

天然气运输与开采工艺技术措施分析

李党建（中联煤层气有限责任公司神府分公司，陕西 榆林 719300）

摘要：天然气作为一种清洁、高效的化石燃料，其开采和运输技术的创新和改进对于能源产业具有重要意义。当前对天然气的需求日益上升，导致对天然气的开采与运输工艺技术措施进行全面的分析与优化变得尤为迫切。本文旨在综合评析天然气产业中开采与运输环节的先进技术和工艺措施，探讨如何通过高效、安全、环境友好的方法实现天然气资源的最大化利用。分析重点将包括非常规天然气的开采技术、液化天然气（LNG）与压缩天然气（CNG）运输技术，以及行业内安全性与环境影响的最新研究动态。

关键词：天然气运输；开采工艺；技术措施

随着世界能源结构的转变和对环境保护认识的加深，天然气作为替代能源的地位越来越受到重视。从天然气的勘探开采到最终用户的消费，整个价值链中的每个环节都需要稳健的技术支持。这一过程面临着众多技术挑战，包括如何高效开采天然气资源、确保其在运输过程中的安全以及减少对环境影响等。鉴于此，本文将系统地分析天然气行业中开采和运输过程的技术措施，评估其效率和可持续性，对促进该行业技术进步提出建议。

1 天然气的开采工艺技术

1.1 泡沫排水采气工艺技术措施

在天然气行业中，提高天然气井的产出效率是一项关键活动，其直接关系到能源公司的经济效益及天然气资源的可持续开发。随着开采技术的进步，泡沫排水采气工艺技术应运而生，为解决气井中积水问题提供了高效的方法。泡沫排水采气工艺是一种基于物理化学原理的开发技术^[1]。这一工艺首先要使用起泡剂，通常是一种表面活性剂，它通过降低液体的表面张力来生成大量稳定的泡沫。这些泡沫在气体的推动下，能持续升高并带动井液上升，从而实现气井中的液体有效排出，改善气井的产量问题。

在此过程中，产生的泡沫可以像润滑剂一般，减少井内气体和液体的摩擦力，使得液体更易于被排出井外。高效的起泡剂除了为气井提供足够的泡沫量，还要确保泡沫稳定性，防止在排液过程中泡沫过早破裂，影响排液效果。因此，在选择起泡剂时需要综合考虑其对环境的影响、与天然气的兼容性以及成本效益等因素。泡沫排水采气技术的实施需要严密的过程控制。首先，通过向井下注入适量的起泡剂来生成泡沫。随后，操作人员需要根据井下条件如温度、压力、

气液比等数据，调整注入参数，从而保证泡沫的生成和排液效果达到最佳。此外，井下的监测设备也起着至关重要的作用，它能实时反馈井内情况，以便及时调整相关参数。泡沫排水采气工艺技术在天然气的开采过程中显示了显著的技术和经济效益。该技术提高了气井的排液能力，确保气井长期稳定高效运行，延长了气井的使用寿命。同时，还解决了传统物理排液方式带来的井筒堵塞问题，减少了开采过程中的非生产时间和相应的经济损失。

1.2 抽油机采油工艺技术

在石油工业中，抽油机采油工艺技术是一种传统且广泛使用的油气开采方法。这种工艺通过地面抽油机和井下抽油泵系统的协同作用，有效地将油井中的原油提升到地面。抽油机采油工艺主要依赖抽油机来驱动整个提取过程。一般流程为电动机驱动减速器，再通过减速器将动力传递到抽油机的三轴两段传动机构。随着传动系统的运行，连杆和抽油杆带动抽油泵往复运动，从而将井下的原油送至地面。抽油泵工艺不仅在初期油田生产中扮演重要角色，而且在二次采油甚至三次采油中同样不可或缺，尤其在油田产量下降的后期阶段，抽油机采油技术显得更加重要。日常保养应包括检查抽油机的运转状态，确保所有元件如轴承、皮带和减速器等部件的完整无损，以及检测紧固件的松紧程度。操作人员需要频繁进行检查以避免任何可能的机械故障。如果任何一个环节存在缺陷，都有可能设备故障或更严重的安全事故，进而引发巨额经济损失。实施有效的预防性维护策略是降低这些风险的关键，包括定期更换磨损部件、润滑移动部件、调整皮带张力和目检机械结构等。同时，操作人员应该接受适当培训，了解抽油机的工作原理和维

护流程,以确保在发现故障迹象时能够及时采取行动,处理相关问题^[2]。

1.3 电动潜油离心泵采油工艺技术

电动潜油离心泵采油工艺是现代油田开发中一项核心的提油技术,它通过地面到井下的直接电供应,有效驱动多级离心泵,提升油井的产油效率。该工艺采用深井下设备,通过电缆将电源从地面输送到潜油泵电机,利用电机的旋转动力驱动离心泵,将油井内的石油抽送至地面。在实际操作过程中,起关键作用的是对设备的调量能力和管理水平。通过调节控制屏幕,技术人员能够精确控制电机的运行状态,从而调整泵的工作频率和排量。这种精细的控制使得电动潜油离心泵具有较高的灵活性和大流量排采能力,有助于降低油的井内流动阻力,增强生产稳定性。为防范欠载或过载可能引起的损害,需要对潜油泵电流卡进行定期监测和检查,确保所有控制系统正常运行。当电流卡捕获异常信号时,及时采取措施进行维修或替换,能有效预防潜油泵及控制屏幕的失效,降低对油井生产潜在的影响。此外,合理的瓦斯管理同样重要,为最大限度地减少瓦斯对地层的损害,开采过程中须采用油气分离器,将瓦斯和原油分离,以优化井下的生产环境^[3]。

1.4 螺杆泵采油工艺技术

螺杆泵采油工艺技术作为一种高效的油田开采方式,在油田的中后期阶段发挥了重要作用。相对于其他一些传统采油方法,螺杆泵的使用有着明显的优势,特别是在处理高粘度油和含气油井方面。它的设计较为简单,运行成本较低,维护也相对简单,这使得螺杆泵非常适合在油田持续开采的环境下使用。螺杆泵系统主要由地面驱动设备和井下螺杆泵两部分组成。地面装置负责为螺杆泵提供动力,通过电缆向抽油杆传输电能,从而驱动井下螺杆泵的转动。螺杆泵通常由多对转子和定子组成,转子旋转时与定子相互啮合,形成连续的密封空腔,以推动油井中的原油向地面输送。这种连续泵送作用保证了流体能够有效地从油井中被抽取出来,提升了油田的采收率。尽管螺杆泵具有许多优点,但在实际的生产过程中,也面临着一些技术挑战和操作问题。例如,若油井中的残渣、砂粒等固体颗粒未能及时排出,可能会对螺杆泵的零件造成损伤,影响泵的正常运作。

此外,高粘度的原油有时候也会给泵的运作带来

压力,需要螺杆泵有足够的扭矩来克服流体的粘稠度。为了确保螺杆泵的长期稳定运行,定期的维护和故障诊断至关重要。螺杆泵工作一段时间后,必须进行适当的洗井工作。洗井不仅可以清理油井中的固体残留物,避免零件磨损,还可以对泵进行检查和必要的维修。通过这种方式,可以极大地提高螺杆泵的运行可靠性,减少停工时间,降低生产成本。在维护螺杆泵的过程中,操作人员应仔细监控泵的运行参数,如压力、流量和电机负荷等,以便及时发现潜在问题。运用现代化的监测和诊断技术,可以实施远程监测和预警系统,这有助于提前预防故障发生,确保螺杆泵的生产效率和安全性。

1.5 气举排水采气工艺技术措施

在天然气开发过程中,井筒内会有大量的积水,可以采用气举方式排水,然后收集天然气,同时也能有效地解决井底积液的问题,提高天然气的开采效率。在开采过程中,向井中注入天然气,随井中瓦斯浓度持续升高,在上行过程中将积聚的水带入井口,从而降低了水对井底的损害。这是一种较为普遍和方便的建筑方式。它能有效地控制瓦斯的升力,不影响瓦斯的纯度,便于处理天然气,具有很高的开发利用价值,因此在工程上得到了广泛的应用。

2 天然气的运输方法

2.1 管道运输

管道运输具有输送量大、连续性强、运输成本低以及对环境干扰小等优势,特别适合于陆地上跨越长距离的天然气传输。长输管道是连接天然气生产地和消费地的大动脉,其设计与建造牵涉到精准的工程技术和高度的规划先见。工程师们在设计时会考虑到路线的地理环境、气候条件、地质特性等因素,并运用先进的GIS系统进行路径规划,确保线路的最优化。同时,材质选择和工艺也需符合高标准,来确保管道的耐腐蚀性及耐压强度,从而满足长期、稳定的输送需求。在建造过程中,使用自动焊接和无损检测等技术确保管道的连接强度和密封性。为了确保长输管道的安全稳定运行,采用了一系列高科技手段进行监管和维护。例如,应用智能化的管道监控系统,可以实时检测管道的运行状态,包括压力、流量、温度等重要参数。通过大数据分析,可以预先发现潜在的风险点,从而提前采取措施。此外,为了防止管道因外界因素如自然灾害或非法行为导致损害,管道沿线安装

了多种传感器，如地震传感器、红外线探测器等。这些传感器可以实时监测环境变化，一旦发现异常，相关人员能迅速响应，执行应急预案。

2.2 液化天然气 (LNG) 运输

LNG 是将天然气冷却至大约 -162°C 下，使其体积约缩小 600 倍从而达到液态，这样使得天然气可以以更高密度的形式进行存储和运输，特别适用于长距离海上运输。LNG 的海上运输需要专门设计的运输船只，如 LNG 运输船。这些船只具有高度专业化的设计，主要表现在其货舱设计、材料选择、温度控制系统、驱动系统和安全系统的严格要求。

在运输船只的设计方面，LNG 船的货舱是其核心，通常采用高隔热性能的材料构建，并配备复杂的支撑和隔热系统，以确保 LNG 在海上运输过程中保持低温。目前流行的货舱设计有膜式和球形等类型，膜式船舱采用特别设计的不锈钢或镍合金材料膜片，以及用于支撑的保温材料层。而对于球形船舱，通常采用由铝和镍合金构成的特殊合金材料，球形设计有利于承受货物在液态时产生的压力。LNG 运输船的温度控制系统则是确保 LNG 在 -162°C 极端低温条件下安全运输的关键。这通常包括冷却系统和绝热材料，以防止外部温度的影响及内部天然气的蒸发^[4]。

另外，LNG 船舶通常安装有再液化装置，可以将船载设备产生的蒸汽再次液化，从而减少 LNG 的损耗。传统上，LNG 船主要依靠蒸汽轮机作为动力来源，而现代设计越来越多地应用双燃料柴油电机 (DFDE) 或双燃料低速柴油机 (DFLS)，它们可以使用油燃料或 LNG 作为动力来源，提升燃料效率并降低排放。LNG 运输船安全系统包括气体探测器、紧急关闭系统、火警和爆炸监测系统等。所有系统都必须符合国际海事组织 (IMO) 关于防止海上污染的国际公约，以及国际海运液化天然气船舶代码 (IGC Code) 等相关条款的严格要求。

2.3 压缩天然气 (CNG) 运输

压缩天然气 (CNG) 作为一种天然气的输送方式，其运输是将天然气在高压下压缩至大约 200 至 250 个大气压，从而显著减少其体积，以便于存储和运输。与液化天然气 (LNG) 相比，CNG 无需超低温冷却，但需要承受较高的压力，因此对运输设备的设计提出了不同的技术挑战。CNG 运输主要涉及管道以外的方式，例如借助特殊设计的海上船舶或公路车辆。

在学术研究领域，CNG 运输船只的设计与运行特性的研究，尤其是在压力容器技术 (包括货舱设计)、工艺创新以及安全风险方面，成为该领域的热点。从压力容器设计角度来看，CNG 运输船舶配备的货舱须能承受高达 250 个大气压的压力，而且要在海上复杂的环境条件下保持绝对的结构完整性与安全。学术界正在探索使用高强度钢材、铝合金或复合材料打造轻量化而又安全的压力容器。

此外，压力容器的设计亦需遵循严格的国际标准，如美国机械工程师协会的 ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)。在工艺创新方面，技术专家正致力于优化 CNG 船舶的压缩工艺，提升压缩效率、降低能耗。例如，可变频率驱动 (VFD) 技术可以提高压缩机运行的能效，而高效换热器技术则可以回收压缩过程中的废热，减少能量损失。CNG 运输技术随着工程材料、压缩机械和安全系统的不断进步而逐步成熟，其学术研究不仅对提升 CNG 运输的商业可行性发挥着至关重要的作用，也为天然气运输行业的安全性、经济性和环境影响作出了重要贡献。随着对天然气需求的持续增长，CNG 运输技术的进步对于全球能源市场具有长远的战略意义。

3 结语

总体来看，天然气产业的开发和运输已经取得了显著进步，但仍需不断探索创新解决方案以应对新的挑战。从非常规气田的精确开采技术到液化及压缩天然气的运输效率，再到全球输送网络的安全与环境影响考量，每一个环节都需要精确的工程设计、严谨的操作和持续的技术创新。未来的发展趋势将更侧重于环境可持续性和经济性能的平衡，同时技术进步将有助于确保天然气行业能更好地满足全球日益增长的能源需求。

参考文献：

- [1] 梁沁宜, 郑涛, 拜雪玲等. 安全监测系统在液化天然气运输装备上的应用 [J]. 铁道车辆, 2023, 61(06): 155-158.
- [2] 周逸斐. 跨省天然气管道运输价格首次按“一区一价”核定 [N]. 每日经济新闻, 2023-12-08(002).
- [3] 杜雨萌. 国家发改委首次分区域核定跨省天然气管道运输价格 [N]. 证券日报, 2023-12-06(A01).
- [4] 胡仕威. 天然气物流运输中的环境成本与可持续发展研究 [J]. 租售情报, 2023, (09): 30-32.