

急倾斜煤层采空区地表变形对管道的影响研究

王涛¹⁾, 魏善明¹⁾, 姜秉霖¹⁾, 李龙²⁾

1) 山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队, 济南, 250014;

2) 山东省地矿工程集团有限公司, 济南, 250014

内容提要:以拟建茶山矿区急倾斜采空区影响的潜江-韶关段管道为研究背景,从开采完成和采动过程中急倾斜采空区对管道影响进行研究。分析采空区地表变形移动对输气管道的影响,给出管道安全初步评价方法,并利用概率积分法对急倾斜采空区场地的管道安全进行预测评价,研究对以急倾斜煤层采空区场地敷设管道的安全运营有重要意义。

关键词:急倾斜煤层,采空区,概率积分法,管土相互作用

随着管道工程建设需求的不断增大,煤矿采空区场地管道稳定性问题尤其是在大倾角煤层开采沉陷作用下输气管道变形破坏机制问题迫切需要解决。因此进行急倾斜采空区场地输气管道变形破坏规律研究,有利于防范管道变形的产生、发展,避免和减少大倾角煤层采空区对输气管线的破坏,对保证输气管道安全运营有着重要意义。

目前国内外主要研究方向是针对缓倾斜采空区的地表移动变形与管道的相互作用。而对于急倾斜煤层采空区对上覆管道的变形破坏研究方面,目前国内外的研究不多。根据相关研究表明,缓倾斜煤层采空区地表变形的预计方法将一定变量条件按规定要求换算后仍能适用于急倾斜煤层。本次主要从当前研究背景下采空区地表移动变形破坏特征入手,利用传统预计方法对采空区对上覆输气管道产生的影响进行分析。

1 工程概况

拟建的潜江-韶关输气管道工程位于广东省韶关市浈江区犁市镇,途径茶山矿区和思茅坪勘探区(茶山南),场地南侧紧挨着钟屋村,北侧为长地头村,东侧靠近着大岭村和西岸村,西北侧靠近着龙村和宋屋,省道246从评价场地的南侧、西侧、北侧、东侧经过,S48韶关北环高速距评价场地南端约

为3.8km。

矿区中心地理坐标为东经113°34′00″,北纬24°57′13″,矿区面积为9.0km²。由于采矿活动,矿区植被稀疏,个体小煤窑遍布矿区,由于多年来煤矿开采,地下多矿洞,同时植被覆盖,大部分老窑口、斜井、平硐、竖井等无法查询到具体位置,采空区的分布和规模很难调查和勘探清楚;同时矿区内可采煤层七层,其中21、16、15、12、11、10、6、4号煤层全区比较稳定,7号煤层为局部可采煤层,煤层倾角普遍在59°~84°,其中6煤层最大倾角达到85°。多煤层急倾斜分层开采采空区的形成非常复杂,采空区影响范围内的地表沉降变形也往往会出现塌陷坑、台阶状裂缝等非连续下沉变形等。

2 地表变形分析

为了研究输气管道安全性及其下覆采空区稳定性,首先从研究区地表变形进行分析,采空区地表移动变形可分为三类(Zhang Haoran et al., 2013; Liu Jianwei, 2015; Liu Mingyang, 2009),具体特征如下:

(1)地表连续移动变形破坏:地表连续移动变形对输气管道的破坏相对较小,若管道通过该类型破坏区时,管道在一定范围内随着地表下沉而发生弹性变形,当地表下沉过大时,则有可能使管道变形

收稿日期:2019-08-08;改回日期:2019-09-10;责任编辑:李曼。

作者简介:王涛,男,1975年生。水工环高级工程师,主要从事水文地质、工程地质、环境地质工作。Email:shuihuan801@163.com。

引用本文:王涛,魏善明,姜秉霖,李龙. 2019. 急倾斜煤层采空区地表变形对管道的影响研究. 地质学报, 93(s1):314~318, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019257.
Wang Tao, Wei Shanming, Jiang Binglin, Li Long. 2019. Effect of surface deformation of steeply inclined goaf on pipeline. Acta Geologica Sinica, 93(s1):314~318.

超出允许范围,给管道造成破坏。对于此类变形,目前已有成熟的预计理论,其中概率积分法是我国应用最为广泛、最为成熟的方法。

(2)地表非连续移动变形:煤层开采引起地表变形时,除了产生上述连续移动变形,大多数情况还会产生非连续移动变形破坏。其主要表现形式为塌陷坑、塌陷槽、地表裂缝和台阶。此类变形破坏具有难以预测、突发性、隐蔽性等特点,通常情况下只能针对具体事件对其进行定性评判与危险性界定,有时还需借助工程勘测等手段来确定它的稳定性。此类变形区场地条件下的管道破坏风险性最高,对管道造成的危害也最为严重。一旦破坏极易引起管道弯折、断裂,造成泄漏甚至引起起火爆炸,需要对该类区域采取重点监控防治措施。

(3)地表突发性随机灾变破坏:此类变形破坏区特点与地表非连续移动变形破坏区相似,都具有突发性,难以预测性。对管道造成的危害往往也是巨大的。常发生在年代久远的老采空区;小煤矿浅部不规则开采方法形成的采空区;上覆岩层不能起到稳定支撑作用的采空区。

根据对评价场地现场勘察,场地位于山区,地表起伏较大,松散层厚约0~10m。场地下各煤层倾角较大,属于倾斜~急倾斜煤层采空区,尤其是煤层倾角大于55°的急倾斜采空区分布区发生不连续变形及突发性随机灾变的可能性大,其它区段地表移动变形为连续变形。由于评价场地沿线煤矸石分布较多,且附近村民种树、修建房屋进行过地表修整,目前已看不到明显的非连续变形。

3 场地管道变形分析

由上文可知采空区地表变形对管道产生巨大的破坏,因此对采空区地表移动变形预测显得尤为重要,也是评价采空区管道安全性的主要手段。由于茶山煤矿煤层倾角较大,属于急倾斜煤层采空区,关于急倾斜煤层的开采沉陷还存在一系列问题值得研究,尚未有完全适用于急倾斜采空区的地表沉陷预计方法,只能通过现有预计方法在一定范围内预测急倾斜煤层采空区地表的移动变形。

由于10煤埋深较浅,地质条件相对较好,便于开展研究。再加上管道途经其正上方,需考虑其对管道产生的影响。所以选取输气管道场地内10煤采空区为研究对象,通过地表变形预计常用的概率积分法来估算该采空区地表移动变形程度,对管道安全性进行初步评判;进而分析了地表移动变形对

管道产生的影响,进行研究区内管道的安全性评价。

3.1 研究区地表最大变形值预计

根据前人不断的研究与完善,概率积分预计方法已日渐成熟,其推算演变过程不在此赘述,利用充分采动条件下地表最大变形值计算公式(Zhou Xueshen et al.,2014;Jia Lingling et al.,2016),计算10煤采空区可产生的最大变形值,为后续研究提供比对。

地表最大下沉值计算公式如式1所示:

$$W_0 = mq \cos \alpha$$

(式 1)

最大倾斜值计算公式如式2所示

$$i_0 = W_0 / r$$

(式 2)

最大曲率值计算公式如式3所示:

$$k_0 = \pm 1.52 W_0 / r^2$$

(式 3)

最大水平移动值计算如式4所示:

$$U_0 = b W_0$$

(式 4)

最大水平变形值计算如式5所示:

$$\epsilon_0 = \pm 1.52 b W_0 / r$$

(式 5)

以上各式中: m 为煤层厚度; q 为下沉系数; α 为煤层倾角; b 为水平移动系数; r 为主要影响半径, $r = H_0 / \text{tg} \beta$; H_0 为平均采深; $\text{tg} \beta$ 为主要影响角正切。

地表移动盆地一般分为3个边界,即移动盆地的最外边界、危险移动边界及裂缝边界(Sun Jian et al.,2012;Me Huiquan et al.,2011;Wu Zhangzhong et al.,2010),考虑到采空区沉陷对管道的危害和研究区场地为老采空区等因素影响,此种条件下一般采用移动角圈定采空区影响范围,一般指下沉为10 mm的点所连接成的边界。参考相关资料及类似采空区场地,得出移动角参数分别如下表1所示。

根据研究区场地条件、覆岩岩性、采动次数等多因素的考虑,参考类似矿山条件的采空区基本参数和我国根据覆岩性质总结的经验数据如表2所示,得出实际地面变形参数如下:下沉系数0.85,水平移动系数0.25,影响角正切2.2(Fan Xifeng et al.,2010;Ding Dangpeng,2010;He Hai,2013)。

表 1 研究区场地移动角参数

Table 1 Site movement and boundary angle parameters in the study area

类别	参数
走向移动角 δ	65°
上山移动角 γ	75°
下山移动角 β	70°
松散层移动角 ψ	45°

表 2 不同岩性下计算参数

Table 2 Calculating parameters under different lithology

覆岩岩性	平均坚固性系数	下沉系数	水平移动系数	影响角正切
坚硬	>6	0.4~0.65	0.2~0.3	1.2~1.6
中硬	3~6	0.65~0.85	0.2~0.3	1.4~2.2
软弱	<3	0.8~1.00	0.2~0.3	1.8~2.6

已知 10 煤层厚度 0~2 m,根据急倾斜煤层等价工作面计算原则,选取 10 煤工作面的平均采深约为 50 m,结合选取的地面变形参数,代入式 1 至式 5,得出评价场地地面最大变形值参见表 3。

表 3 评价场地的最大地表变形值

Table 3 Maximum surface deformation of site

变形类型	下沉 (mm)	倾斜 (mm/m)	水平移动 (mm)	水平变形 (mm/m)	曲率 ($\times 10^{-3}/\text{m}$)
最大值	1200	53	300	20	6

3.2 管道安全性初步判断

采空区地面移动变形主要表现形式为地面塌陷,浅埋输气管道随地表沉降产生向下弯曲变形,如图 1 所示。煤层采空区管道变形破坏本质上是由地表移动变形引起的。若在地表移动变形影响下管道的下沉值不超过允许变形范围,则管道处于安全状态;若管道变形大于其允许最大变形值,管道不再随地表沉降产生同步下沉,会造成管道与土体的逐渐脱空,产生弯曲变形甚至使管道断裂,此时管道则处于危险状态。

通过地表最大下沉值与管道最大允许沉降量进行比较,可初步判断管道安全性。若地表最大下沉值在管道最大允许沉降范围内,则相对安全;若超出范围,则应进行更深入全面的分析。其中,经前人不断发展总结得出在相对理想条件下的油气管道最大允许沉降量的计算方法,具体可参照《现役管道不停输移动推荐作法》,得出管道长度值计算如式 10 所

$$\Delta = \frac{-3.2 \times 10^6 \sqrt{(3.2 \times 10^6 \times D)^2 + 4 \times 5.43 \times 10^5 \times L^2 \times (F_D \times SMYS - S_E)}}{2 \times (5.43 \times 10^5)}$$

式 10

3.3 研究区场地管道安全性估计

由于项目处于前期勘察研究阶段,缺乏足够的资料,因此采取传统评价方法对管道安全性进行评估。利用概率积分法求出 10 煤采空区影响范围内最大变形值,与图 2 所示当前场地已发生的变形值进行比对可以得出:在采空区影响范围内,采空区场地已发生 0~1200 mm 下沉,与计算得出结果基本吻合。根据计算得出场地剩余变形量,得出 10 煤采空区剩余沉降基本为 0,可以推断 10 煤采空区影响

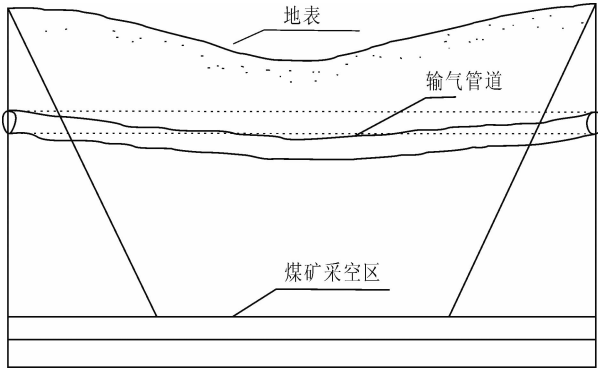


图 1 管道穿越采空区沉降区主断面示意图

Fig. 1 Pipeline crossing goaf subsidence area

示。如果管道允许沉降量小于 1200 mm,则有可能不利于管道的埋设,需要进行更为深入的研究验证对管道的影响,或采取相应防治手段进行治理。

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

式 6

$$S_E = S_P + S_t + S_C$$

式 7

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

式 8

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

式 9

式中: L 为允许产生的变形长度(m); D 为管道外径/(m); Δ 为最大沉降量/(m); F_D 为设计系数,取 0.9; $SMYS$ 为最低屈服强度(MPa); S_E 为管道原有的轴向拉伸应力(MPa); S_P 为内压产生的轴向拉伸应力(MPa); S_t 为温度产生的轴向拉伸应力(MPa); S_C 为弹性弯曲产生的原有轴向应力(MPa); p 为管道最大内工作压力(MPa); μ 为钢材泊松比,取 0.3; t 为公称壁厚(mm); E 为弹性模量(MPa); T_1 为安装时的温度($^{\circ}\text{C}$); T_2 为沉管时的温度($^{\circ}\text{C}$)。

管道在一定长度范围内的最大允许沉降量 Δ 为:

范围内已发生大规模的地表移动变形,可判断该处管道相对安全。若研究场地内剩余变形量较大时,则应根据地表剩余移动变形值确定研究场地的安全等级,并结合多种因素下采空区稳定性评价进行综合性评判,以判断采空区对管道建设是否产生影响。

4 结论

文章以拟建茶山矿区急倾斜采空区影响的潜江-韶关段管道为研究背景,从开采完成和采动过程

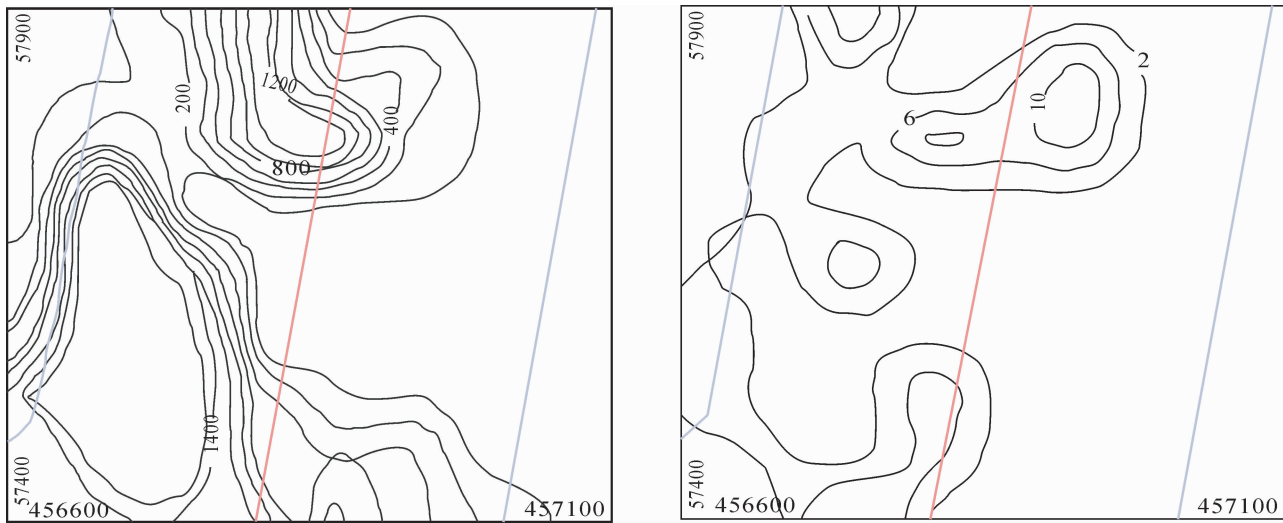


图 2 研究区变形等值线图

Fig. 2 Deformation contour map of study area

(a)—研究区沉降等值线;(b)—研究区曲率等值线

(a)—Settlement contours in the study area;(b)—curvature contour of the study area

中急倾斜采空区对管道影响进行研究,分析采空区地表变形移动对输气管道的影响,并利用概率积分法对急倾斜采空区场地的管道安全进行预测评价,主要取得了以下认识。

(1)分析得出地表变形破坏的地表连续移动变形破坏、地表非连续移动变形和地表突发性随机灾变破坏三类破坏形式、特点、对管道的危害及研究区场地地表变形的破坏分布情况。

(2)通过分析地表变形破坏对管道的影响,提出了适合本采空区场地管道安全性的初步评判方法。

(3)以 10 煤采空区为研究对象,利用概率积分法对其地表变形进行预计,计算得出场地剩余变形量,得出 10 煤采空区剩余沉降基本为 0,可以推断 10 煤采空区影响范围内已发生大规模的地表移动变形,可判断该处管道相对安全。

References

Ding Dangpeng. 2010. Study on stability evaluation and treatment plan of overburden in coal mine goaf—taking the goaf of Shagouyu coal mine in Shenmu County as an example. Master’s thesis of Chang’an University.

He Hai. 2013. Impact analysis about surface subsidence of gob area overlying oil and gas pipeline deformation. Master’s thesis of Beijing Jiaotong University.

Jia Lingling, Han Yang. 2016. Reliability Analysis of buried pipeline subjected to the settlement. Henan Science, 28(07): 24~26 (in Chinese with English abstract).

Liu Jianwei. 2015. Study on the movement laws of hard roof and control technology of thick coal seam with large mining height. Master’s thesis of China University of Mining and Technology.

Liu Mingyang. 2009. Risk evaluation of oil and gas transmission pipelines engineering above gob affection zone. Master’s thesis of Xi’an University of Science and Technology.

Me Huiquan, Feng Wei. 2011. Application of pipe lifting methodology in the pipeline across the goaf. Oil & Gas Storage and Transportation, 30(6): 449~452 (in Chinese with English abstract).

Pan Xifeng, Yu Xianwei. 2010. Research on Gob area treatment method of highway connection line. Shanxi Architecture, 36 (24): 300~301 (in Chinese with English abstract).

Sun Jian, Ma Tingxia. 2012. Application of pipeline monitoring method to goaf. Plumbing Technology and Equipment, (3): 19 ~21 (in Chinese with English abstract).

Wu Zhangzhong, Hao Jianbin, Tan Dongjie, Sun Wanming, Han Bing, Jing Hongyuan, Liu Jianping. 2010. Characteristics of pipe-soil interaction in mining collapse areas. Journal of China Geological Disaster Prevention and Control, 21(3): 77~81 (in Chinese with English abstract).

Zhang Haoran. 2013. Analysis and resource of ground deformation by golf in meihe coal mine. Master’s thesis of Jilin University.

Zhou Xueshen, Yang Zeliang, Han Peng. 2014. Rectification of long-distance pipelines buried under high filling planned roads. Natural Gas Industry, 34 (12): 118~122 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

何海. 2013. 采空区地表沉陷对上覆油气管道变形的影响分析. 北京交通大学, 硕士学位论文.

丁党鹏. 2010. 煤矿采空区覆岩稳定性评价及治理方案研究——神木县沙沟煤矿采空区为例. 长安大学, 硕士学位论文.

贾玲玲, 韩阳. 2016. 埋地管线在沉陷情况下的可靠性分析. 河南科学, 28(07). 24~26.

刘建伟. 2015. 厚煤层大采高开采坚硬顶板的活动规律及控制技术研究. 中国矿业大学, 硕士学位论文.

刘名阳. 2009. 煤矿采空影响区油气管道的危险性评价. 西安科技大学, 硕士学位论文.

么惠全, 冯伟. 2011. 抬管技术在通过采空区管道的应用. 油气储运, 30(6): 449~452.

潘希峰, 于先伟. 2010. 某高速公路连接线公路采空区治理方法研究. 山西建筑, 36(24): 300~301.

孙健, 马廷霞. 2012. 煤矿采空区管道监测方法的应用. 管道技术与设备, (3): 19~21.

吴张中, 郝建斌, 谭东杰, 孙万明, 韩冰, 荆宏远, 刘建平. 2010. 采空

塌陷区管土相互作用特征分析. 中国地质灾害与防治学报, 21 (3): 77~81.
张浩然. 2013. 梅河煤矿采空区地表变形分析研究. 吉林大学, 硕士

学位论文.
周学深, 杨泽亮, 韩鹏. 2014. 天然气长输管道通过高填方规划道路区的整治设计. 天然气工业, 34(12): 118~122.

Effect of surface deformation of steeply inclined goaf on pipeline

WANG Tao^{* 1)}, WEI Shanming¹⁾, JIANG Binglin¹⁾, LI Long²⁾

- 1) Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources 801 Branch of Hydrogeology and Engineering Geology, Jinan, 250014;
2) Shandong Provincial geo-mineral Engineering Co. Ltd, Jinan, 250014;
** Corresponding author: shuihuan801@163.com*

Abstract

This study takes the proposed pipeline of Qianjiang-Shaoguan section which affected by steeply inclined goaf in Chashan mining area as the research background. The influence of steeply inclined goaf on the pipeline were studied from the completion of mining and the mining process. We analyzed the influence of surface deformation and movement of goaf on gas pipeline, gave a preliminary evaluation method of pipeline safety, and used probability integral method to predict and evaluate pipeline safety in steeply inclined goaf site. Therefore, it is of great significance for the safe operation of pipelines to study the law of pipe-soil interaction and deformation properties in the goaf of steeply inclined coal seam.

Key words: steeply inclined coal seam; goaf; probability integration; pipe-soil interaction