

# 延长分子筛使用寿命，提升天然气处理厂经济效益

包华瑜（中海石油深海开发有限公司，广东 珠海 519000）

**摘要：**分子筛脱水是天然气处理工艺中重要组成部分，其作用是去除天然气中的水分，防止管道腐蚀和水合物的形成。然而，分子筛脱水过程中可能出现诸如再生温度不足、分子筛入口含水量突增、吸附/再生周期不合理等问题，这些问题将导致脱水效率下降，分子筛寿命缩短。因此，延长分子筛的使用寿命，对于提高天然气生产效率、安全性和处理厂经济效益具有重要意义。

**关键词：**分子筛脱水；天然气处理；故障；再生温度；经济效益

## 0 引言

在石油、化工、天然气等行业中，分子筛脱水的效果直接影响到产品的质量和生产效率。然而，在长期运行的过程中，分子筛脱水工艺可能会出现各种故障，影响其脱水效果和使用寿命。为了解决此问题，需要深入研究，并寻找有效的解决措施。

## 1 延长分子筛使用寿命的现实意义

### 1.1 提升天然气处理效率

分子筛脱水在天然气的生产和传输过程中起着关键性的作用，它能够有效去除天然气中的水分，防止形成冰塞或水合物。从而使得天然气的提炼和传输过程更为顺畅。这对于天然气生产商来说，意味着更高的生产效率和更低的运行成本。因此，使用寿命长、稳定性高的分子筛脱水对于生产商来说具有极高的价值。

### 1.2 降低维护成本

分子筛脱水设备频繁的故障和维修不仅带来显著的维修成本，若造成生产中断，还会引发的间接经济损失。具体而言，每次设备故障检修，包括了检修的人工成本、设备零部件的材料成本，以及时间成本。此外，如果设备故障导致生产中断，对企业的运营效率和经济效益产生负面影响。因此，优化操作程序、改进设备设计以及实施有效的设备维护策略，可以减少设备的故障率，延长分子筛的使用寿命，降低维护成本，提高生产稳定性。

### 1.3 具有环保意义

分子筛使用寿命直接关系到设备的生命周期、环境影响。处理废弃的分子筛，可能对环境产生污染。废弃的分子筛需要经过专门的处理才能安全处置，这个过程中可能会产生废水、废气等污染物，对环境构成威胁。因此，延长分子筛脱水的使用寿命，不仅可以降低设备的生命周期成本，同时也能降低环境污染。

## 2 分子筛脱水的常见故障解析

### 2.1 再生温度不够

表1 终端外输气组分合同指标

序号	项目	用户要求	设计指标
1	高位发热值， MJ/m <sup>3</sup>	36.7-43.4	37-37.8
2	甲烷含量， V/V	≥ 84%	≥ 84%
3	总硫（以硫计）， mg/m <sup>3</sup>	≤ 30（15℃）	未分析
4	H <sub>2</sub> S， mg/m <sup>3</sup>	≤ 5（15℃）	未分析
5	二氧化碳， V/V	≤ 3%	≤ 3%
6	Wobbe index， MJ/m <sup>3</sup>	45.3-55	47-48.2
7	水、烃露点， ℃	在天然气交接压力和温度条件下，水、烃露点 ≤ 0℃	设计天然气交接压力和温度条件下，水、烃露点 ≤ 40℃
8	外输压力，MPag	7.0-9.0	7.0-9.0

分子筛吸附水饱和后，可通过再生来恢复其吸附能力。再生过程通常是加热分子筛，使其吸附的水分子脱离，从而恢复吸附能力。在实际操作中，可能会遇到再生温度不够的问题。再生温度不够会导致分子筛的再生不完全，这就降低了分子筛的吸附能力。在下一次的吸附过程中，导致天然气中的水分没有被有效去除。如果这种情况持续存在，会导致天然气的品质下降。再生温度不够的原因可能有多种，比如加热

设备的功率不足，再生过程的时间不够，分子筛的再生条件设置不合理等。对于这种情况，需要对设备进行检查和调整，确保其能够达到足够的再生温度，并且保证足够的再生时间，从而实现分子筛的完全再生。

## 2.2 分子筛入口含水量突增

分子筛入口含水量突增是影响分子筛脱水过程中常见的故障之一，该问题会影响系统的正常运行和效率。以某终端为例，其天然气外输量已经增加至每天1500万方。终端上岸的天然气中的二氧化碳含量超过5%。为了确保外输的二氧化碳符合合同要求（低于3%），终端启用了两套脱碳系统，进入脱碳系统天然气能达到每天900万方。然而，经过MDEA脱碳后，天然气中的饱和水含量显著增加，导致脱水负荷增加并且出口露点含量明显升高，这种情况引发了制冷单元的冻堵问题，如表1所示。

## 2.3 吸附/再生周期不合理

分子筛脱水是周期性的吸附和再生过程。吸附过程中，分子筛对天然气中的水分进行吸附，去除其水分；而在再生过程中，通过加热使分子筛释放出吸附的水分，从而恢复其吸附能力。这两个过程的循环进行，使得设备能够持续地对天然气进行脱水处理。如果吸附/再生周期设置不合理，可能会影响脱水效果。

首先，吸附/再生周期不合理可能会导致脱水效果不佳。如果吸附过程的时间过短，会导致分子筛的吸附能力没有得到充分利用，从而降低脱水的效果。相反，如果吸附过程的时间过长，会导致分子筛吸附饱和，无法继续对天然气中的水分进行吸附，这也会影响到脱水的效果。

其次，吸附/再生周期不合理还可能影响到设备的使用寿命。如果再生过程的时间过短，会导致分子筛的再生不完全，使其在下次吸附过程中的吸附能力下降，这会导致设备的过早磨损。另一方面，如果再生过程的时间过长，会导致设备的过度运行，加速设备的磨损。

## 3 分子筛脱水常见故障的解决措施

### 3.1 提高再生温度

提高再生温度可以通过多种方式实现，包括提高加热设备的功率、优化加热设备的设计，以及改进操作方式等。

首先，针对提高加热设备的功率，根据实际运行条件和脱水设备的具体需求来进行。如果现有设备的功率已无法满足脱水设备的需求，例如，对于电加热

设备，可以通过增加电阻丝的数量或者更换电阻丝材料来提高其功率；对于蒸汽加热设备，可以通过增加蒸汽的压力或者温度来提高其功率。然而，增加加热设备的功率并不总是一件简单的事情。这可能会涉及到对现有设备的大规模改造，或者更换新的设备，不仅增加成本，还会对生产过程产生影响。因此，在实施这样的改变时，需要进行详细的评估和规划。此外，提高加热设备的功率可能带来一些潜在的问题。比如，过高的功率可能会导致设备的过热，影响设备的稳定性和安全性。因此，在提高功率的同时，对设备的冷却系统进行优化，以保证设备的安全运行。

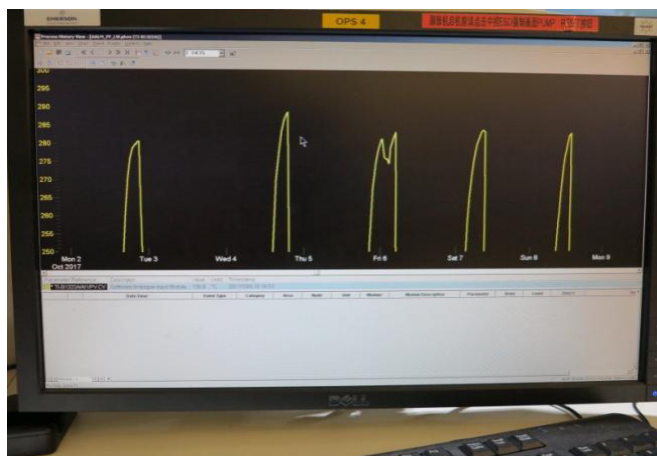


图1 分子筛再生出口提高至280℃以上效果图

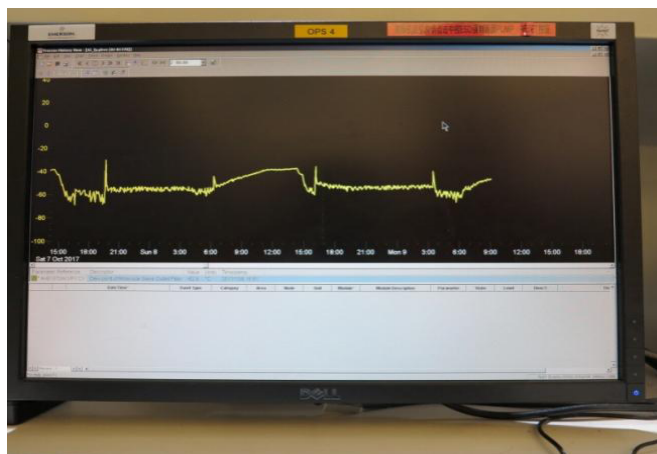


图2 B套分子筛出口露点图

其次，优化加热设备的设计，这涉及改进加热设备的热效率和优化加热设备的布置方式。改进加热设备的热效率主要包括提高其能量转换效率以及提高其热传导效率。能量转换效率决定了电能或化学能转化为热能的效率，而热传导效率决定了热能传递给分子筛的效率。通过改进设备的结构设计，如改进电热元件的设计，优化燃气燃烧器的设计，可以有效提高设

备的能量转换效率。同时,通过改进设备的热传导系统,如优化热传导材料的选择,改进热交换器的设计,可以有效提高设备的热传导效率。而优化加热设备的布置方式则是为了确保分子筛能够均匀地接受热量。如果加热设备的布置不合理,可能会导致分子筛的某些部分过热,而其他部分过冷,这不仅会影响脱水效果,还导致分子筛的损坏。因此,需要根据分子筛的结构和尺寸,以及加热设备的特性,来合理布置加热设备,确保热量能够均匀地分布在分子筛上。

最后,通过改进操作方式以提高再生温度。在操作过程中,适当延长再生过程的时间,使分子筛有更充足的时间来吸收热量,是一种可行的策略。例如,某终端的运行过程中,热量无法满足分子筛热吹的要求。为了使分子筛再生彻底,生产人员采取了逐步提高热煤炉出炉温度的措施。决定将再生出口温度进一步提高至 280℃。这样一来,脱水 B 套分子筛 A、B 塔的吸附效果得到明显提升,出口露点从原来的 -40℃ 显著提高至 -55℃。此举也使得制冷 B 套不再出现冻堵的问题,如图。

### 3.2 减小分子筛入口含水量

通过减少脱碳单元的处理量,可以降低分子筛脱水的负荷和压力,从而提高其工作效率和使用寿命。在确保天然气外输质量符合要求的前提下,采取一系列措施来减小脱碳单元的处理量。

首先,可以逐步提高外输二氧化碳的含量至约 2.8% 左右。这样一来,通过调整进料流量,可以减小脱碳单元所需处理的气体量。

其次,可以逐步降低贫液冷却器的出口温度至 49℃。通过调节冷却器的工作参数,如冷却介质的温度和流量等,可以降低饱和水的含量。这样可以在保证脱碳效果的同时,降低脱水过程中的吸水负荷。通过调节分子筛系统中的水分分离装置和排水装置等设备,可以有效控制饱和水的含量,减少进入脱碳单元的水分负荷,这样可以降低分子筛的吸水负荷,提高其使用寿命和效率。

### 3.3 调整吸附/再生周期

调整吸附周期:吸附周期过长会导致分子筛的吸附能力过饱和,导致脱水效果下降。因此,需要根据实际的天然气流量、水分含量以及分子筛的吸附能力,合理设置吸附周期。如果发现脱水效果不佳,可以尝试缩短吸附周期。例如,某设施,天然气的流量为 5000m<sup>3</sup>/h,水分含量为 10ppm,使用的是 4A 型分

子筛。在操作中,设定吸附周期为 6h。然而,在每个吸附周期结束时,从分子筛出来的天然气水分含量达到了 15ppm,这明显高于相应的要求,因吸附周期过长,导致分子筛无法继续吸附水分。因此,首先试图将吸附周期缩短到 5h。经过一段时间的运行后发现,天然气水分含量降低到了 8ppm,满足了工厂的要求。

调整再生周期:再生周期过短会导致分子筛的再生不完全,影响下一轮的吸附效果。因此,再生周期的设置也应该根据实际情况进行。例如,某使用 4A 型分子筛进行天然气脱水的工厂,工厂的天然气流量为 10000m<sup>3</sup>/h,水分含量为 15ppm。在操作中,设定再生周期为 10h,再生温度为 230℃,再生气流量为 1500m<sup>3</sup>/h。在连续运行一段时间后,发现分子筛出来的天然气的水分含量上升到了 20ppm,这超过了相应的标准,因再生周期过短,导致分子筛的再生不充分。因此,可以延长再生周期。首先将再生周期延长到 12h,一段时间后,从分子筛出来的天然气的水分含量降低到了 12ppm,满足了工厂运行需求。

## 4 延长分子筛使用寿命带来的经济效益

通过提高热吹温度、降低入口天然气水含量、调整吸附周期的方法,提升系统分子筛运行效率,保障天然气处理终端稳定运行,为天然气保供奠定基础。通过分子筛以上措施后,分子筛更换频率由 3 年提升 3.65 年,更换分子筛的费用(人员、材料费用及危废处理)为 500 万元,每年可节约费用 108 万元。

## 5 结束语

综上,延长分子筛使用寿命及其效率的提升是一项重要且具有挑战性的工作。针对分子筛脱水中常见的故障,需要积极分析,以制定详细、科学的解决措施,这不仅有助于改善脱水效果,提高生产效率,还有助于降低设备的维护和更换成本,从而为企业带来显著的经济效益。未来,随着新材料、新技术的研发和应用,分子筛脱水技术也将更高效、更稳定、更环保。

### 参考文献:

- [1] 赵有龙. 天然气处理厂分子筛性能下降问题处理 [J]. 天津科技, 2023(03):109-112.
- [2] 胡天豪. 某终端分子筛脱水性能下降问题分析与处理 [J]. 石化技术, 2022(08):97-99.
- [3] 王锦波. 分子筛故障分析及优化措施 [J]. 河南化工, 2022(04):45-47.
- [4] 蒋小林, 袁苑, 石成军, 陈韬, 吴继强. 分子筛运行故障处理和升级改造 [J]. 冶金动力, 2018(11):24-27.