

钻探目标评价优选决策系统

蔡利学, 闫相宾, 李娜, 李军, 杨双, 马晓娟

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 钻探目标评价优选和部署决策是油气勘探工作关键环节之一, 以勘探风险分析技术为基础, 借鉴金融领域投资组合理论, 结合我国圈闭评价技术标准, 构建了钻探目标评价优选决策系统: ①建立了以基础数据管理、成果数据管理、图形管理和文档管理为主要内容的综合性圈闭管理系统; ②从钻探目标成藏过程出发, 采用风险概率法, 计算含油气概率, 并根据资料置信程度建立了赋值原则和标准; 同时, 采用蒙特卡洛法模拟资源量分布, 建立了圈闭群资源量计算方法以及计算参数合理性校验方法; 最后, 立足于勘探开发全过程, 采用现金流法, 重点关注油气发现风险和资源价值, 针对圈闭和钻探目标分别提出预期收益计算方法; ③采用“风险—价值”为核心的优选决策模型, 建立了圈闭优选、预探井优选、预期收益—风险后价值排序以及投资组合优化和预探井部署方案油气储量规模预测方法, 为预探部署提供依据。④建立了包括成藏规模对比、风险因素对比、含油气概率对比和失利因素分析4部分内容构成的钻后评估体系, 首次引入了系统应用绩效评价, 有利于加强预探项目的监督管理、提高评价人员的评价优选和部署决策水平。实际应用该系统, 实现了不同地区、不同领域的钻探目标统一评价优选决策, 为油公司规划编制和预探井部署提供了科学依据。

关键词: 钻探目标; 风险分析; 评价优选; 部署决策; 钻后评估

中图分类号: TE155

文献标识码: A

Evaluation, optimization and decision system for prospects to drill

Cai Lixue, Yan Xiangbin, Li Na, Li Jun, Yang Shuang, Ma Xiaojuan

(Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Evaluation and selection of prospects to drill is one of the main tasks for the decision-makers of oil companies. Based on the principles of risk analysis and portfolio management, in combination with the Chinese technical criteria of prospect evaluation, a system of evaluation, optimization and decision has been built for prospects to drill. 1) A management system of prospects with graphs, images, numbers, forms and texts integrated is established to perform basic data management, outcomes data management, graphics management and document management. 2) Considering the geological process of petroleum accumulation and trapping, the discovery probability of hydrocarbon is defined. The general guidelines of evaluation are used to assign probability to each individual geological factor involved with respect to database reliability. At the same time, the distributions of resource amount of a prospect and a group of prospects are simulated and predicted by Monte Carlo, and three methods of reality checks have been provided to help evaluate those predictions. And then the economic characteristics of the resources of the prospects are valued by the conventional discounted cash-flow based on the whole process of petroleum exploration and production. 3) ‘Risk analysis vs. economic value’ method is proposed for selection of the favorable prospects to drill, including prospect screening, wildcat well selecting, prospect ranking by expected return and risk value, and portfolio optimization. 4) A post-drill assessment system is set up to monitor the wildcat drilling projects and improve the predictive performance, which consists of four parts: comparison between pre-and post-drill estimates of resource/reserve, comparison between predictive and actual results of key geological factors, calibration of hydrocarbon probability and analysis of the causes for the failure. This system has been successfully applied to decision-making of wildcat drilling programs in different geologic provinces.

Key words: prospect to drill, risk analysis, valuation and optimization, decision of drilling, post-drill assessment

众所周知, 油气勘探是个高风险行业, 而钻探目标通常是石油与天然气预探过程中实施钻探任务的最小

地质单元, 即各类圈闭或纵向上叠置的多个圈闭。因此, 降低勘探风险、优化投资是国际石油公司上游管理

的主要理念,并采用风险分析技术与投资组合理论对准备钻探的目标进行统一的勘探风险分析、经济价值评价和投资优化组合管理,从而提高油气勘探成效^[1-2]。20世纪80年代开始由 Peter Rose 倡导的地质风险分析和投资决策理念在国际油公司中广泛应用^[3],通过短短20多年150余家国际石油公司或机构的应用完善,钻探目标的风险分析技术和优化投资组合管理在规避或降低风险方面成效明显,技术日趋成熟。如何建立与油公司经营管理理念相适应的钻探目标评价优选决策系统一直是石油界研究的热点之一^[4]。

近年来,随着油气钻探目标日益复杂和经济形势的不断变化,国内各油公司已把“突出资源战略、注重油气发现和商业发现,走高效勘探之路”作为油气勘探新要求。目前,在钻探目标决策过程中,对资料因素在勘探风险中的重要程度没有足够的认识,地质风险评价一般采用打分系数法,且缺少对资源量计算参数的合理性校验,针对圈闭群的资源量计算亦没考虑风险,而投资组合理论在国内油气勘探中应用广度和深度非常有限^[5-7]。

为了尽可能地做到有效、快速、客观地评价和优选钻探目标,笔者在系统调研学习勘探风险分析技术与投资组合理论基础上^[8-12],根据钻探目标勘探风险大和寻求商业储量突破的特点,研发出以“风险分析-资源价值”为核心的钻探目标评价优选决策系统。该系统的特点是采用统一的准则处理和表征钻探目标的风险和不确定性,从而降低各种倾向对制定勘探决策及发展战略的影响;同时采用投资优化组合进行投资决策分析,从而降低或规避风险,提高效益。在实际生产中应用,取得了较好效果。

1 系统功能模块与技术特色

该系统技术依托于强大的圈闭图文数据信息管理系统,量化了含油气概率赋值原则标准,构建了圈

闭资源量计算参数分布模型合理性检验的方法,提出了三级圈闭群资源量和钻探目标组合油气资源规模钻前预测方法,建立了圈闭经济评价中不同油气藏类型生产模式,采用了有特色的预期收益-风险后价值方法优选预探目标。系统架构和数据流程图如图1和图2。

1.1 圈闭管理

圈闭管理是指在油气预探阶段,对圈闭的发现、评价、储备、钻探、复查、再评价等工作和研究过程中所用到的和形成的一系列图形和数据成果进行的统一管理。它的主要功能是圈闭数据库管理和圈闭图形库管理,为地震和预探井部署以及勘探决策服务。该系统的圈闭管理不仅能处理文字、数值,还能处理图像,是一个集图、像、数、表、文为一体,功能齐全,层次清晰,综合性比较强的圈闭管理系统。实现了数据库与图形库的互联互通,使圈闭管理工作达到科学化、实用化和规范化,提高了圈闭评价和管理工作的质量和效率。包括了基础数据管理、成果数据管理、图形管理和文档管理4部分。

1.1.1 基础数据管理

基础数据管理是针对圈闭基本信息(所隶属的中国行政区、盆地、一二级构造、圈闭地理位置、地表条件、地面海拔、圈闭类型、主要层位、地震工作程度、主要地震测线、圈闭简况等)、圈闭识别基础数据(层位、面积、闭合度、高点埋深、可靠程度等)、圈闭审核信息、新发现圈闭信息、复查圈闭信息等进行的管理,可加载 Excel、txt、access 等格式的数据,亦可手动输入或进行数据拷贝。

1.1.2 成果数据管理

成果数据管理是对圈闭评价优选成果数据和钻探成果数据进行管理和打印,包括圈闭钻探成果管理、储

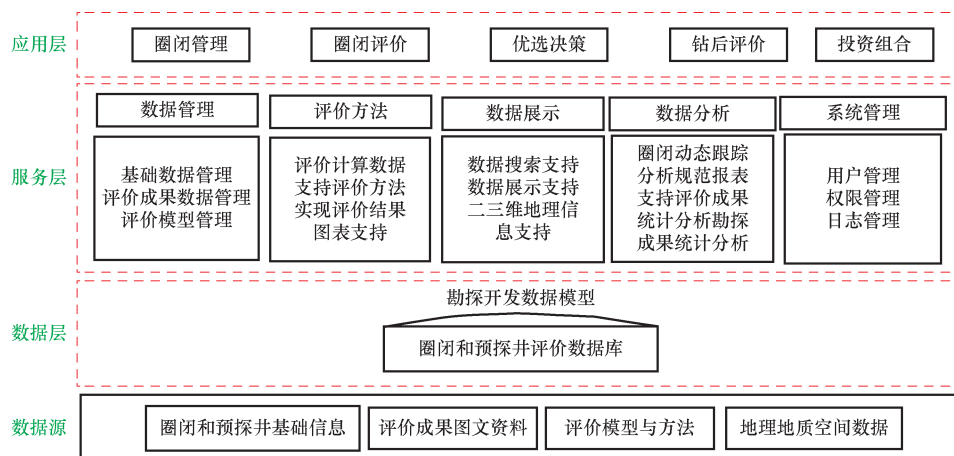


图1 钻探目标评价优选决策系统架构

Fig. 1 Framework of evaluation-optimization-decision system of prospects to drill

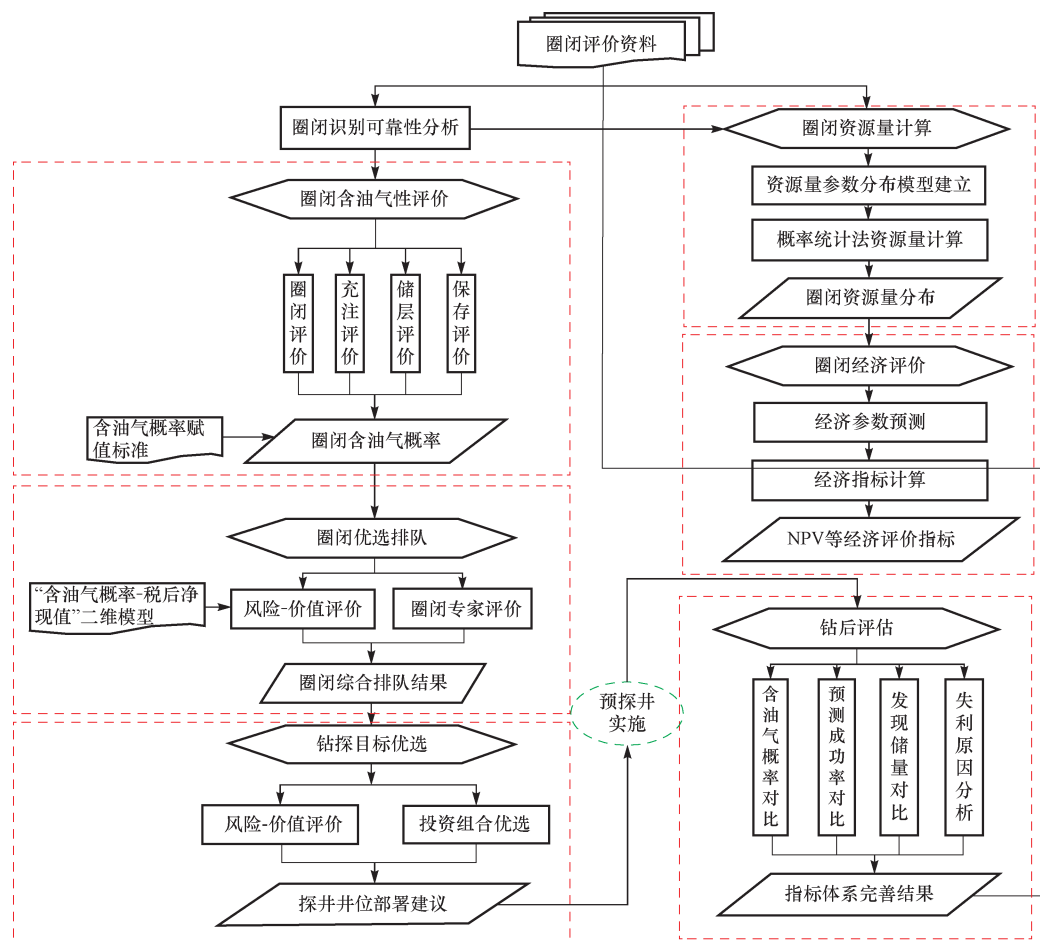


图 2 钻探目标评价优选决策系统数据流程图

Fig. 2 Data flow of evaluation-optimization-decision system of prospects to drill

备圈闭成果管理、并可统计分析圈闭识别成果数据,整理打印圈闭评价优选成果,对评价结果(包括含油气评价、资源量估算、经济评价、综合评价等)进行分类管理;同时,可对已上钻圈闭进行钻井、试油动态与结果跟踪,统计圈闭钻探成功率与分析圈闭失利原因。

1.1.3 图形管理

图形管理是对所有圈闭图形、图像、圈闭成果图件进行全面管理。可分类加载 GIS 图层、地震测线、等值线图、测井数据、Mapgis 明码格式及双狐文本数据等格式的文件,主要包括中国行政区图、盆地勘探成果图、探矿权分布图、一、二级构造带、三级构造和四级圈闭图以及地震剖面、正、反演剖面、地质-地震模型或模式和各类烃检测图等。

圈闭图形库实现了圈闭评价各种图件的输入(扫描、数字化、统计数据成图等)、输出、修改、编辑、叠加以及生成等功能,克服了人工制图、清绘等诸多缺点,减少了工作量,加快了评价速度。另外,该系统提供能与地震解释系统接口的功能,所以在该系统内不仅能够对测井、地震等资料进行解释,而且还能形成构造及

储层分布等立体图,可从不同的角度进行切片分析、研究圈闭及其储层特征、达到对构造、储层精细描述。同时,能够把科技人员从繁重的数据管理、分类、归档中解放出来,提高工作效率。

1.1.4 文档管理

文档管理是对圈闭识别、描述、评价、优选等基础文档资料和圈闭评价成果文档进行管理,尤其是年度圈闭评价成果报告的存档管理。便于调阅和钻后复查,具有强大的快速查询功能以及实时更新和输出功能。

圈闭管理模块根据圈闭描述评价优选等生产要求,结合圈闭描述评价人员和决策人员的工作习惯,在 Windows 环境下,采用全汉化人机交互方式编写。它从基础地质信息出发,从圈闭的石油地质基础资料入手,根据现有的地震资料控制程度和资料处理解释成果,对圈闭综合评价所形成的含油气性分析、资源量估算、经济效益预测和统一优选结果等数据、图形、文档进行全面管理,为圈闭勘探决策分析提供科学依据,真正实现了融圈闭描述、评价、优选于一体的科学化管理,并为预探井井位部署奠定基础。

1.2 圈闭评价

圈闭评价是在优选出含油气有利区带的基础上,依据油气成藏理论,充分利用地面物化探资料、井筒资料 and 综合研究资料,对识别出的圈闭进行含油气性分析、资源量计算、经济评价,进而为钻探目标优选和部署决策奠定基础。

1.2.1 含油气性评价

含油气性评价是对油气成藏要素进行评价,从而确定钻探目标发现油气的地质可能性。从钻探目标成藏的地质过程来讲,必须同时具备圈闭、充注、储集和保存4项成藏条件,由于其相互独立、缺一不可,因此,采用这4项成藏条件作为主因子,并用其各自概率的乘积表示圈闭的含油气概率。

在不同类型油气藏成藏主控因素及其不同地区风险关键因素分析的基础上^[13-18],当研究区勘探程度较高时,进一步细化了圈闭、充注、储集和保存4项主因子,提出了13项存在子因子和有效子因子。并根据木桶短板效应原理,若各子因子独立则其概率相乘、若几个子因子相关则取风险最大者子因子与其他子因子概率相乘表示圈闭的含油气概率。

圈闭的含油气概率越大,地质风险越低,反之亦然。对纵向上由多个圈闭组成的钻探目标其含油气概率是指至少有一个圈闭发现油气的概率。

由于圈闭或钻探目标地质风险评价(含油气概率计算)是圈闭或钻探目标油气资源量计算与经济评价的基础,含油气概率客观准确表征和量化评价至关重要,因此,根据资料的相关程度、丰富程度、控制程度和质量评价,建立了概率赋值原则以及4项主因子和13项子因子概率赋值标准。

本系统含油气性评价从目标成藏过程出发,采用风险概率法,计算含油气概率,并根据资料置信程度建立了赋值原则和标准,改变了以往地质风险分析主要按照成藏条件好坏、优劣分级进行打分、最后相乘求得地质综合评价因数的方法,使含油气评价更注重地质风险分析以及其结果更客观合理。

1.2.2 资源量计算

资源量计算是根据地质认识和所获资料,采用不确定性方法对油气规模进行预测。对于仅有一个目的层的圈闭,应用蒙特卡洛模拟方法,直接计算出圈闭可采资源量即可;对于由多个目的层组成的圈闭或由多个圈闭组成的钻探目标,其资源量是指至少有一个层或一个圈闭发现油气后的资源量,其大小与分布取决于各目的层或各圈闭的资源量分布及其含油气概率,

可通过蒙特卡洛模拟求得;资源量计算的精度和可信度取决于相关参数(含油面积、厚度、采收率等)的概率分布模型(对数正态分布、正态分布、三角分布、Beta分布等)。

根据实际勘探规律和管理要求,以风险分析技术为基础,提出了圈闭群资源量计算公式(1):

$$Q = Q_{\text{Drill}} + \sum_{i \neq \text{Drill}} (P_{(\text{indep})i} Q_i) \quad (1)$$

式中: Q 为圈闭群资源量, 10^4t (或 10^8m^3); Q_{Drill} 为首钻圈闭资源量, 10^4t (或 10^8m^3); $P_{(\text{indep})i}$ 为圈闭群内第*i*个非首钻圈闭的独立因子成藏概率; Q_i 为圈闭群内第*i*个非首钻圈闭的资源量, 10^4t (或 10^8m^3)。

为了确保资源量计算的合理性,将从3个方面对资源量计算结果进行检验:一是计算参数分布模型合理性检验,二是计算参数的端值校验,三是用资源量的 P_{10}/P_{90} 比值。

本系统资源量计算以风险分析为基础,采用蒙特卡洛模拟方法估算资源量,首次提出了圈闭群资源量计算方法,并进一步提出了资源量计算参数分布模型合理性检验方法,不仅资源量管理符合资源管理要求,并统一了参数分布模型筛选评判尺度,同时使资源量预测结果更合理可信。

1.2.3 圈闭经济评价

圈闭经济是根据相应的合同模式及财税条款,评价目标资源的经济性。圈闭经济评价流程包括开发概念设计、投资成本预测、生产成本预测、税费参数和价格预测以及投资估算、成本费用估算、销售收入估算、财务评价、基准平衡分析、决策树分析。

在进行圈闭经济评价时,以圈闭或钻探目标可采资源量为基础,通过类比分析,确定相应的勘探、开发成本和产能指标,进行勘探方案、开发概念设计,采用成本费用粗略估算法或详细估算法进行成本费用预测和投资估算;同时,在以上工作的基础上,根据相应的财税制度,采用现金流法计算预探目标的未来现金流、税后净现值、投资回收期、内部收益率等经济指标,并对影响经济指标的关键因素进行不确定性分析,对可采资源量、产量(单井初始日产、产量模式)、价格及成本等进行敏感性分析,计算最小商业/经济储量规模等经济界限指标;最终,依据圈闭含油气风险和钻探目标的钻探风险,分别计算圈闭和预探井预期收益,即圈闭的预期收益用其含油气概率乘钻探成功时的税后净现值减去圈闭的风险概率乘钻探成本来表示,而预探井的预期收益用其钻探成功概率乘钻探成功时的税后净现值减去目标的风险概率乘钻探成本来表示。

本系统经济评价,立足于勘探开发全过程,在经济评价过程中定量的费用效益计算与风险分析相结合,

以动态的经济指标为主,重点关注油气发现风险和资源价值,针对圈闭和预探井分别提出预期收益计算方法,为勘探决策提供可靠的依据。

1.3 优选决策

在含油气评价、资源量估算和经济评价的基础上,开展圈闭和预探井优选决策。圈闭或钻探目标评价优选的核心是为勘探决策服务,尤其是经济评价,是对预探目标“是否值得钻探、优先钻探哪个”的问题的回答。但勘探决策者的重点不仅仅是优选钻探哪些圈闭或目标,关键是优选钻探在哪些区带上的圈闭或目标,因此区带的评价优选决策是前提和基础。

该系统优选决策主要采用“风险-价值”为核心的二维优选决策模型,包括:圈闭优选、预探井优选、预期收益-风险后价值排序和投资组合以及预探井部署方案油气储量规模预测。

1.3.1 圈闭优选

针对圈闭,采用圈闭含油气概率-税后净现值模型优选决策。首先,用圈闭的最小可采资源量和含油气概率5%作为门限对其初选;然后,对通过了初选的圈闭用其含油气概率和税后净现值优选,当多个圈闭的含油气概率和税后净现值相同或相近时,用圈闭税后净现值分布特征(即 P_{10} 对应的净现值)优选,决策时通常首选位于第一象限的那些含油气概率、税后净现值均较大者;最后,结合专家评价,优选出有利待钻圈闭。

1.3.2 预探井优选

针对钻探目标,采用预探井成功概率-资源价值二维模型优选。首先,通过初选的钻探目标进行资源钻略价值分析,并根据资源战略价值系数赋值标准,确定预探目标的战略价值系数,结合经济评价后所得的税后净现值,将二者相乘获得资源战略价值;然后利用预探井成功概率-资源价值对众多预探目标优选,通常首选位于第一象限预探井成功概率、资源价值均较大的目标进行钻探。

1.3.3 预期收益-风险后价值排序

预探目标优选和投资决策是油气勘探战略决策的重要内容,侧重于油气勘探长远的宏观谋划,其目的是发现油气,寻找后备资源接替领域,为公司的可持续发展奠定基础,为了避免目前流行的现金流法对新区、新领域的勘探价值评价的局限性,完全体现预探目标选择和投资决策所能获得的潜在发展机会的价值。系统采用了预期收益-风险后价值对预探目标进行排序。

首先,用预期收益 ≥ 0 对所有预探目标进行初选;然后,计算风险后价值(预探井成功概率与资源价值的乘积),并按风险后价值进行排序;最后根据预探投资和储量任务,依据预探目标储量指标预测进行预探目标决策。优选决策时,一般首选那些位于第一象限预期收益、风险后价值均 ≥ 0 的目标,若企业还有一定的风险承担能力,还可优选那些位于第四象限预期收益 < 0 ,但风险后价值 > 0 的目标。

本系统为了充分体现预探目标钻探风险大,其预探目的除了发现商业油气外,还有带动地区勘探和推动更多油气发现的作用,从而使公司能够保持合理的资源序列和储采比,根据实际工作经验,针对预探目标优选的特点,提出了具有特色的预期收益-风险后价值排序法,使目标优选简单而有效。

1.3.4 投资组合

投资组合是指对所欲投资的钻探目标进行一定合理的安排,以期在未来获得较大收益的投资选择方式。其核心思想是分散投资风险,优化投资配置。本系统的投资组合优化流程包括确定目标集、建立过滤器、候选目标分组、设定商业原则和规划目标、确定优化变量、组合优化计算与优选等。

在组合优化时,对所有目标进行地质风险和经济评价后,根据公司的发展战略,制定组合原则、规划目标和优化指标,从各钻探目标风险出发,采用蒙特卡罗法对不同方案进行模拟抽样,应用随机优化、遗传优化、线性优选等算法进行钻探目标优化组合,采用经济指标排队、收益-风险综合比较(有效前缘曲线)、时间序列组合指标比较、目标中选频数及其差异分析等方法,综合优选排序靠前的投资组合,确定高效投资组合,提供投资决策建议,从而实现企业效益最大化、风险最小化,为高效勘探决策提供依据。

本系统在投资决策中,考虑到风险和收益的相互影响,为了权衡风险和收益,对所有目标进行地质风险和经济评价后,通过目标过滤、优化计算、组合比选等形成投资组合,从有效的钻探目标群中优选勘探投资组合,从而有效地分散风险,优化勘探投资的分配,使风险和收益均衡,提高公司的勘探决策水平。

1.3.5 预探井部署方案油气储量规模预测

预探井部署方案油气储量规模预测是对年度钻探目标组合将来完钻后可能发现的油气资源量进行准确预测。为了给勘探计划制定与投资效益预测提供依据,笔者借鉴勘探风险分析技术和投资组合理论,提出年度钻探目标组合钻前油气资源量分布预测技术方法。

首先,确定油公司历年预探井成功率经验值(k)

和本年度预探目标组合的目标数量(n)以及本年度预计成功目标数目($N = nk$);其次,利用递归算法,计算出本年度成功目标数目为 N 的所有情况、与每种情况发生的概率 $P_{(\text{comb})i}$ 及其对应的资源量 $Q_{(\text{comb})i}$;最后,利用公式(2)计算出年度钻探目标组合钻前油气资源量,其计算表达式如下:

$$Q = \sum_{i=1}^{C_n^k} (P_{(\text{comb})i} Q_{(\text{comb})i}) / \sum_{i=1}^{C_n^k} P_{(\text{comb})i} \quad (2)$$

式中: Q 为钻探目标组合资源量, 10^4t (或 10^8m^3); $P_{(\text{comb})i}$ 为第 i 个钻探目标成功概率; $Q_{(\text{comb})i}$ 为第 i 个钻探目标成功概率下的资源量, 10^4t (或 10^8m^3); k 为历年预探井成功率经验值; n 为钻探目标组合中的目标数量,个。

本系统在部署方案指标预测中,利用随机抽样计算建立钻后油气储量分布,以代替以往粗略的平均估计值,其获取的未来钻后油气储量分布更为精确;同时,不仅利用了以往历史钻探的经验数据,而且还加入了定量化的风险分析,其结果更为接近实际情况,能够为油公司年度勘探计划编制、投资组合优化提供可靠的参考依据。

1.4 钻后评估

钻后评估是针对钻前评价而言的,是指对钻探圈闭的油气发现与显示情况、执行过程、勘探效益和影响所进行的系统、客观的分析,并与预探决策时所确定的目标以及技术、经济等指标进行对比,找出差别和变化,分析原因,总结经验,提出对策建议,指导下步工作。

圈闭预探信息的反馈及圈闭的滚动评价是圈闭评价的重要内容。预探井井筒信息反馈要求及时收集预探井的地质录井、测井、测试及分析化验等井筒信息,并用于标定地震资料,修正原有参数,建立新的判别标准和模式。无论圈闭预探是否获得油气均需要进行钻后评估。此外,工程技术的适应性对油气发现有很大影响,也是钻后验收评价的内容之一。因此,该系统钻后评估流程包括成藏规模对比、风险因素对比、含油气概率对比和失利因素分析。

1.4.1 成藏规模对比

地质认识对比是在圈闭预探工作结束之后,分两种情况进行钻后认识对比分析,若圈闭预探获得工业油气流,应汇总圈闭评价过程中的技术成果,应用本区带或圈闭预探的新资料,结合以往资料论述生油层、储层、盖层、运移、保存方面的新认识,重点是主要含油气层系储集层发育状况、沉积特征和圈闭对油气藏形成的控制作用,进行圈闭评价的阶段总结,进而按照相关国家、行业和企业标准规范,对获得工业油气流的圈

闭进行油气藏初步分析,为及时转入油气藏评价阶段做好准备。

成藏规模对比是将油气发现规模预测和实际结果绘图,进行资源量计算参数(含油气面积、有效厚度等)对比分析,分析资源量或储量的计算参数偏差,校验最终可采储量参数预测的正确性,并进一步完善参数,修正最终可采储量计算结果,也称发现储量规模对比。

1.4.2 失利原因分析

对于未获工业油气流的钻探目标,要根据“勘探无禁区,探井无失利”的原则,不能作全盘否定的评价,应用本区带或圈闭预探的新资料,结合以往资料,对比分析钻前预测和钻后结果的差异,分析总结预探而未发现油气的原因,提出存在的问题,从而取得生油层、储层、盖层、运移、保存以及圈闭本身等各方面的新认识,深刻总结经验教训,及时调整部署方案,逐步实施下一步预探井钻探,全面完成预探任务。同时,进行工程实施效果对比,对照地质论证报告和工程设计的内容与实际执行结果进行比较和分析,最后找出差距,分析原因,主要包括:①分析综合勘探技术是否充分应用和先进适用;②分析实施过程是否严格、规范。通过工程实施过程分析,总结经验,吸取教训,针对存在的问题,提出相应的对策和建议,为油气发现奠定基础。

1.4.3 风险因素对比

对于未获工业油气流的钻探目标,除了要分析失利原因之外,还要进行成藏风险主控因素对比和含油气概率对比。

成藏风险因素对比就是对所有预探圈闭和目标进行一致性的钻前和钻后审查,找出钻前预测和实际成藏关键因素的差异变化,将钻前预测和实际成功率对比,进行含油气性校验,并对失利井进行失利模式分析,寻找差距,提出完善措施,也称预测成功率对比。

1.4.4 含油气概率对比

含油气概率对比就是针对预探圈闭和钻探目标的成藏条件因子和子因子的概率赋值,进行钻前预测和钻后实际的结果对比,修正和完善赋值标准,并对风险主观偏好进行纠正。

本系统的钻后评估不仅包括了国家和行业所规定的钻后验收评价,对圈闭钻探后总结地质认识和工程技术成果,并且首次引入了系统应用绩效评价,对系统应用效果进行分析,利于加强对预探项目的监督管理、提高投资决策水平、降低投资风险,是增加投资收益的一种科学管理方法。

2 应用实例

本系统可应用于圈闭评价优选、年度钻探目标部署决策等实际工作。以某油公司某年第一季度钻探目标为例,利用本系统进行综合评价优选决策,提出预探井部署建议。

2.1 评价流程

钻探目标评价优选决策流程包括圈闭的可靠性评价、含油气性评价、可采资源量计算、经济评价、圈闭和钻探目标的优选(图2)。

2.2 目标优选

首先,对储备的666个目标分石油、天然气进行含油气概率—可采资源量评价优选。通常以含油气概率5%和最小经济规模储量为界限值优选目标,初步筛选出71个钻探目标,其地质风险和资源分布情况如图3。

其次,用现金流法对优选出的目标进行经济评价(图4),依据税后净现值的正、负决定目标是否值得钻探评价,通常税后净现值小于零的圈闭在现有的油价和工程工艺技术条件下即使钻探成功仍无经济效益目前

暂缓钻探评价;然后是依据预期收益和风险后税后净现值大小对优选出的目标进行排队,用预期收益和风险后的税后净现值对众多目标优选排队时,通常首选位于第一象限的目标(即预期收益、风险后的税后净现值均大于零),此类目标钻探获油气风险相对较低(图5)。

应用上述方法,初步优选出70个可钻探目标,然后依据公司的勘探战略,结合当时的投资预算,根据预期收益—风险后价值排序,优选出14个有利目标进行投资组合优化(表1)。

2.3 投资组合优选

在组合优化时,根据各目标风险系数,采用蒙特卡罗法对其不同方案进行模拟抽样。用遗传算法可产生多达10 000个可能的钻探目标优化组合,并用有效前缘等方法进行优选分析。

经过优化计算出4 000个组合,按照规划目标进行排序,形成多种评价指标图件。图6为组合风险—收益分布图,分析表明这4 000个组合基本符合有效前缘理论,尤其是前10个组合都处于前缘曲线上。结合公司部署指导思想、规划目标、主要组合指标,对排序靠前的组合进行综合优选,最终确定6个高效的投资组合供决策参考。

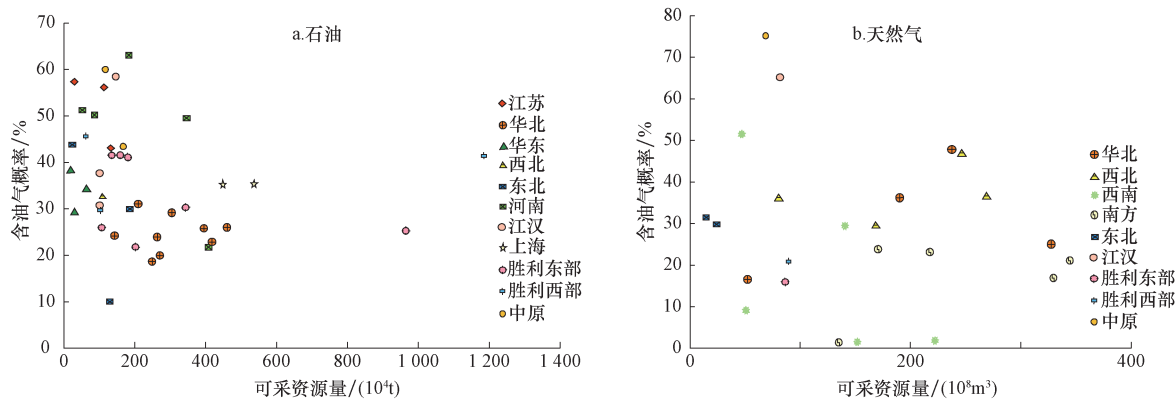


图3 含油气概率—可采资源量优选图

Fig. 3 Hydrocarbon possibility vs. EUR plot

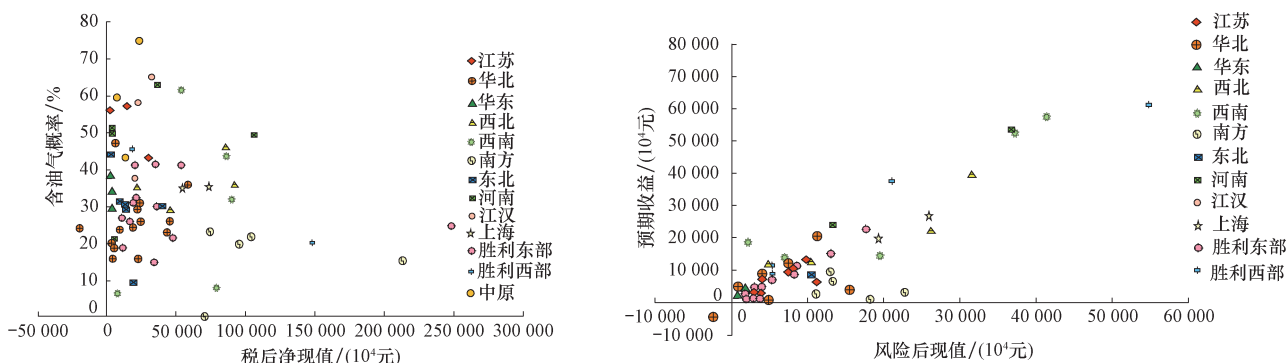


图4 含油气概率—税后净现值优选图

Fig. 4 Hydrocarbon possibility vs. after-tax NPV

图5 预期收益—风险后价值优选图

Fig. 5 Expected return vs. risk-adjusted value

表 1 优选出的 14 个有利目标数据
Table 1 Statistics of 14 favorable prospects selected

圈闭 代号	圈闭可采资源量(均值)		税后净现值/ (10 ⁴ 元)	价值/(10 ⁴ 元)	风险后价值/ (10 ⁴ 元)	预期收益/ (10 ⁴ 元)	设计井深/m	探井投资/ (10 ⁴ 元)
	石油/(10 ⁴ t)	天然气/(10 ⁸ m ³)						
A	124.7		30 992.31	30 992.31	14 001.71	9 809.45	4 500	3 200.0
B		170.40	45 558.15	36 446.52	13 667.45	12 333.73	8 000	9 980.0
C	85.0		22 171.66	22 171.66	13 391.68	13 156.66	3 800	2 000.0
D	100.0		26 414.98	26 414.98	12 214.29	11 094.29	4 110	4 680.0
E	192.0		47 514.52	33 260.16	11 740.84	16 630.08	2 900	1 540.0
F		80.99	32 374.67	19 424.80	11 363.50	5 996.40	4 260	4 260.0
G	395.6		32 572.55	32 572.55	11 172.38	11 172.39	4 300	24 944.0
H	397.1		36 991.08	29 592.86	11 052.93	15 349.80	2 000	381.6
I		179.80	55 838.80	33 503.27	10 721.04	19 334.00	3 200	1 200.0
J	392.3		35 597.93	24 918.55	10 675.11	15 307.11	1 810	1 250.0
K	184.3		46 936.91	28 162.15	10 560.80	20 177.61	6 000	5 029.2
L		91.10	38 726.02	38 726.02	10 037.78	10 456.03	3 500	2 600.0
M	130.0		29 957.01	23 965.61	9 881.02	12 986.34	3 420	883.0
N	68.0		24 047.16	19 237.73	8 112.17	12 675.26	2 820	3 380.0

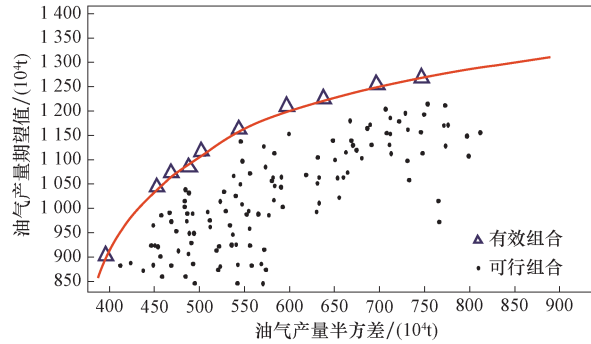


图 6 14 个预探目标投资组合优选结果

Fig. 6 Portfolio optimization results of 14 prospects to drill

经过优选,在排列前六位的优化组合中,不同钻探目标的被选频数如表 2 所示。分析表明,N₁ 和 B₁ 组合所包含的目标基本相同,差异在于 B₁ 组合有 I 目标,

表 2 不同钻探目标的被选频数统计

Table 2 Statistics of selection frequencies of different prospects to drill

勘探目标	被选频数	组合						
		N ₁	N ₂	N ₃	B ₁	B ₂	B ₃	
B	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
C	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
A	5	✓	✓	✓	×	✓	✓	
D	4	✓	✓	✓	✓	×	×	
E	3	✓	✓	×	✓	×	×	
F	4	✓	×	✓	✓	✓	×	
G	4	✓	✓	✓	✓	×	×	
I	5	×	✓	✓	✓	✓	✓	
H	4	×	✓	✓	×	✓	✓	
J	1	✓	×	×	×	×	×	
M	2	×	×	✓	×	×	✓	

注:✓目标被选中;×目标未被选中。

而 N₁ 组合中有 A 和 J 两个目标。经综合分析,B₁ 组合经济可采储量比 N₁ 组合多 $68 \times 10^4 \text{ m}^3$,而且 B₁ 组合达到设定产能规划目标的概率为 50% 以上,当年发现经济可采储量和当年勘探投资目标实现概率也都较 N₁ 组合高。因此 B₁ 组合产能规模较大,规划目标实现概率较大,根据勘探指导思想,优先推荐 B₁ 组合作为预探井部署方案。

2.4 预探井部署方案油气储量规模预测

对所推荐预探井部署方案的油气储量规模进行预测,采用蒙特卡洛法随机模拟 10 000 次,预测结果表明,石油储量均值为 $1\,569 \times 10^4 \text{ t}$,P₁₀ 石油储量为 $2\,427 \times 10^4 \text{ t}$,P₉₀ 石油储量为 $796 \times 10^4 \text{ t}$ (图 7)。

3 结语

1) 以“风险分析-资源价值”为核心的钻探目标优选决策系统较好地实现了钻探目标的定量评价和决

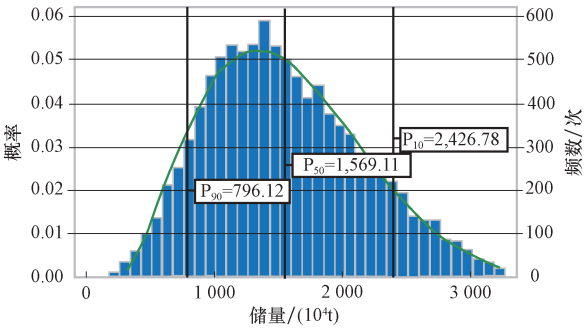


图 7 预探井部署方案石油储量预测

Fig. 7 EUR distribution of deployment scenario of wildcats

策,其方法、模型、指标体系达到国际先进水平。国外石油公司20余年实践表明:勘探风险分析技术和投资组合管理是勘探决策中实用成熟的技术方法,能够规范投资管理,控制勘探风险,降低发现成本。

2) 钻探目标经济评价的核心是服务于勘探决策(是否值得钻探、优先钻探哪个),但勘探决策者的重点不仅仅是优选钻探哪些目标,关键是优选钻探在哪些区带上的目标。因此区带的评价优选决策是前提和基础。

3) 掌握和理解勘探风险分析技术和投资组合管理方法是做好钻探目标统一评价优选决策的关键。

参 考 文 献

- [1] Rose P R. Riskanalysis and management of petroleum exploration ventures[M]. Tulsa: Penn Well Corporation,2001:125-127.
- [2] 郭秋麟,米石云. 油气勘探目标评价与决策分析[M]. 北京:石油工业出版社,2004. 21-22.
Guo Qiulin, Mi Shiyun. Assessment of petroleum exploration target and exploration decisions[M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House,2004: 21-22.
- [3] White D A. Geologic risking guide for prospect and palys[J]. AAPG Bulletin,1993,77(12):2048-2061.
- [4] Baker R A, Gehman H M, James W R. Geologic field and size assessment of oil and gas plays[J]//Rice D D, (ed). Oil and gas assessment-methods and applications. AAPG Studies in Geology, 1986: 25-31.
- [5] Robert M O, Nahum. A Process for Evaluating Exploration Prospects [J]. AAPG Bulletin,1997,81(7):1087-1109.
- [6] 米利军,张厚和. 中海油勘探投资组合管理理念与实践[J]. 中国石油勘探,2011,16(1):70-74.
Mi Lijun, Zhang Houhe. Management idea and practice of exploration portfolio of CNOOC[J]. China Petroleum Exploration,2011,16(1): 70-74.
- [7] 米利军,张厚和,陈蓉,等. 中海油勘探投资组合系统开发与应用[J]. 中国石油勘探,2008,13(5):54-60.
Mi Lijun, Zhang Houfu, Chen Rong, et al. Development and application of exploration portfolio of CNOOC[J]. China Petroleum Exploration,2008,13(5):54-60.
- [8] 郭元岭,蒋有录,赵乐强,等. 济阳坳陷预探井失利地质原因分析[J]. 石油学报,2005,26(6):52-56.
Guo Yuanling, Jiang Youlu, Zhao Leqiang, et al. Geologic reasons for unsuccessful preliminary prospected wells in Jiyang Depression[J]. Acta Petroli Sinica,2005,26(6):52-56.
- [9] 王玉满,黄旭楠,程坤芳,等. 断陷盆地岩性勘探目标评价方法——以渤海湾盆地为例[J]. 石油勘探与开发,2011,38(1): 122-128.
Wang Yuman, Huang Xunnan, Cheng Kunfang, et al. Evaluation methodology of lithologic exploration areas in rift basins: A case from the Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011,38(1): 122-128.
- [10] 闫相宾,刘超英,蔡利学. 含油气区带评价方法探讨[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):857-864.
Yan Xiangbin, Liu Chaoying, Cai Lixue. A discussion on methods of play assessment[J]. Oil & Gas Geology,2010,31(6): 857-864.
- [11] 钱一雄,何治亮,陈强路,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩封盖性能[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):1-9.
Qian Yixiong, He ZhiLiang, Chen Qianglu, et al. Sealing capacity of the Ordovician carbonate rocks in Tazhong area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(1):1-9.
- [12] 蔡希源. 湖相烃源岩生排烃机制及生排烃效率差异性——以渤海湾盆地东营凹陷为例[J]. 石油与天然气地质,2012,33(3): 329-334.
Cai Xiyuan. Hydrocarbon generation-expulsion mechanisms and efficiencies of lacustrine source rocks: a case study from the Dongying sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(3): 329-334.
- [13] 陈维涛,杜家元,龙更生,等. 珠江口盆地惠州地区珠江组控砂机制及地层-岩性圈闭发育模式[J]. 石油与天然气地质,2012,33(3):449-458.
Chen Weitao, Du Jiayuan, Long Gengsheng, et al. Factors controlling sandbody development and models of stratigraphic-lithologic traps of Zhujiang Formation in Huizhou area, Pearl River Mouth Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(3):449-458.
- [14] 汪泽成,赵文智,胡素云,等. 我国海相碳酸盐岩大油气田油气藏类型及分布特征[J]. 石油与天然气地质,2013,34(2):153-160.
Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Hu Suyun, et al. Reservoir types and distribution characteristics of large marine carbonate oil and gas fields in China[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(2):153-160.
- [15] 唐宇,吕正祥,叶素娟,等. 成都凹陷上侏罗统蓬莱镇组天然气运移特征与富集主控因素[J]. 石油与天然气地质,2013,34(3): 281-287.
Tang Yu, Lü Zhengxiang, Ye Sujuan, et al. Characteristics and controlling factors of natural gas migration and accumulation in the Upper Jurassic Penglaizhen Formation of Chengdu Sag[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(3):281-287.
- [16] 殷积峰,谷志东,李秋芬. 四川盆地大川中地区深层断裂发育特征及其地质意义[J]. 石油与天然气地质,2013,34(3):376-382.
Yin Jifeng, Gu Zhidong, Li Qiufen. Characteristics of deep-rooted faults and their geological significances in Dachuanzhong area, Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(3):376-382.
- [17] 霍志鹏,庞雄奇,杜宜静,等. 含油气盆地油气藏破坏的油气显示及其地质意义[J]. 石油与天然气地质,2013,34(4):421-430.
Huo Zhipeng, Pang Xiongqi, Du Yijing, et al. Oil-gas shows from destruction oil/gas reservoirs in the petroliferous basins of China and their geological significance[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(4): 421-430.
- [18] 孙同文,吕延防,刘哲,等. 断裂控藏作用定量评价及有利区预测——以辽河坳陷齐家-鸳鸯沟地区古近系沙河街组三段上亚段为例[J]. 石油与天然气地质,2013,34(6):790-796.
Sun Tongwen, Lü Yanfan, Liu Zhe, et al. Quantitative evaluation of control of faults on hydrocarbon accumulation and play fairway prediction: a case from Es3(1) in Qijia-Yuanyangou area, the Liaohe Depression[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(6):790-796.

(编辑 张亚雄)