

Study on Prevention and Control Technology of High-Pressure Aquifer in Ordovician of Xin'an Coal Field

Shuiping Zhu, Lianjun Cai, Hongyan Dong, Zhizhou Yang

Henan Energy Yi-Coal Company Yi'an Mining, Xin'an Henan
Email: cailj.love@163.com

Received: Jul. 4th, 2019; accepted: Jul. 19th, 2019; published: Jul. 29th, 2019

Abstract

Xin'an coalfield is mainly affected by the high-pressure aquifer on the bottom plate of the Ordovician system. When faults lead to the passage of the Austrian ash aquifer in the well field area, it is prone to water intrusion accidents. The calculation of the depth of damage to the bottom plate and the calculation of the water penetration coefficient show that the thickness of the bottom layer of the main coal mining layer in Xin'an coalfield cannot withstand the pressure of the Otao-based limestone aquifer, and that the aquifer must be partially transformed into an isolation layer through the demonstration of the need for reinforcement and transformation of the bottom plate. We have increased the thickness of the aquifer in which the bottom ash is strong, and proved that the effect of preventing and controlling water grouting in the bottom plate is up to the standard through geophysical exploration, drilling, and grouting reinforcement, effectively avoiding the occurrence of water flooding in the bottom ash. It provides a reliable reference basis for the prevention and control of the Ordovician high confined aquifer in Xin'an coalfield floor.

Keywords

Ordovician High Stress Aquifer, Calculation of Floor Damage Depth, Calculation of Water Inrush Coefficient, Reforming Base Plate Grouting, Preventive Measures

新安煤田底板奥陶系高承压含水层防治技术研究

朱水平, 蔡连君, 董红彦, 杨志州

河南能源义煤公司义安矿业, 河南 新安
Email: cailj.love@163.com

收稿日期: 2019年7月4日; 录用日期: 2019年7月19日; 发布日期: 2019年7月29日

摘要

新安煤田主要受奥陶系底板高承压含水层影响,井田区域内遇断层导通奥灰含水层通道时,极易发生突水事故。通过底板破坏深度计算、突水系数计算,说明新安煤田主采煤层底板隔水层厚度承受不了奥陶系灰岩含水层水压,通过论证必需进行底板加固改造使含水层局部改造成隔水层,人为增加了底板奥灰强含水层隔水层的厚度,通过物探、钻探、注浆加固证明底板防治水注浆效果达标,有效避免了奥灰突水灾害的发生,为新安煤田底板奥陶系高承压含水层的防治提供了可靠的参考依据。

关键词

奥陶系高承压含水层,底板破坏深度计算,突水系数计算,底板注浆改造,防范措施

Copyright © 2019 by author(s) 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

中国煤矿的水文地质条件十分复杂,华北地区的煤矿底板奥灰水影响越来越严重,随着煤矿向深部延伸开采,水文地质条件变得越来越复杂,水害隐患变得越来越严重,原来水文地质条件简单的矿井随着向矿井深部延深,条件变得复杂了[1],可见我国煤矿水文地质条件极为复杂,无论受水威胁面积还是水害威胁程度,煤矿水灾是制约矿井安全生产的主要灾害之一[2],都是世界罕见,因此,在煤矿开采过程中,多数煤矿因底板奥灰高承压含水层影响带来威胁,对于煤矿奥灰高承压含水层技术研究带来一定困难,尤其是复底板隔水层承受多个承压含水层水压,煤矿突水的可能性更大。

我国煤矿水文地质工作者通过国家“六五”“七五”“八五”等科技攻关项目,国家大型工业性试验,联合国资助项目等重大课题,经过多年不懈努力,在各类煤矿水害防治的基础理论、探测方法、预测预报方法、快速综合治理等技术研究和应用及新技术、新装备的开发和引进方面进行大量卓有成效的工作,并取得长足发展,现行的防治水技术方法在全国大部分地区得到了较好的推广和应用,通过各方面的共同努力,数十亿吨受奥陶系灰岩水威胁的煤炭资源得以解放。

新安煤田分布四个井田,其中新安井田水文地质条件极复杂,孟津井田水文地质条件复杂,正村井田、新义井田水文地质条件中等,新安煤田四个国有重点大型矿井均受底板奥陶系高承压含水层影响,因此,研究主采二₁煤层底板高承压含水层突水因素对煤矿开采意义重大。

2. 新安煤田基本情况

新安煤田位于河南省洛阳市新安县境内,属豫西地区,区域内发育较大的褶皱构造为新安向斜、F29断层。新安煤田目前布置有新安煤矿、孟津煤矿、新义矿业和义安矿业四个国有重点矿井,如下图1,开采二叠系山西组二₁煤层,二₁煤层埋藏较深,地表标高+401.65 m,开采最低底板标高-386.3 m,埋深787.95 m;煤种为贫瘦煤;煤层厚度平均4.15 m。新安煤矿位于新安倾伏向斜之北翼,在新安煤田浅部,为一平缓的单斜构造,倾角一般为7°~11°,井田内小断层发育,且多为高角度正断层,新义煤矿、正村煤矿、孟津煤矿布置在新安煤田深部,其中新义矿业位于新安煤田西南部,正村煤矿位于新安煤田中深部;孟津煤矿位于新安煤田深部东南翼,四个煤矿仅新安矿150万t/a;其余三个煤矿均为120万t/a;煤

层赋存不稳定,为典型鸡窝煤,煤层结构较简单,为单一煤层,地质构造简单,水文地质条件新安煤矿位极复杂,孟津煤矿为复杂,其余两个煤矿为水文地质条件中等,水压最大 5.5 Mpa,水位 138 m,四个矿井均为煤与瓦斯突出矿井,开采灾害严重,对矿井正常开采带来一定影响。

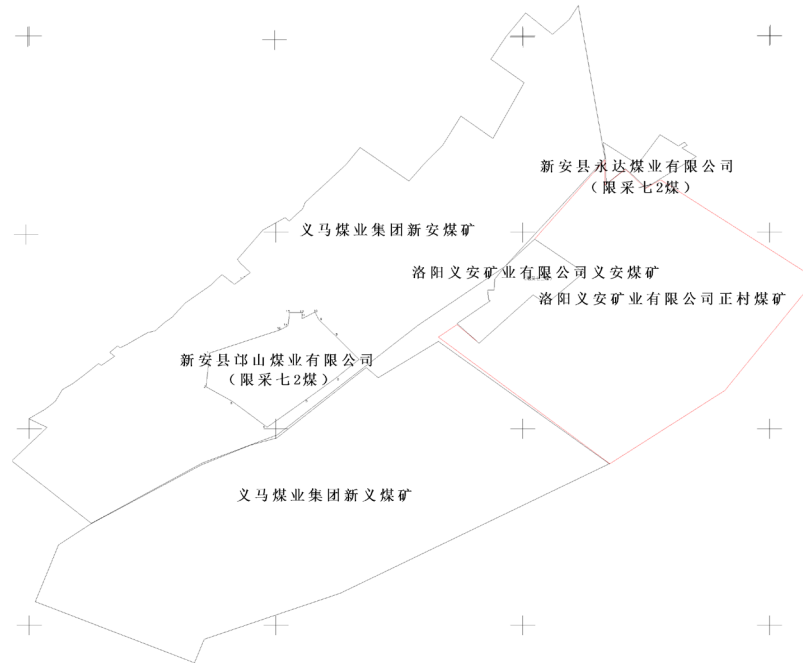


Figure 1. Distribution map of adjacent mines in Xin'an coalfield
图 1. 新安煤田相邻矿井分布图

3. 新安煤田水文地质条件

3.1. 新安井田地质构造情况

如图 2, 新安煤田为一走向 NE、倾向 SE 的单斜构造形态。地层倾角一般为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 。井田内断层稀少, 落差小, 构造简单, 表明井田内地层连续性和完整性较好, 各含水层因断层发生水力联系的概率较小。

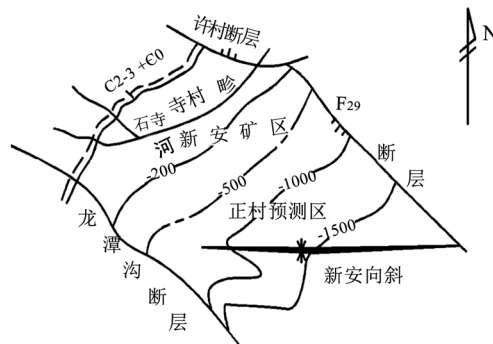


Figure 2. Xin'an coalfield structure outline map
图 2. 新安煤田构造纲要图

新安煤田矿井浅部为煤层+150 m~-600 m 等高线人为边界, 浅部碳酸盐岩裸露区地下水得到补给后, 沿地层倾向通过矿井浅部边界向深部径流; WN 部、WS 部岸上断层为义马水文地质单元同本区的分界线,

属阻水边界；东北部为边界 F29 断层，与孟津矿相隔，断层走向近 SN，倾向 W，倾角 $65^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，西盘下降，东盘抬升，最大落差 33 m，井田内地层相对下降，具有导水性质；矿井深部奥灰岩溶相对不发育，对地下水径流、排泄形成阻隔。

隐伏构造受到采掘影响后可形成导水通道，特别是煤层底板隐伏断层，可造成煤层底板隔水层减薄或使奥灰与 L_7 灰岩沟通，致使奥灰具有突水的可能。如果顶板发育有隐伏断层，将下石盒子组及其以上砂岩含水层沟通都将增加间接充水含水层的矿井水补给来源。如：

新安煤田新安煤矿 1995 年 11 月 5 日 17 时 55 分，在 12 采区下山 12161 工作面上巷掘进时，迎头有 F3 断层，落差 4.4 m，发生突水。19 时 30 分测得涌水量 $1068\text{ m}^3/\text{h}$ ，随后涌水量继续增加，7 日 17 时 20 分达到最大 $4257\text{ m}^3/\text{h}$ 。虽经全力抢救，终因矿井排水能力不足，造成突水淹井事故，突水水源是煤层底板奥灰水。孟津煤矿于 2013 年 4 月 11011 工作面回采期间发生突水事故，最大涌水量 $1800\text{ m}^3/\text{h}$ ，稳定水量 $1600\text{ m}^3/\text{h}$ ，突水原因可能与隐伏构造导通奥陶系灰岩、太原组砂岩以及山西组砂岩有关。该工作面标高、隔水层厚度以及承受各含水层水压等情况与 12011 工作面相似[3]。

3.2. 井田地质及水文地质

据《中国北方主要煤矿区水文地质图集》中的划分，新安煤田新安井田属于新安岩溶水系统，亦称新安水文地质单元。如图 3，该水文地质单元北界为黄河北岸近 EW 向的石井河断层(F1)，断层南盘奥陶系地层与北盘二叠系地层对接，形成阻水边界；南界为 NW~SE 向的龙潭沟断层(F58)、新安向斜轴部，龙潭沟断层南侧属滏池岩溶水系统；西界为曹村以西出露的元古界石英砂岩，为相对隔水层，形成相对隔水边界；东界为常袋断层，断层西盘上升，东盘下降，为相对阻水边界。深部岩溶含水层垂深大于 1000 m，岩溶不发育，形成相对封闭的独立水文地质单元，总面积约 800 km^2 。新安井田位于该水文地质单元的深部滞留带，奥陶系地层埋深 600 m~1000 m，富水性极不均一。

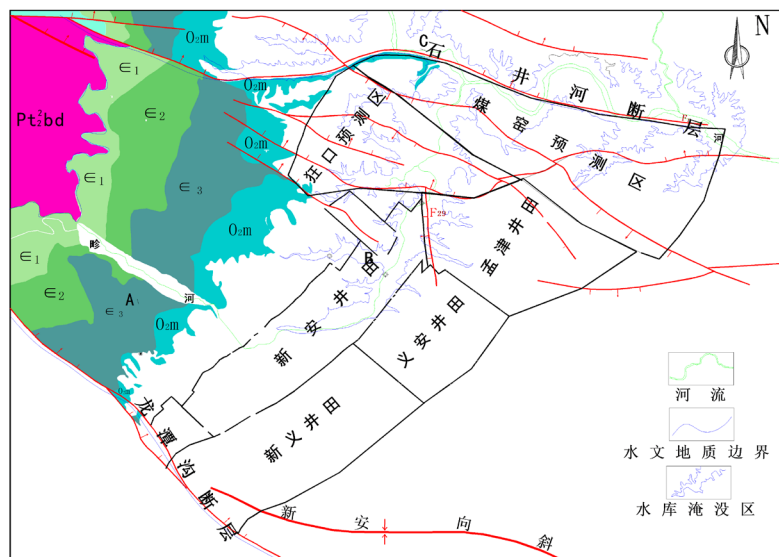


Figure 3. Schematic diagram of Xin'an hydrogeological unit division and recharge conditions

图 3. 新安水文地质单元划分及补给条件示意图

本区奥灰岩溶含水层原有的补给水量，主要来自矿区西北部寒武 - 奥陶系地表裸露区的大气降水和河道的岩溶漏水区段，地下水的总流向是由西向东，流经新安矿井田并继续向东，最终排泄入黄河。小浪底水库蓄水后，这一带的黄河水位已由原来的 +210 m 标提高到高位蓄水时期的 +270.1 m，奥灰水地

下径流的排泄点标高相应地抬升了 60 m, 水力梯度和流速也相应地发生变化, 从而对奥灰水的补给、排泄和突水量产生一定的影响。

3.3. 新安煤田主要含水层

根据新安煤田矿区内的岩性、厚度、富水性、导水性及地层组合关系, 由新到老共分为 9 个含水层。即: 第四系孔隙含水层; 三叠系刘家沟组砂岩裂隙含水层; 二叠系上统石千峰组平顶山砂岩裂隙含水层; 二叠系上统上石盒子组中、粗粒砂岩含水层; 二叠系下统下石盒子组中、粗粒砂岩含水层; 二叠系下统山西组砂岩含水层; 石炭系上统太原组上段石灰岩岩溶含水层; 石炭系上统太原组下段石灰岩岩溶含水层; 奥陶系灰岩岩溶含水层[3]。现将各含水层水文地质特征叙述如下:

1) 第四系孔隙含水层(I)

为冲、洪积相砂、卵石孔隙潜水含水层, 主要分布在新安井田西北侧的畛河河谷, 厚度 0 m~40.00 m, 平均 12.00 m。岩性为砂砾石及卵石, 分选性差, 砾径 20 mm~100 mm, 次棱角及次圆状。受大气降水直接渗入补给, 水位随季节而变化, 富水性与大气降水密切相关。根据区内及周边机井抽水试验, 单位涌水量 1.67 L/s·m, 水质类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型, 矿化度小于 0.50 g/L。属于富水性中等的含水层, 此孔隙潜水含水层, 正常情况下, 对煤层的开采影响不大。

2) 三叠系刘家沟组砂岩裂隙含水层(II)

最大保留厚度 139.70 m, 根据深部邻区“河南省新安煤田新义井田深部详查”资料显示, 该含水层在地貌上形成不连续孤丘, 局部节理裂隙发育, 富水性弱。

3) 二叠系上统石千峰组平顶山砂岩裂隙含水层(III)

该含水层在区内裸露时呈单面山地貌。岩性为灰白色中、粗粒长石石英砂岩, 节理发育。平均厚度 55.68 m。该含水层含水性较好, 据区域放水试验结果: 单位涌水量 2.557 L/s·m, 渗透系数 3.482 m/d。富水性强。

4) 上石盒子组砂岩裂隙含水层(IV)

由上石盒子组细~粗粒砂岩组成, 厚度 0 m~105.21 m, 平均厚约 60 m。据新安煤田精查报告资料, 单位涌水量平均 0.018 L/s·m, 渗透系数平均 0.0345 m/d。水化学类型一般为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型, 矿化度 0.395 g/L~0.574 g/L, pH 值 7.72~8.83, 水温 16℃左右, 水质良好。富水性弱。

5) 下石盒子组砂岩裂隙含水层(V)

赋存多层灰、灰白色中粒~粗粒砂岩, 裂隙不甚发育, 平均厚度约 71 m。区内 2103、19016 两孔分别于 497.00 m、697.40 m 发现漏水, 冲洗液消耗量 25.00 m^3/h ~12.60 m^3/h ; 23021 孔及风井检查孔抽水试验单位涌水量 0.00319 L/s·m~0.00343 L/s·m, 渗透系数 0.0115 m/d~0.00886 m/d, 地下水位标高 +332.37~+344.56 m。新安煤矿钻孔抽水试验资料: 单位涌水量 0.0286 L/s·m~0.0106 L/s·m, 渗透系数 0.0594 m/d~0.0178 m/d, 地下水位标高 +364.19 m~+225.40 m。水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 及 $\text{SO}_4\text{-Ca-Na}$ 类型水, 矿化度 0.61 g/L~1.60 g/L, pH 值 7.90~8.00。该含水层富水性较弱, 正常情况下对矿井的安全不会构成威胁。

6) 山西组砂岩裂隙含水层(VI)

为二₁煤层顶板直接充水含水层, 平均厚度约 43 m, 由二₁煤层顶部的大占砂岩、香炭砂岩和二₄煤层顶板砂岩组成, 多为中粒砂岩, 大占砂岩平均厚度 11.99 m, 裂隙不发育。区内钻孔未见本层涌、漏水; 2603'孔及主、副井检查孔抽水试验单位涌水量 0.00181 L/s·m~0.000681 L/s·m、渗透系数 0.0123 m/d~0.00344 m/d, 水位标高 +226.41 m~+349.88 m。新安煤矿钻孔抽水试验资料: 单位涌水量 0.0168 L/s·m~0.00025 L/s·m, 渗透系数 0.0665~0.000964 m/d, 地下水位标高 +324.48 m~+198.75 m。水质为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 类型, 矿化度 0.725 g/L~0.74 g/L, pH 值 7.80。综上可知, 该含水层为二₁煤层顶板直接充水含

水层, 因富水性较弱, 易疏干, 正常情况下对二₁煤层开采不构成威胁。但受采掘活动影响, 顶板以上隔水层被破坏时, 该含水层可能和上部含水层沟通, 生产过程中应加强监测。

7) 太原组上段灰岩岩溶含水层(VII)

由L₇~L₈石灰岩组成, 以L₇石灰岩为主, 平均厚度5.25 m。煤田内正村井田2601孔冲洗液严重消耗现象, 2603'及23021孔抽水试验单位涌水量0.0786 L/s·m~0.0771 L/s·m, 渗透系数0.566 m/d~1.22 m/d, 地下水位标高+305.71 m~+330.22 m。据邻近浅部孟津煤田太原组混合抽水试验资料: 单位涌水量0.000153~0.1906 L/s·m, 渗透系数0.000328 m/d~1.29 m/d, 地下水位标高+248.08 m~+330.22 m, 水质类型HCO₃-Ca·Mg·Na型水, 矿化度0.2 g/L~1.4 g/L, pH值为7.6~8.8。

该含水层上距二₁煤层底板8.11 m~17.14 m, 平均约12 m, 为二₁煤层底板直接充水含水层, 该层富水性弱-中等, 导水性不均一, 属岩溶裂隙承压水。因其静储量小, 易于疏干, 正常情况下对开采二₁煤层影响较小, 如遇构造破坏或底板隔水层厚度变薄, 易与下部含水层发生水力联系, 对开采煤层会影响[4]。

8) 太原组下段灰岩岩溶含水层(VIII)

由L₃~L₄石灰岩组成, 岩性为灰-深灰色厚层状生物碎屑石灰岩, 平均厚4.70 m。该层岩溶裂隙发育弱, 裂隙多为方解石充填。据区外深部“河南省新安煤田新义井田深部详查”1501、1101孔抽水试验: 水位标高+213.69 m~+216.87 m, 单位涌水量0.00017 L/s·m~0.000537 L/s·m, 渗透系数0.000773 m/d~0.00853 m/d, 地下水化学类型HCO₃-(K+Na)·Ca型或HCO₃-(K+Na)·Ca·Mg, 矿化度0.395 g/L~0.439 g/L, pH值7.4~8.06, 水温24℃。

该含水层上距二₁煤层底板为平均50 m, 为二₁煤层底板间接充水含水层, 该层岩溶裂隙发育程度弱, 富水性中等, 导水性不均一, 正常情况下对开采煤层影响小, 如遇构造破坏或底板隔水层厚度变薄, 对开采煤层会影响。

9) 奥陶系灰岩岩溶含水层(IX)

为灰、深灰色厚层状石灰岩, 矿井范围内顶板埋深600 m~1000 m, 最大揭露厚度130.82 m, 水压5.5 Mpa; 水温35.6℃。据正村勘探资料2603'及23021孔抽水试验钻孔单位涌水量0.0348 L/s·m~0.0330 L/s·m、渗透系数0.0414~0.0622 m/d、地下水位标高+228.61 m~+291.69 m。地下水化学类型为HCO₃-Ca·Na及SO₄-Ca·Na类型, 矿化度0.89 g/L~1.44 g/L, 总硬度401 mg/L~690 mg/L, pH值7.70~7.80。该含水层为二₁煤层底板间接充水含水层, 补给水源充足。依据试验2603'及23021孔抽水试验资料, 结合区域水文地质综合分析, 奥陶系灰岩岩溶含水层应属于强富水含水层, 富、导水性极不均一, 本层对矿井的安全生产存在严重的威胁。

3.4. 新安煤田主要隔水层

本区自上而下共分四个隔水层, 分述如下:

1) 二叠系山西组以上隔水层

由二叠系上、下石盒子组、石千峰组和三叠系刘家沟组各砂岩含水层之间的泥岩、砂质泥岩和粉砂岩组成, 岩性致密, 层位较稳定, 平均厚度约580 m, 隔水性能良好, 可以阻止上、下含水层的水力联系, 能够起到良好的隔水作用。

2) 二₁煤层底板隔水层

系指二₁煤底板至太原组上段灰岩顶界之间, 岩性为砂质泥岩、泥岩、条带状粉细砂岩, 厚2.00 m~11.14 m, 平均6.67 m, 层位较稳定, 隔水性能好, 但因其厚度较小, 且由于构造挤压常有较大的起伏, 在开采二₁煤层条件下, 其强度难以抵抗底板含水层中的水压时, 将失去隔水作用。

3) 太原组中段隔水层

岩性主要由黑色致密状泥岩、砂质泥岩、细粒砂岩组成,平均 10.50 m,上距二₁煤层约 20 m,岩性致密,层位稳定,分布广,隔水性较强,正常情况下,可阻隔太原组上、下段灰岩水发生水力联系。该层中部有胡石砂岩,正常情况下不含水,但在局部岩层薄弱地段或断层导通的情况下,有可能失去隔水作用。

4) 本溪组隔水层

由铝质泥岩、铝质岩及砂质泥岩组成,层厚 6.89 m~15.30 m,平均 10.96 m,层位稳定,岩性致密,为良好隔水层。正常情况下可以阻止奥陶系灰岩水和上部含水层地下水之间的水力联系,但在在隔水层厚度变薄或构造破坏的情况下,局部会失去隔水作用。

4. 主采煤层底板破坏深度计算

4.1. 底板破坏深度经验公式

根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》[5]工作面底板破坏深度计算公式为:

$$h = 0.0085H + 0.1665\alpha + 0.1079L - 4.3579 \quad (1)$$

式中: H 为采深取工作面平均采深;

α 为地层倾角,取工作面地层平均倾角;

L 为工作面斜长。

新安煤田各矿底板破坏深度计算如下表 1:

Table 1. Calculation table for damage depth of each mine floor in Xin'an coalfield

表 1. 新安煤田各矿底板破坏深度计算表

序号	工作面编号	煤层采深(m)	煤层倾角(°)	煤层厚度(m)	工作面斜长(m)	底板破坏深度(m)
1	新安煤矿 16010 面	510	6	5	160	18.24
2	新义煤矿 12050 面	620	6	4.5	120	14.86
3	义安矿业 14020 面	787.9	5	4.15	180	22.59
4	孟津煤矿 12000 面	758	7	6	150	19.43

4.2. 计算新安煤田煤层底板最大破坏深度对煤层开采的影响:

通过计算新安煤田煤层底板最大破坏深度为 22.59 m,新安煤田底板隔水层最大安全岩柱为 59 m,必须考虑底板隔水层所能承受最大水压值,确保新安煤田所属矿井安全开采。

5. 主采煤层底板突水系数计算

新安煤田内奥陶系岩溶裂隙水位标高为+220 m,其中新安煤矿二₁煤层底板标高为-166.4 m,义安矿业二₁煤层底板标高为-386.3 m,新义矿二₁煤层底板标高为-305.5 m,孟津煤矿二₁煤层底板标高为-320 m。矿井均为带压开采,现利用《煤矿防治水细则》推荐的突水系数计算公式计算各矿突水系数如下表 2:

$$T_s = P/M \quad (2)$$

式中: T_s ——底板突水系数(Mpa/m);

P ——隔水层承受的水压(Mpa);

M ——底板隔水层厚度(m)。

根据公式计算,当隔水层厚度取平均值 58 m 时,新安煤田采掘工作面突水系数最大为 0.093 MPa/m,在地层无构造破坏的情况下,可有效地阻止奥灰水进入矿井。如果煤层底板有穿透奥灰层的断裂存在或者有破碎带导升,同时又处在奥灰水径流带时,将有可能造成煤层底板突水[6]。

Table 2. Calculation results of the water inrush coefficient of the ash water in Xin'an coalfield

表 2. 新安煤田奥灰水突水系数计算成果表

新安煤田	煤层底板标高(m)	奥灰水位标高(m)	隔水层承受的水压(Mpa)	隔水层厚度(m)	突水系数(Mpa/ m)
新安煤矿	-166.4	+105~213.56	3.8	53	0.072
义安矿业	-386.3	+163~167.3	5.5	58.9	0.093
新义矿业	-305.5	+104.8~194.5	5.0	58	0.086
孟津煤矿	-255~320	+138~220	5.4	59	0.092

根据《煤矿防治水细则》要求,在煤层底板受构造破坏块段, T_s 一般不大于 0.06 MPa/m,正常块段不大于 0.1 MPa/m 时,则一般不会有突水危险。对于本井田, $0.06 < 0.093 < 0.1$,所以在无构造破坏的情况下,奥灰含水层不会影响矿井的安全生产,但在受断裂构造破坏块段则存在突水危险,矿井一旦发生奥灰突水,突水量可达到新安矿 12161 工作面突水水量 4257 m³/h 的条件。

6. 奥陶系高承压含水层对矿井生产的影响

6.1. 以新安矿 12021 工作面奥灰水为例

从 12021 工作面上下顺槽掘进期间揭露及瞬变电磁勘探结果,工作面范围内水文地质条件相对比较复杂,影响工作面回撤较大的含水层,主要为顶板 B4 砂岩裂隙水及底板奥陶系灰岩水。二₁煤层底板多为泥岩砂质泥岩或细砂岩互层,抗拉强度 0.5 Mpa~4.31 Mpa,岩体稳定性差,在高压水头作用下易发生地鼓。

该工作面直接含水层有二₁煤层顶板 B4 砂岩裂隙水何底板太原组石灰岩裂隙岩溶含水层,奥陶系灰岩裂隙岩溶含水层为间接充水含水层。太原组地层在二₁煤层以下,总厚度 66 m,含灰岩 8 层,总厚 21.21 m,占 44.66%,L₉灰岩平均厚度 2.69 m,上距二₁煤层底板 16 m,L₈灰岩平均厚度 1.7 m,上距二₁煤层底板 25 m,L₇灰岩平均厚度 6.47 m,上距二₁煤层底板 33 m。据勘探和井下底板注浆加固钻孔资料,太原组灰岩富水性极弱,涌水量 5 m³/h,对开采威胁不大。

奥陶系灰岩裂隙岩溶含水层,上距二₁煤层底板 69 m,虽为间接含水层,但因其水压高、煤层底板导水裂隙发育,回采过程中,仍有突水可能性,因此,防治奥陶系承压含水层仍是防治水工作的重点。奥陶系灰岩岩溶裂隙发育不均,局部有强富水可能,构造发育区段奥灰水有突水可能性;另外,隔水层变薄区或奥灰水严重向上导升区段,奥灰水急易突破隔水层而对太原组灰岩进行补给或直接向矿井充水,造成水害事故,对奥陶系灰岩和太原组灰岩采取治理措施,是矿井防治水工作重点[7]。

6.2. 底板改造工程注浆改造厚度确定(以孟津煤矿 12011 工作面为例):

根据《煤矿防治水细则》[8]计算 12011 工作面的安全水压值为:

构造破坏地带安全水压值:完整地带安全水压值:

$$P_{安} = T_s \times M = 0.1 \times 43 = 4.3 \text{ MPa} \quad P_{安} = T_s \times M = 0.06 \times 43 = 2.58 \text{ MPa} \quad (3)$$

$P_{安}$ ——安全水压(MPa);

T_s ——突水系数,一般情况下,在具有构造破坏的地区按 0.06 计算,隔水层完整无断层构造破坏地区按 0.1 计算;

M ——隔水层厚度(m), 平均取 59 m。由于工作面施工有底抽巷, 底抽巷距离煤层底板 16 m 左右, 底抽巷以上岩层施工有大量瓦斯抽放钻孔, 均未注浆封孔, 可视为破碎岩层。因此, 隔水层厚度可视为 43 m。

即 12011 工作面带压开采的构造破坏地带安全水压为 2.58 MPa, 完整地带安全水压为 4.3 MPa。工作面承受奥陶系灰岩静水压力约为 4.76 MPa~5.4 MPa, 工作面水压大于安全水压, 因此对 12011 工作面需进行全覆盖注浆改造。注浆改造后隔水层厚度必须大于安全隔水层厚度, 使工作面突水系数小于 0.06 MPa/m, 注浆改造厚度计算公式如下:

$$M = \frac{P}{T_s} + h_1$$

式中: M ——隔水岩柱的实际厚度(m);

T_s ——突水系数(MPa/m);

P ——隔水岩柱底板所承受的水压值(MPa);

h_1 ——煤层开采时矿压对底板的破坏深度(m)。

矿压对底板破坏深度(h_1)的选取可采用钻探实测, 建立经验公式求得。一般采厚 $H \leq 3$ m, h_1 取 10 m; 采厚 $3 \text{ m} < H \leq 5$ m, h_1 取 15 m, 采厚 $H > 5$ m, h_1 取 20 m。

突水危险系数的选择, 在正常岩层地段, 突水系数选 0.1 MPa/m, 在断层附近及构造破碎地段, 突水系数选 0.06 MPa/m。

即: 破碎构造地带改造隔水层厚度: 完整地带改造隔水层厚度:

$$M = 5.4/0.06 + 20 = 110 \quad M = 5.4/0.1 + 20 = 74$$

考虑到煤层底板底抽巷及瓦斯抽放孔对工作面的影响(底抽巷距离二₁煤层底板平均 16 m), 底抽巷以上岩层可视为破碎岩层, 工作面注浆改造隔水层应以底抽巷底板为起始, 即完整地带注浆改造隔水层厚度为底抽巷以下 74 m, 破碎构造地带改造隔水层厚度为底抽巷以下 110 m。

6.3. 破碎块段与完整块段范围划分确定

1) 据观测分析, 该工作面构造较简单, 褶皱不发育, 掘进期间共揭露 5 条断层, 落差 0.2 m~1.8 m, 各断层均未发现导水现象。

2) 前期对 12011 瞬变电磁物探低阻异常区已注浆加固施工的 11 个钻孔, 太原组地层均未出水, 进入奥陶系灰岩后水量均未超过 5 m³/h (详见表 1), 说明异常区内并无明显导水断层存在。

3) 前期 12011 瞬变电磁物探低阻异常区注浆加固钻孔施工期间, 发现巷道受矿压影响较大, 巷道附近浅层底板较破碎。

综上所述, 工作面内整体岩层较完整, 均可作为完整块段对待, 但底抽巷受矿压影响较大, 底抽巷附近 30 m 范围内注浆改造厚度应适当增加[9]。为确保安全, 本设计暂定增加 10 m, 即底抽巷 30 m 范围内改造隔水层厚度为底抽巷底板以下 84 m, 其它区段改造隔水层厚度为底抽巷底板以下 74 m。

6.4. 注浆施工顺序[10]

1) 井下注浆施工顺序如下图 4

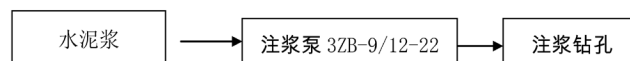


Figure 4. Underground grouting construction sequence

图 4. 井下注浆施工顺序

2) 地面注浆施工顺序:

水泥罐→自控系统→搅拌池→吸浆池→注浆泵→注浆管→钻孔
 水源→清水泵→储水池

7. 防范措施

新安煤田奥陶系灰岩厚度大，出露及补给条件好，但岩溶裂隙与富水性具有显著的不均一性，局部富水区岩溶裂隙及断层可能构成导水通道，引起矿井突水。在防治底板奥灰水方面，做到物探查异、钻探验证，底板注浆加固，同时通过供水井疏水降压，四个国有重点煤矿均建设了地面注浆站，与高等院校合作对奥灰水防治技术进行研究，各矿编制了《煤矿带水压开采安全技术措施》。对于断裂或隐伏断裂通道导通奥灰水引起灾害性突施的威胁较大，杜绝奥灰突水的技术难度大，防治水工作举步维艰。新安煤田各矿为防范奥灰承压含水层发生突水需做如下几方面工作：

- 1) 加强地质、水文地质日常工作，为防治水工作奠定基础
- 2) 加强基础资料的整理、分析，为防治水工作提供依据
- 3) 坚持“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”的防治水十六字原则及“探、防、堵、疏、排、截、监”七项综合防治措施。
- 4) 加强防治水风险管控及事故隐患排查治理工作把问题消灭在萌芽中。具体排查内容：
 - a) 受奥陶系灰岩含水层和太原组灰岩含水层威胁的区域；
 - b) 受地质构造影响有出水威胁的区域；
 - c) 采空区等容易积水威胁的区域；
 - d) 采空区对应的地面沉降及地表裂缝；
 - e) 物探低阻底板破碎带有导升趋势的区域。
 排查的重点设备设施为：
 - I) 水泵、水管、闸阀、排水用的配电设备和输电线路等；
 - II) 水仓、泵窝、沉淀池和排水沟等。

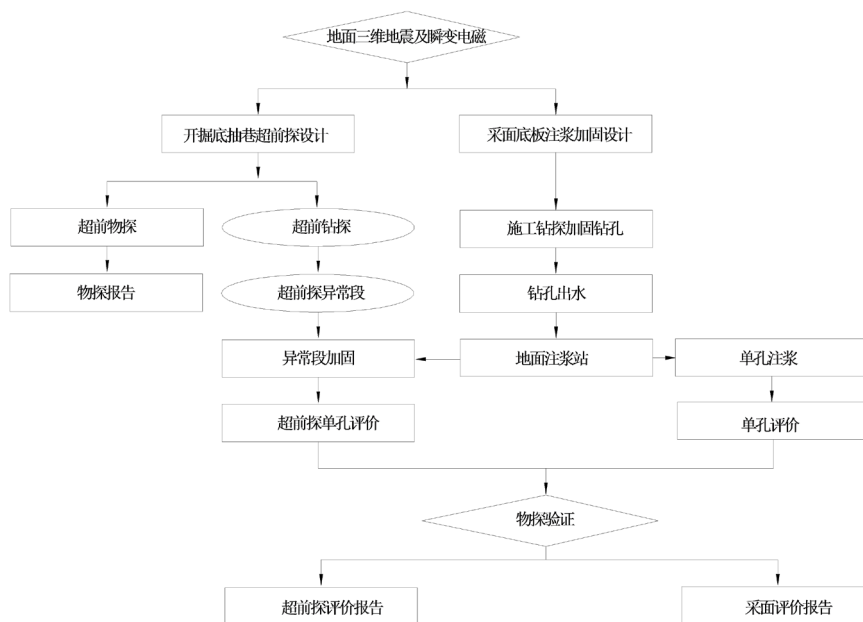


Figure 5. Flow chart of prevention and control technology for high-pressure aquifer of Ordovician limestone in Xin'an coal field
 图 5. 新安煤田奥陶系灰岩高承压含水层防治技术流程图

- 5) 加强防治水专业知识的培训及透水征兆的学习
 - 6) 严格按照《煤矿防水细则》规定要求进行探放水工作, 并建立完善的防排水系统,
 - 7) 建立奥陶系灰岩含水层动态监测系统
 - 8) 留设各类防水安全煤(岩)柱
 - 9) 严格按《煤矿安全规程》和《煤矿防治水细则》以及行业有关防治水的制度和管理办法执行。
- 新安煤田奥陶系灰岩高承压含水层防治技术流程图如图 5。

7. 结语

通过对新安煤田四个矿井奥陶系灰岩含水层承压水及底板破坏深度、突水系数计算, 说明矿井防治水工作仍然存在许多不确定因素, 防治水工作难度很大, 从技术、管理、投入等方面都要进一步加大力度, 防止灾害性突水或透水事故的发生, 确保煤矿安全生产[11]。加强防治水高新科技设备的引进与创新, 给矿井防治水工作创造了一些有利条件, 但不会改变矿井防治水工作的基本现状, 要保持足够认识, 在队伍建设上狠下功夫, 保证各项工作切实落到实处[12]。

由于新安煤田奥陶系灰岩含水层位于二₁煤层底板下约 59 m。其中, 奥陶系灰岩岩溶裂隙发育不均, 局部有强富水可能, 构造发育区段奥灰水有突水可能性; 另外, 隔水层变薄区或奥灰水严重向上导升区段, 奥灰水极易突破隔水层而对太原组灰岩进行补给或直接向矿井充水, 造成水害事故, 对奥陶系灰岩和太原组灰岩采取治理措施, 是矿井防治水工作重点[13]。

参考文献

- [1] 王大纯. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [2] 刘红英. 煤矿主排水系统自动化控制研究[J]. 煤矿机械, 2018, 39(4): 27-28.
- [3] 赵全福, 等. 煤矿水害事故典型案例汇编[M]. 北京: 中国统配煤矿总公司生产局, 1992.
- [4] 曹振明. 对义安煤矿太原组灰岩赋水规律的探讨[J]. 煤炭科技, 1999(1): 31-32.
- [5] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.
- [6] 李全凯, 等. 矿井岩溶水防治[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1990.
- [7] 余德沛, 陆春元. 矿井水灾害防治技术[M]. 北京: 中国经济出版社, 1986.
- [8] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿防治水文细则[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
- [9] 李松营. 应用动水注浆技术封堵矿井特大突水[J]. 煤炭科学技术, 2000, 28(8): 28-30.
- [10] 王心义, 等. 矿井煤层底板含水层注浆改造技术[J]. 矿业研究与开发, 2005, 25(6): 86-88.
- [11] 吕东亮, 郝会安, 廉洁. 石壕煤矿工作面综合防治水技术应用[J]. 能源与环保, 2017, 39(3): 113-117.
- [12] 王心义, 单智勇. 岩溶裂隙型矿区水害防治技术及水资源综合利用[J]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.
- [13] 李松营, 杨培, 申青春, 张万鹏. 新安煤田矿井充水条件时空变化规律研究[J]. 煤炭工程, 2018, 50(11): 103-107.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-7301，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：me@hanspub.org