

天然气长输管道压气站场设计要点分析

张雪艳（中石化石油工程设计有限公司，山东 东营 257000）

摘要：天然气管道压气站的核心功能就是将天然气进行压缩处理，以将气流量维持在合理可控的范围之内。在当前我国天然气资源需求量不断增加的背景下，我国的管道压气站建设规模也在不断扩大。本文先简单探讨长输天然气管道压缩机组的使用现状，之后从理论角度，分析天然气长输管道压气站场的设计要点及其相关技术的具体应用，以供参考。

关键词：天然气；长输管道；压气站；设计

0 引言

天然气作为清洁能源，在现代能源体系中占据着越来越重要的地位。随着天然气需求的不断增长，天然气长输管道的建设和运营成为了保障能源供应的关键环节。而其中，压气站场作为集成了机械、电气、自控、消防、环保等多个专业领域的重要组成部分，在设计过程中需综合考虑天然气的物理特性、输送压力、流量要求以及地形地貌、气候条件等外部因素。同时，随着技术的不断进步和环保要求的日益严格，压气站场的设计还需要注重技术创新和节能减排，以实现高效、环保、安全的运行目标。

1 长输天然气管道压缩机组的使用现状探讨

自我国上世纪八十年代在中沧输气管道濮阳站正式建成投产之后，首次使用了燃气轮机驱动离心压缩机组，而我国在天然气发动机驱动往复式压缩机机组压气站的正式使用，则是上世纪九十年代建成投产的鄯乌输气管道鄯善站，自此之后，我国天然气长输管道压气站得以不断更迭升级，目前我国已经在9条天然气管道上建成了三十余座压缩机站，投运各类管道的压缩机组超70套，并且在今后我国计划建成34座压气站，并决定投运79套管道压缩机组。

当前来看，针对于中大功率范围天然气管道增压，应用最为广泛的驱动机为燃气轮机，而小功率机组则主要采用燃气发电机驱动往复式压缩机。随着我国天然气管道与电力电网的发展，在电力相对充足的压气站已经开始使用大功率电动机来驱动离心压缩机，以用于天然气增压，而出于对维护管理、远程控制、环境保护等方面的要求的考量，针对于供电能力较高的区域则可采用电动机驱动管道压缩机机组。离心式压缩机因其高效、稳定、维护简便等优点，在长输管道中的应用越来越广泛。同时，轴流式压缩机和透平压缩机等较为先进的压缩机技术也在特定场合得到了应用。

目前，我国天然气管道常用的压缩机组主要为燃气发动机驱动防腐蚀压缩机、变频调速电机驱动往复式压缩机、变频调速电机通过增速齿轮箱驱动驱动离心式压缩机、高速变频调速电机直接驱动离心式压缩机、燃气轮机驱动离心式压缩机等多种类型，而整体式磁悬浮点取离心压缩机组尚未得到应用，并且由于技术限制，尚未能够利用恒速高压电机通过调速行星齿轮来驱动离心式压缩机组。

2 天然气长输管道压气站场设计要点

2.1 确定机组备用及其最适要求

目前来看，我国较为常用的机组备用方式主要可细分为机具备用、功率备用、隔站机组备用等方式，在确定好机组备用方式之后，也可使用一用一备、多用一备等方式，具体需要基于实用性、可靠性、效率、投资费用等多方面的指标进行选择，目前来看，为保障系统运行的可靠性与灵活性，往复机组会选择多用一备的方式，而离心机组则采用一用一备的方式。以应对突发故障或计划维护带来的挑战，其数量应基于管道的设计输量和实际需求来确定，通过详细分析历史输送数据和未来增长预测，可以合理设定备用机组的规模和数量，以确保在主要机组故障时，备用机组能够迅速启动并满足输气需求。同时还需关注压缩机的效率、可靠性和维护性，尽量选择高效、节能的压缩机型号，可以降低能耗和运行成本。同时为确保管道连续运行的基础，还需对管道进行质量控制和性能测试来保障，尽量满足日常维护与故障排查的要求，进而延长设备使用寿命并减少停机时间。

2.2 机械系统设计

压缩机组的比选，则需要参考机组安装场地的环境条件，需要根据各个机组不同的情况进行数据化计算与分析，具体需要先比对离心压缩机组以及往复压缩机组，之后则需要比选离心压缩机组中的电机驱

动以及燃气轮机驱动，最后还需要比对电机驱动机组中存在的变频调速电机驱动、恒速高压电机通过调速醒醒齿轮驱动以及整体式磁悬浮电驱离心压缩机组这三个方面。在比选过程中，需要综合可用性、可靠性、运行效率、性价比、无障碍工作时间、连续工作实践、运行维护保险难度、费用、污染情况、管道会使用业绩等各方面指标。此外，压气站在设计过程中，也会因为市场因素、制造周期、投产日期多方面制约因素而受到影响，因此工程师需要综合考量实际情况，结合当时当地的情况来进行针对性地优化。

2.3 确认机组投运后的工艺条件

压缩机组的初步设计，首选需要建立相应的计算模型，并结合压缩机生产厂商的机芯设计来进行一体化计算，根据最终的计算结果来对压缩机设计性能与运行条件进行确认，针对其中的问题进行改进。但是由于每条管道的工艺条件存在或大或小的差异，机组的运行工艺条件也会存在诸多不可控因素，因此在机组投产后工程师需结合实际情况，对模拟模型以及压缩机工艺电算结果进行进一步审查，根据确认结果来进行修整。同时还需要设置两个以上的压气站管道，待到实际运行情况达到设计流量标准，且维持稳定状态之后，则可对整个管道压缩系统中的压缩机运行实际效能情况，对其进行二次评估，根据管道压缩系统中各个压缩机设备的运行效率水平，与设计要求进行对比，从而明确其设计不足之处，采取针对性的改善措施。

3 在天然气长处管道压气站场设计中相关技术的应用

3.1 等压冷却

针对于干燥炎热的地区，可为燃气进气系统选配蒸发冷却器，以提升燃机设备的运行效率比，延长燃机使用寿命的同时，也能够将其综合能耗，即等压冷却技术，能够在恒定压力的条件下通过热交换过程来降低被冷却物体的温度。等压冷却技术的优点在于其降温速度快，能够在短时间内迅速降低设备温度，防止设备过热导致的性能下降或故障。此外，该技术还具有冷却效果稳定、易于控制的特点，能够根据实际需要调节冷却剂的流量和压力，以满足不同设备的冷却需求。

目前来看，在天然气长输管道压气站场的设计中，主要采用湿膜式蒸发冷却器以及喷雾式蒸发冷却器这两种，通过焓蒸法冷却，利用冷却蒸发器中具备的测

量、控制、保护系统来对水质进行把控，以避免燃机叶片出现结垢的情况。同时还可以基于燃机功率、进气温度、湿度、大气压力等参数来调节其喷水量，在保障进气相对湿度的基础上，也能够对进入到燃机的含水量进行有效把控，在瞬间内则可以实现水的绝热与蒸发，并将进气的相对湿度维持在90%以上。目前来看，在天然气长输管道压气站场的设计中该技术的应用已经较为成熟，尤其是在我国西部地区，在燃机设备方面已经得到了应用，并且应用效果有所保障。等压冷却系统的布局和配置也需要充分考虑，能互为备用的同时，也能同时使用，也结合实际情况来选择串联或并联的使用方式，以确保冷却的可靠性和灵活性。同时，针对工程对可靠性的要求，可以设置多台冷却设备并单独配置备用设备，以确保在任何情况下都能提供足够的冷却能力。

此外还需要考虑到冷却剂的选择、管道和阀门的配置、冷却设备的选型和维护等因素。冷却剂需要根据热交换性能、稳定性和经济性等因素进行合理选择；管道与阀门的配置，应当能够让冷却剂顺利流通；冷却设备的选型应根据设备的冷却需求、工作环境和寿命要求等因素进行选择，并定期进行维护和检查，以确保其正常运行和延长使用寿命。

3.2 润滑机组

润滑机组的目的是为了能够确保压缩机组各部件正常运转、减少磨损和摩擦损耗的重要系统。润滑油需根据压缩机组的类型、工作环境和性能要求来进行选用，选择适宜的矿物油或合成油。矿物油具有成本较低、粘度指数适中等特点，适用于一般工况下的润滑需求；而合成油则具有更高的性能，适用于高温、高压等恶劣工况下的润滑。润滑系统通常由供油部分、压缩空气处理装置、油气混合块、油气分配器、电控系统等组成。通过压缩空气将润滑油进行雾化，混合后的油气混合物会在压力的作用下，进入到需要润滑的部位。同时还配备了油压监测、油温控制、故障报警等功能，以确保润滑过程的稳定性和安全性。

得益于科技技术的发展，主动磁力悬浮轴承得以诞生，并应用于天然气长输管道之中，该轴承属于“无油”的技术范畴，能够在减小润滑油损耗的同时，也能够取消掉其中润滑油系统设计的部分，大大节省了内部设计空间，也在一定程度上简化了系统设计，避免天然气泄漏等问题，有效降低了机组的维护成本。目前来看，该设计在燃机、电机、离心压缩机等设备

中都有所应用，不仅不会产生废气，其机组的使用寿命也明显得到提升。

3.3 标准高压电机驱动系统

标准高压电机驱动系统因其结构简单、运行可靠、工作效率高等优点，在天然气长输管道压气站场设计中得到了广泛应用。该系统通常采用同步电机作为驱动电机，这类电机在结构上相对简单，便于制造和维护，同时其运行性能可靠，工作效率较高。此外，同步电机的变频调速性能也完全胜任现代化生产要求，能够满足天然气输送过程中不同工况下的需求。标准高压电机驱动系统通过精确控制电机的转速和功率来对压缩机的进行调节，以提高了天然气的输送效率，并降低其能耗和运营成本。同时，该系统还具备完善的保护和控制功能，能够在电机出现过载、过热等异常情况时及时采取措施，确保系统的安全稳定运行。值得注意的是，在天然气长输管道压气站场设计中，标准高压电机驱动系统的选型和应用需要遵循一系列规范和标准。这些规范和标准不仅关乎电机的性能参数和制造质量，还包括其安装、调试和运行维护等方面的要求。因此，在设计和选择电机驱动系统时，需要充分考虑站场的实际需求和运行条件，确保所选系统能够满足相关规范和标准的要求。

此外，随着技术的不断进步和创新，标准高压电机驱动系统也在不断优化和升级。以调速醒醒齿轮驱动装置为例，该设备则是基于功率分配原理而运行的，能够在较宽的速度范围内维持高效率水平，采用流体动力学的运行方式，在保障其可靠性的同时，也能够避免出现磨损的情况。具体来说，该装置将流体动力学部件以及行星齿轮设置在一个箱体之内，分为可调转矩变换器、固定醒醒齿轮、旋转行星齿轮等作为多个主要部件，通过可调转矩变换器，可以将液压油的一部分动力分流叠加到旋转行星齿轮之中，以此来调控主驱动轴的转速，并且该装置还采用了标准高压电机驱动，从而能够实现无污染气体排放的效果，进而避免电磁辐射、噪音等问题。就目前来看，该项技术在我国电驱机组中尚未得到广泛应用。

3.4 整体式磁悬浮电驱离心压缩机组

在管道增压、储气库主体等方面，则可使用整体式磁悬浮电驱离心压缩机组，该机组的优势在于智能化、高效化，能够达到无油电驱的效果，该机组的电机以及压缩机都采用了径向轴承与推力轴承这两种磁悬浮轴承，无需进行润滑油系统的设置，不仅简化了

设计流程，也便于后续的操作与维护、该装置能够利用整体式密封技术，将压缩机与电机合二为一，无需进行干气密封，通过工艺气则可对电机设备进行冷却处理。此外，由于该装置采用了变频器以及高速变频电机，电机与离心压缩机采用直联的连接方式，将原本的增速齿轮箱部分取消掉，使用大功率的变频器，因此压缩机的单台功率大大提升。虽然该技术确实具有诸多优势，但是在技术方面的要求也较高，由于技术限制，因此在我国尚未得到广泛应用。

4 结语

综上所述，得益于天然气资源需求量的攀升，我国在天然气长输管道压气站场方面的建设规模也在不断扩大，并且在长时间的技术更迭的推动下，其运行效率与智能化水平也得以实现进一步提升。本文从理论分析的角度，探讨当前我国天然气长输管道压气站场设计的相关内容，本文认为，我国目前压缩机组技术服务主要是基于机组生产企业以及管道压气站运营的技术优势而建立起来的，但是当前仍旧存在一系列的技术局限，再加上地理环境复杂、管道连接、设备安装等一系列因素，导致其运行效果受到影响。为此本文认为相关技术部门应当进一步加强技术研究力度，侧重于标准高压电气驱动系统、整体式磁悬浮电驱离心压缩机组等当前我国较为薄弱的方面，以进一步完善技术体系。

参考文献：

- [1] 亓文广,蔡文玉,黄韶丹,等.长输天然气管道压气站消防安全常见问题与对策研究[J].消防界(电子版),2023,9(23):16-18.
- [2] 葛海城.长输管道用天然气压缩机选型要点分析[J].现代职业安全,2022(09):64-65.
- [3] 冯斌,林维伟.长输天然气管道压气站运行中的腐蚀与防护分析[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(15):27-28.
- [4] 张双蕾,明亮,李巧,等.天然气长输管道压气站最大操作压力研究[J].天然气与石油,2021,39(02):1-5.
- [5] 潘志渝,潘涛,贾立东,等.长输天然气管道压气站场控制系统整合的研究[J].管道技术与设备,2020(01):52-53+57.
- [6] 王薇,杨郁生,宋淑云,等.天然气压气站场风险计算与措施分析[J].石油规划设计,2021(4):121-123.
- [7] 刘达树.浅谈天然气长输管道分输站场设计[J].中国石油和化工标准与质量,2023(9):111-113.