

衡水湖湖水与地下水交互关系研究

王丽娟^{1,2}, 王哲^{1,2*}, 李晓媛¹, 吴利杰¹, 李政红¹

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北武汉 430074; 2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061)

摘要 通过野外采样和室内分析, 采用稳定氢氧同位素、水化学、地下水温度场及电导率结合的方法, 研究衡水湖地表水与地下水的交互关系。结果表明, 沿垂直湖岸方向, 由湖岸向四周, 地下水水温逐渐降低, 电导率逐渐升高; 湖水水化学类型为 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$ 型, 总溶解固体(TDS)含量为 $0.70 \sim 0.76 \text{ g/L}$; 地下水水化学类型以 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Na} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Mg}$ 和 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4-\text{Na}$ 等为主, 近湖点水化学类型与湖水相近。TDS 含量普遍大于 1 g/L , 且近湖点含量较远湖点低; 其他地表水体水化学类型为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4-\text{Na}$ 型, TDS 含量普遍大于 1 g/L ; 地下水中稳定同位素(δD , $\delta^{18}\text{O}$)空间差异明显, 近湖点同位素富集, 与湖水含量相近, 远湖点贫化。该研究结果表明衡水湖湖水与地下水交互关系为湖水渗漏补给地下水, 为进一步探究湖水循环机制奠定理论基础。

关键词 交互关系; 湖水; 地下水; 水化学; 稳定同位素; 温度场; 电导率; 衡水湖

中图分类号 P 641 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)13-0060-04

doi: 10. 3969/j. issn. 0517-6611. 2021. 13. 016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on Interactive Relationship between Lake Water and Groundwater in Hengshui Lake

WANG Li-juan^{1,2}, WANG Zhe^{1,2}, LI Xiao-yuan¹ et al (1. China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, Hubei 430074; 2. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang, Hebei 050061)

Abstract Through field sampling and indoor analysis, a combination of stable hydrogen and oxygen isotopes, water chemistry, groundwater temperature field and electrical conductivity were used to study the interactive relationship between surface water and groundwater in Hengshui Lake. The results showed that along the direction of the vertical lakeshore, from the lakeshore to the surrounding areas, the groundwater temperature gradually decreased and the electrical conductivity gradually increased. The main hydrochemical type of the lake water was $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$, and the TDS content was $0.70 \sim 0.76 \text{ g/L}$; the main hydrochemical type of the groundwater were $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Na} \cdot \text{Mg}$, $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Mg}$ and $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4-\text{Na}$ which were similar to the hydrochemical type of lake water. TDS content was greater than 1 g/L , and the content of TDS in the near lake was lower than that of in the far lake; the chemical type of other surface water bodies was $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4-\text{Na}$, and the TDS content was generally greater than 1 g/L . The spatial difference of stable isotopes (δD , $\delta^{18}\text{O}$) in the groundwater was obvious. The near lake point was enriched, and the content was similar to the lake water, and the far lake point was depleted. The results of this study indicate that the interactive relationship between lake water and groundwater in Hengshui Lake was the replenishment of groundwater by lake water leakage, which provide the theoretical basis to further explore the circulation mechanism of lake water.

Key words Interactive relationship; Lake water; Groundwater; Hydrogeo chemistry; Stable isotopes; Temperature field; Electric conductivity; Hengshui Lake

衡水湖湿地是华北平原面积仅次于白洋淀的第二大淡水湿地。衡水湖湿地生态系统所具有的典型性、代表性以及所支持的生物多样性具有全球意义。然而, 近年来面对流域内水资源日益匮乏的形势, 衡水湖湿地不可规避地面临水源短缺^[1], 湿地面积减少以及水质污染等严峻生态环境问题^[2]。尽管如此, 衡水湖湿地的生态补水多年以来一直随意性较大, 有水多补, 无水就少补甚至不补, 既浪费水资源又无法起到有效的生态保护作用。产生上述这些问题, 归根结底是没有弄清湖水循环机制以及湖水与地下水间的转化关系, 无法切实做到科学有效的管理与保护。

近年来, 国内外众多学者开始认识到湿地保护的重要性, 针对衡水湖湿地从不同角度展开了一系列研究, 如王乃珊等^[3-7]探究了衡水湖生态环境现状并提出了相应的发展规划; 郭玲等^[1, 8-9]分析了入湖水量及区域降雨量变化对衡水湖湿地生态环境的影响; 张学知^[10]对衡水湖水面蒸发量进行同步计算, 得出衡水湖多年平均水面蒸发量为 $2\,939 \text{ 万 m}^3$ 。虽上述研究取得一定成果, 但针对衡水湖湿地湖水循环机制

以及湖水与地下水间的转化关系等方面的研究鲜见报道。因此, 笔者利用传统的水化学法结合同位素技术以及地下水电导率和温度场, 分析湖水-地下水的交互关系, 为进一步探究湖水循环机制奠定基础, 以期寻求维护区域生态系统平衡的良好模式。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 衡水湖位于华北平原中南部, 处于衡水、冀州、枣强之间的三角地带, 地貌属冲洪积、冲积平原, 地势平坦, 以 0.3% 的坡度微倾向东北。湖区内海拔高程为 $17 \sim 19 \text{ m}$, 局部低洼处为 $15.5 \sim 16.5 \text{ m}$ 。自然保护区地处暖温带, 气候属暖温带大陆性、半湿润半干旱季风气候区; 多年平均降水量 505.1 mm , 年蒸发量 $1\,209.5 \text{ mm}$; 年平均气温 12.6°C ; 最高月平均气温 26.6°C (7月), 最低月平均气温 -4.0°C (1月)^[11]。

湖区周边第四系厚度 $450 \sim 470 \text{ m}$, 地下水类型为第四系松散岩类孔隙潜水和松散岩类孔隙承压水。湖区潜水与湖水间联系密切。潜水含水组相当于全新统(Q_4), 土层主要岩性黄褐色、棕黄色亚砂土, 砂层岩性主要为秀黄色、黄灰色粉细砂、粉砂, 单层厚度 $1 \sim 4 \text{ m}$, 总厚度 $7 \sim 8 \text{ m}$, 单井单位用水量 $< 5 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$, 水化学类型 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型, 水质矿化度 $3 \sim 5 \text{ g/L}$, 水位埋深 $4 \sim 6 \text{ m}$ 。

1.2 样品采集与测试 在2017年5—6月, 开展衡水湖周边

基金项目 自然资源部研究项目(B201905); 中国地质科学院基金项目(JYYWF20181304)。

作者简介 王丽娟(1981—), 女, 吉林德惠人, 高级工程师, 硕士, 从事地下水循环研究。*通信作者, 高级工程师, 在读博士, 从事地下水资源与环境研究。

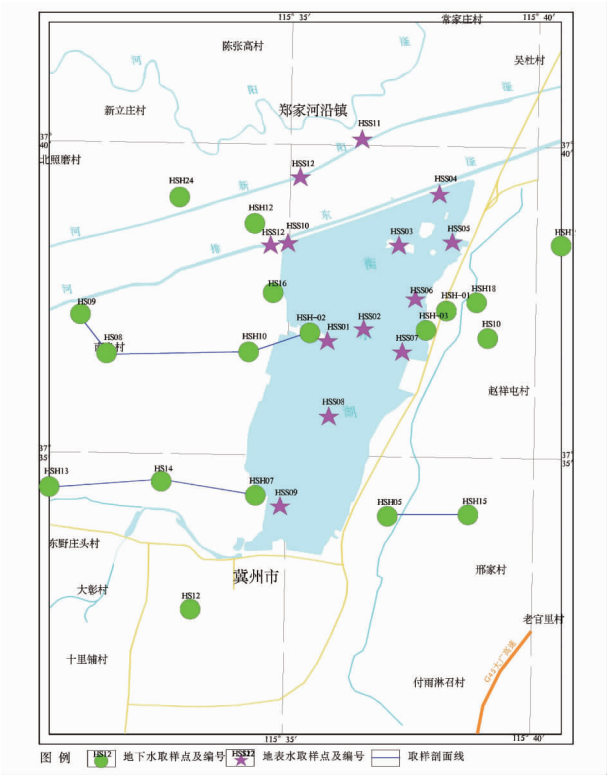
收稿日期 2020-10-22

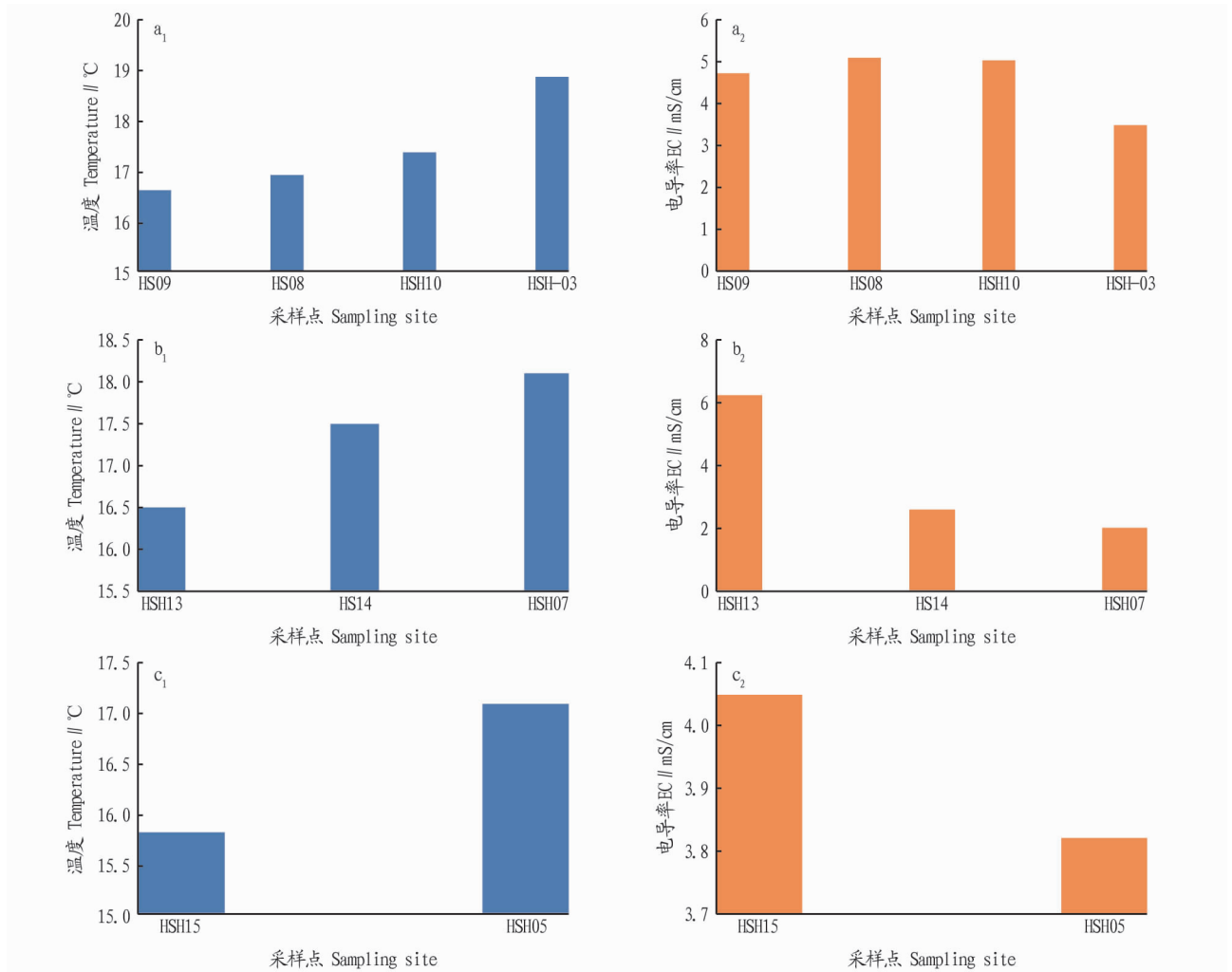
野外调查和采样工作,共采集地表水样 13 组;其中湖水样品 9 组、河渠样品 4 组;采集湖区周边浅层(潜水)地下水样品 18 组(图 1)。利用多功能水质检测仪 YSI(professional plus 6050000,USA)现场测定水体的 pH、电导率、温度和总溶解固体(TDS)浓度。样品均在现场过 0.45 mm 的滤膜,然后置于清洗干净的 500 mL 聚乙烯采样瓶中,并尽量保证水样装满采样瓶,防止瓶内产生气泡。

常量元素和稳定同位素组分测试分别按照《水质采样技术规程》(SL 187—96)、《水质分析方法标准》(GB 7466~7494087)进行。委托自然资源部地下水矿泉水及环境监测中心测试(表 1)。

2 结果与分析

2.1 电导率及地下水水温测试 衡水湖周边采集 18 组潜水样品(图 1),沿垂直湖岸方向选取的 3 条水文地球化学剖面(地下水流向:剖面 1 为自样点 HSH-10 流至样点 HS09;剖面 2 为自样点 HSH07 流至样点 HSH13;剖面 3 为自样点 HSH05 流至样点 HSH15),分析地下水温度、电导率变化规律。结果发现(图 2),由湖岸向四周,地下水水温逐渐降低,电导率逐渐升高。根据湖水温度与地下水温度差异以及湖水电导率与地下水电导率差异,可以判定湖水向地下水的补给关系。从 HSH13 所在剖面可以看出,离湖岸最远 6 km 处仍能反映出电导率变化,说明湖水对地下水的影响范围不仅局限于湖水分布范围。





注: a₁、a₂ 为剖面 1; b₁、b₂ 为剖面 2; c₁、c₂ 为剖面 3

Note: a₁、a₂ was section 1; b₁、b₂ was section 2; c₁、c₂ was section 3

图 2 衡水湖周边沿地下水流线方向上地下水样品水温 and 电导率变化

Fig. 2 Changes of water temperature and EC of groundwater samples along the direction of the groundwater streamline around Hengshui Lake

2.2 水化学分析 从图 3 和表 2 可以看出,湖水:因主要补给水源黄河水为矿化度<1 g/L 的淡水,湖水溶解性总固体(TDS)为 0.70~0.76 g/L,并且湖水呈弱碱性,pH 7.50~7.60;水化学类型为 SO₄·Cl-Na 型水。地下水:浅层地下水水化学类型以 SO₄·Cl-Na·Mg、Cl·SO₄-Na·Mg、Cl·SO₄-Na、SO₄·Cl-Na 和 Cl·HCO₃·SO₄-Na·Mg 型水等为主,较湖水复杂;TDS 含量普遍大于 1 g/L,最大值达 7.3 g/L;呈弱碱性,pH 7.30~7.70。其他地表水体:主要是滏阳新河和滏东排河地表水样品,TDS 含量普遍大于 1 g/L,介于 1.5~2.0 g/L;呈弱碱性,pH 7.30~7.50;水化学类型为 Cl·SO₄-Na 型水。

在近湖区的取样点 HSH-01、HSH-02、HSH05、HSH12、HSH15、HS14、HS16、HS09 等,水化学类型为 SO₄·Cl-Na 和 Cl·HCO₃·SO₄-Na·Mg 型水,与湖水水化学类型(SO₄·Cl-Na)相近;近湖区的取样点 HSH-01、HSH-02、HSH07、HSH13、HSH24、HS12 和 HSH-03 等 TDS 介于 0.9~2.1 g/L,受湖水补给淡化作用影响,较其他远湖点低。上述结论,可进一步佐证了湖水补给湖区周围浅层地下水。

2.3 同位素分析 由表 1 可见,湖水的稳定氢氧同位素最

富集,δD 和 δ¹⁸O 平均值最大,其他地表水的 δD 和 δ¹⁸O 值次之,地下水的 δD 和 δ¹⁸O 值最小。地下水的 δD 和 δ¹⁸O 值出现两极分化现象明显,近湖点 HS16、HSH01、HSH02、HSH03、HSH07、HSH10 等值较远湖点高,接近于湖水 δD 和 δ¹⁸O 值,氢氧同位素较富集。

由图 4 可见,地下水样品的 δ¹⁸O 和 δD 在图上落点可划分为 3 组,I 组是具有较高的 δ¹⁸O 和 δD 值,该组地下水与湖水及其他地表水样品的 δ¹⁸O 和 δD 在图中落点接近,表明其与湖水及其他地表水存在着密切的水力联系;II 组 δ¹⁸O 值较低,δD 值也较低,受湖水及其他地表水补给的影响小。

3 结论

(1) 地下水温度、电导率自湖岸向四周,地下水水温逐渐降低,电导率逐渐升高。

(2) 湖水水化学类型为 SO₄·Cl-Na 型,湖水溶解性总固体(TDS)为 0.70~0.76 g/L;地下水远湖区以 SO₄·Cl-Na·Mg、Cl·SO₄-Na·Mg 和 Cl·SO₄-Na 等为主,TDS 含量普遍大于 1 g/L,最大值达 7.3 g/L;在近湖区水化学类型为 SO₄·Cl-Na 和 Cl·HCO₃·SO₄-Na·Mg 型水,TDS 为 0.9~2.1 g/L。

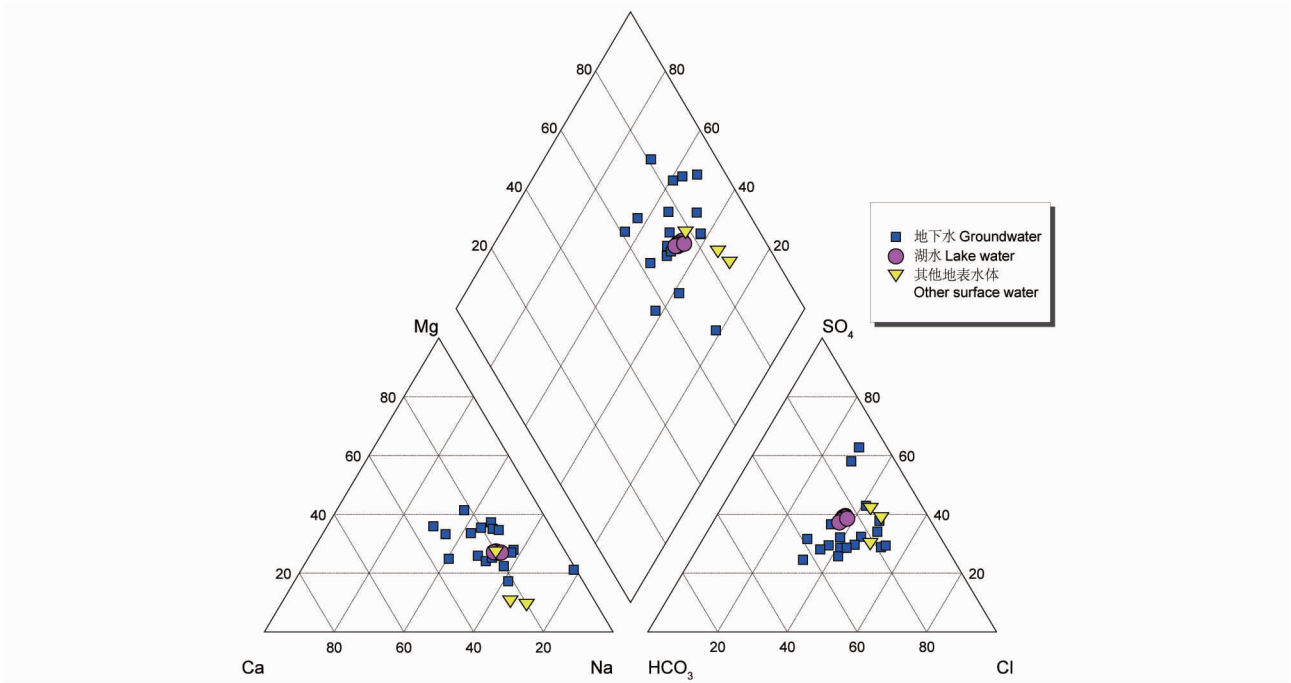


图 3 湖水、地下水及其他地表水 Piper 图
Fig. 3 The piper of lake, groundwater and other surface waters

表 2 湖水、地下水及其他地表水 pH 和 TDS 统计
Table 2 The statistics of pH and TDS in lake water, groundwater and other surface water

采样点 Sampling site	TDS g/L	pH	采样点 Sampling site	TDS g/L	pH
HS08	3.036	7.30	HSH19	5.499	7.39
HS09	2.930	7.51	HSH24	1.567	7.41
HS10	7.338	7.47	HSS01	0.721	7.57
HS12	0.911	7.64	HSS02	0.712	7.55
HS14	4.310	7.58	HSS03	0.741	7.56
HS16	1.918	7.61	HSS04	0.763	7.59
HSH01	1.146	7.71	HSS05	0.767	7.46
HSH02	1.138	7.66	HSS06	0.732	7.54
HSH03	2.108	9.22	HSS07	0.719	7.50
HSH05	2.325	7.59	HSS08	0.706	7.56
HSH07	1.130	7.85	HSS09	0.705	7.63
HSH10	3.063	7.46	HSS10	0.791	7.57
HSH12	3.376	7.57	HSS11	1.985	7.34
HSH13	1.765	7.52	HSS12	1.639	7.53
HSH15	2.440	7.55	HSS13	1.568	7.31
HSH18	3.639	7.33			

(3) 湖水的稳定氢氧同位素最富集,其他地表水次之,地下水最小。地下水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值出现两极分化现象明显,近湖点值较远湖点高,接近于湖水 δD 和 $\delta^{18}O$ 值。

(4) 在分析衡水湖湖区地表水和地下水稳定氢氧同位素和水化学组成以及地下水温度和电导率的基础上,多角度探寻了地下水与湖水的交互关系为湖水渗漏补给地下水。

参考文献

[1] 郭玲. 衡水湖入湖水量变化对湿地的影响[D]. 石家庄:河北师范大学, 2013.

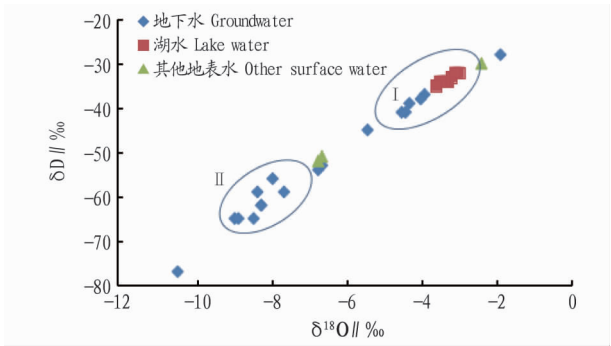


图 4 湖水、地下水及其他地表水 $\delta^{18}O$ - δD 关系
Fig. 4 $\delta^{18}O$ - δD diagram of the lake water, groundwater and other surface water

[2] 刘言. 衡水湖湿地生态脆弱性分析及保护利用[D]. 石家庄:河北师范大学, 2016.

[3] 王乃姗, 张曼胤, 崔丽娟, 等. 河北衡水湖湿地汞污染现状及生态风险评估[J]. 环境科学, 2016, 37(5): 1754-1762.

[4] 刘冀鹏. 衡水湖湿地生态环境现状及对策分析[J]. 中国市场, 2016(21): 211-212.

[5] 宋倩. 衡水湖流域水污染防治法律对策研究[J]. 法制与社会, 2016(25): 187-188.

[6] 刘国荣. 衡水湖生态环境现状及保护对策[J]. 现代农村科技, 2013(14): 72-73.

[7] 尹新明. 引黄调水对衡水湖水质影响的分析[J]. 吉林农业, 2017(5): 105-106.

[8] 崔希东. 衡水湖湿地对降水量影响的初步研究[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 26-28, 42.

[9] 崔希东, 尹新明, 尹俊岭. 衡水湖湿地水环境现状及治理措施研究[J]. 海河水利, 2011(1): 18-20.

[10] 张学知. 衡水湖水面蒸发量计算[J]. 水科学与工程技术, 2014(2): 20-23.

[11] 李建明. 衡水湖湿地研究综述[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2013, 29(6): 10-12.