

我国高温矿井热害防治技术研究进展及展望

韩颖 李向威 闫志佳

河南理工大学能源科学与工程学院

1 引言

据国家统计局数据显示,2021年煤炭消费量占能源消费总量的56.0%,比上年下降0.9个百分点;天然气、水电、核电、风电、太阳能发电等清洁能源消费量占能源消费总量的25.5%,上升1.2个百分点。煤炭所占比例逐年减少,但在一定时期内,煤炭资源依旧占主导地位,煤矿开采仍需进行。但浅层的煤炭资源已经无法满足我国发展需求,因此加大开采深度成为了必要,而随着我国目前矿井开采深度逐渐增加,矿井高温热害日益严重,已经严重影响了正常开采活动。

本文根据现有资料查明高温矿井的分布特征,对高温矿井的分布进行总结归纳,探究各个矿井高温热量的来源,通过不同高温矿井的井下热害现状、热害产生因素对比分析,以现有的技术针对不同的高温热源进行治理,使采矿活动能够正常进行。

2 我国高温矿井分布特征

随着我国开采技术的发展以及煤炭资源的需要,开采深度正在逐年增长,部分矿井开采深度已经超过1 000 m,可预见我国矿井开采将进入严重热害阶段。我国开采深度超过1 000 m的高温矿井主要分布在东北区域和安徽两淮区域,中部个别地区矿井也存在高温异常现象。黑龙江省的鹤岗等矿区,江苏的徐州矿区,河南省的平顶山矿区,安徽省的淮南矿区均表现为高温异常显著。东北地区以黑龙江各矿区为例,从地温测量成果计算分析,矿区平均地温梯度为 $2.7^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$;河南中部地区以郑州矿区新密煤田赵家寨煤矿为例,其平均地温梯度为 $3.50^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$;在淮南地

区,如顾北煤矿其系统测温平均地温梯度为 $3.02^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$,该区域内丁集、顾桥矿井等也都属于高温异常区,矿井平均地温梯度为 $2.52\sim 4.02^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$,绝大部分地温梯度大于 $3^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$ 。

对于矿井热害已有划分标准,《矿井降温技术规范》指出:平均地温梯度不超过 $3^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$ 的地区为地温正常区;超过 $3^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$ 为高温异常区;原始岩温度高于 31°C 的地区为一级热害区,原始岩温度高于 37°C 的地区为二级热害区。根据我国目前出现热害矿井的具体情况,将我国矿井热害划分为4种类型,如图1所示。

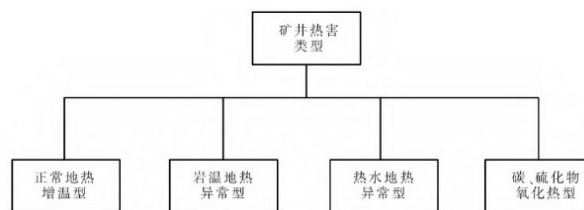


图1 矿井热害类型划分图

3 我国高温矿井热害防治技术发展历程

目前国内外矿井降温技术发展较为迅速,从过去通过改变通风风量进行降温的方式,发展到矿井空调阶段,再到如今降温技术飞速发展阶段,矿井降温技术发展历程如图2所示。

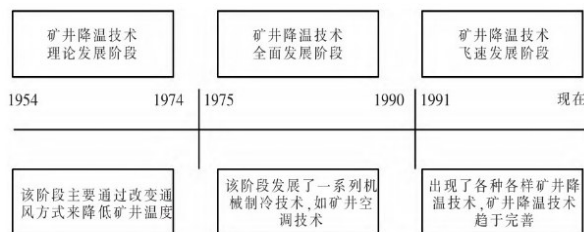


图2 矿井降温技术发展历程图

矿井降温技术的发展大致分为3个阶段:

(1) 1954—1974年,该阶段处于理论发展阶段,在这一阶段中科研人员们努力试验,学习国外专业基础理论和研究成果,为降温技术的发展奠定理论基础。该阶段主要通过改变通风方式和加大风量来对矿井进行降温。

(2) 1975—1990年,这一阶段处于矿井降温技术全面发展阶段,各种理论基础已经完善,并在矿井中进行各种试验来完善制冷降温系统。在山东新汶矿务局设计我国第一个井下集中制冷降温系统,降温技术的发展进入新的层次。该阶段主要技术是矿井空调制冷技术。

(3) 1991年至今,为降温技术的推广应用和进一步完善、提高、创新阶段。经过先驱者们对矿井降温技术理论的奠基,矿井技术飞速发展,延伸出各种降温技术。该阶段技术趋于多样化,主要降温方式为机械制冷降温。

4 高温矿井热害来源及分源治理技术

4.1 高温矿井热源分析

在矿井中,导致矿井温度过高的因素有很多,不同的因素造成的影响和灾害程度不同。我国高温矿井热害来源如图3所示,先分述如下。

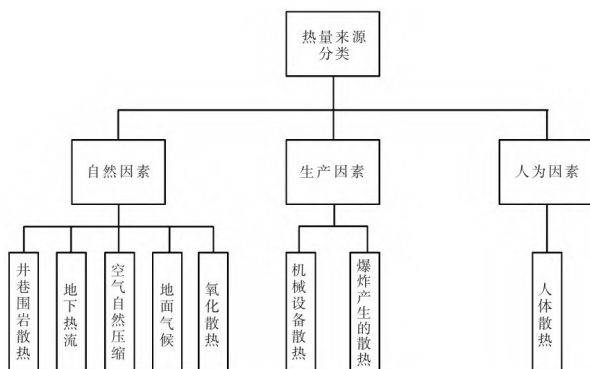


图3 我国高温矿井热源分类图

(1) 围岩

煤矿区域内高温热害主要是岩石岩性在长期演化以及各种地质作用下形成的,与地质条件、岩浆活动以及地下热流密切相关,同时又受该地区地温赋存状态影响,原岩温度随深度增加而上升的速度跟岩石热传导性与大地热流值有关,围岩散热是热害矿井中的主要热源。

(2) 地下热流

地下热流也是影响矿井温度的一个重要因素,地下热水的放热量受水流涌出量和温度所影响。地下热流对矿井温度影响有2种方式:①通过地下涌出来的热流对矿井风流直接传导热量;②地下热流向上涌出对岩体加热升温,岩体再把热量传递到井巷中。

(3) 空气自然压缩

空气自然压缩散热即在重力场的作用下,通风系统中空气顺着风筒向下运移,重力势能转变为焓导致压力和温度都有所升高,不是由地下外部其他热源传递热量引起的。

(4) 地面气候

对于地面气候来讲,对某些地区矿井影响较大,与地理位置因素有关,地面气候在每一年都是周期性、有规律地升高和降低,在每个季节中对矿井温度影响不同。

(5) 煤炭氧化

在开采过程中煤炭与空气长期接触,很容易被空气氧化,散发出大量的热。有自燃倾向的煤层被氧化后,如果热量无法及时散发出去,很容易发生自燃现象,因此,氧化散热也是导致矿井热害的又一影响因素。

(6) 其他因素

如今矿井开采已步入机械化时代,井下已全面使用机械设备,使采矿活动更安全高效,但深部热害矿井机械设备散热也成为了一大问题。以及各种人为因素导致井下热量增加,如爆炸产生的热量、采空区矸石氧化以及人在井下活动散发的热量等等,对矿井都有一定影响。

4.2 分源治理技术

目前,国内外矿井主要降温方式是机械制冷降温,但存在一定的缺陷,如设备维护困难、降温效果不显著、无法形成循环、存在安全隐患等。因此提出高温矿井分源治理技术,旨在可以有效解决高温矿井降温和能耗、经济、环保等问题。高温矿井分源治理技术就是根据热量来源的不同来采取不同的技术针对性治理热害矿井,针对不同热源进行治理技术如图4所示。

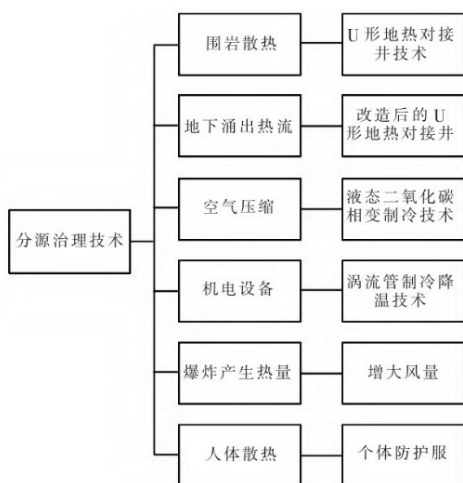


图4 针对不同热源采取的制冷技术图

(1)围岩散热治理技术

在高温矿井中,围岩散热是高温矿井中占比最大的热量,对于围岩散热可以采用U形地热对接井技术,加以改造对围岩进行针对性降温。U形地热对接井技术利用一系列换热管及热泵对地热资源进行利用,同时能对矿井进行降温。在开采煤矿的同时打对接井,向井下铺设管路,安放相应装置。其大致流程图如图5所示。

(2)地下涌出热流治理技术

地下热流涌出也是部分矿井面临的一大问题,地下热流易流动,热容量大,是良好的热源载体,热流与空气的热交换强度非常大,热水温度越高与空气接触面积越大则涌出水热放出的热量就越大。对此可以采用U形地热对接井技术同超前疏干法相结合,将涌出热水运移至地面进行利用的同时对巷道中涌出热水裂隙进行超前钻孔,将地下热流提前排出至管道中运至地面,大致流程如图6所示。

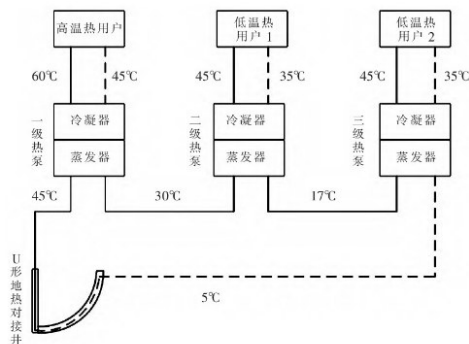


图5 U形地热对接井针对围岩降温示意图

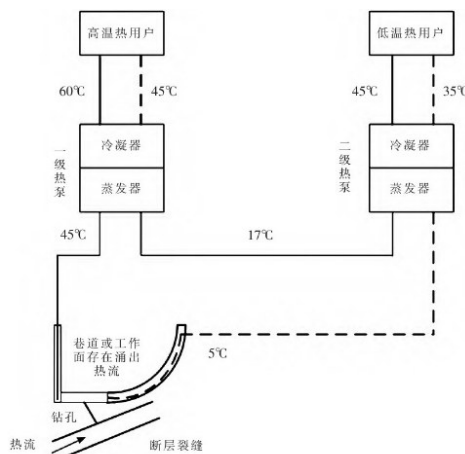


图6 针对地下热流治理技术流程图

(3)空气自然压缩散热治理技术

在风筒中,气体由地面向井下运输,风筒中空气自然压缩是不可避免的,导致风流从地面输送到工作面时温度升高,是矿井热害的影响因素之一。对于空气自然压缩产生的热量选取液态CO₂相变制冷技术,将此技术加以改进,在地面以液态CO₂相变为冷却源,对空气进行降温,将冷空气通过风筒输送到工作面,地面液态CO₂相变产生的气体可以进行回收利用,其在矿井中对空气自然压缩降温大致流程如图7所示。

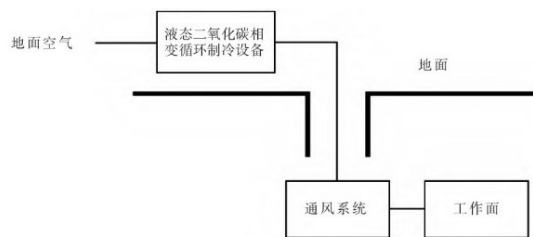


图7 空气自然压缩治理技术流程图

(4)机电设备散热治理技术

随着科技的发展,如今井下已经实现全面机械化、智能化生产。随着机电设备的增多,机电设备工作时消耗非常多的能量,这些能量一部分转化成有用功,另一部分转化成热能,并向外部环境中散发出去。

机电设备大多安置在封闭狭小空间内,导致机电设备热量聚集,影响矿井温度。对于机电设备散热可采用涡流管制降温技术,其工作原理简单,方便易行,利用空气压缩来达到制冷的目的。其

在机电硐室中的布置大致如图8所示。

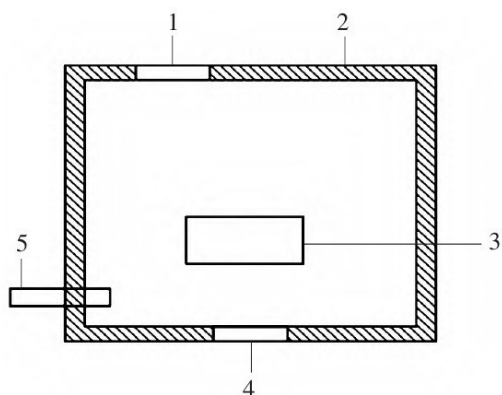


图8 涡流管技术布置示意图

1.门2.支护结构3.机电设备4.观察窗5.涡流管

(5)爆炸产生热量治理技术

对于井下采取爆破作业时产生的热量,需要及时治理,以免对矿井温度造成影响。爆炸产生的热量,部分分散在爆破烟雾中,其余热量将被储存在破碎岩石中,爆破后要及时通风,将爆炸产生的热量迅速随风流带出。爆破产生的热量作用时间短,没有持续供热源,对其采用加强通风的方式就能达到较好的降温效果。

(6)人体散热治理技术

在高温矿井中,工人在井下工作,外部环境温度过高,人体热平衡会遭受破坏,严重影响人身健康。对于井下这种特殊高温行业,工人在工作时应穿戴特殊冷却服,冷却服不仅使人体与热环境分隔开,而且能对人体产生的热量进行降温,保证井下工作人员不受热环境的侵扰,避免人体长期处在高温环境中,对身体和心理造成不可逆转的伤害。

5 高温矿井热害防治技术发展趋势

(1)煤炭工业“十四五”科技发展指导意见中指出当今煤炭行业技术的发展方向,目前煤炭行业正处于改革阶段,煤炭行业各种技术发展要符合绿色高效理念。

(2)对于高温矿井降温技术的研究我国从20世纪50年代就已经开始着手,到今天来看,矿井降温技术的研究已经相当成熟,但也存在一定的缺陷。现如今迫切需要高温矿井降温新技术的出现和创造,新降温技术的出现和创造不仅要具有绿色、高效、节能等特点,同时要能对地热资源进行合理的利用。

(3)地热资源是未来绿色能源发展的一大方向,以矿井降温技术的发展同时,推动地热利用技术,开拓地热应用新前景。

6 结语

(1)通过总结分析我国高温矿井分布特征,我国高温矿井主要位于东北、两淮以及中部部分区域。

(2)分析不同区域高温矿井热害类型,并探讨矿井高温异常的影响因素,主要包括围岩、地下热流、地面气候、空气自然压缩、煤炭氧化以及其他因素。

(3)回顾了高温热害矿井治理技术发展历程,主要包括3个阶段:矿井降温技术理论发展阶段(1954—1974年),矿井降温技术全面发展阶段(1975—1990年),矿井降温技术飞速发展阶段(1991年至今)。

(4)总结了热害分源治理技术,针对不同热源选取相应技术进行高效治理。对于围岩散热为主的矿井,可以采用U形地热对接井技术;地下涌出热流的矿井,可采用U形地热对接井同超前钻孔相结合技术;空气自然压缩散热可选用地面CO₂相变循环制冷空气技术;针对机电设备散热建议采用涡流管制冷技术;人体散热则可选用特制制冷服。

参考文献 略

转自《煤炭技术》2023, No.10