

特殊采煤与矿区环境治理

采动影响区浅埋输气管道调整技术与应用设计

戴华阳¹, 廖孟光¹, 王继林², 阎跃观¹, 李思奇²

(1. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2. 山西潞安环保能源开发股份有限公司 五阳煤矿, 山西 长治 046205)

[摘 要] 为解决五阳煤矿浅埋输气管道下压煤开采问题, 针对矿区浅埋输气管道压煤的特点, 提出了抗采动变形调整装置——可调光面基座管道调整技术, 并给出了具体的技术参数。结合五阳矿管道压煤的具体条件, 设计可调光面基座间距和施工步骤, 管道调整技术仅 7801 工作面可解放压煤 925kt, 实现大口径管道压煤的安全开采。该抗变形装置施工作业简便, 为管道压煤开采提供了一种新的途径。

[关键词] 浅埋管道; 管道压煤; 管道调整; 可调光面基座

[中图分类号] TD223 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2013) 05-0069-04

Technology of Adjusting Shallow-buried Gas Pipeline in Mining Influence Area and Application Design

DAI Hua-yang¹, LIAO Meng-guang¹, WANG Ji-lin², YAN Yue-guan¹, LI Si-qi²

(1. Earth Science & Survey Engineering School, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Wuyang Colliery, Shanxi Lu'an Green Energy Development Co., Ltd., Changzhi 046205, China)

Abstract: In order to solve the problem of mining coal under shallow-buried gas pipeline in Wuyang Colliery, anti-mining deformation adjusting device-adjustable smooth base pipeline adjustment technology was put forward and specific technical parameters were present. On the basis of specific condition of Wuyang Colliery, pipeline adjustment technology made 925kt coal was mined in 7801 Mining Face. Safe mining coal under large-caliber pipe was realized. Construction of this anti-deformation device was simple and it provided a new approach for mining under pipeline.

Key words: shallow-buried pipe; coal under pipeline; pipeline adjustment; adjustable smooth base

目前, 我国浅埋管道工程日益增多, 截止到 2012 年上半年, 我国目前已有管线长度 9.3×10^4 km, 预计到 2015 年, 我国管线总长度将达 15×10^4 km, 平均每年以 2×10^4 km 的速度增加^[1]。随着国家西部大开发战略的实施, 特别是西气东输等重点项目的推进, 管道工程呈快速发展的趋势。大量管线不可避免地通过煤矿开采区和采空区上方, 且部分管线横穿矿区, 极大地限制了采区的合理布置, 矿区管线压煤问题凸显, 严重制约了煤矿的可持续发展, 对输气管道的安全运营造成威胁。

煤矿开采区管道受回填土重量引起的外压力和采矿开挖等因素造成的不均匀沉降引起的管壳内力等的影响。由于浅埋管道受力的特殊性和危险性, 国内外许多学者^[2-7]从力学角度(弹性地基梁、材料力学等)进行研究分析, 提出了管线求解公式并提出相应的维护措施。此外, 管道压煤的特点为延伸性, 相互之间联系密切; 且管道的运输体一

般具有可燃、易爆和腐蚀等特点, 具有一定的安全隐患。矿山开采对地表浅埋管道损害严重, 文献[8]对管道压煤开采进行相似材料模拟研究, 得出管道下方地层的下沉量大于管道的下沉量, 易造成管道悬空, 使管道的安全存在隐患; 管道纵剖面上方地表出现隆起和裂缝, 造成土地破坏; 文献[9]提出对采空区管道的应急处治工程技术, 总结出采煤沉陷区的处治经验。浅埋管道压煤的安全开采成为我们面临的难题。

目前, 我国管线压煤常用方法为留设管道保护煤柱或管道改线等。保护煤柱的留设与铁路下采煤相似, 虽能很好地保护管道, 但以浪费大量的煤炭资源为代价; 管道改线需要重新埋设管道, 使管道的成本提高、征地复杂。对管道采取保护措施成为管道压煤开采的较佳方法。文献[10]系统地介绍了管道不停输抬管技术在采空区的应用, 但这种技术采用起吊装置调整管道, 只能粗略作业, 操作

[收稿日期] 2013-06-14

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(50974122); 博士学科点专项科研基金资助项目(20110023110014)

[作者简介] 戴华阳(1964-), 男, 湖南湘阴人, 教授, 博士生导师, 测绘与土地利用系主任。

工艺繁琐且操作人员较多, 不适用各种沉陷地表条件下的实施, 难以满足生产的需要。

本文基于开采沉陷理论^[11], 设计一个类似于基座的抗采动变形装置, 实现了垂直方向和水平方向对管道进行实时调整, 及时释放管道应力, 确保开采后管线位置与开采前一致, 既能确保管道的安全运营, 又开采了管道压煤。

1 抗采动变形装置调整管道技术

1.1 可调光面基座

工作面开采所引起的地表不均匀沉降, 会使管道产生应力集中而导致管道破坏。本文提出的抗采动变形装置可以克服煤矿开采地表下沉、水平移动, 以及各种变形对浅埋管道的影响, 避免管道遭受地表移动变形损害。

浅埋输气管道抗采动变形调整装置, 如图 1 所示, 包括开挖管沟、用于支撑管道的光面垫板和用于支撑光面垫板的可调基座, 光面垫板安放在可调基座顶部, 光面垫板和可调基座均位于开挖管沟内。由于抗采动变形装置具有光面、可调的特点, 故称之为可调光面基座。

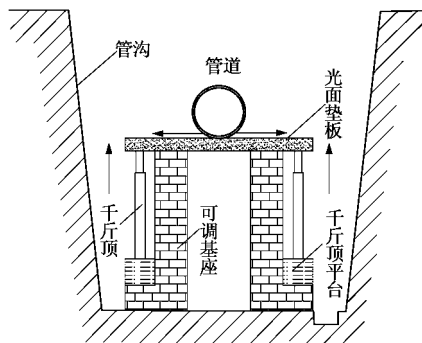


图 1 可调光面基座结构示意图

浅埋输气管道可调光面基座通过两侧千斤顶抬升光面垫板高度或置平光面垫板, 使输气管道保持水平和原来的标高; 通过光面垫板与管道间的滑动, 使地表水平移动不致带动管道; 挖开覆盖层让管道裸露, 并使其两侧留设足够的开挖宽度, 可使管道与光面垫板之间有充足的移动空间。

1.2 可调基座间最大跨度计算

由于管道自身具有弹性, 在其允许的弯曲变形内, 管道本身的强度指标是不会发生明显改变的, 因此可以认为是安全的, 文献 [12] 利用有限元模拟了 X52 钢无缺陷管道, 得出了其最大安全悬空长度不超过 30m。根据弹性自由理论, 将管道简化成两端固定、载荷分布均匀的简支梁。本文参考 SY/T0330-2004 《现役管道不停输移动推荐作法》

中相关的计算公式^[13]。

(1) 管沟长度 最小管沟长度是指在轴向应力不超过轴向应力极限时, 管道跨度中点到特定的绕度值的长度, 计算公式为:

$$L = \sqrt{\frac{(3.2 \times 10^6) D \Delta + (5.34 \times 10^5) \Delta^2}{F_D SMYS - S_E}} \quad (1)$$

式中, D 为管道外径, mm; F_D 为设计系数, 取 0.9; $SMYS$ 为管子规定最小屈服强度, MPa; S_E 为原有轴向应力, MPa; Δ 为管道中跨垂直绕度, 即管沟长度内最大的垂直绕度, mm。在开采沉陷中对管道基础进行沉降预测时, Δ 为管道的最大下沉值。

原有轴向应力的计算公式为:

$$S_E = S_P + S_T + S_C$$

式中, S_P 为由内压产生的轴向拉伸应力, MPa; S_T 为由于温度变化产生的管道轴向拉伸应力, MPa; S_C 为管道中由弹性弯曲产生的原有轴向应力, MPa, 取 0。

由内压产生的轴向拉伸应力的计算公式为:

$$S_P = \frac{pD\mu}{2t}$$

式中, p 为管道最大内工作压力, MPa; μ 为钢材泊松比, 取 0.3; t 为管子公称壁厚, mm。

由于温度变化产生的管道轴向拉伸应力的计算公式为:

$$S_T = E\alpha(T_1 - T_2)$$

式中, E 为钢材弹性模量, 2×10^5 MPa; α 为钢材线性热膨胀系数, 6.5×10^{-6} mm/(mm·°F); T_1 为管道安装时的温度, °F; T_2 为管道移动时的工作温度, °F。

(2) 支撑座间的最大跨度 以四支点均布荷载梁为基础, 支撑座间的最大跨度 L_S 为

$$L_S = \sqrt{\frac{1.52 S_A (D^4 - d^4)}{D^3 - 0.8724 d^2 D}} \times 10^2 \quad (2)$$

式中, S_A 为许用轴向弯曲应力, MPa, $S_A = F_D SMYS - S_E - S_S$; S_S 为拉伸轴向应力, MPa, $S_S = 2.67E (\Delta/L)^2$ 。

1.3 可调光面基座间距的主要影响因素

(1) 管道地基沉降 为分析可调光面基座间最大跨度的主要影响因素, 以五阳煤矿天然气管道和煤气管道为例, 根据公式 (2) 计算得出可调光面基座与管道地基沉降的关系如图 2 所示, 并得出曲线的线性拟合公式如下:

天然气管道

$$L_S = -0.0035W + 62.625$$

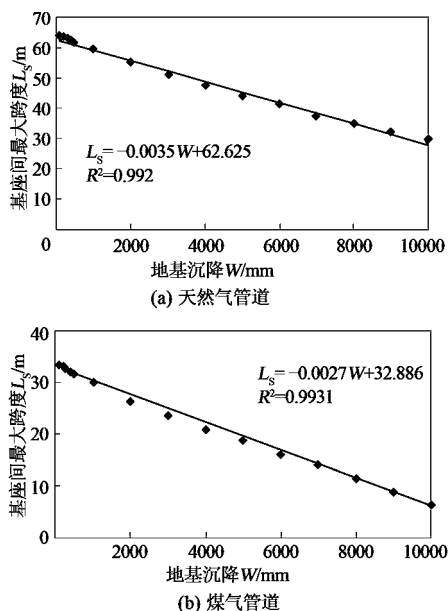


图2 可调光面基座间最大跨距与地基沉降的关系

$$R^2 = 0.992$$

式中, W 为管道的最大下沉值, mm。

煤气管道

$$L_s = -0.0027W + 32.886$$

$$R^2 = 0.9931$$

(2) 管材的屈服强度 由图2可知,天然气管道采用X70级钢管,其屈服强度482.76MPa, $SMYS/62.625 = 0.13$;煤气管道采用Q235B螺旋钢管,屈服强度为235MPa, $SMYS/32.886 = 0.14$,由此可知,管材的屈服强度也是可调光面基座间距的主要影响因素之一。因此,综合得出管道调整装置设置间距的计算公式:

$$L_s = -0.003W + 0.14SMYS \quad (3)$$

影响管道间距的最主要因素为管道基础下沉量和管材,即可调光面基座间最大跨度与管道基础成

反比,与管材的屈服强度成正比。

2 实例应用

2.1 研究区概况

潞安五阳煤矿目前矿井生产能力3Mt/a。七八采区7801工作面位于+600m水平,走向长1910m,倾斜长220m,工作面标高为+423~+500m,地面标高+873~+884m。区域内出露地层从下至上有奥陶系、石炭系上统太原组、二迭系下统山西组、下石盒子组、上统上石盒子组和第四系。开采煤层为石炭系山西组3号煤层,平均煤厚5.25m,平均倾角5°,采用倾向长壁后退式、综放开采。

工作面7801开切眼上方有多趟天然气和煤气管道通过,其中2条煤气管道平行通过工作面上方,与1条天然气管道斜交,工作面与输气管道的相对位置如图3所示,管道的具体规格和用途见表1,输气管道平均埋深1.5m。由图3可知,浅埋输气管道压占了大量的煤炭资源,严重地制约了煤炭资源的开采。

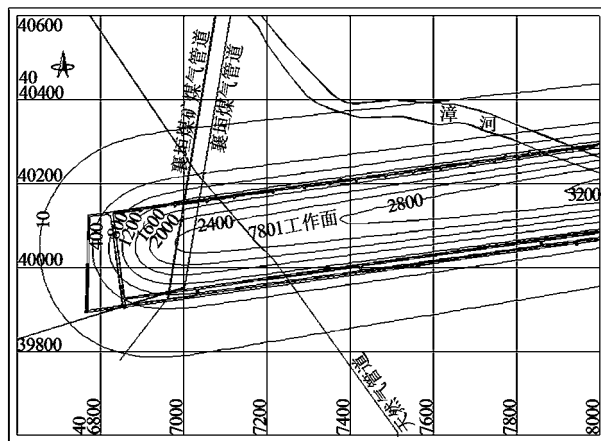


图3 管道与工作面位置和采后下沉等值线

表1 五阳煤矿输气管道规格与用途

序号	名称	材料	外径/mm	壁厚/mm	最大工作压力/MPa	备注
1	天然气管道	X70 钢管	1016	21	10	属于国家“西气东输”管线的一部分,此管线正在建设。
2	襄垣煤矿煤气管道	Q235B 螺旋钢管	630	10	0.6	属于襄垣煤矿,主要供应襄垣县煤矿。
3	襄垣煤气管道	Q235B 螺旋钢管	630	10	0.6	属于襄垣煤气公司,主要供应襄垣县民用设施,公共福利设施以及商用设施,其中民用设施占大部分。

2.2 开采沉陷预计

目前主要的开采沉陷预计模型主要有概率积分法、典型曲线法和剖面函数法等。其中概率积分法是一种基于随机介质理论,以正态分布函数为影响函数,用积分形式来表示地表下沉盆地的预计地表及岩层移动变形的的方法,以其理论推导严密、计算方式简单、所求参数较少、适用方便等较其他预计方法优越的特点,在我国得到较为广泛的应用^[14]。

(1) 预计参数 为分析7801工作面开采对地表浅埋输气管道的损害程度以及提出相应的维护措施,采用中国矿业大学(北京)研制的开采沉陷分析软件系统MSAS,对五阳煤矿7801工作面的开采造成地表移动和变形进行分析。预计参数^[15]选用如下:地表下沉系数 $q = 0.85$;水平移动系数 $b = 0.31$;主要影响角正切 $\tan\beta = 2.7$;拐点偏移距系数 $S/H = 0.13$;开采影响传播角系数 $k_0 = 0.8$ 。

(2) 预计结果 7801 工作面的开采造成地表最大下沉 3642.4mm, 倾斜变形为 $-30.78 \sim 31.2\text{mm/m}$, 曲率为 $-0.615 \sim 0.35\text{km}^{-1}$, 水平移动 $-1279.4 \sim 1272\text{mm}$, 水平变形为 $-25.25 \sim 14.27\text{mm/m}$, 由于篇幅所限, 这里只给出地表下

沉等值线图 (如图 3 所示)。

为研究工作面开采对地表浅埋输气管道的影响, 在管道层位上沿管线作剖面, 开采沉陷预计结果如图 3, 管道的各种移动变形最大值见表 2。

根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱

表 2 管道的移动变形预计最大值

管道名称	$W_{\max}/\text{mm}$	$i_{\max}/(\text{mm} \cdot \text{m}^{-1})$	$K/(\text{km}^{-1})$	$u_{\max}/\text{mm}$	$\varepsilon_{\max}/(\text{mm} \cdot \text{m}^{-1})$	$-\varepsilon_{\max}/(\text{mm} \cdot \text{m}^{-1})$
天然气管道	2657.9	17.91	$-0.220 \sim 0.107$	1054.8	5.71	12.18
襄垣煤矿煤气管道	2430.5	17.40	$-0.327 \sim 0.150$	996.8	8.59	18.69
襄垣煤气管道	2538.8	18.28	$-0.341 \sim 0.157$	1042.2	8.93	19.36

留设与压煤开采规程》附表可知^[16], 有接头的、铺设在砂质黏土上的 3 号钢煤气管道允许的水平变形值为 2.0mm/m , 预计结果表明地基沉降已超过管道允许的水平移动变形值。因此, 若不采取保护措施, 7801 工作面的开采将会对地面浅埋管线 (1 条天然气管道和 2 条煤气管道) 造成严重损坏。

2.3 可调光面基座的应用

可调光面基座调整管道技术采用大开挖结合抬升管道工艺, 具体的施工程序是: 管沟开挖—管道监测—预设可调光面支座—实时调整管道—回填管沟。结合五阳煤矿 7801 工作面地表浅埋输气管道压煤开采的具体应用, 调整管道作业步骤如下:

(1) 管沟开挖 为了释放管道应力以及不受上层表土的作用, 先除去开采影响范围内管道的上层表土, 使管道裸露出来, 管沟宽度应大于管道预计的水平移动量。根据开采沉陷预计, 对开采影响区管线进行管沟开挖, 天然气管道需要开挖 810m, 襄垣煤矿煤气管道 880m, 襄垣煤气管道 980m, 其中管沟宽度为 2m。

(2) 管道监测 利用测量仪器对开采影响段裸露的管道部分进行监测, 将管道实测的坐标和高程值与开采沉陷预计值进行对比, 并根据差值结果及时进行修正。

(3) 预设可调光面基座 由公式 (3) 计算可得, 天然气管道基座最大跨距为 59.9m, 襄垣煤矿煤气管道为 25.6m, 襄垣煤气管道为 25.3m。根据现场施工作业方便和现设管道的安全使用, 最终确定天然气管道基座间距取 20m; 煤气管道基座间距取 10m。另外, 下沉值大于 400mm 需预设基座, 管道交叉处的上侧管道每侧 5m 内需预设基座。因此, 天然气管道需要预设基座 23 个, 襄垣煤矿煤气管道 44 个, 襄垣煤气管道 36 个。

(4) 实时调整管道 由于预设可调光面基座在水平方向管道可以左右移动, 在调整管道时, 不需考虑管道水平移动量的大小, 只需用千斤顶来调

整基座光面垫板的高度即可。调整管道作业时, 每个可调光面基座至少需要 3 人, 其中 2 人位于基座的两侧, 通过千斤顶来抬升或调平光面垫板 (两者同时进行操作), 并及时加高基座。随着工作面 7801 的推进, 地表移动与变形会不断变化, 需要实时调整基座。

(5) 回填管沟 地表沉降和管道调整必然会使基座间管道悬空, 长期悬空会使管道产生弯曲变形以及不确定性因素 (如人为因素、外部环境因素等) 损坏。因此, 在调整管道结束后, 管道悬空的部分用土壤填实, 使管道重新受力平衡, 且在管道的上方铺设泡沫碎屑。

3 结论

(1) 基于开采沉陷理论, 提出了抗采动变形的浅埋输气管道调整装置可调光面基座。该抗变形装置施工作业简便、快捷, 解决了管道通过煤炭沉陷区资源回收与管道安全的难题, 为管道压煤开采提供了一种新的途径。

(2) 根据管道自身的弹性和强度指标, 参考相关管道规程, 对浅埋输气管道可调光面基座间最大跨度进行了计算, 并分析了可调光面基座的主要影响因素。

(3) 结合五阳矿 7801 工作面浅埋管道压煤现状, 提出了管道压煤开采方案和施工步骤。管道调整技术应用可带来良好的经济效益。

(4) 工作面开采过程中, 应加强管道的变形监测、开采沉陷预测、管沟排水和巡视, 确保管道运营安全和基座的稳定。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国国土资源部. 我国油气管道总长度已达 9.3 万千米 [EB/OL]. http://www.mlr.gov.cn/xwdt/kyxw/201207/t20120706_1118766.htm, 2012-07-06.

[2] 高田至郎. 受地基沉降影响下的地下管线的设计公式及应用

(下转 89 页)

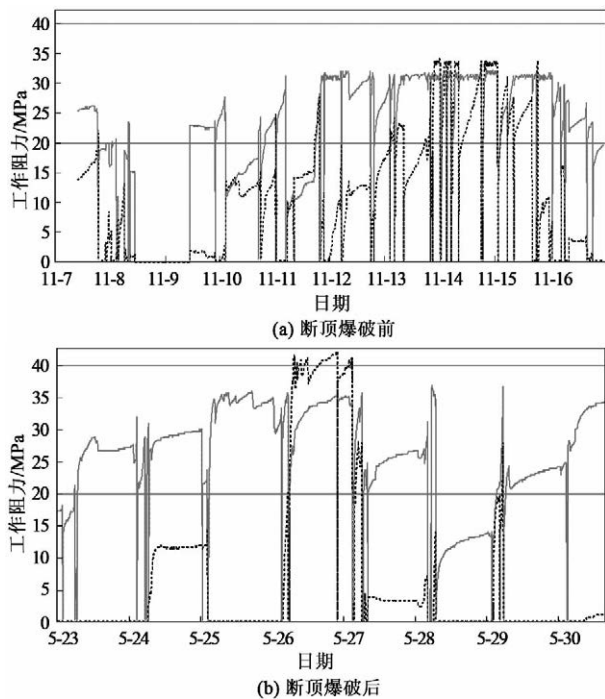


图3 工作面来压期间支架工作阻力曲线

5 结论

(1) 21141 工作面强冲击危险的载荷源为: 大埋深及孤岛区南北侧采空区悬顶共同导致的高水平静载荷, 回采过程中巨厚砾岩顶板断裂引起的强烈

动载荷。

(2) 鉴于煤层厚度及直接顶厚度过大, 为兼顾防冲效果与施工难度, 对直接顶进行爆破预裂, 为上部砾岩的弯曲提供充分的自由面, 从而促进砾岩的断裂及垮落。

(3) 对 21141 工作面下巷顶板预裂爆破效果进行分析, 工作面内能量大于 10^4 J 的微震事件较爆破之前 3 个月下降了 30%, 顶板来压强度显著降低, 表明爆破预裂作用改变了顶板断裂及垮落的形态, 总体上使得能量的释放更加均匀, 有利于降低巷道冲击危险性。

【参考文献】

- [1] 齐庆新, 窦林名. 冲击地压理论与技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [2] 齐庆新, 雷毅, 李宏艳, 等. 深孔断顶爆破防治冲击地压的理论与实践 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007 (S1).
- [3] 刘立志. 坚硬顶板卸压爆破对冲击矿压防治的数值分析 [J]. 山东煤炭科技, 2010 (2).
- [4] 李浩荡, 蓝航, 杜涛涛, 等. 宽沟煤矿坚硬厚层顶板下冲击地压危险时期的微震特征及解危措施 [J]. 煤炭学报, 2013 (S1).
- [5] 李志华, 窦林名, 张小涛, 等. 坚硬顶板卸压爆破对冲击矿压防治的数值分析 [J]. 中国煤炭, 2006 (2).
- [6] 张学亮, 贾光胜, 徐刚. 深孔爆破弱化坚硬顶板参数优化分析 [J]. 煤矿开采, 2010, 15 (1). [责任编辑: 潘俊锋]
- [9] 高艳玲. 输气管道通过采煤沉陷区的处治技术研究 [J]. 山西建筑, 2012, 38 (17): 100-101.
- [10] 么惠全, 冯伟. 抬管技术在通过采空区管道的应用 [J]. 油气储运, 2011, 30 (6): 449-452.
- [11] 何国清, 杨伦, 凌赓娣. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
- [12] 于东升, 宋汉成. 输气管道悬空沉降变形失效评估 [J]. 油气储运, 2012, 31 (9): 670-677.
- [13] 国家发展和改革委员会. SY/T0330-2004 现役管道的不停输移动推荐作法 [S]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [14] 刘宝琛, 廖国华. 煤矿地表移动的基本规律 [M]. 北京: 中国工业出版社, 1965.
- [15] 滕永海. 综采放顶煤地表沉陷规律及机理研究 [D]. 中国矿业大学 (北京), 2006.
- [16] 中华人民共和国煤炭工业部. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000. [责任编辑: 徐乃忠]

(上接 72 页)

[A]. 地下管线抗震 [C]. 北京: 学术书刊出版社, 1990.

- [3] Wang Guoxin, Wang Weizheng, Zhao zhen, et al. Seismic Response of Buried Pipelines During Liquefaction [A]. International Conference on Engineering, Construction and Operations in Challenging Environments [C]. Houston: ASCE, 2006: 1-8.
- [4] 赵瑞宝, 李金陆. 天然气长输管线弹性沉降的理论研究与应用 [J]. 煤气与热力, 2000, 20 (5): 369-371.
- [5] 余娟. 天然气埋地管道沉降理论与试验研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2008.
- [6] S Limura. Simplified Mechanical Model for Evaluating Stress in Pipeline Subject to Settlement [M]. Construction and Building Materials, Elsevier, 2004, 469-479.
- [7] 徐旭, 姚满喜, 常莹. 复杂应力状态下埋地大口径管道沉降分析 [J]. 上海大学学报 (自然科学版) 2011, 17 (2).
- [8] 祝琨. 管道压煤开采的相似材料模拟实验研究 [J]. 煤矿开采, 2010, 15 (2): 41-43.

(上接 114 页)

- [8] 武莹莹. 对煤炭行业职工管理培训的研究 [J]. 中国成人教育, 2010 (24): 20-21.
- [9] 马小雨, 黄贻彬. 基于 ASP.NET 的煤炭管理信息系统的设计方法 [J]. 煤炭技术, 2011, 30 (10): 145-147.
- [10] 李明. 浅析实施国有煤炭企业多元经营战略 [J]. 煤炭技术, 2012, 31 (9): 279-280.

- [11] 陈益民. 企业人力资源培训效果评估模型量化初探 [J]. 开发研究, 2009 (6): 131-134.
- [12] 高艳, 惠晨. 中小企业员工培训问题研究——以 A 公司为例 [J]. 中国人力资源开发, 2012 (6): 48-52.
- [13] 赵鹏飞, 聂百胜. 煤矿企业从业人员安全激励模式研究 [J]. 煤矿开采, 2012, 17 (6): 95-97.

[责任编辑: 李青]