

南水北调中线工程输水渠道桥梁影响分析

方神光 吴保生

(清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室 北京 100084)

摘要 采用堰流公式对南水北调中线总干渠中的大量桥梁对渠首水位和水头损失的影响进行模拟计算和分析。计算结果表明 桥梁对渠首水位的影响不能用每座桥梁的水头损失进行简单叠加 在采用阻水能力较小的半圆头尾型桥墩时 设计和加大流量下由 764 座桥梁引起的渠首水位增加分别仅为 0.194 m 和 0.238 m。通过对所有桥梁水头损失的计算比较发现 不同的桥墩形状造成的总水头损失相差较大 选用流线型、水流易于通过的桥墩形状可以节约相当部分的水头。

关键词 桥梁 输水渠道 水力计算 水头损失 南水北调工程

中图分类号 :TV131.4 文献标识码 :A 文章编号 :1006-764X(2007)06-0061-03

Effects of bridges on conveyance canal of South-to-North Water Transfer Middle Route Project//FANG Shen-guang , WU Bao-sheng ( State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering , Tsinghua University , Beijing 100084 , China )

Abstract : The effects of bridges over the arterial canal on the water level at canal head and water head loss in the South-to-North Water Transfer Middle Route Project were calculated and analyzed by use of the weir formula. The result shows that the effects of bridges on the water level at canal head cannot be derived only by the simple addition of water head loss of each bridge , and that the rises of water level induced by 764 bridges under designed discharge and increased discharge were only 0.194 m and 0.238 m when the semi-circular bridge piers with low water-resisting ability were adopted. The comparative analysis shows that there are great differences between the water head losses of bridges with different shapes of piers , and that the adoption of stream-lined piers easy for water flow to pass through may help to save considerable water head.

Key words : bridge ; conveyance canal ; hydraulic calculation ; water head loss ; South-to-North Water Transfer Project

南水北调中线自流引水渠道是一长距离跨流域调水工程 , 不论是渠道工程量还是调水规模都为世界之最。沿线有大量的输水建筑物和控制建筑物 , 水流通过每座建筑物都存在不同的水头损失。由于工农业需要 , 沿线需要建造大量的桥梁 , 主要桥梁有 764 座 , 若计算小型农用桥梁 , 则数量多达 1 200 座左右。因中线工程为自流引水 , 总的可利用水头仅约为 98 m , 如此多的桥梁对中线工程渠首水位的影响以及原设计水位是否还能保证水流顺利输送到明渠末端惠南庄前池是必须解决的重要问题。吴泽宇等<sup>[1]</sup>通过水力计算认为 , 全线 764 座桥梁对渠首水位仅产生 0.44 m 的水头差 , 每座桥梁产生的水头损失为 0.019 m。本文通过建立南水北调中线全线恒定流计算软件平台 , 采用堰流公式模拟计算桥梁的水头损失 , 一方面与吴泽宇等<sup>[1]</sup>的结论进行比较 , 另一方面针对不同类型桥梁的阻水能力 , 研究其对渠首水头的影响 , 同时计算出沿线所有桥梁的总水头

损失 , 为南水北调中线输水渠道桥梁规划设计提供参考。

1 数学模型

1.1 恒定流多建筑物组合渠道程序编制思想

本文所采用恒定流动状态下的一维偏微分数学模型较为简单 , 其离散后采用水位、流量作为变量并以上下游断面表示的形式如下<sup>[2]</sup> :

$$z_1 + (\alpha_1 + \zeta) \frac{v_1^2}{2g} - \frac{\Delta s}{2} \frac{Q^2}{K_1^2} = z_2 + (\alpha_2 + \zeta) \frac{v_2^2}{2g} + \frac{\Delta s}{2} \frac{Q^2}{K_2^2} \tag{1}$$

式中 :  $z$  ,  $Q$  ,  $v$  ,  $\Delta s$  分别为水位、流量、流速和两断面间的距离步长 ;  $K$  为流量模数 ;  $g$  为重力加速度 ;  $\alpha$  为流速分布系数 ;  $\zeta$  为局部水头损失系数。南水北调长距离输水渠道主要由明渠、倒虹吸、涵洞、渡槽、暗渠、隧洞以及渐变段构成 , 由于水流流经各段时局

部水头损失各不相同,因此在编制水位计算程序时,需要采用模块化思想来实现,并在各建筑物结合处以及渠道断面变化位置设置计算控制断面。所编制计算程序的模块化示意图如图1所示。所编制的计算程序能在1s内迅速算出南水北调中线工程从陶岔渠首到惠南庄前池所有断面上的水位、流量、流速和过水面积。

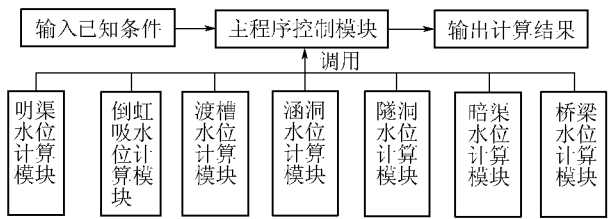


图1 模块化程序设计示意图

1.2 桥梁水头损失计算公式

吴泽宇等<sup>[1]</sup>通过对比验证认为,堰流公式和Henderson公式计算桥梁水头损失的结果相当接近,而Yarnell公式的计算结果则偏小,还认为堰流公式具有理论依据并经过了野外实测资料的检验,结果可靠。本文采用堰流公式计算桥梁的水头损失,其具体形式如下:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g\Delta z_0} \tag{2}$$

式中:ω为桥孔过水总面积,当忽略水流出桥孔的水面回升时,矩形桥孔ω=Bh<sub>0</sub>,梯形桥孔ω=h<sub>0</sub>(B+mh<sub>0</sub>),其中B为桥孔底的总净宽,h<sub>0</sub>为桥梁上游进口断面水深,m为边坡坡度;Δz<sub>0</sub>为上游壅高水头,Δz<sub>0</sub>=Δz+ $\frac{v_0^2}{2g}$ ,其中Δz为壅高值, $\frac{v_0^2}{2g}$ 为上游渠道行近流速水头;μ为流量系数,与桥孔进出口渐变段的形式和桥墩墩头形状有关,可从水流计算手册中查出<sup>[3]</sup>。

2 桥梁水头损失对渠首水位的影响研究

长江勘测规划设计研究院提供的水力学专题研究报告<sup>[4]</sup>认为,渠道沿程糙率取0.015时,可以将所有桥梁的影响包括在内,如果单独对桥梁进行水头损失计算,则沿程糙率取0.014。考虑桥梁影响时,此处默认桥墩为较为理想的半圆头尾型,并且认为墩台不阻水,计算结果见表1。从表1可以看出,设计和加大流量下,不管桥梁是否单独考虑,此处计算得到的渠首水位值都较为接近文献[4]中的计算值,且比文献[4]中的计算值略小,并且计算得到的渠首水位均小于渠首总体设计值147.38m。同时还计算了糙率n=0.015,单独考虑桥梁水头损失时设计和加大流量下的渠首水位,可以看到此时计算得到的设计水位值仍小于渠首总体设计值,即在糙率为0.015的基础上再单独考虑764座主要桥梁对渠首

水位的影响,渠首的设计水位值也能满足要求。与不考虑桥梁影响、糙率n=0.015时计算得到的渠首水位值比较,设计和加大流量下由桥梁贡献的渠首水位抬升分别为0.194m和0.238m。由此可以得到两点结论:①初始水位设计值是可靠的;②在不单独考虑桥梁水头损失影响下,将整个渠道糙率增加0.001可以包含渠道中764座桥梁对渠首水头抬升的影响。

表1 设计与加大流量下的渠首水位值比较

流 量	糙率 n	是否单独考虑桥梁	渠首水位计算值/m	文献[4]中计算值/m	水位差/m
设计流量	0.015	考虑	147.285		
	0.015	不考虑	147.091	147.217	0.126
	0.014	考虑	147.078	147.315	0.237
	0.015	考虑	148.137		
加大流量	0.015	不考虑	147.899	148.025	0.126
	0.014	考虑	147.912	148.180	0.268

注:水位差是指用文献[4]中的计算值减去此处计算得到的水位值,表2同。

3 桥墩形状对渠首水位的影响

由于不同桥墩形状的过流能力不同,其相应引起的水头损失和水位抬高也就不同。在不考虑墩台阻水的影响下,本文选取进行计算的桥墩形状有:方形头尾型、半圆头尾型、90°头尾型和双圆柱墩型,不同桥墩形状和流量下渠首水位的计算值如表2所示(沿程糙率采用0.014)。由表2可见,采用半圆头尾型桥墩对渠首水头的影响最小,双圆柱墩型较为不利,会引起渠首水位明显抬升,设计流量和加大流量时要比半圆头尾型桥墩的渠首水位分别高0.226m和0.284m,而且,加大流量条件下采用双圆柱墩型桥墩得到的渠首水位比设计水位略高,显然不满足安全要求,可见在渠道设计中桥墩的形状最好能采用过水能力较好的半圆头尾型。同时还可以看到,不同桥墩形状下计算得到的渠首水位都小于或等于文献[4]中的计算值,设计流量下的渠首水位值都小于渠首总体设计水位147.38m,这说明当沿程糙率采用0.014,单独考虑桥梁阻水作用时,渠首设计水位仍符合要求。

表2 不同桥墩形状下的渠首水位计算值

流 量	桥墩类型	计算值/m	水位差/m
设计流量	方形头尾型	147.198	0.117
	半圆头尾型	147.078	0.237
	90°头尾型	147.199	0.116
	双圆柱墩型	147.304	0.011
加大流量	方形头尾型	148.062	0.118
	半圆头尾型	147.912	0.268
	90°头尾型	148.068	0.112
	双圆柱墩型	148.196	-0.016

4 桥梁的总水头损失分析

南水北调中线工程总干渠全线所有桥梁的水头损失应该是第  $j$  座桥梁水头损失的简单相加,第  $j$  座桥梁的水头损失计算方法如下:

$$h_j = \Delta z + \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{\omega_{in}^2} - \frac{1}{\omega_{out}^2} \right) \quad (3)$$

式中: $h_j$  为第  $j$  座桥梁的局部水头损失; $\omega_{in}$  为水流进入桥梁之前的过水面积; $\omega_{out}$  为水流流出桥梁的过水面积。经计算,总的桥梁水头损失如表 3 所示。表 3 表明,设计和加大流量下,双圆柱墩型桥墩的水头损失最大,半圆头尾型最小。计算结果表明,由 764 座主要桥梁引起的局部水头损失占总水头的比例较小,即使采用最不利的双圆柱墩型,加大流量下由桥梁引起的水头损失仅占总水头的 7.11%,若采用容易过流的半圆头尾型,设计和加大流量下的桥梁水头损失占总水头的比例分别仅为 3.61% 和 3.92%。

表 3 不同类型桥梁的总水头损失

流 量	桥墩类型	764 座桥梁局部 水头损失之和/m	占总水头 的比例/%
设计流量	方形头尾型	4.66	5.36
	半圆头尾型	3.13	3.61
	90°头尾型	4.24	4.88
	双圆柱墩型	5.79	6.65
加大流量	方形头尾型	5.05	5.75
	半圆头尾型	3.43	3.92
	90°头尾型	4.67	5.32
	双圆柱墩型	6.25	7.11

可以推测,如果沿线再增加 436 座移民桥,使桥梁的数量最终达到 1 200 座,由于目前没有移民桥的详细设计资料,若水头损失相应按比例增加(实际上,移民桥较前面主要桥梁的规模小,其对渠道输水影响和产生的水头损失较主要桥梁小得多,这里主要对其进行保守分析),采用最不利的双圆柱墩型桥墩时,设计和加大流量下,总的桥梁水头损失分别为 9.08 m 和 9.82 m,若采用半圆头尾型桥墩时,设计和加大流量下,总的桥梁水头损失分别为 4.92 m 和 5.39 m,若渠首水位也相应按比例抬升,采用半圆头尾型桥墩时由 1 200 座桥引起的渠首水位在设计和加大流量下的抬升分别为 0.3 m 和 0.37 m。比较这两种不同形状桥墩的总水头损失可见,在设计和加大流量下两者相差达 4.16 m 和 4.43 m。由此可见,在南水北调中线工程中,建设跨越渠道的桥梁时选择流线型、水流易于通过的桥墩形状可以节约相当一部分宝贵的水头。

5 结 论

根据南水北调中线工程实际设计资料,采用数值模拟计算,对中线工程中所有桥梁的水头损失及

其对渠首水位的影响进行了研究,主要结论有:

- a. 沿程糙率采用 0.015 时可以包含主要 764 座桥梁对渠首水位抬升的影响。
- b. 沿程糙率采用 0.014,单独考虑桥梁的阻水作用时,在设计和加大流量下双圆柱墩型桥墩比半圆头尾型桥墩引起的渠首水位抬升分别高 0.226 m 和 0.284 m。
- c. 桥墩形状对总水头损失影响很大,选用最不利的双圆柱墩型桥墩时,由 764 座主要桥梁引起的总水头损失累计最大可达到总水头的 7.11%。
- d. 当增加移民桥使桥的总数量达到 1 200 座时,若水头损失按比例增加,不利于过水的双圆柱墩型桥墩比半圆头尾型桥墩在设计和加大流量下的水头损失分别多 4.16 m 和 4.43 m,因此建议南水北调中线工程在修建桥梁时尽量采用流线型、水流易于通过及水头损失小的桥墩形状,或尽量不要将桥墩设置在过水断面之中。

参考文献:

[1] 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,1997,18(15):1-4.  
[2] 槐文信,赵明登,董汉毅.河道及近海水流的数值模拟[M].北京:科学出版社,2005.  
[3] 武汉水利电力学院水力学教研室.水力计算手册[M].北京:水利出版社,1980.  
[4] 吴泽宇,黄会勇,唐景云,等.南水北调中线一期工程可行性研究——调度及水力学专题研究报告[R].武汉:长江水利委员会长江勘测规划设计研究院,2005.

( 收稿日期 2007-08-15 编辑 骆超 )

· 简讯 ·

第三届全国水力学与水利信息学学术大会  
在河海大学召开

由国际水利工程与研究协会中国分会、中国水利学会水力学专业委员会和中国水力发电工程学会水工水力学专业委员会联合主办,河海大学承办的第三届全国水力学与水利信息学学术大会于 2007 年 10 月 18~20 日在河海大学召开。本届大会的中心议题为“水利与环境的和谐发展”,分“环境水力学”、“水工水力学”、“河口、岸边水力学”、“水利信息学的新进展”4 个专题进行研讨和交流。来自全国水利水电科研院所、大专院校、咨询管理单位及企业的 180 余名专家学者参加了大会。

( 本刊编辑部供稿 )