

天然气净化流程中的脱硫脱碳方法研究

李雪峰

中国石化中原油田普光分公司达州天然气净化厂 四川 达州 635000

摘要：天然气作为清洁能源，在能源领域占据重要地位了；然而，原始天然气中常含有硫化氢和二氧化碳等酸性气体，这些杂质不仅影响天然气的质量和使用效率，还可能对环境和设备造成严重危害。因此，脱硫脱碳成为天然气净化流程中不可或缺的一环，本文旨在深入探讨脱硫脱碳的重要性，分析天然气中硫化氢和二氧化碳的危害。并系统介绍和比较不同的脱硫脱碳方法，以期对天然气净化技术的发展和應用提供有益的参考。

关键词：天然气；净化流程；脱硫脱碳方法

引言：天然气作为清洁能源的代表，在全球能源供应中扮演着重要角色；本文全面探讨了天然气净化流程中脱硫脱碳的重要性、危害、方法及比较分析。脱硫脱碳对于提升天然气质量、保护环境和保障经济安全至关重要，并详细阐述了天然气中硫化氢和二氧化碳对环境的污染、对设备和管道的腐蚀以及对天然气使用效率的影响。随后，介绍了湿法脱硫脱碳（包括化学吸收法、物理吸收法和混合吸收法）和干法脱硫脱碳（氧化铁法和分子筛法）的多种方法，并对比分析了各种方法在脱硫效率、能耗与投资及适应性方面的优劣。

1 天然气净化流程中脱硫脱碳的重要性

在天然气净化流程中，脱硫脱碳是一个不可或缺的环节，其重要性体现在多个方面：（1）从天然气质量的角度来看，脱硫脱碳能够显著提升天然气的纯净度，原始天然气中混杂的硫化氢和二氧化碳等酸性气体；通过专业的脱硫脱碳技术处理后，可以被有效去除，从而确保天然气达到更高的质量标准^[1]。（2）脱硫脱碳对于环境保护具有深远意义。硫化氢和二氧化碳是众所周知的大气污染物，若未经处理的天然气直接排放，这些酸性气体会对大气环境造成难以估量的损害；通过脱硫脱碳处理，可以大幅减少这些有害气体的排放，为改善空气质量、缓解全球气候变化做出积极贡献。（3）从经济和安全角度来看，脱硫脱碳同样至关重要。硫化氢的强腐蚀性会对输送天然气的管道和设备造成严重破坏，不仅缩短其使用寿命，还可能引发安全事故；脱硫脱碳处理则能有效降低这些风险，保障天然气的安全稳定供应，同时减少因设备损坏带来的额外运营成本。

2 天然气中的硫化氢和二氧化碳的危害

2.1 对环境的污染

硫化氢和二氧化碳的排放，对全球环境构成了重大威胁；这两种气体均属于温室气体范畴，它们的大量累

积和排放进一步推动了全球气候变暖的趋势。当这些气体分子在大气层中逐渐增多，它们会形成一层类似“保温毯”的结构，阻碍地球表面热量的正常散发，从而导致全球温度持续攀升。特别是二氧化碳，其浓度的快速上升近年来已成为引发全球气候变化的关键因素，这种无色无味的气体，在工业革命以来，由于人类活动的不断增加，其排放量急剧上升，对地球的气候系统产生了深远影响。硫化氢则除了其作为温室气体的负面效应外，更因其高毒性和腐蚀性而备受关注，这种气体具有极强的毒性，即便是微量泄露，也可能对周边生态环境和人类健康造成灾难性后果；其毒性之剧烈，足以在极短时间内对人体造成严重伤害，甚至导致死亡。

2.2 对设备和管道的腐蚀

硫化氢和二氧化碳的存在，对天然气输送的管道和设备构成了巨大的腐蚀威胁；在特定的环境条件下，如湿度较高或氧气充足时，这两种气体能与水蒸气和氧气发生反应，形成强烈的酸性环境。对于主要由金属材料构成的管道和设备来说，这种酸性环境无异于一场灾难，长时间置身于这样的环境中，金属表面会受到严重的侵蚀，其结构完整性和承载强度会逐渐下降，严重时甚至可能出现裂缝或破洞。更为糟糕的是，这种腐蚀并非简单的表面损伤，它还会深入到金属的内部，破坏其内在的结构，导致设备性能大幅下降，使用寿命明显缩短。原本按照高标准、严要求设计制造的设备，可能在短短几年内就因腐蚀而性能衰退，甚至引发安全问题；这不仅意味着需要更频繁地进行设备维修和更换，无疑也会大幅增加企业的运营成本，给天然气输送和使用带来沉重的经济负担。

2.3 对天然气使用效率的影响

硫化氢和二氧化碳的混入，对天然气的使用效率造成了显著的影响，这两种气体在天然气中的存在，实际

上是一种“杂质”，它们并不具备燃烧产生能量的特性。相反，硫化氢和二氧化碳分子占据了天然气中本应属于可燃成分的空间，从而稀释了天然气的有效浓度；当这种“掺杂”了硫化氢和二氧化碳的天然气被用作燃料进行燃烧时，其能够释放出的热能就会相应减少。因为燃烧过程中，真正产生能量的是天然气中的可燃成分，如甲烷等，而硫化氢和二氧化碳则无法贡献任何能量，这种燃烧效率的下降，带来的后果是多方面的：第一，为了获得预期的能量输出，用户不得不消耗更多的天然气量，这无疑增加了能源成本。第二，由于燃烧不完全，还可能产生更多的有害废气，如一氧化碳、氮氧化物等；这些废气不仅对人体健康有害，还会进一步加剧大气污染和全球气候变化的问题。

3 天然气净化流程中的脱硫脱碳方法

3.1 湿法脱硫脱碳

3.1.1 化学吸收法

化学吸收法是利用特定的化学溶剂与天然气中的酸性气体发生反应，从而实现脱硫脱碳的目的：（1）醇胺法：这是目前应用最广泛的天然气脱硫方法。醇胺类溶剂，如一乙醇胺（MEA）、二乙醇胺（DEA）和甲基二乙醇胺（MDEA）等，具有与酸性气体（主要是 H_2S 和 CO_2 ）发生化学反应的能力。在适当的温度和压力下，这些溶剂能够有效地吸收并去除天然气中的硫化氢和二氧化碳，从而达到净化天然气的目的，醇胺法的优点在于其吸收能力强、选择性好，且操作相对简便^[2]。（2）改良热钾碱法：这种方法已成功应用于从各种气体中脱除大量的二氧化碳，并且在天然气脱硫脱碳领域也取得了良好的效果。改良热钾碱法主要是通过特定的化学反应将天然气中的酸性气体转化为易于分离的物质，从而实现脱硫脱碳；这种方法在处理高含碳天然气时具有显著的优势，能够有效地降低天然气中的二氧化碳含量。

3.1.2 物理吸收法

物理吸收法主要是利用物理溶剂对天然气中的酸性气体进行溶解和吸收，从而实现脱硫脱碳：（1）物理溶剂法：这种方法采用有机复合物作为吸收溶剂，通过物理溶解的方式去除天然气中的硫化氢和二氧化碳，常用的物理溶剂包括多缩乙二醇法和砒胺法等；这些溶剂在高压和较低温度下具有良好的吸收性能，特别适用于处理高含硫天然气，物理溶剂法的优点在于其吸收过程不涉及化学反应，因此能够避免一些潜在的化学问题。（2）膜分离法：膜分离法是一种基于膜材料的选择性渗透原理实现气体分离的方法；在天然气脱硫脱碳过程中，特定的膜材料能够对酸性组分（如 H_2S 和 CO_2 ）进

行选择性分离，这种方法利用膜两侧的能量差（如压力差、浓度差等）推动酸性气体分子通过膜材料，从而实现与其他组分的分离。膜分离法具有能耗低、操作简便、环境友好等优点，因此在天然气净化领域具有广阔的应用前景。

3.1.3 混合吸收法（化学-物理溶剂法）

混合吸收法在天然气净化流程中占据着重要的地位，它通过精心设计的配方，融合了化学吸收剂和物理吸收剂的双重优势，从而在处理高含硫和高含碳天然气时展现出卓越的性能。在这种方法中，醇胺、特定的物理溶剂以及水被巧妙地混合在一起，形成了一种高效的吸收剂。这种混合吸收剂不仅继承了化学吸收剂强大的吸收能力，能够对天然气中的硫化氢和二氧化碳等酸性气体进行深度脱除，而且还保留了物理吸收剂的一些独特优点，如操作简便、能耗较低等。Sulfinol法作为混合吸收法的典型代表，其系列中的Sulfinol-D法和Sulfinol-M法等方法已经在工业界得到了广泛的应用，这些方法在处理复杂成分的天然气时，表现出了极高的效率和稳定性，能够有效地将天然气中的有害组分降低到极低的水平。Sulfinol法的成功应用，不仅得益于其独特的吸收剂配方，更离不开经过精心设计和优化的工艺流程，这些因素共同保证了其在天然气净化领域的卓越地位。

3.2 干法脱硫脱碳

3.2.1 氧化铁法

氧化铁法，作为脱硫技术中的经典之作，其历史可追溯至多年前，至今仍在工业领域发挥着重要作用。该方法的核心在于巧妙地利用了氧化铁（常以海绵铁这一形态出现）作为脱硫的“利器”，在特定的工艺条件下，含有硫化氢（ H_2S ）的气体与氧化铁发生化学反应，硫化氢中的硫元素被氧化，进而转化为无害且稳定的硫单质（S）^[3]。这一过程不仅高效地去除了气体中的硫化物，还确保了处理后的气体质量符合环保和工艺标准，尽管随着科技的进步，新的脱硫技术层出不穷，但氧化铁法凭借其操作简便、成本相对较低的优势，依然在天然气处理、炼油厂尾气净化等特定工业领域中保持着广泛的应用。其可靠性和经济性使得它成为许多企业处理含硫气体时的首选方案，继续在现代工业中书写着它的传奇篇章。

3.2.2 分子筛法

分子筛法，以其独特的物理吸附原理，在脱硫脱碳技术中独树一帜，这种方法的核心在于利用分子筛——一种拥有特殊孔道结构的固体吸附剂。这些孔道仿佛是为极性分子量身定制的“陷阱”，使得硫化氢（ H_2S ）

和二氧化碳 (CO₂) 等极性分子在气体处理过程中被优先吸附。与此相对, 氮气、氧气等非极性分子则如同“过客”, 相对不易被吸附, 从而实现了目标分子的精准分离。这一特性赋予了分子筛法极高的脱硫效率, 不仅能有效脱除气体中的硫化氢, 还能去除其他含硫化物, 如硫醇等, 确保处理后的气体硫含量降至极低水平。还具备可再生性强、操作灵活、对环境友好等多重优势; 在现代工业气体净化领域, 它已成为满足严格环保和工艺要求的优选技术, 广泛应用于天然气净化、化工生产等多个领域, 为工业气体的高效净化提供了有力保障。

4 各种脱硫脱碳方法的比较分析

4.1 脱硫效率

在比较不同的脱硫脱碳方法时, 脱硫效率是一个关键指标, 化学吸收法以其高效的化学反应机制, 通常能够达到较高的脱硫效率。然而, 这种方法也面临着一些挑战, 如化学溶剂在使用过程中可能会发生降解, 这不仅影响了溶剂的脱硫性能, 还可能产生对设备和环境有害的物质。此外, 设备腐蚀也是一个需要关注的问题, 特别是在处理高含硫天然气时。相比之下, 物理吸收法的脱硫效率虽然相对较低, 但其稳定性较好, 由于物理吸收法主要依赖于溶剂对硫化氢的物理溶解作用; 因此不存在溶剂降解的问题, 这使得物理吸收法在处理过程中能够保持较为稳定的脱硫效率。

4.2 能耗与投资

能耗和投资是评价脱硫脱碳方法经济性的重要指标, 化学吸收法由于需要消耗大量的能源来维持化学反应的进行, 并且需要定期更换和补充化学溶剂, 因此其能耗和投资相对较高。这增加了天然气净化的成本, 可能在一定程度上限制了化学吸收法的应用, 物理吸收法在能耗方面具有明显的优势。由于其主要依赖于物理溶解过程, 无需额外的化学反应能源, 因此能耗相对较低; 然而, 物理吸收法的脱硫效率有限, 可能需要在后续处理中增加其他净化步骤, 以达到所需的净化标准^[4]。这可能会增加一定的投资成本。混合吸收法在能耗和投资方面相对均衡, 虽然混合吸收法需要同时使用化学溶

剂和物理溶剂, 但其通过优化工艺流程和操作条件, 能够在保持高效脱硫的同时, 降低能耗和投资成本。这使得混合吸收法成为一种经济上可行的脱硫脱碳方法。

4.3 适应性

适应性是评价脱硫脱碳方法能否广泛应用的关键因素, 化学吸收法由于其高效的化学反应机制, 适用于处理各种含硫量的天然气。然而, 在实际应用中需要注意选择合适的化学溶剂, 并关注溶剂的降解问题, 以确保处理效果的稳定性和可靠性; 物理吸收法在处理高含硫天然气时具有一定的优势, 但其对重烃含量高的天然气的处理效果可能并不理想。这限制了物理吸收法在某些特定应用场景下的应用, 混合吸收法则具有较好的适应性, 能够处理各种含硫量的天然气。通过结合化学吸收法和物理吸收法的优点, 混合吸收法不仅能够在高含硫条件下保持高效的脱硫效率, 还能适应不同组成和条件的天然气处理需求, 这使得混合吸收法成为一种具有广泛应用前景的脱硫脱碳方法。

结语: 综上所述, 脱硫脱碳在天然气净化流程中具有举足轻重的地位; 通过有效的脱硫脱碳处理, 不仅可以提升天然气的质量和使用效率, 还能显著减少环境污染和设备腐蚀风险, 保障经济安全。在多种脱硫脱碳方法中, 湿法脱硫脱碳和干法脱硫脱碳各有优劣, 应根据实际需求和条件选择合适的方法; 未来, 随着科技的进步和环保要求的提高, 脱硫脱碳技术将不断创新和发展, 为天然气行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]包振宇,张杰,王团亮等.天然气净化装置脱硫单元腐蚀机理及案例分析[J].石油化工设备技术,2021,42(02):56-61+8.
- [2]周巍,何巧巧,王洋.天然气净化的脱硫装置腐蚀分析研究[J].石油和化工设备,2020,23(08):105-107.
- [3]邓军.高含硫天然气净化装置腐蚀影响因素及控制技术[D].西南石油大学,2020.DOI:10.27420
- [4]刘晓焯,石零,岳琳,陈琛;等.微生物湿法烟气脱硫技术研究应用及展望[J].江汉大学学报(自然科学版),2020,48(01):23-28.