

天然气中氦气提取技术的研究进展

刘 涛

山东杰瑞凯泰科技股份有限公司成都分公司 四川成都 610041

【摘要】氦气作为一种重要的战略性稀有气体资源，在多个领域具有不可替代的作用。本文综述了天然气中氦气提取技术的研究进展，包括低温分离法、膜分离法、变压吸附法、吸收法等，分析了各种技术的原理、优缺点及应用现状，并对未来氦气提取技术的发展趋势进行了展望。

【关键词】天然气；氦气提取；技术进展

引言

氦气是一种无色、无味、无毒的惰性气体，具有极低的沸点和高的热导率等独特性质。由于其在航空航天、核工业、医疗、电子等领域的广泛应用，氦气被视为一种重要的战略性稀有气体资源。然而，地球上的氦气资源非常有限，主要存在于天然气中，且含量通常较低。因此，从天然气中提取氦气具有重要的现实意义。

1 氦气的性质及用途

1.1 氦气的性质

1.1.1 物理性质

氦气在常温常压下为无色、无味、无毒的惰性气体，密度仅为空气的七分之一。氦气的沸点极低，为 -268.9°C ，是自然界中沸点最低的物质之一。此外，氦气还具有高的热导率、低的黏度和良好的扩散性等特点。

1.1.2 化学性质

氦气是一种非常稳定的惰性气体，在通常情况下不与其他物质发生化学反应。然而，在特定条件下，如高温、高压、强电场等，氦气也可以与一些物质发生反应，如与锂形成化合物等。

1.2 氦气的用途

1.2.1 航空航天领域

氦气在航空航天领域具有重要的应用价值。由于氦气的密度低、沸点低，它被广泛用于飞艇、气球等飞行器的填充气体，以提供升力。此外，氦气还被用于火箭、导弹等航天器的推进剂和冷却剂，以保证航天器的安全运行。

1.2.2 核工业领域

氦气在核工业领域也有着广泛的应用。由于氦气具有良好的热导率和低的中子吸收截面，它被用作核反应堆的冷却剂和热交换介质，以保证核反应堆的安全运行。此外，氦气还被用于核燃料的加工和处理等环节。

1.2.3 医疗领域

氦气在医疗领域也有着重要的应用。由于氦气的密度

低、黏度小，它被用于治疗呼吸系统疾病，如哮喘、肺气肿等。此外，氦气还被用于核磁共振成像（MRI）等医疗设备中，以提高设备的性能和精度。

1.2.4 电子领域

氦气在电子领域也有着广泛的应用。由于氦气具有良好的绝缘性能和化学稳定性，它被用作电子器件的保护气体和冷却剂，以保证电子器件的性能和寿命。此外，氦气还被用于半导体制造等环节。

2 天然气中氦气的来源及含量

2.1 天然气中氦气的来源

天然气中的氦气主要来源于地球内部的放射性衰变和地幔脱气等过程。在地球内部，放射性元素如铀、钍等不断发生衰变，释放出大量的热量和氦气。这些氦气通过地壳的裂缝和孔隙等通道进入到天然气储层中，与天然气混合在一起。此外，地幔脱气也是天然气中氦气的一个重要来源。地幔中的岩浆在上升过程中会释放出大量的气体，其中包括氦气。这些氦气通过地壳的裂缝和孔隙等通道进入到天然气储层中，与天然气混合在一起。

2.2 天然气中氦气的含量

天然气中氦气的含量通常较低，一般在 $0.01\%\sim 10\%$ 之间。不同地区的天然气中氦气的含量差异较大，这主要取决于天然气的来源、地质构造和储层条件等因素。一般来说，来自深部地层的天然气中氦气的含量较高，而来自浅部地层的天然气中氦气的含量较低。

3 天然气中氦气提取技术

3.1 低温分离法

3.1.1 原理

低温分离法是利用氦气与其他气体在低温下的沸点差异来实现氦气的分离。在低温下，天然气中的各种气体将依次液化，而氦气由于沸点极低，仍然保持气态。通过将液化后的气体与氦气分离，可以得到高纯度的氦气。

3.1.2 工艺流程

低温分离法的工艺流程主要包括压缩、冷却、液化、分离等环节。首先，将天然气进行压缩，提高其压力。然后，将压缩后的天然气进行冷却，使其温度降低到一定程度。接着，将冷却后的天然气进行液化，使其变成液态。最后，将液化后的天然气进行分离，将其中的氦气分离出来，得到高纯度的氦气。

3.1.3 优缺点

低温分离法的优点是可以得到高纯度的氦气，纯度可以达到99.999%以上。此外，低温分离法的工艺流程相对简单，技术成熟，可靠性高。缺点是需要消耗大量的能量，设备投资大，运行成本高。此外，低温分离法对天然气的压力和温度要求较高，适用范围有限。

3.1.4 应用现状

低温分离法是目前工业上应用最广泛的氦气提取技术之一。该技术主要用于从富含氦气的天然气中提取氦气，如美国、俄罗斯等国家的一些大型天然气田。在我国，低温分离法也得到了一定的应用，如四川威远气田等。

3.2 膜分离法

3.2.1 原理

膜分离法是利用氦气与其他气体在膜中的渗透速率差异来实现氦气的分离。在膜分离过程中，天然气中的各种气体将在压力的作用下通过膜，而氦气由于渗透速率较快，将优先通过膜，从而实现氦气与其他气体的分离。

3.2.2 工艺流程

膜分离法的工艺流程主要包括压缩、预处理、膜分离等环节。首先，将天然气进行压缩，提高其压力。然后，将压缩后的天然气进行预处理，去除其中的杂质和水分等。接着，将预处理后的天然气进行膜分离，将其中的氦气分离出来，得到高纯度的氦气。

3.2.3 优缺点

膜分离法的优点是设备简单，操作方便，能耗低，成本低。此外，膜分离法对天然气的压力和温度要求较低，适用范围广。缺点是膜的分离性能有限，得到的氦气纯度较低，一般在90%~95%之间。此外，膜的使用寿命较短，需要定期更换。

3.2.4 应用现状

膜分离法是一种新兴的氦气提取技术，目前还处于研究和开发阶段。该技术主要用于从低含量氦气的天然气中提取氦气，如我国的一些小型天然气田。在国外，膜分离法也得到了一定的应用，如美国、德国等国家的一些研究机构和企业正在开展膜分离法提取氦气的研究和开发工作。

3.3 变压吸附法

3.3.1 原理

变压吸附法是利用吸附剂对不同气体的吸附能力差异来实现氦气的分离。在变压吸附过程中，天然气中的各种

气体将在压力的作用下被吸附剂吸附，而氦气由于吸附能力较弱，将不被吸附或很少被吸附。通过降低吸附剂的压力，可以使吸附在吸附剂上的气体解吸出来，从而实现氦气与其他气体的分离。

3.3.2 工艺流程

变压吸附法的工艺流程主要包括压缩、预处理、吸附、解吸等环节。首先，将天然气进行压缩，提高其压力。然后，将压缩后的天然气进行预处理，去除其中的杂质和水分等。接着，将预处理后的天然气进行吸附，将其中的氦气分离出来，得到高纯度的氦气。最后，将吸附在吸附剂上的气体进行解吸，使吸附剂恢复吸附能力，以便进行下一次吸附。

3.3.3 优缺点

变压吸附法的优点是设备简单，操作方便，能耗低，成本低。此外，变压吸附法对天然气的压力和温度要求较低，适用范围广。缺点是吸附剂的吸附容量有限，得到的氦气纯度较低，一般在90%~95%之间。此外，吸附剂的使用寿命较短，需要定期更换。

3.3.4 应用现状

变压吸附法是一种新兴的氦气提取技术，目前还处于研究和开发阶段。该技术主要用于从低含量氦气的天然气中提取氦气，如我国的一些小型天然气田。在国外，变压吸附法也得到了一定的应用，如美国、德国等国家的一些研究机构和企业正在开展变压吸附法提取氦气的研究和开发工作。

3.4 吸收法

3.4.1 原理

吸收法是利用吸收剂对不同气体的吸收能力差异来实现氦气的分离。在吸收过程中，天然气中的各种气体将被吸收剂吸收，而氦气由于吸收能力较弱，将不被吸收或很少被吸收。通过加热吸收剂，可以使吸收在吸收剂上的气体解吸出来，从而实现氦气与其他气体的分离。

3.4.2 工艺流程

吸收法的工艺流程主要包括压缩、预处理、吸收、解吸等环节。首先，将天然气进行压缩，提高其压力。然后，将压缩后的天然气进行预处理，去除其中的杂质和水分等。接着，将预处理后的天然气进行吸收，将其中的氦气分离出来，得到高纯度的氦气。最后，将吸收在吸收剂上的气体进行解吸，使吸收剂恢复吸收能力，以便进行下一次吸收。

3.4.3 优缺点

吸收法的优点是设备简单，操作方便，能耗低，成本低。此外，吸收法对天然气的压力和温度要求较低，适用范围广。缺点是吸收剂的吸收容量有限，得到的氦气纯度较低，一般在90%~95%之间。此外，吸收剂的使用寿命较短，需要定期更换。

3.4.4 应用现状

吸收法是一种新兴的氦气提取技术，目前还处于研究和开发阶段。该技术主要用于从低含量氦气的天然气中提取氦气，如我国的一些小型天然气田。在国外，吸收法也得到了一定的应用，如美国、德国等国家的一些研究机构和企业正在开展吸收法提取氦气的研究和开发工作。

4 各种提取技术的比较

4.1 技术性能比较

4.1.1 氦气纯度

低温分离法可以得到高纯度的氦气，纯度可以达到99.999%以上；膜分离法、变压吸附法和吸收法得到的氦气纯度较低，一般在90%~95%之间。

4.1.2 氦气回收率

低温分离法的氦气回收率较高，可以达到90%以上；膜分离法、变压吸附法和吸收法的氦气回收率较低，一般在70%~80%之间。

4.1.3 能耗

低温分离法的能耗较高，需要消耗大量的能量；膜分离法、变压吸附法和吸收法的能耗较低，设备投资和运行成本也相对较低。

4.1.4 适用范围

低温分离法适用于从富含氦气的天然气中提取氦气；膜分离法、变压吸附法和吸收法适用于从低含量氦气的天然气中提取氦气。

4.2 经济成本比较

4.2.1 设备投资

低温分离法的设备投资较大，需要大量的资金投入；膜分离法、变压吸附法和吸收法的设备投资较小，成本相对较低。

4.2.2 运行成本

低温分离法的运行成本较高，主要是由于能耗高；膜分离法、变压吸附法和吸收法的运行成本较低，主要是由于能耗低。

4.2.3 经济效益

低温分离法可以得到高纯度的氦气，经济效益较高；膜分离法、变压吸附法和吸收法得到的氦气纯度较低，经济效益相对较低。

5 氦气提取技术的发展趋势

5.1 技术创新

5.1.1 新型吸附剂和膜材料的研发

吸附剂和膜材料是影响变压吸附法和膜分离法性能的关键因素。未来，需要研发新型吸附剂和膜材料，提高其吸附容量和分离性能，降低成本，以提高氦气提取技术的效率和经济性。

5.1.2 联合工艺的开发

单一的氦气提取技术往往存在一些局限性，如纯度低、

回收率低、能耗高等。未来，可以开发联合工艺，将不同的提取技术结合起来，发挥各自的优势，提高氦气提取技术的性能和经济性。

5.1.3 智能化控制技术的应用

智能化控制技术可以实现氦气提取过程的自动化控制和优化，提高生产效率和产品质量，降低能耗和成本。未来，需要将智能化控制技术应用到氦气提取技术中，提高其自动化水平和智能化程度。

5.2 资源综合利用

5.2.1 天然气中其他组分的回收利用

天然气中除了氦气之外，还含有甲烷、乙烷、丙烷等其他组分。未来，可以在提取氦气的同时，回收利用天然气中的其他组分，提高资源的综合利用率，降低生产成本。

5.2.2 氦气的循环利用

氦气是一种稀缺资源，价格昂贵。未来，可以开发氦气的循环利用技术，将使用后的氦气进行回收和再利用，降低氦气的消耗和成本。

5.3 环境保护

5.3.1 减少温室气体排放

氦气提取过程中会产生一些温室气体，如二氧化碳、甲烷等。未来，需要采取有效的措施，减少温室气体的排放，降低对环境的影响。

5.3.2 资源可持续利用

氦气是一种不可再生资源，需要采取有效的措施，实现资源的可持续利用。未来，可以加强氦气资源的勘探和开发，提高资源的保障程度；同时，也可以加强氦气的回收和再利用，降低对新资源的依赖。

6 结论

氦气作为一种重要的战略性稀有气体资源，在多个领域具有不可替代的作用。从天然气中提取氦气是解决氦气资源短缺的重要途径之一。目前，天然气中氦气提取技术主要包括低温分离法、膜分离法、变压吸附法和吸收法等。这些技术各有优缺点，适用范围也不同。未来，氦气提取技术将朝着技术创新、资源综合利用和环境保护等方向发展。通过不断的技术创新和资源综合利用，可以提高氦气提取技术的效率和经济性，实现氦气资源的可持续利用。

参考文献：

[1] 张雪, 刘建朝, 李荣西, 等. 中国富氦天然气资源研究现状与进展[J]. 地质通报, 2018, 37(2): 476-486.
[2] 范瑛琦, 李明丰, 李保军, 等. 氦气提纯技术进展[J]. 石油炼制与化工, 2022, 53(10): 127-134.
[3] 郑佩君, 谢威, 白菊, 等. 气体分离膜技术在天然气提氦中的研究进展[J]. 膜科学与技术, 2022, 42(6): 168-177.
[4] 张雪, 刘建朝, 李荣西, 等. 中国富氦天然气资源研究现状与进展[J]. 地质通报, 2018, 37(Z1): 476-486.