

The Mine Hydrogeology Work Challenges and Countermeasures of Our Country

Qin Zhai^{1,2}, Ying Wang¹, Yadong Ji^{2,3}

¹College of Geology and Environment, Xi'an University of Science & Technology, Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Key Laboratory of Coalmine Water Hazard Prevention and Control Technology, Xi'an Shaanxi

³Xi'an Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group, Xi'an Shaanxi

Email: 382400298@qq.com

Received: Oct. 16th, 2017; accepted: Oct. 30th, 2017; published: Nov. 7th, 2017

Abstract

Based on the *Provisions for Mine Water Prevention and Control*, guided by the hydrogeology theory, from the perspective of efficient, safe, economic and practical coal mine production, this paper analyzed the present situation of mine hydrogeological work in China, pointed out the six challenges facing mine hydrogeological work in China and put forward the feasible countermeasure and prospect. The analysis suggests that only by establishing the integrated hydrological geological work system based on the technology and management, making full use of the existing technology and equipment, and continuously exploring and seeking more optimization system and technology of mine hydrogeology work, can the problem of mine water disasters and mine drainage water be fundamentally solved.

Keywords

Mine Hydrogeology, Water Disasters, Water and Sand Inrush, Coal Mining Underwater-Containing, Hidden Hazard Factors, Present Situation and Prospect

我国矿井水文地质工作面临的挑战与展望

翟勤^{1,2}, 王英¹, 姬亚东^{2,3}

¹西安科技大学, 地质与环境学院, 陕西 西安

²陕西省煤矿水害防治技术重点实验室, 陕西 西安

³中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安

Email: 382400298@qq.com

收稿日期: 2017年10月16日; 录用日期: 2017年10月30日; 发布日期: 2017年11月7日

摘要

以《煤矿防治水规定》为准则，以水文地质理论为指导，从矿井高效安全生产、经济实用的角度出发，通过分析现阶段我国矿井水文地质工作的现状，指出我国矿井水文地质工作面临的六大挑战，并且提出切实可行的展望。分析认为，只有通过建立以技术和管理为核心的综合性水文地质工作体系，充分利用和发挥现有的技术以及设备，并且不断的探索进取，寻求更加优化的矿井水文地质工作技术、体系，才能从根本上解决矿井水害以及矿井排供水等问题。

关键词

矿井水文地质，水害事故，突水溃沙，保水采煤，隐蔽致灾因素，现状与展望

Copyright © 2017 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

中国作为世界上第一产煤大国，煤炭资源丰富且地域分布辽阔，但煤矿水文地质条件复杂，水害影响呈现出日益严重的形势[1]。其中主要煤炭生产基地的华北、华东地区受水害威胁的煤炭资源占已探明资源量的27%，各种类型水害都有发生[2][3]，虽然我国在煤矿水害防治的理论与实践方面取得了一定的成绩，但其总体形势依然严峻。水文地质在资源勘查、矿井设计、采区划分、采面优化设计等方面有着重要的制约因素，而做好矿井水文地质工作可以有效避免矿井水害事故的发生。

近年来我国东部矿区浅部煤炭资源已经枯竭，矿井开采向深部延伸，而深部开采将面临高瓦斯、高水压、高地温和开采条件复杂(即“三高一复杂”)的特殊问题[4]；中、西部生态较脆弱区，煤炭生产正在不同程度地遭受采空区水害、浅埋深薄基岩厚煤层开采带来的顶板沙层水害等新问题[5]；针对“西部水荒，东部水害”[6]的问题，更加合理地解决矿井水害与排供水问题，则对矿井水文地质工作提出了新挑战。

2. 矿井水文地质工作的现状

在矿井水文地质工作中，我国已经形成了较为完备的理论与实践体系，为矿井防治水工作打下坚实的基础，如在规范方面施行了《煤矿防治水规定》等，这使得我国矿井水文地质工作有了更加完善的指导依据，在很大程度上有效地避免了水害事故的发生。根据《煤矿防治水规定》的要求，每个矿井都编制了矿井水文地质类型划分报告，并且根据该报告的结论、建议，对矿井的设备以及人员配置等进行了完善。由于受经济以及人为等因素的影响，编制单位一般可能以矿方提供的资料为主，故某些小型矿井的水文地质类型划分报告实用性并不强。并且，当前我国矿井现有的地质专业技术人员，主要分布于国有重点、省属国有以及市县国有煤矿，而地方乡镇煤矿几乎没有[7]。

矿井水文地质工作，工作手段上分为钻探、物探、化探等；工作空间上分为地面、井下以及井一地联合工作；工作方法上分为水文地质调查、观测、疏干开采和带压开采、防渗、注浆堵水、预留防水煤柱等。

2.1. 地面水文地质工作

地面水文地质工作包括水文地质调查、观测以及勘探和防治水等工作。

水文地质调查形成了以地质填图、物探、遥感等为主的方法。调查的某些要素(例如地表水体、井泉、生产矿井、古井老窑、地面岩溶、周边矿井等的情况)的信息是动态变化过程。

地面水文地质观测的内容很多,包括气象观测、地表水观测、地下水动态观测。对于这些观测内容,矿方在技术方面基本没有大的障碍,主要是疏于前期以及矿井正常投产后的日常水文地质观测工作。对于一些水害事故(山东华源煤矿“8·17”溃水事故),经过事故原因分析,如果加强日常地面水文地质观测工作(观测河流、湖泊、水库以及一些地表沟流的裂隙情况等等),某些类似的地表水害事故是完全可以避免的。

地面水文地质补充勘探方面,形成了物探、钻探、遥感、化探以及浅井、坑探、槽探等相互结合的多种勘探手段。物探方面以地震法查导水构造、用电法查含水层分布及其富水性的矿井水文地质条件勘查模式。在水文地质勘探的过程中,针对地质条件的不同(岩溶充水矿床、裂隙充水矿床、孔隙充水矿床),形成了不同的勘探方法,取得了一系列的成果。但由于勘查市场行为不规范,煤炭企业急功近利,近年来,矿井水文地质勘探工作没有得到足够的重视[8]。水文地质勘探的范围往往不是一个完整的地下水系统;地面水文地质补充勘探时,施工的钻孔质量有待进一步的改善;抽水试验、联通试验、注水试验等结果的误差较大,这些试验结果对于矿井涌水量的预测以及井下防治水设施的配置至关重要。

地表水的治理(山东华源煤矿“8·17”溃水事故)是保证矿井安全的首要防线,也是矿井水文地质工作的主要内容。随着防治水技术的不断完善,地表水治理通常会采取一些措施:建立地表水动态观测点、井口以及工业场地标高的合理布置、河流底板渗透性的改造、河流改道、地表沟流设置排水沟以及拦洪坝、地表裂隙的治理、钻孔封孔质量的详查等等。

2.2. 井下水文地质工作

井下水文地质观测工作是矿井水文地质工作的重要组成部分,对其矿井涌水量预测以及矿井水害防治有着极其重要的意义。

目前我国在水文地质观测方面已经达到更加精确化、信息化,并形成了水文动态监测系统;井下水文地质勘探方面形成了以电法、地震勘探为主,钻探验证的勘探方法。

井下探放水形成了针对不同的水害(如老空水、断层水、陷落柱水、钻孔水、含水层水等)采取不同的探放水方法,应用井下定向钻进技术以及井下直流电法和瞬变电磁法等超前探测水文地质条件的技术。井下探查往往是疏干降压或截源、堵水等措施的先行步骤和重要依据[8],同时定向钻进技术也为局部注浆(堵水、加固底板等)提供技术保障。有效、安全的探放水钻孔施工技术、工艺对于减少煤矿水害事故具有重要意义。然而由于探水不准或者象征性的打探放水孔所导致的矿难比比皆是(山西王家岭煤矿透水事故),故现阶段我国的井下探水技术以及管理仍然不够成熟,对于隐伏导水构造等大距离、高精度的探查技术、设备等方面仍然需要改进。

长期以来,我国已经积累了较丰富的水体下采煤经验,这一技术已接近或达到了国际领先水平,据统计已安全采出超过2亿吨煤炭[9],并总结出不同覆岩类型条件下,煤层采出厚度与导水裂隙带高度、冒落带高度的相关关系式,并以此来指导实际生产;水体下成功应用了综采、综放以及高落式采煤方法[10]等;在生态脆弱区采取保水采煤的方法(充填法、条带式开采法),提出科学开采分区的理念;提出综采分层开采与放顶煤开采相结合的方法;对于特殊地质、采矿条件下顶板水害问题的认知程度及防治水平得到了不断提高。水体下采煤的安全监测技术对于预防灾害事故的发生、防止灾害事故的蔓延起着至

关重要的作用，同时对于实现水体下安全采煤很有必要，也是至今一直未能很好解决的难题[10]。

防隔水煤(岩)柱的留设、注浆堵水、疏干或降压开采等矿井防治水方面，形成了井下采用地震勘探的方法探测构造，并且结合瞬变电磁法、直流电法、音频电透视等物探手段，采用钻探验证的方法，验证前方地质体(断层、陷落柱、老空区等)的概况以及其富水性，最终制定相应的防治水措施。然而受物探技术精度、距离以及新的采矿地质条件等因素的限制，加之煤层底板隔水层的防突水效应研究对于新的采矿地质条件下的实用性不强，故井下防治水工作仍然面临较大的挑战。

2.3. 综合水文地质工作

由于地面水文地质工作受地形地貌以及地质等因素的影响，其精度较低；井下水文地质工作受井下工作空间复杂性以及井下设备的影响，造成工作结果的不确定性。因此，现阶段我国矿井水文地质工作采取井上下相结合的方式，国家安全生产监督管理局明确提出了“地面普查与井下探查相结合，地面以宏观控制为主，井下以精细控制为主”的技术原则和“物探先行，化探跟进，钻探验证，综合勘查”的技术路线。

总体上，我国矿井水文地质工作与世界主要产煤大国相比，在定向钻进、注浆堵水、地面三维地震与瞬变电磁法探测技术、煤矿井下地质构造以及水害隐患超前探测技术方面取得了很大的进展，但是对于煤矿开采过程中动力灾害的监测预警技术以及底板突水机理研究仍然不够完善、工作人员对矿井水文地质工作的重视程度仍然不够。

3. 矿井水文地质工作面临的挑战

我国矿井水文地质工作在现阶段已经取得了很大的成绩，这表现在近十年来我国煤炭产量急剧增加的同时，煤矿水害事故的发生率在逐年降低，但随着开采强度增加以及开采条件越来越复杂的情况下，我国矿井水文地质工作也面临如下的问题及挑战(见表1)。

3.1. 突水溃沙与保水采煤问题

据相关数据显示，我国煤矿突水溃沙事故近年来呈上升的局势，特别是陕北浅埋煤层的开采[11][12]；同时，华北、东北、华东等地的一些资源枯竭型矿井，为了寻求新的资源，从而将深厚松散含水、砂层下的浅部煤层作为矿井开采的主要资源，并且最大限度的提高煤炭资源的回采率，因此导致突水溃沙事故时有发生，并且已成为矿井浅部煤层开采过程中水文地质工作所面临的主要挑战。

Table 1. Problems and challenges of hydrogeological work in coal mine

表 1. 矿井水文地质工作面临的问题及挑战

序号	面临的问题及挑战
1	突水溃沙与保水采煤问题
2	隐蔽型导水构造的精细探查技术
3	矿井突水水源快速识别技术
4	采空区、老窑积水水害探测与疏放
5	排供结合以及矿井水处理
6	加强新的采矿条件下底板突水机理研究

松散含水层下煤层开采形成了运用熵值法定量评价近松散含水层煤层安全开采的可行性, 并通过 GIS 多因素复合技术做出安全开采的可行性分区[12] [13]; 提出颗粒流理论、透明土试验技术、相似材料模拟等实验技术; 通过分析松散层中的含、隔水层的水文地质特征, 研究覆岩结构和风化带的特点等, 对影响留设防砂煤柱的因素进行分析, 为提高安全开采上限做出了贡献, 并且提出了相应的溃砂判据。但是通过室内试验研究, 溃砂过程预测的机理和溃砂量的计算方法仍然不够精确; 多因素综合评判溃砂模型未能很好的建立, 这就给溃砂机理的研究带来挑战。

3.2. 隐蔽型导水构造的精细探查技术

随着浅部煤炭资源的枯竭, 我国煤矿企业的开采现状基本呈现出大采深、超长超宽工作面的态势。近年来由于隐伏导水构造造成的水害事故比比皆是, 例如东庞煤矿 2003 年“4·12”陷落柱突水、骆驼山煤矿 2010 年“3·10”陷落柱突水、桃园煤矿 2013 年“2·3”陷落柱突水淹井等事故。可见, 隐伏导水构造对现阶段我国煤矿生产带来严重的影响, 且这类水害事故往往是灾难性的。

隐蔽型导水构造, 主要包括岩溶陷落柱、断层、褶曲、空洞等。由于陷落柱是一种孤立的地质体, 且其空间形态不规则、隐蔽性强、高度各异、呈点状突水通道等特征, 因此探测陷落柱的技术难度较大[14]。目前三维地震技术对于长轴直径 25 m 以上陷落柱解释的准确率为 40%~50%, 且对隐伏于煤层底板以下的, 几乎无力判断[5]。而瞬变电磁法、直流电法、音频电透视等物探方法对隐伏型导水构造的探测起到了良好的作用, 但也存在井下巷道中的一些金属设施干扰数据采集, 所以整体来说, 我国现阶段对隐蔽型导水构造大距离、高精度探查技术与装备往往不够。

3.3. 矿井突水水源快速识别技术

我国应用水化学特征判断矿井突水水源技术较为成熟, 从以往的简单水质类型对比分析、地下水化学特征组分识别、微量元素法、同位素分析法等方法, 逐步发展到现在的非线性分析方法[15] [16]等, 例如: 神经网络评价法、模糊综合评判、灰色关联度分析法等。然而, 矿井突水水源判别的信息化、自动化水平还不够高, 局限于单纯利用水质信息判别水源, 而突水是多因素(构造、含水层、隔水层等)所导致的, 这就对准确而有效的矿井突水水源判别综合信息空间数据库的建立提出挑战。

3.4. 采空区、老窑积水水害探测与疏放

随着煤炭企业兼并重组、整合, 关停小煤窑, 浅部煤炭资源枯竭, 向深部索取资源, 而在这些矿井的上部煤层以及周边小煤窑开采后留下了大量的采空区积水, 这些积水将成为煤矿安全高效生产的潜在隐患。据统计, 采空区及废弃小煤窑水每年占煤矿总突水事故的 80%左右[2], 这类水害事故一般是灾难性的, 例如王家岭矿“3·28”特别重大透水事故, 所以加强井下采空区及废弃小窑积水的探测与疏放是必要的。

空洞、采空区的探测主要以物探、钻探为主。虽然物探速度快、可大量节省工作量, 但探测精确度仍然不够高; 钻探比较直观, 但准确度以及效率较低, 盲目性强, 且经济投入较大。如王家岭矿“3·28”事故, 就是采用井下直流电法三点源法装置进行探测, 由于解释结果错误造成事故发生[17]。由于采空区的分布以及其连续性、填充性等结构性性质比较特殊, 这就致使采空区的物理性质存在差异, 况且每种物探方法都有优缺点, 故对物探技术的综合使用以及提高物探精度等方面提出新的挑战。

3.5. 排供结合以及矿井水处理

我国 86 个重点矿区有 71%缺水, 其中 40%严重缺水[18]。目前, 我国煤矿矿井水排放量约为 42 亿

m³，而利用率仅为 26% [19]。在缺水矿区(例如神东、陕北煤炭基地)，进一步研究科学开采分区[20]等新技术，全面推广应用保水采煤技术[21] [22] [23]，从而对萨拉乌苏组含水层结构扰动减少到最小程度，做到既采煤又保护含水层结构和地质环境的双赢。

未经处理的矿井水直接排至地表，则会造成水体污染、土壤板结与农作物枯死等不良后果，同时在井下也会腐蚀、破坏煤矿机械设备等。按照污染物特征，可将矿井水分为高矿化矿井水、含悬浮物矿井水、酸性矿井水和特殊污染物矿井水 4 类[24]。对于不同类型的矿井水基本形成了对应的处理方法，如沙层自然状态下过滤等技术[25]，为矿井水分类利用提供了技术保障。但是，由于处理方法的经济性以及煤矿区域性(矿区生活用水，呈现出“西部贫，东部富”的现状等)的影响，导致矿井水利用率很低，这就给矿区排供结合以及矿井水处理提出挑战。

3.6. 加强新的采矿条件下底板突水机理研究

我国主要煤炭生产基地的华北与华东地区受水害威胁的煤炭资源占已探明资源量的 27% [2]，而在我国水害事故中仅底板水害就占到了 88.1% [26]。随着我国深部煤炭资源的开采，将面临“三高一复杂”的开采地质条件，为此之前形成的一些底板突水理论(突水系数法、“下三带”理论、薄板结构理论等方法)有待进一步发展与完善。故对不同底板岩层组合结构与底板采动效应的关系、底板采动变形破坏与矿压显现两者之间关系的规律研究、底板突水预测预报等方面的研究提出新的挑战。

4. 发展与展望

4.1. 加强隐蔽致灾因素探查装备的研发

近年来形成了地质雷达、瑞雷波对构造的探测；高密度电法对工作面内部顶板富水性情况探测，并在煤矿井下成功推广应用；无线电波透视以及槽波地震对工作面内部构造(含水层结构构造)的精细探测技术；地震反射波法对地质异常体(隐蔽致灾突水因素)大距离、高精度的探测；井下直流电法与瞬变电磁法对掘进巷道前方的低阻异常体(富水区域)的探测；音频电透视对回采工作面底板以下低阻体(含水体)的探测等。每种物探方法都有其优点以及局限性，故在今后的矿井水文地质工作中应该重视综合物探技术的利用，多种手段并用，相互取长补短。由于井下作业环境的特殊性，故应重视物探仪器防爆性与安全性等方面的研究；同时开发物探处理软件以及解释系统，提高物探采集信息的利用率。

4.2. 加强水害隐患意识与水害防治技术的推广应用

近年来由于重大水害事故的频频发生，给国家、社会以及家庭带来严重恶劣的影响，这也给煤矿工作人员敲响警钟，同时也提高了煤矿工作人员对水文地质工作的重视程度，但是由于作业人员以及管理人员素质参差不齐，未能严格按照《煤矿防治水规定》等相关规定作业，致使重特大水害事故时有发生。故在今后的矿井水文地质工作中，矿方应加强管理；在防治水专业的人才引进方面，矿方依然要加大力度；高等院校应设立相关专业，为煤矿培养矿井水文地质专业人才；煤炭企业要定期对矿井水文地质技术人员进行考核、培训。最终为科研工作提供便利条件，以达到新技术、新方法、新设备的快速推广应用。

在西部地区，要加强矿井水文地质条件研究，提出适合矿井地质环境条件的保水开采技术，并推广应用，促进绿色矿区建设。

5. 结语

综上，我国矿井水文地质工作还面临着各种挑战，所以今后更要加强日常水文地质观测、调查以及

勘探工作；严格按照《煤矿防治水规定》等相关规定的要求，开展矿井防治水工作；充分研究矿井水的分类利用；继续研发高精度的物探、定向钻进等设备以及技术，发挥物探、钻探相互配合使用的特长；寻找更加经济、高效的注浆材料，为注浆工艺提供技术保障；考虑区域环境问题，优化采煤方法，达到人与自然的和谐发展；建立以技术和管理为核心的综合性水文地质工作体系，从根本上解决矿井水害以及矿井排供水等问题。

参考文献 (References)

- [1] 刘振宇. 我国煤矿水害基本特征、致灾机理及对策[J]. 内蒙古煤炭经济, 2011(2): 13-17.
- [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): 34-38.
- [3] 范立民. 陕西省煤矿水害类型区域分布及典型水害分析[C]//煤矿水害防治技术研究. 陕西省煤炭学会学术年会论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 2013:12-18.
- [4] 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.
- [5] 程建远, 金丹, 覃思. 煤矿地质保障中地球物理探测技术面临的挑战[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 112-116.
- [6] 武强, 赵苏启, 李竟生, 等. 《煤矿防治水规定》编制背景与要点[J]. 煤炭学报, 2011, 36(1): 70-76.
- [7] 王福胜. 地方煤矿矿井地质工作现状及措施分析[J]. 科技与企业, 2013(2): 28.
- [8] 邵长义, 刘圣玺, 褚建伟. 浅析井下探放水[J]. 山东煤炭科技, 2008(3): 101-103.
- [9] 陈杰, 李青松. 建筑物水体下采煤技术现状[J]. 煤炭技术, 2010, 29(12): 76-78.
- [10] 康永华. 我国煤矿水体下安全采煤技术的发展及展望[J]. 华北科技学院学报, 2009, 6(4): 19-26.
- [11] 范立民. 神府矿区矿井溃沙灾害防治技术研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(4): 35-38.
- [12] 范立民, 蒋泽泉. 榆神矿区保水采煤的工程地质背景[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(5): 32-35.
- [13] 陈建平, 范立民, 李成, 宁建民. 基于模糊综合评判和 GIS 技术的矿山地质环境影响评价[J]. 中国煤炭地质, 2014, 26(2): 43-48.
- [14] 李艳芳, 程建远, 解晓军, 等. 陷落柱三维地震正演模拟及对比分析[J]. 煤炭学报, 2011, 36(3): 456-460.
- [15] 汤琳, 杨永国, 徐忠杰. 非线性时间序列分析及其在矿井涌水预测中的应用研究[J]. 工程勘察, 2007(5): 28-30.
- [16] 申涛, 马雄德, 戴国锋. 浅埋煤层开采的矿井水来源判别[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(10): 35-38.
- [17] 戴香华. 井下直流电法超前探七点源法技术研究及应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(7): 153-154.
- [18] 张岳祥. 煤矿矿区节水及其环境影响分析[J]. 能源环境保护, 2007, 21(5): 44-47.
- [19] 陈元良, 何绪文. 我国矿井水处理现状及其存在的问题[J]. 科技创新导报, 2009(24): 213.
- [20] 王双明, 范立民, 黄庆享, 等. 基于生态水位保护的陕北煤炭开采条件分区[J]. 矿业安全与环保, 2010, 37(3): 81-83.
- [21] 范立民. 论保水采煤问题[J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(5): 50-53.
- [22] 范立民. 生态脆弱区保水采煤研究新进展[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2011, 33(5): 667-671.
- [23] 范立民. 榆神府区煤炭开采强度与地质灾害研究[J]. 中国煤炭, 2014, 40(5): 52-55.
- [24] 李建红. 煤矿矿井水井下处理就地复用工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 邯郸: 河北工程大学, 2012.
- [25] 范立民, 杨宏科. 沙层对矿井污水的净化作用与矿井水的利用[J]. 国土资源科技管理, 2000, 17(6): 21-23.
- [26] 尹立明. 深部煤层开采底板突水机理基础实验研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2011.

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：2330-1724，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：ojs@hanspub.org