

Analysis of petroleum exploration technology in complex geological environment

Zhongshuang Yang

Zhonghai AP Oil and Gas Testing (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin, 300450, China

Abstract

Under the background of the world oil resources, oil and gas exploration has gradually shifted to complex geological environment. Geological structures such as fault zone, fold zone, salt mound and karst are the difficult points in oil and gas exploration. Conventional exploration methods require high accuracy, efficiency and safety. This paper discusses the oil and gas exploration methods under complex geological conditions from four perspectives, and discusses the mechanism in detail, in order to play an important role in improving the success rate of oil and gas exploration and reducing environmental pollution.

Keywords

complex geological environment; petroleum exploration; seismic exploration; downhole testing

复杂地质环境下的石油勘探技术分析

杨中双

中海艾普油气测试(天津)有限公司, 中国·天津 300450

摘要

在世界石油资源日趋耗竭的背景下, 油气勘探工作逐渐转向复杂的地质环境。断裂带、褶皱带、盐丘、岩溶等地质构造是油气勘探的难点。常规勘探手段对其精度、效率及安全性的要求较高。文章从四个角度对复杂地质条件下的油气勘探方法进行了探讨, 并对其机理进行了较为详尽的探讨, 以期对提高油气勘探的成功率、安全性和减少环境污染起到重要的作用。

关键词

复杂地质环境, 石油勘探, 地震勘探, 井下测试

1 引言

石油是世界上最重要的能源, 对世界上许多国家的经济发展起着举足轻重的作用。但是, 随着全球可采油气资源的日益耗竭, 石油勘探工作正逐渐转向复杂的地质环境。复杂的地质环境, 如断裂、褶皱、盐丘、岩溶等, 其油气资源的空间展布往往呈现出非规则的特征, 往往伴随着高温、高压、复杂的地下水渗流等多种不确定性。在这种情况下, 既要突破传统勘探方法的局限, 又要实现对地下地质资料的精确采集, 从而提升勘探的成功率与精度。

2 复杂地质环境下的石油勘探的必要性

2.1 资源储量分布的复杂性

由于复杂的地质条件, 油气资源的分布往往具有很大的随机性, 常规的油气勘探手段很难对其进行精确的定位与储量预测。复杂的地质环境, 如断裂带, 褶皱区, 盐丘区,

岩溶区等, 对油气藏的生成与分布都有很大的影响。断裂常引起油气运移、富集, 而盐丘的发育又会影响储层的封闭性, 而喀斯特则会对储层的储量进行精确评价。由于这种不确定的地质情况, 使得常规的勘探手段在复杂的地质条件下越来越显示出其局限性。因此, 开展复杂地质条件下的油气勘查工作, 既是提高勘探效率的必然要求, 又是对已有油气勘探工艺的优化与提升。利用更加精密的探测方法, 可以更好的确定油气储层的空间分布, 降低勘探的盲目性, 从而提高勘探的效率与精度。

2.2 增加勘探成功率与经济效益

随着我国传统油气资源的逐步开发, 我国油田已逐步步入深水区, 所处的地质条件也日趋复杂。在复杂的地质条件下进行油气勘查, 对油气资源的开发提出了更高的要求。如在某些复杂断裂/褶皱地区, 单纯依靠常规的探测方法, 很可能会遗漏油气藏, 而利用高精度地震探测方法可以对其进行有效的探测, 从而发现隐伏的油气藏。利用数字化建模和人工智能等新兴科技, 可以把传统工艺和新工艺有机地融合在一起, 提高油气勘探的成功率。这样既可以减少由于勘探失败造成的经济损失, 又可以在复杂的地质条件下寻找到

【作者简介】杨中双(1985-), 男, 中国吉林榆树人, 工程师, 从事油田勘探研究。

更多的油气，从而提升工程整体的经济效益。

2.3 支撑能源需求与国家能源安全

在世界对能源的需求量日益增加的今天，石油是世界上最主要的一种能源，其供给的安全问题日益突出。但是，随着我国可采原油的逐步耗竭，分布于复杂地质条件下的油气储备也日益增多。因此，在复杂的地质条件下开展油气勘探，是保证我国能源安全的重要一环。对世界各国来说，能源安全既是经济稳定发展的重要问题，也是国家战略安全的重要组成部分。在这种情况下，为了适应复杂的地质环境，必须提高油气勘探的技术水平，才有可能在更恶劣的环境下找到新的油气资源。尤其是在某些深水油田、沙漠地区和极地地区，随着勘探技术的不断革新，油气开采将摆脱常规勘探手段的局限，为保障世界能源供给作出更大的贡献。所以，在复杂的地质条件下进行油气勘探，既是我国经济建设的必然要求，也是国家能源安全的重要组成部分。

3 复杂地质环境下的石油勘探存在的问题

3.1 地质条件复杂导致勘探数据的难度增加

复杂地质环境的一个显著特征就是其变化和不确定性。断层、褶皱、盐丘、岩溶、深层油气藏等复杂的地质结构，给油气勘探资料的获取与解释带来了极大的难度。在这样的条件下，传统的地质勘查手段难以精确地揭示地层结构，也不能对油气藏的空间展布进行精细刻画。如断裂构造区的油气成藏通常被划分为多个区块，其勘探资料往往不能反映出油藏的整体形态和空间分布。然而，在盐丘地区，由于盐分的存在，地震波在地层中的传输会受到强烈的干扰，使得地震资料的反射信号逐渐减弱，直至完全消失，给探测工作带来了极大的困难。在这种复杂的地质条件下，要实现油气藏的精确定位与分析，就必须依靠高精度的测试手段与数据处理手段。

3.2 传统技术的局限性与适应性不足

虽然地震、地磁、重力等勘探方法在油气勘探中得到了广泛的应用，但是对于复杂的地质条件，这些方法的适用性不强。例如，在复杂的地质构造中，由于地下介质的存在，地震波在地层中的传播特征会发生衰减甚至多次反射，进而降低探测的精度。在断层、褶皱等地质条件下，地震波的反射信号会被扰动，使其表面变得模糊，从而影响油气层的识别。另外，对于深部的石油和天然气，常规的探测方法很难达到几公里深度，从而影响了资源评价的准确性。为解决上述问题，油气勘探领域迫切需要对已有的勘探方法进行创新，开发更高精度的勘探方法，以满足复杂的地质条件。

3.3 高成本与高风险的勘探作业

在复杂的地质条件下进行油气勘查，既有较高的技术难度，又有较高的投资和风险性。在复杂的地质条件下，常规勘探方法往往要加大设备投资，加大人力投入，却不一定能取得理想的效果。比如，深海石油、天然气、石油等海洋

石油资源的开发，需要投入大量的资源，对海洋环境的苛刻，对海洋资源的安全有很高的要求。在断层带、盐丘等特殊的地质条件下，钻井过程中井喷、坍塌等事故的危险性也明显增大，对勘探工作造成极大的安全隐患。目前，利用先进的地震勘探和井下试井等方法，仍不能确保百分百的精度。在复杂地质条件下进行油气勘探，既要承担巨大的经济压力，又要承担很高的操作风险，如何在技术投入与效益之间找到一个平衡点，是目前勘探领域亟待解决的问题。

3.4 环境影响与可持续性

在石油资源日渐耗竭，勘探活动逐渐转向复杂的地质条件下，油气开采对环境的影响越来越严重。尤其在深海和极地等生态敏感地区，油气开采会对其生态环境产生重大影响。如深海石油和天然气开发过程中经常发生漏油事故和海洋生态环境污染等问题；在陆上的石油和天然气开发中，由于过量的开发，将会对土地资源造成破坏，对地下水造成污染。为保证油气开采的可持续发展，在开采过程中，既要兼顾环保，又要尽量降低对生态环境的不利影响。这就要求油气开采既要依靠先进的探测技术，又要采用环境保护手段，强化对环境的监控和管理，才能在最大限度地发挥资源利用的作用，促进可持续发展。

4 复杂地质环境下的石油勘探技术要求

4.1 高精度数据获取能力

在复杂的地质条件下，由于断层、褶皱、盐丘等复杂的地质构造，常规的勘探手段很难精确揭示其空间分布。面对这样的挑战，油气勘探工作对高精度资料的采集提出了更高的要求。在构造复杂的断裂带、褶皱区，地震波的传播与反射特征往往受地质构造的影响，从而造成反射信号的衰减或畸变。现代地震探测技术对探测手段提出了更高精度、更精细的探测手段，以获取更弱、更复杂的回波信号。同时，通过提高地震资料的时空分辨能力，提高地震资料获取的时空分辨率，提高地震勘探精度，实现对油气成藏的准确定位。

4.2 深层勘探与精准钻探技术

随着油气储量的不断减少，油气勘探工作逐渐向深部、复杂地区扩展，对勘探技术提出了更高的深度、更精细的要求。深部地质条件复杂，压力大，温度高，钻探危险性大，常规探测方法已难以适应深部油气储层的探测需求。这就要求油气开采技术能够在恶劣的条件下生存。深部钻进工艺对钻探装备提出了更高的要求，即耐高温、耐高压、高稳定性。同时，对钻进过程进行实时监控是保证钻井安全高效的关键。同时，高分辨成像技术可为勘探工作者提供更精细的地下结构信息，从而实现油气藏的精确定位。

4.3 环境友好与可持续性技术

在复杂的地质条件下进行油气勘查，既要保证资源的有效利用，又要兼顾环境保护与可持续发展。油气开采过程中，常常会发生地表与地下工程，尤其是在一些生态敏感地

区,油气开采会造成水源污染、土壤污染和生态破坏等问题。因此,对油气开采工艺提出了更高的要求。如使用无污染的钻井工具、绿色环保的钻井液、减少钻井作业对环境造成的污染等;在此基础上,提出了一种新的、可持续的评价方法。另外,环境保护的方法也要兼顾勘查完成后的生态治理,其中包括对被破坏的土地和地下水的恢复。在世界各国对环保问题日益关注的背景下,油气开采的“绿色开采”已成为今后油气勘探开发的一个重点。

5 复杂地质环境下的石油勘探方法

5.1 地震勘探技术

地震勘探是油气勘探中最常用和最主要的手段,特别是在复杂的地质条件下,地震勘探能为勘探工作者提供大量的深部构造信息。尤其是在断层、褶皱等复杂构造条件下,地震波在地层中的传播特征会发生变化,从而导致反射信号的畸变。为迎接这一挑战,近几年来,地震勘探的资料收集与处理方法也在不断地进行革新。如高精度地震探测方法,通过对探测设备进行加工,加大取样点数,可以更精确地捕获弱反射信号;同时,将多维化信息处理与建模相结合的地震反演方法,可以在复杂的地质条件下,还原出更为清晰的地下结构图象,为勘探工作者提供精确的空间位置、形态和规模。

5.2 磁力与重力勘探技术

在复杂的地质条件下,单纯的地震探测手段已不能完全反映出储层的空间分布特征,而磁、重力探测是一种有效的补充手段。磁测是指通过测定地层中的磁差异来发现岩石的变异性,特别是对高铁磁率的地层更是如此。而重力探测,是藉由测定地层中不同的物质的密度,来协助探勘者确定地壳运动的方向。为了更加全面的认识油气资源,在复杂的地质条件下,通常采用磁测和重力测深相结合的手段。在盐丘地区,如盐丘、深层油气藏等,利用重力探测技术可以有效地确定盐丘地区盐层的厚度及展布,从而弥补盐丘地区地震波传播受到阻碍的难题。

5.3 井下测试与钻探技术

井下测试与钻探技术是石油勘探中最直观、最可靠的手段,尤其在复杂地质条件下,通过实时数据的获取和分析,提供了对油气储层的精确评估。与其他勘探方法相比,井下

测试能够直接获取地下储层的压力、温度、含水率等关键参数,因此成为了评估油气藏潜力和确定开采方案的关键技术。现代钻井技术采用高精度的钻孔定位技术、钻头控制技术和实时监测手段,使得钻探作业可以深入到千米以下的复杂地质环境,获取详细的地层信息。例如,在深层油气田的钻探中,通过改进钻头控制技术和钻井液设计,可以有效减少钻探过程中的摩擦和热应力,提高钻探效率,并减少地层损害。钻孔定位技术通过高精度的定位系统,能够确保钻井轨迹的准确性,避免因轨迹偏移而导致的资源浪费和安全风险。随着数字钻井技术的不断发展,钻进过程中的数据可以实时传输至地面,进行远程分析和反馈。这一技术的应用极大提高了钻探的安全性和精确度。数据支持方面,近年来,某些深层油气田的钻井测试中,井下测试技术提供的数据显示,储层的压力和温度在不同深度存在显著差异。例如,在某深层油田钻探过程中,井下测试数据显示,储层温度达到 180°C ,压力超过 150MPa ,这一数据直接影响了钻井液的选择以及后续开采方案的制定。通过实时数据的支持,钻井作业能够根据地下实际情况进行优化,大大提升了勘探的安全性和准确性。

6 结语

在世界范围内,石油开采逐渐转向了复杂的地质条件,这给传统的勘探方式带来了很大的挑战。为适应复杂的地质环境,油气勘查工作需要更精细、更高效的勘探方法。通过对地震勘探、磁力和重力探测、井下试钻、数字模型等方面的研究,阐述了其在复杂地质条件下的应用和优点。高分辨率地震勘探、深部钻井技术及数字模型技术的发展,提高了油气勘探的精度与效率,促进了油气勘探的智能化与可持续发展。然而,油气开采仍然存在着诸多的不确定因素和潜在的风险,在今后的技术创新中,要更加注重安全、环保、可持续发展,保证资源的有效利用与生态环境的协调。

参考文献

- [1] 吴义成,刘鹏,曹青天,等.吉木萨尔页岩油长裸眼井油基钻井液防塌技术[J].新疆石油天然气, 2025, 21 (01): 32-40.
- [2] 于智博,卢艳琳,周娟,等.油气田企业发展能力评估指标体系构建与探讨[J].天然气技术与经济, 2025, 19 (01): 69-75.
- [3] 李娜.低渗透复杂断块油藏效益开发措施探索[J].中国石油和化工标准与质量, 2025, 45 (04): 106-108.