

京密引水渠冰期输水调度研究

杨秀芳

(北京市京密引水管理处,北京 101400)

【摘要】 为提升京密引水渠冰期输水效益,保障输水畅通及工程运行安全,本文通过对渠道历年冰期输水情况进行分析,结合工程运行情况,梳理总结了渠道冰期输水特点,并研究制定了不同时期、不同供水条件下的冰期输水调度措施及保障措施。研究成果有力保障了京密引水渠的安全稳定运行,可为其他类似地区的冰期输水运行调度提供借鉴。

【关键词】 京密引水渠;冰期输水;输水调度;冰塞

中图分类号: TV213.4

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2025)04-003-04

Water Transfer Scheduling of the Jingmi Diversion Channel During the Ice Period

YANG Xiufang

(Beijing Jingmi Water Diversion Management Office, Beijing 101400, China)

Abstract: In order to enhance the water transfer efficiency of the Jingmi Diversion Channel during the ice period and ensure smooth water conveyance and operational safety, this paper analyzes historical water transfer data during the ice period and summarizes the characteristics of ice-period water transfer based on the channel's operational conditions. Furthermore, scheduling strategies and safeguarding measures are proposed for different periods and varying water supply conditions. The findings effectively ensure the safe and stable operation of the Jingmi Diversion Channel and provide valuable insights for ice-period water transfer scheduling in similar regions.

Key words: Jingmi Diversion Channel; ice-period water transfer; water transfer scheduling; ice jam

1 工程概况

京密引水渠是首都输水大动脉,始建于1960年10月,1966年5月全线通水,流经密云、怀柔、顺义、昌平、海淀5个区,全长约105km。渠道连接了密云水库、怀柔水库、北台上水库、桃峪口水库、十三陵水库以及南水北调工程,构成了本地水与外调水联合供水体系。2015年,南水北调来水调入密云水库调蓄工程^[1]运行

后,又增加了反向输水的任务。通过第九水厂取水口、东水西调取水口、燕化泵站取水口、颐和闸、南闸以及沿渠各分水口门^[2]向北京提供生活、工业、农业、环境等用水。随着首都水资源形势的变化,目前主要承担城区生活、环境供水任务,主要用水户有第九水厂、城子水厂、田村山水厂、城市河湖、昆明湖等。工程布置情况见图1。

收稿日期: 2024-07-19

作者简介: 杨秀芳(1987—),女,高级工程师,学士,主要从事水资源调度管理工作。

北京市京密引水工程平面图

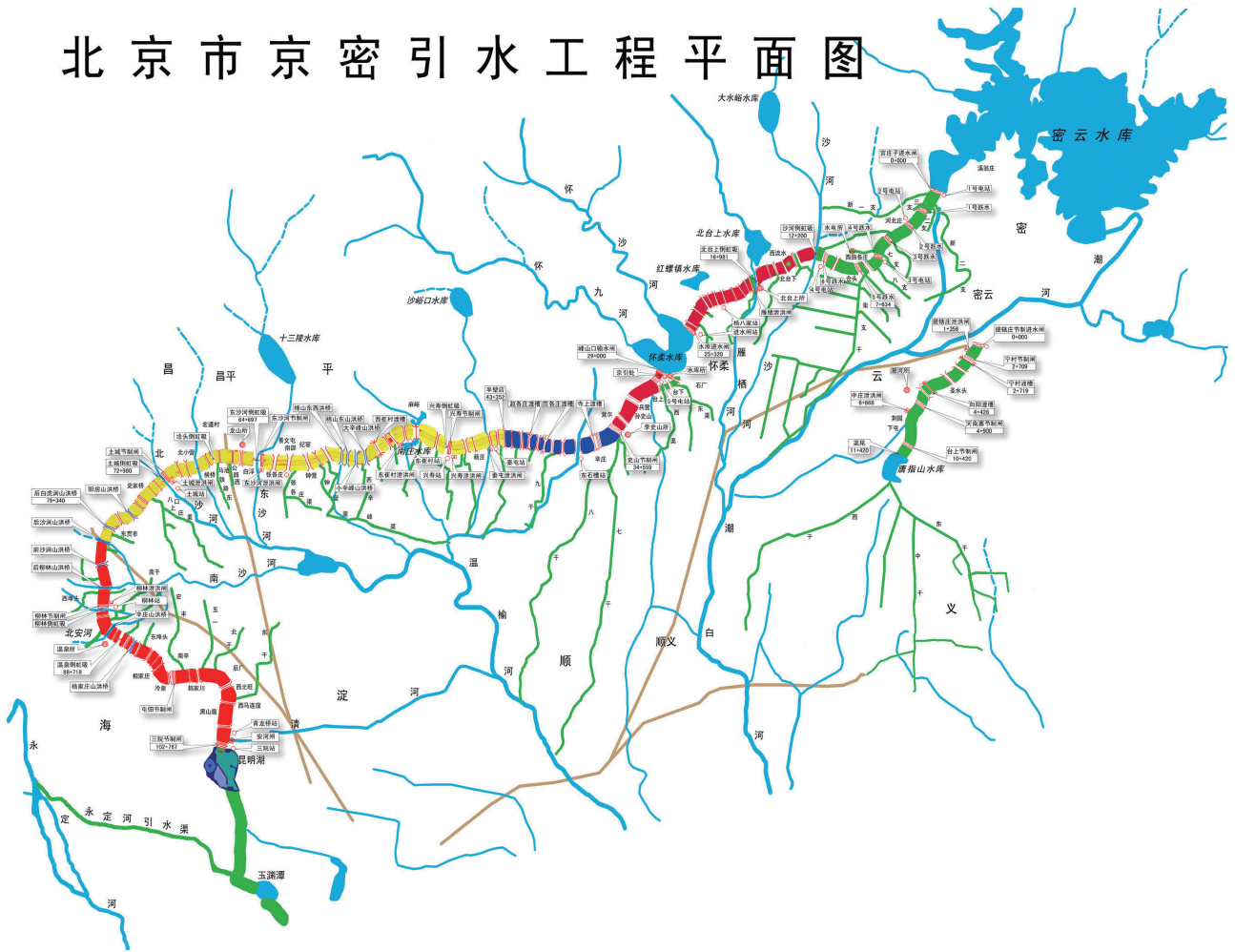


图1 京密引水工程平面图

2 京密引水渠冰期输水背景

京密引水渠原设计是以农业灌溉为主,冬季无输水任务。随着首都水资源形势的变化,逐渐由以农业用水为主转向为生活、工业及城市环境供水,由季节性输水转变为常年不间断输水。因此,于1988年进行了京密引水渠冰期输水试验,确定了怀柔水库以上渠道(以下简称“上段”)采用明流方式输水,怀柔水库以下渠道(以下简称“下段”)采用冰盖下输水的运行方式。1989年起,正式启动京密引水渠冰期输水工作。冰期输水时间一般为当年12月10日至第二年3月10日,当供水情况或天气形势发生变化时,时间将进行相应调整。

在首都供水整体布局中,其他水源大多采用地下管线输水方式,而京密引水渠作为重要的冰期输水水

源及输水线路,采用了明渠长距离输水方式,因此其冰期输水方式具有一定的典型性和突出性^[3]。对京密引水渠冰期输水运行调度开展研究分析,对于保障首都安全供水具有重要意义。近10年来京密引水渠冰期输水情况见表1。

表1 京密引水渠冰期输水量

年度	冰期输水量/ 万 m ³	年度	冰期输水量/ 万 m ³
2014—2015	7228	2019—2020	11341
2015—2016	15097	2020—2021	11806
2016—2017	11694	2021—2022	17870
2017—2018	15882	2022—2023	12905
2018—2019	14182	2023—2024	5630

3 冰期输水调度措施

冰期输水最大的安全隐患是由流冰引发的冰塞、

冰坝等^[4]事件,其可能引发工程损毁、水流漫溢、供水中断等情况发生。由于京密引水渠跨度大,沿渠设置了多座节制闸,相邻节制闸间的总水量在 100 万 m^3 左右,如果在冬季失稳,会对渠道周边群众的生命财产安全及供水安全构成较大威胁。

渠道中的冰情按照冰的形成与消融过程可分为 3 个阶段:结冰期、封冻期和融冰期。当周围气温使水温降低到 0°C 以下时,由岸边开始逐渐结冰,进入结冰期;当气温继续保持在 0°C 以下或者继续下降时,随着时间的推移,冰情将进一步发展形成冰盖,进入封冻期;当气温回升达到 0°C 以上时,冰面开始融化,进入融冰期^[5]。为确保输水安全,通过对历年冰期输水工作的总结分析,针对渠道上段、下段不同特点,研究制定了不同时期、不同运行条件下的冰期输水调度措施,确保输水工作平稳安全进行。

3.1 调度方式

渠道上段纵坡较大,水体流速大,基本不结冰,因此采用畅流不间断输水方式。渠道下段纵坡较小,线路长,可利用沿渠节制闸分段调节水位,采用“抬高水位、降低流速、形成冰盖、冰盖下输水”的运行方式^[6],以减小发生冰塞、冰坝的风险。

冰盖可以阻隔水与大气之间的热交换,避免冰盖下水中冰的再生成,防止冰害发生^[7]。针对冰期输水前、输水期间的不同特点,采取“输水前期抬升水位、预置冰盖,输水过程中调节流量、保持冰盖稳定”的调度方式。输水前期要根据输水流量要求,提前将渠道水位抬升至冰期目标水位,之后随着气温降低慢慢形成冰盖;输水过程中联合调度各节制闸,尽量保持流量、稳定水位,防止冰盖塌陷或隆起,引发流冰风险。

3.2 结冰期调度措施

为保障渠道冰期输水平稳运行,尽可能在结冰期来临前启动输水工作。结合历年冰期输水实践,京密引水渠一般在 12 月中旬开始结冰,因此冰期输水一般于 12 月 10 日前开始。根据用水户水量需求确定渠道输水流量,通过调节沿渠各节制闸,将各渠段水位逐步抬升至相应水位,待输水稳定后,随着气温降低,慢慢

形成冰盖。在结冰初期,由于冰盖尚不稳定,要尽可能保持输水流量平稳,以降低流冰引发的冰塞、冰坝等风险。

3.3 封冻期调度措施

根据近 10 年实际监测数据,渠道各站点最大冰厚普遍在 20 ~ 30cm 之间,见表 2。李史山站点最靠近上游,水温较高且流速较大,因此结冰情况最轻,冰盖不稳定;随着水流向下游输送,水温持续降低和流速减小,兴寿、东沙河、土城、前柳林段渠道冰情明显,冰厚较大;青龙桥站点附近分布有取水口,水流扰动较大,冰厚相应降低;团城湖站点处于渠道末端,且水面较大,水流相对较缓,冰厚较大。

表 2 近 10 年渠道冰厚 单位:cm

站点	最大冰厚	融冰前冰厚
李史山	13	4
兴寿	25	6
东沙河	25	6
土城	32	8
前柳林	29	7
青龙桥	19	5
团城湖	29	10

京密引水渠冰期采用冰盖下输水的方式,需尽可能保持冰盖稳定,防止发生流冰、冰塞等情况^[8]。当输水流量调整时,将引起水面波动;若水面上下波动较大,将引发冰盖隆起或塌陷,期间可能产生冰裂引发流冰。因此输水流量要尽量保持稳定,维持水面、冰面平稳。根据用水情况需要调整输水流量时,结合历年输水实践经验,一次变化幅度不宜超过 $0.5\text{m}^3/\text{s}$,避免水位变幅太大,对已形成的冰盖造成破坏。

3.4 融冰期调度措施

进入融冰期后,随着气温上升,部分冰盖融化、破裂形成流冰,给渠道工程及设备设施的安全运行增加了风险。融冰时间与气温、渠道冰厚、输水流量等相关,京密引水渠一般于 2 月下旬至 3 月上旬开始发生融冰。当冰厚小于 10cm 后,冰盖破裂形成流冰的风险增加,此时要提前做好破冰抢险工具和机械设备,随时

做好流冰的打捞清理工作,避免流冰堆积形成冰塞、冰坝;同时要尽可能保持渠道输水流量稳定,避免因水流波动加大流冰面积,增加冰塞风险。融冰导致的渠道增加的水量,可通过调节闸门开度向下游输送或减小输水流量的措施消纳。随着冰盖不断消融,运行水位和输水流量缓慢地向非冰期目标水位和输水流量衔接转换。

3.5 非常规条件下的调度试验

在2023—2024年冰期输水工作中,其输水不利条件为历年来之最,一是京密引水渠在正式输水前处于停水状态,且由于输水时间延后,气温骤降,渠道已结冰;二是为保障供水需求,结冰初期流量调整幅度较大。

由于前期渠道已结冰,后期输水后,因水流冲击,易形成流冰引发冰塞、冰坝等不利事件,对输水及工程运行产生严重影响。为此,管理单位积极研究调度措施,尝试在正式输水前先期开展小流量输水,保持水体流动,以降低结冰速度,此外利用水流对已冻结冰体进行低流速扰动,使其破裂上浮、慢慢消融;在缓解冰情的同时还可慢慢抬升渠道水位,在特定高度预置冰盖,为后期输水工作做准备。

正式输水开始后,按照上级部门调度指令,输水流量需在短时间内调增 $5\text{m}^3/\text{s}$ 左右,以满足供水需求。此前渠道一直处于缓慢涨水阶段,冰盖随水位浮动,冰厚在 $6\sim 12\text{cm}$ 之间,冰盖尚不稳定。此时要在短时间内大幅度调整输水流量,很容易引起冰盖塌陷或隆起,使冰盖破裂,增加冰塞、冰坝风险。由于京密引水渠线路长、水流行进速度慢,如果按照每次 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 的幅度调整,将不能在既定时间满足供水需求。为了保障输水安全,并达到供水目标要求,尝试采取减小调整幅度、增加调整间隔的措施。试验性地采取每日调增 $1\text{m}^3/\text{s}$,联合调度沿渠各节制闸,分段控制渠道水位的措施,同时利用渠道存水优先向城区供水。期间加密监测水情、冰情,并重点关注每次调量后渠道冰盖情况,备好抢险人员和机械设备,以保障发生流冰等情况时能及时处置。在流量调整过程中,部分区域出现了冰裂,但冰盖未破开发展成流冰,通过采取减小流量调

整幅度、联合调度沿渠各节制闸分段控制水位、加密监测水情冰情、做好应急处置准备等措施,最终保障了输水安全进行。

4 冰期输水保障措施

4.1 建立信息沟通机制

在冰期输水前,加强与上级调度管理部门的信息沟通,了解掌握冰期输水安排,并结合工程运行实际,提前制定冰期输水保障方案,确保输水工作安全有序开展。输水过程中,加强与相关部门的信息对接,结合天气条件及渠道运行工况,根据用水需求做好输水流量调控工作。

4.2 加强水情与冰情监测

及时有效的监测数据对于调度管理至关重要,可有效提升调度决策效率。京密引水渠全长约 105km ,线路长、范围广,沿渠共设置了13处水位监测点和10处冰情监测点。在冰期输水期间,各闸站于每日8时、16时、19时观测渠道水位;于每日8时、16时观测水温、气温、冰厚。其中,在结冰初期、流量调整阶段、天气突变、融冰期等水情、冰情不稳定时期,适当加测水情、冰情,保障持续掌握水情、冰情变化全过程,为调度决策提供有力数据。此外,在部分点位安装了水位、流量自动化监测设备和视频监控设备,实时掌握水情及冰面情况。日常做好水情、冰情监测设备设施的运行维护,确保正常运行。当发现水位、气温、冰情变化较大时,立即复核并查明原因。

4.3 落实工程保障措施

通过在节制闸、分水口等关键节点提前安装吹冰泵等设备,防止闸门槽结冰,保障闸门能够正常启闭;在重要取水口设置拦冰浮桥或拦冰索形成无冰段,保证取水安全。

4.4 提高应急处置能力

在渠道冰盖结稳前、冰盖融化期或遇水量调整、天气突变等特殊时期,极易发生流冰等情况,对输水工作造成严重影响,因此应落实好各项应急保障措施,出现隐患、险情能第一时间采取措施进行 (下转第2页)

诚迈科技研发的水利知识大模型平台采用“知识图谱+大模型”核心技术框架,通过融合可控图推理与神经网络推理,构建一个多专家系统平台,显著提升水利管理智能化水平。平台整合水文、水利工程、生态和灾害管理等领域的专家知识,架构涵盖12个一级分类、34个二级分类的知识体系,实现跨学科、跨工种的知识整合与协同工作。少量专家结合半监督学习即可动态更新知识体系,有效解决人员流动及知识更新带来的知识断层问题。平台应用Qwen、QWQ、DeepSeek等大模型作为核心组件,不仅能处理从日常操作指导到应急方案制定的各种任务,还能与其他专家系统模块互动,增强决策支持能力。此外,平台架构“人、机、料、环”四维数据接入平台,无缝接入传感器、监控设备等感知数据及第三方业务系统的成果数据,实现知识与数据的深度融合,增强实时响应速度和数据处理能力。在防洪调度中,平台通过实时分析水文气象数据和历史案例,生成多情景推演方案,显著提升调度指令生成效率。基于SaaS架构的多租户数据隔离机制,有效防止各业务单位之间的知识污染问题,保障数据安全与隔离。平台为水库工程的安全管理提供坚实基础,并为水利行业的智慧化升级贡献宝贵实践经验。

供稿:诚迈科技(南京)股份有限公司 花卫国

(上接第6页)处置。修订完善冰期输水保障方案,针对险情发生风险较高的重点部位制定专项处置方案;重要闸站实行24小时值守,加强巡视检查,当发现影响输水安全的情况时,及时采取相应措施进行处置;配置应急抢险队伍,储备必要的破冰抢险工具及机械设备,出现流冰时及时打捞清理,防止流冰壅堵在节制闸、倒虹吸、清污机、桥梁等关键节点形成冰塞,影响输水安全。

5 结语

京密引水渠冰期输水的安全稳定运行,对于保障首都城市生活用水安全意义重大。本文根据京密引水渠工程实际情况及冰期运行经验^[9],对京密引水渠不同时期、不同运行条件下的冰期输水调度进行了研究,有力保障了渠道运行安全,也为其他类似地区的冰期输水运行调度提供了有力借鉴。2023—2024年冰期输水采用了试验性调度措施,先期的小流量融冰措施起到了很好的效果,保障了渠道平稳过渡到冰期输水阶段;但输水初期在流量大幅调整过程中,部分区域出现了冰裂现象,虽然没有影响到输水工作,但今后仍要加强对渠道冰期可承受的流量调整幅度的研究,以保障渠道长期安全稳定运行。◆

参考文献

- [1] 北京市水利规划设计研究院. 南水北调来水调入密云水库调蓄工程调度运行技术要求[R]. 2016.
- [2] 吴悦,徐佳琪,仇文顺,等. 潮白河北京段生态补水调度方案研究[J]. 水利水电技术(中英文),2023,54(9):180-189.
- [3] 吴山,杨淑慧,王可,等. 密云水库调蓄工程冬季输水调度方案研究[J]. 北京水务,2015(3):47-50.
- [4] 高霏生,靳国厚. 中国北方寒冷地区河冰灾害调查与分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2003,1(2):159-164.
- [5] 张成,王开. 冰期输水研究进展[J]. 南水北调与水利科技,2006,4(6):59-63.
- [6] 王大伟,徐茂岭,于洁,等. 冬季冰盖下输水渠道的断面设计[C]//中国水利学会水力专业委员会,中国水力发电工程学会水工水力专业委员会,国际水利工程与研究协会中国分会. 第二届全国水力学与水利信息学学术大会论文集. 2005.
- [7] 穆祥鹏,陈文学,崔巍,等. 南水北调中线工程冰期输水特性研究[J]. 水利学报,2011,42(11):1295-1301,1307.
- [8] 段文刚,黄国兵,杨金波,等. 长距离调水明渠冬季输水冰情分析与安全调度[J]. 南水北调与水利科技,2016,14(6):96-104.
- [9] 任占亚. 京密引水渠输供水管理[J]. 北京水利,1998(1):26-28.