

基于多源探查的FD7逆断层含导水性判别及煤柱留设可行性分析

李 军¹, 刘文婷^{2*}, 刘启蒙²

¹中安联合煤化有限责任公司朱集西煤矿, 安徽 淮南

²安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2026年9月22日; 录用日期: 2026年10月17日; 发布日期: 2026年10月29日

摘 要

断层阻隔水煤(岩)柱留设是煤矿防治水工作的核心问题之一。传统规范按断层落差分级留设煤柱, 但未充分考虑断层实际含导水性, 常导致煤炭资源压滞。以朱集西煤矿东翼系统大巷掘进过FD7逆断层及11405工作面FD7断层为工程背景, 提出基于地面三维地震、地面钻探、井下瞬变电磁、井下钻探及巷道实揭的多源探查信息融合方法, 判别FD7逆断层含导水性, 并评价断层影响下采掘水害威胁程度。结果表明: FD7逆断层为压扭性逆断层, 研究区落差10~55 m, 倾角40°~60°; 断层带充填糜棱岩、泥岩及构造煤, 瞬变电磁未发现低阻异常, 钻探无涌水漏水, 巷道实揭干燥无水, 与上覆第四含水层及下伏太原组灰岩含水层无水力联系, 综合判定为不含(导)水断层。水害评价显示: 11405工作面导水裂缝带最大高度38.3 m, 防水煤岩柱高度50.3~63.0 m, 远小于煤层与“四含”间距555~661 m; 底板采动破坏深度19.93~30.06 m, 远小于煤层至太灰间距257 m; 突水系数0.046 MPa/m, 低于《煤矿防治水细则》构造破坏块段临界值0.06 MPa/m。基于上述判别与评价, 论证了东翼系统大巷及11405工作面过FD7逆断层可不留设断层阻隔水煤柱。研究成果为逆断层煤柱留设提供了“含导水性判别-水害评价-规范适用性分析”的系统方法, 对类似条件矿井具有参考价值。

关键词

逆断层, 含导水性, 煤柱留设, 突水系数

Identification of Water-Bearing and Conducting Properties of FD7 Reverse Fault Based on Multi-Source Exploration and Feasibility Analysis on Coal Pillar Setting

Jun Li¹, Wenting Liu^{2*}, Qimeng Liu²

*通讯作者。

文章引用: 李军, 刘文婷, 刘启蒙. 基于多源探查的 FD7 逆断层含导水性判别及煤柱留设可行性分析[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(10): 1534-1541. DOI: 10.12677/ag.2026.1610135

¹Zhujixi Coal Mine, Zhong'an United Coal Chemical Co., Ltd., Huainan Anhui²School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: September 22, 2026; accepted: October 17, 2026; published: October 29, 2026

Abstract

The setting of waterproof coal (rock) pillars for faults is one of the core issues in coal mine water prevention and control. Traditional specifications set pillars according to fault throw, but often neglect the actual water-bearing and conducting properties of faults, resulting in resource sterilization. Taking the east wing main roadway crossing the FD7 reverse fault, and the FD7 fault in the 11405 working face of Zhujixi Coal Mine as the engineering background, a multi-source exploration information fusion method based on surface 3D seismic, surface drilling, underground transient electromagnetic, underground drilling, and roadway exposure is proposed to identify the water-bearing and conducting properties of the FD7 reverse fault and evaluate the water hazard threat under fault influence. The results show that the FD7 reverse fault is a compressive-torsional reverse fault, with a throw of 10~55 m in the study area and a dip angle of 40°~60°. The fault zone is filled with mylonite, mudstone, and tectonic coal. Transient electromagnetic exploration found no low-resistivity anomaly, drilling showed no water inrush or leakage, roadway exposure was dry, and there was no hydraulic connection with the overlying fourth aquifer or the underlying Taiyuan Formation limestone aquifer. It is comprehensively determined as a non-water-bearing and non-conducting fault. Water hazard evaluation shows that the maximum height of the water-conducting fracture zone in the 11405 working face is 38.3 m, and the waterproof coal-rock pillar height is 50.3~63.0 m, far less than the distance of 555~661 m between the coal seam and the fourth aquifer. The floor mining-induced failure depth is 19.93~30.06 m, far less than the distance of 257 m from the coal seam to the Taiyuan limestone. The water inrush coefficient is 0.046 MPa/m, lower than the critical value of 0.06 MPa/m for structural damage blocks specified in the Detailed Rules for Coal Mine Water Prevention and Control. Based on the above identification and evaluation, it is demonstrated that the east wing main roadway and the 11405 working face can cross the FD7 reverse fault without setting fault waterproof coal pillars. The research results provide a systematic method of “water-bearing and conducting property identification - water hazard evaluation - specification applicability analysis” for reverse fault coal pillar setting, which has reference value for mines with similar conditions.

Keywords

Reverse Fault, Water-Bearing and Conducting Property, Coal Pillar Setting, Water Inrush Coefficient

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

断层是煤矿采掘活动中最常见的地质构造之一，其不仅控制着煤层赋存形态，也常常成为地下水运移的通道或屏障[1]-[3]。当断层落差较大且切割含水层时，若留设煤柱不足，可能诱发突水事故；若按规范均留设较宽煤柱，则造成大量煤炭资源压滞[4] [5]。因此，断层煤柱留设的实质是在安全与资源回收之间寻求合理平衡。

《煤矿防治水细则》和《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》均要求对断层留

设防隔水煤(岩)柱[6]-[9]。当评价的断层为不含水、不导水断层时,可不留设防隔水煤柱。然而,如何科学判别断层含导水性,断层影响下的水害威胁,及其论证不留设煤柱的可行性,目前尚缺乏系统的工程方法。

本次研究区为朱集西煤矿,矿井位于淮南煤田北部,区内断裂构造发育[10] [11]。其中 FD7 逆断层是影响东翼系统大巷及 11405 工作面采掘安全的主要断层。原初步设计按断层落差分级留设保护煤柱,但已有地面三维地震、地面钻探、井下物探、井下钻探及多条巷道实揭资料表明,FD7 逆断层不含(导)水。本次研究以该工程为背景,从多源探查信息融合的角度,建立断层含导水性判别方法,并在此基础上开展水害威胁评价与煤柱留设可行性论证,以期为类似条件提供方法参考。

2. FD7 逆断层空间展布与含导水性多源探查

2.1. 断层空间展布特征

FD7 逆断层位于矿井北部边界附近,首采区北部偏东,北端与边界断层 F200 相交。断层断线呈“S”型弯曲,两端走向 NNW 向,中间段走向 NWW 向,倾向随走向变化,倾角 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$,落差 0~150 m,矿井内延伸长度约 3.5 km。研究区内落差 10~55 m。

三维地震资料显示(图 1),FD7 逆断层错断 17-1 煤至太原组灰岩,属南盘(下盘)下降、北盘(上盘)相对上升的逆断层。在垂直断层走向的时间剖面上,煤层反射波错断明显,断点、断面清晰,逆断层特征显著。断层被 37-1、35-4、34-2 号孔揭露,北十四 1、35-B6 和 34-1 孔控制,属查明断层。

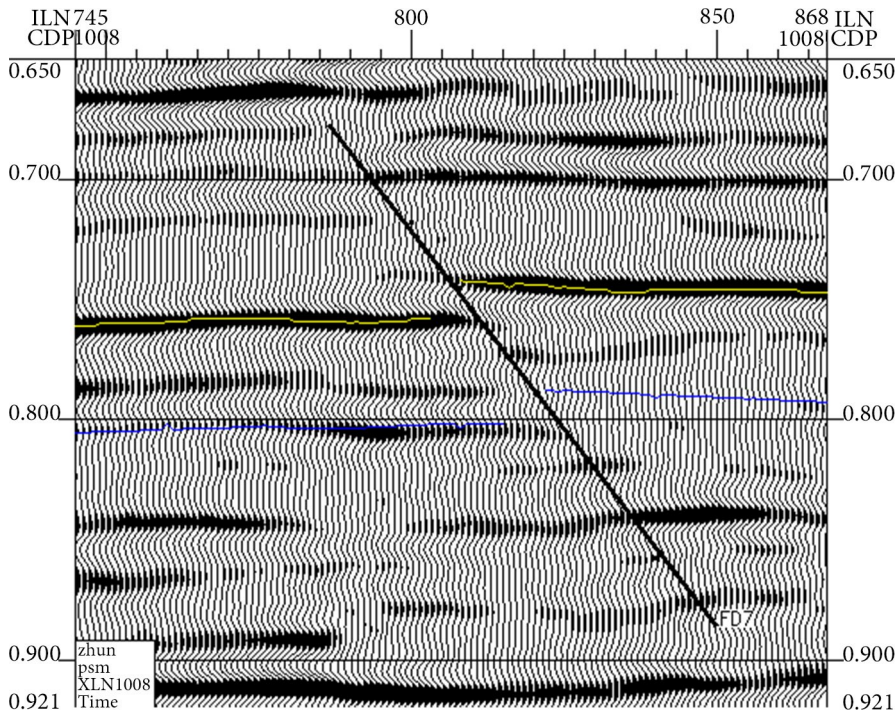


Figure 1. Characteristics of FD7 reverse fault on 3D seismic time section

图 1. FD7 逆断层在三维地震时间剖面上的特征

2.2. 地面钻探探查

矿井范围内 34-1、34-2 等地面钻孔穿过 FD7 逆断层(图 2)。钻遇期间冲洗液消耗量正常,无异常增大及漏失情况,未出现“卡钻”“埋钻”等钻探事故。断层带岩性以泥岩、炭质泥岩、细砂岩及构造煤为主,未见明显含水构造。地面钻探结果表明,FD7 逆断层带未形成有效的导水通道。

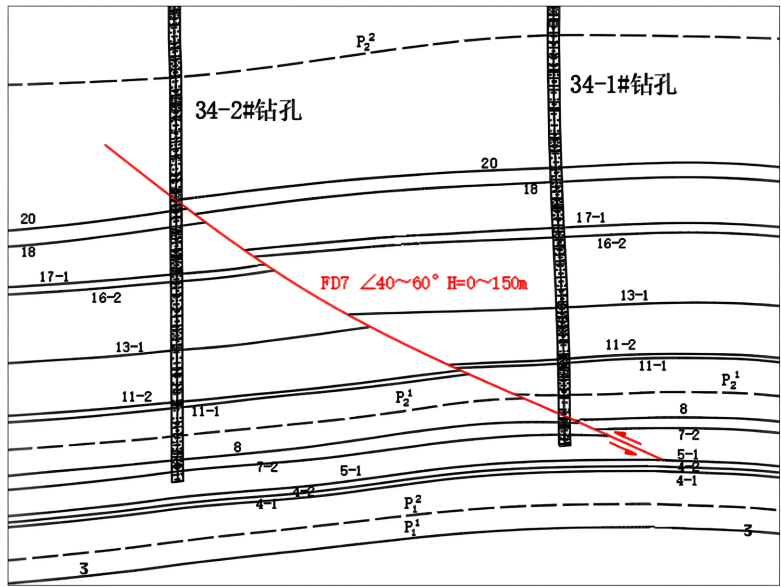


Figure 2. Cross-section of FD7 reverse fault exposed by surface drilling
图 2. 地面钻孔揭露 FD7 逆断层剖面图

2.3. 井下物探与钻探探查

矿井在 11405 顶板瓦斯抽放巷、顶抽巷回风联巷、东翼 11 煤集中回风巷、11405 顶抽巷盾构机组装室等处开展多次瞬变电磁超前探查，累计施工多条测线。探测范围内视电阻率值整体较高，未发现低阻异常区域，说明 FD7 逆断层及周边地层富水性弱，断层不具有含/导水性。

井下钻探方面，在 11405 顶板瓦斯抽放巷 C5 点前 22.5 m 处施工 8 个前探钻孔，对 FD7 逆断层含导水性进行探查(图 3)。探查孔使用岩芯管取芯，实际取芯长度 43.0 m，取芯率 93.4%。经探查，断层带宽约 2~3 m，落差约 30.0 m。钻探施工期间钻孔均未发现涌水、漏水现象，水文地质未见明显异常。

此外，在东翼 11 煤矸石运输大巷、东翼 11 煤轨道大巷、东翼 13 煤回风大巷等也施工了多组前探钻孔，并对断层带进行了注浆加固。各钻孔施工期间均未出现明显涌水、漏水现象。

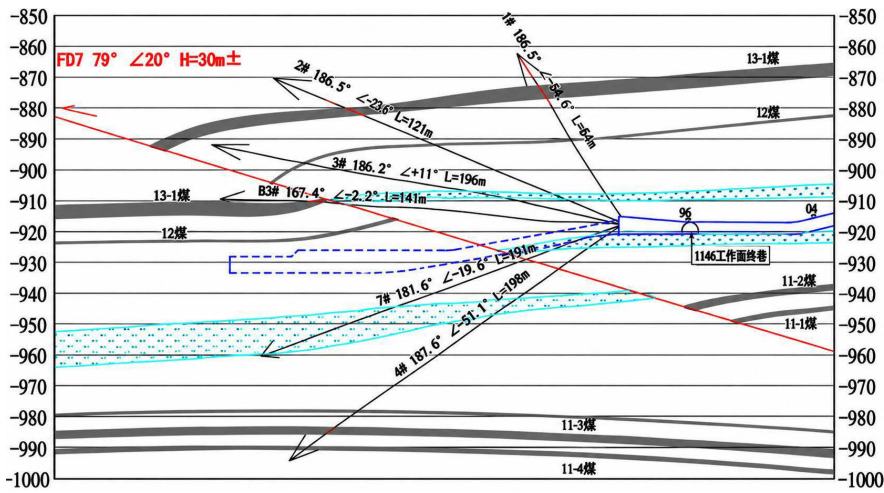


Figure 3. Borehole cross-section for exploring FD7 reverse fault in 11405 roof gas drainage roadway
图 3. 11405 顶板瓦斯抽放巷探查 FD7 逆断层钻孔剖面图

2.4. 巷道实揭与断层带岩性

东翼 11 煤矸石运输大巷、东翼 11 煤轨道大巷、东翼 13 煤胶带机大巷、东翼 13 煤回风大巷、东翼 13 煤轨道大巷及新增东翼主要回风大巷掘进期间均实际揭露 FD7 逆断层。揭露时断层带均呈干燥无水状态，巷道顶底板未出现淋滴水现象。

断层带岩性主要为糜棱泥岩、粉砂岩、细砂岩及构造煤。东翼 11 煤矸石运输大巷揭露断层面明显，无破碎带、无充填物；东翼 11 煤轨道大巷破碎带宽约 2.5 m，断层面附近牵引明显，充填物为碎裂岩和构造煤；新增东翼主要回风大巷破碎带宽约 4.5 m，断层上下盘均为深灰色泥岩。断层带内糜棱泥岩、粉砂岩及细砂岩在挤压扭转应力作用下，具有一定阻水性能。

2.5. 含导水性综合判别

单一探查手段均存在一定多解性，仅依靠某一类探测结果难以客观判断断层含导水性，需要对不同来源的探查资料进行综合融合研判。本节建立定性-半定量的决策流程，整合地面三维地震、地面钻探、井下瞬变电磁、井下钻探、巷道实揭以及水力联系分析多类证据，实现 FD7 逆断层含导水性的综合判别。

各类探查资料所反映的地质信息各有侧重：地面三维地震主要用于厘定断层空间形态、产状、落差以及切割地层情况，仅提供构造背景，不能直接判断断层富水与导水属性；地面与井下钻探可以获取断层带岩性、冲洗液消耗、涌漏水等直接水文地质信息，是判别断层含导水性的重要依据；井下瞬变电磁为间接物探手段，低阻异常通常指示地层富水性较好，无明显低阻异常则反映地层富水性偏弱，但探测结果易受现场环境干扰；巷道实揭属于现场直接观测证据，能够直观反映断层破碎带充填情况以及是否存在淋滴水现象；水力联系分析重点判断断层是否贯通上下主要含水层，以此判断断层是否具备导水通道条件。

针对 FD7 逆断层，本次各类探查均未发现强负向证据。地面钻探施工过程中冲洗液消耗正常，无漏失涌水；井下瞬变电磁探测未识别出富水低阻异常；井下前探钻孔施工无涌漏水现象；多条巷道实揭断层破碎带干燥无水；断层带以糜棱泥岩、构造煤等泥质充填为主，室内渗透性测试显示充填物渗透性较差；同时断层未与上覆第四系含水层、下伏太原组灰岩含水层形成水力联系。综合全部证据，判定 FD7 逆断层为不含、不导水断层。

需要说明，该判别结论仅代表本次已探查、已揭露的断层区段。断层沿走向延伸的未揭露部位，受地质条件非均质性影响，仍存在局部物性发生变化的可能性。

将上述多源探查信息归纳为表 1。FD7 逆断层具有以下特征：断层带充填泥质、糜棱状物质，富水性弱；断层性质为压扭性，导水性差；巷道实揭均干燥无水，钻孔无涌水、漏水；断层未与上覆“四含”及下伏太灰含水层形成水力联系。据此综合判定：研究区内 FD7 逆断层为不含(导)水断层。

Table 1. Summary of multi-source exploration evidence on the water-bearing and water-conducting properties of the FD7 reverse fault

表 1. FD7 逆断层含导水性多源探查证据汇总

探查手段	主要结果	含导水性指示
地面三维地震	断层错断 17-1 煤至太灰，断点清晰，落差 10~55 m	控制展布，不直接指示含导水性
地面钻探	34-1#、34-2#等孔穿过断层，冲洗液无漏失，无卡钻	不导水
井下瞬变电磁	视电阻率整体较高，无低阻异常	富水性弱
井下钻探	多个前探孔无涌水、漏水，取芯完整	不含水、不导水
巷道实揭	多条大巷揭露断层带干燥无水	不含水
断层带岩性	糜棱泥岩、构造煤、碎裂岩充填	阻水性能好
水力联系	与“四含”、太灰无直接水力联系	不导水

3. 断层影响下采掘水害威胁评价

3.1. 含水层威胁分析

东翼系统巷道距上覆新生界第四系含水层一般 450~520 m 以上, 11405 工作面距“四含”约 555~661 m。系统巷道掘进时顶板围岩塑性破坏范围较小, 仅对 11 煤、13 煤系砂岩裂隙含水层产生扰动, 区内未发现错断至“四含”的断层。因此, “四含”水不会对东翼系统大巷及 11405 工作面采掘产生影响。

东翼系统巷道距下伏太灰和奥灰含水层在 260 m 以上, 11405 工作面距太原组灰岩含水层至少 257 m, 距奥灰含水层至少 370 m 以上。太灰含水层单位涌水量 $q_{91} = 0.000176 \sim 0.0003067 \text{ L/(s}\cdot\text{m)}$, 渗透系数 $K = 0.00046 \sim 0.0017 \text{ m/d}$, 富水性弱。FD7 逆断层虽切割至太灰, 但断层带泥质充填、不导水, 因此底板灰岩水不会沿断层进入巷道或工作面。

3.2. 导水裂缝带与防水煤岩柱计算

11405 工作面 11-2 煤层平均煤厚 1.74 m, 采高 2.0 m, 顶板以泥岩、砂岩为主, 按中硬岩层考虑。根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》公式计算, 导水裂缝带高度取最大值 38.3 m:

$$H_{li} = 20\sqrt{\sum M} = 38.3(\text{m})$$

保护层厚度:

$$H_b = 6A = 6 \times 2.0 = 12.0 \text{ m}$$

防水安全煤(岩)柱高度:

$$H = H_{li} + H_b = 38.3 + 12.0 = 50.3 \text{ m}$$

根据朱集西煤矿四采区 11403 工作面覆岩破坏“两带”探查结果, 平均采高 1.9 m 时, 垮采比约 5.1 倍, 裂采比约 17.8 倍。按裂采比计算, $H_{li} = 17.8 \times 2.0 = 35.8 \text{ m}$, 防水煤岩柱高度 $H = 35.8 + 12.0 = 47.8 \text{ m}$ 。

考虑断层影响, 当工作面与断层相距 0 m 时, 导水裂缝带高度增长率 $\Delta H = 33.2\%$, 则断层影响下防水煤岩柱高度为:

$$H = H_{li} \times (1 + \Delta H) + H_b = 38.3 \times (1 + 33.2\%) + 12.0 = 50.3(\text{m})$$

该值仍远小于 11-2 煤层与“四含”之间的 555~661 m 垂距。因此, 工作面开采产生的导水裂缝带不会与“四含”连通, “四含”水正常情况下不会溃入工作面。

3.3. 底板破坏深度与突水系数

采用统计公式法、理论计算法对 11405 工作面底板破坏深度进行计算。仅考虑工作面斜长 204 m 时, 底板破坏深度为 19.44~22.71 m; 考虑采深、倾角及工作面斜长时, 底板破坏深度为 28.17 m; 考虑底板岩体坚固性系数和损伤度时, 底板破坏深度为 30.06 m; 理论计算法为 19.93 m。综合取 19.93~30.06 m。

11405 工作面距下伏太原组灰岩含水层至少 257 m, 采动导水破坏带深度远小于太灰顶界面最小垂距, 底板破坏不会波及灰岩含水层。

根据突水系数公式:

$$T = p/M$$

式中, p 为底板隔水层承受的实际水头值, 根据 31-B4 孔抽水试验, 太灰含水层水位-14.34 m, 工作面最低标高-1073.8 m, 水头值约 10.39 MPa; M 为底板有效隔水层厚度, 考虑底板破坏深度后约为 228.83 m。

计算得突水系数 $T = 0.046 \text{ MPa/m}$ 。

《煤矿防治水细则》规定，底板受构造破坏块段突水系数一般不大于 0.06 MPa/m ，正常块段不大于 0.1 MPa/m [12]。11405 工作面面内构造简单，无落差超过 5.0 m 的断层，FD7 逆断层主要影响工作面收作线之外的系统巷道。即使考虑底板构造破坏带，突水系数仍小于 0.06 MPa/m ，符合要求。

3.4. 煤系砂岩水影响

东翼系统大巷及 11405 工作面主要充水水源为 11-2 煤和 13-1 煤顶底板砂岩裂隙水。该含水段以灰白色中砂岩和细砂岩为主，夹灰色粉砂岩及泥岩，砂岩裂隙发育不均，局部发育垂直裂隙。抽水试验表明，11 煤顶板砂岩单位涌水量 $q_{91} = 0.000005 \text{ L/(s·m)}$ ，13-1 煤顶底板砂岩 $q_{91} = 0.0000134 \sim 0.0000701 \text{ L/(s·m)}$ ，富水性极弱，以静储量为主。巷道实际施工时多干燥无水，局部少量渗、滴水可很快疏干。因此，煤系砂岩裂隙水对采掘影响较小。

3.5. 采动应力影响下断层活化可能性分析

工作面回采会打破围岩原始应力平衡，断层带在采动应力扰动下存在裂隙扩展、滑移活化的潜在风险，原本隔水的断层有可能转变为导水通道，因此有必要对 FD7 逆断层的采动活化风险开展评估。本次采用 FLAC3D 数值模拟方法，对工作面回采过程中断层及围岩应力演化规律进行初步分析。

模型依据现场地质剖面还原地层分布，断层破碎带采用弱化力学参数的接触面单元表征，以此反映断层带内糜棱泥岩、构造煤等软弱充填物质的力学特性。模拟重点追踪工作面推进过程中断层面法向应力、剪应力的变化特征，对比剪应力与断层充填物抗剪强度的相对大小，判断断层发生剪切滑移活化的可能性。

数值模拟结果表明，在工作面回采扰动范围内，FD7 断层面整体仍处于压应力环境，断层面上产生的剪应力小于断层充填介质的抗剪强度，断层面未发生明显剪切滑移。仅在断层局部边缘区域出现小幅卸压现象，但没有形成贯通性的裂隙网络，整体发生断层活化并形成导水通道的可能性较低。

4. 煤柱留设可行性论证

4.1. 原煤柱留设方案

按照矿井初步设计，主要巷道每侧按 60 m 留设保护煤(岩)柱；断层落差 $\geq 25 \text{ m}$ 且 $< 50 \text{ m}$ 时，断层两侧各留 30 m 保护煤(岩)柱；落差 $\geq 50 \text{ m}$ 且 $< 100 \text{ m}$ 时，各留 50 m ；落差 $\geq 100 \text{ m}$ 时，各留 100 m 。东翼系统大巷主要巷道间保护煤(岩)柱实际预留 $60 \sim 70 \text{ m}$ ，能够满足初步设计要求。

4.2. 不留设煤柱的可行性分析

由前述分析可知：FD7 逆断层为不含(导)水断层，不存在与含水层对接情况；“四含”水、太灰水和奥灰水对采掘活动无影响；顶板砂岩含水层富水性弱，对采掘活动影响较小；导水裂缝带高度、底板破坏深度及突水系数均满足规范要求。因此，东翼系统大巷及 11405 工作面采掘过 FD7 逆断层时，可不留设断层阻隔水煤(岩)柱。

这一结论符合《煤矿防治水细则》关于“不含水、不导水断层可不留设阻隔水煤柱”的规定，也符合《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》的适用条件。不留设煤柱可多回收煤炭资源，延长矿井服务年限，具有显著的经济效益。

5. 过断层安全技术措施

即便经过前期探查分析知，FD7 逆断层为不含水、不导水断层，但采掘过断层期间仍应采取以下安

全措施:

- 1) 开展钻探、物探超前探查,进一步控制和验证 FD7 逆断层摆动、落差,并进行断层破碎带注浆加固。
- 2) 过断层期间,加强地面长观孔水位与井下水文动态观测,做好水害事故应急救援预案。一旦发生出水或地面水位监测异常,立即分析原因并采取针对性措施。
- 3) 临近断层施工时,加强顶板管控,严防抽冒。
- 4) 施工前编制过断层安全技术措施,明确过断层破碎带支护方式,量化支护参数,加强围岩变形观测,强化顶板管理。
- 5) 对 FD7 逆断层摆动情况进一步探查验证,超前查明伴生小构造。

6. 结论

- 1) 通过地面三维地震、地面钻探、井下瞬变电磁、井下钻探及巷道实揭的多源探查信息融合方法,判别 FD7 逆断层的含导水性。探查结果表明,物探无低阻异常、钻探无涌漏、实揭干燥无水、断层带泥质充填、与含水层无水力联系。
- 2) FD7 逆断层为压扭性逆断层,研究区落差 10~55 m,倾角 40°~60°,断层带充填糜棱岩、泥岩及构造煤,富水性弱、导水性差,综合判定为不含(导)水断层。
- 3) 通过水害评价表明:11405 工作面导水裂缝带最大高度 38.3 m,防水煤岩柱高度 50.3~63.0 m,远小于煤层与“四含”间距 555~661 m;底板采动破坏深度 19.93~30.06 m,远小于煤层至太灰间距 257 m;突水系数 0.046 MPa/m,低于构造破坏块段临界值 0.06 MPa/m。
- 4) 基于含导水性判别和水害评价,论证了矿井采掘期间过 FD7 逆断层可不留设断层阻隔水煤柱。研究成果为逆断层煤柱留设提供了“含导水性判别-水害评价-规范适用性分析”的系统方法,对类似条件矿井具有参考价值。

参考文献

- [1] 张元,吕海峰,姚多喜.综采面过断层的布设方式探讨[J].矿山工程,2020,8(4):461-467.
- [2] 陈琛.煤田构造对煤层赋存状态及稳定性的影响[J].凿岩机械气动工具,2026,52(6):98-101.
- [3] 佟金成,李兵,薛悟强.巷道过断层超前治理技术与工程应用[J].矿山工程,2026,14(4):1128-1137.
- [4] 朱敬忠,刘启蒙,刘瑜,等.断层活化特征及阻隔水煤柱合理化留设研究[J].煤炭科学技术,2022,50(8):166-171.
- [5] 王丹.防治水技术在解放断层防水煤柱资源中的应用[J].煤炭与化工,2022,45(11):45-47+51.
- [6] 吕玉广,杜明泽.对煤矿阻隔水煤(岩)柱留设规定的十二条商榷[J].煤炭科学技术,2026,54(1):290-302.
- [7] 于小鸽,罗文娜,徐东晶,等.含导水断层的煤层阻隔水煤(岩)柱留设优化计算[J].煤炭学报,2025,50(8):3857-3867.
- [8] 吴登超.钱营孜煤矿 W3220 工作面缩小 F22 正断层保护煤柱研究[D]:[硕士学位论文].合肥:安徽建筑大学,2022.
- [9] 国家安全监管总局,国家煤矿安监局,国家能源局,国家铁路局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[M].北京:煤炭工业出版社,2017.
- [10] 周俊义,赵宇,于弘奕.朱集西煤矿构造特征及瓦斯赋存规律研究[J].煤,2016,25(4):1-3+15.
- [11] 王龙,马滴校.朱集西矿深井巷道断面优化研究[J].煤炭技术,2023,42(8):46-51.
- [12] 国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局.煤矿防治水细则[M].北京:煤炭工业出版社,2018.