

康晓莉,周俊蓉,高瑜,等. 昆明盆地地下水水质水位长序列数据特征分析[J]. 中国岩溶, 2023, 42(4): 662-671.

DOI: 10.11932/karst20230403

昆明盆地地下水水质水位长序列数据特征分析

康晓莉^{1,2,3}, 周俊蓉^{1,2,3}, 高瑜^{1,2,3}, 张华^{1,2,3}

(1. 云南省高原山地地质灾害预报预警与生态保护修复重点实验室(筹), 云南昆明 650216;
2. 自然资源部高原山地地质灾害预报预警与生态保护修复重点实验室,
云南昆明 650216; 3. 云南省地质环境监测院, 云南昆明 650216)

摘要:通过对昆明盆地,特别是主城区长序列水质水位监测数据对比分析,采用水文地质法、数据统计法、Piper 和 Matlab 软件建立模型进行水质水位动态特征和变化趋势分析研究。昆明盆地地下水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 和 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型为主。孔隙水超标项以 Mn 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 COD 为主;岩溶水超标项以 Mn 、 NH_4^+ 、 F 为主;近年来超标物项目趋于复杂,出现 I 、 SO_4^{2-} 、 As 、 Cd 等有毒有害和有机物超标,水质变化原因为工业和生活污染加剧。对地下水位 20 年长序列动态变化特征和趋势研究表明,昆明盆地地下水位年际变化主要受工农业生产、开采量和工程活动等影响,孔隙水 2002—2009 年呈下降趋势,2009 年后总体呈上升趋势;岩溶水 2002—2012 年呈下降趋势,2012 年后总体呈上升趋势;翠湖等 5 个降落漏斗区地下水位回升趋势较为显著,主要与昆明市限制地下水开采、封填地下水开采井的措施密切相关。基于水质、水位动态分析结果,提出保护建议。

关键词:地下水监测;水质;水位;趋势分析;昆明盆地

中图分类号: P641.3 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2023)04-0662-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

昆明盆地是喀斯特断陷盆地的典型代表^[1],位于云贵高原面上浅切割河谷区,属金沙江水系,地理坐标为东经 $102^{\circ}29'\sim 103^{\circ}06'$,北纬 $24^{\circ}29'\sim 25^{\circ}28'$,总流域面积 $2\,924.51\text{ km}^2$ ^[2]。地貌类型为侵溶蚀山区、溶蚀丘峰谷地区、沉积平坝区、侵溶蚀河谷区四类。作为云南省第二大盆地,盆底面积 846.19 km^2 ,起伏度 $1\sim 82\text{ m}$,平均 19 m 。地形平坦,因自然资源和环境条件相对较好,为云南省政治、经济和文化中心,耕地集中,人口密集,社会经济发展水平较高^[3-4],地热资源丰富^[5],蔬菜、花卉产业和旅游产业发展迅速。

随着城市发展,昆明已经步入我国特大城市的行列,然而,作为人类密集聚居和活动的中心,人地矛盾突出,资源及环境问题严重。主要表现在水污染^[6]、水质恶化^[7]、含水层破坏^[8]、地面沉降^[9]、泉水断流^[10]、区域水位下降^[11]等与地下水有着紧密关联的环境问题。目前,对昆明盆地地下水水质、水位及环境问题的研究成果较多,多是以单点和局部研究成果为主。而本文以昆明盆地近 20 年来地下水长序列动态监测数据分析、昆明盆地地下水类型、水质、水位变化为研究对象,采用水文地质法、数据统计法、Piper 和 Matlab 软件建立模型对水质水位动态特征和变化趋势进行研究^[12-14],对比长序列数据进行趋势分析,

资助项目:广西岩溶动力学重大科技创新基地开放课题(KDL202101)、国家重点研发计划项目(2016YFC0502502)、国家地下水监测工程(WF202000PB)联合资助

第一作者简介:康晓莉(1973—),女,硕士,正高级工程师,主要从事水文、工程、环境地质调查与研究。E-mail: 705443064@qq.com。

通信作者:张华(1982—),男,高级工程师,主要从事水工环地质研究。E-mail: ybddysghs.zhh@163.com。

收稿日期:2023-01-20

剖析地下水存在的问题,并针对昆明盆地地下水水质水位现状,提出保护措施,为今后昆明盆地高质量发展、国土空间规划、城市建设、地下水开发利用等提供区域监测成果数据,为政府部门提供决策依据。

1 监测点基本概况

昆明盆地地下水动态监测始于上世纪 60 年代,至上世纪 80 年代建立了昆明地下水动态监测站,开始了全面系统地监测昆明市区及近郊地下水动态变化,建立了较为完整的监测网络,地下水监测网络覆盖面积 1 555 km²,2016 年国家地下水监测工程实施,在昆明盆地内建设 68 个地下水自动监测井。在长期的监测工作中,根据监测条件的变化和对水文地质条件的认识,不断地进行监测网点优化调整,至 2021 年,昆明盆地共有各类地下水监测站点 140 个,站点类型包括民井、机井和泉点,监测类型为孔隙水 34 个,基岩水 106 个。监测网络在平面上自盆地边缘补给区至滇池沿岸排泄地带,垂向上从浅层孔隙水至下部承压水以及深层地热水均布设监测点,以点、线、面相结合控制主要含水层、重要水源地、核心城市重点区域监测,构建了地下水监测体系骨干网络,系统掌握地下水动态分布特征,对生态环境资源监测与保护具有重要意义。

本文在综合考虑地下水监测井控制范围、地下水类型的代表性以及数据序列连续性的基础上,选取 78 个监测井 2006—2020 年水质监测数据进行水质分析对比评价;选取了 37 个监测井 2006—2021 年具有连续观测的水位监测数据资料进行水位趋势分析;对于 5 个主要降落漏斗中心则选取 2002—2021 年年均水位数据进行分析。通过以上数据综合分析,借以研究昆明盆地地下水动态变化过程,识别地下水动态变化规律。

2 水质评价

水质评价数据运用 2006—2020 年水质监测数据,采用 Piper 三线图分析水化学类型^[15-17];地下水质量评价采用《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)进行单项评价,参评指标有 pH 值、总硬度、细菌总数、大肠菌群指数、溶解性总固体、氯离子、硫酸根、硝酸根、亚硝酸根、氨氮、总铁、氟化物、化学耗氧量、

碘离子、铜离子、锰离子、锌离子、汞离子、六价铬、砷离子、铅离子、镉离子、硒离子、钠离子、阴离子合成洗涤剂、挥发性酚、氰根、总 α 放射性、总 β 放射性等 29 项。根据评价结果将水质指标分为五个类别。

2.1 水化学类型

绘制 2006—2020 年各年度地下水 Piper 三线图,对昆明盆地水质特征进行分析。可以看出,水质分析样本均集中落在三线图左端。2006 年水样中,阳离子 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ 含量最多,相对摩尔百分比为 80%~100%,其次为 Ca^{2+} ,相对摩尔百分比为 40%~60%。阴离子中, $\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-}$ 的含量最多,相对摩尔百分比为 70%~100%,远远高于 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的含量。由图 1 可知,2006 年昆明盆地水化学类型主要为 HCO_3-Ca 和 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型,少量为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 、 HCO_3-Mg 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Ca}$ 等。随着年度的变化,三线图中离子由集中分布逐渐分散,虽然总体仍以 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-}$ 离子为主,但随着 Na^++K^+ 和 $\text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^-$ 的逐渐增多,水化学类型也逐渐增多且有渐趋复杂的趋势,至 2020 年,水化学类型除 HCO_3-Ca 、 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 、 HCO_3-Mg 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Ca}$ 等类型外,尚有 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{Cl}-\text{Mg}\cdot\text{Na}\cdot\text{Ca}$ 等地下水类型的出现。

2.2 地下水质量评价及变化趋势

2.2.1 孔隙水

根据各年度孔隙水质量评价结果显示,昆明盆地孔隙水质普遍较差,以 IV 类和 V 类水为主,自 2006 至 2020 年,水质状况逐渐变差的趋势明显,II 类及 III 类水所占比例逐年减少,地下水单项指标超标率逐年升高,超标组分趋于复杂。从水质评价结果可以看出:2006 年孔隙水质量状况为 II 类水占 4.7%,III 类水占 9.3%,至 2020 年已无 II 类和 III 类水,而 IV 类水占 37.5%,V 类水所占比例由 30.2% 上升至 62.5%,地下水单项指标超标率由 71.1% 上升至 78.1%,超标组分类型复杂化,除 pH 值、Mn、 NH_4^+ 、COD、大肠菌群指数外,还出现 I、 SO_4^{2-} 、Hg 等项目超标。

2.2.2 基岩水

昆明盆地基岩水水质状况优于孔隙水,根据各

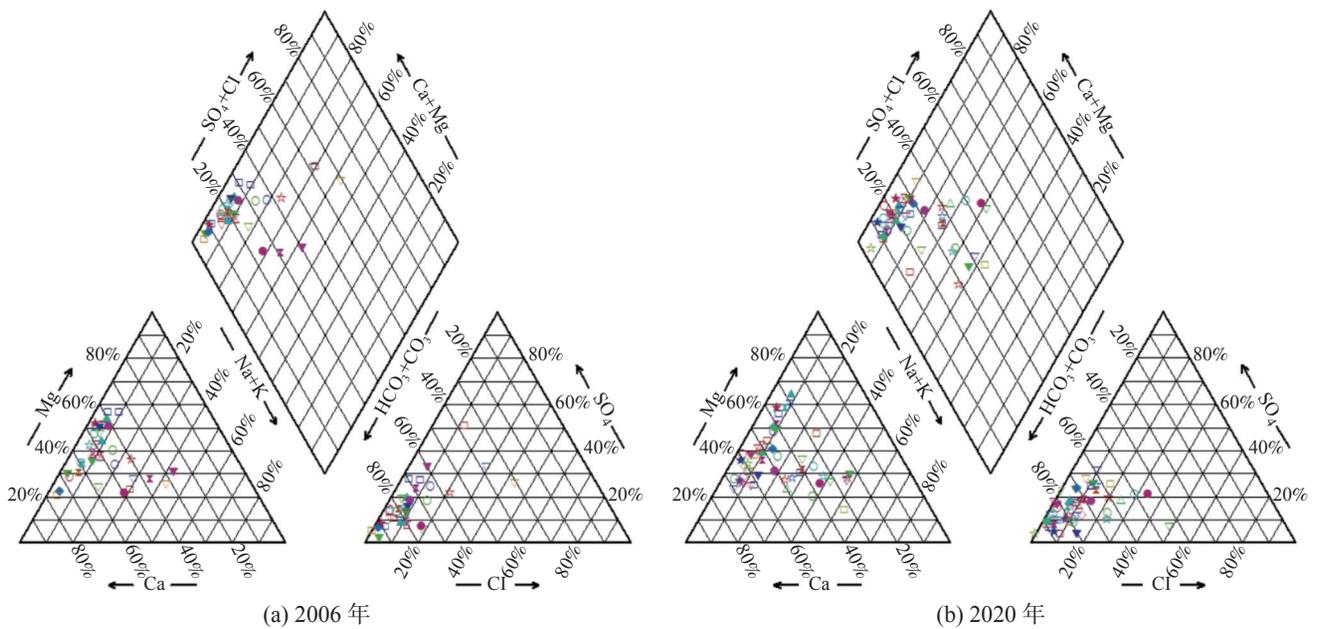


图1 昆明盆地地下水水化学类型 Piper 三线图

Fig. 1 Piper ternary map of groundwater hydrochemistry types in Kunming basin

年度基岩水质量评价结果,自2006至2020年,水质状况也呈现逐渐变差的趋势:2006年基岩水质量状况为I类水占2.5%,至2020年已无I类水,II类水占比由2006年的56.8%下降至18.3%;IV类水和V类水占比分别由2006年的11.1%和8.6%上升至33.3%和26.7%;地下水单项指标超标率由18.7%上升至58.7%,超标组分类型除 NH_4^+ 、Mn、COD、F、大肠菌群指数外,个别点出现As、Cd超标。

2.3 水质总体变化趋势

根据水质评价结果对比发现,自2006至2020年,地下水质量总体呈下降趋势:孔隙水已无II类、III类水,IV类水占比下降,V类水占比明显上升,单项指标超标率有所上升;基岩水已无I类水,II类水占比明显下降,IV类、V类水占比明显上升,单项指标超标率上升,部分II类水向III类、IV类水转变,IV类水向V类水转变。

2.4 典型组分变化趋势

影响昆明盆地地下水水质的典型组分主要为Mn、 NH_4^+ 、 NO_3^- 等,局部地区出现As、Cd超标,根据监测数据,多年来这些超标组分含量变化有升有降,无明显的上升或下降趋势,选择部分变化趋势明显的典型离子组分绘制曲线图(图2):

图2(a)和图2(b)为官渡区南郊六甲片区孔隙

水Mn和 NH_4^+ 浓度变化曲线图,从图中可看出,该区Mn和 NH_4^+ 总体处于超标状态,从趋势上看,自2006年来,浓度有逐渐升高的趋势,Mn最高浓度值达 $1.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,超标倍数为12.5倍, NH_4^+ 最高浓度值达 $9.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,超标倍数为12.1倍;图2(c)为昆明盆地北部海源寺泉 NO_3^- 浓度变化曲线图,该泉点位于盆地边缘补给区,地下水中 NO_3^- 浓度未超过限值,但从变化动态看也呈逐步升高的趋势,最高浓度值达 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;图2(d)为西山区马街电线厂附近监测孔As变化曲线图,该点位自2008年开始出现As超标,其浓度逐年上升,且枯水期浓度值高于丰水期,最高值出现在2019年4月,达 $0.027 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,超标倍数1.7倍。

3 水位变化趋势分析

3.1 整体水位变化趋势

利用昆明市37个地下水水位动态监测站点2006年—2021年的历史数据资料进行分析^[18],其中孔隙水监测站点6个,岩溶水监测站点31个。

2006年—2009年间,由于昆明市地下水开采量较大,降雨量无法达到补给要求,孔隙水年均水位变化趋势与降雨量相关性差,属于开采型地下水;从2009年开始孔隙水多年变化曲线与降雨量变化相关性较好,丰水年水位较高,枯水年水位较低,整体呈

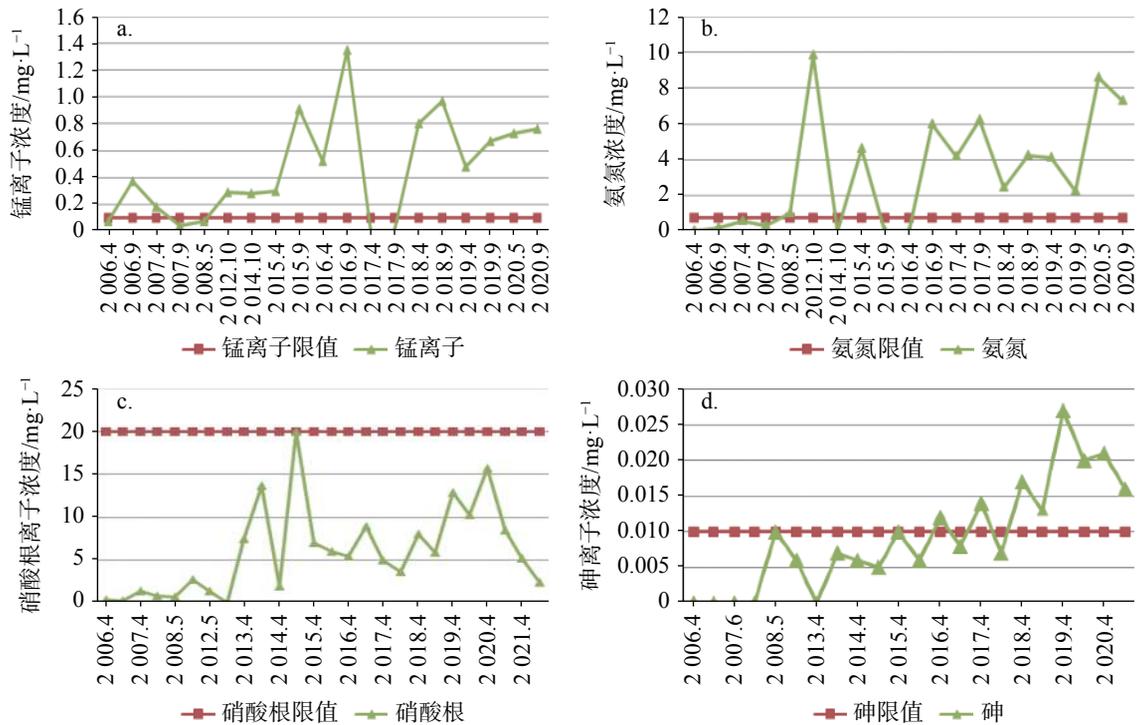


图 2 监测离子变化曲线图

Fig. 2 Curve of ion change monitoring

上升趋势。从 2006 年—2021 年，年际间孔隙水水位上升幅度为 0.057~0.968 m，下降幅度为 0.047~0.362 m (图 3)。

岩溶水水位与降雨量相关性好，在 2006 年—2012 年间，岩溶水水位呈现弱下降趋势，在相同降雨量之下，该时间段内水位更低，受地下水开采量影响较大；2012 年—2021 年岩溶水水位整体呈现上升趋势，在 2018 年—2021 年降雨量较少的情况下依旧为弱上升趋势。从 2006 年—2021 年，年际间岩溶水水位上升幅度在 0.139~1.019 m 之间，下降幅度在 0.170~0.313 m 之间(图 4)。



图 3 孔隙水水位、降雨量年均变化图

Fig. 3 Diagram of annual variation of pore water level and rainfall



图 4 岩溶水水位、降雨量年均变化图

Fig. 4 Diagram of annual variation of karst water level and rainfall

3.2 主要降落漏斗水位变化趋势

地下水位趋势检验采用 Mann-Kendall 检验法 (以下简称 M-K 方法)^[19]，绘图主要使用 Matlab 软件，使用数据为昆明市 5 个主要降落漏斗中心 2002—2021 年均水位数据(见表 1)。

给定显著性水平 $\alpha=0.05$ ，如果 $>\alpha$ ，表示序列有明显变化趋势。当曲线中 UF 或 UB 的值大于 0 时，表示地下水位序列呈上升(变浅)趋势，小于 0 则呈下降(加深)趋势。当它们的值超过临界线时，表明上升或下降趋势显著。如果 UF 和 UB 两条曲线出现交点，且交点在临界值之间，那么交点对应的值便是

表 1 昆明市 5 个主要降落漏斗中心水位统计表
Table 1 Statistics of central water level of 5 main falling funnels in Kunming City

地段名称	黑龙潭	北教场	马街	翠湖	黑林铺
原始水位/m	1 911.44	1 895.24	1 886.68	1 889.61	1 883.21
2002年水位	1 907.33	1 859.46	1 886.29	1 880.69	1 861.24
2021年水位	1 910.897	1 894.04	1 889.038	1 887.24	1 880.852

突变的开始^[20]。

图 5 中地下水位 M-K 趋势分析: 北教场地段 M-K, 从多年平均序列来看, 降落漏斗中心水位存在较明显的上升趋势, 2002—2008 年, UF 值小于 0, 水位存在一定的下降, 但未超过 0.05 临界线 ($U_{0.05}=1.96$); 2008—2021 年, 水位呈现上升趋势, 尤其是 2011 年以后, 显著水平已经超过 0.05 临界线, 上升趋势明显。翠湖地段 M-K, 2002—2005 年水位呈现下降趋势; 2005 年以后, 水位逐渐上升, 2008—2021 年, 显著水平超过 0.05 临界线, 上升趋势明显。黑林铺地段 M-K, 整体的 UF 值均大于 0, 呈现上升趋势, 2009 年以后显著水平超过 0.05 临界线, 呈明显上升趋势。黑龙潭地段 M-K 与黑林铺相似, 从 2002—2021 年整体呈上升趋势, 2008 年后 UF 值超过临界线, 上升趋势明显。马街地段 M-K, 在 2002—2006 年、2011—2015 年两个时间段内, UF 值小于 0, 但在临界线之间, 有下降趋势; 2006—2011 年、2015—2021 年两个时间段内, UF 值大于 0, 呈上升趋势; 2019 年后 UF 值超过临界线, 呈明显上升趋势, UF 与 UB 曲线于 2018 年时在临界值之间产生交点, 该点即为突变点。

2009 年前, 昆明市地下水开采量较大, 部分地区超采严重, 形成降落漏斗。从趋势分析中可以看到, 除马街地段之外, 降落漏斗中心地下水位在 2009 年后均明显上升。目前, 马街地段降落漏斗中心水位已经超过原始水位, 其余地段水位也在逐渐向原始水位回升。

4 变化成因初步分析

4.1 工农业生产的影响

工农业生产发展和城市化是影响地下水质量的主要因素^[21], 地下水污染物主要来源于人类活动, 生活污水排放、垃圾渗滤液、农业化肥流失, 以及各类化工、油漆、冶炼等工业废渣废水的排放^[22]。昆明盆

地边缘山前地带地下水污染呈点状分布, 污染源主要来自厂矿和企业污染物。例如西山海口地区尾矿库、金属表面加工厂特征污染物中含有 Mn, 导致周围地下水中 Mn 超标; 又如马街地区金属粉末加工等工业排水导致地下水 SO_4^{2-} 、F、As 超标; 盆地中部受市区人们生活污水影响, 污染物组分较为复杂, 地下水中 NH_4^+ 、 NO_3^- 、COD、大肠菌群等多项指标超标; 滇池沿岸滨湖区, 地下水环境呈还原条件, 进入地下水的 NH_4^+ 浓度过高, 地下水中表现出 NH_4^+ 污染的特征^[23]; 因灌溉和化肥农药施用, 孔隙水污染严重, 如六甲地区监测井 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、F、Cl、大肠菌群等多项指标严重超标。

4.2 地下水开采因素

昆明市属全国水资源严重匮乏的城市之一, 多年来, 地下水资源的开发利用在生活饮水、农田灌溉、工业生产、城市发展和维系良好生态环境等方面发挥着重要作用。由于水资源需求的急剧增加、开采井布局不尽合理、无序和过度开发等因素造成地下水污染、地面塌陷等地下水环境地质问题时有发生, 部分地区超采严重, 导致地下水位持续下降, 马街、北教场、翠湖、黑龙潭等地段曾出现降落漏斗, 海源寺、蝙蝠洞泉、黑龙潭等名泉出现流量减少或断流。随着城市的发展, 昆明市地下水开采量增大, 各富水块段地下水位普遍呈下降趋势, 自 2008 年以来, 昆明市对地下水资源开采采取有效、规范化的管理, 开始逐步封停城区部分地下水开采井, 于 2008—2009 年两间共封停地下水井 296 口, 地下水位出现回升, 至 2017 年, 共封停 334 口地下水开采井, 地下水监测数据表明, 普吉—梁家河、北教场、市区、金马寺—关上等富水块段地下水位回升显著, 尤其 2009 年后, 开采量的大幅控制, 水位明显回升, 马街、北教场、翠湖、黑龙潭等降落漏斗中心地下水水位回升已接近原始水位。石咀一带由于厂矿企业多, 2011—2013 年开采量仍然较大, 水位呈下降趋势(图 6), 但在盆

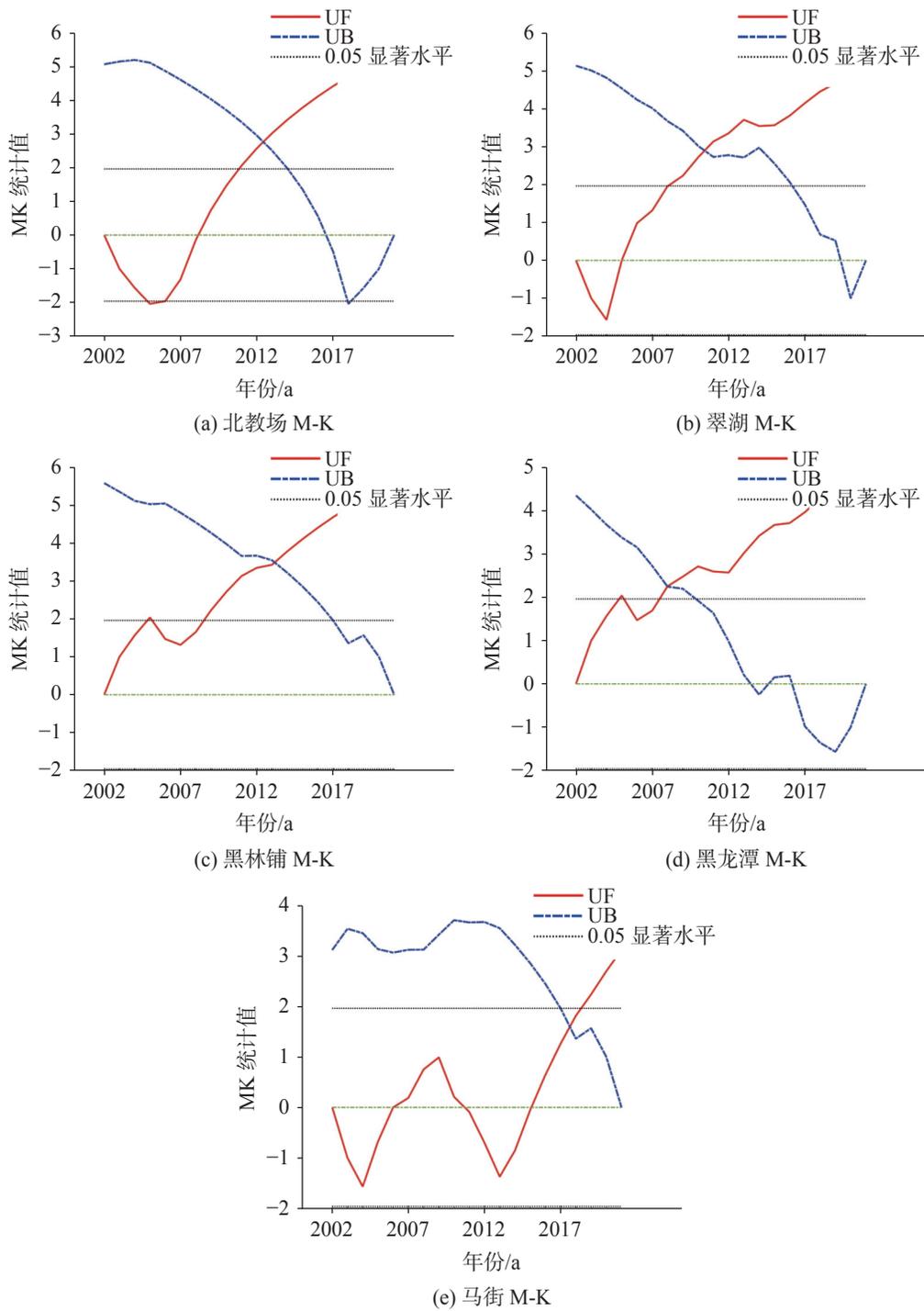


图 5 昆明市主要降落漏斗中心水位 M-K 趋势检验

Fig. 5 M-K trend test of water level in the center of main falling funnel in Kunming City

地中部普吉轻机场及北部茨坝重机厂一带局部地区，地下水水位仍处于下降趋势。

4.3 工程活动因素

由于人类工程活动对地下水环境产生影响，导致地下水水位下降、泉水疏干、地下水污染、岩溶塌陷的情况时有发生。以昆明翠湖九龙池泉群断流为例，

1972 年以前，九龙池泉群出口水位、流量受人为影响微弱，为天然状态，泉流量随季节自然波动(图 7)。1973—1980 年间，随着城市的扩张和人口的增加，翠湖片区地下水开采量明显增大，另一方面，由于圆通山人防工程开挖进行人工排水，圆通山、五华山防空洞内曾经设立了 4 个排水洞。1981—1987 年间监测

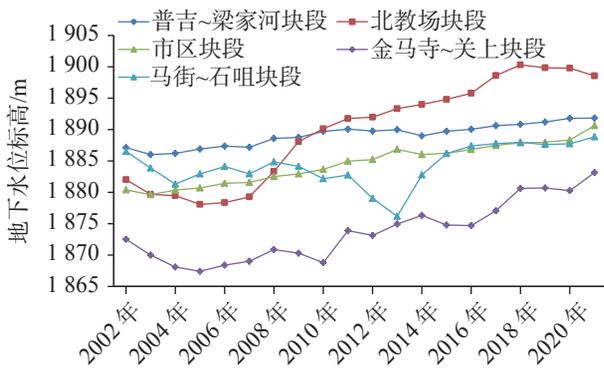


图 6 昆明市主要富水块段水位变化趋势图

Fig. 6 Water level variation of main water-rich blocks in Kunming City

到日均排水量 $3\ 000\sim 5\ 000\ \text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, 接近于九龙池泉群的天然排泄量, 大大降低了地下水排泄基准面, 长期排水导致地下水位无法回升, 导致翠湖底部九龙池泉群断流。近年来, 由于城市建设的快速发展, 基坑排水、建筑物群集、路面覆盖, 也在一定程度上改变了地下水尤其是浅层孔隙水的补给和流场条件, 引起局部地区水位下降、地面下沉, 促使地下水还原环境的形成。此外, 部分蓄池渗漏、开采井成井工艺不好或井管锈蚀, 导致不同含水层间串流, 从而引起地

下水污染、水温变化等问题。

5 结论

本文以昆明盆地 2002–2021 年长序列地下水监测数据为基础, 开展了地下水水质动态变化情况和地下水位动态变化规律及其主要影响因素的分析和研究, 取得以下主要认识:

(1) 近 15 年来, 昆明盆地地下水质量总体呈下降趋势, 孔隙水质量以 IV 类水和 V 类水为主, IV 类水占 37.5%, V 类水占比由 30.2% 上升至 62.5%; 基岩水质量 II 类水占比由 56.8% 下降至 18.3%, IV 类水和 V 类水占比分别由 11.1% 和 8.6% 上升至 33.3% 和 26.7%。水化学类型复杂化, 地下水超标项目从常规的 pH、Mn、 NH_4^+ 、COD、大肠菌群指数超标, 局部地段出现 I、 SO_4^{2-} 、As、Cd 等有毒有害和有机物超标;

(2) 通过 2002–2021 年地下水位动态及趋势分析表明, 昆明盆地地下水位变化分为两个明显的阶段, 2002—2008 年地下水位呈下降趋势, 2009 年以后, 地下水位总体上上升趋势明显, 5 个地下水降落漏

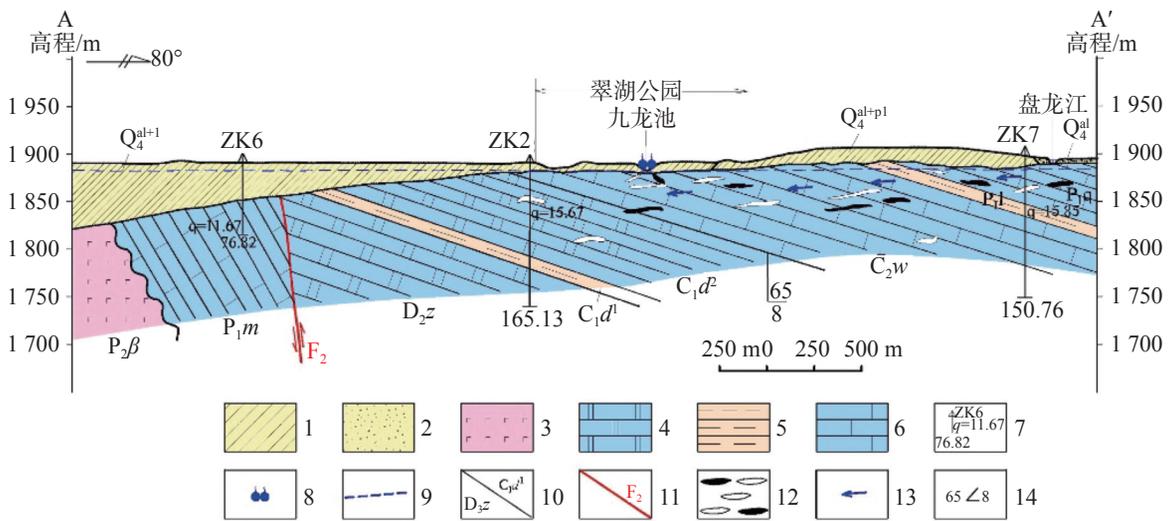


图 7 九龙池泉域水文地质剖面图(据参考文献 [10] 修编)

- 1-黏性土孔隙弱含水层 2-砂砾土孔隙较弱含水层 3-玄武岩裂隙弱含水层 4-白云岩岩溶较强含水层 5-碎屑岩弱含水层 6-石灰岩岩溶强含水层
- 7-监测孔,孔底数据为孔深(m),q 为单位涌水量 [$\text{L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m})^{-1}$] 8-上升泉群 9-地下水位线 10-地层界线 11-断层及编号 12-溶洞及充填溶洞
- 13-地下水流向 14-地层产状

Fig. 7 Hydrogeological cross section in the Jiulongchi spring group (Revised according to reference [10])

- 1. Clay pore with weak aquifer; 2. Sandy gravel soil pore with relatively weak aquifer; 3. Basalt fissure with weak aquifer; 4. Dolomite karst with relatively strong aquifer; 5. Clastic rock with weak aquifer; 6. Limestone karst with strong aquifer; 7. Monitoring hole, and the hole bottom data is hole depth (m); q is unit inflow [$\text{L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m})^{-1}$]; 8. Ascending spring group; 9. Phreatic line; 10. Stratigraphic boundary; 11. Fault and numbering; 12. Karst caves and filling caves; 13. Groundwater flow direction; 14. Attitude of stratum

斗中心区水位回升已接近其原始水位状态;

(3)地下水水质污染主要受工农业生产发展和城市化发展的影响,地下水污染与人类活动密切相关,不同地段污染物特征与周边环境和污染物排放联系密切。自盆地边缘至滨湖地带,地下水埋藏条件不同,地下水污染也显示不同特征;

(4)地下水位变化受地下水开采量与人类工程活动影响明显,根据调查表明,昆明市自2008年开始封停城区地下水开采井,地下水开采量得到有效控制,2009年后地下水位上升明显。

6 建议

为防止地下水水质持续变差、水位持续降低,建议采取如下措施:

(1)加强行政管理,提高水资源保护的社会意识,营造节约用水、保护水资源的良好氛围;优先利用地表水,大力推广节水新技术和新工艺,提高水资源利用率;防治地下水污染,坚持“以防为主、防治结合、防重于治”的方针,对地表水、地下水资源进行统一规划、统一管理和统一调配。

(2)加强地下水基础环境调查和监测,科学开展地下水资源评价,及时掌握水资源数量、质量、空间分布、开发利用、生态状况及动态变化等情况,对重点泉点、重要水源地进行调查监测评价。完善地下水监测网点,利用新技术、新方法进行水资源的调查监测与评价,建设水资源调查监测评价管理平台系统及数据库,为政府部门决策、管理提供支撑。

(3)对地下水污染场的污染原因和途径开展调查评价,重点调查污染源分布和污染物特性,根据地下水的补给、径流、排泄条件和地下水流场特征,分析地下水污染的途径和污染方式,确定地下水中污染物组分、浓度变化、存在形式以及污染羽分布范围,从而分析污染物在“污染源—土壤—地下水”中的迁移转化规律。

(4)加强地下水污染防治技术研究。针对昆明盆地地下水污染问题,结合盆地水文地质条件、水系系统特征,加强地下水水位变化对水质的影响跟踪监测、地下水特征污染物迁移转化规律的研究;积极引进和吸收国内外先进的地下水污染防治技术及管理经验,开展地下水污染防治技术研究。

参考文献

- [1] 王宇,张华,张贵,王波,彭淑惠,何绕生,周翠琼.喀斯特断陷盆地环境地质分区及功能[J].中国岩溶,2017,36(3):283-295.
WANG Yu, ZHANG Hua, ZHANG Gui, WANG Bo, PENG Shuhui, HE Raosheng, ZHOU Cuiqiong. Zoning of environmental geology and functions in karst fault-depression basins[J]. Carsologica Sinica, 2017, 36(3): 283-295.
- [2] 张华,王宇,柴金龙.滇池流域石漠化特征分析[J].中国岩溶,2011,30(2):181-186.
ZHANG Hua, WANG Yu, CHAI Jinlong. Analysis on the desert's characteristics in Dianchi watershed[J]. Carsologica Sinica, 2011, 30(2): 181-186.
- [3] 王宇.昆明市地表水与地下水联合调度系统研究[J].水资源研究,1990,11(4):9-15.
WANG Yu. Study on the joint regulation system of surface water and groundwater in Kunming City[J]. Water Resource Research, 1990, 11(4): 9-15.
- [4] 张华,王波,王宇,张贵,何绕生,代旭升,康晓波,蓝美宁.云南泸西岩溶断陷盆地水循环系统及水资源循环利用方案[J].地球学报,2021,42(3):313-323.
ZHANG Hua, WANG Bo, WANG Yu, ZHANG Gui, HE Raosheng, DAI Xusheng, KANG Xiaobo, LAN Funing. The water circulation system and water resources recycling plan of the Luxi karst fault-depression basin in Yunnan[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2021, 42(3): 313-323.
- [5] 王宇,康晓波,张华,王燕.昆明地热田的成因与外延[J].中国岩溶,2016,35(2):125-133.
WANG Yu, KANG Xiaobo, ZHANG Hua, WANG Yan. The genesis and extension of Kunming geothermal field[J]. Carsologica Sinica, 2016, 35(2): 125-133.
- [6] 叶许春.近20年来昆明盆地北端孔隙水化学场演变过程及其驱动因素分析[D].昆明:昆明理工大学,2006.
YE Xuchun. Evolution process and driving factors of pore water chemical field in the northern end of Kunming basin in recent 20 years[D]. Kunming: Kunming University of Technology, 2006.
- [7] 叶许春,张奇,宋学良,张子雄.昆明盆地城市化的孔隙水水质响应[J].自然资源学报,2009,24(4):640-649.
YE Xuchun, ZHANG Qi, SONG Xueliang, ZHANG Zixiong. Pore water quality response to urbanization in Kunming basin[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(4): 640-649.
- [8] 彭淑惠,王宇,张贵,李继红,李玉辉.昆明盆地土地利用对岩溶水质的影响[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2011,36(6):1-7,14.
PENG Shuhui, WANG Yu, ZHANG Gui, LI Jihong, LI Yuhui. Effect of Kunming basin land use on karst water quality[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2011, 36(6): 1-7, 14.
- [9] 姜乃齐,左小清,王志红,游洪,赵永恒.基于PS-InSAR和SBAS

- 技术监测昆明市主城区地面沉降[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2020, 37(4): 72-78.
- JIANG Naiqi, ZUO Xiaoqing, WANG Zhihong, YOU Hong, ZHAO Yongheng. Monitoring land settlement in the main urban area of Kunming based on PS-InSAR and SBAS technology[J]. Journal of Guizhou University (Natural Science Edition), 2020, 37(4): 72-78.
- [10] 王宇, 何绕生, 刘海峰, 王梓澈, 晏祥省, 双灵, 彭淑惠. 昆明翠湖九龙池泉群断流原因及恢复措施[J]. 中国岩溶, 2014, 33(3): 263-271.
- WANG Yu, HE Raosheng, LIU Haifeng, WANG Ziwei, YAN Xiangsheng, SHUANG Ling, PENG Shuhui. Drought causes and restoration measures for Jiulongchi spring group within Cuihu lake, Kunming[J]. Carsologica Sinica, 2014, 33(3): 263-271.
- [11] 李芸, 张楠. 昆明盆地地下水超采区水资源评价[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(6): 35-38, 44.
- LI Yun, ZHANG Nan. Assessment of groundwater overdraft zones in Kunming basin[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2017, 34(6): 35-38, 44.
- [12] 郭艺, 秦大军, 王枫, 甘甫平, 闫柏琨. 基于时间序列分析法的岩溶泉水位预测[J]. 中国岩溶, 2021, 40(4): 689-697.
- GUO Yi, QIN Dajun, WANG Feng, GAN Fuping, YAN Baikun. Prediction of karst spring water level based on the time series analysis method[J]. Carsologica Sinica, 2021, 40(4): 689-697.
- [13] 殷秀兰, 李圣品. 基于监测数据的全国地下水水质动态变化特征[J]. 地质学报, 2021, 95(5): 1356-1365.
- YIN Xiulan, LI Shengpin. Research on dynamic characteristics of groundwater quality based on monitoring data in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(5): 1356-1365.
- [14] 李圣品, 李文鹏, 殷秀兰, 金爱芳. 全国地下水水质分布及变化特征[J]. 水文地质工程地质, 2019, 46(6): 1-8.
- LI Shengpin, LI Wenpeng, YIN Xiulan, JIN Aifang. Distribution and evolution characteristics of national groundwater quality from 2013 to 2017[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2019, 46(6): 1-8.
- [15] 王雅茹. 基于Piper三线图的矿井水化学特征分析[J]. 山东煤炭科技, 2019(4): 145-147, 150.
- WANG Yaru. Analysis of chemical characteristics of mine water based on Piper trilinear diagram[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2019(4): 145-147, 150.
- [16] 彭康宁, 张卫, 朱恒华, 周建伟, 万豪杰, 赵骏. 山东招远市地下水水化学特征及水质评价[J]. 安全与环境工程, 2018, 25(4): 106-138.
- PENG Kangning, ZHANG Wei, ZHU Henghua, ZHOU Jianwei, WAN Haojie, ZHAO Jun. Hydrochemical characteristics and water quality evaluation of groundwater in Zhaoyuan City, Shandong Province[J]. Safety and Environmental Engineering, 2018, 25(4): 106-138.
- [17] 刘江涛, 蔡五田, 曹月婷, 蔡月梅, 边超, 吕永高, 陈远铭. 沁河冲洪积扇地下水水化学特征及成因分析[J]. 环境科学, 2018, 39(12): 5428-5439.
- LIU Jiangtao, CAI Wutian, CAO Yueting, CAI Yuemei, BIAN Chao, LV Yonggao, Chen Yuanming. Hydrochemical characteristics of groundwater and the origin in alluvial-proluvial fan of Qinhe river[J]. Environmental Science, 2018, 39(12): 5428-5439.
- [18] 中国地质环境监测院. 中国地质环境监测地下水水位年鉴[M]. 北京: 中国大地出版社, 2013-2017.
- [19] 苏伟杰. 张家口市内陆平原区20年间地下水位变化趋势分析[J]. 河北建筑工程学院学报, 2015, 33(1): 56-59.
- SU Weijie. Analysis on the change trend of groundwater in plain area of the city for 20 years Zhangjiakou inland[J]. Journal of Hebei Institute of Architecture and Engineering, 2015, 33(1): 56-59.
- [20] 徐淑波, 徐立荣, 梅泽本. 济南引黄灌区近20年地下水位动态变化及趋势分析[J]. 中国农村水利水电, 2016, (5): 68-71, 76.
- XU Shubo, XU Lirong, MEI Zeben. The dynamic change and trend of groundwater level in Jinan yellow river irrigation region more than twenty years[J]. China Rural Water and Hydropower, 2016, (5): 68-71, 76.
- [21] 叶许春, 张世涛, 宋学良, 张子雄, 莫美仙, 李长才, 金德山, 和怀中, 孙有国. 昆明盆地浅层地下水氮的分布及污染机理[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 185-188, 200.
- YE Xuchun, ZHANG Shitao, SONG Xueliang, ZHANG Zixiong, MO Meixian, LI Changcai, JIN Deshan, HE Huaizhong, SUN Youguo. Nitrogen distribution and pollution mechanism of shallow groundwater in Kunming basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(4): 185-188, 200.
- [22] Harris J H, Silveira R. Large-scale assessments of river health using an index of biotic integrity with low-diversity fish communities[J]. Freshwater Biology, 1999, 41(2): 235-252.
- [23] 文冬光, 何江涛, 孙继朝. DZ/T0290-2015《地下水水质标准》解读[M]. 北京: 地质出版社, 2016.

Characteristics of long series data of groundwater quality and level in Kunming basin

KANG Xiaoli^{1,2,3}, ZHOU Junrong^{1,2,3}, GAO Yu^{1,2,3}, ZHANG Hua^{1,2,3}

(1. Yunnan Key Laboratory of Geohazard Forecast and Geoecological Restoration in Plateau Mountainous Area, Kunming, Yunnan 650216, China;

2. Key Laboratory of Geohazard Forecast and Geoecological Restoration in Plateau Mountainous Area, MNR, Kunming, Yunnan 650216,

China; 3. Yunnan Institute of Geo-Environment Monitoring, Kunming, Yunnan 650216, China)

Abstract Kunming basin is a representative of karst faulted basin, with a basin bottom area of 846.19 km² and a fluctuation of 1-82 m averaging at 19 m. With the city development, Kunming has gradually become one of the megacities in China. However, as the center of intensive human settlements and activities, the contradiction between human and land is prominent, and the problems of resources and environment are serious. Since the 1960s, the dynamic monitoring of groundwater in the urban and suburban areas of Kunming has been carried out in a comprehensive and systematic manner. In this study, hydrogeology method, data statistics method, Piper and Matlab software were used to establish models to analyze the dynamic characteristics and change of water quality and water level, based on the comparative analysis of monitoring data of water quality and level in Kunming basin, especially in the main urban area. The main underground chemical types of Kunming basin are HCO₃-Ca and HCO₃-Ca·Mg. In recent years, with the gradual increase of Na⁺ + K⁺ and SO₄²⁻ + Cl, the hydrochemical types have also gradually been increasing and become more complex. According to the water quality evaluation, the groundwater quality in Kunming basin has generally shown a downward trend in recent 15 years. The pore water quality is mainly of Class IV and Class V, and the proportion of Class V water has increased rapidly, from 30.2% to 62.5%. The bedrock water quality is mainly of Class III and Class IV. The proportion of Class IV water and Class V water has risen rapidly from 11.1% and 8.6% to 33.3% and 26.7%, respectively. Mn, NH₄⁺, NO₃⁻ and COD are the main items exceeding permitted levels in pore water. Mn, NH₄⁺ and F are the main items exceeding permitted levels in karst water. In recent years, I, SO₄²⁻, As, Cd and other toxic, harmful and organic substances have exceeded permitted levels, showing a complex tendency. The reason for the change of water quality is the intensification of industrial and domestic pollution. The results show that the interannual variation of groundwater level in Kunming basin is mainly affected by industrial and agricultural production, mining amount and engineering activities, and pore water decreased from 2002 to 2009, but increased after 2009. Karst water showed a downward trend from 2002 to 2012, and an upward one after 2012. The groundwater levels of Puji-Liangjiahe, Beijiaochang, the urban area of Kunming, Jinmasi-Guanshang and other water-rich blocks have risen significantly. The rising trend of groundwater levels in Cuihu, Heilongtan, Beijiaochang, Majie, Heilipu and other five falling funnel areas is significant, which is closely related to the measures of restricting groundwater exploitation and sealing groundwater exploitation wells in Kunming City. Based on the dynamic analysis of water quality and water level, countermeasures and strategies to protect groundwater should be proposed through enhancing administrative management, strengthening the investigation, evaluation and monitoring of basic groundwater environment, and furthering the research on technology of preventing groundwater pollution.

Key words groundwater monitoring, water quality, water level, trend analysis, Kunming basin

(编辑 张玲 杨杨)