

煤制油过程中净化工艺方案及其工艺流程研究

王园园

国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司，宁夏银川，751500；

摘要：我国的能源储备具有“富煤”、“少气”、“贫油”的特点，这决定了煤炭的消费能源主导地位。为缓解高度依赖石油进口带来的风险，应积极探索替代能源，而煤制油则是其中的重要措施之一。煤制油即通过科学手段将煤炭转化为石油的工艺，是缓解石油和天然气供需矛盾的有效措施。净化是煤制油过程的关键环节，制定完善的净化工艺方案，同时加强工艺流程控制既能实现高效净化的目的，也有助于减少废气的排放。基于此，本文介绍了煤制油过程中净化工艺方案及其工艺流程，并就工艺控制方法进行探究。

关键词：煤制油；净化工艺方案；工艺流程；工艺控制

DOI：10.69979/3029-2727.25.12.089

引言

煤制油能够充分发挥我国的“富煤”优势缓解石油和天然气供需矛盾，同时也有助于拓展煤炭资源开发利用的深度与广度。在煤制油过程中，低温甲醇洗是重要的工艺手段。甲醇化学性质稳定，不易腐蚀设备，并且在净化过程中不会与杂质发生化学反应，能够更好地保障净化效果。这使得低温甲醇净化工艺方案在煤制油过程中得到了广泛应用。为保障净化工艺方案的实施效果，需要在明确工艺流程的基础上加强工艺控制。

1 净化工艺方案

当前针对合成气脱除硫化氢的方法有多种，包括栲胶法、NHD法以及低温甲醇洗法等。但在煤制油过程中由于产生的煤气压力较高，并且二氧化碳以及硫的含量较高，因此能够满足净化要求的方法相对较少。目前应用比较广泛的方法包括NHD法以及低温甲醇洗法等。其中NHD法是由我国开发的新型物理吸收净化技术。NHD法不仅可以在常温条件下操作，而且饱和蒸汽压低，溶剂无毒且损失小。另外应用NHD法涉及到的设备以碳钢为主要原材料，因此选材范围广，成本低。但NHD法也存在一定的弊端与不足，如相较于低温甲醇洗法，NHD法的溶液循环量较大，会涉及到较高的能耗^[1]。除此之外，NHD溶剂对硫的吸收能力不强，在净化过程中针对高硫煤需要借助有机硫水解设备才能保障净化效果。

低温甲醇洗法是一种物理吸收方法，在零下50-60摄氏度的温度条件下，溶剂吸收能力强，并且溶液循环量小，能够更好地保障净化效果。另外低温甲醇洗法的应用成本低，溶液无腐蚀性，应用低温甲醇洗法能够净化气体的二氧化碳、硫化氢等，即使在原料煤硫含量较大的情况下应用低温甲醇洗法也能满足净化需求。但低温甲醇洗法也存在一定的不足，如应用低温甲醇洗法涉及到的部分设备以及工艺管道需要采用低温钢材，会在

一定程度上增加工艺成本。但低温甲醇洗法涉及到的溶剂成本相对较低，再加之低温甲醇洗法的能耗低，因此该方法在煤制油过程中得到了广泛应用^[2]。低温甲醇洗法为物理吸收，对酸气含量高以及压力大的气体净化效果更佳，应用低温甲醇洗法能够在脱碳的同时实现深度脱硫，因此低温甲醇洗法的应用可以更好地保障净化效果。在煤制油过程中，应用低温甲醇洗法不仅有效降低原料气中的硫含量，而且能够灵活控制二氧化碳脱除率，同时还能回收高浓度硫化氢，回收的硫化氢可以用于硫磺生产。由此可见，低温甲醇洗法不仅净化效果好，而且具有一定的环保经济性^[3]。

2 低温甲醇洗工艺流程

在煤制油过程中，低温甲醇洗工艺优势显著，不仅操作简单，而且工艺成本低，净化效果好。应用低温甲醇洗法进行净化，首先未变换原料气通过未变换冷却、吸收后进入下一工艺段。与此同时，变换原料气同样需要经过冷却、吸收，并在此基础上与未变换原料气混合，二者共同进入下一工艺段。在适宜的温度条件下借助贫甲醇吸收原料气中的酸性气体，之后部分富甲醇会进入预闪蒸塔内进行一氧化碳或者氢气原料气的再生，最后返回系统实现再利用^[4]，完成预闪蒸后的富甲醇会进入热再生塔再生。另一部分进入闪蒸塔进行一氧化碳或者氢气再生，并与热再生过程中所产生的热闪蒸气进行换热。在达到适合温度后循环气与预闪蒸产生的气体混合，之后共同返回系统。与此同时富甲醇进入解吸塔，并在解吸塔中释放二氧化碳，完成二氧化碳释放后甲醇进入热再生进行回收。进入甲醇水分离后将甲醇提纯到热再生进行回收，之后需要洗涤尾气，确保尾气符合排放标准要求。

3 净化工艺控制方法

煤制油过程中净化工艺控制的关键在于温度、压力

以及甲醇的含水量等。科学的控制方法是保障净化效果的关键，同时也是净化工艺方案实施效果的重要影响因素。具体而言，净化工艺控制应从以下几个方面入手：

3.1 原料气洗氨塔控制

原料气洗氨塔控制主要涉及洗氨塔液位控制、洗氨塔给水温度控制以及洗氨塔给水流量控制等^[5]。其中洗氨塔液位控制可以借助液位信号处理模块来处理液位实时信号，借助APC控制模块来控制和调节洗氨塔液位，使其达到动态平衡（图1）。通过这种方式能够减少人工操作，规避人为失误，实现对洗氨塔液位的精准控制。

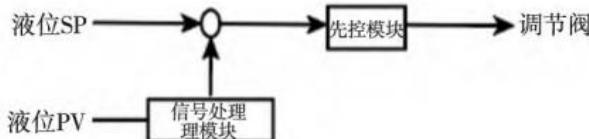


图1 洗氨塔液位控制流程

洗氨塔给水温度控制原理与洗氨塔液位控制原理相同，都需要借助信号处理模块以及APC控制模块进行处理。借助前者处理温度实时信号，并通过后者进行调节与控制，都能起到减少人工操作以及规避人为失误的作用，而且可以更好地保障控制精度。洗氨塔给水流量控制是原料气洗氨塔控制的关键，锅炉给水流量直接影响原料气的温度，在洗氨塔给水力量控制过程中，借助对原料气流量的偏差对锅炉给水进行增量控制，通过这种方式能够在一定程度上降低进入系统的温度，并且使锅炉给水温度换热能耗降低。

3.2 原料气吸收塔控制

原料气吸收塔控制主要涉及贫甲醇控制、富甲醇控制以及富甲醇温度控制等。其中贫甲醇控制主要是针对贫甲醇的流量控制，是净化工艺控制的关键。贫甲醇的流量过大或者过小都会造成一定的负面影响，如贫甲醇的流量过大，不仅会造成甲醇的浪费，而且还会影冷量的利用率。如果贫甲醇的流量过小，则会影响气体杂质的吸收效果，并且会严重影响后续工艺。因此要注重对贫甲醇的流量控制，合理把控贫甲醇流量。可以借助控制原料气流量偏差的方式进行增量先进控制（图2），通过这种方式能够确保贫甲醇流量合理，在避免甲醇以及冷量浪费的基础上有效去除原料气中的杂质^[6]。

富甲醇控制主要是指针对富甲醇流量的控制，在净化工艺流程中，富甲醇在后段吸收硫化氢，相较于二氧化钛，硫化物更容易溶于甲醇溶液，同时前段工艺生产的原料气硫化物占比比较稳定，因此甲醇流量控制相对容易，可以结合原料气流量以及碳、氢配比合理把控甲醇流量，避免甲醇以及冷量的浪费。除了贫甲醇流量控制以及富甲醇流量控制之外，富甲醇温度控制也是原料气吸收塔控制的关键。洗涤效果会受到诸多因素的影响，

而甲醇温度则是其中主要的影响因素之一，因此控制富甲醇温度至关重要。在吸收塔气液比最佳的情况下，其能耗也会达到最低水平，与此同时，洗涤效果也会随之有所提升，直至达到最佳洗涤效果。具体而言，富甲醇温度控制方法详见图2。

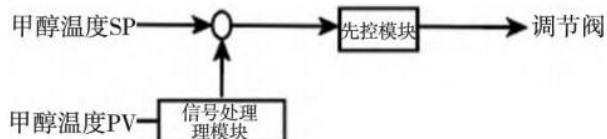


图2 富甲醇温度控制方法

3.3 闪蒸塔控制

闪蒸塔控制主要包括液位控制、压力控制以及换热温度控制等。闪蒸塔对温度以及压力的要求比较严格，要确保闪蒸塔中的温度与压力稳定，以免造成酸性气体析出。在闪蒸塔液位控制过程中，可以借助液位信号处理模块来处理液位实时信号，同时借助APC控制模块进行优化调节，最终达到动态平衡。通过这种方式可以减少人工操作，规避人为失误，保障控制精度。闪蒸塔压力控制与液位控制原理相同，需要借助压力信号处理模块与APC控制模块，借助前者处理压力实时信号，借助后者进行优化调节，同样能够在保障控制精度的同时减少人工操作。液位也会在一定程度上影响闪蒸塔内的压力，因此在闪蒸塔内压力控制的同时也要注重控制闪蒸塔内的液位。与此同时，闪蒸塔内的液位也会受到压力的影响，只有在压力稳定的情况下才能保证液位稳定，因此可以通过压力控制的方式来实现液位控制。

除了液位与压力控制之外，换热温度控制也是闪蒸塔控制的关键。闪蒸塔换热能够实现冷量回收，可以借助换热的方式将冷量回收至氮气之中，然后再通入吸收塔，带走析出的杂质气体。换热温度控制能够保障气体温度稳定，而气体温度则是带走析出的杂质气体的关键，因此要注重换热温度控制，保持稳定的气体温度。

3.4 解吸塔控制

与闪蒸塔控制相同，解吸塔控制也包括液位控制、压力控制以及换热温度控制。之所以会出现这种情况，主要原因在于从本质上讲解吸塔属于闪蒸塔的一种，因此二者的控制内容相同。解吸塔控制需要在甲醇中的二氧化碳气体完全释放后，甲醇去热再生释放酸性气体。解吸的目的在于为液相到气相的传质创造适宜的环境条件，解吸方法多样，任何解吸方法都以此为目的。通常情况下，应用比较广泛的解吸方法主要包括解热解吸、解吸剂解吸以及负压解吸等，同时也可以综合应用相关解吸方法。其中负压解吸、降压解吸以及解吸剂均能起到降低组分在气相的分压，而加热解吸的作用则是促进温度升高，增大气相平衡浓度，而随着气相平衡浓度的

增大,解吸推动力也会随之有所提高,解吸推动力越大,解吸越容易进行。

在液位控制过程中,需要借助液位信号处理模块以及APC控制模块来实现,借助前者处理液位实时信号,借助后者进行优化调节,最终达到动态平衡。以此来减少人工操作,规避人为失误,更好地保障液位控制精度。压力控制同样需要借助压力信号处理模块以及APC控制模块,借助前者处理液位实时信号,借助后者进行优化调节,以此来减少人工操作,规避人为失误,更好地保障压力控制精度。由于液位会在一定程度上影响压力,并且只有在压力稳定的情况下才能保证液位稳定,因此在液位控制出现问题的情况下,可以将压力作为前馈引入液位控制之中,通过这种方式解决液位控制问题,保障液位控制精度。除了液位控制以及压力控制之外,换热温度控制也是解析塔控制的关键。闪蒸塔换热的目的在于实现冷量回收,以换热的方式将冷量回收至氮气中,之后再通入吸收塔,带走析出的杂质气体。换热温度控制能够保障气体温度稳定,而气体温度则是带走析出的杂质气体的关键,因此要注重换热温度控制,保持稳定的气体温度。

3.5 热再生塔控制

热再生塔控制主要涉及液位控制、换热温度控制。其中液位控制主要借助液位信号处理模块以及APC控制模块实现,借助前者处理液位实时信号,借助后者进行优化调节,最终达到动态平衡。以此来减少人工操作,规避人为失误,更好地保障液位控制精度。在换热温度控制过程中,需要将甲醇加热进行热再生,随着温度的提升,部分甲醇会转变成甲醇气提气,进入塔中带有杂质。换热温度直接关乎着甲醇气体生成,保障换热温度稳定至关重要,是甲醇气体生成的主要原因。换热温度控制可以采用单回路控制的方式,同样需要借助信号处理模块以及APC模块,借助前者处理甲醇温度实时信号,借助后者进行优化调节,在减少人工操作的同时规避人为失误,最终实现对甲醇温度的精准控制。

3.6 甲醇水分离控制

在净化工艺中,甲醇与水分离是关键环节,应给予高度重视,加强甲醇水分离控制。甲醇水含量直接关乎着原料气中的杂质吸收,是净化效果的重要影响因素。相关研究表明,在甲醇中含水量达到5%以上的情况下,对原料气杂质吸收能力明显降低,降低幅度可达12%左右。除此之外,如果甲醇的含水量过高还会导致原料气中的硫化氢超标。溶于水后呈酸性,不仅会加速设备腐蚀,而且受腐蚀影响而产生的颗粒还会在很大程度上影

响换热效果。由此可见,甲醇水分离控制至关重要。甲醇水分离控制流程详见图3。

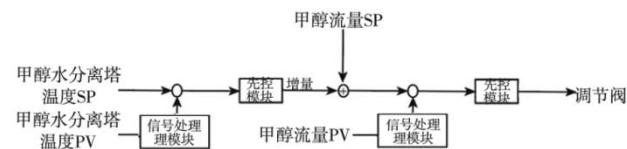


图3 甲醇水分离控制流程

4 结束语

低温甲醇洗是煤制油过程中重要的净化工艺方案,其原理在于通过物理过程去除原料气中的杂质,借助压力变化产生的吸收效果充分去除原料气中的杂质。应用低温甲醇洗法应在明确工艺流程的基础上加强工艺控制,借助大系统实现对甲醇循环量以及冷量消耗的精准控制,既能更好地保障净化效果,也能减少对净化原料的消耗,同时还能达到节能减排的目的。本文介绍了煤制油过程中净化工艺方案及其工艺流程,并提出相应的控制方案。该方案不仅实现了低温甲醇洗过程中的高效净化,而且提升了低温甲醇洗的效率,提升了低温甲醇洗的经济性,因此该方案具有一定的推广应用价值。

参考文献

- [1] 唐华杰,石新发,姜伟,等.煤制油与矿物油作为工艺润滑基础油的摩擦学性能对比研究[J].石油学报(石油加工),2025,41(05):1418-1429.
- [2] 李顺平,李正稳,门卓武.400万吨/年煤制油费托合成循环气压缩机管线腐蚀分析[J].当代化工研究,2025,(02):80-82.
- [3] 六部门:加快煤基高端化工产品技术开发应用,加强煤制油气等产能和技术储备[J].化工管理,2024,(30):5.
- [4] 李翔,曾大勇,李鹏,等.在线测厚腐蚀监测系统在煤制油装置管道的应用研究[J].全面腐蚀控制,2024,38(09):174-177.
- [5] 张晓蕾,赵开功,李长明,等.基于GIS的煤制油可燃气泄漏事故分析与应急处置[J].中国安全生产科学技术,2024,20(05):138-145.
- [6] 赵亮,姜海明,毛旭涛,等.大型煤制油装置的先进过程控制技术研究[J].现代化工,2025,45(04):255-258.

作者简介:王园园,女,(1996.8-),宁夏大学;化学化工学院,宁夏煤业责任有限公司煤制油分公司,内操,助理工程师。