

几内亚湾深海钻井 风险分析及应对方法

中国石油化工股份有限公司科技开发部

王锡洲

摘 要：深海石油勘探作业已成为当今世界石油勘探业的发展重点，我国深海钻井装备严重滞后于当今世界先进水平，深海钻井、完井工艺技术发展缓慢，深海钻探处于初级阶段。“尼日利亚”项目位于几内亚湾深海区域，是我国海外石油能源业务的重点领域。该文在经过大量资料分析的基础上，重点研究了几内亚湾深海勘探区块钻井存在的风险影响因素，并提出了风险评价和预防控制方法，对指导该区域深海钻井具有重要意义。

关键词：油气勘探 深海钻井 风险分析 预防控制

DOI : 10.3969/j.issn.1002-302x.2010.02.017

从世界范围看，由于陆地和浅水油气勘探程度较高，油气产量已接近峰值，世界新增油气储量已由陆地、浅海转向广阔的深海水域。近年全球获得的重大勘探发现中，有近50%来自深水海域，其中墨西哥湾、巴西海域、西非深海以及中国南海是最具前景的深海油气区。

我国从20世纪70年代开始海上石油勘探开发，但由于参与深海作业的成本相当昂贵，技术上的要求也比较高，我们的钻探工作主要集中在水深500m以内的浅海区域，深海钻井技术已严重滞后于世界先进水平。

“尼日利亚”项目是我国具有作业决策权的海外深海风险勘探区块，我们可以通过对该区块钻井作业的设计和技术引进管理，深入了解深海钻井的核心技术，提升独立开展深海勘探开发的能力。

“尼日利亚”项目地理位置上位于大西洋几内亚湾。几内亚湾位处东经 $4^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 、北纬 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，面积 34548km^2 ，水深为 $1400 \sim 2000\text{m}$ ，地质上处于尼日尔三角洲盆地（Niger Delta），油气资源丰富，但沉积和构造特征较为复杂（图1）。

几内亚湾内主要有北东向和南东向信风。北东向信风基本上不能达到北纬 7° 以南；南东向信风生成于南半球，其特点是全年内横跨赤道，雨季达北纬 15° ，旱季达北纬 7° 。最强信风的月平均速度为 5m/s ，主要



图1 几内亚湾地理位置图

发生在雨季；最弱信风的月平均速度为 2.5m/s ，主要发生在旱季。

大量资料分析表明，几内亚湾全年相对湿度较高，约为80%；大气压力介于旱季的 101kPa 和雨季的 101.4kPa 之间；日空气温度在雨季为 $23 \sim 33^{\circ}\text{C}$ ，旱季为 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ ，并随雷暴的发生而产生剧烈的变化。

一、几内亚湾深海钻井风险影响因素

影响到几内亚湾深海钻井的主要因素有如下七点。

1. 雷暴、暴风和波浪

雷暴、暴风和波浪对深海钻井的影响主要使钻井船的稳定性变差、波动过大，会导致一系列的钻井事

故^[1]，并贯穿整个深海钻井工序，而几内亚湾深海恰存在雷暴多发区域，频率达到 1000 ~ 1500 次/a。

2. 水下洋流

水下洋流在深海钻井方面的影响主要是增加了船舶作业和水下系统作业的难度，以及隔水管的额外载荷。

几内亚湾水下洋流速度基本上小于 0.4m/s，对深海钻井作业比较有利。分析以往的钻井资料，该区域也没有涡流等其他对作业影响较大的洋流。

3. 水深

海洋油气勘探开发通常按水深加以区别：400m 以内的浅水域为常规水深作业，400 ~ 1500m 为深海作业，深于 1500m 为超深海作业^[1]。几内亚湾勘探区域水深一般在 1400 ~ 2000m 范围内，属于超深海，对钻井作业的影响很大（图 2）。

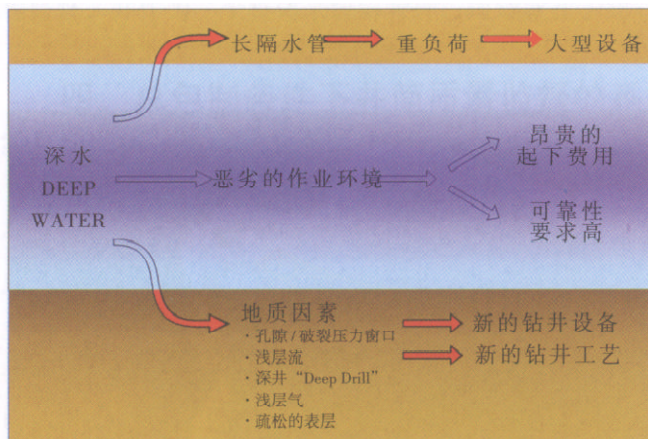


图 2 深海影响因素

4. 浅层地质灾害

浅水流（Shallow water flow）出现在深海（水深 400 ~ 2500m）的超压、未固结砂层中，是深海油气开发中常遇到的地质灾害^[1]。浅水流极易引起井壁垮塌，破坏基底的稳定性，形成能够造成“冰堵”的气体水合物，导致井眼报废，影响固井质量。

浅层气（Shallow gas）通常指海床以下 1000m 之内聚积的气体，有时它以含气沉积物（浅层气藏）存在，有时它以超压状态（浅层气囊）出现，有时它直接向海底喷逸，是深海油气勘探开发中十分危险的灾害地质类型^[1]。

根据几内亚湾 AKPO-3 井的钻井资料，发现在钻进过程中遇到了浅层气和浅水流，只是程度较为轻微，没有构成严重的影响。

5. 水合物

天然气水合物（Natural Gas Hydrate，简称 Gas Hydrate），它是在一定条件下（主要是高压和低温），由水和天然气组成的类冰的、非化学计量的、笼形结晶化合物，其遇火即可燃烧，所以又称“可燃冰”^[1]。

在深海钻井过程中遭遇天然气水合物主要有两种情况：一种是直接钻遇天然气水合物；二是在钻进过程中形成天然气水合物。这两种情况都会对钻井作业产生较为严重的影响。

根据世界水合物的分布状况，几内亚湾也有水合物的存在。虽然当前勘探区域尚未发现大面积水合物的存在，但是存在着水合物生成的条件。通过分析 AKPO-3 钻井资料，发现钻井过程中遭遇到了天然气水合物。

6. 异常压力

分析几内亚湾已钻井资料，在 3730m 以下深度有高压趋势，其异常压力特征可能性较大，存在异常压力风险。

7. 孔隙/破裂压力窗口

深海钻井与浅海及陆地钻井相比，其地层孔隙/破裂压力窗口会窄很多。这是因为在深海区域上覆岩层相当一部分由海水所替代，地层在这种情形下，趋向于显出较低的破裂压力，而孔隙压力没有较大的变化，这就使得孔隙压力与破裂压力之间的差距变得非常狭窄^[1]（图 3）。

较窄的地层孔隙/破裂压力窗口对钻井工程造成的影响很大，这是几内亚湾深海钻井需要重点考虑的问题。

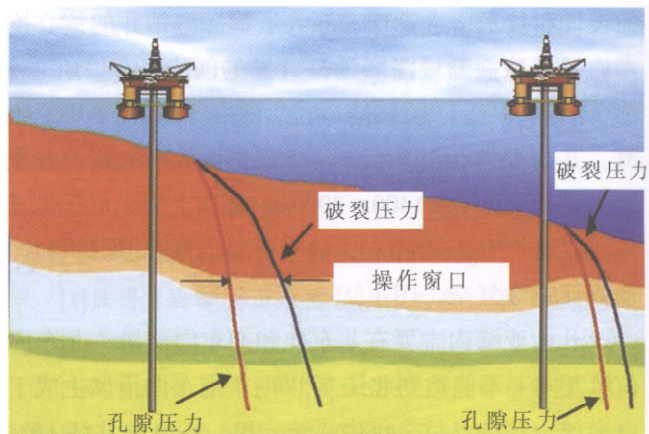


图 3 地层孔隙/破裂压力窗口对比图

二、风险分析与评估

深海钻井的主要风险分为钻井工程风险和后勤保障风险。钻井工程风险又分为拖航与钻井船定位、钻井作业完井以及测试作业风险三大部分。

我们按照层次风险评价的计算方法（图4），构建判断矩阵，并请专家根据风险项目和影响因素进行打分，研究得到几内亚湾深海钻井设计的各个项目风险值和总体风险值（R）（表1），并按照分类等级进行分析。

一般将深海钻井的风险等级划分为五级，即无风险、具有较小风险、中等程度风险、风险程度较严重

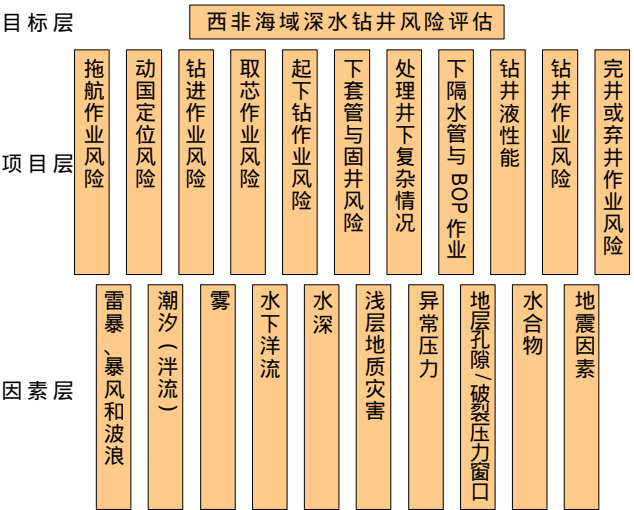


图4 风险层次示意图

和完全风险。定义0为无风险，1为绝对风险，0~1之间的数值所代表的风险等级如表2所示。

表2 风险等级及其数值的定义

风险等级	权重数值 $R(0 \sim 1)$
无风险	$R=0$
具有较小风险	$0 < R \leq 0.4$
中等程度风险	$0.4 < R \leq 0.7$
风险程度较严重	$0.7 < R \leq 0.85$
完全风险	$0.85 < R \leq 1.0$

通过分析风险矩阵数值，认为几内亚湾深海钻井的总体风险值为0.62，级别为中等，钻进作业风险中钻井液性能的风险程度较为严重。

三、“尼日利亚”项目钻井风险的应对方法

“尼日利亚”项目是我国海外石油能源业务的重点领域。我们运用国外通用的深海钻井风险分析方法，建立了风险判断矩阵，进行了风险评估，并提出了预防和控制方法，在该海域的钻井方案设计中发挥了很大作用。

1. 恶劣海况及水下洋流的应对方法

考虑到作业海域的海况恶劣，以及首次开展深水勘探钻井作业，选择了Aban Abraham动力定位钻井船

表1 几内亚湾深海钻井主要影响因素和各个作业项目风险值

因素	雷暴、暴风和波浪	潮汐（洋流）	雾	水下洋流	水深	浅层地质灾害	异常压力	地层孔隙 / 破裂压力出口	水合物	地质因素
项目名称										
拖抗风险（0.45）	0.193	0.032	0.065	0.043	0.073	0.034	0.034	0.014	0.034	0.002
动力定位风险（0.39）	0.243	0.041	0.035	0.042	0.081	0.027	0.027	0.008	0.027	0.002
钻进作业风险（0.70）	0.125	0.033	0.014	0.043	0.083	0.125	0.125	0.065	0.083	0.001
取芯作业风险（0.60）	0.130	0.024	0.012	0.043	0.087	0.043	0.130	0.066	0.130	0.001
起下钻作业风险（0.65）	0.158	0.023	0.015	0.055	0.105	0.053	0.105	0.054	0.053	0.002
下套管与固井作业风险（0.65）	0.143	0.035	0.033	0.055	0.095	0.048	0.095	0.050	0.095	0.002
处理井下复杂情况（0.65）	0.143	0.028	0.016	0.055	0.095	0.105	0.143	0.050	0.075	0.002
下隔水管与BOP作业（0.60）	0.155	0.022	0.018	0.095	0.103	0.052	0.052	0.017	0.103	0.002
钻井液性能（0.75）	0.023	0.011	0.006	0.016	0.205	0.136	0.136	0.103	0.205	0.001
测井作业风险（0.7）	0.167	0.023	0.018	0.055	0.056	0.056	0.167	0.111	0.056	0.002
下放测试工具风险（0.6）	0.176	0.025	0.018	0.058	0.118	0.059	0.059	0.059	0.059	0.002
进行测试作业风险（0.65）	0.155	0.021	0.016	0.052	0.103	0.017	0.155	0.052	0.103	0.002
弃井作业风险（0.6）	0.184	0.031	0.019	0.063	0.122	0.020	0.061	0.061	0.061	0.002

(图5),水面升沉补偿系统选择了经过长时间实际考验、工作性能可靠、成熟的天车型补偿装置。根据最强的洋流校核隔水管强度^[2],选用Vetco公司为水深3048 m钻井而创新性设计生产的隔水管。配备2台较大功率ROV(功率不小于75 hp,潜水能力达到3000m水深)。



图5 Aban Abraham 动力定位钻井船

2. 海水低温的预防和控制

选择适合低温作业的钻井液和固井水泥添加剂^[3],应用合成油基钻井液(SOBM),使用高性能低密度水泥浆体系,以隔离底部和阻止浆液返还,使用海水作为驱替液,以避免微环空作用。

在测试系统上增加了电伴热等加热系统。在井口下面增加了气垫,把可能从下面出来的气流导出到远离BOP和隔水管的区域,在BOP控制液里增加醇类防冻剂。

3. 水合物的预防和控制

主要的方法是减小非循环时间,采用低密度钻井液、合成基钻井液,制定了向BOP组注入水合物抑制剂(例如甲醇或乙二醇)的应急计划和措施。另外,在装备选择上进行了考虑(图6)。

4. 浅水流的预防和控制

优化套管下深,以便利用套管控制浅水流。可利用随钻压力检测工具检测浅层水流(图7),并在现场配备足够的高密度钻井液,一旦发现浅层流,尽可能快地压井。

5. 浅层气及异常压力预防和控制

由于所钻区块存在不整合面和浅层气,设计的井身结构考虑了备用方案。充分利用了邻井obo-1井的测井及实测资料,并采用深度评差的方法,将obo-1井

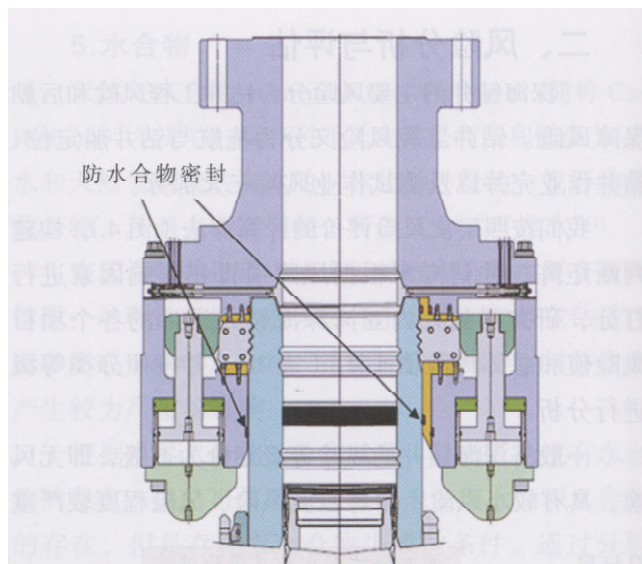


图6 带水合物密封的基盘

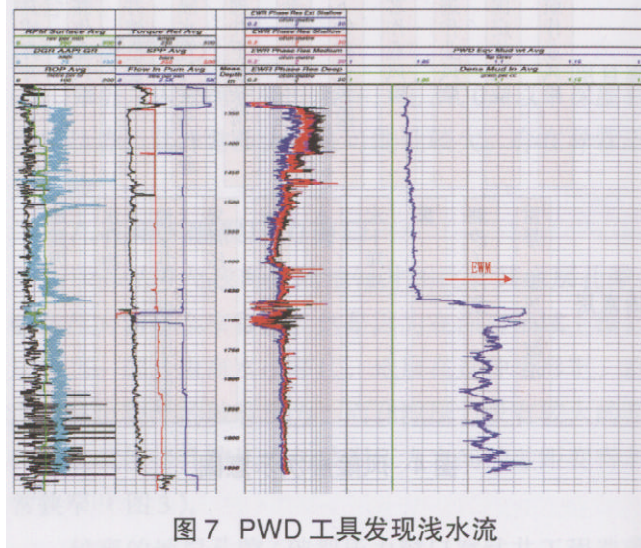


图7 PWD 工具发现浅水流

的地层压力数据转化至所钻井中,重点判断异常压力出现的深度。另外,对obo-1井破裂压力实测值比较反算得出渗透系数及相关岩石物性参数,将其物性参数直接用于所钻井的破裂压力预测。

【参考文献】

- [1] 王言峰.深水钻井问题综述[J].吐哈油气,2009,14(2):167-170,190.
- [2] 畅元江,陈国明,许亮斌,等.超深水钻井隔水管设计影响因素[J].石油勘探与开发,2009,36(4):523-528.
- [3] 王松,宋明全,刘二平.国外深水钻井液技术进展[J].石油勘探技术,2009,37(3):8-12.

Soft Power of Petroleum Companies — Cultural Management

Wang Bo-cang (*CNPC Policy Research Office*)

Abstract: Culture is the soul of petroleum companies, and cultural management power is an important driving force for sustainable development. Starting from the basic connotation of cultural management power, this paper analyzes the current state and development tendency of corporate cultural management, and puts forward main measures for enhancing the cultural management power of petroleum companies by improving the system, enriching the connotation, standardizing the system, and intensifying execution.

Key words: petroleum company; cultural management; soft power

DOI: 10.3969/j.issn.1002-302x.2010.02.012

Soft Power of Petroleum Companies — Management Control

Guo En-jing (*CNPC Policy Research Office*)

Abstract: From the basic connotation of management control, this paper summarizes the three modes of management control of enterprise groups. Furthermore, combined with the actual situation of Chinese petroleum enterprises, it proposes major approaches to enhance the management control power of petroleum companies from the three aspects of upgrading the management control system, strengthening strategic management control, specifying the resource management control.

Key words: petroleum company; management control; soft power

DOI: 10.3969/j.issn.1002-302x.2010.02.013

Soft Power of Petroleum Companies — Business Development

Yu Chun-lin (*CNOOC Research Center*)

Abstract: From the development environment faced by petroleum companies and the requirements of sustainable development, this paper elaborates the basic connotation and main principles of the business development power of petroleum companies. Besides, it suggests major approaches to promote business development by establishing ideology, hoisting capacity, development the market, technological innovation and perfecting mechanisms.

Key words: petroleum company; business development; soft power

DOI: 10.3969/j.issn.1002-302x.2010.02.014

Soft Power of Petroleum Companies — Integration of Finance and Industry

Jin San-lin¹, Bai Li-qing² (*1. Development Research Centre of the State Council; 2. Petroleum Industry Press*)

Abstract: Accelerating the integration of finance and industry is one of the main trends of modern enterprise development. As the international level gets higher and financial property of petroleum products gets stronger, petroleum companies in China should focus on the management and operation of internal funds platform such as the financial corporation, maintain the steady development of insurance, trust firms, leasing, banks, and other business, and spare no efforts to enhance the integration of finance and industry.

Key words: petroleum company; industry; finance; integration; soft power

DOI: 10.3969/j.issn.1002-302x.2010.02.015

Systems Engineering Methods for Wellbore Quality Supervision

Zhang Xiao-cheng, Sun Xue-jun (*PetroChina Changqing Oilfield Company*)

Abstract: The systems engineering method is a technical method of organization and management which has been widely applied to the field of industrial technology. Conscious application of the method is an inevitable trend to improve the quality of wellbore supervision. This paper discusses the connotation of “well” from the perspective of systems engineering. Certain awareness has been formed in response to wellbore engineering, wellbore quality, and systems engineering methods for wellbore quality supervision.

Key words: wellbore; quality supervision; systems engineering

DOI: 10.3969/j.issn.1002-302x.2010.02.016

Risk Analysis and Countermeasures for Deep Water Drilling in Gulf of Guinea

Wang Xi-zhou (*Science & Technology Development Department, Sinopec*)

Abstract: Deep water exploration has been highlighted by the world petroleum exploration industry. China's deep water drilling equipment severely lags behind the world advanced level. Deep water drilling and completion technologies develop slowly, and the deep water exploration is still in its primary stage. The “Nigeria” item is located in the Gulf of Guinea, the domain of China's oversea petroleum business. Based on the analysis of a great quantity of data, this paper stresses the risk factors existing in drilling of exploration blocks in Gulf of Guinea, and puts forward methods for risk evaluation, prevention and control, which is favorable for deep water drilling in the area.

Key words: oil and gas exploration; deep water drilling; risk analysis; prevention and control

DOI: 10.3969/j.issn.1002-302x.2010.02.017