

圩区堤防护坡和护岸加固设计研究

张 鸣¹, 武 娟¹, 侯伟建²

(1. 南京市高淳区水务局, 江苏 南京 211301; 2. 水发规划设计有限公司, 江苏 南京 211301)

摘要:高宣圩部分堤段护坡及护岸损坏严重, 无法满足行洪和正常运行要求。根据堤防现状、河道水流条件和自然地理状况, 并参考附近类似工程, 对堤防外坡、内坡和护岸进行防护加固设计。其中, 堤段外护坡采用六边形 C25 混凝土预制块, 上端设混凝土封顶, 下端设混凝土脚槽, 斜坡平台交接处设混凝土格埂, 以满足防护稳定和水利血防的要求; 外坡硬质护坡以上至堤肩以及堤内坡均采用草皮护坡。局部堤段外坡底部采用 0.8~1.0m 厚和 20m 宽的抛石护岸, 抛石固脚向上抛至设计枯水位以上 0.5m, 与预制块护坡脚槽相衔接。护坡和护岸加固设计方案满足当地防洪达标要求, 亦可供平原地区类似堤防工程护坡和护岸加固时参考。

关键词:混凝土护坡; 草皮护坡; 抛石护岸; 稳定性

中图分类号: TV871

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2022)02-0016-04

Research on the reinforcement design of embankment slope protection and levee revetment in polder zone

ZHANG Ming¹, WU Juan¹, HOU Weijian²

(1. Gaochun Water Affairs Bureau, Nanjing 211301, China; 2. Shuifa Planning and Design Co., Ltd., Nanjing 211301)

Abstract: Some of the slope protection and revetment in Gaoxuan Polder were seriously damaged and could not meet the requirements of flood discharge and normal operation. According to the current situation of embankment, river flow conditions and natural geographical conditions, and with reference to similar projects nearby, the design of protection and reinforcement for the outer slope, inner slope and revetment of the embankment is carried out. Among them, the outer slope protection uses hexagonal C25 concrete precast block, the upper end is set with concrete top, the lower end is set with concrete foot groove, the junction of slope platform is set with concrete ridge, in order to meet the requirements of protection stability and water conservancy schistosomiasis control; Turf is used for slope protection from the hard outer slope to the shoulder and the inner slope. At the bottom of the external slope of the local embankment section, a riprap revetment with a thickness of 0.8~1.0 m and a width of 20m is adopted, and the riprap anchor is thrown upward to 0.5m above the design low water level, which is connected with the pre-fabricated slope protection foot groove. The slope protection and revetment reinforcement design can meet the local flood control standards, and can also be used as a reference for the slope protection and revetment reinforcement of similar embankment projects in plain areas.

Key words: concrete slope protection; turf slope protection; riprap revetment; stability

高宣圩防洪保护圈分属江苏和安徽 2 个省, 圩区堤防主要为水阳江干流堤防, 所在河段承担着水阳江中上游洪水下泄的任务, 其中高淳区境内堤防

由水阳江干流左岸堤防 4 500 m、小蔡河右岸堤防 2 873 m 和乌溪河右岸堤防 1 500 m 组成, 全长 8 873 m, 其中桩号 GX0+000~GX1+953 和 GX2+

收稿日期: 2021-08-11

作者简介: 张鸣(1985—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事水利工程规划和管理工作的。E-mail: 425275564@qq.com

730 ~ GX9 + 650 隶属于南京市高淳区,桩号 GX1 + 953 ~ GX2 + 730 堤段隶属于安徽省宣州市。根据《防洪标准》《堤防工程设计规范》等相关规定,防洪标准为 20 ~ 40 年一遇,工程堤防等级为 4 级。由于圩区堤防存在堤顶高程不足、堤身单薄、堤坡稳定性不足、堤身渗水、堤顶路面破损等问题,为此对沿线堤防进行加固设计^[1]。本文重点介绍南京市高淳区境内堤防护坡和护岸设计,其中外坡为了满足堤坡防冲以及水利血防要求,采用预制混凝土块防护型式,硬质护坡顶高程以上至堤顶和堤防内坡考虑生态美观要求采用草皮护坡。结合现状崩岸险情,对局部堤段采用不同厚度的水下抛石固脚,确保河道行洪安全。

1 护坡工程设计

1.1 现状情况

高宣圩部分堤段(高淳境内)已进行了硬质护坡,其中 GX3 + 300 ~ 3 + 970 堤段外坡(迎水坡,长 670m)采用浆砌块石护坡,坡面稳定完整,质量较好,满足抗冲刷以及水利血防的要求;GX3 + 970 ~ 6 + 051、GX7 + 156 ~ 7 + 619(王家湾 ~ 赵家屋基段)两段堤防外坡(长 2751m)局部有散抛块石护砌,为当地群众陆续、自发组织建设,护砌高程较低,标准不统一,经多年水流冲刷,损毁严重,已基本失去护坡功能,也不能满足水利血防的要求。其余堤段均为土质边坡,坡面为杂草及矮灌木,不能满足水利血防要求。因此,工程范围内外坡除局部段可利用外,绝大部分不满足抗冲以及血防要求,需重新设计加固。

1.2 设计原则及设计范围

(1) 设计原则

护坡设计包括堤外坡和内坡防护设计。根据本工程河道水流条件和自然地理状况,并参考附近类似工程经验,堤内护坡采用草皮护坡。外护坡应满足防护和水利血防的要求,不同部位可以采用不同型式;位于迎流顶冲、河道凹岸堤段,以及砂壤土和粉砂层出露的堤段,近年来迎水面冲刷严重,对发生塌岸险情堤段的护坡型式应进行重点复核^[2]。

(2) 范围确定结合沿堤线地形地势条件和堤坡现状,并参考各段堤防加固方案,圩堤外坡设计范围为:桩号 GX3 + 300 ~ 3 + 970 堤段(长 670m)现状为浆砌块石护坡,复核计算后能满足运行要求,予以保留,但对其中局部质量较差或出现空洞部分进行维修加固;其余堤段均需重新进行外护坡设计。

外坡需要加固设计的堤段总长 8 203 m,具体分布见表 1。

1.3 护坡设计计算

对于迎水侧外坡,由于当地有血防要求,无螺线高程以下一般选硬质护坡,无螺线高程以上可根据河势及水流条件选择其他护坡型式。当地常用的硬质护坡型式有干砌石、浆砌石、现浇混凝土、混凝土预制块等^[3-5]。其中砌石类护坡以前较常用,由于石材的匮乏,近年实施的护坡工程多采用混凝土预制块防护,同时混凝土预制块还有质量稳定可靠、施工方便快捷的优点。因此,本工程外坡选用混凝土预制块护坡型式^[6]。

(1) 混凝土预制块护坡设计

根据《堤防工程设计规范》(GB50286—2013)^[7],当采用混凝土板为斜坡堤的护面层时,满足混凝土板整体稳定所需的面板厚度 t 按以下公式计算:

$$t = \eta H \sqrt{\frac{\gamma L}{\gamma_b - \gamma B m}} \quad (1)$$

式中: η 为系数,对开缝板取 0.075,对上部开缝,下部为闭缝板可取 0.10; γ_b 为预制块的重度; γ 为水的重度; H 为计算波高; m 为斜坡坡率,取 2.5; L 为波长; B 为沿斜坡方向面板长度。

经计算,厚度 $t = 0.06$ m,设计选取厚度 0.1 m 的预制块。参考本地区其他工程经验,迎水侧堤外护坡采用六边形 C25 混凝土预制块型式,预制块边长 20 cm,厚 10 cm,下设 10 cm 砂石垫层。护坡上端设 C25 混凝土封顶,下端设 C25 混凝土脚槽(50 cm × 80 cm),斜坡平台交接处设 C25 混凝土格埂(40 cm × 50 cm),以保证预制块护坡的稳定。

堤防外护坡与堤脚护岸的分界线一般选在设计枯水位以上 0.5 m,所以外坡硬护坡底端高程取设计枯水位以上 0.5 m 与滩面高程中的高值。硬护坡顶端高程根据所在堤段河势及水流状态选择,对于 GX3 + 970 ~ GX4 + 820 堤段,深泓逼岸,堤外坡直接迎流顶冲,设计洪水位以下均采用防冲性能好的硬护坡,所以顶高程取 10.81 m。对于受河道水流冲刷不严重的堤段,仅考虑水利血防要求,采用硬质护坡防螺的堤段,顶高程取无螺线高程以上 0.5 m。根据《高淳水利血防初步设计报告(2013 年达标)》以及高淳区血防部门提供的数据,本河段无螺线高程为 9.04 m,因此考虑血防要求堤段硬质护坡顶高程取 9.54 m。根据现场调查及相关资料分析,沿堤全线采用混凝土预制块外护坡堤段总长 8 203 m。

表 1 高宣圩堤段(高淳境内)外护坡现状

序号	桩号	堤长/m	外坡情况	险情	处理措施
1	GX0 + 000 ~ GX 1 + 953	1 953	有外滩,外坡杂草灌木		重新设计护坡
2	GX2 + 730 ~ GX3 + 300	570	有外滩,外坡杂草灌木	迎流顶冲	重新设计护坡
3	GX3 + 300 ~ GX3 + 970	670	有外滩,浆砌石护坡,质量较好	迎流顶冲	对现护坡维修加固
4	GX3 + 970 ~ GX6 + 051	2 081	无外滩,散抛块石,质量较差	局部崩岸	拆除重建
5	GX6 + 051 ~ GX7 + 156	1 105	无外滩,外坡杂草灌木	深泓贴岸	重新设计护坡
6	GX7 + 156 ~ GX7 + 619	463	无外滩,散抛块石,质量较差	局部崩岸	拆除重建
7	GX7 + 619 ~ GX9 + 650	2 031	局部堤段有外滩,外坡杂草灌木		重新设计护坡

(2) 草皮护坡设计

为防止雨水冲刷、水土流失,并兼顾生态环境要求,堤防外坡硬质护坡以上至堤肩以及堤内坡均采用草皮护坡。护坡草种宜选用根系发达、入土深厚、匍匐茎发达、生长迅速且成坪快的草种。

2 护岸工程设计

2.1 现状情况

高宣圩堤防所在河段分属水阳江干流、小蔡河以及乌溪河,有 3 处河道汇合口。大部分堤段堤外少滩,局部深泓贴岸,多处堤段迎流顶冲,两河汇合口堤段还有迎流对冲,水流冲刷严重。历史上,河段崩岸险情时有发生,尤其是赵家屋基段、王家湾堤段、长湾埂堤段处于迎流顶冲的凹岸,汛期时易受水流冲刷,危及堤防安全。1993 年王家湾堤段临水坡曾发生坍塌,1995 年赵家屋基段临水坡也曾发生坍塌。表 2 列举了不同堤段的现状和主要险情。水阳江下游近期防洪治理工程实施后,干流下泄水量加大加快,对高宣圩河段的冲刷也加剧,加大本

河段的防洪压力。

2.2 设计原则及设计范围

结合河段水下地形、河道水流条件以及堤段历年出险情况,对深泓逼岸、迎流顶冲、近年发生崩岸险情的堤段进行护岸处理,重点考虑削坡堤段、位于河道狭窄迎流顶冲、河道弯曲主流对冲等河段堤防。桩号 GX3 + 950 ~ GX4 + 320 堤段现状冲刷较严重,左岸外堤脚最低高程达 - 1. 88 m,虽然历史上抢险时进行了多次抛石防护,但由于是汛期高水位抢险施工,施工时间紧,不利于抛石下沉和定位,部分抛石下沉过程中被冲走,险情依然存在。GX4 + 720 ~ GX4 + 920 堤段河道较窄(120 ~ 140 m),主流贴岸,且处于两河汇合口,洪水期河道流速快,水流顶冲,堤岸冲刷较大。因此,对 GX3 + 950 ~ GX4 + 320、GX4 + 720 ~ GX4 + 920 共 2 处堤段进行抛石护脚堤岸防护,总计长 570 m。

2.3 护岸工程设计

(1) 方案比选

护岸工程型式通常有抛石、模袋混凝土、模袋

表 2 高宣圩堤段(高淳境内)主要险情

序号	桩号	堤长/m	外坡情况	险情
1	GX3 + 330 ~ GX3 + 530	200	有外滩,浆砌石护坡	迎流顶冲、王家湾险段、1993 年外坡崩塌
2	GX3 + 530 ~ GX3 + 830	300	有外滩,浆砌石护坡	迎流顶冲、年年水下抛石
3	GX3 + 950 ~ GX4 + 330	380	无外滩,散抛石护坡	迎流顶冲、深泓贴岸、赵家屋险段、1995 年外坡崩塌
4	GX4 + 330 ~ GX4 + 520	190	无外滩,散抛石护坡	狭窄河段、深泓贴岸
5	GX4 + 720 ~ GX4 + 920	200	无外滩,散抛石护坡,质量较差	主洪贴岸冲刷
6	GX5 + 723 ~ GX6 + 073	350	无外滩,无护坡	主洪贴岸冲刷

砂、铅丝笼块石及各种混凝土异形体等多种型式^[8]。其中铅丝笼块石及各种混凝土异形体适用于防冲要求高、流速较大的地方,但其施工技术要求 and 工程造价相对较高。本次设计仅对抛石、模袋混凝土和模袋砂护岸型式进行详细比较。①抛石护岸是传统的护岸型式,具有抗冲能力较强,自我调整能力强的优点,且取材容易,施工简单灵活,无论新护或加固均可采用,因此应用较为广泛。抛石料还可采用堤防加固工程施工中路面和护坡的拆除混凝土块及块石。但抛石工程整体性较差,运行期间需加以补充维护。②模袋混凝土是由土工织物缝制成的大面积连续袋状材料,袋内充填混凝土或水泥砂浆,凝固后形成整体混凝土板。模袋混凝土护岸具有整体性好、抗冲能力强、施工快捷、整齐美观的特点,但适应岸坡变化能力不强,且施工技术要求 and 工程造价相对较高,一般用于抗冲要求较高的岸段。③模袋砂充灌材料为泥沙,其型式与模袋混凝土相似。由于模袋砂具有施工快捷方便,能就地取材和较好地适应岸坡变形的特点,并且造价较低,也常用于水下边坡较缓的护岸。不足之处在于长时间使用后模袋容易损坏,且袋内泥沙易流动,使得模袋砂的应用范围受到一定限制。另外,本工程需防护堤段,现状河底留有以往抛石,模袋砂抛投时外层模袋易被扎破,导致袋内泥沙流走,失去防护作用,所以模袋砂不适合本工程。综上所述,针对本工程特点,适合的护岸型式有抛石护岸和模袋混凝土护岸。表3给出了两种型式护岸的比较结果。由表3可见,优选抛石护岸作为本工程的防护型式。

表3 护岸型式比较

护岸形式	抗冲性能	施工特点	适应变形能力	每延米投资/元
抛石	较强	简单灵活	强	7 500
模袋混凝土	强	施工快捷	弱	10 625

(2) 护岸工程设计计算

抛石粒径的确定应综合考虑抗冲、动水落距、良好级配及石源条件等方面因素。抛石粒径按《堤防工程设计规范》中抗冲粒径公式计算,即

$$d=\frac{V^2}{C^22g\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}}\tag{2}$$

式中: d 为折算直径,按球型折算; V 为水流流速; g

为重力加速度; C 为石块运动的稳定系数,倾斜底坡时取1.2; γ_s 为石块的重度; γ 为水的重度。

依据堤防工程设计规范,按平顺护岸对堤岸冲刷深度进行验算。水流平行于岸坡产生的冲刷可按式计算:

$$h_s=H_0\left[\left(\frac{U_{cp}}{U_c}\right)^n-1\right]\tag{3}$$

$$U_{cp}=U\frac{2\eta}{1+\eta}\tag{4}$$

式中: h_s 为局部冲刷深度,从水面起算; H_0 为冲刷处的水深,以近似设计水位最大深度代替; U_{cp} 为平均流速; U 为河床面上允许不冲流速; η 为与防护岸坡在平面上的形状有关,一般取 $\eta=0.25$ 。

水流斜冲防护岸坡产生的冲刷按下式计算:

$$\Delta h_p=\frac{23\text{tg}\frac{\alpha}{2}v_j^2}{\sqrt{1+m^2}g}-30d'\tag{5}$$

式中: Δh_p 为从河底算起的局部冲深; α 为水流流向与岸坡交角; m 为防护建筑物迎水面边坡系数; d' 为坡脚处土壤计算粒径; v_j 为水流的局部冲刷流速。

经计算,得到抗冲粒径为0.28 m。小蔡河与水阳江干流汇合堤段最大冲刷深度为0.40 m。参照本地区已建工程经验,选定块石平均粒径为0.35 m,块石粒径范围取为0.30~0.40 m。抛石厚度的确定应以抛石后的河床不再受到水流淘刷、侵蚀为原则。根据《堤防工程设计规范》,抛石厚度不宜小于抛石粒径的2倍,同时结合类似工程经验,本次设计抛石厚度按0.80 m控制。考虑赵家屋堤段为迎流对冲凸岸险段,水下抛石曾多次出现滑

移、冲走的问题,将该段抛石厚度增加到1.0 m,块石粒径也增至0.40~0.50 m。水下抛石固脚向上抛至设计枯水位+0.5 m高程,与预制块护坡脚槽相衔接,一般考虑3 m宽抛石平台,向下抛至深泓(或坡度较缓处),抛石范围为从脚槽向河道延伸20 m。

鉴于本工程在施工过程中有大量的拆除护坡砌
(下转第25页)

- [5] 王燕. 安徽省沿江圩区农田排涝模数计算[J]. 水利经济, 2000(4):40-45.
- [6] 刘文博, 宋文杰, 石林, 等. 长株潭地区水域现状及水面率需求分析[J]. 湖南水利水电, 2020(1):46-49.
- [7] 徐磊, 林茂林, 李聪, 等. 江苏苏南地区农村混合型圩区排涝流量计算方法研究[J]. 江苏水利, 2021(7):27-29.
- [8] 孙晨. 江苏省里下河洼地现代高标准农田水利工程模式研究[D]. 扬州:扬州大学, 2021.
- [9] 罗文兵, 王修贵, 罗强, 等. 四湖流域下垫面改变对排涝模数的影响[J]. 水科学进展, 2014, 25(2):275-281.
- [10] 丁继辉, 俞双恩, 宋静茹. 土地整理项目区适宜水面率模型[J]. 排灌机械工程学报, 2013, 31(2):180-184.
- [11] 周光明, 吴成耕, 周保太, 等. 睢宁站降水量特性研究[J]. 河南科技, 2012(21):92-93.
- [12] 罗文兵, 王修贵, 罗强. 农田排涝模数计算方法的比较[J]. 农业工程学报, 2013, 29(11):85-91.

(上接第19页)

石、路面混凝土,可以将其中符合要求的块石就近利用,作为抛石料;同时,为了增加利用料的利用率和稳定性,拆除利用料用网兜装袋进行抛投。网兜采用合金网兜,合金网兜具有柔韧性好和强度高等特点。在网兜里装填石块或混凝土块吊装抛入或滑入河床的过程中,网绳不易被切断,破损率低,且网兜无固定形状更容易贴近河底。

3 结 语

本文结合高宣圩沿堤线地形地势条件、堤坡现状和水流条件等因素,并参考已建各段堤防经验和水利血防要求,对局部未达标堤段开展了外坡护坡设计和护岸设计。

(1) 保留桩号 GX3 + 300 ~ 3 + 970 堤段(长 670 m)满足要求的现有浆砌块石护坡,对其中局部质量较差或出现空洞部分进行维修加固,其余堤段(总长 8 203 m)外护坡均采用六边形 C25 混凝土预制块,预制块边长 20 cm,厚 10 cm,下设 10 cm 砂石垫层。护坡上端设混凝土封顶,下端设混凝土脚槽,斜坡平台交接处设混凝土格埂,以保证护坡的稳定性。外坡硬质护坡以上至堤肩以及堤内坡均采用草皮护坡。

(2) GX4 + 720 ~ GX4 + 920 堤段抛石厚度 0.8 m,抛石宽度 20 m, GX3 + 950 ~ GX4 + 320 堤段抛石厚度 1.0 m,抛石宽度 20 m,全长共计 570 m。

抛石固脚向上抛至设计枯水位以上 0.5 m,与预制块护坡脚槽相衔接。施工时,可就地利用部分堤防外坡的拆除块石和路面拆除的混凝土,采用料用网兜装置,定点抛投,提高抛石效率。

参考文献:

- [1] 徐照明, 易思勇, 宋子亨, 等. 南京市高淳区水阳江干流左岸(小蔡河~乌溪河段)堤防加固工程初步设计报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究有限责任公司, 2020.
- [2] 邢万波. 堤防工程风险分析理论和实践研究[D]. 南京:河海大学, 2006.
- [3] 徐惠民, 张子龙, 王登婷, 等. 南京市石臼湖风浪特性及防护设计研究[J]. 江苏水利, 2018(7): 1-6.
- [4] 张清明, 王荆, 汪自力, 等. 我国典型堤防工程管理现状调查分析[J]. 中国水利, 2020(10): 36-38.
- [5] 孙东亚, 丁留谦, 姚秋玲. 关于改进我国堤防工程护坡设计的建议[J]. 水利水电技术, 2007, 38(2): 46-48.
- [6] 余广明. 堤坝防浪护坡设计[M]. 北京:水利电力出版社, 1987.
- [7] GB50286-2013 堤防工程设计规范[S].
- [8] 肖昌虎, 周琴, 严浩, 等. 湖北省荆南四河堤防加固工程设计总结[J]. 人民长江, 2017, 48(21): 84-86.
- [9] 王政平, 何宝根, 李晓旭. 复杂堤防加固设计的有限元数值分析[J]. 人民珠江, 2019, 40(1): 125-130.