

The Age and Water Cycle of Shallow Groundwater in Hunchun Basin

Xufei Shi, Haiqing Zhao

Shenyang Center of Geological Survey, CGS, Shenyang Liaoning
Email: shixufei1986@163.com

Received: Feb. 5th, 2017; accepted: Feb. 24th, 2017; published: Feb. 27th, 2017

Abstract

The ³H method is applied to determine the age of shallow groundwater in Hunchun basin, which provides basis for the study of groundwater resource management and carrying capacity in Hunchun basin. It can be concluded that the age of the shallow groundwater in Hunchun basin is younger than 30 a in general and the groundwater cycle is fast. The age of shallow groundwater increases from less than 10 a to more than 20 a from the piedmont to the Hunchun River valley and from the northeast to the southwest. The groundwater distribution area, with age less than 10 a, between 10~20 and more than 20 a, accounts for 39%, 10% and 51% of the total area of Hunchun basin. The groundwater age of Qihudong village, Pingan village, Heping village which are shallow groundwater recharge area is less than 10 a, which means the groundwater circulation is fastest. The groundwater age of Zhonghua village, Tulu village, Chunjing village which are shallow groundwater runoff area is 10 ~ 20 a, which means the groundwater circulation is slower than the recharge area. The groundwater age of Baer village, Gucheng village which are shallow groundwater discharge area is more than 20 a, which means the groundwater circulation is slower than the recharge area and runoff area.

Keywords

Tritium, Groundwater Age, Groundwater Cycle, Hunchun Basin

琿春盆地浅层地下水年龄及其水循环特征

石旭飞, 赵海卿

中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳
Email: shixufei1986@163.com

收稿日期: 2017年2月5日; 录用日期: 2017年2月24日; 发布日期: 2017年2月27日

摘要

利用 ^3H 法对珲春盆地浅层地下水年龄进行了计算,为珲春盆地地下水资源管理和水资源环境承载力研究提供依据。结果表明:总体上,珲春盆地浅层地下水年龄均小于30 a,地下水循环交替较强。从山前地带向珲春河河谷地带、从东北向西南方向地下水年龄逐渐从小于10 a增大到大于20 a。年龄为小于10 a、10~20 a、大于20 a的地下水分布面积占珲春盆地总面积的比例分别为51%、42%、7%。七户洞村、平安村、和平村等浅层地下水补给区地下水年龄小于10 a,地下水循环交替强烈;中华村、图鲁村、春景村等浅层地下水径流区地下水年龄为10~20 a,与补给区相比地下水循环交替减弱;八二村、古城村等地是珲春盆地浅层地下水排泄区,地下水年龄大于20 a,地下水循环交替较弱。

关键词

氚, 地下水年龄, 地下水循环, 珲春盆地

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地下水作为水资源的重要组成部分在含水层中处于不断循环的状态[1]。然而,由于人们对地下水循环规律认识不足而进行的地下水不合理开采已经在很多地区导致了严重的环境地质问题[2] [3] [4] [5]。同位素技术是水循环研究的重要手段,有助于定量分析地下水的循环规律[6] [7] [8]。氢同位素作为水分子的组成部分参与地下水的循环演化,是定量分析地下水的循环规律的理想示踪剂[8] [9] [10]。利用同位素技术计算地下水年龄是地下水循环研究的重要内容,是分析地下水循环特征及评价其可更新性的重要手段。

珲春市是长吉图经济区对外开放的窗口,珲春盆地是珲春市的主城区和经济文化的中心区,也是工农业生产的核心区[11]。浅层地下水是珲春盆地工农业生产和生活用水的重要供水水源[12]。近十年来,受干旱性气候、地下水过量开采、煤矿疏干排水等因素的影响,珲春盆地地下水系统循环演化条件发生了显著变化。由于地下水的不合理开发利用,在珲春市哈达门、英安、三家子等地,已经出现了地下水水质恶化、地面沉降、地裂缝等一系列地质灾害。要从根本上解决这些问题,就需要深入研究珲春盆地地下水的循环规律。

综上所述,本次利用氚(^3H)同位素测年技术对珲春盆地浅层地下水循环规律进行了分析,为该地区地下水资源管理和水资源环境承载力研究提供科学依据。

2. 研究区地质、水文地质条件

珲春盆地位于珲春市中部,面积约 281.3 km²,北部和南部主要为波状台地,岩性主要为古近系砂岩和粉砂岩,东部有少量低山丘陵,岩性主要为二叠系砂岩、安山岩以及碎屑岩,西部为图们江,流向从北向南。珲春河从东北向西南方向流经研究区,汇入图们江。珲春盆地内第四系松散岩类地层广泛分布,其厚度从东北部、北部的 0~8 m 向西南部、南部逐渐增厚到大于 14 m 以及从珲春河河谷 6~10 m 向两侧逐渐变厚到大于 16 m。其中赋存于珲春盆地内的第四系松散岩类中的浅层地下水为本次的研究对象,含水层岩性以亚砂土、中细砂、粗砂、砂砾石等为主。

珲春盆地浅层地下水主要接受大气降水入渗补给,在北部、东部、南部山前地区还存在少量基岩裂

隙水的侧向径流补给。总体上, 珲春盆地浅层地下水由山前地带向珲春河谷地带、从东北向西南方向径流(图 1)。在北部山前地区, 浅层地下水由北向南径流; 东部山前地区浅层地下水由东向西径流; 南部山前地区浅层地下水由东南向西北方向径流。水力坡度由山前向平原逐渐减小。珲春盆地浅层地下水的排泄方式以人工开采为主, 其次为潜水蒸发、向珲春河和图们江径流排泄以及越流补给赋存于古近系地层中的承压水。

3. 样品采集与测试

本次工作于 2014 年 8 月在珲春盆地采集了 21 组地下水氡样品。样品采集于民井, 采样深度均为 4~6 m, 采样点分布如图 1 所示。样品采集时环境温度约 20℃, 采样设备为水泵和 500 mL 塑料瓶, 由中国地质科学院水文地质环境地质研究所利用超低本底液体闪烁谱仪(T)测试完成, 测试结果见表 1。

4. 地下水 ^3H 年龄的计算

4.1. 计算方法

本次计算地下水 ^3H 年龄的方法采用同位素数学物理模型法。同位素数学物理模型计算地下水 ^3H 年龄的原理为: 将地下水系统中氡的传输关系概化为线性规则并将地下水系统概化为线性的集中参数系统, 在稳定流条件下, 地下水中氡的输入和输出关系可用下列卷积公式描述[13]。

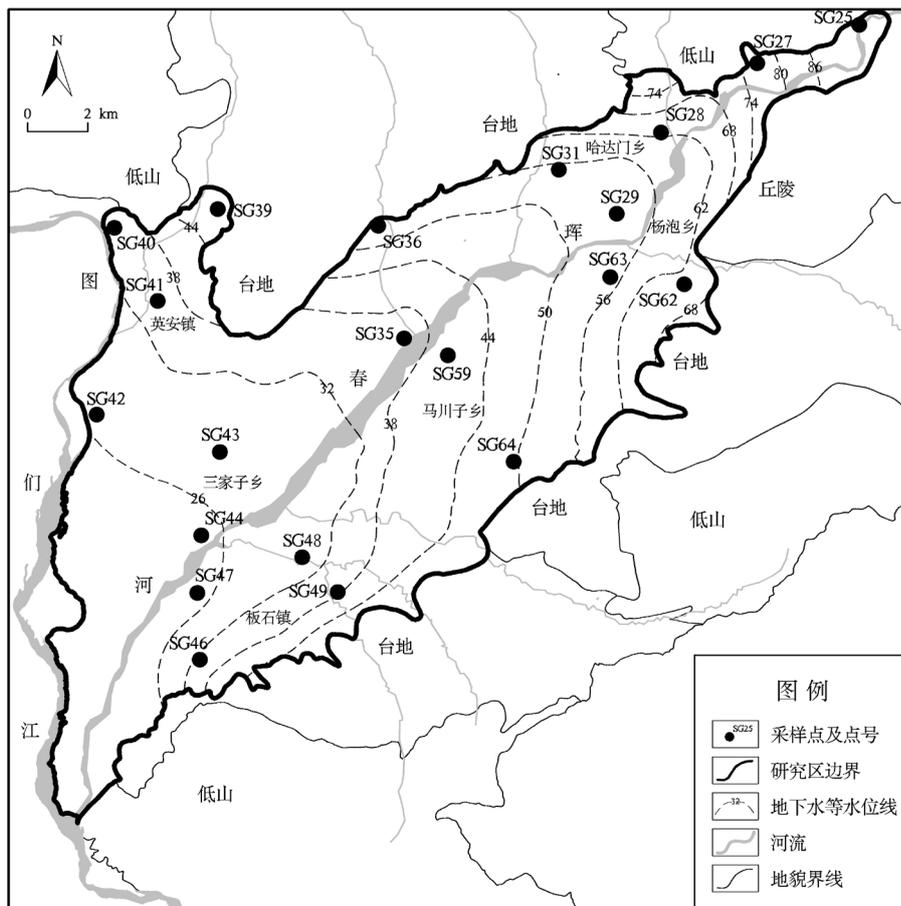


Figure 1. Overview of the study area and distribution of water samples
图 1. 研究区概况和采样点分布图

Table 1. The test results of water samples**表 1.** 样品测试结果

样品编号	T/TU	样品编号	T/TU	样品编号	T/TU
SG25	10.1	SG39	6.2	SG47	9.8
SG27	8.5	SG40	7.7	SG48	8.0
SG28	7.8	SG41	9.0	SG49	8.1
SG29	8.5	SG42	8.3	SG59	8.0
SG31	9.9	SG43	7.7	SG62	8.2
SG35	8.7	SG44	8.6	SG63	9.2
SG36	7.6	SG46	7.5	SG64	9.2

$$C_{\text{out}}(t) = \int_0^{\infty} C_{\text{in}}(t-\tau) e^{-\lambda\tau} \cdot g(\tau) d\tau \quad (\text{式 1})$$

式 1 中: t 为 ^3H 的输出时间, 即采样时间; $C_{\text{out}}(t)$ 为地下水系统 ^3H 的输出函数, 即 t 时刻地下水 ^3H 的浓度(样品 ^3H 的浓度); τ 为 ^3H 的在地下水系统中的传输(滞留)时间, 即地下水的年龄; $C_{\text{in}}(t-\tau)$ 为地下水系统的 ^3H 输入函数, 即 $t-\tau$ 时刻补给水源的 ^3H 浓度; $e^{-\lambda\tau}$ 为同位素衰变因子, λ 为 ^3H 衰变常数, 其值为 0.055764; $g(\tau)$ 为 ^3H 在地下水系统内年龄的分配函数, 不同的地下水流混合形式具有不同的年龄分配函数。由此可以看出, 同位素数学物理模型法计算地下水 ^3H 年龄所需要的主要参数为地下水系统的 ^3H 输入函数和年龄分配函数。

珲春盆地浅层地下水的补给来源主要为大气降水, 即地下水系统 ^3H 的输入来源主要为大气降水。由于研究区缺乏长期的大气降水 ^3H 浓度监测资料, 所以根据国际原子能机构在全球设置的大气降水 ^3H 浓度监测站分布及其监测时间情况, 本次利用 1970~1979 年的中国香港(Hongkong)站、日本东京(Tokyo)站、俄罗斯伊尔库茨克(Irkutsk)站、哈巴罗夫斯克(Habarovsk)站之间的空间相对位置和大气降水 ^3H 浓度系列资料, 通过建立多元函数的趋势面方程(式 2)计算得到研究区 1970~1978 年大气降水 ^3H 浓度系列; 利用 1979~1983 年的中国香港(Hongkong)站、俄罗斯伊尔库茨克(Irkutsk)站、哈巴罗夫斯克(Habarovsk)站、斯科沃罗季诺(Skovorodino)站、霍尔姆斯克(Holmsk)站和陵里(Ryori)之间的空间相对位置和大气降水 ^3H 浓度系列资料, 通过建立多元函数的趋势面方程(式 2) [14] [15] 计算得到研究区 1979-1983 年的大气降水 ^3H 浓度系列。

$$T_i(x, y) = A_i x + B_i y + C_i \quad (\text{式 2})$$

式 2 中: x 和 y 为各监测站的经度和纬度; $T_i(x, y)$ 为在 x, y 处第 i 年的大气降水 ^3H 浓度; A_i, B_i, C_i 为第 i 年大气降水 ^3H 浓度与监测站经纬度相关方程的系数。

通过相关系数显著性检验, 所求出的历年各相关方程均具有较好的代表性(表 2)。

已有研究证实, 世界各地与监测系列资料较为齐全的渥太华(Ottawa)站大气降水 ^3H 浓度相关系数一般都大于 0.9 [16], 因此利用计算得出的研究区 1970~1983 年大气降水 ^3H 浓度系列数据和渥太华站 1970~1983 年大气降水 ^3H 浓度系列数据建立相关方程(相关系数 0.93), 并利用该相关方程和渥太华(Ottawa)站大气降水 ^3H 浓度监测数据(1953~2012), 计算得到研究区 1953~1969 年和 1984~2012 年大气降水 ^3H 浓度系列数据。

由于目前收集到的渥太华(Ottawa)站大气降水 ^3H 浓度系列为 1953~2012 年, 尚缺乏 2013~2014 年的观测数据, 因此, 本次利用最小二乘法建立已恢复的研究区大气降水 ^3H 浓度与时间的回归方程, 计算得到研究区 2013~2014 年大气降水 ^3H 浓度。

综上, 本次研究计算得出的珲春盆地 1953~2014 年大气降水 ^3H 浓度系列如图 2 所示。

Table 2. Coefficients of trend-surface equations of ^3H concentration in precipitation in Hunchun basin
表 2. 珲春盆地大气降水 ^3H 浓度趋势面方程系数表

年份	A	B	C	相关系数
1970	-7.29	9.80	676.67	0.93
1971	-6.32	14.07	436.02	0.99
1972	-3.00	6.43	225.98	0.99
1973	0.03	6.90	-167.28	0.89
1974	-2.65	5.78	190.60	0.99
1975	-2.05	5.50	120.49	0.99
1976	-1.54	4.40	84.11	0.99
1977	-1.52	4.26	88.33	0.99
1978	0.21	4.06	-116.81	0.89
1979	-0.88	3.31	28.08	0.94
1980	-2.16	4.25	156.41	0.98
1981	-1.92	4.28	130.09	0.97
1982	-0.95	1.92	72.79	0.97
1983	-2.04	2.46	201.91	0.98

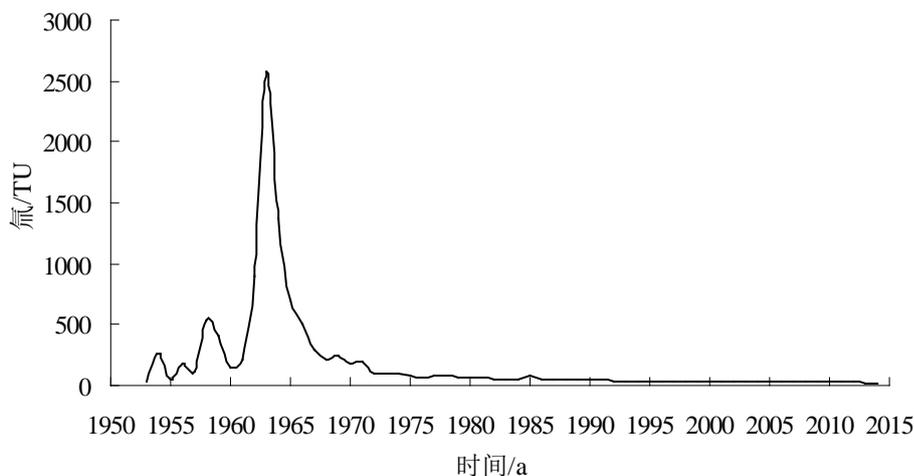


Figure 2. Tritium concentration curve of 1953-2014 in precipitation in Hunchun basin
图 2. 珲春盆地 1953~2014 年大气降水 ^3H 浓度系列图

珲春盆地地势平缓, 浅层地下水含水层介质主要为细砂、中砂、亚砂土、粘土等细颗粒物, 大气降水入渗补给地下水后可以概化为以活塞流运动, 即流线相互平行, 不发生水流混合。对于活塞流模型, 氚进入含水层中仅按衰变规律变化, 因此式 1 转化为:

$$C_{\text{out}}(t) = C_{\text{in}}(t - \tau)e^{-\lambda t} \quad (\text{式 } 3)$$

将珲春盆地 1953~2014 年大气降水 ^3H 浓度系列数据代入式 3, 计算得到活塞流模型 ^3H 输出浓度系列, 结果见图 3。

4.2. 计算结果

根据本次地下水氚测试结果, 结合图 3 得出地下水氚年龄(表 3)。

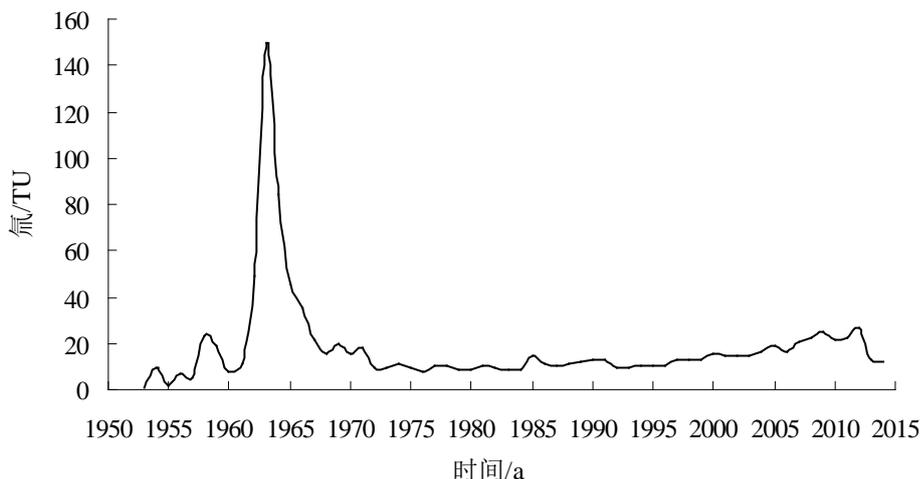


Figure 3. Tritium output curve of the shallow groundwater in Hunchun basin

图 3. 珲春盆地浅层地下水氚输出曲线

Table 3. The ^3H ages of groundwater samples

表 3. 地下水样品 ^3H 年龄结果

样品编号	年龄/a	样品编号	年龄/a	样品编号	年龄/a
SG25	3	SG39	6	SG47	17
SG27	5	SG40	6	SG48	12
SG28	8	SG41	8	SG49	8
SG29	5	SG42	15	SG59	11
SG31	9	SG43	13	SG62	5
SG35	11	SG44	15	SG63	7
SG36	8	SG46	17	SG64	5

5. 浅层地下水年龄空间分布和水循环特征

5.1. 地下水年龄空间分布特征

根据地下水 ^3H 年龄计算结果做出珲春盆地浅层地下水年龄分区图(图 4)。

由图 4 可以看出, 总体上, 珲春盆地浅层地下水主要为近 30 a 以来补给的现代水, 并且从山前至河谷地区顺着地下水流向年龄逐渐增大。

年龄小于 10 a 的地下水主要分布在盆地北部七户洞村、新华村、和平村、平安村以及东部、东南部的马新村、红星村、东南山屯等山前地区。上述山前地区含水层介质岩性主要为中粗沙、砂砾石, 颗粒较粗, 并且被珲春河支流切割形成相间分布的谷地, 地势落差较大, 所以地下水水力梯度较大(约为 1/600~1/1200), 水循环交替比较通畅, 地下水年龄小。年龄小于 10 年的地下水分布面积约占珲春盆地总面积的 51%。

年龄为 10~20 a 的地下水主要分布于珲春河河谷地区的立新村、古城村、图鲁村、春景村、新农村等地。上述地区主要位于一级阶地, 含水层介质岩性主要为亚砂土、细砂等, 与山前地区相比, 含水层介质颗粒变细, 地形坡度变缓, 所以水力坡度变小(约为 1/2000~1/3000), 浅层地下水径流也变弱, 地下水年龄增大。年龄为 10~20 a 的地下水分布面积约占珲春盆地总面积的 42%。

年龄大于 20 a 的地下水主要分布在珲春河下游的沙坨子村、八家子村、西崴子村等地, 属于珲春盆

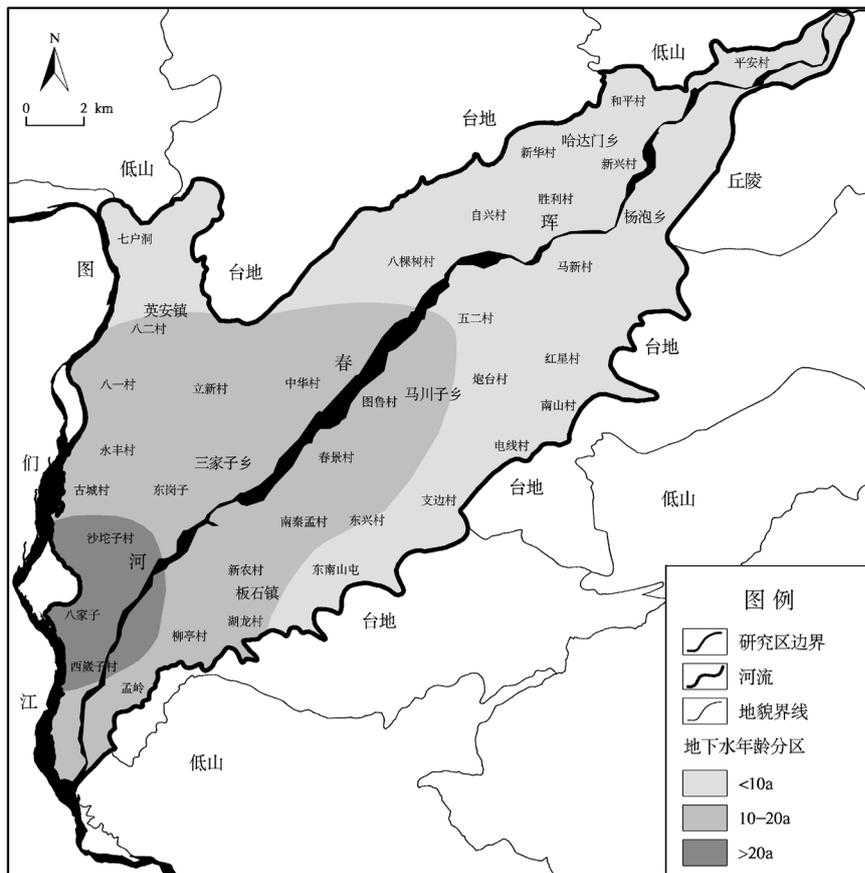


Figure 4. Tritium output curve of the shallow groundwater in Hunchun basin
图 4. 珲春盆地浅层地下水氚输出曲线

地地下水排泄区。上述地区含水层介质岩性主要为亚砂土、亚粘土及粉细砂等，颗粒较细，地形平缓，所以水力坡度小(约为 1/3500~1/4500)，浅层地下水径流弱，地下水年龄也较大。年龄为大于 20 a 的地下水分布面积约占珲春盆地总面积的 7%。

5.2. 地下水年龄反映的循环特征

珲春盆地浅层地下水的补给来源主要为大气降水。除此之外，七户洞村、平安村、和平村、新华村、红星村、电线村、支边村等地与珲春盆地外围的基岩山地、台地碎屑岩以及山地和台地发育的多个河谷衔接，可直接接受山地与台地基岩裂隙水的侧向径流补给和外围河谷中的大量地下潜流的补给，是珲春盆地浅层地下水的补给区，含水层颗粒较粗，地形坡度较大，地下水循环交替强烈，所以地下水年龄较小，为小于 10 a(如 SG25、SG28、SG39、SG62、SG64 等点)。

总体上，珲春河谷平原含水层颗粒粗，透水性强，孔隙潜水径流通畅，但由于盆地中部浅层地下水径流区(中华村、图鲁村、春景村、东岗村、立新村、南秦孟村等地)自上游至下游含水层颗粒由粗变细，地形坡度变小，水力坡度减小，浅层地下水循环也由强减弱。因此，与补给区相比，珲春盆地浅层地下水径流区地下水年龄增大，为 10~20 a(如 SG35、SG59、SG44、SG47)。

除了人工开采和潜水蒸发外，珲春盆地浅层地下水的最终排泄归宿为图们江。在靠近图们江的八家子村、沙坨子村、西崴子村等地是珲春盆地浅层地下水的排泄区，含水层颗粒较细，地势较平缓，浅层地下水循环交替较弱，所以地下水年龄较大，为大于 20 a。

6. 结论

1、总体上, 珲春盆地浅层地下水年龄均小于 30 a, 从山前地带向珲春河河谷地带、从东北向西南方向地下水年龄逐渐从小于 10 a 增大到大于 20 a。

2、年龄小于 10 a 的地下水分布面积最大, 约占珲春盆地总面积的 51%; 其次为年龄为 10~20 a 的地下水, 约占珲春盆地总面积的 42%; 大于 20 a 的地下水分布面积最小, 约占珲春盆地总面积的 7%。

3、珲春盆地内七户洞村、平安村、和平村、新华村、红星村、电线村、支边村等浅层地下水补给区地下水年龄小于 10 a, 地下水循环交替强烈; 中华村、图鲁村、春景村、东岗村、立新村、南秦孟村等浅层地下水径流区为 10~20 a, 地下水循环交替减弱; 八二村、古城村等珲春盆地浅层地下水排泄区, 浅层地下水循环交替较弱, 地下水年龄大于 20 a。

基金项目

中国地质调查局项目“长吉图地质环境调查评价与区划专题和综合研究”(1212011140027)。

参考文献 (References)

- [1] Slutsky, A.H. and Yen, B.C. (1997) Amacro-Scale Natural Hydrologic Cycle Water Available Model *Journal of Hydrology*, **20**, 329-347. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00053-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00053-X)
- [2] 王哲成, 张云. 地下水超采引起的地裂缝灾害的研究进展[J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(2): 88-93.
- [3] 胡建平, 吴士良. 苏锡常城市群地区地下水环境问题[J]. 水文地质工程地质, 1998(4): 5-7.
- [4] 池永翔. 福州温泉区地面沉降特点及影响因素分析[J]. 水文地质工程地质, 2009(6): 131-133.
- [5] 林黎, 赵苏民, 李丹, 马凤如, 李会娟. 深层地热水开采与地面沉降的关系研究[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(3): 34-37.
- [6] Clark, I. and Fritz, P. (1997) *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publisher, New York.
- [7] Gibson, J.J., Edwards, T.W.D., Birks, S.J., et al. (2005) Progress in Isotope Tracer Hydrology in Canada. *Hydrological Processes*, **19**, 303-327. <https://doi.org/10.1002/hyp.5766>
- [8] 翟远征, 王金生, 左锐, 滕彦国. 北京平原区第四系含水层中水-岩作用的锶同位素示踪[J]. 科技导报, 2011, 29(6): 17-20.
- [9] 石旭飞, 董维红, 李满洲, 张岩. 河南平原浅层地下水年龄[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(1): 190-197.
- [10] 苗晋祥. 基于同位素的豫北平原浅层地下水形成的认识[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(4): 5-11.
- [11] 郭晓东, 赵海卿. 珲春盆地地下水固有脆弱性评价[J]. 节水灌溉, 2014(2): 33-35.
- [12] 王举, 王佰友. 珲春盆地地下水化学特征与环境质量评价[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2004, 5(3): 39-42.
- [13] 高淑琴. 河南平原第四系地下水循环模式及其可更新能力评价[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [14] Shaw, B.R. (1977) Evaluation of Distortion of Residuals in Trend Surface Analysis by Clustered Data. *Mathematical Geology*, **9**, 507-517. <https://doi.org/10.1007/BF02100962>
- [15] Sun, L., Zhou, X., Lu, J., et al. (2003) Climatology, Trend Analysis and Prediction of Sandstorms and Their Associated Dustfall in China. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, **3**, 41-50. <https://doi.org/10.1023/A:1023213801276>
- [16] 王福刚. 同位素技术在黄河下游悬河段(河南段)水循环特征研究中的应用[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2001.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org