

天然气脱水新工艺新技术研究

张萍萍

天津市瑞航人力资源服务有限公司 天津 300452

摘要: 随着人们生活水平的提高,人们在日常生活生产中对于能源资源的需求量越来越大,传统煤矿资源无法满足工业生产和生活所需,而天然气的出现则在一定程度上缓解了能源资源危机。但是天然气传统的脱水工艺和脱水技术效果较低,且净化效果一般,所以这些年加大了对天然气脱水新工艺和新技术的研究,本文系统阐述天然气脱水的基础理论,解析传统工艺的原理与不足,深入探索膜分离、超音速脱水等新技术的应用前景,并展望综合应用新技术的发展趋势,为天然气脱水技术的升级提供理论参考。

关键词: 天然气脱水;传统工艺;新技术

引言

在人们不断增加对于资源的需求量的形势下,原有的煤矿资源已无法与人们的工业、生活之需保持同步。在极大意义上,天然气资源的发掘,缓解了当前能源极度匮乏的现状,给国民经济的发展,带来了良好的助推作用。近期以来,人们逐步深化了对于天然气的研究,在极大意义上,也改善了该能源的开采、净化工艺。天然气作为清洁能源,其高效利用依赖于净化处理的深度与稳定性,脱水是净化过程中的关键环节。天然气中携带的水分在输送与加工过程中,可能因温度压力变化形成液态水或固态水合物,造成管道堵塞、设备腐蚀,甚至引发安全事故。传统脱水工艺经过长期应用已形成成熟体系,但在面对高含硫、高压等复杂工况时,逐渐显现出能耗高、操作复杂等问题。深入研究天然气脱水的新工艺新技术,对于提升天然气处理效率、保障输送安全具有重要意义。

一、天然气脱水的基础理论

1.天然气的组成与特性

天然气是由多种气态烃类及非烃类物质组成的混合物,其主要成分是甲烷,还包含乙烷、丙烷、丁烷等重烃,以及氮气、二氧化碳、硫化氢等非烃气体。不同气田的天然气组成差异较大,受地质条件与形成过程影响,其压力、温度与密度等物理特性也随之变化。天然气具有可压缩性与扩散性,其体积随压力和温度的变化显著,这一特性直接影响水分在其中的溶解度。在标准状态下,天然气中的水分以气态形式存在,但随着压力升高或温度降低,水分的饱和溶解度下降,容易达到过饱和状态。

此外,天然气中的酸性气体如二氧化碳、硫化氢会增加水分的溶解度,同时加剧水分对设备的腐蚀作用。了解天然气的组成与特性是制定脱水工艺的基础,直接关系到脱水方法的选择与效果评估。

2.水在天然气中的存在形式与危害

水在天然气中主要以气态、液态和固态三种形式存在。气态水即水蒸气,与天然气均匀混合,其含量通常用绝对湿度或水露点表示;当天然气中的水分含量超过饱和溶解度时,会析出液态水,形成气液两相共存状态;在低温高压条件下,液态水与天然气中的某些组分结合,可能形成固态水合物,如甲烷水合物、乙烷水合物等。水在天然气中的存在会带来多方面危害:液态水与酸性气体结合会形成腐蚀性溶液,加剧管道和设备的腐蚀,缩短其使用寿命;固态水合物可能在管道弯头、阀门等部位沉积,造成堵塞,增加输送压力,甚至导致输气中断;水分的存在还会降低天然气的热值,影响燃烧效率,同时在加工过程中干扰产品质量,增加后续处理成本。此外,水分可能导致天然气计量不准确,影响贸易结算的公正性。因此,控制天然气中的水分含量是保障其安全输送与高效利用的关键。

3.天然气脱水的原理剖析

天然气脱水的原理基于传质分离与相平衡调控,通过改变系统的温度、压力或引入分离介质,打破水分在天然气中的溶解平衡,促使水分从气相转移至其他相态,从而实现分离。传质分离机制是脱水过程的核心,包括吸附、吸收、渗透等方式:吸附法利用固体吸附剂对水分的选择性吸附能力,通过分子间作用力将水分吸附在吸附剂表面;吸收法借助溶剂对水分的溶解能力,使水

分溶解于溶剂中形成溶液；膜分离法则利用水分与其他气体组分在膜材料中渗透速率的差异，实现选择性透过。相平衡调控是脱水过程的重要手段，通过降低温度或升高压力，降低水分在天然气中的溶解度，使水分析出并分离；或者通过加热使吸附或吸收了水分的介质解析再生，实现介质的循环利用。不同脱水方法的原理各有侧重，但均以促进水分的定向迁移为目标，通过优化工艺参数与分离介质性能，提高脱水效率，降低能耗，确保天然气水露点达到规定标准。

二、传统天然气脱水工艺解析

1. 低温分离法

低温分离法通过降低天然气的温度，使其中的水分因溶解度下降而析出，进而实现脱水。该工艺的核心是制冷系统，通过制冷剂蒸发吸热或节流膨胀产生低温，将天然气冷却至水露点以下。根据制冷方式的不同，可分为节流膨胀制冷、膨胀机制冷、外制冷等类型。节流膨胀制冷利用天然气自身的节流效应降温，设备简单但制冷效率较低；膨胀机制冷通过气体膨胀对外做功产生低温，能耗较低且能回收能量；外制冷则采用氨、丙烷等制冷剂进行间接冷却，制冷温度稳定，适用于大规模处理。低温分离法的脱水效果取决于冷却温度，温度越低，脱水越彻底，但能耗也随之增加。该工艺适用于高压、高含水量的天然气处理，可同时脱除部分重烃，简化后续加工流程。然而，低温分离法需要复杂的制冷设备，投资成本较高，且在操作过程中需防止水合物生成，通常需注入抑制剂，增加了运行成本。此外，低温可能导致天然气中的某些杂质凝固，造成设备堵塞，影响系统稳定性。

2. 固体吸附法

固体吸附法利用固体吸附剂对水分的选择性吸附性能实现天然气脱水，常用的吸附剂包括硅胶、活性氧化铝、分子筛等。硅胶吸附容量大，但耐湿性较差，在高湿度环境下易失效；活性氧化铝机械强度高，适用于高压条件，但吸附选择性较低；分子筛具有极强的亲水性和选择性，能将天然气的水露点降至很低，适用于深度脱水。该工艺通常采用固定床吸附塔，通过周期性切换吸附与再生过程实现连续操作：天然气通过吸附塔时，水分被吸附剂吸附，干燥后的天然气输出；当吸附剂接近饱和时，通入热气体（如干燥天然气或氮气）对其加热再生，解析出的水分随热气体排出，吸附剂恢复吸附能力。固体吸附法脱水深度高，能将天然气水露点降至 -40°C 以下，适用于对脱水要求严格的场合。但该工

艺存在吸附剂再生能耗高、切换过程复杂、处理量受吸附塔容量限制等问题。此外，吸附剂的性能会随使用次数增加而逐渐衰减，需要定期更换，增加了运行成本与维护工作量。

3. 溶剂吸收法

溶剂吸收法采用具有强吸水性的液体溶剂与天然气接触，使水分溶解于溶剂中实现脱水，最常用的溶剂是甘醇类化合物，如三甘醇（TEG）、二甘醇（DEG）等。三甘醇因其吸水性强、沸点高、再生性能好而被广泛应用。该工艺主要由吸收塔、再生塔、换热器等设备组成：天然气从吸收塔底部进入，与塔顶喷淋的贫甘醇溶剂逆流接触，水分被溶剂吸收，干燥后的天然气从塔顶排出；吸收了水分的富甘醇溶剂进入再生塔，通过加热蒸发脱除水分，再生后的贫甘醇经冷却后返回吸收塔循环使用。溶剂吸收法操作连续稳定，处理量大，脱水效果较好，能将天然气水露点降至 -20°C 左右，适用于中高压天然气处理。但该工艺存在溶剂损耗问题，溶剂可能因降解、夹带而损失，需要定期补充；再生过程需要消耗大量热能，能耗较高；此外，溶剂对设备有一定腐蚀性，需要采取防腐措施，增加了设备投资与维护成本。

三、天然气脱水新工艺新技术的探索

1. 膜分离脱水技术

膜分离脱水技术利用高分子膜或陶瓷膜对水分的选择性渗透性能实现天然气脱水，其核心是膜材料的选择与膜组件的设计。水分子与膜材料的亲和力较强，且分子直径较小，在压力差驱动下，水分在膜中的渗透速率远高于其他气体组分，从而实现水分与天然气的分离。常用的膜材料包括醋酸纤维素、聚酰亚胺、聚苯醚等，其中复合膜因兼具高渗透性与高选择性而成为研究热点。膜组件主要有卷式、中空纤维式等，中空纤维膜组件具有比表面积大、分离效率高的特点，应用较为广泛。膜分离脱水技术具有能耗低、设备紧凑、操作简单等优势，无需相变过程，避免了传统工艺的加热或冷却能耗；装置模块化设计，易于扩容，适应不同处理量需求。但该技术受膜材料性能限制，脱水深度有限，通常需与其他工艺联合使用；膜易受天然气中杂质（如硫化氢、重烃）的污染而老化，影响使用寿命；此外，膜组件的成本较高，限制了其大规模应用。随着膜材料改性制备技术的进步，膜分离脱水技术的性能不断提升，在天然气脱水领域的应用前景广阔。

2. 超音速脱水技术

超音速脱水技术基于气体动力学原理，利用超音速

喷管使天然气高速膨胀,在降温降压过程中实现水分的快速析出与分离。该工艺的核心设备是超音速分离器,由收缩段、喉部和扩张段组成:天然气进入收缩段后加速至音速,在喉部达到临界状态,进入扩张段后继续加速至超音速,此时气体温度急剧下降,压力降低,水分迅速凝结成液滴或冰晶;高速气流携带液滴进入分离段,通过离心力或惯性力作用将液滴与气体分离,干燥后的天然气经扩散器减速增压后输出。超音速脱水技术具有流程简单、无需化学药剂、能耗低等特点,能在短时间内完成脱水过程,处理效率高;设备无运动部件,维护工作量小,适用于恶劣工况环境。该技术不仅能脱除水分,还可同时分离重烃、二氧化碳等杂质,具有多重净化效果。目前,超音速脱水技术仍处于试验与应用初期阶段,存在分离效率受工况波动影响较大、液滴分离不彻底等问题,需要进一步优化喷管结构与分离段设计,提高系统的稳定性与脱水深度。

3.超临界二氧化碳技术

超临界二氧化碳技术将超临界状态的二氧化碳作为脱水介质,利用其对水分的溶解能力实现天然气脱水。超临界二氧化碳具有类似液体的密度和溶解能力,同时具有气体的扩散性,能与天然气充分接触,高效溶解其中的水分。该工艺主要包括接触吸收与分离再生两个阶段:在吸收塔中,超临界二氧化碳与天然气逆流接触,水分被溶解吸收;富含水分的超临界二氧化碳进入分离装置,通过改变压力或温度使其偏离超临界状态,水分从二氧化碳中析出,二氧化碳经压缩后返回超临界状态循环使用。超临界二氧化碳技术具有环保性好、溶剂可循环利用、无二次污染等优势,二氧化碳来源广泛,且不会对天然气的后续加工造成干扰。该技术的脱水效率受压力、温度、二氧化碳与天然气比例等参数影响,通过优化工艺参数可实现深度脱水。目前,该技术仍处于实验室研究阶段,面临着超临界状态调控难度大、设备耐压要求高、大规模应用成本高等挑战,但为天然气脱水提供了一种新型绿色环保的技术路径,具有重要的研究价值。

四、综合应用新技术的未来发展趋势

综合应用新技术的未来发展趋势将呈现多技术融合、智能化调控与绿色化发展的特征。多技术融合是提升脱水效率与适应性的关键,通过将膜分离技术与超音速脱水技术联用,利用超音速分离实现预处理脱除大量水分,再通过膜分离进行深度脱水,可弥补单一技术

的不足,提高整体脱水性能;将固体吸附法与膜分离技术结合,吸附剂可保护膜材料免受杂质污染,延长膜的使用寿命,同时膜分离可降低吸附剂的再生频率,减少能耗。智能化调控通过引入物联网、大数据与人工智能技术,实现脱水过程的实时监测与动态优化,根据天然气组成、流量等参数的变化自动调整工艺条件,提高系统的稳定性与经济性;开发智能诊断系统,及时发现设备故障与性能衰减,降低维护成本。绿色化发展注重降低能耗与减少污染,开发新型环保材料(如可降解膜材料、低毒吸附剂),优化再生工艺以减少能源消耗,回收利用脱水过程中产生的副产品(如冷凝水),构建循环经济模式。未来,天然气脱水技术将朝着高效、节能、环保、智能的方向发展,为天然气产业的可持续发展提供有力支撑。

结语

天然气脱水工艺的创新发展对于保障天然气安全输送与高效利用具有重要意义。传统工艺虽成熟但存在能耗高、适应性有限等问题,膜分离、超音速脱水、超临界二氧化碳等新技术通过原理革新与材料突破,展现出高效、节能、环保的优势,为天然气脱水提供了多元化的技术选择。多技术融合、智能化调控与绿色化发展的趋势,将推动天然气脱水技术向更高效、更可靠、更环保的方向迈进。然而,新技术在实际应用中仍面临成本、稳定性等挑战,需要进一步加强基础研究与工程实践。通过持续的技术创新与工艺优化,天然气脱水技术将不断升级,为天然气产业的高质量发展奠定坚实基础,助力能源结构转型与可持续发展目标的实现。

参考文献

- [1]刘姝,张玉,孙治谦,等.天然气脱水技术研究进展[J].化工机械,2022,49(04):574-580.
- [2]王一然,冯晓宇.探讨高含硫天然气脱水新工艺[J].化工管理,2020,(12):198-199.
- [3]孙为志,曾树兵,陈文峰,等.海洋平台新型天然气脱水技术探讨[J].石油和化工设备,2019,22(05):95-97.
- [4]赵媛媛.天然气干燥脱水技术讨论[J].化工管理,2018,(36):209.
- [5]王泽鑫.天然气脱水新工艺新技术研究[J].中国战略新兴产业,2017,(28):190.D