煤层气开发管道输送工程与工艺设计

宋百强（中联煤层气有限责任公司神府分公司，陕西　榆林　719300）

摘　要：为提高煤层气开发管道输送工程与工艺设计效果，本文结合项目案例对煤层气开发管道输送工程与工艺设计展开分析，结合所收集资料确定了局部串接＋阀组进站的工艺方案，结合实际情况进行工程优化和工艺改进，提高设备利用率，有效促进煤层气开发和输送效率，在满足需求的基础上保证项目的稳定运行，对后续煤层气开发和输送有移动参考意义。

关键词：煤层气；开发管道；输送；工艺

Abstract: In order to improve the efficiency of pipeline transportation engineering and process design for coalbed methane development, this article analyzes the pipeline transportation engineering and process design for coalbed methane development based on project cases. Combining the collected data, the process scheme of local series connection+valve group inlet station is determined. Based on the actual situation, engineering optimization and process improvement are carried out to improve equipment utilization and effectively promote the efficiency of coalbed methane development and transportation. On the basis of meeting the demand, the stable operation of the project is ensured, which has mobile reference significance for subsequent coalbed methane development and transportation.

Keywords: Coalbed Methane; Development pipeline; transportation; workmanship

0 引言

随着全球对环保和清洁能源需求的增长，煤层气作为高热值、低排放的非传统能源，受到了广泛关注。煤层气的热值是普通煤炭的 2 至 5 倍，具有显著的环境效益和竞争力，能有效减少温室气体排放，优于传统石油和煤炭能源 [1]。技术进步推动了煤层气集输系统从单一单元向大型管网系统的发展，提高了采集效率及资源的经济效益。这种系统设计的优化涉及管网布局、压力控制与流量调整，新兴智能化技术进一步提升了系统的可靠性和效率 [2]。在全球能源结构转型与绿色低碳发展的背景下，煤层气的开发利用有助于缓解传统能源压力，促进环境保护和可持续发展，对全球能源安全和环境保护作出重要贡献 [3]。

1 项目概况

本项目位于华北地区，是一项关键的煤层气开发工程，包括 144 口井（24 口斜井、114 口直井、2 口废井），分布于 132 座新建井场和 10 座阀组。工程还包括一座新建集气站，旨在实现年 $1.0\times10^8 m^3$ 的煤层气集气规模，加强区域能源供应。井口设计产气量为 1550 至 1800m^3/ 日，套管节流后压力为 0.05 ~ 0.15 MPaG，集气站外输压力为 3.8 MPaG，保障气井与外部输气系统的压力匹配。基础设施建设包括采气线、集气支线和集气干线，总长度达到 80.39km。具体边界条件如图 1 所示：

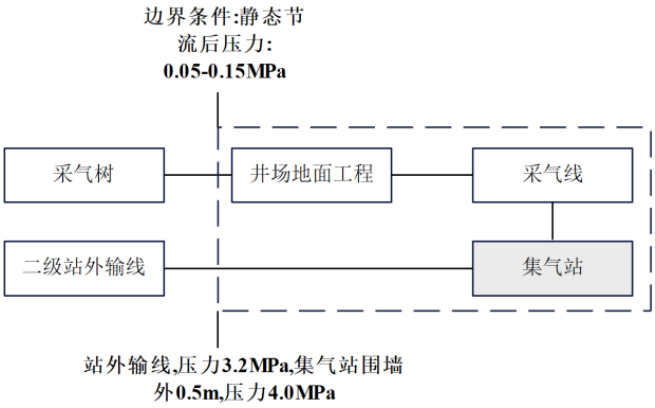

图 1 设计边界及边界条件

煤层气组成见表 1：

表 1 煤层气组成

成分	甲烷	二氧化碳	氮气	乙烷
含量（%/mol）	94.88-98.78	0.14-0.29	0.62-5.48	0.01-0.03

煤层气主要物理性质见表 2：

表 2 煤层气主要物理性质

参数	平均分子量	相对密度	临界温度/℃	临界压力/MPaA	高热值/MJ/m^3	低热值/MJ/m^3
数值	16.58	0.71	-85.34	4.48	38.12	34.31

2 工程工艺设计

2.1 工艺流程

气田总工艺流程关键在于单井计量与集中增压，确保数据精确及煤层气压力稳定。工艺涵盖低压集气和增压，井口产出气先经计量后串接至阀组，再经采气支线至集气干线，最终输送至集气站。在站内，煤层气进行杂质分离、增压、脱水和计量处理，提升纯净度及稳定性，满足下游高质量能源需求。设计细节包括凝水缸以排除积水，提高输送效率和管线寿命。整体流程设计考虑环节协调，优化操作稳定性和经济性，支撑区域能源供应与经济发展[4]。工艺流程图如（图2）所示：

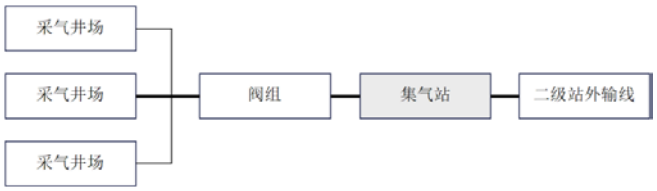

图 2 工艺流程图

采气系统采用单井计量，通过精确监控每口井的产气量，优化数据采集与管理，随后通过低压集气技术将煤层气串接至阀组，增强系统效率与安全。

集气系统应用工艺涉及增压、脱水及外输操作，通过选择高效压缩机和脱水设备，优化能源利用与减少运营成本，确保气体质量与传输效率。

管道选材需要探讨 PE 管与直缝电阻焊钢管的物理化学特性，比较两者在不同应用场景下的适用性、耐久性与成本效益，提供材料选择依据。

电力供应应分析负荷需求，比较不同供电方案的经济性与技术可行性，详述 10kV 架空线供电设计的效率和安全措施。

水资源利用需讨论地下水资源的可持续开发，水源井设计及施工，以及水质处理技术，确保水资源的有效利用和环境保护[5]。

2.2 管道工艺

该项目采用了结合局部串接与阀组进站的集输方案，以发挥各自的优势。通过局部串接，对相邻井口产出的煤层气进行初步集中处理，再通过阀组进站方式输送至集气站进行深度处理。此策略优化了资源利用，简化了输气管道，保障了气体在输送前的稳定性，有效整合了两种工艺的优点，示意图见图 3：

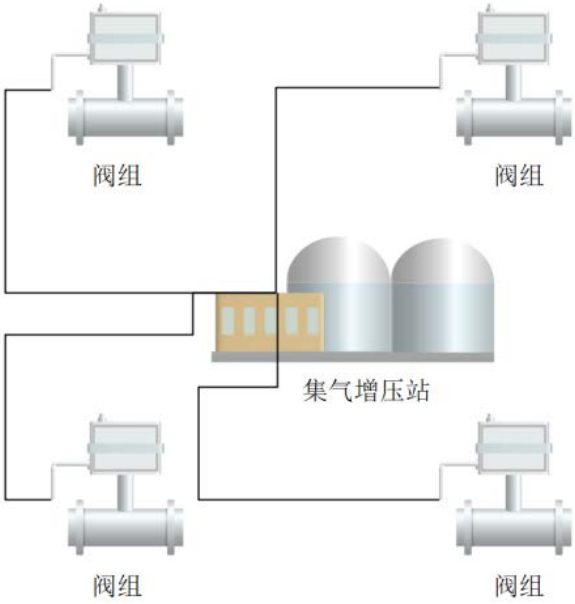

图 3 串接 + 阀组进站方式示意图

总集输工艺：煤层气自地下解吸后被采出，并在井场计量以确保产量精确。通过局部串接方式连接至阀组，进行必要的增压处理，以适应输送压力需求。增压后的煤层气经集气线送至集气站，进行进一步处理和储存，准备输送至下游。集输流程见图 4：

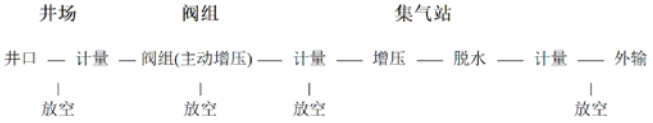

图 4 集气输送流程

井口工艺：采用排水降压方法高效采集煤层气。通过抽油机从油管中抽出水，降低地下水位，使煤层气析出并收集至地面。该工艺提高了采集效率，确保了气体的连续产出，为系统稳定运行奠定基础。

集气阀组工艺：

2.2.1 集气阀组一般流程

在集气设计中，井口煤层气通过采气线进入集气阀组总管汇合，并设有放空流程以应对检修及异常，确保安全。阀组总流量通过 SCADA 系统实时监测各单井流量计算得出，提高系统自动化与数据准确性。安全阀装置在管道压力达到 0.58 MPaG 时自动开启，释放过高压力，保护管道系统。

2.2.2 预留主动增压设施的集气阀组流程

煤层气经采气线进入阀组汇管，并通过主动增压设施进行增压，确保气体在适当压力下输送至集气站。每条采气线均设有放空流程，以应对检修和紧急情况，防止气体积聚风险。阀组总流量通过 SCADA 系统实

时监控和计算，提高数据精度和系统监控实时性。此外，安全阀在管道压力达 0.58 MPaG 时自动开启，防止过压损害，增强系统安全性。

选用聚乙烯管道（PE 管道）对于采气和集气系统的低压输送至关重要。PE 管道因其优异的耐腐蚀性和柔韧性，在复杂地形下的施工中表现卓越，大幅降低了施工难度和时间成本。其轻质、无需焊接或复杂防腐处理的特点进一步简化了施工过程，缩短了施工周期，提高了工程效率。聚乙烯管道的这些特性不仅满足了低压输送需求，还显著减少了工程造价和维护频率，有效推动了项目的顺利进行。

在采气和集气管道在压力不超过 0.7 MPaG 的条件下，本项目选择了 PE100 SDR11 等级的聚乙烯管道，适应煤层气低压输送需求，实现成本与性能的平衡。分析显示，对于公称直径≤ DN200 的管道，聚乙烯管道具有较低的投资成本和安装便利性。而公称直径超过 DN200 时，钢质管道因其更高的强度和耐久性，在大口径和高压工况下更经济。特殊地段或穿越段也采用钢质管道以确保结构强度和系统安全。

考虑到设计压力较低和经济实用性，本次在项目设计中选择了无缝钢管（SMLS）和直缝电阻焊钢管（ERW）的组合。无缝钢管因无焊缝、内壁光滑及良好的耐压性和抗腐蚀性，特别适用于低压输送，确保高可靠性和结构完整性。直缝电阻焊钢管则以其窄焊缝和高尺寸精度优势，易于防腐处理，提高管道耐久性和安全性，适合外观或表面处理要求较高的应用场景。现代技术提升了 ERW 管的质量，使其能够适应最高 4.0 MPa 的工作压力，扩大了其应用范围。

2.3 站场工程设计

煤层气井口开采采用排水采气方式，通过油管采出地下水并套管采出煤层气。排采期内的水量通过排采池收集后通常通过自然蒸发处理，利用当地气候条件，在无增加额外成本的前提下，有效处置采出水。

在煤层气排采初期，由于采气压力低且气量少，气体不能直接进入管线，需在井场内进行放空处理。随采气井进入正常生产期，套管内压力升至 0.05 ~ 0.2MPaG，经节流处理后调至 0.05 ~ 0.15MPaG，气体方可进入采气管道。

由于压裂过程，在煤层气排采初期排出的水含压裂液和煤粉，无法直接排放，需由钻井工程团队进行专门回收处理以防环境污染。随生产持续，排采后期水量减少，水质改善，此时可采用自然蒸发方式处理。

抽油机采用电驱动方式，每口井配备单独计量设备和电驱动抽油机，通过精确记录生产数据，及时发现并调整生产问题，保证井场效率。

每口井场和阀组均设有放空管，井场放空管规格为 DN50，长度 10m，阀组为 DN80，同样长度 10m，确保在生产中安全处理放空气体。此设计应对单井最大放空量 2000m^3/ 天，增强安全性。

煤层气生产流程包括从采气干线（0.01MPaG）输送至站内，先通过旋流过滤分离器去除杂质，再由压缩机增压至4.2MPaG,并经出站分离器二次处理。后续，气体通过复合吸附剂脱水，最终输送至集气管网（如图 5）。

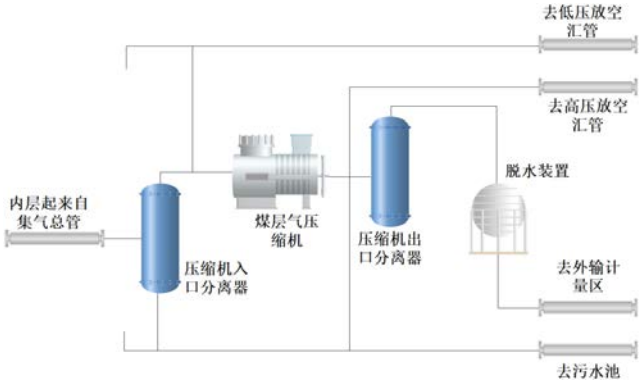

图 5 集气站工艺流程图

在煤层气项目中，选择适合的压缩机至关重要。考虑到项目的灵活性和维护便利性，统一选用往复式压缩机，因其高压缩比和良好的流量适应能力，特别适应煤层气流量大、压力高的需求。螺杆式压缩机虽结构简单但出口压力不足，离心式压缩机处理大流量效果好但压缩比低，难以应对气量波动。往复式压缩机的活塞往复运动能有效应对不同工况，模块化设计便于维护，确保生产连续性和系统稳定性，是煤层气开采的最佳选择。

驱动方式的选择：项目团队选择了电机驱动方案，因其结构简单、维护成本低，且运行稳定。考虑到站场位于电力充足且稳定的区域，电机驱动提供了能源成本效益，减少了燃气资源消耗，并避免了燃气价格波动的风险。

2.3.1 压缩系统的选择

本次选择了空冷方案而非水冷。水冷系统虽冷却效果好，但易结垢影响散热，维护复杂且成本高。相反，空冷系统依赖空气散热，维护简单且不需水资源，有效避免结垢问题，降低运维成本。此外，空冷系统的结构简洁，易于管理，能在不增加额外投资的情况

下提供稳定的冷却效果，符合项目的高效、经济及可靠运行需求。

2.3.2 配置选择

基于产气量逐年上升的特点，最终确定采用 6 台单台处理能力为 $10\times10^4m^3$/ 天的设备，分期采购以适应不同阶段需求。一期工程采购 4 台设备，采用“3 开 1 备”模式，以满足初期产气需求并控制投资成本。二期工程补充两台设备，实现“5 开 1 备”的配置，优化了生产效率和设备冗余，确保了项目从初期到高峰期的高效可靠运行。

3 结论

在煤层气管道输送工程与工艺设计中，针对所在区域的设备设施情况以及地质情况进行详细了解，收集现场数据进行模拟计算分析，确定科学合理的工艺流程后结合地质情况进行部分优化。本文在分析中确定了局部串接 + 阀组进站的工艺方案，并对煤层气的输送工艺进行合理改善，有效提升煤层气的输送效率局部串接 + 阀组进站降低设备冗余，确保项目方案的稳定运行。

参考文献：

[1] 张玉涛，张哲，武洋，等．基于 SAFETI 软件的煤层气管道高后果区风险定量分析研究 [J]. 工业安全与环保 ,2024,50(1):63-65.

[2] 刘佳，贾志强，赵杰．长输煤层气管道沿线地质灾害风险研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2023,43(9):105-107.

[3] 田涛，张治仓，岳云宁，等．增压煤层气集输管道堵塞分析及防治 [J]. 内蒙古煤炭经济 ,2023(16):61-63.

[4] 陈瑞杰．煤层气开采过程安全风险因素控制策略研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2022.

[5] 强海亮．地面煤层气 FRTP 柔性管道工程性能试验研究 [J]. 合成材料老化与应用 ,2022(004):051.

作者简介：

宋百强（1987- ），男，吉林通化人，学历大学本科，2011 年 7 月毕业于东北石油大学，中级工程师，主要从事工作安全管理、项目产能建设、协调管理。