

山区河流堤防工程导流设计

顾威

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 山区河流的堤防建设对两岸人民的生命和财产安全具有重要作用。堤防工程设计施工过程中, 对施工期导流的分析涉及的工程安全性、经济性等方面, 是施工过程中的关键环节。拟结合 MIKE11 对施工期导流进行比选设计, 以供类似项目借鉴。

关键词: MIKE11; 山区河流; 导流设计

中图分类号: TV8

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)06-0131-04

0 引言

山区河流的堤防建设对两岸人民的生命和财产安全具有重要作用。堤防工程设计施工过程中, 对施工期导流的分析涉及的工程安全性、经济性等方面, 是施工过程中的关键环节。山区河流的水流属于非恒定渐变流, 满足圣维南方程组, 但常规的河道水面线计算一般采用对应流量的恒定的非均匀流方程, 即伯努利方程的分段试算法。该方法根据恒定流量和上下游断面水位, 按照能量守恒原理计算水面线, 但由于天然河道的洪水多为非恒定流过程, 且河道断面沿程变化, 能量系数修正较烦琐, 因此该方法具有一定的局限性^[1]。本文结合 MIKE11 对施工期导流进行比选设计, 根据流量过程、上下游水位变化过程, 按照质量守恒和动量守恒原理进行水力计算, 适用于复杂河道、不同洪水流态下的水力计算, 模型适应性强、应用范围广。

1 项目概况

某山区河流堤防工程的建设任务以防洪护岸为主, 兼有水土保持和美化环境等。新建堤防段总长 2 000 m, 位于河道左岸。工程河堤结构型式为: 格宾石笼镇脚 + 碾压回填体(上覆三维水土保持毯) + 人行步道。根据现状边坡高度分为一级护坡或二级护坡。

工程所在区域防洪标准为 50 a 一遇, 堤防级别为 2 级, 主要护岸建筑物工程按 2 级建筑物设计, 临

时建筑物为 4 级。工程河段枯水期导流标准采用 10 a 一遇洪水重现期, 汛期度汛标准采用 10 a 一遇洪水重现期。

2 MIKE11 计算原理^[2]

2.1 控制方程组

MIKE11 主要适用于河口、河流、灌溉渠道, 以及其他水体的模拟一维水动力、水质和泥沙运输。MIKE11 是基于垂向积分的物质和动量守恒方程, 即一维非恒定流圣维南方程组来模拟河流或河口的水流状态。软件计算为非恒定流计算, 计算时同时输入整个过程、水面线成果提取最高水位, 即对应的最大流量水面线为计算成果。

无旁侧入流方程组的具体形式如下:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ}{C^2 AR} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

式中: x 、 t 分别为空间坐标和时间坐标; Q 、 h 分别为断面流量和水位; A 、 R 分别为断面过流面积和水力半径; B 为河宽; C 为谢才系数; g 为重力加速度; α 为垂向流速分布系数。

式(1)为连续性方程, 反映了河道中的水量平衡。式(2)为运动方程, 其中第一项反映某固定点的局部加速度, 第二项反映由于流速的空间不均匀引起的对流加速度, 前两场合称为惯性项; 第三项反映了水深的影响, 为压力项; 第四项反映了摩阻和底坡的影响。

2.2 方程的基本假定

圣维南方程组的基本假定为: 流速沿整个过水断面均匀分布, 可用平均值代替。不考虑水流垂直方向

收稿日期: 2021-08-27

作者简介: 顾威(1988—), 男, 硕士, 工程师, 从事水运工程、水利工程设计研究工作。

的交换和垂直加速度,从而可假设水压力为静水压力分布,即与水深成正比,河床比降小,其倾角的正切与正弦值近似相等。水流为渐变流动,每一小段水面曲线近似水平。

2.3 模型概化及相关参数

河流上对水位具有控制下作用的为桥、堰等涉河构筑物,模型采用工程区段下游的拦河堰作为控制断面,确定水位流量关系。在流量、控制断面水位后,根据率定河道糙率 0.038,即可采用 MIKE11 一维水流数学模型推算的施工期洪水水面线成果。

3 导流时段比选

导流时段的选取主要从以下两方面考虑:

(1)根据工程所在河流的水文特性分析,洪枯流量变化较大。

(2)根据防洪要求,尽量将防洪堤安排在一个枯水期内完成,满足汛期度汛需要。

根据国内同类型堤防的施工经验,选择导流时段为枯水期,根据设计各河流段的工量和施工条件,枯水期时段选择如下:

工程区洪水有明显的季节变化规律,每年3月下旬开始,随着降雨量增加,流量也逐渐加大。3月为汛前过渡期,4—9月为汛期,主要洪水集中在5—9月,年最大流量基本上发生在本期内。10月、11月属汛后过渡期,随着降雨量减少,洪水也小。12月至翌年2月,径流主要由地下水补给,为稳定退水期。根据本流域降雨、洪水特性和施工设计安排,将全年划分为主汛期5—9月,非汛期2月、3月、4月、10月、11月、12月至翌年1月、11月至翌年3月等8个分期。由于工期1个月的施工时段短,需要的施工机械设备、投入的物资强度较大,对工程工期没有可调节的余地,不考虑1个月施工时段。工期6个月及以上的施工时段太长,导流围堰等临时工程量变大,投入的人力、物力加大,故不考虑。

根据工程需要,初选12月至翌年1月、12月至翌年2月、11月至翌年3月3个分期时段进行比选,相应分期洪水成果见表1。

项目主要工程措施为堤防护岸。该段河道堤防采用纵向围堰挡水,束窄的河床泄流的导流方式,工程右岸河道导流、左岸施工。

拟对12月至翌年1月(2个月,方案1)、12月至翌年2月(3个月,方案2)、12月至翌年3月(4个月,方案3)3个时段从水文、工程造价和施工安全等

表1 工程各断面分期洪水计算成果

分期	各频率设计值 $X_p/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$			
	$P=5.0\%$	$P=10\%$	$P=20\%$	$P=50\%$
11月至翌年3月	73	56	33	19
11月至翌年4月	140	105.2	70	45.6
12月至翌年1月	16.1	13.2	9.82	5.36
12月至翌年2月	16.4	13.5	9.96	5.63
10月至翌年3月	103.4	79.6	58.2	38.4
10月至翌年4月	148.3	116.9	85.6	63.9

方面进行比选。

工程河段下游的宽顶堰对上游水位起到良好的控制作用,因此将该断面选为工程河段设计洪水水面线计算的控制断面。

控制断面水位流量关系曲线(见图1)同样用宽顶堰堰流公式推算,溢流净宽 36.5 m,堰顶高程 338.65 m,流量系数为 0.34,侧收缩系数为 0.97。

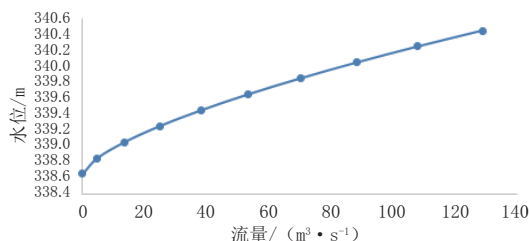


图1 工程河段控制断面水位流量关系曲线(保留拦河堰方案)

宽顶堰堰流公式如下:

$$Q = \delta_s m \varepsilon b \sqrt{2gH_0}^{3/2} \quad (3)$$

利用 MIKE11 进行水文计算,天然河道水面线直接采用 ArcGIS 将横断面提取出来,然后导入 MIKE11 进行计算。由水文调查结果比对计算结果,同时率定糙率。率定结果为 10 a 一遇洪水位水面线计算采用糙率为 0.038。水面线计算成果见图2。导流时段比选见表2。

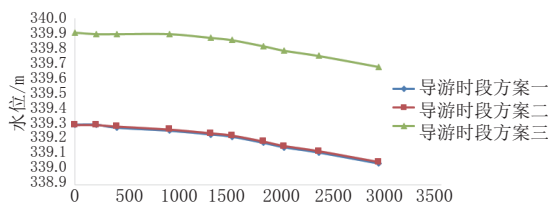


图2 导流时段比选水面线计算结果

方案三比方案二的施工工期增加1个月,但方案三的导流流量比方案二增加较多,水位增加 0.63 m。围堰建筑物造价多约 39.99 万元,导流工程投资增加十分明显,且工程无必要花 4 个月时间导流。

方案一与方案二的流量相差不大,方案一水位比方案二降低 0.01 m,围堰建筑物造价减少约 2.26 万元。但方案一堤防施工工期减少了 1 个月,由于工程

表2 导流时段比选(以保留拦河堰方案为例)

方案	一	二	三
标准($P=10\%$)	12月至翌年 1月	12月至翌年 2月	11月至翌年 3月
流量/ $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	13.2	13.5	56
导流方式	束窄河床导流		
导流月数/月	2	3	4
导流设施	纵向围堰		
导流工程投资/万元	176.37	178.63	218.62
投资差/万元	2.26	39.99	

堤线较长,较短时间无法完成基础施工,若增加机械设备赶工,投资明增加,不经济也不合理。

综合比较各方案导流方式优缺点和导流工程投资后,导流时段选择方案二,即枯水时段12月至翌年2月,相应10a一遇导流流量为: $P_{10\%}=13.50\text{ m}^3/\text{s}$ 。

4 导流方式比选

水利工程导流方式主要有分段围堰法、全段围堰法。分段围堰法为利用围堰将水工建筑物分段分期维护进行施工的方法。所谓分段,就是在空间上将永久建筑物分为若干段进行施工。所谓分期,就是在时间上将导流分为若干个时期,比如河道左右岸分别采用纵向围堰分期实施。分段围堰法一般适用于河床较宽、流量大的工程。全段围堰法为工程上下游各建一道围堰,使水流畅河床以外的临时或就用泄水通道,如隧洞、涵管、临时明渠等下泄。主体工程建成后,再将临时泄水通道封堵。

工程区域河宽30~50m,主要工程措施为堤防护岸,并且主要为河道左岸。经综上考虑,该段河道堤防采用分段围堰法,纵向围堰挡水,束窄的河床泄流,右岸导流,左岸施工的导流方式。

工程施工期水位主要受工程区下游约903m处的一座小型电站拦河堰的影响。此拦河堰结构为浆砌石结构。堰顶高程为338.65m,堰底高程为335.85m,堰高2.8m。堰体迎水面和背水面均直立,堰宽2.5m。工程施工期可拆除部分拦河堰,降低控制断面的水深,从而减少施工围堰的工程造价,但拆除拦河堰会对电站造成发电效益损失,需给予相应的经济补偿。拟对拦河堰拆除与否及拆除的宽度分别进行比选后确定合理的导流方式。

4.1 拦河堰拆除宽度比选

工程拟拆除拦河堰高度为2.8m,以下就拆除堰体中心段宽3.0m和宽5.0m进行比选。水位位于堰顶高程之上时,控制断面水位流量关系曲线用无底

坎宽顶堰堰流公式[式(3)]推算,宽顶堰净宽36.5m,溢流宽度分别为3m和5m,堰顶高程为335.85m,流量系数分别为0.322和0.323。该控制断面水位流量关系曲线见图3。

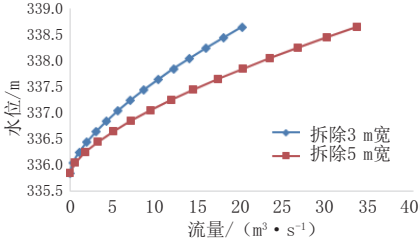


图3 工程河段控制断面水位流量关系成果图(拆除拦河堰方案)

利用MIKE11进行水文计算,水面线计算成果见图4。

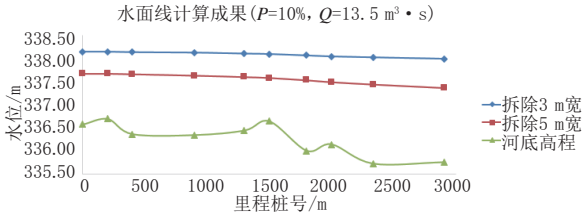


图4 拦河堰拆除宽度比选水面线计算结果

经水文计算,施工导流拆除堰体中心段3.0m宽施工期10a一遇水位338.00~338.15m;拆除堰体中心段5.0m宽,施工期10a一遇水位337.38~337.68m,施工期水位能大幅度降低,能减少临时围堰量和保证施工期安全。施工导流选择拆除拦水堰堰体中心段5.0m宽,拆除高度为2.8m。

4.2 导流方式比选

该电站总装机900kW,年发电量304万kW·h,枯水期发电75万kW·h,施工期电站效益为23.4万元。利用MIKE11进行水文计算,水面线计算成果见图5。根据水面线计算成果确定围堰高度,从经济合理性方面对是否拆除拦河堰进行比选(见表3)。

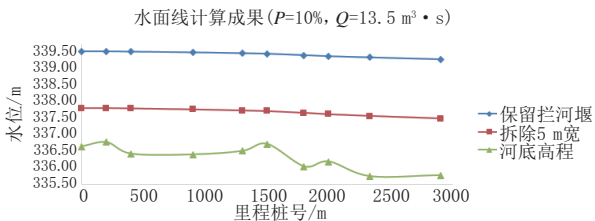


图5 拦河堰是否拆除比选水面线计算结果

表3 导流方式比选

方案	围堰高度/m	导流费用/万元	发电损失/万元	合计费用/万元
保留拦河坝	3.7	178.63	—	178.63
拆除拦河堰	2.1	103.60	23.40	127.0

经比选,拆除拦河堰施工方案导流费用较少,并且有利于施工期安全,作为推荐方案。施工时对电站

进行补偿,先拆除下游电站拦河坝中部 5 m 宽,拆除高度为 2.8 m,降低施工期水位。石笼镇脚施工完成以后,恢复拦河堰。

5 导流工程设计

工程区域左岸堤防采用分段施工,每段长 80~100 m,通过初期排水和后续经常性排水,确保堤防工程干地施工。

工程在一个枯水期内完成,根据以上比选的导流方式和时段,导流全过程分为两个阶段。各阶段分述如下:

第一阶段:第一年 12 月初拆除下游拦河堰中部 5 m 宽的范围,放水后至第二年 2 月,在河道左岸布置纵向围堰挡水,束窄河床泄流导流方式,河道右侧泄流,左岸基坑施工。首先于河道堤脚线外侧 5 m 处填筑临时围堰,迎水面均采用黏土编织袋防渗。利用右侧河道导流,进行左岸基础开挖和镇脚浇筑,同时进行部分堤体回填。各段 3 月上旬开始拆除导流围堰,并恢复拦河堰,导流程序结束。

第二阶段:第二年 3 月初至 3 月底。继续进行堤体回填和堤防护岸施工。由于在第二年 3 月前,各个区段的堤脚已施工完成,满足堤防设计的正常工况运行。该时段由河床泄流。

工程在汛期到来之前就已完成堤防基础开挖,镇脚施工均在枯期内完成,不需要采取度汛措施。

干流采用河道左侧修建纵向围堰,右侧导流,左岸堤防施工,进行左岸基础开挖和镇脚浇筑,同时进行部分堤体回填。堤体部分填筑完毕后,进行围堰拆除,导流结束。施工期水面线和围堰高度见表 4。

枯期施工导流采用土石围堰挡水,围堰结构见图 6,围堰顶宽 1.0 m,迎水面坡比为 1:1.5,面层采用复合土工膜防渗,并使用至少 300 mm 厚黏土编织袋,背水面边坡 1:1.0,最大堰高 2.03 m,围堰堰体采用开挖黏土料填筑。

表 4 施工期水位和围堰高程

单位:m

位置	0	200	400	900
水位	337.68	337.68	337.67	337.64
围堰高程	1.60	1.48	1.80	1.79
位置	1300	1500	1800	2000
水位	337.61	337.59	337.54	337.5
围堰高程	1.66	1.44	2.03	1.85

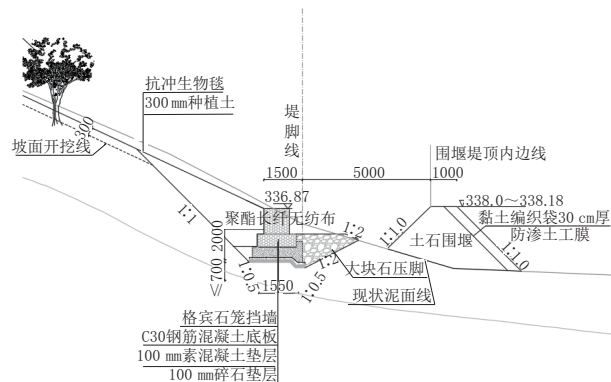


图 6 围堰断面示意图(单位:mm)

6 结 语

(1)河道施工期水面线计算的结果正确与否影响整个河道导流工程的布置、工程量和投资,是导流设计的重要环节。山区河道属于非恒定流,伯努利方程并不完全适用,MIKE11 根据流量过程、上下游水位变化过程,按照质量守恒和动量守恒原理进行水力计算,适用于天然河道导流工程的设计计算,模型适应性强、应用范围广。

(2)导流工程设计过程中需结合河道的实际情况,选择合适的控制断面,对导流的时段和方式进行充分比选后,选择经济合理、安全可靠的导流方案。

参考文献:

- [1] 张涛,单既连,张永平,等.基于 MIKE11 的平原河道水面线分析计算[J].水利规划与设计,2017(9):32-34,71.
- [2] 谭毅源,韩宗德,李玉梁.基于 MIKE11 软件的复杂生态河道水面线计算[J].水利建设与管理,2015,35(3):30-32.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com