



或动物搬运的种子嵌入浆砌石缝隙中,也因过高的温度致使种子难以生存和发芽。④警戒水位以下的消落带坡面通常伴随着一年季节性的枯水期、平水期和丰水期的交替变化,发生非淹水区、半淹水区和淹水区的周期变化,由此产生日积月累的水力冲刷和淘蚀作用,将会严重影响植物的正常生长。

## 2 方案设计

### 2.1 建植原则

为了控制古运河面源污染,并达到生态修复和堤防加固的目的,结合边坡特点,在浆砌石边坡上建植生态墙应遵循以下 3 个原则:①贯通浆砌石覆盖层上、下表面的连接,便于地气与大气之间的水分自然交换,同时又不可破坏原有岸坡的稳定性;②在浆砌石边坡上覆盖一层能满足植物生长需要的稳定基质,除了能保证植物健康成长外,还应具备较强的抗冲刷性、保水性和耐久性等;③警戒水位以下的消落带防护物应既可以有效消减水位涨落和水流能量,又能抵御长期的水体浸泡而不变形,从而真正起到防洪截污的功效。

### 2.2 总体规划

根据建植原则,生态墙的建设方案拟划分为 3 个部分,即上部垂直面,下部斜面和消落带(见图 1)。对于垂直面先采用植被混凝土护坡绿化技术进行固坡绿化,再在坡脚扦插藤蔓植物;对于斜面亦先在坡面进行喷射植被混凝土,再在坡体中央带栽植小灌木,形成景观带;对于消落带,为了不破坏原有浆砌石岸坡的稳定性而同时又能达到绿化截污的目的,可先将生态混凝土预制砖直接铺砌在坡面上,再在砖内培土种植水陆两栖植物。

### 2.3 植被混凝土护坡绿化技术简介

植被混凝土护坡绿化技术系由三峡大学研究开发的专利技术,它是采用特定的混凝土配方和种子配方,对岩石或混凝土边坡进行保护和绿化的新技术。该技术涵盖岩石工程力学、生物学、土壤学、肥料学、硅酸盐化学、园艺学、生态学和水土保持学等多学科于一体,实际操作中主要根据边坡的地理位置、边坡角度、岩石性质、绿化要求等来确定水泥、土壤、腐殖质、保水剂、长效肥、混凝土绿化添加剂及混合植绿种子的组成比例。该技术的核心内容是混凝土绿化添加剂,它的使用不仅可以增加植被混凝土中的水泥用量,增强护坡强度和抗冲刷能力,并且使植被基材不产生龟裂,又可以改变植被混凝土化学特性,营造较好的植物生长环境。2003 年 7 月 19 日,水利部在湖

北宜昌对此项目做出了成果鉴定,与会专家一致认为:植被混凝土护坡绿化技术实现了工程建设中边坡防护和绿化两大功能的有机结合,填补了这一技术领域的空白。该项目成果总体上达到了国际先进水平,其中边坡防护和绿化的有机结合属国际领先。

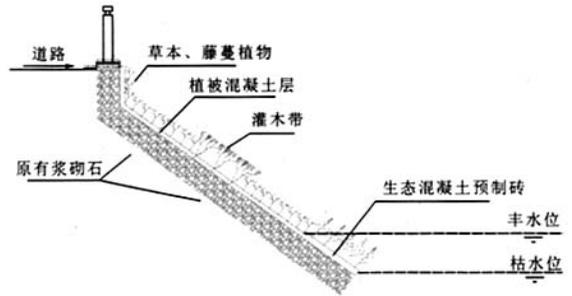


图 1 试验岸坡治理示意图

### 2.4 生态混凝土预制砖设计

由多年长江、内江水文资料观测得知,古运河迎江桥段的水位:枯水位黄海高程 2.005 m,平水位黄海高程 3.105 m(一年大约各有一半的时间处于平水位以下或以上),丰水位黄海高程 4.505 m。除了考虑季节性水位落差外,还需考虑潮汐作用的涨落潮的影响,因此淹没区的高程落差应为 2.5 m,淹水区就是黄海高程 2.505~4.005 m 之间的区域,折算成斜长约 3.6 m。

根据总体规划,在消落带铺砌生态混凝土砖固土防浪,并在砖体框槽内培土栽植两栖植物。砌块单元体内孔隙预留大小、连接方式及坡面空间排列产生的孔隙大小是抗冲刷的主要影响因素。因此在设计时,遵循了以下原则:①尽量增大单元体内预留孔隙,便于贮存足够种植土及养分供植物生长;②单元体侧边预留空隙,便于扣接后,相互之间形成一整体,从而有利于种植土的水、热、气及养分交换;③单元体表面预留较多的圆孔,在其中栽植两栖植物,可以获得一定的植被覆盖率,从而既可以净化表面污染径流,又能消能,还具备一定的景观效果。由此设计的生态混凝土砖的样式及尺寸如图 2(此尺寸试验应用于镇江古运河浆砌石岸坡,如在其它工程项目中推广应用可根据具体情况作出调整)。

### 2.5 植物筛选优化

镇江市地处江苏省西南部,长江下游南岸,北纬 31°37'—32°19',东经 118°58'—119°58',属北亚热带季风性气候。市区年平均气温 15.5℃,降水量 1070.0 mm,日照时数 2057.2 h(见表 1)。

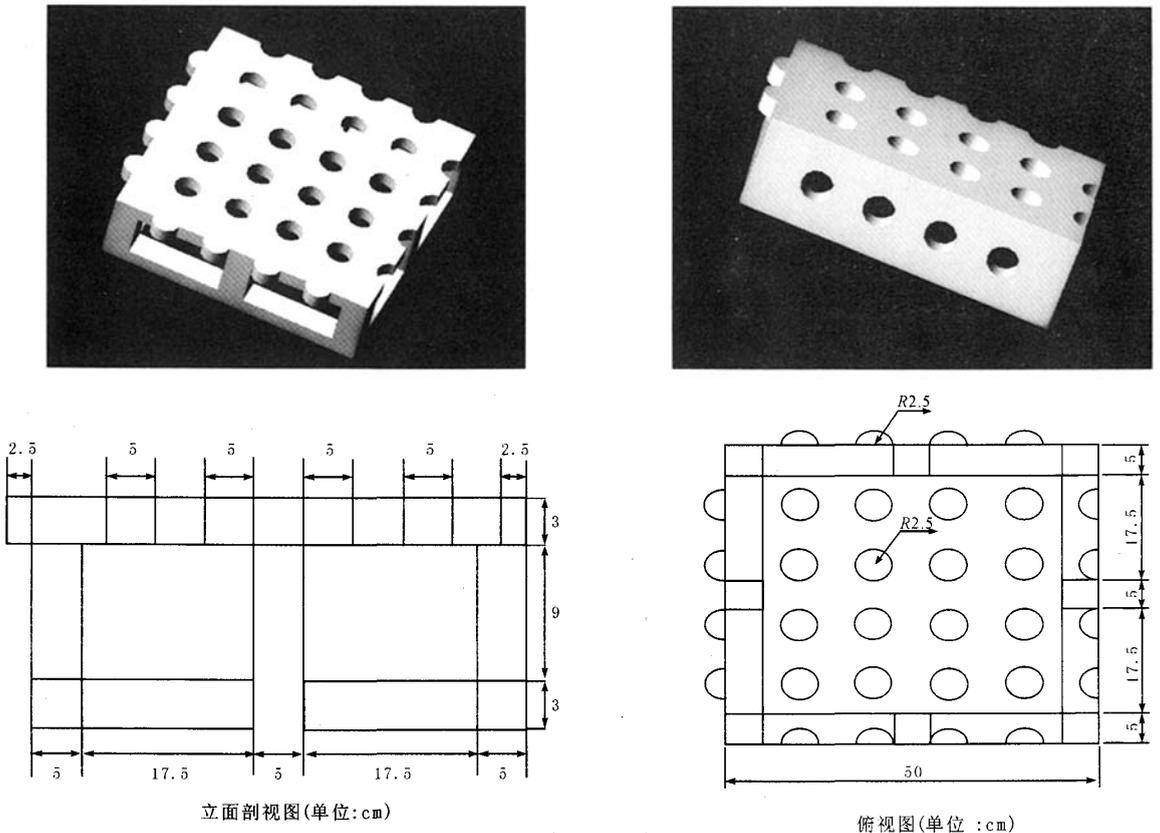


图 2 生态混凝土砖样式尺寸图

表 1 镇江市 1961—2003 年参考气候资料

月份	平均最高气温/℃	平均最低气温/℃	降雨量/mm	降雨日数/d
1月	7.0	-1.6	29	7
2月	8.4	0.0	48	9
3月	13.5	4.4	69	11
4月	20.1	10.3	87	12
5月	25.3	15.7	96	10
6月	29.0	20.4	159	11
7月	32.0	24.6	188	13
8月	32.2	24.2	124	11
9月	27.2	19.1	95	10
10月	22.1	12.6	60	8
11月	15.9	6.1	56	8
12月	9.7	-0.1	25	6

注:此表由南京气象站提供。

根据镇江市地理、气候、水文条件、浆砌石边坡特点及河道治理目标,在物种选择时遵循了以下原则:①植被截污能力强,能有效消除油污、烟尘和有毒化学物质;②植株具有顽强的生命力,根系发达,抗旱性

强,固土效果良好;③植被绿期长。藤蔓植物攀缘力、分蘖性强,扦插一年内能与垂直坡面草本植物形成植被互补。灌木、花株低矮,颜色有异于草种,便于形成景观带;④消落带的水陆两栖植物能够抵抗反复多次的水体浸泡,抗污耐污,并具备一定的水质净化能力。⑤绿化景观效果好,管理粗放,植被抗病虫害强。通过分析,决定选取以下物种:狗牙根(*Cynodon dactylon* Bermudagrass)、百喜草(*Bahiagrass*)、弯叶画眉草(*Weeping Love*)、野花组合(*Wildflower*)、水生仓蒲(*Acorus*)、爬山虎(*Parthenocissus tricuspidata*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui* Carr)、紫叶小檗(*Berberis thunbergii* cv. *atropurpurea*)。

### 3 工程示范

根据以上方案设计,在古运河河道选取一段作为前期研究示范段。示范段位于古运河京口闸处种子公司沿东莱街侧河岸与中华路侧河岸,横向沿河道总长 50 m,上部垂直面浆砌石纵向高 1.6~1.8 m,下部斜面斜长 10~12 m,其中消落带长约 3.6 m,示范总面积约 700 m<sup>2</sup>。

### 3.1 施工工艺

主要施工工艺流程如图3所示。

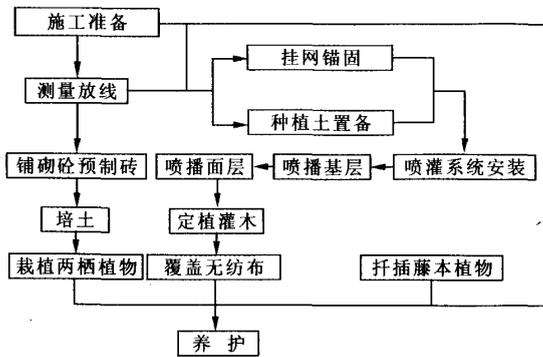


图3 施工工艺流程图

(1) 人工钻孔。使用冲气钻对浆砌石岸坡钻孔,孔必须深入到浆砌石底部,孔径 18 mm,孔距 0.5 m × 0.5 m。一部分钻孔用于扦插螺纹钢锚钉,另一部分钻孔用于连接大气与地气,以有利于植物进行水分和气体交换。

(2) 挂网锚固。在前述部分钻孔内嵌插  $\Phi 18$  的螺纹钢锚钉,锚钉长度  $L = \text{孔深} + 10 \text{ cm}$ ,间距 0.5 m × 0.5 m,对于松动锚钉必须灌浆紧固。嵌插锚钉完毕,即可在坡面铺挂 14# 镀锌铁丝网,网孔 5 cm × 5 cm,网网搭接 5~10 cm,铁丝网上端挂至坡顶路缘,下端挂至河水警戒线,网距坡面 6~7 cm 处与锚钉绑扎牢固。

(3) 浇灌系统安装。整个示范段采用喷灌和滴灌相结合的方式:在斜面中间铺设一条  $\Phi 25$  PVC 塑料管,并安装摇臂塑料喷头,喷头间距 10 m;在立面顶端沿路缘铺设一条  $\Phi 25$  带孔 PVC 塑料管,孔距 5 cm,孔径 1~2 mm。

(4) 植被层喷植。按照植被混凝土护坡绿化技术要求,用搅拌机拌和混合物基材(混凝土绿化添加剂、水泥、土壤、腐殖质、保水剂、长效肥、水),而后采用空压机送风干喷法在铺挂有铁丝网的坡面进行植被层喷植。喷植分 2 次进行,先喷植底层,约 9 cm,再喷植面层(含有 28~30 g/m<sup>2</sup> 的混合植绿物种——狗牙根、百喜草、弯叶画眉草、野花组合),约 1 cm。2 次喷植时间间隔  $\leq 2 \text{ h}$ 。

(5) 扦插、定植植物。在垂直坡面的坡脚修筑高 15 cm,宽 15 cm 的沟槽,并覆土、扦插藤本植物——爬山虎。在斜坡坡面中央带栽植观赏小灌木——小叶女贞、紫叶小檗,栽植带为流线型,具备一定的美观性,小灌木带宽 3~3.5 m。

(6) 覆盖保墒。生态墙的草坪部分喷射完毕立即用稻草帘或无纺布覆盖防冲保墒,灌木带覆盖遮阳布防晒保墒。

(7) 铺砖植草。在消落带铺砌生态混凝土预制砖,要求有网孔的一面向上,侧面有泄水孔的预制砖铺砌在消落带下线处。铺砌时预制砖应与所喷植的植被混凝土层结合完美,并略高于植被混凝土层,以达到固土的作用,同时还要求砖与砖之间咬和紧密。铺砌完毕,再在框形槽内培植种植土,并栽植水陆两栖植物——水生仓蒲。

(8) 养护。生态墙施工完毕,需进行两个月的强制养护。强制养护主要是浇水、病虫害防治和修复施工中局部遗漏区域。

### 3.2 示范效果

施工完毕后,经过 2 个月的强制养护,植被混凝土内的混合植绿物种大部分已破土发芽,且基本复绿原有浆砌石岸坡,同时所移植的藤蔓植物、小灌木、水陆两栖植物也大多返青并开始茁壮生长。一年后,垂直岸坡藤蔓植物的覆盖绿达到 80%,整个浆砌石坡面青草覆盖绿达到 100%,消落带的两栖植物和斜面的流线型小灌木带已基本形成,植株高度达到 35 cm。

施工完毕一年后,对生态墙的截污能力进行了实验监测。结果显示,处理前污水主要水质指标 TN, TP, BOD, COD, TOC 的本底值分别为 12.34, 5.56, 18.65, 56.01, 10.05 mg/L,流经生态墙截污处理后对应的主要水质指标分别为 10.09, 3.85, 8.10, 42.27, 7.88 mg/L,效果较为显著。

## 4 成果展望

城市内河道的面源控制和生态修复在国内目前尚处于起步探索阶段。对镇江古运河的治理聚集了三峡大学广大科研工作者的众多经验和智慧,它囊括了土壤学、植物学、生态恢复学、建筑材料等多学科知识。生态墙建植成功,将成为河道治理的亮点工程,为其它类似工程提供新的思路和典范。

### 4.1 高效的截污能力

古运河横穿镇江市,堤岸两侧为居民区和城市公路,城市化带来的污水、污染物等随时都有排入古运河的可能,造成对水质的严重污染。如能在浆砌石岸坡建植生态墙,将以草坪+藤蔓区→草坪+灌木带→生态砖+消落带 3 个区划有效的拦截油污、滞留烟尘,并吸收铅、砷、汞、硫等有害化学基质,为古运河内水生动植物提供一个良好的生存环境。

## 4.2 良好的生态效益

古运河两岸生态墙建成后,也将大大美化城市环境,一改往日放眼望去尽是单调的混凝土堤坝为茵茵绿草的视觉效果,也将为镇江这座历史名城增添一处靓丽的景点。另外,生态墙还可以稀释、分解、吸收、固定大气中的有害、有毒气体,能把有毒的硝酸盐氧化为有用的盐类,将二氧化碳转化为氧气,所优选的部分植被还能分泌特殊的杀菌素,杀死某些细菌,从而有益于城市居民的身心健康。

### [参 考 文 献]

- [1] 周明涛,许文年,叶建军,等. 云南小湾水电站边坡治理研究[J]. 水土保持通报,2005,25(2):76—80.
- [2] 许文年. 清江隔河岩电厂高陡混凝土边坡绿化技术研究[J]. 水利水电技术,2003,34(6):43—47.
- [3] [日]财团法人,都市绿化技术开发机构 编著. 谭琦,姜洪涛 译. 屋顶、墙面绿化技术指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004,4:51—68.
- [4] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2003. 123—128.
- [5] 蒋永明. 园林绿化树种手册[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002,9:290—294.
- [6] 叶建军,周明涛,许文年,等. 谈喷射护坡绿化技术[J]. 水土保持研究,2004,11(2):194—196.
- [7] 《土壤学》编写组. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,1992. 86—95.
- [8] 昆明市草坪协会. 云南草坪[M]. 昆明:云南科技出版社,2001. 120—138.
- [9] 杨京平. 生态恢复工程技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002. 56—58.
- [10] 章恒江. 岩质坡面喷混快速绿化新技术[J]. 国外公路,2000,20(5):30—32.
- [11] 胡广录. 水土保持工程[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002. 94—95.
- [12] 王礼先. 水土保持工程学[M]. 北京:中国林业出版社,2000. 121—123.
- [13] Wu T H, Mckinell W P, Swanston D N. Strength of tree roots and landslide on Prince of Wales Island, Alaska [J]. Canadian Geotechnical Journal 1979, 16(1): 19—33.
- [14] Shewbridge S E, Sitar N. Deformation characteristics of reinforced sand in direct shear[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1989, 115(8): 1134—1147.
- (上接第25页)
- [3] 徐永年,梁志勇,王向东,等. 长江九江河段河床演变与崩岸问题研究[J]. 泥沙研究,2001,25(4):41—46.
- [4] 王文俊. 三峡库区干流崩塌、滑坡的发育特征及危险评价[J]. 灾害学,2002,17(4):54—59.
- [5] 马逸麟,梅丽辉,刘益辉. 江西省长江岸带崩塌及影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(3):61—65.
- [5] 石豫川,冯文凯,王学武,等. 库水作用下公路土质岸坡稳定性影响因素综合评判[J]. 灾害学,2005,20(4):33—38.
- [6] 陆中臣. 流域地貌系统[M]. 大连:大连出版社,1991. 93—96.
- [7] 杨达源,李徐生,冯立梅,等. 长江三峡库区崩塌滑坡的初步研究[J]. 地质力学学报,2002,8(2):173—178.
- [8] 袁中友,唐晓春. 蓄水和水位变动对三峡库区崩塌滑坡的影响及对策[J]. 热带地理,2003,23(2):30—34.
- [9] 长江水利委员会. 三峡工程地质研究[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1997. 79—96.
- [10] 刘树人,穆桂春,刁承泰. 三峡水库建成后对长江河床演变影响的预测与对策[J]. 地球信息科学,2003,5(1):1—4.
- [11] 刘春,姜德义,任松. 三峡库区消落带典型地质灾害成因分析[J]. 中国矿业,2004,13(10):53—55.
- [12] 苏爱军,刘红星,孙云志,等. 三峡库区水平层状滑坡成因研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2004,28(3):427—430.
- [13] 王珪,李述靖,王学佑,等. 长江三峡库区崩滑地质灾害的形成与分布规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2000,11(2):24—29.