

潘二煤矿灰岩地下水动态变化特征及影响因素分析

袁彪, 许光泉, 李浩

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2025年4月25日; 录用日期: 2025年6月23日; 发布日期: 2025年7月9日

摘要

随着我国东部矿区煤层开采深度的增加, 底板岩溶水是构成煤矿安全生产威胁主要因素。为此, 以潘二煤矿西四采区A组煤底板灰岩水为对象, 采用放水试验、探查治理工程, 并结合矿井水文地质条件, 系统分析了各灰岩含水层地下水水位、水质、水温及涌水量等动态变化特征及影响因素, 结果表明: 西四采区充水水源主要来自太灰的C₃I组和C₃II组灰岩含水层; 奥灰水位持续下降, 不仅反映了奥灰含水层在局部地段裂隙发育, 也可能与太灰含水层之间存在一定水力联系。影响上述变化的主要因素为地质构造、采掘活动、含水层间水力联系。

关键词

灰岩含水层, 地下水动态, 充水条件, 西四采区

Analysis of Dynamic Change Characteristics and Influencing Factors of Limestone Groundwater in Pan'er Coal Mine

Biao Yuan, Guangquan Xu, Hao Li

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Apr. 25th, 2025; accepted: Jun. 23rd, 2025; published: Jul. 9th, 2025

Abstract

With the increasing depth of coal seam mining in eastern China's mining areas, karst water in the coal seam floor has become a major threat to mine safety. Focusing on the limestone aquifer water in the floor of the A-group coal seams in the West Fourth Mining Area of Pan'er Coal Mine, this study

systematically analyzed the dynamic characteristics (water level, quality, temperature) and influencing factors of groundwater in limestone aquifers through water discharge tests, exploration and remediation engineering, and hydrogeological condition assessments. The results indicate that the primary water sources in the West Fourth Mining Area are derived from the C₃ I and C₃ II limestone aquifers of the Taiyuan Formation (Taihui). The continuous decline in the water level of the Ordovician limestone (Aohui) aquifer suggests localized fracture development within the Ordovician strata, implying potential hydraulic connectivity with the Taiyuan Formation aquifers. The main factors influencing the above changes are geological structure, mining activities, and the hydraulic connections between aquifers.

Keywords

Limestone Groundwater, Groundwater Dynamics, Water-Filling Conditions, West Fourth Mining Area

Copyright © 2025 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

淮南煤田位于华北板块东南部,是我国华北煤田的重要组成部分之一。近年来,随着浅部煤炭资源日益枯竭,向深部开采已成为必然趋势[1][2]。潘二煤矿位于淮南煤田中部的潘谢矿区。目前,主要开采二叠系下部的A组煤层,因受多期构造地质作用,各灰岩含水层间存在一定的水力联系,深部岩溶水文地质条件极为复杂[3]-[7]。潘二煤矿A组煤层开采过程中曾因奥陶系岩溶突水,导致矿井下部水平被淹。因此,进一步查明岩溶水文地质条件,对岩溶水害防治至关重要。为此,采用疏水降压、地面区域探查治理、放水试验与示踪试验等方法[8]-[16],获得各含水层地下水的水位、水温、水质等地下水动态变化信息,分析岩溶地下水充水要素及各含水层间水力联系[17]-[22]。

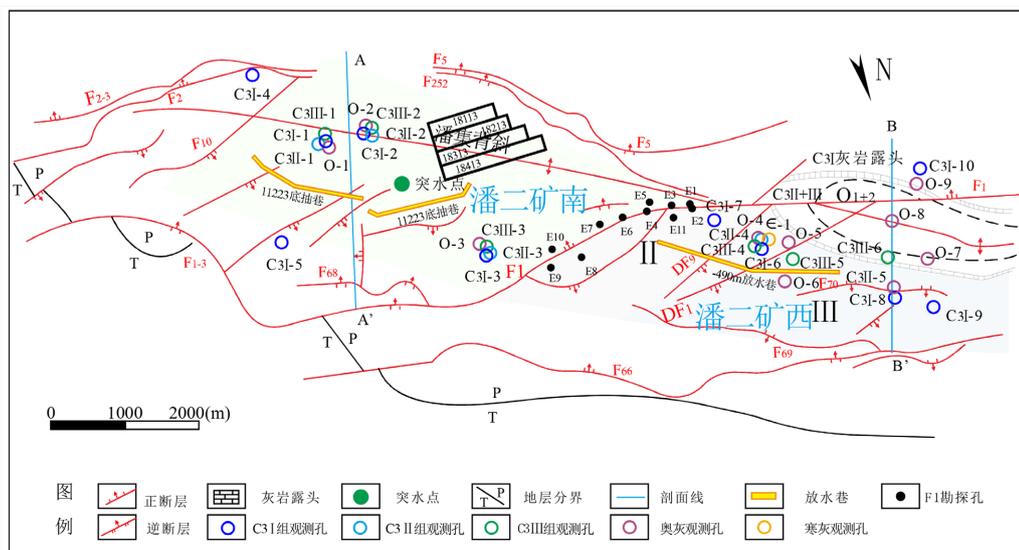


Figure 1. Bedrock geologic plan of Pan'er coal mine
图 1. 潘二煤矿基岩地质平面图

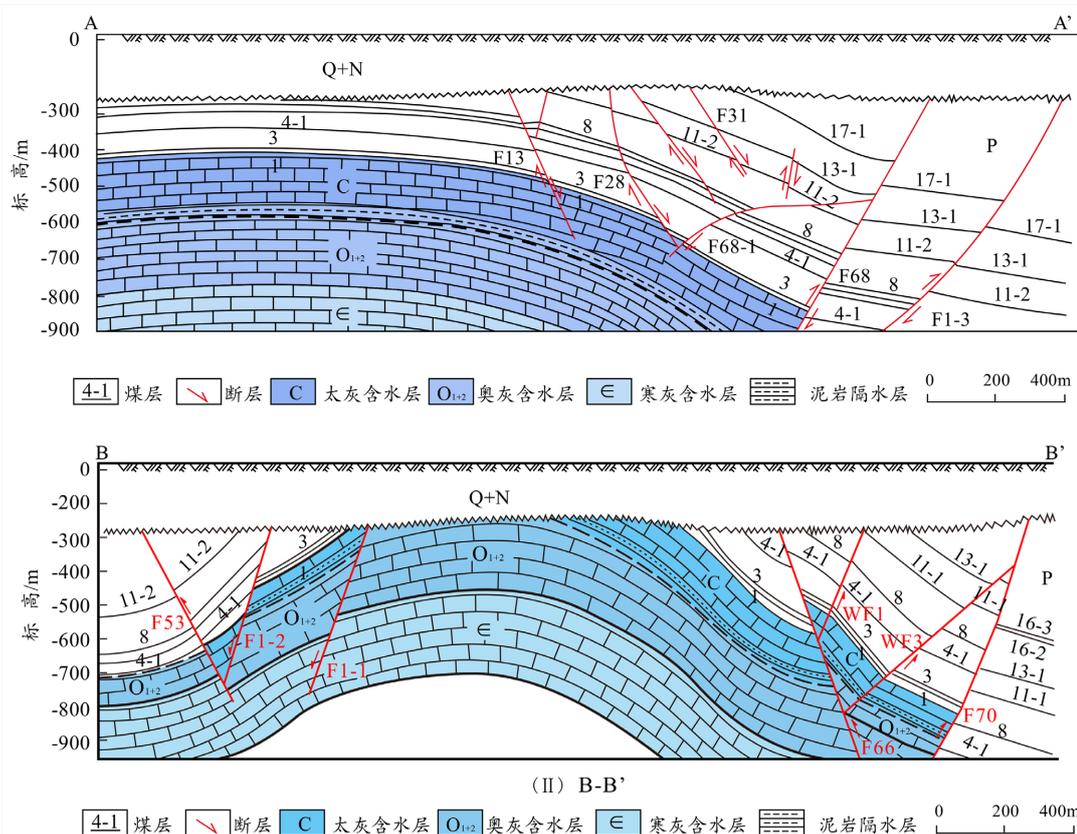


Figure 2. Hydrogeologic profile

图 2. 水文地质剖面图

2. 矿井地质概况

潘二煤矿位于安徽省淮南市潘集区境内，西边与潘三煤矿相接，南边为潘一矿，北边为潘北矿。潘二矿处在陶王背斜及其转折端，其核部为煤系地层所覆盖。地层走向为 $N55^{\circ}W \sim N70^{\circ}W$ ，地层倾向 NE，倾角变化较大。研究区内主要发育有 F_1 、 F_2 、 F_5 、 F_{66} 等较大断层及 F_{10} 、 DF_9 和 DF_1 等小断层。其中 F_1 在研究区内部为正断层，走向 $N50^{\circ}W \sim N75^{\circ}W$ ，倾向 S，倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ；以 F_1 断层为界，将整个井田分为了西部和南部 2 个块段[23]-[28]，如图 1 所示。区内地层由老至新依次为寒武系，奥陶系，石炭系，二叠系，三叠系，古近系，新近系和第四系，主要含煤地层为二叠系的山西组和上、下石盒子组。

潘二煤矿含水层由新生界松散层砂层孔隙含水层(组)、二叠系砂岩裂隙含水层(组)、太灰含水层(组)和奥灰含水层(组)四部分组成。煤系砂岩各含水层之间分布着粘土隔水层，砂岩含水层静储量为主，富水性差，补给量缺乏，见图 2。

矿井目前开采 A 组煤层，充水水源主要为 C_3 I 组灰岩水， C_3 II 组灰岩水对充水贡献极小。

3. 岩溶水文地质条件

3.1. 含(隔)水层结构

A 组煤层开采过程中，主要受到底板下部岩溶含水层影响，其含隔水层结构阐述如下[29] [30]。

1) 太原组含水层

依据水文地质勘探成果，将太原组灰岩承压含水层分为三个含水组： C_3 I 灰岩含水组、 C_3 II 灰岩含水

组和 C₃ III 灰岩含水组。

C₃ I 组灰岩含水层：C₃ I 灰岩含水组厚度 20.55~40.4 m，平均厚度 33.56 m。单位涌水量为 0.000009~0.306 L/(s·m)；渗透系数 0.00028~0.09 m/d；富水性为弱 - 中等。

C₃ II 组灰岩含水层：C₃ II 灰岩含水组厚度 15.84~29.8 m，平均厚度 24.04 m。单位涌水量为 0.000263~0.0015 L/(s·m)，为弱富水性。

C₃ III 组灰岩含水层：C₃ III 灰岩含水组厚度 21.06~42.89 m，平均 32.71 m。单位涌水量为 0.000083~0.00958 L/(s·m)，为弱富水性。

2) 奥陶系灰岩含水层

由奥灰钻孔知，奥灰厚度 99.87 m~131.90 m，平均厚度 116.37 m。渗透系数为 0.00004~4 m/d。裂隙较发育，多被方解石充填。

3) 寒武系灰岩含水层：单位涌水量为 0.0015 L/(s·m)；渗透系数为 0.00044 m/d。

4) 太原组层组间隔水层

C₃ I-C₃ II 组灰岩隔水层：隔水层厚度相对较薄(2.35~15.58 m)，平均厚度 7.21 m。

C₃ II~C₃ III 组灰岩隔水层：区域厚度相对较大(11.36~25.1 m)，平均厚度 16.74 m。

太原组 - 奥陶系灰岩隔水层：该隔水层相对较薄(3.01~11.37 m)，平均厚度 5.82 m。

3.2. 矿井充水条件

3.2.1. 充水水源

1) 太原组灰岩水(C₃ I、C₃ II、C₃ III)

C₃ I 段灰岩：直接位于 A 组煤层底板下方，平均间距 16.17 m，富水性弱至中等(单位涌水量 0.000009~0.306 L/(s·m))，水压较高(2~3.8 MPa)，是 A 组煤开采的直接充水水源。

C₃ II 段灰岩：富水性极弱，对充水贡献较小。

C₃ III 段灰岩：富水性弱，但与奥陶系灰岩水力联系密切，可能通过垂向补给间接威胁煤层。

2) 奥陶系灰岩水

厚度大(99.87~131.90 m)，岩溶裂隙较发育，富水性强(渗透系数 0.00004~4 m/d)，具有“高承压、强富水”特征。正常情况下与煤层间距较远，但通过陷落柱、导水断层或采动裂隙可能形成突水威胁。

3) 其他水源

新生界松散层孔隙水：底部“红层”黏土阻隔了与基岩的水力联系，但在天窗区可能成为浅部煤层开采的补给水源。

二叠系砂岩裂隙水：富水性弱，以静储量为主，通常对充水影响较小。

3.2.2. 充水通道

1) 构造通道

断层：井田内发育多条断层(F₁、F₃、F₆₆等)，部分断层(如走向断层)导水性强，成为沟通奥灰与太原组灰岩的垂向通道。

陷落柱：隐伏岩溶陷落柱是奥灰水突入矿井的主要导水通道。

2) 岩溶裂隙

奥陶系灰岩：溶蚀裂隙及小溶洞发育，形成导水网络。

C₃ III 段灰岩：局部裂隙发育，与奥灰水力联系密切，构成垂向补给路径。

3) 采动裂隙

A 组煤开采导致底板破坏，形成裂隙带，破坏隔水层完整性，使太原组灰岩水直接涌入采掘空间。

4. 地下水动态变化特征

4.1. 西四采区灰岩放水阶段地下水位变化特征

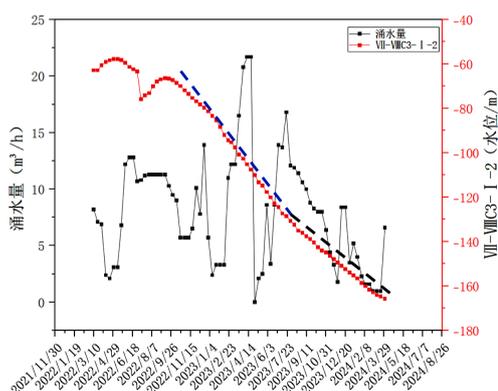
1) C₃I组灰岩地下水位变化特征

受区域治理影响, VII~VIII C₃I-2 孔水位下降幅度最大为 41.68 m, 水位标高-164.619 m; IV西 C₃I 孔水位下降幅度最小为 0.83 m; 其余 C₃I 组灰岩观测孔水位降幅均较小, 如表 1。C₃I 组灰岩水位与灰岩涌水量变化见图 3。

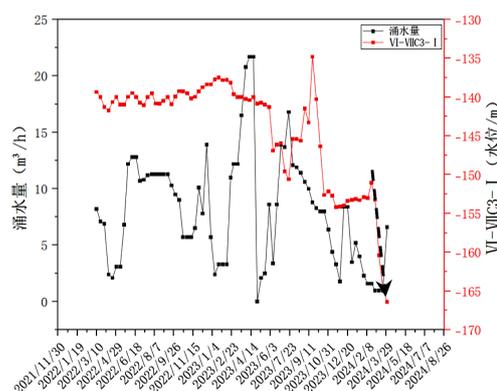
Table 1. List of changes in groundwater level of C₃I group gray rock

表 1. C₃I 组灰岩地下水位变化情况一览表

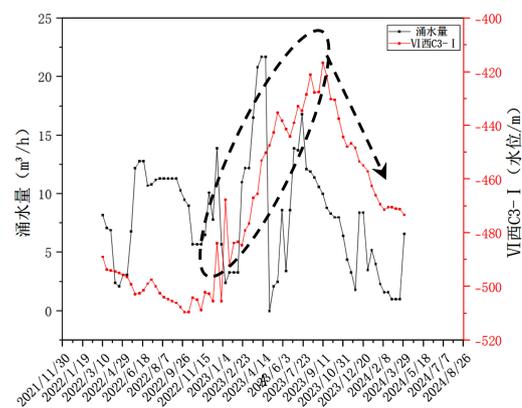
观测孔	层位	2022 年 3 月 10 日		2023 年 6 月 20 日		2024 年 3 月 20 日	
		水位标高/m	水位标高/m	累计降深/m	水位标高/m	累计降深/m	
VII~VIII C ₃ I-2	C ₃ I	-62.84	-122.94	-60.1	-164.619	-101.78	
VI~VIIC ₃ I	C ₃ I	-139.34	-146.12	-6.78	-164.53	-25.19	
VI西 C ₃ I	C ₃ I	-488.94	-444.11	44.83	-471.11	17.79	
V西 C ₃ I	C ₃ I	-343.856	-358.32	-14.46	-363.828	-19.97	
IV西 C ₃ I	C ₃ I	-46.554	-50.21	-3.66	-51.045	-4.49	
C ₃ I 观	C ₃ I	-220.675	-205.389	15.29	-206.792	13.88	



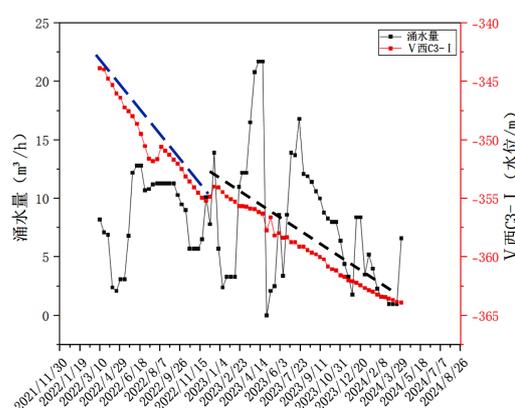
(a) VII-VIII C₃I-2 孔



(b) VI-VIIC₃I 孔



(c) VI西 C₃-I 孔



(d) V西 C₃-I 孔

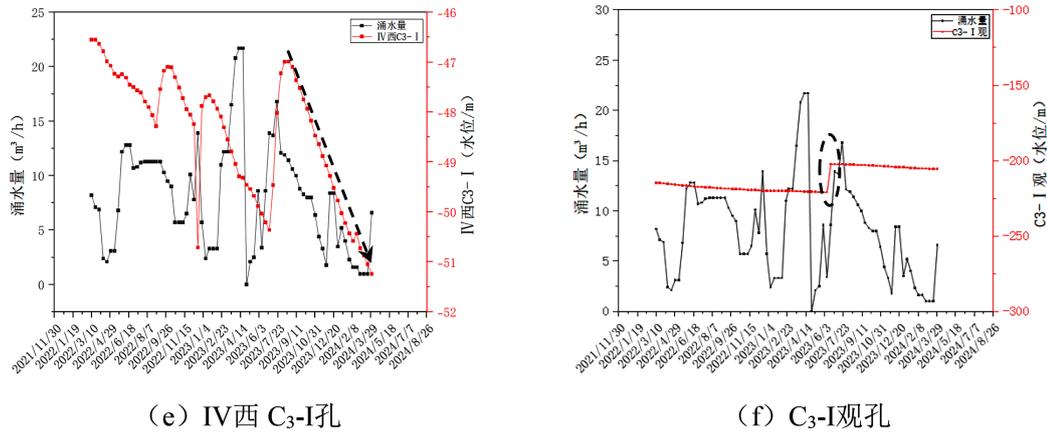


Figure 3. Calendar curve of surface hydrologic observation holes and downhole water output in C₃ I group tuffs
图 3. C₃ I 组灰岩地面水文观测孔与井下出水量历时曲线

2) C₃ II组灰岩地下水位变化特征

受区域治理影响，VI西 C₃ II孔水位下降幅度较大为 37.92 m，水位标高-458.116 m；V西 C₃ II孔下降幅度较小为 8.56 m，如表 2。C₃ II组灰岩水位与灰岩涌水量变化见图 4(a)~(c)。

Table 2. List of changes in groundwater levels in C₃ II group graywacke
表 2. C₃ II组灰岩地下水位变化情况一览表

观测孔	层位	2022 年 3 月 10 日		2023 年 6 月 20 日		2024 年 3 月 20 日	
		水位标高/m	水位标高/m	累计降深/m	水位标高/m	累计降深/m	
VI西 C ₃ II	C ₃ II	-476.62	-420.2	56.42	-458.116	18.50	
V西 C ₃ II	C ₃ II	-208.402	-246.74	-38.34	-255.297	-46.90	
C ₃ II观	C ₃ II	-196.87	-226.63	-29.76	-249.96	-53.09	

3) C₃ III组灰岩地下水位变化特征

受区域治理影响，C₃ III 组灰岩钻孔水位下降幅度均较小，如表 3。C₃ II组灰岩水位与灰岩涌水量变化见图 4(d)~(f)。

4) 奥陶系灰岩地下水位变化特征

受区域治理影响，奥灰 6 个水位观测孔(奥观 1、奥观 2、奥观 4、水二 1、VI西 O₂ 和奥陶观孔)水位变化均较小，其中奥观 4 孔最大降幅 5.05 m，VI西 O₂ 孔最小降幅为 1.87 m，如表 4。奥灰观测孔水位整体一致，均呈现直线下降趋势。奥陶观孔 2023 年 6 月水位出现较大降幅，可能是该处奥灰水补给 C₃ I、C₃ II、C₃ III组灰岩，如图 5 所示。

Table 3. List of changes in groundwater levels in C₃ III group graywacke
表 3. C₃ III组灰岩地下水位变化情况一览表

观测孔	层位	2022 年 3 月 10 日		2023 年 6 月 20 日		2024 年 3 月 20 日	
		水位标高/m	水位标高/m	累计降深/m	水位标高/m	累计降深/m	
V西 C ₃ III	C ₃ III	-204.712	-198.61	6.10	-205.799	-1.10	
VI西 C ₃ III	C ₃ III	-44.604	-42.34	2.26	-49.122	-4.52	
C ₃ III观	C ₃ III	-59.69	-62.76	-3.07	-60.32	-0.63	

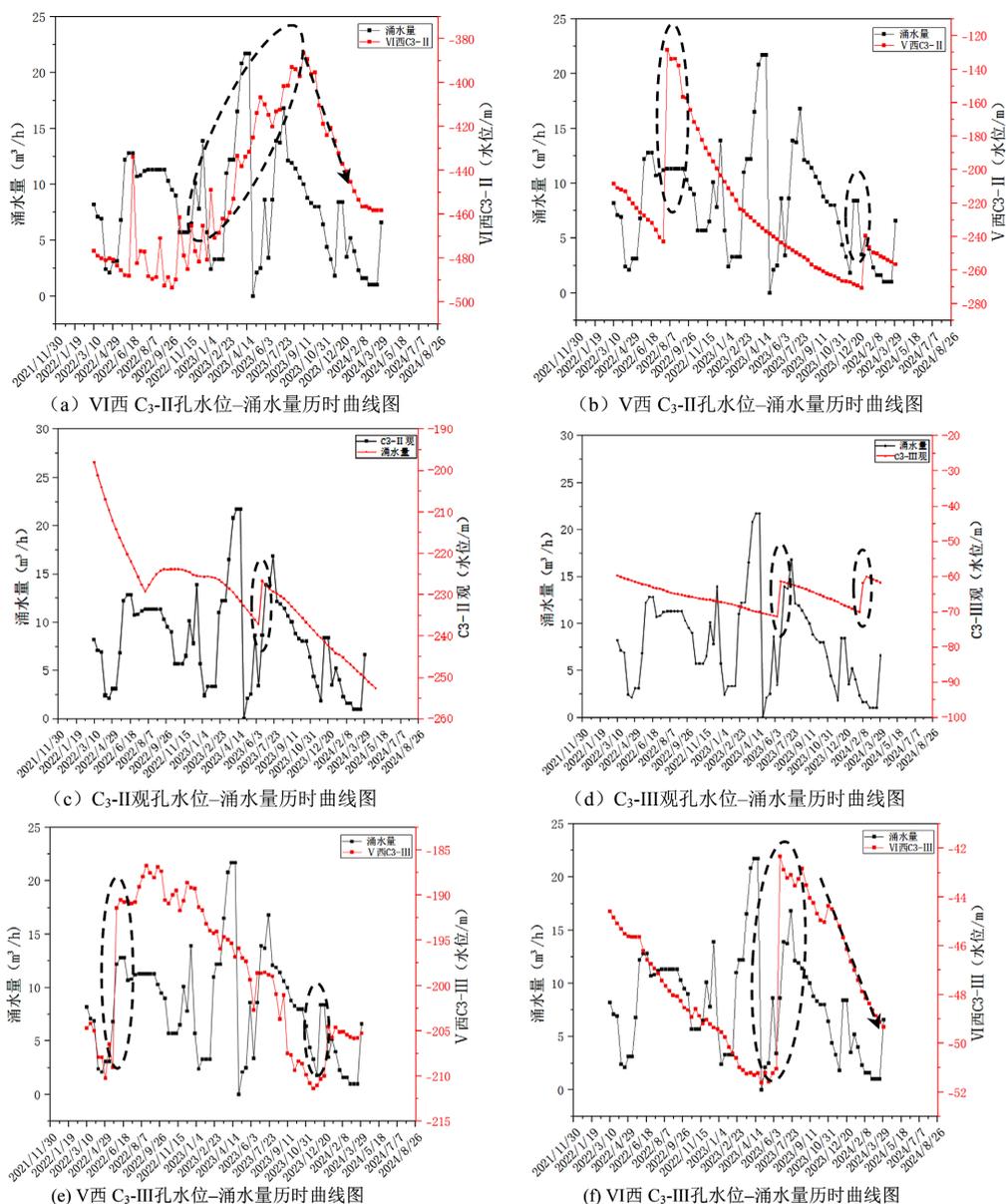


Figure 4. Historical curves of surface hydrologic observation holes and downhole water output in C₃ II and C₃ III group tuffs
图 4. C₃ II和 C₃ III组灰岩地面水文观测孔与井下出水量历时曲线

Table 4. List of changes in groundwater levels in Ordovician tuffs
表 4. 奥陶系灰岩地下水位变化情况一览表

观测孔	层位	2022年3月10日		2023年7月20日		2024年3月20日	
		水位标高/m	水位标高/m	水位标高/m	累计降深/m	水位标高/m	累计降深/m
奥观 1	奥灰	-16.01	-27.37	-11.36	-30.49	-14.48	
水二 1	奥灰	-34.627	-41.16	-6.53	-44.125	-9.50	
VI西 O ₂	奥灰	-35.65	-39.33	-3.68	-41.147	-5.547	
奥陶观	奥灰	-28.42	-38.248	-9.83	-41.348	-12.93	
奥观 2	奥灰	-35.87	-44.952	-9.08	-47.213	-11.343	
奥观 4	奥灰	-27.422	-44.609	-17.19	-49.658	-22.24	

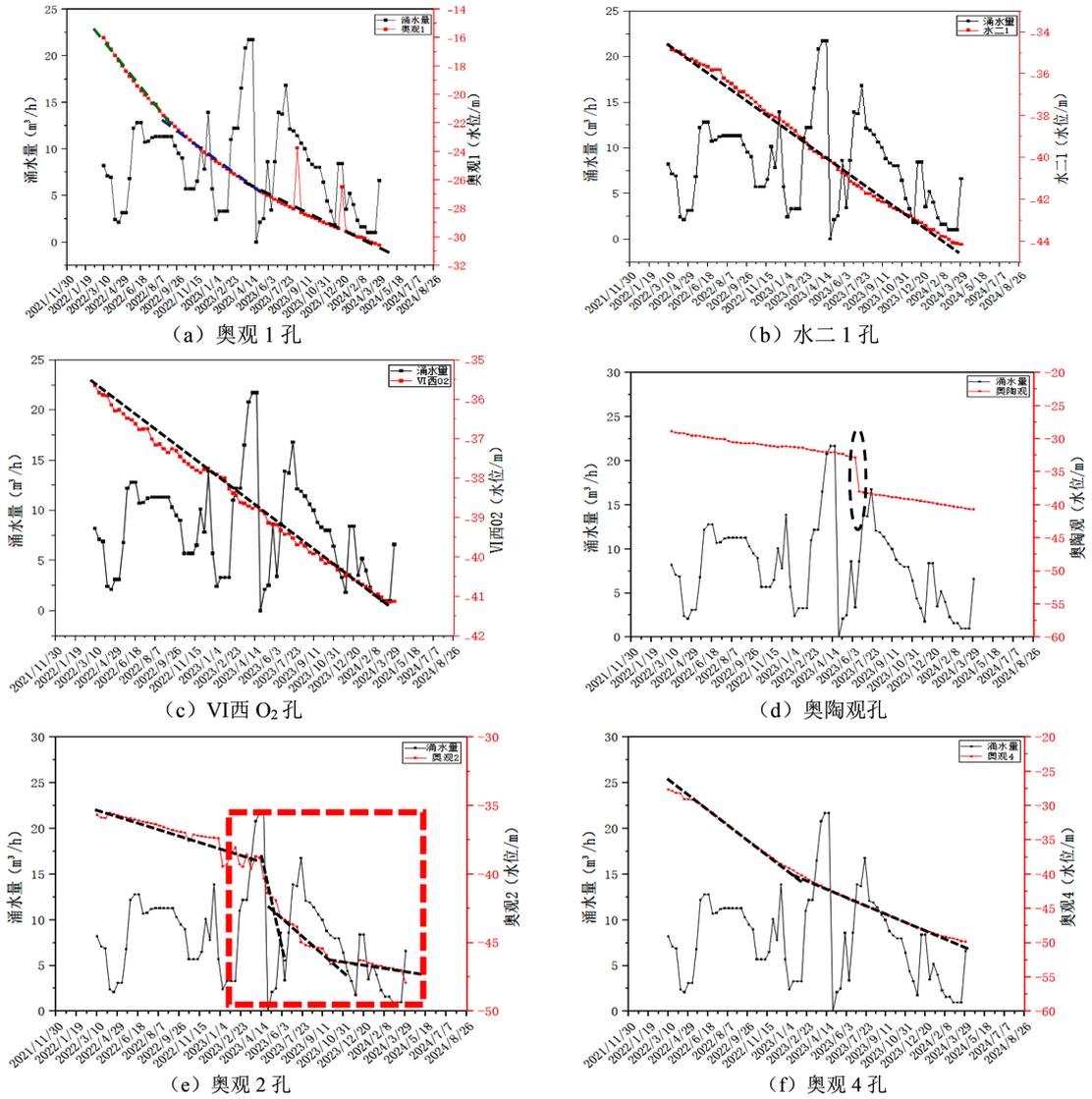


Figure 5. O'ash surface hydrologic observation holes and downhole water discharge ephemeral curves
图 5. 奥灰地面水文观测孔与井下出水量历时曲线

通过不同含水层组的水位历时曲线综合分析得到以下结论:

- (1) C₃ I、C₃ II、C₃ III组灰岩水位表现为阶段性下降或波动,表明地面区域治理和疏放水效果显著。
- (2) 奥观 1、2、4 孔均呈多段式下降,斜率逐渐减小,这主要是由于疏放水减少的原因。
- (3) 奥灰水位持续下降,表明奥灰含水层裂隙等通道发育,各灰岩含水层之间局部存在一定的水力联系。

4.2. 地下水水质动态变化特征

据区内地面钻孔抽水试验水质资料可知:

1) C₃ I 组灰岩水

C₃ I 组灰岩水是 pH 值为 7.59~11.45 的中性~强碱性水;矿化度 0.25~2.50 g/L,为微咸水;灰岩水中阳离子以 Na⁺ + K⁺为主, Ca²⁺含量较低,阴离子中 HCO₃⁻和 Cl⁻含量相近,水化学类型主要为 Cl-HCO₃-K

+ Na、Cl-K + Na 和 SO₄-K + Na 型。

2) C₃ III 灰岩水

C₃ III 灰岩水是 pH 值为 8.87~12.76 的弱碱性~强碱性水；矿化度 0.66~0.9 g/L，为淡水；灰岩水中阳离子以 Na⁺ + K⁺ 为主，Ca²⁺ 含量较低，阴离子中 HCO₃⁻ 含量相对较高，Cl⁻ 含量较低，水化学类型主要为 Cl·SO₄-Na + K、SO₄·Cl-Na + K 型。

3) 奥陶、寒武系岩溶水

奥陶、寒武系岩溶水是 pH 值为 7.52~7.98 的中性水；矿化度 1.93~2.76 g/L，为微咸水；岩溶水中阳离子 Ca²⁺、Mg²⁺ 浓度和总硬度普遍高于太灰水，阴离子中 SO₄²⁻ 浓度普遍高于太灰水，而 HCO₃⁻ 浓度和碱度普遍低于太灰水，水化学类型主要为 Cl·SO₄-Na 型。

4.3. 地下水温动态变化特征

根据潘二矿相关资料显示，区内恒温带深度为 30 m，温度为 16.8℃，西四采区地温梯度为 2.7℃/hm~4.5℃/hm，平均为 3.57℃/hm。根据钻孔实际揭露情况，推测已施工钻孔对应 C₃ I、C₃ II 组灰岩埋深大约在 600~700 m 左右，根据地温背景值公式： $T(h) = 16.8 + \frac{h-30}{100} \times 3.57$ ，计算钻孔出水点温度为 37.1℃~40.7℃。

灰岩钻孔水温最低值(30℃)靠近 1814A 工作面收作线位置，水温整体上呈现由南(浅部)向北(深部)逐渐增加，且局部出现高温(42℃)异常点。存在少量深部灰岩水补给。

5. 影响因素分析

潘二煤矿西四采区灰岩地下水动态变化特征受多因素共同作用，结合水文地质条件、开采活动及治理工程，其主控因素可归纳如下。

5.1. 地质构造的作用

矿区发育的断层、褶皱及隐伏陷落柱对地下水运移具有显著控制作用：

- 1) 断层导水性：F₃、F₆₆ 等逆冲断层及走向断层切割太原组与奥陶系灰岩含水层，成为垂向导水通道。
- 2) 褶皱：陶王背斜核部灰岩裂隙发育，形成局部富水带，区域治理前奥灰水由背斜翼部向核部汇聚；治理后流场反转，核部水位下降速率加快，表明背斜轴部裂隙网络对水流方向具有主导作用。
- 3) 裂隙发育差异：C₃ III 组灰岩与奥灰间水力联系密切，其裂隙发育程度高于 C₃ I、C₃ II 组，导致奥灰水通过 C₃ III 组间接补给煤层底板，加剧充水风险。

5.2. 开采活动对隔水层的破坏

A 组煤开采深度增加(-800 m 以下)导致底板岩层应力重分布，具体影响包括：

- 1) 采动裂隙发育：底板破坏形成裂隙带(深度 15~20 m)，直接贯通 C₃ I 组灰岩含水层，使静水压力传递至工作面(初始突水系数 0.11~0.38 MPa/m)。
- 2) 长期疏放效应：西四采区疏水量与奥灰水位降幅呈正相关，持续排水形成区域降压漏斗，诱发深部含水层对浅层的“虹吸效应”，加剧水位下降趋势。

5.3. 含水层水力联系与补给

- 1) 垂向补给：C₃ III 组灰岩与奥灰间隔水层厚度仅 5.82 m，且裂隙被方解石部分充填，局部形成薄弱带。水质分析显示，C₃ III 组 Cl⁻/SO₄²⁻ 比值与奥灰接近，说明二者存在垂向补给。

2) 侧向径流: 地面治理工程封堵部分径流通道后, C₃ I组观测孔水位下降速率减缓, 表明侧向补给对水位动态具有调控作用。

3) 深部间接补给: 高温异常点(如 Z3 孔 42.5℃)与地温梯度分析(3.57℃/hm), 表明深部灰岩水通过断层带等构造上涌, 间接参与矿井充水。

6. 结论

1) 通过对不同开采水平水量、水质与水温时空分析, 西四采区疏放水的水源主要来自太灰的 C₃ I组和 C₃ II 组灰岩;

2) 奥灰含水层与 C₃ III组灰岩含水层之间存在密切的水力联系, 主要表现为奥灰水通过断层、陷落柱等垂向导水通道间接补给 C₃ III组灰岩。而太原组 C₃ I和 C₃ II段灰岩含水层间水力联系弱, 含水层之间响应不明显;

3) 通过水化学特征对比发现, C₃ III组灰岩水的 Cl⁻/SO₄²⁻ 比值与奥灰水接近, 与奥灰水化学特征(Cl-SO₄-Na 型)表现出相似性。奥灰水可能通过断层或裂隙等垂向通道对 C₃ III组灰岩进行补给, 表明了两者间存在水力联系。

4) 从影响因素来看, 含水层的岩溶发育特征、地下水的补给、径流、排泄条件与断层条件使得地下水动态特征呈现一定规律。

参考文献

- [1] 张海涛. 淮南煤田奥陶系古岩溶成因机理及预测研究[D]: [博士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2021.
- [2] 石怡煊, 何文乔, 徐立佳, 罗王珏, 刘艺豪. 岩溶含水层放水试验及水文地质条件分析[J]. 矿山工程, 2023, 11(3): 446-458.
- [3] 陈国军, 丁庆和, 凡净. 淮南潘二矿 A 组煤层首采面底板灰岩条件勘查与分析[J]. 山东煤炭科技, 2016(1): 119-121.
- [4] 李旭, 许光泉, 汪敏华, 等. 潘谢矿区灰岩地下水动态特征及影响因素分析[J]. 煤炭技术, 2015, 34(1): 182-184.
- [5] 黄晖, 蒋法文, 韩必武, 等. 淮南矿区 A 组煤层底板灰岩钻孔瓦斯喷孔综合探查分析[J]. 煤炭学报, 2013, 38(11): 1988-1992.
- [6] 甘林堂. 淮南矿区 A 组煤底板灰岩水防治及潘二矿突水事故原因分析[J]. 煤矿安全, 2018, 49(7): 171-174, 180.
- [7] 杜松, 吴宝杨, 方惠明. 煤矿奥灰水处理及资源化研究——以淮南潘二煤矿为例[J]. 中国煤炭地质, 2020, 32(8): 52-56.
- [8] 叶志清. 放水试验阶段地下水动态变化及影响因素分析[J]. 地下水, 2014, 36(5): 259-261.
- [9] 赵宝峰, 吕玉广. 基于底板砂岩含水层放水试验的多含水层水力联系研究[J]. 煤矿安全, 2020, 51(12): 34-39.
- [10] 许光泉, 桂和荣, 张连福, 等. 矿井大型放水试验及其意义[J]. 地下水, 2002(4): 200-201, 237.
- [11] 吴玉华, 赵开全, 孙本魁. 底板灰岩承压水上开采安全技术实践及认识[J]. 煤矿开采, 2009, 14(4): 40-42, 87.
- [12] 田广, 王晓波. 东滩煤矿奥灰放水试验数值模拟[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(3): 61-64.
- [13] 王占银, 胥海东, 王彦召, 等. 基于放水试验的含水层参数计算及含水层间关系分析[J]. 煤矿安全, 2020, 51(11): 227-231.
- [14] 丛利, 江彬华, 李英明. 基于井下群孔放水试验的首采工作面涌水量预测[J]. 煤炭技术, 2017, 36(11): 162-163.
- [15] 赵庆彪. 奥灰岩溶水害区域超前治理技术研究及应用[J]. 煤炭学报, 2014, 39(6): 1112-1117.
- [16] Liu, Z., Zhao, R., Dong, S., Wang, W., Sun, H. and Mao, D. (2020) Scanning for Water Hazard Threats with Sequential Water Releasing Tests in Underground Coal Mines. *Journal of Hydrology*, **590**, Article ID: 125350. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125350>
- [17] 孙绍波, 许光泉, 窦春远, 李旭, 周涛, 魏建, 许童, 蔡有京. 顾北煤矿岩溶地下水动态特征及影响因素分析[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(12): 1573-1583.
- [18] 魏廷双, 许光泉, 高宇航, 等. 潘二矿奥陶系岩溶地下水数值模拟及疏放性分析[J]. 地下水, 2023, 45(2): 13-16.

-
- [19] 梁海洋, 江亮亮, 肖红. 潘二煤矿灰岩水害地面区域探查治理研究[J]. 矿山工程, 2024, 12(3): 444-448.
- [20] 李佩全, 刘登宪, 李永军. 淮南矿区矿井水害调研分析[J]. 华北科技学院学报, 2008, 5(1): 5-8.
- [21] 高宇航, 许光泉, 党保全, 等. 隐伏岩溶地下水动态特征及水文地质模式分析[J]. 煤矿安全, 2021, 52(3): 204-210.
- [22] 张党育, 蒋勤明, 高春芳, 等. 华北型煤田底板岩溶水害区域治理关键技术研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(6): 31-36.
- [23] 张淑莹. 潘二矿水化学特征分析及突水水源判别[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2019.
- [24] 甘林堂. 淮南矿区 A 组煤底板灰岩水防治及潘二矿突水事故原因分析[J]. 煤矿安全, 2018, 49(7): 171-174+180.
- [25] 丁同福, 汪敏华, 赵俊峰. 华北型淮南煤田大构造成因分析及构造控水研究[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(4): 102-108.
- [26] 程广琪, 刘登宪, 傅先杰, 等. 淮南煤田北西向断裂与岩溶陷落柱关系研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(10): 108-111.
- [27] 刘登宪, 李永军. 淮南寒武纪岩溶陷落柱发育特征及导水性分析[J]. 中国煤田地质, 2006, 18(1): 38-40+44.
- [28] 林军, 张伟. 潘二矿东一采区 A 组煤下灰岩水文地质特征研究[J]. 能源技术与管理, 2015, 40(3): 105-106+116.
- [29] 高宇航. 潘二矿岩溶水文地质特征及疏放性评价[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2021.
- [30] 张妹. 潘二矿地下水动态变化特征及太灰可疏放性研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2019.