

双向过流平底闸的水力特性探讨

朱亚东

(镇江市长江河道管理处,江苏 镇江 212006)

摘要 简介平原地区常见的双向过流平底闸的工程结构布置特点,详细分析其水力特性,认为可按无坎宽顶堰理论分析计算该类水闸。阐述判别闸孔出流与宽顶堰堰流、淹没流及自由流的准则与方法,对比分析了几个主要过闸流量计算公式,提出在进行水闸泄流量计算时需要注意的一些细节,并进一步指出要注意科学选用相关计算公式、合理选取主要参数,以降低工程投资。
关键词 双向过流;平底水闸;闸孔出流;宽顶堰;堰流;水力特性
中图分类号 TV34 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2007)S2-0142-03

平原地区最常见的水闸闸坎形式是平底闸,对于双向过流的水闸,需在闸的上、下游分别布置消能池。水闸的基本消能方式是底流水跃,最常用的是下挖式消能池,消能池与闸底板间以一段斜坡连接。这种结构就形成了一种比较常见的双向过流、双向设置下挖式消能池的平底闸形式,位于苏南大运河入长江口门处的谏壁节制闸就是一例(见图 1)。

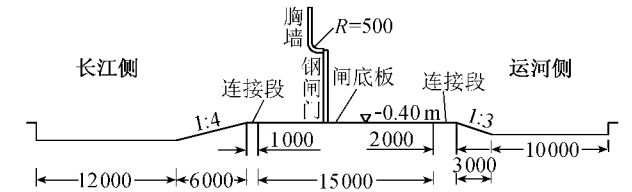


图 1 谏壁节制闸闸底板及上下游消力池平面布置示意图(单位:mm)

1 主要特点

工程结构特点如前所述,此处主要分析其水力特点。由于闸孔宽度小于引河宽度,过水断面减小,闸墩对过闸水流产生侧向约束作用,局部阻力增加,闸上水位被迫壅高;又由于部分势能转化为动能和局部能量损失沿程增加,过闸后水流在进口处形成水面跌落,然后有一段流线近似平行于闸底板的渐变流动,最后水面又略有回升,产生类似于宽顶堰的流态。一般情况下,平原地区该类水闸底板长度(即宽顶堰的厚度 δ)基本都能满足 $2.5H < \delta < 10H$ ^[1] 的要求,可以视为宽顶堰。根据宽顶堰进口情况、底坎形式及相对堰高(P/H)等不同情况,堰上水平段

水流表面情况十分复杂,特别是闸前有一段下挖式消能池,若仍将它视为无坎宽顶堰进行水力计算似乎误差比较大。

当闸上水流流过消能池(为另一个方向引排水而设置)时,由于消能池末端尾槛跌坎的存在,会产生类似于水跌的水流,只是闸前消能池长度及深度都有限,在临近闸室前端又存在着坎(斜坡连接段),自消能池尾槛至闸室前端水流逐渐被缩窄,而且还受到该消能池下游水深的影响,因此水流会在较短距离内迅速被壅高,并反过来作用于先前产生的类似于水跌的水流,使该水域的水流很快又趋于平缓。事实上,在开闸引排水现场观察不到该消能池的末端产生明显的水面跌落。笔者利用水跌理论²⁻³对谏壁节制闸长江侧 5.62 m 水位及运河侧 5.65 m 水位组合、实测流量为 543 m³/s 时的“水跌”进行定量分析,结果表明跌落水舌长度为 6.273 m,水舌后水深为 1.360 m,在消能池内形成的收缩水深为 0.979 m,跃后水深为 2.422 m(而此断面下游水深为 7.02 m),这些结果基本能验证上述定性分析结果,不过,在某些水位组合条件下,这种结构布置确实会引起闸前水面大的波动,这还有待进一步的观察、研究。另外,水闸水位观测点通常设在水位平顺、水面平稳处,用于水力研究分析的堰前水头一般是取(3~5)H 处的水位值^[4],局部水流异常并不会过多地影响整体的水流分析。

综上所述,可以近似认为闸前下挖式消能池的存在对水闸过流没有明显的不利影响,如果仍按照

有坎(斜坡式进口)宽顶堰理论计算水闸泄流量(详见表1)则太过于保守,笔者认为这种类型的水闸可以直接按无坎宽顶堰理论进行分析、计算。

2 宽顶堰闸孔出流与堰流的判别

2.1 堰流与闸孔出流的共同点

宽顶堰堰流与闸孔出流都是由于其上游存在一定的作用水头而产生,都能使上游水位壅高,泄流过程中都是将势能转化为动能,都能实现控制水位和流量的功能,都属于急变流,闸底板顶部水流都会产生离心惯性力,离心惯性力对水流的动水压强分布、流速分布及闸的过流能力均有一定的影响,流动过程中的水头损失主要都是局部水头损失^[1]。

2.2 堰流与闸孔出流的区别、联系

宽顶堰闸孔出流与堰流是两种不同的流态,二者在流速分布、压强分布以及过流能力等方面都有较大差异,因此在进行水力分析前首先要准确判别闸下出流的形态。

泄流时若自由水面受到闸门(或胸墙)的阻挡、控制,上、下游水面线被闸门(或胸墙)阻隔中断,闸前水位壅高,水流沿垂直平板闸门(或胸墙)向下运动,并从闸门(或胸墙)底缘与闸底板之间的闸孔流出,由于惯性作用,过闸水流流线不能急剧地改变方向而在闸门后(0.5~1)e(e为闸门开度)的地方发生垂直收缩,则呈闸孔出流状态。反之,若泄流时自由水面不受任何阻挡、控制,上、下游水面线是连续的,则呈堰流状态。

根据以上的分析,区分闸孔出流与堰流的关键

是看闸门(或胸墙)的底缘是否离开堰顶水面,通过比较h(堰顶水深)与e的大小关系确定。目前从理论(参见文献5]中的式(2-10)及说明)上精确求解h十分繁琐,求解结果也与实际出入较大,所以无法据此去判断。

实验观测证明,闸孔出流和堰流的转化条件可根据闸底坎形式和闸门相对开度(e/H)来判别:当e/H>0.65时为堰流,反之为孔流^[1]。不过,两者的分界实际上并不存在一个固定的e/H,而存在一个过渡区,与闸门运行的状况(开启还是关闭)、闸门(或胸墙)的形式、闸上游来水的涨落情况等有关。对有胸墙的,当孔口中心线以上的水头(H_中)与闸门开度的比值(H_中/e)大于1.5时,属于孔口出流;当H_中/e<1.2时,属于堰流;当1.2<H_中/e<1.5时,应通过试验确定;若为淹没出流,需用上、下游水位差(z)代替H_中进行判断^[2]。以上这些判别方法未全面考虑闸下水深对泄流流态的影响。有研究^[7]表明,当e/H≤0.65时,为孔流;当0.813>e/H>0.65时,若下游水深h_s>1.23e则为孔流,若h_s≤1.23e则为堰流;当e/H≥0.813时为堰流,无论下游水位如何变化,闸门对水流不再产生影响。谏壁节制闸长江侧6.38 m水位及运河侧5.53 m水位组合条件下,当e=4.8 m,e/H=0.71,h_s/e=1.235时,笔者分别利用文献6]中的公式计算得闸孔出流流量为464.627 m³/s、堰流流量为1 716.673 m³/s,结果相差很大,因此在进行水力分析时需注意。

虽然闸孔出流与堰流是两种不同的流态,但在

表1 几种常见的宽顶堰过闸流量公式计算成果

长江水位/m (吴淞基准)	运河水位/m (吴淞基准)	闸开度/m	状态	过闸流量/(m ³ ·s ⁻¹)		计算公式来源	闸状况
				取闸室断面计算 行近流速水头	取上游断面计算 行近流速水头		
6.38	5.53	1	孔流	151.904	151.847	文献5]式(2-27)	无底坎
6.38	5.53	1	孔流	140.206	140.161	文献5]式(2-27)	有底坎
6.38	5.53	1	孔流	169.51	169.426	文献6]式(A.0.3-1)	平底闸
6.38	5.53	1	孔流				实际观测流量为314 m ³ /s
5.62	5.65	6	堰流	2102.892	432.566	文献5]式(2-6)	平底闸,h _s /H ₀ >0.98,σ _s 根据大比例尺曲线延伸确定
5.62	5.65	6	堰流	378.721	375.467	文献5]式(2-8)	平底闸
5.62	5.65	6	堰流	505.938	299.090	文献5]式(2-10)	平底闸
5.62	5.65	6	堰流	475.574	281.408	文献5]式(2-10)	平底闸,取Z'=0
5.62	5.65	6	堰流	2082.017	429.866	文献5]式(2-6)	斜坡式进口,σ _s 根据大比例尺曲线延伸确定
5.62	5.65	6	堰流	390.560	386.991	文献5]式(2-8)	斜坡式进口
5.62	5.65	6	堰流	487.564	294.811	文献5]式(2-10)	斜坡式进口
5.62	5.65	6	堰流	460.113	278.361	文献5]式(2-10)	斜坡式进口,取Z'=0
5.62	5.65	6	堰流	1970.356	633.989	文献6]式(A.0.1-1)	平底闸
5.62	5.65	6	堰流	883.109	345.594	文献6]式(A.0.2-1)	平底闸
5.62	5.65	6	堰流				实际观测流量为543 m ³ /s

注 ①观测流量值由江苏省水文水资源勘测局镇江分局谏壁水文站(位于谏壁节制闸上、下游150 m处)观测提供。②闸孔总净宽57 m,与闸南引河相连的苏南大运河仅为四级航道,过水断面相对小很多,致使该闸泄流不畅,否则观测流量会更大些。

同一水闸的整个运用过程中这两种流态均有可能出现 ,在一定条件下两者之间是可以相互转化的。因此 ,有时严格区别孔流与堰流是十分困难的^[1]。

3 宽顶堰淹没流与自由流的判别

根据水跃位置的不同 ,闸孔出流可分为自由出流和淹没出流。当闸下水深(h_s)大于闸后收缩断面水深(h_c)的共轭水深(h_c'')时 ,下游水深所具有的势能将把水跃推向闸孔 ,水跃旋滚将盖住收缩断面 ,闸下发生淹没水跃^[4] ,此时水跃前端接触闸门 ,下游水位影响闸孔泄流能力 ,闸孔出流为淹没出流。若 $h_c'' \geq h_s$,水跃则会发生在收缩断面处或收缩断面的下游 ,即在闸后发生临界水跃或远驱式水跃 ,下游水位不再影响闸孔出流 ,称为闸孔自由出流。文献[7]通过统计分析试验数据得出闸孔出流的自由出流与淹没出流的界限为 $h_s/H_0 = 0.4 \sim 0.75$,并且提出该界限与闸门相对开度及闸门形式有关 ,开度越大 ,越接近于堰流的自由与淹没泄流的分界 $h_s/H_0 = 0.7$ 。文献[4]还介绍当 $\frac{h_s}{h_c} \left(\frac{h_s}{h_c} + 1 \right) \leq 4\varphi^2 \left(\frac{H_0}{h_c} - 1 \right)$ 时为淹没出流 ,反之则为自由出流。这种判别方法避开了试算 h_c'' 的繁琐。

对宽顶堰堰流而言 ,若进口平顺 ,当 $h_s/H_0 \geq 0.75$ 时处于淹没状态 ,反之处于自由状态 ;若进口不平顺 ,当 $h_s/H_0 \geq 0.85$ 时处于淹没状态 ,反之处于自由状态^[4]。

4 宽顶堰过闸流量分析、计算

根据以上分析 ,现区别几种常见的宽顶堰理论计算公式和有无底坎的情况对某一水位组合条件下通过闸壁节制闸的流量进行计算 ,成果见表 1。

- 通过对比、分析可知：
- a. 表 1 中列举的几个闸孔出流公式计算的流量值都过分偏小。
 - b. 同等条件下 ,用以堰上水头为主要因素与以

流速水头为主要因素的公式计算的流量值相差较大 ,而且同样是以堰上水头(或流速水头)为主要因素的公式间计算流量值也相差较多。这主要是由于各公式流量系数、侧收缩系数、淹没堰流淹没系数的计算方法或取值上的差异 ,以及各公式综合考虑的因素不同引起的。

- c. 若忽略逆向恢复落差 ,则计算的淹没宽顶堰堰流量明显偏低。
- d. 若将双向过流平底闸视为有坎宽顶堰 ,则过闸流量理论计算值偏小很多。
- e. 对比分析及相关试验表明 ,文献[6]公式(A.0.1-1)计算的流量值比较接近实际 ,既有一定的安全富余 ,又相对经济合理。但在对除险加固工程进行安全通过流量核算时 ,建议选取计算值相对较小的公式(如文献[6]公式(A.0.2-1))。
- f. 行近流速水头一般不能忽略不计 ,如表 1 中上、下游水位差仅仅 3 cm(长江侧水位 5.62 m ,运河侧水位 5.65 m) ,但过闸流量并不小(是该闸建闸以来实际出现的最大流量值)。
- g. 在计算行近流速水头时 ,应选取闸上游断面处的流速(v_0) ,切忌简单地选取闸室断面处的流速进行计算 ,否则 ,有时甚至会得出错误的结果。
- h. 在进行水力计算分析时 ,应根据工程实际情况 ,如闸型结构、消能工布置、闸门形式等^[8] ,并注意各公式的主要适用条件(见表 2) ,合理选取计算公式及相关参数 ,必要时还应进行水工模型试验论证。

5 结 语

对双向过流平底水闸进行水力研究分析的主要目的在于合理确定闸孔设计总净宽。计算时可视其为无坎宽顶堰 ,一般应控制在低水位、大流量的情况 ,尽可能地考虑满足过闸水流为堰流的条件 ,并注意合理选取计算公式及其主要参数 ,以尽量缩减闸孔总净宽 ,杜绝“大肚子”闸工程 ,达到节省工程投资的目的。

表 2 各堰流流量计算公式的主要适用条件及特点^[5,6]

序号	公式来源	主要适用条件	特 点
1	文献 5 式(2-6)	$0.8 \leq \frac{h_s}{H_0} \leq 0.98$	以堰上水头为主要因素 ,精度一般。当 $h_s/H_0 > 0.98$ 时 ,需绘制大比例尺曲线并加以延伸 ,或根据个别试验成果确定淹没系数
2	文献 5 式(2-8)	任意淹没度 ,淹没准则为 $\frac{z}{z_k} \leq 1$	适用于各种淹没度堰流 ,精度较高 ,但计算结果偏小
3	文献 5 式(2-10)	淹没式宽顶堰 ,上、下游水位差 0.1~0.3 m	考虑了堰流逆向落差 ,试算求解复杂繁琐 ,计算结果偏小
4	文献 6 式(A.0.1-1)	平底宽顶堰 ,与之配套的式(A.0.1-2) 仅适用于圆头形闸墩和圆弧形翼墙	淹没系数已根据最新的研究试验成果进行了修正 ,并提供了计算公式 ,计算简便 ,计算结果相对合理
5	文献 6 式(A.0.2-1)	平底宽顶堰 , $\frac{h_s}{H_0} \geq 0.90$	较文献 5 式(2-10)计算更方便 ,计算结果偏小

表 1 中心商场桩基静荷试验结果汇总										
试验 序号	工程桩 编号	成桩 日期	桩径/ mm	桩长/ m	单桩承载力 设计值/kN	试验 荷载/kN	桩顶总沉降 量/mm	残余沉降 量/mm	桩顶回弹 量/mm	单桩竖向极限承 载力实测值/kN
1	91	2005-01-02	500	11.6	1 100	2 200	13.17	6.16	7.01	2 200
2	149	2005-01-03	500	11.4	1 100	2 200	8.01	1.63	6.38	2 200
3	287	2005-01-08	500	11.6	1 100	2 200	7.78	1.45	6.33	2 200
4	322	2005-01-03	500	10.6	1 100	2 200	12.26	5.73	6.53	2 200
5	466	2005-01-04	500	8.6	1 100	2 200	12.24	5.02	7.22	2 200

控制的程度。具体监理措施为 :①桩基施工前要熟悉设计图纸及施工规范 ,针对工程具体地质特点编制监理实施细则和监理旁站方案。②认真审核施工单位报送的施工组织设计、施工方案和技术措施。③在桩基动工打桩前认真校核施工单位放的桩位线 ,防止轴线走位。施工过程中要检查、监督锤击沉管扩灌注桩的线孔终止是否达到标准 ,现场混凝土搅拌的材料投料量、水灰比、搅拌时间及坍落度是否符合混凝土配合比及施工规范要求 ,桩端扩大头的夯桩、钢筋笼制作及安装、桩身混凝土灌注、拔管速度和贯入度是否符合施工技术规范要求 ,认真做好现场施工记录 ,对现场出现的质量问题要及时处理。对小应变反映出来的断桩、缩颈等质量问题 ,及时组织施工单位对问题桩进行挖掘并要求施工单位编写质量问题处理方案 ,报监理、业主并经设计单位书面同意该方案后及时按方案要求对问题桩进行处理。施工单位在处理问题桩时 ,监理人员要在现场旁站监督并做好隐蔽工程记录。

8 监理效果

荣宝华商城目前已完成 A ,B 2 个开发区 ,中心商场、人防地下室及大酒店工程施工总共完成夯扩桩 8 000 多根 ,由广西建业勘察工程有限责任公司按桩数的 1 % 进行静载荷试验 ,基桩试验结果表明单桩竖向承载力均大于竖向承载力设计值 1.65 倍 ,满足设计要求并且总沉降量均不大于 15 mm ;基桩低应变动力检测 100 % ,实测桩身混凝土平均波速介于 3 223 ~ 3 931 m/s 之间 ,桩身结构完整 ,皆为合格桩。中心商场桩基静荷试验结果见表 1 ,单桩竖向抗压试验结果见表 2。

9 经济分析

振动沉管夯扩桩与预制管桩相比 ,在南宁地区现有市场价和相同的承载条件下 ,夯扩桩折算后每米要比预制管桩节省费用 15 % ~ 20 % ,在无管桩厂的城市 ,夯扩桩比管桩节省造价 20 % ~ 30 % ;在 12 ~ 18 层高的建筑物中 ,振动沉管夯扩桩与人工桩相比 ,采用夯扩桩可节省 30 % ~ 50 % 的工程造价。

表 2 1 号试桩(91 号工程桩)单桩竖向抗压试验结果

序 号	荷载/ kN	各级加荷载作用下桩顶沉降值				各级卸载后桩顶回弹值			
		历时 /min		沉降量 /mm		历时 /min		回弹量 /mm	
		本级	累计	本级	累计	本级	累计	本级	累计
1	0					180	420	2.92	7.01
2	440	120	120	1.76	1.76	60	240	2.17	4.09
3	660	120	240	1.33	3.09				
4	880	120	360	1.13	4.22	60	180	1.39	1.92
5	1 100	120	480	1.42	5.64				
6	1 320	120	600	1.31	6.95	60	120	0.53	0.53
7	1 540	120	720	1.45	8.40				
8	1 760	120	840	1.51	9.91	60	60	0	0
9	1 980	120	960	1.57	11.48				
10	2 200	120	1 080	1.69	13.17				

参考文献 :

[1] JGJ 94—94 ,建筑桩基技术规范[S].
[2] SJG 03—96 ,深圳地区夯扩桩技术规范[S].
[3] GB 50202—2002 ,建筑地基基础工程施工质量验收规程[S].
[4] 18—97WBJ8 ,武汉市夯扩桩设计施工技术规范[S].
(收稿日期 2007-04-30 编辑 :高建群)

(上接第 144 页)

参考文献 :

[1] 郑文康 ,刘翰湘 .水力学[M].北京 :水利电力出版社 ,1991 254-256 274 .
[2] 华东水利学院 .水工设计手册 ,第 1 卷 基础理论[M].北京 :水利电力出版社 ,1983 461-462 .
[3] 李炜 .水力计算手册[M].2 版 .北京 :中国水利水电出版社 2006 237 .
[4] 李炜 ,徐孝平 .水力学[M].武汉 :武汉水利电力大学出版社 2000 277-304 .
[5] 张世儒 ,夏维城 .水闸[M].2 版 .北京 :水利电力出版社 ,1993 56-76 .
[6] SL 265—2001 水闸设计规范[S].
[7] 张敬楼 .关于堰流和闸孔出流界限的讨论[J].江苏水利科技 ,1987(4) .
[8] 毛昶熙 .堰闸隧洞的泄流能力计算公式商榷[J].水利学报 ,1999(10) 38-44 .
(收稿日期 2006-09-13 编辑 :高建群)