

● 西安石油大学优秀学术著作出版基金资助出版

石油钻井风险管理技术 研究与实践

刘志坤 倪维军 王六鹏 张冰 © 著



石油工业出版社

西安石油大学优秀学术著作出版基金资助出版

石油钻井风险管理技术研究与实践

刘志坤 倪维军 王六鹏 张冰 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在介绍风险管理的基本理论和方法、石油钻井的基本概念和技术难点的基础上,对钻井工程风险因素、钻井风险管理流程和方法、钻井风险评价、钻井风险控制、钻井风险管理软件平台建立等内容进行了阐述。

本书可供石油钻井工程技术人员和管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

石油钻井风险管理技术研究与实践/刘志坤等著.

北京:石油工业出版社,2014.4

ISBN 978-7-5021-9821-3

I. 石…

II. 刘…

III. 油气钻井-风险管理-研究

IV. TE2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 238467 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:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523537 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

2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:13.25

字数:338 千字

定价:58.00 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

石油钻井由于储层埋藏深、地质条件复杂,钻井过程中存在着大量复杂和不确定性因素,钻井周期长、成本高、风险大。如何在提高钻井速度的同时,加强对钻井风险的管理已成为钻井迫切需要解决的问题之一。近年来,项目风险管理理论的日臻完善、地质预测和随钻测量技术的不断发展以及信息融合技术的日趋成熟,为实现钻井风险的科学预测、准确识别、正确评价和有效控制奠定了理论和技术上的基础。随着钻井作业科学化进程的不断推进,钻井风险管理的精细化程度会越来越高,会越来越多地从技术风险的角度出发,尽可能从本质上去揭示钻井风险的致因因素、触发条件以及风险演化过程,本书就是基于这些考虑的一种探索。

全书共八章,在介绍风险管理的基本理论和方法(第一章)、钻井工程的发展概况及技术难点(第二章)的基础上,沿着钻井工程风险因素分析(第三章)—钻井风险管理流程和方法(第四章、第五章)—钻井风险评价(第六章)—钻井风险控制(第七章)—钻井风险管理软件平台建立(第八章)这一主线来逐一进行阐述。在调研我国石油钻井技术现状的基础上,广义界定了钻井风险的范畴,对其进行了深入分析和合理划分,按照钻井作业流程将其分为钻井地质风险、钻井设计风险和工程施工风险。提出了以地质力学模型为技术核心的钻井风险动态管理流程。探讨了综合利用地震、测井和钻井等多源信息进行钻井风险预测及识别的方法。对于钻井风险的综合评价则采用层次分析法和贝叶斯网络推理相结合的定量评价方法。最后,研究并开发了以地质力学模型为核心,以数据库、实例库和措施库为数据支撑,按风险因素分析、风险预测、实时监测、风险评价和风险控制为主线的石油钻井风险动态管理软件平台。

本书介绍的仅仅是笔者及所在科研团队对钻井风险管理这一问题的初步认识和所做的一些工作,由衷地希望能够抛砖引玉,通过这本书让更多从事石油钻井的工程技术人员和管理人员对于钻井风险的管理,特别是技术风险管理有所认识和了解。

本书第一章和第二章由西安石油大学钻井教研室张冰老师编写,第三章和第七章由西安石油大学钻井教研室倪维军老师编写,第四章和第五章由西安石油大学钻井教研室王六鹏老师编写,绪论、第六章和第八章由西安石油大学钻井教研室刘志坤老师编写。全书由刘志坤老师统稿、定稿,西安石油大学李琪教授对本书进行了审阅,并提出了许多宝贵意见;中国石油塔里木油田分公司库车项目部梁红军主任工程师为本书的完成提供了大量的帮助;研究生翟鹏、文亮、艾二鑫和冉辉为本书的完成做了大量的资料准备、图形编辑和文字校对工作。

本书获西安石油大学优秀学术著作出版基金资助,感谢国家自然科学基金项目“基于随钻信息和知识集成的钻井风险动态管理与决策控制研究”、西安石油大学“石油与天然气工程重点建设学科项目”以及西安石油大学青年基金项目“基于地质力学模型的钻井风险动态评价技术研究”的支持和资助。

在此向所有为本书付出辛勤劳动的各界人士致以衷心的感谢,没有他们的辛勤劳动就不会有本书的出版。

向本书所有引用资料的作者表示衷心的感谢。

目 录

绪论	(1)
第一章 风险管理的基本理论和方法	(7)
第一节 风险的含义、特征及分类	(7)
第二节 项目风险管理	(10)
第三节 风险识别及估计方法	(20)
第四节 风险评价方法	(24)
第五节 风险控制方法	(37)
第二章 钻井工程的发展概况及技术难点	(41)
第一节 钻井工程的发展概况	(41)
第二节 钻井工程的技术难点	(58)
第三章 钻井工程风险因素	(65)
第一节 钻井工程危险源及风险因素分类	(65)
第二节 钻井工程地质风险因素分析	(68)
第三节 钻井工程施工风险因素分析	(79)
第四章 钻井风险动态管理的基本理论和方法	(91)
第一节 MEM 的概念及建立过程	(91)
第二节 基于 MEM 的钻井风险动态管理过程	(106)
第五章 多源信息融合的钻井风险预测及识别方法	(112)
第一节 支持向量机的基本理论和方法	(112)
第二节 多源信息融合的风险预测及识别方法	(129)
第三节 风险预测及识别信息来源及补偿关系	(133)
第六章 钻井风险综合评价方法	(142)
第一节 钻井风险综合评价模型建立	(142)
第二节 钻井风险综合评价实例	(149)
第七章 钻井工程风险防范措施	(155)
第一节 钻井工程地质风险防范措施	(155)
第二节 钻井工程施工风险防范与处理措施	(162)
第八章 复杂深井钻井风险动态管理系统研究与开发	(191)
第一节 复杂深井钻井风险动态管理系统总体设计	(191)
第二节 复杂深井钻井风险动态管理系统的软件实现	(193)
参考文献	(202)

绪 论

石油钻井是一项高投入、高风险和高技术水平的隐蔽性地下工程,存在着大量复杂和不确定性因素,在钻井各个阶段均存在不同程度、形式各异的风险,尤其是在进行复杂深井钻井时,由于油层埋藏深、地质条件复杂,潜在的各种风险更为突出。近年来,随着油气勘探开发目标日趋复杂,我国石油钻井数量逐年增多,且呈现越来越深的趋势,面临的地质条件越来越复杂,对深井钻井技术的要求也越来越高,如何解决石油钻井中高陡构造防斜难度大、高研磨性地层钻井速度慢、复杂地层恶性井漏等突出问题,缩短钻井作业周期,降低钻井风险,从而实现安全快速钻进已经成为石油钻井的主要攻关目标。“十一五”期间,中国石油天然气股份有限公司组织相关生产和科研单位,就塔里木山前构造深井提速、四川盆地石油钻井和松辽盆地深层天然气钻井配套技术进行了联合攻关,形成了一批针对复杂深井先进适用的工程技术。但随着前陆盆地、火成岩、碳酸盐岩等复杂地质目标的勘探,深井钻井仍存在诸多问题,面临很多挑战,与国外相比,深井钻井技术仍存在较大差距。2006年美国1006口4500m以上深井的平均钻井周期仅70.3天(根据2006年《Hart E&P》资料统计),不考虑地质因素,中国石油2008年所钻4500m以上深井的平均钻井周期为167.81天,几乎是美国的2.39倍。非生产时间(Non-productive Time,简称NPT)所占的比重仍然较大,2008年中国石油6000m以上深井的非生产时效为13.17%(37口),尽管与2005年的17.38%(8口)相比有所下降,但非生产时间所占的比重仍然较大。如何利用先进的钻井技术,在提高深井钻进速度的同时,加强对石油钻井风险的管理,缩短非生产时间所占的比重,是石油钻井迫切需要解决的问题之一。

中国石油通过多年的钻井实践,在钻井风险管理方面已积累了一定的经验,但更多的是从健康安全环保(Health Safety Environment,简称HSE)和加强井控培训等管理的角度出发来减少钻井作业过程中的不规范行为,降低钻井风险。对于石油钻井风险管理而言,仅仅从规范作业人员的行为,加强作业过程的管理来规避和控制钻井风险是远远不够的。原因是钻遇的地质条件存在一些不确定性,井下温度、压力等地质环境相对于浅井而言也较为苛刻,对钻井工艺技术和井眼轨迹控制精度等方面的要求较高,特别是一些复杂结构的深井,问题更为突出。因此,针对石油钻井的风险管理,在加强管理和规范作业流程的同时,更要从技术的角度尽可能提前预测、及时地识别和有效地控制钻井作业过程中出现的风险,尽可能从本质上去揭示钻井风险的致因因素、触发条件以及风险演化过程。为此,本文着重从技术角度来讨论石油钻井风险的管理技术。

石油钻井风险管理是一项人员与技术高度密集,集知识、技术、管理与经济为一体的复杂的系统工程,它包括风险预测、识别、评价、计划、处理以及沟通等过程,涉及地质、地震、测井、钻井设计与施工等多个部门及多个学科,需要多方领域专家、技术人员进行协作。从技术实现的角度来讲,石油钻井风险的管理应该从由地震和测井资料建立MEM出发,结合以往已钻井

的历史数据、事故实例和风险管理实践经验,提前预测钻井施工潜在的风险因素及其存在规律,及时识别钻井风险的特征,并基于多年来在应对各种风险方面所取得的研究成果和实践经验,提出规避、控制和降低钻井风险的措施。由于石油钻井风险的发生与存在是动态不确定的,且复杂多样,不同的地质条件、不同的钻井工艺、不同的作业环节等引起的风险不同,因而风险管理必须动态化,这是从技术上规避和处理钻井风险的必要方式。同时,石油钻井风险管理过程蕴含着大量的主观感受与经验判断,是不同领域的专家和技术人员综合运用各个层次知识共同决策的过程,需要他们进行无障碍地交流和知识共享,这是实现风险管理的技术前提和决策基础。近年来,钻井领域随钻测量(Measurement While Drilling,简称MWD)、随钻测井(Logging While Drilling,简称LWD)、随钻地震(Seismic While Drilling,简称SWD)、随钻地层评价(Formation Evaluation While Drilling,简称FEWD)等技术的应用,计算机领域信息融合理论的不断发展,为实现石油钻井风险动态管理提供了技术手段和理论依据。为此本书提出基于MEM和信息融合技术对钻井过程中潜在的风险进行预测、识别、评价和控制的石油钻井风险动态管理技术。

石油钻井风险动态管理技术研究,其目的是在借鉴国内外钻井风险管理研究相关成果的基础上,综合运用石油地质、地震技术、测井技术、岩石力学、钻井工程、信息科学、智能科学、计算机科学以及管理科学的相关理论、方法与技术,从工程技术角度出发,深入研究石油钻井风险动态管理的技术和方法。根据管理科学的项目风险管理理论,结合石油钻井作业的特点和 risk 的存在形式,提出风险动态管理的基本理论和管理流程;详细阐述风险管理的技术核心——MEM的建立过程,即以地质建模为基础利用地震和测井等信息在钻井之前就能建立描述特定地层地应力、岩石力学特性的MEM,钻井过程中可以通过随钻测量、随钻测井等信息进行实时修正;分析石油钻井的主要风险因素,提出工程技术上可行的风险预测及识别方法;研究并建立适合钻井作业特点的风险综合评价模型,以解决由于存在大量不确定性因素,无法用精确数学模型描述的风险量化和评价问题;构建一个能够满足分布在不同地点的多方专家和技术人员以直观、无障碍的方式实现信息及风险知识资源共享、交流和协同工作的技术平台,即研究并开发钻井风险动态管理系统(Drilling Risk Dynamic Management System,简称DR-DMS)。

石油钻井风险动态管理技术研究属于项目风险管理的范畴。其风险管理过程将遵从项目风险管理的基本理论,同时作为石油钻井的风险管理,又有其特殊的工业背景,必须符合钻井工程的特点与规律。因此,本书对国内外研究现状的阐述从项目风险管理理论和钻井风险管理技术两方面来进行。

风险管理是研究风险发生规律和风险控制技术的一门新兴管理科学。风险管理的思想可以追溯到公元前916年的共同海损(General Average)制度和公元前400年的船货押贷制度,这应该是风险管理思想出现的雏形。一直到20世纪50年代,美国才把它发展成为一门学科,对其进行研究和应用,随着工业化进程的推进逐渐发展成为现代意义上的风险管理,表1回顾了美国风险管理一百年来的发展历程。

表 1 美国风险分析与管理的产生和发展

时间	事 件
1931	设立美国经营者协会,开展风险分析与管理的咨询和研究工作
1949	Henri Fayol 第一次使用“风险管理”这个名词
1950	莫布雷等具体阐明了“风险管理”这个词的概念
1960	纽约保险管理协会(ASIM)第一次设立了风险管理的课程
1961	印第安纳大学设立美国保险管理协会“保险及风险课程”分会,它的《保险与风险学课程概论》一书指明了该学科的发展方向
1963	梅尔与赫奇思合写了《Risk Management in Business Enterprise》一书,后来此书成为了这个领域影响极大的参考文献
1975	纽约保险管理协会(ASIM)更改为风险管理协会(RIMS),标志着风险的管理由以传统的保险方式处置风险向以风险管理方式处置风险的方向转变
1983	该年风险管理协会年会上各国该领域的专家与学者讨论并且一致通过《101 条风险管理准则》,该准则成为了各个国家在风险管理工作中的标准
1992	ASIM 发布《风险管理指导书》,将关于风险管理的方法与专业术语进行了界定和标准化。其成果为世界多数国家所采用和推广

我国的风险管理起源于 20 世纪 80 年代初期,最早由美国传入台湾。美籍华人段开龄博士在台湾发起并推动了风险管理运动。宋明哲先生的《风险管理》一书在台湾的风险管理方面最具代表性。在大陆,最早的风险概念出现在技术经济学教材中,主要涉及了不确定性和风险分析。真正意义上的风险管理从 20 世纪 80 年代中后期才开始起步,目前相关理论与方法已在大型工程项目建设、国际工程、金融、房地产等领域开展应用研究,取得了一定的研究成果,理论也日渐成熟,并逐渐引入大学课堂。

工程项目管理中的一个重要部分就是项目风险管理,它是随着世界工程领域发展而形成和发展的。1950 年前后,随着二战后西方国家社会重建,尤其是欧洲经济的复苏,建立了一大批像水电、能源、交通等基础设施的大项目,大量流动的项目资金使得管理者不得不重视成本管理,但工程项目的复杂性使得项目自身存在着许多风险,这使得管理者很难定量地估计某风险对该项目的影响。50 多年过去了,项目风险管理仍然受到国内外理论界的高度关注。D. B. Hertz 和 H. Thomas 于 1983 年提出了项目风险管理概念,他们认为项目风险管理是一个系统过程,该系统包含风险识别、计量、评价、再评价 4 个过程。R. W. Hayes 等在 1987 年提出了风险管理包括风险识别、分析及对策 3 个过程。同年,英国的 Chapman,在其著作《Risk Analysis for Large Projects》中第一次提出综合多种风险分析技术进行风险分析的思想,并在 1990 年发表的文章《Risk Engineering Approach to Project Risk Management》中进一步阐明了这个观点,以便在项目管理过程中大规模地应用风险管理的研究成果。1990 年科威特学者 J. F. Al-bahar 提出了建筑工程风险管理系统(Construction Risk Management System,简称 CRMS),以帮助承包人更好地认识、分析、管理风险。1991 年 Haimes 提出了整体风险管理(Total Risk Management,简称 TRM)的概念,认为风险管理的最终目的是控制风险,风险管理中需要考虑风险估价与偏好因素,把风险因素中的价格、权重等要素结合起来进行系统决策,以实现较全面的风

险控制。HRen 于 1994 年提出了风险生命期概念,而欧盟提出了综合风险管理方法,认为风险管理包含风险识别、估计、评价、减轻风险措施、隐含费用估计、控制与决策等阶段,更加全面地估计与项目有关的风险因素。美国密歇根州立大学的 Tummala 教授等则提出了把风险管理看作为一个动态过程,该系统包含风险识别、衡量、估计、风险监控及评价 5 个重要因素的风险管理方法(Risk Management Process,简称 RMP),基于该方法的风险管理系统在一个高压输电线工程的投资风险管理中得到了采用。1998 年金融危机以后,理论界就金融界的风险管理问题提出了全面风险管理(Enterprise Risk Management,简称 ERM)理论,近年来,也有一些学者将全面风险管理理论应用在项目风险管理中。2001 年 Ali Jaafari 提出了生命周期风险管理理论,将风险识别和评价贯穿于项目的整个生命期中,是风险管理观念上的又一个飞跃。在项目风险管理概念的规范性方面,国际项目管理协会(International Project Management Association,简称 IPMA)和英国项目经理协会(Association for Project Management,简称 APM)分别于 1992 年和 1997 年提出了各自的项目风险管理过程模型,试图克服大多数风险管理的非正规性,为项目风险管理提供一种规范的、系统的理论框架。

我国的项目风险管理研究起步较晚。20 世纪 80 年代中期,各种风险管理的书籍才被引进到国内,同时风险管理的理论与方法也被应用到一些大型的工程项目管理中,从 1987 年起至 1996 年,天津大学管理学院“三峡工程风险研究”课题组承担了三峡工程风险分析研究任务,在国内首次对大型工程项目进行风险分析评价。卢有杰等在 1998 年出版的专著《项目风险管理》中对项目风险管理的基本理论进行了阐述。于九如教授在 1999 年出版的《投资项目风险分析》一书中将国外的风险识别与风险估计的多种现代分析方法引入我国,并结合国情阐述了工程实际中如何创新应用。近年来,有关项目风险管理的文献不断出现,如王卓甫的《项目风险管理—理论、方法与应用》,沈建明的《项目风险管理》,北京航空航天大学邱菀华教授等的《现代项目风险管理方法与实践》,罗云等编著的《风险分析与风险评价》。同时,一些专家和学者对工程项目管理在理论上又有了一些创新,如哈尔滨工业大学的孙成双、王要武把项目寿命期风险损失与最终的收益相联系,提出了建设项目的动态风险分析方法。其他一些国内学者也提出了工程项目全过程管理的概念,但没有展开更深入的研究。

综上所述,国内外关于项目风险管理的研究,经过近半个世纪的发展,从理论体系到技术方法都已逐步趋于成熟,取得了 CIM 模型、决策树、模糊数学、影响图、蒙特卡罗模拟、多目标决策、计划评审技术(PERT)、敏感性分析以及效用理论等风险分析模型,出现了各种风险评估和管理软件,如挪威的“DynRisk”软件,美国的“Analysis Power Tools”系列软件,英国的“RiskNet”软件,芬兰的“RiskMan”软件以及 Monte Carlo 软件等。工程项目的风险研究不断向综合性、全面性、多维性发展,研究领域不断扩大,研究的对象及内容逐渐明确与统一。为石油钻井风险管理的理论研究和实现方法奠定了技术上的基础。

石油工业是一个高风险行业,整个勘探开发过程以及下游市场的每一个阶段都充满了风险与不确定性,被公认为是一个需要精确评估和科学管理风险的领域。正确地评估风险与不确定性,科学地管理和规避风险会给公司带来很大的竞争优势。苏格兰阿伯丁大学对在北海经营的 20 个公司的决策制定行为进行了研究,结果表明,公司风险评估和决策分析的精确度与投资的成功率成正比。有关风险的概念在石油领域出现的并不算晚,早在 20 世纪 60—70 年代就有相关的学术论文发表,其中包括大量有关钻井投资和作业的风险评估。这一时期的

研究主要集中在投资决策中的风险评估技术和方法、投资的政治风险分析、具体的技术风险识别(地层压力、海洋完井、提高采收率)和环境风险评估等方面。已经能够用蒙特卡洛等不确定性分析方法来解决石油行业的风险评估,特别是一些经济投资决策中的风险评估问题。这期间最典型的应用实例是20世纪70年代英国的“北海油田开发项目”,在该工程项目中,尝试了不同的风险管理方法,取得了一定成果。到了20世纪90年代初,除了在经济评价、政治风险分析、环境保护等方面继续深入研究风险评估方法(如决策树等)以外,出现了定量风险分析、集成风险评估等概念,并且出现了一些风险评估和决策支持的软件(Dtree软件),针对于套管设计、电缆测井、打捞作业、水平井产能、卡钻事故等单项技术的风险识别和评估方面有了长足的进步,在1994年发表的题为《Integrated Approach to Minimizing Risk While Drilling》文章中首次提到了利用钻井设计、压力模拟、钻井参数监测、溢流检测等手段优化钻井设计以降低钻井风险,这是利用钻井相关技术综合规避风险研究的雏形。在HSE管理方面详细描述了钻井过程中HSE风险的检查和评估过程。此后,斯伦贝谢公司主办的《Oilfield Review》在1999年夏季版中有一篇由Walt Aldred发表的《Managing Drilling Risk》的文章,介绍了斯伦贝谢公司在钻井风险管理方面的做法:以地质力学模型为基础,在钻井之前提前预料事故的发生状态,通过DrilMap软件,粗略给出钻井过程中风险的分布,实际钻井过程中通过DrilCast软件精细预测和DrilTrak软件跟踪风险,通过现场作业人员和地质解释人员共同工作,根据现场的实际情况不断地修正方案,决策之前综合考虑各种因素,采取最佳的方法来处理钻井过程中所出现的各种问题。在《Oilfield Review》2001年夏季刊中,一篇题为《Avoiding Drilling Problems》的文章中详细描述了由BP和斯伦贝谢公司合作,发起了无意外风险钻井(No Drilling Surprises,简称NDS)计划,该计划融合了这两家公司开发的新技术。将大量的作业经验与斯伦贝谢设备与技术相结合,首次提出了一个工作框架,通过包括作业人员以及服务公司在内的多学科工作组,应用先进的技术,按照以交流、合作为重点的结构化工作程序进行工作,来提高在任何条件下,尤其是针对高费用、高风险钻井作业的风险规避能力。为钻井风险管理从技术实现角度上应该向哪个方向发展提供了明确的思路,这一计划的关键是地质力学模型的建立及其直观表述、信息的及时识别以及信息与人员的正确结合。在随后的十几年时间里,伴随着钻井作业科学化进程的推进和一些先进工具的使用,人们对风险和不确定性的分析也日趋精细化,在钻井风险管理的基本方法(决策树、贝叶斯)、多学科协作进行风险管理、HSE管理、利用新技术新工艺进行风险识别及控制(随钻扩眼器、成像测井、控压钻井)、利用信息领域的新成果进行风险评价(知识管理、信息集成)以及针对具体钻井作业细节(防碰、井壁稳定、孔隙压力随钻监测、减少非生产作业时间等)的风险防范等方面的研究都有了长足的发展。

在钻井风险管理的理论、技术方法和技术手段不断发展的同时,国外石油公司相继开发了一些知识处理系统来支持钻井风险管理,如美国Warrior公司的钻井风险经济评价软件UnRiskIT、斯伦贝谢的WellTRAK知识系统、RiskTRAK钻井风险数据库系统、SPIN Doctor防止卡钻软件、DrilMap软件、DrilCast软件、DrilTrak软件等,这些软件为钻井风险的及时识别和正确处理提供了强有力的技术支撑。

我国石油钻井的风险管理起步较晚,20世纪80年代末,伴随着改革开放政策的落实及我国石油产业国际化程度的不断加深,石油公司开始不断学习国外先进的管理理念,风险管理也越来越得到石油公司的重视,专家和学者也开始研究与石油工程风险相关的问题。专家和学

者针对风险管理理论、经济性评价、HSE 等方面进行了深入研究,取得了一些研究成果,并在实践中开始应用。其中 HSE 管理引起了石油企业的高度重视,相继出台了一些行业标准和管理规范,例如 1997 年中国石油制定了我国石油与天然气行业标准《石油天然气工业健康、风险与环境管理体系》(SY/T 6276—2010)。各作业油田也根据自身的 HSE 管理需求制定了相关管理细则,并在生产过程中严格执行。

近年来,随着勘探开发进程的推进,钻井所面临的地质情况越来越复杂,潜在的风险也越来越大,针对钻井作业的风险识别和评价已经引起国内很多油田的重视,围绕钻井风险因素分析、钻井成本及定额管理、复杂地区钻井地质风险以及针对大位移井、侧钻井等特殊钻井作业风险方面进行了深入的研究,也取得了一定的进展。但总体来讲,与国外的差距还比较大,还没有形成一套现代意义上的综合的钻井风险管理理论以及切实可行的风险评估和控制方法,尚处于初期发展阶段。

综上所述,国内外关于钻井工程风险管理的研究具有以下特点:

(1)在研究目的上,风险及风险管理在石油钻井行业的研究,最初是用于投资的风险评价,经过几十年的发展,尽管这一初衷一直没有改变,且研究的理论和方法也越来越成熟。但针对钻井的风险管理已经不仅是从投资回报的角度出发,涉及钻井作业的各个方面,呈现研究目的多元化发展的态势。

(2)在研究范畴上,目前,国内外有关石油行业风险管理的研究,从整体上针对整个石油勘探开发过程风险管理的比较多,针对具体作业类型,特别是钻井作业风险管理的比较少;在针对钻井作业风险管理的研究中,从管理的角度特别是有关 HSE 风险管理的研究较多,针对具体钻井作业过程和作业细节的技术风险管理的研究较少。随着复杂深井的不断增加,钻井作业的技术风险会越来越明显,对于作业者和管理者的风险识别和决策水平要求会越来越高,这就要求参与钻井作业和决策的人员能够与时俱进(充分利用钻井测量和控制的新技术)、群策群力(由地质、钻井、经济评价和管理方面的管理者、技术专家和工程技术人员共同工作)、在充分沟通(利用计算机领域的相关技术成果实现信息共享)和相互理解(以三维直观表述的方式进行无障碍沟通)的基础上共同对钻井作业的风险进行规划、识别、评价和控制。

(3)在研究方法上,目前针对钻井风险管理,定性分析的方法较多,而定量的研究较少;从管理的角度宏观分析的较多,从作业的角度微观研究的较少;针对于具体的单因素风险分析的多,系统综合地分析风险因素的较少;由单一专业领域人员研究的较多,多专业领域协同研究的较少;专家学者和管理者研究与参与的较多,工程技术人员参与的较少。

(4)在国内外差异上,国内外在钻井风险管理的研究水平上还存在很大的差异,国外在进入 21 世纪后针对有关钻井风险管理方面的研究有向钻井作业过程精细化的态势,且取得了一定的技术成果,国内相比较而言,这方面还没有引起管理者 and 作业方的充分重视,尚处于发展阶段。

随着钻井作业科学化进程的不断推进,以及石油工业对复杂深井等高风险作业技术需求的不断增加,对于钻井作业和风险管理精细化程度的要求会越来越高,未来的钻井工程投资决策一定是在有关地质学家、钻井专家、工程技术专家、经济专家和管理者共同参与和协商的情况下来完成的。钻井工程风险管理的研究会不断向综合性、全面性、多维性发展,研究的领域会不断扩大,研究的对象及内容也会逐渐明确与统一。

第一章 风险管理的基本理论和方法

第一节 风险的含义、特征及分类

一、风险的含义及特征

1. 风险的含义

“风险”英文名“Risk”，源于法文“Risque”，意为在危险悬崖间航行。而法文又引自意大利文“Risicare”和希腊文“Risk”，意思是冒险才有获利的机会。危险是风险的前提，没有危险就无所谓风险。风险的定义由两部分组成：一是危险事件发生的可能性（或失效概率），二是危险一旦发生，其后果严重程度和损失的大小。如果将这两部分的量化值综合，就是风险的表征，或称风险指标。危险是客观存在、无法改变的，而风险却在很大程度上随着人们的意志而改变，亦即按照人们的意志可以改变危险或事故发生的概率，以及一旦出现危险，由于采取防范措施或实施规避危险策略，从而可以改变损失的程度。

一般来说，风险是由不确定性引起的，具体表现为结果和预期之间的差距。目前存在多种关于风险的定义，不同领域对风险有不同的定义，有的着眼于结果，有的着眼于可能性，归纳起来，可以分为以下几种类型：

(1)“不确定性”说。这种定义认为，当事件的结果存在不确定性时，则该事件就为风险性事件。美国学者哈迪认为，风险是与费用、损失或损坏相关的不确定性。英国项目管理联合会（UK Association for Project Management）认为，风险是一个不确定性事件或者一系列不确定性环境，一旦成为现实，将影响项目目标的实现。

(2)“不确定性与利害关系”说。这种观点（Christopher J. Clark 和 Suvir Varma, 1999）认为，风险由两部分组成，即利害关系（Stake）和不确定性（Uncertainty），利害关系包括财务上的获益和损失，战略态势的提升和恶化，声誉的提高和破坏，安全度的增加和下降等；不确定性则随时间和形势而变化。美国项目管理协会（US Project Management Institute）认为，风险是一种不确定性事件或形势，一旦发生，则会对项目目标产生积极或消极的影响。

(3)“概率”说。它源于决策论，认为事件的状态概率可测时则为风险事件。决策论中把状态已知的决策问题称为风险决策。美国经济学家 Knight 在 1921 年出版的《风险、不确定性和利润》中认为，一个事件的状态概率如果可测定，则为风险事件。

(4)“可能性”说。认为风险是发生损失或失败的可能性。美国学者 Haynes 在 1985 年所著的《作为经济因素的风险》一书中认为，风险意味着损害的可能性。

(5)“可能性（概率）和后果（影响）”说。这种定义在目前各风险管理研究中最普遍，尤其是在项目管理和工程管理领域。Turner（1992）认为，风险因素的影响依赖于它发生的可能

性和一旦发生所产生的后果。Williams(1993)认为,风险概念包括两方面,即不愉快事件发生的可能性和它发生时所产生的影响。Jaafari(2001)则将项目的风险定义为损失/利益发生的可能性和损失/获益数量的乘积。美国空军软件技术支持中心也将风险定义为一个不愉快事件发生的概率及这一事件发生的影响。

按内容组成,以上五类定义又可归结为两大类:一类只考虑由于不确定性的存在而导致未来结果与预期结果不一致的可能性或概率;另一类则考虑了两方面内容,即未来结果与预期结果不一致的可能性和事件一旦发生所造成的后果。从事件造成的影响方面来看,又可分为两类,一类是将与预期结果不同的正面和负面的后果都看成是风险,另一方面则只将与预期结果有差异的负面结果看成是风险。

由此可知,风险是一个具有极其深刻而又有广泛意义的概念。风险是人类历史上长期存在的客观现象。人们对风险的研究和分析管理多是偏重于它带来损失的不确定性,因此风险主要是指损失发生的不确定性,它是不利事件或损失发生概率及其后果的函数,用数学公式表示为:

$$R = f(P, c) \quad (1.1)$$

式中: R 表示风险; P 表示不利事件发生的概率; c 表示该事件发生的后果。

2. 风险的基本特征

风险是不利事件发生的可能性及其潜在的影响,它包括风险源和风险主体这两个基本要素。风险主体指的是风险的承受者。风险源是指在一定条件下可能引起对风险主体造成不利影响的确定风险因素。风险具有以下基本特征:

(1)客观性。它的存在不以人的意志为转移,因为决定风险的许多因素是相对于风险主体而独立存在的,并在一定条件下促使风险由可能转变为现实;其次,风险的客观性还表现在它存在于人类社会经济活动的每个角落,人们无法消除风险。

(2)不确定性。对于风险主体来说,风险发生的可能性及其不利影响表现为复杂的概率分布特征,使人们进行风险分析和预测有很大难度。

(3)不利性。风险发生后,会对风险主体产生不利影响。风险主体应采取各种方法分析风险,慎重决策,实施风险管理和控制,尽量规避风险。

(4)相对性。风险的大小是针对风险承受力不同的风险主体而言的。完全相同的风险因素产生的风险大小可以是完全不同的。

(5)对称性。风险和利益这两种可能性对其主体来说必然同时存在,风险是利益的代价,利益是风险的报偿,高风险伴随着高收益。

二、风险要素

风险的存在是客观的,但风险的发生是不确定的。风险的不确定性包括是否发生的不确定,发生时间的不确定,发生状况及其结果的不确定。风险有三大要素,即风险因素、风险事故、风险结果(损失)。

(1) 风险因素:指能够引起或增加风险事故发生的机会或影响损失的严重程度的因素。风险因素是事故发生的潜在条件,因此又称为风险条件。风险因素包括实质性风险因素、道德风险因素和心理风险因素。

实质性风险因素属有形因素,是指增加某一风险发生机会或损失严重程度的直接条件。道德风险因素属无形因素,是指由于个人不诚实或有不良企图,故意促使风险事故发生或扩大已发生的风险事故的损失程度的因素。道德风险因素偏重于人的恶意行为或不良企图。心理风险因素也属无形因素,是指由于人们主观上的疏忽或过失,如不够谨慎小心等行为心理因素。心理风险因素偏重于人的善意的疏忽和过失行为。

(2) 风险事故:指直接导致损失发生的偶发事件,并可能引起经济损失或人身伤亡,又称风险事件。风险事故使风险的可能成为现实,以致造成损失的结果,它是造成损失的直接原因或外在原因,是损失的媒介物,即风险只有通过风险事故的发生才能导致损失。

(3) 风险结果:是指损失。损失是指非故意的、非预期的、非计划的经济价值的减少。损失和风险是密切相关的,就一般来说(即对纯粹风险而言),损失是风险的结果。风险存在和发生的可能性决定着损失发生的可能性。如果风险发生的概率越大,风险程度越高,那么损失的概率就越大,损失就越严重。而由于风险发生的时间、地点、程度难以准确确定,因此损失发生的时间、地点、程度也难以确定。但人们还是在不断地探索风险的规律性。

解释风险因素、风险事故和损失三者的关系有两种理论:一是亨利希(H. W. Heinrich)的骨牌理论;二是哈同(W. Haddon)的能量释放论。虽然他们都认为风险因素引发风险事故,而风险事故导致损失,但侧重点却不同。前种理论强调,风险因素、风险事故和损失三张骨牌之所以相继倾倒,主要是由于人的错误所致;后者理论则强调,之所以造成损失,是因为事物所承受的能量超过其所能容纳的能量所致,而物理因素起主要作用。风险因素、风险事故和风险结果三者之间的关系如图 1.1 所示。

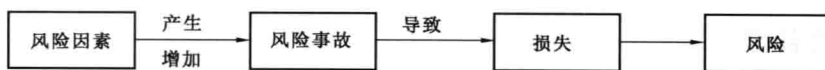


图 1.1 风险三要素关系图

从图中可以看出风险与损失之间的关系:

(1) 风险存在与发生的可能性决定了损失发生的可能性,风险发生的概率越大,损失出现的概率也越大。

(2) 风险通过损失表现出来,其大小取决于所致损失的概率和损失的严重程度。

(3) 风险发生的不确定性,决定了风险所致损失发生的不确定性。因此风险所致损失的后果难以准确地估测,但还是有些规律可循。

三、风险的分类

将风险进行分类的目的是为了分别研究对这些不同类别的风险所应采取的对策。由于分类的基础不同,不同国家有着多种不同的风险分类。表 1.1 是常见的一般风险分类。

表 1.1 一般风险分类

分类方法或依据	风险类型	特 点
按风险性质分类	纯粹风险	只会造成损失,而不会带来机会或收益
	投机风险	可能带来机会,获得利益;但又可能隐含威胁,造成损失
按风险来源分类	自然风险	由于自然力的作用,造成财产毁损或人员伤亡
	人为风险	由于人的活动而带来的风险是人为风险。人为风险又可以分为行为风险、经济风险、技术风险、政治风险和组织风险等
按风险事件主体的承受能力分类	可接受风险	低于一定限度的风险
	不可接受风险	超过所能承担的最大损失,或者和目标偏差巨大的风险
按风险对象分类	财产风险	财产所遭受的损害、破坏或贬值的风险
	人身风险	疾病、伤残、死亡所引起的风险
	责任风险	法人或自然人的行为违背了法律、合同或道义上的规定,给他人造成财产损失或人身伤害
按技术因素对风险影响分类	技术风险	由于技术原因形成的风险,属人为风险
	非技术风险	非技术原因而引起的风险

第二节 项目风险管理

项目风险管理不仅是管理学科的新兴分支,而且是项目管理的重要组成部分。它是在综合管理学、概率论与数理统计、经济学、结构可靠性原理、计算机技术、系统与控制论、信息论等学科和工程技术的基础上,并与实际项目管理经验相结合逐渐发展而成的学科。风险管理(Risk Management)属于项目管理功能的一部分,然而与其他管理功能又有一定的区别。

一、风险管理

1. 风险管理的涵义

所谓风险管理,是指行为主体对可能遇到的风险进行预测、识别、评估和分析,并在此基础上有效地处置风险,以最低成本实现最大风险保障的科学管理方法。

2. 风险管理的起源与发展现状

风险管理的思想首先也是由法国人引进企业经营管理领域。直到 20 世纪 40—50 年代,风险管理的思想在美国的保险行业广泛应用,风险管理学科有了雏形。1950 年 Mowbray 等在《Insurance》一书中,较为系统地阐述了风险管理的概念。1960 年,美国保险管理协会(American Society of Insurance Management, 简称 ASIM)纽约分社和亚普沙那大学(Upsala University)合作,首次开设了为期 12 周的风险管理课程。1961 年,印第安纳大学赫奇斯教授(J. Edward Hedges)主持成立了 ASIM 的“风险及保险学课程概念”特别委员会,并发表《风险与保险学课程概念》一文,为该学科领域的培训与教育指明了方向。1963 年,梅尔(Mehr)和赫奇斯(Hedges)合著《Risk Management in Business Enterprise》,该书后来成为该学科领域影响最为深

远的历史文献。1975年美国保险管理协会(ASIM)改名为风险与保险管理协会(Risk & Insurance Management Society, RIMS),这标志着风险管理从原来意义上的用保险方式处置风险转到真正按照风险管理的方式处置风险。1983年,美国RIMS年会上,世界各国学者共同讨论并通过了“101条风险管理准则”,以作为各国风险管理的一般准则。其中包括:风险识别与衡量、风险控制、风险财务处理、索赔管理、职工福利、退休年金、国际风险管理、行政事务处理、保险单条款安排技巧、交流和管理哲学等。

值得一提的是,美国在风险管理的职业教育与培训方面是相当出色的。20世纪70年代中期,美国多数大学的工商管理学院或保险系都已普遍开设风险管理课程,为工商企业输送了大批专业人才。宾尼西法尼亚大学保险系还举办风险管理资格考试,若通过该项考试,即可获得ARM(Associate in Risk Management)证书。该证书具有相当的权威性,获证书即表明在风险管理领域取得一定的从业资格,为全美和西方国家所认可,是从业的重要依据。

与美国相比,英国的风险研究有其自己的特色。在《Risk Analysis for Large Projects: Models, Methods and Cases》一书中,南安普顿大学会计与管理科学系主任C. B. Chapman教授提出了“风险工程”的概念,他认为风险工程是对各种风险分析技术的集成,以更有效的风险管理为目的,范围更广,方式更加灵活。该框架模型的构建弥补了单一过程的风险分析技术的不足,使得在较高层次上大规模地应用风险分析研究领域的研究成果成为可能。英国除了有自己成熟理论体系外,许多学者还注意把风险分析研究成果应用到大型的工程项目当中。如1986年在北海油田输油管道的铺设过程中,由于采用了风险分析的方法,提高了该项目的安全系数,从而降低了成本。此外,英国工商业界开展风险管理活动也十分活跃,设有工商业风险经理和保险协会(AIRMIC)、特许保险学会等,为推动本国的风险管理作出了卓越贡献。

英美两国在风险研究方面各有所长,且具有很强的互补性,代表了该学科领域的两个主流。德、法、日等发达国家的风险管理都是在美国理论体系下发展起来的。日本继承了美国的“风险管理”模式。1988年,日本风险管理学会成立。1990年,关西大学教授龟井利明出版了《风险管理的理论与实务》一书,各大学也相继开设了风险管理课程。像其他的西方先进理论技术一样,“风险管理”在日本起步虽晚,但成果颇丰,逐渐形成了一套适合其本国的理论体系。

风险管理起源于英美等发达国家,随着跨国公司的扩张和垄断资本的输出,其发展趋势也随之向发展中国家和地区延伸。

1986年,由欧洲11个国家共同成立了“欧洲风险研究会”,进一步将风险研究扩大到国际交流范围。同年10月,在新加坡召开了风险管理国际学术研讨会,这表明风险管理已由大西洋向太平洋地区发展,说明风险管理运动将成为全球范围的国际性运动。

中国台湾省的风险管理在20世纪80年代中期从美国传入。美籍华人段开龄博士是美国风险管理运动的早期参与者之一。段博士在岛内发起并推动了风险管理运动,其间论文、著作颇多。在台湾,尤以宋明哲先生的《风险管理》一书最具代表性。美国的风险管理运动发源于企业界,然后才有该领域的研究和探讨,而台湾却恰恰相反。因此,尽管在学术界十分活跃,但在实际应用中成效并不显著。正如段博士所指出的,“……迄今为止,风险管理的观念及实务,仍为台湾的工商企业漠视,未能积极付诸实施”。

1987年,为推动风险管理在发展中国家的推广和普及,联合国出版了关于风险管理的研究报告《The Promotion of Risk Management in Developing Countries》。此后,其影响较大,如在尼日利亚风险管理的发展极为迅速,并取得实际效果。1991年,学者J. O. Irikwn出版了著作《Risk Management in Developing Country》。该书系统地阐释了风险管理的基本理论,并结合发展中国家的国情进行了剖析和说明。

在我国,随着经济的开放、搞活和建设事业的进一步发展,科学技术不断进步,复杂的大型综合工程项目(如三峡工程)的上马和大型企业集团的组建,甚至我们国家的整个改革开放大业,都是一项复杂的系统工程,都需要认真考虑风险问题。我国陆上油田管理部门,于1994年开始着手风险分析和管理探索,委托天津大学海洋与船舶工程系进行“淮河跨越大桥的安全寿命与风险分析”,节约了上亿元的重建费,之后又委托天津大学建筑工程学院完成了管理系统的安全风险评估方法研究。我们在借鉴国外研究成果的基础上,逐渐形成适合我国的风险评估体系。

目前,风险管理的研究和应用已经在国内外广泛开展。同时,作为管理学科的一个重要分支,风险管理的研究领域也在不断扩大,由单一的企业风险研究转向个人、家庭及社会的多主体、多角度的风险研究,由传统风险行业向其他新兴行业扩展;综合应急评审与响应技术、风险评审技术、影响图技术等新型的风险分析技术正日益丰富并逐渐趋于成熟。

3. 风险管理的内容

风险管理的主要内容包括风险分析、风险评价和风险控制(决策)。

(1) 风险分析。

风险分析是指对给定系统进行危险辨识、概率计算、后果估计的全过程,是一种基于数据资料、运行经验、直观认识的科学方法。通过将风险量化,便于对风险进行分析、比较,从而为风险管理的科学决策提供可靠的依据,以能够合理运用有限的人力、物力和财力等资源条件,采取最为适当的措施,达到有效减少风险的目的。

风险分析包括风险辨识和风险估计两个部分。

风险辨识是进行风险分析的首要工作。通过风险辨识可以确定系统中有无风险事件的存在,存在何种风险以及风险的性质等问题。

风险估计就是对已经辨识出来的各个阶段的风险事件发生的可能性、风险事件发生的时间、发生后出现的后果和影响范围的大小等进行分析估计。风险估计包括频率分析和后果分析。

(2) 风险评价。

风险评价是指在风险分析的基础上,确定相应的风险评价标准,对有关因素进行量化、计算,进而计算出系统的风险概率、风险后果和风险值,判断该系统的风险是否可被接受,是否需要采取进一步的安全措施。

(3) 风险控制。

风险控制是在风险评估的基础上,有针对性地提出措施和对策,降低风险的过程。实现风险控制的主要方法有风险回避、损失控制、损失预防、风险转移和风险自留。

风险管理的内容层次图如图1.2所示。