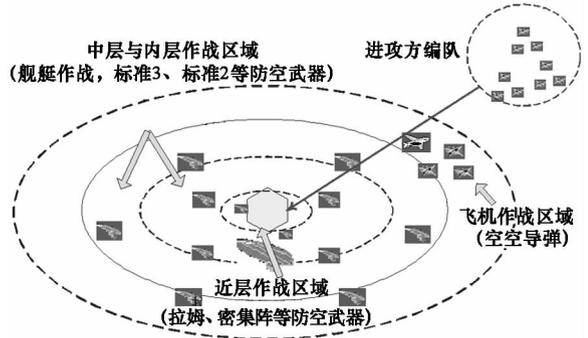


图 3 舰艇编队防空作战区域示意图
Fig.3 Concept of armada area defence

舰艇编队区域防空探索性建模与分析研究的基本目标,是支持对所分析问题中含有的广泛不确定性因素进行描述、分析与处理,研究影响攻击过程成败的多种因素的效用大小。因而,为便于抽象分析建模的相关讨论,并对多种主要影响因素进行探索,可以将作战的过程简化为直线形式,如图 4 所示。

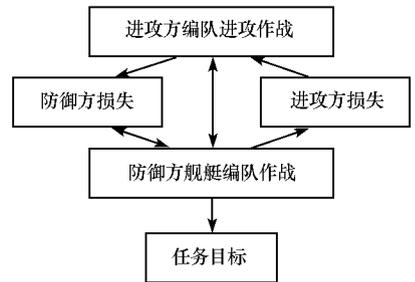


图 5 顶层概念视图
Fig.5 The top-level of analysis model

中假定进攻方有两个可接受的达成作战任务的指标,即消灭足够数量的拦截飞机或摧毁其起降平台,当某元素小于所对应标准时,即可认为作战目标完成。

图 7 给出的是进攻编队武器平台突防、导弹突防以及舰艇编队防空等主要作战模块的内部节

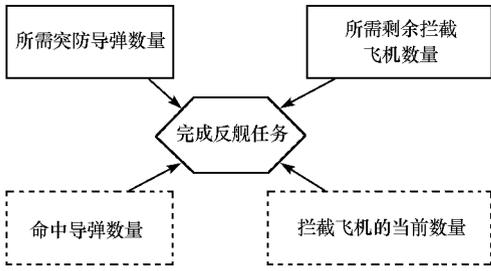


图 6 目标模块视图
Fig.6 The objective module

点图(经过了相应的简化处理),它们描述了双方的主要攻防过程。如“当前正在突防的反舰导弹数量”以及“命中导弹数量”与反舰导弹发射距离、数量以及防御方对其毁伤情况相互影响;而拦截飞机的数量则取决于其初始数量和进攻方空中平台对其的毁伤情况。有关各个子节点的详细定义在节点属性设置中进行,它们相互的影响关系在不同时间片反映在相应的解算过程和数据中。

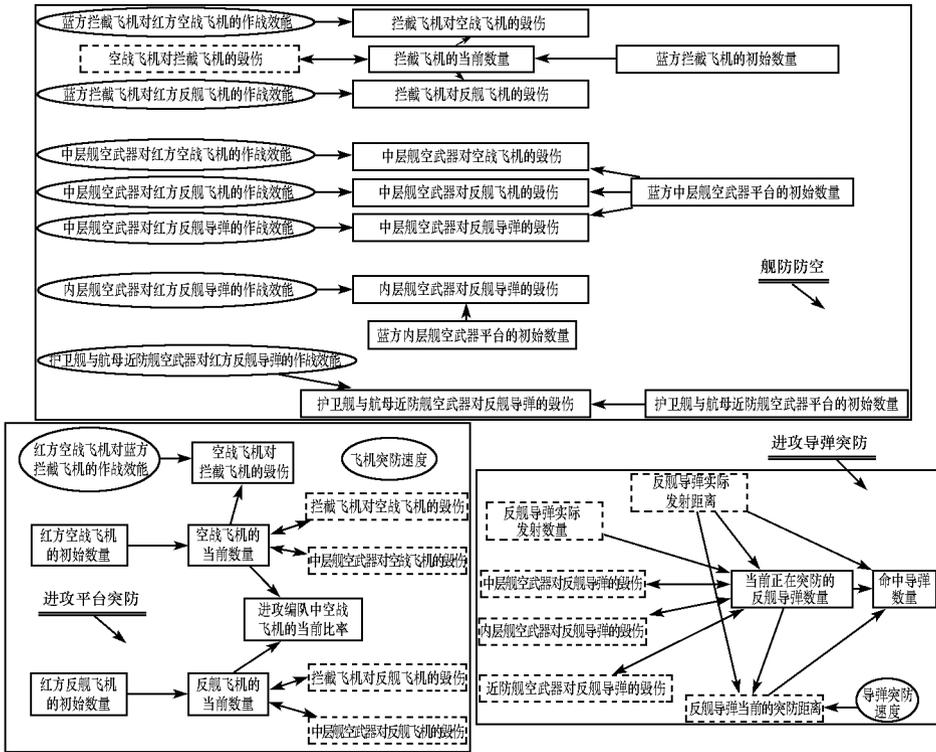


图 7 主要作战模块视图
Fig.7 The modules of analysis model for campaign

3 模型解算与分析示例

基于该分析模型所进行的探索分析,可以分为“结果分析”和“方案评价”两个方面,如表 1 所示。

表 1 模型分析的对象与目标

Tab.1 Objects and aims for different analysis

	对象	目标
结果分析	“完成目标”节点	影响因素分析
方案评价	“方案的综合评价”节点	方案比较

研究主要采取先简后繁、由粗到细、逐层深入的思路进行,表 2 给出了模型中典型因素的相关说明。

3.1 结果分析

“反舰导弹的射程”一直是打击水面目标时常

考虑的因素,在其它条件一定的情况下,本文中模型的计算结果可在 10s 内得出。作为示例可以发现,调整节点变量“反舰导弹的射程”的值,“反舰导弹的射程”与模型解算结束时的作战目标完成情况并不成线性关系,而是成一定的凹函数形式,如图 8 中虚线所示。

这种非线性关系的存在不利于问题分析及作战策略的制定,需要结合其它关键因素对该因素进行“综合”处理,所得到的多个影响因素及其约束关系可成为制定作战策略的有效参考。可以在此基础上制定新的约束条件,对问题开展进一步的广度探索;或是指导分析人员在更详细的模型中(如战役仿真模型),集中对这些关键因素进行深入研究。需要注意的是,一个描述复杂问题的复杂模型的具体分析效果和探索效率,与模型质量、分析人员自身素质等有密切关系。

表 2 分析模型中可探索的典型因素

Tab.2 The classic factors of analysis model that could be explored

因素名称	因素描述及水平	因素特点
兵力数量	空中、水下等兵力平台的饱有量、每波攻击时的出动量,以及单位兵力的装载武器数量等	作战对象,可控的能力或策略因素
反舰导弹速度	可影响突防效果,分为亚音、超音、未来武器	作战对象,可控的能力因素
反舰导弹射程	可影响载弹平台的生存概率以及作战策略的运用,分为近、中、远	作战对象,可控的能力因素
进攻方	反舰导弹发射策略	作战对象,可控的策略因素
	空中平台突防形式	作战对象,可控的策略因素
	电子干扰	作战对象,可控的能力因素
防御方	舰艇编队队形	作战环境,不可控的策略因素
	军事干预强度	作战环境,不可控的能力因素
	预警机状态	作战环境,可控的能力因素
其他	导弹对舰艇的毁伤	作战对象,可控的能力因素
	天气	自然环境,不可控的其他因素

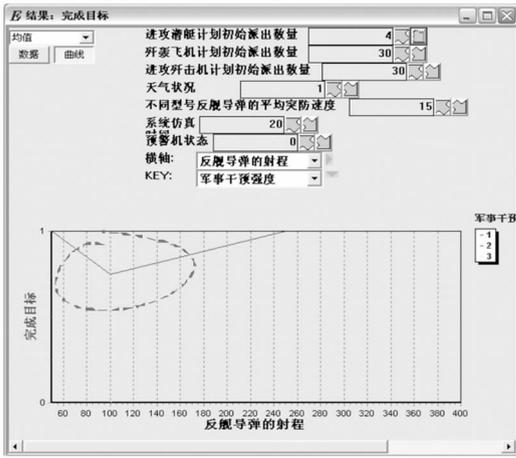


图 8 反舰导弹射程与完成作战目标的关系图
Fig.8 Scope of anti-ship missile vs. achievement of battle object

3.2 方案评价

方案评价有别于一般的结果分析,后者只考虑任务的完成情况,而前者需要考虑方案实施的费效比,具体包括可控元素的实施成本、方案战损的可接受情况以及在大量不确定性下确保完成任务的鲁棒能力等。

评价操作主要是在分析模型中的一个“评价

指标与准则模块”中进行(如图 9),涉及评价体系、指标与准则等确定操作。这种设计直接在分析模型中进行,可以直接引用分析模型中的相应节点,利用解算引擎进行变量解算,并获得实时解算信息,而 EASim 中多维探索能力还更便于变量的分析。

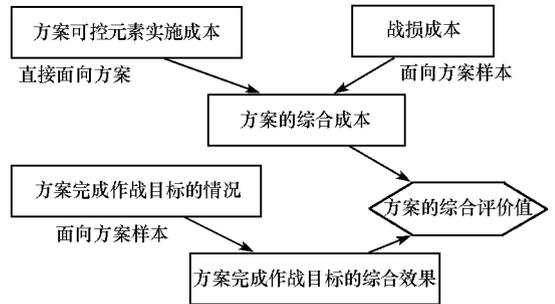


图 9 评价指标与准则模块视图
Fig.9 The evaluation module

作为示例,这里针对“反舰导弹的射程”和“不同型号反舰导弹的平均突防速度”两个维度对方案进行数据形式的比较,此时其它因素取默认值,如表 3 所示。

表3 方案综合评价

Tab.3 The evaluation for schemes

元素名称 方案序号	反舰导弹 的射程	不同型号反 舰导弹的平 均突防速度	天气状况	军事干预 强度	预警机 状态	水下平台 计划初始 派出量	空舰平台 计划初始 派出量	空空平台 计划初始 派出量	综合评 价值
1	50	15	晴朗	弱	无	4	30	30	1.4930
2	100	15	晴朗	弱	无	4	30	30	3.1970
3	250	15	晴朗	弱	无	4	30	30	0.2309
4	400	15	晴朗	弱	无	4	30	30	0.0048
5	50	33.333	晴朗	弱	无	4	30	30	1.6140
6	100	33.333	晴朗	弱	无	4	30	30	0.0338
7	250	33.333	晴朗	弱	无	4	30	30	0.5776
8	400	33.333	晴朗	弱	无	4	30	30	0.0092
9	50	66.667	晴朗	弱	无	4	30	30	2.6130
10	100	66.667	晴朗	弱	无	4	30	30	0.0359
11	250	66.667	晴朗	弱	无	4	30	30	0.0047
12	400	66.667	晴朗	弱	无	4	30	30	0.0359

从方案效费比(由实施成本和战损成本组成方案成本,由作战目标实施的鲁棒性作为方案效果)的角度得到上述比较结果,则方案2、方案9、方案5和方案1较其它方案有着明显的优势,即“反舰导弹的射程”数值较低时,评价效果相对较好。而得出该结果的原因,则是在评价中将“反舰导弹射程”提高的“成本”设置过高。由此也可以看出,方案评价与结果分析的概念和结论都是不同的。

4 结束语

在EASim软件环境中,通过可视化的模型生成器直观地建立包含关键因素的分析模型,并在系统中支持交互式语言,使得模型开发和调整过程非常方便;分析模型的层次化结构能帮助建模者、使用者、评估者理解和管理模型;而分析模型高效的运行效率也使分析人员与计算机进行即时的交互成为可能。

基于本项研究所建立的舰艇编队区域防空问题分析模型,分析人员面对的只有数量有限的一些聚合级参数,能对高层分析系统中探索空间的关键不确定性因素和策略空间快速进行较为全面的探索,为获取高层鲁棒策略服务。

参考文献:

[1] Davis P K. Exploratory Analysis Enabled by Multiresolution,

Multiperspective Modeling [C]//Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, 2000.

[2] Davis P K. New Paradigms and New Challenges [C]//Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, 2005.

[3] 周少平,李群,王维平.支持武器装备体系论证的探索性分析框架研究[J].系统仿真学报,2007(5).

[4] 胡晓峰,胡剑文.面向信息化战争整体需求的探索性分析方法[J].计算机仿真,2005,22(6):1-4.

[5] Bigelow J H, Davis P K. Implications for Model Validation of Multiresolution, Multiperspective Modeling (MRMPM) and Exploratory Analysis [R]. Santa Monica, Calif: RAND Corporation, 2003.

[6] Fox D. Using Exploratory Modeling [C]//New Challenges, New Tools for Defense Decisionmaking, Santa Monica, Calif: RAND Corporation, 2003: 258-598.

[7] Davis P K. Introduction to Multiresolution, Multiperspective Modeling (MRMPM) and Exploratory Analysis [R]. Vol. WR-224, Santa Monica, Calif: RAND Corporation, 2005.

[8] 詹原瑞.影响图理论方法与应用[M].天津大学出版社, 1995.

[9] Diehl M, Haimes Y Y. Influence Diagrams With Multiple Objectives and Tradeoff Analysis [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2004, 34(3).

[10] Mark Crowley. Evaluating Influence Diagrams [Z]. August 31, 2004.

[11] Analytica User Guide [Z]. Lumina Decision Systems, Inc., 2008.

[12] Morgan M G, Henrion M. Chapter 10 of Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis [M]. Cambridge University Press, New York, 1990.