

煤层气增压站过滤分离设备选型成本控制及优化

郭剑卫（山西蓝焰煤层气集团有限责任公司，山西 晋城 048000）

摘要：本文聚焦煤层气增压站过滤分离设备，深入探讨其选型原则与优化举措。详细阐述了常见过滤分离设备类型及其特点，从煤层气特性、处理规模、分离精度以及成本控制等多维度剖析选型要点，基于目标与技术导向提出优化路径，完善设备管理机制，实现管理效果与运行成本的综合管控，旨在为煤层气增压站过滤分离设备的科学选型与高效优化提供理论支撑，助力提升煤层气开发利用效益。

关键词：煤层气；增压站；过滤分离设备；选型原则；成本控制；优化举措

0 前言

煤层气作为一种清洁高效的非常规能源，其开发利用受到广泛关注。煤层气增压站作为煤层气输送与利用的关键环节，过滤分离设备的优劣直接影响到整个系统的稳定运行与产气质量^[1]。合理选型及优化这些设备，对于提高煤层气处理效率、降低运营成本、保障安全生产具有至关重要的意义。

1 煤层气增压站过滤分离设备概述

1.1 煤层气增压站过滤分离设备基本类型

1.1.1 过滤分离器

过滤分离器利用特殊的过滤介质与结构设计，气体从外向里通过过滤聚结滤芯，能高效截留固体颗粒，同时促使液体颗粒聚结长大并分离。例如，某型号过滤分离器在处理含尘量为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 、含水量为 0.5% （体积分数）的煤层气时，固体颗粒去除效率可达 99% 以上，液体去除率可达 98% 。

1.1.2 聚结分离器

聚结分离器通过多层疏水、疏油复合纤维材料聚结滤芯，使气体中的液体成分聚结为大液滴后沉降分离^[2]。在处理含水量约 1% （体积分数）的煤层气时，经其处理后含水量可降至 0.1% 以下，有效保障后续设备免受液态水侵蚀。

1.1.3 旋风分离器

含尘气体沿切线方向高速进入，旋风分离器借助离心力将固体颗粒甩向器壁，进而实现分离。对于粒径大于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的固体颗粒，分离效率可达 85% 以上，以其结构简单、成本较低的优势，该设备常作为初步分离设备。

1.1.4 滤芯过滤器

滤芯过滤器依靠不同材质滤芯，如玻璃纤维、聚酯纤维等，精准截留气体中的固体杂质。根据所选滤芯精度，能去除粒径从 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 到几十微米不等的颗

粒，满足不同洁净度需求。

1.2 煤层气增压站过滤分离设备主要特点

1.2.1 设备类型多样

为适应不同煤层气工况提供了多元选择，在煤层气含尘量大、颗粒粒径分布广的情况下，旋风分离器可凭借其简单高效的离心分离机制，快速去除大部分较大粒径的固体颗粒，作为预处理的首选。对于对气体洁净度要求极高，需要精准去除微小固体杂质与液滴的场景，过滤分离器与滤芯过滤器的组合则能发挥优势，通过层层过滤，保障气体达到严苛的质量标准。这种丰富的设备类型，使得增压站能够依据煤层气实际的成分、杂质含量、压力等条件灵活搭配，构建最适宜的过滤分离体系。

1.2.2 分离作用显著

过滤分离设备对固体颗粒杂质的有效拦截，极大降低了后续压缩机、泵体、阀门等关键设备的磨损风险，延长了设备的维修周期与使用寿命。相关数据表明，在安装高效过滤分离设备后，增压站内主要设备的年维修次数平均降低了 $3\sim 5$ 次，设备运行稳定性提升约 20% ^[3]。过滤分离设备实现水分的精准脱除，杜绝了在低温环境下管道内结冰堵塞的隐患，同时也减少了水分与煤层气中其他成分反应生成酸性物质腐蚀管道的可能性，保障了整个输送与增压系统的完整性与可靠性，为煤层气的安全、持续输送奠定了坚实基础。

2 煤层气增压站过滤分离设备选型方式

2.1 着眼煤层气特性，增强设备选择有效性

深入分析煤层气成分至关重要。除考量硫化氢含量外，若二氧化碳含量较高，达到 10% （体积分数）及以上，会使气体呈弱酸性，这就要求过滤分离设备的材质不仅要耐腐蚀，还需具备一定的抗酸侵蚀能力，像内衬橡胶或采用特殊合金材质的部件可作为优先选

择。对于含有少量重烃成分的煤层气，由于重烃在低温下易凝结，需配置具备预加热功能的过滤设备，防止重烃堵塞滤芯与管道，确保气体流通顺畅。精准测定含尘量与粒径分布时，借助激光粒度分析仪等专业仪器，获取详细数据^[4]。

当检测到含尘量在 $15\text{mg}/\text{m}^3$ 左右，且粒径集中在 $2\mu\text{m}-8\mu\text{m}$ 区间，这种细微粉尘居多的情况，多级串联滤芯过滤器成为理想之选，利用不同精度滤芯逐级拦截，保障过滤效果。掌握含水量与液滴粒径方面，若煤层气开采自高湿度地层，含水量可能高达 3%（体积分数）以上，且液滴粒径分布较广，从几微米到上百微米不等。先采用聚结分离器进行初步聚结，再结合丝网除雾器进一步去除微小雾滴，两者协同作业，能高效脱除水分，满足后续工艺需求。

2.2 评估处理总体规模，确保设备选型科学性

依据增压站设计的最大日处理量选型是基础。若预计未来 3-5 年内煤层气产量有 20% 的增长幅度，所选用设备的额定处理量应在当前需求基础上额外预留 30% 的余量，而非仅考虑短期波动。考虑工作压力范围时，对于压力波动频繁的增压站，如日波动范围在 3-6MPa，设备应配备灵敏的压力自适应调节装置，确保在不同压力下均能维持稳定的分离性能。同时，要结合增压站整体工艺流程，若后续连接的压缩机对进气压力稳定性要求极高，那么前置过滤分离设备的压力降需严格控制在极小范围内，一般不超过 0.1MPa，避免因压力损失影响系统运行效率。

2.3 立足分离精度要求，提升设备选型针对性

根据后续工艺对气体洁净度的严格要求精细筛选。若后续要将煤层气用于燃气发电领域，为防止固体颗粒对燃气轮机叶片造成磨损，要求最终输送的煤层气固体颗粒含量低于 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，此时需选用高精度的深层过滤滤芯，搭配在线颗粒计数器实时监测，确保过滤精度达标。对于液体分离，若计划将煤层气注入长输管道，为避免水合物形成堵塞管道，期望含水量控制在 0.03%（体积分数）以下，这就需要采用高效的低温聚结分离器，结合分子筛脱水装置，在低温环境下精准脱除水分，保障煤层气的安全输送。而且，在一些对气质要求极高的化工合成工艺中，还需增设精细过滤与深度脱水的冗余系统，双重保障，防止杂质影响化学反应进程。

3 做好投入成本控制

在采购成本上，不能仅看价格标签。对于关键的

过滤分离设备，如大型增压站的核心过滤器，虽采购成本占比较大，如大型增压站的核心过滤器，其采购成本通常占设备总采购成本的 20% - 30%。虽这部分采购成本占比较大，但要综合评估其品牌信誉、售后服务网络。

某些国际知名品牌，虽设备价格比本土普通品牌高出 30%-50%，以一套大型增压站核心过滤器为例，本土普通品牌价格可能在 50 万元左右，而国际知名品牌则高达 65-75 万元。但其全球服务体系能确保在设备出现故障时 24 小时内响应，提供专业技术支持，从长期运行保障角度考量，对大型项目可能更具性价比。经实际案例统计，采用国际知名品牌过滤器的大型项目，因设备故障导致的停机时间每年平均比使用本土普通品牌的项目少 10-15 天，大大减少了因停机造成的生产损失。

权衡运行能耗时，除对比不同设备的直接能耗数据，还要考虑能源利用效率。例如，一款新型的空气驱动过滤设备，运行时能耗看似与传统电驱动设备相近，传统电驱动设备每小时耗电量约为 50-60 度，新型空气驱动过滤设备每小时消耗压缩空气量若换算为电量，约为 45-55 度。但因其利用压缩空气作为动力源，可与增压站已有的空气压缩系统联动，减少额外能源投入，综合能耗成本反而更低。据测算，使用新型空气驱动过滤设备每年可节省能源成本约 10-15 万元。考虑维护成本方面，选择标准化、模块化设计的设备优势明显。

以滤芯更换为例，采用统一规格、快拆式设计的滤芯，维修人员经过简单培训即可快速完成更换，相比非标准化设计，每次维护的人工成本可降低 40% 以上。假设非标准化设计滤芯每次维护人工成本为 5000 元，采用标准化设计后，每次维护人工成本可降至 3000 元以下。且采用标准化设计的滤芯更换可缩短停机时间 3-5 小时，提高生产效益，按每小时生产效益 5 万元计算，每次维护可减少生产损失 15-25 万元。

4 煤层气增压站过滤分离设备优化路径

4.1 坚持目标导向，明确过滤分离设备优化内容

以提高整体分离效率、降低设备故障率、延长使用寿命为核心目标，聚焦设备的结构优化、材质升级、工艺改进等关键内容。例如，通过优化过滤分离器的进气方式，使气体分布更均匀，提高滤芯利用率，有望将分离效率提升 5-10%。

不仅如此，在降低设备故障率方面，可对设备易

损部件进行全面排查,分析故障高发点,针对性地改进设计。如旋风分离器的进口蜗壳部分,由于气流冲击频繁,容易出现磨损,采用耐磨涂层或更换为高强度合金材质,可有效减少磨损导致的故障,预计能将该部件故障率降低 30%—40%^[5]。对于延长使用寿命,除了选用优质材料外,合理的设备运行维护计划至关重要。根据不同设备的运行特点,制定定期巡检、保养和更换易损件的时间表,确保设备始终处于良好运行状态,有望将整体设备平均使用寿命延长 2~3 年。

4.2 坚持技术导向,细化过滤分离器设备优化路径

4.2.1 过滤分离器优化方式

改进滤芯结构,采用多层梯度孔径设计,外层粗滤拦截大颗粒,内层精滤捕捉小颗粒,延长滤芯寿命 30% 以上。进一步地,可在滤芯内部嵌入纳米纤维层,利用其超强的吸附性能,捕捉更微小的杂质,使过滤精度再提升一个等级,对于粒径小于 0.1 μm 的颗粒截留率可达 90% 以上。

优化进气布气腔,利用数值模拟技术设计合理的气流导向板,使进气更均匀,减少局部高速气流对滤芯的冲击,降低滤芯破损风险。同时,在布气腔内部增设缓冲装置,如蜂窝状的气流缓冲结构,进一步分散气流能量,最大程度保护滤芯。

4.2.2 聚结分离器优化方式

研发新型聚结材料,提高其对微小液滴的聚结能力,使聚结效率提高 15% 左右。可以探索将具有特殊表面能的纳米材料与传统聚结材料复合,利用纳米材料的高比表面积和独特的润湿性,增强液滴的聚结效果。调整内部结构,如增加液滴碰撞挡板,促进小液滴碰撞长大,加快沉降分离速度。

此外,优化聚结分离器的排水系统,采用高效疏水阀和倾斜式排水槽设计,确保及时排出分离出的液体,避免积液影响分离效率,可使整体液体分离效率提升 8%~12%。

4.2.3 旋风分离器优化方式

优化进口风速,通过实验测试确定最佳进口风速范围,一般在 15—25m/s,在此范围内可提高分离效率 10%~15%。进一步结合计算流体力学(CFD)模拟技术,精细调整进口蜗壳的曲率和尺寸,使气流进入旋风分离器时更加平稳、均匀,减少湍流对分离效果的影响,有望将分离效率再提高 5%~8%。改进排气管设计,采用渐缩式排气管,降低气体出口阻力,避免气流返混,增强分离效果。同时,在排气管出口

增设消声器,降低气体排放噪声,满足环保要求,减少对周边环境的干扰。

4.2.4 滤芯过滤器的优化方式

采用纳米技术对滤芯表面进行处理,增强其抗污、疏水性能,降低滤芯堵塞概率 40% 左右。在滤芯的清洗维护方面,开发智能反冲洗系统,利用压力传感器实时监测滤芯两端压差,当压差达到预设阈值时,自动启动反冲洗程序。

反冲洗过程中,结合超声振动技术,利用超声波的空化作用,更彻底地清除滤芯表面的污垢,确保滤芯的过滤性能持续稳定,使滤芯的使用寿命在原有基础上延长 20%—30%。此外,为提高滤芯过滤器的整体可靠性,采用冗余设计,增加备用滤芯组,当主滤芯组出现故障或需要维护时,可自动切换至备用滤芯组,保障过滤过程不间断进行,降低因滤芯问题导致的停机风险^[6]。

5 结语

煤层气增压站过滤分离设备的选型与优化是一项系统工程,需综合考量多方面因素。通过精准选型与科学优化,提升煤层气的处理质量与效率,保障增压站的稳定运行,为企业节约成本、提高经济效益,推动煤层气产业可持续发展。

参考文献:

- [1] 李喆.煤层气田集输工艺优化方法[J].中国化工贸易,2022(36):118-120.
- [2] 李俊峰.沁水盆地郑庄井田煤层气分段压裂水平井开发技术[J].煤矿安全,2023(6):34-40.
- [3] 叶超,刘禄,张彦华等.低温冷凝油气回收工艺模拟分析与能耗优化[J].石油石化节能与计量,2024(1):49-55.
- [4] 吴春升,孙浩然,王子辉等.煤层气地面集输系统压缩机能效提升方案研究[J].油气田地面工程,2023(1):31-35.
- [5] 吴嘉乐.数字化增压站集输模式的分析与讨论[J].中国煤层气,2023(6):35-37.
- [6] 罗志鹏,汪勇,陈小清,等.基于层次分析法的煤层气增压设备优选[J].中国设备工程,2012(001):36-38.

作者简介:

郭剑卫(1986-),男,汉族,籍贯:山西省晋城市,山西蓝焰煤层气集团有限责任公司工程师,本科,研究方向:煤层气开发与利用。