

宋家湾水库水环境影响分析

崔腾科¹, 陈建龙², 钱鞠², 李胜双², 祁文燕²

(1. 甘肃省兰州水文水资源勘测局, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 以宋家湾水库为例, 利用一维水质完全混合模型、水温预测经验公式、库区两岸浸没范围计算方程预测了水库建设对水质、水温及库区两岸地下水位的影响。结果表明: 丰水年、平水年、枯水年水库年平均下泄流量 16.35、6.68、2.83 m³/s 时, 下游河段污染物经水体自净作用均满足水功能区水质标准限值要求; 随水深增大库区水温逐渐降低, 水温垂向分层强弱差异较大; 2-4 月份库区水温温差较大, 库底水温 8.28℃ 为全年最低水温, 与库区表层平均水温相差 4.42℃; 10 月份库底水温与表层平均水温温差较小, 库区水温基本稳定, 呈水体同温; 预测得知水库修建 30 a 后库区两岸浸润长度为 15.27 km, 库岸地下水位升高 0.0~0.43m, 对地下水影响较小。由此可为宋家湾水库水环境影响防治措施的提出及水库合理运行调度提供科学依据。

关键词: 水环境; 水温; 水质; 地下水位; 宋家湾水库

中图分类号: X143

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)05-0112-05

The impact analysis on water environments of Songjiawan reservoir

CUI Tengke¹, CHEN Jianlong², QIAN Ju², LI Shengshuang², QI Wenyan²

(1. Lanzhou Bureau of Hydrology and Water Resources Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;

2. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In this paper, Songjiawan Reservoir is used as an example to evaluate the influence of reservoir construction on water quality, water temperature and groundwater level in both sides of the reservoir area using the one-dimensional water quality complete mixed model, water temperature prediction empirical formula and reservoir area immersion range calculation equation. The results show that when the average annual discharge in wet, flat and dry water year is 16.35m³/s, 6.68m³/s and 2.83m³/s, the pollutant self-purification of the downstream river reaches the water quality standard of the water functional area. The water temperature distribution of the reservoir showed a great difference. The deeper the water is, the lower the water temperature is. The water temperature difference between February and April is large, and the lowest water temperature of the year is 8.28℃, which is 4.42℃ lower than the average surface water temperature of the reservoir. The water temperature on reservoir bottom is similar to that of the surface in October. The water temperature in the reservoir area is relatively stable and basically the same. It is predicted that the infiltration length of two sides of the reservoir is 15.27km 30 years after reservoir construction and the groundwater level is 0.0 to 0.43m higher than before, which shows there is less impact on groundwater. It can provide a scientific basis to prevent and control the effects of water environment and to rationally operate and schedule Songjiawan reservoir.

Key words: water environment; water temperature; water quality; groundwater level; Songjiawan reservoir

1 研究背景

近年来, 水资源短缺已成为制约经济社会可持续发展的因素之一, 修建水库调蓄河流来水量

以增加供水是解决水资源短缺问题、实现水资源可持续开发利用的有效工程措施。水库建设具有供水、灌溉、防洪、航运等综合效益, 尤其在水资源调控方面有重要作用^[1]。但研究表明, 水库建设可能引

收稿日期: 2017-04-18; 修回日期: 2017-05-30

作者简介: 崔腾科(1963-), 男, 甘肃永靖人, 高级工程师, 主要从事水文水资源、水情测报等工作。

通讯作者: 陈建龙(1994-), 男, 甘肃临洮人, 硕士研究生, 研究方向为地下水及水环境数值模拟。

起诱发地震、植被破坏、水土流失、地下水位与水质变化等水环境问题^[2]。张世平等^[3]以河口村水库为例,采用离子总量反映河流水质特征,分析表明河口村水库通过调节下泄水量,污染物浓度得到一定稀释,下游水质将得到改善。何月萍等^[4]对长河坝水电站单独运行及与大渡河上游双江口水电站联合运行对水温的影响进行了预测,得出与天然河道水温相比,总体上夏季水温降低,冬季水温升高,河段水温年内变幅减小。木合塔尔·卡生木^[5]研究了某大型平原水库随水库蓄水对坝后地下水水位、水质的影响,结论表明,水库蓄水对坝后地下水水位的影响时间跨度大,影响速度慢。

甘肃省徽县水资源相对丰富,但长期以来缺少具有调节性能的骨干水源工程,水资源开发利用程度较低,工程性缺水严重。作为徽县县城及沿线乡镇工业、生活、农业供水的水源工程,宋家湾水库的建设对于合理开发利用水资源、保障区域供水安全具有重要意义。本文利用一维水质完全混合模型、水温预测经验公式、库区两岸浸没范围计算方程分析宋家湾水库建设后对库区水温、下游河道水质及库岸地下水位等的影响,以期为水库水环境影响防治措施的提出及水库合理运行调度提供科学依据。

2 研究区概况

宋家湾水库位于甘肃省东南部徽县嘉陵江上游,徽成盆地中部,坝址位于嘉陵江一级支流永宁河下游柳林镇宋家湾村,距县城约52 km,宋家湾水库地理位置见图1。永宁河发源于秦岭南麓、徽县西北部边境大山梁北坡,流经天水市秦州区,于徽县嘉陵乡黄沙河汇入嘉陵江,全长144 km,流域面积2161 km²;其中徽县境内河长68 km,流域面积813 km²,多年平均年径流量 $4.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[6]。

宋家湾水库为具有供水、灌溉功能的年调节水库,最大坝高73.50 m,正常蓄水位966.45m,死水位950.25 m;水库总库容 $3510 \times 10^4 \text{ m}^3$,兴利库容 $1340 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[6]。

3 水库对水环境的影响

3.1 水库蓄水后下游河道水质变化

建立一维水质完全混合模型对宋家湾水库下泄水质变化过程进行模拟预测。河流一维水质模型由河段和节点两部分组成,节点指河流上排污口、取水口、干支流汇合口等造成河道流量发生突变的点,水量与污染物在节点前后满足物质平衡规律^[7]。

假定在排污口断面瞬时完成均匀混合,污染物在节点处按完全混合计算,混合后水质计算公式为:

$$C = \frac{C_0 Q + C_p Q_p}{Q_p + Q} \quad (1)$$

式中: C 为节点处上游来水和污染物来流混合后污染物浓度,mg/L; C_0 为上游来水中的污染物浓度,mg/L; Q 为上游来水流量,m³/s; C_p 为废污水中污染物浓度,mg/L; Q_p 为废污水流量,m³/s。

河段指河流被节点分成的若干段,每个河段内污染物的自净规律符合一阶反应规律,一维水质模型计算公式如下^[7]:

$$C_x = C_0 \exp\left(-K \frac{x}{u}\right) \quad (2)$$

式中: C_x 为流经 x 距离后污染物浓度,mg/L; C_0 为上游来水中污染物浓度,mg/L; K 为污染物衰减系数,s⁻¹; x 为混合过程段长度,m; u 为水体平均流速,m/s。根据对研究河段一维水力计算分析, $u = 0.27Q^{0.3}$, Q 为河道内水流流量,m³/s。其中,水质综合衰减系数的影响因子较多,受当地自然条件、水体污染程度、流速、气温等因素的影响^[8]。



图1 宋家湾水库地理位置图

根据污染源调查,永宁河柳林镇河段设有工业企业排污口2个,工业废水基本呈点源形式排入永宁河,年排放量 $29.6 \times 10^4 \text{ t}$ ^[6]。工业废水主要含有铅、汞、镉、六价铬、砷、锌等重金属离子,本文选取铅、锌和氨氮作为特征污染物以预测其在水库下游河段浓度变化情况。采用段首控制法,即按每一段起始浓度不超过相应水质标准要求,分现状水平年(典型丰水年、枯水年)、预测水平年(典型丰水年、枯水年)4种工况进行计算。宋家湾水库平均下泄

流量及断面污染物参数如表 1、2 所示。现状水平年初始浓度条件下典型丰水、枯水年份坝址下游河段水质变化过程如图 2 所示;设计水平年初始浓度条件下典型丰水、枯水年份坝址下游河段水质变化过程如图 3 所示。

表 1 宋家湾水库平均入库及下泄流量 m^3/s

月份	丰水年		平水年		枯水年	
	入库	下泄	入库	下泄	入库	下泄
7	31.44	29.02	35.36	28.90	6.17	9.73
8	10.92	9.97	13.05	12.13	3.97	3.73
9	58.99	58.17	17.48	16.64	4.50	2.92
10	10.66	5.98	4.65	3.92	2.20	1.17
11	15.69	14.88	3.76	2.98	2.71	1.49
12	10.18	9.22	2.58	1.35	1.64	1.13
1	4.57	4.74	2.19	1.18	1.17	1.12
2	4.45	2.63	2.25	1.20	1.68	1.14
3	9.85	9.02	2.47	1.16	2.08	1.14
4	33.03	32.07	3.88	5.48	3.85	5.49
5	17.47	18.54	2.18	3.26	4.16	3.22
6	7.19	1.91	1.87	1.92	3.23	1.65

由图 2 得知,现状水平年坝址断面各污染物初始浓度条件下,典型丰水年份下泄流量 $1.91 \sim 58.17 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,经河段水体自净作用,坝址下游 100

m 处铅、锌、氨氮浓度分别为 $1.48 \times 10^{-9} \sim 1.83 \times 10^{-4} \text{ mg/L}$ 、 $6.38 \times 10^{-10} \sim 7.87 \times 10^{-5} \text{ mg/L}$ 、 $5.28 \times 10^{-9} \sim 6.51 \times 10^{-4} \text{ mg/L}$;典型枯水年份下泄流量 $1.12 \sim 9.73 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,坝址下游 100 m 处铅、锌、氨氮浓度分别为 $6.11 \times 10^{-11} \sim 1.73 \times 10^{-6} \text{ mg/L}$ 、 $2.63 \times 10^{-11} \sim 9.04 \times 10^{-8} \text{ mg/L}$ 、 $2.17 \times 10^{-10} \sim 7.48 \times 10^{-7} \text{ mg/L}$ 。

表 2 坝址断面污染物参数

污染物	衰减系数 K/s^{-1}	初始浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	
		现状水平年	设计水平年
铅	0.06	0.013	0.100
汞		0.00004	0.001
镉		0.0001	0.010
六价铬		0.006	0.050
砷		0.0007	0.100
锌	0.06	0.056	1.000
氨氮	0.08	0.463	8.000

由图 3 得知,设计水平年坝址断面各污染物初始浓度条件下,典型丰水年份下泄流量 $1.91 \sim 58.17 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,坝址下游 100 m 处铅、锌、氨氮浓度分别为 $1.14 \times 10^{-9} \sim 1.41 \times 10^{-4} \text{ mg/L}$ 、 $1.14 \times 10^{-8} \sim 1.41 \times 10^{-3} \text{ mg/L}$ 、 $9.12 \times 10^{-8} \sim 1.12 \times 10^{-2} \text{ mg/L}$;典型枯水年份下泄流量 $1.12 \sim 9.73 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,

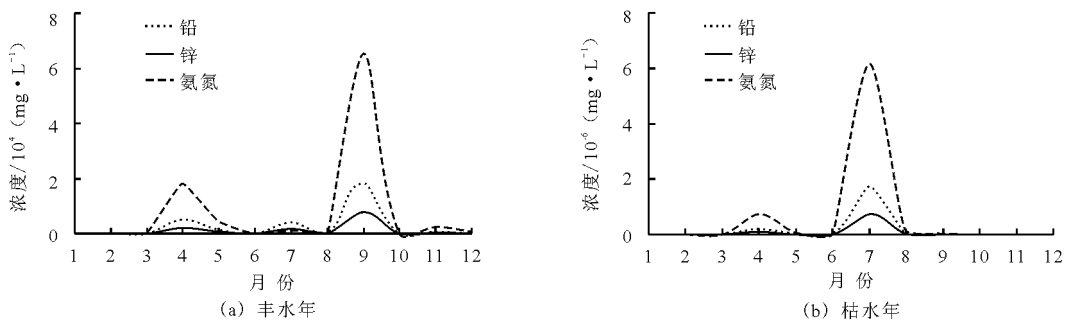


图 2 现状水平年初始浓度条件下典型丰水、枯水年份坝址下游河段水质变化过程

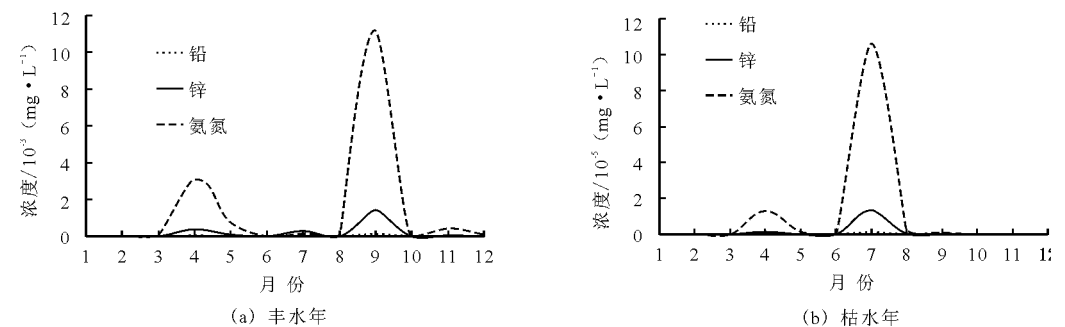


图 3 设计水平年初始浓度条件下典型丰水、枯水年份坝址下游河段水质变化过程

坝址下游 100 m 处铅、锌、氨氮浓度分别 $4.07 \times 10^{-11} \sim 1.33 \times 10^{-6} \text{ mg/L}$ 、 $4.70 \times 10^{-10} \sim 1.61 \times 10^{-6} \text{ mg/L}$ 、 $3.76 \times 10^{-9} \sim 1.29 \times 10^{-5} \text{ mg/L}$,均小于《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)中Ⅱ类水质类别标准限值。综上所述,宋家湾水库建成后,丰水、枯水年份下泄相应流量时,下游河段各污染物浓度均满足水功能区水质标准限值要求。

3.2 水库蓄水对水温的影响

宋家湾水库蓄水后坝前水深约 50m,水库水温沿深度变化较大,水温横向、纵向、垂向分布主要受太阳辐射、库容大小、入库来水量、初始水温、泥沙、取水口位置及水库调度运行、库内水下建筑物影响^[9-12]。在判别库区水温结构的基础上,采用水温预测经验公式可分析水温变化状况。

采用径流-库容比 α 、 β 指标大致判断水库水温结构,其判别指标为:

$$\alpha = \frac{\text{多年平均入库径流量}}{\text{总库容}} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\text{一次洪水总量}}{\text{总库容}} \quad (4)$$

根据 α 、 β 指标判别水库温度分层情况,当 $\alpha \leq 10$ 为分层型; $10 < \alpha < 20$ 为过渡型; $\alpha \geq 20$ 为混合型。对于分层型,如遇 $\beta \geq 1$ 洪水,则成为临时混合型; $\beta \leq 0.5$ 洪水一般对水温分层影响不大; $0.5 < \beta < 1$ 洪水对分层的影响介于二者之间^[3]。宋家湾水库多年平均入库径流量 $3.53 \times 10^8 \text{ m}^3$,总库容 $3.510 \times 10^4 \text{ m}^3$,一次洪水总量 $14.150 \times 10^4 \text{ m}^3$;求得 $\alpha = 10.0$ 、 $\beta = 4.03$,将宋家湾水库确定为分层型,且为临时混合型水库。

坝前水温经验预测公式:

$$T_y = (T_0 - T_b) \exp[-(Y/X)^n] + T_b \quad (5)$$

$$n = \frac{15}{m^2} + \frac{m^2}{35} \quad (6)$$

$$X = \frac{40}{m} + \frac{m^2}{2.37(1 + 0.1m)} \quad (7)$$

式中: T_y 为坝前水温,℃; T_0 为库表面月平均水温值,℃; T_b 为库底月平均水温值,℃; m 为月份; Y 为坝前水深,m。

宋家湾水库表层年平均温度为 12.7℃,根据水温经验预测公式计算得到水库不同深度下逐月水温值(见图4),从图4可知库区水温总体呈现为随深度增大而温度逐渐降低。2-4月份库区水温温差较大,库底水温 8.28℃ 为全年最低水温,与库区表层平均水温相差 4.42℃;5-8月份入库水流水温、气温、太阳辐射有所升高,库底温度升高至 10.56℃,

与表层平均水温温差减小为 2.14℃;9月份受气象条件和入库水流水温影响,库底水温持续上升,与表层平均水温温差进一步减小为 0.6℃;10月份库底水温与表层平均水温温差较小,库区水温基本稳定,呈水体同温。11月份至次年1月份,气温与入库水流水温均下降,库区水温逐渐降低,库底水温在1月份降至 12.59℃。由上述分析得知,库区温度垂向分层强弱差异较大。

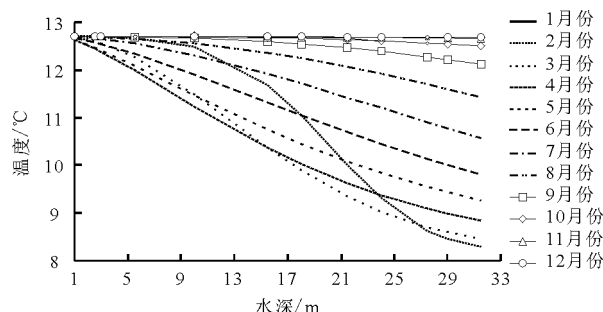


图4 宋家湾水库库区水温分布

3.3 水库蓄水对地下水水位的影响

库区水位的变化是影响两岸地下水动态的重要因素,库区蓄水后与两岸地下水存在水力联系,库区水位呈阶梯状或连续涨落,引起地下水位变化。在此,建立水库水位上升预测模型,将变化曲线概化为阶梯状线段,左右两库区概化的时段数相同;同时,每一时段视为定水位,相邻时段之间水位变化看作瞬时浸没,各时段浸没之和便是整个变化过程,应用叠加原理可得下列计算公式:

$$h_{x,t}^2 = h_{x,0}^2 + \sum_{i=1}^n [(h_{0,i}^2 - h_{0,i-1}^2) F(\bar{x}, \bar{t}_{i-1}) + (h_{l,i}^2 - h_{l,i-1}^2) F'(\bar{x}, \bar{t}_{i-1})] \quad (8)$$

同时得:

$$q_{x,t} = q_{x,0} + \frac{K}{2l} \sum_{i=1}^n [(h_{0,i}^2 - h_{0,i-1}^2) G(\bar{x}, \bar{t}_{i-1}) - (h_{l,i}^2 - h_{l,i-1}^2) G'(\bar{x}, \bar{t}_{i-1})] \quad (9)$$

式中: $h_{x,0}$ 为 x 断面处浸没前的地下水位,m; $h_{x,t}$ 为 x 断面处浸没后 t 时刻的地下水位,m; $\bar{x} = \frac{x}{l}$ 为相对距离; $\bar{t} = \frac{at}{l^2}$ 为相对时间; a 为压力传导系数, m^2/d ; l 为距水库岸边的距离(渗漏距离),m; $F(\bar{x}, \bar{t})$ 为库岸水位函数; $q_{x,0}$ 为 x 断面处浸没前的单宽流量, $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$; $q_{x,t}$ 为 x 断面处浸没后 t 时刻的单宽流量, $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$; K 为渗透系数, m/d ; $G(\bar{x}, \bar{t})$ 为库岸流量函数。

公式(8)、(9)为将左右库区概化成同时段阶梯

状变化时库区间任一时刻任一断面上潜水水位和单宽流量。当 $l \rightarrow \infty$, $\Delta(h_{l,t}^2) = 0$ 时, 双侧有库区渗透转变为单侧有库区渗透的半无问题。此时, 可简化为: $h_{x,t}^2 = h_{x,0}^2 + \Delta(h_{x,0}^2) \lim_{l \rightarrow \infty} F(x, t)$ 为了求极限值, 可将级数化为积分, 结果得: $h_{x,t}^2 = h_{x,0}^2 + \Delta(h_{x,0}^2) F(\lambda)$

其中, $F(\lambda) = \operatorname{erfc}(\lambda) = 1 - \operatorname{erf}(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\lambda}^{\infty} e^{-\beta^2} d\beta$, λ

$= \frac{x}{2\sqrt{at}}$ 称 λ 为库区水位对地下水的影响系数, $\lambda =$

$\frac{x}{2\sqrt{at}} \operatorname{erfc}(\lambda)$ 为误差函数的余误差函数, $\operatorname{erfc}(\lambda)$

$= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\lambda}^{\infty} e^{-\beta^2} d\beta$ 为误差函数^[13]。

表3 宋家湾水库库岸浸没计算表

x/km	$h_{x,0}/\text{m}$	t/d	λ	$F(\lambda)$	$h_{x,t}/\text{m}$
0	912.77	10950	0.00	1.13	913.26
0.9	915.28	10950	0.14	0.95	915.74
2.5	922.45	10950	0.40	0.65	922.83
4.3	927.45	10950	0.68	0.38	927.72
5.89	937.54	10950	0.94	0.21	937.71
7.36	943.75	10950	1.17	0.11	943.84
8.97	953.32	10950	1.43	0.05	953.36
10.44	957.89	10950	1.66	0.02	957.91
11.95	962.62	10950	1.90	0.01	962.63
13.27	969.20	10950	2.11	0	969.21
14.22	973.25	10950	2.26	0	973.25
14.60	974.35	10950	2.33	0	974.35
15.27	980.50	10950	2.43	0	980.50

若含水层的压力传导系数 a 已知, 求在任一距离 x , 任一时间 t 内因库区水位突然变化 $\Delta h_{0,t}$ 所引起的地下水位变化, 可先求出 λ , 然后由误差函数得 $F(\lambda)$ 值后带入, 即可确定 $h_{x,t}$ 值。同理 $q_{x,t} = q_{x,0} + \frac{K\Delta(h_{0,t}^2)}{\sqrt{at}} G(\lambda)$, 其中 $G(\lambda) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} e^{-\lambda^2}$ 。

取宋家湾水库岸区任意一点 A 点为浸没区的边点, 已知该点地表标高为 h_A , 设 $h_A = h_{x,t}$, 库水位上升前 A 点潜水位用 $h_{A,0}$ 表示, 则有 $\frac{h_A^2 - h_{A,0}^2}{\Delta(h_{0,t}^2)} = F(\lambda)$,

由 $F(\lambda)$ 可求得 λ , 根据 $\lambda_A = \frac{x_A}{2\sqrt{at}}$ 或 $t = \frac{x_A^2}{4a\lambda_A^2} =$

$\frac{\mu x_A^2}{4Kh_m \lambda_A^2}$ 可知 A 点开始浸没的时间与距离平方成正

比, 且与岸区地层岩性有关, 渗透系数越大, 给水度越小, 则被浸没的时间来得越快。库区两岸潜水含水层岩性为杂色砂砾卵石、粉细砂, 结构疏松, 渗透系数 K 取值为 20 m/d , 经计算宋家湾水库库区经 30 a 两岸浸润长度达 15.27 km , 水位升高 $0.0 \sim 0.43 \text{ m}$, 变化不大, 对周围地下水影响较小^[14-16], t 时刻后库岸浸润曲线见图5。

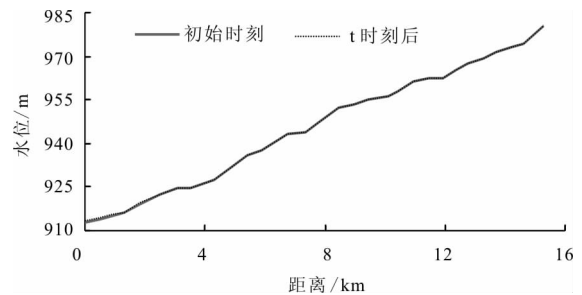


图5 t 时刻后库岸浸润曲线

水库两岸浸没是库区常见的环境水文地质问题。针对水库浸没可在库岸岩层裂隙及断层破碎带灌注水泥浆或其他浆液以堵塞岩层中的水流通带, 形成阻水帷幕从而减小对地下水位的影响。

4 结论与讨论

(1) 典型丰水、枯水年份水库下泄相应流量时, 经河道水体自净, 下游河段铅、锌、氨氮浓度均小于《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) 中 II 类水质类别标准限值, 并满足水功能区水质标准限值要求。

(2) 随水深增大库区水温逐渐降低, 水温垂向分层强弱差异较大。2—4 月份库区水温温差较大, 10 月份库底水温与表层平均水温温差较小, 水体同温。水库建成蓄水后对库区周围气温略有调节作用, 库区及近地局部气候呈冬暖夏凉。

(3) 库区两岸水文地质条件较简单, 水库修建 30 a 后库区两岸浸润长度为 15.27 km , 库岸地下水位升高 $0.0 \sim 0.43 \text{ m}$, 对地下水影响较小。

参考文献:

- [1] 曹亚丽, 贺心然, 姜文婷. 水电梯级开发水文情势累积影响研究[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(6): 20—25.
- [2] 杨金宝, 左建军. 观音阁水库对环境的影响研究[J]. 吉林水利, 2013(4): 43—45+59.
- [3] 张世平, 蔡琨, 任胜伟. 河口村水库对地下水水质的影响预测[J]. 人民黄河, 2010, 32(8): 52—54.

(下转第 123 页)

- 理(汉文版), 2016, 39(2):413-419.
- [6] Turcotte R, Fortin J P, Rousseau A N, et al. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network[J]. Journal of Hydrology, 2001, 240(3-4):225-242.
- [7] 熊立华,郭生练, Kieran M O Connor. 利用DEM提取地貌指数的方法述评[J]. 水科学进展, 2002, 13(6):775-780.
- [8] 张镛光,王克林,陈洪松,等. 基于DEM的地形指数提取方法及应用[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6):715-719.
- [9] 王雷,汤国安,刘学军,等. DEM地形复杂度指数及提取方法研究[J]. 水土保持通报, 2004, 24(4):55-58.
- [10] 徐新良,庄大方,贾绍凤,等. GIS环境下基于DEM的中国流域自动提取方法[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(4):343-348.
- [11] 蔺彬彬,张亚琼,武鹏林. GIS环境下基于DEM的三川河流域特征提取[J]. 中国农村水利水电, 2013(3):34-37.
- [12] O'Callaghan J F, Mark D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data[J]. Computer Vision Graphics & Image Processing, 1984, 28(3):323-344.
- [13] 刘学军,卢华兴,卞璐,等. 基于DEM的河网提取算法的比较[J]. 水利学报, 2006, 37(9):1134-1141.
- [14] 杜庆顺,孔凡哲,牛志刚,等. 基于DEM的河网提取方法对比分析[J]. 中国农村水利水电, 2006(8):40-41.
- [15] 易卫华,杨平. 基于DEM数字河网提取时集水面积阈值的确定[J]. 江西水利科技, 2008, 34(4):259-262.

(上接第116页)

- [4] 何月萍,杜海卫,戴松晨,等. 长河坝水电站水库水温预测研究水电站设计[J]. 2012, 28(4):64-68.
- [5] 木合塔尔·卡生木. 某大型平原水库对周边地下水的影响[J]. 水利科技与经济, 2015, 21(6):86-87.
- [6] 甘肃省水利水电勘测设计研究院. 陇南市徽县宋家湾水库工程可研报告[R]. 2016. 6.
- [7] 朱党生. 水利水电工程环境影响评价[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2006.
- [8] 朱源辉. 水库水质现象分析及水库对环境的影响[C]//福建省科协第八届学术年会水利分会论文集, 福州: 2008.
- [9] 宋策,周孝德,辛向文. 龙羊峡水库水温结构演变及其对下游河道水温影响[J]. 水科学进展, 2011, 22(3):421-428.
- [10] 宋策,周孝德,唐旺. 水库对河流水温影响的评价指标[J]. 水科学进展, 2012, 23(3):419-426.
- [11] 隋欣,杨志峰. 龙羊峡水库蓄水对水温的净影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4):154-157.
- [12] 唐旺,周孝德,袁博. 不同类型水库对库区及河道水温的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(6):184-188.
- [13] 吴吉春,薛禹群,靳孟贵. 地下水动力学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2009.
- [14] 刘金玉. 三涧堡地下水库对地下水环境影响的研究[D]. 大连:大连理工大学, 2015.
- [15] 徐鑫,张克峰,曹向华,等. 中水水库对地下水环境的影响分析[J]. 山东建筑大学学报, 2013, 28(3):228-231+278.
- [16] 宋会香. 河口村水库对下游地下水环境的影响[J]. 人民黄河, 2011, 33(2):71-74.