

自流灌区倒虹吸工程水头损失分析

唐 波¹, 曹 锐¹, 余 磊¹, 梁爱萍²

(1. 宿迁市水务勘测设计研究有限公司, 江苏 宿迁 223800;
2. 宿迁市宿城区水务局, 江苏 宿迁 223800)

摘要: 对于大型自流灌区来说, 保证渠道的灌溉水位, 就是保证灌区的灌溉效益, 节约灌区的灌溉成本。结合众程灌区程道倒虹吸工程实例, 通过对程道倒虹吸工程不同运行工况水力计算分析, 了解倒虹吸实际运行水位差大于设计值的主要原因, 并提出合理的处理措施, 可为类似工程设计过程中有效地减少或避免该问题的出现。

关键词: 倒虹吸; 水头损失; 水力计算; 自流灌区

中图分类号: [TV93] **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2018) 12-0023-05

Analysis on the head loss of inverted siphon project in gravity irrigation district

TANG Bo¹, CAO Rui¹, SHE Lei¹, LIANG Aiping²

(1. Suqian water affair Survey and Design Research Co., Ltd., Suqian 223800, Jiangsu;
2. Water Affair Bureau of Sucheng District, Suqian 223800, Jiangsu)

Abstract: For large-scale gravity irrigation district, to ensure the irrigation water level of the channel is to ensure the irrigation benefit and save the irrigation cost. Combined with the example of Chengdao Inverted Siphon Project in Zhongcheng Irrigation District, through the hydraulic calculation and analysis of different operating conditions of the inverted siphon project, the main reasons for the difference of actual operating water level of inverted siphon being greater than the design value were found out, and reasonable treatment measures were put forward, which could effectively reduce or avoid the occurrence of this problem in the process of similar engineering design.

Key words: nverted siphon; head loss; hydraulic calculation; gravity irrigation district

1 概述

平原灌区地势平坦, 地面高差相差不大。灌区骨干渠系灌溉水位与骨干排涝河道的排涝水位相差不大, 在渠系与排涝河道交叉时, 交叉建筑物型式选择为倒虹吸结构。但在实际运行中, 倒虹吸的水头损失往往大于设计预期值, 本文结合众程灌区程道倒虹吸工程实例来分析其原因。

众程灌区地处江苏北部、苏北平原中部, 南到

京杭大运河, 北至泗沐边界, 西邻宿豫区, 东连新华灌区, 范围包括泗阳县境内众兴、八集、三庄、穿城、南刘集、张家圩、爱园、王集 8 个乡镇, 总面积 453 km², 耕地面积 2.47 万 hm², 设计灌溉面积 2.27 万 hm², 有效灌溉面积 2.03 万 hm², 为京杭运河沿线大型自流灌区。

众程灌区地势特点为西高东低, 南高北低, 最高地面高程 16.5 m (废黄河高程系, 下同), 最低地面高程 8.5 m, 平均地面坡度 1/7000。灌区内土

收稿日期: 2018-08-16

作者简介: 唐波 (1986—), 男, 本科, 工程师, 主要从事大中型灌区及重点县等农田水利工程规划设计工作。

壤沙土占 80%，壤土占 20%。灌区土质肥沃，适宜种植水稻、小麦、油菜等多种作物，水土保持良好。

程道倒虹吸位于灌区程道干渠桩号 k1+000 处，功能是将干渠水通过倒虹吸穿越六塘河输送到下游干渠。倒虹吸设计流量为 25 m³/s，灌区规划此处水头损失不得超过 30 cm。

2 工程设计

倒虹吸采用矩形结构，总长 268 m。箱涵段长 173 m，总宽 11.00 m，单孔净宽 3.0 m，高 3.0 m，共计 3 孔。其中：倾斜段长 113 m，分 10 段；水平段长 60 m，分 5 段，每段长 12 m。进口段设铺盖、渐变段、进口控制段，出口段设冲砂闸、消力池、护坦；其中进口段总长 39 m，出口段总长 55 m。进出口与现状渠道挡墙顺接。计算简图如图 1 所示。

水力计算按照《灌溉与排水渠系建筑物设计规范》(SL482-2011)^[1] 中公式计算，计算公式及结果如下。

(1) 进口渐变段局部水头损失及水面降落

① 进口渐变段局部水头损失

$$h_{j1} = \xi_1 \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (1)$$

式中：

h_{j1} —进口渐变段的局部水头损失；

ξ_1 —进口渐变段的局部损失系数，与渐变段的型式有关，取 0.3；

v_1 、 v_2 —渠道进口渐变段始末断面的平均流速；

g —重力加速度，m/s²。

② 水面降落

$$\Delta Z_1 = (1 + \xi_1) \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (2)$$

式中：

ΔZ_1 —进口渐变段水面落差，m。

(2) 局部水头损失

$$h_j = \left[\sum \xi_i \left(\frac{\varphi}{\varphi_i} \right)^2 \right] \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

式中：

h_j —倒虹吸的局部水头总损失，m；

φ 、 φ_i —管道出口断面面积和局部阻力损失处的相应断面面积，m²；

ξ_i —局部水头损失系数，如拦污栅、闸门槽、进水口、弯管、出水口等的局部水头损失系数（不包括 ξ_1 和 ξ_2 ）。

(3) 沿程水头损失

$$h_f = \left[\sum \frac{2gL_i}{C_i^2 R_i} \left(\frac{\omega}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

$$C_i = \frac{1}{n} R_i^{\frac{1}{6}} \quad (5)$$

式中：

h_f —倒虹吸沿程阻力总水头损失；

C_i —管身计算段水流的舍尔系数；

R_i —管身计算段水流的水力半径；

L_i —管身计算段的长度，m；

ω —管道出口横断面面积，m²；

ω_i —管身计算段横断面面积，m²；

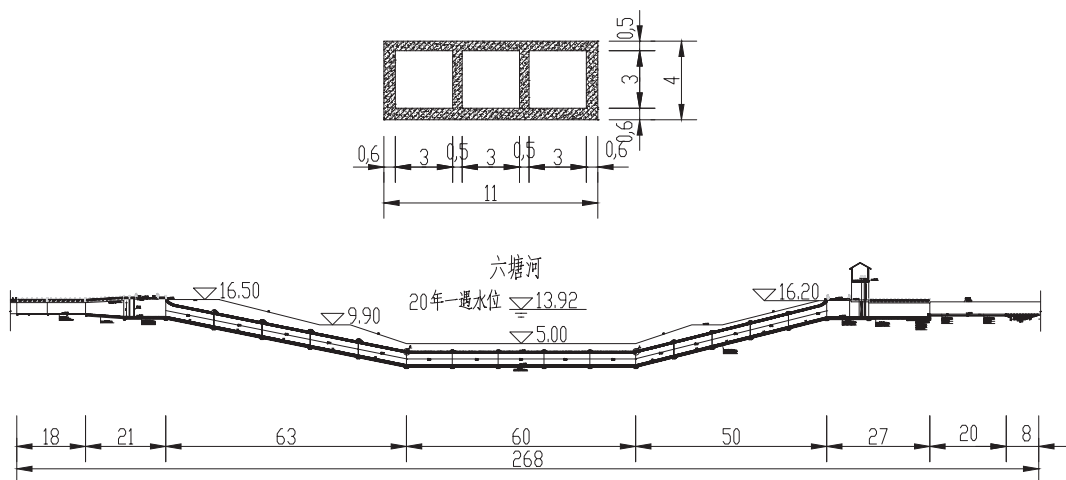


图 1 程道倒虹吸纵剖面图及横断面图

n —边壁糙率。

(4) 过流能力计算公式^[2]

$$Q = \mu v = \mu \omega \sqrt{2g\Delta Z_2} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi_i \frac{\omega^2}{\omega_i^2} + \sum \frac{2gL_i}{C_i^2 R_i^2} \frac{\omega^2}{\omega_i^2} + 1 - \frac{\omega^2}{\omega_i^2}}} \quad (7)$$

式中:

Q —管道的泄流量, m^3/s ;

ω —管道出口横断面面积, m^2 ;

v —管道断面平均流速, m/s ;

ω_i —管身计算段横断面面积, m^2 ;

ΔZ_2 —进口渐变段末端断面至管道出口断面的水面落差, m ;

g —重力加速度, m/s^2

μ —流量系数

ω_2 —进口渐变段末端的过水面面积, m^2 。

经计算, 本次采用 3 孔 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 箱涵, 过流为 $25.44 \text{ m}^3/\text{s} > 25.00 \text{ m}^3/\text{s}$, 满足设计要求。

(5) 进、出口水面总落差计算

$$\Delta Z = \Delta Z_1 + \Delta Z_2 + \Delta Z_3$$

经计算, 总水头落差 15 cm 。水头差小于规划数值, 符合要求。

3 运行现状

工程建成后, 实际运行情况与设计情况却不同, 上下游水位差远大于设计值, 最高时达到 0.90 m , 如图 2 所示。

图 2 中所示位置为工程建成后倒虹吸出口处干渠的水流情况, 工程建成之前灌溉期, 该位置水位常位于挡墙盖顶下边缘附近, 由图可清晰地看出, 倒虹吸工程建成后, 水位比以往低了约 50 cm 。据

调查, 工程建成后, 灌溉初期倒虹吸下游水位接近规划水位, 随着灌溉高峰期到来, 水头损失越大, 到灌溉末期水头又成减小趋势。

4 原因分析

干渠水头损失变大后, 将给地方灌区灌溉造成较大影响。为尽量减少损失, 经调查分析研究, 发现倒虹吸产生水位差远大于设计值的主要原因有如下几点:

(1) 下游渠系未按规划的轮灌制度灌溉, 下游 2 条分干渠同时开闸续灌, 灌溉高峰期用水量增大, 远大于设计流量 $25 \text{ m}^3/\text{s}$, 过流量增大, 造成倒虹吸内水流的流速增大, 进而增大了局部和沿程损失。为了解流量的增加对上下游水头损失的影响, 按理论公式^[3]计算, 假定上游水位恒定, 通过流量增大进行不同工况的计算, 得出流量和水头损失的对照表, 如表 1 所示。

表 1 程道倒虹吸水头损失和过流量关系表

倒虹吸上游 水位 (m)	渠道实际过流量 (m^3/s)	涵洞上下游水位 差 (m)
15.7	46.45	0.56
	36.72	0.35
	32.85	0.28
	26.80	0.19
	23.22	0.14

由表 1 可看出, 倒虹吸上下游水头损失随着流量的增大, 数量成倍的增大, 根据表 1 数据绘制倒虹吸上下游水位差 ~ 流量曲线图, 如图 3 所示。



图 2 运行时地涵出口水流

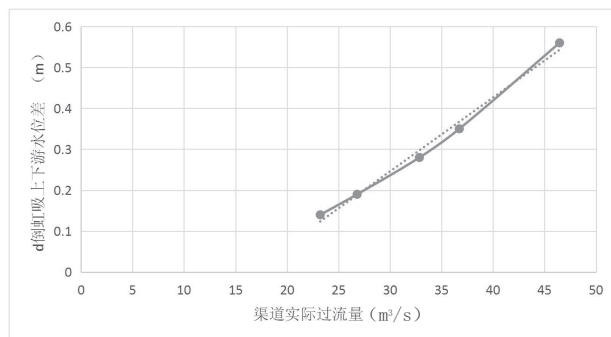


图3 倒虹吸上下游水位差~流量曲线图

由图3可看出,干渠中流量增大以后,倒虹吸的水头损失也明显增大,可以解释灌溉不同时期,水位差不同的原因。在灌溉初期及末期灌溉用水量小,所以倒虹吸上下游水头差大,而灌溉高峰期灌溉用水量,所以倒虹吸上下游水头差大。

(2)渠道上游来水中含有大量水草,在通过倒虹吸上游拦污栅时,缠绕在拦污栅栅条上,堵塞拦污栅,减小了栅条的过水面积,增大了拦污栅的局部水头损失。

经现场调查和当地居民反映,造成拦污栅前大量杂物的原因主要有:①人为因素。因程道地涵至程道渠首之间为敞口明渠,明渠两岸被当地百姓种植作物,当地居民在耕作时,将田间的杂草杂物等均抛入渠道中,导致大量杂物被水冲至拦污栅前,形成淤积;②运河中有少量水草经程道渠首流入干渠。

拦污栅前拦蓄的杂草堵塞拦污栅栅条,减小过水断面,根据拦污栅水头损失计算公式^[4],复核计算过水断面减小与水头损失之间的关系如表2所示。

根据表2数据绘制水头损失~拦污栅总挡水面积与过水断面总面积比值之间的关系图,如图5所示。

由表2及图5可以看出,当拦污栅前栅条上挂满水草,阻挡拦污栅过水以后,拦污栅上下游水头损失随着阻水面积的增大成抛物线式增长,远

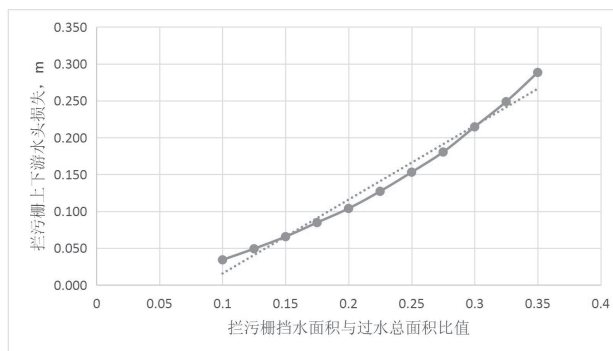


图5 水头损失~拦污栅挡水面积与过水总面积比值关系图

超过设计值。

(3)箱涵实际施工过程中,混凝土表面糙率系数与设计工况不一致,表面可能因施工模板接缝或振捣不密实等原因造成,表面粗糙,糙率系数增大,进而造成水头损失大于设计值。

5 处理措施

针对上述问题,在工程后期运行管理过程中,采取如下措施,有效地减少了倒虹吸上下游的水位差,具体做法如下:

(1)加强了运行管理,下游渠道按照设计工况进行调度,即按规定的轮灌制度进行分期灌溉,保证干渠过水量维持在设计值附近。

(2)渠道上游增加拦污清污设施,即在倒虹吸上游设置回转式清污机,将渠道中的杂物及时清除,极大地减少了拦污栅前杂草、杂物,保证拦污的水头损失控制在设计范围内。

(3)在后期运行管护过程中,有条件时在箱涵内壁涂抹一些光滑涂层,减小糙率,降低倒虹吸的沿程水头损失。

6 结语

本文通过对程道倒虹吸工程不同运行工况水

表2 程道倒虹吸进水侧拦污栅水头损失和拦污栅堵塞情况关系表

拦污栅总挡水面积与过水断面总面积比值	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350
损失系数	0.125	0.18	0.24	0.31	0.38	0.465	0.56	0.66	0.785	0.91	1.055
水头损失(m)	0.034	0.049	0.066	0.085	0.104	0.127	0.153	0.180	0.215	0.249	0.288

力计算分析,了解倒虹吸实际运行水位差大于设计值的主要原因。在后期的设计过程中需充分调查,重点考虑运行流量、水质、边界条件等因素,确保工程在不同工况下运行均满足设计要求。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 灌溉与排水渠系建筑物设计

规范: SL482-2011[S]. 北京: 水利水电出版社, 2011.

- [2] 李明佳, 王鹏涛, 刘明潇, 等. 南水北调总干渠穿沁倒虹吸工程水力计算[J]. 水利水电技术, 2014, 45(9).
- [3] 李炜. 水力计算手册(第二版)[M]. 北京: 水利水电出版社, 2006.
- [4] 吴持恭. 水力学(第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

