

地质与测量

我国煤矿水害类型及其防治对策

虎维岳, 田 干

(煤炭科学研究总院 西安研究院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 分析了近年来我国煤矿水害的基本特点, 通过对全国不同地域主要开采煤层赋存地质与水文地质条件的分析, 将我国煤矿水害类型划分为 4 大主要类型。初步分析了不同水害类型的基本特点、形成条件和发展趋势, 提出了有效防治不同类型煤矿水害的技术路线及适用条件, 对目前制约煤矿水害防治技术的关键问题进行了探讨。

关键词: 煤矿水害; 水害类型; 防治水

中图分类号: TD 745

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336 (2010) 01-0092-05

Mine Water Disaster Type and Prevention and Control Countermeasures in China

HU Weiyue, TIAN Gan

(Xian Research Institute, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: The paper analyzed the basic features of the mine water disaster occurred in recent years in China. With the analysis on the deposit geological and hydrological conditions of the main mining seams in different area in China, the mine water disaster in China could be divided into four major types. The paper had a preliminary analysis on the basic features, formation conditions and development tendency of the different water disaster, provided the effective technical line and suitable conditions to prevent and control the different water disaster and analyzed the key problems of the present restrictions to the mine water disaster prevention and control technology.

Key words: mine water disaster; water disaster type; water prevention and control

1 我国煤矿水害的基本类型及发展趋势

我国煤矿水害的类型、特点及其近年来的变化趋势主要受开采煤层赋存的地质、水文地质条件及其开采方式的控制, 目前占主导位置的水害类型基本可归纳为 4 种: 主采煤层底板高承压岩溶水突水水害、主采煤层顶板砂岩及其松散层孔隙水透水水害、废弃小煤窑及老矿井采空区水溃水水害与地表水倒灌充水水害。由于不同地区煤层赋存的地质与水文地质条件不同, 占主导地位的矿井水害类型差别较大, 如图 1 所示。在华北华东地区, 主要开采煤层为石炭二叠系煤层, 以地下开采方式为主且矿井开采深度普遍较大, 据统计资料显示, 华北东部地区主要国有生产矿井目前平均开采深度超过 650

m, 且平均每年以 12~20 m 的速度向深部延伸^[1]。主采煤层下伏有太原群多层薄层灰岩和奥陶系巨厚灰岩含水层, 多种构造因素通常使这些含水层之间存在水交替和水动力联系, 根据目前的开采深度估算, 这些含水层作用于开采煤层底板有限厚度隔水层 (一般厚度为 20~50 m) 上的水压力达到 5~7 MPa。按现行的突水系数理论评价, 我国华北华东地区已经全面进入开采受水害威胁煤炭资源阶段, 而且随矿井采掘深度的增加, 隔水层厚度不会变化, 但水压会越来越大, 矿井水害隐患会日趋严重, 所以在这一地区矿井水害的主要类型为主采煤层底板高承压岩溶水突水水害, 且随采掘深度的增加, 这一水害特征会更显突出。

我国煤炭资源主要富集区——晋陕蒙、新疆等地区, 将成为支撑我国煤炭工业可持续发展的远景区域。近年来在这一地区煤炭资源的勘探开发强度

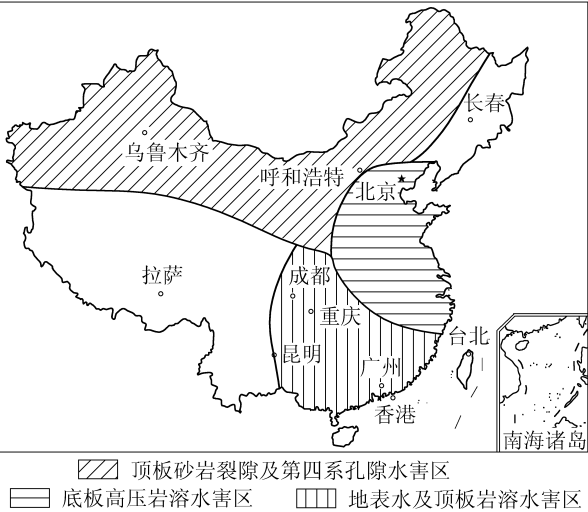


图 1 我国不同类型煤矿水害分区

快速上升，长期以来人们固有观念认为这一地区属于干旱缺水地区，对煤炭资源开采过程中水害的严重程度认识不足。其实地下水也是地质历史过程的产物，在这一地区主要开采煤层的上覆地层中广泛发育有砂岩裂隙和第四系松散含水层，且水量比较丰富。由于本区煤层厚度大、埋藏浅，大尺度工作面机械化开采后对顶板覆岩扰动强度大，采掘扰动导水通道很容易沟通上覆含水层（甚至地表水体）造成回采工作面透水事故，有时还会造成工作面溃砂及地面塌陷等地质灾害。

图 2所示为内蒙古东部及中国西部矿井水文地质条件的典型结构模式，封闭不良钻孔、导水断层及采掘冒裂带都会导致顶板水溃入采煤工作面（图 2a）。特别是很多煤层顶板隔水层受隐伏古冲沟的深切影响，变薄或缺失（图 2b），当工作面回采至这些区域时很容易发生顶板水溃入，且这种古冲沟具有很强的隐蔽性，很难预先勘探清楚。所以在这一地区矿井水害的主要类型为主采煤层顶板砂岩及其松散层孔隙水透水水害，必须高度重视。

由于小矿井整合和开采的规范化，近年来数以万计的小煤窑关闭废弃，同时许多国有大矿井因上组煤资源枯竭，逐渐转入下组煤开采，在这些矿井存在有大量的上组煤采空积水区。废弃矿井和上组煤开采留下的采空区充水后就像分布于生产矿井周边的地下水库，严重威胁着邻近矿井的安全生产，统计资料表明，近年来，采空区及废弃的充水小煤窑水每年占煤矿总突水事故的 80% 左右^[2]（图

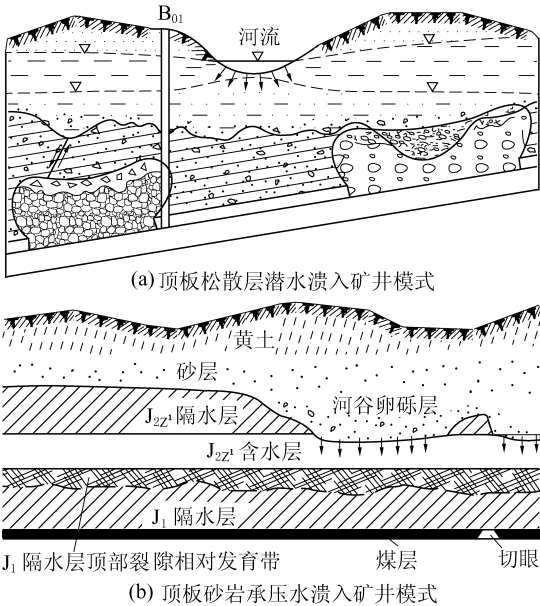


图 2 内蒙古东部及中国西部煤层顶板水害条件模式示意

3)。由于我国目前尚没有系统的矿井废弃关闭的相关技术规程，许多矿井关闭废弃时缺乏完整的关井技术资料 and 相应的工程保护措施，对于采空区积水及关闭废弃的小煤窑积水特征、积水范围及其潜在的突水危险性认识不足，矿井关闭过程中的水文地质工作及其关闭后对地下水活动情况的预测预报和监测监控不到位，导致对废弃矿井采掘空间分布情况及其积水淹没情况不清楚，防水煤岩柱留设不足或缺乏必要的防水煤岩柱，从而在采掘过程中直接或间接揭露采空区积水而造成矿井溃水灾害。该类型突水突发性强、冲击力大，通常造成瞬间淹井和惨重的人员伤亡。同时，在生产阶段，矿井通常是地下水的排泄区，大量的地下水在矿井生产过程中被排放，部分含水层会因矿井排水而疏干。一旦矿山关闭废弃后，地下水的循环运动规律会被打破，废弃矿井因停止排水而被地下水淹没，废弃矿

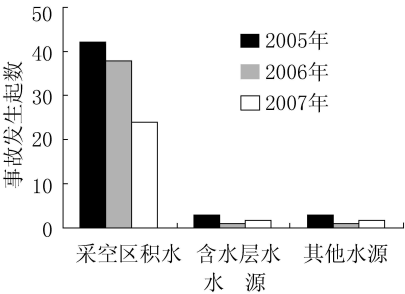


图 3 2005—2007 年煤矿重大水害事故水源分布

井中被污染的地下水会逐渐补给在矿井采掘阶段已经疏干的洁净含水层直至溢出地表,地下水位的抬升会在很大程度上改变矿区区域性水文地质、工程地质与环境地质条件,使邻近矿井水文地质条件区域复杂。

我国秦岭以南的华南、西南主要煤矿区(图1)以低山丘陵地形为主,属亚热带湿润气候区,年降水量一般在1 000~2 500 mm,地表水系发育,水量充沛^[3]。煤系地层中广泛发育泥盆纪融县灰岩,石炭纪黄龙灰岩、船山灰岩、壶天灰岩,二叠系茅口灰岩、长兴灰岩,三叠纪大冶灰岩等可溶岩类地层,由于褶皱、断裂和岩浆活动作用,容易形成一些规模较小的褶皱、断裂盆地,强烈岩溶化的灰岩直接出露或与第四系松散层直接接触,地表水、第四系水与灰岩岩溶水水力联系密切,使煤矿床水文地质条件十分复杂,矿井突水通常是通过构造断层、裂隙、岩溶塌陷等导水构造直接把地表水、第四系水、地表洼地汇集的大气降水直接导入矿井并造成突发性突水事故。第四系覆盖下的强岩溶化岩溶含水层在矿区排水过程中经常引起大面积的地面塌陷,造成地表水砂溃入矿井。由于该区域地形起伏较大,地下水水力梯度大,水循环和水交替速度较快,地下水侵蚀能力较强,通常在灰岩的裂隙发育带或断层带形成地下水优先溶蚀和集中径流,大面积形成岩溶暗河管道。所以岩溶暗河管道沟通地表水突水成为本区矿井岩溶水突入的独有特点。由于暗河管道与大气降水及地表水系水力联系密切,暗河水流受大气降水控制明显,雨季时,水势凶猛,水量可比旱季增加几十倍到几百倍,暴雨后的暗河突水通常给矿井造成非常大的灾难。图4所示为该类型水害发生的典型水文地质机构结构模式。所以,该区域多数煤矿水害属于地表水通过岩溶管道倒灌充水水害类型。该类型岩溶矿

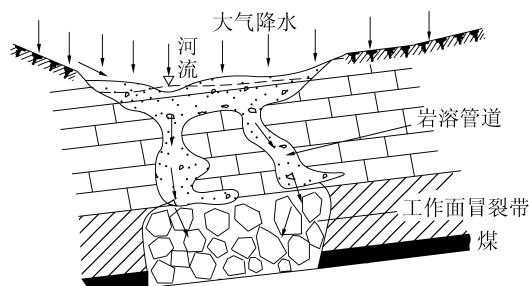


图4 岩溶管道及地表水水害发生条件

床突水的最大特点是来水突然、水量大,雨后水量迅速衰减,矿井涌水的时间性和季节性极强,矿井涌水与大气降水及地表水关系密切。

2 煤矿水害防治的主要技术对策

2.1 顶板水害防治

由于顶板水害主要分布于地表水资源缺乏、水环境脆弱的西部地区,所以,矿井水害防治的主体思路必须从矿井安全生产与区域水资源及水文环境保护相结合的角度出发,从水系统的角度查清矿区范围内各主要含水层水资源的赋存状态、空间分布和变化规律,从水均衡和水动态的角度查明矿区三水(大气降水、地表水和地下水)的转化规律和主要控制因素,从保水采煤的角度查明主要煤炭资源开采区含水层、隔水层及其煤层之间的空间结构关系,评价煤炭资源开采对水文地质系统的扰动与影响程度,从水资源的质和量2个方面评价研究区水资源对煤炭资源极限开发强度的最大承载力,在研究矿区水资源承载力的基础上,研究可能的提高本区水资源环境承载力、资源开发利用率和实现可持续发展的技术途径与技术路线,结合矿区开发中长期目标,提出适用于矿区水资源承载力及其动态评价的指标体系,建立水资源保护、水资源承载力扩能与煤炭资源安全开采的优化决策系统,形成矿井水综合利用与优化配置的有效途径。在系统分析研究区域水源地与煤炭资源布局的基础上,合理规划开采布局和开采顺序,对重点水源地分布范围内的煤层实施保护性限制开采。就某一水源地而言,可以根据具体水文地质条件,采区帷幕截流技术等工程措施,隔离水源地和煤炭资源开采区,控制煤炭资源开发对水源地的扰动。或在理论计算的指导下,实行非完全充填式采煤方法,以控制采掘活动对顶板隔水岩层的扰动。将矿区煤炭资源开发规划和工农业生产供水需求规划有机结合起来,建立煤矿区多种水资源(地表水、地下水、矿井水等)联合调度体系,提高矿井水资源化和水资源的原地循环频率,实现矿井水的排供结合。

2.2 底板水害防治

底板水害发生的基本条件就是隔水层阻抗水压能力与高压水破坏穿透隔水层能力之间相互作用的结果,底板水害防治的技术思路有2条,一是增强隔水层阻抗高压水的能力;二是减小高压水对隔水

岩层的破坏力。为了提高隔水层抵抗高压水的能力,常用的技术方法是注浆改造工程,注浆改造防治矿井水害技术是指通过专门的设备和工程,根据具体的矿井水文地质条件和水害类型与特点,将预先研究配制成的低渗透浆液或骨料注入含水层、隔水层中的空隙、断裂破碎带、岩溶陷落柱、井巷或突(出)水口等,并使之与围岩固结成不透水(或微透水)的、具有一定强度的整体而起到堵塞过水通道、充填导含水空隙、降低受注岩体渗透性、增大岩石强度和隔(阻)水作用的一种矿井水害防治技术方法。该技术可广泛应用于封堵井下突水口(点)以恢复被淹矿井、阻截水源含水层对矿井充水的补给以减少矿井运行排水量、变含水层为隔水层以增加煤层顶底板有效隔水层的厚度、隔断连接充水水源与矿井之间的导水通道以避免矿井突发性突水灾害的发生等。适用于注浆改造技术进行矿井水害防治的基本水文地质条件有 6 点。

1) 矿井主要充水含水层的动态补给水量大且稳定,采用疏水技术难以使含水层水位大幅度降低或所需的疏水量太大以至于在经济上不合理。

2) 矿井水补给通道位置明确且相对集中,只要阻断局部导水通道就可使整个矿井的补给水量大幅度减少。

3) 矿井充水含水层又是本区主要或唯一的供水水源含水层,而客观条件又不具备实现矿井水排供结合技术方案,在煤炭资源开发过程中要求充分保护水源地和含水层。

4) 矿区生态环境脆弱,环境对矿井充水含水层的依赖性强,一旦含水层水位明显下降会诱发区域生态环境恶化或其他工程地质灾害。

5) 实施注浆的目标含水层或构造薄弱带应具有良好的可注性条件。这种可注性条件包括受注层的吸浆量、浆液在受注层内的运移与扩散性、浆液的凝结与稳定性等。

6) 受注层具有合适的水动力和水文地球化学环境条件,能够确保注浆固结体的强度稳定性和抗渗稳定性,以满足工程的使用寿命。

为了减小高压水对隔水岩层的破坏力,常采用疏水降压的防治水技术,所谓疏水降压防治矿井水害技术就是对威胁矿井安全生产的主要充水含水层水,通过专门的工程和技术措施在人工受控的条件下进行超前预疏干或疏降水压,进而减少或消除其

在矿山建设和生产过程中对矿井安全的威胁。其基本内容可划分为疏干和疏水降压 2 大方面。适用于疏水降压技术防治矿井水害的水文地质条件有下述 5 点。

1) 矿井主要充水含水层属于自身充水含水层。由于矿井的主要工程活动位于含水层之中,或者说矿井的采掘活动将直接揭露充水含水层,含水层中的水无法躲避,为了减少或消除采掘过程中的大量水短时间涌入矿井给矿井正常生产与建设带来影响或超过矿井设计的排水能力而造成淹井事故,需要在人工受控条件下预先对含水层水进行疏放。

2) 矿井主要充水含水层属于直接充水含水层。当含水层作为煤层的直接顶板或底板时,一旦巷道进入煤层或工作面回采后,由于缺乏工程层位与含水层之间的隔水保护层,含水层中的水会直接进入巷道或工作面给矿井生产造成影响或灾害。在这种水文地质条件下,通常需要采用预疏水技术防治矿井水害。

3) 矿井主要充水含水层以静储量为主,动态补给量有限。以静储量为主的矿井充水含水层发生矿井充水时,通常是瞬间冲击水量大,后期水量迅速衰减甚至干枯,当矿井生产诱发该类含水层突(透)水时,通常在总出水量有限的条件下给矿井带来严重灾害,采用预先疏水技术可以有效地减少峰值水量而达到消除矿井水害的目的。

4) 煤层顶板间接含水层与煤层之间隔水层的厚度小于工作面顶板冒落带与裂隙带高度。在这种条件下,尽管煤层顶板存在隔水层,但隔水层的厚度小于工作面回采后冒裂带高度,一旦工作面回采后,含水层中的水必然通过冒裂带导入矿井。为了减少初次冒裂后来自顶板的峰值水量,通常在工作面回采之前,通过井上或井下专门的疏水工程进行含水层水的预疏放。

5) 煤层底板存在高承压含水层,且煤层与含水层之间的隔水层厚度较薄,在自然状态下,隔水层不能抵抗高压水的破坏和侵入。在这种条件下,可通过疏放水技术降低含水层中的压力,以实现带压开采。

2.3 废弃小煤窑与老空水害防治

首先应查明主要生产矿井周边废弃小煤窑及采空区空间分布及其充水特征,目前应用效果较好的探测技术主要有地面及井下地球物理勘探技术和井

上下定向钻探技术。地球物理勘探技术基于地下水体与围岩具有明显的电阻差异,以瞬变电磁法、直流电阻率法、高密度直流电法等电磁法勘探为主,瞬变电磁探测技术是基于地下低电性地质体对高频电磁场有二次散射的物理现象,通过地面勘探,以认识低阻体的地下空间位置与分布。直流电阻率探测技术是基于电极间距增加稳定扩散电场范围扩大的物理基础,通过极距变化测量不同深度、不同电性地质体的分布。该方法对中浅埋地层中含水体的探测精度较高,在植被发育地区和地形变化较大地区使用该技术也有明显优势。高密度直流电法通过一次测量多个电测点和自动变换发射电极的方法,实现在相同接地和发射条件下高精度的分辨地质体的电性差异,从而达到探测老窑及采空积水区的目的。定向钻探技术主要是配合物探方法准确探测采空区边界及其充水特征,同时定向钻探技术还可进行采空区水的人工受控超前疏放。

在初步查明老窑、采空区分布规律的情况下,回采前必须进行采空区与主要采掘区之间煤岩柱安全性的评价分析,留设合理的煤岩柱,当煤岩柱不足时,必须进行老窑、采空区积水的超前与疏放。预疏放采空区积水时,要确保疏水孔穿越积水体的最低标高位置,以达到彻底疏放的效果(图5)。同时,疏水孔必须有严格的安全防护措施,避免疏水过程中发生水害安全事故。

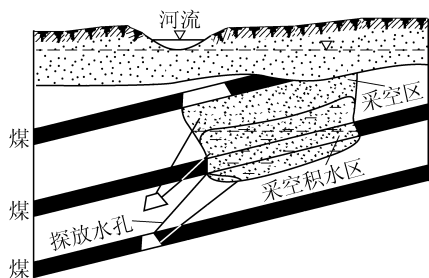


图5 采空区探放水工程

3 我国矿井水害防治技术面临的技术难题

根据我国煤炭资源生产及采掘现状,矿井防水技术仍面临的亟待解决的技术难题有以下4点。

1) 应加强对深部煤炭高压底板水导升、突出机理及采动破坏等理论的研究。多年来,我国进行的大量工业性试验、突水机理等研究,其大都局限于矿井浅中部煤层开采地质条件^[4],而深部煤炭

资源开采的高地应力、高水压、采动破坏变化等复杂条件与前中部煤层开采条件有很大不同,如果对矿井开采水文地质条件的分析研究、评价继续现有的理论成果,会带来一定的误导。

2) 应加强对矿井小构造和复杂环境条件下隐伏地质构造探查的高精度技术与装备研发。随着矿井采掘深度的不断增加,底板水压逐渐加大,构造突水对矿井防治水存在很大威胁。目前,构造探查技术对小构造、隐伏导水构造等探查精度远不能满足生产实际的要求,因此,应加强高精度构造探查技术装备的研发,提高对矿井开采水文地质条件的探查精度和空间探测距离。

3) 多煤层采空区和积水边界高精探查技术装备的研发。多年来,我国大多地区特别在东部地区存在许多采空区,部分区域先后开采多个煤层,存在多层采空区和积水区,成为矿井下组煤开采的直接充水水源,对矿井各主要含水层的补径排条件产生较大影响,给矿井下组煤开采预防老窑水带来了很大困难。目前,老窑水探查技术精度还很低,探查多煤层采空水更加困难。

4) 加强矿井水害实时监测和预警技术的研究。通过突水信息的原位采集、突水因素的实时监测和监控、突水信息的动态分析,及时发出水害预警信号,实现对复杂水文地质条件下矿井深部煤层的安全回采。

参考文献:

- [1] 虎维岳,何满潮.深部煤炭资源及开发地质条件[M].北京:煤炭工业出版社,2008:6-7.
- [2] 董书宁,虎维岳.中国煤矿水害基本特征及其主要影响因素[J].煤田地质与勘探,2007,35(5):34-37.
- [3] 虎维岳.矿山水害防治理论与方法[M].北京:煤炭工业出版社,2005:2-5.
- [4] 虎维岳.新时期煤矿水害防治技术所面临的基本问题[J].煤炭地质与勘探,2005,33(S):27-30.
- [5] 董书宁.矿井水害防治技术及应用[C]/安全高效煤矿地质保障技术及应用.北京:煤炭工业出版社,2007:3-11.

作者简介:虎维岳(1963-),男,甘肃镇原人,研究员,博士,主要从事水文地质、工程地质及矿山安全技术专业的科学研究、教学和技术咨询工作。Tel 029-87850082, E-mail xiantigef@sohu.com

收稿日期:2009-08-13 责任编辑:王晓珍