

扩展式压裂控制中心研制及应用

郑 例

四机赛瓦石油钻采设备有限公司 湖北 荆州 434024

摘 要：页岩气作为一种清洁高效的化石能源，在推进清洁能源的发展道路上起着重要作用。但是由于其开发难度大、周期长，开采过程周期长导致大排量水力压裂设备逐渐增加，压裂控制中心的控制负荷加大。因此通过对现场需求的调研，了解现场压裂控制中心的功能需要以及用户需求，设计研发了大尺寸的双向扩展式压裂控制中心，工作空间范围增加了67%；通过对工况分析，针对性从集群控制、监控、通讯和供电系统等多个方面对控制中心的系统集成，提升了设备的使用能力。

关键词：页岩气；控制中心；双扩；智能系统

引言

近年来，为应对“双碳”目标，国家大力推进清洁能源的利用和开发，加快化石能源的转型利用。页岩气作为一种清洁且高效的资源，且开采寿命长的优点，获得了油气开发的广泛关注。随着页岩气进入深层开发阶段，其开发难度提高，成本和开采周期也逐渐增加，因此目前页岩气主要采用大排量的水力压裂方式开采，这使得现场压裂作业压力高、规模大、设备种类多，对控制中心的功能也提出新的控制要求。



图1 大型压裂现场

控制中心主要负责在压裂过程中，对现场的压裂设备和混配设备进行自动化控制。此外，也对在井下作业过程中酸化压裂、防砂作业施工进行监控和数据采集，将采集到的数据进行实时记录和分析，显示施工进度和状态，为工作人员提供了很好的现场指导。但是随着现场设备需求的增加，控制中心的能力和空间要求也更大，基于该需求，设计研发了可双向扩展的大型压裂控制中心，较常规橇体控制中心提升了66.7%的工作空间，控制系统的集成度得到大幅提升，橇内环境更加舒适，

为工作人员提供了更好的使用体验。

1 总体结构

扩展式压裂作业控制中心适用于大型油气井的酸化、防砂和压裂作业。控制中心采用可扩展结构，运输时扩展仓收拢至主舱体内，保证运输方便；使用时通过电动或手动两种方式扩展，展开/撤收时间少于3min/2人，扩展面积为非扩展状态下的66.7%，大大增加了操作人员的可使用面积。压裂作业控制中心在工作状态下，可实现对多达30台主体装配的自动控制，通过硬件设计搭配相应的控制系统，可实时采集、显示、记录压裂作业全过程的数据，为使用人员显示相应的施工曲线和数据。下图为控制中心整体布局示意。

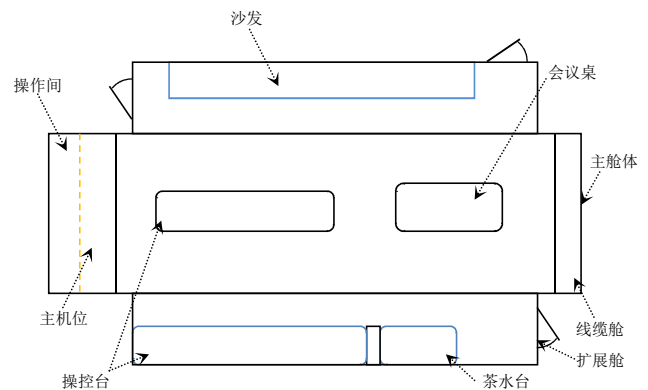


图2 控制中心布局示意图

扩展式压裂作业控制中心整体设置有三个进出门，其中在收起状态时，由于室内扩展舱体收缩在内而无法使用，因此设置两个门体在左右舱室的侧门（两侧设置），并且在紧急情况下作为逃生路径使用；扩展舱正面设门，便于在收拢和扩展操作时观察内部设施状态，避免误操作导致内部设备损坏，同时提高舱体美观度。

扩展集装箱实现方式有以下几种，简述如下：

1) 液压伸缩式: 集装箱侧壁和顶壁上安装有液压缸, 通过控制液压系统的工作, 可以使集装箱在长度和宽度方向伸缩。

2) 机械伸缩式: 靠边侧的容器中央各设有斜度为45度的拉杆, 撤除夹板, 拉开拉杆, 将每个箱变长、变宽, 出现搭接后新的容器面板, 使集装箱实现伸缩。

3) 摇杆式: 在集装箱底部设有两个活动摇杆, 靠近边缘的摇杆可以实现集装箱的伸缩。

4) 滑道式: 在集装箱底部两侧各装有一条滑轨, 通过控制滑轨伸缩, 实现集装箱的伸缩。

根据实际应用场景、使用要求和经济效益等因素进行综合考虑。目前采用在扩出部分底部设置齿轮、齿条、传动轴和电机, 并且设置滑道, 以实现舱室向外扩展。同时在此基础上配置传感器, 实现舱室扩展和收拢的精确控制。在应急情况下, 配置手动操作轮, 无电源时也可实现舱室的扩展和收拢。

图1中, 在控制中心左侧操作台, 集中布置压裂作业控制终端。右侧布置会议桌和操作台, 提供给操作人员在工作时进行会议或讨论工作, 也配置了数据显示的大屏显示器。此显示器可实时显示作业中的数据。另外配置有茶水台和长条沙发, 也保证了内部办公时的舒适度, 提升操作使用体验感。

2 智能系统集成

2.1 集群控制系统

集群化网络控制系统采用环网冗余工业以太网, 网络带宽100Mbps, 机组网络采用三个控制层四个子网控制结构, 可集中控制30台主压裂装备和10台辅助装备, 采用PC终端控制, 实现全套压裂机组的全流程控制及状态监测。主要包含电驱压裂泵远程控制系统、柴驱压裂泵远程控制系统、混砂远程控制系统、压裂液连续混配远程控制系统、供液远程控制系统、供酸远程控制系统、液氮远程控制系统、闸板阀远程控制系统、井场低压全流程远程控制系统、电能监测系统系统、机组作业数据采集系统、数据远程传输系统、视频监控系统和有线/无线远程控制系统。

集群控制系统的优点:

- 1) 自动化程度高, 节约人力和物力资源。
- 2) 提高了作业效率, 作业的精度也得到提升。
- 3) 可以实时监测井口口压、井压、机组排量、液位等状况并进行数据分析, 减少了事故发生的可能性, 并提高了作业安全性。
- 4) 能够快速诊断压裂作业过程中的问题并实现远程操作。

在实际使用中, 考虑更多安全作业因数, 重要设备的控制系统采用冗余设计。其优点:

1) 使用多个相同或相似的备用组件取代单点故障, 使得当一个组件出现故障时, 备用组件可以快速切换并继续工作。这样, 系统的可用性和可靠性都得到了极大提高。

2) 出现重大事故或故障时, 自动停止或降低压力泵的输出。这可以有效降低事故发生的可能性, 并保护压裂设备、人员等重要资源的安全。

3) 在使用多个组件管理同一个系统时, 系统的稳定性极大提高。每个组件都可以发挥作用, 并通过对监测信号的比较, 或通过不同部件的数据计算来产生通信诊断, 同时保证在异常情况下系统的正常工作。

随着软件模块化开发、不同品牌控制器兼容等相关技术难题的攻克, 控制系统的可读性和可维护性得到提升, 建立了可视化、多层次、混合网络控制的集中控制平台。压裂集中控制系统在提高生产效率、保障作业安全方面具有重要的优势, 但也需要全面考虑到建设、运维等成本, 同时避免出现技术故障和操作错误, 以充分发挥其优势。

2.2 数据采集系统

数据采集系统是控制中心的重要功能之一, 此系统能够对作业过程所需监测的有关数据进行采集、显示, 也是集群控制系统数据基础。此外监控系统需要实时对动态数据进行处理, 显示工作过程中的各种数据曲线, 根据相应动态数据的变化, 控制指挥人员可直观方便地观察作业过程的进展情况, 从而才能对作业进行统一、有效地控制, 进一步提高现场施工水平。

数据采集系统通过智能扫描技术与机组内压裂装备控制器建立通讯连接, 并获得压裂装备数据, 数据呈现有曲线显示、数据显示和全流程数据混合显示多种方式。配置主屏幕用于井口数据和作业数据显示, 副屏用于其它数据、曲线和电动机组全流程显示, 系统可通过分屏直观显示作业数值和曲线。主要数据有泵压、油压、套压、密度、压裂液流量、液添流量、干添流量、左输砂、右输砂、砂浓度/砂比、全流程和装备数据等。

基于操作工况对监控系统的需求, 在控制中心内配置的监控系统能实现对高清图像的采集、传输、显示、储存、回放、控制和管理等基本功能, 数据传输的图像信息延迟时间小于500ms, 控制信息的延迟时间小于300ms。

2.3 通讯系统

通讯系统可分为人员交流和数据通讯。

人员交流方面由于压裂作业现场噪音大,井口区域属于易燃易爆区域,因此对讲机选用具有防爆性能、轻便,充电无记忆且使用寿命长的产品,满足井场防爆安全监管区域要求。耳机选用重型头戴式耳机(双耳),可有效保护现场工作人员听力同时可保证语音有效传递。压裂井场使用无线电对讲机通信系统,使用超短波段(VHF 30~300MHz、UHF 300~3000MHz)的无线电通信,确保通讯语音的清晰度和实时性。

在仪表车、会议室内环境相对安静,选择轻便式耳机(单耳),保证高品质通信的同时为工作人员提供了舒适性。舱内安装车载电台,便于和作业现场单工位及群组进行实时交流,以保证作业在安全、规范、有序的环境下进行,配置单独和多座对讲机充电器,达到空间的高效利用和满足不同需求。

在数据通讯方面,配备4G/5G通讯和卫星两种方式。可通过物联网将设备工作数据实时发给区域基地,进行远程监控和指挥。其主要优势如下:

1) 范围覆盖:

5G通讯的覆盖范围比较狭窄,一般只能覆盖城市和一些发达地区。而卫星通讯的覆盖范围非常广阔,在任何地方都能通讯。

2) 带宽速度:

4G/5G通讯的带宽速度比较快,能够提供高速的数据传输、低延时的通讯服务。卫星通讯的带宽速度有限,数据传输速度有一定的限制,受到天气等环境因素的影响也不稳定。

3) 通讯质量:

4G/5G通讯的网络质量和通讯质量较为稳定,而卫星通讯的存在一定的信号延迟和信号干扰。

4) 成本和可用性:

4G/5G通讯的建设成本相对较低,但覆盖范围较狭窄,而卫星通讯的成本相对较高,但是全球任何地方都可用。

5) 应用范围:

4G/5G通讯在通信、移动互联网、智慧城市等方面应用非常广泛;而卫星通讯在全球通讯、海洋监测、军事防卫等方面应用广泛。

不同的传输方式有不同的优缺点,具体使用哪种方式需要根据实际情况进行选择。随着中国基础网络建设的不断完善,5G通讯方式是机组通讯和实现设备全自动化控制的首要选择。

2.4 供电系统

页岩气压裂作业的供电模式可分为柴油发电机燃油

供电和电网供电两种模式,因此控制中心系统供电可采用外接供电(220VAC, 50Hz),线缆舱配置有电源线辘和防爆快插接头,保障设备现场供电方便和安全。此外,控制中心的电源系统包含工业级稳压电源、UPS(Uninterruptible Power Supply)不间断电源、后备电池组和双电源切换互锁系统。稳压电源可以为负载提供稳定的交/直流供电;UPS系统在断电的情况下可继续正常工作,提供在没有外接供电的情况下,控制中心工作时间大于1.5小时;双电源切换互锁系统在外接供电停电时,使电源自动断开负载线路,UPS电源自动投入负载线路,当外接供电来电时,负载线路自动转入外接供电系统。保障了控制中心供电安全。

2.5 冷暖系统

冷暖系统配置顶置式空调、加热器和换气扇(可临时作为逃生通道使用),在制热工况时,由于设备使用中存在频繁的人员活动,同时外界温度更低,导致空调制暖效果不足,因此增加小型的加热器位于室内下部,顶置空调可完成上部区域制热;在制冷工况时,顶置空调可制冷保证室内温度。以此双向保证控制中心的温度,并且设置加热和制冷系统互锁控制,避免误操作。制热时与电暖风机配套使用,满足不同工况仪表设备施工需求,为操作人员提供舒适的工作环境。

2.6 视频监控系统

视频监控系统可以有效的解决现场施工人员及设备的安全问题,减少人员巡检时发现问题再逐级汇报而延误时间,无法及时纠正而造成较大事故,在设备上及现场重要监测点安装了摄像机及相关辅助设备,可以实时的反馈设备最真实的工作情况,为指挥人员提供最有效的决策依据,同时也为现场施工人员提供了安全保障。

现场的所有摄像头传输的视频图像质量满足GA/T 1211-2014 5.2相关要求。由于设备多为露天工作,工作环境恶劣,配置的视频系统防护等级达到IP 56级以上,才能确保现场工作稳定。针对压裂现场监控设备多、视频布线困难和监控区域广的问题,设计开发了适用与油田工况的监控方案和技术,实现了全套监控集成,可实现有线/无线视频的传输,也可将现场视频信号通过光纤及无线方案传输到会议室。

3 结论

(1) 设计并生产了扩展式压裂作业控制中心,在保证方便运输的前提下,结构上突破了常规控制中心的空间限制,提高了操作人员的工作氛围;

(2) 针对压裂控制中心的使用环境,设计并完善了系列智能控制系统集成,分别对控制、监控、通讯、供

电和冷暖系统做出了完整的设计说明。

参考文献

[1]吴汉川.大型压裂装备应用问题解析及发展方向[J].石油机械,2017,45(12):53-57.

[2]张增年,李华川,郑家伟,马升平,戴启平,付军刚.压裂设备应用评价及技术发展展望[J].钻采工艺,2020,43(02):41-44+3.

[3]王峻乔,王云海,潘灵永,等.“产学研用”一体化攻关实现大型压裂装备自主研发[J].石油科技论坛,2021,40(03):129-133.

[4]彭清东,周新田.浅议石油钻井现场安全管理[J].科协论坛(下半月),2007(09):161-162.

[5]刘艳荣.无线传感器网络视域下的井场设备远程监控系统研究[J].电脑知识与技术,2019,15(01):250-252.

[6]徐英卓,张瑞佳.智能井场数据远程传输系统的研究与应用[J].智能计算机与应用,2017,7(03):138-141+146.

[7]刘文宝,姚孔,王元忠.电驱压裂装备整体供电技术方案分析及应用[J].机械研究与应用,2020,33(03):210-213+216.