

三河尖矿深井高温体特征及其热害控制方法

何满潮^{1,2}, 郭平业¹, 陈学谦¹, 孟丽¹, 朱艳艳¹

(1. 中国矿业大学 力学与建筑工程学院, 北京 100083; 2. 中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 北京 100083)

摘要: 地热异常矿井进入深部开采后热害现象严重。通过对三河尖矿地温场、地温梯度变化规律及岩石热物理性质的分析, 揭示三河尖矿深部地温随深度的增大变化异常, 大地热流值偏高, 为典型地热异常矿井。总结分析得出三河尖模式高温热害特征, 即冷源短缺地热异常。针对三河尖模式热害治理, 结合三河尖矿地面供热现状, 提出三河尖模式热害治理 HEMS 降温技术, 该技术利用井下热水实现井上供热, 将产生冷能储存于第四系储能层用于井下制冷, 解决热害的同时实现地面供热。三河尖矿成功的实现一期井下热害治理工程, 通过对 72201 工作面降温效果分析, 该系统大大改善工作面长期以来高温高湿的工作环境, 值得在深部开采及相关领域推广应用。

关键词: 采矿工程; 地热异常; 高温矿井; 热害控制; 降温系统; HEMS 系统

中图分类号: TD 26

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2010)增 1 - 2593 - 05

RESEARCH ON CHARACTERISTICS OF HIGH-TEMPERATURE AND CONTROL OF HEAT-HARM OF SANHEJIAN COAL MINE

HE Manchao^{1,2}, GUO Pingye¹, CHEN Xueqian¹, MENG Li¹, ZHU Yanyan¹

(1. *School of Mechanics and Architecture Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;*
2. *State Key Laboratory of Deep Geomechanics and Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China*)

Abstract: The heat harm is even worse with the increase of mining depth in geothermal-abnormal coal mine. Based on the analyses of geothermal field, geothermal gradient changes and rock thermal physical properties of Sanhejian coal mine, it is revealed that geothermal value suddenly increases and the heat flow values become high with the mining depth increasing, and Sanhejian coal mine is a typical geothermal-abnormal coal mine. Lacking of cold source and abnormal geothermal value is the characteristics of Sanhejian heat harm mode. Focused on the characteristics of Sanhejian heat harm mode, combined with the ground heating problems, a new heat harm control technology, which is named as HEMS(high temperature exchange machinery system) of Sanhejian mode, is proposed. This technology which utilizes the underground heat water to provide upperground heating, has a cold storage in the Quaternary underground storage layer for cooling, the heat harm is resolved and upperground heating is realize at the same time. The first phase of HEAMS is realized in Sanhejian coal mine. Through the cooling effect analysis of working face 72201, the result shows that the working environment of high temperature and high humidity is improved significantly. This heat harm control technology is worth to be applied and popularized in deep mining and related fields.

收稿日期: 2009 - 01 - 14; **修回日期:** 2009 - 04 - 17

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2006CB202200); 国家自然科学基金重大项目(50490270); 教育部创新团队发展计划项目(IRT0656);

作者简介: 何满潮(1956 -), 男, 博士, 1981年毕业于长春地质学院工程地质专业, 现为教授, 博士生导师, 主要从事深部工程地质力学方面的教学与研究工作。E-mail: hemanchao@263.net

Key words: mining engineering; geothermal anomaly; high temperature mine; heat-harm control; cooling system; HEMS(high temperature exchange machinery system)

1 引言

我国经济的发展,对能源的需求日益增大,煤炭作为一次性能源主体,随其开采量的增大,浅部煤炭资源日趋枯竭,我国东部大部分煤矿转向深部开采^[1-2]。随着开采深度的不断增加,原岩温度不断升高,开采与掘进工作面的高温热害日益严重^[3]。20世纪50~60年代,国内外一些深部矿井已显现出比较严重的热害问题^[4-5],到了20世纪70年代,矿井热害更加突出,有从局部发展成普遍性的趋势。高温热害不但会对矿井工人身心健康造成巨大危害,而且部分吸附瓦斯会随环境温度升高而释放,从而产生巨大的安全隐患,因而治理高温热害迫在眉睫^[6-7]。

同时,矿区地面供热多采用燃煤锅炉,对环境造成严重污染,如徐州矿物集团三河尖煤矿供暖每年耗煤12 045 t,每年排放CO₂约18 600 t,年排放SO₂约130 t,改善矿区供热现状也是迫在眉睫。

国内外治理高温热害方法主要有集中空调技术、气冷技术、冰冷技术和热电乙二醇技术等^[8-10]。以上技术费用高、应用限制条件多,很难得到推广应用。针对三河尖矿存在的高温热害和燃煤锅炉污染问题,通过分析三河尖深井热害特征,采用三河尖模式 HEMS 系统^[11-14]降温技术实现井下降温、井上供热的循环生产模式,深井热害资源化,为三河尖模式的矿井热害治理提供一条技术途径。

2 三河尖矿高温特征

三河尖矿位于徐州市龙固县龙固镇境内,主井地理坐标为东经116°47'25",北纬34°54'38",隶属丰沛矿区。三河尖矿恒温带深30 m,温度为16℃,地温平均梯度为3.24℃/(100 m)。三河尖矿开采深度已达-1 010 m,矿井高温热害现象严重。根据井下巷道已测温度,-700水平岩温37.7℃,-860水平岩温43.9℃,-980水平岩温46.8°。在夏季,-980水平大巷进风温度为32℃左右,掘进头及工作面温度高达36℃~37℃,严重影响工人的身心健康

和矿井的安全生产。

2.1 三河尖矿地温变化分析

从图1可以看出,温度随着深度的加深而增加,并且随着深度的不断加大,到深部后温度突然剧增,岩温高达50℃。

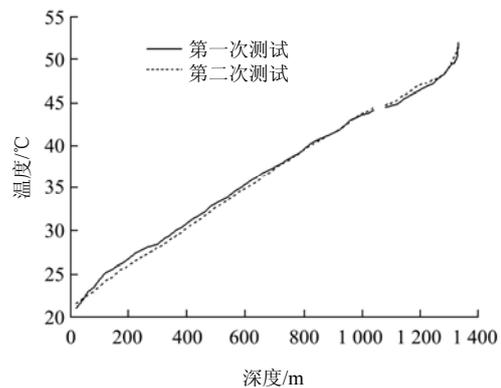


图1 三河尖矿地温变化拟合曲线

Fig.1 Fitting curves of ground temperature Sanhejian mine

2.2 三河尖矿地温梯度变化

从图2三河尖矿地温梯度等值线图可看出在煤层埋藏较浅的龙固背斜、断层F₂上盘地温梯度大,而煤层埋藏较深的部位地温梯度较小。三河尖井田地温梯度为2.75~3.46℃/(100 m)。平均大于3℃/(100 m),属高温类矿井。

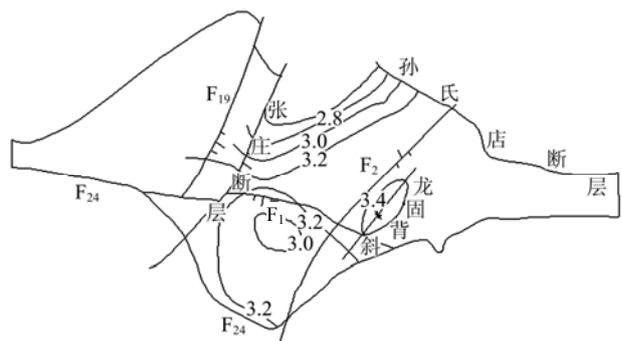


图2 三河尖矿地温梯度等值线图(单位:℃/100 m)

Fig.2 Contour map of ground temperature at Sanhejian mine(unit:℃/100 m)

2.3 三河尖矿岩石热物理性质

岩石的热物理性质主要包括比热容c、热导率k、热扩散率λ。根据测试,三河尖矿岩石热物理参数见表1。

根据三河尖矿地温梯度和岩石导热率可以求出三河尖热流值平均 75.9 MW/m²。它高于全球陆地平

表 1 三河尖矿岩石热物理参数

岩性	比热容 (J · kg ⁻¹ · K ⁻¹)	热导率 (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	热扩散率 (10 ⁻⁷ m ² · s ⁻¹)
泥岩	950.4	2.74	11.07
砂泥岩	962.9	2.58	10.41
砂岩	900.2	3.37	14.71
灰岩	891.8	2.94	12.27
煤	1 327.2	0.32	1.83

均值(61.50 MW/m²)和 华北地区的平均值(51.07 MW/m²)。与本区地温偏高, 地温梯度偏大是一致的。从大地热流值上看, 三河尖井田也应属高温井田。

2.4 三河尖矿井水资源条件

三河尖矿 -700 水平矿井涌水量为 100~120 m³/h, 水温 25 °C~30 °C, 奥陶系灰岩水在 21102 工作面突水动态补给量为 1 020 m³/h, 当时水温为 50 °C, 水压 7.6 MPa, 现在水观 1 孔奥灰水位为 -71 m。

从矿井水资源来看, -700 水平水温合适但水量偏小, 水中所能提取的冷量远远不能满足冷负荷, 奥灰水水温过高不宜利用。

2.5 三河尖矿热害特点

根据三河尖矿区地温梯度变化和岩石热物理性质及其水文条件, 三河尖矿深井热害特点主要有:

(1) 地热异常, 1 000 m 深度时岩体温度高达 50 °C, 三河尖井田平均地温梯度大于 3 °C/(100 m), 为典型地热异常矿井。

(2) 冷源短缺, 三河尖矿可用为冷源的涌水量较小, 仅为 120 m³/h, 但奥陶系灰岩水水量为 1 020 m³/h, 水温 50 °C, 含有大量的地热资源。

3 热害控制对策

针对三河尖矿冷源短缺、地热资源丰富的特点, 采用 HEMS 降温技术, 结合三河尖矿地面供热情况, 利用三河尖煤矿底层温度存在热异常特性, 首先利用井下热水进行地面热能利用, 冬季取热代替锅炉供热换冷, 将取热后的冷水进行地下储存, 夏季补充井下冷量不足, 进行井下降温取冷换热。地热异

常降温工作原理见图 3。

具体热害控制对策如下:

(1) 在井下 -700 水平设置 HEMS - I 制冷工作

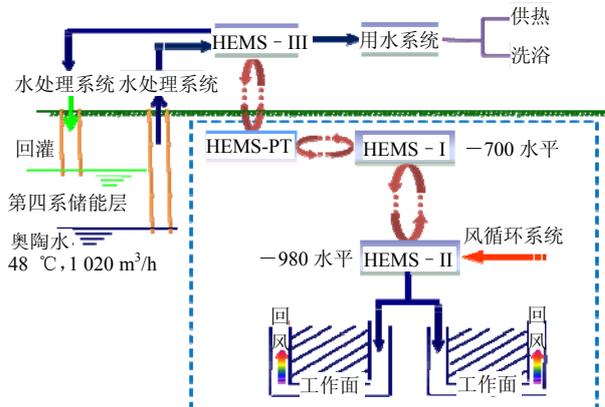


图 3 地热异常降温工作原理

Fig.3 Geothermally anomalous cooling function diagram

站, 从循环水体中提取冷能, 供给 HEMS - II 降温工作站。

(2) 在井下 -980 水平设置 HEMS - II 降温工作站, 对井下高温工作面和掘进端头进行降温。

(3) 在地面设置 HEMS - III 热(冷)能利用工作站, 提取循环水体中的热能, 取代地面锅炉系统进行供热。

(4) 在 -700 水平设置 HEMS-PT 压力转换工作站, 降低 HEMS - I 承受的压力。

(5) 将第四系含水层作为储能层调节冷热能。

整个项目分 2 期实施, 一期实现井下降温, 二期实现井上供热。

4 应用效果分析

4.1 系统运行效果分析

三河尖矿 HEMS 降温系统一期工程于 2008 年 7 月开始运行, 图 4, 5 为 2008 年 7 月 20 日系统运行监测数据。

-700	41.05 °C	-700	
-700 冷却循环	46.34 °C	HEMS - I	
		20.1 °C	14.9 °C
		19.5 °C	15.6 °C
			风 30.7 °C
		HEMS - II	
		-980	
		F ₂	20.3 °C
		A	26.0 °C
	C	B	
	30.0	26.7 °C	

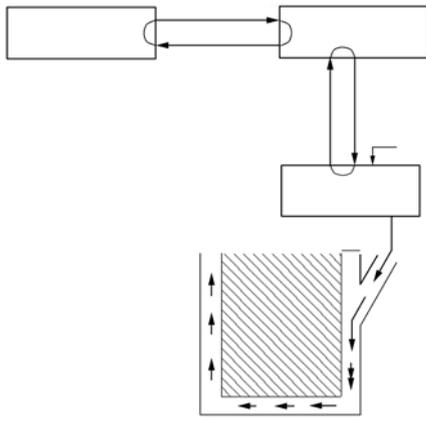
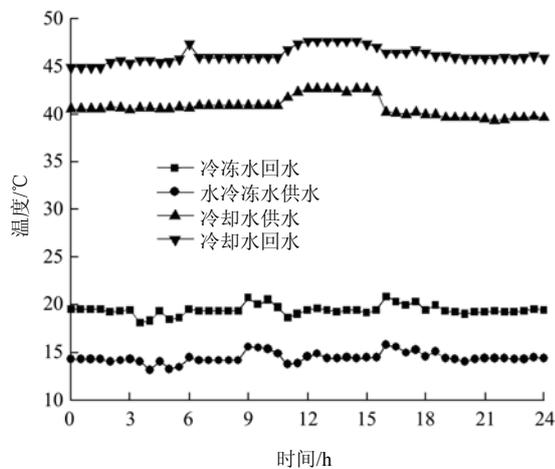
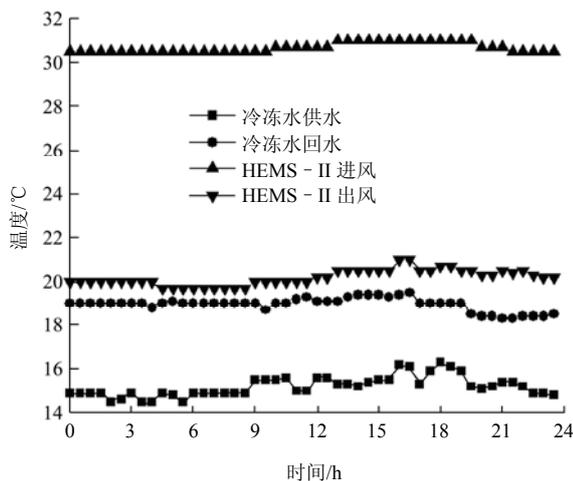


图4 HEMS 系统运行参数及工作面温度

Fig.4 Operating parameters of HEMS system and temperature of working face



(a) HEMS - I



(b) HEMS - II

图5 温度曲线图

Fig.5 Curves of temperature

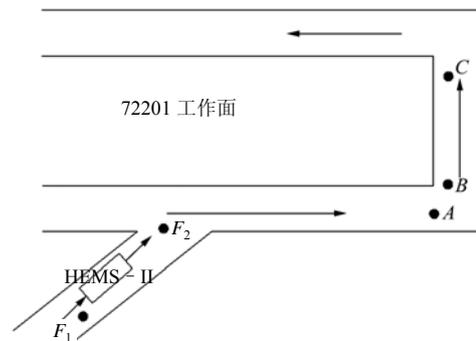
由图4可以看出,冷却水的进水温度在41.1℃左右,回水温度在46.3℃左右。进出水温差约5.2℃。

从图5(a)可以看出,冷冻水供水水温度为15.6℃左右,回水温度为19.5℃左右,进出水温差为3.9℃左右。且维持在一个较稳定的状态。图5(b)可以看出工作面的进风温度由原来的31℃左右通过HEMS-II降温后达到20℃,保证工作面高温得到有效控制。

4.2 72201 工作面生产效果

生产效果主要以工作面温度及湿度2个指标进行分析,72201工作面监测系统测点布置见图6。

图7为系统运行前和系统运行后工作面测量系统量测的温度曲线。从图7可以看出,HEMS-II进风温度为31℃,HEMS-II出风温度为20℃,而工作面控制温度即点C温度为30℃,与系统运行前工作面的平均温度(37℃)比较,系统运行后工



F₁-72201 轨道外巷外口; F₂-HEMS-II 向里 10m; A-72201 面轨出口; B-7100 架处; C-910 架处

图6 72201 工作面监测系统测点布置示意图

Fig.6 Sketch of monitoring at working face 72201

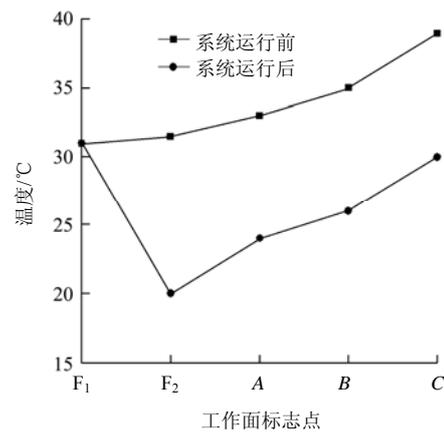


图7 72201 工作面温度监测曲线

Fig.7 Curves of temperature at working face 72201

作面控制温度降低7℃。

图8是系统运行前和系统运行后工作面相对湿度监测曲线,HEMS系统运行后,工作面相对湿度比系统运行前下降了5%~10%。

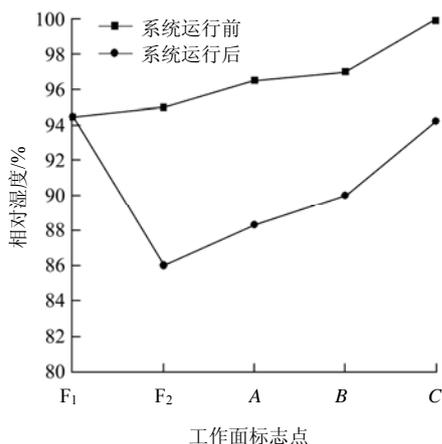


图 8 72201 工作面相对湿度监测曲线

Fig.8 Curve of relative humidity at working face 72201

5 结 论

本文通过理论研究及现场试验,以三河尖矿深井热害为研究对象,分析了三河尖矿深井高温岩体热害的主要特征,并提出三河尖模式深井热害治理 HEMS 降温技术。主要结论如下:

(1) 通过对三河尖矿地温梯度变化,岩石热物理特性和水文条件分析,得出三河尖矿地温随深度逐渐递增,到深部后突然剧增,岩温高达 50 °C,地温梯度高达 3.46 °C/(100 m),属于地热异常热害矿井。总结出三河尖模式热害主要特点为冷源短缺、地热异常。

(2) 提出三河尖模式热害治理 HEMS 系统降温技术,提取井下奥灰水热能实现井上供热,并利用第四系储能层储存冷量实现井下热害治理,实现热害资源化,每年节省燃煤约 12 045 t,减排 CO₂ 约 18 600 t,减排 SO₂ 约 130 t。

(3) 成功利用水平循环 HEMS 技术对三河尖矿 72201 工作面进行热害治理,应用效果表明,该系统生产效果显著,工作面温度范围控制在 26 °C~30 °C,降低了 5 °C~7 °C,相对湿度降低 5%~15%,大大改善了工作面长期以来高温高湿的工作环境,为井下一线作业人员创造了比较舒适的工作环境。

致谢 本文得到三河尖煤矿提供的资料支持,在此表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] 何满潮,谢和平,彭苏萍,等.深部开采岩体力学研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(16):2803-2813.(HE Manchao, XIE Heping, PENG Suping, et al. Study of rock mechanics in deep mining engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2803 - 2813.(in Chinese))
- [2] 谢和平.深部高应力下的资源开采——现状、基础科学问题与展望[C]//香山第175次科学会议.北京:中国环境科学出版社,2002:179-191.(XIE Heping. Resources development under high ground stress: present status, base science problems and perspective[C]// The 175th Xiangshan Science Congress. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 179 - 191.(in Chinese))
- [3] 李化敏,付凯.煤矿深部开采面临的主要技术问题及对策[J].采矿与安全工程学报,2006,23(4):468-471.(LI Huamin, FU Kai. Some major technical problems and countermeasures for deep mining[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2006, 23(4): 468 - 471.(in Chinese))
- [4] BIUHM S J, BIFFI M, WILSON R B. Optimized cooling systems for mining at extreme depths[J]. CIM Bulletin, 2000, 93(1): 146 - 150.
- [5] RAMSDEN R, SHEER T J, BUTTRWORTH M D. Design and Simulation of Ultra-Deep Mine Cooling Systems[C]// Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress. Krakow, Poland: [s. n.], 2001: 755 - 760.
- [6] 孙艳玲,桂祥友.煤矿热害及其治理[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2003,22(增2):35-37.(SUN Yanling, GUI Xiangyou. Research on mine heat-harm and its fathering[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2003, 22(Supp.2): 35 - 37.(in Chinese))
- [7] 欧晓英,杨胜强,于宝海,等.矿井热环境评价及其应用[J].中国矿业大学学报,2005,34(3):322-326.(OU Xiaoying, YANG Shengqiang, YU Baohai, et al. Evaluation of thermal environment in mine an its application[J]. Journal of CUMT mining Science and Technology, 2005, 34(3): 322 - 326.(in Chinese))
- [8] 袁亮.淮南矿区矿井降温研究与实践[J].采矿与安全工程学报,2007,34(3):299-301.(YUAN Liang. Theoretical analysis and practical application of coal mine cooling in Huainan mining area[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2007, 34(3): 299 - 301. (in Chinese))
- [9] TWORT C T, LOWNDES I S, PICKERING S J. An application of thermal energy analysis to the development of mine cooling systems[J]. Journal of Mechanical Engineering Science, 2002, 216(8): 845 - 857.
- [10] 王景刚,乔华,冯如彬.深井降温冰冷却系统的应用[J].暖通空调,2000,30(4):76-77.(WANG Jinggang, QIAO Hua, FENG Rubin. Ice cooling for deep coalmines[J]. Heating Ventilating and Air Conditioning, 2000, 30(4): 76 - 77.(in Chinese))
- [11] 何满潮,徐敏. HEMS 深井降温系统研发及热害控制对策[J].岩石力学与工程学报,2008,27(7):1353-1361.(HE Manchao, XU Min. Research and development of HEMS cooling system and

- heat-harm control in deep mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(7): 1 353 - 1 361.(in Chinese))
- [12] 何满潮, 张 毅, 乾增珍, 等. 深部矿井热害治理地层储冷数值模拟研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2006, 21(2): 13 - 16.(HE Manchao, ZHANG Yi, QIAN Zengzhen, et al. Numerical simulation study of utilizing aquifers to store cool energy in fathoming deep mine heat-harm[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology(Natural Science), 2006, 21(2): 13 - 16.(in Chinese))
- [13] 何满潮, 张 毅, 乾增珍, 等. 储冷对井治理深部矿井热害研究[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(5): 23 - 26.(HE Manchao, ZHANG Yi, QIAN Zengzhen, et al. Research on doublets wells to store cold energy for heat-harm treatment in deep mine[J]. Coal Geology and Exploration, 2006, 34(5): 23 - 26.(in Chinese))
- [14] 张 毅. 夹河矿深部热害发生机制及其控制对策[博士学位论文][D]. 北京: 中国矿业大学, 2006.(ZHANG Yi. Mechanism of deep heat damage and its control measures in Jiahe coal mine[Ph. D. Thesis][D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2006.(in Chinese))