

吉林省长岭县浅层地下水水文地球 化学演化规律分析

张未, 程东会, 齐丽军

(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 开展地下水水文地球化学形成演化机制的研究,对水质评价和水资源合理利用具有重要意义。本文利用吉林省长岭县 1981-2003 年间潜水和承压水的水质分析结果,采用水文地球化学方法研究了区内地下水的水文地球化学作用及水质演化规律。选取 198 个水质监测点进行分析、处理,运用 Piper 三线图解法、Gibbs 图解法、离子比值分析法对吉林省长岭县地下水水文地球化学形成演化机制进行研究。研究表明:研究区地下水主要受到阳离子交换作用和岩盐溶解作用影响,其阴离子以 HCO_3^- 为主,阳离子以 Ca^{2+} 和 Na^+ 为主,地下水偏弱碱性,硬度较大。研究区潜水水化学类型以 HCO_3-Ca 为主,承压水水化学类型以 HCO_3-Na 为主,地下水水化学类型较稳定,地下水水质受人为因素影响较小。

关键词: 水文地球化学; 水质演化; 浅层地下水; 长岭县

中图分类号: P632 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2016)05-0059-05

Analysis of evolution law of hydrology and geochemistry of shallow groundwater in Changling county of Jilin Province

ZHANG Wei, CHENG Donghui, QI Lijun

(School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: The paper studied the formation and evolution mechanism of hydro-geochemistry of groundwater, which is important for the assessment of water quality and the sustainable utilization of water resources. It used the analysis results in unconfined aquifer and confined aquifer from 1981 to 2003 in Changling county, and analyzed the effect of hydro-geochemistry of groundwater and evolution law of water quality. The paper collected 198 monitoring points of water quality so as to analyze and deal with, and used Piper graphic method, Gibbs graphic method and ion ratio analysis method to research. The results demonstrate that the groundwater is mainly affected by cation exchange function and halite dissolution, among that anions HCO_3^- are the dominant components of water and the cations are Ca^{2+} and Na^+ . The groundwater has the property of alkalescence and high hardness. The dominant hydro-chemistry type of water is HCO_3-Ca in the unconfined aquifer, whereas that is HCO_3-Na in the confined aquifer. The hydro-chemistry type of groundwater is more stable. The water quality is less affected by human activities.

Key words: hydro-geochemistry; evolution of water quality; shallow groundwater; Changling county

地下水化学特征及形成作用是水文地球化学的重要内容之一^[1-2],通过研究地下水化学特征及形成作用对研究区地下水水质评价,对干旱半旱地区水资源保护与合理利用具有指导意义。目前水文地球化学的研究方法已经很成熟,离子统计法、离子比

例系数法、同位素标记法以及水化学模型法等多种方法被用来研究地下水水文地球化学在空间上的分布规律。王晓曦等^[3]、Zhao Zhenhua 等^[4]及王文科等^[5]利用离子统计法、离子比例系数法和水化学模型法对关中盆地地下水水文地球化学进行系统研

收稿日期:2016-04-20; 修回日期:2016-05-25

基金项目:国家自然科学基金项目(41072184、41472220);中央高校基本科研业务费专项资金项目(310829162015)

作者简介:张未(1991-),男,河北辛集人,在读硕士研究生,研究方向:水文地球化学。

究,表明了水文地球化学分布具有分带性。安乐生等^[6]利用离子系数法和 Piper 三线图法对黄河三角洲水文地球化学进行系统研究,表明蒸发浓缩作用、溶滤作用、阳离子交替作用以及人类活动是影响地下水化学成分的主要影响因素。目前,国内外的研究针对内陆地区较多,而对松嫩平原的研究相对较少。

长岭县地处松嫩平原,位于吉林省西北部。长岭县属中温带大陆性季风气候,年平均气温 $4.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降雨量 470 mm ,年平均蒸发量 1612.7 mm ^[7]。该区地下水主要接受大气降水补给,降雨量远小于蒸发量,属于严重缺水地区。水资源短缺严重制约当地发展,本文以长岭县为研究区,运用水化学分析法、离子比例系数法和 Piper 三线图法研究该区 1981-2003 年间水化学时空演化规律以及主要离子水文地球化学演化规律^[8],在此基础上分析该区地下水是否受到人类活动的影响。

1 数据与方法

1.1 数据来源及测试

本次地下水水质资料由吉林省水文水资源局和吉林省水文总站提供,包含长岭县 1981-2003 年间 198 口水井监测资料,其中包括 68 口潜水井监测资料和 130 口承压水井监测资料(图 1 长岭县监测井位置)。水样分析项目包括水深、水温、pH、总硬度、碱度、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^{-} 、 CO_3^{2-} 。其中 Na^{+} 、 K^{+} 测试方法为火焰原子吸收分光光度法; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 测试方法为 EDTA 滴定法; Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 测试方法为离子色谱法; HCO_3^{-} 、 CO_3^{2-} 测试方法为酸碱滴定法,水样离子测试精度为 1%。

1.2 数据选取依据

卞玉梅等^[9],高月等^[10]分别对松嫩平原 1993 年、2012 年地下水化学类型进行分类,研究表明研究区虽然受人为污染产生一些污染离子,但主要水化学类型变化不大,因此选择相对完整、时间序列相对较长的数据进行研究。选取吉林省水文水资源局提供的 1981-2003 年数据进行研究。

1.3 研究方法

本文将研究区划分为西部、中部、东部三个分区(见图 1)。运用舒卡列夫分类法划分地下水水化学类型,分析区域水化学类型演化规律,得到研究区地下水水化学类型时空演化规律。运用 Gibbs 图解法、离子比例系数法研究地下水中主要离子来源及水文地球化学作用。

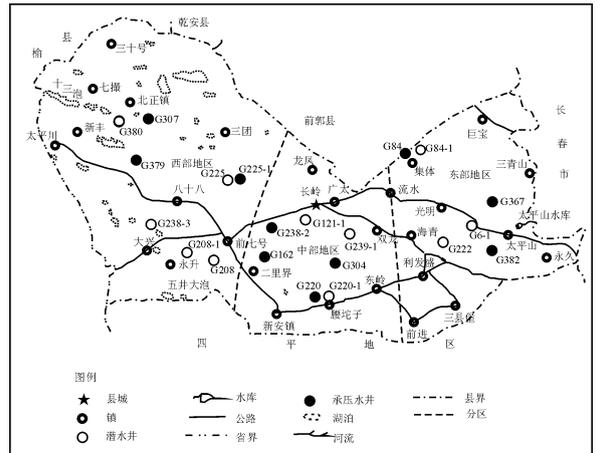


图 1 长岭县监测井位置

2 地下水水化学特征演化规律

2.1 水化学特征随时间演化规律

2.1.1 潜水 为保证讨论结果严谨性,选取没有数据缺失的时间序列进行研究。西部地区选取监测点 G225 1985-1992 年间水质资料,其水化学类型演化规律如图 2(长岭县潜水(G225)Piper 图)。研究结果表明此期间西部地区阴离子以 HCO_3^{-} 为主,阳离子以 Ca^{2+} 为主,水化学类型为 HCO_3-Ca ,地下水水质比较稳定,受人类活动影响不大。

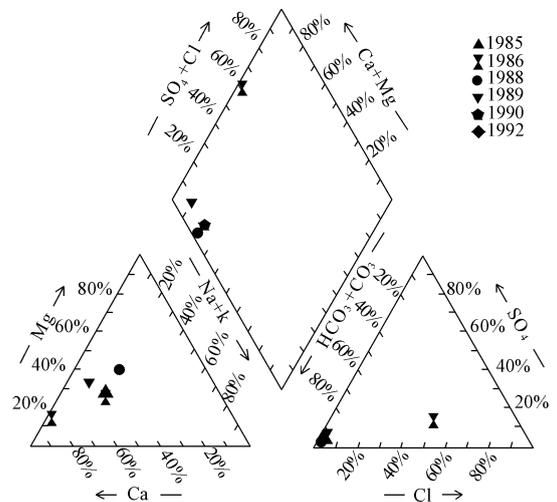


图 2 长岭县潜水(G225)Piper 图

中部地区和东部地区分别选取监测点 G220-1 和 G6-1 1985-1992 年间水质资料。研究结果表明此期间中部地区与东部地区阴离子都以 HCO_3^{-} 为主,阳离子都以 Ca^{2+} 为主。中部地区水化学类型由 $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}$ 演化为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}-\text{Mg}$,东部地区水化学类型由 HCO_3-Ca 演化为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}-\text{Mg}$,地下水水质变化较小。

整体上,1985-1992年间研究区内潜水阴离子以 HCO_3^- 为主,阳离子以 Ca^{2+} 为主。主要水化学类型为 HCO_3-Ca ,水质偏弱碱性,硬度偏大,但地下水水质变化较小,人为因素对地下水影响较小。

2.1.2 承压水 西部地区选取监测点 G22-1 1985-1992年间水质资料,其水化学类型演化规律如图3(长岭县承压水(G22-1)Piper图)。研究结果表明此期间西部地区阴离子以 HCO_3^- 为主,阳离子以 Ca^{2+} 、 Na^+ 为主。水化学类型由 $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Mg}$ 演化为 $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}$ 。

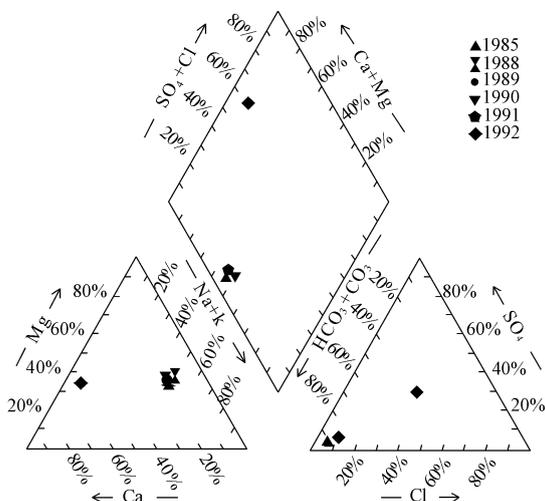


图3 长岭县承压水(G22-1)Piper图

中部地区和东部地区分别选取监测点 G220 和 G84 1985-1992年间水质资料。研究结果表明此期间中部地区和东部地区阴离子都以 HCO_3^- 为主,阳离子以 Ca^{2+} 、 Na^+ 为主。在1985-1989年期间中部地区水化学类型由 $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Mg}$ 演化为 $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}$,东部地区水化学类型由 $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}$ 演化为 $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}-\text{Mg}$ 和 $\text{HCO}_3-\text{Ca}-\text{Mg}$ 。

研究结果表明1985-1989年间,研究区承压水阴离子以 HCO_3^- 为主,阳离子以 Na^+ 为主,主要水化学类型为 HCO_3-Na 。表明研究区承压水偏弱碱性,水质变化较小,人为因素对地下水影响较小。

将研究区潜水与承压水水化学类型与卞玉梅等^[9]、高月等^[10] 2012年的研究结果对比表明水化学类型在近十年内变化不大,进一步验证该区域受人为因素影响较小。

2.2 水化学特征随空间演化规律

利用长岭县1988年潜水水质数据和1982年承压水水质数据,做出潜水水化学类型空间分布图(图4长岭县1988年潜水Piper图)和承压水水化学类型空间分布图(图5长岭县1982年承压水Pip-

er图)。结果表明,潜水与承压水离子特征相同,阴离子都以 HCO_3^- 为主, Cl^- 为辅,阳离子都以 Na^+ 、 Ca^{2+} 为主,自西向东 Na^+ 含量升高。自西向东潜水水化学类型由 $\text{HCO}_3-\text{Ca}-\text{Mg}$ 演化为 HCO_3-Na 和 $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}-\text{Mg}$ 。承压水水化学类型由 $\text{HCO}_3-\text{Ca}-\text{Mg}$ 演化为 $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Mg}$ 。

研究结果表明研究区潜水与承压水都偏弱碱性,无高污染离子,水质较好。研究区水质较稳定,自西向东水化学类型变化不大,表明该区域地下水受人为因素影响较小。

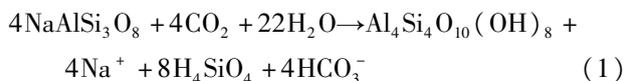
3 水化学形成机制与主要水文地球化学作用

3.1 地下水化学形成机制

通过Gibbs图可以判断影响地下水化学形成作用的主要因素^[11-12]。做出研究区1988年潜水Gibbs图(图6长岭县潜水Gibbs图)和1982年承压水Gibbs图(图7长岭县承压水Gibbs图),根据Gibbs图,研究区潜水与承压水形成机制基本相同,潜水与承压水 $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 分布均匀,主要分布在值0.5左右; $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 大部分小于值0.5,表明潜水和承压水中阴离子以 HCO_3^- 为主,水化学类型复杂。推断研究区地下水受到了岩石风化以及蒸发浓缩作用和阳离子交换作用的影响,TDS较高。

3.2 主要离子水文地球化学过程

3.2.1 Na^+ 与 Cl^- 的水文地球化学过程 通过 Na^+ 与 Cl^- 含量关系(图8离子比值相关图)可以确定 Na^+ 与 Cl^- 的来源。根据 Na^+ 与 Cl^- 关系图,潜水和承压水中 Na^+ 与 Cl^- 比值大部分偏离1:1直线,落在1:1直线之下,表明 Na^+ 含量大于 Cl^- 的含量,地下水中 Cl^- 主要来源于岩盐的溶解,而 Na^+ 还有其他的来源。 Na^+ 的来源可能有阳离子交换作用、岩盐的溶解作用。其中钠长石溶解可以获得 Na^+ 、 HCO_3^- ,反应方程式如式(1)



假设 Cl^- 全部来源于岩盐的溶解,余下的 Na^+ 含量可以用 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 表示。根据 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 与 HCO_3^- 关系图(图8离子比值相关图),潜水和承压水中 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 与 HCO_3^- 含量比值全部分散在1:1直线上,表明 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 含量小于 HCO_3^- 含量。推断 Na^+ 主要来源于钠长石的溶解,少部分来源于

阳离子交换作用。

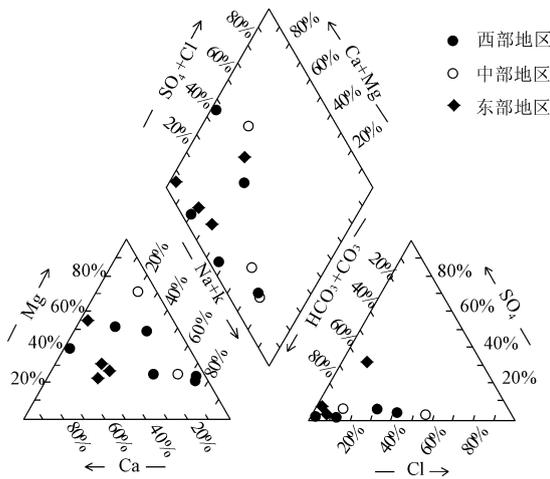


图4 长岭县1988年潜水Piper图

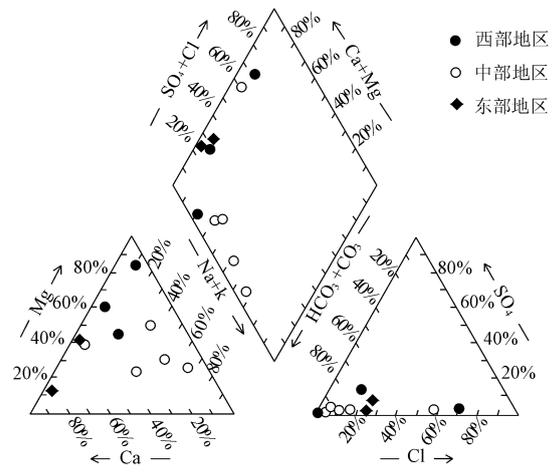


图5 长岭县1982年承压水Piper图

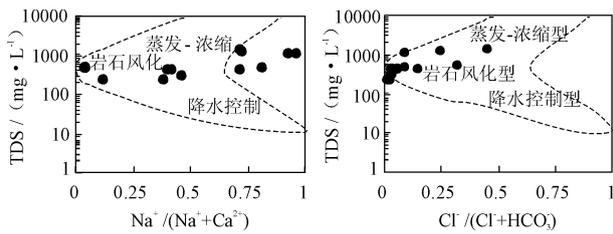


图6 长岭县潜水Gibbs图

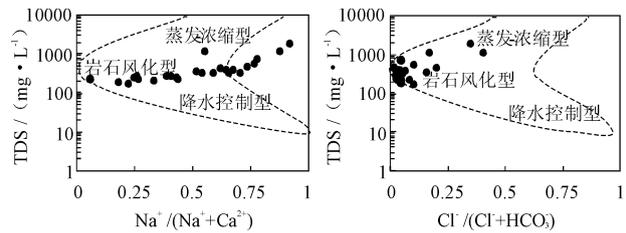


图7 长岭县承压水Gibbs图

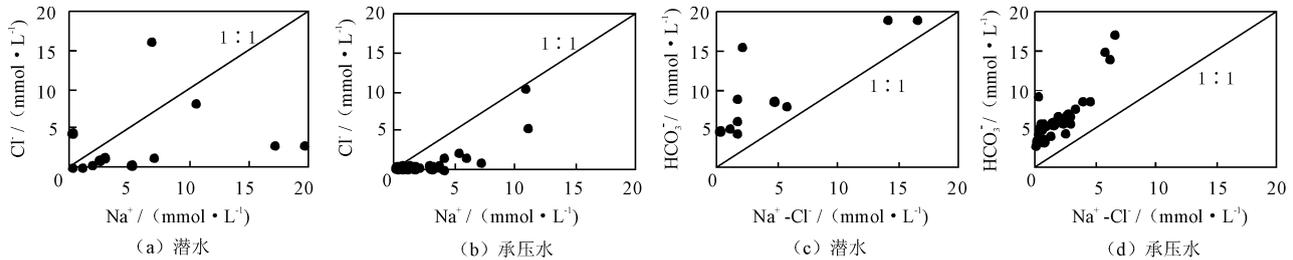
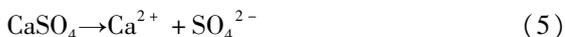
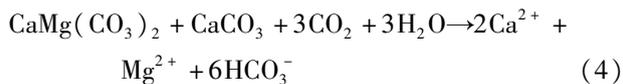
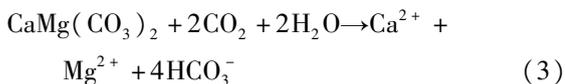
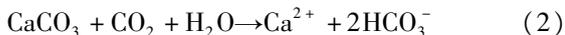


图8 离子比值相关图

3.2.2 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 与 SO_4^{2-} 的水文地球化学过程 长岭县地下水中 HCO_3^- 的含量较高, HCO_3^- 主要来源于碳酸盐矿物溶解^[13-14]。经调查研究区存在着白云石、方解石、石膏等碳酸盐矿物。在一定的 CO_2 含量下,白云石与方解石会溶于水,产生 HCO_3^- 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 。石膏溶解则可以产生 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} , 反应方程式如式(2)~(5):



根据方程(5), SO_4^{2-} 基本来源于石膏溶解,假设 SO_4^{2-} 全部来源于石膏溶解,其他来源的 Ca^{2+} 含量可以用 $Ca^{2+} - SO_4^{2-}$ 来表示。根据方程(2)~(5), Ca^{2+} 与 HCO_3^- 的比值分别为 1:2、1:4、1:3, Mg^{2+} 与 HCO_3^- 的比值分别为 1:4 和 1:6。

根据上述比例关系分别做出潜水和承压水 $Ca^{2+} - SO_4^{2-}$ 与 HCO_3^- 关系图,潜水和承压水 Mg^{2+} 与 HCO_3^- 关系图(图9离子比值相关图)。根据离子比例关系图,潜水中 $Ca^{2+} - SO_4^{2-}$ 与 HCO_3^- 比值比较分散,大部分位于 1:2 线之上, Mg^{2+} 与 HCO_3^- 比值全部位于 1:6 线之下。表明潜水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 主要来源于白云石单独溶解、白云石和方解石混合溶解。研究区承压水离子特征与潜水

大体相似,唯一区别是承压水中 Mg^{2+} 与 HCO_3^- 关系图中部分点位于 1:6 线之上,表明 Mg^{2+} 还存在其他补给来源,推断为阳离子交换作用。承压水中其他离子来源与潜水相同。

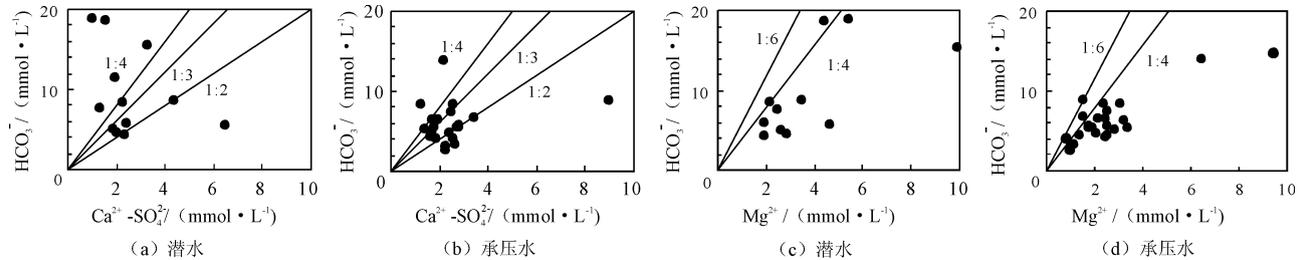


图9 离子比值相关图

4 结论

吉林省长岭县潜水与承压水中阳离子以 Ca^{2+} 为主 Na^+ 和 Mg^{2+} 为辅,阴离子以 HCO_3^- 为主 Cl^- 为辅,各离子含量稳定,多年变化不大。潜水与承压水中 Cl^- 主要来源于岩盐的溶解, Na^+ 主要来源于钠长石的溶解,少部分来源于阳离子交换作用;潜水与承压水中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 来源于白云石单独溶解和白云石、方解石混合溶解;潜水中 Mg^{2+} 源于白云石溶解,承压水中 Mg^{2+} 来源于白云石溶解和阳离子交换作用。研究区地下水主要受到阳离子交换作用和岩盐溶解作用影响。

1981-2003年间,研究区潜水水化学类型主要为 HCO_3-Ca ,承压水水化学类型主要为 HCO_3-Na ,多年变化不大。在研究区范围内,自西向东潜水水化学类型由 $HCO_3-Ca-Mg$ 演化为 HCO_3-Na 和 $HCO_3-Na-Ca-Mg$,承压水水化学类型由 $HCO_3-Ca-Mg$ 演化为 $HCO_3-Na-Mg$ 。研究区近十几年地下水水化学类型变化不大,地下水水质稳定,研究区地下水受人为因素影响较小。

参考文献:

- [1] 潘国营,刘永林,甘容. 大沙河流域地表地下水化学特征与演变规律[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(3): 58-61+65.
- [2] 叶思源,孙继朝,姜春永. 水文地球化学研究现状与进展[J]. 地球学报,2002,23(5): 477-482.
- [3] 王晓曦,王文科,王周锋,等. 滦河下游河水及沿岸地下水水化学特征及其形成作用[J]. 水文地质工程地质,2014,41(1): 25-33+73.
- [4] ZHAO Zhenhua, YUAN Gexin, WU Jichun, et al. Hydrochemical characteristics and hydrogeochemical modeling of

综上所述,潜水与承压水的 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 的来源以白云石单独溶解和白云石、方解石混合溶解为主。潜水中 Mg^{2+} 来源于白云石溶解,承压水中 Mg^{2+} 来源于白云石溶解和阳离子交换作用。

- groundwater in a certain potential radioactive waste disposal site in Northwest China Hydrogeology and Engineering Geology [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2011, 38(4): 1-7.
- [5] 王文科,王雁林,段磊. 关中盆地地下水环境演化与可再生维持途径[M]. 郑州:黄河水利出版社,2006.
- [6] 安乐生,赵全升,叶思源,等. 黄河三角洲地下水化学特征及形成作用[J]. 环境化学,2012,33(2):370-378.
- [7] 王奇,尹华. 长岭县水资源利用现状及其可持续发展分析[J]. 农业与技术,2014,(5): 230-231.
- [8] 章光新,邓伟,何岩,等. 中国东北松嫩平原地下水水化学特征与演变规律[J]. 水科学进展,2006,17(1):20-28.
- [9] 卞玉梅,卢文喜. 吉林省西部地下水动态研究[D]. 长春:吉林大学,2006.
- [10] 高月,卞建民,张真真. 松嫩平原东部浅层地下水水化学特征及水质评价[J]. 水文,2014,34(4):50-54+43.
- [11] 孙一博,王文科,段磊,等. 关中盆地浅层地下水地球化学的形成演化机制[J]. 水文地质工程地质,2014,41(3): 29-35.
- [12] Sun Y B, Wang W K, Zhang C, et al. Evolution mechanism of shallow high fluoride groundwater in the Guanzhong Basin [J] Hydrogeology & Engineering Geology, 2013, 40(6): 117-122.
- [13] Montety V D, Radakovitch O, Vallet-Coulomb C, et al. Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in a confined coastal aquifer Case of the Rhone delta (Southern France) [J]. Applied Geochemistry, 2008, (23): 2337-2349.
- [14] Ma Rui, Wang Yanxin, Sun Ziyong, et al. Geochemical evolution of groundwater in carbonate aquifers in Taiyuan, northern China [J]. Applied Geochemistry, 2011, 26(5): 884-897.