

# 天然气产业链 上游开发规划风险研究

刘毅军 陆家亮 宫雨 孙玉平 等著



Risk Research on Upstream

Development Planning of  
Natural Gas Industrial Chain



石油工业出版社

# 天然气产业链 上游开发规划风险研究

Risk Research on Upstream Development Planning of  
Natural Gas Industrial Chain

刘毅军 陆家亮 宫雨 孙玉平 等著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书系统地介绍了天然气产业链上游开发规划风险评价的理论和方法,建立了针对天然气产业链上游开发规划不同方案与其风险评价“值”的对应关系。具体内容包括:单个气田的储量、产量、效益三位一体的规划风险评价方法,多气田“加总”的储量、产量、效益的规划风险评价方法,气田产量、效益规划的风险量化指标敏感性分析方法,气田投入、产量释放及产量和效益目标求解的规划风险评价方法,上游开发规划风险评价系统等。

本书可供政府及企业从事能源经济与管理(特别是从事天然气经济与管理)工作的人员阅读、参考,也可供大专院校及相关研究机构的人员阅读、参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

天然气产业链上游开发规划风险研究 / 刘毅军等著.  
北京:石油工业出版社, 2013.3  
ISBN 978-7-5021-9467-3

I . 天…

II . 刘…

III . 天然气工业 - 产业链 - 风险管理 - 研究

IV . F407.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 015591 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址 : <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010) 64523612 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2013 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:20

字数:336 千字

---

定价:68.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 前

# 言

天然气是一种优质、高效、清洁的低碳能源，加快天然气产业链的发展，提高天然气在一次能源消费中的比例，是国家从能源角度应对国内外挑战的重要战略安排。自2004年以来我国天然气产业链进入快速发展阶段，预计还要经历十年的快速发展。“十二五”期间，天然气供应保障能力大幅提升，供气品种增加；同时我国正面临国际和国内减排的双重压力，2020年后很可能还要承担绝对减排的国际义务；与国家经济发展水平迈上新台阶相适应，我们具备了消费高端清洁能源的更强支付能力。在天然气产业链快速发展阶段，做好天然气产业链整体规划，对保障其可持续发展，实现国家战略意图，具有重要意义。

长期以来，对天然气产业链规划的风险研究严重滞后，跟不上天然气产业链快速发展阶段的规划需要。本专著从天然气产业链上游开发规划风险研究切入，希望以此为突破口，拓展天然气产业链上游开发规划方法体系，进而推动整个天然气产业链规划研究工作走向深入。

本专著建立了天然气产业链上游开发规划风险评价的理论和方法框架体系。研究成果主要包括：建立了天然气产业链上游开发规划风险分析的主要框架和方法；针对单个气田开发规划的风险量化指标，建立了评价单个气田储量、产量、效益的规划风险评价方法；结合天然气产业链上游开发规划方案的其他调整类型，建立了单个气田的产量、效益规划风险量化指标的敏感性分

析方法和气田投入、产量释放、产量和效益目标求解的规划风险评价方法；建立了以单个气田为基础多气田“可加总”的储量、产量、效益的规划风险评价方法；建立了储量、产量、效益三位一体的规划风险评价接口算法；研制了具有自主知识产权的“天然气开发战略规划风险评价系统”软件。研究成果实现了针对天然气产业链上游开发规划不同方案与其风险评价“值”的对应关系，使天然气产业链上游开发规划风险评价得以实现，丰富、拓展了油气规划的方法体系。

本专著是天然气产业链经济与管理理论体系的重要组成部分，是天然气产业链风险理论研究计划的又一个阶段成果。希望寄本项研究成果的出版，能够有更多的研究者共同参与此项研究。对其中的不足和缺陷，恳请广大读者给予批评指正。

著者

2012年11月



|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 引 言                                 | 1          |
| 0.1 本项研究的背景                         | 1          |
| 0.2 本项研究的思路、主要理论和方法                 | 2          |
| 0.3 本项研究的主要内容                       | 5          |
| 0.4 本项研究的主要成果                       | 6          |
| <b>第 1 章 天然气产业链上游开发规划及风险分析总述</b>    | <b>24</b>  |
| 1.1 天然气产业链及其风险                      | 24         |
| 1.2 天然气产业链上游开发规划要点                  | 46         |
| 1.3 天然气产业链上游开发规划风险分析的必要性            | 56         |
| 1.4 天然气产业链上游开发规划风险分析的内容和特点          | 63         |
| <b>第 2 章 天然气产业链上游开发规划风险分析的国内外研究</b> | <b>69</b>  |
| 2.1 国外风险分析研究进展                      | 69         |
| 2.2 国内油气产业风险分析研究进展                  | 91         |
| 2.3 对天然气产业链上游开发规划风险分析的借鉴性           | 103        |
| <b>第 3 章 天然气产业链上游开发规划风险评价方法的选择</b>  | <b>114</b> |
| 3.1 定性风险评价方法评介                      | 114        |
| 3.2 定量风险评价方法评介                      | 118        |
| 3.3 定性、定量综合风险分析法评介                  | 124        |
| 3.4 各种风险评价方法的比较                     | 133        |
| 3.5 天然气产业链上游开发规划风险评价方法的选择           | 133        |
| <b>第 4 章 天然气产业链上游开发规划风险因素分析</b>     | <b>142</b> |
| 4.1 天然气产业链风险在上游开发规划风险中的体现           | 142        |

|              |                                 |            |
|--------------|---------------------------------|------------|
| 4.2          | 天然气产业链上游开发规划气区的气田分类和气田类型划分···   | 153        |
| 4.3          | 天然气产业链上游开发规划风险分析的主要模块及具体因素···   | 158        |
| <b>第 5 章</b> | <b>天然气产业链上游开发规划风险评价</b> ·····   | <b>166</b> |
| 5.1          | 天然气产业链上游开发规划风险评价模块的细化及其关系 ···   | 166        |
| 5.2          | 储量风险模块的公式算法、模型构建以及模拟流程 ······   | 171        |
| 5.3          | 产量风险模块的公式算法、模型构建以及模拟流程 ······   | 175        |
| 5.4          | 效益风险模块的公式算法、模型构建以及模拟流程 ······   | 187        |
| 5.5          | 天然气产业链上游开发规划风险评价主要模块的集成问题 ···   | 191        |
| 5.6          | 气田投入、累加和释放条件下的上游开发规划风险评价 ·····  | 194        |
| 5.7          | 风险量化指标影响评价条件下的上游开发规划风险评价 ·····  | 203        |
| 5.8          | 目标求解条件下的上游开发规划风险评价 ···········  | 210        |
| <b>第 6 章</b> | <b>天然气产业链上游开发规划风险评价系统</b> ····· | <b>221</b> |
| 6.1          | 天然气产业链上游开发规划风险评价系统简介 ·········  | 221        |
| 6.2          | 天然气产业链上游开发规划风险评价系统软件功能操作说明      | 223        |
| 6.3          | 天然气产业链上游开发规划风险评价系统软件运行结果解释      | 280        |
| <b>参考文献</b>  | ·····                           | <b>303</b> |
| <b>后 记</b>   | ·····                           | <b>311</b> |

# 引 言

## 0.1 本项研究的背景

天然气作为一种优质、清洁的能源，对其利用在全球被高度重视。随着天然气主干管网逐步形成，中国的天然气产业链也进入快速发展阶段，全国天然气年消费总量持续增加。近十年，年均增长速度达到 16.22%，2010 年天然气消费量达到  $1090 \times 10^8 \text{m}^3$ ，约是 2000 年消费量的 4.45 倍。天然气消费量在能源消费总量中所占的比例也在不断增大，2000 年我国天然气在能源消费总量中所占的比例为 2.2%，2010 年这一数字达到 4.3%。随着天然气需求的不断上升，天然气在能源消费总量中所占的比例还将继续增大，到 2020 年将增至 10% 以上。

发展总是与风险相生相伴。对我国而言，当中国天然气产业链进入快速发展阶段后，可动用储量逐渐下降，复杂类型气藏和边远地区少量小型气田开采难度大，上游的勘探开发风险开始突显；中游管道运输压力增大，LNG 贸易更加频繁，发生风险的概率上升；下游天然气价格改革，与替代能源比较关系合理化，与国际天然气价格逐步接轨，使天然气在价格方面的优势逐渐减小，下游销售风险也将增加；各个环节相互协调风险的增加也会影响到整个产业链的发展，对人民生活和国民经济发展将造成重大影响。

天然气产业链上游开发规划是指国家（或油气公司）根据国家（或公司）战略，综合平衡天然气产业链上、中、下游的资源、生产、输气能力和市场等因素后制定的国家（或公司）天然气产业链上游开发规划。天然气产业链上游开发规划是一个规划时间长、涉及多环节、多因素的复杂体系，其风险涉及天然气产业链上、中、下游各环节，风险的影响因素多，因素与因素之间的关系复杂：既有各环节自身面临的风险，又有相互协调的风险；既有一般风险，又有重大风险。因此，在考虑天然气产业链上游开发规划时，必须对天然气产业链的风险予以高度重视。

在国际范围内，油气公司发展规划与风险管理已经紧密结合在一起。近些年我国也相继出台了《中央企业全面风险管理指引》、《× 年度中央企



业全面风险管理报告（模本）》等一系列文件，足以看出国家对企业风险管理的重视。开发规划中的风险管理是整个企业风险管理中非常重要的一部分，中国石油企业天然气开发规划中已经对风险分析有了一定的认识，从定性的角度对天然气开发规划中的风险进行辨识，但定量化分析研究不足。因此，在快速发展的“十一五”期间，中国石油企业多数主力气区出现规划计划指标完成率较低的情况。

将定性和定量方法相结合，对开发规划中的风险进行有效分析就成为中国天然气发展新时期的要求，本项研究正是针对此需求而提出的。从建立风险预警系统的任务开始，对国内外风险分析方法进行比较和筛选，从而建立适合天然气开发规划风险分析的模型，对规划中的风险因素进行量化分析，形成一套集成多个风险分析模型的应用软件，以提高开发规划水平。

## 0.2 本项研究的思路、主要理论和方法

### 0.2.1 本项研究的思路

本项研究首先从确定天然气产业链上游开发规划风险评价的主要框架和方法入手，即确定天然气产业链上游开发规划风险的定义、风险评价的目标、风险评价的最基本划分单位、风险评价的方法以及风险评价的主要步骤等；随后分析国外天然气产业风险管理和风险分析的研究现状以及国外风险评价系统软件的编制应用情况，分析国内油气行业风险分析的进展、搜集国内油气行业进行风险评价的主要方法，从而得出国内外风险分析研究现状对天然气产业链上游开发规划风险分析框架、方法和系统软件的借鉴；随后，通过研究国内外风险分析的可选方法，并从方法自身优缺点、适用场合以及落实到现实应用的可实现程度等方面对各种方法进行比较整合，根据天然气产业链上游开发规划风险分析的特点，初步筛选出适合本项目对风险进行量化分析的方法。在上述研究的基础上，得出本项目研究的核心部分：

(1) 天然气产业链上游开发规划的风险因素分析。界定及识别天然气产业链上游开发规划的风险；确定天然气产业链上游开发规划的风险类型及关系，对风险因素分类，找出其中确定因素和不确定因素；同时对气田开发规划进行模块划分，分析其风险指标及影响因素。

(2) 天然气产业链上游开发规划风险分析模拟方法。确定天然气产业链上游开发规划风险分析的方法以及天然气产业链上游开发规划风险分析模块的细化及模块间的关系；根据风险分析方法的思路、模块划分及其关系得出各个模块下具体的算法、模型构建以及模拟流程。

(3) 天然气产业链上游开发规划风险评价。包括对气田产量、储量、效益风险的评价，储量风险与产量风险的集成，产量风险与效益风险的集成，对气田的产量、效益规划的风险量化指标进行敏感性分析和单指标影响分析，对气田产量风险和效益风险进行累加和释放以及目标求解。

(4) 编制天然气产业链上游开发规划风险评价系统。在前面所有章节分析的基础上编制天然气产业链上游开发规划风险评价系统，并通过案例分析测试、演示，分析软件的功能、操作方法、运行流程和运行结果。

## 0.2.2 本项研究的理论和方法

本项研究涉及产业链理论、经济学理论、风险评价理论、概率和统计学理论、计算机科学理论、系统科学理论和石油地质学理论等多学科跨门类的相关理论，仅靠功能单一的传统模式难以奏效，必须针对油气田开发生产的特点创立新的系统模型和方法论，才能取得理想的效果，达到预定的目标。

本项研究运用的主要研究方法有系统分析方法、蒙特卡洛模拟方法和决策树方法。本项研究在这些理论与方法的基础上，将定性分析与定量分析相结合，理论分析与实证分析相结合，静态分析与动态分析相结合，以保证研究结果的合理性、实用性及科学性。

定量分析的蒙特卡洛模拟方法和决策树方法的具体运用主要体现在产量分布、储量分布和效益分布的预测模拟。在确定天然气产业链上游开发规划风险分析的主要目标，划分各目标下的模块后，基于蒙特卡洛模拟方法和决策树方法的思想，确定各模块的算法、构建预测模型以及编写模拟流程，从而得出针对各个不同开发阶段的气田，在规划期内其产量、储量、效益的预测值。

综上所述，本项研究的思路、理论和方法等的整体构架关系如图 0.1 所示。

从图 0.1 可以看出，本项研究的整体架构关系是从 12 个问题出发的，它们分别是：

(1) 天然气产业链上游开发规划风险评价的主要框架和方法是什么？

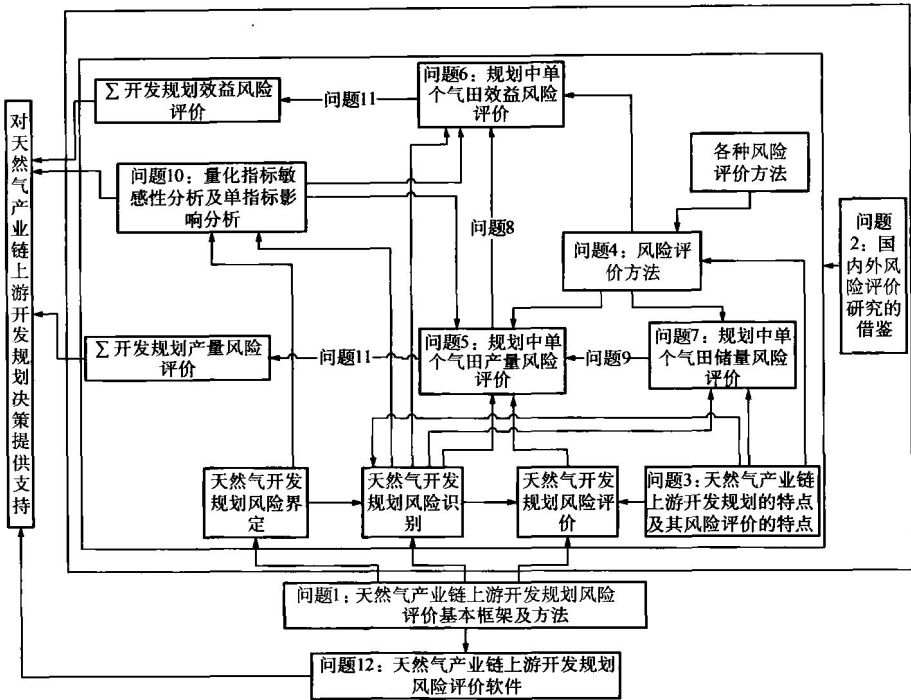


图 0.1 本项研究的思路、理论和方法等的整体构架关系

- (2) 国内外风险分析研究对本项目的借鉴性是什么？
- (3) 天然气产业链上游开发规划的特点是什么？天然气产业链上游开发规划风险评价的特点是什么？
- (4) 适合天然气产业链上游开发规划风险评价的方法是什么？
- (5) 单个气田产量规划的风险评价。
- (6) 单个气田的效益风险评价（类似于单个气田产量规划的风险评价）。
- (7) 单个气田的储量风险评价。
- (8) 单个气田的储量与产量风险评价如何集成？
- (9) 单个气田的产量与效益风险评价如何集成？
- (10) 如何对单个气田的产量、效益规划的风险量化指标进行敏感性分析和单指标影响分析？
- (11) 如果在气田投入、累加和释放条件下以及在目标求解的条件下进行天然气产业链上游开发规划风险评价？
- (12) 开发编制天然气产业链上游开发规划风险评价系统软件。

### 0.3 本研究的主要内容

第1章：天然气产业链上游开发规划及风险分析总述。本章首先从天然气产业链的发育状况和发育阶段分析出发，分析中国天然气产业链存在的风险及风险因素识别；随后从天然气产业链上游开发规划指导思想及目标、基本任务的角度，分析天然气产业链上游开发规划的特点；接着分析天然气产业链上游开发规划风险分析的必要性，论证风险分析的重要性和必要性；最后确定天然气产业链上游开发规划风险的定义及风险分析的目标、内容和特点。

第2章：天然气产业链上游开发规划风险分析的国内外研究。为了进一步明确天然气产业链上游开发规划风险分析的目标和方法，重点了解国外天然气产业风险管理、风险分析的研究现状和风险评价系统软件的编制应用情况以及国内油气行业风险分析的进展；在此基础上，得出国内外风险分析研究现状对天然气产业链上游开发规划风险分析框架、方法和评价系统软件的借鉴。

第3章：天然气产业链上游开发规划风险评价方法的选择。本章研究了国内外用于风险分析的定量、定性方法，提出了对不同风险分析方法进行比较的方法，即从方法自身优缺点、适用场合以及落实到现实应用的可实现程度等方面对各种方法进行比较整合；根据天然气产业链上游开发规划风险分析的特点，初步筛选出五种对风险进行量化分析的方法：蒙特卡洛模拟方法、决策树方法、层次分析法、神经网络及模糊综合评判法；最后确定选择上游开发规划风险评价方法的原则，并根据该原则结合天然气产业链上游开发规划风险分析的特点，确定最终的天然气产业链上游开发规划风险评价方法为蒙特卡洛模拟方法和决策树方法。

第4章：天然气产业链上游开发规划中的风险因素分析。本章从天然气产业链角度对天然气产业链上游开发规划的风险进行界定及识别，确定天然气产业链上游开发规划的风险类型及其关系，对风险因素分类，找出其中的确定因素和不确定因素；根据天然气开发各模块中存在的不同风险因素，对气田开发规划进行模块划分，分析其风险指标及影响因素；并对影响天然气产量指标、储量指标和效益指标的各大风险因素以及因素之间的关系进行梳理。

第5章：天然气产业链上游开发规划风险评价。本章研究了天然气产

业链上游开发规划风险评价的问题类型，以及天然气产业链上游开发规划风险分析模块的细化及模块间的关系。根据风险分析方法的思路、模块划分及其关系得到了各个模块下具体的算法、模型构建以及模拟流程；并对储量、产量和效益风险进行了一体化分析，着重分析如何对储量和产量风险模块、产量风险和效益风险模块的集成问题；同时根据天然气产业链上游开发规划风险评价的实际操作情况，分析气田投入、累加和释放条件下的天然气产业链上游开发规划风险评价，风险量化指标评价条件下的天然气产业链上游开发规划风险评价，也就是敏感性分析和单指标影响评价；最后分析目标求解条件下的天然气产业链上游开发规划风险评价。

第6章：天然气产业链上游开发规划风险评价系统。本章在分析天然气产业链上游开发规划风险分析的方法思路、模块细化以及模块间相互关系、具体算法、模型和模拟流程的基础上，编制了天然气产业链上游开发规划风险评价系统，并通过案例分析了解软件的功能、操作方法、运行流程和运行结果。

## 0.4 本项研究的主要成果

(1) 从天然气产业链和风险分析的角度出发，明确了天然气产业链上游开发规划风险的来源：产业链风险及上游开发规划方案本身的风险；定义了天然气产业链上游开发规划风险为以天然气产业链上游开发规划的产量为核心，将产量视为受多种量化指标影响的随机变量，其分布构成规划产量的风险，与产量相关的效益、储量亦视为随机变量，它们的分布也成为评价规划风险的重要参考指标；同时，从开发规划特点和风险分析角度分析了天然气产业链上游开发规划风险分析的特点。

(2) 根据天然气产业链上游开发规划的指导思想、目标和任务，以及天然气产业链上游开发规划风险的定义和风险分析特点，在研究国内外天然气产业链风险分析、油气行业风险分析、国外风险评价系统以及对比国内外定性、定量风险分析方法的基础上，建立了天然气产业链上游开发规划风险评价的框架。

本项研究确立的天然气产业链上游开发规划风险评价的框架为：天然气产业链上游开发规划风险评价以开发规划方案的风险评价为主，以单个气田的风险为最基本划分单位，采取蒙特卡洛模拟方法和决策树方法分析天然气开发阶段的储量风险、产量风险和效益风险。

本项目可以解决如下问题：提出规定的产量、效益目标下的天然气产业链上游开发规划方案；通过气田的投入、累加和释放条件下的敏感性分析和单指标影响分析、目标求解对不同天然气产业链上游开发规划方案进行风险评价；通过气田的投入、累加和释放、敏感性分析和单指标影响分析、目标求解改变天然气产业链上游开发规划方案的风险。

(3) 界定了天然气产业链上游开发规划风险分析以储量风险、产量风险、效益风险为分析目标的风险量化指标，并明确了影响每种量化指标的风险因素。

(4) 对气田开发规划进行模块划分及细化，在天然气产业链上游开发规划风险分析的目标、风险因素研究和模块细化研究的基础上，在风险分析方法、理论的指导下提出了产量风险模块、储量风险模块和效益风险模块的算法流程、模拟流程，产量风险模块和效益风险模块的累加算法及模拟流程图。图 0.2 和图 0.3 是探明已开发气田产量算法流程图和分布模拟流程图。

(5) 提出并解决了天然气产业链上游开发规划风险分析的一体化问题。风险分析一体化是指在对不同类型、不同开发阶段的不同气田进行风险分析时，从储量风险分析到产量风险分析再到效益风险分析是一体化的，输入一次数据，就可以得出所有的储量风险分析结果、产量风险分析结果以及效益风险分析结果，所有数据都是衔接的，一环紧扣一环。它包括储量风险与产量风险模块的集成问题以及产量风险与效益风险模块的集成问题，如图 0.4 和图 0.5 所示。

(6) 提出并分析解决了气田投入、气田的累加和释放以及风险量化指标评价和目标求解条件下的天然气产业链上游开发规划风险评价。

根据天然气产业链上游开发规划风险评价实际操作中遇到的问题，本项研究提出并分析解决了气田投入、气田的累加和释放、风险量化指标评价以及目标求解条件下的天然气产业链上游开发规划风险评价，以产量模块为例，如图 0.6 至图 0.10 所示。

(7) 编制了运行良好、稳定且包含了储量风险模块、产量风险模块和效益风险模块，并实现了所有模块的细化和对接的一体化天然气产业链上游开发规划风险评价系统软件。软件可以实现以下功能：

① 量化分析规划期各年天然气储量分布、产量分布与效益分布，得出规划期内各年天然气储量、产量和效益的概率分布曲线，据此得出各年天然气储量、产量和效益的可能值。

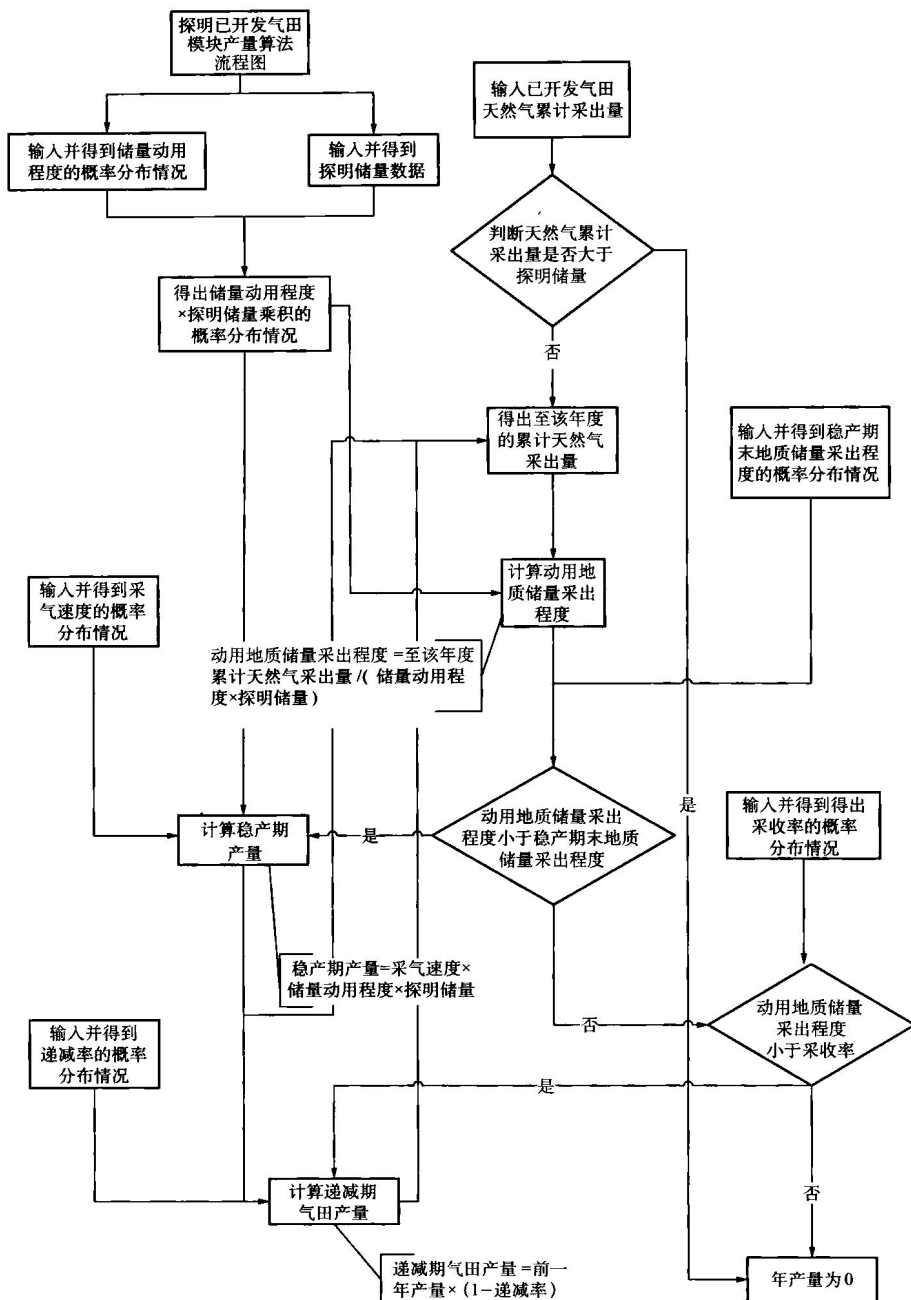


图 0.2 探明已开发气田产量算法流程图

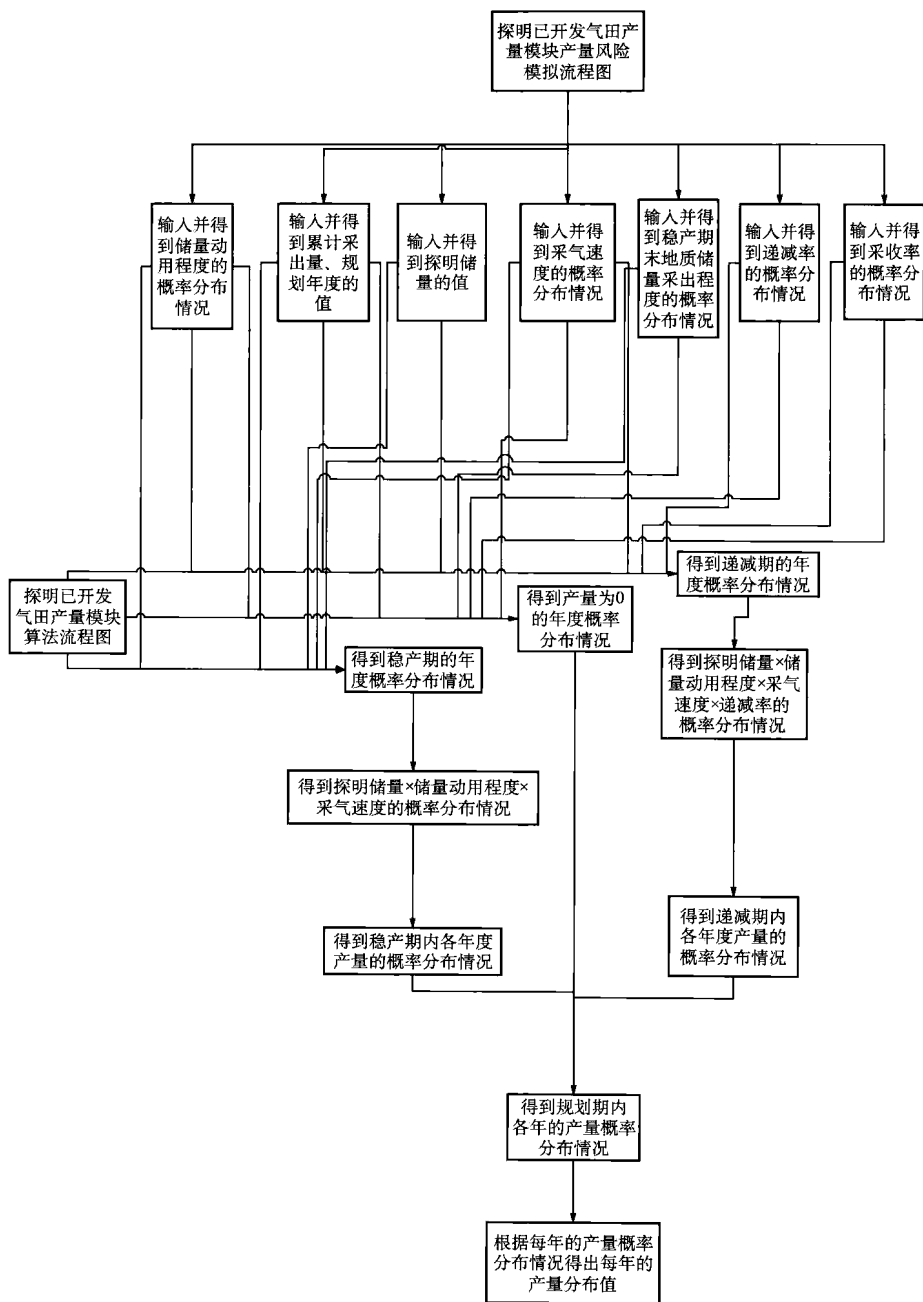


图 0.3 探明已开发气田产量分布模拟流程图



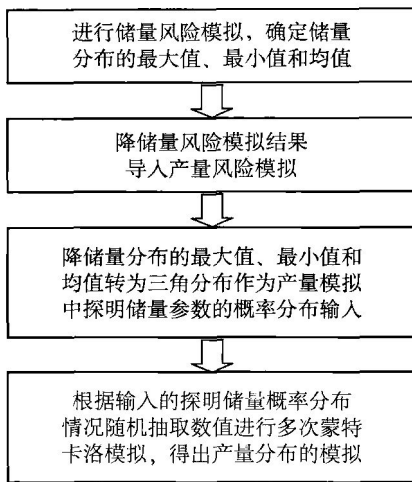


图 0.4 储量风险模块与产量风险模块的集成

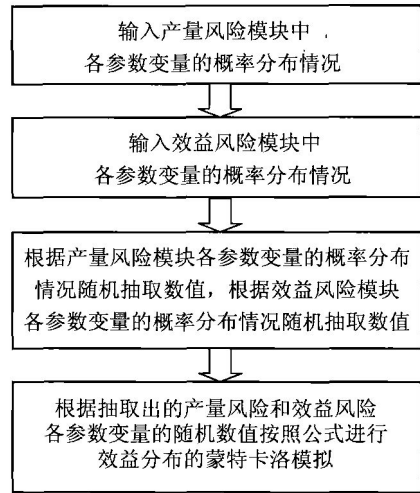


图 0.5 产量风险模块与效益风险模块的集成

从图 0.11 可以得出, 探明已开发气田子模块中 ykf1 气田第一年产量多分布在 16.91 ~ 205.951 之间, 概率为 90%, 其中, 产量为 16.91 以下的概率为 5%, 在 16.91 ~ 96.09 之间的概率为 45%, 在 96.09 ~ 205.951 之间的概率为 45%, 在 205.951 以上的概率为 5%, 最可能值为 96.09。

从图 0.12 可以得出, 探明已开发气田子模块中 ykf1 气田第一年效益多分布在 30.50 ~ 369.573 之间, 概率为 90%, 其中, 产量为 30.50 以下的概率为 5%, 在 30.50 ~ 174.395 之间的概率为 45%, 在 174.395 ~ 369.573 之间的概率为 45%, 在 369.573 以上的概率为 5%, 最可能值为 174.395。

从图 0.13 可以得出, 新增探明地质储量探井数预测方法下第一年储量多分布在 366.817 ~ 441.762 之间, 概率为 90%, 其中, 产量为 366.817 以下的概率为 5%, 在 366.817 ~ 405.32 之间的概率为 45%, 在 405.32 ~ 441.762 之间的概率为 45%, 在 441.762 以上的概率为 5%, 最可能值为 405.32。

②对产量风险模块中各子模块进行加总, 得出规划期内各年总产量、探明已开发气田子模块总产量、探明未开发气田子模块总产量以及待探明储量气田子模块总产量的概率分布曲线, 并据此分析规划期内各年总产量的可能值。

从图 0.14 可以看出, 总产量第四年多分布在 108.539 ~ 348.0365 之间, 概率为 90%, 其中, 产量为 108.539 以下的概率为 5%, 在 108.539 ~