

Study on Partial Insulation Effect of Frozen Pipe in Auxiliary Shaft of Zhangji Mine

Heng Wang^{1,2}

¹National Engineering Laboratory for Deep Shaft Construction Technology in Coal Mine, Beijing

²Beijing China Coal Mine Engineering Company Limited, Beijing

Email: wangheng8374@126.com

Received: Jul. 24th, 2018; accepted: Aug. 7th, 2018; published: Aug. 14th, 2018

Abstract

For the contradiction between the derrick base stability and other factors such as long freezing time, large cooling capacity loss, large frost heaving force and so on, the superiority-inferiority of the vacuum insulation and the polyurethane insulation is analyzed. Field experiment shows that the vacuum insulation effect is poor and short duration, while the other one is good with long duration. After 170 days of freezing in -32°C , the outside temperature of the insulation pipe is -6°C , while the outside temperature is -23°C without insulation. The temperature difference is 17°C . The closer the measuring point is to the freezing pipe, the higher the temperature gradient is. With the increase of freezing time, the temperature difference between the thermal insulation and the non-thermal insulation freezing tube first increases and then decreases. Finally, the development of temperature after thermal insulation is verified by finite element simulation, and the development prospect of energy saving of polyurethane insulation is put forward.

Keywords

Freezing Pipe, Polyurethane Insulation, Temperature Gradient

张集矿副井冻结管局部保温效果研究

王 恒^{1,2}

¹煤矿深井建设技术国家工程实验室, 北京

²北京中煤矿山工程有限公司, 北京

Email: wangheng8374@126.com

收稿日期: 2018年7月24日; 录用日期: 2018年8月7日; 发布日期: 2018年8月14日

摘要

针对当前深井冻结时间长、冷量散失大、产生冻胀力大等与永久井架基础安全稳定性的矛盾,分析冻结管抽真空保温与聚氨酯保温的优劣性。现场实验表明,抽真空冻结管隔温效果差、持续时间短,聚氨酯保温时间长效果好,在 -32°C 盐水冻结170天后,冻结管保温层外侧温度为 -6°C ,未保温冻结管外侧温度为 -23°C ,温差达 17°C ;测点离冻结管越近,地层降温梯度越大;随着冻结时间的增长,保温与未保温冻结管外温度差先增大后减小。最后通过有限元模拟验证保温后温度发展情况,并提出聚氨酯保温的节能发展前景。

关键词

冻结管,聚氨酯保温,降温梯度

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

由于煤炭资源的开采,浅层煤炭逐渐减少,因此新建井筒越来越深。受深部地压大的影响,冻结孔布置也由单圈管,逐渐发展到双圈管、三圈管甚至多圈管[1] [2] [3]。一方面,浅部地层地压小,冻结壁设计厚度较小,需要减少浅部冷量的散失;另一方面,地层冻结产生冻胀力,冻结圈径的扩大会影响井口周围的建筑结构[4] [5] [6]。张集副井永久井架基础正好位于冻结布孔圈径上,冻结施工过程中的冻胀融沉势必对井架基础产生不良影响,为了减少冻胀融沉对井架基础的影响,在张集副井开展了井架基础保温的研究工作[7] [8] [9] [10]。

2. 张集矿副井简介

副井井筒净直径为6.5 m,其基本设计参数见表1。

根据副井设计要求,副井冻结采用三圈孔插花布置冻结方式,主孔深度619 m/454 m(长短腿布置),中圈孔深度454 m,深防片孔深447 m,浅防片孔深132 m,具体布孔图见图1。

Table 1. Design parameters of auxiliary shaft of Zhangji mine

表1. 张集矿副井设计参数

序号	名称	单位	数值
1	井筒深度	m	671.2
2	井壁结构		双层现浇钢筋砼
2	冻结深度	m	619
3	井筒直径	m	$\Phi 6.5$
4	开挖直径	m	$\Phi 8.5\sim 10.5$

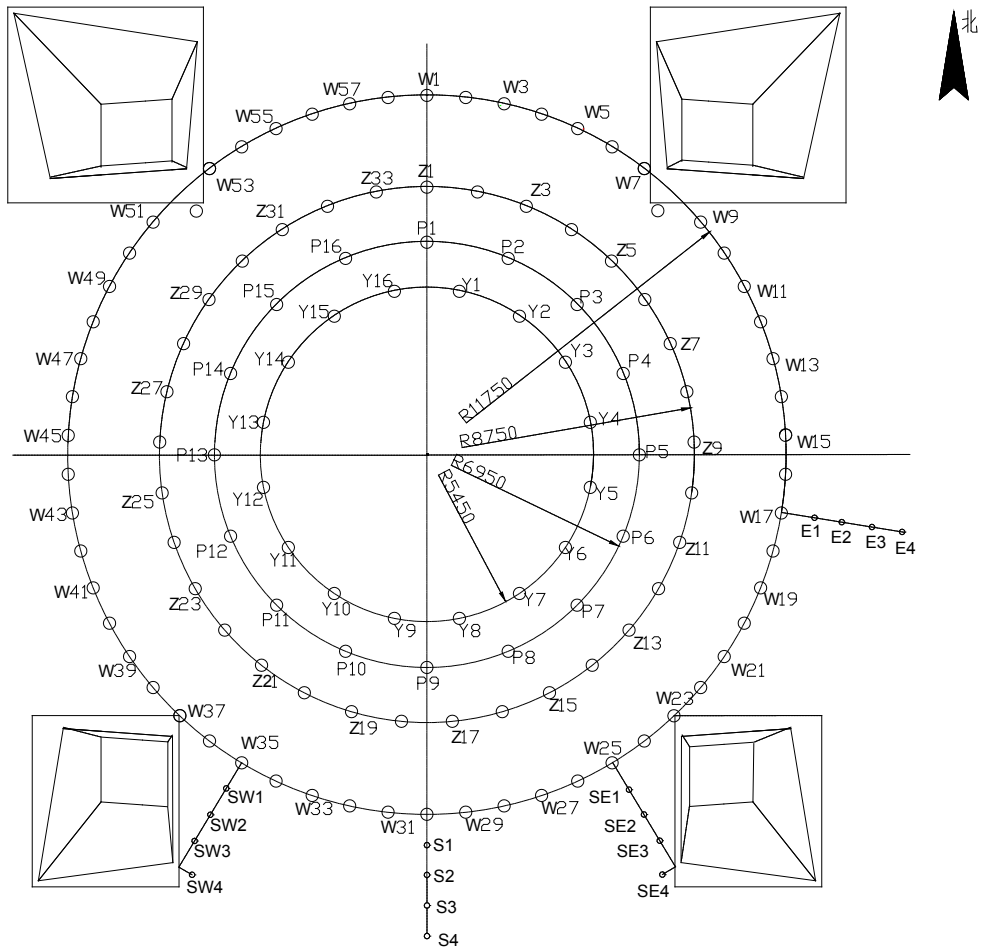


Figure 1. Freezing hole and insulation condition
图 1. 冻结孔布孔及保温情况

张集副井井架桩基深 20 m，部分基础与冻结孔重合，二者相互影响。由于井架基础是永久结构，冻结施工为临时措施工程，因此要确保井架基础不因冻结造成影响，同时满足井筒冻结施工的要求。根据冻结区域对井架基础的影响以及二者布置位置的相对关系，结合相关施工实践，综合布置隔温孔、热水孔和测温孔以及采取相应的结构形式。通过多次保温实验及技术经济分析，在张集副井冻结工程中上采用局部保温措施，对部分冻结管地表浅部 40m 进行保温。具体保温情况为：

外圈孔：W3~W13，W19~W27，W33~W41，W47~W57，共计 40 根管。中圈孔：Z3~Z7，Z12~Z15，Z20~Z33，Z28~Z32，共计 18 根管。桩基与冻结管位置关系及冻结孔保温情况见图 1。

3. 保温方案计算验证

与全深冻结相比，局部保温节省冷量，且可以一定程度上减小冻结壁冻胀力对周围建构筑物的影响。局部冻结有四种传统方式：充填压气式、隔板式、充填盐水式和套管式，套管式不适用于上部保温情况，隔板式加工严格，要求条件较高，充填盐水式隔热效果差，而充填压气式实际应用也不易实现预想的效果。

对于冻结管的局部保温效果，通过现场试验来验证保温效果，一种是抽真空，一种是聚氨酯发泡。抽真空示意图见图 2。

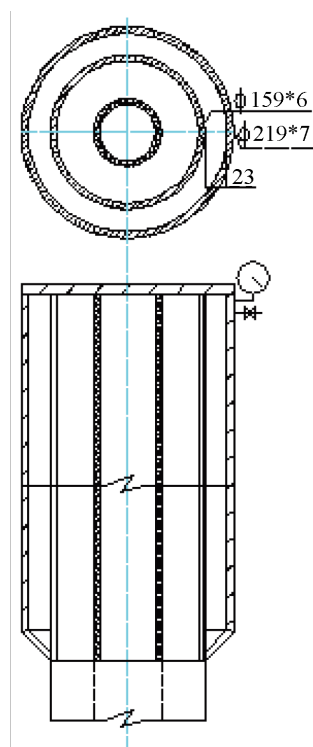


Figure 2. Schematic diagram of vacuum insulation of frozen tube
图 2. 冻结管抽真空保温示意图

冻结管 $\Phi 159 \times 6$ ，外套管 $\Phi 219 \times 7$ ，两管环形空间距离 23 mm，冻结管内接箍焊接，外套管外接箍焊接，外套管下部用大小头与冻结管焊接，外套管上部用 $\delta 10$ mm 环形钢板焊接封闭。每个隔温孔上部安装一块 $-1 \sim 2.0$ Mpa 压力真空表，以及截止阀。干燥空气试验压力 1.0 Mpa，经试压 30 min，压力下降不超过 0.05 Mpa，再延续 15 min 压力不变为合格。真空度达到 0.097~0.101 Mpa，24 小时压力在 0.090~0.093 Mpa 为合格。冻结管内循环 50°C 热水，抽真空与未抽真空状态下温度测量如图 3 所示。

从图 3 中可以看出，抽真空后套管外侧在 30 min 内初始温差在 7°C 左右；30 min 后，抽真空所测得温度曲线与未抽真空基本一致；80 min 以后温度曲线基本达到最高值且不再变化。由于井筒冻结一般工期较长，长时间的冻结后套管的温度回升快，而且初投资高，不适合短期的工程应用。

$\Phi 159 \times 6$ 冻结管外套硬质聚乙烯套管，环形空间填充 50 mm 厚聚氨酯保温层，对照组充填地表土，在冻结管内盐水温度 -32°C 条件下，两者外壁的温度曲线如图 4 所示：

从图 4 可以看出，聚氨酯保温层外温度与未保温外层温度差在 15°C 左右，而且保温层外侧降温速度慢，持续时间长，适合工程应用。

4. 现场温度实测及数据分析

在主冻结孔圈径外侧打测温孔，各相邻孔间距均为 1 m，灯光法控制测温孔偏斜。选取南侧和东南侧的主冻结孔为井心方向的基准，由外向内编号分别是 1、2、3、4，距离冻结管距离分别是 4 m、3 m、2 m、1 m，具体分布见图 1。为保证实验数据可靠性，另选取西南侧和东侧位置打相应测温孔测量温度数据。测量数据如图 5 所示。

需要说明的是，由于冻结前期测温系统调试造成数据缺失，图中所给出的数据是开机 28 天后的数据。不同冻结期的实测温度见表 2。

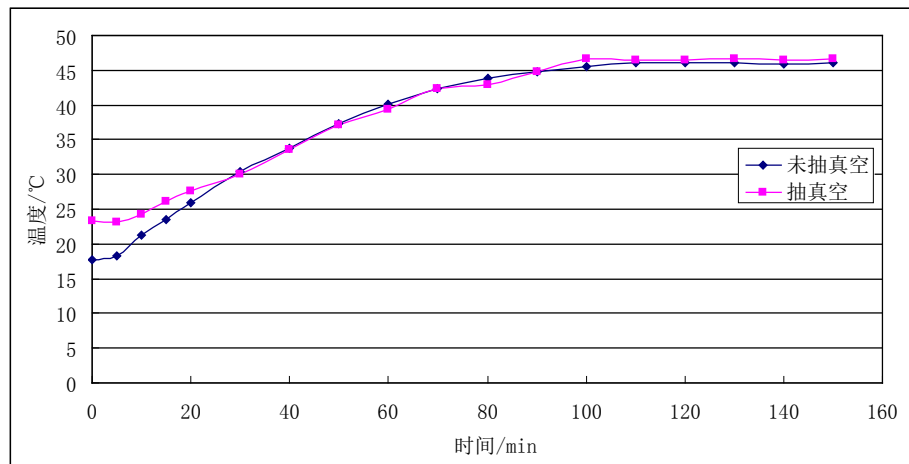


Figure 3. Temperature curve outside the vacuum insulation

图3. 真空保温温度变化曲线

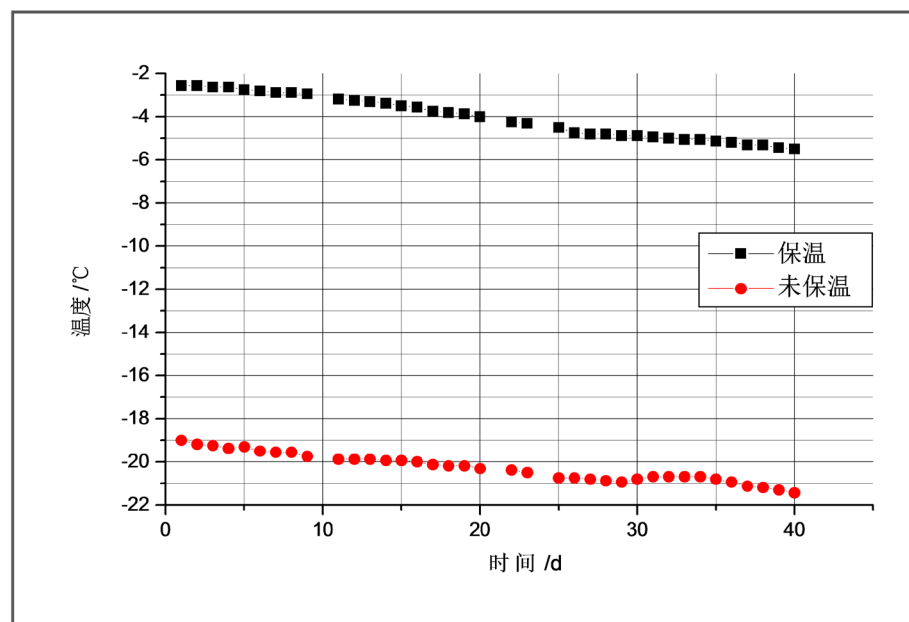


Figure 4. Temperature curve outside the polyurethane insulation

图4. 聚氨酯保温温度变化曲线

Table 2. Temperature distribution at different periods outside the freezing pipe

表2. 冻结管外不同时期地层温度分布

距离/m	1		2		3		4	
	保温	未保温	保温	未保温	保温	未保温	保温	未保温
30	15.56	8.44	16.75	14.19	16.69	15.94	16.81	16.13
60	12.56	2.00	15.06	9.56	16.00	13.50	16.44	14.94
120	9.06	-3.31	12.63	5.69	14.69	10.56	15.56	13.00
170	6.38	-7.81	10.44	2.88	13.19	8.13	14.50	11.06

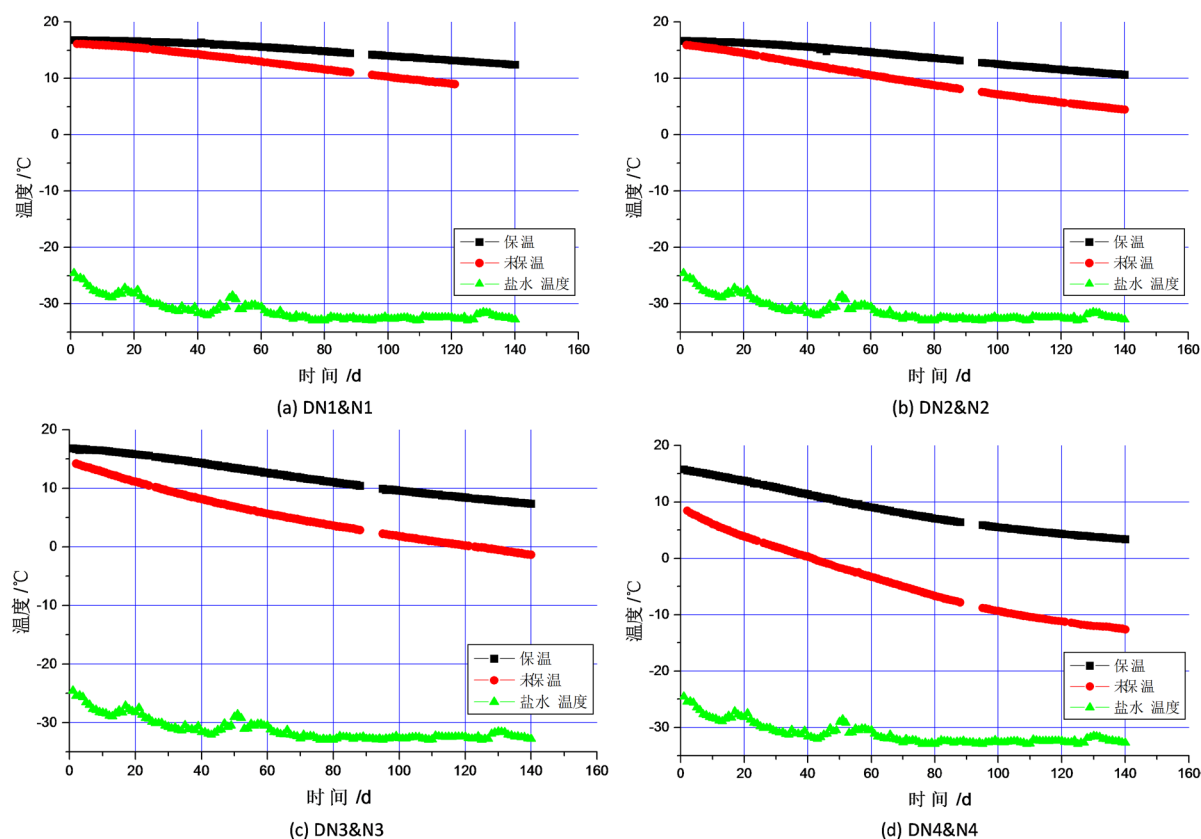


Figure 5. Temperature distribution curve of insulated and un-insulated freezing tube

图 5. 保温与未保温冻结管外温度分布曲线

从图表中可以得到如下几点结论：

- 1) 地层维持原始地温的时间与测温点距冻结管的距离以及冻结管散失的冷量成反比；
- 2) 冻结管保温之后，测点降温梯度明显低于未保温冻结管外相应位置的测点温度，测点距冻结管越近，降温梯度越大，且随冻结时间增长，保温与未保温冻结管周围测点温差逐渐增大；
- 3) 冻结 170 天以后，保温冻结管外 1 m 处测点温度仍维持在在 0°C 以上。

5. 冻结温度场有限元模拟

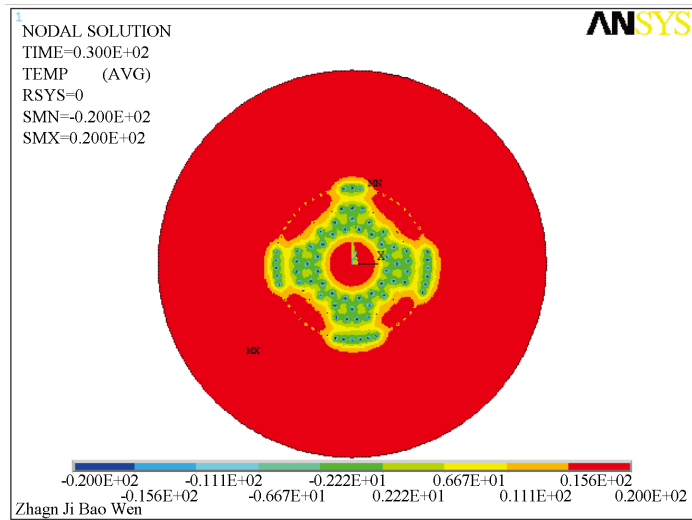
针对现场实际情况，根据常规土壤实验所得的土样参数，假设盐水温度维持在 -32°C 、远端边界温度保持 20°C 的原始地温，采用 ANSYS 有限元分析软件进行冻结过程冻结管温度分布数值模拟，冻结时间 30 d、60 d、120 d、210 d 和 360 d 的温度场云图见图 6。

通过模拟云图可以看出，经过不同冻结时间之后，保温与未保温冻结管周围区域温度差异较大，具体见表 3。

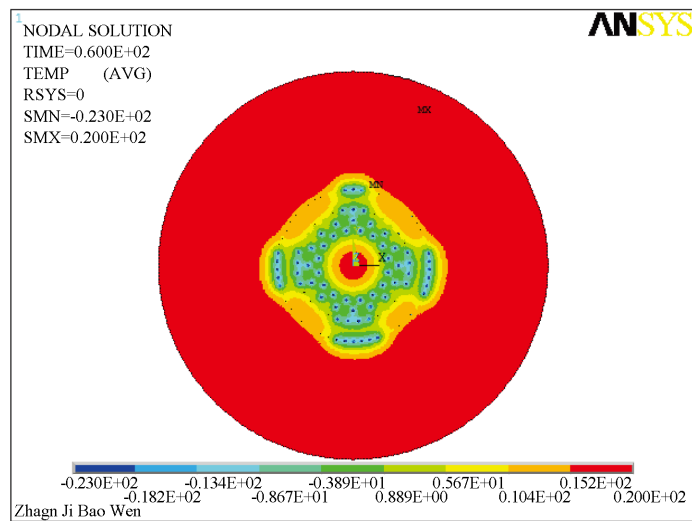
在整个冻结期内，冻结管保温区地层温度偏高，聚氨酯保温效果相当优越，能够有效地防止冻结管冷量的散失，节约冷量。

6. 结论

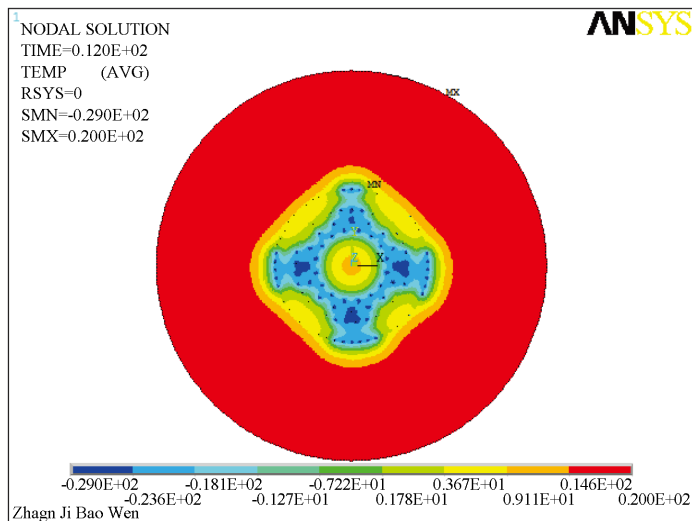
在张集副井井架基础保温情况来看，保温措施达到了预想的效果。聚氨酯发泡保温在冻结凿井中的应用是可行的，能够有效地降低井架基础因冻胀产生的影响，同时也就缓解了融沉对井架基础的影响，



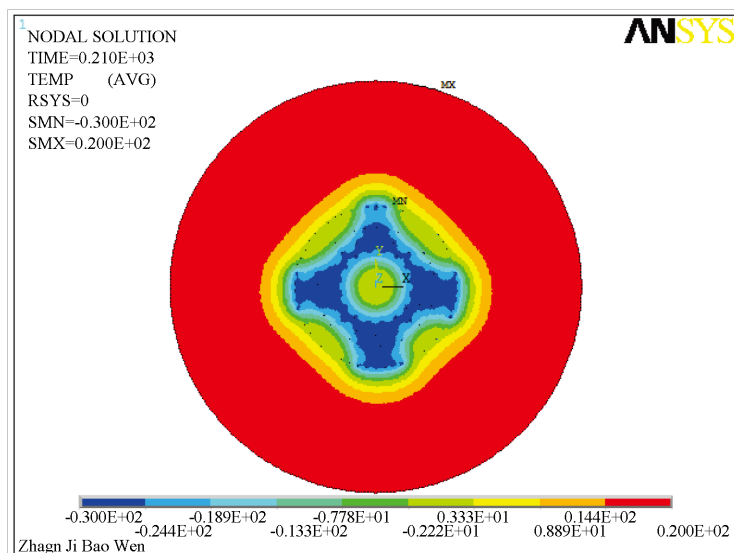
30 d



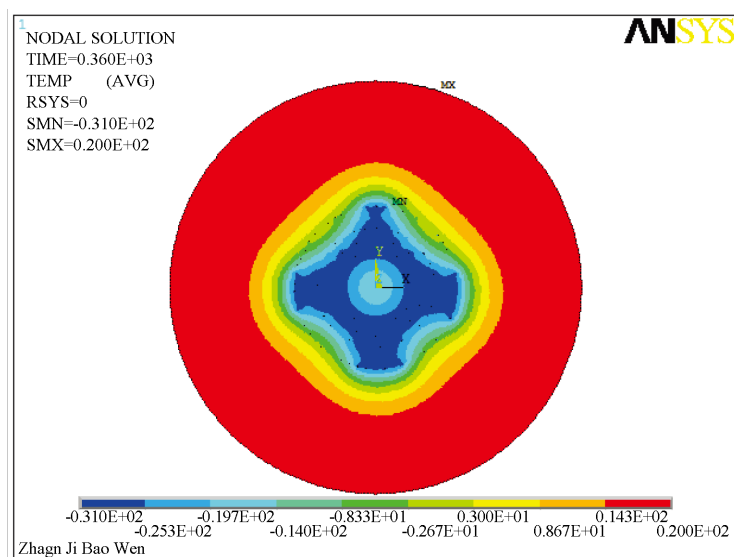
60 d



120 d



210 d



360 d

Figure 6. Ansys temperature field simulation cloud picture
图 6. Ansys 温度场模拟云图

Table 3. Temperature distribution by Ansys finite element simulation
表 3. Ansys 有限元模拟温度分布

冻结时间/d	主孔区域温度/°C		辅孔区域温度/°C	
	保温	未保温	保温	未保温
30	20	-2.2	11.2	-2.2
60	10.4	-8.7	8.8	-8.7
120	3.67	-23.6	-1.7	-24
210	-2.2	-30	-13.3	-30
360	-8.3	-30	-25.3	-30

因此通过张集副井井架基础保温的研究,降低了井架基础因冻胀融沉带来的不利因素。同时,由于聚氨酯发泡的良好保温性、施工的便利性以及相对较少的初投资,在多圈孔冻结中,可以对浅部地层的主辅冻结孔进行发泡保温,既不影响浅部地层正常冻结掘进,又能较大幅度地减少无效冷量的损失,对冻结法施工的节能有较大的潜力。

参考文献

- [1] 肖朝昫. 人工地层冻结冻土帷幕形成与解冻规律研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 同济大学, 2007.
- [2] 张明. 人工冻结土体侧向冻胀特性研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2008.
- [3] 沈季良. 建井工程手册(IV) [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986.
- [4] 汪仁和. 关于深井冻结凿井中的合理井帮温度问题[J]. 淮南矿业学报, 1996(1): 3-8.
- [5] 蒋斌松, 沈春儒, 冯强. 外壁恒温条件下单管冻结温度场解析计算[J]. 煤炭学报, 2010, 35(6): 923-927.
- [6] 李俊, 吴增云. 大直径深冻结井永久井架基础防冻施工技术[J]. 江西煤炭科技, 2010(4): 60-61.
- [7] 刘亚军, 彭承. 冻结法施工永久井架基础的防冻设计[J]. 现代矿业, 2010, 26(4): 102-103.
- [8] 黄井武, 王建平, 王恒. 冻结管保温效果研究[J]. 冰川冻土, 2011, 33(3): 551-556.
- [9] 张智柳. 杨村煤矿副井井架基础防冻、隔温设计优化[J]. 科技创新导报, 2010(26): 61.
- [10] 黄井武. 冻结法施工中永久井架基础保温研究与应用[J]. 中州煤炭, 2011(5): 16-17.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org