

西北内陆张掖盆地地下水温度变化特征 及其指示意义

连英立¹⁾, 张光辉¹⁾, 聂振龙¹⁾, 艾婷²⁾

1) 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061;

2) 河北工程大学经济管理学院, 河北邯郸 056038

摘要: 通过西北内陆张掖盆地地下水温度变化特征研究表明: 最近 20 年(1990—2009)研究区内潜水和承压水温度分别下降了 0.78℃ 和 1.17℃, 与气温升高导致山区冰雪融水和降水量增加有关; 同时, 人类开采采用地下水强度增大使得研究区内潜水和承压水温度变化趋势近同。盆地平原区地下水温度变化与山区气温和降水量变化成反比关系, 即山区气温升高、降水量增加, 盆地地下水温度降低; 山区气温降低、降水量减少, 盆地地下水温度升高。由于盆地平原区地下水补给水源的 70%~90% 来自上游祁连山区降水和冰雪融水出山地表径流, 水温较低, 因此, 盆地平原区地下水温度变化程度反映着其获取有效补给水量多少, 具有一定的指示意义。

关键词: 张掖盆地; 地下水; 温度; 影响因素; 指示意义

中图分类号: P332; P641 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2011.02.08

Groundwater Temperature Variation in the Zhangye Inland Basin of Northwest China and Its Indications

LIAN Ying-li¹⁾, ZHANG Guang-hui¹⁾, NIE Zhen-long¹⁾, AI Ting²⁾

1) *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050061;*

2) *School of Economic Management, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038*

Abstract: A study of groundwater temperature variation in Zhangye inland basin shows that the shallow groundwater and the confined groundwater decreased by 0.78℃ and 1.17℃ respectively in the study area from 1990 to 2009. This phenomenon was related to the increasing of melt water and precipitation caused by the air temperature rising in mountain areas. Meanwhile, the increase of groundwater exploitation led to the nearly same development trends of the temperature of the shallow groundwater and that of the confined groundwater in the study area. The groundwater temperature of the basin plain was in inverse proportion to the air temperature and precipitation in the mountain area. It means that, when the mountain temperature and precipitation increase the basin groundwater temperature decreases, and when the mountain temperature and precipitation decrease the basin groundwater temperature increases. 70%-90% of the basin plain groundwater recharge which is at low temperature comes from the upstream of Qilian Mountains, and therefore the variation degree of basin plain groundwater temperature indicates the quantity of the effective recharge that the groundwater obtains, and has indicative significance to certain extent.

本文由国家科技支撑计划项目(编号: 2007BAD69B02; 2009BADA3B05)、国家自然科学基金项目(编号: 40602032)和河北省科技厅重点基础研究项目(编号: 08966711D)联合资助。

收稿日期: 2010-12-14; 改回日期: 2011-03-14。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 连英立, 男, 1982 年生。博士研究生。主要从事地下水资源可持续利用研究。E-mail: lianyingli123@163.com。

通讯作者: 张光辉, 男, 1959 年生。研究员, 博导。长期从事区域水循环演化和地下水可持续利用研究。E-mail: Huan-jing@heinfo.net。

Key words: Zhangye basin; groundwater; temperature; influencing factors; indicative significance

地下水温度是地下水动态研究的一项重要内容。地下水温度的变化可以反映地下水补给水源组成、径流和排泄条件的变化,并从一定程度上反映气候条件变化和人类活动对地下水的影响。全球气候变化国际间政府合作组织(IPCC)于2007年11月发布的第四次全球气候变化报告指出,最近100年(1906—2005年)中,全球气温普遍升高,且在北半球高纬度地区气温升幅较大,全球气温升高线性趋势为 0.74°C (IPCC, 2007)。根据中国气象科学数据共享服务网提供的数据计算得出,张掖盆地最近20年(1990—2009)中的气温升高线性趋势为 1.14°C ,其上游山区气温升高的线性趋势为 1.27°C ,均大于全球平均值。在此背景下地下水温度如何变化及其指示意义何在成为众多学者关注的科学问题,国内外的有关学者就此开展了相关研究(Gosnold et al., 1997; Bodri et al., 2001; 方燕娜等, 2005; Miyakoshi et al., 2005; 方燕娜等, 2006; 林学钰等, 2009; Taylor et al., 2009),普遍认为气候变暖是导致地下水温度升高的主要原因,地下水温度升高是地下水对全球气候变暖的一种响应。但这一研究结果是否适用于所有地区有待考究,特别是在我国西北内陆盆地,地下水主要来源于出山河水入渗补给,且上游补给源区存在冰川,其温度变化规律及其指示意义如何尚不清楚,仍需做大量深入的研究。

本研究以河西走廊张掖盆地为例,以多年地下水温度动态观测数据和气候变化观测资料为基础,分析了近20年来的地下水温度变化规律,揭示了不同层位地下水温度与各气候要素之间的内在联系,并探讨了影响其变化的主导因素,进而阐明地下水温度变化的指示意义。

1 研究区概况

研究区张掖盆地位于河西走廊中部黑河流域中游,东起民乐永固隆起,西至高台—南华榆木山构造隆起地下水汇水区,南、北界于祁连山与龙首山、合黎山之间,是一个沿SE-NW向展布的半封闭的大型山间断陷盆地,面积 5062 km^2 ,年降水量 120 mm ,年水面蒸发量大于 2050 mm ,年平均气温 7.5°C ,属于温带干旱气候(张光辉等, 2005b; 贾艳琨等, 2008)。研究区内的主要河流有黑河、梨园河和山丹河(图1)。

由于降水量小蒸发量大,使得盆地自产水资源能力不足10%,盆地地下水主要依赖祁连山区出山

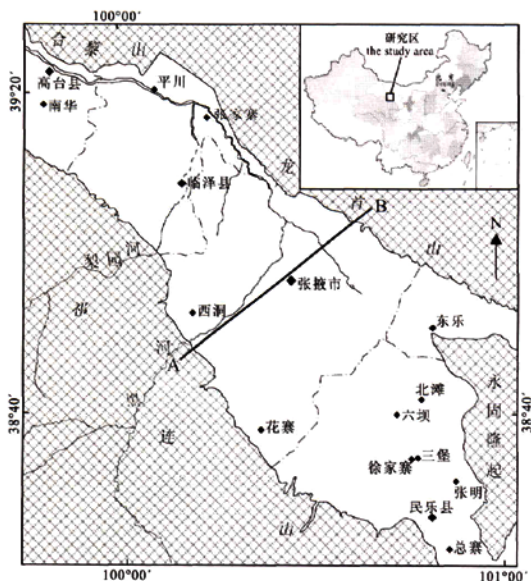


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

口地表径流补给,包括冰川雪融水、降水和基岩裂隙水(基流)补给,他们与祁连山区的气候变化密切相关(张光辉等, 2006, 2005c)。研究区内地下水按埋藏特征划分,南部为单层结构潜水系统和北部为多层结构潜水—承压水系统(图2)。由祁连山山缘至洪积扇扇缘的溢出带,为单层结构的潜水系统。山前洪积扇顶部地下水水位埋深大于 200 m ,含水层由粗颗粒的砂砾卵石组成。至扇中地带,地下水水位埋深 $150\sim 50\text{ m}$,含水层中含泥质渐多。在扇缘地带,含水层颗粒渐细,地下水水位埋深渐浅。至张掖—临泽一带,地下水以泉的形式溢出,含水层结构由单一的潜水系统渐变为多层的潜水—承压水系统。在黑河—山丹河沿岸地带,地下水水位埋深小于 3 m ,沟壑和洼地内有成片泉水出露。在山前地带,接受出山河水入渗补给,地下水矿化度 $<1\text{ g/L}$,属于 HCO_3 型水。

在溢出带以下的细土平原,为多层结构的潜水—承压水系统,含水层以亚砂土、亚粘土和砂砾石互层为主,含水层单层厚度 $20\sim 30\text{ m}$,第一承压含水层顶板埋深 10 m 以上,承压水头一般高于潜水位 $1\sim 2\text{ m}$,在临泽的农场—小屯一带为自流区,地下水水位高出地表 $0.5\sim 3.0\text{ m}$ 。潜水的矿化度 $>1\text{ g/L}$,为 $\text{SO}_4\text{-HCO}_3$ 或 SO_4 型水,承压水的矿化度 $<1\text{ g/L}$,为 HCO_3 型水。

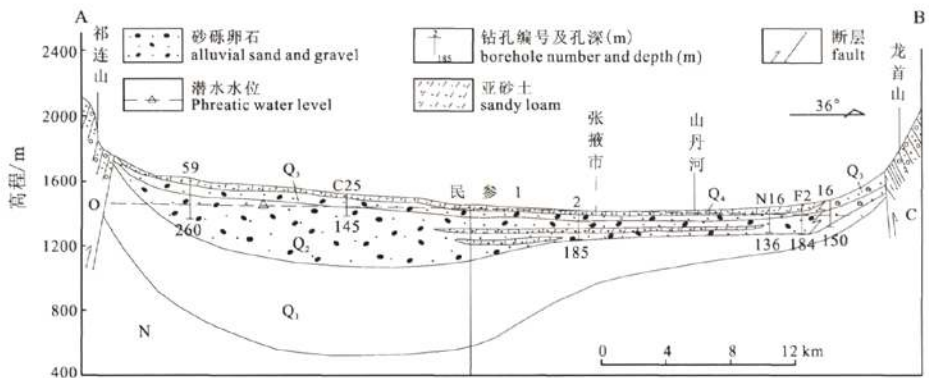


图 2 张掖盆地水文地质剖面图
Fig. 2 Hydrogeological section of Zhangye basin

2 地下水温度变化特征

此次研究选取了研究区内 1990—2009 年间近 100 眼观测井的地下水水温观测资料(个别井和年份温度资料缺失), 和黑河上游山区和中游盆地的气温、降水资料, 取各观测资料的多年(1990—2009)月平均值做出了研究区内地下水温度、气温、降水的年内变化曲线(图 3), 同时取其年平均值做出了研究区内气温、降水量、水位埋深和地下水温度年际变化曲线(图 4)。

2.1 地下水温度的年内变化特征

研究区内潜水平均温度为 10.9℃, 承压水年平均温度为 10.7℃, 从(图 3)可以看出潜水和承压水的年内最低温均出现在 3 月份, 最低温度分别为 9.5℃和 9.7℃, 盆地潜水的年内最高温度出现在 9 月

份为 12.5℃, 承压水的年内最高温度出现在 10 月份为 11.8℃。从变化趋势来看, 研究区内潜水和承压水年内均呈现下降—上升—下降的变化趋势, 但潜水温度的年内变化较承压水剧烈, 其年内最低和最高温度均小于和大于承压水, 其年内变化幅度, 潜水约为 3℃, 承压水约为 2℃。

从(图 3)可以看出, 山区和盆地的气温、降水年内变化存在较高的一致性, 均呈现上升—下降的变化趋势, 气温和降水的年内最大值在山区和盆地均出现在每年的 7 月份, 山区和盆地的最低气温均出现在每年的 1 月份, 降水量最小值山区出现在每年的 12 月份, 盆地出现在每年的 2 月份。研究区内潜水温度的最大值分别滞后于山区和盆地的气温、降水 2 个月出现; 承压水温度最大值分别滞后于山区和盆地的气温、降水 3 个月出现。如果从多年连续变

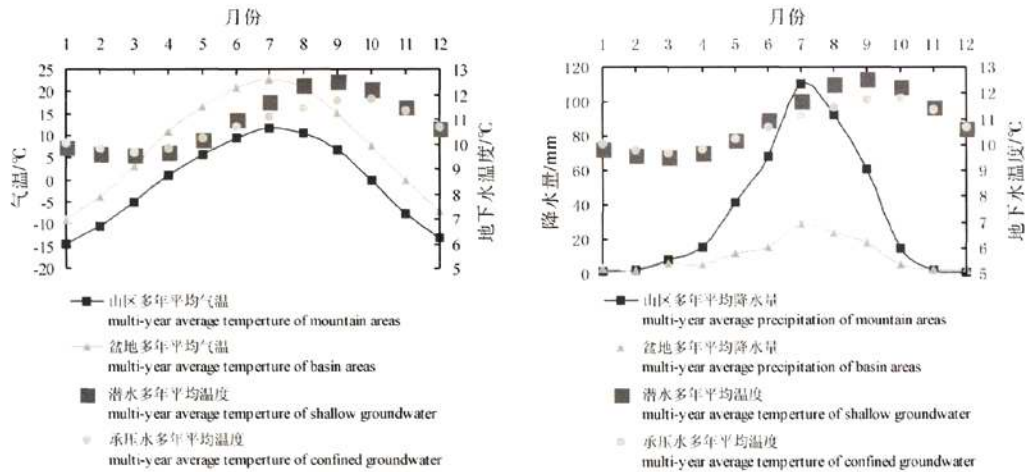


图 3 研究区气温与地下水温度、降水量与地下水温度年内变化关系图
Fig. 3 Variation curve of atmospheric temperature and groundwater temperature(a), precipitation and groundwater temperature(b) within a year in the study area

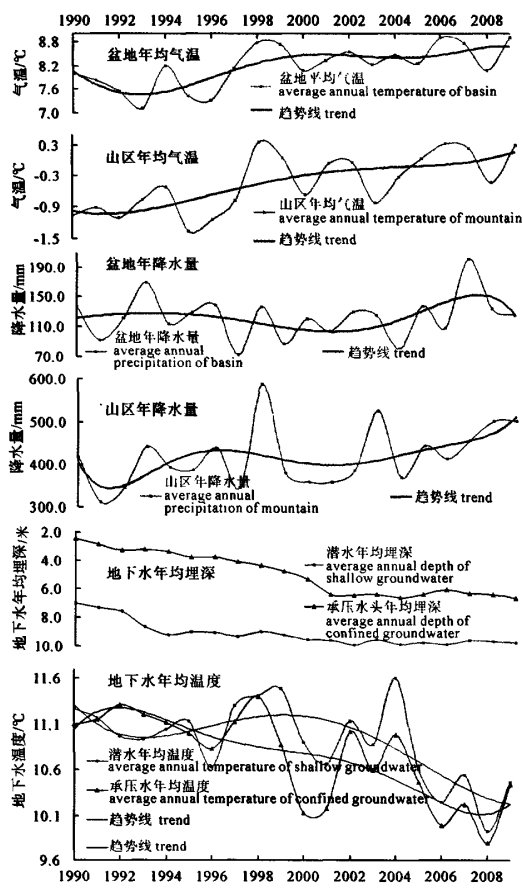


图4 研究区气温、降水、与地下水位、温度年际变化曲线

Fig. 4 Variation curve of temperature, precipitation, water table and groundwater temperature between various years in the study area

化来看, 每年的3—9月份是潜水温度的上升期, 9月份至次年的3月份为潜水温度的下降期, 其中, 5—8月份上升幅度最大, 10—12月份下降幅度最大; 每年的3—10月份是承压水温度的上升期, 10月份至次年的3月份为承压水温度的下降期, 其中4—7月份上升幅度最大, 10—12月份下降幅度最大。

2.2 地下水温度的年际变化特征

相比年内变化, 人们更关心地下水长时间的年际变化。从(表1)和(图4)可以看出, 最近20年(1990—2009)中, 研究区内潜水和承压水的年平均温度均呈现下降的趋势, 分别下降了0.78℃和1.17℃, 下降速率分别为-0.04℃/a和-0.06℃/a, 承压水温度的下降速率是潜水的1.5倍。由(图4)可以看出, 1990—1995年间研究区潜水和承压水温度呈现互逆变化, 其分别经历了降低—升高、升高—降低的过程, 且在此过程中, 潜水和承压水分别于1992年和1993年达到最大值和最小值, 期间承压水温度高于潜水温度, 最大差值约为0.4℃。1995—1998年间潜水与承压水温度变化趋势相同, 只有1996年承压水温度高于潜水温度, 其余年份承压水温度均低于潜水温度。自1998年之后研究区内潜水和承压水均呈现显著下降趋势, 其中2004年出现较大幅度回升, 但总体上呈现波动下降的趋势。在此过程中(1998—2009), 潜水和承压水的温度波动变化趋势也趋于相同, 尤其是自2001年之后, 波动变化趋势完全一致, 且承压水温度低于潜水温度, 二者温度差值与波动幅度大小成正比, 且自2001至2009年潜水、承压水平均温度差值呈变小的趋势, 到2009年二者差值几乎为0。在1998—2009年间分别于1998—2001年和2004—2006年两次出现较大幅度下降, 且持续时间均为2~3年。同时, 在2002年地下水温度出现一次较大幅度回升。

3 地下水温度变化影响因素分析

影响地下水温度变化的因素主要有: 热源(太阳辐射和地球内部热流)、地质条件(包括地层岩性、构造、地形等)、补给水源特征(包括河水补给和当地降水补给的温度等特征)、当地气候和人类活动影响等(方燕娜等, 2005; 方燕娜等, 2006; 林学钰等, 2009)。对于同一地区, 地质条件短时期内不会发生大的变化, 其对地下水温度短期内变化影响不大,

表1 研究区气温、降水与地下水温度变化表
Table 1 Temperature, precipitation and groundwater temperature variation in the study area

项目	1990年	2009年	变化率	变化量	变化百分比/(%)
山区年降水量/(mm)	370.57	465.82	5.01	95.25	25.70
盆地年降水量/(mm)	116.74	129.02	0.65	12.28	10.52
山区年均气温/(℃)	-1.00	0.27	0.07	1.27	127.05
盆地年均气温/(℃)	7.62	8.76	0.06	1.14	14.91
潜水年均温度/(℃)	11.25	10.47	-0.04	-0.78	-6.94
承压水年均温度/(℃)	11.25	10.08	-0.06	-1.17	-10.41

注: 表中1990和2009年份数据由线性趋势回归方程计算所得。

盆地内潜水平均水位埋深在 8~10 m, 太阳辐射和地球内部热流对其年均温度变化影响微乎其微(巴建文等, 2009), 因此研究区地下水温度变化主要受补给水源温度以及当地气候和人类活动的影响。

由(图 5)可以看出, 盆地地下水温度的分布规律是由山前向盆地水温逐渐升高, 由东南向西北水温逐渐升高, 即与地下水水流场方向一致; 同时与盆地内距河道的距离成正比, 距离河道越近温度越低, 距离河道越远, 温度越高, 这也证明了盆地地下水主要补给来源为出山径流且补给水源温度低于盆地地下水温度, 出山河水经过长途运移后吸收盆地内的热能, 温度逐渐升高。地下水水流场中水温的变化属于地下水热量运移范畴。地下水热量运移是一个非常复杂的过程, 其不仅与地下水及其所在的介质有关, 而且与地下水的运动状态有密切的关系(王锦国等, 2001), 在水温和流经介质相同的情况下, 流速越快吸热越少, 温度变化越小; 流速越慢吸热越多, 水温变化越大。(注: 其中个别不符合规律的高温点大都位于泉水溢出带, 地下水流速较慢, 受盆地辐射和气候变化影响较大。)

导致最近 20 年来(1990—2009), 研究区内潜水和承压水温度分别下降 0.78℃和 1.17℃的原因主要有以下 3 个方面:

(1) 研究区地下水补给量增大

普遍认为, 盆地 70%~90%的地下水补给来源于山区(张光辉等, 2005a), 山区降水量的增加直接

导致出山径流量增加, 进而使得盆地地下水补给量的增加。由(表 1)可以看出最近 20 年(1990—2009), 山区和盆地的降水量分别增加了 1/4 和 1/10, 分别为 95.25 mm 和 12.28 mm, 增加速率分别为 5.01 mm/a 和 0.65 mm/a。平均山区每增加 1 mm 降水, 盆地地下水(含潜水和承压水)温度下降 0.01℃。研究区内黑河与梨园河多年平均(1956—2009)流量为 18.44 亿 m³/a, 2003—2009 年平均流量为 21.45 亿 m³/a, 为近 60 年来的最丰时期(图 6)。

(2) 补给水源组成发生变化, 补给水源温度降低

在研究区的上游山区存在大量冰川, 且普遍很小, 最大的也只有 2.48 km², 绝大部分的冰川面积 <1 km², 所以它们对温度的反应很敏感(聂振龙等, 2001; 阳勇等, 2007)。由(表 1)可以看出最近 20 年(1990—2009), 山区和盆地的气温分别升高了 1.27℃和 1.14℃, 升高速率分别为 0.07℃/a 和 0.06℃/a。根据中国气象科学数据共享服务网提供的数据, 山区 1990 年 4 月和 10 月的平均温度分别为 -1.0℃和 -1.8℃, 到 2009 年分别为 3.9℃和 0.8℃, 均达到 0℃以上。由(图 7)可以看出山区气温升高速率 1 月、

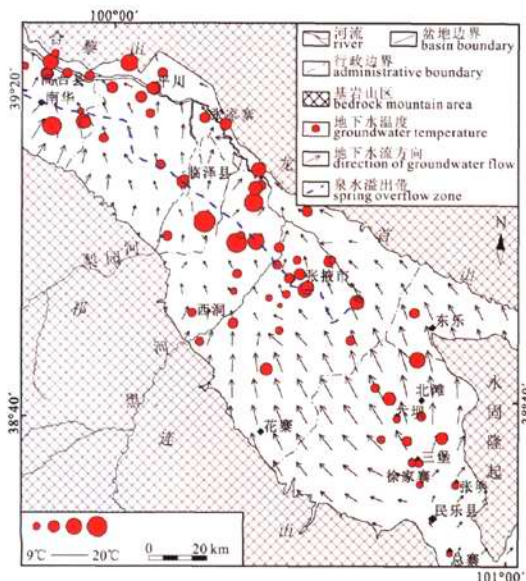


图 5 研究区内采样点潜水温度分布图(2007-9)

Fig. 5 Distribution of shallow groundwater temperatures of sampling points in the study area in September, 2007

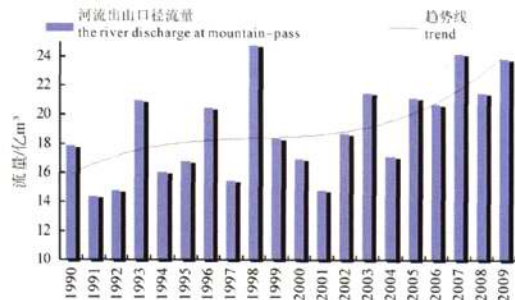


图 6 研究区内河流出口流量图

Fig. 6 River discharge at the mountain-pass in the study area

注: 此处出口径流量是指研究区内黑河与梨园河出口径流量之和

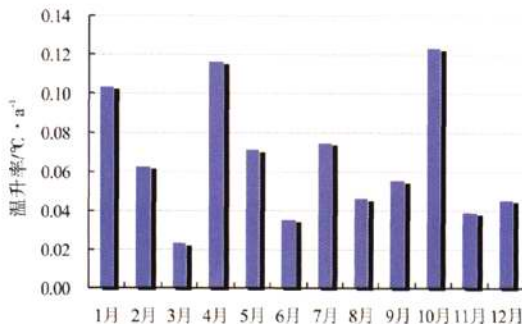


图 7 山区气温升高率(1990—2009)

Fig. 7 Temperature rise rate in the mountain area (1990—2009)

4 月和 10 月份最为明显均超过了 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 其中 10 月份最高超过了 $0.12^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。4 月和 10 月分别为冬春和秋冬季节的交替期, 该时段的气温升高直接导致山区融雪期延长, 融雪径流过程提前, 融雪径流量显著增长, 径流模数增加(王建等, 2005; 贺建桥等, 2008), 从而最终使得山区水源温度趋于下降的趋势。

(3)埋藏条件和补给途径不同导致潜水和承压水温度下降速率不同

研究区内潜水平埋藏深度较浅, 平均在 8~10 m 左右, 其主要补给来源为引河灌溉和河流侧渗, 在长距离的地表运移过程中吸热较多, 且存在强烈的蒸发影响(陈宗宇等, 2006); 而承压水的补给是由山区来水在山前经由粗颗粒砂砾石快速渗入地下(张光辉等, 2005a), 以潜流的方式补给, 水的运移过程吸热较少, 加之盆地承压水埋深普遍大于 80 m, 因此在相同的补给水源条件下, 研究区内潜水温度下降速率比承压水速率要小。

1990—1995 年间研究区潜水和承压水温度呈现互逆变化, 且承压水温度高于潜水温度, 出现这种逆反趋势的原因有以下 2 个方面:

(1)潜水平埋深较浅, 水温受埋深和盆地气候控制

1990—1995 年间统计的观测井中, 75%的观测井潜水平埋深在 10 m 以浅, 使得研究区潜水温度受盆地气候的影响较大。虽然在此期间山区降水量和出山径流量均经历了降低—升高的过程, 但是潜水并不是与山区降水量呈相反的响应过程。由(图 4)可以看出盆地气温在 1990—1995 年间经历了降低—升高的过程, 这一过程与研究区潜水温度的变化趋势相同。由(图 8)亦可以看出, 1990—1995 年间, 研究区内潜水温度与潜水平埋深之间的线性关系明显, 即埋深增

加温度降低, 埋深减小温度升高。因此, 在 1990—1995 年间潜水温度主要受控于埋深和盆地气候。

(2)山区降水量减少是盆地承压水温度升高的主要因素

由于盆地承压水位埋深较大, 且其补给途径主要由地下潜流补给, 因此其受盆地气候变化的影响很小, 其温度主要受控于山区降水量和补给水源温度变化, 而补给水源温度变化又与山区气温呈负相关。由图 4 可以看出, 1990—1992 年山区气温变化不大, 而同期山区降水量却减少了将近 100 mm, 山区降水量减少使得盆地承压水接受补给量减少, 水量减少导致补给水在地下运移过程中速度减慢吸热较多水温升高。因此, 山区降水量减少和运移过程中吸热升温是导致同期盆地承压水温度上升的主要原因。同样, 1992 年之后山区气温和降水量均呈升高的趋势, 这是导致同期盆地承压水温度下降的主要原因。

1998 年之后研究区内潜水和承压水温度变化趋势趋于相同, 尤其是自 2001 年之后, 变化趋势完全一致, 这主要是因为:

(1)2001 年之后山区气温和降水量持续增加使得盆地地下水得到充分的补给, 潜水平埋深增加, 受盆地气候影响减小

山区多年(1960—2009)平均气温为 -0.94°C , 2001—2009 年间平均气温为 -0.09°C , 高于多年平均值 0.85°C 。山区多年(1960—2009)平均降雨量为 409 mm/a, 其中 2001—2009 年平均降水量为 440 mm/a, 高于多年平均值 31 mm, 2003—2009 年更是达到了 460 mm/a, 高于平均值 51 mm。气温的升高导致山区融雪期延长(王建等, 2005), 冰川雪融水增加, 补给水源温降低; 降水增加使得出山口河流量增大, 盆地地下水得到充分补给。同时, 潜水平埋深增加(图 4)使得其受盆地气候的影响减弱, 加之充足的补给最终使得潜水、承压水温度变化趋同。

(2)黑河调水方案的实施使得研究区内地下水开采量趋于增加, 原有的补给排泄方式被改变。

随着 2001 年黑河向下游额济纳旗调水方案的实施, 为了保证下游额济纳旗生态用水, 使得盆地地表引水量受限, 导致盆地深层地下水开采量增加。由于开采量数据较难统计, 因此没有直接的证据证明盆地内开采量增加, 但是, 由(图 9)可以看出, 在第一次实施分水方案的 2001 年, 研究区内开采井数量骤然增加了将近 900 眼, 约为前 5 年新增开采井数量的总和。同时, 由于绝大部分开采井都是混合开采, 导致盆地内潜水、承压水水力联系强度增

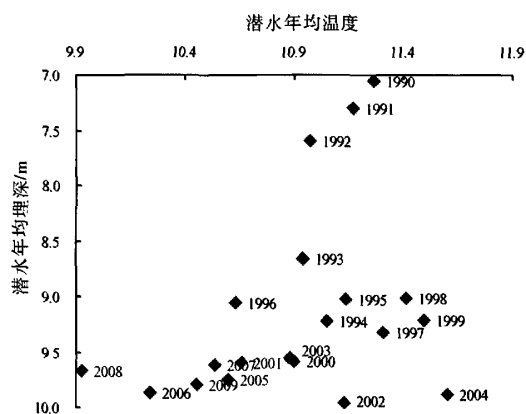


图 8 研究区内潜水平均温度、埋深散点图

Fig. 8 Scatter diagram of shallow groundwater temperatures and depths

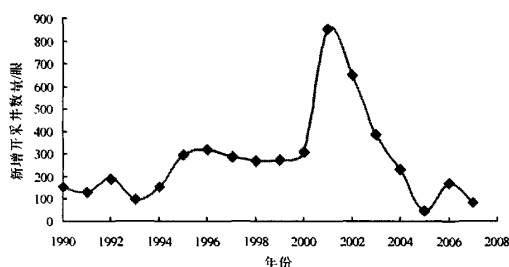


图9 研究区内年新增开采井数量曲线图

Fig. 9 Newly-increased mining wells every year in the study area

加,含水层之间连通性越来越好,进而使得各含水层的温度变化趋于相同。

众所周知,1998年由于厄尔尼诺—拉尼娜现象的出现导致全球气候异常,同年我国境内降水量激增,各地出现洪涝灾害,而西部地区也不例外。由(图4)可以看出,在1998年和2003年山区和盆地降水量和气温均出现较大峰值,其中1998年山区降水量约为多年平均值的1.5倍,短期内大量降水注入盆地是导致盆地地下水温度连续2~3年下降的主要原因。同样,2002年的温度升高与2000—2002年间持续干旱,山区降水量减少有很大关系,且这种影响也是在持续2~3年的干旱之后,地下水温度对气候变化做出的响应。因此,可以说地下水对极端气候的响应具有2~3年的滞后。

4 地下水温度变化的指示意义

上述分析表明,盆地平原区地下水温度与气候变化和人类活动的关系密切,因此,地下水温度的变化可以被看作是气候变化和人类活动强度的指示器。

首先,地下水温度在空间上的分布反应了研究区内地下水补径排条件,即盆地内地下水接受出山河水补给,沿地下水流场和河道的水温变化反应了地下水补给过程中的径流途径。

其次,由于盆地平原区地下水补给水源的70%~90%来自上游祁连山区降水和冰雪融水出山地表径流,水温较低,因此,盆地平原区地下水温度变化程度反映着其获取有效补给水量多少,具有一定的指示意义。

最后,由于贯通井和开采量的增加使各含水层之间连通性越来越好,导致区内潜水和承压水温度变化趋于相同。因此,研究区内潜水和承压水的温度变化趋同程度可以反映人类活动的强度,具有一定的指示意义。

5 结论

(1)研究区内潜水和承压水多年月平均温度年内变幅分别约为3℃和2℃,最低温度均出现在3月份,最高温度分别出现在9月和10月;潜水和承压水年内最高温度分别滞后山区和盆地气温、降水最大值2个月和3个月出现。

(2)最近20年(1990—2009)中,研究区内潜水和承压水的年平均温度均呈现下降的趋势,且其下降的线性趋势分别为-0.78℃和-1.17℃,下降速率分别为-0.04℃/a和-0.06℃/a,承压水温度的下降速率是潜水的1.5倍。

(3)山区气温升高降水量增加是导致盆地地下水温度下降的主要因素,且山区气温升高对研究区内承压水温度变化的影响要大于对潜水温度变化的影响,降水量增加对研究区内潜水温度变化的影响大于对承压水温度变化的影响;研究区内河流出口口径流增大和盆地平原区人类活动是导致2001年之后研究区内潜水与承压水温度变化趋势相同的主要原因。

(4)研究区内地下水温度对极端气候变化的响应具有2~3年的滞后。

(5)研究区内地下水温度变化程度可以反映其获取有效补给水量的多少,潜水和承压水温度变化的趋同程度可以反映人类活动强度的强弱,具有一定的指示意义。

参考文献:

- 巴建文,陈新民,田辽西,秦晓燕,刘振华. 2009. 甘肃省张掖市北郊湿地环境地质研究报告[R]. 甘肃张掖: 甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院.
- 陈宗宇,万力,聂振龙,申建梅,陈京生. 2006. 利用稳定同位素识别黑河流域地下水的补给来源[J]. 水文地质工程地质, (6): 9-14.
- 方燕娜,廖资生,陈洪艳,董维红. 2006. 吉林中部平原区地下水水温动态变化影响因素的关联度分析[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 36(1): 66-72.
- 方燕娜,林学钰,廖资生,陈洪艳. 2005. 吉林中部平原区浅层地下水温度对全球气候变暖的响应[J]. 冰川冻土, 27(6): 833-837.
- 贺建桥,宋高举,蒋熹,李全莲,武晓波. 2008. 2006年黑河水系典型流域冰川融水径流与出山径流的关系[J]. 中国沙漠, 28(6): 1186-1189.
- 贾艳琨,刘福亮,张琳,聂振龙,申建梅,陈宗宇. 2008. 利用环境同位素识别酒泉—张掖盆地地下水补给和水流系统[J]. 地球学报, 29(6): 740-744.

- 林学钰, 方燕娜, 廖资生, 陈洪艳. 2009. 全球气候变暖和人类活动对地下水温度的影响[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 45(Z1): 452-457.
- 聂振龙, 郭占荣, 焦鹏程, 董华. 2001. 西北内陆盆地水循环特征分析[J]. 地球学报, 22(4): 302-306.
- 王建, 李硕. 2005. 气候变化对中国内陆干旱山区融雪径流的影响[J]. 中国科学(D 辑), 35(7): 664-670.
- 王锦国, 周志芳, 金忠青. 2001. 地下水热量运移模拟的 BEM-FAM 耦合法[J]. 水利学报, (5): 71-76.
- 阳勇, 陈仁升, 吉喜斌. 2007. 近几十年来黑河野牛沟流域的冰川变化[J]. 冰川冻土, 29(1): 100-106.
- 张光辉, 陈宗宇, 聂振龙, 刘少玉, 张翠云, 申建梅, 王金哲, 程旭学, 张荷生. 2006. 黑河流域地下水同位素特征及其对古气候变化的响应[J]. 地球学报, 27(4): 341-348.
- 张光辉, 刘少玉, 谢悦波. 2005a. 西北内陆黑河流域水循环与地下水形成演化模式[M]. 北京: 地质出版社: 60-66.
- 张光辉, 聂振龙, 刘少玉, 陈宗宇, 张翠云, 申建梅, 王金哲, 程旭学, 张荷生. 2005b. 黑河流域走廊平原地下水补给源组成及其变化[J]. 水科学进展, 16(5): 673-678.
- 张光辉, 聂振龙, 张翠云, 申建梅. 2005c. 黑河流域走廊平原地下水补给变异特征与机制[J]. 水利学报, 36(6): 715-720.
- References:**
- BA Jian-wen, CHEN Xin-min, TIAN Liao-xi, QIN Xiao-yan, LIU Zhen-hua. 2009. Northern Suburb Wetland Environmental and Geological Research Report in Zhangye City, Gansu Province[R]. Gansu Zhangye: Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration Institute of Hydrogeology and Engineering Geology(in Chinese).
- BODRI L, CERMAK V, KUKKONEN I T. 2001. Climate change of the last 2000 years inferred from borehole temperatures: data from Finland[J]. Global and Planetary Change, 29(3-4): 189-200.
- CHEN Zong-yu, WAN Li, NIE Zhen-long, SHEN Jian-mei, CHEN Jing-sheng. 2006. Identification of groundwater recharge in the Heihe Basin using environmental isotopes[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, (6): 9-14(in Chinese with English abstract).
- FANG Yan-na, LIAO Zi-sheng, CHEN Hong-yan, DONG Wei-hong. 2006. Correlativity Analysis of the Affect Factors on Groundwater Thermal Regime in the Plain Area of Central Jilin[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 36(1): 66-72(in Chinese with English abstract).
- FANG Yan-na, LIN Xue-yu, LIAO Zi-sheng, CHEN Hong-yan. 2005. Impact of Global Warming on the Groundwater Temperature of Shallow Aquifer in the Plain Area of Central Jilin Province[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 27(6): 833-837(in Chinese with English abstract).
- GOSNOLD W D, TODHUNTER P E, SCHMIDT W. 1997. The borehole temperature record of climate warming in the mid-continent of North America[J]. Global and Planetary Change, 15(1-2): 33-45.
- HE Jian-qiao, SONG Gao-jü, JIANG xi, LI Quan-lian, WU Xiao-bo. 2008. Relation between Glacial Meltwater Runoff and Mountainous Runoff in 2006 in Four Typical River Basins of Heihe River Water System[J]. Journal of Desert Research, 28(6): 1186-1189(in Chinese with English abstract).
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press.
- JIA Yan-kun, LIU Fu-liang, ZHANG Lin, NIE Zhen-long, SHEN Jian-mei, CHEN Zong-yu. 2008. Recognition of Groundwater Recharge and Flow System in the Jiuquan-Zhangye Basin by Means of Environmental Isotopic Tracers[J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(06): 740-744(in Chinese with English abstract).
- LIN Xue-yu, FANG Yan-na, LIAO Zi-sheng, CHEN Hong-yan. 2009. Impact of Global Warming and Human Activities on Groundwater Temperature[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 45(Z1): 452-457(in Chinese with English abstract).
- MIYAKOSHI A, TANIGUCHI M, OKUBO Y, UEMURA T. 2005. Evaluations of subsurface flow for reconstructions of climate change using borehole temperature and isotope data in Kamchatka[J]. Physics of The Earth and Planetary Interiors, 152(4): 305-313.
- NIE Zhen-long, GUO Zhan-rong, JIAO Peng-cheng, DONG Hua. 2001. An Analysis of the Hydrological Cycle Characteristics in Interior Basins of Northwest China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 22(4): 302-306(in Chinese with English abstract).
- TAYLOR C A, STEFAN H G. 2009. Shallow groundwater temperature response to climate change and urbanization[J]. Journal of Hydrology, 39(3): 271-284.
- WANG Jian, LI Shuo. 2005. Effect of climate change on snowmelt runoff in arid mountain areas of China[J]. Science in China, Ser.D, 35(7): 664-670(in Chinese).
- WANG Jin-guo, ZHOU Zhi-fang, JIN Zhong-qing. 2001. Coupled method of BEM-FAM for simulation of groundwater thermal transport[J]. Journal of Hydraulic Engineering, (5): 71-76(in Chinese with English abstract).
- YANG Yong, CHEN Ren-sheng, JI Xi-bin. 2007. Variations of

- Glaciers in the Yeniugou Watershed of Heihe River Basin from 1956 to 2003[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 29(1): 100-106(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Guang-hui, CHEN Zong-yu, NIE Zhen-long, LIU Shao-yu, ZHANG Cui-yun, SHEN Jian-mei, WANG Jin-zhe, CHENG Xu-xue, ZHANG He-sheng. 2006. Isotopic Characteristics of Groundwater and Its Response to Paleoclimatic Variation in Heihe River Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 27(4): 341-348(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Guang-hui, LIU Shao-yu, XIE Yue-bo. 2005a. Evolution Model of Water Cycle and Groundwater Formation in North-west Inland Heihe River Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House: 60-66(in Chinese).
- ZHANG Guang-hui, NIE Zhen-long, LIU Shao-yu, CHEN Zong-yu, ZHANG Cui-yun, SHEN Jian-mei, WANG Jin-zhe, CHENG Xu-xue, ZHANG He-sheng. 2005b. Characteristic and variation of groundwater recharge resources in the middle reaches of Heihe River basin[J]. Advances in Water Science, 16(5): 673-678(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Guang-hui, NIE Zhen-long, ZHANG Cui-yun, SHEN Jian-mei. 2005c. Mechanism and characteristics of groundwater replenishment variation in middle reaches of Heihe River basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 36(6): 715-720(in Chinese with English abstract).

中国地质科学院 2010 年喜获 16 项科技奖

2010 年中国地质科学院荣获科技奖 16 项, 包括国家技术发明二等奖 1 项, 国土资源科学技术奖一等奖 4 项、二等奖 8 项, 其他省部级科技成果奖 3 项, 与 2009 年相比有较大幅度增长。

矿产资源研究所张荣华研究员长期从事高温高压流体和反应动力学研究, 先后发明多种新的高温高压化学传感器、有高温高压窗口的反应装置、高温高压检测标定实验平台, 发展了高温高压环境原位直测技术, 在国际核心刊物发表多篇学术论文, 获得 6 项国家发明专利和 2 项实用新型专利, 相关成果“高温高压流体和流动反应原位观测装置、方法、整合技术”荣获 2010 年度国家发明二等奖。

地质研究所杨经绥研究员和许志琴院士团队“青藏高原地体拼合、碰撞造山及隆升机制”、国家地质实验测试中心黄怀曾研究员团队“首都北京及周边地区水、土环境污染机理与调控原理”、矿产资源研究所毛景文研究员团队“中国东部中生代多阶段成矿的过程与背景”及地质力学研究所参加完成的“长江三峡链子崖危岩体防治工程”分别荣获 2010 年度国土资源科学技术奖一等奖。

地球物理地球化学勘查研究所朱立新研究员团队“城市环境地球化学调查异常查证方法技术研究”、国家地质实验测试中心饶竹研究员团队“多目标地质调查中主要有机物分析方法研究及应用”、地质研究所肖庆辉研究员团队“中国花岗岩重大地质问题研究”、矿产资源研究所祝有海研究员团队“我国陆域永久冻土带天然气水合物资源远景调查”、矿产资源研究所杨建民研究员团队“天山铜矿带找矿靶区优选”、矿产资源研究所赵一鸣研究员团队“战略性矿产单矿种编图及成矿规律研究”、地质研究所耿元生研究员团队“扬子地台西缘变质基底演化”及矿产资源研究所参加完成的“冷水坑银铅锌多金属成矿系统与隐伏矿预测研究”分别荣获 2010 年度国土资源科学技术奖二等奖。

地质研究所吕君昌完成的“河南省古生物化石地质遗迹资源调查评价”获河南省科学技术进步奖 2 等奖; 岩溶地质研究所完成的“中国水土流失与生态安全综合科学考察”、“岩溶峰丛洼地水土保持研究与示范”分别获得中国水土保持学会科学技术奖一等奖、二等奖。

本刊编辑部 采编