

堵口技术新发展

——九江堵口工程中的创新技术

杨光煦

(长江水利委员会长江勘测规划设计研究院 武汉 430010)

摘要 介绍 1998 年洪水期间九江长江干堤出现溃口后采用的堵口方法和技术。堵口工程分截流、堵口、闭气三个阶段,经沉船初堵后,在沉船外侧下沉钢管拦截抛石,形成截流戗堤,隔断长江与溃口的直接水力联系,然后搭填钢木构架石袋组合堤和码砌石袋后戗台,最后水下抛土铺盖闭气。堵口工程中采用了钢栅抛石改流和钢木土石结构组合堤堵口等新技术,使堵口获得圆满成功。

关键词 堵口;溃口;截流;闭气;钢木土石结构;长江

平堤、截流戗堤

1998 年 8 月 7 日 13 时 10 分,九江市 4~5 号闸孔间的城防长江干堤出现重大险情,经在场的防汛人员和解放军战士全力抢护无效。不久,堤顶中间突然塌陷成洞,5 m 宽的堤顶顷刻全部塌陷。溃口很快发展到 36.9 m 宽,进水量超过 400 m³/s,第二天发展到 61.1 m 宽。

在党中央、国务院直接领导和江西省省委、省政府直接指挥下,很快制定了科学的堵口方案。针对溃口处水头差集中,水势凶猛的特点,按截流、堵口、闭气三个阶段;分沉船、抛填截流戗堤、搭填钢木构架石袋组合堤、码砌石袋后戗台、水下抛土铺盖五个步骤实施堵口工程。

当天下午在溃口处靠江侧沉船 10 艘(其中 2 艘经溃口冲入堤内),然后沿沉船外侧下插拦石钢管栅、抛钢筋笼及块石护底,采用平堵方式大量抛投块石直至出水面,于 8 月 9 日形成截流戗堤(图 1)。8 月 11 日 19 时基本完成沿溃口架设的钢木构架石袋组合堤。8 月 12 日 18 时 30 分完成石袋后戗台临时断面,堵口成功。8 月 13 日完成加宽、加固后戗台。8 月 14 日开始在截流戗堤与组合堤中间水下抛土闭气。8 月 15 日晨闭气成功,基本不漏水。

参与堵口抢险的解放军、武警官兵共达 2.4 万人,在堵口现场同时施工人数达 5000 余人,共填筑土石 9.71 万 m³,耗化纤袋 176.4 万条、钢材 80 t。

这次堵口是在我国最大河流长江上,又是在超过历史最高洪水位的全流域大洪水期间取得成功的,做到了安全抢险,无一人死亡,仅用两天时间完成截流,

三天时间完成堵口,两天时间完成后戗台,两天时间完成闭气。正如江泽民总书记指出的:“广大军民临危不惧,全力堵口,终于取得了成功,创造了奇迹。”

在这次堵口中,科学决策、科学指挥、制定的科学堵口方案和采用的多项创新技术,对快速、安全堵口起了极其重要的作用。

1 沉船初堵

沉船可以快速减小溃口处的过流量及流速,从而减缓溃口被冲刷加宽、加深的速度,沉底的船舶又是堵口抢险施工平台、现场指挥部和拦石钢管栅的上部支撑体。

首艘沉船长度宜大于溃口宽度,尽可能选用平底驳,以增大沉船接底长度,减少通过船底的过流量。第一艘船沉后,仍存在的较大过流缺口,可以继续下沉较小船只封堵。因沉船越多,沿其外围形成截流戗堤的轴线越长,工程量越大。因此,沉船只要求堵住较大过流缺口即可。

九江堵口中,最大沉船长达 75 m,且满载 1650 t 煤,其他均为载重 70~150 t 船舶。

2 钢管栅拦石形成截流戗堤

溃口经沉船初堵后,流量和流速仍较大,参照笔者在乌江渡围堰工程中首创的钢栅抛石改流技术,沿沉船外侧下沉钢管栅拦截抛石,形成截流戗堤(见图 2)。

钢管栅由高 6~8 m、宽 1.5 m 左右的钢管排架组成,其重量适中,可以人力在现场拼装、下沉;整体

作者简介:杨光煦,男,教授级高级工程师、长江水利委员会长江勘测规划设计研究院副院长,从事导流、截流及地基处理设计与研究,曾担任九江“807”抢险指挥部技术组组长。

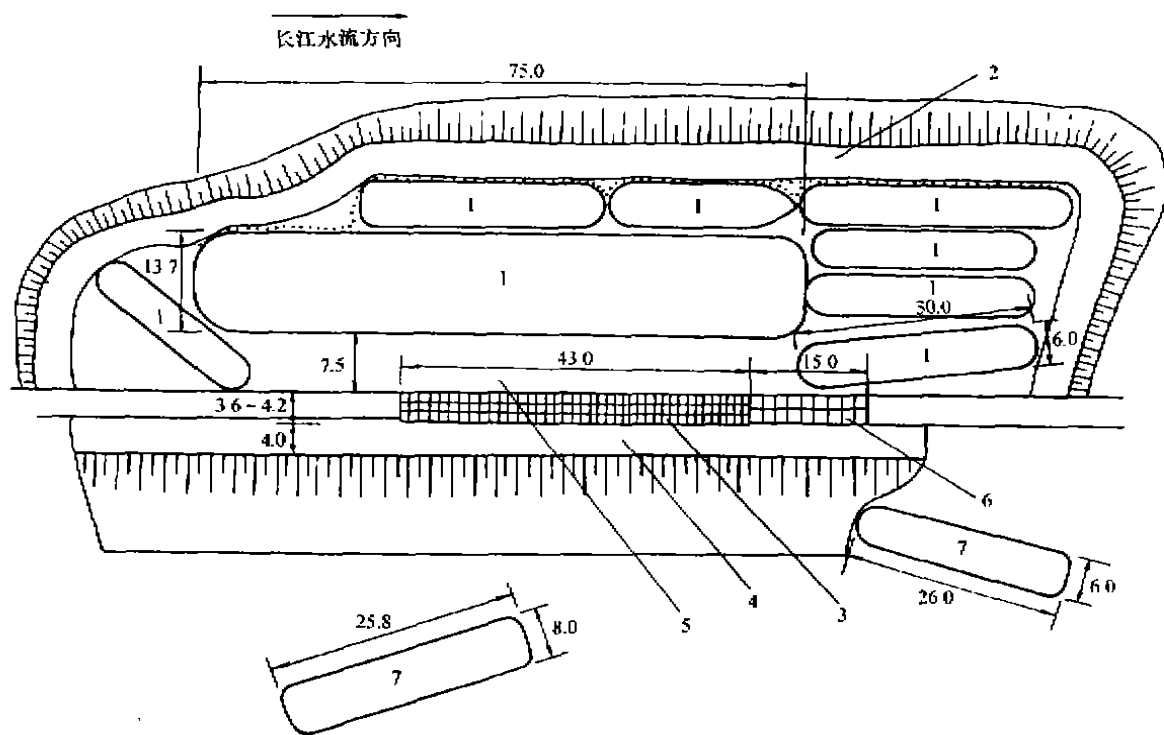


图1 堵口工程平面布置(单位:m,均为实测值)

1.沉船;2.截流戗堤;3.堵口组合堤;4.后戗台;5.水下抛土铺盖;6.残堤保护段;7.冲进溃口船舶

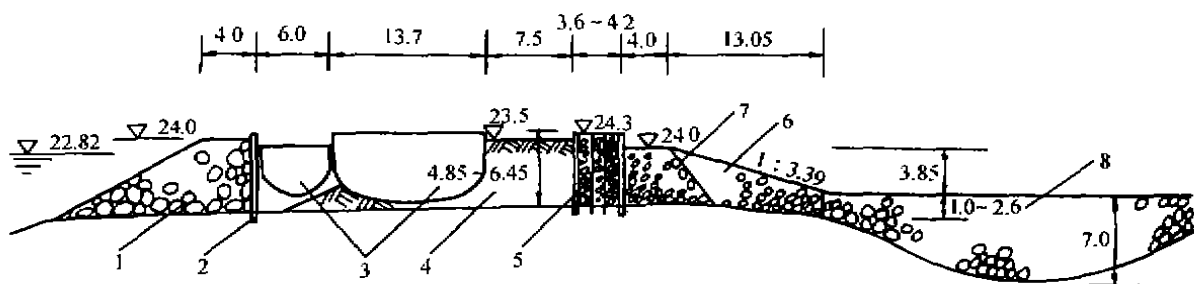


图2 堵口工程结构(单位:m,均为实测值)

1.截流戗堤(实测长度186m);2.拦石钢管桩;3.沉船;4.水下抛土铺盖;5.钢木构架组合堤(实测全长43m,包括堤头保护为58m);6.石袋后戗台;7.临时断面线;8.冲刷坑及填塘固基

性好,入水后的水流阻力小,又为平面二维结构,不易被运料船舶撞坏。

钢管排架采用直径为50mm的建筑脚手架钢管(万能杆件)拼装,竖向高度为6~8m,每5根为一片(每根间距0.3m)。水平方向配2根钢管,采用钢制活扣在现场连成一片钢管排架。人力将其沿沉船外侧用力下插入河床内,上端倚靠在沉船外舷上。相邻两片钢管排架间距控制不大于0.3m,形成完整拦石钢管栅,有效地防止人工抛填块石流失。形成的截流戗堤隔断了长江与溃口的直接水力联系,其联系仅为通过堆石堤的渗水,从而控制溃口处流速在2m/s以下,确保堵口工程安全、顺利进行。

3 钢管构架抛石裹头

溃口上下游残堤的土质堤头受到水流强烈冲刷,溃口宽度在第二天便由36.9m发展到61.1m,人

力所能抛投的块石重量在100kg以内,将其直接抛护堤头,会被水流冲走。为此,先行施工钢管构架。在两侧残堤堤头,并向水中进占2m左右,插打钢管70余根,并用水平联系杆件固接成拦石钢管构架,内抛块石及石袋,稳住了口门。

4 钢木构架石袋组合堤

采用北京军区某集团军的钢木土石结构组合堤堵口新技术。先在溃口处搭设由钢管及木桩组成的空间三维构架,内抛填石袋,形成组合堵口堤。这种堵口方式,可人力在水面以上施工,能适应溃口处的水深变化,组装后整体稳定性好;未抛填料前,阻水面小,有利于减少施工水流阻力。抛填时,钢木构架起拦石作用,抛入填料又进一步稳定和加固钢木构架,从而可以承担一定水压力。迎水及背水侧均为直立坡,为水下抛土铺盖提供了较大空(下转第43页)

计保证率为 65%, 在设计中采用了常规方法确定: $Q_{\text{设}} = 30.3 \text{ m}^3/\text{s}$, $N_{\text{保}} = 2442 \text{ kW}$. 电站 10 年的实际运行证明, 该电站装机容量偏小、常发生弃水. 经测算, 10 年损失电能约 8400 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$.

现以本文提出的方法进行计算.

搜集有关资料见表 2~4.

表 2 下游水位-流量关系

$Q/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	水位/m	$Q/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	水位/m
30	503.59	70	506.83
40	504.51	80	507.41
50	505.20	90	508.04
60	506.03	100	508.55

表 3 上游年调节电站保证出力过程

月份	出力/ 万 kW	月份	出力/ 万 kW	月份	出力/ 万 kW
1	1.73	5	2.00	9	1.40
2	1.88	6	2.00	10	1.53
3	2.00	7	2.00	11	1.61
4	1.84	8	2.00	12	1.77

表 4 各月按保证出力所应具有的代表性水头

月份	水头/m	月份	水头/m	月份	水头/m
1	547.7	5	541.1	9	553.4
2	545.0	6	545.4	10	552.5
3	541.8	7	550.0	11	551.1
4	537.8	8	553.6	12	549.2

已知上游水头、下游水头流量关系, 发电出力 N , 以及上游电站的发电效率 $K = 0.85$, 根据式(1)

(上接第 13 页)

间和长度. 由于均系人力搭设, 适于溃口处流速不大于 2 m/s 、水深不大于 8 m 的情况.

施工时, 采用长 $6 \sim 8 \text{ m}$ 、直径 50 mm 的脚手架钢管及木桩, 从两侧残堤堤头, 向溃口中间逐步打桩固定(木桩打入河底内不小于 1.5 m 、钢管不小于 1.0 m)、形成内外 4 排钢管、3 排木桩、沿堤轴线间距 1 m 的空间钢管、木桩组合构架, 并用纵、横方向布置的钢管水平连系杆、背水侧斜撑及迎水侧拉杆增强其整体性和稳定性. 沿构架迎水、背水侧竖插钢管加密至间距不大于 0.3 m , 以有效地拦截抛投填料. 采用立堵方式抛投石袋, 出水后人工码砌, 直到设计高程, 形成顶宽 $3.6 \sim 4.2 \text{ m}$, 高 $4.85 \sim 6.45 \text{ m}$ 的堵口组合堤.

5 石袋后戗台

后戗台布置在钢木构架组合堤背水侧(见图 2), 用于增加组合堤闭气后承担全部水头的结构稳定性和渗透稳定性. 设计顶宽 4.0 m , 边坡按满足接触径径要求定为 $1:3$. 主要由石袋码砌.

石袋由编织袋内装粒径 40 mm 以下的碎石 $30 \sim 40 \text{ kg}$ 组成, 便于人力运料和施工, 采用人工码砌, 形

进行试算, 得出下游一个径流过程见表 5.

表 5 下游站址径流过程

月份	流量 $/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	月份	流量 $/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	月份	流量 $/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$
1	50	5	69	9	34
2	58	6	61	10	39
3	69	7	45	11	41
4	71	8	50	12	48

对所得的这一过程的流量大小用公式 $P = n/(N+1)$ 进行频率排序计算, 所得结果见表 6.

表 6 频率计算结果

序号	流量 $/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	频率 /%	序号	流量 $/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	频率 /%	序号	流量 $/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	频率 /%
1	71	8	5	58	38	9	45	69
2	69	15	6	50	46	10	41	77
3	69	23	7	50	54	11	39	85
4	61	31	8	48	62	12	34	92

已知上游电站 $P_{\text{设}} = 90\%$, 下游日调节水电站 $P_{\text{设}}' = 65\%$, 由公式(7)可计算出: $P' = 80\%$, 从表 6 中的频率与流量的关系可知, $P' = 80\%$ 所对应的 $Q_i' = 40.2 \text{ m}^3/\text{s}$, 即为下游日调节水电站的设计流量 $Q_{\text{设}}'$. 由该 $Q_{\text{设}}'$ 得出的 $N_{\text{保}} = 3188 \text{ kW}$, 在原来的基础上提高了 31% . 经与实际电站运行资料对比分析, 若以该 $N_{\text{保}}$ 为基础求出电站装机容量, 则可较好地符合实际来水情况、减少弃水, 每年增发电能 $600 \text{ 万 kW}\cdot\text{h}$ 以上, 使水资源得到充分利用.

(收稿日期: 1997-09-10 编辑: 张志琴)

成的坝体结构紧密, 又不需碾压, 有利于实现高强度填筑和水下填筑; 便于加高加宽, 形成的坝体整体性好, 又有一定透水性, 自稳性强.

6 水下抛土铺盖

水下抛土铺盖位于钢木构架组合堤与截流戗堤之间, 采用人工水下抛投当地坡积粘土, 直到出水面高度不少于 1.0 m , 形成防渗铺盖.

这种闭气方法只需在水面已形成的组合堤及排架上向水中倒土, 因此施工简便、安全, 技术要求不高; 水面施工场面大, 抛设施工速度快; 水下抛土土体柔性大, 能与岸坡和已形成结构结合一体, 适应地基变形能力强. 由于抛入水中粘土会自行崩解, 不须专门处理残存在铺盖范围内的抛填料、铁件, 便能通过固结作用, 达到良好的整体防渗效果.

要使水下抛土铺盖达到闭气止漏效果, 必须使水下抛土体在施工期具有崩解、密实条件, 运行期不被水流及渗透水破坏. 为此, 抛投区流速要小于 0.5 m/s , 土体块径不超过 $10 \sim 20 \text{ cm}$. 抛填土料宜选用一般粘土、亚粘土及天然含水量较高的塑态肥粘土.

(收稿日期: 1998-10-22 编辑: 熊水斌)