

用于天然气液化的制冷剂组分自动调节研究

王 健 (国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司, 广东 揭阳 522000)

摘 要: 天然气液化过程中, 制冷剂的组分自动调节对于提高 LNG 接收站系统的工作效率和安全性具有重要意义。当前, 天然气液化系统普遍面临制冷剂组分调节不精准、依赖人工操作等问题, 严重影响系统的整体性能。基于此, 为解决这些问题, 本文主要研究一种基于专家系统的天然气液化制冷剂自动调节方法, 旨在通过智能化、自动化的精确制冷剂组分调节, 提高天然气液化系统的运行质量, 为液化天然气能源的推广与应用提供强有力的技术支持。

关键词: 天然气液化; 混合制冷剂; 自动调节; 专家系统

0 引言

在能源行业中, 天然气作为一种高效的清洁能源, 其利用效率和安全性受到社会各界广泛关注。天然气液化是一种针对天然气的重要处理方式, 其核心在于通过制冷剂将天然气在常压下液化, 为储存、运输和使用提供便利。LNG 接收站的主要作用为接收、储存、气化并分发液化天然气, 在 LNG 运输链中扮演着关键角色, 其中, 针对天然气液化制冷剂的管理和调节是 LNG 接收站一项的核心工作, 需要接收站尽可能提高制冷剂组分调节精准性, 从而提高液化效率, 保证 LNG 系统内作业安全。

1 液化天然气

液化天然气 (LNG) 的主要成分为甲烷, 由天然气在低温条件下液化而成, 是一种清洁、高效的能源。将天然气冷却至 -162°C 后, 天然气的体积可减少约 600 倍, 使得天然气能够在更小的空间内储存和运输, 极大地提高了天然气的经济性和安全性, 因此, 液化天然气具有高能量密度的特点, 相比较同体积的气态天然气含有更多能量。LNG 在燃烧时产生的硫、氮等污染物较少, 因此, LNG 被视为环境友好型能源, 有利于减轻大气污染。

2 制冷剂组分调节工艺流程

2.1 制冷流程

LNG 接收站普遍采用混合制冷剂液化工艺, 其成分和最优配比如表 1 所示, 混合制冷剂 (0.20MPaG , 36.84°C) 进入冷剂配制罐, 随后进入到冷剂压缩机经过一级压缩后高温气体 (0.95MPaG , 116.2°C) 由一级排气缓冲罐排出, 通过冷剂压缩机一级冷却器冷却至 (1.06MPaG , 40°C) 后进入一级出口分离器; 经过二级压缩后高温气体 (3.30MPaG , 117.9°C) 由二级排气缓冲罐排出, 通过冷剂压缩机二级冷却器冷却至

(3.28MPaG , 40°C) 后进入二级出口分离器。在二级分离器分为气相组分和液相组分, 气相混合冷剂和液相混合冷剂分别由管道引至冷箱, 通过混合冷剂节流阀 (200-LV-0101 , 200-HV-0101) 进行两级节流降温, 最后, 将冷剂由冷剂换热器底部进入冷箱并向上流动, 并吸收原料气和高压冷剂的热量。

表 1 混合制冷剂各组分混合比例最优值

混合制冷剂成分	组成比例, mol%
氮	7.4%
干燥富甲烷气体	28.9%
工业乙烯	28.5%
工业丙烷	17.0%
工业异戊烷	18.2%

特别在制冷设备运行的情况下, 混合冷剂各个成分加入时对冷箱的温度变化影响非常大, 其温度变化趋势如图 1 所示。因此, 精准地控制好混合冷剂的组分至关重要。

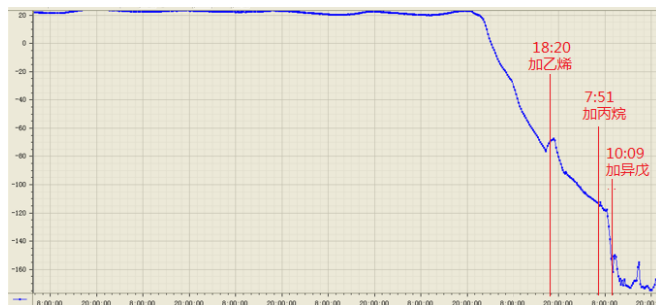


图 1 混合冷剂成分加入时冷箱的温度变化趋势图

2.2 组分调节工艺流程

组分调节工艺流程主要如下：首先，使用储罐用于存放和管理不同的液体冷剂，将该储罐与另两个储罐相连，采用手动控制的方式调节冷剂流动。其次，不同类型的冷剂存放方式和添加流程也不同，应分别通过相应的储存罐和管线进行管理。这些冷剂的添加由操作人员在集散控制系统中进行控制，通过输入特定的控制信息和时间保证加入合适量的冷剂。最后，在设定时间后自动关闭阀门以保证冷剂混合的精确性和系统操作的安全性。

3 流量计和调节阀的应用与选型

为实现混合制冷剂各个组分的自动调节控制，应在原有组分调节工艺流程的基础上，增加色谱分析仪和流量变送器，使制冷剂流量数值能够被自动记录和控制，保证冷剂组分的比例准确无误。

3.1 流量计的应用与选型研究

流量计主要指一种用于测量液体或气体在管道中流动量的仪器，在制冷剂的自动调节系统中具有至关重要的作用，能够提供关于冷剂流量的准确数据，为保证制冷剂的正确配比和系统高效运行奠定良好基础。在流量计的选型问题上，应保证其具备较高的测量精度与较强的适应能力，能够在不同工况下准确测量流量并能够与控制系统中的其他部分兼容。

3.1.1 流量计一般选型原则

流量计的一般选型原则主要如下：①工艺对压力损失的要求问题。制冷剂在经过流量计后会产生永久性压力损失，影响系统运行效率，因此，应核算流量计产生的压力损失以保证其不会对生产过程造成负面影响；②流体特性问题。流体的物理和化学特性直接影响对流量计的选择，需要在考虑流体的成分、密度、粘度、压缩率、温度、压力和湿度等因素后，结合不同特性的流体选择不同类型的流量计；③现场安装问题。流量计的安装需要满足所规定的直管道长度、耐温耐压、抗振动及安全保护等条件，原因在于这些因素会影响流量计的安装及其测量准确度，因此在选型时应重点考虑这些安装要求；④环境问题。应充分考虑流量计在使用后的环境问题，如温度、湿度、电磁干扰等，避免对流量计的使用造成消极影响；⑤经济性问题。在流量计选型的问题上，经费问题不可忽视，需要在有限的经费预算内寻找平衡点。

3.1.2 特定场合下的流量计选型原则

除上述一般场合外，在流量计的选型问题上还包

含一些特定场合，具体如下：

3.1.2.1 对精确度重视极高的场合

针对这一类场合，可选用容积流量计或差压流量计，两种流量计各有优势和劣势。其中，容积流量计因其精度和线性随着流体黏度的增加而提高适用于高粘度流体，而差压流量计在多种工况下均能够提供良好性能，但其精确度可能会受到流量范围变化的影响。

3.1.2.2 对重复性重视极高的场合

在过程流量测量的应用中，流量计的重复性至关重要。重复性主要指在相同的测量条件下，流量计对同一流量值进行多次测量时，测量结果的一致性或稳定性。重复性是衡量流量计性能的重要参数之一，为保证重复性，可选用涡轮和容积流量计，原因在于这两种流量计在短期内能够提供极佳的重复性，使误差保持在 0.02% 范围内。然而，这种性能通常仅能够维持几个月，而旋涡流量计虽然短期重复性较弱，但却能长期保持 0.15% 的重复性。

3.2 调节阀的应用与选型

3.2.1 调节阀作用方式选择

在气动调节阀的执行机构设计中，存在两种主要的作用方式，分别是正作用与反作用，而阀体则可以采用正装或反装的装配方式，进而形成气开和气关等四种不同的组合模式。在选择具体的组合作用方式时，其关键在于确定是否使用气开或气关方式。从安全角度考虑，如果信号压力发生中断，应保障设备和操作人员的安全，因此，优先考虑使用气关式；而如果关闭状态更为安全，则应选用气开式。

3.2.2 调节阀流量特性选择

在调节阀流量特性的选择问题上，常见的类型主要有直线等百分比、抛物线和快开。实际应用中，由于抛物线特征与等百分比特性相似，因此后者常用于替代前者。而快开特征则多用于液位控制和顺位控制。选择流量特征时，通常在直线特征和等百分比特性之间做出选择，并结合理论计算和实际经营最终确定。从调节系统的质量角度分析，应保证系统在负荷变化下的稳定性，包括变送器和执行机构等组件的放大系数保持一致，调节器参数适应不同负荷等。如果系统对象输出特征为线性，则应选择直线流量特性的调节阀，非线性时，则应选用非线性流量特征以实现线性输出。同时，应考虑工艺配管情况，根据系统配管的具体情况和管路阻力确定调节阀的选型，并充分考虑调节阀全开状态下工艺管路中的允许压降问题。最后，

从负载变化的角度分析,直线特性的调节阀在小开度时流量变化较大,可能导致过度敏感或震荡,同时也容易导致阀芯和阀座受损。而等百分比特性的调节阀随着阀门行程的增加而增加放大系数,使流量变化能够保持恒定,因此具有更强的适应性。然而,当流体介质中含有较多固体悬浮物时,直线流量特性则更加理想。

3.2.3 调节阀材料和填料的选择

控制阀选择应充分考虑其适应低温环境的能力。结构上,阀门应配备泄压或排气孔,并在阀门处安装引出管或安全阀,用以应对异常高压情况。同时,为防止冰霜导致阀杆填料损坏并破坏密封性,应使用加长型阀盖,使控制阀的填料部分能够受周围环境温度的加热,从而有效避免阀杆和填料区域冰霜形成。而在低温工况下,阀门内衬材料在选择时,不应采用橡胶或塑料内衬结构,而应选用金属密封方式。通常情况下,低温场合的阀门材料选用包括锻造不锈钢(CF8M)制成的阀体和上阀盖,以及300系列不锈钢制成的阀内件。阀体的耐压等级、使用温度范围和耐腐蚀性能等指标应满足工艺连接管道的标准。

4 自动调节系统设计

若想实现接收站制冷系统的组分自动调节,可使用专家控制系统进行设计,用以模仿人工控制系统的组分调节方式。

4.1 专家控制系统

专家控制系统主要指一种基于专家系统原理的控制系统,其核心在于模拟人类专家的决策过程以解决复杂的控制问题。通常专家系统由知识库、推理引擎、用户界面、解释器和学习组件五个部分组成。其中,知识库的主要作用为储存相关领域专家的知识 and 经验,以规则、事实和启发式方法的形式而存在。推理引擎则是专家系统的核心,主要负责根据知识库中的信息和当前的情况数据,通过逻辑推理过程并提出控制决策或解决方案。用户界面的主要功能为控制系统,操作者可以通过输入数据和参数,查看系统推荐的控制决策或解决方案。解释器则向用户说明推理引擎是如何从给定的知识和数据中得出特定的控制决策和建议。最后,部分先进的专家控制系统还包含学习组件,能够根据新的输入和反馈调整优化其知识库,提高决策的准确性和适应性。就目前而言,使用专家控制系统设计针对组分自动调节控制器的条件仍旧不够充分,因此选用直接基于专家系统的控制器。

4.2 基于直接专家系统的控制器设计

在直接专家系统中,通常直接由专家系统直接给出控制信号以影响整个控制系统运行过程。具体而言,系统主要包括知识库、知识获取与处理、推理机构以及规则控制四部分组成。其中,知识库的建立主要采用经验表格查询法,这种表格以混合制冷剂各组分的浓度、时钟信号和预设的常量作为输入,而输出则是调节阀的开度信号,为每个浓度调节环节提供参考。除此之外,该知识库具备良好的错误控制与处理能力,仅当混合制冷剂的相关参数都符合特定条件时,输出信号才被认为是有效的。若经过一段时间的使用后发现无法达到工艺控制的预期效果,则可以对表格内的参数进行调整并重新应用。

当系统处于正常运行条件下时,依据专家规则,控制器维持先前输出设置不变。然而,如果测得的浓度值超过预定标准,并伴随调整周期的时钟信号,控制器则会根据知识库中的经验数据进行调整,特别是在多组分制冷剂浓度超标的情况下,系统会自动激活多组分调节模式,并通过查询知识库中的多组分调节规则,对多个变量进行精细调节,直至达到理想的控制效果。实际系统运行过程中,由于现场条件通常较为复杂,因此多组分调节系统通常需要连续运行,整个运行过程可能较长,需要逐步从多组分调节过渡到单组分调节,最终实现系统稳态。因此,多组分共同作用的自动控制在实际生产中较少使用,而单组分自动调节则由于模仿人工调节流程,更为易于控制和实施。

5 结束语

综上所述,本研究深入探讨针对天然气液化过程中的制冷剂组分自动调节技术。通过应用专家系统,能够实现制冷剂组分的智能化与自动化调节,从而显著提升LNG接收站系统的工作效率和安全性。因此,专家系统在复杂工业过程控制中的应用具有重要意义。

参考文献:

- [1] 陈茂峰.再冷凝器自动运行优化探究[J].化工管理,2022(02):110-112.
- [2] 梁威,姚辉超.“双碳”背景下LNG冷能利用技术前景分析[J].山东化工,2023,52(17):114-117.
- [3] 安东雨,吕梦芸,陈锐莹等.液化天然气接收站零气态外输的新型蒸发气回收方案[J].石油化工设备,2023,52(04):7-11.