# W23 地下储气库工程建设中的录井新模式

李三国

中石化石油工程技术研究院有限公司

**摘要：**在 W23 储气库建设过程中，多采用丛式井场模式进行开发，因此适应这种井工厂的建设模式，通过改进录井数据采集方式，充分运用信息化技术，分析集群化录井的体系结构和关键技术，采用多任务多平台管理技术，应用无线网络技术，创新实现了集群化录井技术。在 W23 储气库工程建设中，集群化录井实现了一对多的“工厂化”多井监测模式，建立了数据综合应用分析方法。集群化录井平台集中监测区域钻井具有独特的优势，统一了数据资料标准，有利于储盖层地质综合对比、钻井优化及钻井工程异常及时预警，能够保障钻井质量，适用于“井工厂”钻井模式和储气库工程建设。

**关键词：**W23 储库库；集群化；录井；远程集控

录井在储气库建设中发挥着重要作用，通过录井可以监测指导钻井轨迹，获取地下地质情况、地层压力分布信息、井筒盖层的区域分布情况等等，是保障钻井质量、评价储气库井筒封闭性的重要手段。钻井工程设计也主要以地质特征和储气库要求为依据[1,2]。有别于常规的油气钻井，储气库建设投资大、周期长[3,4]，储气库工程多采用集中式钻井进行工程建设，在选定的区域集中进行注采气井的施工，大量采用丛式钻井的方式，钻井井场比采油气井场要小很多。W23 储气库开始在建设过程中就有 8 座丛式井场、11 座单井井场，如图 1 所示，在每口井场部署录井仪器，对于钻井场地要求，工作开展和满足安全生产标准是一个考验。为了适应储气库井工厂的钻井建设模式，研究了集群化录井技术，充分运用信息化技术，运用一个录井平台可以同时监控多口钻井的方式，实现储气库建设过程中的高效录井。

## 1　系统框架结构

集群化录井技术主要是针对区域范围内多井同时施工的“井工厂”钻井模式，解决传统的分散型录井工作模式的局限而设计的。集群化录井技术的核心思想是实现现场信息的全面感知，充分应用信息化工程，实现信号的无线采集，对各井场信号进行智能组网，使一个集群录井平台不仅能够实现单井单机作业，更可以在区域范围内同时完成以前多台录井仪的工作量，建立区域化集中的协同作业集中控制中心，实现“工厂化”录井模式，提高区域化现场资料的综合解释评价能力。

集群化录井平台的系统架构如图 2 所示，主要由 4 大模块构成。

1) 井场无线智能传感器节点：实现一对多的集群录井方式，把每一个井场看作一个无线节点，每个节点的工程数据、钻井液数据、气测数据、设备监测数据及随钻数据等通过无线进行采集、智能组网。

2) 集群化录井平台：平台的主要特点是采用开放式数据交换、微服务技术、



图 1　W23 储气库现场

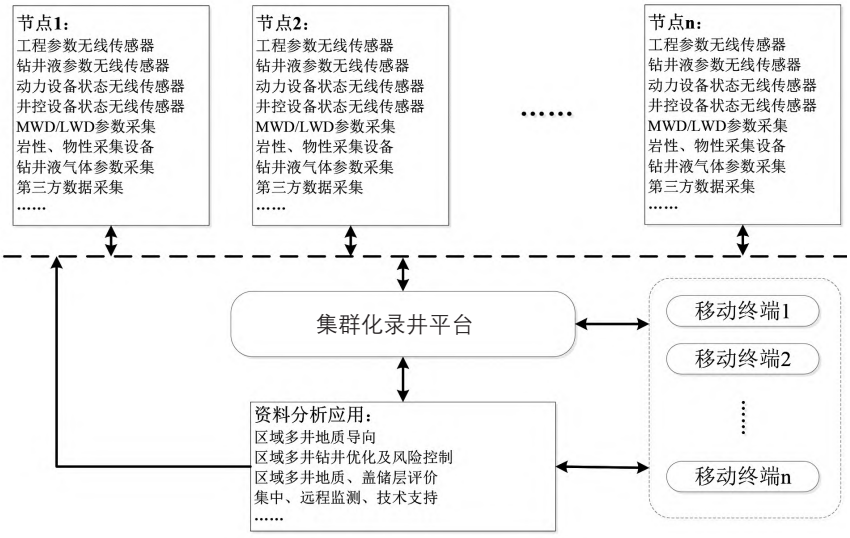



图 2　系统架构框图

双向同步操控、多任务平台管理、大数据量同步等技术和方法，使综合录井仪不仅能够实现单井作业，更能在区域范围内同时对十数口井同时作业，建立“工厂化录井”作业模式。

3) 区域标准化资料解释应用系统：由于集群化的录井平台可以对多井进行监测录井，其数据与以前的单机、单井的作业方法相比，最大的优点在于将多井数据集中化，实现多井数据的同步和共享，改变了以前单井数据的应用模式，使区域资料更集中，更易于对比。

4) 远程专家支持系统：集群化录井平台所实现的多井资料协同分析作业，向远程终端发送包括钻井、定向、测井、录井等更全面的数据，有利于远程专家提供更高效的技术支持。

## 2　技术特点

### 2.1　井场无线智能采集网络

一对多的集群化录井，基本数据来源于每个井场，因此，每一个井场都被看作为一个数据节点，每个节点的数据包括井场中的工程、钻井液、气体、设备状态、视频和图像等多个数据流。要进行这些数据流的自动化采集、远程监控和远程维护，无线数据传输是有效的解决手段 [5-8]。

井场远程的无线数据传输要实现可靠、低维护性等目标，需要考虑多个方面因素，包括传输速率、传输距离、消耗功耗及抗干扰性等。针对这些因素，对各种通信方式进行了分析和比较，ZigBee 无线传输技术可以实现上述目的 [9,10]，用以组建钻井现场无线传感器网络，保证数据的传输。为了提升无线传感器的使用时间，在采用锂电池供电外，还采用了太阳能的方式为锂电池充电。为了提高数据的保密和抗干扰性，还对无线传感器进行了网络定位、网络同步管理和身份管理。

### 2.2　跨网数据交换及控制

如图 3 所示，首先井场节点数据包括了多种数据，数据量增大，因此井场至集群化录井平台数据采用无线局域网的方式进行传输。又由于井场是动态更新的，集群化录井平台面临一个新的井场时，原来的网络地址也在更改，因此不可能给录井平台和井场结点都分配一个固定的 IP 地址，所以集群化录井平台采用动态获取 IP 地址的方法，每个节点进入网络都动态分配地址，录井平台在探测到新地址后，绑定当前井场节点，实现网络数据交换和控制。

其次，集群录井平台与远程的数据采用互联网传输，由于互联网中固定 IP 是一种非常稀缺的资源，因此也不可能给录井平台计算机分配固定 IP 地址。另外互联网到处存在着一些中间件 (Middle Boxes)，如 NAT 和防火墙，导致两个不在同一内网中的客户端无法直接通信 [11,12]。因此，集群录井平台开发了 P2P 内网穿透 NAT 技术，建立了局域网内的计算机与外网的计算机间的数据通信，实现了不同网络间的信息共享和控制，从而奠定了远程集控中心的信息基础。

### 2.3　微服务架构技术

集群录井技术所面对的是不同井

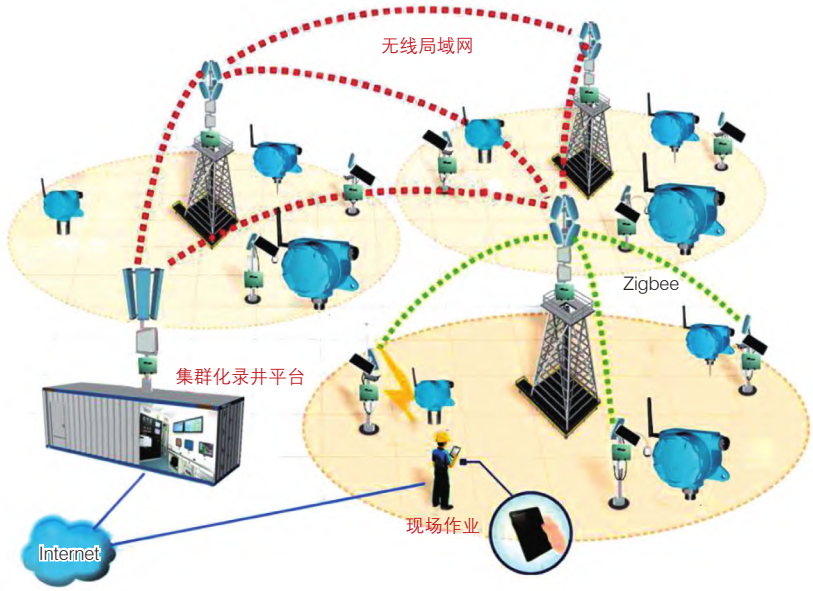



图 3　井场数据交换及控制示意图

场的节点数据，所以发送需要匹配多种数据格式，这些数据同时接收和分发，对于单一计算机负担很大，另外，初期技术不断升级也需要简便的数据服务方式。因此，为了较好地解决这些需求，开发了微服务架构技术，其主要特点是通过对不同应用的有效拆分，使特定功能的应用归为一个服务，这样，一个服务能完成特定功能，从而解决了数据的适用性和应用复杂性问题，实现了敏捷开发和部署。每个服务相对独立,扩展、部署、升级变得相对容易，在升级过程中不会影响整个录井作业。

### 2.4 多任务管理技术

已经实现的集群化录井技术，可以支持多达 10 个节点（面对 10 个井场同时录井）的数据，在录井作业中，会不间断地向集群化录井平台发送数据，而录井平台也在向远程进行外部数据交换，其数据处理和交换量要比单井单录井仪扩大超过 10 倍，因此高效的大数据量管理非常重要。为了解决这个问题，采用了异步、多线程来管理数据和应用，从功能上分成主线程、数据接收线程和数据库存储线程等 3 个模块，实现多个线程任务的并行执行。

### 2.5 综合资料应用技术

集群化录井平台同时对多井进行录井作业，相对于单录井仪对单井的录井作业方式，同一平台能够使用统一的数据标准来采集数据，使多井数据之间具有更好的对比性，全面提升录井资料的统一性，使数据的解释结果更准确。在多井对比中，地质、工程、气体数据的综合对比更强，增强了区域地质评价、工程预警的准确性，使录井能够在区域范围内评价储气井储盖层分布和封闭性，在多井防碰安全导向上具有良好的优势。

## 3 W23 储气库建设应用

目前集群化录井平台可以同时支持 10 口井的资料录取，井场节点内的无线传感器单点传输速率达到了 250 kbps，各节点与录井平台，录井平台与远程数据之间的数据交换分别通过无线局域网和以太网进行高速传输。在 W23 储气库工程建设过程中，集群化录井平台已累计完成了 36 口井的录井任务。建立了多井集群测控中心，在区域钻井优化、钻井安全保障以及区域资料综合分析等方面取得了较好的成果，图 4 为平台的集控中心。

集群化录井平台采用“一对多”的井场数据监测模式能够统一数据标准，因此对一口井或多口井的实时数据流的监测中，能够增强捕捉数据频繁异常点的准确性，提供了异常数据预先检测的可能。通过优选钻井异常关联的敏感特征参数，对集群化录井平台录取的事故井在某一时间、某一井段的特征参数异常进行分析，然后在正钻井中分析特征参数与钻井参数的关联性，从而实现对后来正钻井的优化以及对钻井异常的提前预警。

对 W23 储 4-5 井钻井异常的分析为保障后面的安全钻井提供了重要帮助。如图 5 所示，W23 储 4-5 井三开采用直径 241.3 mm 的 PDC 钻头及微泡钻井液，钻井液密度 1.08 g/cm$^3$，在井深 2 843.92 m 时地层测试，憋压 5.0 MPa，时间 30 min，未发生渗漏。但钻进至井深 2 962.93 m 时，发生井漏，且没有钻井液返出地面，钻井液密度为 1.08 g/cm$^3$，漏斗粘度 64 s，漏失层位为沙四上亚段，岩性为浅灰色粉砂岩，后通过调整钻井液堵漏成功，之后又于井深 2 967.41 m、2 995.82 m 多次发生失返型漏失，导致这口井因处理井漏异常时间长达 8 天。集群化录井平台将 W23 储 4-5 井井漏参数变化及处理方法模型保存在“区域钻井优化及风险控制模块”数据库中，因此在后期本区域 W23 储 2-4、储 4-6、储 6-4 等 7 口井施工中，以此模型分析，提前预测了漏失井段，并优化钻井液性能，所有井均未发生大的井漏，发挥了多井对比过程中保障钻井安全、提高钻井时效及降低钻井成本的重要作用。

## 4 结语

一直以来，录井作业被誉为油气勘探开发的“眼睛”和“参谋”，在石油工程领域中的地质、工程和信息化建设中发挥了重要的作用。集群化录井技术作为一种创新的“工厂化”录



图 4 集群化录井集控中心

井方式，实现了录井作业方式的变革，特别适用于“井工厂”钻井以及如储气库工程建设的区域集中钻井模式。具有独特的优势：

1）“集群化录井”协同作业模式，一个录井平台可以同时施工十数口井，能有效节约设备和人力成本，提升效率。

2）同一平台，多口井数据采集标准统一，多井数据整合和数据对比便于建立区域资料应用方法，更有利于对区域地质和工程的认识，提升储气库井筒建井质量及更全面地评价井筒封闭性。

3）通过集群化录井平台录取多井实时数据和钻井监测，提升了井间横向对比能力，应用已知井风险模型预测正钻井风险，实现区域范围内的钻井优化和风险控制。

4）多井资料录取有利于监测区域中的所有井的井身轨迹，在丛式钻井中更有利于井身轨迹优化和防碰导向，提升钻井质量。

经过应用证明，集群化录井技术在 W23 储气库工程建设中，在保障钻井安全，降低钻井成本、储盖层地质综合对比及钻井工程异常及时预警等各方面都发挥了重要作用。

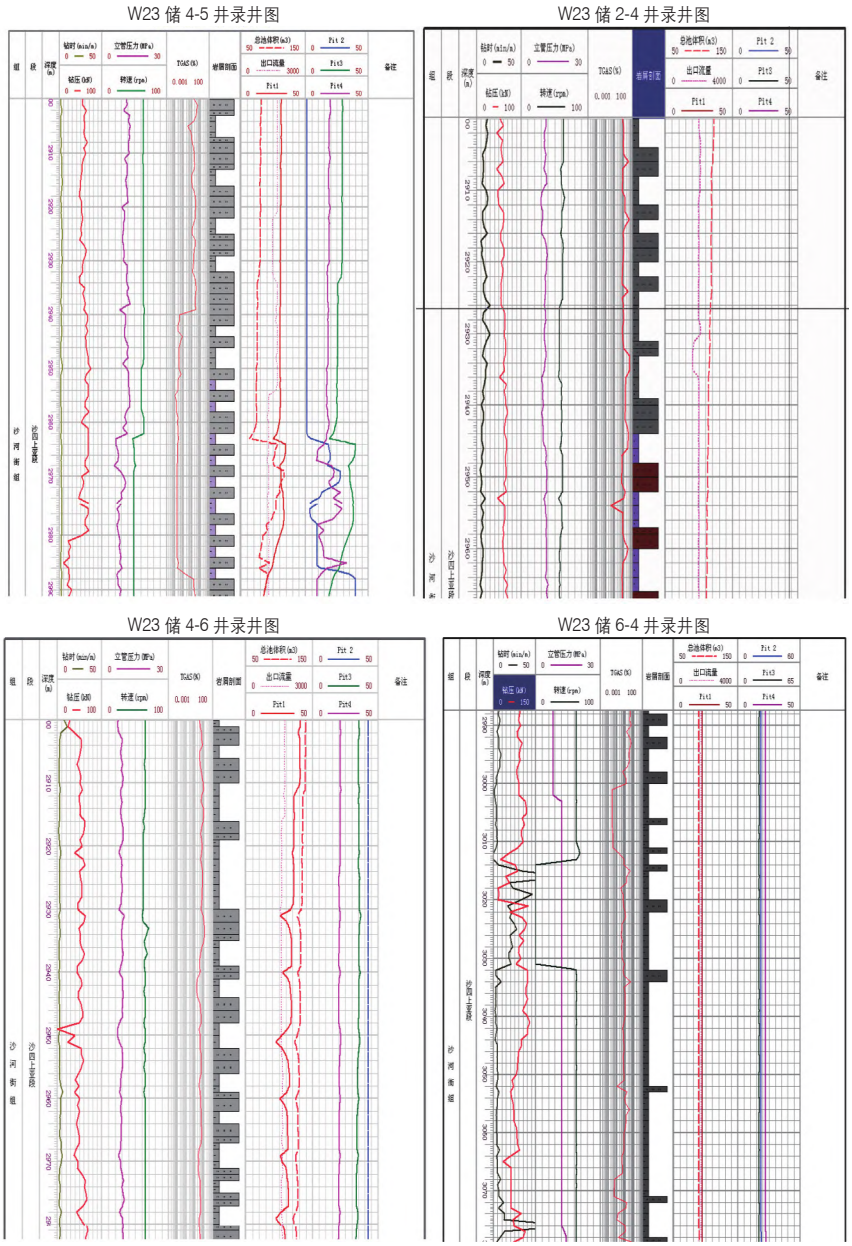



图 5　集群化录井多井曲线图

**参考文献：**


[1] 刘振兴，靳秀菊，朱述坤，等. 中原地区地下储气库库址选择研究. 天然气工业，2005(01):172-174+28-29.

[2] 侯树目，胡建均，李勇军，等. 低压低渗枯竭型砂岩储气库钻井工程方案设计[J]. 石油钻采工艺，2013，35(5):36-39.

[3] 张光华. 中石化地下储气库建设现状及发展建议[J]. 天然气工业，2018，038(008):112-118.

[4] 李铁，张永强，刘广文. 地下储气库的建设与发展[J]. 油气储运，2000(03):8-15+65+3.

[5] 利民，李建中，陈渝等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社，2005.

[6] 连业，郭春芳，向东明. 无线网络及其应用技术[M]. 北京:清华大学出版社，2004.

[7] 蔡型，张思全. 短距离无线通信技术综述[J]. 现代电子技术，2004，170(3):65～68.

[8] 陈玉新. 无线远程录井系统. 录井工程，2013，24(02):70-73.

[9] 任旭虎，李慧娟. 基于ZigBee的无线录井低功耗传感网络设计[J]. 仪表技术与传感器，2016(6):69-71.

[10] 李慧娟. 基于ZigBee的低功耗录井传感器系统的设计与开发[D]. 中国石油大学(华东).

[11] IBM服务器:IBM xSeries服务器集群解决方案综述[J/OL]. http://www-900.ibm.com/cn/support/viewdoc/detail? DocId=JYWG-5TX38G.

[12] 都志辉. 高性能计算并行编程技术—MPI并行程序设计[M]. 北京:清华大学出版社，2001.