



一种用于护岸的混凝土三维生态连锁块

邵琪, 沈建霞, 钟华林, 曹昌志

(苏交科集团股份有限公司, 江苏南京 210017)

摘要: 在柔性生态护岸工程中, 混凝土连锁块结构因其具有易预制、易施工、自限性好、亲水性强和具有景观效果等特点被逐步应用, 目前主要将其作为二维铺面结构推广使用。为了进一步发挥其消能抗冲、嵌固抗滑、亲水护植和通用兼容等整体柔性护岸功能, 提出一种三维生态连锁块的结构形式, 对其作用机理和特点进行剖析。

关键词: 生态护岸; 混凝土连锁块; 柔性结构; 消能抗滑; 亲水护植

中图分类号: U 617.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)02-0089-05

Three-dimensional ecological concrete interlocking block used for revetment

SHAO Qi, SHEN Jian-xia, ZHONG Hua-lin, CAO Chang-zhi

(JSTI GROUP, Nanjing 210017, China)

Abstract: In flexible ecological revetment engineering, the concrete interlocking block is gradually used due to its easy prefabrication, simple construction, good self-limitation and hydrophilia, as well as its favorable landscape effect, but it is generally employed only as the 2D pavement structure at present. A kind of 3D ecological interlocking block structure is proposed for the further function on anti-scouring, anti-sliding, plant-protection and compatible use. The functioning mechanism and characteristics are explored.

Keywords: ecological revetment; concrete interlocking block; flexible structure; anti-scouring & sliding; plant-protection

随着“低碳环保”的理念深入人心, 打造“清水宜居”的内河环境逐渐成为航道护岸工程建设的新要求。传统的以钢筋混凝土、砌块石等灰色材料为主的刚性护岸, 隔断了河流水环境与岸坡土壤、动植物之间的联系^[1], 水体封闭, 无法对外交换, 抑制了河流自净化能力。虽然刚性护岸的渠化效果明显、防浪抗冲刷能力突出且施工工艺简单, 但是在水环境下受现场支模养护效果的影响, 特别是大体积混凝土在使用中易出现内部水化热不均衡、坡面开缝^[2]等问题; 航道沿线长距离、大范围地采用刚性护岸, 成本较高; 刚性护岸对岸坡小规模变形非常敏感, 易因局部上拱或沉陷发生破坏^[3], 后期维修养护的难度较大; 护坡表面一旦发生破坏, 极易在水流冲刷作用下进一步崩岸。

相比传统护岸, 生态护岸利用土壤生物工程、人造材料复合植被技术和生态混凝土技术等, 构筑一种满足河道功能和稳定性、提供动植物栖息环境、保留或恢复岸坡生态系统^[4]的航道护岸结构形式。新型的生态护岸按照坡度形式主要分为2类: 1) 直立式植生墙式护岸, 多采用自嵌式植生挡土墙结构^[5], 主要用于景观性城市河道的治理^[6-7]; 2) 斜坡式生态护岸, 其中以铺面为主的护岸包括铰链式和连锁式等形式, 如生态连锁块排十字^[8]、高强混凝土连锁块^[9]。在实际工程中, 应结合实际地形地貌及水流状况, 分段综合使用这两类生态护岸^[10]。

斜坡连锁式生态护岸主要采用高强连锁块结构, 因具有生态性好、施工便捷和造价低等优

收稿日期: 2016-06-15

作者简介: 邵琪 (1983—), 男, 博士, 工程师, 从事航道、港口、岩土方面的设计与研发工作。

点^[11]而被广泛应用。本文针对现有二维铺面连锁块护岸结构的特点,提出一种三维生态连锁块护岸结构形式。

1 二维铺面连锁块护岸结构

1.1 混凝土连锁块的源起与应用

混凝土连锁块结构通常采用高强混凝土材料,是一组几何形状相同、尺寸和质量较小的块体相互咬合形成的铺面阵列。高强混凝土连锁块最早用于城市人行道路或广场,由于其整体铺面具有很高强度、适应不均匀沉降的能力较好、易于制作、施工和养护,所以很快应用于港口堆场铺面中^[11]。围绕港口陆域连锁块铺面堆场的承载能力^[12]、铺装方式^[13]、施工工艺和质量控制^[14]等,均取得大量研究及应用成果。

1.2 混凝土连锁块在航道工程中的应用特点

航道工程中混凝土连锁块常用于斜坡式护岸结构。为了提高护岸的亲水性和生态性,将连锁块做成开孔结构,既能进行水土交换,又有利于植被从中生长。常用的护坡连锁块形式如图1所示。



图1 混凝土连锁块

通过楔形榫槽的相互咬合作用,每个块体都能与周围6个块体铰接连锁,在铺砌平面上相互间限制了位移;但在垂直坡面的方向上,连锁块阵列允许有局部变形,可应对一定程度的不均匀沉降或地形变化。护岸土壤所生长的草本植物可通过连锁块的开孔与外界进行水、气交换。混凝土连锁块均可预制、直接铺装,施工便利,无养护期,节约成本^[15]。

然而,混凝土连锁块护坡目前主要以二维铺面结构为主,在船行波频发的地段,其消能碎浪的功能较弱,护植能力有限,所以只能用于景观

性河道;主要依靠接触面提供摩擦力,不适用于坡度较陡的护岸;为防止孔内水土流失,有时采用土工布作为反滤层^[16],影响了原生植被的生长,也限制了移栽植被的生存空间,无法充分体现生态性能。

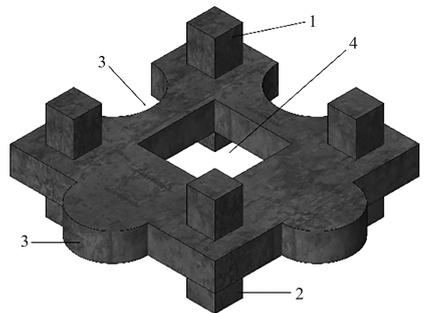
2 混凝土三维生态连锁块

2.1 三维生态连锁块的提出与特点

为增进上述二维铺面连锁块的功能和效果,沈建霞等定性地提出了一种三维生态连锁块结构^[17-18],这种三维生态连锁块有如下几种形式:

1) 双面通用型。

三维生态连锁块是在平面连锁块的基础上,在垂直方向上增加了立柱和齿坎(图2)。立柱和齿坎的尺寸和构造及对应的位置是一样的。立柱可以发挥碎浪消能的作用,削弱船行波的冲刷效果;齿坎可以嵌入坡面土体中,发挥嵌固作用,提高抗滑能力。



注: 1.立柱; 2.齿坎; 3.双侧连锁系; 4.中层开孔域。

图2 双面通用型混凝土三维生态连锁块

块体双侧连锁系呈半月形的凹凸对称结构,使各块体在平行铺面的2个方向上相互咬合,形成整体。与二维连锁块(图1)的楔形榫槽相比,位于中心的三维连锁块仅能与周边4个块体咬合,一方面通过连锁系限制了2个方向的位移,另一方面半月形的凹凸连锁系也允许块体间有小量的位移,可使整个铺面结构更好地适应斜坡地形和适度的局部沉降。

基于上述特点,在不影响块体局部刚度的情况下,可适当扩大中层开孔域,增加移栽或原生植被的生存空间。铺面成型后,在立柱阵列的保护下,

移栽植物在过渡期内、原生植被在初生长期内受到的水流冲刷作用较小,存活率提高。一旦植被顺利成活,将遮盖灰色铺面,协助铺面结构提升土体抗剪稳定性,恢复河道生态,实现景观目标。

这种双面通用型混凝土三维生态连锁块虽然在空间上分别向上有立柱、向下有齿坎,但单体结构形式总体简单、双面功能对等,改进模具后,亦能方便地预制,且无需凿毛工序。预制后的成件在施工时不分正反面,对齐连锁系后可直接铺设;该类型结构可用于低等级的航道或河道,由水位变动区下限向坡顶铺设,并根据水位范围移栽当地常见的滨水植被。

2) 功能增强型。

以双面通用型为原型,为满足不同航道在适陡利稳、抗冲刷等方面的突出要求,对部分结构样式进行增强后,可衍生出由图3所示的三维连锁块类型。

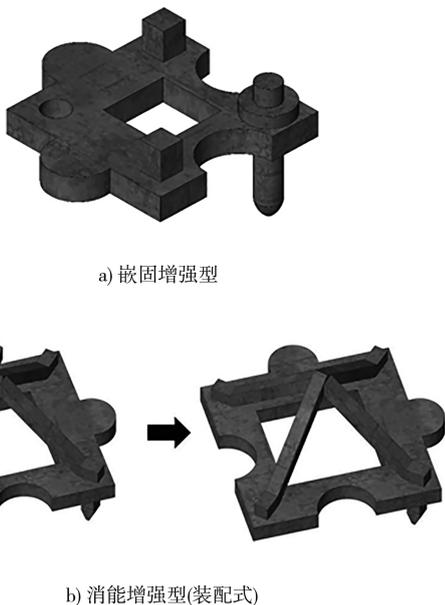


图3 功能增强型混凝土三维生态连锁块

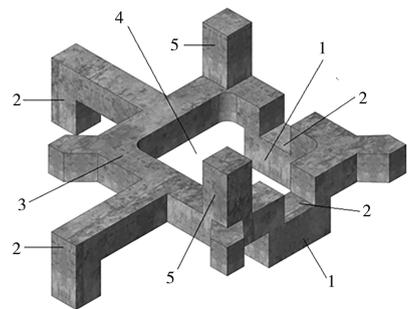
嵌固增强型混凝土三维生态连锁块(图3a))适用于陡坡护岸。其长短两种规格的嵌固插销,可交叉使用,避免坡体形成整体滑移面。与双面通用型相比,施工时,增加了“插销入土”的工序。虽然每个连锁块上都有插孔,但整铺后不必满插插销。块体已通过连锁系相互咬合成整体,对整体铺面而言可每隔一段距离实施“插销入土”

嵌固,应长短交替使用。由于多出了长短两种插销配件,所以预制构件时较双面通用型复杂一些。对于坡比较陡且沿线岸坡不一致的天然土质岸坡,可在不统一整治岸坡比的情况下,采用该类型的三维连锁块结构,呈现出天然坡度的护岸景观。

消能增强型混凝土三维生态连锁块(图3b))适用于水流冲刷严重的护岸,如流速较大的河段、船舶往来频繁即船行波较大的航段等。采用装配式构件,从铺面块体向上形成消能栅栏,既可以最大限度地保护植被度过初生长期,也不影响植被向上的生长空间。装配件通过装配孔向下可嵌入坡面土体,抗滑嵌固。施工时,需满插各个装备孔,借助橡皮锤等工具将装配件击实,以形成完整的消能栅栏。预制时,由于该连锁块是装配式构件,各构件均成平面结构状态,便于成型,但对装配件的预制模具尺寸精度要求较高。该类型三维连锁块可用于高等级、船舶往来频繁的航道;除水位变动区外,也可在对水流冲刷敏感的航道段岸坡上全范围铺设。

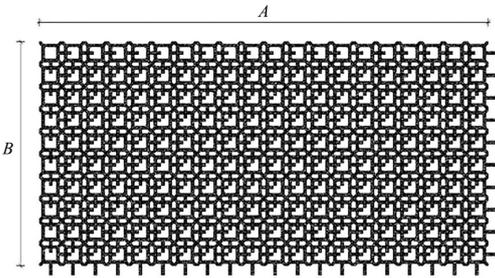
3) 大孔率型。

在满足基本护岸结构力学性能的基础上,若对护岸的生态性和景观性要求较高,可采用如图4所示的大孔率型三维混凝土连锁块。与前述双面通用型连锁块类似,该连锁块从功能上亦具备嵌固抗滑、连锁多孔和消能碎浪的特性。该三维连锁块单体的构造较为复杂(图4a)),但其所形成的整体(图4b))具有50%左右的铺面开孔率,可最大程度地为绿色植被营造的生存空间,因此其生态性和景观性非常突出。



注: 1.底层嵌固短齿; 2.中层连锁搭扣系; 3.中层铺面区; 4.中层生态开孔区; 5.上层消能短柱。

a) 单体



b) 整体

图4 大孔率型混凝土三维生态联锁块

由于块体构造较为复杂，预制构件比较困难，需对模具和预制技术进行改良。所以该类型的三维联锁块目前仅能少量生产，适用于城区河道或自然景观保护性强的河道，在满足移栽植被生长成型的同时，既有生态系统中的原生植被也可在该类型结构的庇护下享有充足的生存空间。

2.2 三维生态联锁块护坡预期效果

从经济实用角度出发，混凝土三维生态联锁块

主要铺设在航道护坡的水位变动区及以上区域。由护坡典型断面（图5）可见：水下区域可采用抛石；在常水位上下水位变动区范围内可采用三维生态联锁块，可种植挺水植被；水位变动区以上则可在三维联锁块铺面开孔中培育原生植被或移栽植被。

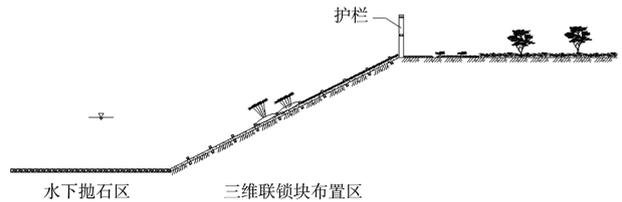


图5 三维生态联锁块护坡典型断面

3 混凝土二维和三维生态联锁块的比较

虽然二维和三维联锁块都具备一定的抗冲刷、抗滑和生态的特性，但其具体结构措施及作用机理相差较大，两者比较如表1所示。

表1 二维、三维生态联锁块结构功能特性比较

结构特性	消能抗冲		嵌固抗滑		生态性	
	结构措施	作用机理	结构措施	作用机理	结构措施	作用机理
二维结构	块体上表面	混凝土本身强度	底面凿毛	接触摩擦力抗滑	块中有限开孔	水土连通,物质循环
三维结构	块体表面+消能立柱	消能碎浪,削弱冲刷强度	嵌固齿坎	入土后被动土压力或嵌固作用抗滑	快中、快间均可开孔	水土连通,物质循环

可见，三维生态联锁块结构的功能均优于二维联锁块，但目前受限于模具的类型和样式，构件预制比较困难，量产的难度较大，因此混凝土三维生态联锁块受限于构件制作技术，暂时还不能大范围地使用。但随着3D打印技术的发展和普及^[19]，并参考机械部件的注模技术^[20]，相应的制件工艺会逐步改进，而采购成本也会趋于合理。联锁块材料本身也会发生变革，由生物基质材料^[21]代替混凝土材料，利用生物降解技术^[22-23]，将联锁块与土壤合为一体，形成一体化立体加筋土式的亲水护岸。

4 结论

1) 三维生态联锁块是在平面联锁块的基础上，在垂直方向上增加了立柱和齿坎，可较好发挥消能抗冲、嵌固抗滑的性能。其联锁系相较二

维联锁块，在用于地形起伏、局部沉降的坡面时，更具灵活性。

2) 三维联锁块各功能增强的衍生类型分别适用于陡坡护岸、水流冲刷严重、生态景观等要求突出的特殊重点航道段，可根据需求因地制宜加以使用。

3) 相较二维平面结构，联锁块三维空间结构在预制方面有一定的困难，但随着注模技术的3D化和普及化发展，该结构和技术也将成为新型科技大众化应用的典型示范，为三维生态联锁块的推广和应用铺平道路。

参考文献:

[1] 孙涛,杨光泉,李国栋.河道综合治理中生态护坡及挡墙应用分析[J].水利科技,2014(26): 52.
 [2] 谢巍.生态护坡技术在城市河道治理中的应用[J].河南建材,2015(3): 175-176.

- [3] 延凤茹,贾永芳.水泥连锁块在水土保持工程中的应用[J].河北水利,2009(11):71.
- [4] 葛红群.京杭运河扬州段生态护岸设计[J].水运工程,2010(5):75-78.
- [5] 李尚革.浅谈自嵌式植生挡土墙技术及经济分析[J].广东水利水电,2015(4):57-60.
- [6] 陈伟.基于景观和生态理念的新型自嵌式植生护岸[J].中国园林,2009(5):96-99.
- [7] 江上熙.自嵌式生态型挡墙在河道整治工程中的应用[J].闽西职业技术学院学报,2009,11(3):122-125.
- [8] 阮学成,徐加峰,郭云飞,等.长江12.5m深水航道工程新型生态连锁块排十字预制及施工工艺[J].中国港湾建设,2014(8):47-49.
- [9] 刘飞虎.超强连锁块生态护坡在河坡整治工程中的应用[J].江苏水利,2015(4):47-48.
- [10] 刘疆宁,孙雪松.新型生态护岸在吕运河整治工程中的应用[J].中国水运,2015,15(3):216-262.
- [11] 孙立军.港区连锁块铺面结构设计方法[J].同济大学学报,1996,24(1):17-22.
- [12] 赵燕,彭元芳.连锁块铺面结构承载力理论与铺面设计新方法[J].水运工程,1994(2):70-73.
- [13] 张晓芹.小型连锁块铺装力学计算分析[J].中国港湾建设,2005(6):6-16.
- [14] 李永明.连锁块铺面的施工工艺和质量控制要点[J].港工技术,2001(2):29-31.
- [15] 曹载宏.生态连锁式护坡技术在河道护坡工程中的应用[J].水利规划与设计,2014(1):51-53.
- [16] 齐威,杨沛霖.混凝土连锁块施工工艺及质量控制[J].中国水运,2015,15(5):127-128.
- [17] 沈建霞,邵琪,袁华有,等.三维生态连锁块:ZL201520421452.7[P].2015-06-18.
- [18] 沈建霞,邵琪,袁华有,等.一种大孔率型三维生态连锁块:ZL201520420729.7[P].2015-06-18.
- [19] 马敬畏,蒋正武,苏宇峰.3D打印混凝土技术的发展与展望[J].混凝土世界,2014,61(7):41-46.
- [20] 傅骏,王泽忠,方辉,等.3D打印技术及其在铸造中应用现状与发展展望[J].中小企业管理与科技:下旬刊,2014(3):299-300.
- [21] 刘海声,吴金栋,袁彬鸿.BSC生物基质生态混凝土在生态护岸、护坡建设中的应用[C]//中国水利技术信息中心.第七届全国河湖治理与水生态文明发展论坛论文集,北京:中国水利技术信息中心,2015.
- [22] 刘敏,黄占斌,杨玉姣.可生物降解地膜的研究进展与发展趋势[J].中国农学通报,2008,24(9):439-443.
- [23] 高慧鹏.土壤中持久性有机污染物生物可利用性的预测及其生物降解的促进方法[D].大连:大连理工大学,2014.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第88页)

参考文献:

- [1] 周根娣.四面六边透水框架尾流场水力特性[J].长江科学院院报,2005(22):9-12.
- [2] 杨中华.两种布置方式下的四面六边透水框架周边流场的PIV试验研究[J].应用基础与工程科学学报,2014,22(5):877-885.
- [3] 况宏伟.四面六边透水框架坝模型试验及检验标准[J].水运工程,2015(7):140-152.
- [4] 况宏伟.透水框架护岸模型试验[J].水运工程,2016(3):112-119.
- [5] 丁兵.四面六边透水框架防护层稳定性试验[J].浙江大学学报:工学版,2015(2):251-256.
- [6] 李若华.四面六边透水框架群减速效果的优化研究[J].水利水电快报,2003,24(11):13-15.
- [7] 吴龙华.架空率、杆件长宽比对四面六边透水框架群减速促淤效果的影响[J].水利水运工程学报,2003,9(3):74-77.
- [8] 吴龙华.透空四面体(群)尾流水力特性及其应用研究[D].南京:河海大学,2005.
- [9] 丁晶晶.透水框架在改进丁坝结构型式上的应用[J].水利水运工程学报,2015(2):30-38.
- [10] 刘兆锋,李如洁,叶素策.混凝土四面六边透水框架群技术的研究与应用[J].中国水运:下半月,2010,10(1):114-115.

(本文编辑 王璁)