

超厚黏土层冻结压力实测研究

姜国静, 王建平, 刘晓敏

(天地科技建井研究院 煤矿深井建设技术国家工程实验室 北京 100013)

摘要:为解决张集煤矿副井单层超厚黏土的冻结技术难题,对冻结井壁的受力状况进行了现场实测,获得了冻结压力、外壁环向钢筋、竖向钢筋应力等数据,并对数据进行了分析。研究表明:超厚黏土层冻结压力的增长速度较快,在第5天接近最大值;冻结压力主要由外壁环向钢筋承担;冻结压力初期增速受黏土层的厚度影响很大。结合张集煤矿副井实测数据进行线性回归分析,得出最大冻结压力随地层深度的线性回归方程 $P_{\max} = 0.019H - 2.831$ 。

关键词:超厚黏土层;冻结压力;钢筋应力;冻结凿井法

中图分类号:TD262

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2013)03-0043-04

Study on Frozen Pressure Measurement of Ultra Thick Clay Stratum

JIANG Guo-jing, WANG Jian-ping, LIU Xiao-min

(National Engineering Lab of Deep Mine Shaft Construction Technology, Mine Construction Research Institute,
Tiandi Science and Technology Company Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In order to solve the max freezing technical difficulty of the single ultra thick clay in the auxiliary shaft of Zhangji Mine, a site measurement was conducted on the stress status of the freezing shaft wall, the freezing pressure, ring reinforced bar of the shaft outer liner, vertical reinforced bar stress and other data were obtained and the analysis was conducted on the data. The study showed that the increasing speed of the freezing pressure of the ultra thick clay layer was fast and would reach the max value about 5 days. The freezing pressure would be born mainly by the ring reinforced bar of shaft outer liner. The initial freezing pressure would be increased by the thickness of the clay layer. In combination with the site measured data of Zhangji Mine, a linear regression analysis was conducted and a linear regression equation of the max freezing pressure with the stratum depth was $P_{\max} = 0.019H - 2.831$.

Key words: ultra thick clay stratum; frozen pressure; reinforced bar stress; mine freezing shaft sinking method

0 引言

1955年,我国从波兰引进冻结法凿井技术,首次应用于开滦矿区林西风井,获得了成功。1956年,唐家庄煤矿风井设计施工,采用国产设备进行冻结法凿井,又获得了成功^[1-2],这为我国特殊凿井施工方法的推广应用开辟了新的途径。随后冻结法凿井技术在全国得到推广应用,20世纪主要在东部地区应用,近年在西部地区的煤炭基地建设中,得到了广泛应用。目前,冻结法凿井技术已成为东、西部地区煤矿井筒穿过冲积层、软弱地层含水层时的主要特殊施工方法^[3-4]。虽然冻结法凿井在煤矿井筒开

凿中获得了巨大的成功,然而井壁压坏事故却常有发生,特别是在黏土层中,井壁压坏的危险性更大。采用冻结法凿井,在井筒开挖后作用在井壁上的力称为冻结压力,其值的确定是保证井壁安全的依据^[5-6]。汪仁和等^[7]通过对顾北煤矿深厚钙质黏土冻结压力的现场实测发现,冻结压力变化趋势明显存在着冻结压力快速增长阶段、缓慢增长阶段和稳定阶段。不同深度处的冻结压力在井壁混凝土浇筑后的最初15d内增长速度较快,且具有明显的方向性,最大速率达到0.7 MPa/d。庞涛^[8]通过对冻结压力的实测研究指出,黏土层的埋藏深度是冻结压力大小的主要决定因素,埋藏越深,冻结压力越大。

收稿日期:2012-11-22;责任编辑:杨正凯

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAB13B02)。

作者简介:姜国静(1987—),男,山东寿光人,硕士研究生。Tel:010-84263075, E-mail:jiangguojing2006@126.com

引用格式:姜国静,王建平,刘晓敏.超厚黏土层冻结压力实测研究[J].煤炭科学技术,2013,41(3):43-46.

马乾坤等^[9]通过对谢桥煤矿箕斗井冻结压力的现场实测,指出影响冻结压力大小的因素中,地层深度对冻结压力的影响更为直观。目前,我国煤矿立井主要采用冻结法凿井并通过不稳定冲积层及其下覆基岩风化岩层、含水岩层。随着立井冻结深度和穿过冲积层厚度大幅增长,地压、水压相应增大,地层复杂性增加,井壁厚度和冻结壁厚度急剧增大,冻结管断裂、外层井壁压坏、内层井壁开裂和漏水现象增多,施工难度加大。冻结压力是外层井壁设计的依据,然而其取值至今还没有技术规范,目前冻结压力的取值主要是通过经验公式^[10-11]。黏土层含有一定的薄膜水,难于冻结,是冻结成功与否的关键控制层位,且张集煤矿副井黏土层埋藏深,厚度大,表土层厚度达450 m以上,连续黏土层厚度达169.17 m,基于此,笔者以张集煤矿超厚黏土层为研究对象,研究超厚黏土层冻结压力的规律特征,以期达到保证该条件下冻结凿井法顺利施工的目的。

1 工程概况

张集煤矿副井位于单县煤田东部,该区域第四系和新近系累计厚449~457 m,平均453 m,由灰黄色、灰绿色黏土、砂质黏土、粉砂、细砂及少量中砂组成。其中黏土和砂质黏土占68%~80%,粉砂、细砂和中砂占20%~32%。第四系+新近系为新生界含水层,通过流速、流向测井获知,260和280 m处流速分别为1.166和1.231 m/h,流向均为西北向。张集煤矿副井采用三圈孔冻结设计方案,防片帮孔采用插花布置,外圈冻结孔分为长短腿,冻结深度619 m。设计冻结壁平均温度取-16℃,设计井帮温度不高于-7℃。张集煤矿副井穿越表土层厚

度大,在地层深度350 m左右有厚近70 m的单层黏土,450 m附近有90 m的砂质黏土,连续黏土层厚度达160 m以上。

2 冻结压力及钢筋应力监测

1) 监测层位。张集煤矿表土层地质特征见表1,在280.52~449.69 m层位,有一连续黏土层,连续黏土层厚度达169.17 m。连续黏土层冻结压力大,是进行冻结设计和施工重点控制层位,对于张集煤矿副井,在该连续黏土层易发生冻结管的断裂和外层井壁的压坏,对该层位的冻结成为冻结成功的关键。因此需要实时了解该黏土层的冻结状态,有必要对该连续黏土层进行冻结压力和井壁应力的监测。针对张集煤矿副井地层的特点,为实时了解冻结压力和井壁受力状态,在该连续黏土层的5个层位实时监测分析冻结压力的变化规律(表2)。

表1 张集煤矿表土层地质特征

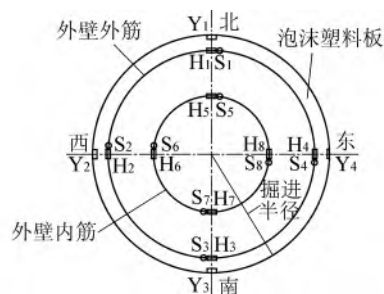
层号	厚度/m	深度/m	岩性	层号	厚度/m	深度/m	岩性
1	6.95	6.95	无心	15	12.17	164.62	砂质黏土
2	11.20	18.15	粉砂	16	5.10	169.72	黏土质细砂
3	13.50	31.65	黏土	17	16.30	186.02	黏土质粉砂
4	20.03	51.68	砂质黏土	18	39.19	225.81	砂质黏土
5	5.10	56.78	黏土	19	3.00	228.21	粉砂
6	7.98	64.76	粉砂质黏土	20	25.06	253.27	砂质黏土
7	3.80	68.56	黏土	21	5.80	259.07	细砂
8	1.60	70.16	粉砂质黏土	22	11.80	270.87	砂质黏土
9	3.00	73.16	黏土	23	9.65	280.52	细砂
10	11.27	84.43	砂质黏土	24	4.82	285.34	砂质黏土
11	19.10	103.53	黏土	25	68.36	353.70	黏土
12	21.92	125.45	砂质黏土	26	93.31	447.01	砂质黏土
13	6.15	131.60	粉砂	27	2.68	449.69	含砾黏土
14	20.85	152.45	黏土	28	2.60	452.29	粉砂岩

表2 冻结压力监测层位特征及参数

监测深度/m	压力盒/个	地层参数			内/外层井壁参数					外层井壁掘进半径/mm
		岩性	层厚/m	累深/m	混凝土标号	混凝土厚度/mm	竖向钢筋直径/mm	环向钢筋直径/mm	泡沫板厚/mm	
300	5	黏土	68.36	353.70	C50	900	25	25	50	10 200
357	4	黏土	68.36	353.70	C65	900	25	28	75	10 250
390	4	砂质黏土	93.31	447.01	C65	900	25	28	75	10 250
420	5	砂质黏土	93.31	447.01	C65	900	25	28	75	10 250
438	5	砂质黏土	93.31	447.01	C65	900	25	28	75	10 650

2) 监测内容。为探究在井深280.52—449.69 m层位厚度169.17 m连续黏土层冻结压力特性及冻结压力、外壁环向钢筋、竖向钢筋的关系,分别在井深300、357、390、420、438 m等5个层位每层均布

有北、东、南、西方向4个压力盒,个别层位布置5个;并在357 m层位外层井壁环向钢筋和竖向钢筋布置钢筋计,研究冻结压力、井壁环向钢筋及竖向钢筋的关系。压力盒和钢筋计布置如图1所示。



Y₁—Y₄ 为压力盒; H₁—H₈ 为环向钢筋计; S₁—S₈ 为竖向钢筋计

图 1 测试元件布置

3 监测结果分析

3.1 冻结压力和钢筋应力测试结果

1) 冻结压力测试结果。张集煤矿井深 280.52—449.69 m 层位厚度 169.17 m 的连续黏土层冻结压力监测结果如图 2 所示。①由于图 2a、图 2d、图 2e 在监测过程中传感器损坏,部分数据失真,



图 2 不同井深层位冻结压力变化曲线

2) 钢筋应力测试结果。为探究冻结压力与外壁竖向钢筋和环向钢筋应力之间的关系,在井深 357 m 层位外层井壁布置振弦式钢筋应力计 16 个,其中外壁外侧 8 个,监测外壁环向钢筋和竖向钢筋各 4 个,外壁内侧布置与外侧相同。2011 年 1 月 23 日浇筑混凝土后进行实时监测,到 5 月 29 日共监测 126 d,通过对监测到的钢筋计应力数据进行整理,绘制成钢筋应力曲线(图 3)。①由图 3a 和图 3b 可知,外壁环向外筋和环向内筋的应力变化曲线与冻结压力的变化曲线基本一致,说明外壁环向钢筋主

因此不做为研究对象。由图 2b 和图 2c 可知,冻结压力的变化趋势可分为 3 个阶段:第 1 阶段,冻结压力快速增长阶段,冻结压力在初期增速快,初期增长阶段在 20 d 以内就达到或接近最大值,冻结压力在第 5 天接近最大值,分析其原因为冻结壁积聚的冻胀能在井筒开挖过程中得以迅速释放;第 2 阶段,冻结压力缓慢变化阶段,冻结压力先下降后又出现缓慢上升,此阶段大致持续 70 d;第 3 阶段,冻结压力稳定变化阶段,冻结压力在 90 d 后渐渐趋于稳定。②由图 2b 中压力盒 Y₃ 测得的数据可知,冻结压力 3 d 内达到 2.92 MPa,增长速率 0.97 MPa/d,初期增长速率较快,井壁被压坏的危险性较大。③由图 2b 和图 2c 可知,测得的冻结压力在最初 5 d 左右接近冻结压力最大值,冻结压力接近最大值的时间明显高于其他同深度黏土层,说明冻结压力受黏土层厚度影响很大。

要受冻结压力影响。②由图 3c 和图 3d 可知,外壁竖向钢筋应力在浇筑混凝土后第 1 天出现了较大的波动,钢筋中应力甚至由拉应力变为压应力,之后迅速增加,在约 20 d 后渐趋于稳定,与井壁的温度变化曲线基本一致。说明混凝土水化放热对外壁竖向钢筋的影响很大,外壁竖向钢筋主要承受温度所引起的温度应力。③由图 2 和图 3 可知,同一层位不同方位,冻结压力具有明显的不均匀性。这是由于冻结管的偏斜、盐水流量不均匀等原因,造成冻结壁的厚度、温度有所不同,导致了冻结压力的不均匀性。

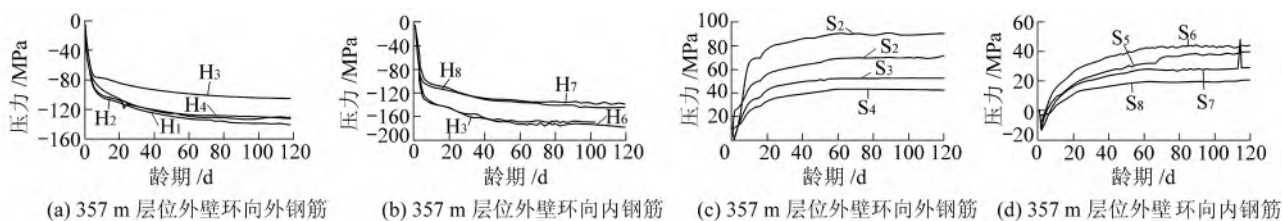


图 3 外壁钢筋受力变化曲线

3.2 冻结压力与地层深度的关系

结合张集煤矿副井的实测结果,取同一深度处

的最大冻结压力作为该层位的冻结压力,对冻结压力的实测数据进行线性回归分析,得到最大冻结压

力随地层深度的变化规律,如图4所示。

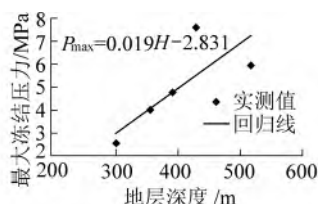


图4 最大冻结压力随深度的变化曲线

对张集煤矿300 m以下实测最大冻结压力值进行线性回归分析,得到最大冻结压力随地层深度的线性回归方程 $P_{\max} = 0.019H - 2.831$,其中: P_{\max} 为最大冻结压力; H 为地层深度。

4 结 论

1) 通过对外壁钢筋应力的实测曲线与冻结压力的实测曲线对比分析得知,作用在外壁上的冻结压力与外壁环向钢筋的应力变化趋势基本一致,说明作用在井壁上的冻结压力主要由外壁环向钢筋承担,冻结压力对外壁竖向钢筋应力的影响很小。

2) 张集煤矿副井冻结压力的变化趋势与其他矿井黏土层的变化趋势基本一致,都分为3个阶段。但冻结压力达到最大值的时间明显提前,说明冻结压力初期增速受黏土层厚度影响很大。

3) 冻结压力的计算至今尚无技术规范,其取值主要通过经验公式。因现行的经验公式是在通过总结深度小于300 m井筒的实测数据获得,对超厚黏

土层来说,经验公式的取值具有一定的局限性。通过对张集煤矿副井实测数据进行线性回归,获得的最大冻结压力与地层深度的回归方程为 $P_{\max} = 0.019H - 2.831$,可为超厚黏土层冻结压力的计算提供参考。

参考文献:

- [1] 张 文. 我国冻结法凿井技术的现状与成就[J]. 建井技术, 2012, 33(3): 4-11.
- [2] 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]. 煤炭科学技术, 2009, 37(2): 38-41.
- [3] 蔡海兵,王晓健. 厚黏土层冻结井壁力学特性的实测研究[J]. 煤炭工程, 2009(3): 54-56.
- [4] 李运来,汪仁和,姚兆明. 深厚表土层冻结法凿井井壁冻结压力特征分析[J]. 煤炭工程, 2006(10): 35-37.
- [5] 闫 超,马乾坤. 深厚表土层冻结壁温度实测分析[J]. 山东煤炭科技, 2010(6): 107-108.
- [6] 陈远坤. 深厚冲积层井筒冻结压力实测及分析[J]. 建井技术, 2006, 27(4): 19-21.
- [7] 汪仁和,亢延民,林 斌,等. 深厚黏土地层冻结压力的实测分析[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(2): 30-32.
- [8] 庞 涛. 特厚表土层冻结井壁内外力分布规律实测研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2008: 36-75.
- [9] 马乾坤,闫 超. 深厚表土层井壁冻结压力实测分析[J]. 山东煤炭科技, 2010(5): 124-126.
- [10] 薛利兵,黄兴根,王衍森. 郓城煤矿冻结法凿井的井壁冻胀力工程实测[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(9): 34-37, 103.
- [11] 翟延忠,许舒荣. 地层冻结远程监测系统的设计与应用[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(10): 68-71.

(上接第11页)

导向技术可在现有随钻测量短节中增加测量伽马、电阻率传感器,根据测量伽马、电阻率解释出钻头附近岩性变化(煤层、泥岩、砂岩等岩性的伽马、电阻率特征值不同),指导钻孔在目标岩层中钻进,利用旋转导向技术可使钻孔轨迹更平滑,极大减小钻具摩擦阻力,提高钻孔施工安全。

参考文献:

- [1] 姚宁平,张 杰,李乔乔. 煤矿井下近水平定向钻技术研究与应用[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(10): 58-62.
- [2] 姚宁平. 煤矿井下煤层气抽采小曲率梳状钻孔钻进技术及钻具研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012: 75-90.
- [3] 姚宁平. 我国煤矿井下近水平定向钻进技术的发展[J]. 煤田地质与勘探, 2008, 36(4): 78-80.
- [4] 石智军,田宏亮,田东庄,等. 煤矿井下随钻测量定向钻进使用手册[K]. 北京: 地质出版社, 2012: 3-6.

- [5] 孙荣军. 煤矿井下随钻测量技术及钻孔轨迹数据处理方法研究[D]. 西安: 煤炭科学研究总院西安研究院, 2009: 12-19.
- [6] 李乔乔,姚宁平,张 杰. 煤矿井下水平定向钻孔轨迹设计[J]. 煤矿安全, 2011, 42(12): 55-58.
- [7] 姚宁平,张 杰,李泉新,等. 煤矿井下梳状定向孔钻进技术研究与实践[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(5): 34-38.
- [8] 张 杰,蒋玉玺,姚宁平,等. 九里山矿井下定向钻孔卡钻事故处理实践[J]. 煤矿安全, 2012, 43(11): 125-127.
- [9] 姚宁平,姚亚峰,张 杰,等. 煤矿井下梳状定向孔钻进技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(10): 12-16.
- [10] 苏义脑. 水平井井眼轨道控制[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 4-10.
- [11] 石智军,姚宁平,叶根飞. 煤矿井下瓦斯抽采钻孔施工技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(7): 1-4.
- [12] 孙荣军. 国产随钻测量定向钻进系统在汝箕沟煤矿的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(3): 77-80.
- [13] 石智军,胡少韵,姚宁平. 煤矿井下瓦斯抽采(放)钻孔施工新技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008: 8-9.