

doi: 10.11799/ce201811025

西山煤田南部井田奥陶系峰峰组 含水层水位与区域水位差异研究

周 瑞^{1,2}, 耿 杰²

(1. 太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024;

2. 山西省煤炭地质 148 勘查院, 山西 太原 030053)

摘 要: 为了查明太原西山煤田南部井田奥陶系岩溶水位标高与奥灰区域水位差异的原因, 采用水文孔抽水试验及水质化验分析方法并结合区内构造特点对井田内峰峰组含水层水文地质特征详细研究。结果表明: 区内西北部的正断层可能沟通了太灰和奥灰含水层, 造成部分地段峰峰组含水层接受太原组含水层的垂向补给, 从而导致部分水文孔抽水实验所获得的奥陶系灰岩岩溶水水位标高与奥灰区域水位不一致。

关键词: 西山煤田; 奥陶系峰峰组; 含水层; 区域水位; 水文地质条件

中图分类号: TD741 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0959(2018)11-0099-04

Analysis on the unconformity between of the Aquifer water level of Fengfeng Formation and Ordovician limestone karst regional groundwater level in the southern Xishan Coalfield

ZHOU Rui^{1,2}, GENG Jie²

(1. Institute of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Prospecting Institute of Shanxi Province Coal Geology 148, Taiyuan 030053, China)

Abstract: The hydrogeologic condition of the aquifer from the Fengfeng formation within the south of the Taiyuan Xishan Coalfield are studied using the water pumping experiment and water quality analysis results with the aim to find out the reason for the discrepancy between the Ordovician limestone karst water level within the area and regional groundwater level. The results reveal that the aquifer of the Fengfeng formation might have been connected to the aquifer of the Taiyuan formation through the normal faults in the northwestern region, so that it received the vertical supply from the aquifer of Taiyuan formation in some part of the area, resulting in the inconsistency between the Ordovician limestone karst water level obtained from water pumping experiment and regional groundwater level.

Keywords: Xishan coalfield; Ordovician Fengfeng Formation; aquifer; regional groundwater level; hydrogeological condition

水文地质勘查的方法一般有物探瞬变电磁、水文地质测井、抽水试验、放水试验、岩石物理力学测试、水质全分析、同位素测试、地下水动态长期观测等^[1]。长期以来, 奥陶系灰岩由于层位稳定, 岩溶裂隙较发育, 一直被认为是具有统一区位水位范围的含水层^[2,3]。但笔者发现在山西晋祠泉域、兰村泉域、柳林泉域、娘子关泉域等一些泉域

中的岩溶裂隙不发育的弱富水性地段, 据水文孔抽水试验所获得的奥陶系灰岩岩溶水(以下称奥灰水)水位标高往往与区域水位很不一致, 尤其是在构造发育地段。本文通过对太原西山煤田南部井田进行详细水文地质勘查, 探讨其水文地质特征, 查明水位不一致的原因, 以期对其它泉域弱滞流区水文孔水位及富水性判别起到借鉴作用。

收稿日期: 2017-10-08

基金项目: 山西省自然科学基金项目(201601D21138)

作者简介: 周 瑞(1982—), 男, 山西寿阳人, 在读博士, 主要从事煤田地质、水文地质方向的研究工作, E-mail: zhouruidark@qq.com。

引用格式: 周 瑞, 耿 杰. 西山煤田南部井田奥陶系峰峰组含水层水位与区域水位差异研究 [J]. 煤炭工程, 2018, 50(11): 99-102.

1 研究区水文地质概况

研究区位于古交市南部邢家社乡,处于太原西山煤田中南部的马兰向斜南段,受其控制,地层走向近南北,往西则转为北西—南东向,向斜西翼地层较陡,东翼地层较缓,倾角一般小于 10° ,在此基础上伴随着一些次级褶皱及断层。本区位于晋祠泉域中南部,晋祠岩溶水系统位于太原市西侧,该泉域东北部边界与兰村泉边界为共同边界,北部及西北边界以变质岩系为边界,西边界位于狐偃山、寨儿坡、岭底村至山前大断裂,该线与岭底向斜轴吻合,具有滞流阻水作用;西南部以侵入岩为边界,东部与南部以太原盆地西边断裂带为界,为排泄边界,形成一个独立的水文地质单元^[4-7]。

研究区位于晋祠泉域的南部弱径流带,晋祠泉出露于交城—清徐大断裂北端,泉口标高 804m ^[8]。区内煤系地层为山西组及太原组,主要含水层组有:奥陶系中统上马家沟组及峰峰组灰岩含水层组、石炭系上统太原组灰岩含水层组、山西组砂岩含水层组、石盒子及石千峰组砂岩含水层组、全新统砾石含水层。其中山西组含水层水源主要为 K_4 、 K_3 含水层水,由于裂隙不发育,富水性弱。太原组含水层主要为 L_1 、 K_2 、 L_4 三层灰岩含水层,层位厚度稳定^[9],但据区内水文孔抽水试验资料,也为弱富水性含水层。奥灰峰峰组含水层由于含水层埋藏较深,地表水体少且小,裂隙岩溶不太发育,透水性较弱,据本区水文孔抽水试验资料,单位涌水量均小于 $0.1\text{L}/(\text{m}\cdot\text{s})$,属弱富水性含水层。

2 水文孔抽水试验分析

研究区内水文孔均为长观孔,对山西组、太原组、峰峰组含水层进行了抽水试验,其奥灰含水层水位及富水性见表1。

表1 研究区水文孔奥灰含水层水位及富水性

| 孔号 | 水位 | 水位 | 孔口 | 富水 |
|-------------------|--------|---------|---------|----|
| | 埋深/m | 标高/m | | |
| Y3-6 | 540.40 | 929.35 | 1469.75 | 弱 |
| Y3-01(大口径) | 260.10 | 1104.15 | 1364.25 | 弱 |
| Y5-3 | 803.20 | 827.74 | 1630.94 | 弱 |
| Y5-8 | 483.15 | 953.51 | 1436.66 | 弱 |
| Y3-11 | 415.35 | 831.90 | 1247.25 | 弱 |
| J9(省第一水文队1981年施工) | 480.00 | 821.13 | 1301.13 | 弱 |

由表1可以看到Y5-8、Y3-01、Y3-6号水文孔奥灰水位与区域水位不一致。尤其是Y3-01号水文孔奥灰水位与区域水位很不一致,相差达近 200m ,峰峰组富水性弱,水样略有一点臭鸡蛋气味,本孔抽水试验恢复水位72h后,水位仍不能稳定,每小时上涨 0.7m 。另外要说明的是Y3-01为大口径水文孔,峰峰组含水层抽水试验,套管采用无缝钢管,固井方式均为水泥固井,因此止水效果较好,基本排除了其它含水层的水从套管壁外环状间隙混入奥灰含

水层的可能。从构造上来看,本孔位于马兰向斜西翼,西翼倾角 $7^{\circ}\sim 8^{\circ}$,轴向 $\text{NW}20^{\circ}$,延长 9km ;距钻孔西侧 $1\sim 2.5\text{km}$ 分布有若干断层,主要较大断层为正断层,断距 80m ,断层附近有地表水体;钻孔以西 3km 处为奥灰出露区,研究区奥灰含水层水位等值线图如图1所示。不排除附近断层沟通太原组灰岩含水层和奥灰含水层,同时阻隔了西北部奥灰水向井田内的径流。

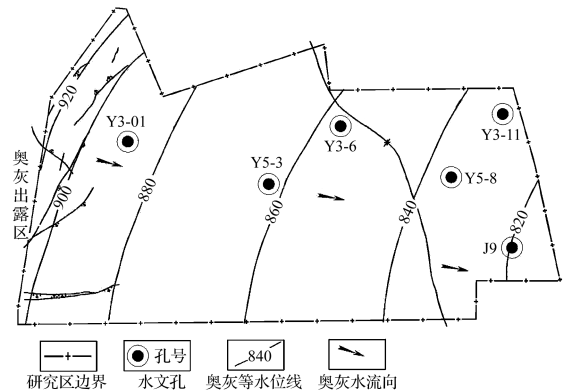


图1 研究区奥灰含水层水位等值线图(m)

根据表1和图1可知,本区峰峰组富水性弱,区内除Y5-3、Y3-11及J9号孔之外,其余水文孔奥灰水位均与区域水位不一致。鉴于此,笔者又收集了研究区外周边马兰、小回沟、赵家山、锦富等井田水文孔资料,如图2所示。区外西北部MS-5号孔抽水时间1981年,据本孔上马家沟组抽水试验资料,水位标高 974.42m ,单位涌水量 $0.031\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$;MS-8号孔抽水时间1984年,据本孔上马家沟组抽水试验资料,水位标高 912.17m ,单位涌水量 $1.389\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$;GS-6号孔抽水时间2001年,据本孔峰峰组抽水试验资料,水位标高 903.428m ,单位涌水量 $0.08\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。区外东北部C1、C22号水文孔抽水时间2012年,据C1号孔峰峰组及上马家沟组混合抽水试验资料,水位标高 864.08m ,单位涌水量 $0.0088\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,富水性弱;据C22号孔峰峰组及上马家沟组混合抽水试验资料,水位标高 871.82m ,单位涌水量 $0.0008\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,含水层为弱富水性。区外东南部T3号水文孔抽水时间2010年,据本孔峰峰组及上马家沟组混合抽水试验资料,单位涌水量 $0.00075\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,水位标高为 821.73m ,为弱富水性含水层。JF-1号孔抽水时间2014年,据本孔峰峰组及上马家沟组混合抽水试验资料确认为干孔,水位标高 909.217m 。JFS-1、JFS-2号水文孔抽水时间2014年,据JFS-1号孔峰峰组及上马家沟组混合抽水试验资料,水位标高 $+851.62\text{m}$,单位涌水量 $0.00216\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,富水性弱;据JFS-2号孔峰峰组及上马家沟组混合抽水试验资料,水位标高 $+864.70\text{m}$,单位涌水量 $0.00072\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,属弱富水含水层。因此可以看到区外在不同时间由不同单位所施工的水文孔奥灰含水层抽水试验资料,其含水层均为弱富水性。

结合区内外水文孔奥灰水位分析部分水文孔水位与区

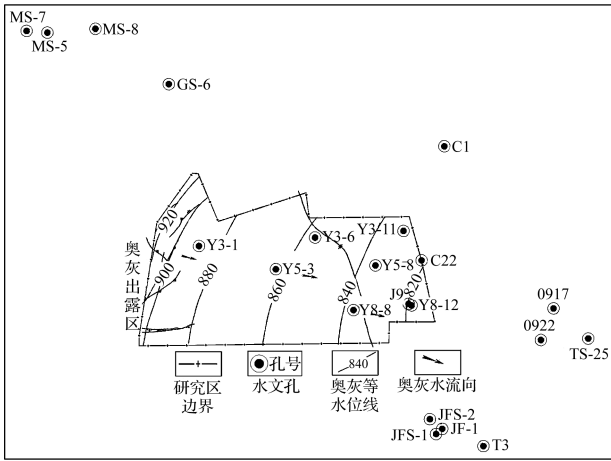


图 2 研究区周边水文孔位置图 (m)

域水位不一致的原因：一是可能由于井田内西北部分布的若干断层阻隔了西部边界外条带状灰岩裸露区的补给，从而使其转而水平向东径流，绕过本井田，再向南汇入晋祠泉域，井田东部又为深大的马兰向斜，在向斜轴部地带，奥陶系岩层顶板埋深可达 651.5~1102.5m，补给条件差，形成了弱滞流环境，造成井田内峰峰组富水性普遍弱，研究区南部、西南部侵入岩体大面积分布，阻隔了奥灰水体向南径流，或许成为了晋祠泉域南部的阻水边界；二是由于区内部分地段的正断层可能沟通了太灰和奥灰含水层，从而使太原组含水层与奥灰含水层发生水力联系，同时区内导水段垂直层面的张性裂隙发育，造成太原组灰岩岩溶裂隙水（以下称太灰水）垂向补给奥灰水，也可通过对导水段太灰含水层注浆检测奥灰水位是否下降来验证^[10]，从而使太原组含水层与奥灰含水层发生水力联系。通过后文的水化学特征分析也可以互相佐证，从而得出结论：区内部分地段峰峰组含水层同时也接受其上太原组含水层的垂向补给，加之本区奥灰富水性弱，又处于弱径流环境，

以致某些地段峰峰组含水层接受太灰水的补给量甚至超过了西边奥灰出露区的补给（如 Y3-01 号孔附近地段），即垂向补给大于横向补给，太灰层的补给大于本层内部的补给，也导致钻孔奥灰水位实际为太灰水和奥灰水的混合水位。至于区内奥灰水位不一致的其它原因有：①由于峰峰组富水性很弱，几乎为隔水层，部分地段没有统一的流场和较一致的区水位；②由于峰峰组富水性很弱，对水文孔洗孔止水难度加大，很难测得真实水位；③由于井田内水位埋深较大（415~803m），抽水试验过程中测量水位的难度及误差都成倍增大。排除以上因素，再结合区域水文地质资料，推测区内岩溶区域水位标高 820~920m。

3 水化学分析

受地下水的补、径、排条件、地貌条件、含水层的埋藏深度及其水动力条件差异的影响，本区地下水的化学成分较复杂。一般认为，接近补给区，透水性强的承压含水层，水交替强烈，溶滤作用发育，就形成低矿化度的重碳酸盐类水，反之，而在径流条件差，水交替弱的含水层则形成矿化度较高的硫酸盐以至氯化物水^[11-13]。据区内水文孔水质分析结果（见表 2），奥灰含水层首先因中奥陶统 O₂f¹ 的地层中普遍含有石膏层，因此奥灰岩溶裂隙水中 SO₄²⁻ 离子含量普遍较高^[14]，大部分地段高于 HCO₃⁻ 离子含量，阳离子以 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 离子为主，水化学类型以 SO₄-Ca·Mg 型为主。奥灰水水质总的变化趋势是自马兰向斜的两翼向核部随含水层埋深的加大，水交替条件变差，SO₄²⁻、总硬度、矿化度增高；其中矿化度由 Y3-11 号孔（井田东部）的 503mg/L 到 Y3-6 号孔（井田中北部）的 6480mg/L；水化学类型则从 SO₄·HCO₃-Ca·Mg 转变成 Cl·SO₄-Na·Ca 型水。而太原组岩溶裂隙水中阴离子以 HCO₃⁻ 为主的水化学类型占多数，包括 HCO₃·SO₄-Na、HCO₃-Na·Ca、SO₄·HCO₃-Na·Ca 型，矿化度 200~330mg/L。

表 2 峰峰组与太原组主要水化学成分对比

| 孔号 | 主要离子成分 | | | | | | 矿化度 | 总硬度 | 水化学类型 | 备注 |
|-------|------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------|--------|---|-----|
| | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ +Na ⁺ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | | | | |
| Y5-3 | 120.26 | 23.90 | 31.05 | 337.74 | 149.20 | 15.83 | 536 | 398.78 | HCO ₃ ·SO ₄ -Ca | 峰峰组 |
| Y5-8 | 1.46 | 1.78 | 234.48 | 264.66 | 32.72 | 71.90 | 536 | 10.98 | HCO ₃ ·CO ₃ -K·Na | |
| Y3-11 | 39.45 | 15.45 | 10.22 | 72.81 | 90.76 | 15.76 | 503 | 162.16 | SO ₄ ·HCO ₃ -Ca·Mg | |
| Y3-6 | 123.69 | 22.78 | 2554.67 | 65.00 | 344.92 | 3575.13 | 6480 | 402.74 | Cl-Na | |
| Y3-01 | 2.44 | 1.78 | 209.30 | 28.01 | 47.54 | 130.99 | 582 | 13.42 | CO ₃ ·Cl-Na | |
| Y5-3 | 14.66 | 3.26 | 54.19 | 128.28 | 43.63 | 14.77 | 225 | 50.04 | HCO ₃ -Na·Ca | 太原组 |
| Y5-8 | 43.63 | 17.54 | 36.36 | 187.78 | 83.14 | 13.79 | 270 | 181.20 | HCO ₃ ·SO ₄ -Ca·Na·Mg | |
| Y3-11 | 7.20 | 1.16 | 110.85 | 161.23 | 94.05 | 13.86 | 330 | 22.76 | SO ₄ ·HCO ₃ -Na·Ca | |
| Y3-6 | 28.18 | 5.30 | 27.99 | 108.96 | 72.24 | 13.79 | 200 | 92.21 | HCO ₃ ·SO ₄ -Na | |

区内太原组灰岩底板距离奥灰（峰峰组）顶界面距离 64.85~103.99m，平均为 84.41m，其间含泥岩、铝质泥岩、粉砂岩等隔水岩组。二者之间存在着稳定的隔水层。根据

抽水试验结果：太灰水水位标高+1131.35~+1189.94m，而奥灰水水位标高+827.74~+1104.15m。除 Y3-01 号大口径水文孔两含水层相差几十米，其余水文孔所在区域两含水

层水位相差基本都在 200m 左右, Y5-8、Y3-6、Y3-01 号孔矿化度、硬度和水化学类型差异较小, 而 Y5-3、Y3-11 号孔矿化度、硬度和水化学类型差异较大, 因此判断区内两含水层在部分地段存在一定的水力联系。一般来说, 随着奥灰埋深的加深, SO_4 离子含量逐渐增大, 矿化度增大, 水温增高, pH 值减小, 并且当奥灰深埋区地下水径流条件较差, 水化学环境封闭程度较高, 形成一定范围的弱径流带甚至滞缓区时, H_2S 含量也较大, 有一种臭鸡蛋气味^[15-17]。而 Y3-01 号孔峰峰组水样就带有一点臭鸡蛋气味。

据 Y3-6 号孔水文测井资料, 峰峰组未发现含水层, 上马家沟组组含水层段与上马家沟组顶界面的厚度在 70m 以上, 期间是沉积着厚层白云岩、泥灰岩、石膏、硬石膏层。同时根据 Y3-6 号孔抽水试验资料可知: 峰峰组水位标高为 +929.35m。上马家沟组水位标高为 +860.40m。二者之间相差约 70m。峰峰组含水层水质矿化度为 6480mg/L 远高于上马家沟组 2454mg/L。两含水层的 SO_4^{2-} 离子含量也有明显差距, 也说明在无构造发育的情况下, 峰峰组与上马家沟组之间水力联系较弱, 峰峰组与上马家沟组主要水化学成分对比见表 3。

表 3 峰峰组与上马家沟组主要水化学成分对比

| 孔号 | 主要离子成分 | | | | | 矿化度 | 总硬度 | 水化学类型 | 备注 | |
|------|------------------|------------------|----------------------------|------------------|--------------------|---------|------|---------|--------------|---------------|
| | Ca^{2+} | Mg^{2+} | $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ | HCO_3^- | SO_4^{2-} | | | | | Cl^- |
| Y3-6 | 123.69 | 22.78 | 2554.67 | 65.00 | 344.92 | 3575.13 | 6480 | 402.74 | Cl—Na | 峰峰组 |
| Y3-6 | 356.62 | 50.79 | 443.36 | 177.49 | 505.86 | 960.26 | 2454 | 1099.59 | Cl·SO4—Na·Ca | 上马家沟组 |

4 结 语

研究区内除 Y5-3、Y3-11 及 J9 号孔之外, 其余水文孔奥灰水位均与区域水位不一致。在综合分析研究区构造地质特征的基础上, 通过抽水试验与水质分析结果相互佐证, 可以推测本区部分地段峰峰组含水层应该也接受太原组含水层的垂向补给, 加之本区奥灰富水性弱, 又处于弱滞流环境, 以致部分地段峰峰组含水层接受太灰水的补给量甚至超过了研究区西边奥灰出露区的补给, 即垂向补给大于横向补给, 太灰层的补给大于本层内部的补给, 从而造成钻孔奥灰水位实际为太灰水和奥灰水的混合水位。究其原因, 从构造上来说, 一是由于区内西北部的断层阻隔了奥灰水向区内的径流, 从而使大量奥灰水转而水平向东径流, 绕过本区, 再向南汇入晋祠泉域, 造成区内峰峰组富水性普遍弱; 二是由于区内部分地段的正断层可能沟通了太灰和奥灰含水层, 从而使太原组含水层与奥灰含水层发生水力联系, 同时区内导水段垂直层面的张性裂隙发育, 造成太灰水垂向补给奥灰水, 从而使太原组含水层与奥灰含水层发生水力联系。

参考文献:

- [1] 李 凯. 兖州煤田中深部奥灰含水层水文地质条件研究 [J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(4): 146-149.
- [2] 裴捍华, 杨亲民, 郭振中, 等. 山西岩溶水强径流带的成因类型及其水文地质特征 [J]. 中国岩溶, 2003, 22(3): 219-224.
- [3] 贺志宏, 李晓晨, 李曦滨. 双柳煤矿下组煤开采水文地质条件分析及矿井防治水措施 [J]. 煤炭工程, 2012, 44(5): 68-70.
- [4] 龙玉桥, 李 伟, 李砚阁, 等. 疏干开采条件下晋祠岩溶水系统的水箱模型 [J]. 中国岩溶, 2011, 30(1): 27-33.

- [5] 张伟杰, 李术才, 魏久传, 等. 岩溶泉域煤矿奥灰顶部相对隔水性及水文地质特征研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(2): 349-357.
- [6] 韩冬梅, 徐恒力, 梁 杏. 北方岩溶大泉地下水系统的圈划: 以太原盆地东西山地区为例 [J]. 地球科学, 2006, 31(6): 885-890.
- [7] 晋 华, 杨锁林, 郑秀清, 等. 晋祠岩溶泉流量衰竭分析 [J]. 太原理工大学学报, 2005, 36(4): 488-490.
- [8] 张淑亮, 王 霞, 刘瑞春, 等. 太原井水位的快速上升与构造活动的关系 [J]. 震灾防御技术, 2015, 10(1): 46-58.
- [9] 李 波. 峰峰组隔水关键层对下组煤带压开采的影响研究 [J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(10): 67-71.
- [10] 朱弟植. 论构造对峰峰四矿地下水垂向补给点控制—略谈垂向通道位里的预测与验证 [J]. 煤炭学报, 1987(1): 47-57.
- [11] 张兆迪, 于开宁, 刘景涛. 银川平原水化学特征分析 [J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(2): 23-30.
- [12] 王 挺. 太原西山岩溶地下水系统晋祠泉与兰村泉水化学成分差异及成因研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2010.
- [13] 李志红, 胡伏生, 周文生, 等. 银川地区承压水水化学特征及控制因素 [J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(2): 31-39.
- [14] 郝春明, 何培雍, 王 议, 等. 煤炭开采后峰峰矿区奥陶系岩溶水硫酸盐演化过程研究 [J]. 中国岩溶, 2014, 33(4): 425-431.
- [15] Wang Y, Ma T, Luo Z. Geostatistical and geochemical analysis of surface water leakage into groundwater on a regional scale: A case study in the Liulin karst system, northwestern China [J]. Journal of Hydrology, 2001, 246(1-4): 223-234.
- [16] 李志明. 大采深高承压矿井水文地质条件及防治水技术 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(9): 104-107.
- [17] 郝柏园, 郭英海, 王 飞, 等. 古交矿区奥灰岩溶发育特征及主控因素研究 [J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(2): 91-95.

(责任编辑 张宝优)