

高杰培, 朱昊哲, 艾新龔. 南水北调中线工程冬季气温与水温关联性[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(6): 1109-1115. GAO J P, ZHU H Z, AI X Y. Correlation analysis between winter air temperature and water temperature of the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(6): 1109-1115. (in Chinese)

南水北调中线工程冬季气温与水温关联性

高杰培, 朱昊哲, 艾新龔

(中国南水北调集团中线有限公司河南分公司, 郑州 450016)

摘要:为探讨南水北调中线工程中渠水温度与沿途气温之间的关系,采用等距抽样方法,从南到北在南水北调中线节制闸中选取 7 座节制闸作为分析样本,收集统计 2022 年 11 月 15 日—2023 年 2 月 28 日所选节制闸的水温信息和所在地的气温信息。结果表明:7 座节制闸的冬季水温变化趋势和 15 日移动平均气温变化相似;对南水北调中线上游段水温减去沿线 15 日气温差形成的数据与下游段水温数据进行对比,计算得到的皮尔逊相关系数均在 0.95 以上,相关性显著;在冬季,跨流域调水工程从南到北(上游到下游)的 15 日移动平均气温差是反映水体热量损失的主要表现形式。研究结果可为跨流域调水工程调整冰期输水调度策略、预防冰冻灾害提供理论依据。

关键词:南水北调中线工程;冬季输水;水温;气温

中图分类号:TV68 **文献标志码:**A **DOI:**10.13476/j.cnki.nsbdqk.2023.0108

随着经济的发展,跨流域调水工程成为解决水资源短缺、复苏河湖生态环境、促进可持续发展的重大战略举措^[1]。在我国中北部地区,冬季严寒导致跨流域输水水流会出现结冰现象,对输水调度工作带来不利影响^[2]。南水北调中线工程由南向北跨越北纬 33°~40°,气温由温和趋向寒冷,冬季水流进入黄河以北地区,渠道存在岸冰、流冰、冰盖封冻等冰情,总干渠将处于无冰输水、流冰输水、冰盖输水等多种复杂运行状态^[3]。水温的高低直接影响总干渠内水流的结冰状态,进而影响工程安全和供水安全。

通过文献调研,在气温与水温关系研究方面:李程喜等^[4]建立了基于初始断面水温-沿程气温链的冬季水温回归预测模型;韦耀国等^[5]分析了气温、阶段累积负气温、相对湿度、地温、太阳辐射、日平均流速等因素,建立了基于 BP 神经网络的南水北调中线水温预报模型;段文刚等^[6]基于拉格朗日质点跟踪法,结合沿线气温-水温-冰盖生成物理过程,提出了气温链概念并给出通用数学表达式,并构建了 71 a 冬季气温位次。刘孟凯等^[7]通过对南水北调中线总干渠沿线地区冬季气温特征分析,得出工

程沿线地区冬季气温具有显著升温趋势等结论;练继建等^[8]通过探索中国传统历法在辐射、气温分析中的作用,对比不同历法下入冬前气温与冬季输水气象特征指标间相关性的优劣,并利用长短期记忆(long short-term memory, LSTM)预测模型对公历、干支历和阴历 3 种坐标系下冬季输水气象特征指标进行预测。李克锋等^[9]通过对某流域水温原型观测和气象资料的统计分析,得出气温对水温的影响一般来说是最大的;郑铁刚等^[10]对比气温对渠温沿程衰减的影响表明,随大气温度的降低,渠温沿程衰减速度明显加快。杨开林^[11]基于历史气象资料提出了水体与大气热交换的线性化模型和非线性模型。本文在文献调研的基础上,将气温和水温综合分析,探讨冬季南水北调中线总干渠水温与沿途气温之间的关系,对于预防冰情,保障工程安全、供水安全具有重要意义。

1 研究区概况

南水北调中线工程输水干渠地跨河南、河北、北京、天津 4 个省(直辖市),纵贯长江、淮河、黄河、

收稿日期:2023-06-09 修回日期:2023-10-28 网络出版时间:2023-11-29

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20231127.1726.010

作者简介:高杰培(1984—),男,河南辉县人,高级工程师,主要从事调水工程运行管理与研究工作。E-mail:gaojiwanyi@163.com

海河四大流域^[12-13]。流经区域大部分属于温带和北亚热带向暖温带过渡的大陆性季风气候,冬季受西伯利亚寒流影响,多西北风且寒冷干燥^[14]。南水北调中线工程陶岔渠首—北拒马河中支渠段线路总长约 1 197 km,设计阶段在黄河以北约 700 km 渠段考虑设置防冰措施,其中安阳以北可能形成冰盖^[15]。南水北调中线总干渠起点(渠首)位于东经 111.71°、北纬 32.67°,终点(惠南庄管理处)位于东经 115.8°、北纬 39.52°,纬度相差 6.85°,两者按正北方向计算相差约 761 km^[16]。南水北调中线冰期运行时间为每年 12 月 1 日至次年 2 月底,范围为安阳以北渠段^[5,17]。在冰期输水渠段,需要降低输水流量、保持闸前常水位运行、控制渠道水流条件、促使尽快形成冰盖、采取冰盖输水方式^[18]。

2 数据与方法

2.1 站点选取

南水北调中线工程明渠段长约 1 200 km,全线均匀分布节制闸 64 座^[19]。采用等距选取,从南到北约 200 km 选取 1 座节制闸作为数据采集点,选取的 7 座节制闸从南到北分别为:湍河节制闸(邓州)、澧河节制闸(叶县)、梅河节制闸(新郑)、孟坟河节制闸(辉县)、洺河节制闸(永年)、磁河节制闸(正定)和北拒马河节制闸(涿州)。

2.2 动能和势能对水温的影响

南水北调中线工程总水头不足 100 m^[20],当水从陶岔渠首流出会携带一定的动能,陶岔渠首到明渠段末端北拒马河有水头差,存在一定的相对水位势能。在水体流动过程中,动能、势能所转化的能

量大部分被水体用于温度提升,为分析水动能和势能对水温的影响,假设水动能和势能的沿途损失均转换为水的热能。

根据南水北调中线沿途闸站冬季常见的水位和流速数据,经计算,单位质量的水从样本最南端的湍河节制闸到最北的北拒马河节制闸,损失的动能和势能可以使水温上升约 0.2 °C,对水温影响小,本文不考虑其影响。

2.3 数据统计

南水北调中线冰期运行时间为每年 12 月 1 日至次年 2 月底,为使数据更好地表现出天气降温过程对水温的影响,选取的数据收集时间为 2022 年 11 月 15 日至 2023 年 2 月 28 日。因每座节制闸的水温受到周围环境的影响,每天水温会有小幅的波动,为简化数据量,选取每日 18:00 的水温作为分析数据。日平均气温采用最高气温和最低气温的平均值,气温数据来源于中国气象局。

统计 2022 年 11 月 15 日至 2023 年 2 月 28 日邓州、叶县、新郑、辉县、永年、正定、涿州的日均气温及 15 日移动平均气温见图 1 和图 2。

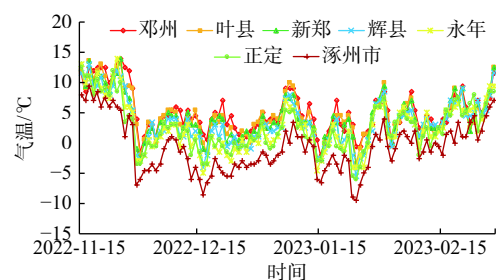


图 1 南水北调中线工程沿线各站点日均气温

Fig. 1 Daily average temperature of stations along the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project

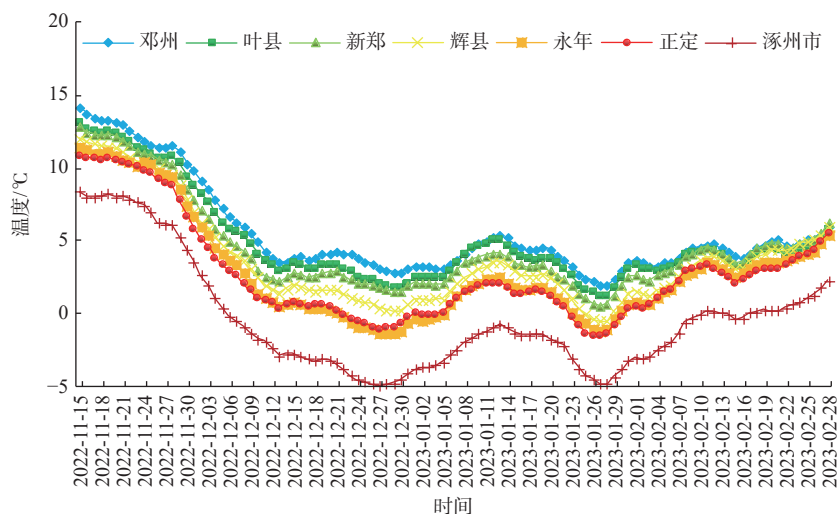


图 2 南水北调中线工程沿线各站点 15 日移动平均气温

Fig. 2 Fifteen days moving average temperature of stations along the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project

统计 2022 年 11 月 15 日至 2023 年 2 月 28 日 孟坟河节制闸、洺河节制闸、磁河节制闸和北拒马河节制闸的水温信息,见图 3。

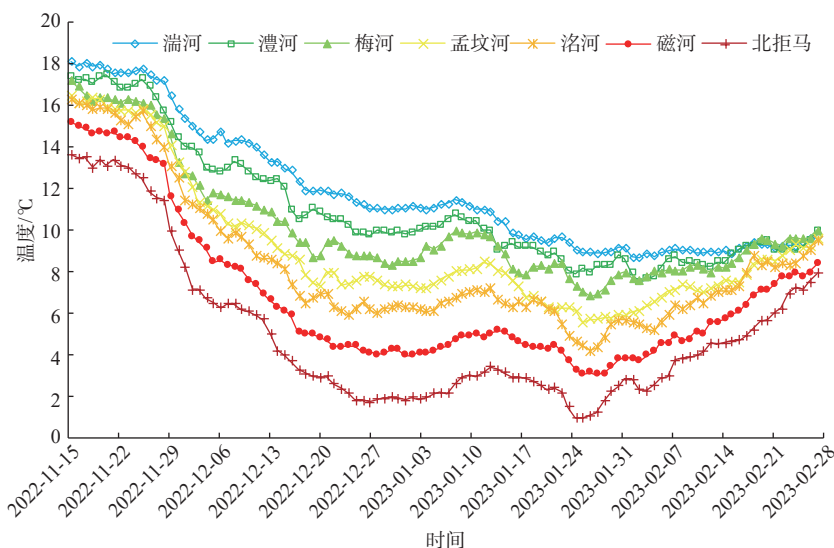


图 3 南水北调中线工程节制闸水温对比

Fig. 3 Comparison of water temperature at sluice gates in the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project

2.4 相关分析法

采取相关系数分析水温 and 气温的相关性。相关系数是用以表征两个随机变量之间相关关系密切程度的统计指标,被广泛运用于科学与技术领域。皮尔逊提出的皮尔逊积矩相关系数是一种较常用的线性相关系数^[21]。估算样本的协方差和标准差,可得到皮尔逊相关系数 $r^{[22]}$ 。皮尔逊相关系数在统计学中用于度量两个变量 X 和 Y 之间的相关(线性相关)关系,其值介于-1 与 1 之间^[23]: $0.8 \leq r < 1.0$ 极强相关; $0.6 \leq r < 0.8$ 强相关; $0.4 \leq r < 0.6$ 中等程度相关; $0.2 \leq r < 0.4$ 弱相关; $0 \leq r < 0.2$ 极弱相关或不相关^[24]。

样本相关系数 r 的计算公式^[25]为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

3 结果与讨论

3.1 气温和水温冬季变化趋势

根据图 1 和图 2 可知,南水北调中线流经的主要区域冬季降温趋势基本一致。根据图 3,可以得

出沿线水温从南到北逐渐降低,各节制闸水温变化趋势基本一致。图 3 和图 1 对比可得出水温比日均气温波动小。图 3 和图 2 对比可得出,水温变化趋势和 15 日移动平均气温变化趋势有一定的相似性。

3.2 15 日移动平均气温和水温变化的相关性

为研究南水北调中线工程从南到北沿线 15 日移动平均气温变化和水温变化的相关性,用上游段水温减去上、下游节制闸两地 15 日移动平均气温差得到的数据与下游段水温进行对比,具体步骤为:第一步,用上游节制闸所在地区 15 日移动平均气温减去下游节制闸所在地区 15 日移动平均气温,得到差值 Δt_1 ;第二步,用上游节制闸水温减去 Δt_1 得到 Δt_2 ;第三步,将 Δt_2 与下游节制闸水温数值绘制曲线进行对比。如图 4 所示,先用邓州 15 日移动平均气温减去涿州 15 日移动平均气温得到两地的 15 日移动平均气温差值,再用湍河节制闸水温减去两地的 15 日移动平均气温差值,得出的数值形成一条曲线,该曲线与北拒马河节制闸的水温曲线进行对比。按上述方法选取上游段澧河节制闸、梅河节制闸与下游段北拒马河节制闸进行对比见图 5、图 6,选取上游段梅河节制闸、湍河节制闸与下游段洺河节制闸对比见图 7、图 8。

对图 4 至图 8 中的数据进行皮尔逊简单相关系数计算,计算结果见表 1 和表 2。由表 1 可以看出,通过对下游北拒马河节制闸水温与上游湍河节制

闸水温减去两地 15 日移动平均气温差形成的数据,下游北拒马河节制闸水温与上游澧河节制闸水温减去两地 15 日移动平均气温差形成的数据,下游北

拒马河节制闸水温与上游梅河节制闸水温减去两地 15 日移动平均气温差形成的数据,进行皮尔逊相关系数计算, r 的值均大于 0.95,属于极强相关。

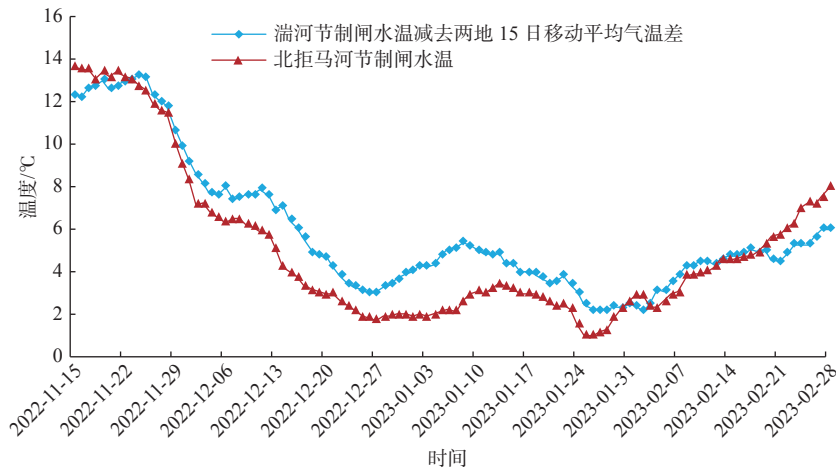


图 4 湍河节制闸水温减去两地 15 日移动平均气温差和北拒马河节制闸水温对比

Fig. 4 Comparison between water temperature of Tuanhe River sluice gate minus 15-day moving average temperature difference of two places and water temperature of Beijuma River sluice gate

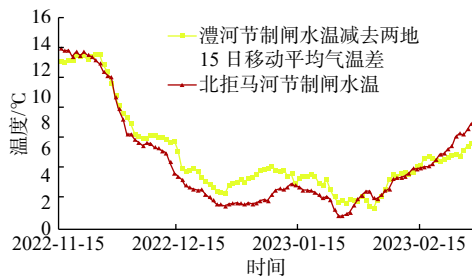


图 5 澧河节制闸水温减去两地 15 日移动平均气温差和北拒马河节制闸水温对比

Fig. 5 Comparison between water temperature of Lihe River sluice gate minus 15-day moving average temperature difference of two places and water temperature of Beijuma River sluice gate

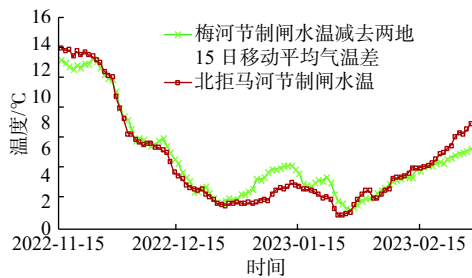


图 6 梅河节制闸水温减去两地 15 日移动平均气温差和北拒马河节制闸水温对比

Fig. 6 Comparison between water temperature of Meihe River sluice gate minus 15-day moving average temperature difference of two places and water temperature of Beijuma River sluice gate

由表 2 可以得出,通过对下游洛河节制闸水温与上游湍河节制闸减去两地 15 日移动平均气温差、下游洛河节制闸水温与上游梅河节制闸水温减去两地 15 日移动平均气温差形成的数据,进行皮尔逊相关系数计算, r 的值均大于 0.97,属于极强相关。

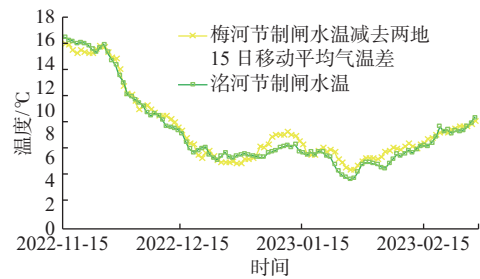


图 7 梅河节制闸水温减去两地 15 日移动平均气温差和洛河节制闸水温对比

Fig. 7 Comparison between water temperature of Meihe River sluice gate minus 15-day moving average temperature difference of two places and water temperature of Minghe River sluice gate

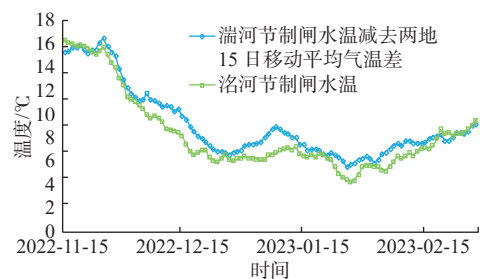


图 8 湍河节制闸水温减去两地 15 日移动平均气温差和洛河节制闸水温对比

Fig. 8 Comparison between water temperature of Tuanhe River sluice gate minus 15-day moving average temperature difference of two places and water temperature of Minghe River sluice gate

由表 1 和表 2 可得出,上游段水温减沿线 15 日移动平均气温差形成的数据与下游水温数据的皮尔逊相关系数在 0.95 以上。

表1 北拒马河节制闸水温与湍河、澧河、梅河节制闸水温减去15日移动平均气温差相关性分析

Tab. 1 Analysis on the correlation between the water temperature of the Beijuma River sluice gate and the 15-day moving average temperature difference between of the Tuanhe River, Lihe River, and Meihe River

变量	相关性分析结果		
	湍河节制闸水温减去 两地15日移动平均气温差	澧河节制闸水温减去 两地15日移动平均气温差	梅河节制闸水温减去 两地15日移动平均气温差
北拒马河 节制闸水温	皮尔逊相关性 0.953**	0.971**	0.977**
	Sig.(双尾) 0	0	0
	个案数 106	106	106

注:**表示在0.01级别(双尾),相关性显著。

表2 洺河节制闸水温与湍河、梅河节制闸水温减去两地15日移动平均气温差相关性分析

Tab. 2 Analysis on the correlation between the water temperature of the Minghe River sluice gate and the 15-day moving average temperature difference between of the Tuanhe River and Meihe River

变量	相关性分析结果	
	湍河节制闸 水温减去两地 15日移动平均 气温差	梅河节制闸 水温减去两地 15日移动平均 气温差
洺河 节制闸水温	皮尔逊相关性 0.977**	0.987**
	Sig.(双尾) 0	0
	个案数 106	106

注:**表示在0.01级别(双尾),相关性显著。

3.3 讨论

通过表1和表2可得出:上游段水温减沿线15日移动平均气温差形成的数据与下游水温数据相关性显著,且所选上游与下游节制闸距离越近,皮尔逊相关系数越接近1,相关性越强。

上游段水温减沿线15日移动平均气温差形成的数据与下游段水温数据的对比,可以变换为上下游的15日移动平均气温差与水温差进行对比。根据上游段水温减沿线15日移动平均气温差形成的数据与下游段水温数据的相关性,可以推出上下游15日移动平均气温差与水温差具有相关性。因单位水体热量损失表现为水温的降低,沿线水温差与15日移动平均气温差又具有相关性,所以在冬季南水北调中线明渠段工程中,15日移动平均气温差是反映水体热量损失的主要表现形式。

根据李克锋等^[9]的研究,在敞开式水面,空气是直接与水相接触的,并且以长波辐射和感热交换的方式直接作用于水体,气温对水温的影响最大。本文就南水北调中线工程沿线冬季气温和水温的关联性进行了分析,但渠道水温受包括气温在内的

多种环境因素影响,且同种环境对工程不同部位水温的影响效果也不一样,因此,还需进一步对水温的影响因素进行系统研究。

4 结论

南水北调中线上游段水温减沿线15日移动平均气温差形成的数据与下游段水温数据相关性显著;在南水北调中线明渠段工程中,15日移动平均气温差是反映水体热量损失的主要表现形式。

根据上游段水温减沿线15日移动平均气温差形成的数据和下游段水温数据相关性的特点,可为跨流域调水工程特别是南水北调中线工程调整冰期输水调度策略、预防冰冻灾害提供理论依据。

参考文献:

- [1] 王维强,韩晓东,桂建业,等.南水北调中线干线水体特征指标筛查与动态分析[J].南水北调与水利科技(中英文),2023,21(1):65-75. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2023.0008.
- [2] 练继建,杨德明,赵新.南水北调中线工程冬季输水冰情风险研究[J].水利水电科技进展,2023,43(1):63-70. DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2023.01.010.
- [3] 黄国兵,杨金波,段文刚.典型长距离调水工程冬季冰凌危害调查及分析[J].南水北调与水利科技,2019,17(1):144-149. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2019.0020.
- [4] 李程喜,段文刚,马啸,等.南水北调中线工程京石段冬季水温回归预测模型[J].南水北调与水利科技(中英文),2023,21(2):352-361. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2023.0036.
- [5] 韦耀国,赵海镜,杨国华,等.神经网络在南水北调中线冬季水温预测中的应用[J].水利水电技术(中英文),2021,52(S2):335-338. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2021.S2.074.

- [6] 段文刚, 郝泽嘉. 基于气温链的南水北调中线工程冬季气温等级评价[J]. *长江科学院院报*, 2022, 39(9): 1-8. DOI: 10.11988/ckyyb.20220187.
- [7] 刘孟凯, 杨佳, 黄明海. 南水北调中线总干渠沿线地区冬季气温特征分析[J]. *人民长江*, 2020, 51(7): 93-99. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2020.07.016.
- [8] 练继建, 张玥, 赵新. 基于历法的冬季输水气象特征指标相关性研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2022, 33(4): 108-116, 132. DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2022.04.15.
- [9] 李克锋, 郝红升, 庄春义, 等. 利用气象因子估算天然河道水温的新公式[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2006(1): 1-4. DOI: 10.15961/j.jsuese.2006.01.001.
- [10] 郑铁刚, 宗全利, 孙双科, 等. 高寒区抽水融冰渠道水温沿程衰减规律: 以红山嘴水电站为例[J]. *水科学进展*, 2018, 29(5): 667-676.
- [11] 杨开林. 冰期明渠水温模型[J]. *水利学报*, 2022, 53(1): 20-30.
- [12] 关炜. 南水北调中线一期工程2019年度通水效益分析[J]. *水利水电技术(中英文)*, 2021, 52(S2): 360-365. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2021.S2.078.
- [13] 仲志余, 刘国强, 吴泽宇. 南水北调中线工程水量调度实践及分析[J]. *南水北调与水利科技*, 2018, 16(1): 95-99, 143. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.20180015.
- [14] 左其亭, 王妍, 陶洁, 等. 南水北调中线水源区水文特征分析及其水资源适应性利用的思考[J]. *南水北调与水利科技*, 2018, 16(4): 42-49. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2018.0095.
- [15] 金思凡, 初京刚, 李昱, 等. 南水北调中线京石段冬季调度策略[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2021, 19(2): 365-377. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0039.
- [16] 李芬, 李昱, 李敏, 等. 基于模糊评价模型的南水北调中线冰害风险空间分布[J]. *南水北调与水利科技*, 2017, 15(1): 132-137. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.01.022.
- [17] 刘孟凯, 关惠, 郭辉, 等. 南水北调中线工程封冻期闸门群开度控制器改进设计[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(17): 90-97. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.17.011.
- [18] 关炜. 南水北调工程关键技术研究进展[J]. *人民长江*, 2022, 53(1): 167-174, 181. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2022.01.026.
- [19] 李景刚, 乔雨, 陈晓楠, 等. 南水北调中线干线节制闸过流公式率定及曲线绘制[J]. *人民长江*, 2019, 50(8): 224-227. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2019.08.039.
- [20] 郑和震, 马雄威, 雷晓辉, 等. 南水北调中线工程渠道糙率计算方法研究[J]. *南水北调与水利科技*, 2018, 16(1): 158-163. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.20180024.
- [21] 张放, 文汉江, 刘焕玲, 等. 2003—2022年长江流域水储量变化时空特征研究[J]. *测绘科学*, 2023, 48(5): 51-57, 103. DOI: 10.16251/j.cnki.1009-2307.2023.05.007.
- [22] 郭秀吉, 侯素珍, 王平. 黄河小北干流主流线变化与来水来沙的关系[J]. *中国农村水利水电*, 2018(11): 98-102. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2284.2018.11.019.
- [23] 李宛鸿, 徐影. CMIP6模式对青藏高原极端气温指数模拟能力评估及预估[J]. *高原气象*, 2023, 42(2): 305-319. DOI:10.7522/j.issn.1000-0534.2022.00032. DOI: 10.7522/j.issn.1000-0534.2022.00032.
- [24] 盛乃宁, 鞠琴, 顿珠加措, 等. 黄河源区冻土变化特征及其与温度的关系[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2021, 19(5): 843-852. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0088.
- [25] 郭家力, 丁光旭, 杨旭, 等. 多源卫星降水产品在长江流域的时空精度对比[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2022, 20(2): 230-242, 252. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2022.0025.

Correlation analysis between winter air temperature and water temperature of the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project

GAO Jiepei, ZHU Haozhe, AI Xinyan

(China South-to-North Water Diversion Group Middle Line Co., Ltd, Henan Branch, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: In the central and northern regions of China, due to the severe cold in winter, the inter-basin water flow will freeze, which will have a negative impact on the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project. In order to investigate the relationship between the water temperature and the air temperature along the Middle Route

of South-to-North Water Transfers Project, an equidistant sampling method was used to select a sluice gate about 200 km from south to north in the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project as the data collection sample. A total of seven sluice gates were selected. The water temperature information of the selected sluice gates and the temperature information of the sluice gate location during the period from November 15, 2022 to February 28, 2023 were collected. The average temperature was used as the analysis object. The average temperature was the average of the highest temperature and the lowest temperature, and the water temperature at 18:00 was used as the the water temperature information of the sluice gate.

By comparing the daily average temperature, water temperature, and 15-day moving average temperature of the seven sluice gates, it can be concluded that the trend of water temperature change is similar to the trend of 15-day moving average temperature change, and the fluctuation is consistent. The correlation characteristics of 15-day moving average temperature change and water temperature change along the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project were studied. The data obtained by subtracting the temperature difference between the upstream and downstream sections from the water temperature of the sluice gate in the upstream section was compared with the water temperature in the downstream section. The specific steps were as follows: Step 1, the 15-day moving average temperature of the area where the upstream sluice gate was located from the 15-day moving average temperature of the area where the downstream sluice gate was located to obtain the temperature difference between the upstream and downstream regions. Step 2, subtract the temperature difference between the upstream and downstream regions obtained from the first step from the water temperature of the upstream control gate to obtain the second difference. Step 3, compare the second difference with the numerical value of the downstream regulating gate water temperature by drawing a curve.

The data obtained by subtracting the 15-day temperature difference along the route from the sluice gate water temperature in the upstream section of the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project and the sluice gate water temperature data in the downstream section were calculated using the Pearson correlation coefficient. The Pearson correlation coefficients were all above 0.95, indicating a significant correlation. In winter, the temperature difference from south to north (upstream to downstream) in the inter-basin water transfer project is the main manifestation that reflects the heat loss of the water body. According to the characteristics of the data obtained by subtracting the 15-day air temperature difference along the upstream section from the water temperature in the upstream section and the correlation characteristics of the water temperature data in the downstream section, it can provide a theoretical basis for adjusting the water delivery dispatching strategy during the ice period and preventing freezing disasters for the Middle Route of South-to-North Water Transfers Project.

Key words: Middle Route of South-to-North Water Transfers Project; water delivery in winter; water temperature; air temperature