

小清河小李家分洪倒虹工程导流设计方案探讨

栗瑞娟¹, 邱元成², 张超³

(1. 山东水务招标有限公司, 山东 济南 250013; 2. 高密市马旺水库运营维护中心, 山东 高密 261500;
3. 山东省水利勘测设计院有限公司, 山东 济南 250014)

【摘要】新建小李家分洪道倒虹为小李家蓄滞洪区向小清河分洪的连通通道,依次穿越南水北调输水干渠、小清河左堤。结合工程交通、水文、地质等条件,确定了施工导流方案。主体工程工期安排在非汛期内避免了小李家蓄滞洪区分洪的影响,橡胶坝充水围堰既降低了南水北调输水干渠停水后明水倒灌的风险,又减少了常规土质围堰对渠内水质的影响,小清河河道内围堰有效的阻止了小清河干流来水的倒灌,为分洪倒虹干地施工提供了必要的基础条件。

【关键词】小清河; 小李家分洪倒虹; 施工导流

【中图分类号】TV55.1

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2025)-12-0017-03

Discussion on Diversion Design Scheme of Xiao Lijia Flood Diversion Inverted Siphon Project in Xiaoqing River

LI Ruijuan¹, QIU Yuancheng², ZHANG Chao³

(1. Water Affairs Tendering Co., LTD. of Shandong Province, Jinan, Shandong 250013, China;

2. Mawang Reservoir Operation and Maintenance Center of Gaomi City, Gaomi, Shandong 261500, China;

3. Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy co., Ltd, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: The newly-built Xiao Lijia Flood Diversion Inverted Siphon serves as a connecting channel for flood diversion from the Xiao Lijia flood storage and detention area to the Xiaoqing River, passing through the South-to-North Water Diversion main canal and the left dike of the Xiaoqing River in sequence. Determines the construction diversion scheme based on the engineering traffic, hydrological, geological and other conditions. The main project construction period is arranged in the non-flood season to avoid the impact of flood diversion in the Xiao Lijia flood storage and detention area. The rubber dam water-filled cofferdam not only reduces the risk of open water backflow after the water cutoff of the South-to-North Water Diversion main canal, but also reduces the impact of conventional earth cofferdams on the water quality in the canal. The cofferdam in the Xiaoqing River effectively prevents the backflow of water, providing necessary basic conditions for the dryland construction of the flood diversion inverted siphon.

Key words: Xiaoqing River; Xiao Lijia Flood Diversion Inverted Siphon; Construction diversion

小李家分洪倒虹工程位于济南市高新区境内,为小李家蓄滞洪区的分洪通道之一,进水口位于南水北调干渠以北,出水口位于小清河左堤以南,倒虹下穿南水北调干渠后,再穿越小清河左堤与小清河干流相通。

1 工程概况

1.1 建设内容

在小李家蓄滞洪区水位为 21.78 m、分洪启

用水位为 22.72 m 时,新建的小李家倒虹分洪流量应不小于 90 m³/s,经计算,新建 3 孔 3.0 m×3.5 m 钢筋混凝土箱涵分洪流量可达 92 m³/s,满足分洪要求。倒虹工程主要由进口连接段、进口涵闸、倒虹洞身、出口连接段组成。

1.2 交通条件

工程区位于济南市高新区境内,其中青银高

收稿日期:2025-03-12

作者简介:栗瑞娟(1982—),女,工程师

速公路、济南绕城高速公路、240省道等自境内穿过,县乡公路四通八达,对外交通条件便利。

1.3 水文气象条件

新建小李家分洪倒虹所处小清河流域属华北暖温带半湿润季风型大陆性气候,年内四季分明,温差变化较大。冬季寒冷干燥,降水量稀少;夏季高温炎热,为暴雨洪水主要发生期,主要集中于汛期(6—9月),多年平均降水量为467.9 mm,占全年的72.9%。

1.4 工程地质条件

1)地形地貌。新建小李家分洪倒虹位于小清河左侧,地貌上属于黄河冲积平原区的山前平原—冲积平原交接洼地,场区内地形平坦,地面高程一般20.10~22.30 m;该处小清河左堤宽约12 m,堤顶高程24.50 m;南水北调干渠渠底宽约14 m,渠底高程17.30 m。

2)工程地质。场区揭露地层除局部表层人工堆积外,主要为第四系全新统冲积堆积的砂壤土、壤土,第四系全新统冲积洪积堆积壤土及第四系上更新统冲积洪积堆积的含姜石黏土、壤土等^[1]。

2 导流设计

2.1 导流特点

新建小李家分洪倒虹干地施工受3个条件制约,分别是:小李家蓄滞洪区分洪的影响,洞身穿越南水北调输水干渠施工时南水北调输水的影响,倒虹出口处小清河干流水位的影响。

2.2 导流标准

新建小李家分洪倒虹建筑物级别为1级,南水北调输水干渠工程建筑物级别为1级,小清河干流河道及堤防工程建筑物级别为2级,根据水利部《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252—2017)及《水利水电工程施工组织设计规范》(SL303—2017)规定,根据影响工程的级别、失事后果、使用年限,确定导流建筑物级别为4级,导流建筑物洪水标准为10年一遇。

2.3 导流时段及流量成果

根据流域内的水文气象资料,降雨主要集中在汛期的6—9月,为减小河道防汛压力,降低洪涝灾害发生的可能性,使施工风险降至最低,汛期及汛前、汛后的过渡期内不宜安排主体工程施工,因此,新建小李家分洪倒虹主体工程施工的

导流时段为11月至次年4月。

根据黄台桥站导流时段内1962—2018年的实测流量资料,采用P-III型曲线进行适线,得到黄台桥站的施工期设计流量,采用面积内插法计算,小李家分洪倒虹处小清河11月至次年4月10年一遇洪水流量为38.5 m³/s,相应河道水位为18.11 m;南水北调输水干渠设计输水流量为50 m³/s,洞身穿越南水北调输水干渠段主要利用非汛期的非调水时段施工。

2.4 导流方案设计

根据小李家蓄滞洪区启用计划,当小清河干流巨野河河口以下洪水流量超过1 050 m³/s时采用华山湖与小李家蓄滞洪区联合调度,确保其河口以下洪水流量不超过1 050 m³/s。经水文调算,小清河干流巨野河河口以上全年时段50年一遇洪峰流量为640 m³/s,小李家蓄滞洪区不启用,因此新建小李家分洪倒虹施工期间不受小李家蓄滞洪区分洪的影响,分洪倒虹进口处无需采取导流措施。

2.4.1 南水北调输水干渠影响

为解决小李家分洪倒虹洞身穿越南水北调输水干渠干地施工的技术问题,需在洞身穿越处的南水北调渠道内修筑上、下游围堰挡水,避免调水过后渠内未能及时下泄明水淹没基坑。根据南水北调调度运行计划,洞身穿越南水北调输水干渠处非调水时段内渠内水深约3.0 m,渠内上、下游围堰堰高按下式计算:

$$H=h+\delta \quad (1)$$

式中: H 为渠内围堰堰高,m; h 为渠内水深,m; δ 为围堰的安全加高,m。

根据《水利水电工程围堰设计规范》(SL645—2013)及《水利水电工程施工导流设计规范》(SL623—2013)中强制性条文对不过水围堰堰顶高程和堰顶安全加高的要求确定,采用0.5 m。由此计算的上、下游围堰堰高为3.5 m。

根据南水北调管理单位对渠道内水质的要求,渠内围堰采用橡胶坝袋充水结构型式,橡胶坝充水高度为3.5 m,上下游坝袋总长约100 m,坝袋两端采用绳索绑扎,固定至渠道两侧地埋锚杆处,再采用水泵抽水至坝袋内直至围堰设计高度,坝袋充水工作完成后对坝面进行密闭性检查,防止坝面出现漏点。同时,为了防止橡胶坝坝

袋充水后向背水侧推移,确保水坝围堰的稳定需要在坝袋背水侧堆放装土编织袋,宽约 1 m,高约 3.5 m,近坝袋侧为垂直边坡,背坝袋侧边坡采用 1:0.5,上下游编织袋装土围堰总长约 71 m,坝袋背水侧码放的袋装土施工完成后,对橡胶坝的整体稳定性进行检查。

2.4.2 小清河干流来水影响

为解决小李家分洪倒虹出口处小清河干流来水倒灌影响干地施工的技术问题,需在出口处的小清河干流上修筑围堰挡水。围堰顶高程按下式计算^[2]:

$$H=h+h_w+\delta \quad (2)$$

式中: H 为围堰堰顶高程,m; h 为围堰堰前水位,m; h_w 为波浪高度,0.5 m,按莆田试验站公式计算; δ 为围堰的安全加高,m。

根据《水利水电工程围堰设计规范》(SL645—2013)及《水利水电工程施工导流设计规范》(SL623—2013)中强制性条文对不过水围堰堰顶高程和堰顶安全加高的要求确定,采用 0.5 m。由此计算的围堰顶高程为 19.11 m,现状分洪倒虹出口处小清河干流河底高程为 15.30 m,即围堰高度为 3.81 m。

分洪倒虹出口处围堰采用当地常用土石围堰结构型式,堰顶宽度约 3 m,边坡 1:3,围堰总长约 135 m,迎水面采用 150 g/0.3 mm/150 g 复合土工膜防渗,膜上设编织袋装土护砌,厚约 0.3 m。

该工程围堰填筑土料及袋装土料均可利用

表 2 围堰土料物理力学指标表

位置	土料	湿容重/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	饱和容重/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	三轴 CU 固结试验			
				Cu/k	$\varphi_{\text{cu}}/(\text{°})$	$C'_{\text{cu}}/\text{kPa}$	$\varphi'_{\text{cu}}/(\text{°})$
堰体	砂壤土	19.40	19.66	16	27.8	23	30.7
地基 1	砂壤土	19.40	19.66	16	27.8	23	30.7
地基 2	淤泥质壤土	18.30	18.40	36	7	26	12.4

坡为 3.410、下游坡为 2.276;非运行条件下上游坡稳定计算值为 2.385,均满足规范规定的 4 级导流建筑物最小安全系数 1.15 的要求。

3 结语

小李家分洪倒虹已建设完工,顺利通过了验收,选定的导流方案有效地解决了其干地施工的三个制约条件,为实施阶段的工程建设和施工管

河道扩挖土方,采用挖掘机配自卸车挖运,施工完成后,围堰采用挖掘机拆除,自卸车运至弃土区内。

2.5 围堰渗流及稳定成果

橡胶坝充水围堰主要靠水自重和袋装土确保堰体稳定,本工程重点对土围堰结构型式进行分析计算,选取分洪倒虹出口处小清河干流堰高为 3.81 m 的围堰断面为计算断面,采用专业岩土软件 Geo-studio 进行计算。

1) 渗流计算。根据《小清河防洪综合治理工程工程地质勘察报告》中地质勘探和室内试验成果^[1],确定围堰堰体及地基渗流计算系数,见表 1。

表 1 堰体及地基渗透系数表

渗透系数分区		渗透系数/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
堰体	砂壤土	1.0×10^{-2}
地基 1	砂壤土	3.0×10^{-2}
地基 2	淤泥质壤土	1.0×10^{-3}

经计算,围堰断面渗漏量为 $1.32\times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$,出逸比降计算值为 0.28,小于允许值 0.3,主体工程施工时,应加强对围堰渗透变形的观测;定期观测围堰的沉降变形及边坡变形等;派专人对围堰进行日常检查,定期对围堰进行维护,防止围堰发生渗透破坏造成围堰失稳,如遇险情及时上报,并作出相应的处置措施。

2) 稳定计算。围堰边坡稳定计算采用毕肖普法,堰体及地基物理力学指标^[1],见表 2。

经计算,围堰安全系数正常运行条件下上游

理提供了技术指导,可为今后类似工况条件的工程建设提供一定参考。

参考资料

- [1] 小清河防洪综合治理工程工程地质勘察报告[R].2019(11).
- [2] 马阔,张超,徐玉涵.莱阳市王宋拦河闸除险加固施工导流设计[J].山东水利,2022(7):72-73.

(责任编辑 崔春梅)