

周俊蓉, 张华, 康晓莉, 等. 滇池流域地下水位年际动态变化特征研究[J]. 中国岩溶, 2024, 43(6): 1295-1304.

DOI: 10.11932/karst20240607

滇池流域地下水位年际动态变化特征研究

周俊蓉^{1,2,3}, 张华^{1,2,3}, 康晓莉^{1,2,3}, 高瑜^{1,2,3}, 何绕生^{1,2,3}, 武红梅^{1,2,3}, 李芹^{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: 随着社会经济的不断发展, 1980—2020年间城市面积不断扩大, 滇池流域即昆明盆地的城市地下工程越来越密集, 工业用水量增加, 地方政府对地下水资源加强管理, 地下水位呈现出了不同的变化特征。文章依托上世纪80年代、2006年以及2020年现有监测井的水位监测数据统计, 采取统计法、对比法, 利用 Arcgis 绘制了不同时期昆明盆地地下水位等值线图, 以此来分析昆明盆地近年来的水位变化、引起水位变化的原因以及水位变化可能会引发的环境地质问题, 得出近40年以来昆明盆地地下水位整体呈现上升趋势。自2008—2009年大范围封停地下水井后, 盆地大部分地区地下水位均在2009年后呈现明显上升的态势, 局部地区由于工业用水量较大等原因使地下水位依然呈现出下降趋势。

关键词: 昆明盆地; 水位; 变化特征; 水位等值线; 环境地质

创新点: 采用滇池流域多年地下水位监测数据, 结合 GIS 手段, 利用图形比对、数据统计等分析方法, 对滇池流域地下水位动态变化进行研究总结, 利用新的水位变幅数据细化研究区水位变化趋势, 突出水位变化情况与其影响因素间的时空联系。

中图分类号: P641.2 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2024)06-1295-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

滇池流域地形为一完整的高原断陷盆地, 即通常所称的昆明盆地, 是云南省和昆明市政府所在地, 滇池位于盆地中南部, 城市建筑和基本农田主要分布在盆地底部沉积平坝区。2021年, 年末全市常住人口 850.2 万人, 主城区常住人口 386.7 万人, 占全市常住人口比重为 45.5%。在昆明地区打井汲水最早可以追溯到晋宁区上蒜镇金砂村上西河遗址发掘出的 13 眼古井, 距今已有 2000 多年, 迄今在平坝、槽谷、洼地、台地、阶地等具备条件的地区, 村村寨寨

都能找到历史悠久、人工挖掘的大口径民井, 但钻凿管井取水仅有一百多年的历史。打井取水自 20 世纪 70 年代起一直保持加速上升的趋势^[1]。随着社会经济不断发展, 人们对水资源的需求也不断提高, 但水污染问题严峻, 在部分地表水体和表层孔隙水受到人类活动污染的前提下, 深井钻掘成为了当时开采地下水的普遍方式, 但随着深井数量不断增加, 导致整个盆地的地下水位整体受到了影响, 泉水断流、降落漏斗、地面塌陷等问题也接踵而来。本文旨在通过对昆明盆地多年地下水位监测数据研究, 结合气象、供水引水的等相关资料, 分析昆明盆地多

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0502502)、国家地下水监测工程(WT202201PB)联合资助

第一作者简介: 周俊蓉(1994—), 女, 助理工程师, 主要从事水工环地质研究。E-mail: 741990131@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.zh@163.com。

收稿日期: 2024-06-20

年来水位的变化情况及影响因素。

近年来,国内外学者对地下水水位动态变化进行了大量的研究,目前国内对地下水变化特征已有较为全面的认识。1990年纪永寿^[2]对安宁温泉的地下水开发利用现状及潜在的环境问题做出研究,得出安宁地区地下水位在不断下降,可能形成降落漏斗导致温泉景观破坏的结论;1992年武军^[3]对昆明地区地下水位降落漏斗进行了初步研究,发现昆明地区地下水开采井疏密不均,已出现14个降落漏斗区;2007年叶许春等^[4]利用研究区浅层孔隙水位数据对昆明盆地的浅层孔隙水水位变化特征进行研究,认为昆明盆地浅层孔隙水埋藏浅,动态变化大,对气候变化和人类活动较为敏感。2014年王宇等^[5]研究了昆明翠湖九龙池泉群的断流原因,通过对翠湖周边地质构造及岩溶水系统的研究,提出了恢复措施;2015年苏伟杰、2016年徐淑波等^[6-7]建立地下水变化趋势分析模型,对地下水位动态变化及趋势进行分析;2017年李芸等^[8]对昆明盆地地下水超采区水资源做出评价,得出昆明盆地属于中型超采区的结论;2021年郭艺等^[9]基于时间序列分析法对岩溶泉水位进行了预测。2017年1月和8月 Yabusaki Shiho 等^[10]阐明了浅层和深层地下水以及泉水的水质特征,提出深层地下水的补给面积可能随着海拔的升高而增加;2023年 Coda Silvio 等、Sudipa Halder 等^[11-12]建立地下水位模型,采用新方法分析地下水变化引起的一系列问题;Rojas Rodrigo 等^[13]基于地下水位的长期趋势分析,提出了地下水管理区域;Rusli S.R 等^[14]使用 Wflow-sbm 水文模型量化了地下水储量的变化。

1 研究区概况

昆明盆地为金沙江、南盘江、元江三大水系分水岭地带的岩溶断陷盆地,呈椭圆形,长轴南北向延伸,汇水面积为 2920 km²。总体地势北东高南西低,北部梁王山最高点海拔 2840 m,南部滇池一般控制水位为 1887.5 m,高差达 952.5 m;盆地外围为侵蚀溶蚀中、低中山环绕,面积 1538.66 km²,海拔 2000~2840 m;盆地底部沉积平坝区面积 1070 km²,高程 1887.5~1950 m。位于盆底南部的滇池水域地质构造大部分隐伏于盆地松散岩之下,以经向构造为骨干,纬向构造次之,北东、北西向构造亦有发育。盆地内

的地下水分布严格受地质构造、地层岩性、地貌条件控制,形成以滇池为地表水与地下水最低排泄基准的断陷盆地。盆地内共出露 19 个含水层组,划分为松散岩类孔隙水、基岩裂隙水和碳酸盐岩类岩溶水 3 大类、5 个亚类^[15]。

孔隙水分布于盆地底部,埋深 0~60 m,基岩裂隙水分布于盆地的东南部、南部和盆地埋深 10~200 m,岩溶水主要西部、北部、东部一线及盆地底部,埋深 10~300 m。研究区内地下水补给以降水入渗为主,降水通过入渗透过岩石和土壤层向地下水层补给水源,其次是农田灌溉水的回渗以及城市工业用水和生活用水的排泄,部分河流和地表水体侧渗或垂向入渗补给地下水,盆地周围山脉的地下水经过岩石裂隙和孔洞的渗入也是地下水补给的重要途径。研究区地下水径流方向与地形基本相一致,即由盆地边缘的基岩山地向盆地中心,由河流上游向下游流动,滇池水体是地下水最终的排泄和汇聚场所。

2 研究方法 with 数据

研究区地下水动态监测自 20 世纪 60 年代起陆续开展,至 20 世纪 80 年代建立地下水动态监测站,全面系统地开展了研究区地下水动态监测工作,建立了较为完整的监测网络,地下水监测网络覆盖面积 1555 km²,2016 年国家地下水监测工程实施,在昆明地区内建设 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,不断进行监测网点优化调整,至 2021 年昆明地区共有个地下水监测站点 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有监测点布设,以点、线、面相结合控制了主要含水层、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,系统地掌握地下水动态监测数据。

前人对昆明地下水位的监测以点带面为主,而本文选择昆明盆地坝区国家级及省级地下水监测井数据对地下水位多年变化特征进行分析和研究,利用 Arcgis 软件绘制昆明盆地 2006 年及 2020 年水位年均值的区域性等值线图以及水位变化差值图,依据水文地质学、环境地质学和地下水系统分析的原

理, 系统分析总结昆明盆地近 40 年以来地下水位动态和变化趋势, 揭示主要的自然及人为影响因素、地下水资源与环境管控效果及存在的问题, 以为自然资源与环境保护利用及管理、国土空间规划编制及实施等提供必要的基础依据和建议。

研究区内水位数据主要来源于国家级以及省级地下水监测点, 本文 2006 年水位利用昆明盆地 37 个省级地下水水位动态监测站点历史数据资料进行分析; 2020 年水位利用昆明盆地 140 个国家级及省级监测站点数据资料进行分析^[16], 监测点分布情况如图 1。岩溶水监测点分布较广, 主要集中分布于西山区一带, 孔隙水及裂隙水集中分布于滇池周边地

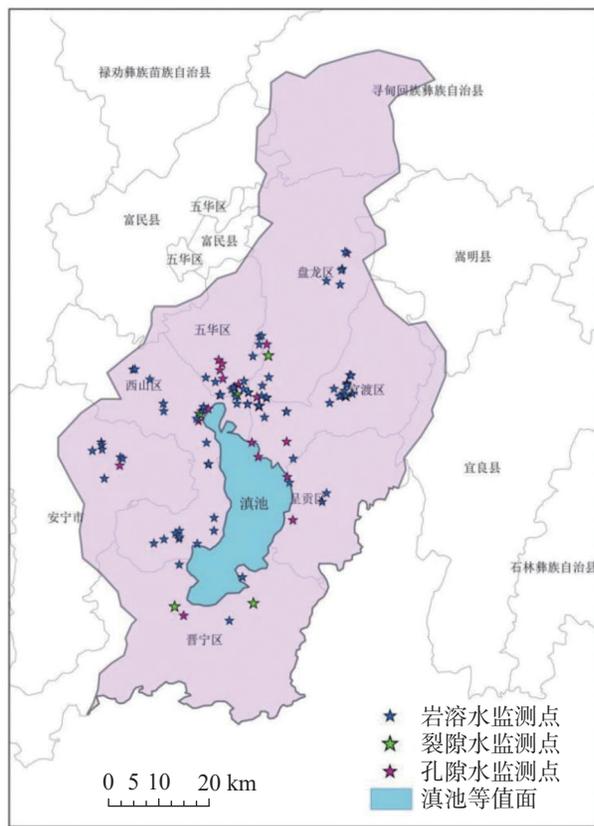


图 1 昆明盆地地下水监测点分布图

Fig. 1 Distribution of groundwater monitoring points in the Kunming basin

区, 等值线绘图分析时以基岩水为主。

3 不同时期地下水位特征

在 20 世纪 60—80 年代昆明盆地地下水位在 1 880~1 895 m(图 2), 几十年变化在几米, 变幅不大, 整体呈现出下降的情况, 说明地下水的开采量及递增速度不大。60 年代初, 翠湖九龙池泉水仍处于出流状态, 开采量小于补给量。

利用 ArcGIS 软件结合省级地下水监测井中 30 个岩溶水监测井及国家地下水监测井中 56 个岩溶水监测井, 选取流域边界绘制昆明盆地 2006 年及 2020 年岩溶水水位年均值的等值线图, 利用已有的 1984 年水位等值线图对比 2006 年、2020 年水位等值线图分析不同时期的水位变化特征(图 3)。

20 世纪 80 年代, 研究区地下水水位情况如图 4, 以滇池为基础面, 地下水水位高值出现在盘龙区严家山一带以及五华区与西山区交界处一带, 地下水水位低值出现在呈贡区及五华区翠湖一带。整体水位与地势相吻合, 呈现北高南低的特征。

从图 5 的 2006 年昆明盆地地下水水位等值线图来看, 水位低值出现在官渡与盘龙区交界以及呈贡区一带, 呈贡地下水水位值为 1 852.10~1 896.13 m, 官渡区一带水位低值为 1 845.55 m 左右; 水位高值出现在官渡区及与盘龙区交界处一带, 地下水水位值为 1 954.84~1 969.52 m。

对比 20 世纪 80 年代及 2006 年地下水等水位线可看出, 滇池东北部, 即呈贡区斗南花市一带、官渡区跑马山及金马寺一带, 在此期间呈现水位明显下降, 环滇池周边其余地区亦存在水位下降趋势。

由图 6 结合监测井数据来看, 地下水水位标高最大值出现在西山区团结龙潭社区乐居村泉一带, 水位标高为 2 095.97 m。其余水位等值线均与地势特征相吻合, 在盆地范围内整体体现为北高南低。

从图 3、图 7 及表 1 可知, 在 2006—2020 年间,

表 1 基岩水典型监测井 2006—2020 年水位变化情况表

Table 1 Water level variations in representative monitoring wells of bedrock water from 2006 to 2020

监测井编号	地理位置	2006年水位/m	2020年水位/m	变幅/m
5301030015	盘龙区重机厂	1906.732	1896.79	-9.94
5301030283	盘龙区大树营探矿厂	1877.783	1889.73	+11.95
5301120534	西山区马街印染厂	1877.249	1890.74	+13.49
5301020271	五华区翠湖	1884.79	1887.57	+2.78

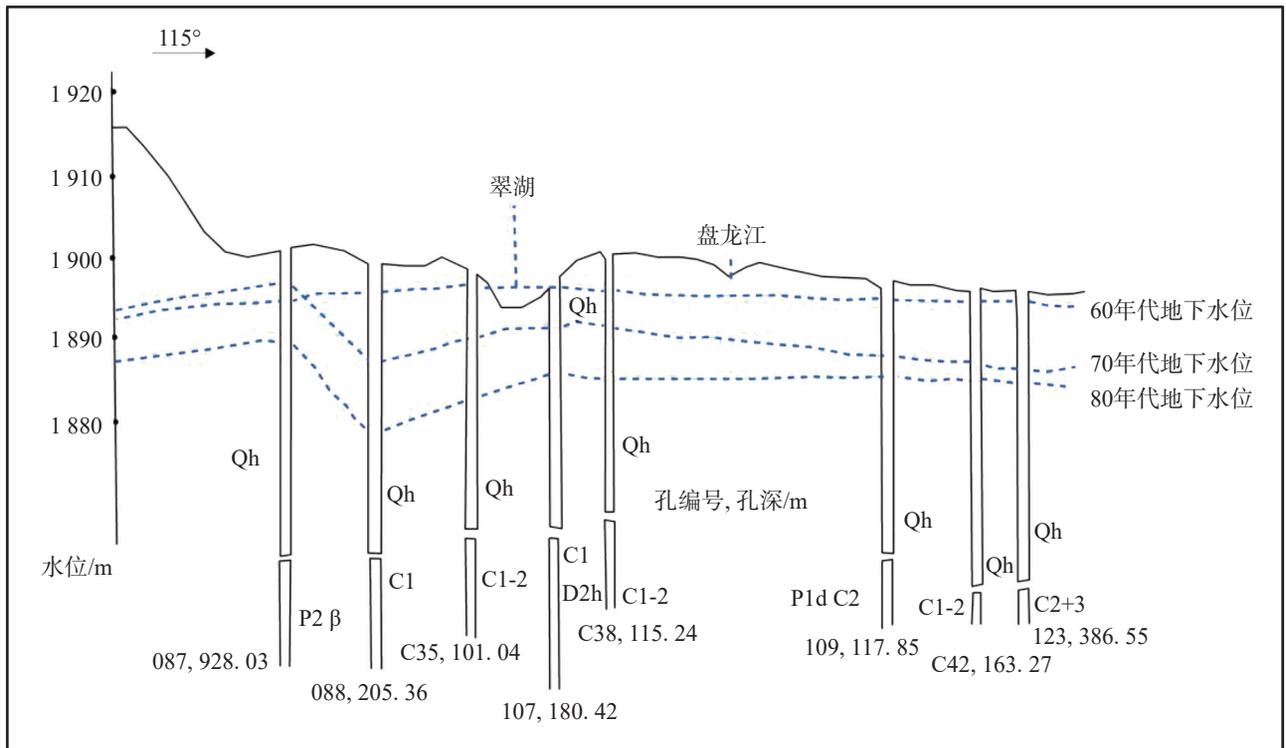


图2 昆明盆地20世纪60-80年代地下水位变化曲线图

Fig. 2 Variation curves of groundwater levels in the Kunming basin from 1960s to 1980s

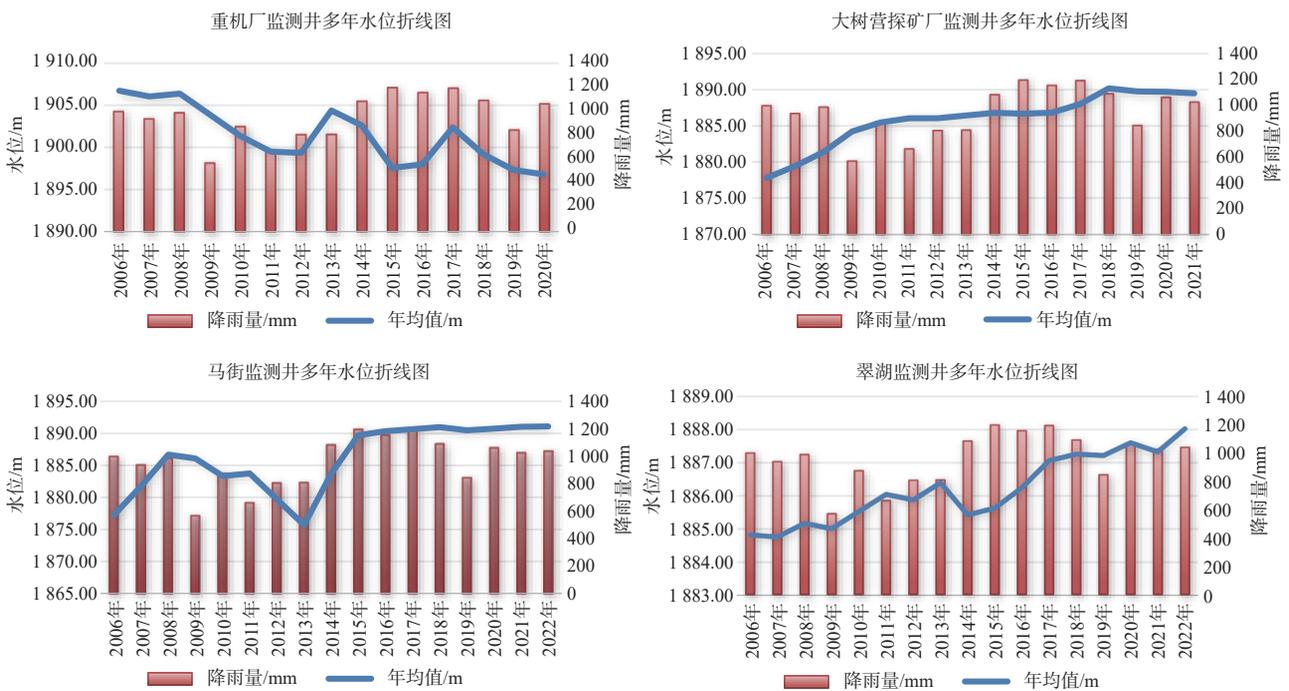


图3 典型监测点多年水位折线图

Fig. 3 Line chart of multi-year water levels at typical monitoring points

昆明盆地南部的基岩水水位变化以弱下降—弱上升趋势为主，而盆地北部整体呈现强上升趋势，局部地区呈现强下降趋势。从监测数据分析，监测点中仅4个点差值数据呈现下降趋势，且均出现在盆地北部

地区，与图上信息吻合。其中，昆明地区2006—2020年地下水水位变幅最大正值出现在西山区马街印染厂一带，变幅为+13.49 m，最大负值出现在盘龙区昆明重机厂一带，变幅为-9.94 m，对应降雨量情况，

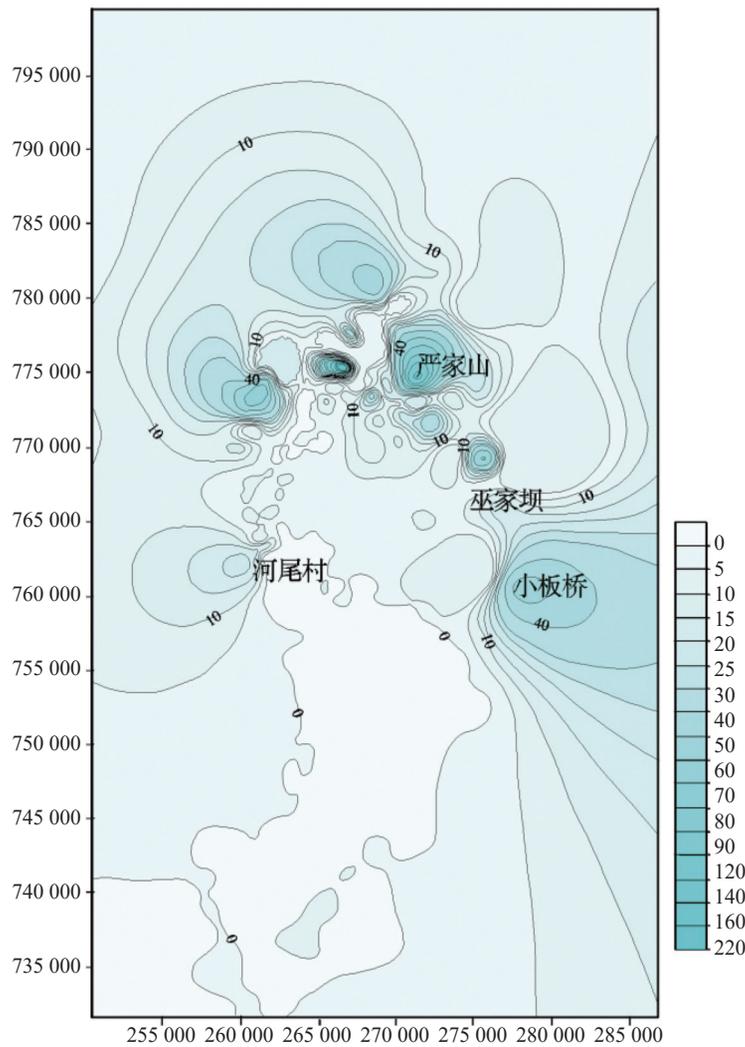


图 4 1984 年昆明盆地基岩水等水位线图

Fig. 4 Contour map of bedrock water level in the Kunming basin in 1984

重机厂周边的降雨补给量远远小于开采量,致使重机厂一带水位逐年下降。

根据 20 世纪 80 年代昆明地区基岩水水位等值线与 2006 年、2020 年对比可知,20 世纪 80 年代到 2006 年间,昆明盘龙区重机厂一带水位变化不大,而从 2006 年到 2020 年间,盘龙区重机厂一带水位有明显的下降,西山区海口大村、梁源北路一带也呈现出

了下降趋势,但变幅不大;翠湖一带在上世纪 80 年代-2020 年这 40 年间呈现出一定的上升趋势;呈贡区斗南花市一带、官渡区跑马山及金马寺一带,地下水位存在上升趋势,变幅在+1 m 左右。

从表 2 数据可看出,昆明盆地孔隙水整体呈现上升趋势,尤其是 5301020116 号监测点,从 2008 年昆明市地下水井封停之后,该监测点水位整体呈现

表 2 孔隙水监测点 2006-2020 年水位变化情况表

Table 2 Variations of water levels at monitoring sites of pore water from 2006 to 2020

孔隙水编号	5301020058	5301020068	5301020116	5301020156	5301110249	5301120434
年份	水位年均值/m					
2006	1880.77	1910.01	1881.98	1899.57	1895.47	1890.31
2020	1880.80	1909.06	1895.08	1899.85	1895.68	1890.38
2006-2020年变幅/m	+0.03	-0.95	+13.10	+0.29	+0.22	+0.07

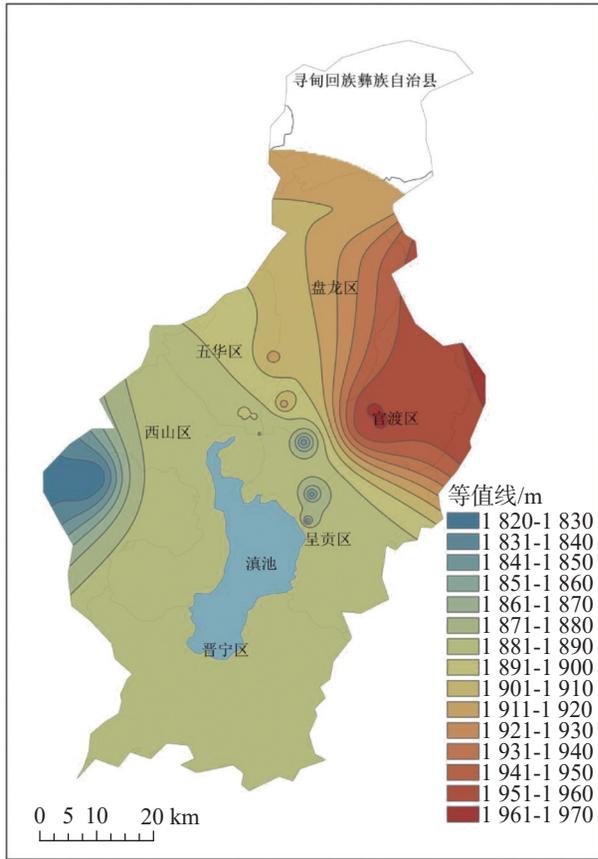


图 5 2006 年昆明盆地基岩水等水位线图

Fig. 5 Contour map of bedrock water level in the Kunming basin in 2006

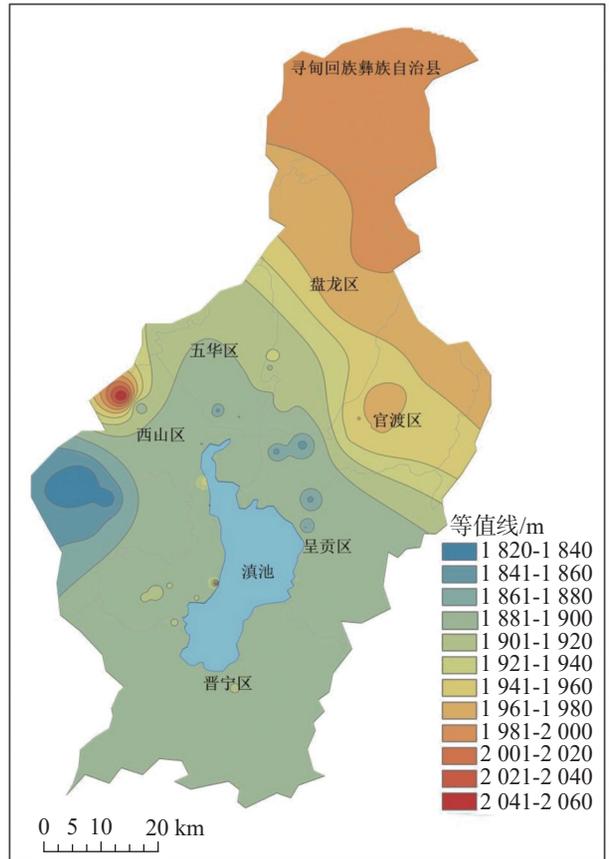


图 6 2020 年昆明盆地基岩水等水位线图

Fig. 6 Contour map of bedrock water levels in the Kunming basin in 2020

出逐年上升趋势, 开采量减少, 以降雨入渗补给为主。2020 年年均水位达到 1895.08 m, 较 2006 年水位上升 13.1 m(图 8)。

昆明盆地雨季主要集中在每年的 5—10 月, 年内最大降水主要集中在 6—9 月, 雨季孔隙水、基岩水水位均有明显的上升。

4 水位变化诱发的环境地质问题

低水位中心的变化与人类活动有着密切联系。自 1973 年以来, 翠湖、金马以及马街等片区由于过度开采地下水, 发生过多次较为严重的地面沉降、岩溶塌陷、建筑物变形等地质灾害, 导致翠湖干涸以及海源寺、蝙蝠洞泉、珍珠泉^[17-18]等名泉断流; 据 2007 年调查, 昆明市共有地下深水井 1418 口, 其中冷水井 1132 口, 热水井 286 口。滇池流域是昆明市人口密度最大, 开发程度最高, 基础设施最为集中的区域, 同时也是地下水开采最为密集的区域, 共有地下水井 1145 口, 这些水井大部分分布于主城四区, 主要

用于自来水管网未覆盖区或供水管网末端压力不足区生活用水。据统计, 2006—2008 年年均地下水开采量 13389 万 m³, 许可水量 16227 万 m³。由于地下水井布局不合理和过度集中开发, 已造成部分地区超采, 其中工厂较为集中的片区, 如昆明重机厂一带, 大量开挖深井, 且开采量大, 导致周边水位持续降低。随着社会经济的发展, 低水位中心的变化不再只偏向于工业、农业及生活用水的过度开采, 市区内大量人防工程以及地下交通工程的建设, 施工初期需大量排水, 导致周边地下水水位下降, 也是引起部分地区出现地面沉降等环境地质问题^[19-21]的原因之一, 同时, 地下水水位下降使得水动力条件发生变化, 加速地表水、孔隙水及基岩水之间循环交替, 导致附近污水不断向漏斗区集中、进一步促进了地下水污染; 含水层水位整体下降还可能使被污染的河流侧向补给地下水, 导致含水层受到污染, 如麻园河、梁家河、西边河、盘龙江、金汁河汇集了城西和城东的工业废水和生活污水, 河流两岸地下水水位下降将使地下水遭受污染。

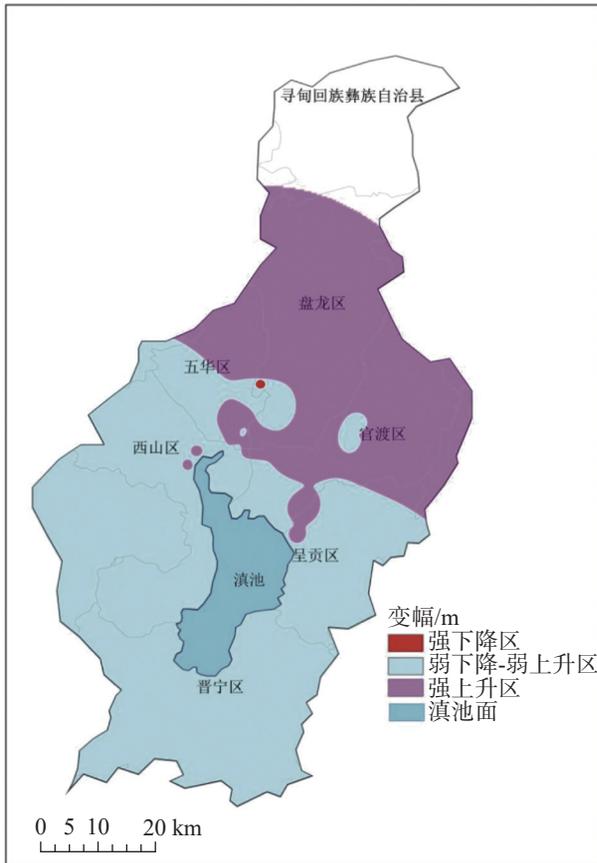


图 7 昆明盆地 2006—2020 年基岩水水位变幅图

Fig. 7 Variations of bedrock water levels in the Kunming basin from 2006 to 2020



图 8 孔隙水典型监测点多年水位折线图

Fig. 8 Line chart of multi-year water levels at representative monitoring points of pore water

5 讨论

5.1 水位动态影响因素分析

不同时期影响昆明地区地下水位变化特征的因素不同。20 世纪 60 至 2006 年, 社会经济快速发展, 水资源需要量增加, 大量钻掘深井开采地下水; 人防

工程建设的局部排水导致地下水位下降; 管理部门对地下水资源及地质环境的管理意识淡薄, 缺乏有效管理, 这些都是导致地下水水位变化的原因。2006—2020 年, 城市化进程发展, 建筑物与水泥地面面积增大, 影响降雨入渗; 加之局部地区地下水开采量较大, 导致周边地下水位呈现下降趋势, 如盘龙区重机厂一带、呈贡一带; 地下工程(如地铁、地下商业中心)的发展, 局部地区的大量排水, 破坏地下水系统平衡, 导致地下水水位下降; 随着地下水相关知识的普及, 使得政府和人民逐渐了解到过量开采地下水资源可能带来的环境地质问题, 并做出相应的整改措施。

2007 年 3 月昆明掌鸠河引水供水工程竣工, 设计日供水能力在 60 万 m^3 , 通车后, 昆明盆地实际日供水量增加, 地下水超采现象得到一定缓解; 2013 年牛栏江—滇池补水工程通车, 截止至 2019 年, 牛栏江—滇池补水工程总调水量达 30.41 亿 m^3 , 其中, 用于城市供水 1.15 亿 m^3 。相对应的, 2019 年昆明盆地降雨量较 2006 年少, 干旱严重, 但整体水位较 2006 年呈上升态势, 在一定程度上也反应了引水供水工程其实施后, 昆明盆地地下水超采现象得到改善。

5.2 水位动态变化趋势预测

研究区于 2008—2009 年大范围封停地下水井, 区域内大部分地区地下水位均在 2009 年后呈现明显上升的趋势^[21]。截止至目前, 原马街地段地下水位已经超过原始测量水位, 个别监测井在雨季甚至出现自流的情况; 翠湖九龙池水位虽暂未上升至原始水位, 但近年来水位有所回升, 自 1984 年至今, 水位变幅约为 +5 m, 根据地下水位 M-K 趋势分析, 翠湖地段 M-K, 上升趋势明显^[22]。

盘龙区重机厂一带工厂内地下水开采量较大, 地下水水位依旧呈现下降态势, 自 2006 年至 2020 年, 水位下降 9.94 m, 且近几年呈现持续下降。

5.3 研究结果的可信度评价

(1)数据可信度评价: 研究数据结合国家级地下水位监测数据以及省级地下水位监测数据。国家级地下水位监测数据由水位监测仪器自动传输, 均于每月进行校核整编, 并排除了问题设备数据; 省级地下水数据由人工监测, 每月数据经统计后以平均值

计,确保数据的准确性,可信度较高。

(2)绘图软件可信度评价:使用 Arcgis 进行水位等值线图绘制可使图面展示更为合理、清晰,也更便于不同时期、不同地段水位动态的对比分析。利用反距离权重(IDW)插值方法对研究区内水位进行补充绘制,实际绘制出的水位等值线结果整体符合研究区地形控制条件,其客观合理性更高。

6 结 论

(1)20世纪60年代至20世纪80年代,昆明盆地地下水水位变幅不大,整体呈现出下降的情况,地下水的开采量及递增速度不大。

(2)20世纪80年代至2006年,昆明盆地地下水水位整体呈现下降趋势,尤其是呈贡区斗南花市一带、官渡区跑马山及金马寺一带,水位下降趋势显著。

(3)2006—2020年,地下水水位整体呈现上升趋势,翠湖一带及西山区马街印染厂一带水位上升趋势显著,属于强上升带;大部分地区为弱上升带,包括呈贡区斗南花市一带、官渡区跑马山及金马寺一带,地下水水位较为稳定,2020年与2006年水位相比,变幅在+1 m左右;盘龙区重机厂一带水位仍然呈现下降趋势,且降幅较大。

(4)昆明盆地地下水流域已成为自然与人工复合的流域,在气象周期影响下的水位动态,受人为因素影响显著,水位升降变化和幅度与地下水开采量、地下空间开凿疏排水量等增减同步,跨流域引水调水工程在一定程度上缓解了地下水水位的下降态势。

参考文献

- [1] 王宇. 云南省地下水资源潜力评价现状与问题分析[J]. 中国岩溶, 2020, 39(2): 137-146.
WANG Yu. Evaluation status and problems of groundwater resource potential in Yunnan Province[J]. *Carsologica Sinica*, 2020, 39(2): 137-146.
- [2] 纪永寿. 安宁温泉地下水开发利用现状及潜在的环境问题[J]. 云南环保, 1990(3): 43-44, 53.
- [3] 武军. 昆明地区地下水水位及其降落漏斗初步研究[J]. 云南地质, 1992, 11(1): 75-78, 62.
- [4] 叶许春, 张世涛, 莫美仙, 宋学良, 张子雄. 昆明盆地浅层孔隙水水位动态变化特征及其影响因素[J]. 水文, 2007, 27(3): 68-70.
YE Xuchun, ZHANG Shitao, MO Meixian, SONG Xueliang, ZHANG Zixiong. Variation characteristics of pore-water level in Kunming basin and the concerned influence factors[J]. *Journal of China Hydrology*, 2007, 27(3): 68-70.
- [5] 王宇, 何绕生, 刘海峰, 王梓激, 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.
- [6] 苏伟杰. 张家口市内陆平原区20年间地下水水位变化趋势分析[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 Civil Engineering*, 2015, 33(1): 56-59.
- [7] 徐淑波, 徐立荣, 梅泽本. 济南引黄灌区近20年地下水水位动态变化及趋势分析[J]. 中国农村水利水电, 2016(5): 68-76.
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): 68-76.
- [8] 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.
- [9] 郭艺, 秦大军, 王枫, 甘甫平, 闫柏珉. 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.
- [10] Yabusaki Shiho, Taniguchi Makoto, Tayasu Ichiro, Akimichi Tomoya, Ohmori Noboru, Gotou Ken, Watanabe Hitoshi, Watanabe Souichirou, Furuya Syuichi. Water quality characteristics and dynamics of groundwater and spring water revealed by multi-tracers in Oshino, Yamanashi, Japan[J]. *Geochemical Journal*, 2023, 57(1): 28-41.
- [11] Coda Silvio, Tufano Rita, Calcaterra Domenico, Colantuono Pasquale, De Vita Pantaleone, Di Napoli Mariano, Guerriero Luigi, Allocca Vincenzo. Groundwater flooding hazard assessment in a semi-urban aquifer through probability modelling of surrogate data[J]. *Journal of Hydrology*, 2023, 621: 129659.
- [12] Halder Sudipa, Roy Malabika Biswas, Roy Pankaj Kumar, Sedighi Majid. Groundwater vulnerability assessment for drinking water suitability using Fuzzy Shannon Entropy model in a semi-arid river basin[J]. *Catena*, 2023, 229: 107206.
- [13] Rojas Rodrigo, Gonzalez Dennis, Fu Guobin. Resilience, stress and sustainability of alluvial aquifers in the Murray-Darling Basin, Australia: Opportunities for groundwater management[J]. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2023, 47: 101419.
- [14] Rusli S R, Bense V F, Taufiq A, Weerts A H. Quantifying basin-scale changes in groundwater storage using GRACE and one-way coupled hydrological and groundwater flow model in the

- data-scarce Bandung groundwater basin, Indonesia[J]. *Groundwater for Sustainable Development*, 2023, 22: 100953.
- [15] 李芸, 杨秋萍, 肖振国. 昆明盆地浅层地下水脆弱性评价[J]. *地下水*, 2016, 38(1): 53-55.
- [16] 中国地质环境监测院. 中国地质环境监测地下水年鉴[M]. 北京: 中国大地出版社, 2020.
- [17] 云南省环境地质监测总站. 安宁地区环境水文地质调查报告[R]. 1989.
- [18] 彭淑惠, 王宇, 张世涛. 昆明岩溶断陷盆地的环境地质问题及治理对策[J]. *地质灾害与环境保护*, 2008, 19(2): 98-103. PENG Shuhui, WANG Yu, ZHANG Shitao. The environmental and geological problems and the countermeasures of the karst fault basin in Kunming[J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2008, 19(2): 98-103.
- [19] 颜翠翠, 谭志容, 朱恒华, 王炜龙. 鲁中南基岩地区水文地质特征及地下水环境地质问题分析[J]. *钻探工程*, 2021, 48(3): 152-160. YAN Cuicui, TAN Zhirong, ZHU Henghua, WANG Weilong. Analysis of hydrogeological characteristics and groundwater environmental geological problems in the bedrock area in central and southern Shandong Province[J]. *Drilling Engineering*, 2021, 48(3): 152-160.
- [20] 杨彩霞. 地下水位下降引起的环境地质问题探讨[J]. *科技创新导报*, 2013(2): 137.
- [21] 殷勇. 城市地下水开发引起的环境地质问题刍议[J]. *地下水*, 2009, 31(6): 134-136. YIN Yong. Primary opinion on environmental geological problems caused by groundwater exploitation in the urban[J]. *Ground Water*, 2009, 31(6): 134-136.
- [22] 康晓莉, 周俊蓉, 高瑜, 张华. 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. KANG Xiaoli, ZHOU Junrong, GAO Yu, ZHANG Hua. Characteristics of long series data of groundwater quality and level in Kunming basin[J]. *Carsologica Sinica*, 2023, 42(4): 662-671.

Study on the characteristics of interannual dynamic variations in groundwater levels in the Dianchi lake basin

ZHOU Junrong^{1,2,3}, ZHANG Hua^{1,2,3}, KANG Xiaoli^{1,2,3}, GAO Yu^{1,2,3},
HE Raosheng^{1,2,3}, WU Hongmei^{1,2,3}, LI Qin^{1,2,3}

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

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

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

Abstract Between 1980 and 2020, with the continuous development of the social economy and the expansion of urban areas, the urban underground engineering in the Dianchi lake basin, also known as the Kunming basin, became increasingly dense. Industrial water consumption increased, and the government strengthened its management of groundwater resources, resulting in variations in groundwater levels. The demand for water resources continued to increase, but the problem of water pollution remained severe. Under the premise that some surface water bodies and pore water have been polluted by human activities, deep well drilling became a common way to extract groundwater at that time. However, with the increasing number of deep wells, the overall groundwater levels of the entire basin were affected, and problems such as the drying up of spring water, falling funnels, and ground collapses occurred in succession. This study is based on the statistical analysis of water level monitoring data collected from existing monitoring wells in the 1980s, 2006, and 2020. With statistical and comparative methods, ArcGIS was used to create contour maps of groundwater levels and maps of water level variations in the Kunming basin over various periods. Based on the principles of hydrogeology, environmental geology, and groundwater system analysis, this study identified the main natural and human influencing factors, effects of controlling groundwater resources and environment, and the existing challenges. It analyzed and summarized the variations in water levels in the Kunming basin over the past 40 years. Additionally, this study outlined the reasons for these water level fluctuations and the potential problems of environmental geology that may arise as a result.

Analyses indicate that groundwater levels in the Kunming basin have shown an overall upward trend over the past 40 years. From the 1960s to the 1980s, fluctuations in groundwater levels in the Kunming basin were not significant, although the overall situation indicated a decline. Besides, and the extraction of groundwater and its rate of increase were relatively modest. From the 1980s to 2006, the groundwater levels in the Kunming basin showed a downward

trend, especially in the areas of Dounan flower market in Chenggong district, as well as Paomashan and Jinma temple in Guandu district, where the water levels experienced a notable decrease. From 2006 to 2020, overall groundwater levels showed an upward trend, with significant increases observed in the area of Cuihu and the area of Majie printing and dyeing factory in Xishan district, which was classified as a zone of strong upward trends. However, most areas were characterized as the zones where the water levels experienced slight rises, including the area of Dounan flower market in Chenggong district, as well as the areas of Paomashan and Jinma temple in Guandu district. In these areas, the groundwater levels were relatively stable, with a fluctuation of about +1 m in 2020 compared to 2006. The water levels observed in the area of heavy machinery factory in Panlong district indicated a significantly downward trend. After the large-scale closure of underground water wells from 2008 to 2009, the groundwater levels in most areas of the basin showed a significant upward trend after 2009, while in some areas, due to large industrial water consumption and other reasons, the water levels still showed a downward trend.

At present, the changes in the low water level center of the basin are closely related to human activities. With the development of the social economy, the changes in the low water level center are no longer only biased towards excessive exploitation of industrial, agricultural, and domestic water. The construction of a large number of civil defense projects and underground transportation projects in the urban area requires a large amount of drainage in the early stages of construction, resulting in a decrease in the surrounding groundwater levels. The decrease in groundwater levels causes changes in hydrodynamic conditions, accelerating the circulation and alternation between surface water, pore water, and bedrock water, leading to the continuous concentration of nearby sewage in the funnel area and promoting groundwater pollution. The overall decline in the water level of the aquifer may also lead to the lateral replenishment of groundwater by polluted rivers, resulting in contamination of the aquifer. For example, the Mayuan river, the Liangjia river, the Xibian river, the Panlong river, and the Jinzhi river collect industrial wastewater and domestic sewage from the west and east of the city. The decline in groundwater levels on both sides of the river will cause groundwater pollution. Today, the groundwater flow field in the Kunming basin has become a natural and artificial compound flow field. The water level dynamics under the influence of meteorological cycles are significantly affected by human factors. The change and amplitude of water level rise and fall are synchronized with the increase and decrease of groundwater mining output, excavation and drainage of underground space, etc. The projects of cross-flow diversion and water diversion have alleviated the decline of groundwater levels to a certain extent. With the popularization of knowledge related to groundwater, the government and the people gradually understand the environmental geological problems that excessive exploitation of groundwater resources may bring, and hence taking corresponding corrective measures.

Key words the Kunming basin, water level, variation characteristics, contour line of water level, environmental geology

(编辑 张玲)