

## · 综合 ·



# 斜坡堤人工护面块体特性分析

许松乔，钟政

(大连理工大学土木建筑设计研究院有限公司，辽宁 大连 116023)

**摘要：**为全面系统比较分析现有各类人工护面块体的优劣，介绍代表性人工护面块体的发展，并分析了其稳定原理。归纳比较主流护面块体的稳定系数  $K_D$  和稳定数  $N_s$ ，用于评价块体稳定性；引入单位面积混凝土用量和块体数量，用于评价其经济性。在此基础上选取 6 种常见的人工护面块体，定量比较其稳定性和经济性。借鉴国外规范及最新研究成果对 JTS 154—2018《防波堤与护岸设计规范》(简称国标)中扭王字块的计算和使用要求提出建议。最终得出结论：常用人工护面块体稳定性及经济性的定量比较结果可供设计人员在比选护面块体方案时借鉴。对国标中扭王字块的使用提出几点完善建议，可使我国设计企业更好地接轨国外客户。

**关键词：**斜坡堤；护面；人工护面块体；护面块体稳定性；稳定系数  $K_D$ ；扭王字块

中图分类号：U 652.2+1

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)08-0001-08

## Characteristics of artificial armour units on mound breakwaters

XU Song-qiao, ZHONG Zheng

(The Design Institute of Civil Engineering & Architecture Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

**Abstract:** To comprehensively and systematically analyze the advantages and disadvantages of various existing artificial armour units, the development of representative artificial armour units is introduced, and the stability principle of armour units is analyzed. The stability coefficient  $K_D$  and stability number  $N_s$  of mainstream armour units are summarized and compared, which are used to evaluate the stability of blocks, and the amount of concrete per unit area and the number of blocks are introduced to evaluate their economy. On this basis, 6 common artificial armour blocks are selected, and their stability and economy are quantitatively compared. Meanwhile, based on foreign standards and results in the cutting edge of armour units, suggestions on calculation and usage requirements of Chinesepode recommended in JTS 154—2018 *Code of Design for Breakwaters and Revetments* are proposed. Finally, it is concluded that the quantitative comparison results of the stability and economy of the commonly used artificial armour units can be used for reference by designers when comparing and selecting armour units. We put forward some suggestions for the use of the Chinesepode in the national standard, so that Chinese design enterprises can better connect with foreign customers.

**Keywords:** mound breakwater; armour layer; artificial armour units; armour units stability; stability coefficient  $K_D$ ; Chinesepode

斜坡式抛石防波堤是港工领域较为常见的防护建筑物结构形式。起破浪消能作用的护面有块

石护面及人工混凝土块体护面，块石护面常常受限于取料问题(如块石尺寸及来源)，因此便于预

制、可批量生产的人工混凝土护面块体得到更为广泛的应用。

朴正等<sup>[1]</sup>、薛瑞龙等<sup>[2]</sup>分别讨论了人工护面块体的种类和发展；潘宝雄<sup>[3]</sup>、朴正等<sup>[4]</sup>介绍了护面人工块体稳定质量的计算方法；朱新宇等<sup>[5]</sup>对中英规范下护面块体稳定质量进行了对比；王昧等<sup>[6]</sup>比较了不同规范下护面稳定性计算的异同。已有研究较少涉及或仅片面地介绍各类人工块体稳定原理和经济性影响因素。

本文介绍了护面块体的种类及其发展历程，并归纳整理了常用护面块体的稳定原理和经济特性参数，比较各块体的优劣，结合国外最新研究成果对我国扭王字块的使用提出建议。

## 1 人工护面块体发展

随着海岸工程向深水方向发展，防波堤所处的水深越来越大，护面块体的质量也随之增大。自 20 世纪 50 年代以来，世界各国都在研制各种混凝土消浪块体。第一批护面块体基本以立方体为主，护面的整体稳定主要依赖其自身重力。

1950—1970 年，护面块体的研究不断尝试着增加块体稳定性以及空隙率，这期间诞生了很多种护面块体并主要以双层堆放为主。护面块体发展出更为复杂的形状，通过优化块体形状来使块体间成为嵌固结构，其稳定性主要依赖于块体自身重力和块体间的嵌固。这类主要依靠其自重和（或）嵌固来达到护面稳定的双层护面块体归为第 1 类护面块体。

在 1978 年葡萄牙 Sines 港防波堤破坏后，防波堤护面的安全设计理念也随之改变，这次事故表明：为获得块体间更好的嵌固效果而增大长细型块体体积的方法，会造成块体因自身

强度不足而发生损坏，进而导致护面层整体失稳。

1980 年之后，第 2 类单层护面块体 Accropode<sup>TM</sup>开始得到广泛应用，在随后的 20 年内成为全球主流人工护面块体。随后依照这一理念还产生了 Core-loc<sup>TM</sup> 和 Xbloc<sup>®</sup>。这类块体的特点为强健性好、嵌固性高、单层不规则堆放。

第 3 类护面块体的理念与前两种均不同，这类单层空心护面块体起源于 20 世纪 60 年代，与 Accropode<sup>TM</sup> 依靠自身重力和嵌固来保持护面层稳定不同，这类护面块体需要紧密地规则摆放，每一块都与周围块体紧密接触，并依靠块体间的摩擦力提供稳定性。主要代表有 Cob、Shed 和 Seabee。各类人工块体发展历史<sup>[7-8]</sup> 见表 1，特点及其分类见表 2。

表 1 各类人工块体发展历史

块体名称	发明国家	发明年份
Cube	-	-
Tetrapod	法国	1950
Tribar	美国	1958
Modified Cube	美国	1959
Stablit	英国	1961
Akmon	荷兰	1962
Tripod	荷兰	1962
Cob	英国	1969
Dolos	南非	1963
Antifer	法国	1973
Seabee	澳大利亚	1978
Accropode <sup>TM</sup>	法国	1980
Shed	英国	1982
Haro	比利时	1984
Core-loc <sup>TM</sup>	美国	1998
A-jack	美国	1998
Diahitis	爱尔兰	1998
Xbloc <sup>®</sup>	荷兰	2003

表2 各人工块体特点及其分类

堆放方式	堆放层数	主要稳定控制因素	图例			
自重	Cube					
双层	Tetrapod		Modified Cube		Antifer Cube	Haro
不规则安放	Akmon	自重和嵌固	Tribar	Stablit	Dolos	Tripod
单层	Accropode	嵌固	Core-loc	A-jack	X-bloc	
规则安放	Cob	单层	Diahitis	Seabee	Shed	
		摩擦				

注: Cube 和 Haro 也可以单层安放。

## 2 人工护面块体稳定质量计算参数

护面块体稳定质量在国际上主流计算公式为 Hudson 公式和 van der Meer 公式, 对块体质量的评价参数选取 Hudson 公式中的稳定系数  $K_D$  和 van der Meer 公式中的稳定数  $N_s = H_s / (\Delta D_{n50})$  来进行评价。

### 2.1 稳定系数 $K_D$

稳定系数是由 Hudson 公式提出的:

$$W_{50} = \frac{\rho_r g H^3}{K_D \Delta^3 \cot \alpha} \quad (1)$$

式中:  $W_{50}$  为护面块石稳定所需的重力中位数 (N);  $\rho_r$  为块石密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $H$  为设计波高 (m);  $K_D$  为块石稳定系数;  $\alpha$  为斜坡坡度;  $\Delta$  为块石与水的相对浮密度比,  $\Delta = \rho_r / (\rho_w - 1)$ ;  $\rho_w$  为水密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

人工护面块体稳定质量计算时也沿用这一公式, 针对不同人工块体, 通过模型试验得出相应的稳定系数  $K_D$  值。Hudson 公式因计算方法简单, 因此应用较广, 早期大多双层不规则块体都通过

试验得出块体的  $K_D$  值, 包括后期一些护面块体专利商在自己单层护面块体使用手册中也提供  $K_D$  值的建议值。

### 2.2 稳定数 $N_s$

另一个广泛应用于评价护面层稳定性的参数就是稳定数  $N_s$ , van der Meer 和很多其他学者在护面块体稳定性研究中都采用了  $N_s$ 。 $N_s$  给出了波高和护面结构尺寸之间的关系:

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_n} \quad (2)$$

式中:  $N_s$  为稳定数;  $H$  为设计波高 (m);  $D_n$  为人工护面块体的等效立方体边长 (m)。

### 2.3 各类人工护面块体稳定质量计算参数

除第 3 类块体是依靠彼此间摩擦力来达到护面层稳定外(如 Cob 等), 前两类人工护面块体稳定特性较为相近, 都可用稳定系数  $K_D$  或稳定数  $N_s$  来评价。护面块体稳定质量均为经验公式, 因此稳定特性评价也是基于前人所做的试验数据总结, 其稳定性评价参数见表 3。

表 3 人工护面块体稳定参数

块体名称	层数	稳定数 $N_s^{\text{①}}$				稳定系数 $K_D^{\text{②}}$				坡度 $cot\alpha$	说明
		堤身		堤头		堤身		堤头			
		非破碎波	破碎波	非破碎波	破碎波	非破碎波	破碎波	非破碎波	破碎波		
Cube	2	2.20	2.10	1.95	-	7.5	6.5	5.0	-	1.5	
		2.45	2.35	2.15	-	7.5	6.5	5.0	-	2.0	
		2.80	2.70	2.50	-	7.5	6.5	5.0	-	3.0	
Antifer Cube	2	2.50	2.40	-	-	8.0	7.0	-	-	2.0	
Tetrapod	2	2.30	2.20	2.10	1.95	8.0	7.0	6.0	5.0	1.5	
		2.50	2.40	2.20	2.10	8.0	7.0	5.5	4.5	2.0	
		2.90	2.75	2.30	2.20	8.0	7.0	4.0	3.5	3.0	
Tribar	2	2.50	2.40	2.30	-	10.0	9.0	9.0	8.3	1.5	
		2.70	2.60	2.50	2.50	10.0	9.0	8.5	7.8	2.0	
		3.10	3.00	2.70	2.60	10.0	9.0	6.5	6.0	3.0	
Dolos	2	2.70				12 <sup>②</sup>				1.5	$r=0.32^{\text{③}}$
		2.50				12 <sup>②</sup>				1.5	$r=0.34^{\text{③}}$
		2.30				8 <sup>②</sup>				1.5	$r=0.36^{\text{③}}$
Accropode <sup>TM</sup>	1	2.70	2.50	2.50	2.30	15.0	12.0	11.5	9.5	1.33	
Core-loc <sup>TM</sup>	1	2.80		2.60		16.0	13.0		1.33		
Xbloc <sup>®</sup>	1	2.77	2.60		16.0	13.0		1.33			

注: ① 表中数值主要引自 SPM、*The Rock Manual* 和 CEM; ② 试验所采用的宽高比不详; ③  $r$  为 Dolos 块的宽高比; ④ 数值参照专利商最新的产品手册进行了调整。

### 3 人工护面块体经济评价参数

影响人工护面块体的经济性有很多因素, 如块体预制成本及要求、堆存场地面积需求、运输方式、安放方式和效率等。本文主要选取块体个数和混凝土用量两个指标作为其经济性的评价因子。

根据岩石手册, 单位面积上混凝土块体数量计算公式如下:

$$N = \frac{\phi}{D_n^2} = \frac{\phi}{V^{2/3}} \quad (3)$$

$$V_c = NV \quad (4)$$

式中:  $N$  为单位面积护面块体数量 ( $\text{块}/\text{m}^2$ );  $\phi$  为堆积密度系数;  $D_n$  为护面块体的等效立方体边长 ( $\text{m}$ );  $V$  为护面块体体积 ( $\text{m}^3$ );  $V_c$  为单位面积护面块体混凝土用量 ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ )。常用护面块体堆积密度系数见表 4。

表 4 各类人工护面块体堆积密度系数

块体名称	层数	堆积密度系数 $\phi$
Cube	2	1.170
Antifer	2	1.115 <sup>[9]</sup>
Tetrapod	2	1.020
Dolos	2	0.830
Accropode <sup>TM</sup>	1	0.625~0.645
Core-loc <sup>TM</sup>	1	0.616~0.640
Xbloc <sup>®</sup>	1	0.578~0.579

### 4 各类人工护面块体比较

本文分别选取 3 种常见的双层和单层人工护面块体进行比较。

双层人工护面块体选取 Antifer、Tetrapod 和 Dolos; 单层人工护面块体选取 Accropode<sup>TM</sup>、Core-loc<sup>TM</sup> 和 Xbloc<sup>®</sup>。因块体外形不同, 可预制的最大尺寸会受到限制, 所选块体允许预制最大尺寸见表 5。其他计算条件为选取堤身非破碎波的工况, 护面块体密度为  $2.4 \text{ t/m}^3$ , 海水密度为  $1.03 \text{ t/m}^3$ , 斜坡面坡度为 1.5。

表 5 各类人工护面块体最大预制尺寸

块体名称	最大质量/t	最大体积/ $\text{m}^3$
Antifer	60	-
Tetrapod	30	-
Dolos	30*	-
Accropode <sup>TM</sup>	-	28
Core-loc <sup>TM</sup>	-	11
Xbloc <sup>®</sup>	-	20

注: \* 宽高比  $r=0.32$  时, 块体最大尺寸可做到 15 t;  $r=0.34$  时, 可做到 20 t;  $r=0.36$  时, 可做到 30 t。

#### 4.1 不同波浪条件下人工护面块体比较

选取不同波浪条件, 计算 6 种人工护面块体稳定质量, 见图 1。

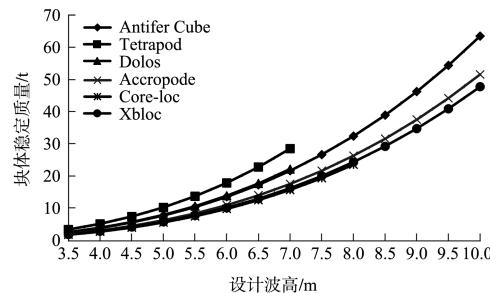


图1 不同波浪条件下护面块体稳定质量

由图1知, 在设计波高 $\leq 7\text{m}$ 时, 相同波浪条件下Tetrapod所需稳定质量最大, Core-loc<sup>TM</sup>所需稳定质量最小; 极端波浪条件时(波高为10 m)Antifer所需稳定质量最大, Xbloc<sup>®</sup>所需稳定质量最小。

不同波浪条件下, 计算6种人工护面块体单位面积混凝土用量, 见图2。

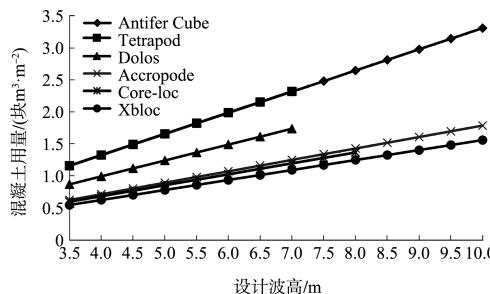


图2 不同波浪条件下护面块体单位面积混凝土用量

由图2知, 单位面积混凝土用量Antifer和Tetrapod最高, 基本为单层护面块体的1.8~2.1倍, 同为双层护面块体的Dolos却要比之少些, 为单层护面块体1.4倍左右。

不同波浪条件下, 计算6种人工护面块体单位面积护面块体数量, 见图3。

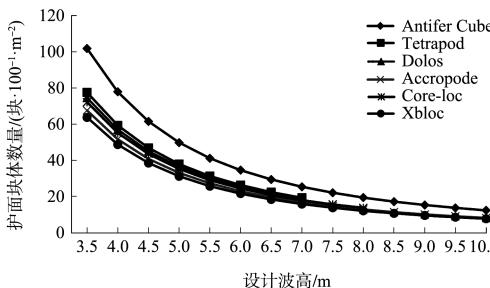


图3 不同波浪条件下护面块体单位面积堆放数量

由图3知, 同等波浪条件下, 单位面积护面块体个数Antifer最高, 约为其他块体的1.3~1.6倍。

#### 4.2 不同体积人工护面块体比较

护面块体实际预制时一般为固定体积, 下面

从固定块体体积的角度出发来进行比较。

不同体积护面块体所能抵御的波高见图4。

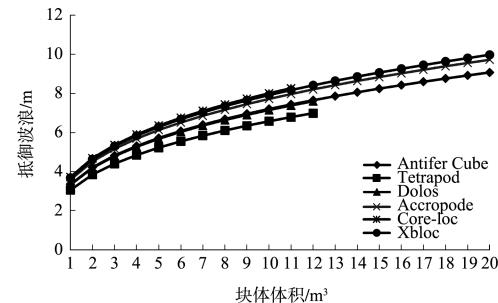


图4 不同体积护面块体所能抵御波浪

图4与图1所表现出的趋势基本一致, 相同体积下单层护面块体能抵御的波浪最大, 稳定性最好; 双层护面块体表现次之, 其中Tetrapod能抵御的波浪最小。

不同体积护面块体铺设时单位面积混凝土用量见图5。

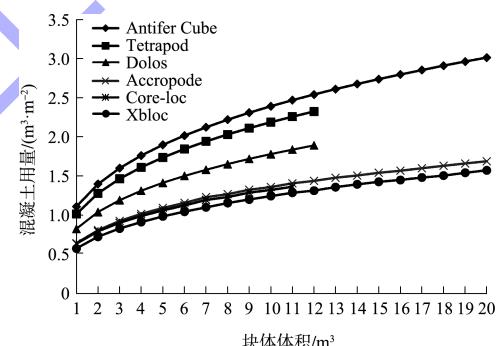


图5 不同体积护面块体单位面积混凝土用量

由图5知, 单层护面块体单位面积混凝土用量相近, 均远小于双层护面块体; 双层护面块体中Antifer消耗最高, Tetrapod次之, Dolos最小。

不同体积护面块体铺设时单位面积护面块体数量见图6。

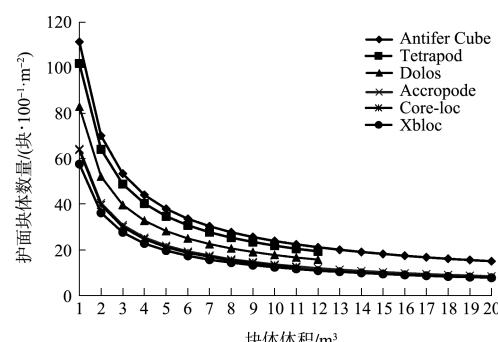


图6 不同体积护面块体单位面积混凝土数量

由图 6 知, 块体体积较小时, 混凝土块数较多, 施工安放不便, 这一趋势随着块体体积增大, 块数变化趋于平稳; 单层护面块体、Dolos 和另两种双层护面块体单位面积数量比约为 1:1.3:1.7。

#### 4.3 小结

将以上数据整理, 以 Accropode<sup>TM</sup> 为基准, 得出同一波高下护面块体所需质量、单位面积混凝土用量和块体数量的比值, 见表 6; 相同体积护面块体所能抵御波高、单位面积混凝土用量和块体数量的比值, 见表 7。

表 6 相同波浪条件护面块体比较

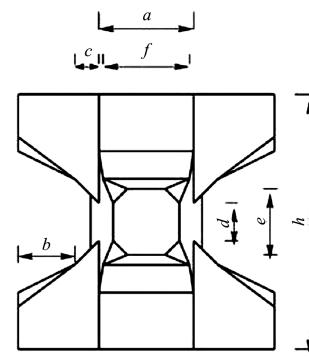
块体	所需稳定质量/%	单位面积混凝土量/%	单位面积数量/%
Antifer	123	185	151
Tetrapod	162	186	115
Dolos	126	139	110
Accropode <sup>TM</sup>	100	100	100
Core-loc <sup>TM</sup>	90	96	107
Xbloc <sup>®</sup>	93	87	94

表 7 相同体积护面块体比较

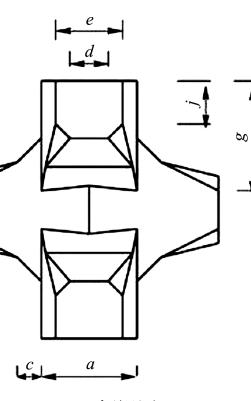
块体	所能抵御波高/%	单位面积混凝土量/%	单位面积数量/%
Antifer	93	176	176
Tetrapod	85	159	159
Dolos	93	130	130
Accropode <sup>TM</sup>	100	100	100
Core-loc <sup>TM</sup>	104	97	97
Xbloc <sup>®</sup>	103	91	91

#### 5 对国标中扭王字块的使用建议

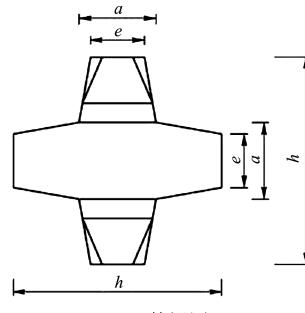
目前国标<sup>[10]</sup>推荐采用的块体有四角锥体(Tetrapod)、四脚空心方块、扭工字块(Dolos)和扭王字块(Chinesepode), 其中扭王字块应用最为广泛, 它的外形(图 7)及稳定特性与 Accropode<sup>TM</sup>较为相近。本文针对 Accropode<sup>TM</sup>和其他相似稳定原理的单层护面块体在国际规范及最新研究中的使用建议, 与扭王字块(Chinesepode)进行对比, 以期得到建设性意见。



a) 正视图



b) 侧视图



c) 俯视图

注:  $a = 0.370h$ ,  $b = 0.222h$ ,  $c = 0.093h$ ,  $d = 0.148h$ ,  $e = 0.259h$ ,  $f = 0.337h$ ,  $g = 0.426h$ ,  $j = 0.167h$ 。

图 7 扭王字块(Chinesepode)尺寸

#### 5.1 稳定系数选用

扭王字块(Chinesepode)与 Accropode<sup>TM</sup>的外形尺寸相近, 其抵御波浪的稳定原理一致。

国标护面块体稳定质量采用的 Hudson 公式, 扭王字块稳定系数  $K_D$  在 2018 版国标中考虑与国际接轨, 调整为 15~18。同样在波浪破碎区和堤头段块体质量也做了增大的调整, 分别为增加不少于 25% 和不少于 30%。国标与岩石手册中 Accropode<sup>TM</sup> 稳定系数对比见表 8。

表8 扭王字块与 Accropode<sup>TM</sup>稳定系数对比

位置	波浪情况	国标	岩石手册
堤身	非破碎	15.0~18.0	15.0
	破碎	12.0~14.4	12.0
堤头	非破碎	11.6~13.9	11.5
	破碎	9.2~11.1	9.5

由表8可知, 岩石手册中 Accropode<sup>TM</sup>的  $K_D$  值基本为国标扭王字块的下限值, 所以依此计算出的所需块体稳定质量大于等于国标计算值。

同时因单层嵌固型护面块体开始损坏(护面块体容许失稳率  $n=0\%$ )和破坏( $n>10\%$ )两种状态时的稳定数较接近, 稳定质量仅差约 1.26 倍, 因此稳定系数通常要留一些富余。

所以在国标要求护面块体容许失稳率为 0%的前提下, 建议  $K_D$  优先选取小值。

## 5.2 堤身坡度

扭王字块的稳定特性与 Accropode<sup>TM</sup>一样, 主要依靠嵌固性, 而嵌固型护面块体的稳定性并不随护面坡度的变缓而增加, 反而会减小。因此嵌固型护面块体一般不推荐应用于比 1:1.5 还缓的坡面。得出 Accropode<sup>TM</sup>块体稳定系数的模型试验中大多采用的是 1:1.33(4/3) 和 1:1.5 的坡度。

国标中表 4.2.9 中安放人工块体护面坡度范围为 1:1.25~1:2.0; 注②为“对于人工块体护面时的护面坡度不宜缓于 1:1.5”。建议将注②更改为“对于扭王字块的护面坡度不宜缓于 1:1.5”。

## 5.3 堤身透水性

现有研究中  $K_D$  值均是基于透水堤心材料的试验归纳出, 如果堤身透水性降低会使波能不易消耗, 导致护面层承受压力增大, 进而降低护面层的稳定性<sup>[11]</sup>。

岩石手册认为铺设土工布的堤心为非透水结构, 而且混凝土块体下垫层块石级配较大时也影响结构的透水性, 这两种情况均会导致护面层稳定性降低。

Xbloc<sup>®</sup> 概念设计指南中也提到, 低渗透堤心块体稳定质量应增大 1.5 倍, 非渗透堤心块稳定体质量应增大 2 倍。

国标中所列扭王字块  $K_D$  值与 Accropode<sup>TM</sup> 稳定

系数相近, 均归纳自透水结构的模型试验, 因此在计算非透水堤心结构的护面稳定时块体稳定质量偏危险。

建议国标增加块体稳定质量计算时  $K_D$  使用条件的限制, 如仅适用于透水堤心结构, 或通过物模试验结果合理增大非透水堤心的块体稳定质量。

## 5.4 不同护面块体间衔接

扭王字块作为嵌固型人工块体, 其稳定主要依赖于块体间的勾连, 因此在不同尺寸护面块体间和块体与块石护面间过渡时, 也应保持块体间的嵌固性。

CLI(Concrete layer Innovation)建议在过渡段应以平面上斜分 45°角的形式过渡两种护面, 保证 Accropode<sup>TM</sup> 块体仍互相勾连。

DMC(Delta Marine Consultants)在 Xbloc<sup>®</sup> 的概念设计指南中也提到过渡段应以对角线的形式放置, 并保证 Xbloc<sup>®</sup> 块体在下, 见图 8、9。



图 8 不同尺寸 Xbloc<sup>®</sup> 块体间过渡



图 9 Xbloc<sup>®</sup> 块体与块石间过渡

对扭王字块这类嵌固型护面块体过渡, 为保证块体间有效勾连, 建议在两种护面间遵循斜向 45°交错的形式铺设, 并保证块体和块石间以块体在下、不同尺寸块体间以大块体在下的形式过渡。

## 6 结论

1) 相同波浪条件下, 单层护面块体比双层块

体经济，其中四角锥体(Tetrapod)所需稳定质量最大，Core-loc<sup>TM</sup>最小；单位面积块体数量 Antifer 最多；混凝土用量双层护面块体约为单层的 1.4~1.8 倍；Xbloc<sup>®</sup>块体最为经济。

2) 相同体积人工块体，单层块体所能抵御的波高略高于双层块体；单位面积块体数量和混凝土用量以 Antifer 最高(相对比例为 176%)，其次为四角锥体(Tetrapod)、扭王字块(dolos)、扭王字块或 Accropode<sup>TM</sup>、Core-loc<sup>TM</sup>，Xbloc<sup>®</sup>最低为 91%。

3) 结合国际标准和扭王字块稳定原理，建议国标中扭王字块稳定质量计算留有富余，稳定系数优先取小值  $K_D = 15$ ；同时说明，在采用扭王字块护面时，护面坡度不宜缓于 1:1.5。

4) 国标中给出的稳定系数  $K_D$  值应注明适用于透水性好的防波堤或护岸结构，非透水堤心，如采用土工布防止填料流失的工程，在采用国标稳定系数  $K_D$  时，块体稳定质量偏危险。

5) 为保证嵌固型块体在过渡区仍较好地勾连，扭王字块不同尺寸间及与块石间过渡遵循斜向 45° 交错的形式铺设，并保证块体和块石间块体在下、不同尺寸块体间大块体在下。

## 参考文献：

- [1] 朴正, 马小舟, 董国海. 斜坡式建筑物上异形人工护面块体的发展及应用[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(7): 298-300.

- [2] 薛瑞龙, 王福强, 王玉平. 海外常用护面块体选型及设计[J]. 中国港湾建设, 2014(12): 42-46.
- [3] 潘宝雄. 波浪作用下护面块体稳定重量的探讨[J]. 水利水运科学研究, 1983(4): 82-95.
- [4] 朴正, 马小舟, 董国海. 斜坡式防波堤人工护面块体稳定重量计算公式研究[J]. 中国港湾建设, 2013, 19(3): 6-10, 70.
- [5] 朱新宇, 陈永红, 李鑫丹. 斜坡堤护面稳定重量计算中英规范对比分析[J]. 中国水运(下半月), 2019, 19(3): 212-214.
- [6] 王眯, 信书, 耿宝磊, 等. 中外港口规范对比研究 III: 防浪结构护面块体稳定性计算标准[J]. 水道港口, 2020, 41(3): 284-290.
- [7] CIRIA, CUR, CETMEF. The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering[M]. 2nd ed. London: CIRIA, 2007.
- [8] BAKKER P, VAN DEN BERGE A, HAKENBERG R, et al. Development of concrete breakwater armour units[C] // 1st Coastal Estuary and Offshore Engineering Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. Moncton: Canadian Society for Civil Engineering, 2003.
- [9] MEDINA J, PARDO V, MOLINES J, et al. Armor porosity and hydraulic stability of mound breakwaters[J]. Coastal engineering proceedings, 2014, 34(1): 1-11.
- [10] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 防波堤与护岸设计规范: JTS 154—2018[S]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2018.
- [11] 符成, 方波. Van der Meer 公式中渗透系数  $P$  的研究进展及应用[J]. 水运工程, 2018(7): 26-30, 58.

(本文编辑 武亚庆)

## · 消息 ·

### 雄安白洋淀三期工程通过验收

近日，天航局承建的白洋淀三期工程第一标段清淤工程、原位治理及生态修复工程、堤埝拆除 3 个分部工程通过验收。

工程位于雄安新区白洋淀藻苲淀淀头、小白洋淀两个片区，建设内容包括鱼塘治理、开阔水面治理、水道治理、堤埝拆除、塘水和余水处理等。

该项目在国内首次实现不扰动周边三类水质情况进行精准清淤。项目建成后，将逐步改善白洋淀水质，激活淀区水动力，助力打造“蓝绿交织、清新明亮、水城共荣”的生态雄安。