

# 高强嵌锁块挡墙结构内力稳定分析

吴华岗<sup>1</sup>, 翟光宁<sup>2</sup>, 刘 朗<sup>3</sup>

(1. 上海宏波工程咨询管理有限公司, 上海 201707; 2. 上海顶新工程规划设计有限公司, 上海 201315;  
3. 江苏省句容市水利局, 江苏 镇江 212400)

**摘要:**以塑料土工格栅和玻璃纤维土工格栅为研究对象,通过构建结构模型和地质模型,分析土压力、外部荷载,计算土工格栅的水平拉力、抗拔力,在满足水平拉力强度稳定和抗拔稳定的前提下,确定土工格栅合适的规格产品以及最短的铺设长度,旨在为高强嵌锁块挡墙结构在水利工程中的应用提供参考。

**关键词:**高强嵌锁块; 土工格栅; 内力稳定分析; 模型; 挡墙

**中图分类号:**TV212      **文献标识码:**B      **文章编号:**1007-7839(2020)07-0033-05

## Analysis on the internal force stability of high – strength interlocking block retaining wall structure

WU Huagang<sup>1</sup>, ZHAI Guangning<sup>2</sup>, LIU Lang<sup>3</sup>

(1. Shanghai Hongbo Project Management Co., Ltd., Shanghai 201707, China;  
2. Shanghai Dingxin Engineering Planning and Design Co., Ltd., Shanghai 201315, China;  
3. Jurong Water Conservancy Bureau, Zhenjiang 212400, China)

**Abstract:** Taking plastic geogrids and fiberglass geogrids as research objects, by constructing structural model and geological model, the earth pressure and external load were analyzed, and the horizontal tensile force and uplift force of the geogrid were calculated. Under the premise of satisfying the stability of horizontal tensile strength and uplift stability, the appropriate specifications of the geogrid and the shortest laying length were determined, which was hoped to provide reference and help for the application of high – strength interlocking block retaining wall structure in water conservancy projects.

**Key words:** high – strength interlocking block; geogrid; internal force stability analysis; model; retaining wall

高强嵌锁块挡墙结构是一种新型的柔性重力式挡土墙结构,主要依靠高强嵌锁块块体和土工格栅共同作用抵抗土压力和外部荷载,达到稳定的作用。高强嵌锁块挡墙结构因其结构柔性、造型美观、色彩多样、施工便捷、维护方便等特点,近年来,广泛用于河道护岸、园林景观、高速公路等,相比传统的混凝土和浆砌块石结构施工容易,并且环保美观,耐久、耐磨、耐腐蚀<sup>[1]</sup>。

## 1 研究对象

高强嵌锁块挡墙结构中块体之间的摩擦力是由块体的自重产生,然而块体宽度普遍在 0.3 m 左右,造成挡墙自重整体偏轻,这样就使得摩擦力从底部到顶部依次减小,当土压力增大或外部荷载加强,块体间的摩擦力很难抵抗墙后荷载。通过墙后铺设土工格栅,可以依靠土工格栅的拉伸强度抵抗

收稿日期:2020-04-29

作者简介:吴华岗(1984—),男,工程师,本科,主要从事水利水电工程设计工作。E-mail:1439793990@qq.com

墙后荷载,从而达到结构内力平衡的目的,所以土工格栅的自身性能成为结构内部稳定的关键,现在市场上土工格栅的种类繁多,价格高低不等。经调查,土工格栅可大致分为4种,分别为塑料土工格栅、玻璃纤维土工格栅、钢塑土工格栅、经编涤纶土工格栅。根据上海浦东新区的地质情况,同时结合工程实践经验和材料的经济性,本次选取塑料土工格栅和玻璃纤维土工格栅作为研究对象,主要分析土工格栅的水平拉力强度、抗拔强度以及铺设长度,以便选取符合要求的材质的土工格栅及其对应的产品规格<sup>[2]</sup>。高强嵌锁块挡墙结构见图1。

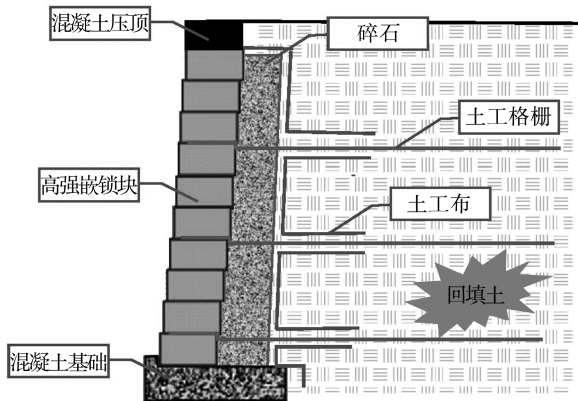


图1 高强嵌锁块挡墙结构示意

## 2 模型构建

### 2.1 结构模型

以上海市浦东新区中小河道为基础,建立高强嵌锁块挡墙结构模型。浦东新区规划最高水位为3.75 m,常水位为2.5~2.8 m,预降水位为2.00 m,根据相关规范要求确定中小河道工程等级最高为Ⅲ等工程,主要建筑物最高级别为3级水工建筑物,堤顶高程最高为4.2 m,可以确定高强嵌锁块挡墙结构压顶高程最高与堤顶高程一致。另外根据浦东新区中小河道的工程实践经验,为保证河道具有一定的绿化、景观效果,以及避免墙后土体因常水位变动造成的冲刷、坍塌,压顶高程普遍控制在3.2 m。水生植物不仅有净化水质的作用,还具有提升水景观的效果,同样根据工程实践经验,河道土平台高程普遍控制在2.0 m,因此挡墙结构基础顶高程以土平台高程为参照,高程控制在2.0 m。挡墙墙身底高程为2.0 m,压顶高程3.2~4.2 m,则挡墙结构模型高度为1.2~2.2 m。

高强嵌锁块规格较多,但普遍在400 mm×300 mm×150 mm左右,故本次计算研究选取400 mm×300 mm×150 mm的块体为标准。根据规

范要求,土工格栅的间距为墙体宽度的2倍,块体宽度300 mm,则土工格栅的间距为600 mm。经布置高度1.2 m挡墙结构背部铺设2层土工格栅,而高度2.2 m挡墙结构背部铺设4层土工格栅,所以土工格栅的层数为2~4层。见图2~3。

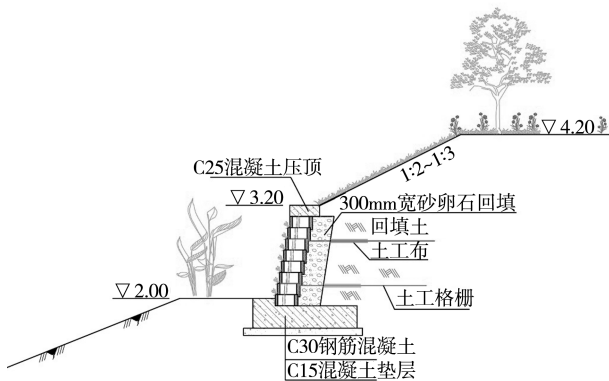


图2 1.2 m挡墙结构示意图

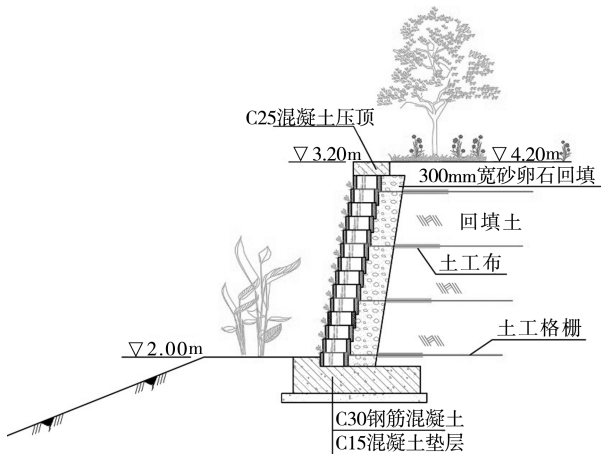


图3 2.2 m挡墙结构示意图

### 2.2 地质模型

浦东新区地势较为平坦,场地地貌单元属长江三角洲滨海平原。地质构造较为简单,20 m深度范围内地基土均属第四纪全新世( $Q_4$ )沉积物,主要由黏性土和粉性土组成。根据地基土沉积时代、成因及物理力学性质差异共分为4层,分别为第①层素填土、第②层粉质黏土、第③层淤泥质粉质黏土及第④层淤泥质黏土。各土层主要物理性质参数详见表1,工程性质分述如下:

第①层填土,结构松散,土质不均,自稳能力较差,强度较低,开挖易坍塌;

第②层粉质黏土,可塑~软塑状,土质相对较好,自稳能力较好,边坡稳定性较好;

第③层淤泥质粉质黏土和第④层淤泥质黏土,流塑状,土质软弱,强度低,自稳能力差,边坡稳定性差,且灵敏度高,土体具流变、触变特性,受扰动

后强度极易降低。

表1 土层主要物理性质参数表

层序	土层名称	重度	固结快剪峰值	
		$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	$C/\text{kPa}$	$\Phi/(^{\circ})$
②	粉质黏土	18.8	23	20.0
③	淤泥质粉质黏土	17.7	13	19.0
④	淤泥质黏土	16.8	10	12.5

由土层工程性质分析和物理性质参数可知,第②层粉质黏土稳定性强,黏聚力大,对挡墙形成的土压力较小,适合作为墙后回填土的材料,故选取第②层粉质黏土作为墙后回填土,而其物理性质参数作为土工格栅内力分析的指标。

### 2.3 土工格栅性能指标

土工格栅作为一种土工合成材料,在其性能指标当中拉伸强度是直接体现材料自身抵抗土压力一项标准,也是挡墙内部稳定的关键,所以本次内力分析研究的重点是分析土工格栅的拉伸强度与土压力的关系。而这次的研究对象塑料土工格栅和玻璃纤维土工格栅,又因材质和规格的不同,土工格栅又有不同的拉伸强度。根据规范可知,塑料土工格栅可分为聚丙烯单拉塑料格栅、高密度聚乙烯单拉格栅以及聚丙烯双拉塑料格栅,拉伸强度范围分别为35~200 kN/m,35~160 kN/m以及15~50 kN/m。玻璃纤维土工格栅呈网状,经(纬)向拉伸强度范围为30~150 kN/m<sup>[3]</sup>。

### 2.4 外部荷载

高强嵌锁块挡墙结构的外部荷载通常有两种工况,分别为运行期工况和施工期工况,其中运行期工况的外部荷载按防汛车辆考虑,一般以5 kN/m<sup>2</sup>计,施工期工况的外部荷载按施工机械考虑,一般以10 kN/m<sup>2</sup>计。本次内力分析考虑外部荷载时,按最不利工况计,即以10 kN/m<sup>2</sup>计。

## 3 内力稳定分析计算

在已建立的挡墙结构模型和地质模型的基础上,研究土工格栅在不同材质、不同规格的情况下,是否可以抵抗墙后土压力和外部荷载,其中主要影响因素包含挡墙的高度,墙后土工格栅的层数以及最小拉伸强度。本次内力稳定分析,首先进行水平拉力强度分析和抗拔强度分析。然后确定土工格栅的铺设长度,具体见图4~5。

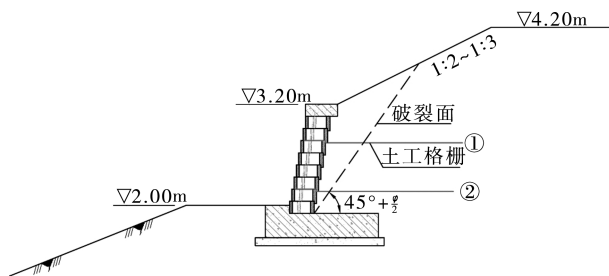


图4 1.2 m挡墙土工格栅分层以及破裂面示意图

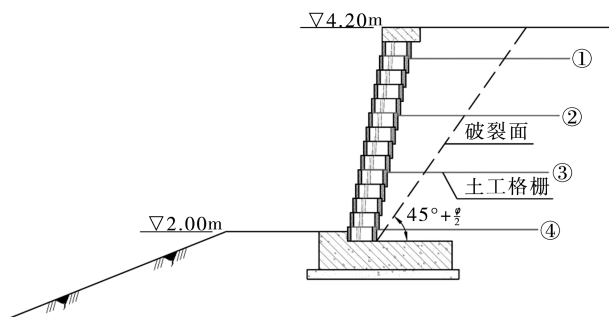


图5 2.2 m挡墙土工格栅分层以及破裂面示意图

### 3.1 土工格栅水平拉力强度分析

通过模型构建,在已确定的挡墙结构高度,土工格栅的层数和性能指标、土层物理性质参数以及外部荷载等基础上,土工格栅水平拉力强度采用《土工合成材料应用技术规范》的有关公式进行计算,计算结果详见表2。

$$T_i = [(\sigma_{vi} + \sum \Delta \sigma_{vi}) K_a + \Delta \sigma_{hi}] s_{vi} / A_r \quad (1)$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (2)$$

$$T_a / T_i \geq 1 \quad (3)$$

式中, $T_i$ 为第*i*层土工格栅所受水平拉力,kN/m; $T_a$ 为土工格栅的允许抗拉强度,kN/m,塑料土工格栅按最小拉伸强度计,即15 kN/m,玻璃纤维土工格栅按最小拉伸强度计,即30 kN/m; $\sigma_{vi}$ 为第*i*层土工格栅所受土的垂直自重压力,kPa; $\sum \Delta \sigma_{vi}$ 为超载引起的垂直附加压力,kPa; $\Delta \sigma_{hi}$ 为水平附加荷载,kPa; $A_r$ 为土工格栅面积覆盖率,取1; $s_{vi}$ 为土工格栅垂直间距,m。

根据表2可知,由于土工格栅水平强度的抗拉允许值不小于1,所以在土工格栅的材质和规格选择上,应选择拉伸强度 $\geq 30$  kN/m的产品,其中塑料土工格栅中的聚丙烯单拉塑料格栅、高密度聚乙烯单拉格栅以及玻璃纤维土工格栅的最小拉伸强度均 $\geq 30$  kN/m,满足抗拉允许值的要求。而聚丙烯双拉塑料格栅则应选择规格TGSG3030以上的产品,即拉伸强度 $\geq 30$  kN/m的产品。

表 2 土工格栅水平拉力强度分析表

挡墙高度	层序	$T_i/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	塑料土工格栅		玻璃纤维土工格栅	
			$T_a/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	安全系数	$T_a/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	安全系数
1.2 m	①	26.74	15.00	0.56	30.00	1.12
	②	20.78	15.00	0.72	30.00	1.44
2.2 m	①	12.26	15.00	1.22	30.00	2.45
	②	12.10	15.00	1.24	30.00	2.48
	③	16.83	15.00	0.89	30.00	1.78
	④	21.57	15.00	0.70	30.00	1.39

3.2 抗拔稳定分析

根据土工格栅水平拉力强度计算结果可知,每层土工格栅所受的水平拉力值,再依据《土工合成材料应用技术规范》的有关公式,可计算出土工格栅的抗拔稳定安全系数,计算结果详见表 3。

$$T_{pi}=2\sigma_{vi}BL_{ei}f \tag{4}$$

$$T_{pi}/T_i\geqslant 1.5 \tag{5}$$

式中, $T_{pi}$ 为第*i*层土工格栅抗拔力,kN/m; $B$ 为土工格栅宽度,m,满堂铺时, $B=1$ ;  $L_{ei}$ 为第*i*层破裂面以外的土工格栅长度,最小不得小于 1 m; $f$ 为土工格栅与土的摩擦系数,取 0.5。

外的每层土工格栅的最小长度,再依据《土工合成材料应用技术规范》的有关公式,可计算出每层土工格栅铺设长度,计算结果详见表 4。

$$L_i=L_{oi}+L_{ei}+L_{wi} \tag{6}$$

式中, $L_i$ 为第*i*层土工格栅最小长度,m; $L_{oi}$ 为第*i*层破裂面以内长度,m; $L_{wi}$ 为土工格栅与墙面连接所需长度,取 0.3 m。

根据表 4 可知,挡墙高度越高,土工格栅的铺设长度就越长。结合工程实践经验,同时考虑加强土工格栅的抗拔稳定,第②~④层土工格栅最小长度可按 2 m 控制,第①层土工格栅最小长度可控制

表 3 土工格栅抗拔稳定分析结果

挡墙高度	层序	$\sigma_{vi}/\text{kN}$	$L_{ei}/\text{m}$	$T_{pi}/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	$T_i/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	安全系数
1.2 m	①	28.20	1.50	42.30	26.74	1.58
	②	39.48	1.00	39.48	20.78	1.90
2.2 m	①	7.52	2.50	18.80	12.26	1.53
	②	18.80	1.00	18.80	12.10	1.55
	③	30.08	1.00	30.08	16.83	1.79
	④	41.36	1.00	41.36	21.57	1.92

根据表 3 可知,当墙后回填土重度以及摩擦系数等因素不变的情况下,破裂面以外的土工格栅长度越长,抗拔稳定系数越高,另外考虑材料的经济性,第②~④层土工格栅长度按最小长度控制,即  $L_{ei}=1$  m。而第①层土工格栅为满足抗拔稳定, $L_{ei}$ 可控制在 1.5~2.5 m。

3.3 土工格栅铺设长度分析

根据土工格栅抗拔稳定分析结果可知,裂面以

在 2.5~4.0 m。

4 其他稳定措施

4.1 锚固棒

高强嵌锁块建议选择自带预留孔的块体,利用锚固棒使上下块体形成一个整体,起到连接、固定的作用。锚固棒一般采用橡胶材质,这样墙体就具有了一定的柔性和韧性。锚固棒插入孔内的同时,

表 4 土工格栅铺设长度分析表

挡墙高度	层序	$L_{oi}/\text{m}$	$L_{ei}/\text{m}$	$L_{wi}/\text{m}$	$L_i/\text{m}$
1.2 m	①	0.47	1.50	0.30	2.27
	②	0.16	1.00	0.30	1.46
2.2 m	①	1.01	2.50	0.30	3.81
	②	0.70	1.00	0.30	2.00
	③	0.39	1.00	0.30	1.69
	④	0.09	1.00	0.30	1.39

从土工格栅的缝隙穿过,不仅可以固定土工格栅,增加抗剪强度,还可以防止墙后土体回填或压实过程中,土工格栅从块体间抽出,达到保证施工质量,减少偏差目的。见图 6。

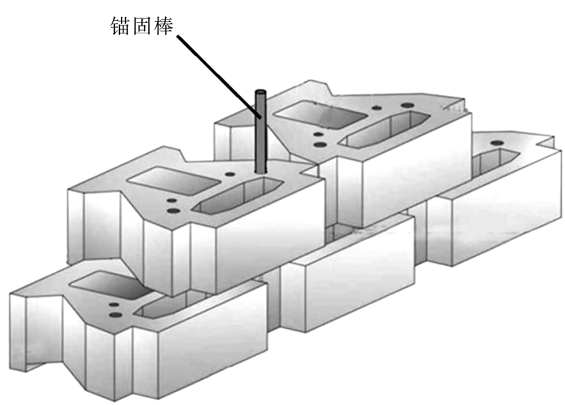


图 6 锚固棒示意图

4.2 碎石或砂卵石回填

墙后采用碎石或砂卵石回填,并铺设土工布。不仅可以起到排水、反滤的作用,而且在土压力或外部荷载的作用下,碎石或砂卵石层会自我调节适应变形,增加抗剪强度,抵消部分荷载,起到缓冲作用,使墙体结构不易被毁坏。根据工程实践经验,碎石或砂卵石回填宽度一般控制 0.3 m。

5 结 语

通过建立结构模型和地质模型,分析在土压力

和外部荷载作用下,土工格栅所受水平拉力的受力范围,满足抗拉允许值,选择符合要求的土工格栅产品。所以采用塑料土工格栅和玻璃纤维土工格栅作为墙后筋体材料时,应选用拉伸强度  $\geq 30 \text{ kN/m}$  的规格产品。在抗拔稳定分析中,满足抗拔稳定允许值后,便可计算出破裂面以外的土工格栅最小长度,从而确定土工格栅最小铺设长度,结合工程实践经验,除第①层外土工格栅最小长度可按 2 m 铺设。另外还可以通过设置锚固棒和碎石或砂卵石回填等措施,增强挡墙的抗剪强度。这样内外结合,多措并举,使得结构更加稳定,也便于高强嵌锁块挡墙结构广泛应用<sup>[4]</sup>。

参考文献:

[1] 单联君. 加筋土挡墙在河涌护岸工程中的应用[J]. 市政技术, 2010(3):147-149.  
[2] 贾存科,袁凯. 铺设土工格栅工艺的应用与发展[J]. 中国水运, 2014(5):377-378.  
[3] 胡发亭,信春玲,郭奕崇. 塑料土工格栅的特性及其在土木工程中的应用[J]. 工程塑料应用, 2002(1): 33-35.  
[4] 孙巧云. 论土工格栅及其在公路工程中的应用[J]. 交通标准, 2013(6):32-34.