

Head loss analysis of South–North Water Transfer Project channels

Jinzhao Li¹ Xiaofeng Zhu²

1. China South–North Water Transfer Project group Midway Limited Hebei Branch, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China
2. Beijing Drainage Management Affairs Center, Beijing, 101117, China

Abstract

The design concept of the Central Route Project of the South-to-North Water Diversion Project is to transport water from the Danjiangkou Reservoir by gravity flow to Beijing. Through preliminary research, project approval, route selection, and design phases, numerous experts conducted multiple on-site surveys, computational analyses, and numerical simulations to determine key parameters including the route, elevation difference, and longitudinal slope. The project employs large-scale structures such as concrete trapezoidal channels, aqueducts, inverted siphons, and concealed channels for gravity-driven water conveyance. This study utilizes operational scheduling data from the Central Route Project, conducting statistical analysis and head loss calculations to provide data support for dispatch operations.

Keywords

Channel; Head Loss; Operational Scheduling

南水北调中线工程输水渠道水头损失分析

栗金钊¹ 朱晓峰²

1. 中国南水北调集团中线有限公司河北分公司, 中国·河北 石家庄 050000
2. 北京市排水管理事务中心, 中国·北京 101117

摘要

南水北调中线干线工程设计思路是从丹江口水库自流引水到北京。项目从前期调研、立项、选线、设计, 无数专家经过数次现场查勘、计算分析和数值模拟, 选定了线路、高差及纵坡等设计参数, 确定用混凝土梯形渠道、渡槽、渠道倒虹吸、暗渠等大型建筑物自流引水。本文参考南水北调中线干线工程运行调度数据, 统计分析, 计算水头损失, 为调度运行提供数据支撑。

关键词

渠道; 水头损失; 运行调度

1 引言

南水北调中线干线工程通过混凝土梯形渠道、渡槽、渠道倒虹吸、暗渠等大型建筑物从丹江口水库自流引水到北京, 全长 1432 千米, 渠道 1277 千米, 落差约 98.8 米。工程运行过程中, 入渠流量、沿线用水情况在不断变化, 需统一持续调度沿线工作闸门, 保持运行水位、流速在合理的运行区间, 确保工程安全、调度安全、水质安全。

本文通过分析近一年调度情况及闸门前后水位变化, 选取 2 个时间段内水位、流量、闸门开度等稳定状态下的运行数据, 计算分析渠道水头损失, 为后期调度运行提供数据支撑。

2 项目概况

本项目位于磁进到沙出之间, 其中渠道断面为梯形, 断面尺寸底宽 20 米, 深度 7 米, 两侧坡比 1:3, 面层混凝土衬砌。建筑物为渠道倒虹吸, 分别位于磁进到磁出, 沙进到沙出之间, 断面 6.1m×6.1m 的 3 孔过流。

磁进至磁出段距离 800 米。磁出至西名段距离 5249 米, 跨渠桥梁 9 座。西名至沙进段距离 7715 米, 跨渠桥梁 7 座, 沙进至沙出段距离 1800 米。磁进底部高程 69.129 米, 磁出底部高程 68.87896 米, 西名底部高程为 68.669 米, 沙进底部高程 68.3604 米, 沙出底部高程 67.574m, 渠道纵坡坡比 1:25000。项目布置图如下:

【作者简介】栗金钊(1983–), 男, 中国河北石家庄人, 硕士, 高工, 从事渠道、泵站工程研究。

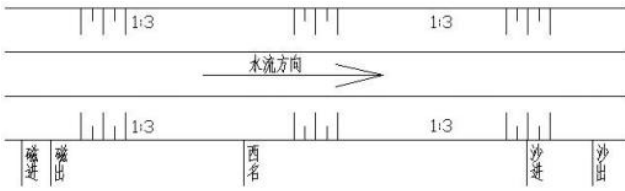


图 1 项目布置图

需持续调度工作闸门，保证水位、流速在合理运行范围。通过分析近一年调度数据，发现有七个断面流量、水位，在 2 个时间段 3 到 5 天内保持基本稳定，分别为磁进过水断面、磁出过水断面、西名过水断面、沙进过水断面、沙出过水断面、磁进上游 15000 米渠道倒虹吸出口过水断面、沙出下游 30000 米处渠道倒虹吸进口过水断面。为保证水头损失计算的准确性，考虑下游雍水、上游水位、流量等因素干扰，选取磁进到沙处五个断面的运行数据，计算水头损失。

3 选取数据

工程运行过程中，过闸流量、地方分水在不断变化，

选取两组不同时间段数据表格如下。见表 1，表 2。

表 1 磁进到出五个断面第一组运行数据

序号	时间	磁出瞬时流量 (m ³ /s)	磁进水位 (m)	磁出水位 (m)	西名分水口流量 (m ³ /s)	西名分水口下游 渠道流量 (m ³ /s)	西名分水口水 位 (m)	沙进口水位 (m)	沙出口水位 (m)
1	10:00	83.60	74.14	73.18	0.43	83.17	73.01	72.93	71.84
2	11:00	83.19	74.15	73.19	0.44	82.75	73.01	72.93	71.84
3	12:00	83.61	74.14	73.18	0.44	83.17	73.01	72.93	71.84
4	13:00	83.08	74.14	73.18	0.44	82.64	73.00	72.93	71.83
5	14:00	84.19	74.15	73.19	0.44	83.75	73.00	72.93	71.84
6	15:00	83.30	74.15	73.18	0.43	82.87	73.00	72.93	71.83
7	16:00	82.09	74.14	73.18	0.44	81.65	73.01	72.93	71.83
8	17:00	83.27	74.14	73.18	0.44	82.83	73.00	72.93	71.83
9	18:00	83.71	74.12	73.18	0.44	83.27	73.00	72.93	71.83
10	19:00	84.12	74.14	73.18	0.43	83.69	73.00	72.93	71.83
11	20:00	82.34	74.14	73.18	0.44	81.90	73.00	72.93	71.83
12	21:00	84.56	74.14	73.18	0.44	84.12	73.00	72.92	71.83
13	22:00	83.57	74.14	73.18	0.44	83.13	73.00	72.93	71.83
14	23:00	85.40	74.14	73.18	0.44	84.96	73.00	72.93	71.83
平均值		83.574	74.141	73.181	0.438	83.136	73.003	72.929	71.833

表 2 磁进到出五个断面第二组运行数据

序号	时间	磁出瞬时流量 (m ³ /s)	磁进水位 (m)	磁出水位 (m)	西名分水口流量 (m ³ /s)	西名分水口下游 渠道流量 (m ³ /s)	西名分水口水 位 (m)	沙进口水位 (m)	沙出口水位 (m)
1	8:00	93.22	74.04	73.11	3.79	89.43	72.89	72.75	71.72
2	9:00	93.56	74.05	73.11	3.79	89.77	72.89	72.76	71.72
3	10:00	93.46	74.04	73.12	3.8	89.66	72.89	72.76	71.72
4	11:00	93.98	74.05	73.11	3.79	90.19	72.89	72.76	71.71
5	12:00	93.25	74.04	73.11	3.79	89.46	72.89	72.76	71.71
6	13:00	93.09	74.04	73.11	3.79	89.30	72.89	72.76	71.71
7	14:00	94.37	74.04	73.12	3.79	90.58	72.89	72.76	71.71
8	15:00	93.49	74.05	73.11	3.79	89.70	72.89	72.76	71.71
9	16:00	93.99	74.05	73.11	3.8	90.19	72.89	72.75	71.71
10	17:00	93.04	74.04	73.12	3.79	89.25	72.89	72.76	71.71
11	18:00	93.23	74.05	73.11	3.79	89.44	72.89	72.76	71.71
12	19:00	93.28	74.04	73.11	3.79	89.49	72.89	72.75	71.71
13	20:00	93.5	74.04	73.11	3.79	89.71	72.89	72.75	71.71
14	21:00	93.61	74.05	73.11	3.79	89.82	72.89	72.75	71.71
平均值		93.505	74.044	73.112	3.791	89.714	72.890	72.756	71.712

4 计算水头损失

4.1 计算公式

恒定流总能量方程〔1〕：

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_\omega \quad (1)$$

Z 单位重量液体位置势能, $p/\rho g$ 单位重量液体的动水压强势能, $\alpha v^2/2g$ 单位重量液体的动能, α 动能校正系数, h_ω 总流的水头损失。

雍水长度计算公式〔2〕：

$$\Delta Z = \frac{\alpha}{2g} \left(\left(\frac{Q}{\mu A_2} \right)^2 - \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 \right) \quad (2)$$

$$L = 2 \frac{\Delta Z}{I} \quad (3)$$

ΔZ 建筑物前最大雍水高度 (m)；

Q 设计流量 (m³/s)；

M 系数, 与墩形状有关, 圆弧形桥墩 $\mu=0.92$ ；

A_2 渡槽布置后过水断面面积 (m²)；

A_1 最高雍水位对应天然河道断面面积 (m²)；

A 动能修正系数；

L 雍水长度 (m)；

I 桥址河段天然水面坡度 (以小数计)。

4.2 计算边界条件设定

两个过流断面之间没有外界能量加入控制体积, 也没有从控制体积内部取出能量。不考虑渠道水体蒸发, 渗漏

等水体减少量。

4.3 水头损失计算

根据雍水长度计算公式, 分析下游水位对上游水位的影响程度, 根据表一数据, 磁出到西名渠道水头损失为 0.1785m, 每公里水头损失 0.034 米。根据表二数据, 磁出到西名渠道水头损失为 0.2265m, 每公里水头损失 0.043 米。

5 结论

长距离输水过程中, 根据各地区用水需求, 需要实时调整工作闸门, 保障工程安全、调度安全、水质安全, 沿线水位、流量在不断变化, 计算水头损失的稳定运行数据不易获取。

吴泽宇等〔3〕在数值模拟中线工程输水渠道桥梁损失影响分析中, 得出渠首水位差远远小于单桥水头损失的简单累加值, 长距离渠道上桥梁引起的水头损失不会产生大的累加。闸门分段渠道中的水头损失累加情况对渠首水位的影响具体如何, 需要继续深入分析。如何根据中线工程调度运行中的有效数据, 计算中线工程沿线水头损失对渠首水位的影响, 是今后工作中需要努力的方向。

参考文献

- [1] 李家星,赵振兴主编.水力学[M].河海大学出版社.2001.
- [2] 中国水利工程学会.中国工程师手册[M].中国科学技术出版社.1992.
- [3] 吴泽宇,蒋为群.南水北调中线工程输水渠道桥梁水头损失影响分析[J].水利水电快报 1997(8)1-3.