

陈亚洲,任虎俊,李曦滨,等.大同煤田寒武—奥陶系岩溶水系统东北区特征分析[J].中国岩溶,2019,38(6):876-882.  
DOI:10.11932/karst2019y04

# 大同煤田寒武—奥陶系岩溶水系统东北区特征分析

陈亚洲<sup>1</sup>,任虎俊<sup>2</sup>,李曦滨<sup>2</sup>,李健<sup>3</sup>,王锋利<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏徐州 221008; 2. 中国煤炭地质总局水文地质局, 河北邯郸 056006; 3. 江苏地质矿产设计研究院, 江苏徐州 221006)

**摘要:**大同煤田东北区寒武—奥陶系岩溶水以承压状态赋存于煤层底板之下,是当地重要供水水源,为确保煤田安全开采同时保护地下水资源,需对大同煤田东北区岩溶水系统特征进行分析。文章利用钻探、测井手段及水化学、水位监测数据、矿井开采资料及实地调查对研究区内岩溶水系统特征进行分析,认为研究区寒武—奥陶系岩溶顶板标高变化特征与煤向斜发育特征一致,岩溶含水层厚度发育极不均匀;研究区大部分地区为弱径流区,水化学类型以 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Na}$ 型为主;地下水水源补给为西部上覆含水层越流补给和东部露头区入渗补给;研究区水位逐年下降,且呈逐年增大下降趋势,这是由于区内人工排泄点增多、人工抽采量大导致;研究区岩溶水峰值水位滞后雨季一到两个月。依据本结论对研究区煤田安全开采及岩溶水合理取用有指导意义。

**关键词:**岩层特征;水化学;地下水流场;水位动态

**中图分类号:**P641.461;TD745 **文献标识码:**A

**文章编号:**1001-4810(2019)06-0876-07 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



## 0 引言

北方岩溶水因其水量稳定、水质优良、调蓄能力强等特点在供水方面具有很大的优势,是很多北方地区工农业生产、生活供水的水源地。在山西大同等地,由于地下采煤等矿业生产活动的增加,造成矿坑突水、岩溶塌陷、地裂等地质灾害,导致当地的旅游功能降低,生态功能丧失等诸多岩溶水环境问题,同时对该区地下生产活动安全也造成极大地威胁<sup>[1]</sup>。因此研究该地区岩溶水系统特征,对地下水资源开发、保护及地下矿产开采等活动具有重要意义。

对岩溶水系统的研究,首先应划分岩溶水系统边界,确定其为独立的水文地质单元;其次是利用地质学、岩溶动力学、流体动力学、水文地球化学、地球物理勘探等方法确定岩溶水系统<sup>[2-3]</sup>。对岩溶水特征研究,依据独立岩溶水系统水文地质条件可得出其

含水层结构、补径排方式及富水区域<sup>[4]</sup>;依据研究区水动力场和水化学场可得出岩溶水补给、径流、排泄条件以及岩溶水赋存规律<sup>[5]</sup>;依据其补给水量、取水量的多年数据,可预测岩溶水水位变化特征<sup>[6]</sup>;依据抽水试验,地下水流场可获取岩溶区域富水性特征及岩溶地下水潜力特征<sup>[7-8]</sup>。

大同煤田东北区寒武—奥陶系岩溶水以承压状态赋存于煤层底板之下,是当地重要供水水源,研究其寒武—奥陶系岩溶水系统特征,对煤炭资源安全开采及地下水水资源保护具有重要意义。针对大同煤田岩溶水的研究有很多,其中马志敬<sup>[9]</sup>利用水样同位素数据及水位数据,划分大同煤田岩溶水系统,并得出大同煤田岩溶水系统为独立的补径排水文地质单元;赵慧玲<sup>[10]</sup>根据大同煤田岩溶地下水水文地质条件,利用水化学数据、钻孔资料、抽放水实验及矿井涌水量等研究资料,对大同煤田岩溶地下水水文地

第一作者简介:陈亚洲(1992—),男,硕士研究生,地下水科学与工程专业,从事环境水文地质、煤矿水害防治、地下水资源评价与管理、水污染治理研究。E-mail:389330474@qq.com。

收稿日期:2018-08-21

质特征进行分析,认为大同煤田岩溶水富水性受构造控制,岩溶水补给方式以侧向补给和间接补给为主,岩溶发育层位为下奥陶统;艾灿伟<sup>[11]</sup>利用大同煤田岩溶地下水区域水文地质条件及水化学数据,得出大同煤田岩溶地下水,除了接受大气降水的补给外,还有侧向径流和地表水的补给,煤田岩溶地下水是以泉和渗流这两种主要方式排泄到地表。本文利用前人已有研究成果,在大同煤田寒武—奥陶系岩溶水系统东北区施工钻孔,并根据钻孔资料、测井资料、水化学数据、水位动态监测数据、矿井开采资料和实地调查对大同煤田东北区岩溶水系统特征进行研究。

### 1 研究区概况

大同煤田为赋存侏罗系和石炭—二叠系双系煤田。由于长时间开采,上部侏罗系煤田资源已近枯竭,现阶段大同煤田东北区各矿井逐步从侏罗系煤田向石炭—二叠系煤田延伸。由于石炭—二叠系煤层下覆岩层为寒武系、奥陶系灰岩,寒武—奥陶系灰岩岩溶水多以承压状态存在,对煤矿安全开采构成极大威胁;同时该岩溶水系统为当地重要供水水源(图 1)。为保证煤矿安全开采及地下水水资源合理开发利用,查明研究区寒武—奥陶系岩溶水系统特征具有重要意义。

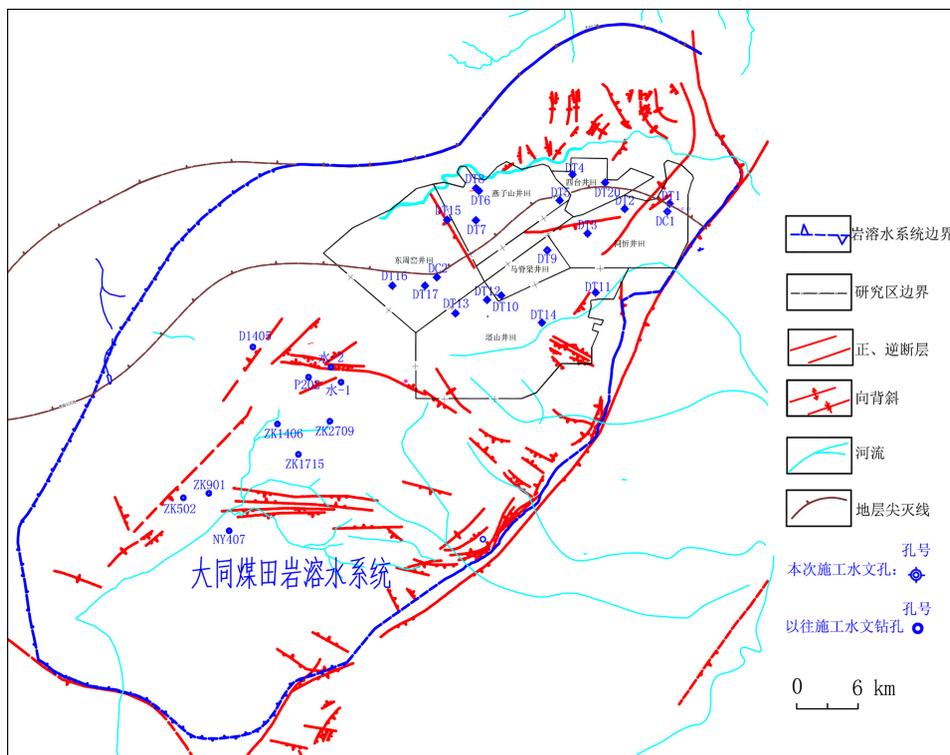


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic of the research area

研究区位于山西省北部大同煤田东北区域,面积 515.64 km<sup>2</sup>,包含塔山、东周窑、马脊梁、燕子山、四台及同忻等六个井田。勘察揭露地层从下到上为寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系和第四系,其中含煤地层为二叠系山西组和石炭系太原组;研究区内揭露的含水层包括第四系松散孔隙含水层、白垩系砂岩孔隙裂隙含水层、侏罗系砂岩裂隙含水层、石炭系—二叠系砂岩裂隙含水层、寒武—奥陶系灰岩含水层。本次研究目的为查明大同煤田岩溶水系统东北区寒武—奥陶系岩溶水特征,因此,在分

析原有资料的基础上,于 2010 年 10 月至 2013 年 6 月重新施工 20 个钻孔(图 1),新施工钻孔集中分布在研究区内部,钻孔编号为 DT1—DT17、DT20、DC1、DC2,其中 DT1—DT16、DT20 揭露寒武—奥陶系灰岩;新施工钻孔均为大孔径钻孔,所有钻孔在非抽水试验段均下入套管进行封闭止水,以 DT1 号孔为例,具体钻孔特征见表 1。

本次新施工钻孔既是水文地质试验钻孔,又是长期观测孔,同时兼顾部分地质孔的作用。

本文利用钻孔资料、测井资料,统计岩溶发育特

征;利用水化学数据得出地下水补径排区域;利用钻孔水位及长期观测孔监测数据,得出地下水流场及

水位动态变化特征;利用矿井开采资料及实地调查分析地下水水位变化原因。

表1 DT1钻孔特征表  
Table 1 Features of borehole DT1

孔号	井身结构		套管结构		备注	
	孔径/mm	起止深度/m	套管规格/mm×mm	起止深度/m		长度/m
DT1	Φ244	0~215.75	Φ219×8	0~259.75	259.75	全段封闭止水
	Φ190	215.75~396.44	Φ168×7	198.99~396.44	353.8	
	Φ152	396.44~538.37	Φ146×6	384.91~538.37	153.46	
	Φ113	538.37~815.53	裸孔			

## 2 寒武-奥陶系地层标高及含水层厚度特征

利用钻孔资料、测井资料对大同煤田东北区寒武-奥陶系岩溶顶面标高及岩溶裂隙含水层厚度进行统计(表2),并做岩溶顶板标高及含水层厚度等值线图(图2)。据图可知,灰岩顶板标高最高点在研究区北部870 m,最低点在研究区东部690 m;岩溶顶板标高变化特征与煤向斜发育特征较一致,大同煤田为走向北东30°~50°的不对称向斜,西翼宽而缓(倾角3°~7°),东翼陡而窄(倾角40°~60°),东西宽约30 km,向斜轴延伸长约50 km<sup>[10]</sup>;研究区内寒武-奥陶系灰岩顶板标高由两翼向轴部逐步变低,最低处为研究区东部,即轴线北东段,最高处位于研究区北部,从北到东岩溶埋深逐渐增加。研究区内寒武-奥陶系含水层厚度发育极不均一,西北部、中部、东北部含水层厚度较厚,即东南部较西北部厚,轴部较两翼厚。

表2 寒武-奥陶系岩溶顶板标高及含水层厚度统计表  
Table 2 Statistics of elevation and aquifer thickness of Cambrian-Ordovician karst top surface

钻孔	群组	层号	含水层/m				
			顶板深度	底板深度	顶板标高	层厚	累厚
DT1	O+€	1	579	584	664.8	5	55
		2	634	684		50	
DT2	O+€	1	629	636.1	725.95	7.1	16.2
		2	646.4	655.5		9.1	
DT3	O+€	1	835	857	760.37	22	22
DT4	O+€	1	675	702	859.2	27	27
DT5	O+€	1	542	555	811.92	13	17
		2	692	696		4	
DT6	O+€	1	520	560	874.13	40	65
		2	580	605		25	
DT7	O+€	1	561	575	807.51	14	14
DT8	O+€	1	555	562	909.5	7	7
DT9	O+€	1	680	745	776.61	65	65
		2	702	726		24	
DT10	O+€	1	702	726	843.92	24	34
		2	810	820		10	
DT11	O+€	1	523	544	/	21	21
DT12	O+€	1	756	770	/	14	49
		2	815	850		35	
DT13	O+€	1	680	745	771.61	65	65
DT14	O+€	1	575	624	/	49	49
DT15	O+€	1	657	666	874.83	9	9
DT16	O+€	1	601.4	605.85	/	4.45	4.45
DT20	O+€	1	505	582	841.66	77	77

注:“/”表示无实测数据。

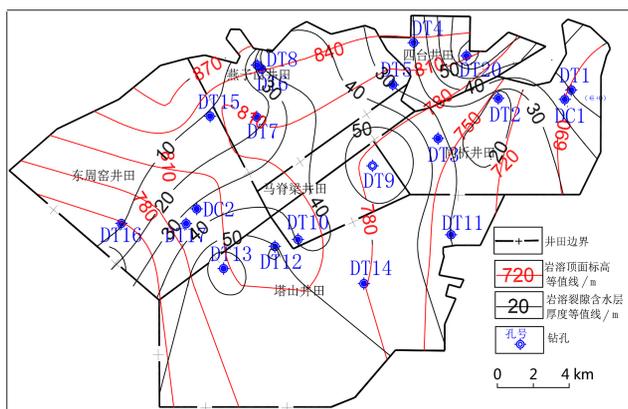


图2 寒武-奥陶系岩溶顶板标高及含水层厚度等值线图

Fig. 2 Contours of elevation and aquifer thickness of Cambrian-Ordovician karst top surface

### 3 寒武—奥陶系岩溶水水化学特征

本次对研究区寒武—奥陶岩溶地下水进行取样分析,水化学分析结果见表 3,并依据水化学结果做 piper 三线图(图 3)及钻孔水化学类型图(图 4)。据图分析寒武—奥陶岩溶地下水补径排区域,DT6、DT7、DT12、DT15、DT20 位于图 3 菱形右下中部位,水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$  型,上述钻孔中 DT6、DT7、DT15 位于研究区北中部,可推测其水动力条件较差,水循环缓慢,为相对滞留区,DT12 位于研究区西南部,水动力条件较差,为相对滞留区,DT20 位于研究区北部边界,为排泄区;DT4、DT5 位于图 3 菱形右中部,水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Na}$  型水,DT4、DT5 钻孔位于研

究区北东部,可推测其水动力条件相对较差,为弱径流区;DT3、DT9、DT11、DT14 水化学类型分布在图 3 菱形中部,水质类型相近,上述钻孔中 DT3、DT9 分布在研究区中部,其中 DT3 钻孔水化学类型为  $\text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Mg}$ ,DT9 钻孔水化学类型为  $\text{HCO}_3-\text{Na} \cdot \text{Ca}$ ,可推测 DT3 水动力条件较 DT9 差,为弱径流区,DT9 为径流区,DT11 位于研究区东南部边界,水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Mg}$ ,为地下水补给区,DT14 位于研究区中南部,水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ ,为径流区;DT2 水化学类型位于图 3 菱形左中部,水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Mg}$ ,该钻孔位于研究区东部,为东部基岩露头补给。

表 3 钻孔寒武—奥陶系岩溶地下水水样水化学统计表

Table 3 Statistics of hydrochemistry for samples from Cambrian-Ordovician karst water in boreholes

钻孔	阳离子/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$				阴离子/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$			TDS/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	水化学类型
	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$		
DT2	4.83		91.58	63.35	372.15	16.31	160.11	0.54	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Mg}$
DT3	19.8	264.4	46.55	68.07	270.6	116.7	603.7	1.4	$\text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Mg}$
DT4		312.66	16.83	23.59	327	116.3	372.09	0.99	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Na}$
DT5		366	10.62	11.67	358.12	148.21	339.57	1.07	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Na}$
DT6		414.74	1.4	0.85	223.29	173.74	169.58	1.07	$\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$
DT7	16.14	327	17.62	7.16	495.1	223.7	68.35	1.16	$\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$
DT9		196.79	109.22	46.21	703.42	123.04	135.83	0.99	$\text{HCO}_3-\text{Na} \cdot \text{Ca}$
DT11	4.81	36.73	71.32	35.95	277.5	15.68	140	0.58	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Mg}$
DT12	18.77	280.3	38.52	16.08	529.6	175.3	95.88	1.16	$\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$
DT14	5.55	78.33	58.97	29.9	254.4	29.62	205	0.66	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$
DT15	15	363	29.82	14.07	473.31	282.14	120.63	1.09	$\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$
DT20	74.13	1574	65.79	24.44	1497	845	396.8	4.49	$\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$

依据上述分析及图 3、图 4,可初步得出研究区水流大致流向为东部 DT2、DT11 所在区域露头区接受侧向补给后,流向研究区中部 DT3、DT9 所在区域,转而流向研究区南部 DT14 及北部 DT4、DT5 所在区域。

从离子角度及矿化度角度分析,研究区东部补给区为带状露头补给,矿化度较低,DT2 号孔 TDS 为  $0.54 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,DT11 号孔 TDS 值为  $0.58 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ;阳离子以  $\text{Ca} \cdot \text{Mg}$  离子为主,DT2 号孔  $\text{Ca}$  离子浓度为  $91.58 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , $\text{Mg}$  离子浓度为  $63.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,DT11 号孔  $\text{Ca}$  离子浓度为  $71.32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , $\text{Mg}$  离子浓度为  $35.95 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,其  $\text{Ca} \cdot \text{Mg}$  离子浓度值相对较高;研究区岩溶水接受东部补给后沿岩层倾向径流,从北东向的带状口泉山至研究区向斜轴部,矿化度逐渐升高,其中,DT4 号孔 TDS 值为  $0.99 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$  离子逐步增高,DT2 号

孔  $\text{SO}_4^{2-}$  离子浓度为  $160.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,至 DT4 号孔  $\text{SO}_4^{2-}$  离子浓度为  $372.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。研究区西部主要水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$  型,由于西部 DT12 号孔所在区域寒武—奥陶灰岩上覆巨厚白垩系地层,大面积接受白垩系地下水补给,矿化度较高,DT12 号孔 TDS 值为  $1.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,阳离子以  $\text{Na}$  离子为主,DT12 号孔  $\text{Na}$  离子浓度为  $529.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,沿径流方向,  $\text{Cl}$  离子逐步增高,其中 DT12 号孔  $\text{Cl}$  离子浓度为  $175.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,至研究区北中部 DT7 号孔  $\text{Cl}$  离子浓度变为  $223.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,DT15 号孔  $\text{Cl}$  离子浓度变为  $282.14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,依据  $\text{Cl}$  离子变化特征,可得出研究区西部接受白垩系地下水补给后,转而流向中部,最终流向研究区南部及北部。

结合研究区水文地质单元特征<sup>[8]</sup>可得出,研究区

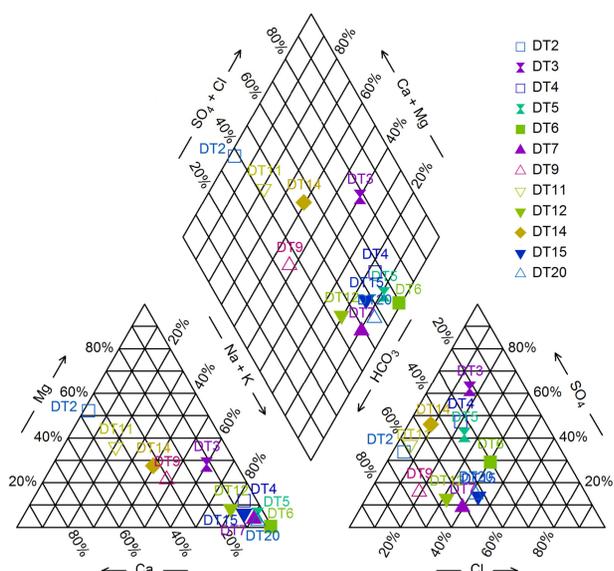


图3 寒武-奥陶系岩溶地下水 piper 三线图

Fig. 3 Piper trilinear nomography of Cambrian-Ordovician karst groundwater

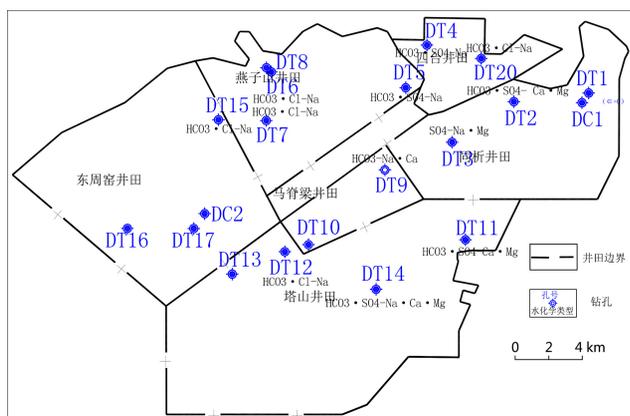


图4 钻孔区域寒武-奥陶系岩溶地下水水化学类型图

Fig. 4 Regional Cambrian-Ordovician karst groundwater hydrochemical types in drilling area

大部分地区为弱径流区,水化学类型以  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{Na}$  型居多;研究区东部较研究区西部径流条件好,地下水补给能力强;研究区补给水源既有东部露头区入渗补给,又有西部上覆含水层越流补给;东西部水源补给后,在轴部汇集,转而流向南北部;排泄区为东北部及西南部排泄点。

#### 4 寒武-奥陶系流场及水位动态变化特征

依据寒武-奥陶系钻孔水位,做岩溶水水位等值线图(图5)。据图可知,研究区岩溶地下水整体径流方向为自西向东;等值线图分布不均匀,与地质构造有关;研究区东部水力梯度大于西部,对比(图2)可

得出地下水水力梯度与研究区岩溶顶面标高和地层倾向有直接关系。

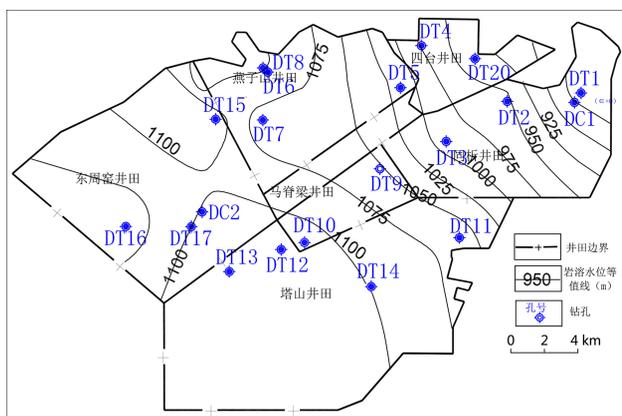


图5 寒武-奥陶系岩溶水位等值线图

Fig. 5 Contour map of Cambrian-Ordovician karst water level

本次施工钻孔均作为长期观测孔,观测频率为每月3次,观测周期为一个水文年,做水位时间曲线图(图6、图7)。长期观测孔水位数据资料,表明2011-2012年间塔山井田DT12号钻孔岩溶地下水埋深自444.67 m,下降至451.87 m,下降了7.20 m;2012-2013年间马脊梁井田DT10号钻孔岩溶地下水埋深自425.80 m,下降至432.96 m,下降了7.16 m。另外,通过收集塔山井田岩溶水长期观测孔T1和T2号钻孔观测数据,T1号钻孔2008年12月岩溶水埋深320.13 m,2012年10月观测值为335.58 m,下降了15.45 m;T2号钻孔2008年12月岩溶水埋深为274.30 m,2012年10月为291.14 m,下降了16.84 m。从T1和T2号钻孔可见,岩溶地下水天然年降幅约  $4 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ 。将年平均降幅同2012-2013年岩地下水位降幅进行对比,发现岩溶地下水降幅有逐年增大的趋势。

为分析研究区岩溶含水层水位逐年下降的原因,对研究区内寒武-奥陶系岩溶地下水涌出和抽采

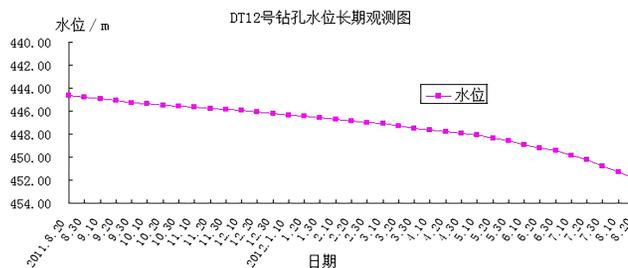


图6 塔山井田DT12号钻孔水位长期观测曲线图

Fig. 6 Long-term observation curve of DT12 borehole water level in Tashan well field

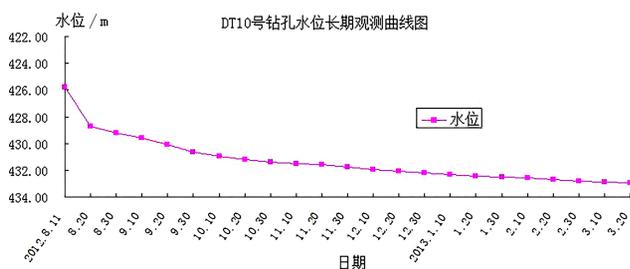


图 7 马脊梁井田 DT10 号钻孔水位长期观测曲线图

Fig. 7 Long-term observation curve of DT10 borehole water level in Majiliang well field

情况进行实地调查和资料统计。根据资料统计,研究区矿井开采时平硐建设和矿坑涌水导致岩溶地下水涌出,如塔山平硐与小塔山平硐在穿越寒武—奥陶系时,遇大型溶洞与裂隙,有一定的出水;王坪平硐在穿越寒武—奥陶系时,遇数条断层,20世纪90年代平均排泄量 $9\ 185\ \text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ,该平硐标高为 $1\ 060\ \text{m}$ ,至2014年12月已经不再涌水;楼子河煤矿平硐,穿越奥陶系时涌水量为 $100\ \text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ;石井煤矿运输巷切断了奥陶系水文孔鹅39号孔内止水管,出水量 $360\ \text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ;同发东周窑井田开采8号煤时,矿井涌水量 $50\ \text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ,其中一部分涌水为岩溶水。同时研究区内存在岩溶地下水抽采现象,如燕子山井田在2010年1月井下施工水源井1口,出水量 $300\ \text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ;另外,据调查区内对岩溶地下水开采的还有峙峰山供水孔、王村供水孔和王坪、小峪煤矿、秦家山水源井等,总取水量约 $2\ 000\ \text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 。因此导致岩溶地下水水位逐年下降的根本原因有:①矿井开采时平硐建设和矿坑涌水,导致岩溶地下水的人工排泄点增多,地下水涌水量增大。②工农业发展需求人工抽采岩溶地下水的水量增大。

对研究期内开采井田状态及变化过程进行调查时发现,现阶段研究区内各井田对石炭—二叠系煤层开采状态不尽相同,其中同析、坛山、东周窑井田现已正式投产,燕子山井田处于试生产阶段,四台、马脊梁井田处于建井阶段。研究期内井田状态变化,以同析井田和坛山井田为例进行描述。同析井田于2007年7月开工建设,2010年3月试生产,2013年正式投产;坛山井田2006年7月开始试生产,2008年12月正式投产。在整个研究期内,井田平硐建设及开采强度在逐年增加,即岩溶地下水人工排泄水量在逐年增加,是地下水水位下降趋势逐年增大的主要原因。可以预测往后数年内由于平硐建设数量增多及矿井涌水量增大,寒武—奥陶系岩溶地下水人工排

泄点会越来越多,人工排泄量会越来越大,研究区内寒武—奥陶系岩溶地下水水位下降趋势会逐年增大。

利用距离东部补给区较近的DT11号钻孔地下水埋深长期观测数据做水位时间曲线图(图8),钻孔总体水位曲线呈下降趋势,但在年季曲线仍能看出,大同地区雨季集中在7—9月,期间钻孔水位有所上升,峰值比雨季滞后1—2个月。

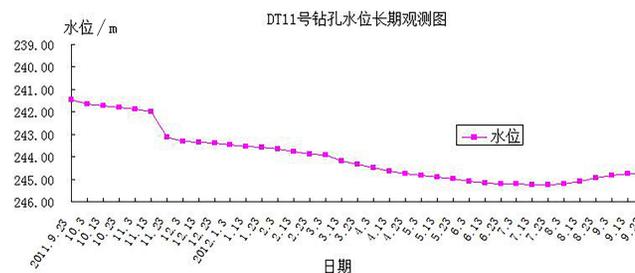


图 8 坛山井田 DT11 号钻孔水位长期观测曲线图

Fig. 8 Long-term observation curve of DT11 borehole water level in Tanshan well field

综上所述,研究区地下水整体流向自西向东,水力梯度与岩溶顶板埋深及地层倾角有直接关系。整个研究区岩溶地下水水位逐年下降,下降趋势在逐年增大;其中,矿井开采导致人工排泄点增多、地下水涌出量增大,是导致地下水水位下降趋势逐年增大的主要原因,同时当地工农业发展致使人工抽采地下水水量增大也是岩溶地下水水位下降的重要原因;研究区内水位峰值滞后丰水季降雨1—2个月。

## 5 结 论

本文利用钻孔资料、测井资料、水化学数据、钻孔水位数据、矿井开采资料及实地调查对大同煤田岩溶水系统东北区特征进行分析,并得出如下结论:

(1) 研究区岩溶顶板标高特征与煤向斜发育特征一致,岩溶含水层厚度发育极不均匀,东南部较西北部厚,轴部较两翼厚。

(2) 研究区大部分地区为弱径流区,水化学类型以 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}\cdot\text{Na}$ 型为主;研究区内东部较西部径流条件好,地下水补给能力强;研究区补给水源既有东部露头区入渗补给,同时又有西部上覆含水层越流补给;东西部水源补给后,在轴部汇集,转而流向南北方向;排泄区为东北部及西南部排泄点。

(3) 研究区地下水总体流向自西向东,等值线图

分布规律受地质构造影响,水力梯度与含水层顶面标高降低和地层倾角有关。

(4) 研究区水位逐年下降,下降趋势在逐年增大;矿井开采导致岩溶地下水人工排泄点增多,随着时间推移,矿井持续开采导致平硐建设数量越来越多,矿井涌水量会越来越大,这是地下水位下降趋势逐年增大的主要原因;另外,随着当地工农业发展,人工抽采地下水量增大也是研究区地下水位下降的重要原因;

(5) 研究区内岩溶地下水峰值水位滞后雨季1-2个月。

### 参考文献

- [1] 梁永平,王维泰,赵春红,等.中国北方岩溶水变化特征及其环境问题[J].中国岩溶,2013,32(1):34-42.
- [2] 赵春红,李强,梁永平,等.北京西山黑龙关泉域岩溶水系统边界与水文地质性质[J].地球科学进展,2014,29(3):412-419.
- [3] 罗明明,肖天响,陈植华,等.香溪河岩溶流域几种岩溶水系统的地质结构特征[J].水文地质工程地质,2014,41(6):13-19,25.
- [4] 赵春红,梁永平,王维泰,等.北京西山泉域岩溶水系统特征探讨[J].中国岩溶,2017,36(5):641-647.
- [5] 曹金亮,韩颖,袁新华,等.天桥泉域岩溶水系统水动力场、水化学场特征分析[J].中国岩溶,2005,24(4):312-317.
- [6] 王现国,邱金波,葛雁.龙洞泉岩溶水系统特征[J].中国岩溶,2014,33(4):432-440.
- [7] 王晓红,刘文臣,沈媛媛,等.北京西山岩溶水应急水源水文地质特征及开采潜力分析[J].中国岩溶,2011,30(2):216-221.
- [8] 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.
- [9] 马志敬.大同煤田岩溶水研究[J].煤炭与化工,2016,39(5):44-46.
- [10] 赵慧玲.大同煤田岩溶地下水的水文地质特征分析[J].中国煤田地质,2004(1):29-31,38.
- [11] 艾灿伟.煤田岩溶地下水的水文地质特征分析[J].科技创新与应用,2015(26):102.

## Characteristics of the Cambrian-Ordovician karst water system in the northeastern Datong coalfield

CHEN Yazhou<sup>1</sup>, REN Hujun<sup>2</sup>, LI Xibin<sup>2</sup>, LI Jian<sup>3</sup>, WANG Fengli<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. Hydrogeology Bureau of China National Administration of Coal Geology, Handan, Hebei 056006, China; 3. Jiangsu Geology and Mineral Design and Research Institute, Xuzhou, Jiangsu 221006, China)

**Abstract** Cambrian-Ordovician karst water in northeast Datong coalfield exists beneath the coal seam floor with confined pressure, which is an important local water source. In order to ensure the safe exploitation of the coalfield and protect groundwater resources, the characteristics of the karst water system in the northeastern Datong coalfield should be analyzed. This work attends to make such an analysis in terms of drilling, logging, hydrochemistry, water level monitoring data, mining data and field investigation. It is concluded that the characteristics of elevation variation of the Cambrian-Ordovician karst top surface are consistent with that of coal syncline and the thickness of karst aquifer, which is very heterogeneous. Most of the research area is of weak runoff, with hydrochemical type dominated by  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl-Na}$ . The source for the supply of karst groundwater is from the overflowing supply of the overlying aquifer in west and infiltration supply in east. The water level in the research area is decreasing yearly with a tendency of increase, because of increasing artificial drainage sites and large artificial withdraw volume. The peak level of karst water in the research area is one to two months behind the rainy season. These conclusions have guiding significance for the safe mining of the coalfield and the rational utilization of karst water in the research area.

**Key words** rock stratum characteristics, hydrochemistry, groundwater flow field, dynamic water level

(编辑 张玲)