

天然气管道施工过程中废水处理与资源化利用技术

李夫苓（香山红叶集团有限公司，山东 日照 276800）

战立准（山发海岳环境科技（山东）股份有限公司，山东 日照 276800）

摘要：聚焦天然气管道施工，探讨废水处理与资源化利用技术。分析施工各阶段废水来源及水质成分，涵盖物理、化学、生物等基础处理技术，利用高级氧化、膜分离实现深度处理，提升水质。提出施工场地内循环回用、工业生产再利用及生态补水等多元资源化利用途径。这些技术不仅能有效去除废水中污染物，使其达标排放，还能将处理后的废水重新投入使用，实现水资源的高效循环，降低施工成本，推动天然气管道施工绿色发展，对能源行业的环保建设具有重要意义。

关键词：天然气管道施工；废水处理；资源化利用；绿色发展

中图分类号：TE99 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）027-0106-03

Waste water treatment and resource utilization technology during natural gas pipeline construction

Li FuLing (Xiangshan Hongye Group Co., LTD., Shandong Rizhao 276800, China)

Zhan LiZhun(Shanfa Haiyue Environmental Technology (Shandong) Co., LTD., Rizhao Shandong 276800, China)

Abstract: Focusing on natural gas pipeline construction, discussing waste water treatment and resource utilization technology. Analyze the wastewater sources and water quality components at all stages of construction, covering physical, chemical, biological and other basic treatment technologies, and use advanced oxidation and membrane separation to achieve deep treatment to improve water quality. The recycling methods, industrial production recycling and ecological water replenishment are put forward. These technologies can not only effectively remove the pollutants in the wastewater, make them discharge to the standard, but also put the treated wastewater back into use, realize the efficient circulation of water resources, reduce the construction cost, and promote the green and sustainable development of natural gas pipeline construction, which is of great significance to the environmental protection construction of the energy industry.

Key words: natural gas pipeline construction; waste water treatment; resource utilization and green development

在全球能源格局加速变革的当下，天然气作为清洁高效能源，其管道建设在能源输送领域愈发关键。随着天然气管道工程规模的不断扩张，施工过程中产生的废水问题日益凸显。这些废水若未经妥善处理直接排放，不仅会对周边水体、土壤等生态环境造成污染，还可能导致水资源的大量浪费，与可持续发展理念背道而驰。因此，深入研究天然气管道施工过程中的废水处理与资源化利用技术迫在眉睫。一方面，先进的处理技术能够有效去除废水中的各类污染物，使其达到环保排放标准；另一方面，将处理后的废水进行资源化利用，可缓解施工用水压力，实现水资源的高效循环。这不仅有助于降低施工成本，还能为管道建设的绿色发展提供有力支撑，助力能源行业迈向更环保、更可持续的未来。

1 废水特性与来源剖析

1.1 施工各阶段废水产生环节

筹备期场地平整，大型机械翻挖土地，遇降水或冲洗用水，裹挟大量泥沙形成高浓度废水。临时搭建

时，材料清洗、混凝土调配会产生携带水泥、砂石颗粒及清洁剂残留的废水，随意排放易堵塞排水系统。沟槽开挖，大量地下水涌出，与岩土接触，不仅混入泥沙，岩土内的微量重金属如铅、汞，还有各类可溶性盐也随之溶入，废水成分变得复杂难处理。管道安装阶段，焊接区域清洗废水含有助焊剂，多为有机和无机盐类；防腐涂层预处理废水携带防腐药剂，化学污染性强，直接排放会污染周边水体、土壤。试压吹扫时，大量水与管道内壁接触，带出铁锈、油污、施工残留杂质，形成的试压废水若不妥善处理，会造成环境污染。

1.2 废水的水质成分分析

悬浮物是主要污染物之一，浓度受施工活动影响波动大，从几百到数千毫克每升不等，主要由泥沙、施工颗粒构成，使水体浑浊，降低光透性，阻碍水生生物正常活动。石油类源于机械漏油、防腐材料，漂浮水面阻碍水体复氧，还会附着在生物体表，影响其生理功能。化学需氧量（COD）高，意味着废水中

机污染物多，像助焊剂、清洁剂等，在自然分解中大量消耗溶解氧，破坏水生态。部分废水含重金属离子，如铅、汞、镉，虽含量低，但毒性强，难以自然降解，易在生物体内富集，通过食物链危害人体健康。

1.3 废水排放的标准与限制

依据环保法规，施工废水排放有着严格标准。pH值需控制在6~9，超出范围会改变受纳水体酸碱性质，影响水生生物生存。悬浮物排放浓度一般限定在70~100毫克每升，过高易造成水体淤积，堵塞河道、破坏水生态环境。化学需氧量（COD）排放限值通常在100~150毫克每升，以此约束有机污染物排放，保障水体溶解氧。石油类排放浓度限制在5~10毫克每升，防止油膜覆盖水体，破坏生态平衡。重金属离子管控极为严格，如铅排放限值0.1毫克每升，汞为0.001毫克每升，避免重金属在环境中累积造成毒害。

2 基础处理技术原理与应用

2.1 物理分离技术

物理分离技术是天然气管道施工废水处理的基础环节，主要依据物质物理性质差异实现污染物与水的分离。沉淀法，利用重力作用让废水中悬浮颗粒沉降。在施工现场，通常会设置平流式沉淀池，废水缓慢流入，较大颗粒在短时间内迅速沉淀，细小颗粒也会在数小时内沉降至池底，形成污泥层，从而去除大部分悬浮物，降低废水浊度，为后续处理创造条件。过滤法借助滤网、滤布或粒状滤料等介质拦截杂质。例如采用袋式过滤器，废水穿过滤袋，悬浮颗粒被截留，常用于去除沉淀后残留的细微颗粒，使出水更加澄清。气浮法通过向废水中通入微小气泡，使疏水性污染物附着在气泡上，随之上浮至水面，与水分离，特别适用于去除废水中的悬浮油滴和部分胶体物质，有效提升水质的观感和洁净度。

2.2 化学净化技术

化学净化技术依靠化学反应改变污染物化学形态以实现去除目的。中和法用于调节废水酸碱度，天然气管道施工废水可能因使用化学药剂而呈酸性或碱性，不符合排放要求。如酸性废水可加入熟石灰中和，熟石灰中的氢氧根离子与废水中氢离子反应，使pH值趋于中性，防止酸性废水对土壤和水体造成酸化危害。氧化还原法利用氧化剂或还原剂，改变污染物价态使其转化为无害或低毒物质。如用次氯酸钠氧化废水中的氰化物，将剧毒的氰根离子转化为无毒的氮气和二氧化碳。混凝沉淀法是向废水中投加聚合硫酸铁等混凝剂，其水解产生的多核络合物能使水中胶体和细微悬浮物脱稳、凝聚成大颗粒，再通过沉淀去除，大幅降低废水浊度和部分有机物含量，为后续深度处

理奠定基础。

2.3 初级生物处理技术

初级生物处理技术借助微生物代谢分解废水中有机污染物。活性污泥法是常见工艺，在曝气池中，富含微生物的活性污泥与废水充分混合，通过曝气提供氧气，微生物以废水中有机物为食，进行有氧呼吸，将其分解为二氧化碳和水，自身得以繁殖。经过沉淀，活性污泥与净化后的水分离，实现废水净化，处理效率高，能有效降低化学需氧量（COD）。生物膜法使微生物附着在固体载体表面形成生物膜，废水流经时，其中的有机物被微生物分解利用。例如生物接触氧化池，填料表面的生物膜对废水中的有机物进行吸附、氧化分解，该方法耐冲击负荷，适用于处理水质波动较大的天然气管道施工废水，运行成本较低，管理相对简便，可有效改善废水水质，减轻后续处理压力。

3 深度处理与水质提升

3.1 高级氧化技术强化处理

高级氧化技术以产生高活性的羟基自由基为核心，对废水中顽固的有机污染物发起强力攻击。以臭氧氧化技术为例，臭氧具有极强的氧化性，在与废水接触时，能迅速打开有机污染物的化学键，将长链大分子有机物分解为短链小分子。在天然气管道施工废水中，那些因管道清洗或化学药剂残留而难以降解的有机成分，通过臭氧氧化，能有效降低其化学需氧量（COD）。在实际应用中，将臭氧发生器产生的臭氧通入反应池，与废水充分混合，反应时间通常控制在30~60min。随着反应进行，废水中的有机污染物被逐步氧化，颜色变浅，气味变淡。这种技术不仅高效，而且反应条件相对温和，无需高温高压，不会产生二次污染，能显著提升废水的可生化性，为后续处理流程减轻负担，使废水水质更接近排放标准和回用要求。

3.2 膜分离技术精细过滤

膜分离技术利用特殊制造的薄膜，依据分子大小和性质差异实现对废水的精准过滤。纳滤膜可以拦截二价及以上的离子，对废水中的硬度离子如钙、镁离子有良好的去除效果，从而降低水的硬度，防止在后续使用中产生水垢。对于天然气管道施工废水中可能含有的微量重金属离子，如铅、汞等，纳滤膜也能有效截留。反渗透膜则更为精细，它几乎能阻挡所有的溶解性盐类、小分子有机物和病毒。在处理废水时，在一定压力作用下，废水被压向反渗透膜，水分子透过膜成为净化水，而污染物被截留。实际操作中，需定期对膜进行清洗维护，以保证其过滤性能。通过膜分离技术，废水可以被净化到近乎纯净水的程度，满足高端工业生产和生活饮用水等高标准用水需求。

3.3 深度处理集成工艺

深度处理集成工艺融合多种技术之长，全面攻克废水处理难题。一种常见的集成模式是“混凝沉淀 - 高级氧化 - 超滤 - 反渗透”。先通过混凝沉淀去除废水中的悬浮颗粒和部分胶体物质，降低废水的浊度；接着利用高级氧化技术分解有机污染物；再通过超滤膜进一步去除大分子有机物和微生物；最后由反渗透膜进行深度脱盐和去除微量污染物。在天然气管道施工废水处理项目中，这种集成工艺能应对废水成分复杂多变的挑战，使处理后的水质稳定达到高标准。不同技术之间相互协同，前序处理为后续步骤创造良好条件，如混凝沉淀减轻高级氧化的负担，高级氧化提高超滤膜的抗污染能力，超滤为反渗透提供优质进水，从而确保整个处理流程高效、稳定运行，实现废水深度净化和水质的全面提升。

4 资源化利用多元途径

4.1 施工场地内循环回用

施工场地内的循环回用是废水资源化利用的重要一环。在管道防腐施工中，处理后的废水可用于稀释和调配防腐涂料。在满足涂料性能要求的前提下，废水的合理利用既降低了涂料调配成本，又避免了使用新鲜水带来的资源浪费。在机械设备清洗环节，回用水同样发挥着重要作用。施工现场的挖掘机、起重机等大型设备，在作业后需定期清洗，以往直接使用新鲜水，而现在经处理达标的废水可完全胜任这一任务。通过专用的清洗设备，回用水能够有效去除设备表面的油污、泥沙等污染物，保证设备的正常运行和使用寿命，同时大大减少了清洗用水的消耗。此外，在道路养护方面，回用水也能派上用场。定期对施工场地内的临时道路喷洒回用水，可保持路面湿润，防止扬尘，减少道路磨损，保障施工车辆的安全行驶，充分实现了废水在施工场地内的多场景循环利用。

4.2 工业生产领域再利用

处理后的天然气管道施工废水在工业生产领域具有广阔的再利用空间。对于造纸行业，在纸张抄造前的制浆阶段，对水质要求主要体现在无杂质、无有害化学物质干扰纤维结合。处理后的废水经适当检测和调整，可作为制浆用水，替代部分新鲜水资源，参与纤维的浸泡、破碎等工序，有效降低造纸厂的用水成本。在印染行业，处理后的废水经过深度净化和水质调配，满足其对水温、酸碱度和硬度的特定要求后，可用于织物的漂洗环节，帮助去除织物表面残留的染料和助剂，实现水资源的循环利用，减少印染厂对新鲜水的依赖，同时降低印染废水的总体排放量。在热电厂的冷却系统中，处理后的废水经过除盐、杀菌等

处理工序，能够作为冷却循环水使用，吸收热电厂发电过程中产生的热量，确保设备正常运行，提高热电厂水资源利用效率，助力工业生产的绿色转型。

4.3 生态补水等创新利用

生态补水和城市杂用是废水资源化利用的创新方向。在城市生态景观建设中，处理后的废水可用于补充城市景观水体，如城市公园的人工湖、景观河等。这些景观水体不仅具有美化城市环境的作用，还能调节局部气候、改善生态系统。处理后的废水补充到景观水体中，能够增加水体的流动性和自净能力，营造出更加优美的城市生态环境。

在城市绿化灌溉方面，通过建设完善的灌溉管网，将处理后的废水输送到城市绿化带、公园、道路两旁的树木花草处，采用滴灌、微喷灌等节水灌溉方式，为植物提供生长所需水分，减少城市绿化对新鲜水资源的需求，同时促进城市绿化的可持续发展。在一些城市，处理后的废水还被用于冲厕，通过专门的管道系统接入居民小区、公共厕所等场所，实现水资源在城市日常生活中的循环利用，进一步提高水资源的利用效率，践行绿色发展理念。

5 结语

在天然气管道施工进程中，废水处理与资源化利用技术研究收获了丰硕成果。从基础处理技术的高效运用，到深度处理技术的水质优化，再到多元途径的资源化利用，形成了一套完整且可行的技术体系。尽管取得进步，但技术推广仍面临经济成本高、施工条件复杂等挑战。应对这些难题，需加强技术创新，研发低成本高效处理工艺，同时优化施工流程，提高技术适配性。展望未来，随着环保理念深入与技术革新，废水处理与资源化利用技术将持续迭代升级，为天然气管道施工绿色发展注入强大动力，助力能源建设与生态保护和谐共进，在可持续发展道路上迈出更坚实步伐。

参考文献：

- [1] 张雪琴, 陈树华, 付艳鹏, 金峰. 煤化工企业废水处理及资源化利用技术研究及应用 [J]. 山西化工, 2024, 44(3): 213-216.
- [2] 刘杰, 许艳梅. 含铜废水处理及资源化利用技术研究进展 [J]. 广州化工, 2024, 52(1): 40-42.
- [3] 骆飞, 路鹏程. 燃煤电厂脱硫废水处理及资源化利用技术研究 [J]. 清洗世界, 2024, 40(7): 7-9.
- [4] 肖继波, 赵委托, 褚淑祎, 陆国权. 薯类淀粉废水处理技术及资源化利用研究进展 [J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(2): 292-298.