

移动车载式燃驱机组在长输管道放空回收中的应用

冯健军 梁远长 张孝亮 朱正康

国家管网集团西气东输公司合肥输气分公司 安徽 合肥 230000

摘要：移动车载式放空回收装置凭借结构紧凑、便于移动、需求资源少及快速部署等优点，成为长输管道放空回收的核心装备。以国家管网西气东输公司应用为例，采用进口设备在国内成套组装。控制系统为西门子软硬件，采用往复机组、燃驱机组驱动，选配陕汽重卡车载成撬。2024年在长宁线、川气东送等工程中累计回收天然气达333万方，减排二氧化碳4.89万吨。该技术填补野外阀室回收空白，兼具经济性与环保效益，推动管道运维向低碳化转型。

关键词：移动车载式燃驱机组；长输管道；放空回收；应用

引言

全球气候变暖的主因是人类活动排放温室气体，其中甲烷温室效应强度约为二氧化碳25倍，减少天然气放空量是减缓变暖的关键举措。

压缩机可将原动机动力能转化为气体压力能，广泛应用于石油开采、油气输送等领域，是石油天然气行业核心装备。压缩机按工作原理分容积式和速度式：容积式靠活塞往复或回转缩小气体体积增压，含往复式（活塞式、隔膜式）与回转式（螺杆式等）；速度式借高速叶轮使气体获动能，再经扩压器转压力能，含叶片式（离心式等）与喷射式。压缩级分单级（适低压）、两级及多级（适高压，如油气长输管道）。

天然气长输管道增压站、分输站常面临紧急抢修和计划性维检修放空，单次计划性作业放空量可达几十万至上百万标方，既浪费能源又加剧排放，回收势在必行。虽站场回收工艺及油田CNG回收技术成熟，但野外流动性阀室回收技术空白。西气东输公司响应“双碳”目标，2023年采购两台车载式往复式燃驱压缩机组，2024年2月在长宁线3#阀室首次顺利完成相关测试与回收作业，填补行业空白。

车载式天然气回收装置是“移动式压气站”，集成于移动载体，适配野外阀室场景。其发动机额定功率660kW，压缩机额定功率628kW，进气压力1-7MPa时单台处理量0.48-8.67×10⁴m³/h，额定转速1800RPM，最大压缩比9，覆盖多数工况。机组核心部件选国际成熟产品，配就地控制柜可独立控制，压缩机主机为四列双缸径结构，能自动切换压缩模式，实现“速度-效率”最优平衡^[1]。

往复式压缩机工作时，曲轴旋转带动活塞往复运动，工作容积周期性变化，依次完成进气、压缩、排气过程，持续为气体增压。

1 关键技术特点

（1）高可靠性核心配置：机组核心部件选用国际成熟品牌，其中压缩系统采用Ariel公司JGJ/4型往复式压缩机，驱动系统采用Waukesha公司L36GL型燃气发动机，配套高精度联轴器、高效过滤系统、智能润滑油系统、闭环冷却系统及一体化仪表控制系统。设备集成度高，且配置独立就地控制柜，可实现机组运行状态实时监测、异常自动保护及全流程逻辑控制，保障作业稳定性与安全性。

（2）自适应压缩调节技术：压缩机主机创新采用四列双缸径结构设计，可根据回收过程中进排气压比的动态变化，自动完成一级压缩与两级压缩模式切换——高压工况下以一级压缩保障回收速率，低压工况下以两级压缩提升回收效率，实现全压力区间内“速率-效率”的最优平衡^[2]。

表1 压缩机组设计参数表

项目	范围
单台机组处理量（×104m ³ /h）	0.48~8.67
进气压力（MPa（G））	1~7
进气温度（℃）	10-25
排气压力（MPa（G））	7
最终排气温度（℃）	≤ 60
空冷器设计点温度（℃）	38
额定转速r/min	1800
压缩级数	1/2
一级气缸数量（个）/缸径mm	2（139.7）
二级气缸数量（个）/缸径mm	2（130.175）
活塞行程mm	88.9
驱动功率kW	660
标准状态	20℃，0.101MPa

（3）模块化快速组装设计：空冷器、洗涤罐、进出口阀门等关键工艺设备一体化集成于主载体，发动机与压缩机底座采用环氧树脂灌浆工艺固定，确保设备运行

稳定性;撬外工艺管线均为工厂预制的带法兰标准件(含弯头、三通、直管段),现场无需动火焊接,可通过“搭积木”式快速组装完成连接,既缩短作业准备时间,又提升管件重复利用率,显著优化野外作业效率^[3]。

2 在生产中的应用

在国家“双碳”战略的引领下,国家管网西气东输公司于2024年积极投身于天然气回收工作,全年共组织开展5次大规模天然气回收行动,成果斐然。累计回收天然气达333万方,按当前市场价格估算,节约放空天然气费用约500.3万元;从碳减排角度看,节约碳排放指标价值330.1万元,实现减排量高达4.89万吨二氧化碳当量,在能源高效利用与环境保护领域迈出坚实步伐。

2月29日,西气东输公司在长宁线3#阀室成功完成天然气放空回收示范工程。该阀室坐落于内蒙古鄂尔多斯市鄂托克前旗城川镇,回收作业需将长宁线1#-3#阀室截断后的天然气抽取并注入下游4#阀室至银川站方向。涉及回收管线长达54公里,管径426mm,设计压力6.4MPa,当时运行压力3.89MPa,管存天然气约30万方。当日8:00,长宁线3#阀室截断,随即投入单机组开展天然气放空回收作业。在作业过程中,依据压力变化情况,于22:50由一级压缩手动切换至两级压缩,至23:52顺利停运机组,本次放空回收作业圆满结束,全程耗时约16小时。起始压力3.91MPa,结束压力1.03MPa,累计回收气量24.72万方,为后续同类作业积累了宝贵经验。

5月23日,西部管道西二线9号阀室的天然气放空回收作业顺利收官。该阀室位于新疆奎屯市精河县托托干渠(连霍高速)南侧,回收作业旨在将西线7#-9#阀室截断的天然气抽取注入下游10#阀室至13#阀室管段间。回收管线间距达57公里,直径1219mm,设计压力12MPa,运行压力10MPa,管存天然气约302万方,规模庞大。5月24日00:30,9#阀室截断后,迅速启动两台机组并联同步运行进行天然气放空回收。历经39小时的连续作业,于25日16:30成功停运机组,回收作业结束。此次作业起始压力3.96MPa,结束压力1.63MPa,累计回收气量156.4万方,展现出高效的回收能力。

9月20日,川气东送干线清溪9号阀室的天然气放空回收作业也取得圆满成功。阀室地处殷汇镇,回收作业需将殷汇-清溪阀室截断的天然气抽取注入下游宣城站往上海方向管段间。回收管线间距18.12公里,直径1016mm,设计压力10MPa,运行压力7.6MPa,管存约110万方。9月19日9:36,清溪阀室截断,两台机组迅速启动并联合同步运行开展回收作业。至20日00:02顺利停运机组,回收作业历时16.5小时。本次作业起始压力6.8MPa,

结束压力1.95MPa,累计回收气量76.3万方,进一步验证了回收技术在不同工况下的有效性。

10月23日,江如线南通站天然气放空回收作业顺利完成。此次回收作业需将南通站至10#阀室截断的天然气抽取注入下游R8#阀室-泰兴站间管道。回收管线间距29.8公里,直径1016mm,设计压力10MPa,运行压力8MPa。10月23日11:15,南通站至10#阀室之间截断阀门关断后,两台机组即刻启动并联合同步运行开展回收作业。仅用时5.5小时,于12:40顺利停运机组,完成回收任务。本次放空回收起始压力6.8MPa,结束压力2.33MPa,累计回收气量32.4万方,彰显出快速响应与高效回收的能力。

同年12月10日,在河北深州安济线3#阀室开展的天然气放空回收作业同样成绩出色。上午10点,北方管道公司关闭干线截断阀,正式启动回收作业。至21点40分,两台往复式机组正常卸载停机,停止回收天然气,本次作业共回收气量38.7万方。

这一系列天然气回收作业的成功实施,不仅彰显了西气东输公司在响应国家绿色发展号召、践行节能减排目标方面的决心与行动力,也为长输管道天然气放空回收领域提供了丰富的实践经验与技术参考,为行业绿色转型树立了典范,持续推动我国能源领域向低碳、高效方向稳步迈进。

3 实际应用分析

以下是对第一次长宁线3#阀室天然气放空回收机组应用情况的详细介绍:

3.1 机组启动与测试

2月28日20:45,A机组启动,21时开始加载,期间测试了不同转速下机组的运行状态。

2月29日00:00,机组加载至额定转速1800RPM,此时压缩机组达到最大排量,机组运行功率为230KW。在确认机组运行无异常后,于2月29日1:00将转速降至1400RPM运行。在此阶段,长宁线3#阀室1101#阀门处于打开状态,长宁线3#阀室上游的部分气体通过压缩机增压输送至下游。

3.2 回收作业正式开始

2月29日7时,A机组逐渐提升转速,7:30升至额定转速1800RPM。8时,关闭长宁线1#、3#阀室,截断1#-3#阀室,正式对长宁线1#-3#阀室54km管段内天然气进行回收,回收起始压力为3.91MPa。机组保持在额定转速1800RPM运行,期间机组振动值在2.2-4.9mm/s之间,远低于设计报警值10mm/s,设备运行稳定。

3.3 回收过程中的参数变化

(1)回收速率:回收过程中,机组回收速率范围为

3.67-0.33万方/小时，平均回收速率1.54万方/小时。其中，8:00-10:30回收速率较高，在3.67-3.29万方/h之间，随后有大幅度下降。

(2) 压力变化：由于机组外围管线压降影响，压缩机进口压力较3#阀室出口压力有0.2MPa左右压差。回收段1#-3#阀室平均压力持续下降，因回收管线距离较长，平均压力下降幅度没有较明显变化。

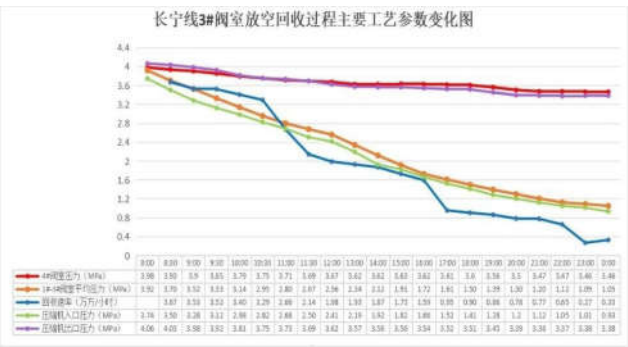


图1 长宁线3#阀室放空回收过程主要工艺参数变化图

3.4 压缩方式切换与作业结束

回收至1MPa时，尚未达到机组由一级压缩自动切换至两级压缩的压比工况，为检验机组两级压缩切换功能，2月29日22:50手动由一级压缩切换至两级压缩，经检验功能完好。

两级压缩工况运行1小时后，1#-3#阀室压力降至1.03MPa，接近计划回收压力，23:52停运机组，天然气放空回收作业结束。本次放空作业从2月29日8时开始，共计用时16小时，累计回收气量24.72万方。

3.5 功率、流量、压力的关系

回收开始时，压缩机进口压力最大，流量最大，功

率最小。随着回收进行，压力逐渐减小，流量也随之减小，而功率逐渐增大。当压力持续减小，在1.5-2.5MPa之间时，压缩机功率会达到一个最高点。之后，随着压力继续减小，流量和功率也会随之减小。

长宁线3#阀室天然气放空回收作业，是国家管网为响应国家“双碳”战略目标和国家管网集团相关行动方案的一项重要举措。所使用的车载式天然气回收装置，将发动机、压缩机、空冷器等关键设备集成到整车上，实现了压缩机组的可移动化。该装置通过可拆解的临时管线与天然气输送管道连接运行，具备运移快捷、组装方便、回收快、回收率高的特点，单台机组即可实现管线内85%以上的天然气回收，为减少管道维检修施工中甲烷排放量、提高能源有效利用率发挥了重要作用。

结束语

移动车载式燃驱机组以高效、灵活、自适应的核心优势，为长输管道放空回收提供了创新解决方案。其模块化设计与智能压缩技术，不仅显著提升了野外作业的能源回收率，更通过规模化应用实现了可观的经济与环保效益。随着“双碳”战略的深化，该技术将成为管道运维领域节能减排的关键抓手，推动行业向绿色低碳转型，为我国能源结构优化与可持续发展注入新动能。

参考文献

[1]陈伟.天然气长输管道阀室冷放空风险分析与控制措施[J].山东工业技术,2020,(14):88-89.
[2]郭依宝.长输天然气管道高后果区识别与风险评价问题探究[J].能源与环境,2023,(03):116-118.
[3]冯胜,蔡永桥.天然气长输海管放空泄压规律模拟[J].油气储运,2020,(13):128-129.