

施工与运营初期厚表土立井井壁受力实测研究

温德华

(上海大屯能源股份有限公司,江苏沛县 221000)

[摘要] 采用井筒内外井壁现场埋设传感器的方法,建立由计算机控制的自动监测系统,实测大屯矿区某混合井井壁施工过程中及之后一段时间的受力和变形演变规律。对实测结果进行分析,研究内外井壁的综合变形规律,可以预测井壁的长期安全性,为井壁破裂的预防和治理提供科学决策的依据。

[关键词] 井壁监测;厚表土;应变;附加力

[中图分类号] TD325 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)02-0080-05

1 前言

自1987年以来,我国已有110多个井筒在表土段或基岩风化段发生了井壁破裂灾害,主要集中在徐州、大屯、兖州、淮北、永夏等矿区^[1,2],对煤矿生产和安全构成了巨大的威胁。根据破裂井壁的状况,通过近20年的研究得出结论:井筒周围土层下沉过程对井筒外表面产生较大的竖直附加力,这一附加力是发生破裂灾害的主要原因^[3~6]。井筒是煤矿安全顺利生产的咽喉部位,也是整个煤矿安全保障系统的重要组成部分,掌握其在建设和生产运营期间的安全稳定状况及井壁受力发展趋势对于确保煤矿的正常安全生产有重要意义。分别在井筒内外井壁建立长时安全性监测系统,分析掌握井壁在垂深100~180 m范围的受力变化规律和井壁外壁与周围土体的相互作用力,预测预报井壁的安全度,为保证矿井井筒的安全具有重要意义。

2 监测方案

2.1 工程概况

孔庄混合井设计深度为1 088 m,净径为8.1 m。井筒表土段及风化基岩段采用冻结法施工,基岩段采用普通凿井法施工。冻结段包括表土和风化基岩共346 m,冻结表土段为187 m,井壁为双层钢筋混

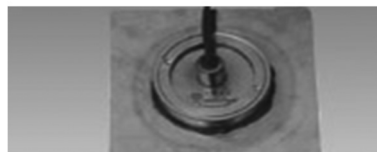
凝土支护。

2.2 传感器选择

井壁受力和变形监测选用的传感器为埋入式混凝土应变传感器,如图1(a)所示,用于测量井壁混凝土的竖向应变。这种规格的传感器使用寿命长、精度高(误差在 $6\ \mu\varepsilon$ 以内),同时可测量温度(精度为 $0.5\ ^\circ\text{C}$),反映温度应力对井壁受力的影响。测量井筒外壁和周围土体土压力选用振弦式二次感应土压力传感器,如图1(b)所示,它具有二次密封性能,增加了受力面积,能消除不均匀受力影响,安装



(a)混凝土应变传感器



(b)土压力传感器

图1 传感器实物图

Fig. 1 Stain and pressure sensors

[收稿日期] 2011-10-08

[作者简介] 温德华(1963—),男,江苏镇江市人,高级工程师,主要从事地测防治水与井筒综合监测方面的研究;

E-mail:wendehua111@sina.com

方便,适用于长期测量土压力变化,并可同步测量埋设点的温度。分辨能力 $\leq 0.05\%$ 满量程、综合误差 $\leq 1.0\%$ 满量程、工作温度为 $-25 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、测温精度为 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 传感器的布置

根据孔庄矿混合井的实际地层条件和测试目的,并考虑埋设施工和测试的方便,设计在井筒垂深100、120、140 m 和 160 m 四个水平布设传感器,各层位岩性情况见表 1。传感器具体位置如图 2 所示,各水平上设 4 个测区。内外壁埋设竖向混凝土应变传感器,外壁外边缘埋设土压力传感器,实测井壁与周围土体的相互作用及沿井深的变化规律。

表 1 传感器埋设层位岩性

Table 1 Lithologic characters for different layers

层位	测试水平/m	岩石名称及岩性描述	累深/m	层厚/m
1	100	细砂	108.23	17.30
2	120	含砾粘土	122.22	7.59
3	140	细砂	141.75	4.00
4	160	粉砂岩	164.95	4.70

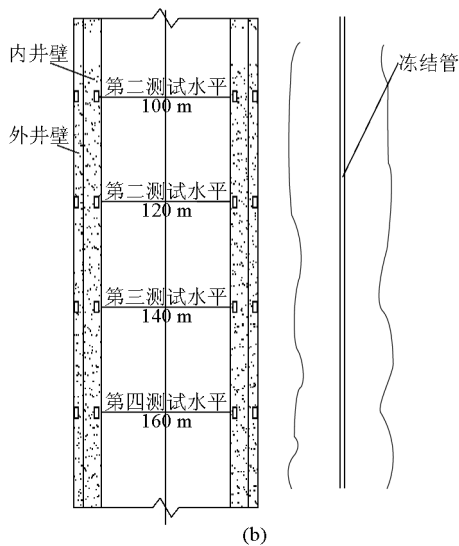
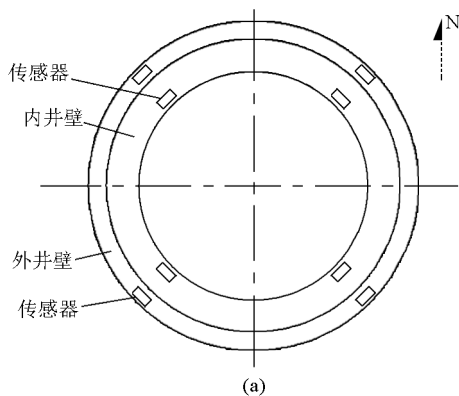


图 2 井壁传感器竖向位置示意图

Fig.2 The arrangement diagram of sensors

2.4 测试系统

测试系统由传感器、控制电缆、传输信号电缆、测量单元、转换仪和计算机组成。应变传感器与土压力传感器用专用电缆引到井口,集成到测量单元再传输到计算机,由计算机数据采集系统自动进行采集和数据处理。测量单元和测试系统如图 3 所示。

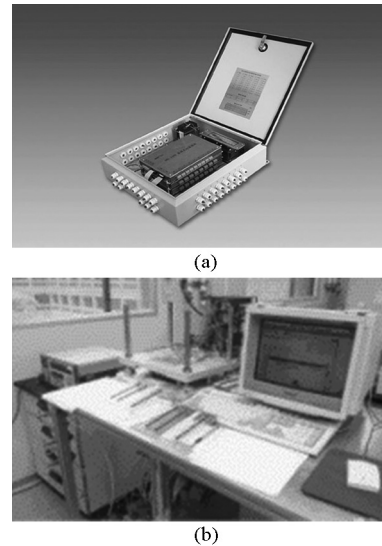


图 3 测量单元和测试系统示意图

Fig.3 Test modules and system

2.5 测试频率

自 2008 年 5 月 30 日开始进行测试,测试频率为每周 2~3 组数据。

3 测试数据及分析

3.1 内壁竖向应变变化分析

图 4 为内壁第一层至第四层位竖向应变实测曲线。从图 4 可以看出:

1) 内壁中的竖向应变表现为应变积累,累计应变为 $400 \sim 900\ \mu\epsilon$,其中第一层、第二层和第三层表现最为明显,且 4 个方位的竖向传感器均显示出相同的规律。可见,对于刚建成的井壁,冻结壁刚开始融化,竖向应变随时间积累,已经受到了附加力的作用。

2) 第一层、第二层和第三层竖向应变进入 2010 年 3 月份以来,应变速率增长具有明显加快的趋势。此时冻结壁已经基本融化,地层固结沉降过程加速,从而造成竖向应变积累加快。

3) 第四层应变速率呈现出一定的差异性,东侧和北侧应变增长速率达到 $230 \sim 260\ \mu\epsilon/a$,而西侧和南侧增长速率仅为 $0 \sim 20\ \mu\epsilon/a$,这与埋设层位的地层条件相关。该层处于基岩风化带,由于在井筒

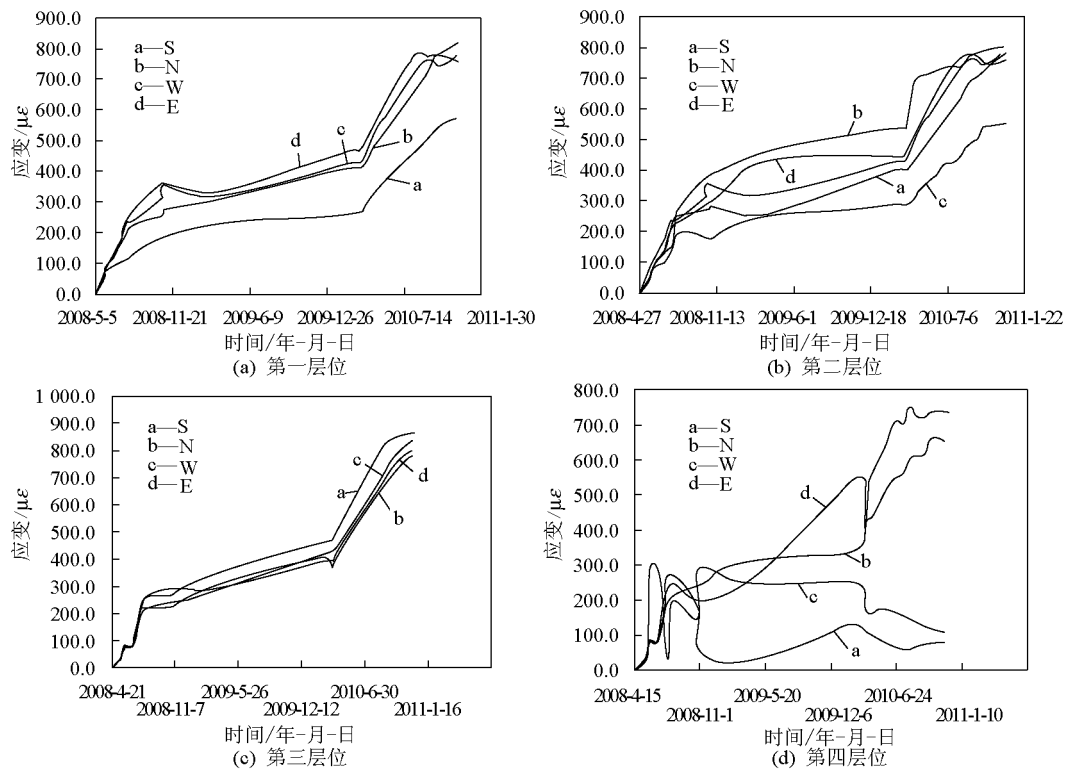


图4 内壁四层不同方位竖向应变

Fig. 4 Vertical strain of the interior shaft wall in different positions

表土段与基岩段附近具有井壁应力集中效应,不同方位的竖向应变变化规律也不完全相同。

3.2 外壁竖向应变变化分析

图5为外壁第一层位至第四层位竖向应变实测曲线。从图5可以看出:

1) 外壁竖向应变为应变积累过程,这与内壁竖向应变的演变规律一致。应变增长速率达到 $100 \sim 300 \mu\epsilon/a$, 井筒刚刚建成,井壁即受到附加力的作用,其应变随时间而逐步积累。

2) 应变速率的增长和内壁竖向应变增长速率基本相当,但波动较大。这是由于外壁直接和周围土层接触,应变增长速率在不同层位和不同方位的差异性较大。

3) 冻结融化期间,周围土层溶化后,外层井壁竖向应变的积累速率即呈现出加速趋势,整体上亦可划分为两个阶段。

3.3 内外壁竖向应变协调分析

将内外层井壁实测竖向应变综合分析,如图6所示。从图6可以看出:

1) 孔庄煤矿混合井内外层井壁竖向应变的变化趋势基本相同,但由于采用了泡沫塑料板双层钢

筋混凝土复合井壁结构,因此内外壁的竖向应变数值不完全相同。

2) 冻结壁未完全融化阶段:外壁的竖向应变累计量略微大于内壁,如第四层和第三层,而第一层的两者基本一致。第一层和第三层处于细砂层中,第四层则处于风化基岩中,两种材料冻结强度大,且和井壁之间冻结后的粘结强度大,地层分担一部分载荷,因此该层位外壁的竖向荷载传递给内壁较少。第二层内壁略大于外壁,此土层为粘土层,冻结的强度小于砂土和风化基岩,因此外壁承担的载荷相对较大,传递给内壁的载荷也相对较大。

3) 冻结基本融化后阶段:外壁载荷主要受井壁和土层之间的界面摩擦性能的影响,故外壁竖向应变的增长速率主要随土层性质的差异而变化。摩擦系数:风化基岩 > 粘土层 > 饱和细砂层,因此第四层风化基岩段外壁竖向应变增长速率最快,其次是第二层粘土层,最小的是第一层和第三层细砂层。相对于内壁而言,由于外层井壁采用短段掘砌施工工艺,井壁不可避免产生裂缝,不再处于弹性状态,混凝土井壁应力将产生应力重分布,导致一些部位的竖向应力降低,出现内壁竖向应变大于外壁的情形。

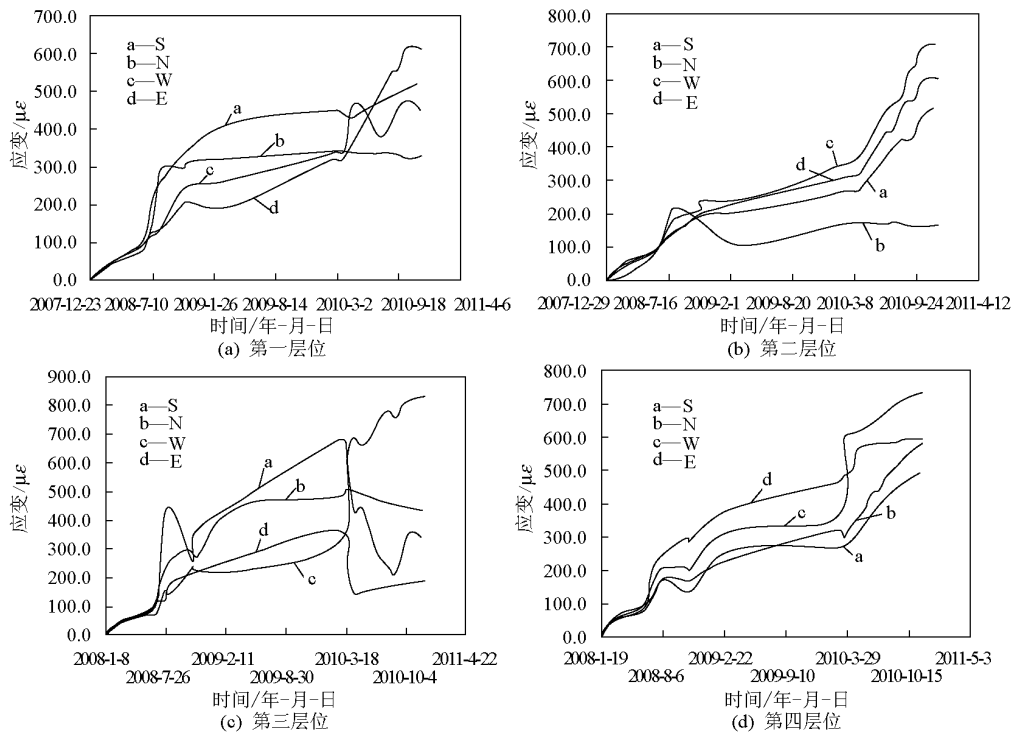


图5 外壁四层不同方位竖向应变

Fig.5 Vertical strain of the exterior shaft wall in different positions

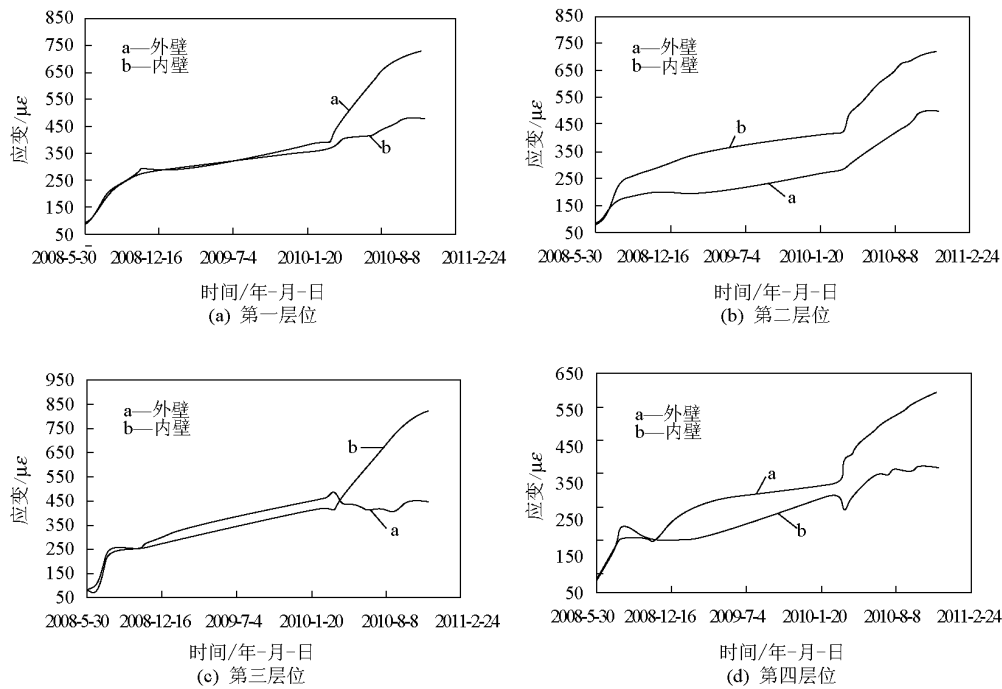


图6 内外壁竖向应变比较

Fig.6 The comparison of vertical strains between interior and exterior shaft wall

4 结语

1) 孔庄煤矿混合井井壁竖向应变(内壁和外

壁)均表现出应变积累过程,应变增长速率达到 $150 \sim 300 \mu\epsilon/a$,说明井筒刚刚建成,井壁即受到附加力的作用,其应变随时间而逐步积累;冻结壁基本融化

后,地层固结沉降过程加速,内外层井壁竖向应变的积累速率均呈现出加速趋势。

2)孔庄煤矿混合井第四层竖向应变速率呈现出一定的差异性,这和埋设层位的地层条件相关,第四层处于基岩风化带。由于在井筒表土与基岩段附近具有井壁应力集中效应,因此不同方位的竖向应变变化规律也不完全相同。

3)孔庄煤矿混合井内外层井壁竖向应变的变化趋势基本相同,量值不完全相同。冻结壁未完全融化阶段,差异主要由监测层位岩层材料的冻结特性决定;冻结壁基本融化后,井壁和土层之间的界面摩擦性能起主导作用;由于外层井壁采用短段掘砌施工工艺,井壁不可避免产生裂缝,不再处于弹性状态,混凝土井壁应力将产生应力重分布,导致一些部位的竖向应力降低,出现内壁竖向应变大于外壁的情形。

4)依据目前监测数据,孔庄煤矿混合井井壁是

安全的,但是鉴于冻结壁基本融化后应变的增长速率明显加快,同时不同方位的速率差异较大,建议继续加强观测。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 王书磊,胡 斌,安新豪. 深厚表土冻结法凿井井壁安全监测技术[J]. 煤炭技术,2008,27(5):100-104.
- [3] 蔡海兵,程 桦,姚直书,等. 深厚表土层冻结外层井壁受力状况的监测及分析[J]. 煤炭科技,2009,37(2):37-41.
- [4] 张黎明,王在泉,卢则阳,等. 基于井壁监测信息的竖向附加力反演及井壁破坏分析[J]. 煤炭学报,2009,34(5):619-623.
- [5] 高 杰,王在泉,程金遥,等. 水位下降诱发深厚表土井壁的附加应力研究[J]. 地下空间与工程学报,2009,5(5):873-878.
- [6] 周 扬,周国庆. 塑料板夹层双层井壁的轴对称变形分析[J]. 煤炭学报,2010,35(9):1470-1475.

Stress observation of shaft-lining wall during construction and initial operation

Wen Dehua

(Shanghai Datun Energy Co., Ltd., Peixian, Jiangsu 221000, China)

[**Abstract**] For searching the stress and deformation law of blended shaft-lining during construction and initial operation, sensors were buried in interior and exterior wall of shaft-lining, and automated monitoring system was created. The stress and deformation law was obtained by analyzing the test results. With the law, we can forecast the long-term safety of shaft lining and provide scientific decision evidence for preventive and treating measures of broken wall.

[**Key words**] shaft-lining monitoring; thick topsoil; strain; additional force

(上接 37 页)

[**Abstract**] Aiming at the geographical characteristics of China's coalbed methane (CBM) fields and the problems of CBM surface low-pressure gathering, this work proposes a new CBM surface gathering approach suitable for the current situation of China, which combines both the centralized mode and the distributed mode. We made a joint research and achieved a great technological breakthrough on key technical and scientific issues within the CBM low-pressure gathering system, especially particularly focusing on low-pressure gas gathering technology, skid-mounted liquefaction equipment development, produced-water treatment, environmental protection technologies, and automated data collection and network based on management for CBM production and gathering system. It has formed a complete CBM surface gathering and monitoring process technology adapting to the features of China's CBM industry, and developed a series of low-cost, safe, economic and practical production equipment and commissioning systems, and all innovation results have been applied in the China's national CBM development testbed project.

[**Key words**] coalbed methane (CBM) development; low-pressure gas gathering technology; liquefied in skid-mounted package; produced-water treatment; automated data collection and network based management