

超深立井安全高效施工信息化监测监控

沈慰安¹, 梁恒昌², 赵光思²

(1. 中煤第五建设有限公司, 江苏徐州 221000;

2. 中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 江苏徐州 221008)

[摘要] 随着立井建设深度的增加,井壁不安全性及施工难度逐渐增加,为确保立井井壁安全、吊桶运行安全及施工过程安全,需要实时掌握井壁的受力状态及监测施工过程,信息化监测是保证工程施工安全的重要措施和基本前提。基于本溪大台沟铁矿直径6.5 m、井深1 640 m的超深立井井筒施工背景,在阐述目前超深立井建设过程存在的井壁安全、吊盘安全、施工实时安全等问题的基础上,提出了凿井施工过程视频监控系統、吊盘关键点荷载监控系统、提升吊桶运行监控系统的信息化集成方案,以达到实时掌握井壁安全及施工安全的目的,监测方案的实施可为深立井安全高效施工提供技术依据。

[关键词] 超深立井;安全;信息化施工;监测监控

[中图分类号] TD82 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)02-0045-04

1 前言

经过几十年的发展,我国深部资源开采问题日益突出,特别是20世纪90年代中期以来,深井建设的平均深度有加速增长的趋势,进入21世纪,开始了千米井的兴建。立井井筒工程是矿井建设的关键工程,施工安全问题随着井筒的加深变得更为重要,同时立井的井壁安全是保证施工及长期运营安全的基础^[1~4]。目前井深超过700 m的井筒已占1/3以上,但深部矿产资源开发利用难度大、风险高,由此引发一系列关键问题急待解决。对于众多技术难题的反馈信息,都要通过监测监控等信息化技术实现,因此掌握深立井建设的信息化施工成为解决技术难题并反馈信息的首要条件,国内外众多立井施工的实践经验表明:对施工过程中的井壁安全、吊桶运行信息、施工实时信息等问题的及时掌握,是保证安全高效施工的基础^[5,6]。

信息化施工是将施工中各种数据进行定时检测,特别是与施工安全有关的测试数据,凡是测试数据接近或超过规范要求的应及时报警,提醒施工人员采取有效技术措施来预防重大事故发生。超深立

井的建设处于起步阶段,还存在很多需要研究的地方,施工中经常会受到一些不确定因素的制约,往往存在潜在的危险,这时信息化施工就非常必要。同时信息化施工的数据为煤矿立井建设提供详实的数据经验,从而为施工技术的进一步发展提供了依据和保障^[7,8]。

文章从深立井建设的实际情况出发,基于本溪大台沟铁矿直径6.5 m、井深1 640 m的超深立井井筒施工背景,分析对井筒施工和安全的重要影响因素,提出相应的监测、监控信息化集成措施,保证井筒施工安全^[9~12]。

2 矿井信息化施工概况

信息化施工在其他领域中虽然取得了一些成绩,但是在矿井建设中却应用很少,主要是因为:
a. 之前的矿井建设中,冲积层较浅,而且地质构造并不复杂,粘土含量不多,可预计因素较多,凭借几十年建井经验完全可以应付;
b. 安全意识不够,安全问题应该是一个建筑企业的首要问题,如果没有了安全,则不管施工速度有多快,效益有多好,都将失去信誉和市场,尤其是对立井井筒这样特殊部位

[收稿日期] 2011-08-25

[作者简介] 沈慰安(1959—),男,江苏泰兴市人,教授级高级工程师,研究方向为地下工程;E-mail:shenweian@cc5c.com

的建设,它是建井工程的“咽喉”,应该特别注意;
c. 技术力量不够,没有专门的研究队伍提供技术上的支持。

信息化施工在深冻结井中的应用可以起到如下的一些作用:

1) 信息化施工可为加强设计单位、掘砌施工单位和冻结施工单位间的配合提供定量依据。

2) 能达到既保证掘进工作面处的冻结壁和井壁的强度与稳定性又不浪费冷量的目的,从而可提高工程施工的经济性和安全性,提高施工的速度。

随着矿山开采的需求,需要建设的立井井筒呈现出超长超深的情况,导致出现许多未知的困难和问题,尤其是厚的冲积层和高的地应力,在很难详细掌握工程地质及水文地质的情况下,采用信息化施工是非常重要的,也是必须的。

信息化施工的基本原理是,在施工过程中,以控制质量为目标,通过对大量工程检测信息的分类、分析与处理,提取施工参数等影响施工质量的关键因素,通过最有效、最短的途径不断进行调整优化,指导施工全过程,同时依据前一步施工监测信息及施工参数的变化规律,推断施工工况及其对施工质量的影响与控制,该过程贯穿于整个施工过程,是一个动态的过程。

3 施工信息化监测系统

与现有井深 1 000 m 左右凿井工程相比,1 500 ~ 2 000 m 超深立井凿井面临的安全问题更为突出。超深立井凿井全过程的监控系统和监控设施,通过摄像系统,激光扫描系统,温度、应力、位移传感器,视频显示等装备,实现对超深立井凿井全过程的监测与控制,内容包括井筒工作面施工现状、工作面温度状况、提升容器的运行状况,吊盘受力及运行状态,凿岩、抓岩、砌壁、排水设备性能状态及运行过程,以及辅助施工设备、装置安全性能的监控与分析。在吊盘和井上调度室实现并行检测与控制。

3.1 凿井全过程视频监控系统

该系统利用光纤通讯技术、数字视频技术和多媒体计算机等高新技术,对重要设备、矿井人员出入井口、存在安全隐患的地点、井下工作面、装卸矿点等地点进行实时的视频监控。

视频监控系统主要由 4 部分组成:

1) 前端摄像设备,包括摄像机、云台、防护罩、电源、光发射机等,负责采集监控点的图像信号。

2) 视频控制设备,主要由光接收器、视频矩阵控制切换主机、云台控制器等组成,完成视频图像的接收与处理,遥控云台的转动,调节镜头焦距的变化以及各种输出信息的控制。

3) 光纤传输设备,用于远距离传输图像信号。考虑到矿山工业场所分布距离远,井下环境恶劣,采用光纤传输。光纤具有不受电磁干扰,抗化学腐蚀,传输距离长,通讯容量大,信号损耗低等突出优点,符合矿山视频监控信号传输特点和要求。

4) 视频输出设备,主要包括监视器、电视墙、网络硬盘录像机等。用于显示监控图像和保存图像记录。

视频控制设备和输出设备安装在生产调度中心,该系统还支持网络分控。将网络硬盘录像机接入矿山局域网后,登陆系统的用户可通过浏览器远程控制监控系统。

该系统建成后,通过监控重要设备运行情况和主要场所的工作情况,管理层能全面、快速掌握生产情况,及时发现各种违章违纪,减少事故的发生;减轻保卫人员工作量;通过回放硬盘录像机的录像,能为分析事故原因和明确责任提供证据。

3.2 吊盘关键点荷载监控系统

立井施工时,需要在井内设置一系列的凿井工作盘。如封口盘、固定盘、吊盘、稳绳盘及其他特殊用途的作业盘等。

凿井吊盘通常随着井筒掘进工作面的向下推进而不断下放,因此吊盘一般采用钢丝绳进行悬吊,悬吊方式可采用单绳单绞车、双绳双绞车和多绳多绞车等方式;随着超深立井的兴建,立井井筒施工中,掘进工作面随着井筒深度变化而不断下移,无绳迈步式行走吊盘吊挂技术显示出了其特有的优越性。

基于目前吊盘悬吊技术的现状,超深立井凿井施工吊盘的结构形式主要考虑两种,一是采用地面绞车悬吊,二是井内无绞车吊挂。无论采用哪种结构,鉴于超深立井施工条件下稳绳张紧力的需要,吊盘需要采用井壁固定,因此必须对吊盘与井壁的支撑点、吊盘与悬吊钢丝绳之间等关键部位的荷载和受力进行监测。考虑到吊盘采用液压集成结构,对关键液压部件的液压压力进行监测。吊盘关键点荷载监测监控系统主要由 4 部分组成:

1) 各类荷载传感器。a. 稳绳荷载传感器,研制合适量程和规格的稳绳传感器,和稳绳及吊盘之间有可靠的连接方式,可靠的信号传输,实现稳绳荷载

大小的测试和监控。b. 基于迈步吊盘的超深立井凿井设备吊挂技术关键部位的荷载监测传感器:实现凿井关键设备吊挂荷载的监控。c. 基于迈步吊盘与井壁接触荷载的监测传感器,实现吊盘与井壁接触荷载大小的测试。d. 基于迈步吊盘与井壁接触点的温度监测传感器:通过监测井壁混凝土温度变化来反应混凝土强度的增长,控制迈步吊盘对井壁荷载的大小。e. 液压集成系统压力监控传感器:凿井设备液压系统集成系统实现凿岩设备、抓岩设备、伸缩式液压模板控制、吊盘的固定及行走、稳绳张紧力控制等液压系统的集成管理,并共用液压源,简化井内设备布置。需要对各个子系统的液压压力进行监控,在管理上布置适合量程和规格的液压传感器进行压力监控。f. 工作面温度传感器:通过激光温度传感器测试工作面的温度状况。g. 凿井深度监测传感器:通过激光测距等测试传感器实现凿井深度的监控。

2) 信号传输电缆及二次仪表:通过信号传输电缆及二次仪表转换,实现现场测量信号和传输信号之间的转换和控制。

3) 信号传输电缆:用于远距离传输测量信号。考虑到矿山工业场所分布距离远,井下环境恶劣等条件,选用合适可靠的传输方式。

4) 信号处理及输出设备:主要包括计算机系统和数据处理系统。实现测试信号的分析 and 测试数据的记录。

3.3 提升吊桶运行过程监测及控制系统

制约超深立井井筒施工发展的关键技术是井筒凿井提升能力的提高及其安全性,以及凿井施工设备的吊挂问题。要提高深立井井筒施工的平均速度,必须提高井筒深部的凿井效率。

吊桶在提升过程中,稳绳的长度、提升的速度、稳绳的张紧力是影响吊桶运行的关键因素,同样也是影响吊桶安全运行的关键,因此有必要监测一定深度下的吊桶运行摆动幅度,当吊桶幅度超过一定量程支护,及时调整张紧力以改变吊桶运行安全,因此应合理考虑吊桶运行监测点的布设。

针对吊桶在某一运行位置的随机摆动幅度精确监测难度比较大,基于目前的监测技术水平,通过布设监控摄像头并配合数字照相技术可实现吊桶摆动幅度的监测。因此提升吊桶运行过程监测系统考虑以下布置方式:

1) 前端摄像设备及其固定:包括摄像机、云台、

防护罩、电源、光发射机等,负责采集监控点的图像信号。

2) 视频控制设备,主要由光接收器、视频矩阵控制切换主机、云台控制器等组成。完成视频图像的接收与处理,遥控云台的转动,调节镜头焦距的变化以及各种输出信息的控制。

3) 光纤传输设备,用于远距离传输图像信号。考虑到矿山工业场所分布距离远,井下环境恶劣,采用光纤传输。光纤具有不受电磁干扰,抗化学腐蚀,传输距离长,通讯容量大,信号损耗低等突出优点,符合矿山视频监控信号传输特点和要求。

4) 视频输出设备,主要包括监视器、电视墙、网络硬盘录像机等,用于显示监控图像和保存图像记录。

5) 数据分析系统,针对监控的图像实施图像分析,计算吊桶摆动幅度。

6) 吊桶张紧力控制系统,通过分析系统,调整稳绳张紧力,实现吊桶运行控制。

为了确保观测系统长期的稳定性和可靠性,监测时应该采用精度高、抗干扰性强、稳定性好的传感元件进行监测,测试二次仪表布置于吊盘合适位置,转换后的信号传输至地面监控调度室,形成凿井全过程视频、吊盘关键点荷载、提升吊桶运行过程的监测及控制系统。

4 监控系统的难点和问题

1) 环境恶劣。矿建过程井下监控系统传感器面临的工作环境比较恶劣,传感器的使用寿命和保护之间存在密切关系,但保护难度较大,造成传感器的工作精度、安全度、寿命及成本会产生相当大的影响,监测过程应充分考虑。

2) 维护困难。井下各类传感器基本采用有线传输方式,矿井建设的过程中难免被粗重的东西砸伤或破损,因此线缆的合理布设、保护和维修就十分重要。

3) 信号纷杂。综合监测涉及各类传感器,一次传感器的信号有电信号、视频信号、振弦式信号、温度信号等,这些信号的二次转换仪表要求难度比较高,信号传输也比较复杂。

4) 安装困难。传感器的安装应不影响各类设备仪器的正常使用和方便,传感器的安装位置要经过充分考虑和可靠性分析。监测吊桶运行传感器的安装和信号传输要经过充分的分析和选择。

5 结语

超深立井凿井全过程的监测与控制系统内容包括井筒工作面施工现状、工作面温度状况、提升容器的运行状况,吊盘受力及运行状态,凿岩、抓岩、砌壁、排水设备性能状态及运行过程,以及辅助施工设备、装置安全性能的监控与分析,整个监控系统可以分为凿井施工过程视频监控系统、吊盘关键点荷载监控系统、提升吊桶运行监控系统。

超深立井凿井全过程的监测与控制系统是超深立井安全高效施工的保证措施。

超深立井安全高效信息化施工是今后立井井筒施工技术的发展和必不可少的生产条件,对深部资源的开发具有十分重大的意义。

参考文献

- [1] 梁恒昌,周国庆,刘志强,等. 立井井壁附加应变长期实测研究[J]. 中国矿业大学学报,2009,38(6):794-799.
- [2] Liang Hengchang, Zhou Guoqing, Liao Bo, et al. In-site monitoring and analysis of shaft lining's additional strain in failure and formation grouting [C]// Procedia Earth and Planetary Science 1;

The 6th International Conference on Mining Science & Technology. Xuzhou; 2009.

- [3] 梁恒昌,周国庆,赵光思,等. 井壁破裂过程的应变实测特征分析[J]. 煤炭学报,2010,35(2):198-202.
- [4] 梁恒昌,周国庆,刘志强. 地层沉降和井壁附加应变实测耦合分析[J]. 岩土工程学报,2010,32(6):924-929.
- [5] 黄荣强. 铜坑矿信息化建设研究[D]. 南宁:广西大学,2008.
- [6] 宋文漪. 中煤第三建设集团信息化建设思路与现状[J]. 信息与电脑,2010(1):148-150.
- [7] 齐善忠,付春梅. 信息化技术在深冻结井施工中的应用[J]. 黄河水利职业技术学院学报,2010,22(1):24-36.
- [8] 周国庆,程锡禄. 特殊地层中的井壁应力计算问题[J]. 中国矿业大学学报,1995,24(4):24-30.
- [9] 黄家会,杨维好,李峰,等. 立井井壁温度变化规律实测研究[J]. 辽宁工程技术大学学报,2007(3):360-362.
- [10] 宋雷,杨维好,李海鹏. 郭屯煤矿主井冻结法凿井信息化监测技术研究[J]. 采矿与安全工程学报,2010,27(1):19-23.
- [11] 梁恒昌,周国庆,刘志强. 井筒井壁应变自动监测系统及其工程应用[J]. 煤矿安全,2009(10):48-50.
- [12] 朱锋盼,周国庆,赵光思. 基于实测结果的立井井壁破裂及治理时间分析[J]. 煤炭科学技术,2008,36(10):25-28.

Monitor and control of ultra-deep shaft safety and efficient construction

Shen Weian¹, Liang Hengchang², Zhao Guangsi²

- (1. China Coal No.5 Construction Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu 221000, China;
2. State Key Laboratory for Geomechanics & Deep Underground Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

[Abstract] With the increase of the depth of shaft construction, shaft wall safety and the construction are becoming difficult. To ensure the safety and shaft wall construction safety and other factors, the real-time control and monitoring of the construction process is necessary. Feedback monitoring is an important method to ensure the construction safety. Base on the background of Benxi Dataigou Iron Mine's ultra-deep shaft with diameter of 6.5 m, depth of 1 640 m, the paper proposed methods to monitor the shaft wall safety and the condition of construction. It introduced the information construction for video monitor system, hanging plate important point monitor system and promoting bucket monitor system. The monitor system implementation plan may provide detailed information for ultra-deep shaft efficient construction.

[Key words] ultra-deep shaft; safety; information construction; monitor and control