

中国工程建设协会标准

## 生态混凝土应用技术规程

Technical specification for application of  
ecological concrete

**CECS 361 : 2013**

主编单位：上海嘉洁生态科技有限公司  
北京万澎科技有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 1 4 年 4 月 1 日

中国计划出版社

2013 北 京

# 中国工程建设标准化协会公告

第 157 号

## 关于发布《生态混凝土应用技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2012 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2012〕57 号)的要求,由上海嘉洁生态科技有限公司、北京万澎科技有限公司等单位制订的《生态混凝土应用技术规程》,经本协会组织审查,现批准发布,编号为 CECS 361:2013,自 2014 年 4 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会  
二〇一三年十二月二十五日

### 中国工程建设协会标准 生态混凝土应用技术规程

CECS 361:2013

☆

中国计划出版社出版

网址:www.jhpress.com

地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码:100038 电话:(010)63906433(发行部)

新华书店北京发行所发行

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 2.25 印张 53 千字

2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—5080 册

☆

统一书号:1580242·247

定价:22.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话:(010)63906404

如有印装质量问题,请寄本社出版部调换

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2012 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2012〕57 号)的要求,制定本规程。

本规程共分 6 章和 5 个附录,主要内容包括:总则、术语、材料、设计、施工、质量检验及评定。

根据原国家计委计标〔1986〕1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,推荐给工程建设设计、施工等使用单位和工程技术人员采用。

本规程由中国工程建设标准化协会归口管理并负责解释(北京市海淀区三里河路 9 号,邮政编码:100835)。在使用中如发现需要修改和补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

**主 编 单 位:** 上海嘉洁生态科技有限公司

北京万澎科技有限公司

**参 编 单 位:** 吉林省水利科学研究院

中国水利水电科学研究院

上海市水利工程设计研究院有限公司

珠江委水利科学院水资源所

河北省水利水电勘测设计研究院

大连理工大学水利工程学院

中国农业大学水利与土木工程学院

水利部科技推广中心

**主要起草人:** 杨卫平 窦以松 董建伟 姚秋萍 季永兴

崔树彬 张晓辉 韩连超 贾艾晨 孙景亮

齐莹 陈梁擎 李少明 裴宇波  
主要审查人:王浩 茆智 肖新民 杨培岭 金兆森  
杨开林 黎保琨 李复兴 胡孟

## 目次

1	总 则	( 1 )
2	术 语	( 2 )
3	材 料	( 3 )
3.1	骨料	( 3 )
3.2	水泥	( 3 )
3.3	添加剂	( 3 )
4	设 计	( 5 )
4.1	一般规定	( 5 )
4.2	设计标准	( 6 )
4.3	坡式结构设计	( 6 )
4.4	墙式结构设计	( 7 )
5	施 工	( 9 )
5.1	生态混凝土配制	( 9 )
5.2	坡式结构施工	( 9 )
5.3	墙式结构施工	( 13 )
5.4	植物种植及养护	( 14 )
6	质量检验与评定	( 16 )
6.1	一般规定	( 16 )
6.2	试验与检测	( 17 )
6.3	坡式结构检验评定	( 17 )
6.4	墙式结构检验评定	( 22 )
6.5	质量评定及验收	( 23 )
附录 A	常用植物品种	( 24 )
附录 B	坡式结构计算	( 26 )

附录 C 墙式结构计算 .....	( 30 )
附录 D 生态混凝土生态孔径检测 .....	( 33 )
附录 E 质量检验评定表 .....	( 35 )
本规程用词说明 .....	( 40 )
引用标准名录 .....	( 41 )
附:条文说明 .....	( 43 )

## Contents

1 General provisions .....	( 1 )
2 Terms .....	( 2 )
3 Material .....	( 3 )
3.1 Aggregate .....	( 3 )
3.2 Cement .....	( 3 )
3.3 Additive .....	( 3 )
4 Design .....	( 5 )
4.1 General requirements .....	( 5 )
4.2 Design standards .....	( 6 )
4.3 Sloping structure design .....	( 6 )
4.4 Wall structure design .....	( 7 )
5 Construction .....	( 9 )
5.1 Ecological concrete preparation .....	( 9 )
5.2 Sloping structure construction .....	( 9 )
5.3 Wall structure construction .....	( 13 )
5.4 Plant cultivation and conservation .....	( 14 )
6 Quality inspection and evaluation .....	( 16 )
6.1 General requirements .....	( 16 )
6.2 Test and inspection .....	( 17 )
6.3 Inspection and evaluation of sloping structure .....	( 17 )
6.4 Inspection and evaluation of wall structure .....	( 22 )
6.5 Quality evaluation and acceptance .....	( 23 )
Appendix A Common plant varieties .....	( 24 )
Appendix B Sloping structure calculation .....	( 26 )

Appendix C	Wall structure calculation .....	(30)
Appendix D	Ecological opening size inspection of ecological concrete .....	(33)
Appendix E	Quality inspection and evaluation chart .....	(35)
	Explanation of wording in this specification .....	(40)
	List of quoted standards .....	(41)
	Addition; Explanation of provisions .....	(43)

## 1 总 则

**1.0.1** 为规范生态混凝土技术应用,做到技术先进、安全可靠、经济合理、确保工程质量、促进生态恢复,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于水利、公路、铁路、水运、环保等工程中以生态混凝土为材料的护坡、护岸及其他生态修复工程的选材、设计、施工及验收。

**1.0.3** 生态混凝土护坡、护岸及其他生态修复工程,除应执行本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 生态混凝土 ecological concrete

一种由骨料、水泥和添加功能性添加剂组成,采用特殊工艺制做,具有生态系统基本功能,满足生物生存要求的多孔混凝土。

### 2.0.2 生态孔径 ecological opening size

生态混凝土中能满足植物根系生长和小型动物生存要求的表观孔径。

### 2.0.3 生态空隙率 ecological void rate

生态混凝土骨料间的空隙体积与生态混凝土的体积之比。

### 2.0.4 盐碱改良材料 saline concrete restoration material

由多种有机材料、无机材料和活性材料经特殊工艺制成,可改善多孔混凝土空隙内盐碱性水环境,长期为植物生长提供必需元素和生长激素,而又不破坏混凝土稳定性、耐久性的材料。

### 2.0.5 营养基 nutritive base material

能提供植物生长必需元素,具有缓冲肥料和酸碱度波动的能力,且具有较高的生物活性和生理刺激作用的天然或人工材料。

## 3 材 料

### 3.1 骨 料

3.1.1 生态混凝土的骨料应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的要求。

3.1.2 生态混凝土的骨料宜采用单级配,粒径宜控制在 20mm~40mm 之间。针片状颗粒含量不宜大于 15%,逊径率不宜大于 10%,含泥(粉)总量不宜大于 1%。

### 3.2 水 泥

3.2.1 生态混凝土应采用通用硅酸盐水泥作为胶凝材料,包括硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥。采用其他胶凝材料应进行科学试验及论证。

3.2.2 采用通用硅酸盐水泥时,应满足现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的要求。

### 3.3 添 加 剂

3.3.1 制作用于水上护坡、护岸的生态混凝土,空隙内应添加盐碱改良材料,以改善空隙内生物生存环境。盐碱改良材料应具有下列功能:

- 1 不破坏维持混凝土稳定性、耐久性的碱性环境;
- 2 避免混凝土析出的盐碱性物质对生态系统的不良影响。

3.3.2 用于水上护坡、护岸的生态混凝土宜添加缓释肥,或通过盐碱改良材料与混凝土析出物相互作用提供植物生长必需元素。

3.3.3 对有抗冻融要求的地区,制作生态混凝土时应添加引气减

水剂,提高抗冻融能力。

3.3.4 当需进一步提高生态混凝土抗压强度时,可在拌和时加入减水剂或环氧树脂、丙乳等聚合物粘合剂。

## 4 设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 生态混凝土及其制品应通过骨料粒径的控制,保证骨料间有合理的生态孔径和空隙率,具有生态系统的基本功能,并应符合下列规定:

1 在工程性能方面:重度不应小于  $1800\text{kg/m}^3$ ,抗压强度不应小于  $5\text{MPa}$ ,饱和冻融循环(快冻)不应小于 50 次;

2 在生态性能方面:空隙率宜为  $25\%\sim 30\%$ ,穿透生态混凝土试验件的标准砂量不应少于  $50\%$ ;用于水上护坡、护岸时,人工培养基有效期不应小于 5 年,一次播种绿化年限不应小于 5 年,绿化覆盖率不应小于  $95\%$ 、成活率不宜小于  $90\%$ 。

4.1.2 用于水上护坡、护岸时,生态混凝土防护表面覆土厚度不宜大于  $20\text{mm}$ 。

4.1.3 营造生态混凝土表面植被时,可根据工程位置、绿化要求,选择适合本地区生长的一种或几种缓青期、枯黄期不同的草籽进行混播。植物品种可按附录 A 选用。

4.1.4 采用生态混凝土的防护结构形式应根据地形、地质、水流等条件,以及工程特点、生态系统功能要求等选定,其结构应满足安全、抗冲刷、抗风浪等性能,同时应便于施工、维护和生态作业。

4.1.5 常用的生态混凝土防护结构形式可为分坡式防护结构和墙式防护结构两类。

4.1.6 采用生态混凝土的防护结构应根据工程特性、生态修复及景观建设要求,选择适宜的防护结构营养基质。当防护结构基质营养物质不足,而绿化要求较高或植物需保持长期提供营养成分时,宜选择设置人工培养基。



4.1.7 生态混凝土自身应具有一定的反滤能力。反滤能力可按下式估算：

$$D/d_{50} = 9 \sim 20$$

式中： $D$ ——生态混凝土骨料平均粒径；

$d_{50}$ ——被保护土特征粒径。

当被保护土特征粒径较小时，应根据防护土体特征粒径，按现行行业标准《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》SL/T 225 的要求，在护坡结构下部设置土工布反滤层。

4.1.8 季节性寒冷地区的防护设计应考虑冻融、冻胀作用。对临水边坡应考虑冰推力对防护结构的影响。具体设计应按现行行业标准《水工建筑物抗冰冻设计规范》SL 211 的规定执行。

4.1.9 在存在季节性冰推、冰冻的防护面上，不宜采用生态混凝土进行防护。

## 4.2 设计标准

4.2.1 采用生态混凝土的防护工程，其防洪标准、级别及安全加高值应根据其所在建筑物的级别和重要性，按现行国家标准《防洪标准》GB 50201 及相关行业标准确定。

4.2.2 2 级～4 级的生态混凝土墙式防护结构可提高一级设计。

4.2.3 生态混凝土防护结构的抗滑稳定安全系数，应按各行业相关标准，根据防护坡体的特征确定。生态混凝土墙式防护结构，不论其级别，基本荷载组合条件下的抗滑稳定安全系数不应小于 1.40，特殊荷载组合条件下的抗滑稳定安全系数不应小于 1.30。

## 4.3 坡式结构设计

4.3.1 采用生态混凝土进行防护的边坡应保持自身稳定，根据地质勘察结论确定土坡稳定坡比。土体的填筑密度应符合水利、公路、铁路、水运、环保等行业标准的相关规定。

4.3.2 生态混凝土坡式结构分为预制和现浇两种基本形式。

1 预制生态混凝土坡式结构可采用预制生态混凝土块体，或者采用普通混凝土外框内填筑生态混凝土构成的复合块体。采用普通混凝土外框的，其外框混凝土抗压强度不应低于 C20，季节性寒冷地区冻融循环（快冻）次数不应少于 50 次。

2 现浇生态混凝土坡式结构宜根据地形、地质、防护要求采用混凝土框格、土工格室、木隔板等进行分仓浇筑。

3 生态混凝土坡式结构的厚度、预制块体大小应综合设备、制造和安装能力，以及防护工程的安全要求，按附录 B 计算确定。

4.3.3 生态混凝土护坡结构下部应根据防护土体性能设置反滤层。用于水上防护时，宜采用营养土工布。营养土工布应具有可靠反滤和长期为植物提供主要必需元素的作用。

4.3.4 生态混凝土护坡结构的堤脚、戕台或消浪平台两侧均应设置基座，基础应埋置到安全的深度。坡顶应设置封顶。

4.3.5 用于水下防护时，其基础埋置深度应在最大冲刷深度之下，并按现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的规定设置护脚。

4.3.6 生态混凝土坡式结构的护岸整体稳定验算可分为：护岸及岸坡基础土的整体滑动；沿生态混凝土护坡底面的滑动。护岸及岸坡基础土的整体滑动可用瑞典圆弧滑动法计算，沿生态混凝土护坡底面的滑动可简化成沿护坡底面通过堤基的折线整体滑动，计算方法按附录 B 执行。

## 4.4 墙式结构设计

4.4.1 生态混凝土墙式防护结构可采用咬合式预制生态混凝土块体垒砌，或采用预制混凝土外箱内填生态混凝土，形成复合式生态混凝土构件挡墙结构。预制块体或箱式块体大小应根据防护工程的安全要求，综合设备、制造和安装能力合理确定。

4.4.2 预制生态混凝土块体强度应满足设计要求。采用普通混凝土外框的箱体，其混凝土强度不应低于 C20，在季节性寒冷地区

冻融循环(快冻)次数不应少于 50 次。

4.4.3 生态混凝土墙式防护结构的被防护土体应根据稳定要求设置加筋措施。加筋带层间距及加筋带长度应根据整体稳定和内部稳定要求确定。

4.4.4 生态混凝土墙式防护结构与土体接触部位应设置反滤层,或者在预制箱式构件内部在植物根系能及范围内填充营养基和反滤隔层。

4.4.5 生态混凝土墙式防护结构的墙高应满足安全和稳定防护要求,并应考虑施工期累计沉降,预留沉降量宜为设计墙高的 3%~5%。

4.4.6 生态混凝土墙式防护结构顶部宜设置混凝土压顶,底部宜设置浆砌石或混凝土基础。基础埋置深度应综合地形、地质、冲刷深度等因素确定,同时还应满足地基稳定要求。软弱地基应进行地基加固处理。

4.4.7 生态混凝土墙式防护结构墙后宜在一定范围内回填砂性土或砂砾石作为反滤层;其余加筋带上的回填土料应达到水利、公路、铁路、水运、环保等各行业规范要求的压实度。

4.4.8 生态混凝土墙式防护结构应同时满足外部整体稳定和内部稳定要求。外部整体稳定安全系数应符合现行相关行业标准的要求,可采用瑞典圆弧滑动法。内部稳定计算可按附录 C 计算,并验算挡墙块体应力。

## 5 施 工

### 5.1 生态混凝土配制

5.1.1 生态混凝土的配合比应符合下列规定:

1 生态混凝土的骨料品种和粒径、水灰比,应满足防护安全要求和构建不同生态系统的需要。

2 骨料粒径宜为 20mm~40mm,水泥用量宜为  $280\text{kg}/\text{m}^3 \sim 320\text{kg}/\text{m}^3$ ,水灰比不宜大于 0.5,必要时应加入减水剂。

3 采用碎石或砾石作为骨料的生态混凝土,其抗压强度不应小于 5MPa。

4 盐碱改良材料用量应根据营养基和盐碱改良材料的性能综合确定,确保植物一次播种绿化年限不应少于 5 年。

5.1.2 生态混凝土的配制应符合下列规定:

1 生态混凝土的拌和宜采取两次加水方式,即先将骨料倒入搅拌设备中,加入水灰比用水量的 50%,使骨料表面湿润,再加入水泥进行搅拌混合;然后陆续加入配合比水灰比用水量的 50%继续进行搅拌,以骨料被水泥浆充分包裹、表面无流淌为度。

2 生态混凝土在运送途中,应避免阳光暴晒、风吹、雨淋,防止形成表面初凝或脱浆。如有表面初凝现象,应进行人工拌和,符合要求后方可入仓。

### 5.2 坡式结构施工

5.2.1 坡式结构清基及修坡应符合下列规定:

1 坡式结构施工前应进行清基和修坡处理,不得有树根、杂草、垃圾、废渣、洞穴及粒径 50mm 以上的土块。

2 坡面应平整,无软基,坡面修整的坡比、表面压实度应满足

设计要求和生态修复要求。

3 修整后的坡面无天然可耕作表土时,应根据设计要求,覆盖适合植物生长的土料。

4 对清除的表土应外运至弃土场,不得重新用于填筑边坡;对可利用的种植土料宜进行集中和贮备,并采取防护措施。

#### 5.2.2 种植土料贮备应符合下列规定:

1 种植土料体积(含盐碱改良材料配合土)应满足下式要求:

$$V_m \geq (ph_c + \delta) \times S \quad (5.2.2)$$

式中: $V_m$ ——种植土料体积,含水率不得大于20%;

$p$ ——生态混凝土的生态孔隙率;

$h_c$ ——生态混凝土护坡厚度;

$\delta$ ——表面覆土厚度,不宜大于20mm;

$S$ ——可种植的坡面面积。

2 对种植土料应进行必要的筛分,去除乱石、树根、块状黏土等,不得有建筑垃圾等杂物。

#### 5.2.3 营养土工布铺设应符合下列规定:

1 采用营养土工布作为营养基和反滤层时,铺设要求和连接方式应按现行行业标准《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》SL/T 225 的规定执行;

2 铺设营养土工布作为反滤层时,营养层应在上侧,反滤层应在底侧;

3 营养土工布应遮光保护,施工时应避免被阳光长时间照射,防止老化;

4 营养土工布铺设宜采用8#铁丝制成的U形钉将其固定在坡面上,防止滑移;

5 施工人员应穿软底鞋进行铺设,并严禁吸烟。

#### 5.2.4 预制生态混凝土构件铺设应符合下列规定:

1 预制生态混凝土块体或混凝土外框内填生态混凝土构件,应采用专用的构件成型机一次浇筑成型。

2 构件铺设时应整齐摆放,确保平整、稳定;缝隙应紧密、规则,间隙不宜大于4mm;相邻构件边沿宜无错位,相对高差不宜大于3mm。

3 在整体护砌面铺设后四周空缺处,应采用相应几何形状的半块构件或生态混凝土现浇补充。

4 当遇到坡面局部不平整时,可于铺设构件前,在营养型无纺布表面用土找平或夯平。

5 搬运、摆放时应避免磕碰、摔打、撞击,铺设时严禁采用砸、踩、摔等方式找平。

#### 5.2.5 现场浇筑生态混凝土应符合下列规定:

1 现场浇筑生态混凝土应根据设计的分仓形式先进行分仓施工。

2 浇筑生态混凝土前应预先在底面铺设一层小粒径碎石。

3 生态混凝土进入框架、格室内后,应及时平整,可采用微型电动抹具压平或人工压实表面,保证与框架梁或格室紧密结合,不宜采用大功率振捣器进行振捣。

4 生态混凝土浇筑厚度应满足设计要求,浇筑作业时间不宜过长,以避免骨料表面风干。

5 采用土工格室分仓时,土工格室的边长、高度、厚度应符合设计要求,并用木桩或铁桩进行张拉和固定(含高度控制);生态混凝土浇入格室时应在格室两侧同时进料,防止格室变形。

#### 5.2.6 生态混凝土生态孔隙填充应符合下列要求:

1 填充前应按生态混凝土盐碱改性要求和营养供应要求配制好填充材料,并摊铺在生态混凝土表面,厚度为生态混凝土厚度的25%~30%;

2 生态孔隙填充方式可视具体情况选用下列方法:

1) 吹填法:用空气压缩机、吹风机吹填,吹填时应减少飞溅量,以充填材料无法继续吹入为度;

2) 水填法:采用低水压喷水,使填充材料随水流注入生态

孔隙内。水量不宜过大,避免水流将填充材料流走;

3) 振填法:生态混凝土预制构件可采用振填方法。可采用微型平板振动器振动构件外沿,使填充材料沉入生态孔径内。

5.2.7 生态混凝土表面种植土回填应符合下列规定:

1 生态混凝土表面回填种植土应采用可耕作的土料;

2 回填种植土前应在基面撒一层土,然后在生态混凝土基面施用  $15\text{g}/\text{m}^2 \sim 20\text{g}/\text{m}^2$  的速效底肥。速效底肥宜采用磷酸氢二铵、尿素等氮肥;

3 回填土料含水率不应小于 15%,土料过干时,可在回填后的土料表面喷洒少量水;

4 回填土时可人工摊平并轻压,摊平后的土料平均厚度不宜大于 20mm。

5.2.8 预制生态混凝土块体和构件的运输及安装应符合下列规定:

1 块体和构件装运时应轻搬、轻放、轻码,运输中防止剧烈颠簸,严禁抛掷和倾倒自卸;

2 安装前坡面修整及反滤材料铺设应按本规程第 5.2.1 条、第 5.2.3 条的规定执行;

3 安装时应从护坡基脚开始,由护坡底部向护坡顶部有序安装;

4 安装应保持坡面平整,高差应控制在设计允许偏差范围内,不得凹凸过大。安装要符合外观质量要求,纵、横及斜向线条应平直;

5 构件安装应稳固,不得晃动、错动,预制构件间的缝隙应紧密;

6 在基脚、封顶处,两预制构件碰接处的空缺应用生态混凝土填实。

### 5.3 墙式结构施工

5.3.1 生态混凝土墙式结构的箱式砌块制作应符合下列规定:

1 预制混凝土箱体应采用专用设备制作。

2 箱式砌块的箱体强度应符合本规程第 4.4.2 条的规定,成型完毕后应及时养护,箱体表面不得有蜂窝麻面。养护 3d 后,可填浇生态混凝土内芯。

3 生态混凝土箱式砌块的内芯填浇方式可采用:底层浇注生态混凝土 140mm,中间放置营养包 60mm~70mm,上层浇注生态混凝土 150mm。

4 营养包采用 80g 无纺布制成袋,袋内充填配制好的盐碱改良材料及其他植物营养填充材料。

5 用于水上挡墙的生态混凝土箱式砌块内,应在内芯生态混凝土浇筑并养护 7d 后,向孔隙内充灌盐碱改良材料。

5.3.2 生态混凝土墙式结构基础处理应符合下列规定:

1 应根据不同工程地质要求,选用混凝土或钢筋混凝土、浆砌石或干砌石、石笼等进行基础处理,并满足设计要求。除石笼基础外,其他形式基础应采用预留或预埋孔道方式保持水土生态系统的联通。

2 采用混凝土基础时,当顶面达到设计高程面后,应保持表面平整或采用砂浆找平;采用浆砌石或干砌石基础时,应采用砂浆找平;采用石笼基础时,可在石笼顶层浇筑钢筋混凝土基础梁。

5.3.3 生态混凝土砌块或构件安装应符合下列规定:

1 生态混凝土砌块或构件宜采用水泥砂浆砌筑,砌缝宽度宜为 20mm~30mm,砂浆饱满度不应小于 80%。

2 在不影响挡墙安全稳定性的条件下,砌块或构件可采用适当错位方式摆放,提高挡墙空间异质性程度,增加生态修复效果。

3 砌块或构件安装应稳固,不得有错动、晃动现象,砌块顶部应设混凝土压顶,保持整体稳定。

## 6 质量检验与评定

### 6.1 一般规定

6.1.1 各种原材料、配合比、施工各个主要环节均应进行检查和控制。

6.1.2 应建立健全质量管理和保证体系,并根据工程规模和质量控制管理的需要,配备相应的技术人员和必要的检验、试验设备,建立健全必要的技术管理与质量控制制度。

6.1.3 生态混凝土防护工程施工质量检验与评定,宜按现行行业标准《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176、《堤防工程施工质量评定与验收规程》SL 239、《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 和《水工混凝土试验规程》SL 352 等的规定执行。

6.1.4 项目划分宜由项目法人或委托监理单位组织设计及施工单位共同商定,同时确定单位工程、分部工程,并将划分结果上报相应工程质量监督机构认定。

6.1.5 单元工程应按施工方法、施工部署进行划分,便于进行质量控制和考核。生态混凝土防护工程单元可按下列规定进行划分:

1 护坡工程可划分为:边坡修整工程、营养土工布铺设工程、生态混凝土块体制作与安装工程、现场浇筑混凝土框架及生态混凝土填充工程、生态孔隙填充及表层覆土种植工程 5 个单元工程。

2 挡墙工程可划分为:基础工程、箱式生态混凝土砌块制作与安装工程、加筋带铺设工程、挡墙背后填土工程、表层覆土种植工程 5 个单元工程。

### 6.2 试验与检测

6.2.1 原材料应检验合格后方能使用,原材料质量应符合现行行业标准《堤防工程施工质量评定与验收规程》SL 239、《水工混凝土施工规范》DL/T 5144、《水工混凝土试验规程》SL 352、《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定。

6.2.2 混凝土质量检验应以抗压强度为主,并以 150mm 立方体试件的抗压强度为标准。

6.2.3 混凝土质量检测应满足现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144、《水工混凝土试验规程》SL 352 的有关规定。

6.2.4 生态混凝土试件在进行抗压强度试验时,试件上下承压面应用同标号砂浆进行找平,找平层厚度不宜大于 10mm。

6.2.5 生态混凝土生态孔径检测可按附录 D 执行。

6.2.6 生态混凝土冻融次数测定应符合下列规定:

1 冻融循环试验应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定执行。

2 试件的冻融循环(快冻)每间隔 5 次取出,进行松散性检验,当出现骨料脱离试件或试件整体出现松散现象时,可停止试验。

6.2.7 营养土工布性能及检测应按现行行业标准《土工合成材料测试规程》SL/T 235 的规定执行。

6.2.8 检验与计量单位应符合下列规定:

- 1 生态混凝土体积宜以  $m^3$  为单位;
- 2 营养土工布面积宜以  $m^2$  为单位;
- 3 绿化种植面积宜以  $m^2$  为单位;
- 4 坡面平整等有关作业,均宜以  $m^2$  为单位。

### 6.3 坡式结构检验评定

6.3.1 生态混凝土坡式结构技术参数应符合表 6.3.1-1 的规定,

预制生态混凝土块(箱)体外观质量应符合表 6.3.1-2 的规定。

表 6.3.1-1 生态混凝土坡式结构技术参数

部位	平面几何 尺寸偏差 (mm)	厚度 偏差 (mm)	混凝土 抗压强度 (MPa)	抗冻 标号	集料粒径 范围 (mm)	有效孔径 $O_{50}$ (mm)	孔隙率 (%)
混凝土外框	±2	±4	20	F150	10	—	—
生态混凝土	—	—	5~8	F50	20~40	≥0.36	≥30

表 6.3.1-2 预制生态混凝土块(箱)体外观质量

项目	优等品	一等品	合格品
垂直度差(mm)	≤1	≤2	≤3
裂纹 (mm)	贯穿 非贯穿	不允许	不允许 长度不得超过 20
分层		不允许	不允许
表面粘皮(cm <sup>2</sup> )		不允许	≤10
掉角(mm)	不允许	两边破坏尺寸不得 同时>5	两边破坏尺寸不得 同时>10

6.3.2 边坡修整单元工程应符合下列规定：

1 边坡应符合设计边坡比,通过翻松、加填或挖除以保持地表面的平整。覆盖表土范围的地表面应进行深翻,将土块打碎使成为均匀的种植土,不能打碎的土块及大于 25mm 的砾石、树根、树桩和其他垃圾应清除并运到监理工程师同意的地点废弃。

2 地面(坡面)无天然表土或天然表土厚度小于图纸规定的厚度时,应加铺表土,以形成厚度符合要求的表土层。

3 铺料厚度检测应按作业面积大小每 100m<sup>2</sup>~200m<sup>2</sup> 取一个测点;铺填边线应按堤轴线长度每 20m~50m 取一个测点;每层自检取样数量可控制在填筑量 100m<sup>3</sup>~150m<sup>3</sup> 取样一个测点,作业面狭长的取样可按每 20m~30m 取样一个测点。

4 边坡修整单元工程检查项目与质量标准应符合表 6.3.2

的规定。

表 6.3.2 边坡修整单元工程检查项目与质量标准

项次	检查项目	质量标准
1	边坡表层清理	表层清理的范围符合设计要求
2	边坡坡度	符合设计要求

6.3.3 营养土工布铺设单元工程应符合下列规定：

1 营养土工布铺设前应对土工织物进行质量复检,包括材质、强度、渗透等性能以及营养性能等应满足设计要求;

2 铺设时应避免土工织物破损,一旦发现,应予剔除废弃,不得使用,同时还应避免泥土或杂物弄脏土工织物,以免影响渗透效果;

3 土工织物应得到有效保护,施工时防止被阳光长时间照射;

4 搭接宽度和缝合(或粘合)质量应符合设计要求;

5 营养土工布铺设单元工程检查项目与质量标准应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 营养土工布铺设单元工程检查项目与质量标准

项次	检查项目	质量标准
1	土工布重量	设计重量的 1%
2	营养土工布成分	满足质量要求

6.3.4 预制生态混凝土块体安装单元工程应符合下列规定：

1 预制生态混凝土块体铺设应根据具体坡长情况选用铺设方法,并应摆放整齐。

2 预制生态混凝土块体铺设应平整、稳定,相邻两块构件边沿宜无错位,缝线应规则,缝隙应紧密,间隙不宜大于 4mm,相邻构件间外沿相对高差不宜大于 3mm。

3 整体护坡面铺设后四周空缺处采用半块构件或现浇生态混凝土进行填充。

4 预制生态混凝土块体单元工程检查项目与质量标准应符合表 6.3.4 的规定。

表 6.3.4 预制生态混凝土块体单元工程检查项目与质量标准

项次	检查项目	质量标准
1	预制块外观	尺寸准确、整齐统一,表面清洁平整,强度符合设计要求
2	预制块铺砌	平整、稳定,缝线规则、紧密
3	坡面平整度	2m 靠尺检测,凹凸不超过 10mm

6.3.5 土工格室框架安装单元工程应符合下列规定:

1 采用土工格室作为现浇生态混凝土护坡结构框架时,土工格室规格、厚度、高度应符合设计要求,边长焊接牢固。

2 土工格室使用前应进行检测,每 500m<sup>2</sup> 为一取样单位,不足 500m<sup>2</sup> 时,按一个取样单位。

3 土工格室安装时,展开并平铺在反滤材料上,用 U 形钢钉固定,防止生态混凝土浇筑时土工格室浮起,每 100m<sup>2</sup> 抽检 20 个点。

4 生态混凝土进入格室时,应在格室两边同时进料,确保格室线条平顺,且生态混凝土浇筑后要在统一水平面上,高低起伏允许偏差应为 ±5mm。

5 土工格室安装单元工程检查项目与质量标准应符合表 6.3.5 的规定。

表 6.3.5 土工格室安装单元工程检查项目与质量标准

项次	项目名称	质量标准
1	材料质量	边长、高度、焊接,符合质量标准和设计要求
2	材料检测	检测结果符合质量标准和设计要求
3	安装固定	固定牢固,线条平顺
4	平面质量	符合设计要求

6.3.6 现场浇筑生态混凝土单元工程应符合下列规定:

1 生态混凝土现场浇筑护坡应采用后退浇筑方法,骨料进入

仓内应及时平整,表面不得有水泥浆出现,不得将生态孔径堵塞。

2 生态混凝土浇筑完毕,温度在 15℃~25℃ 时,应在 12h 后开始浇水养护;温度在 25℃ 以上时,应在 3h~4h 后开始喷洒养护,但喷水不宜过大。

3 当构件边框、砌块箱体内芯的生态混凝土有水泥浆出现时,应立即清除,重新填筑。不得有水泥浆封堵底面;

4 现场浇筑生态混凝土单元工程检查项目与质量标准应符合表 6.3.6 的规定。

表 6.3.6 现场浇筑生态混凝土单元工程检查项目与质量标准

项次	检查项目	质量标准
1	入仓混凝土料	无不合格料入仓
2	平仓	铺设均匀
3	铺料间歇时间	符合要求
4	积水和泌水	无外部水流入,泌水排除及时
5	有平面平整要求的部位	符合设计规定
6	生态混凝土养护	生态混凝土表面保持湿润,无时干时湿现象

6.3.7 生态孔隙填充及覆土种植单元工程应符合下列规定:

1 客土回填土中应无碎石等杂物、杂质和块状物,必要时应进行筛选,回填土含水率不应小于 15%,过干时可在回填后的土表面少量撒水。

2 充填材料应采用当地耕土、草炭土、盐碱改良材料混合均匀配制。当缺乏草炭土资源时,可增加盐碱改良材料的用量。

3 向生态混凝土孔隙内充填混合料时,可采用吹填、水填、振填方式。

4 采用草籽播种方式时,应选择发芽率大于 80% 的新鲜草籽。播种前,应对选定草籽进行发芽率实验。

5 采用植物栽种方式时,先将草株分开,每 2 株或 3 株为一

捆,用细木棍探插到绿化混凝土表面孔洞,将草株捆栽入,周围培土,并宜每日浇水养护2次。

6 生态孔隙填充及覆土作业单元工程检查项目与质量标准应符合表6.3.7的规定。

表 6.3.7 生态孔隙填充及覆土作业单元工程检查项目与质量标准

项次	检查项目	质量标准
1	客土回填土	回填土含水率>15%
2	播种草籽	发芽率>80%
3	充填材料	盐碱改良材料含量>2.5%

6.4 墙式结构检验评定

6.4.1 生态混凝土墙式结构砌块的技术参数应符合表6.3.1-1的规定,生态挡墙砌块的外观质量应符合表6.3.1-2的规定。

6.4.2 生态混凝土挡墙安装单元工程应符合下列规定:

1 现场砌块铺装过程中,应现场检验第一层位置是否与图纸一致,安装是否平整、与垫层间是否密合。每一层安装与下一层是否密合,沿挡墙走向是否平整,每层后退距离是否符合设计要求。

2 采用砂浆砌筑的,砂浆强度等级应符合设计要求,砂浆饱满度不应小于80%,抽检数量每步架抽查不应少于1处。

3 挡土墙砌筑每砌3个~4个砌块为一个分层高度,每个分层高度应找平一次;外露面的灰缝厚度不得大于40mm,两个分层高度间分层处的错缝不得小于80mm。

4 当基底标高不同时,应从低处砌起,并应由高处向低处搭砌,搭接长度不应小于基础扩大部分的高度。

5 砌体转角处和交接处宜同时砌筑,当不能同时砌筑时,应按规定留槎、接槎。

6 生态混凝土挡墙砌块检查项目和检验方法应符合表6.4.2的规定。

表 6.4.2 生态混凝土挡墙砌体检查项目和检验方法

项次	项 目		允许偏差(mm)		检 验 方 法
			生态挡墙砌体		
			基础	墙	
1	细线位置		20	15	用经纬仪和尺检查,或用其他测量仪器检查,每 20m 抽查 1 处,每处 3 延米
2	墙面与设计 要求角度	每层	—	20	用经纬仪、吊线和尺检查或用其他测量仪器检查,每 20m 抽查 1 处,每处 3 延米
		全高	—	30	

6.5 质量评定及验收

6.5.1 生态混凝土防护工程施工质量评定应符合现行行业标准《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176 及相关行业规定。

6.5.2 生态混凝土防护工程施工验收应按现行行业标准《水利水电建设工程验收规程》SL 223 及相关行业规定执行。



## 附录 A 常用植物品种

表 A 常用植物品种

中文名	拉丁名	特性及适用地区
狗牙根	<i>Cynodon spp.</i>	喜温暖湿润气候,适用于温带地区
地毯草	<i>Axonopus spp.</i>	喜潮湿的热带和亚热带气候,适用于南北纬 27°范围内地区
无芒雀麦	<i>Bromus inermis</i>	气候适应性强,耐盐碱,耐水淹,适用于东北、华北、西北地区
剪股颖	<i>Agrostis spp.</i>	喜冷凉湿润气候,耐寒能力强,适用于全国大部分地区
冰草	<i>Agropyron cristatum</i>	具有很强的抗旱性和抗寒性,适用于东北和西北地区
黑麦草	<i>Lolium spp.</i>	喜温暖湿润土壤,耐湿,适用于西南地区
狼尾草	<i>Pennisetum spp.</i>	喜寒冷湿气候,适用于东北、华北、华东、中南及西南地区
高羊茅	<i>Festuca arundinacea</i>	性喜寒冷潮湿,主要适用于北方地区
紫羊茅	<i>Festuca rubra</i>	能适应潮湿或干燥环境,适用于全国大部分地区
画眉草	<i>Eragrostis spp.</i>	喜温暖气候和向阳环境,适用于温暖地区
巴哈雀稗	<i>Paspalum notatum</i>	喜湿润气候,适用于湿地
假俭草	<i>Eremochloa ophiuroides</i>	喜光,耐阴,耐干旱,适用于长江以南地区
猫尾草	<i>Phleum pretense</i>	喜冷凉湿润气候,适用于东北、华北、西北地区

续表 A

中文名	拉丁名	特性及适用地区
早熟禾	<i>Poa spp.</i>	喜光,耐阴,适用于温暖和凉爽地区
结缕草	<i>Zoysia spp.</i>	喜温暖气候,喜阳光,适用于东北、山东、华中、华东与华南地区
野牛草	<i>Pennisetum spp.</i>	喜阳光,亦耐半阴,适用于北方地区

- 注:1 以本土植物为主,慎用外来物种;  
 2 本表所列种子均符合 ISTA(国际种子检验协会认证)标准;  
 3 可以选择 3 种~5 种不同特性的草种混播。

## 附录 B 坡式结构计算

### B.1 稳定计算

**B.1.1** 坡式防护工程的稳定计算,应包括整体稳定和边坡内部稳定计算。

**B.1.2** 整体稳定计算应包括护岸和岸坡基础土的滑动和沿护坡底面的滑动两种。护岸和岸坡基础土的滑动可用瑞典圆弧滑动法计算,沿护坡底面的滑动可简化为沿护坡底面通过堤基的折线整体滑动,滑动面为 FABC(图 B.1.2)。计算时,先假定不同滑动深度  $t$  值,变动 B,按极限平衡法求出滑动安全系数,从而找出最危险的滑动面。

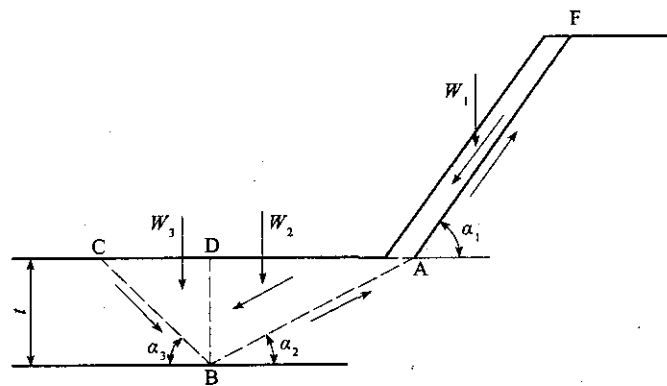


图 B.1.2 边坡整体滑动计算

土体 BCD 的稳定安全系数可按下列公式计算:

$$K = \frac{W_3 \sin \alpha_3 + W_3 \cos \alpha_3 \tan \varphi + ct / \sin \alpha_3 + P_2 \sin(\alpha_2 + \alpha_3) \tan \varphi}{P_2 \cos(\alpha_2 + \alpha_3)} \quad (\text{B.1.2-1})$$

$$P_2 = W_2 \sin \alpha_2 - W_2 \cos \alpha_2 \tan \varphi - ct / \sin \alpha_2 + P_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (\text{B.1.2-2})$$

$$P_1 = W_1 \sin \alpha_1 - f_1 W_1 \cos \alpha_1 \quad (\text{B.1.2-3})$$

式中:  $K$ ——坡式防护工程整体稳定安全系数;

$f_1$ ——护坡与土坡的摩擦系数;

$\varphi$ ——基础土的摩擦角( $^\circ$ );

$c$ ——基础土的凝聚力( $\text{kN}/\text{m}^3$ );

$t$ ——滑动深度( $\text{m}$ );

$W_1$ ——护坡体重量( $\text{kN}$ );

$W_2$ ——基础滑动体 ABD 重量( $\text{kN}$ );

$W_3$ ——基础滑动体 BCD 重量( $\text{kN}$ )。

**B.1.3** 当护坡自身结构不紧密或埋置较深不易发生整体滑动时,应考虑护坡内部的稳定计算。通常不稳定破坏发生在枯水期。护坡体和岸坡是两种不同抗剪强度的材料,水位较低时,往往沿抗剪强度较低的接触面向下滑动(图 B.1.3)。假定滑动面经过坡前水位和坡岸滑裂面的交点,全滑动面为 abc 折线。折点 b 以上护坡体产生滑动力,依靠下部护坡体的内部摩擦阻力平衡。

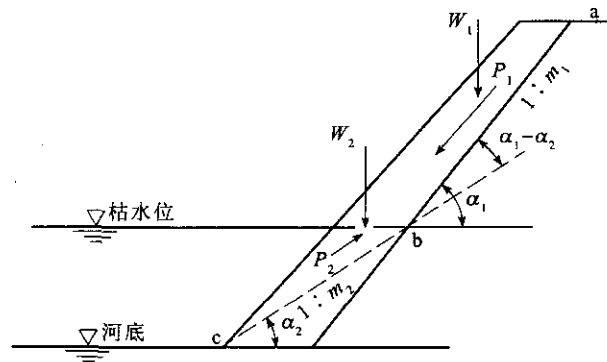


图 B.1.3 边坡内部稳定计算

1 维持极限平衡所需的护坡体内部摩擦系数  $f_2$  值按下列公

式计算:

$$Af_2^2 - Bf_2 + C = 0 \quad (\text{B. 1. 3-1})$$

$$A = \frac{nm_1(m_2 - m_1)}{\sqrt{1 + m_1^2}} \quad (\text{B. 1. 3-2})$$

$$n = f_1/f_2 \quad (\text{B. 1. 3-3})$$

$$B = \frac{m_2 W_2}{W_1} \sqrt{1 + m_1^2} + \frac{m_2 - m_1}{\sqrt{1 + m_1^2}} + \frac{n(m_1^2 m_2 + m_1)}{\sqrt{1 + m_1^2}} \quad (\text{B. 1. 3-4})$$

$$C = \frac{W_2}{W_1} \sqrt{1 + m_1^2} + \frac{1 + m_1 m_2}{\sqrt{1 + m_1^2}} \quad (\text{B. 1. 3-5})$$

式中:  $f_2$ ——护坡材料的内摩擦系数;

$n$ ——系数;

$f_1$ ——护坡和基土之间的摩擦系数;

$m_1$ ——折点 b 以上护坡内坡的坡率;

$m_2$ ——折点 b 以下滑动面的坡率。

2 护坡稳定安全系数可按下列式计算:

$$K = \frac{\tan \varphi}{f_2} \quad (\text{B. 1. 3-6})$$

式中:  $\varphi$ ——护坡体内摩擦角( $^\circ$ )。

## B. 2 护坡计算

B. 2. 1 波浪作用下预制坡式防护结构块体的厚度可按下列公式计算:

$$t = K_1 \frac{r}{r_b - r} \times \frac{H}{\sqrt{m}} \sqrt[3]{\frac{L}{H}} \quad (\text{B. 2. 1-1})$$

$$m = \cot \alpha \quad (\text{B. 2. 1-2})$$

式中:  $t$ ——护坡的护面厚度(m);

$K_1$ ——系数,对规则块体可取 0.266,对咬合异形块体取 0.225;

$r$ ——水的重度( $\text{kN/m}^3$ );

$r_b$ ——生态混凝土预制块体的重度( $\text{kN/m}^3$ );

$H$ ——计算波高(m)。当  $d/L \geq 0.125$  时,取  $H_{1\%}$ ;当  $d/L < 0.125$  时,取  $H_{13\%}$ ;  $d$  为岸坡前水深(m);

$m$ ——斜坡坡率,  $1.5 \leq m \leq 5.0$ ;

$L$ ——波长(m);

$\alpha$ ——斜坡坡角( $^\circ$ )。

B. 2. 2 整体现浇并形成大面积板体的坡式结构护面厚度可按下列式确定:

$$t = \eta H \sqrt{\frac{r}{r_b - r} \frac{L}{Bm}} \quad (\text{B. 2. 2})$$

式中:  $t$ ——混凝土护面板厚度(m);

$\eta$ ——系数,对开缝板,可取 0.075;对上部为开缝板,下部为闭缝板,可取 0.10;

$H$ ——计算波高取(m),取  $H_{1\%}$ ;

$B$ ——沿斜坡方向(垂直于水边线)的护面板长度(m)。

B. 2. 3 坡面所浇筑混凝土框架的重量应满足下列式要求:

$$W = \frac{r_b H^3}{K_D (r_b/r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (\text{B. 2. 3})$$

式中:  $W$ ——淹水区坡面框架上所需混凝土的最小重量;

$H$ ——计算波高(m),当  $\bar{H}/d < 0.3$  时,取  $H_{3\%}$ ;当  $\bar{H}/d \geq 0.3$ ,取  $H_{13\%}$ ;  $d$  为岸坡前水深(m);

$K_D$ ——稳定系数,通常取 5.5。

## 附录 C 墙式结构计算

### C.1 挡墙内部稳定计算

C.1.1 生态混凝土墙式结构的每层加筋所受拉力按下列公式计算。第  $i$  层单位墙长的加筋带所承受的水平拉力  $T_i$  应按下列公式计算：

$$T_i = [(\sigma_{vi} + \sum \Delta \sigma_{vi}) K_a + \sigma_{hi}] S_{vi} \quad (\text{C.1.1-1})$$

$$T_a = T / K_1 \quad (\text{C.1.1-2})$$

式中： $T_i$ ——第  $i$  层单位墙长的加筋带所承受的水平拉力；

$\sigma_{vi}$ ——第  $i$  层加筋带所受的土的垂直自重压力(kPa)；

$\sum \Delta \sigma_{vi}$ ——超载引起的第  $i$  层垂直附加压力(kPa)；

$K_a$ ——主动土压力系数；

$\sigma_{hi}$ ——第  $i$  层水平附加荷载(kPa)；

$S_{vi}$ ——第  $i$  层加筋带垂直间距(m)；

$T_a$ ——设计容许抗拉强度；

$T$ ——加筋带极限抗拉强度；

$K_1$ ——安全系数，取 1.24。

$T_i$  应满足  $T_a / T_i \geq 1.5$ ，当  $T_a / T_i < 1.5$  时，应调整加筋带间距或改用具有更高强度的加筋带。

C.1.2 第  $i$  层单位墙长的加筋带抗拔力  $T_{pi}$  与填土破裂面以外加筋带有效长度  $L_{ei}$  与周围土体产生的摩擦力有关，应按下列公式计算：

$$T_{pi} = \mu_s \cdot \sigma_{vi} \cdot L_{ei} \quad (\text{C.1.2-1})$$

式中： $\mu_s$ ——加筋带与土的摩擦系数，参照加筋挡土墙取值；

$\sigma_{vi}$ ——第  $i$  层加筋带上的有效法向应力(kPa)；

$L_{ei}$ ——第  $i$  层加筋带有效长度(m)，按破裂面以外的加筋带长度确定。

第  $i$  层单位墙长的加筋带抗拔稳定安全系数应按下列公式计算：

$$f_s = T_{pi} / T \quad (\text{C.1.2-2})$$

式中： $f_s$ ——加筋带抗拔稳定安全系数，不应小于 1.3。

C.1.3 第  $i$  层加筋带长度  $L_i$  应按下列公式计算：

$$L_i = L_{oi} + L_{ei} \quad (\text{C.1.3-1})$$

式中： $L_{oi}$ ——第  $i$  层加筋带滑动面以内长度(m)；

$L_{ei}$ ——第  $i$  层加筋带有效长度(m)。

为施工方便，自上而下加筋带宜采用同等长度，也可分段采用不同长度。

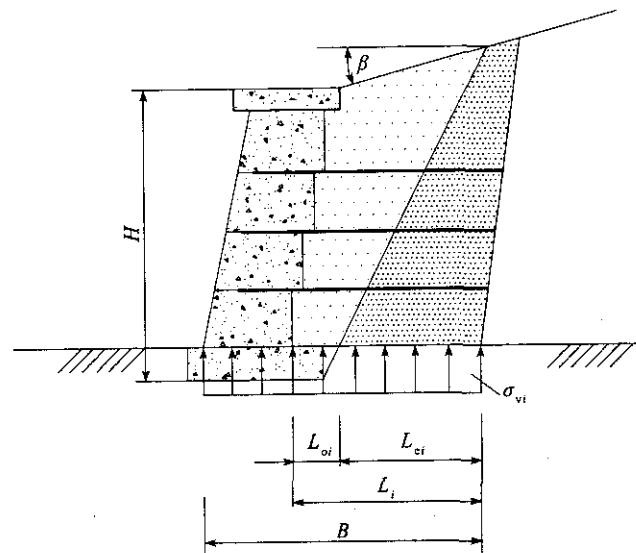


图 C.1.3 加筋挡墙内部稳定计算简图

### C.2 挡墙内部应力验算

C.2.1 分析墙身水平部分所受压力时，计算应考虑弯矩、水平合力、铅直合力和偏心距。

C.2.2 断面上的应力  $\sigma_{\max}$  应满足下列公式要求:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{am}} \quad (\text{C.2.2-1})$$

$$\sigma_{\max} = \frac{G}{B - 2|e_0|} \quad (\text{C.2.2-2})$$

$$\sigma_{\text{am}} = G \tan \varphi^* / B + c_g \quad (\text{C.2.2-3})$$

$$\varphi^* = 25\gamma_g - 10 \quad (\text{C.2.2-4})$$

$$c_g = 0.03P_u - 0.05 \quad (\text{C.2.2-5})$$

式中:  $G$ ——墙体重力(kN/m),若挡土墙有墙踵,则应计入其上的填土重量;

$B$ ——加筋挡墙断面宽度(m);

$e_0$ ——偏心距(m);

$\varphi^*$ ——块体之间摩擦角( $^\circ$ );

$c_g$ ——粘滞系数( $\text{kg}/\text{m}^2$ );

$\gamma_g$ ——生态混凝土块体容重( $\text{t}/\text{m}^3$ );

$P_u$ ——箱体结构的单位重量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

C.2.3 剪应力应满足下列公式要求:

$$\tau_i \leq \tau_{\text{am}} \quad (\text{C.2.3-1})$$

$$\tau_i = \sum E_{\text{ahi}} / B_i \quad (\text{C.2.3-2})$$

$$\tau_{\text{am}} = E_{\text{ahi}} \tan \varphi^* / B_i + c_g \quad (\text{C.2.3-3})$$

式中:  $\tau_i$ ——剪应力;

$\tau_{\text{am}}$ ——允许剪应力;

$E_{\text{ahi}}$ ——第  $i$  层以上水平合力( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$B_i$ ——第  $i$  层挡墙断面宽度。

## 附录 D 生态混凝土生态孔径检测

D.0.1 生态孔径的检测可采用下列方法:

选用一定数量、一定粒径的标准砂均匀散布在生态混凝土试件表面,在振动一定时间后,根据通过构件的标准砂占总量的百分率,衡量标准砂贯穿试件的能力,进而确定生态混凝土的植物根系可生长能力。

D.0.2 生态孔径检测应具备下列试验设备:

1 试验筛:采用标准砂石筛;

2 试验设备:采用拍击式标准振筛机,或其他用于砂石筛分的拍击式振筛机;

3 天平:称量 10kg,感量 1g。

D.0.3 配制标准砂宜采用下列方法:

将普通建筑用砂清洗并烘干后,用筛析法选出平均粒径 2.36mm~4.75mm 的砂粒,每 100g 为一组。

D.0.4 试样制备应符合下列规定:

1 试样应按一定水灰比(水重量/水泥重量)、灰骨比(水泥重量/骨料重量)制作。

2 试样应为圆柱形,底面直径应为 185mm,高应为 100mm,每组 3 块。

3 试件应在标准养护条件下养护不少于 3d 后,在 20℃ 以上温度风干 24h,至内外面干状态。

D.0.5 生态孔径应按下列检测步骤进行:

1 将试件周围用硬纸围绕封闭,并用胶带封紧,硬纸高于试件表面 10mm,防止标准砂从四周流失,影响检测效果;

2 将试样固定在孔径大于 4.75mm 的砂石筛网上;

- 3 取预先筛分标准砂一份(100g),均匀撒在试件表面;
- 4 将装好试样的筛网、接收盘与筛盖夹紧放在振筛机上,振筛计时 5min;
- 5 停机后,将接收盘内的砂颗粒进行称量,并计算通过试件砂粒的重量所占全部重量(100g)的百分率。如此对试验组的 3 块试样逐个试验和计算,取算术平均值即为检测结果。

### 附录 E 质量检验评定表

表 E-1 营养土工布铺设单元工程质量评定表

单位工程名称		单元工程量	
分部工程名称		检验日期	年 月 日
单元工程名称、部位		评定日期	年 月 日
项次	项目名称	质量标准	检验记录
1	材料质量	土工织物经检测,符合质量标准和设计要求	
2	△营养物质	营养物质与生产厂家标注一致	
3	接缝质量	搭接宽度≥30cm,混合搭≥10cm <sup>2</sup>	
4	搭接质量	符合设计要求	
5	△铺设质量	基本平顺,稍松弛,横向不准搭接,并固定	
6	露天时间	不超过 15d	
施工单位意见		质量等级	监理单位意见
主要检查项目全部符合质量标准。检测项目实测_____点。检测项目实测点合格率_____%			复评质量等级
施 工 单 位		(建设)监理单位	
初检人	复检人	终检人	核定人

注:△为主要检测项目。

表 E-2 生态混凝土预制构件制作、安装单元工程质量评定表

单位工程名称				单元工程量		
分部工程名称				检验日期	年 月 日	
单元工程名称、部位				评定日期	年 月 日	
项次	项目名称	质 量 标 准		检验记录	质量等级	
					优良	合格
1	预制块 外观及尺寸	表面清洁平整				
		平面尺寸 允许偏差	±3mm			
		厚度 允许偏差	±5mm			
2	△预制块强度	符合设计要求				
3	预制块铺砌	平整、稳定、缝线规则、紧密				
4	△坡面平整度	2m 靠尺检测、 凹凸不超过 10mm				
施 工 单 位 意 见				质量 等级	监理单位意见	复评 质量等级
主要检查项目全部符合质量标准。 检测项目实测 _____点。检测项目实 测点合格率 _____%						
施 工 单 位				(建设)监理单位		
初 检	复 检	终 检	核定人			

注:△为主要检测项目。

表 E-3 土工格室安装单元工程质量评定表

单位工程名称		单元工程量	
分部工程名称		检验日期	年 月 日
单元工程名称、部位		评定日期	年 月 日
项次	项目名称	质 量 标 准	检 验 记 录
1	△材料质量	边长、高度、焊接， 符合质量标准和设计要求	
2	材料检测	检测结果符合质量标准 和设计要求	
3	△安装固定	固定牢固，线条平顺	
4	平面质量	符合设计要求	
施 工 单 位 意 见		质量 等级	监 理 单 位 意 见  复 评 质量等级
主要检查项目全部符合质量标准。 基本项目全部符合设计要求			
施 工 单 位		(建设)监理单位	
初 检 人	复 检 人	终 检 人	核定人

注:△为主要检测项目。

表 E-4 现浇生态混凝土浇筑单元工程质量评定表

单位工程名称		单元工程量		
分部工程名称		施工单位		
单元工程名称、部位		检验日期		年 月 日
项次	检查项目	质量标准		检验记录
		优 良	合 格	
1	△入仓混凝土料	无不合格料入仓	少量不合格料入仓,经处理尚能基本满足设计要求	
2	平仓	铺设均匀	局部稍差	
3	△铺料间歇时间	符合要求,无初凝现象	无初凝现象,其他部位初凝累计面积不超过1%并经处理合格	
4	积水 and 泌水	无外部水流入,泌水排除及时	无外部水流入,有少量泌水,排除不够及时	
5	有平面平整要求的部位	符合设计规定	局部稍超出规定,但累计面积不超过0.5%	
6	△生态混凝土养护	生态混凝土表面保持湿润,无时干时湿现象	生态混凝土表面保持湿润,但局部短时间有时干时湿现象	
施工单位意见		质量等级	监理单位意见	复评质量等级
主要检查项目全部符合质量标准。基本项目全部符合设计要求				
施 工 单 位		(建设)监理单位		
初检人	复检人	终检人	核定人	

注:△为主要检测项目。

表 E-5 生态孔隙填充及覆土种植单元工程质量评定表

单位工程名称		单元工程量		
分部工程名称		检验日期		年 月 日
单元工程名称、部位		评定日期		年 月 日
项次	检查项目	质量标准		检验记录
1	△充填材料	盐碱改良材料含量>2.5%		
2	客土回填土	回填土含水量>15%		
3	△播种草籽	发芽率>80%		
检测结果		共检测____点,其中合格____点,合格率____%		
评 定 意 见		质量等级	监理单位复评意见	复评质量等级
主要检查项目全部符合质量标准。检测项目实测____点。检测项目实测点合格率____%				
施工单位名称		(建设)监理单位名称		
初检人	复检人	终检人	核定人	

注:△为主要检测项目。



## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082

《防洪标准》GB 50201

《堤防工程设计规范》GB 50286

《通用硅酸盐水泥》GB 175

《水工混凝土施工规范》DL/T 5144

《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52

《水利水电工程施工质量检验与评定规程》SL 176

《水工建筑物抗冰冻设计规范》SL 211

《水利水电建设工程验收规程》SL 223

《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》SL/T 225

《土工合成材料测试规程》SL/T 235

《堤防工程施工质量评定与验收规程》SL 239

《水工混凝土试验规程》SL 352

中国工程建设协会标准

生态混凝土应用技术规程

CECS 361 : 2013

条文说明

## 目 次

1 总 则 .....	(47)
2 术 语 .....	(48)
3 材 料 .....	(49)
3.1 骨料 .....	(49)
3.2 水泥 .....	(49)
3.3 添加剂 .....	(49)
4 设 计 .....	(51)
4.1 一般规定 .....	(51)
4.2 设计标准 .....	(51)
4.3 坡式结构设计 .....	(52)
4.4 墙式结构设计 .....	(53)
5 施 工 .....	(56)
5.1 生态混凝土配制 .....	(56)
5.2 坡式结构施工 .....	(56)
5.3 墙式结构施工 .....	(57)
5.4 植物种植及养护 .....	(57)
6 质量检验与评定 .....	(59)
6.2 试验与检测 .....	(59)

## 1 总 则

**1.0.1、1.0.2** 生态混凝土在 20 世纪 90 年代起源于日本,当时称为绿化混凝土,后被引进国内。由于日本的绿化混凝土技术要求采用特殊的低碱水泥,选用特殊植物播种,不适合我国国情,因此在国内没能得到推广应用。吉林省水利科学研究院于 1998 年,提出了孔隙内盐碱性水环境理论,解决了在高盐碱环境下植物生长问题,研发出适合国内实际情况的生态混凝土,并于 2001 年完成了国内第一个城市防洪堤的预制式生态混凝土生态防护工程,2002 年完成了第一个水库背坡现浇生态混凝土防护工程;主编单位在此基础上通过深度研发和推广,进一步提出并完善了系列生态混凝土应用技术,又先后完成了国内第一个堤防水下生态防护工程、第一个高速公路路基防护工程、第一个湖滨水岸生态防护工程、第一个高速铁路生态防护工程、第一个墙式生态混凝土防护工程,并大量应用在北京 2008 年奥运会配套水利工程、三峡库区高水位变动区生态防护工程、太湖及巢湖等大型湖泊生态水岸工程中,促进和推动了生态混凝土技术在全国水利、公路、铁路、水运、环保、生态等工程中的应用。

生态混凝土技术目前在我国应用已超过 25 个省(市),工程防护面积已达数百万平方米,取得了良好成效,在很多河湖水岸生态修复工程中已经成为首选技术,但作为近年来的一项新兴技术,在材料选择、工程设计、工程施工、质量检测、工程验收等方面尚有待进一步规范,以保障工程质量和生态修复效果。

**1.0.3** 生态混凝土也是一种赋有生态系统基本功能的混凝土及其制品,应基本保持混凝土的物理及力学功能,满足各类防护工程需要,因此要同时符合国家相关标准的规定。

编单位采用多种活性材料配制的复合盐碱改良材料,将混凝土析出的有害物质分别转化为植物可吸收的生长激素和缓释肥料,自2001年在吉林省梅河口市防洪工程中应用,至2013年植草仍然长势良好。

**3.3.2** 为保障生态系统的运行,用于水上防护的生态混凝土应能为植物提供长期缓释肥料。国内、外的缓释肥料一般采用缓溶方式,肥料一次投放量较大,缓释期一般为一到两年。由主编单位最新研发的缓释肥料,是利用盐碱改良添加剂与混凝土析出物的盐碱性物质相互作用,在改造盐碱性水环境的同时,将析出的盐碱性物质缓慢转化为可供植物生长吸收的必需元素和生长激素,有效期在6年以上。

## 4 设计

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 生态孔径可通过骨料级配和粒径来控制,保证植物根系顺利穿透混凝土,同时为小型动物、微生物提供生存空间。为保证植物发芽初期提供营养和水分,生态混凝土骨料间空隙宜填充为植物提供必需元素的填充材料。

**4.1.3** 生态混凝土已经在全国不同地区得到运用,经添加功能性添加剂后可以基本适应各类草本植物生长。为保证绿化效果,减少养护,可根据工程位置、生态修复及景观建设要求,选择适合本地区生长、缓青期和枯黄期不同的几种草籽进行混播,以延长绿化期。

**4.1.4** 生态混凝土及其制品已经在水利、水运、公路、铁路等行业的边坡防护工程中得到成功运用。采用生态混凝土的防护结构形式应满足工程功能要求和国家现行有关标准的规定。

**4.1.5** 根据现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的规定,生态混凝土及其制品的防护结构形式分为坡式防护结构和墙式防护结构两种。

**4.1.6** 防护结构基质一方面可以保证工程安全,另一方面应为植物长期提供营养成分。由于整形后的边坡基质土壤普遍贫瘠,宜选择营养土工布等人工营养基。

### 4.2 设计标准

**4.2.2、4.2.3** 生态混凝土墙式防护结构属于砌块加筋挡土墙结构,所以2级~4级的墙式防护结构可提高一级设计,但洪水标准不提高。根据现行行业标准《水工挡土墙设计规范》SL 379,砌块

加筋挡土墙结构不论其级别,基本荷载组合条件下的抗滑稳定安全系数不应小于 1.40,特殊荷载组合条件下的抗滑稳定安全系数不应小于 1.30。

### 4.3 坡式结构设计

4.3.1 生态混凝土坡式结构与其他预制块体护坡结构相似,其防护岸坡应保持自身稳定,土体的填筑密度应符合水利、水运、公路、铁路等行业标准的规定。

4.3.2 生态混凝土坡式结构可采用预制生态混凝土块体铺装,也可采用混凝土框格、土工格室等进行分仓浇筑后现场浇筑。常用的生态混凝土预制构件和块体如图 1 所示。

采用六角形或工字形等具有对称几何形状的构件时,应同时制作少量半块式构件,用于拼接和填充护坡边缘位置。对其他边缘位置,应采用生态混凝土直接浇筑填充。

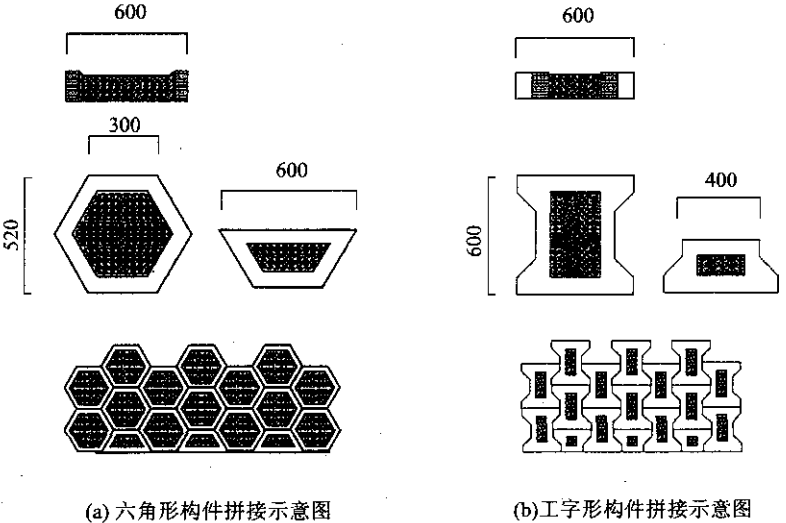


图 1 两种常用生态混凝土构件和块体结构示意图

4.3.3 营养土工布一般由高分子材料无纺布和能提供植物营养物质的材料复合制成,常用营养土工布的性能指标见表 1。

表 1 常用营养土工布的性能指标

项 目	性 能 指 标
高分子材料无纺土工布层单位面积质量(g/m <sup>2</sup> )	200
拉伸强度(纵向)(N/cm)	66
伸长率(纵向)(%)	70
拉伸强度(横向)(N/cm)	68
拉长率(横向)(%)	80
梯形撕裂强度(纵向)(N)	160
梯形撕裂强度(横向)(N)	170
CBR 顶破强度(N)	900
垂直渗透系数 K <sub>20</sub> (cm/s)	3.5×10 <sup>-1</sup>
等效孔径 O <sub>95</sub> (mm)	0.10
植物营养层单位面积质量(g/m <sup>2</sup> )	200

4.3.4、4.3.5 为保障安全和稳定,对生态混凝土护坡结构的反滤层、堤脚、戕台或消浪平台、封顶、基础埋置深度等进行规定。

### 4.4 墙式结构设计

4.4.1 生态混凝土墙式防护结构可采用咬合式预制生态混凝土块体磊砌,或采用预制混凝土外箱内填生态混凝土,形成复合式生态混凝土构件挡墙结构(图 2)。

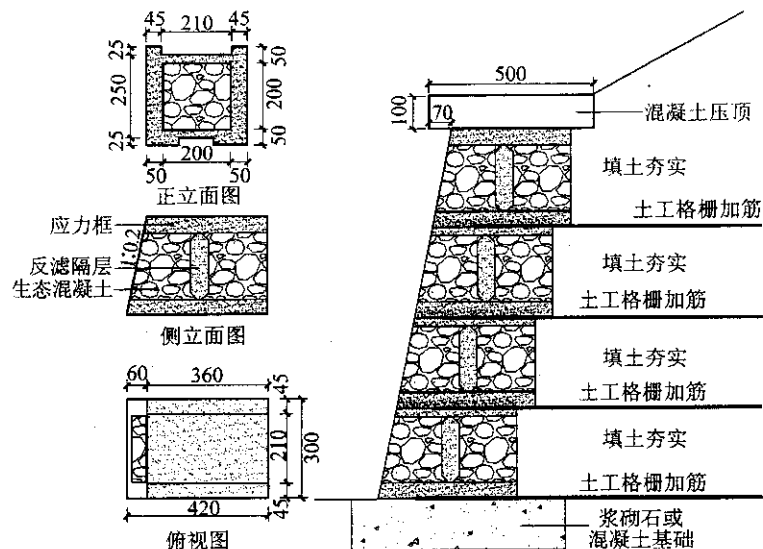


图2 一种复合式生态混凝土构件挡墙结构示意图

4.4.3 生态混凝土墙式防护结构不管采用咬合式预制生态混凝土块体磊砌,还是采用复合式生态混凝土构件,一般不能承受高填土方的土压力,需根据稳定要求设置加筋措施。

4.4.4 由于生态混凝土为多孔性无砂混凝土,因此要设置反滤层保护土体,防止流失。结合营养基一起设置时,应在植物根系能及范围内设置。

4.4.5 生态混凝土墙式防护结构为柔性结构,墙高设计应满足防护功能要求和稳定要求,并应考虑施工期累计沉降。

4.4.6 生态混凝土墙式防护结构顶部宜设置混凝土压顶,底部宜设置浆砌石或混凝土基础。顶部压顶宽度不宜小于0.5m。底部基础浆砌石厚度不宜小于0.5m,混凝土厚度不宜小于0.3m。基础埋置深度应综合地形、地质、冲刷深度等因素确定,埋置深度宜为冲刷深度以下0.5m~1.0m,否则应采取可靠防冲措施。8度及8度以上地震区不宜采用块体砌筑墙式防护结构。

4.4.7 为降低墙后填土的水压力,生态混凝土墙式防护结构墙后宜在一定范围内回填砂性土或砂砾石,其余加筋带上的回填土料应达到水利、公路、铁路等各行业规范要求的压实度。

4.4.8 生态混凝土墙式防护结构稳定按加筋挡土墙要求考虑,需同时满足外部整体稳定和内部稳定要求。外部整体稳定可采用瑞典圆弧滑动法计算,安全系数应符合相关行业规范要求。内部稳定计算和挡墙块体应力验算,可按现行行业标准《水工挡土墙设计规范》SL 379 的规定执行。

## 5 施 工

### 5.1 生态混凝土配制

5.1.1 生态混凝土不等同于普通无砂混凝土,不同的骨料品种和粒径可构成不同的生态孔径,适合构建不同生态系统的要求。用于水上防护时,其生态恢复的标志性生物一般为须根系草本植物,骨料要满足植物须根深入生态混凝土孔隙的要求,平均粒径在20mm~40mm;用于水下防护时,其标志性生物既可能为芦苇等直根系挺水植物,也可能为鱼、虾、蛙等小型动物,骨料平均粒径以偏大些为宜,以便为水下生物提供生存或栖息、躲避环境。

水泥用量系吉林省水利科学研究院在采用不同骨料品种、不同粒径条件下经系列试验得出。在保障一定的生态孔径的前提下,抗压强度可达到5MPa以上,通过增加水泥量、减少骨料平均粒径、加入外加剂等方式可使抗压强度提高,但有时会影响生态孔径及其贯通性,增加造价。

由于不同种类水泥混凝土析出的盐碱性物质组分、数量不同,因此宜根据所采用的水泥品种调配盐碱改良材料配比和用量。

### 5.2 坡式结构施工

5.2.1 本条依据现行行业标准《堤防工程施工规范》SL 260 编写。

在坡式生态混凝土防护结构表面生长的植物,其根系常穿透防护层进入被保护土坡内,最终形成稳固的生态防护系统,因此坡下土层可覆盖可耕作土料。

5.2.2 种植土料贮备量根据生态混凝土空隙土添加量及表层覆土量确定。

5.2.3 本条依据现行行业标准《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》SL/T 225 编写。

5.2.4、5.2.5 本条依据现行行业标准《堤防工程施工规范》SL 260 编写。

根据研究成果,浇筑生态混凝土前应预先在底面铺设一层厚度30mm~50mm小粒径碎石,是为了承接滴落的水泥浆,防止营养型无纺布被水泥浆淤堵。

土工格室生态混凝土及其施工技术方式,为专利技术,适用于边坡变形较严重的场合。

5.2.6 在向生态混凝土生态孔隙填充复合盐碱改良材料时,可优先选用吹填法。

5.2.7 生态混凝土表面种植土回填厚度,主要是保障播种初期草籽发芽及防热用,以便草籽发芽及分蘖后,可使根须深入生态混凝土内部。回填土层较厚时,种草后易横长,出现“根毡”现象而枯死;同时覆土过厚时,易被水流冲刷流失。

5.2.8 本条依据现行行业标准《堤防工程施工规范》SL 260 编写。

### 5.3 墙式结构施工

5.3.1 生态混凝土墙式结构的箱式砌块及制作是专利技术。其中用于水上防护时,箱体内置装有盐碱改良材料及其他植物营养填充材料的营养包;用于水下防护时,不内置营养包,避免加剧水体的富营养化程度。

5.3.2、5.3.5 条文依据现行行业标准《堤防工程施工规范》SL 260、《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》SL/T 225 编写。

### 5.4 植物种植及养护

5.4.1 在生态混凝土上种植植物时,应区分在不同温度区域采用不同冷、暖类型草品种,尤其在季节性寒冷地区应引起注意。某些



冷型草品种(如黑麦草)在通常年份土表层 50mm 温度为  $-10^{\circ}\text{C}$  时,仍可以在次年春季缓青,但若遇酷寒年份,土表层温度降至  $-15^{\circ}\text{C}$  以下时则会冻死。

**5.4.2、5.4.3** 生态混凝土坡式及墙式防护种植花草时,可选用播种、铺设(粘贴)草卷、栽种、扦插等方式,也可选用喷播方式。喷播方式绿化覆盖效果较好,但造价相对较高。

**5.4.4** 生态混凝土坡式防护表面单一种植草坪,其生物多样性及空间异质性程度较低,生态恢复及景观效果常不理想,因此可根据生态恢复及生态景观建设要求,在预留位置栽种部分树木。

**5.4.5** 生态混凝土坡式防护表面播种绿化植物的分蘖期,是植物能否顺利生长的关键时期,尤其是当局部盐碱改良材料充灌不均时,常出现草叶烂尖、叶面钝化、黄瘦倒伏等盐碱中毒现象,可采取补充盐碱改良材料、更换植草品种等补救措施。

## 6 质量检验与评定

### 6.2 试验与检测

**6.2.5** 符合构建生态系统要求的生态混凝土,其内部孔洞应相互贯通,使生态混凝土防护层与被保护土层之间生态系统功能具有关联性。因此采用平均粒径为  $2.36\text{mm}\sim 4.75\text{mm}$  的标准砂穿过生态混凝土试验构件量不少于 50% 作为衡量生态孔径的标准。

**6.2.6** 由于以无砂混凝土作为骨架的生态混凝土无法进行相对动弹性模量和质量损失检测,故对试件采用松散型检测,即经过一定次数的冻融循环后,骨料是否出现脱离、试件是否松散的现象。