

煤层气集输管道内固体颗粒物研究

王 强

晋城市综合检验检测中心 山西 晋城 048000

摘 要：通过全面探讨煤层气集输管道内固体颗粒物的来源、特性、影响及控制措施。分析了煤层自身携带、管道腐蚀产物及外界侵入等固体颗粒物的主要来源，阐述了其对管道流动阻力、磨损、腐蚀促进及堵塞风险等方面的影响。从源头控制、管道内处理及运行管理三方面入手的控制措施，并详细介绍固体颗粒物的采样技术、检测分析手段及数据处理与评估方法。本文研究为煤层气集输管道的安全、高效运行提供理论支持和实践指导。

关键词：煤层气；集输管道；固体颗粒物

1 煤层气集输管道系统概述

1.1 煤层气集输管道的组成与布局

煤层气集输管道系统作为煤层气开采与利用的关键环节，其组成与布局直接影响着气田的开采效率和经济效益。系统主要由采气井、集气站以及连接它们的集输管道网络共同构成。采气井是煤层气资源的直接获取点，通过钻井技术穿透煤层，将煤层中的气体抽出。这些采气井通过专门设计的集输管道与集气站相连，形成初步的集输网络。集气站则作为气体处理、计量和储存的中转站，对来自各采气井的煤层气进行集中处理，之后再通过更大的输气管道输送至用户或加工厂。集输管网的结构特点在于其复杂性和层次性，既包括从采气井到集气站的短距离、多分支的集气支线，也包括集气站之间以及集气站到终端用户的长距离、大口径的干线管道，形成一套完整的煤层气收集、输送体系。

1.2 煤层气的特性及集输要求

煤层气，又称煤矿瓦斯，主要成分为甲烷（ CH_4 ），是一种清洁、高效的能源。除了甲烷外，煤层气中还含有少量的氮气、二氧化碳以及微量的重烃类气体。在物理性质上，煤层气具有易燃易爆的特性，因此在集输过程中需要特别注意安全；煤层气的压力、温度等参数也是集输过程中的重要控制因素。为了保证煤层气能够高效、安全地输送到用户端，集输系统需根据煤层气的特性制定相应的集输要求。例如，需确保集输管道具有足够的强度和密封性，以承受煤层气的压力；同时，还需在集输过程中保持煤层气的温度和压力在一定范围内，以防止其发生相变或造成安全隐患^[1]。针对煤层气中的杂质和水分，还需进行必要的净化处理，以提高煤层气的质量和利用率。

2 煤层气集输管道内固体颗粒物的来源

2.1 煤层自身携带

煤层作为煤层气的主要赋存介质，其地质结构复杂，内部含有多种矿物质和有机质，这些成分在煤层气开采过程中可能随着气体一同被抽取出地表。煤层中的裂隙、孔隙以及层理面等地质构造是固体颗粒产生的主要源头。在钻井、压裂等开采作业中，煤层受到机械应力的作用，容易发生破碎，产生大量的固体颗粒。这些颗粒大小不一，形状各异，包括煤粉、岩屑、矿物颗粒等。当煤层气通过采气井进入集输管道时，这些固体颗粒也随之被携带入内，成为管道内固体颗粒物的重要来源之一；开采过程中使用的钻井液、压裂液等也可能携带部分固体颗粒混入煤层气中，进一步增加管道内固体颗粒物的含量。

2.2 管道腐蚀产物

煤层气集输管道在长期运行过程中，受到介质腐蚀、应力作用等多种因素的影响，容易发生腐蚀现象。腐蚀类型主要包括均匀腐蚀、点蚀、应力腐蚀开裂等。腐蚀机理复杂多样，既有化学腐蚀也有电化学腐蚀。当管道内壁发生腐蚀时，金属基材逐渐溶解，形成金属离子和腐蚀产物。这些腐蚀产物可能以固态的形式沉积在管道内壁上，形成一层或多层的腐蚀垢层。这些垢层中的固体颗粒成分多样，包括金属氧化物、氢氧化物、硫化物等。随着煤层气的流动，部分腐蚀产物可能被冲刷下来，成为管道内流动的固体颗粒物。这些腐蚀产物不仅增加了管道内固体颗粒物的数量，还可能对管道的输气能力和安全性造成不利影响。

2.3 外界侵入

在煤层气集输管道系统的建设、运行和维护过程中，外界环境可能通过多种途径将固体颗粒侵入管道内部。施工期间，管道焊接、切割等作业可能产生金属碎屑、焊渣等固体颗粒，如果清理不彻底，这些颗粒可能在后续的管道吹扫、试压等过程中被带入管道内部。维

修作业时，打开管道进行检修或更换部件时，也容易使外部环境中的灰尘、沙粒等固体颗粒趁机侵入管道。另外，环境因素如大风、沙尘暴等也可能通过管道进气口、排气口等开放部位将固体颗粒吹入管道内部。这些外界侵入的固体颗粒物对煤层气集输管道的运行安全和效率构成潜在威胁，需要采取有效措施进行预防和控制^[2]。

3 固体颗粒物对煤层气集输管道的影响

3.1 流动阻力增加

固体颗粒物在煤层气集输管道中的存在会显著增加流体的流动阻力。这些颗粒作为非均质体，在流体流动过程中会产生复杂的相互作用，如碰撞、摩擦和旋转等，这些都会阻碍流体的顺畅流动。固体颗粒对流体流动的干扰机制主要包括两方面：一是颗粒本身占据了一定的管道空间，减少流体的有效流通面积；二是颗粒与流体之间以及颗粒之间的相互作用会产生额外的阻力，使得流体需要更多的能量才能克服这些阻力继续流动。因此，随着管道内固体颗粒物浓度的增加，流动阻力也会相应增大。

3.2 管道磨损

固体颗粒物在煤层气集输管道中的运动会使管道内壁造成磨损。这种磨损主要源于颗粒与管道内壁之间的机械摩擦作用。当煤层气携带固体颗粒流动时，颗粒会不断冲击管道内壁，特别是在管道弯曲、变径等位置，由于流体的方向改变和速度变化，颗粒的冲击力和摩擦力会显著增加，导致管道内壁的磨损加剧。磨损机理涉及材料的疲劳、冲蚀等多种物理过程。影响磨损程度的因素包括颗粒的性质（如硬度、形状、大小）、流体的流速、管道材质及表面处理等。

3.3 腐蚀促进

固体颗粒物在煤层气集输管道中还可能促进腐蚀过程。固体颗粒与腐蚀之间存在复杂的协同作用机制。一方面，颗粒在管道内壁上的沉积可能形成局部的浓度梯度或电化学环境差异，从而加速腐蚀反应的进行；另一方面，颗粒本身可能含有一些腐蚀性物质，如金属氧化物、硫化物等，这些物质在与管道内壁接触时会促进腐蚀的发生；颗粒在流动过程中对管道内壁的冲刷作用也可能破坏管道表面的保护膜层，使得裸露的金属基材更容易受到腐蚀。

3.4 堵塞风险

固体颗粒物在煤层气集输管道中的沉积和积聚还可能引发管道堵塞的风险。当管道内的固体颗粒物浓度达到一定水平时，颗粒之间可能会相互黏附或形成较大的团块，这些团块在流体流动过程中可能逐渐增大并沉积

在管道底部或弯头等位置。随着沉积物的不断积累，管道的流通面积会逐渐减小，直至最终造成管道堵塞。堵塞不仅会影响煤层气的正常输送，还可能导致管道内压力升高，对管道的安全运行构成严重威胁。堵塞风险的大小取决于多种因素，包括固体颗粒物的性质（如粒径分布、形状、密度等）、流体的流速、管道的设计（如管径、弯头数量、倾斜角度等）以及操作条件（如温度、压力等）。另外，管道内壁的粗糙度、涂层状况以及管道清洁维护的频率也会对堵塞风险产生影响。

4 煤层气集输管道内控制固体颗粒物的措施

4.1 源头控制

源头控制是减少煤层气集输管道内固体颗粒物含量的首要措施；应优化煤层气的开采工艺，从源头上减少固体颗粒物的产生。这包括改进钻井技术，减少钻井过程中岩屑、煤粉的生成；优化压裂液配方，减少压裂作业中固体杂质的混入；以及加强采气井的维护管理，确保采气过程中不引入外界杂质。为防止外界颗粒侵入管道，需采取严格的施工和管理措施。在施工阶段，应确保管道焊接、切割等作业区域的清洁度，避免金属碎屑、焊渣等固体颗粒遗留在管道内。同时，加强管道进气口、排气口等开放部位的防护，防止风沙、尘土等外界颗粒的侵入。此外，定期对管道周边环境进行清理和整治，减少尘土等颗粒物的来源，也是控制外界颗粒侵入的有效手段。

4.2 管道内处理

可以在管道中设置过滤装置，对煤层气进行过滤处理。过滤装置的选择应根据煤层气的性质、固体颗粒物的种类和浓度等因素进行确定，以确保既能有效去除固体颗粒物，又不会对煤层气的流动产生过大阻力。过滤装置应定期检查和更换，以保证其过滤效果；通过定期对管道进行清管作业，可以清除管道内壁上的沉积物和颗粒物，恢复管道的流通能力^[3]。清管作业的方法有多种，包括机械清管、水力清管、化学清管等。在选择清管技术时，应综合考虑管道的长度、直径、材质以及固体颗粒物的性质等因素，确定最适合的清管方案。

4.3 运行管理措施

建立健全的管道巡检和监测机制，定期对管道进行巡查和检测，及时发现并处理潜在的堵塞、磨损等问题。巡检内容包括但不限于管道外观检查、壁厚测量、流量监测等；加强管道的运行管理，确保管道在规定的压力和温度范围内运行。避免过高的流速和过低的温度导致固体颗粒物在管道内沉积或结块。同时，合理安排清管周期和清管时间，确保管道内的固体颗粒物得到及

时清理；应加强对煤层气集输管道操作人员的培训和管理，提高他们的安全意识和操作技能。确保操作人员能够熟练掌握管道的运行规律和维护要点，及时发现并处理异常情况，保障管道的安全、高效运行。

5 煤层气集输管道内固体颗粒物的监测与分析方法

5.1 采样技术

在煤层气集输管道内对固体颗粒物进行监测，首先需采用合适的采样技术。这主要包括在线采样与离线采样两种方法。在线采样通过安装于管道上的传感器或探针，实现连续、实时的样品采集，能够迅速捕捉管道内固体颗粒物的动态变化。例如，某煤层气集输管道采用在线颗粒监测仪，每小时自动记录一次数据，有效捕捉了管道内固体颗粒物浓度的日波动情况。离线采样则是在特定时间点，通过手动或自动采样装置从管道中取出样品，供后续详细分析。采样位置的选择应基于流场分析，通常选在颗粒物易积聚的区域，如弯头、三通等位置。采样频率则根据监测需求和管道运行状况确定，一般建议至少每月进行一次离线采样，以确保数据的全面性和代表性。

5.2 检测分析手段

检测分析是揭示固体颗粒物性质的关键步骤。通过显微镜观察可以直观地了解颗粒物的形态、大小及分布情况。在显微镜下，可以清晰地看到煤层气集输管道中的颗粒物多为不规则形状，粒径分布范围较广，从几微米到几百微米不等。粒度分析则利用激光粒度仪等仪器，对颗粒物的粒径分布进行量化描述。例如，分析结果显示某管道内固体颗粒物的D50（中位数粒径）为50微米，说明大部分颗粒物集中在这个粒径附近；化学成分分析通过光谱分析、质谱分析等手段，揭示了颗粒物的化学组成，包括无机物（如硅酸盐、铝酸盐）和有机物（如烃类残留物）等。这一分析结果对于评估颗粒物的来源、潜在危害及制定相应的处理措施具有重要意义^[4]。

5.3 数据处理与评估

数据处理与评估是将监测数据转化为有价值信息的

过程。对采集到的样品数据进行清洗、整理，剔除异常值和无效数据，确保数据的准确性和可靠性；运用统计学方法对数据进行分析，计算平均值、标准差、变化趋势等统计指标，以描述固体颗粒物的总体特征和变化规律。例如，通过对比不同时间段的监测数据，发现管道内固体颗粒物含量在冬季明显高于夏季，这可能与冬季气温低、气流速度减慢有关；结合管道运行状况、环境因素及历史监测数据等背景信息，对监测结果进行综合评估。评估内容包括固体颗粒物含量是否超出安全标准、对管道运行的影响程度以及是否需要采取处理措施等。基于评估结果，可制定相应的处理方案，如加强管道清管作业、优化开采工艺或安装颗粒过滤装置等，以确保煤层气集输管道的安全、高效运行。

结束语

综上所述，煤层气集输管道内固体颗粒物的控制是保障管道安全运行和煤层气高效利用的关键。通过深入分析颗粒物的来源、影响及监测分析方法，本文提出一系列有效的控制措施，旨在减少颗粒物的产生和积聚，降低其对管道的不良影响。未来，随着煤层气开采技术的不断进步和管道管理水平的持续提升，相信能够进一步优化控制措施，实现煤层气集输管道的长期稳定运行和经济效益的最大化。

参考文献

- [1]陈中良,苟建升,周杨飞,等.煤层气集输管网输差问题分析与认识[J].能源与节能,2021(7):165-168.
- [2]王亮亮.煤层气集输管网输差问题分析[J].中国化工贸易,2022(21):124-126.
- [3]付英娟,刘和乐,张甜莉.煤层气集输管道内固体颗粒物研究[J].能源与节能,2021(8):77-79.DOI:10.3969/j.issn.2095-0802.2021.08.030.
- [4]姚征,曹代勇,魏迎春,等.煤层气开发中煤粉防治措施综合分析研究[J].煤炭科学技术.2019,(8).DOI:10.13199/j.cnki.cst.2019.08.025.