

# 采用锚杆增强三河闸抗滑稳定技术研究

周和平<sup>1</sup>, 陆美凝<sup>1</sup>, 严 凯<sup>2</sup>, 郭 军<sup>1</sup>

(1. 江苏省洪泽湖水利工程管理处, 江苏 淮安 223100; 2. 江苏省淮河入海水道工程管理处, 江苏 淮安 223200)

**摘要:**针对三河闸因防洪标准提高导致抗滑稳定安全富余下降、底板局部钢筋受损等问题, 比选多种技术方案, 推荐采用锚杆技术加固改造。锚杆布置避开钢筋密集区, 并选在底板跨中部位, 以确保不切断受力钢筋, 并改善闸底板受力。在三孔一连的闸底板上, 闸孔内各布置1组, 门墩之间各布置1组, 共8组。每组锚杆选用数根常用钢绞线, 锚碇设在地基偏上游方向, 锚杆角度设为45°左右, 锚杆张力不超过其破断力的75%。结合锚杆锚具的设置, 将闸底板一定范围用钢筋混凝土填平, 进一步补强底板。该加固方案使工程在各种工况下均满足抗滑稳定要求, 无需构筑挡洪围堰, 无需导流, 工期较短, 投资节省。

**关键词:**三河闸; 抗滑稳定; 安全富余; 除险加固; 锚杆

中图分类号: TV212

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2023)02-0009-0005

## Research on the technology of enhancing anti-sliding stability of Sanhe Sluice with anchor bolt

ZHOU Heping<sup>1</sup>, LU Meining<sup>1</sup>, YAN Kai<sup>2</sup>, GUO Jun<sup>1</sup>

(1. Hongze Lake Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223100, China;

2. Huaihe River Into the Sea Waterway Project Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223200, China)

**Abstract:** In view of the problems such as the decline of safety surplus of anti-sliding stability and the damage of local steel reinforcement in the bottom plate of Sanhe Sluice due to the improvement of flood control standards, a variety of technical schemes are compared and the anchor technology is recommended for reinforcement. The anchor bolt is arranged to avoid the densely reinforced area, and is selected in the middle of the floor span to ensure that the stressed reinforcement is not cut off, and to improve the force of the gate floor. On the base plate of the gate with three consecutive holes, a group is arranged in each hole and a group is arranged between the door piers, a total of 8 groups. Several common steel strands are selected for each group of anchor bolts. The anchoring is set in the upstream direction of the foundation, the angle of the anchor bolts is set at about 45°, and the tension of the bolts does not exceed 75% of its breaking force. Combined with the setting of anchor bolts, the bottom plate of the gate is filled with reinforced concrete in a certain range to further strengthen the bottom plate. The reinforcement scheme makes the project to meet the requirements of anti-sliding stability under various working conditions, without the construction of flood retaining cofferdam, no diversion, short construction period and small investment.

**Key words:** Sanhe Sluice; anti-sliding stability; security surplus; danger removal and reinforcement; anchor bolt

收稿日期: 2022-10-07

作者简介: 周和平(1964—), 男, 正高级工程师, 本科, 主要从事水利工程管理工作。Email: 478985110@qq.com

## 1 研究背景

三河闸位于江苏省洪泽区和盱眙县交界处,洪泽湖东南角,是淮河入江水道的控制口门。1952年10月1日动工兴建,1953年7月26日建成放水。闸身为钢筋混凝土结构,共63孔,每孔净宽10 m,原设计流量为8 000 m<sup>3</sup>/s,1968年加固提高到12 000 m<sup>3</sup>/s,为大(1)型水闸,等别为Ⅰ等。设弧形闸门,配卷扬式启闭机。经历过4次较大规模加固,主要功能为排泄淮河洪水、调蓄洪水减轻下游防洪压力,以及拦蓄来水为地区生活、生产、生态、航运等提供水源,建成以来发挥了巨大的经济社会效益。

### 1.1 闸身抗滑安全富余有待恢复

1954年淮河大洪水后,洪泽湖规划水位做调整,设计水位由15.3 m调整到16.0 m,并增设校核水位为17.0 m,蓄水位由12.5 m调整到13.5 m,超工程设计标准,三河闸抗滑稳定安全富余下降,须采取措施。考虑闸顶压载抗滑,但底板配筋不允许;考虑加固闸底板,需构筑施工围堰,淮河防汛不允许。因此,1967年前三河闸加固设计未能定案。1968—1970年重启设计、加固,开展拖板试验,取得地基土较高 $c$ 、 $\varphi$ 值,采取提高地基土摩擦系数、闸身局部增加重量、设计水位和校核水位时按泄洪8 000 m<sup>3</sup>/s核算,并调低设计水位和校核水位时抗滑安全系数等措施,使三河闸抗滑稳定计算成果符合有关规范要求<sup>[1]</sup>。此后的安全鉴定、加固设计,均遵循水闸设计规范,地基土摩擦系数取0.45(三河闸原设计取0.33),核算成果一般表达为:考虑拖板作用时,三河闸各工况下抗滑安全系数均满足规范要求;不考虑拖板作用时,地震工况下抗滑稳定安全系数不满足规范要求。

拖板有无效用,存在争议,无法验证。但是,三河闸在提高使用标准的同时,未能通过工程措施提高工程标准,而是挖掘地基潜力达到计算安全,总体是降低了工程的安全富余度,与工程重要性不对等。

### 1.2 闸底板配筋有待补强

工程建成以来,历经多次加固,先后接长了闸墩、门墩,增设了新的工作桥、排架、启闭机房,拓宽了公路桥,这些荷载都是工程设计时没有考虑的,增加了底板弯矩和剪力,核算成果表明,局部钢筋配置只能勉强满足规范要求。

更为严重的是,多年来为埋设测压管和渗压

计,闸底板钻孔达41个(表1)。钻孔直径都在130 mm左右,或在闸墩、门墩部位,或在闸孔位置,截断钢筋若干,且相对集中于3、6、11、16、19号底板。底板上钻孔对底板的伤害呈隐性状态,看不见也就不被重视,但钢筋切断,必然导致配筋不足,裂缝扩展、延伸,危害极大。

表1 三河闸测压管渗压计布设情况

埋设年代	数量/根	所在底板(编号)	部位
1953	8	16、20	闸墩
1972	20	3、6、11、16、19	闸墩门墩
1998	6	11、19	门墩
2014	5	3、6、11、16、19	门墩
2015	10	3、6、11、16、19	闸孔
合计	49	新增41根	

### 1.3 三河闸抗滑稳定需增强

2008年2月,中国工程设计大师、工程院院士周君亮在《水利水电科技进展》发表文章《地基土上水工建筑物的抗滑动稳定》,描述到1968年三河闸加固设计抗滑稳定的算法,认为提高地基土摩擦系数属于经验取值,虽计算安全,工程也经过了冬春季较高蓄水位的考验,但还存在不确定性,主张待解决淮河洪水出路(兴建三河越闸)后,打坝加固底板,闸身压重,彻底提高工程抗滑稳定性<sup>[1]</sup>。

2015年2月、2016年10月、2018年4月,周君亮院士又就地基土上建筑物的滑动问题在《江苏水利》发表系列研究文章<sup>[2-4]</sup>,均强调三河闸需进行抗滑稳定加固(《江苏水利》编辑部曹海明同志讲,周君亮院士亲自到编辑部送稿,并说一直在反复思考,要对江苏水利重要技术有交待)。周君亮院士指出,归档计算书按似岩基抗剪断法计算存在错误,地基土与混凝土间摩擦系数取用偏高;铺盖不应作为拖重;三河闸下游渗流出口不完全畅通,闸身渗压比计算稍大;三河闸洪水位17.0 m时抗滑安全需做进一步论证;主张先建三河越闸,再加固三河闸。

对周君亮院士的忧虑,江苏省水利厅十分重视,要求深入开展技术研究,采取措施,消除隐患,目前均调度洪泽湖正常蓄水位不超过13.5 m。管理单位积极开展相关技术研究,制定并落实工程控制运用方案,严格执行调度指令,确保工程安全。

## 2 抗滑方案比较分析

周君亮院士认为三河闸抗滑稳定存在不确定

性,主张加固改造。若采用通行的底板补强、闸身压重方案,上游需构筑施工围堰,投资较大,且施工期导流尚无出路。若言拆除重建,投资更大,也要导流。能否不构筑围堰,另辟蹊径增强三河闸抗滑稳定呢?我们翻阅了历史档案,结合多年来三河闸运行管理情况,进行了深入研究。

2.1 底板压重法

底板压重法,是考虑在底板上均匀加载,能改善底板受力分布,减小钢筋受力。此法区别于闸顶加载,闸顶增加的荷载通过闸墩传递给底板,会增加底板跨中、支座部位弯矩。

(1)水重保持法。如图1,闸底板末端有一尾槛,高50 cm,尾槛上设有排水孔,下游水位低于高程7.5 m时,能排除闸底面积水。若堵住尾槛排水孔,底板上能增加50 cm厚水重,对闸身稳定有益,设计蓄水工况(上游13.5 m,下游7.5 m,下同)下,闸身稳定安全系数由1.40提高到1.51(见表2,按规范计算,不计拖板,下同)。

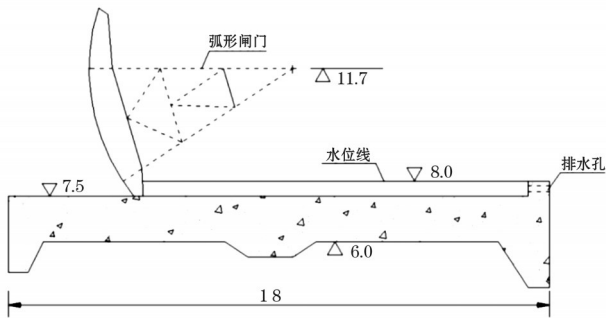


图1 闸底板尾槛排水孔封闭蓄水示意(单位:m)

(2)钢筋混凝土填平法。如图2,将闸底板一定范围内用钢筋混凝土填充至高程8.0 m,与尾槛同高,设计蓄水工况下,闸身稳定安全系数由1.40提高到1.61。实施时植筋、布筋,同时补强底板。

(3)底板尾槛增设矮门法。如图3,在尾槛上设置矮门挡水,使底板上储水一定高度,譬如矮门高1.7 m,相当于在闸底板上增加了2.2 m厚水重,设计蓄水工况下,闸身稳定安全系数由1.40提高到1.86。若摩擦系数取为0.33(原设计选用,下同),安全系数为 $K=1.36>1.35$ ,相当于该工况下恢复了工程设计标准。

以上3种办法,均有利于闸身稳定,能改善闸底板受力,无需导流,但各有利弊。水重保持法易实施,但效果不明显;钢筋混凝土填平法效果稍好,同时能补强闸底板,但不能大幅增强闸身稳定;底板尾槛增设矮门法能大幅提高闸身稳定性,但工程管理任务显著加重。

2.2 抬高下游水位法

抬高下游水位,增加了下游底板上水重和下游水压力,降低了扬压力,有利于闸身稳定。譬如将下游水位抬高到10.0 m,设计蓄水工况下,闸身稳定安全系数由1.40提高到1.84。若摩擦系数取为0.33,安全系数为 $K=1.35$ ,达到原设计标准。抬高下游水位思考两个途径。

(1)下游新建橡胶坝。在下游适当位置,新建顶高程10.0 m的橡胶坝,挡水时升高,泄水时放

表2 设计蓄水位下闸室稳定计算成果

水位组合/m		摩擦系数 取值	抗滑安全系数 $K_s$					$[K]$
$H_{上}$	$H_{下}$		现状	水重保持法	混凝土填平法	矮门高1.7 m	下游水位抬高到10.0 m	
13.5	7.5	0.45	1.40	1.51	1.61	1.86	1.84	1.35
		0.33	/	/	/	1.36	1.35	

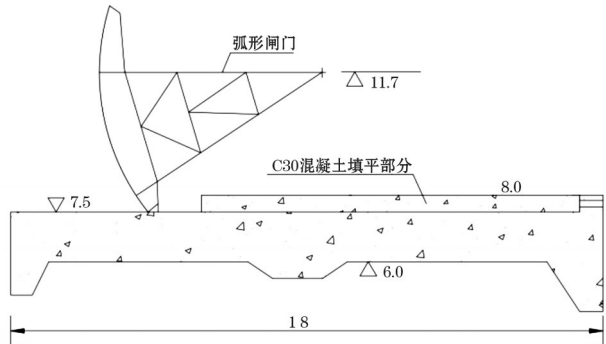


图2 闸底板局部增厚示意(单位:m)

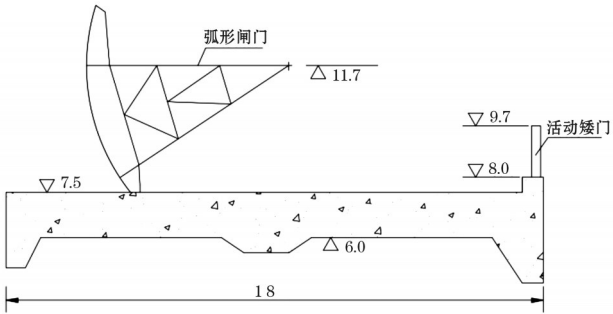


图3 闸底板尾槛增设活动矮门示意(单位:m)

倒。下游需构筑围堰,需较大投资。

(2)提高入江水道金湖控制挡水高度。改造入江水道金湖控制,提高挡水高度到10.0 m。该方案影响较大,涉及入江水道金湖控制的改造和上游滩地的淹没。金湖控制的改造包括挡水工程建设、东偏泓闸、西偏泓闸、船闸改造,需数千万元投资。可分段施工,不需导流。金湖控制上游入江水道内,洪泽区有滩地约666.67 hm<sup>2</sup>,金湖县有滩地面积约266.67 hm<sup>2</sup>,若水位抬高到高程10.0 m,滩地基本全部下水,该段入江水道成为湖泊。这样的转换,需要分析评估、顶层决策。

2.3 锚杆抗滑法

显然,以上各方案存在一个普遍问题:能增强蓄水期闸身抗滑稳定,却不能增强洪水位17.0 m时闸身抗滑安全。但是,锚杆法能增强闸身各种工况下的抗滑稳定。

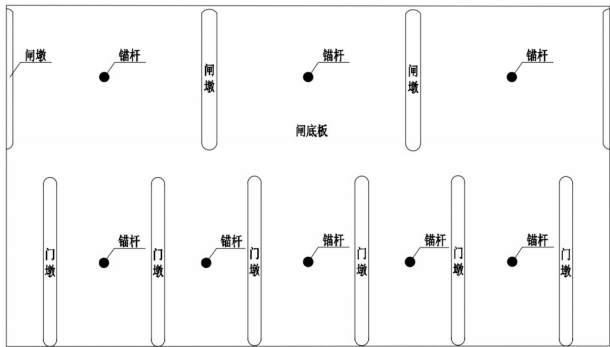


图4 闸底板锚杆布置平面示意

3 锚杆设置与计算

3.1 锚杆的布置与钢索选用

锚杆布置应避开钢筋密集部位,同时选在底板跨中部位。在三孔一连的闸底板上,闸孔内各布置1组,计3组,门墩之间各布置1组,计5组,共8组,平面布置如图4。每组锚杆选用3根常用钢绞线(直径15.24 mm,破断力约240 kN)。下锚角度设为45°(锚碇偏上游,如图5),锚入地下长度、锚固方式等另处理。

3.2 闸身稳定计算

锚杆安装张拉力取钢绞线破断力的75%( $K=1.33$ ),总的张拉力为4 320 kN,水平分力、垂直分力均为3 054 kN。综合各种荷载,针对各种工况,将摩擦系数分别取为0.45和0.33,进行闸身抗滑稳定计算,成果见表3。成果显示,采用本设计方案,各种

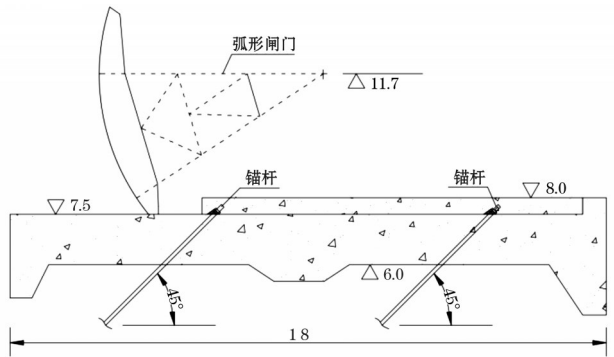


图5 闸底板布置锚杆剖面(单位:m)

表3 锚杆法闸身抗滑稳定计算成果

计算工况	水位/m		摩擦系数	抗滑安全系数 $K_s$		
	$H_{上}$	$H_{下}$		现状	锚杆	[ $K$ ]
设计蓄水位	13.5	7.50	0.45	1.40	2.25	1.35
			0.33	1.03	1.65	
校核蓄水位	14.0	7.50	0.45	1.20	1.83	1.20
			0.33	0.88	1.34	
设计洪水位	16.0	12.95	0.45	2.00	4.24	1.20
			0.33	1.47	3.11	
校核洪水位	17.0	13.67	0.45	1.62	2.97	1.20
			0.33	1.18	2.18	
设计蓄水位+地震	13.5	7.50	0.45	1.29	2.00	1.10
			0.33	0.95	1.47	
校核蓄水位+地震	14.0	7.50	0.45	1.12	1.66	1.10
			0.33	0.82	1.22	
设计洪水位+地震	16.0	12.95	0.45	1.76	3.36	1.10
			0.33	1.29	2.46	



工况下工程抗滑稳定均达到或超过原设计标准。各计算工况中,校核蓄水位为作者个人特别验算,其它均为工程原设计工况。

### 3.3 可能出现的问题与对策

(1)对闸底板钢筋的影响如何消除?底板跨中部位面层钢筋受拉,不能截断,底层钢筋受压,截断影响不大。三河闸底板高程7.5 m,施工期可稍稍降低下游水位,排除底板积水,干法施工。采用混凝土钢筋检测仪能定位面层钢筋,也就能避开面层钢筋钻孔,确保不截断受力钢筋。

锚杆发挥作用后,能降低跨中弯矩和支座反向弯矩,总体改善闸底板受力,但锚杆受力后,底板部分钢筋出现附加拉应力。为消除不利影响,可将锚杆抗滑方案与门后闸底板填平方案结合使用,同时进一步补强底板。

(2)底板钻孔会不会引起渗透破坏?闸墩之间闸底板上的钻孔,其渗径较短,水平约39.0 m,垂直约3.5 m,地下轮廓线投影总长度 $L=42.5$  m。运行期最大水位差 $\Delta H=6.0$  m(设计工况, $H_{上}=13.50$  m、 $H_{下}=7.5$  m)。闸底板、上游护坦位于棕黄夹灰色粉质黏土上,按《水闸设计规范》SL265—2001表4.3.2,取允许渗径系数值 $[C]=3$ 。计算渗径系数 $C=L/\Delta H=7.08$ ,大于允许渗径系数值,钻孔处防渗长度满足规范要求,不会出现渗透破坏。

(3)如何防止锚具前滑?锚杆斜向设置,锚具收到向前的拉力,为防止锚具前滑,应先采用钢筋混凝土填平闸底板,将锚具预埋好,28 d后再张拉锚杆,最后采用混凝土封闭锚具。

## 4 结 语

### 4.1 锚杆法阻滑效果良好

(1)加固全面。能恢复工程原设计标准,保证各种工况下闸身抗滑安全。

(2)补强底板。多年来为埋设测压管、渗压计,闸底板钻孔41个,且相对集中,截断受力钢筋若干,危害极大。将锚杆抗滑方案与门后闸底板填平方

案结合使用,能改善闸底板受力,消除测压管、渗压计设置带来的危害。

(3)无需导流。不构筑施工围堰,可利用泄洪、过流间隙施工。

(4)投资不大。与上游构筑围堰后补强底板、闸身压载方案相比,所需费用较小。

### 4.2 锚杆法阻滑意义重大

(1)有利于工程效益正常发挥和进一步提升。工程加固改造后,恢复了工程设计标准,消除了地基土不确定性、抗滑稳定不可靠的疑虑,可放心控制运用。

目前淮河入海水道二期工程已开工建设,淮河干流入湖段裁弯取直箭在弦上,洪泽湖综合治理卓有成效,倘三河闸完成加固改造,提高洪泽湖正常蓄水位的主要工程条件已经具备,若国家批准抬高洪泽湖正常蓄水位,将带来巨大的水资源效益和生态效益。

(2)有利于延长工程使用寿命。三河闸选址科学,地质良好;设计缜密,结构精巧;施工精湛,质量优良;目前变形不大,碳化轻微,安全鉴定为一类工程,运行70年安全无事故。三河闸是1949年中华人民共和国建国初期的巨大工程,蕴含着前辈们精雕细琢、精打细算的时代精神和人文精神,是宝贵的物质财富和精神财富。三河闸有一定病害,但可防可治,只要适当加固改造,无需太大投入,即能还其活力,焕发青春。愿三河闸百年屹立,经久不衰。

### 参考文献:

- [1] 周君亮. 地基土上水工建筑物的抗滑动稳定[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(1): 35-42.
- [2] 周君亮. 粘性地基土水工建筑物滑动计算三种方法比较[J]. 江苏水利, 2015(2): 5-7, 10.
- [3] 周君亮. 地基土水工建筑物滑动计算[J]. 江苏水利, 2016(10): 1-6.
- [4] 周君亮. 地基土与现浇混凝土压板的滑动特性[J]. 江苏水利, 2018(4): 1-7.