

煤田水文地质条件划分及矿井水害防控路径探析

李田田

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037003

摘要: 煤炭是我国能源结构的主体支撑,随着浅部资源枯竭,矿井开采逐步转向深部区域,水文地质环境日趋复杂,隐蔽突水灾害频发,严重制约煤矿安全生产。为提升矿井水害科学化防控水平,本文构建多维度量化指标体系,将煤田水文地质条件划分为简单、中等、复杂、极复杂四类,系统剖析不同地质条件对应的水害风险特征。针对当前矿井水文探查精度不足、治理工程适配性差、智能预警滞后、应急能力薄弱等突出问题,建立分级探查、分区治理、智能监测、分级应急的差异化防控体系,并提出配套保障措施。研究可为深部煤矿水害精准防治、风险分级管控提供理论参考与工程借鉴。

关键词: 煤田水文地质; 条件划分; 矿井水害; 防控路径; 深部开采

引言: 我国煤炭资源在一次能源消费结构中的占比长期稳定在 55% 以上,是保障国家能源安全的核心基石。随着浅部煤炭资源逐步枯竭,国内煤矿开采深度正以每年 8 至 12 米的速度向深部延伸,煤田的水文地质条件变得愈发复杂,奥灰水害、顶板离层水害等隐蔽致灾因素的突发风险持续攀升,近年来国内重特大矿井水害事故仍时有发生。在此背景下,科学开展煤田水文地质条件的精准划分,针对性构建适配不同条件的水害防控体系,已经成为当前煤矿安全生产领域亟待解决的核心问题。基于国内煤田的实际开采地质条件,探索系统化的水害防控路径,全面提升煤矿的水害防治能力。

1 煤田水文地质条件划分的基础理论

1.1 水文地质条件划分的核心意义

煤田水文地质条件划分绝非简单的类型归类,而是整个矿井水害防控工作的核心前置基础,直接决定了后续水害防治方案的科学性与经济性。精准的条件划分可以帮助煤矿从勘探阶段就明确不同开采区域的水害风险等级,避免过去“一刀切”的水害防控模式,既不会出现防控能力不足引发的水害事故,也能避免过度防控造成的不必要资金浪费。尤其是在当前深部开采的背景下,不同区域的水文地质条件差异极大,通过科学划分可以实现水害防控资源的精准投放,从源头提升煤矿的整体安全保障水平。

1.2 划分的核心维度与指标体系

煤田水文地质条件的划分必须建立多维度的量化指标体系,彻底摆脱过去依赖经验定性判断的传统模式^[1]。核心划分维度主要涵盖四个层面:第一是含水层

特征维度,包括煤系地层上下各主要含水层的富水性、渗透性、水头压力分布数据;第二是隔水层特征维度,包括隔水层的厚度分布、岩性组合、抗破坏能力参数;第三是地质构造维度,包括断层、陷落柱的发育密度、导水性分布规律;第四是开采扰动影响维度,包括煤层开采后顶板导水裂缝带高度、底板破坏深度的发育规律。所有指标全部实现量化赋值,为后续的条件类型划分提供客观的数据支撑。

1.3 煤田水文地质条件的常规类型划分

结合国内华北型煤田的普遍特征,可将煤田水文地质条件划分为四大核心类型。第一类是简单型煤田,含水层富水性弱,隔水层厚度大且分布稳定,地质构造不发育,开采过程中基本不会面临突水风险;第二类是中等型煤田,局部含水层富水性中等,存在少量小型断层构造,局部区域存在一定的水害威胁,常规防治措施即可保障安全开采;第三类是复杂型煤田,强富水含水层分布广泛,断层、陷落柱等导水构造发育,底板奥灰水头压力高,水害隐蔽致灾因素多,必须采取系统性的专项治理措施;第四类是极复杂型煤田,多个强富水含水层相互连通,导水陷落柱密集分布,水头压力远超常规隔水层的抗突能力,属于水害防控难度极大的区域,必须开展超前的大规模治理才能进行开采。

2 不同类型水文地质条件的水害风险特征分析

2.1 简单-中等条件煤田的常规水害风险

简单与中等水文地质条件的煤田,虽然整体水害风险较低,但仍容易被忽视引发局部水害事故。这类煤田的水害风险主要集中在顶板砂岩水与局部老空区积水,

开采过程中顶板导水裂缝带沟通上部砂岩含水层时,会出现持续的淋水、涌水现象,虽然不会瞬间引发重特大事故,但长期的涌水会恶化井下作业环境,影响正常的开采效率。同时这类煤田周边往往分布着过去小煤矿开采遗留的大量隐蔽老空区,积水范围与积水量没有精准的图纸记录,开采过程中一旦意外揭露,就会突发局部突水事故,这类水害也是当前中小煤矿水害事故的主要类型。

2.2 复杂条件煤田的典型水害风险

复杂水文地质条件的煤田,水害风险呈现出多类型叠加的特征,防控难度大幅提升。这类煤田普遍面临底板奥陶系灰岩高承压水的威胁,随着开采深度增加,奥灰水头压力普遍超过 3MPa,煤层底板的有效隔水层厚度不足,开采扰动破坏底板后,很容易引发滞后型奥灰突水事故^[2]。同时这类煤田内部分布着大量导水断层与小型隐伏陷落柱,在开采扰动的影响下原本不导水的构造会被活化,成为突水的隐蔽通道,这类水害往往具有极强的突发性,突水水量瞬间可达每小时上千立方米,很容易引发重特大安全事故。

2.3 极复杂条件煤田的极端水害风险

极复杂水文地质条件的煤田,是国内水害防控难度最高的区域,重特大水害事故发生概率极高。这类煤田的多个强富水含水层之间,通过大型导水陷落柱、区域性导水断层相互连通,形成了稳定的水力联系,奥灰含水层的水头压力普遍超过 6MPa,煤层底板隔水层厚度远不足以抵抗高承压水的突水冲击力。同时这类区域的陷落柱发育密度极高,很多隐伏陷落柱的直径不足 20 米,常规勘探手段很难精准探查,开采过程中一旦意外揭露,瞬间突水量可达每小时数千甚至上万立方米,几乎没有应急处置的时间,很容易造成毁灭性的矿井水害事故。

3 当前矿井水害防控工作存在的核心短板

3.1 水文地质探查精度不足

不少煤矿的水文地质探查工作严重滞后,仍沿用几十年前的老旧勘探资料,完全没有针对深部开采的隐蔽致灾因素开展精准探查。很多矿井的水害探查手段单一,仅采用传统的地面钻探方法,对井下的小型隐伏导水断层、直径较小的导水陷落柱探查准确率不足 60%,大量隐蔽致灾因素没有提前查明,给后续开采留下了巨大的水害隐患。还有部分煤矿的探查工作完全走形式,钻孔设计没有覆盖所有的水害风险区域,导致很多高风险构造没有被提

前发现,最终在开采过程中诱发突水事故。

3.2 水害治理工程适配性不足

当前不少煤矿的水害治理工程存在严重的“一刀切”问题,没有结合本区域的水文地质条件针对性设计方案。部分简单水文地质条件的煤矿,过度投入大量资金开展不必要的大规模注浆治理,造成了严重的资金浪费;而部分复杂、极复杂条件的煤矿,为了节省成本,仅采用简单的常规防治措施,完全无法匹配高承压奥灰水的防控需求。还有部分煤矿的注浆治理工程施工不规范,钻孔终孔位置不到位,注浆材料用量不足,治理后的区域仍存在大量导水通道没有被封堵,水害隐患没有得到根本消除^[3]。

3.3 水害监测预警体系不完善

不少煤矿的水害监测预警体系仍十分落后,无法实现隐蔽水害的超前预警。多数矿井仅在主要水仓位置安装了涌水量监测传感器,没有在工作面的周边区域布设分布式的水位、水压监测站点,无法捕捉到突水发生前的微小前兆信息。同时监测数据的分析仍停留在简单的阈值报警层面,没有构建基于多源数据融合的突水预警模型,很多突水前兆信息无法被及时识别,往往突水事故已经发生,监测系统才发出报警,完全没有实现超前预警的目标。

3.4 应急处置能力存在明显短板

不少煤矿的水害应急处置能力严重不足,无法应对突发的大规模突水事故。部分矿井的排水系统设计能力偏低,没有按照最大突水水量的标准进行校核,一旦发生大规模突水,排水能力完全无法匹配突水水量,很容易出现矿井被淹的情况。同时很多煤矿的水害应急物资储备不足,井下的挡水墙、防水闸门等设施长期缺乏维护,无法在突水发生时快速发挥隔离作用,矿井作业人员的水害应急逃生培训不到位,突水发生时无法快速有序撤离,进一步放大了事故的人员伤亡风险。

4 适配不同水文地质条件的矿井水害防控路径体系

4.1 全维度隐蔽致灾因素超前精准探查

针对不同水文地质条件的煤田,构建差异化的超前探查技术体系,从源头彻底查明所有水害隐蔽致灾因素。对于简单-中等条件的煤田,采用地面三维地震结合井下瞬变电磁探测的组合手段,精准查明所有老空区积水的范围、积水量,以及直径 5 米以上的导水构造,实现探查全覆盖。对于复杂条件的煤田,采用地面定向钻探+井下随钻测井的综合探查技术,对所有可能的导水断层、隐伏陷落柱进行精准定位,探查准确率提升至

90%以上。对于极复杂条件的煤田,采用地面与井下联合的三维电法勘探,结合高密度定向钻探,实现所有直径3米以上的隐蔽导水构造的精准探查,彻底消除探查盲区。

4.2 分区差异化水害治理工程体系

基于煤田水文地质条件的划分结果,实施分区差异化的水害治理,实现防控资源的精准高效利用。对于简单-中等条件的开采区域,重点针对老空区积水开展超前探放工程,彻底消除老空水害隐患,无需开展大规模的注浆治理,在保障安全的前提下控制治理成本。对于复杂条件的开采区域,实施煤层底板超前注浆加固工程,对底板隔水层的裂隙进行全面封堵,提升隔水层的抗突能力,同时对查明的导水断层、陷落柱进行针对性的注浆封堵,彻底切断突水通道。对于极复杂条件的开采区域,在开采前提前实施区域奥灰含水层的超前改性注浆治理,把强富水的奥灰含水层改造为弱富水的相对隔水层,从根本上消除高承压奥灰水的突水风险,为后续安全开采创造条件^[4]。

4.3 多源融合智能水害监测预警系统

构建覆盖全矿井的智能水害监测预警体系,实现水害隐患的超前识别。在所有开采工作面的周边区域,布设分布式的水压、水位、水温监测传感器,同步接入矿井的涌水量、微震、应力监测数据,构建多源数据融合的水害大数据分析平台。基于不同类型水害的前兆特征,训练专属的突水预警AI模型,实时分析监测数据的异常变化,在突水事故发生前数小时甚至数天识别出隐蔽的突水前兆信息,发出精准的分级预警,彻底改变过去突水后才报警的被动局面,把水害预警准确率提升至95%以上。

4.4 分级适配的水害应急防控体系

针对不同水文地质条件的矿井,建设分级适配的水害应急处置体系,全面提升突发水害的应对能力。所有矿井的排水系统必须按照本区域的最大可能突水量进行校核升级,复杂、极复杂条件的矿井还要配套建设应急强排系统,预留足够的排水能力冗余。在高水害风险区域的巷道提前预设快速构建挡水墙的预留位置,储备足量的水害应急抢险物资,定期开展水害应急逃生演练,确保突水事故发生时,作业人员可以快速安全撤

离,应急队伍可以第一时间开展处置,最大限度降低水害事故可能造成的损失。

4.5 水害防控体系落地的保障措施

为了保障整套水害防控路径能够真正落地见效,必须建立完善的配套保障机制。首先要严格落实煤矿水害防治的“三专”规定,配备专业的水文地质技术团队,保障水害防治工作的专业性。其次要建立水害治理工程的全过程质量监管机制,对所有探查、治理工程的施工质量进行严格验收,杜绝治理工程走形式的问题^[5]。最后要建立常态化的水害技术人员培训机制,持续提升一线作业人员的水害隐患识别与应急处置能力,为矿井的长期安全生产筑牢基础。

结束语

深部开采背景下煤田水文地质环境复杂化,隐蔽水害致灾因素显著增多,传统同质化防治模式已无法适配现代煤矿安全开采需求。本文依托多维度量化指标完成水文地质条件分级,系统阐明四类水文地质区块的水害风险差异,梳理当前探查、治理、预警、应急等环节存在的突出短板。据此构建了分级探查、分区治理、智能预警、分级应急的系统化防控路径,并配套完善落地保障机制。研究表明,精准水文分级是水害科学防控的前提,差异化治理是提升防治效能、节约治理成本的关键。研究成果可为深部矿井水害分级管控、隐患精准治理提供参考,助力煤矿安全生产稳定发展。

参考文献

- [1] 卢俞杰,卢玉荣.焦作方庄煤田水文地质条件普查研究[J].地下水,2022,44(1):53-56.
- [2] 张超.宁武煤田水文地质条件探查及防治水技术[J].煤,2025,34(1):100-103.
- [3] 静铁磊.沁水煤田上马区块水文工程地质条件对煤矿开采的影响[J].华北自然资源,2025(3):13-16.
- [4] 王晨,王博,柴德虎.华北型煤田煤炭开采区水文地质条件精细探查与应用[J].内蒙古煤炭经济,2026(2):181-183.
- [5] 王博文.煤矿水文地质条件和矿井充水因素分析——以霍西煤田孝义市山西金晖万峰矿为例[J].华北自然资源,2022(3):151-153.