

# Unmanned Flowback Fluid Pump Skid Design for Shale Gas Fields

Quan Liu Hongguo Xu Wensong Liu Tang Tang Shuwen Liu

China Petroleum Engineering Construction Co., Ltd. Sichuan Kehong Company, Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

This study addresses the goal of efficient and cost-effective shale gas development by analyzing the requirements for unmanned pumping units. The research identifies critical functions including remote monitoring, intelligent control, data acquisition, early warning systems, safety reliability, and maintenance management. A tailored unmanned return fluid pumping unit solution for the Sichuan-Chongqing region has been developed. The system employs PLC to monitor key parameters such as centrifugal pump motor bearing temperature, pump bearing temperature, silencer chamber temperature, and pump pressure, triggering automatic shutdown when thresholds are exceeded. An electromagnetic flowmeter installed in the unit transmits flow data to the PLC, enabling real-time monitoring and recording. The PLC system uploads data to a monitoring terminal, facilitating remote supervision of centrifugal pumps. Compared to traditional manned pumping units, this unmanned solution reduces labor costs, alleviates on-site maintenance pressure, enhances operational efficiency, and holds significant implications for shale gas development.

## Keywords

Shale gas; Unmanned; Flowback fluid; Pump skid

# 页岩气田无人值守返排液泵橇设计

刘权 徐红果 刘文松 汤棠 刘书文

中国石油工程建设有限公司四川科宏公司，中国·四川成都 610000

## 摘要

本文针对页岩气高效、低成本开发的目标，分析得出实现无人值守泵橇需要实现远程监控与管理、智能化控制、数据采集与处理、预警与报警、安全性和维护与管理等关键功能，形成了一套针对川渝地区的无人值守返排液泵橇方案。通过对橇内离心泵PLC检测离心泵电机轴承温度、泵轴承温度、降声罩内温度、泵前后压力等进行报警，并在离心泵电机轴承温度、泵轴承温度、降声罩内温度、泵前后压力等超过设定上限值的情况下自动停泵。在泵橇内设置电磁流量计，流量信息接入PLC，实现对泵流量的监测和记录。PLC系统数据上传泵橇监控终端系统，实现对离心泵的远程监控。相较于传统的有人值守泵橇，页岩气无人值守返排液泵橇降低了用人成本，减轻了现场运维的压力，提高了现场运行的效率，对页岩气的开发具有重要意义。

## 关键词

页岩气；无人值守；返排液；泵橇

## 1 引言

近年来，非常规气藏逐渐成为国内天然气上产的主力军，尤其是页岩气的勘探开发取得了重大突破，完成了规模化的商业开发<sup>[1]</sup>。目前，国内形成了涪陵、长宁-威远和昭通等页岩气开发示范区，但主要分布在川渝地区，复杂的地理环境对气田的开发形成了不小的难度，尤其是对于地面工程的建设提出较大的考验<sup>[2]</sup>。页岩气开发需要进行水力压裂，压裂后需要将返排液进行转输处理，目前川南地区的页岩气的页岩气返排液主要采用泵送管输的方式<sup>[3]</sup>，然而受制于川

渝地区人口密度、地理环境和安全管理上的实际情况，目前的泵橇基本不能实现无人值守的功能<sup>[4]</sup>。为响应页岩气高效、低成本开发的目标，有必要形成一套针对川渝地区的无人值守返排液泵橇系统<sup>[5]</sup>。

无人值守采出水自动化泵橇技术是近年来国内外研究的热点，其核心在于利用先进的自动控制、物联网、数据分析等技术实现泵站的自动化运行，以提高生产效率和安全性。下面将分析国内外在该领域的研究现状，尤其对本企业的现状进行深入探讨，包括技术依托和来源、技术水平和竞争力：

国内研究现状：国内在无人值守采出水自动化泵橇领域的研究起步较晚，但发展迅速。以合肥凯泉机电泵有限公司为例，该公司基于物联网的无人值守一体化泵站自动化

**【作者简介】**刘权（1993-），男，中国四川南充人，硕士，工程师，从事油气田地面集输设计和研究。

控制系统的研究，代表了国内在这一领域的先进水平。该系统通过 PLC 控制柜与多个数据采集模块、物联网通讯模块等连接，实现远程数据监控、设备诊断、程序维护和故障报警等功能，显著提高了泵站的自动化水平和运行效率。

**国外研究现状：**国外在无人值守自动化泵橇技术方面的研究较早，技术和经验较为成熟。例如，欧美国家在自动化控制系统、物联网应用、远程监控技术等方面的研究和应用普遍领先，其技术和设备在全球范围内都有较高的市场占有率。

**本企业技术依托：**本企业的技术主要依托于自主研发和项目实际相结合的方式。通过引进先进的自动控制系统和物联网技术，同时结合自身的研发实力，对各家页岩气公司具体项目进行本地化改造和优化，以满足页岩气开发及市场需求。

#### 技术水平和竞争力分析

**技术水平：**我司在无人值守采出水自动化泵橇领域的技术水平处于行业领先地位。通过持续的技术研发和创新，已经掌握了一系列核心技术，如不同流量不同扬程不同系列的泵橇设计等，目前已广泛应用于四川页岩气、长宁页岩气、重庆气矿等目标市场，基于物联网的远程监控系统、自动化控制技术，能够为无人值守采出水自动化泵橇提供完整的解决方案和服务。

**竞争力分析：**与国内外同行相比，我司无人值守采出水自动化泵橇技术自主性强，能够快速响应业主需求。

综上所述，无人值守采出水自动化泵橇技术作为一项前沿技术，其发展前景广阔。科宏公司在这一领域已经取得了一定的效果，但仍需不断努力，通过技术创新和市场拓展，进一步提升自身的竞争力和行业地位。

## 2 无人值守返排液泵橇关键功能

川渝地区人口密度大，山高路远，工作人员赶往现场的时间较长，要实现无人值守的功能，必须要满足外部环境和内部系统的安全。

### 2.1 远程监控与管理

**实时数据采集：**需要能够实时采集泵橇内的关键数据，如水池液位、泵进出口压力、进出口流量、电机电流、降声罩内温度、泵轴承温度、电机定子温度、泵振动数据等，以便于远程监控和管理。

(2) **设备状态监测：**需要对泵橇内及泵橇外的设备工作状态进行实时监测，泵橇内主要包括转输泵的启停、阀门的开度等，泵橇外的设备主要包括进出站阀门的开度、阀组切换、潜水泵的自动启停、水池液位的实时监控等，以便于及时发现和处理异常情况。

(3) **图像监视：**需要通过安装摄像头等设备，实现对泵橇内及泵橇外泵橇全景及重要工位（水池、阀组区等）的图像监视，以便于更好地了解现场情况。

### 2.2 智能化控制

**自动控制：**需要实现对转输泵等设备的自动控制，包括根据泵进出口压力、进出口流量、电机电流、降声罩内温度、泵轴承温度、电机定子温度、泵振动数据等参数自动调整设备运行状态，以实现高效、稳定的转水。

**远程控制：**需要支持通过手机 APP、云网站、上位操作站等方式，对水泵等设备进行远程控制，以便于在特殊情况下进行紧急处理。

### 2.3 数据采集与处理

**数据采集：**需要建立稳定、高效的数据采集系统，确保采集到的数据准确、完整。

**数据处理与分析：**需要对采集到的数据进行处理和分析，包括数据清洗、数据整合、数据分析等，为泵橇的运营管理提供数据支持。

### 2.4 预警与报警

**异常预警：**需要建立异常预警机制，对可能出现的异常情况进行预测和预警，以便及时采取措施防范。

**报警信息推送：**需要将报警信息及时推送给相关人员，包括通过手机 APP、短信、有线通信等方式，确保相关人员能够第一时间掌握报警信息，及时进行处理。

### 2.5 安全性与可靠性

**系统安全：**需要确保整个系统的安全性，包括数据安全、设备安全等，防止数据泄露、设备损坏等问题的发生。

**设备可靠性：**需要选择性能稳定、可靠性高的设备，以确保系统的长期稳定运行。

### 2.6 维护与管理

**设备维护：**需要制定合理的设备维护计划，定期对设备进行检查和维护，确保设备的正常运行。

**系统管理：**需要建立完善的系统管理制度，明确各级管理人员的职责和权限，确保系统的有序运行。

## 3 无人值守返排液泵橇方案

### 3.1 自动控制

泵橇设置 PLC 系统，对分别水池液位、泵进出口压力、泵运行状态（泵轴承温度、电机轴承温度等）和降声罩内温度等数据进行实时数据采集，并完成控制、通信等功能，系统可实现低液位自动停泵、超高温自动停泵、超高压自动停泵和现场启停泵等功能。根据生产管理要求，泵橇数据通过气井平台新建通信系统上传泵橇监控终端系统进行监视，实现远程启停泵。泵橇 PLC 采用独立的可编程控制器，主要功能如下：①数据采集和处理功能（可接收模拟和开关量信号）；②模拟和开关量信号输出；③PID 控制及数学运算功能；④逻辑运算、控制功能，实现高液位就地声光报警和低液位停泵；⑤与第三方设备进行数据交换的功能；⑥自诊断功能；⑦故障报警功能；⑧执行上一级控制系统发送的指令，向上级控制系统发送实时数据等。

### 3.2 检测与控制

#### 3.2.1 橱外

水池设置高频雷达液位检测装置，对水池液位进行监测和报警，信号接入泵橇内 PLC 系统，系统根据液位信息实现高低液位报警和低液位停泵等功能。潜水泵启停信号接入泵橇 PLC 进行远程控制。过滤器设置差压计就地显示。控制阀采用电动执行机构，信号接入泵橇 PLC 系统进行远程控制。泵橇进出口设置压力变送器，信号接入泵橇 PLC 系统进行监测和报警。

#### 3.2.2 橱内

橇内离心泵橇 PLC 检测离心泵电机轴承温度、泵轴承温度、降声罩内温度、泵前后压力等进行报警，并在离心泵电机轴承温度、泵轴承温度、降声罩内温度、泵前后压力等超过设定上限值的情况下自动停泵。在泵橇内设置电磁流量计，流量信息接入 PLC，实现对泵流量的监测和记录。PLC 系统数据上传泵橇监控终端系统，实现对离心泵的远程监控。泵橇上设置 1 套声光报警器，实现系统异常停泵后的报警，分贝应不低于 110db。启泵要求：先启潜水泵，泵进口检测到压力升高后再启离心泵。停泵要求：先停离心泵，再停潜水泵。远程启泵时需进行声光报警，报警 15s 后，水泵开始运转。泵控制信号和运行状态在泵橇 PLC 显示、控制并远传。泵橇进出口设置电动阀并与进出站压力进行联锁并停泵。

### 3.3 通信

泵橇和所在的天然气平台井站机柜间配置光通信设备，通过自建泵橇至天然气平台井站机柜间的光缆，接入平台井站的光纤通信系统，实现与井区控制中心的 SCADA 数据通信。

### 3.4 电源

电源依托钻井已建、拟建 10kV 或 35kV 线路供电，泵橇新建预装式变电站。泵橇仪表系统用电采用 UPS 供电，后备时间不小于 2h；现场仪表用 24VDC 电源由控制系统提供。

### 3.5 数据存储与分析

对泵橇的运行数据进行记录和分析，为优化运行和管理提供科学依据。通过对历史数据的分析，还可以预测泵橇的未来运行趋势。

### 3.6 安全管理

在实现无人值守的过程中，采取适当的安全措施和技术手段，如访问控制、加密通信等，确保泵橇的安全稳定运行。

### 4 模块化与橇装化

采用标准化橇装设计，可以节约设计、采购、施工的周期，便于后期现场的运维管理，同时也便于搬迁复用，适应页岩气的开发特点，节约整体投资，实现降本开采的效果。

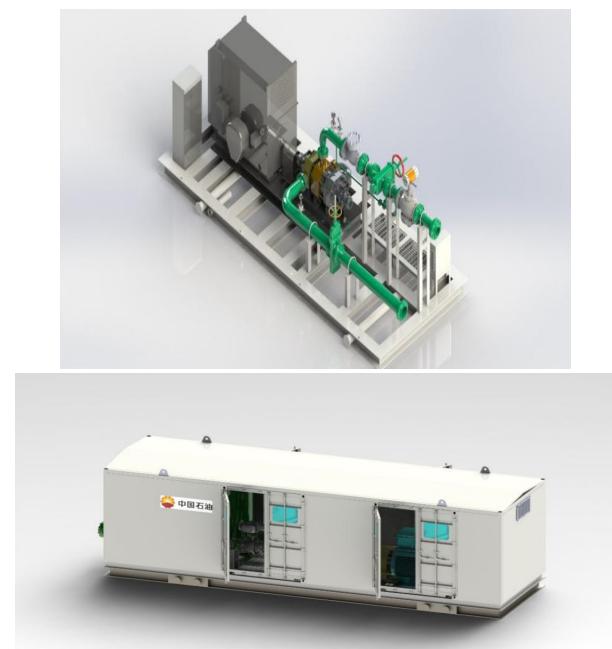


图 1 无人值守返排液泵橇定型三维效果图

### 5 结论

相较于传统的有人值守泵橇，页岩气无人值守返排液泵橇降低了用人成本，减轻了现场运维的压力，提高了现场运行的效率，对页岩气的开发具有重要意义。但同时也要注意，无人值守带来的风险，在方案设计阶段就要考虑足够的自控、检测、监控、报警等安全措施。

### 参考文献

- [1] 赵文智,贾爱林,位云生,等.中国页岩气勘探开发进展及发展展望[J].中国石油勘探,2020,25(01): 431-44.
- [2] 王柳.长宁地区页岩气压裂供水泵站运行防护及风险分析[D].中国石油大学(华东),2021.
- [3] 祖国强.长宁页岩气区块供水优化研究[D].中国石油大学(华东),2019.
- [4] 胡家晨.页岩气开发水供应系统工程设计与优化[D].北京大学,2024.
- [5] 蒋仪,汤雯.山地城市无人值守泵站的设计和风险管控[J].设备管理与维修,2021,(10): 85-87.