

大同盆地地下水流场、水化学场变化特征

韩颖

(山西省地质调查院,太原,030024)

摘要:通过对大同盆地开展水文地质环境调查和采取测试盆地浅层和中深层地下水样,进一步分析研究了大同盆地地下水流场现状和水化学场现状,在研究前人资料结果的基础上,对比分析了盆地地下水流场的变化,不同地区地下水位下降情况及水化学场的变化特征。认为盆地西部水位下降较东部多,南北较中部水位下降速率快;盆地补给、径流区的地下水位下降幅度较大,排泄区较小,地下水位下降幅度与本地区地下水开采量基本成正比;浅层孔隙水化学类型较中深层孔隙水多,TDS相应较高。水化学场的分带性与水动力条件相吻合,浅层孔隙水化学类型较中深层孔隙水复杂。和1989年对比,大同盆地浅层地下水水化学类型及其水平分带性总体改变不大,局部略有变化,中深层孔隙水局部由于过度开采和人为污染,水质变差。

关键词:大同盆地;地下水流场;水化学场;变化特征

中图分类号: P614.2; P614.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2008)02-0138-09

1 引言

大同盆地位于山西省北部,煤炭资源丰富,但也是我国北方缺水地区之一,多年来地下水开发利用量占到总供水量的70%以上,随着社会经济发展和人民生活水平不断提高,水资源供需矛盾更为突出,有些地方已出现地下水位持续下降、地面沉降、地下水污染等由地下水的不合理开采引起的环境地质问题^[1]。为了全面系统掌握盆地地下水形成、演化规律,地下水动力场、水化场特征及其变化,正确评价地下水资源,可持续利用地下水资源,有效预防、避免环境地质问题的发生发展,中国地质调查局2003年下达项目任务书,开展山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价工作,大同盆地为六盆地之一,具有代表性。通过分析本次系统调查取得的全区地下水位与水化学资料,掌握了现状条件下盆地地下水水动力场和水化学场的特征,并与搜集的以往成果^[2]对比,研究了近二十年来开采导致的区域流场和水化学场的变化情况,对盆地地区地下水降落漏斗位置、范围、下降速率等变化

情况进行了重点分析,为今后合理开发利用地下水资源和进一步研究地下水课题,提供了可靠的基础数据。

2 水文地质条件

大同盆地四周群山环抱,其西南为管涔山,西边为洪涛山、七峰山,东北至西南依次为六陵山、恒山、馒头山,其中最高峰为馒头山,海拔2 426 m。盆地中心地势开阔平坦,平原区总面积约为7 440 km²,海拔在1 100 ~ 950 m,整个盆地总体呈北东-南西向展布。盆地四周山前均有大大小小的洪积扇裙构成山前倾斜平原,而盆地中部为河流冲积形成的平原区。桑干河穿越盆地中心至东北口而出,长约180 km。孔隙水富水性及补径排特征取决于含水层的赋存条件和地形地貌条件。

2.1 盆地孔隙水赋存条件及富水性

大同盆地孔隙水主要含水层埋藏深度在200 m以上,多为100 ~ 150 m,以中、上更新统的洪积、冲积的砂砾石层为主。根据含水层的分布特点,浅层水的顶底板埋深为0 ~ 50 m,深层水为埋深在

收稿日期:2008-04-18 责任编辑:刘新秒

基金项目:国家国土资源大调查项目:山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价(200310400008)

作者简介:韩颖(1966-),女,高级工程师,主要从事水文地质、工程地质、环境地质调查研究,E-mail:hanying87@163.com。

^②韩颖,马汉田,张宏民,等.山西省雁同小经济区水资源评价、供需平衡研究报告,山西省地质矿产局第一水文地质工程地质队1986。

50 m 之下的孔隙水。洪积倾斜平原、冲湖积平原和河谷阶地等不同地貌单元水文地质条件具差异性。据调查,该区洪积倾斜平原孔隙含水层已成为城镇重要的供水水源地。较大河流的洪积扇粗颗粒的卵石、砾石和砂层相当发育,厚度大,水量充沛。轴部富水性极强,单井出水量可达万 m^3/d 。洪积扇边缘和扇间洼地富水性较差,单井出水量一般小于 1 000 m^3/d 。地下水埋藏深度至扇顶向前缘和翼部逐渐变小,水位埋深顶部多在 50 ~ 60 m,中部 30 m,下部 15 ~ 20 m。

冲湖积平原孔隙含水层发育于大同盆地中部沿桑干河,黄水河一带宽 10 ~ 20 km 范围内,地势平坦,松散层颗粒很细,地表和浅部以冲积、淤积的亚砂土、亚粘土为主,10 ~ 30 m 以下湖相杂色粘性土堆积为主,桑干河下游湖相地层已出露。在 100 ~ 200 m 以下为古近系、新近系的红色粘土,一般在 120 ~ 150 m 以下粘性土致密,含砂层很少,而以上的河湖相地层中夹有中、细砂或粉砂层,总厚度一般 5 ~ 10 m。该区潜水位埋深小于 5 m,多为 2 ~ 3 m,由于盆地中部地势低平,土质很细,水位很浅,水中盐份浓缩,形成大面积的盐渍化现象,本次调查初步统计盐渍化面积占平原面积的 25% ~ 30%。

御河河谷阶地孔隙含水层位于御河弧山以下至十里河交汇处,长约 25 km,河谷宽由 2 km 左右向南渐变宽为 4 ~ 4.5 km。沿河两岸漫滩和一、二阶地发育,该区潜水位多在 4 ~ 10 m 之间,沿河下游深 10 ~ 15 m 的大口井管井,出水量可达 1 000 ~ 4 000 m^3/d 。50 ~ 150 m 承压含水层厚度 20 ~ 50 m,水位埋深 20 ~ 60 m,地下水水位较八十年代调查时下降很多。单井出水量大都在 1 000 m^3/d 以上。该区是大同市城市和工业供水的集中水源地所在。

2.2 地下水补、径、排条件

大同盆地地下水的运动规律,大体上受河系控制,地下水径流排泄方向与桑干河的地表水系状况基本一致。补给来源一为垂向补给,二为侧向补给。垂向补给主要来自大气降水入渗,其次是农田灌溉回归水和地表水体的渗入。侧向补给来自山丘区的地下径流,其中沿河谷的地下径流占重要成分。盆地深层水具有承压性,有的水头高出地表,对浅层水有一定补给作用。

盆地内地下水总的运动趋势由洪积倾斜平原

向盆地中心运动。由于地面坡度由陡变缓,含水介质颗粒由粗变细,地下水运动速度由大到小,到盆地中心呈现滞流状态,水质也逐渐恶化,其排泄途径包括:潜水蒸发、人工开采、补给河流及少量地下径流沿桑干河河谷流向下游排出区外。

洪积倾斜平原有些地段长期过量开采地下水已形成下降漏斗,破坏了地下水天然流场,引起水位下降。本次调查大同市已出现三个地下水降落漏斗,地下水下降漏斗使补、径、排条件发生了一定程度的变化。平原水库如镇子梁水库、册田水库等修建,使河流对地下水的补给也产生负了面影响^[2]。

盆地中部冲湖积平原地下水,主要接受大气降水垂直入渗补给,部分为侧向洪积倾斜平原地下水径流补给,地表水体(包括河、渠)和灌溉回渗补给也占一定比例。潜水蒸发为该区主要排泄方式。盆地水文地质条件见图 1。

3 大同盆地地下水流场及其变化

3.1 浅层孔隙水动态特征

通过大同盆地地下水动态长观资料的分析,总结出本区的浅层孔隙地下水水位动态类型可概括为开采气象型、开采水文型、开采径流型等类型。

开采气象型分布于倾斜平原中、下部,是地下水主要开采区,水位埋深较浅,地下水水位动态特征受开采和降水的双重影响,在开采期水位降深大,低水位一般出现在 6 ~ 7 月份,随着汛期到来,开采量减少,受降水影响水位开始上升,11 月份出现年内水位高峰期。

开采水文型主要分布于冲积平原区各灌区内,水位变幅大,常呈锯齿状出现,其水位变化受地表水灌溉、降水入渗及地下水开采多重因素影响,一般 3 月份出现水位最低值,因春浇地表水入渗,地下水位急剧上升,一般在 8 月份出现高峰期,以后开采地下水,水位又快速下降,遇降水入渗补给,或停止开采,水位又回升。

开采径流型主要出现于中深层水位下降漏斗区,由于水源地开采中深层地下水,使中深层地下水水位下降,造成深、浅水位差加大,导致浅层水越流补给中深层水,浅层水位逐渐降低。

3.2 深层孔隙水动态特征

中深层孔隙水水位动态可划分为开采下降型、径流开采型和气象径流型三种类型。

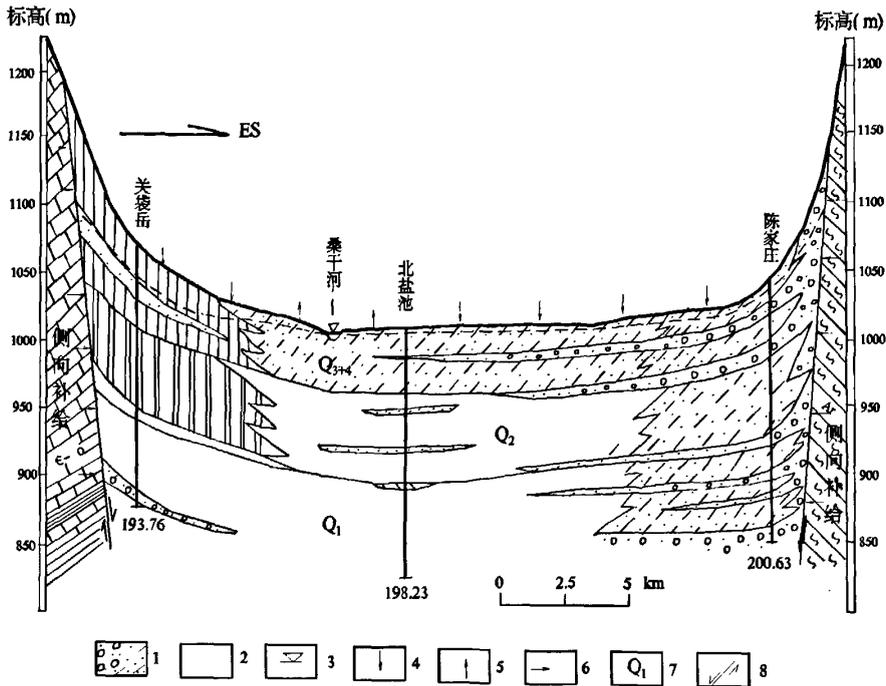


图 1 大同盆地孔隙水系统剖面示意图

Fig.1 Section sketch of the pore water system in Datong basin

1. 含水层; 2. 弱透层; 3. 地下水位; 4. 垂向补给; 5. 垂向排泄; 6. 侧向补给; 7. 含水层时代; 8. 断层

水文径流开采型分布于冲积平原区和倾斜平原中下部大部分地区,地下水以农田灌溉等分散开采为主要形式,地下水动态曲线表现为 1 ~ 4 月份为水位高峰期,7 月份以后由于开采集,水位呈下降趋势,7 ~ 8 月为水位低谷期,地下水动态年内及年际变化有明显的规律性。

径流开采型在冲洪积扇的上部和广大的倾斜平原区,为地下水主要开采区,该区地下水水位下降速率较大,大于 1 m/a。这些地区,地下水原有流场发生了改变,由原来的由北向南流动变为向地下水开采中心流动,总体上地下水表现为历年持续下降。

气象径流型主要分布于开采量较小的黄土丘陵地区,在马铺隆岗、石家寨水库附近及花园屯 - 古店村以北以及盆地周边地区,地下水开采程度较小,地下水基本水位保持天然状态,受降水影响变化明显。在降雨季节的 7 ~ 9 月份出现高峰期,1 ~ 5 月为水位低谷期。

3.3 地下水流场变化特征

为了研究盆地地下水流场现状及其变化特征,本次工作通过开展地下水水位统测(全区共统测 300 余个水文地质钻孔)^①绘制出全区的流场图(图 2),根据以往研究成果^②得出前期流场图(图 3),分析对比大同盆地 2004 年 6 月与 1983 年 6 月两次中深层孔隙水流场图发现,大同盆地孔隙水总体流向是由边山向盆地中心,由西南向东北方向运移,全区朔州西南部水位标高最高,盆地中部向东北方向桑干河河谷一带最低。两次实测流场形态基本保持不变。

通过 20 年的资料对比,在边山冲洪积扇中上部水位下降最大,大同市西边山下降约 18 ~ 20 m,怀仁边山下降 10 m,山阴 - 朔州下降 20 m,东部边山一般下降 5 ~ 10 m,下降幅度较西侧小,总的规律是盆地西部水位下降较东部多,南北较中部水位下降速率快,也就是补给、径流区的地下水位下降幅度大,而排泄区较小。这与本区的水文地质条件

① 韩颖,马汉田,张宏民,等. 山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价报告. 山西省地质调查院, 2007.

② 成诗可,何双进,原巷年,等. 山西省雁同小经济区水资源评价、供需平衡研究报告,山西省地质矿产局第一水文地质工程地质队 1986.

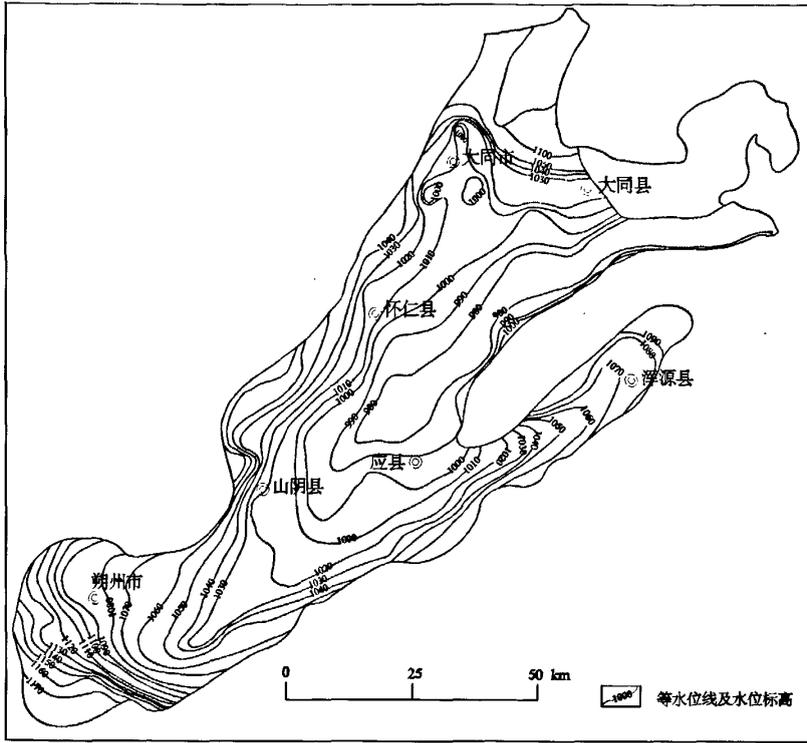


图 2 大同盆地 2004 年 6 月地下水水位等水位线图

Fig.2 Groundwater altitude in Datong basin in 2004

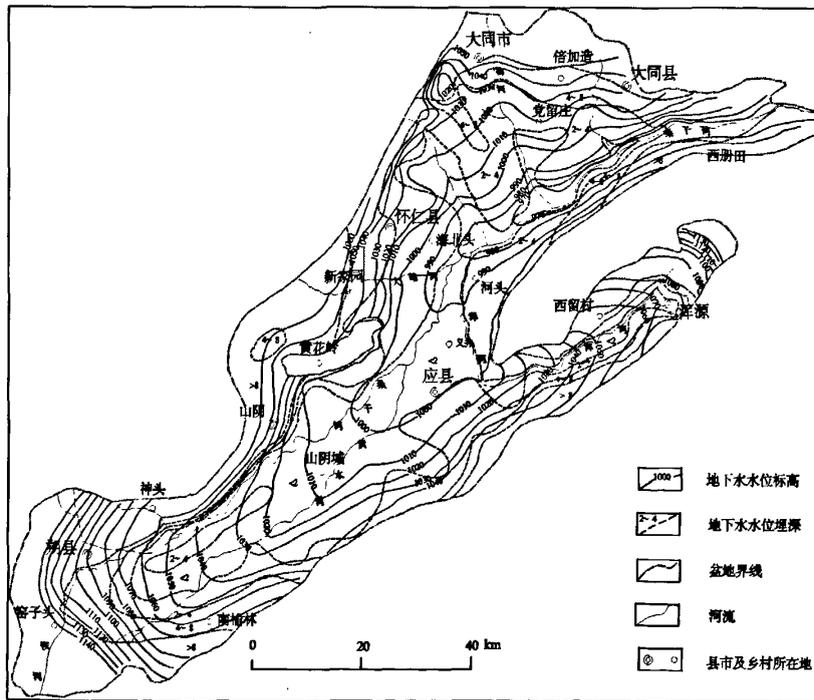


图 3 大同盆地 1983 年 6 月地下水埋深及等水位线图

Fig.3 Groundwater level depth and ground water level altitude in Datong basin in 1983

表 1 大同市主要供水水源地下水下降速率统计表

Table 1 Dropping rate of groundwater level for the main sources of water supply in Datong

位置	成井年/水位埋深 (m)	八十年代/水位埋深 (m)	调查年/水位埋深 (m)	八十年代下降 (m)	速率 (m/a)	调查年与八十 年代相比下降 (m)	速率 (m/a)
十里河洪积扇 西郊水源地	1958/3.0~11.54	1980/25.66~35.97	2004/66.52	22.65~24.43	1.03~1.1	30.55~43.86	1.27~1.83
矿务局时庄水 源地	1970/10.95~16.53	1981/32.7~35.50	2004/61.40	21.75~18.97	1.97~1.72	25.9~28.7	1.13~1.25
口泉洪积扇	1965/5.13~12.3	1978/16.63	2004/22.25	11.50	0.88	5.62	0.22
陈庄	1980/32.50	1983/36.08	2004/53.70	3.58	1.19	17.62	0.84
城北水源地	1972~1976/12 眼0.1 ~ 12.90	1983/8.20~21.25	2004/16.81~43.63	8.1~8.35	0.55~0.76	8.61~25.38	0.41~1.21
城南水源地	1969/+0.05~1.44	1983/6.15	2004/17.85	4.71~6.20	0.34~0.44	11.70	0.56
太善村(浅井)	1964/2.30	1983/3.08	2004/5.50	0.78	0.04	2.42	0.12
沙岭	1956/2.24	1983/5.70	2004/27.13	3.46	0.13	21.43	1.02

与开采状况相一致。

大同盆地地下水漏斗主要分布于大同市。地下水降落漏斗的形成是由于集中过量开采地下水造成水位下降所致^[9]。1981年以来大同市地下水水位持续下降,从图3可以看出有三个地下水降落漏斗,其水位标高均为1000m,漏斗中心分别位于城北白马城、城西南时庄、城东南智家堡一带。从本区以往水位资料可以看出(表1),上世纪八十年代后,十里河洪积扇西郊水源地下降速率最大,达到1.27~1.83m/a,其次是矿务局时庄水源地,为1.13~1.25m/a,大同市东南沙岭村一带达到1.02m/a,城北水源地为0.41~1.21m/a,城南水源地为0.56m/a。

4 地下水化学场及其演化

为了分析研究盆地孔隙地下水的水化学特征及其分带规律,2004年10月至11月在大同盆地的钻孔内共采集水样226个,采样地点见图4、5。其中,浅层孔隙水样136个,中深层孔隙水样90个。样品送山西地质调查院实验室进行了全分析^①。

4.1 盆地孔隙水水化学特征

盆地浅层孔隙水的水化学类型主要包括重碳酸型、重碳酸硫酸型、重碳酸氯化物型、硫酸型、氯化物型、硫酸氯化物型水等。绝大部分水样为总溶解固体量(TDS)小于1.5g/L的HCO₃型(占所采水样的58.82%)或HCO₃-SO₄型(占所采水样的17.65%)水,也有水质较差总溶解固体量(TDS)大于

1.5g/L的硫酸-氯化物型水(占所采水样的6.62%)。TDS大于1g/L的浅层水分布于盆地中部冲积平原区,北部位于大同市南落里湾、太善村,中部分布于怀仁县、山阴县、应县的冲积平原地带,南部分布于朔州的滋润、福善庄、贾庄一带。在山阴的后黄台、黑圪塔TDS最高,大于3g/L(图4)。总体来看,盆地浅层孔隙水为pH处于7.0~9.05之间的偏碱性水,硬度较大,平均值为409.02mg/L,低于地下水Ⅲ类水质标准(450mg/L)^[7]。

盆地中深层孔隙水的水化学类型主要包括重碳酸型、重碳酸硫酸型、重碳酸氯化物型、硫酸氯化物型、氯化物硫酸型水等,一般为总溶解固体量(TDS)小于1.5g/L的HCO₃型(占所采水样的66.67%)或HCO₃-SO₄型(占所采水样的10.0%)水,总溶解固体量(TDS)大于1.5g/L的硫酸-氯化物型水样较少,中深层水大于1g/L的区与浅层地下水分布区形态基本一致,只是面积略有减少,也是位于应县、怀仁、山阴冲积平原中部地区,反映了地下水的补、径、排条件(图5)。总体来看,盆地中深层孔隙水为pH处于7.08~8.12之间的偏碱性水,硬度较浅层孔隙水低,平均值为265.06mg/L,低于地下水Ⅱ类水质标准(300mg/L)^[7]。

4.2 水化学类型分带特征

研究发现,盆地孔隙水的水化学类型分带与其水动力条件吻合得很好。盆地孔隙水的补给区位于区内北、西、南部的边山一带。该区地下水补给径流条件好,其水化学类型以低矿化度的重碳酸型、重

^①韩颖,马汉田,张宏民,等.山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价报告.山西省地质调查院,2007.

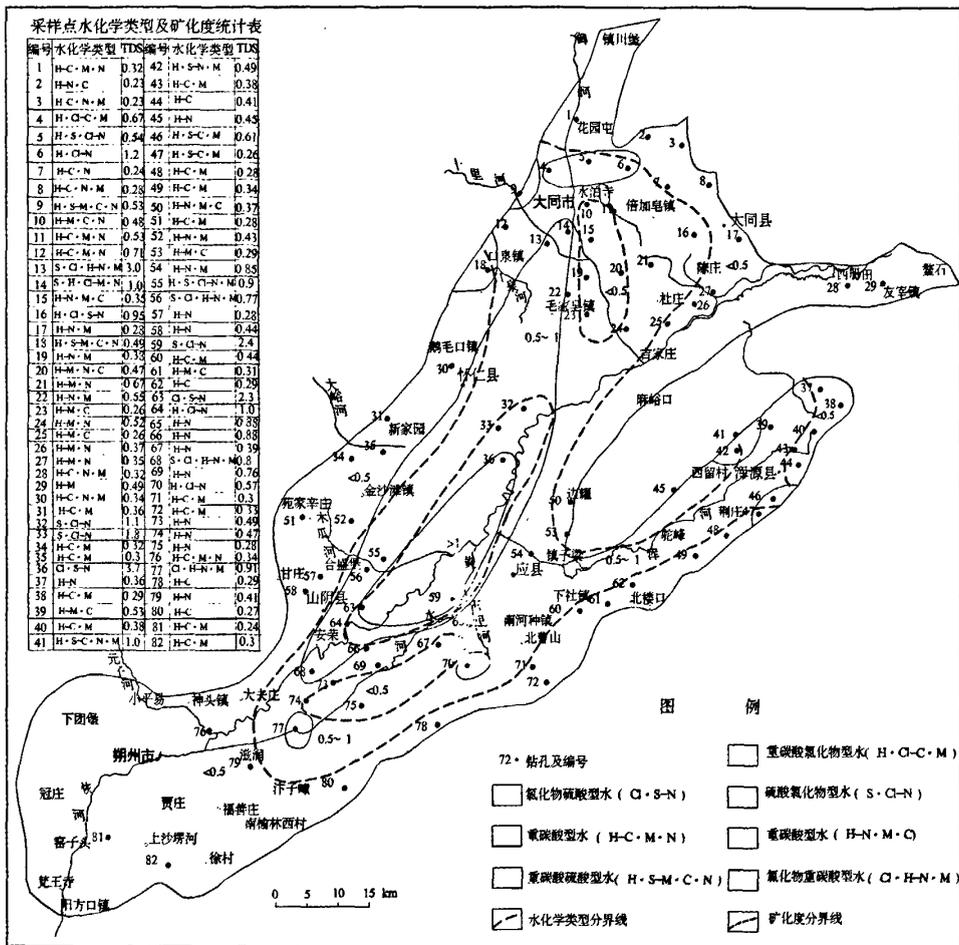


图 5 大同盆地中深层孔隙水水化学图

Fig.5 Hydrochemical map of middle-deep pore water in Dotong

在独立的洪积扇水文地质单元上,地下水水质变化也呈现出一定的规律性。在洪积扇顶部,地下水水位埋深较大,蒸发较小,水力传导性好,地下水各组分的浓度在洪积扇顶部相对较低。而随着地下水埋深和水力传导性的减小,蒸发浓缩作用的加大以及人类活动强度的增加,到了洪积扇的底部,地下水各组分的质量浓度则变得较大。

总之,在地下水流动系统的不同部位,地下水发生的水文地球化学作用也有差异,在补给区以溶滤作用为主;在径流区以离子交换作用为主;在排泄区以蒸发浓缩作用、沉淀作用、离子交换作用为主^[45]。这些不同的水文地球化学过程影响着地下水的水化学性质。由补给区至径流区再到排泄区,地

下水经历的在水化学作用依次为溶滤型、径流型和蒸发型,水化学类型由 HCO₃ 型、HCO₃·SO₄ 型、HCO₃·SO₄·Cl 型至 SO₄·Cl 型,总溶解固体量由低变高。补给区、径流区到排泄区主要水化学指标见表 2。

4.3 盆地孔隙水水化场演化

根据 1989 年《山西省大同盆地土壤改良勘察报告》^①,对比 1989 年和 2004 年两期盆地浅层水化学场,发现 15 年来,盆地区浅层孔隙水水化学类型发生了变。

1989 年盆地浅层孔隙水类型主要为重碳酸型、重碳酸硫酸型、重碳酸氯化物型、硫酸重碳酸型、硫酸氯化物型、氯化物重碳酸型等类型,盆地中部山

①阎世龙,贺常胜,张文华,等. 山西省大同盆地土壤改良勘察报告,山西省地质工程勘察院.1989.

表2 大同盆地孔隙地下水水化学指标(mg/L)统计结果表
Table 2 Stat. result of groundwater hydrochemistry concentration

项目	浅层孔隙地下水				中深层孔隙地下水			
	补给区	径流区	排泄区	全区	补给区	径流区	排泄区	全区
	平均值	平均值	平均值	平均值	平均值	平均值	平均值	平均值
	(n=44)	(n=46)	(n=46)	(n=136)	(n=49)	(n=24)	(n=17)	(n=90)
TDS	428.12	595.89	1980.40	987.08	411.73	540.75	1286.90	611.44
Ca ²⁺	63.16	48.69	52.61	54.85	52.30	49.61	28.72	47.13
Mg ²⁺	32.45	42.71	122.81	65.16	28.24	40.80	47.74	35.27
K ⁺	1.99	5.87	6.33	4.71	2.54	2.33	8.61	3.63
Na ⁺	38.44	100.10	491.73	205.95	48.73	86.27	370.28	119.48
Cl ⁻	29.87	65.23	473.21	185.26	30.27	58.96	278.42	84.80
SO ₄ ²⁻	71.51	102.37	491.95	219.06	66.05	100.50	305.50	120.46
HCO ₃ ⁻	273.43	327.51	550.90	381.49	268.62	320.23	420.90	311.15
CO ₃ ²⁻	4.27	14.26	19.53	12.65	5.42	10.56	14.23	8.45
NO ₃ ⁻	34.39	47.80	47.41	43.14	27.64	19.10	17.40	23.43
F ⁻	0.85	1.28	1.87	1.33	0.81	1.01	1.22	0.94
Sr	2.51	1.04	1.46	1.67	0.59	1.01	0.82	0.75
偏硅酸	17.65	16.71	14.07	16.18	20.22	20.72	15.77	19.51

阴-应县一带矿化度大于2 g/L,向边部依次为1~2 g/L,0.5~1 g/L,<0.5 g/L。在水平方向上具有以盆地中部为中心,呈环状分布的特点。从四周到中心,水质由好变差^[5,6]。

2004年测试结果表明,水质类型主要为重碳酸型、重碳酸硫酸型、重碳酸氯化物型、硫酸型、硫酸氯化物型、氯化物型等类型,中部以氯化物型水为主,局部地方矿化度大于3 g/L,水平分带性与15年前基本一致。大同盆地浅层孔隙水的水化学特征总体变化不大,中部蒸发浓缩作用强烈,水化学类型复杂,水质差。

过去对盆地中深层水化学资料积累较少,研究程度较低,不能全面对比分析,据局部水质资料和相关研究反映^[6],在盆地地下水降落漏斗区,人为污染的影响和混合开采使得水质较差的浅层地下水越流补给下部孔隙水,造成其水质变差^[5,10],TDS增大。

5 结论

(1)通过20前大同盆地地下水水位实测资料与本次实测资料对比分析,得出大同盆地流场变化情况,总的规律是盆地西部水位下降较东部多,南北较中部水位下降速率快。也就是补给、径流区的

地下水位下降幅度大,而排泄区较小。在边山冲洪积扇中上部水位下降最大,大同市西边山下降约18~20 m,怀仁边山下降10 m,山阴-朔州下降20 m,东部边山一般下降5~10 m,下降幅度较西侧小,区域地下水流场变化特征与本区的水文地质条件与开采状况相一致。

(2)通过全区浅层和中深层孔隙水水化学特征研究,给出盆地浅层和中深层孔隙水水化学图,发现浅层孔隙水化学类型较中深层孔隙水多,TDS相应较高。地下水的水化学特征具有与水动力条件一致的分带性,水化学特征反过来验证了地下水的补、径、排条件。中深层水大于1 g/L的咸水区与浅层地下水分布区形态基本一致,只是面积略有减少。和1989年对比^[7],大同盆地浅层地下水水化学类型及其水平分带性总体改变不大,局部略有变化,中深层孔隙水局部由于过度开采和人为污染,水质变差。

参考文献:

- [1] 王焰新,郭华明,闫世,龙等.浅层孔隙水地下水系统环境演化及污染敏感性研究-以山西大同盆地为例[M].北京:科学出版社,2004.
- [2] 张宗祜,沈照理,薛禹群,等.华北平原地下水环境演化

^① 阎世龙,贺常胜,张文华,等.山西省大同盆地土壤改良勘察报告,山西省地质工程勘察院.1989.

- [M],北京:地质出版社,2000.
- [3]孙晓明,吴登定,肖国强,等.环渤海地区地下水资源与环境地质若干问题探讨[J].地质调查与研究,2006,29(1):47-55.
- [4]李文鹏,郝爱兵.中国西北内陆干旱盆地地下水形成演化模式及其意义[J].水文地质工程地质,1999,26(4):28-36.
- [5]陆铮,王金荣,黄伟,等.地下水超采引起的水环境变化[J].黄河水利,1995,2:30-32.
- [6]沈照理,朱宛华,钟佐荣,等.水文地球化学基础[M].北京:地质出版社,1993.
- [7]周仰效,李文鹏.地下水水质监测与评价[J].水文地质工程地质,2008,35(219):1-9.
- [8]刘凌,王翔.大同市地下水污染趋势预测研究[J].水文地质工程地质,1997,1:39-42.
- [9]毕二平,母海东,陈宗宇,等.人类活动对河北平原地下水水质演化的影响[J].地球学报,2001,20(4):365-368.
- [10]廖资生,林学钰.松嫩盆地的地下水化学特征及水质变化规律[J].地球科学,2004,29(1):96-102.

Characters of the Groundwater Flow Field and Hydrochemistry Field in Datong Basin

HAN Ying

(Shanxi institute of Geological Survey, Taiyuan 030024, China)

Abstract: According to the regional hydrogeologic and environmental geological survey, this paper studies the flow field and chemistry field of the groundwater by testing the groundwater samples from shallow and middle-deep layers. Based on the former survey result in 1986, we analyses the change characters of the flow field, chemistry field and water level decline in Datong basin. The conclusions is that the groundwater level declined faster in the western part of the basin than in the eastern part, and dropping degree of the groundwater level is bigger in recharge area and runoff area than in discharge area. It is also suggested that the chemical type of pore water in the shallow layer is more than in the middle-deep layer, and the chemical types of groundwater inosculate the hydynamical condition and the chemical types of groundwater of shallow layer are more complex than middle-deep layer. Contrasting with that in 15 years gao, the chemical types and zonation of the groundwater of shallow layer changed less, and the water in the middle-deep layer changed worse because of over pamping and artificial pollution.

Key words: Datong basin; hydrochemistry field; croundwater flow field