

信湖煤矿F1断层带水文地质特征分析

张治^{1*}, 谢君¹, 苗锦龙¹, 黄河², 王来斌²

¹安徽省亳州煤业有限公司信湖煤矿, 安徽 亳州

²安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2023年12月4日; 录用日期: 2024年1月5日; 发布日期: 2024年1月12日

摘要

本文基于矿井钻探资料、地震资料及室内和现场测试成果等,对信湖煤矿F1断层带岩性特征、水理性质、含水性等水文地质特征进行研究,研究结果表明: 1. F1断层为张扭性断层,形成时代早,落差大,切割地层多; 2. 断层带岩性以泥岩、粉砂岩为主,砂泥比约0.66~0.687,岩石破碎,裂隙发育,岩石矿物成分主要为高岭石等粘土矿物,遇水后易崩解,富水性差,导水性差; 3. F1断层带渗透系数0.0159~0.0661 m/d,透水率(Lu) 0.1788,断层带岩体渗透性等级为微透水。

关键词

信湖煤矿, 断层带, 水文地质特征, 岩性结构, 导水性, 渗透性

Analysis of Hydrogeological Characteristics of F1 Fault in Xihu Coal Mine

Zhi Zhang^{1*}, Jun Xie¹, Jinlong Miao¹, He Huang², Laibin Wang²

¹Anhui Bozhou Coal Industry Co., Ltd. Xihu Coal Mine, Huaibei Anhui

²School of Earth & Environmental Sciences of Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Dec. 4th, 2023; accepted: Jan. 5th, 2024; published: Jan. 12th, 2024

Abstract

Based on mine drilling data, seismic data, and indoor and on-site testing results, the hydrogeological characteristics of the F1 fault zone in Xihu Coal Mine, including lithological characteristics, hydraulic properties, and water conductivity were analyzed. The research results show that: 1. The F1 fault is a tensional and torsional fault, formed early, with a large drop and multiple cutting strata; 2. The lithology of the fault zone is mainly composed of mudstone and siltstone, with a sand

*第一作者。

文章引用: 张治, 谢君, 苗锦龙, 黄河, 王来斌. 信湖煤矿 F1 断层带水文地质特征分析[J]. 矿山工程, 2024, 12(1): 38-45. DOI: 10.12677/me.2024.121005

to mud ratio of about 0.66~0.687. The rock is fractured, with developed fractures. The mineral composition of the rock is mainly clay minerals such as kaolinite, which is prone to collapse when encountering water, and has poor water richness and conductivity; 3. The permeability coefficient of F1 fault zone is 0.0159~0.0661 m/d, and the permeability rate (Lu) is 0.1788. The permeability level of the rock mass in the fault zone is micro permeable.

Keywords

Xinhu Coal Mine, Fault Zone, Hydrogeological Characteristics, Lithologic Structure, Water Conductivity, Permeability

Copyright © 2024 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

断层作为矿区地质构造的主要形式，对矿区地质、煤层赋存、水文地质条件等有着重要的影响，也是采场布置、煤柱留设、矿井防治水工作需要重点考虑的因素。断裂构造不但破坏了隔水层的完整性，降低了其隔水性能，而且为地下水渗流提供了通道，增强了含水层的富水性，有时还造成含水层与工作面距离缩小，是影响矿井突水的重要因素。张金才等[1]通过对华北煤田4个主要矿区共163个底板突水工作面进行统计分析，得出由地质构造引起的突水事故占整个突水事故的67.5%。断层的导水性主要与断层的力学性质及其形成时代有着密切的关系，98%的断层突水是由正断层引起的，且其中85%是发生在正断层的上盘。魏久传[2]认为大型边界断层对井田水文地质条件起控制作用，尤其是一些大型的隔水断层对矿区水文地质单元的划分具有重要的意义。断层的导、含水性与断层的性质、规模、断层带的物质特征等有密切关系，断层带的岩性一般较为破碎，具有良好的贮水性和导水性。当断层带规模较大时，破碎带本身贮存的水就相当可观，如果断层同时切穿多个含水层或与之发生水力联系，就会对矿井形成较大的安全威胁。当断层带导水性较强时，若它与煤层顶底板破坏带相沟通形成通道，则断层破碎带上下含水层中的水可沿此通道进入矿井发生突水事故[3]。

施龙青[4]等研究了断层构造对矿井突水的影响，研究表明随着开采深度增加，以断层为通道的奥灰岩溶水对底板突水问题的影响越来越大。孙爱国[5]等结合断层对采煤活动的影响提出了断层防水煤柱的合理留设。邢茂林[6]等研究了桃园煤矿F28断层突水原因，并研究了断层带堵水技术及堵水效果。信湖煤矿F1断层位于矿井东部，南北纵贯全矿井，落差500~1200 m，延展长度约18 km。前期的煤矿勘探工作对F1断层的空间分布有了一定掌握，但由于针对F1断层成因未开展系统研究，也未开展现场水文试验及断层带岩体力学测试，导致目前对F1断层含、导水性不清楚。由于F1断层切割岩煤层众多，存在导通下部太灰、奥灰含水层和上部砂岩含水层及松散层含水层的可能性，对煤矿安全生产具有较大隐患。基于此本文针对F1断层带岩性特征、导含水性等水文地质特征开展研究，将对断层带防水煤柱合理留设、采场合理布局等具有重要现实意义。

2. 信源煤矿概况

2.1. 矿井基本情况

信湖煤矿位于淮北煤田西南部，行政区划属涡阳县；中心点坐标：Y = 39417000，X = 3709000，距

涡阳县城约 14 km。井田东西宽约 9 km，南北走向长约 20 km，面积为 114.3432 km²。信湖矿井-1160 m 以上可采储量为 22829.5 万吨，矿井设计生产能力 300 万吨/年，2021 年底投产，2022 年全年开采煤炭 210 万吨。

2.2. 矿井开采地质条件

1、地层

本矿井属华北型地层，全隐蔽区，据钻探揭露，地层由老至新分别为寒武系中统、奥陶系中下统、石炭系中上统本溪组、太原组，二叠系山西组、下石盒子组、上石盒子组、孙家沟组、古近系、新近系、第四系。

矿井主要含煤地层为二叠系下统山西组、下石盒子组和上统的上石盒子组，平均总厚约 1000 m，矿井范围内可参与对比的编号煤层共 11 层，分别为 3、4、5₁、5₃、6、6₁、7、8₁、8₂、10 和 11 煤层，煤层平均总厚 11.98 m，含煤系数为 1.20%，其中可采煤层 7 层，分别为 3、5₃、6、7、8₁、8₂ 和 11 煤，平均总厚 8.93 m，占煤层总厚的 66.19%；主要可采稳定煤层有 3、8₁、8₂ 煤三层，平均总厚 7.00 m，占可采总厚的 78.39%。

2、地质构造

信湖煤矿总体上为一走向近南北，西倾的单斜构造，局部发育有褶曲或小型波状起伏，地层倾角 6~22°，平均倾角 14°；14 线以北、F1 断层以西地层走向逐渐转为北西。煤系地层被一系列近南北向正断层切割形成阶梯状构造，西部东南部有古近系冲积盆地，使下伏地层受到不同程度的剥蚀。

根据三维地震精细解释，本矿井断裂构造较发育，绝大部分为正断层，其中主要断层有 F1、F2、F5、F6、F8、F9、F17 等断层。这些断层的存在对矿井地层、煤层空间分布影响较大，也影响着矿井采区及巷道布置。

3、水文地质条件

信湖煤矿为新生界第四系、新近系松散层覆盖下的全隐蔽矿床，根据地下水赋存介质特征可划分为新生界松散层孔隙含水层组、古近系“红层水”、二叠系煤系地层含水层(段)、石炭系地层含水层(段)、奥陶系石灰岩溶裂隙含水层(段)，其中各主采煤层顶底板砂岩裂隙含水层(段)是矿井充水的直接充水含水层，四含是矿井充水的间接充水含水层，矿井水文地质类型属中等类型。

3. F1 断层空间分布特征

3.1. 断层概况

根据信湖井田二维地震、三维地震和钻孔揭露等资料可知，F1 断层为正断层，该断层位于矿井东部，南北纵贯全矿井，为东部边界断层，走向 NS，倾向 E，倾角 50°~70°，落差 500~1200 m，延展长度约 18 km。F1 断层落差大，延伸长，切割地层众多，不仅切割了煤系地层，错断了井田主采煤层 3、8₁、8₂ 等煤层，使煤层连续性遭受破坏，煤体破碎，煤质变差，也降低了煤层围岩的稳定性，同时也切割了煤层下部的太原组灰岩和奥陶系灰岩。断层带岩体破碎，可能成为沟通主采煤层上部的四含水、煤系砂岩裂隙水和太灰与奥灰岩溶裂隙水的导水通道，其具体构造控制情况详见图 1。

井田范围内有 14-5、15-5、16-6、2014-10、2019-F1、2021-F1-水 1 和 2021-F1-水 2、2022-水 9 等钻孔揭露 F1 断层，从钻孔岩心资料看，断层带岩性主要为破碎的泥岩、砂岩、泥质砂岩及一些炭质泥岩或煤线。断层破碎带岩性呈糜棱状，有明显挤压揉皱重新胶结现象，滑面擦痕发育，呈高角度裂隙，从断层的力学性质来看，F1 断层同时受张应力和剪应力作用，为张扭性断层；从断层分布的平面走向来看，断层沿走向方向摆动幅度大，宽窄变化较大，也证明断层为张扭性断层。

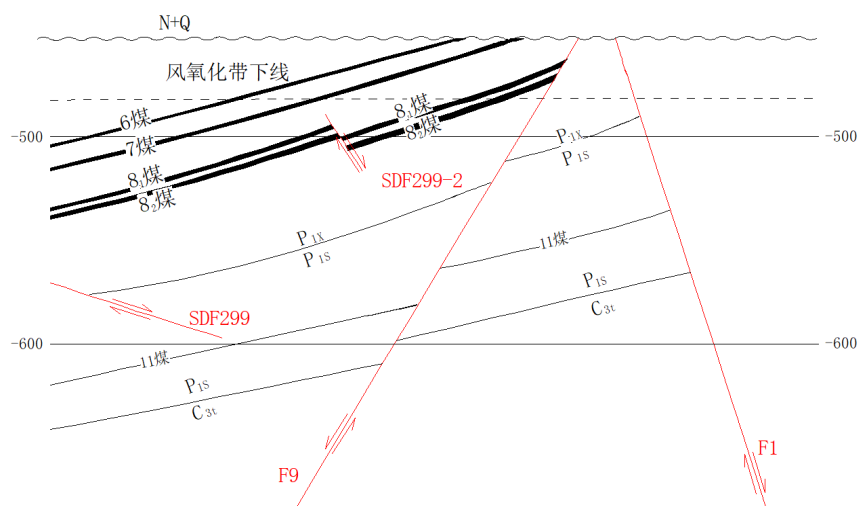


Figure 1. Schematic diagram of F1 fault structure control (it is believed to be the 11th exploration line of Hu Coal Mine)

图 1. F1 断层构造控制示意图(据信湖煤矿 11 勘探线)

3.2. F1 断层空间展布特征

根据信湖煤矿三维地震资料, 结合各勘探线剖面资料, F1 断层带落差在 0~10 勘探线之间由南向北逐渐减小; 在 10~20 勘探线之间(81 采区)的 F1 断层走向近南北, 倾向近东, 倾角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$, 区内落差 500~1200 m, 落差由南向北逐渐增大, 延展长度 3500 m, 从基岩面切割至奥陶系灰岩; 在 20~30 勘探线之间(82 采区)走向近南北, 倾向近东, 倾角 $55^{\circ}\sim 65^{\circ}$, 区内落差 500~800 m, 落差由北向南逐渐增大, 延展长度 1200 m, 切割层位上至基岩面、古近系红层, 下至 3、 8_1 、 8_2 煤层及奥陶系灰岩。F1 断层带空间展布特征参见图 2。

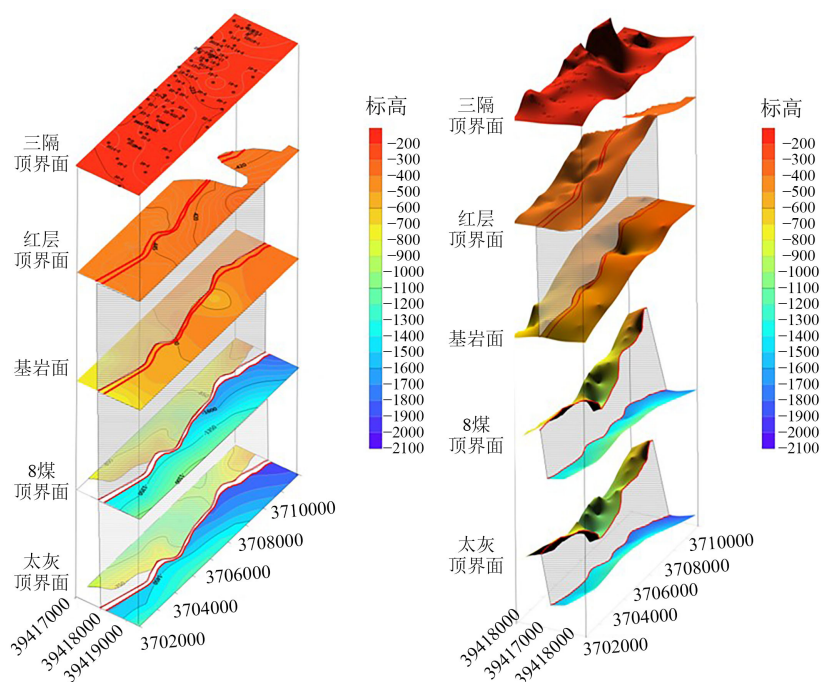


Figure 2. Schematic diagram of F1 fault cutting strata and spatial distribution

图 2. F1 断层切割地层及空间分布示意图

4. F1 断层带岩体工程地质性质

4.1. F1 断层带岩性特征

从钻孔揭露岩心可知，断层带岩性主要为泥岩、粉砂岩、泥质砂岩及一些炭质泥岩等为主。断层带岩体破碎。图 3 是 2021-F1-水 1 钻孔岩心照片，从现场钻取的 F1 断层破碎带岩心可知：650.60~662.92 m 成分以泥岩为主，夹有粉砂岩和细砂岩碎块，灰色~浅灰色，呈糜棱状，岩石有明显挤压揉皱重新胶结现象，滑面擦痕发育，呈高角度裂隙，岩芯破碎。岩芯采取率 $RQD = 0\%$ 。683.77~686.45 m 灰黑色泥岩，含大量粉砂质，泥质结构，少量滑面未充填，局部见挤压现象。岩芯采取率 $RQD = 22\%$ 。686.70~689.30 m 灰黑色泥岩，泥质结构，含大量粉砂质，少量滑面未充填，局部见挤压现象。岩芯采取率 $RQD = 35\%$ 。689.55~691.45 m 灰色夹浅灰色粉砂岩，含少量泥质成分，见水平层理、缓波状层理，大量纵向裂隙未充填，下部岩芯较破碎。岩芯采取率 $RQD = 89\%$ 。



Figure 3. 2021-F1-Shui1 Hole F1 fault zone core photo (650.60~664.11 m)

图 3. 2021-F1-水 1 孔 F1 断层带岩心照片(650.60~664.11 m)

经对 F1 断层附近施工了 2 个钻孔岩心岩性统计分析，F1 断层影响带岩性特征具体如下表 1。由钻孔揭露岩心及统计数据可知，断层带岩性结构特征如下：

(1) F1 断层带主要为粒度较小的细砂岩~粉砂岩和块状泥岩，断层破碎带内充填物呈软泥状，并重新胶结，可见光滑磨圆的碎屑。破碎带主要为泥质含量较高的物质，所以断层带岩石含水量较小。

(2) F1 断层带岩体结构特征以层状结构为主，偶见碎裂结构。岩石胶结良好，节理、裂隙较发育，岩体完整性较差，钻孔岩芯 RQD 值大多小于 50%。

(3) F1 断层带岩体强度较低，在工程分类上属于“较硬岩 - 软岩”类型，表明断层带内的岩体在长期地应力作用下被充分挤压密实。

(4) 断层带岩石大部分为泥岩，强度本身较低。

Table 1. Fault zone lithology statistics table

表 1. 断层带岩性统计表

钻孔号	断层带总厚度/m	砂岩累计厚度/m	泥岩累计厚度/m	砂泥比
2021-F1-水 1	40.66	16.16	24.50	0.660
2021-F1-水 2	45.30	18.44	26.86	0.687

4.2. F1 断层带岩体力学性质

岩主要由粘土矿物组成，是 F1 断层破碎带中主要岩性为泥岩，泥岩中的粘土矿物的存在很大程度上决定了泥岩的性质，尤其对断层破坏带的含、导水性有着较大影响，因此分析泥岩中的粘土矿物成分，对于评价断层的水文地质特征具有重要意义。本次研究在 2021-F1-水 1 孔 F1 断层破碎带中取样，采用

D/Max-3B 型 X 射线衍射仪(X-Ray Diffraction instrument)对岩石中粘土矿物进行定性、相对定量分析, 其 X 衍射图谱见图 4。

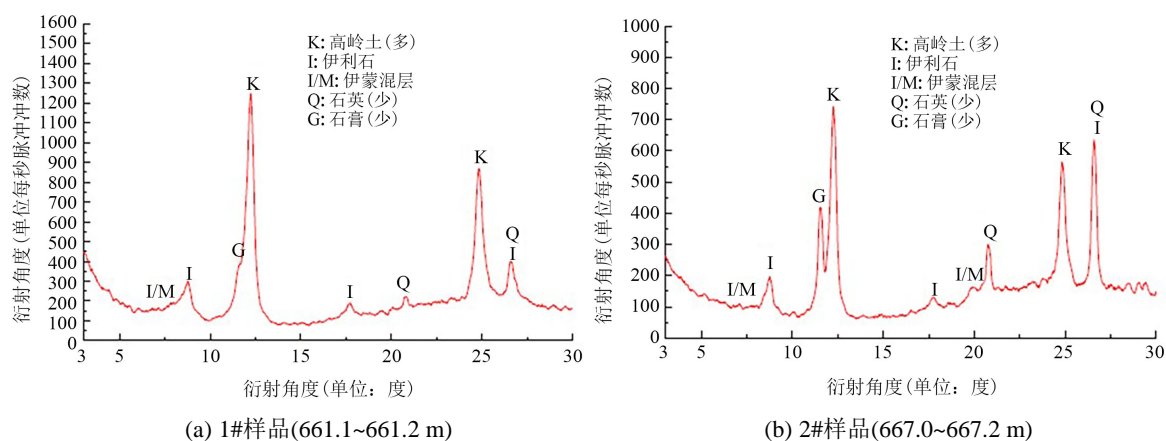


Figure 4. X-ray diffraction pattern of sample orientation sheet
图 4. 样品定向片的 X-射线衍射图谱

由测试结果可知, 断层带泥岩中所含粘土矿物中以高岭石含量最高, 蒙脱石含量较少, 说明泥岩的膨胀性和吸水性较好, 透水性较差。

4.3. F1 断层带岩石崩解性试验

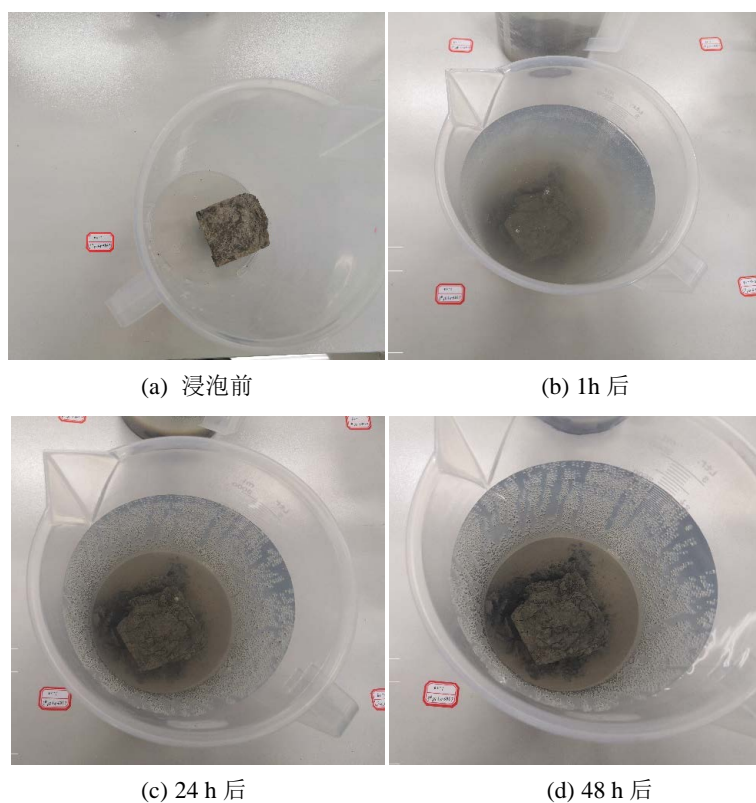


Figure 5. Rock disintegration test process in the fracture zone
图 5. 破碎带岩石崩解试验过程

岩石的崩解性是指岩石与水相互作用时失去粘结力, 完全丧失强度时的松散物质的性质。本次研究采取 F1 断层破碎带岩石进行崩解试验, 通过断层带岩石崩解性, 评价断层带的稳定性和隔水能力。不易崩解则稳定性好, 断层破碎带孔隙连通性好, 导水性能就好。

本次研究从 2021-F1-水 1 钻孔 F1 断层破碎带岩心中取样共 8 组, 开展崩解性试验。试验时将岩样称重后放入已编号的量杯中, 在水中浸泡 48 h, 分别浸泡 1 h、24 h、48 h 后观察岩样发生崩解的具体情况, 试验过程及结果详见图 5 及表 2。

Table 2. Disintegration test results

表 2. 崩解试验结果

样品编号	岩性	崩解情况	饱水率
2021-F1-水 1-1# (661.0~661.2)	深灰色泥岩	完全崩解	/
2021-F1-水 1-2# (667.0~667.2)	深灰色泥岩	未崩解	0.52%
2021-F1-水 1-3# (668.2~668.4)	灰黑色泥岩	完全崩解	/
2021-F1-水 1-4# (676.7~676.7)	褐黄色粉砂岩	基本未崩解	3.50%
2021-F1-水 1-5# (686.5~686.7)	深灰色泥岩	完全崩解	/
2021-F1-水 1-6# (691.7~691.9)	深灰色泥岩	完全崩解	
2021-F1-水 1-7# (698.0~698.2)	灰黑色泥岩	未崩解	0.35%
2021-F1-水 1-8# (705.5~705.7)	灰黑色泥岩	断裂	0.61%

从崩解试验结果可知, 2021-F1-水 1 钻孔岩样中大部分泥岩易崩解, 岩石崩解情况与岩石的类型、成分密切相关; 泥岩组成以细粒粘土矿物为主, 极易崩解; 含砂量较高的岩石易析出部分泥质成分。对比未崩解岩石样品的浸泡情况和饱水率发现, 未崩解的岩石样品饱水率都较小, 仅 2021-F1-水 1-4# (676.7~676.7)样品饱水率大于 3%。

从 F1 断层带岩体结构、力学性质及水理性质综合分析, F1 断层带岩石以泥岩、粉(细)砂岩泥砂互层结构为主, 砂泥比为 0.66~0.687; 岩体较破碎, 裂隙较发育, 有明显挤压揉皱, 呈碎裂状; 岩石基本属于较软岩 - 软岩。断层带岩体在长期地应力和覆岩自重作用下被充分挤压产生塑性变形, 充分挤密断层带岩体的裂隙, 有效增强其阻水能力。同时, 因断层带内的泥岩具有较强的崩解性和膨胀性, 在地下水作用下, 会不断产生崩解、膨胀, 崩解后的细小颗粒充填至断层破碎带的岩体裂隙中, 进一步提高其阻水性能。从岩体结构及力学特性角度分析, F1 断层带导水性弱。

5. F1 断层带含导水性试验分析

5.1. F1 断层带富水性

Table 3. Pumping test results in the borehole in the F1 fault zone

表 3. F1 断层带钻孔内抽水试验成果表

孔号	含水层真厚 (m)	孔口标高 (m)	静止水位标高 (m)	恢复水位 (m)	最大降深 (m)	单位涌水量 (l/s·m)	渗透系数 (m/d)	平均渗透系数 (m/d)	影响半径 (m)
2021-F1-水 1	19.5	31.454	+36.604	-2.616	152.56	0.002753	0.0159	0.0159	192.37
					91.06	0.013508	0.0725	245.19	
2021-F1-水 2	21.56	31.237	+34.517	-2.863	84.68	0.012872	0.0683	0.0661	221.3
					77.82	0.011051	0.0574	186.44	

为了更好地研究 F1 断层带的含、导水性,本次设计了在断层带附近的两个水文试验孔内开展现场抽水试验,试验结果详见表 3。由抽水试验成果可知:断层破碎带平均渗透系数为 0.0159~0.0661 m/d,单位涌水量为 0.002753~0.013508l/s·m,弱富水性,2021-F1-水 1 和 2021-F1-水 2 孔静止水位分别高出孔口 5.15 m、3.28 m,具高水压特征。

5.2. F1 断层带导水性

为了查清 F1 断层带导水性,本次研究在 2022-水 9 孔开展了压水试验,试验结果见表 4。据压水试验结果,依据《水利水电工程地质勘察规范》(GB50487-2008) 2022 版[7]分类依据,F1 断层带岩体渗透性等级为微透水。

Table 4. Statistical table of pressurized water test results in F1 fault zone

表 4. F1 断层带压水试验成果统计表

试验孔号	含水层真厚度(m)	流量(L/min)	孔口压力表压力(MPa)	钻孔内水柱压力(MPa)	总压力(MPa)	透水率(Lu)
2022-水 9 孔	52.55	145.4	4.5	5.75	10.25	0.1788

6. 结论

断层构造是煤矿安全生产的重要影响因素,其中断层带的水文地质特征尤为重要。本文针对信湖煤矿井田边界 F1 断层,鉴于目前对其导含水性研究的不足,本文利用矿井地质资料、室内测试、现场水文试验等,系统地对 F1 断层水文地质特征开展研究,从而为煤矿水害防治及采场设计提供参考。信湖煤矿 F1 断层性质为张扭性断层,断层落差大,切割地层多且规模较大。据钻孔揭露断层带岩性以泥岩、粉砂岩为主,砂泥比约 0.66~0.687;岩石破碎,裂隙发育,有明显挤压揉皱及重新胶结现象。据断层带岩样 X 射线衍射分析、崩解试验可知,断层带岩石中高岭石等粘土矿物含量较高,遇水后易崩解,富水性弱,阻水性好,导水性较差;据现场抽水、压水试验结果可知,F1 断层带渗透系数 0.0159~0.0661 m/d,透水率 0.1788 Lu, F1 断层带岩体渗透性等级为微透水。从目前研究表明,F1 断层水文地质特征较好,对煤矿防治水工作较为有利,后期在煤矿生产过程中,要关注 F1 断层受采动影响活化的特点,确保煤矿生产安全。

参考文献

- [1] 张金才,刘天泉. 煤层底板突水影响因素的分析与研究[J]. 煤矿开采, 1993, 13(4): 35-39.
- [2] 魏久传,李增学,刘成林,等. 杨村井田构造特征及其对水文地质条件的控制[J]. 山东矿业学院学报(自然科学版), 1999, 18(3): 1-5.
- [3] 雷光伟,杨春和,王贵宾,等. 断层影响带的发育规律及其力学成因[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(2): 231-240.
- [4] 施龙青,刘捷,邱梅,等. 断层量化在突水危险性评价中的应用[J]. 中国科技论文, 2020, 15(1): 100-104.
- [5] 孙爱国,杨耀文,吴俊松. 五沟煤矿 F13 断层防水煤柱留设研究[J]. 煤矿安全, 2016, 47(2): 40-42.
- [6] 邢茂林. 桃园煤矿 F28 断层突水原因及堵水技术[J]. 煤炭技术, 2023, 42(6): 156-160.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 《水利水电工程地质勘察规范》(GB50487-2008) 2022 版[S]. 北京: 中国计划出版社, 2022.