

煤矿硫化氢防治技术研究进展

邓奇根^{1,2}, 王颖南², 吴喜发², 刘明举^{1,2}

1. 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室; 省部共建国家重点实验室培育基地, 焦作 454003

2. 河南理工大学安全科学与工程学院, 焦作 454003

摘要 煤矿 H₂S 气体异常富集而导致的突然涌出和伤亡事故越来越频繁。根据 H₂S 在煤矿中的分布特征、赋存形式和涌出形态, 综述了含煤岩层、巷道风流中和地下水体中的 H₂S 防治技术。目前使用的 H₂S 防治技术主要有煤层施钻高压注碱中和、巷道碱液喷洒、加大风量稀释、改变通风方式、抽排、疏堵及综合治理等方法; 采用的碱性药剂主要是质量百分比浓度为 0.5%~3.0% 的碳酸钠、碳酸氢钠溶液等; 部分碱性溶液中添加有表面活性剂、芬顿试剂、十二烷基苯磺酸钠、次氯酸钠或氯胺-T 等。分析了各类防治技术的治理效果及存在的主要问题, 提出了一种新型的煤矿 H₂S 综合防治技术方案。各矿井应根据 H₂S 在煤岩层中的赋存、分布情况和涌出形态, 依据目前技术水平, 结合 H₂S 防治成本进行有效治理。

关键词 煤矿; 硫化氢; 防治技术; 研究进展

煤矿开采过程中, 由于煤岩层硫化氢(H₂S)异常富集而导致伤亡事故及潜在危害在国内外不断出现, 并呈快速增多趋势。近几年中国四川、山东、陕西及新疆等 10 余个省、自治区发生了 50 多起 H₂S 突然涌出, 并造成了多人死伤事故^[1]。此外, 还有相当部分低浓度(含量)H₂S 异常矿井, 因浓度较低, 没有引起广泛关注, 但对井下作业人员中枢神经系统和呼吸系统造成不可逆转的损伤, 且部分矿工有严重的后遗症。此外, 中国高硫煤广泛分布, 随着开采技术水平提高和开采深度增加, 高硫煤中高含 H₂S 的可能性势必大增。H₂S 是一种无色、具有臭鸡蛋气味神经毒物, 主要危害人的中枢神经和呼吸系统^[1-2]。中国煤矿井下空气中的最高允许体积浓度为 6.6×10^{-6} , 而中国煤矿井下 H₂S 浓度从小到几个 10^{-6} , 大到几千个 10^{-6} 都存在, 部分区段、巷道或采面

H₂S 浓度长期超标, 甚至超标严重。因此, 探讨煤矿 H₂S 防治技术是一项紧迫且具有重要意义的课题。

1 煤矿 H₂S 防治技术

H₂S 在煤矿主要存在于含煤岩层及地下水体中。根据 H₂S 在煤岩层中的分布特征、赋存形式和涌出形态, 其防治技术通常可分为以下几类。

1.1 含煤地层中 H₂S 防治技术

因 H₂S 分子的极化率比较大, 彭本信等^[3-4]认为: H₂S 在煤体中主要以吸附态的形式存在, 其吸附性能大于甲烷、氮气和二氧化碳。因此, 首次提出了 H₂S 与瓦斯不一样, 不宜采用类似抽采瓦斯的方法抽采硫化氢。王可新等^[5-6]认为: 可根据煤层 H₂S 的含量, 结合煤层瓦斯抽采工艺, 高体积分数的 H₂S 可以采用类似瓦斯抽采

收稿日期: 2017-09-10; 修回日期: 2017-12-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51774116, U1504403); 河南理工大学博士基金项目(B2016-02)

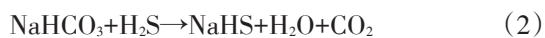
作者简介: 邓奇根, 副教授, 研究方向为煤矿瓦斯(硫化氢)灾害预测与防治及安全系统工程, 电子信箱: dengqigen@hpu.edu.cn

引用格式: 邓奇根, 王颖南, 吴喜发, 等. 煤矿硫化氢防治技术研究进展[J]. 科技导报, 2018, 36(2): 81-87; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.02.009

的方法先将 H₂S 从煤层中抽出并送到井上,然后分别采用物理法、化学法、生物法治理。

赵义胜等^[7]通过采用深孔脉冲动压注碱方法,对西曲煤矿 9 号煤层 H₂S 进行了治理。施钻封孔后,采用脉冲式高压(4.0~5.0 MPa)向煤层单孔连续 2~3 d 注入百分比浓度为 1.13% 的碳酸钠溶液,在正巷煤层平均吨煤注水 10.65 kg,吨煤注碱量 0.12 kg。治理后 H₂S 由最高浓度为 350×10⁻⁶ 降低到平均为 3.6×10⁻⁶。袁欣鹏等^[8]根据山西某矿 E902 工作面 H₂S 动态涌出规律,通过对煤层注入 NaHCO₃ 溶液,注碱 57 h 后监测发现,注碱影响半径达 6 m,6 m 范围内 H₂S 体积分数平均降至 0.0015% 以下,相对未治理前可降低 0.001%~0.003%,降幅达 40%~75%。陕西长武亭南煤矿 201 工作面采用高压注浆泵通过深孔预裂爆破进行采前媒体注石灰浆水,结合通风排水、H₂S 抽放等措施对媒体中的 H₂S 进行治理,达到了理想的效果^[9]。孙维吉等^[10]采用质量百分比浓度为 0.5%~1.0% 的碳酸氢钠溶液,通过布置孔距 8 m、孔径 75 mm、孔深 60 m 的钻孔,超前工作面注液对 H₂S 治理。单孔注碱量为 2.5~2.75 m³,超前工作面在 25~50 m 时,H₂S 防治效果较好。张天祥等^[11]根据山西凤凰山矿 15 号煤层 155301 首采工作面的 H₂S 涌出情况,采用个体防护、加强通风、煤层注水、洒水喷雾等综合措施,对 H₂S 进行治理,取得了较好的效果。翟所国等^[12]根据陕西亭南矿井 H₂S 涌出特征,通过加强检测、在巷道喷洒石灰水、向煤层注入石灰水、及时排出巷道内积水、并结合 H₂S 抽排及加强通风等手段,有效地治理了 H₂S 的超标。程元祥^[13]根据乌东矿区碱沟煤矿东翼 B₁₁₂ 煤层 H₂S 气体来源和涌出源特征,结合急倾斜煤层赋存状态,分别采用上部负压抽采、中部注碱液和负压抽采、下部注碱液 3 种措施同时治理 H₂S,取得了较好效果。

在注碱过程中,使用碳酸钠或碳酸氢钠作为碱性吸收液时,其发生的化学反应方程式为



硫化氢反应产物为 HS⁻,而 HS⁻ 性质不稳定,往往在煤层采掘、瓦斯抽采及水流的扰动作用下,会从溶液中或反应产物中重新逸出从而再次扩散到煤岩体或空气中。由于不同矿区煤的变质程度、构成组分、裂隙发育等因素不同,导致媒体润湿效果差异较大,而添加表面活性剂可以有效降低吸收液的表面张力,增加液体的

渗透半径,从而提高对媒体内部吸附 H₂S 的去除效率。因此,在采用碱性试剂作为吸收液的同时,往往加入一种有效并且稳定的添加剂或表面活性剂^[14],增加媒体内部硫化氢的吸收效率,且把 H₂S 氧化成单质硫或者价态更高的硫化合物,并促使反应向正方向发展。

芦志刚等^[15]通过沿掘进工作面周边,沿巷道轴向方向向外倾 6° 均匀布置 3 层 8 个深 30 m 的注碱孔。沿轴向方向注碱 30 m,掘进 20 m,留 10 m 安全距离,然后循环注浆及掘进(图 1)。其采用的碱液配方为:碳酸钠质量百分比浓度为 1.0%、十二烷基苯磺酸钠和次氯酸钠的质量百分比浓度都为 0.1%。可有效确保掘进巷道周围形成一定距离的、碱液润湿的安全帷幕,减少掘进时 H₂S 的涌出量。

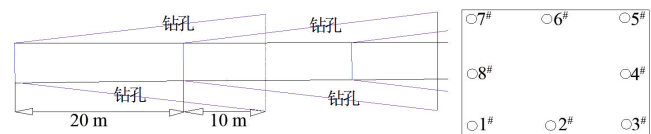


图 1 掘进工作面注碱孔布置图及注碱开挖工艺

Fig. 1 Profile chart of alkali injection hole and alkali injection excavation process drawing in heading face

梁冰等^[16]根据铁新煤矿 H₂S 赋存特征和注碱参数,首次采用数值模拟与现场实验相结合的方式对该矿井 H₂S 进行了治理研究。设定碱液在煤岩裂隙中的流动满足纳维-斯托克斯方程(N-S 方程),在微孔中的流动满足 Brinkman 方程,反应物质变化满足对流扩散方程。结果表明:注碱影响范围随注碱时长增加而扩大,距孔 7~9 m 连续注碱 18 h, H₂S 体积分数降幅高于 51.3%,7 m 以内煤层 H₂S 几乎完全中和。根据模拟结果,采用注碱孔距为 8 m 进行了试验,注碱后回风流 H₂S 体积分数最高为 5.6×10⁻⁶,表明模拟结果可指导煤层注碱工作。

1.2 巷道风流中 H₂S 防治技术

近年来,在矿井巷道风流中的 H₂S 防治通常采用串联通风、均压通风、加大风量、改变通风方式或采用喷洒碱液化学中和等方法。其中,喷洒碱液是目前常用的措施之一,其常用的药剂有碳酸氢钠、石灰水和碳酸钠等溶液。

在矿井风流中 H₂S 浓度不大,且技术和经济可行的条件下,可通过在 H₂S 影响区域改进通风系统,包括增大通风量,改变通风方式等方法进行防治。邓奇根等^[17]

首次提出并建立了一种巷道风流中自动脱除硫化氢装置及方法,可根据巷道风流中 H_2S 浓度及风量,实现药剂浓度的自动配备和喷洒的自动定量,从而安全高效地解决巷道风流中硫化氢的脱除问题,并有效节省成本和人工投入。余玉江等^[18]基础性设计了一种快速去除高硫煤矿井下 H_2S 的药剂及设备。以碳酸钠为碱性吸收剂,以氯胺-T为催化氧化剂,按照碳酸钠质量分数为0.15%~0.30%,氯胺-T质量分数为0.3%~0.5%配制溶液。其装置可自动喷雾,喷雾量为2.5 L/min,弥雾距离可达15~20 m。张戈^[19]结合乌东矿北采区特厚放顶煤时硫化氢的扩散特征,提出并实施了采用正对支架放煤口喷洒吸收液、放煤口下风侧拦截喷洒吸收液的防治措施。设定喷雾压力为8.0 MPa,吸收液质量百分浓度为0.9%,放煤口碱液喷洒流量约为70 L/min,放煤口下风流布置3道拦截喷洒装置,单道喷雾流量为40 L/min。通过治理, H_2S 可降低84%以上。刘奎^[20]根据煤矿 H_2S 现场实际状况,建立了 H_2S 吸收模拟实验系统,通过试验及计算,得到了喷洒吸收液治理 H_2S 的影响程度顺序为:风速>吸收液浓度> H_2S 浓度>喷雾流量。

Harvey等^[21]根据 H_2S 的性质,基础性地采用NaOH药剂,控制溶液pH值在12.4,添加次氯酸钠氧化 H_2S 的方案,该法最佳效果可降低91%的 H_2S 浓度。

1.3 地下水体中 H_2S 防治技术

H_2S 在水中的溶解度很大,其在水体中的溶解度是 CH_4 的93倍, CO_2 的2.7倍。位于四川华蓥山煤田的广安煤矿,在+497.5 m水平北西翼装车站施工过程中,探穿了最高流量达40 m³/h,浓度为180 mg/L的含 H_2S 水,涌出到工作面空气中的 H_2S 浓度高达0.7%。通过采用串联通风、增大风量,在井下撒石灰辅助治理,对含 H_2S 的水进行堵、疏、排综合治理及负压通风等相结合的治理措施^[22-23],取得了较好的效果。四川斌郎煤矿在±0 m水平石门掘进时,遭遇突水并伴随喷出自雷口坡组高含 H_2S 气藏。气体涌出量稳定在2 m³/min左右,在运输石门内 CH_4 浓度最高达43%, H_2S 浓度达 240×10^{-6} ,突水点涌水量为 10^5 m³/h,具有气源补给丰富、涌水量大的特点。通过采用长抽长压通风方式,结合引导、隔离排水,并采用3%~5%的碳酸钠溶液喷雾方法吸收空气中 H_2S ,并对 H_2S 涌出巷道段采用全断面帷幕预注浆堵水,通过综合治理, H_2S 浓度降低至 6×10^{-6} 。林海等^[24]通过实验芬顿试剂处理含 H_2S 的水体。实验表明:采用浓度比为0.67 g/L的 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ +浓度为0.67 mL/L的

H_2O_2 的Fenton试剂处理含 H_2S 浓度为140 mg/L的水溶液效果最佳,适宜的pH值为6~10,最适宜为8,在介质温度为25℃时,反应时长10 min后,药剂对水体中的 H_2S 的最大去除率为93.14%。王小军等^[25]发明了一种井下出水点硫化氢治理装置,通过设计了一种粉体定量投加和吸收溶液的自动喷雾装置,实现了涌水点 H_2S 上下一体化治理。

2 存在的主要问题

2.1 含煤地层中 H_2S

采用碱性化学药剂治理含煤地层中 H_2S 的方法,虽然属于主动防治措施,但由于部分化学药剂用量大,导致治理成本高,且有引起二次污染及设备腐蚀的可能。常用的碳酸钠和碳酸氢钠溶液吸收 H_2S 的中和反应是可逆的,反应生成的硫化钠又是一种化学性质不稳定的化合物,而且碳酸钠溶液的浓度较低时,生成的硫化钠又可与 CO_2 反应释放出 H_2S 气体。而碳酸氢钠对 H_2S 的吸收效果不如碳酸钠,降低了对 H_2S 的吸收效果。添加氧化剂或表面活性剂往往会导致成本成倍增加,并且部分强氧化剂对环境及设备有危害。而采用超前钻孔注碱液,往往会影响掘进速度。

采用杀菌剂治理生物成因 H_2S ,存在杆菌培养时间长,而且不能完全杀灭硫酸盐还原菌,并且容易使细菌产生抗药性,且抑制还原菌只能暂时促使 H_2S 不增长,而对于已经存在的 H_2S 则需要采取其他措施予以根除。因煤与油形态不一样,其杀菌剂注入更为困难,因而难以发挥作用。

2.2 巷道风流中 H_2S

加强通风只能在 H_2S 体积分数较低时才能起到稀释作用,对于 H_2S 体积分数较高的,如果要降低到安全值以下,其风量往往需要成倍,甚至十几倍的增长,因而可能导致风速、风压过高,进而从技术、经济上不可行。掘进工作面采用改变通风方式的方法治理 H_2S ,同样不能保证全部作业人员不受 H_2S 的危害,在巷道风流中喷洒碱液属于被动防治方法,只能解决临时已涌出的 H_2S ,不能从根本上防治 H_2S 。

2.3 地下水体中 H_2S

随水体涌出的 H_2S ,往往具有瓦斯和 H_2S 一起以猛烈的形式涌出,气体涌出量大,且具有长期稳定性的特点。治理该类型 H_2S ,通常需要同时治理涌水问题,其防治也较为复杂和困难。

2.4 其他问题

H₂S为极性分子,煤岩对气体具有吸附性和分子筛选特性。H₂S极化率为 $3.64 \times 10^{-30} \text{ m}^3$ (CH₄为 $2.60 \times 10^{-30} \text{ m}^3$),极化率越大,分子变形越大,在相同地质条件下,越容易被吸附。煤对气体的吸附能力随气体沸点的增加而上升,H₂S、CO₂、CH₄和N₂的沸点分别是:-60.33℃、-78.50℃、-161.49℃和-195.8℃,可知煤对上述气体的吸附能力大小顺序为:H₂S>CO₂>CH₄>N₂。可知,煤岩层中H₂S主要是以吸附状态存在的,并且其吸附能力很强。所以采用抽采瓦斯或压注CO₂驱气的办法抽采H₂S,往往导致不能彻底根治H₂S现象,并且容易造成环境污染和设备腐蚀。

3 研究结果

H₂S需要在特殊地质条件下才能得以成生并富集,在H₂S异常富集煤矿采掘过程中,煤岩层中富集H₂S会涌出(逸散)到巷道或采掘工作面中,在煤炭破碎过程中有大量H₂S逸出,上隅角、采空区也往往有H₂S涌出,水体中也往往富集大量的H₂S。进而给煤岩层H₂S的防治带来极大困难,因此各煤矿通常需要根据矿井实际,建立“除、排、堵、疏、抽”等相结合的H₂S综合防治技术方案(图2)。

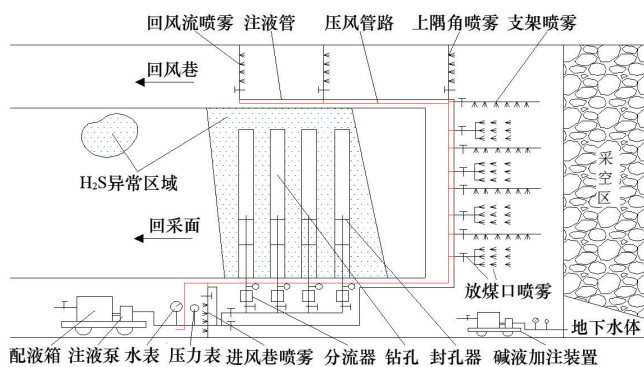


图2 煤矿长壁工作面H₂S综合防治技术方案

Fig. 2 Scheme of comprehensive prevention and control technology of H₂S on a longwall face in coal mine

除:主要采用化学手段,采用喷、洒、注(碱液、缓冲溶液、表面活性剂)等方式中和空气、煤岩层或水体中的H₂S。对于煤岩层H₂S异常区域,通过在异常区域施钻,采用静压或动压形式压注碱性溶液(或含添加剂或表面活性剂)中和煤岩层中的H₂S。对于渗透性较差的

煤层,局部块段可结合水力压裂、松动爆破等增透措施提高压注效果和渗透范围。

排:在巷道风流中H₂S浓度较小的情况下,通过改变通风方式、采煤方法或增大通风量排或稀释H₂S,或者建立专门的回风巷道,把含H₂S的气体引排到专回巷道中,部分块段可以采用专用稀释器。

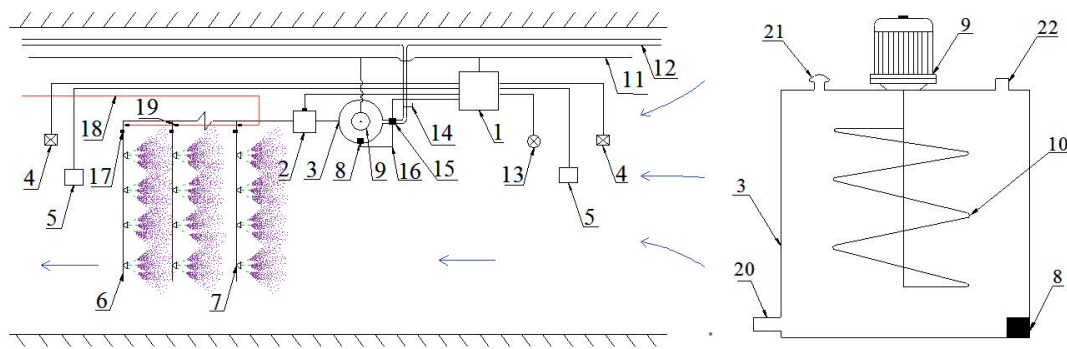
堵:对于类似于四川广元华蓥市华蓥山矿区一样,由水体中带来的H₂S,可结合堵、疏等方式防治。主要采用注浆方式和原理,利用浆液充填或渗透达到封堵裂隙、隔绝水源,从而起到封堵并疏排含H₂S水的目的。其封堵材料可以选用重晶石粉、膨润土、羧甲基纤维素钠(CMC)黏结剂、Na₂CO₃、NaOH、固体堵漏材料、水泥和速凝剂等进行配比。对于类似新疆乌鲁木齐西山煤矿的类似条件,虽然巷道各地点涌水量不大,但水体中富含H₂S,可向涌水口定期洒石灰粉块或碱液方式进行辅助防治。对于通过巷道裂隙涌出的H₂S,可以采用高压注浆封堵裂隙,迫使H₂S不泄露。

疏:对于类似四川广元华蓥市华蓥山矿区由水体带来的硫化氢,可以在堵的基础上,利用特殊管网,把含H₂S水疏排到指定地点,然后采有化学药剂进行防治。

抽:即抽采法,对于吨煤H₂S含量大的区域,可以利用特殊管网,通过压差抽采煤层中的H₂S。对于吨煤H₂S体积分数的测定,梁冰等^[26]首次提出了钻屑法测定煤层H₂S含量方法,其测定过程为:采用钻屑法在未受采动影响的新鲜煤壁取样,通过测定煤样H₂S解吸量、取样过程损失量和H₂S残存量确定煤层的H₂S含量。根据溶于水中H₂S的pH值和色谱分析解吸气体中H₂S体积分数确定解吸量;根据煤样解吸规律和气样H₂S体积分数,确定损失量;根据色谱分析残存气体中H₂S体积分数,确定其残存量。刘明举等^[27]首次提出并发明了一种煤层H₂S含量测定装置,主要包括井下解吸装置、地面解吸装置、粉碎脱气装置、天平及气相色谱5部分组成。H₂S含量分为常压解吸量和粉碎后脱气解吸量两部分,其中常压解吸硫化氢量包含损失量、井下及地面解吸量。Kizil等^[28-33]结合研究矿井实际,开创性地提出了一种煤层瓦斯含量中硫化氢的测试方法及煤矿硫化氢防治技术方案。

对于巷道(进风、回风)、放煤口或上隅角等气流中的H₂S防治,可采用如图3所示的技术方案^[23]。

通过压风管路,选用双流雾化喷头,一头进水,一



注:1—控制主机;2—增压泵;3—储液罐;4—红外线感应探测器;5—H₂S浓度传感器;6—喷雾支架;7—雾化喷嘴;8—压力传感器;9—低速电动机;10—搅拌机;11—电线;12—进水管;13—风速传感器;14—手动阀门;15—自动配液系统;17电磁阀;18—压风管路;19—减压阀;20—储液罐出口;21—通气口;22—储液罐进口。

图3 巷道气流中的H₂S防治技术方案

Fig. 3 Prevention and control technology scheme of hydrogen sulfide in the air of a tunnel

头进带有一定压力的空气,在喷头腔体内空气与碱液碰撞产生粒径小于10 μm的细水雾(干雾),其有利于碱液在风流中的扩散,增大空气接触面积和延长接触时间,有利于H₂S气体的吸收中和。设置3排喷嘴,每排4个,喷嘴呈90°分布,每排喷嘴间距可根据巷道断面、H₂S浓度及风速进行适当调节。

各矿井应该结合本矿H₂S分布、涌出特征,结合煤矿开采顺序,建立如图4所示的煤矿H₂S综合防治成套技术体系。

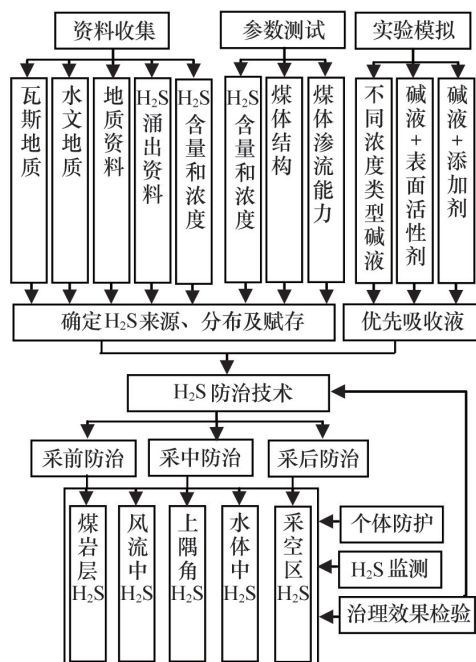


图4 煤矿H₂S综合防治成套技术体系

Fig.4 Complete set of technical system of comprehensive prevention and control technology of H₂S in coal mine

4 结论

1) 煤矿高含H₂S气体引起的异常涌出和伤人事故越来越频发,其灾害防治将越来越受到重视。H₂S的特性,决定了其在煤岩层中的分布具有不均匀性,分区分带现象明显。因此在煤矿H₂S防治之前,应先查明其在煤岩层中的赋存规律、分布特征和含量大小,在此基础上进行针对性的防治。

2) 注碱中和煤层中H₂S的碱液配比浓度应以吨煤中H₂S含量为计算依据。在具体防治过程中,应根据煤层H₂S含量,随时调整碱液的配比浓度,确保达到最佳治理效果。在碱液配比中,需综合考虑钻孔深度、间距,煤层透气性系数,煤层厚度,工作面长度,水的损失,注水湿润半径,注水不均匀系数,注水压力和注水时间等。

3) 目前,煤矿H₂S治理技术,绝大多数是采用局部防治措施,虽然取得了部分效果,但离煤矿的安全、高效开采还具有较大差距。各矿井应结合本矿具体情况,加大基础实验研究,筛选经济、高效的H₂S防治药剂,建立一种综合、长效的防治技术措施。

参考文献 (References)

[1] Liu M J, Deng Q G, Zhao F J, et al. Origin of hydrogen sulfide in coal seams in China[J]. Safety Science, 2012, 50(4): 668-673.
 [2] 魏俊杰, 邓奇根, 刘明举. 煤矿硫化氢的危害与防治[J]. 煤炭技术, 2014, 33(10): 269-272.
 Wei Junjie, Deng Qigen, Liu Mingju. Hazards of hydrogen sulfide and control measures in coal mines[J]. Coal Technology, 2014, 33(10): 269-272.

- 2014, 33(10): 269-272.
- [3] 彭本信, 酆宗元, 张建华, 等. 乌达矿区硫化氢综合防治技术[J]. 煤炭科学技术, 1992(9): 23-27.
Peng Benxin, Li Zongyuan, Zhang Jianhua, et al. Comprehensive prevention and control technology of hydrogen sulfide in Wuda diggings[J]. Coal Science and Technology, 1992(9): 23-27.
- [4] 酆宗元, 戚务铭. 矿内硫化氢防治的探讨[J]. 煤矿安全, 1988(9): 30-35.
Li Zongyuan, Qi Wuming. Mine for prevention and control of hydrogen sulfide[J]. Safety in Coal Mines, 1988(9): 30-35.
- [5] 王可新, 傅雪海. 煤矿瓦斯中 H_2S 异常的治理方法分析[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(1): 94-96.
Wang Kexin, Fu Xuehai. Analysis on control method of H_2S anomaly in mine gas[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(1): 94-96.
- [6] 崔中杰, 傅雪海, 刘文平, 等. 煤矿瓦斯中 H_2S 的成因、危害与防治[J]. 煤矿安全, 2006(9): 45-47.
Cui Zhongjie, Fu Xuehai, Liu Wenping, et al. The causes of hydrogen sulfide in coal mine gas, harm and prevention[J]. Safety in Coal Mines, 2006(9): 45-47.
- [7] 赵义胜, 张崇智, 赵俊田, 等. 利用高压脉冲注液治理煤矿硫化氢技术: 101440713A[P]. 2009-05-27.
Zhao Yisheng, Zhang Chongzhi, Zhao Juntian, et al. A control technology of hydrogen sulfide by using the high voltage pulse injection fluid in coal mine: 101440713A[P]. 2009-05-27.
- [8] 袁欣鹏, 梁冰, 孙维吉, 等. 煤层注碱治理矿井硫化氢涌出危害研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(5): 114-119.
Yuan Xinpeng, Liang Bing, Sun Weiji, et al. Research on control of mine hydrogen sulfide emission by injecting sodium bicarbonate solution into coal seams[J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(5): 114-119.
- [9] 王岩, 梁冰, 袁欣鹏. 深孔控制预裂爆破在高硫化氢矿井瓦斯强化抽采中的应用[J]. 重庆大学学报, 2013, 36(5): 101-106, 118.
Wang Yan, Liang Bing, Yuan Xinpeng. The application of deep hole pre-split blasting to gas improved extraction in high hydrogen sulphide mine[J]. Journal of Chongqing University, 2013, 36(5): 101-106, 118.
- [10] 孙维吉, 王俊光, 袁欣鹏, 等. 一种动态注碱治理煤层硫化氢的方法: 104110270A[P]. 2014-10-22.
Sun Weiji, Wang Junguang, Yuan Xinpeng, et al. A method of dynamic injection alkali to prevention the hydrogen sulfide in coal seam: 104110270A[P]. 2014-10-22.
- [11] 张天祥. 煤矿硫化氢治理技术及实践[J]. 山西焦煤科技, 2012, 36(9): 37-40.
Zhang Tianxiang. Hydrogen sulfide in coal mine management technology and practice[J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2012, 36(9): 37-40.
- [12] 翟所国, 董曰喜, 陈足章. 浅谈矿井中硫化氢治理技术[J]. 煤矿现代化, 2007, 76(1): 58-59.
Zhai Suoguo, Dong Yuexi, Chen Zuzhang. Introduction to hydrogen sulfide treatment technology in coal mine[J]. Coal Mine Modernization, 2007, 76(1): 58-59.
- [13] 程元祥. 碱沟煤矿东翼 B_{11} 煤层 H_2S 气体异常涌出综合治理[J]. 煤矿安全, 2014, 45(4): 135-137.
Cheng Yuanxiang. Comprehensive control for H_2S abnormal emission in B_{11} coal seam of Jangou mine east wing[J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(4): 135-137.
- [14] 林海, 韦威, 王亚楠, 等. 煤矿井下硫化氢气体的快速控制实验研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(12): 2065-2069.
Lin Hai, Wei Wei, Wang Yanan, et al. Study on the rapid removal of H_2S in underground coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(12): 2065-2069.
- [15] 芦志刚, 吴鑫, 张永斌, 等. 高硫化氢煤层巷道掘进超前注碱工艺及碱液配方: 104675430A[P]. 2015-06-03.
Lu Zhigang, Wu Xin, Zhang Yongcheng, et al. A tunnel drivage advanced alkali injection techniques and lye formula of high content hydrogen sulfide in coal seam: 104675430A[P]. 2015-06-03.
- [16] 梁冰, 袁欣鹏, 孙维吉, 等. 煤层注碱治理硫化氢数值模拟与应用[J]. 中国矿业大学学报, 2017, 46(2): 244-249.
Liang Bing, Yuan Xinpeng, Sun Weiji, Zhang et al. Numerical simulation of lye injection into coal seams for governance of H_2S and its field applications[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2017, 46(2): 244-249.
- [17] 邓奇根, 刘明举, 王燕, 等. 巷道风流中自动脱除硫化氢装置: 104645810A[P]. 2015-05-27.
Deng Qigen, Liu Mingju, Wang Yan, et al. A automatic removal device of hydrogen sulfide in the air of tunnel: 104645810A[P]. 2015-05-27.
- [18] 余玉江, 林海, 王亚楠, 等. 一种用于处理煤矿矿井水中硫化氢的药剂及方法: 102276049A[P]. 2011-12-14.
Yu Yujiang, Lin Hai, Wang Yanan, et al. A reagents and methods of control the hydrogen sulfide in mine water: 102276049A[P]. 2011-12-14.
- [19] 张戈, 刘奎, 孙秉成, 等. 急倾斜特厚煤层硫化氢涌出影响因素分析及控制技术[J]. 煤矿安全, 2016, 47(4): 80-84.
Zhang Ge, Liu kui, Sun Bingcheng, et al. Analysis and control technology of hydrogen sulfide emission in steeply inclined thick coal seam[J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(4): 80-84.
- [20] 刘奎. 喷洒吸收液治理煤矿 H_2S 影响因素试验研究[J]. 煤矿安全, 2016, 47(2): 29-32.
Liu Kui. Experimental research on influence factors of spraying absorption liquid to control H_2S in coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(2): 29-32.
- [21] Harvey T J M, Cory S. Mining through H_2S seam gas zones in underground coal mines[C]//Proceedings Council Min Metall. Congress, Montreal, Can Inst Min Metall, Toronto, 1998. <http://www.gwmt.com.au/Papers/1998/1998%20-%20May%20-%20CMCCanada%20H2S%20mining.pdf>.
- [22] 吴怀林. 广安煤矿建井高浓度硫化氢治理[J]. 煤炭技术, 2015, 34(5): 224-226.
Wu Huailin. Guang'an coal mine of high concentration hydrogen sulfide treatment[J]. Coal Technology, 2015, 34(5): 224-226.
- [23] 李洪, 唐锋, 李光荣, 等. 掘进突水并伴随高浓度 H_2S 及 CH_4 气体涌出灾害治理[J]. 煤, 2015, 188(4): 15-18.
Li Hong, Tang Feng, Li Guangrong, et al. Drivng water intrush

- with high concentration of H₂S governance and CH₄ gas emitted from disasters[J]. *Coal*, 2015, 188(4): 15–18.
- [24] 林海, 王亚楠, 韦威, 等. 芬顿试剂处理煤矿矿井水中硫化氢技术[J]. *煤炭学报*, 2012, 37(10): 1760–1764.
Lin Hai, Wang Yanan, Wei Wei, et al. Treatment of H₂S in mine water using Fenton reagent[J]. *Journal of China Coal Society*, 2012, 37(10): 1760–1764.
- [25] 王小军, 宋超, 陈通, 等. 一种井下出水点硫化氢治理装置: 204208452U[P]. 2015–03–18.
Wang Xiaojun, Song Chao, Chen Tong, et al. A hydrogen sulfide control device of water inrush in coal mine: 204208452U [P]. 2015–03–18.
- [26] 梁冰, 袁欣鹏, 孙福玉, 等. 钻屑法测定煤层 H₂S 含量[J]. *中国安全科学学报*, 2015, 25(2): 101–105.
Liang Bing, Yuan Xinpeng, Sun Fuyu, et al. Determination of hydrogen sulfide content of coal by drilling cutting method[J]. *China Safety Science Journal*, 2015, 25(2): 101–105.
- [27] 刘明举, 邓奇根, 王燕, 等. 一种煤层硫化氢含量测定装置: 203929719U[P]. 2016–04–13.
Liu Mingju, Deng Qigen, Wang Yan, et al. A determination device of hydrogen sulfide content in coal seam: 203929719U [P]. 2016–04–13.
- [28] Kizil M, Gillies A D, Wu H W. Development of a Portable Coal Seam Gas Analyser[C]//17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Ankara, Turkey, 2001: 807–813.
- [29] Gillies A D S, Kizil M S, Wu H W, et al. Some approaches to handling hydrogen sulphide in coal seams[J]. *Mechanizacja I Automatykacja*, 2003: 40–54.
- [30] Valoski M P. Hydrogen sulfide control on a longwall face[C]//11th US/North American Mine Ventilation Symposium, Taylor and Francis/Balkema, 2006: 499–502.
- [31] Cadena F, Peters R W. Evaluation of chemical oxidizers for hydrogen sulfide control[J]. *Water Pollution Control Federation*, 1988, 60(7): 1259–1263.
- [32] Gillies A D, Kizil M, Wu H W, et al. Modelling the Occurrence of Hydrogen Sulphide in Coal Seams[C]//8th US Mine Ventilation Symposium. Columbia: University of Missouri–Rolla Press, 1999: 709–720.
- [33] Luptakova A, Ubaldini S, Macingova E, et al. Application of physical–chemical and biological–chemical methods for heavy metals removal from acid mine drainage[J]. *Process Biochemistry*, 2012, 47(11): 1633–1639.

Research progress of prevention and control technology of hydrogen sulfide in coal mines

DENG Qigen^{1,2}, WANG Yingnan², WU Xifa², LIU Mingju^{1,2}

1. State Key Laboratory Cultivation Base for Gas Geology and Gas Control (Henan Polytechnic University), Jiaozuo 454003, China
2. School of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China

Abstract Sudden emissions and casualty accidents caused by abnormal enrichment of hydrogen sulfide in coal mines are becoming more and more frequent. This paper reviews the existing prevention and control technologies of hydrogen sulfide (H₂S) in coal mines at home and abroad. According to the distribution characteristics, the occurrence modes and the emission forms of H₂S in coal mines, the prevention and control technologies of H₂S in coal-bearing strata, and the airflow in tunnel and underground water body have special features. The methods used include the neutralization by injecting alkalizer through drilling in coal seams with high pressure, spraying alkalizer in tunnel, the attenuation by increasing the wind amount, changing the ventilation method, pumping, dredging and blocking the water that contains H₂S as well as the comprehensive prevention and control methods. The basic agent adopted includes the sodium carbonate (with the mass percentage concentration of about 0.5%~3.0%), the sodium bicarbonate solution and some basic solution with some additives, such as the Surfactant, the Fenton reagent, the Sodium dodecylbenzene sulfonate, the Sodium hypochlorite or the Chloramine-T. The performance and the main problems of each prevention and control technology are analysed and a comprehensive method of prevention and control of H₂S in coal mines is proposed. According to the current technological level as well as the cost, for the effective prevention and control of H₂S, the occurrence, the distribution and the emission forms of H₂S in coal mines as well as its content should be taken into consideration.

Keywords coal mine; hydrogen sulfide; prevention and control technology; research progress ●



(责任编辑 祝叶华)