



CECS xxx: xxx

中国工程建设协会标准

绿色装配式边坡防护技术规程

Technical specification for green prefabricated slope protection

(征求意见稿)

中国计划出版社

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》(建标协字[2018]015号)的要求,制定本规程。

本规程共分7章和3个附录,主要内容包括:总则、术语、基本规定、绿色装配式构件、工程设计、施工与监测、检测与验收等。

根据原国家计委[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、监理、质量检测等单位的工程技术人员采用。

本规程由中国工程建设标准化协会绿色建筑与生态城区专业委员会(CECS/TCXX)归口管理,并由瑞腾基础工程技术(北京)股份有限公司负责解释(地址:北京市海淀区中关村大街紫金数码园3号楼1005,邮政编码:100190)。在执行中,如有意见和建议,请径寄解释单位。

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	3
3	基本规定	5
4	绿色装配式构件	6
4.1	一般规定	6
4.2	绿色装配式面层	6
4.3	装配式面板	7
4.4	绿色装配式植被防护面层	7
4.5	锚固与连接构件	8
5	工程设计	12
5.1	一般规定	12
5.2	绿色装配式放坡防护设计	13
5.3	绿色装配式垂直防护设计	18
5.4	绿色装配式植被防护设计	19
6	施工与监测	20
6.1	一般规定	20
6.2	绿色装配式放坡防护施工	20
6.3	绿色装配式垂直防护施工	21
6.4	装配式植被面层施工	22
6.5	回收与再利用	23
6.6	监测	23
7	质量检验与验收	25
7.1	一般规定	25
7.2	质量检验	25
7.3	施工检验	26
7.4	工程验收	27
7.5	验收合格标准	28

附录 A	边坡防护形式分类原则	30
附录 B	装配式面层构件拉伸试验方法.....	31
附录 C	垂直防护装配式面板土压力计算.....	33
	本规程用词说明	35
	引用标准名录	36
附：	条文说明	

1 总 则

1.0.1 为在绿色装配式边坡防护的设计、施工及验收中做到安全适用、技术先进、经济合理、节约资源、保护环境，制定本规程。

【条文说明：随着我国改革开放的发展，建设工程领域发生了突飞猛进的变化，特别是人们生活水平提高，对环境要求越来越高，建筑行业改革势在必行。因此，绿色建筑技术成为建筑业的未来发展趋势。岩土工程作为建筑工程领域一个重要分支，是在工程地质环境基础上的一种人类工程建设活动，它与天然地质环境紧密相连，对环境的影响较其它建筑工程更显著。因此，发展绿色岩土工程技术刻不容缓。近年来，相关政策和标准的出台和完善，催生了一些绿色新技术，这些技术追求绿色环保与可持续发展，其宗旨是：减少污染、降低能耗、缩短工期、提高工效。

80年代以来我国对土工合成构件进行了广泛研究，在公路、铁路及边坡已大量采用加筋土构件。加筋土构件和技术上的优势已被广大技术人员认可，也引起广大岩土工程技术人员的高度重视。但是，土工合成构件在基坑技术领域发展和应用尚不普及。绿色装配式边坡防护是土工合成构件的应用延伸，具备节约资源、保护环境、减少污染等优势，也完全符合目前国家的相关政策。因此，迫切需要对绿色装配式边坡防护的应用与发展进行规范，便于设计、施工、监理及检测等相关单位广泛应用该技术，特制订本规程**】**

1.0.2 本规程适用于公路、铁路、轨道交通、地下管廊、市政和建筑等领域边坡工程中的绿色装配式边坡防护的设计、施工与监测、检测与验收。

【条文说明：绿色装配式边坡防护采用土工合成构件，经过特殊组合，根据需要在工厂预制成特定功能的各种类型，来满足公路、铁路、轨道交通、地下管廊、市政和建筑等领域边坡工程的需求，可对边坡实现反滤、防渗、防护、加筋等功能。**】**

1.0.3 绿色装配式边坡防护工程应综合考虑工程地质与水文地质条件、场地与环境要求、施工条件等因素的影响，并结合工程经验，因地制宜、精心设计、精心施工、精心监测。

1.0.4 绿色装配式边坡防护的设计、施工及验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 绿色装配式 green prefabricated

可实现节约资源、保护环境、减少污染、作业环境健康的高效施工方式。

2.1.2 装配式面层 prefabricated facing

工厂标准化生产的由高分子材料复合而成、可装配施工的的边坡防护层。

2.1.3 装配式面板 prefabricated pannel

工厂标准化生产的由高分子材料复合而成、可装配施工的的边坡防护板。

2.1.4 装配式植被面层 prefabricated vegetative facing

工厂标准化生产的由高分子材料及植被层复合而成、可装配施工的的边坡防护层。

2.1.5 锚固构件 anchor member

连接面层与土体并提供锚固力的构件，如固定钉（U型钉、竹签等）、土钉、锚杆等。

【条文说明：为了保证面层与边坡土体的密贴，可采用成孔置入或直接击入锚固杆件，对面层提供一定的锚固力。】

2.1.6 连接构件 connecting strip member

将锚固构件、装配式面层或面板与边坡土体密贴的加强杆件，如加强筋、钢绞线、扁钢等。

2.1.7 紧固构件 fastening member

保证面层、连接构件及锚固构件相互固定的构件。

2.1.8 构件拆除率 percentage of demountable

工程构件在使用后，可拆除构件占工程构件消耗（铺设）总量的百分比。

2.1.9 皮肤层（密贴层） skin layer

一种可以与土体密贴的复合材料。

2.2 符 号

A_r ——加强筋截面面积；

b ——装配式面板长度；

f ——计算单元中心处装配式面层的水平位移；

f_b ——装配式面板抗弯强度设计值；

F_{fx} ——绿色装配式面层沿水平方向的拉伸强度；

F_{fs} ——绿色装配式面层沿坡度方向的拉伸强度；

f_y ——加强筋抗拉强度设计值；

K_f ——绿色装配式面层的抗拉安全系数；

M ——单位高度装配式面板中心弯矩设计值；

N_{kx} ——土钉间计算单元内绿色装配式面层沿水平方向单位宽度的轴向拉力标准值；

N_{ks} ——土钉间计算单元内绿色装配式面层沿坡度方向单位宽度的轴向拉力标准值；

N_r ——加强筋轴向拉力设计值；

N_{rs} ——沿坡度方向的加强筋轴向拉力设计值；

N_{rx} ——沿水平方向的加强筋轴向拉力设计值；

p_{ak} ——计算单元中点处由支护土体自重及附加荷载共同引起的主动土压力强度标准值；

P_{kb} ——装配式面板所受的平均侧向主动土压力强度；

P_{ks} ——土钉间计算单元内的平均侧向主动土压力强度；

S_x ——土钉水平间距；

S_z ——土钉垂直间距；

t ——装配式面板厚度；

β ——坡面与水平面的夹角；

δ ——装配式面板两端约束系数；

η ——受土钉影响的主动土压力折减系数；

η_b ——装配式面板主动土压力折减系数；

λ_s ——作用在装配式面层上的荷载在坡度方向每边的分配系数；

λ_x ——作用在装配式面层上的荷载在水平方向每边的分配系数；

ξ ——坡面倾斜时的主动土压力折减系数；

φ_m ——计算单元及其以上各土层按厚度加权的内摩擦角均值；

ψ_r ——加强筋工作系数；

ψ_b ——装配式面板工作系数；

ω_s ——装配式面层变形曲线矢高与土钉间距的比值；

ω_r ——加强筋变形曲线矢高与土钉间距的比值。

3 基本规定

3.0.1 绿色装配式边坡防护的面层、面板、紧固构件和连接构件应符合绿色、环保和节能要求，组合装配后应满足边坡防护功能要求。

3.0.2 绿色装配式边坡防护工程使用年限：对于临时性边坡不应超过两年，超过相应使用期后应重新对边坡进行安全评估。对于永久性边坡，设计使用年限不低于被保护的建（构）筑物的使用年限。

条文说明：考虑到规范的衔接性，本规程中边坡的安全等级与中华人民共和国国家标准《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330-）和行业标准《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120-）保持一致。

3.0.3 绿色装配式构件进场时应进行抽样检测，对重要工程宜进行现场试验。

3.0.4 绿色装配式构件应根据其特性进行分类储存和运输。

3.0.5 绿色装配式边坡防护应结合边坡工程的特点，合理确定面层的铺设范围、连接位置和连接方式等，连接处接缝强度不低于面层强度。

3.0.6 对变形有严格要求时，绿色装配式边坡防护设计尚应采用工程类比法和数值计算进行变形分析。

条文说明：本规程中变形严格要求系指边坡周边有建筑物、地下管线、道路和较大的施工荷载等条件。

3.0.7 绿色装配式边坡防护施工应做好监测工作，必要时宜对装配式构件进行专项监测，并实施信息化施工。

4 绿色装配式构件

4.1 一般规定

4.1.1 绿色装配式边坡防护按使用期限、支护结构类型和构件特性进行分类，详见本规程附录 A。

4.1.2 绿色装配式面层（面板）、锚固构件、连接构件、紧固构件应按设计进行有效连接。

4.1.3 绿色装配式构件的性能指标应满足设计要求；对于永久性边坡防护工程，构件尚应满足耐久性要求。

【条文解释：绿色装配式构件性能指标主要包括以下几个方面：（1）物理性能：单位面积质量、厚度、伸长率、等效孔径及其与压力的关系等；（2）力学性能：拉伸强度、顶破强度、弹性模量等；（3）反滤性能：渗透系数；（4）耐久性：抗氧化、抗紫外线、蠕变、防腐性能等；（5）其他性能：防火、防水、绿色环保等性能。】

4.1.4 绿色装配式边坡防护、支护的构件应根据设计要求进行优选。

4.2 绿色装配式面层

4.2.1 绿色装配式面层构造应符合下列规定：

1 面层宜采用绿色装配式构件，应具有加筋、反滤和防护等功能；

【条文说明：根据场地的工程地质和水文地质条件及工程设计要求，装配式复合构件通常由多层构件组合而成，包括加筋层、反滤层、防护层、皮肤层等。

1) 加筋功能：具有一定抗拉强度，满足承受坡面土压力的要求；

2) 反滤功能：具有防止土颗粒流失的作用；

3) 防护功能：具有防水、阻燃等功能。

4) 皮肤层：应采用保证面层与坡面土体密贴的构件。**】**

2 装配式面层不应出现折痕、破损、厚度不均、压边不齐等外观疵点。

4.2.2 装配式面层应根据设计要求进行相关物理、力学等性能试验，主要包括以下项目：

1 物理性能：单位面积质量、平均厚度等。

2 力学性能：拉伸强度、弹性模量、伸长率等。

- 3 耐久性：抗老化性、抗化学腐蚀性、蠕变性等。
- 4 其他性能：阻燃、防水、反滤等。

4.2.3 装配式面层应符合下列规定：

表 4.2.3 装配式面层技术指标要求

序号	基本项目	指标要求	备注
1	拉伸强度	≥15kN/m	
2	屈服伸长率	≤15%	
3	单位面积质量	≥400g/m ²	
4	平均厚度	≥4mm	
5	耐久性	≥2 年	临时边坡
		同结构设计周期	永久边坡

4.3 装配式面板

4.3.1 装配式面板应符合下列规定：

- 1 装配式面板为轻质标准化预制构件，使用时拼装简单，操作快捷；
- 2 装配式面板设计安装宜考虑美观要求；
- 3 装配式面板使用后可回收再利用，节约成本，减少污染。

4.3.2 装配式面板应按设计要求进行物理、力学性能等试验。

4.3.3 装配式面板物理、力学性能指标应符合下列规定：

表 4.3.3 装配式面板物理力学性能要求

序号	项目	单位	技术要求
1	拉伸强度	MPa	≥10.0
2	抗弯强度	MPa	按设计
3	模量	GPa	按设计
4	阻燃性能	级	≥B1

4.4 绿色装配式植被防护面层

4.4.1 绿色装配式植被防护面层应符合下列规定：

- 1 绿色装配式植被防护面层，应具有植被防护、加筋和反滤等功能；
- 2 植被防护功能部分由带营养物的种子层组成，主要功能在于防止坡面水

土流失；

3 加筋功能部分应满足承受坡面土压力的要求；

4 性能部分应采用具有一定耐久、环保等性能的构件。

4.4.2 绿色装配式植被防护面层物理、力学、性能等指标应符合 4.2.2 条。植被层的主要指标为种子播种率、草籽和灌木配比指标均应满足设计要求。

4.4.3 坡面绿化的植物构件规格、品种应符合设计要求，设计无要求时可根据坡面的构造、性质、功能特点，选择根系发达，株形较低矮、萌芽性强、耐干旱、耐瘠薄、病虫害少、绿色期长的地被植物。

4.5 锚固与连接构件

4.5.1 绿色装配式锚固构件与连接构件包括装配钉、土钉、锚杆、加强筋、紧固构件等，其技术参数和构件型号应满足设计要求。

4.5.2 绿色装配式紧固构件包括螺栓、卡扣、套筒等，其技术参数和构件型号应根据工程设计选择。

4.5.3 锚固件之间采用加筋肋连接、紧固。

4.5.4 装配式面层间搭接形式宜采用平接、对接、J 字形接和蝶形接等，搭接形式见图 4.5.4，其中，采用(a)方式沿坡面搭接时，应为上压下方式。

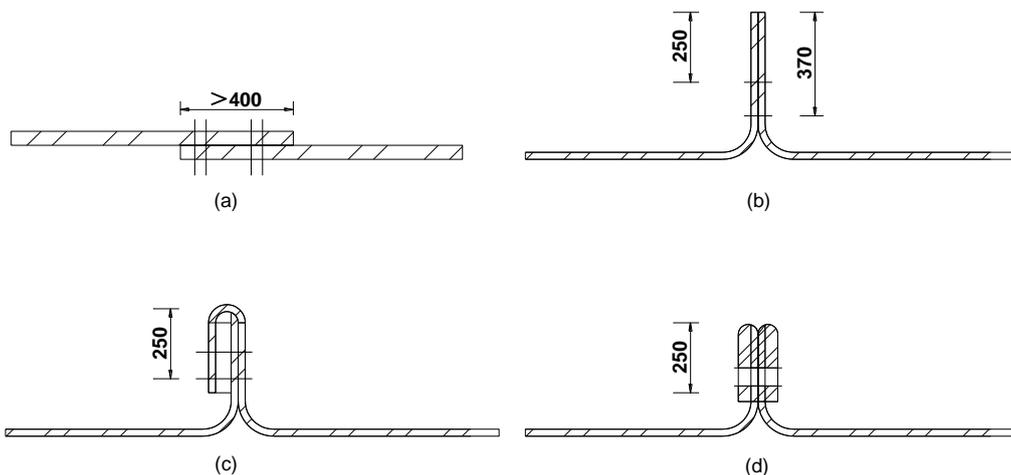


图 4.5.4 搭接形式 (mm)

4.5.5 锚固件与装配式面层节点构造 (图 4.5.5) 应符合下列规定：

1 装配式面层应与边坡土体贴合紧密，不得出现空鼓，翘边等不良现象；

- 2 装配式面层与锚固件之间通过连接构件（卡扣或钢套筒）紧固；
- 3 锚固件钉头之间通过连接构件串接在一起，连接构件的力学特性应满足设计要求；
- 4 通过紧固构件将锚固构件和连接构件有效连接。

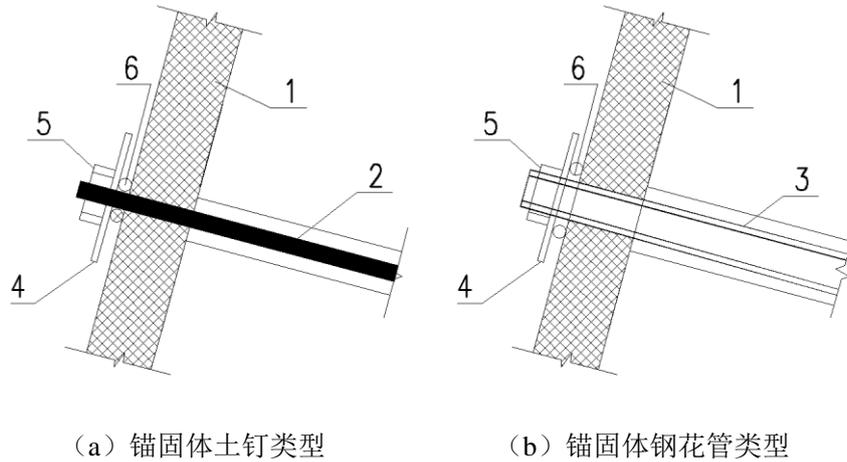


图 4.5.5 锚固体与装配式面层连接节点示意

1-装配式面层；2-土钉；3-钢花管；4-垫片；5-紧固构件（套筒或卡扣）；6-钢丝绳

4.5.6 支护桩与装配式面板间的连接应符合下列规定：

- 1 支护桩的垂直度应满足设计要求，并与装配式面板采用可靠方式连接。
- 2 装配式面板间宜设置止水条，保证板间贴合紧密。

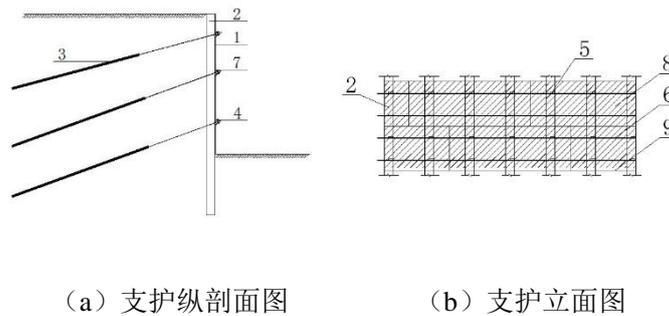


图 4.5.6 支护桩与装配式面板连接节点示意

1-装配式面板；2-支护桩；3-锚杆；4-腰梁；5-装配式面板连接构件；

6-加筋肋；7-锚具；8-装配式面层

4.5.7 装配式面板与支护桩的连接节点构造，应符合下列要求：

- 1 装配式面板可根据实际情况安装在型钢桩翼缘内侧或外侧。

1) 内侧安装面板时，在相邻型钢桩之间紧贴翼缘内侧插入装配式面板，随土方开挖在面板和型钢间的缝隙中顶入楔子（图 4.5.7-1）。

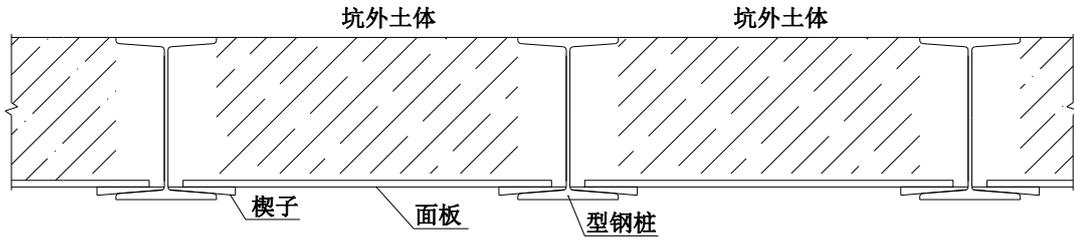


图 4.5.7-1 内侧楔子连接装配式面板剖面图

2) 外侧安装面板时，宜采用 L 型钢筋连接型钢翼缘，采用电弧焊接（图 4.5.7-2）。

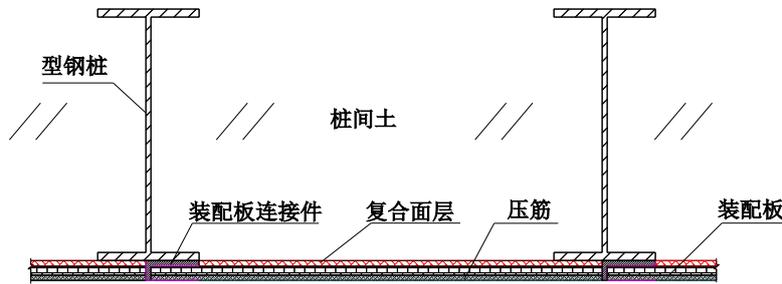


图 4.5.7-2 外侧 L 型钢筋连接装配式面板剖面图

2 装配式面板与钢管桩采用 Y 型钢筋连接时，钢管桩与 Y 型钢筋之间采用焊接连接，面板穿孔与钢筋连接，钢筋外露端采用螺母或扣件紧固（图 4.5.7-3）。采用钢管连接时，应预先在钢管桩上沿桩长方向等间距位置套入直角扣件，并拧紧。

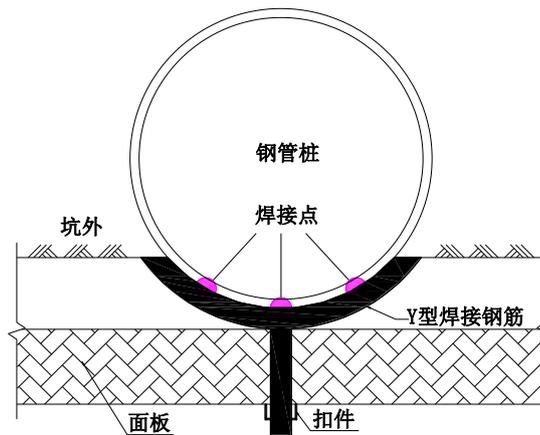


图 4.5.7-3 Y 型钢筋连接装配式面板剖面图

3 装配式面板与混凝土桩连接时，应待灌注桩混凝土达到设计强度后，打入膨胀螺栓或铆钉将面板固定在支护桩外侧（临空侧），见图 4.5.7-4。

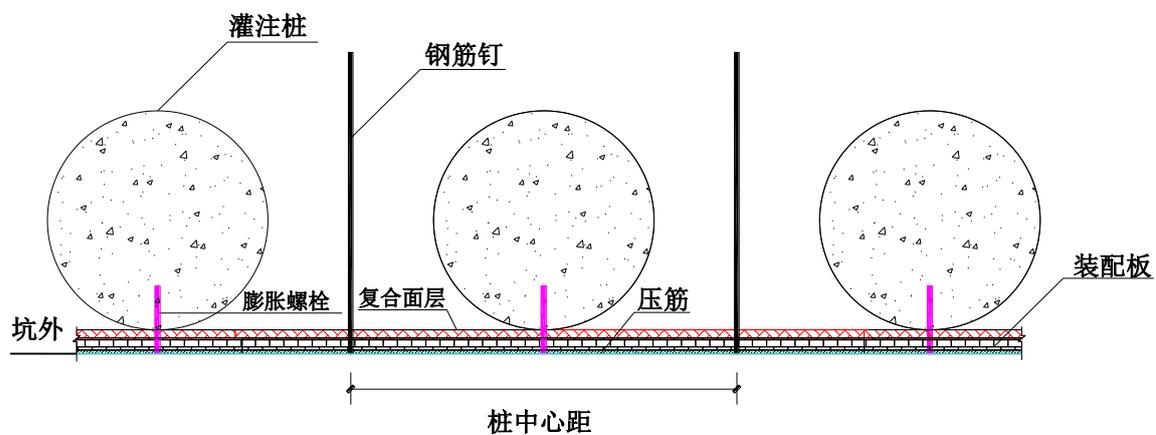


图 4.5.7-4 膨胀螺栓连接装配式面板剖面图

5 工程设计

5.1 一般规定

5.1.1 绿色装配式边坡防护设计时应收集以下资料：

1 场地的地质勘察资料，包括岩土体结构特征、工程地质与水文地质特征、以及岩土体物理力学性质；

2 周边环境资料，包括边坡影响范围内的建（构）筑物、道路、地下管网、以及既有边坡变形情况与稳定性；

3 现场施工条件等。

5.1.2 绿色装配式边坡防护设计应包括支护结构选型、布置、计算、构造以及地下水控制等，并对施工、监测及质量验收提出要求。

5.1.3 绿色装配式边坡防护结构设计时应进行下列计算和验算：

1 边坡整体滑动稳定性验算，支挡结构嵌固稳定性验算，软弱下卧层的隆起稳定性验算；

2 土钉承载力计算，锚杆抗拔承载力计算，锚杆杆体抗拉承载力计算；

3 支护桩的抗弯、抗剪、以及局部抗压承载力计算；

4 面层承载力计算；

5 地下水控制计算；

6 对变形有较高要求的边坡工程变形验算。

5.1.4 主动土压力、被动土压力可采用库伦或朗肯土压力理论计算。

5.1.5 岩土体及面层构件的物理力学参数采用标准值。

5.1.6 对超过设计使用期的临时边坡防护，经安全评估不满足要求的装配式构件，应进行局部构件设计与置换。

5.1.7 基坑边线以外地面的防水与排水设计应符合下列规定：

1 从基坑边线（或止水围墙）向外设置自然排水的硬化坡面，坡度不宜小于 3%；

2 在基坑边线（或止水围墙）2m 以外设置一道截水沟，多雨地区可设置多道。

3 截水沟的断面应根据地形、排水量等情况确定，沟底纵坡不宜小于 3%；

4 截水沟应进行防渗处理，其水流应排至基坑界外。

5.1.8 绿色装配式边坡防护应根据边坡类型、地质条件和环境条件制定相应的监测方案。

5.2 绿色装配式放坡防护设计

5.2.1 绿色装配式面层的拉伸强度应符合下式规定（图 5.2.1）：

$$\frac{F_{fx}}{N_{kx}} \geq K_f \quad (5.2.1-1)$$

$$\frac{F_{fs}}{N_{ks}} \geq K_f \quad (5.2.1-2)$$

式中： F_{fx} 、 F_{fs} ——分别为绿色装配式面层沿水平方向和坡度方向的拉伸强度（kN/m），试验方法见附录 B；

N_{kx} 、 N_{ks} ——分别为土钉间计算单元内绿色装配式面层沿水平方向和坡度方向的单位宽度轴向拉力标准值（kN/m）；

K_f ——绿色装配式面层的抗拉安全系数。永久性边坡， K_f 不应小于 2.0；安全等级为一级、二级、三级的临时性边坡， K_f 分别不应小于 1.8、1.6、1.4。

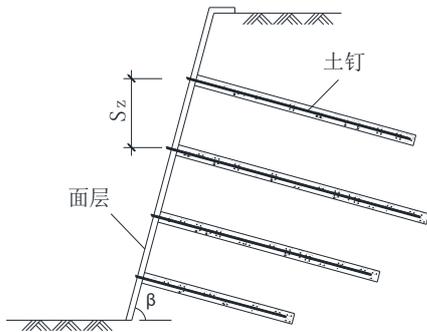


图 5.2.1-1 绿色装配式边坡剖面

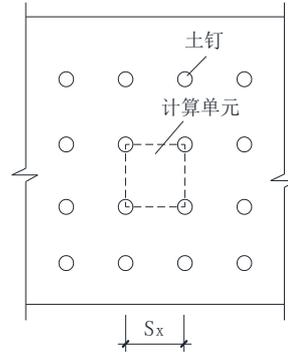


图 5.2.1-2 土钉间面层计算单元

5.2.2 绿色装配式面层的单位宽度轴向拉力标准值（图 5.2.2）可按下式计算：

$$N_{kx} = \frac{\lambda_x \cdot S_x \cdot P_{ks}}{4\omega_{sx}} \sqrt{1 + 16\omega_{sx}^2} \quad (5.2.2-1)$$

$$N_{ks} = \frac{\lambda_s \cdot S_z \cdot P_{ks}}{4\omega_{sz}} \sqrt{1 + (4\omega_{sz} + \cot\beta)^2} \quad (5.2.2-2)$$

式中： P_{ks} ——土钉间计算单元内的平均侧向主动土压力强度（kPa）；

S_x ——土钉水平间距（m）；

S_z ——土钉垂直间距 (m);

β ——坡面与水平面的夹角 ($^\circ$);

ω_{sx} 、 ω_{sz} ——分别为装配式面层在计算单元中心处水平位移与土钉间距 (水平方向、坡度方向) 的比值, 其中, $\omega_{sx} = \frac{f}{S_x}$, $0 < \omega_{sx} \leq \frac{1}{8}$;

$$\omega_{sz} = \frac{f}{S_z}, \quad 0 < \omega_{sz} \leq \frac{1}{8};$$

$\cot\beta$ ——边坡的坡比之倒数;

f ——计算单元中心处装配式面层的水平位移;

λ_x 、 λ_s ——分别为作用在装配式面层上的荷载在水平方向每边和坡度方向每边的分配系数, 可按表 5.2.2 选用。

表 5.2.2 装配式面层的荷载分配系数 λ

$\frac{S_x}{S_z}$	1.0		1.2		1.5		1.8		2.0	
	λ_s	λ_x								
1.0	0.250	0.250	0.292	0.208	0.333	0.167	0.361	0.139	0.375	0.125
1.2	0.208	0.292	0.250	0.250	0.300	0.200	0.333	0.167	0.350	0.150
1.5	0.167	0.333	0.200	0.300	0.250	0.250	0.292	0.208	0.313	0.187
1.8	0.139	0.361	0.167	0.333	0.208	0.292	0.250	0.250	0.275	0.225
2.0	0.125	0.375	0.150	0.350	0.187	0.313	0.225	0.275	0.250	0.250

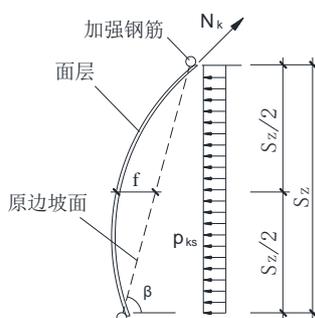


图 5.2.2 土钉间面层轴向拉力计算简图

【5.2.2 条文说明】本条按照弹性变形协调理论, 以分配系数的简化方式, 将作用在绿色装配式面层上的土压力分解到水平方向和坡度方向, 然后按照悬索模型独立求得土钉间面层分别沿水平方向和沿坡度方向轴向拉力标准值。其中, 沿水平方向的轴向拉力标准值考虑了在土压力的两个分力作用下产生的轴力叠加效应。

两端支座等高的悬索在均布线荷载作用下的长度计算公式见下式:

$$s = l \left(1 + \frac{8f^2}{3l^2} \right)$$

式中：s——悬索在均布线荷载作用下变形后的长度；

l——悬索跨度。

引入伸长率 ε ，则有：

$$f = \frac{l}{\sqrt{\frac{8}{3\varepsilon}}}$$

当 $\varepsilon = 10\%$ 时， $f = \frac{1}{5.2}l = 19.2\%S_x$ ，即， $\omega = \frac{1}{5.2}$ ； $\varepsilon = 1\%$ 时， $f = \frac{1}{16.3}l = 6.3\%S_x$ ， $\omega = \frac{1}{16.3}$ ； $\varepsilon = 0.5\%$ 时，

$f = \frac{1}{23.1}l = 4.3\%S_x$ ， $\omega = \frac{1}{23.1}$ 。可见，悬索在均布线荷载作用下矢高（垂度）变化值大于悬索长度变化值。两端支座不等高时，悬索在均布线荷载作用下的长度计算公式见下式：

$$s = l \left(1 + \frac{d^2}{2l^2} - \frac{d^4}{8l^4} + \frac{8f^2}{3l^2} - \frac{32f^4}{5l^4} - \frac{4d^2f^2}{l^4} \right)$$

式中：d——悬索两端支座在矢高方向上的高差。

5.2.3 在土体自重及附加荷载的作用下，绿色面层所受的侧向平均主动土压力强度 P_{ks} 可按下式估算：

$$P_{ks} = \eta_s \cdot \zeta \cdot p_{ak} \quad (5.2.3)$$

式中： η_s ——受土钉影响的主动土压力折减系数，与土性参数、土钉的间距和排距有关，无经验时可取0.5~0.7，其中，黏聚力较大的土体取小值，黏聚力较小的土体取大值；

ζ ——坡面倾斜时的主动土压力折减系数；

p_{ak} ——计算单元中点处由支护土体自重及附加荷载共同引起的主动土压力强度标准值（kPa）。

【5.2.3 条文说明】：本条参考了国内外的研究成果，特别是参考了相关的规范和规程。边坡在主动土压力的作用下产生位移时，土钉通过钉与土之间的摩擦作用产生抗拔力，其位移量小于土体，两个土钉之间的土体有被挤出的趋势，土体位移不均匀，中间土体的位移大，靠近土钉的土体位移最小。如果土钉间距合理，则会在两个土钉之间形成土拱。土拱承受后面的土压力并将其传递给土钉，土钉再传到土层深处。即便形不成土拱，也会有部分土压力通过钉与土之间的摩擦作用直接传递给土钉。所以，面层所承受的主动土压力只能是土钉墙所承受的全部土压力的一部分。中国工程建设标准化协会标准《基坑土钉支护技术规程》(CECS 96:97)、《公路土钉支护技术指南》(2006)、国家军用标准《土钉支护技术规范》(GJB5055-2006)中，面层平均土压力折减约70%；德国某些工程按85%主动土压力设计永久支护面层，但实测数据并没有这样大；法国 Clouterre 研究项目得出的结论是面层荷载合力一般不超过土钉最大拉力的30~40%，建议限制土钉间距，面层土压力取土钉中最大拉力的60%（间距1m）~100%（间距3m）。美国《土钉墙设计施工与监测手册》建议钉头荷载按该点主动土压力的50%取值。

当水平间距为临界值时，土钉间面层计算单元水平方向上两个土钉中点的主动土压力达到了按经典土压力理论计算的主动土压力强度值，即该点的土压力不受土拱影响。同理，当排距为临界值时，沿垂直方向上两个土钉中间的主动土压力也达到了按经典土压力理论计算的主动土压力强度值。此时，土钉间面层计算单元主动土压力的典型几何模型类似于“十字歇山顶”屋面（如图1所示），土钉间面层计算单元的平均主动土压力强度的折减系数为0.667，即： $P_{ks} = 0.667p_{ak}$

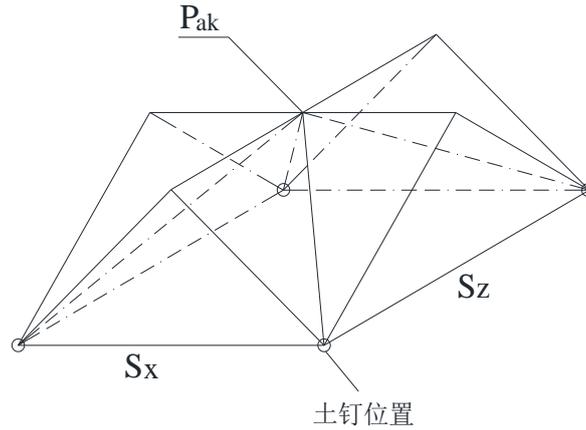


图1 土钉间面层计算单元主动土压力的典型几何模型

5.2.4 坡面倾斜时的主动土压力折减可按下式计算：

$$\xi = \tan \frac{\beta - \varphi_m}{2} \left(\frac{1}{\tan \frac{\beta + \varphi_m}{2}} - \frac{1}{\tan \beta} \right) / \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_m}{2} \right) \quad (5.2.4)$$

式中： φ_m ——计算单元及其以上各土层按厚度加权的内摩擦角均值（°）。

5.2.5 土钉间加强筋的受拉承载力应符合下式规定：

$$N_r \leq f_y \cdot A_r \quad (5.2.5)$$

式中： N_r ——加强筋轴向拉力设计值（kN）；

f_y ——加强筋抗拉强度设计值（kPa）；

A_r ——加强筋截面面积（ m^2 ）。

5.2.6 土钉间加强筋的轴向拉力设计值可按下式计算：

$$N_{rx} = \frac{\psi_r \cdot \lambda_s \cdot S_x \cdot S_z \cdot P_{ks}}{4\omega_{rx}} \sqrt{1 + 16\omega_{rx}^2} \quad (5.2.6-1)$$

$$N_{rs} = \frac{\psi_r \cdot \lambda_x \cdot S_x \cdot S_z \cdot P_{ks}}{4\omega_{rz}} \sqrt{1 + (4\omega_{rz} + \cot \beta)^2} \quad (5.2.6-2)$$

式中： N_{rx} 、 N_{rs} ——分别为沿水平方向和坡度方向的加强筋轴向拉力设计值（kN）；

ψ_r ——加强筋工作系数， $\psi_r=1.0\sim 1.3$ ，其中，土钉间计算单元中沿水平方向的上层加强筋及沿坡度方向的加强筋取小值，沿水平方向的下层加强筋取大值；

ω_{rx} 、 ω_{rz} ——分别为两土钉中点处加强筋的水平位移与土钉间距（水平方向、坡度方向）的比值，其中， $\omega_{rx} = \frac{f}{S_x}$ ， $0 < \omega_{rx} \leq \frac{1}{15}$ ；

$$\omega_{rz} = \frac{f}{S_z}, \quad 0 < \omega_{rz} \leq \frac{1}{15}。$$

【5.2.6 条文说明】：由于均布线荷载的作用，悬索中各点横截面上的轴向拉力不同，其中，跨中横截面上的轴向拉力最小，支座处横截面上的轴向拉力最大。悬索在均布线荷载作用下各点横截面的轴力计算公式见下式：

$$N = V \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dz}\right)^2}$$

式中：N——悬索各点横截面的轴向拉力；

$\frac{dy}{dz}$ ——悬索曲线（如图2所示）任一点的斜率；

V——悬索任一点横截面轴力的竖向分量，为常量，即：

$$V = \frac{ql^2}{8f}$$

式中：q——作用在悬索上的均布线荷载。



图2 悬索计算简图

5.2.7 采用坡率法设计时，绿色装配防护构造应符合下列规定：

- 1 装配钉应垂直于坡面设置，并使面层与坡面紧密接触；
- 2 装配钉宜采用 HRB400 钢筋，直径不宜小于 16mm；
- 3 装配钉水平间距和竖向间距宜为 1m~2m，垂直坡面入土深度不宜小于 500mm；
- 4 连接构件宜采用钢丝绳，直径不宜小于 6mm；
- 5 对于边坡局部存在砂层时，宜设置钢花管注浆；
- 6 装配式面层采用防水面层时，宜设置泄水孔或采用其他疏水措施。

5.2.8 绿色装配式边坡防护构造措施应符合下列规定：

1 由上至下按锚固钉层数分层设置锚固钉、装配式面层、连接构件、紧固构件等；

2 坡顶翻边长度应不小于 800mm，坡底翻边长度应不小于 300mm。上下压边构造采用素混凝土时，厚度不小于 80mm，混凝土强度等级不宜低于 C20；

3 面层铺设宜分区分块，区块之间应相互搭接，搭接强度不低于装配式面层的强度；

条文说明：搭接处可采用扎丝、U型装配钉或竹签等。

5.3 绿色装配式垂直防护设计

5.3.1 绿色装配式垂直防护装配式面板受弯承载力应符合下式规定：

$$M \leq \frac{1}{6} f_b \cdot t^2 \quad (5.3.1)$$

式中： M ——单位高度装配式面板中心弯矩设计值（ $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ）；

f_b ——装配式面板抗弯强度设计值（ kPa ）；

t ——装配式面板厚度（ m ）。

5.3.2 装配式面板中心弯矩设计值可按下式计算：

$$M = \psi_b \cdot \delta \cdot P_{kb} \cdot b^2 \quad (5.3.2)$$

式中： ψ_b ——装配式面板工作系数，取 1.1~1.2；

δ ——装配式面板两端约束系数，其中，两端简支时取 $\frac{1}{8}$ ，两端固定时取 $\frac{1}{24}$ ；

P_{kb} ——装配式面板所受的平均侧向主动土压力强度（ kPa ）；

b ——装配式面板长度（ m ）。

【5.3.2 条文说明】：本条参考了铺板的设计计算，并取装配式面板为单向（两边）支承。当装配式面板与型钢支护桩内嵌式整体连接时，可按固端考虑，其他形式按简支考虑。

5.3.3 在土体自重及附加荷载的作用下，装配式面板所受的侧向平均主动土压力强度 P_{kb} 可按下式估算，也可采用附录 C 进行计算。

$$P_{kb} = \eta_b \cdot p_{ak} \quad (5.3.3)$$

式中： η_b ——装配式面板主动土压力折减系数，无地区经验时可取 0.3~0.7。

【条文解释】：由于支护桩桩间的岩土体存在土拱效应，垂直防护装配式面板所受的侧向平均主动土压力小于经典理论的计算值，本条考虑了土拱效应，根据工程经验进行了折减。

5.3.4 装配式面板的设计应符合下列规定：

- 1 装配式面板与型钢桩搭接长度不宜小于 80mm；
- 2 装配式面板应设置泄水孔、安装孔等；
- 3 根据场地水文地质条件，必要时在装配式面板后应设反滤层。

5.3.5 装配式面板与支护桩连接节点设计，应符合下列规定：

- 1 支护桩的垂直度应满足设计要求；
- 2 装配式面板与土体间宜紧密贴合。土层含水量大时，宜设置止水条；
- 3 装配式面板与型钢桩的连接适用于地下水位在基底以下的场地。装配式面板与型钢桩连接可采用螺栓连接、楔子连接、L 型钢筋连接等方式。采用螺栓连接时，螺栓强度等级不宜小于 4.8。采用楔子连接时，楔子材质宜与面板材质相接近。采用 L 型钢筋连接时，钢筋直径宜取 12mm~22mm；
- 4 装配式面板与钢管桩连接可采用焊接、Y 型钢筋连接、钢管连接、螺栓连接或铆钉连接等方式。Y 型钢筋直径宜取 12mm~22mm；
- 5 装配式面板与混凝土桩连接可采用膨胀螺栓连接、铆钉连接或预埋件连接等方式，适用于地下水位较低的场地。膨胀螺栓规格宜取 M12~M22，长度宜取 100mm~300mm。
- 6 每块面板竖向锚固节点不少于 2 个，水平锚固节点宜为每桩一个。
- 7 变形要求严格时，可增设锚固节点和连接构件，连接构件采用扁钢时，宽度不小于 25mm，厚度不小于 5mm。连接构件采用钢筋时，直径不小于 14mm。连接构件采用钢绞线时，结构不小于 1×3，公称直径不小于 10.80mm。

5.4 绿色装配式植被防护设计

5.4.1 绿色装配式植被防护面层的功能应包括固定、加筋、防护和绿化等。

5.4.2 绿色装配式植被防护设计应符合 5.2 节规定。

5.4.3 植被层应符合下列规定：

- 1 依据气候类型、原生植被、边坡土壤、施工季节等综合因素选择根系发达、绿期长、景观效果好、前期生长速度较快的生态防护植被品种，并以多年生植物为主；

- 2 不得使用外来入侵种。

5.4.4 绿色装配式植被防护中的锚固构件、连接构件、紧固构件等均应做防腐处理。

5.4.5 定期检查植草生长情况，对基质坍塌、裸地较多、植被生长不良、乔灌木比例较低等未达到设计要求的情况，应进行修整、补播或补栽。

6 施工与监测

6.1 一般规定

6.1.1 绿色装配式边坡防护施工前除做好人员、技术、构件、设备、场地准备等，尚应制定并落实以下准备工作：

- 1 应做好场地内管线、设施和建（构）筑物等的保护和处理措施；
- 2 应对场区地面硬化并布置排水系统；
- 3 按方案布设监测点并做好保护措施。

6.1.2 绿色装配式构件应符合设计要求，并应有出厂合格证和试验报告。

6.1.3 绿色装配式构件在运输、存放及安装过程中应避免损坏。

6.1.4 坡顶堆载应符合设计要求，不应超载。

6.1.5 土方开挖应配合装配式构件安装，严禁开挖机械损坏面层和装配构件。

6.1.6 宜进行信息化施工，如发现地质条件、工程条件、场地条件与勘察设计不符，或周边环境出现异常等情况，应及时上报。

6.2 绿色装配式放坡防护施工

6.2.1 修坡施工应符合下列规定：

- 1 放线标注上下口线位置；
- 2 沿上口线每隔 10m 设置一条沿坡面的控制线；
- 3 修坡时，宜由上至下刮平坡面，必要时用黏土或水泥土进行找平。

6.2.2 锚固构件施工应符合下列规定：

- 1 布置施工控制线和控制点位，并做好标识；
- 2 锚固构件宜外露 50mm-80mm；
- 3 机械成孔时，应保证孔径及深度，清除孔内残渣；
- 4 成孔注浆的锚固构件，每 2.0m 设置一个对中支架；
- 5 坡顶上口线外侧 500mm 处设置一条与上口线平行的连接构件，连接构件在与每排锚固件的竖向延长线相交处设置竖向锚固构件，锚固构件外露 50mm-80mm。

6.2.3 面层铺设施工应符合下列规定：

- 1 面层铺设由上至下，上边与上口线平行，坡顶翻边长度应不小于 800mm，坡底翻边长度应不小于 300mm；
- 2 面层铺设宜分区分块，区块之间应相互搭接，搭接长度应不小于 300mm，竖向搭接应上口压下口，并与锚固件有效连接；
- 3 铺设完成后，锚固构件间应设置横向和纵向连接构件。

6.2.4 连接构件施工应符合下列规定：

- 1 相邻锚固构件之间均应采用连接构件连接；
- 2 锚固构件与连接构件应可靠连接，应满足设计要求；
- 3 连接构件宜在锚固构件处连接并拉紧；
- 4 连接构件采用钢丝绳时，紧固构件宜采用卡扣、套筒等。

6.2.5 压边构造施工应符合下列规定：

- 1 在坡顶和坡底位置应设置压边构造，其宽度不应小于面层翻边宽度；
- 2 压边构造采用素混凝土时，厚度不小于 80mm，混凝土强度等级不宜低于 C20。

6.3 绿色装配式垂直防护施工

6.3.1 装配式面板与支护结构连接的预埋件，应在支护结构施工时按设计要求埋设。预埋件位置偏差过大或未设预埋件时，应制订补救措施或可靠连接方案，并经业主、设计单位同意后，方可实施。

6.3.2 装配式面板安装前应检查垂直边坡面的平整度，并清理异物。

6.3.3 装配式面板宜采用螺栓、预埋或焊接连接等形式与支护结构可靠连接。

6.3.4 装配式面板施工应符合下列规定：

- 1 面板安装前，应对面板接缝处进行清理；
- 2 装配式面板应表面平整，色彩一致，接缝均匀；
- 3 装配式面板之间宜做好密封处理；
- 4 相邻装配式面板间隙及同一平面度的允许偏差均不应大于 10mm；
- 5 装配式面板安装不宜出现竖向通长接缝；

6 单元板块调整、校正后，应及时安装防松脱、防滑移和防倾覆装置。

6.3.5 装配式面板与支护桩的连接施工，应符合下列要求：

1 装配式面板与型钢桩采用螺栓连接时，螺栓的开孔孔径按“中等装配”系列执行。采用 L 型钢筋连接，单面焊接时，焊缝长度不小于 10 倍钢筋直径；双面焊接，焊缝长度不小于 5 倍钢筋直径。焊缝外观质量达到 II 级。

2 装配式面板与钢管桩采用钢管连接时，可按设计要求对打入的钢管桩进行注浆，并待其达到强度要求后将带有预留孔的装配式面板临时固定，将直径 25mm~50mm 连接钢管通过面板预留孔套入直角扣件，面板临空侧穿出的部分连接钢管应带有外螺纹并用螺母套牢。

6.3.6 装配式面板安装固定后的偏差应符合表 6.3.6 规定：

表 6.3.6 装配式面板安装允许偏差

序号	项 目	允许偏差	检查方法
1	板面垂直度	±0.5%	全站仪或经纬仪等
2	板面平面度	±0.5%	2m 靠尺、金属直尺
3	竖缝直线度	±0.5%	2m 靠尺、金属直尺
4	横缝直线度	±0.5%	2m 靠尺、金属直尺
5	两相邻面板之间接缝高低差	5mm	金属直尺
6	相邻两组件面板表面高低差	5mm	金属直尺

6.4 装配式植被面层施工

6.4.1 植被防护施工应符合下列规定：

- 1 施工前应对边坡进行修整，清除边坡上的危石及松土；
- 2 施工时，边坡应边开挖边防护，并应及时养护；
- 3 边坡防护工程施工应采取有效的截、排水措施。

6.4.2 植被面层铺设与固定应符合下列规定：

- 1 植被面层应顺边坡自上而下铺设，坡顶翻边宽度不小于 800mm；
- 2 相邻搭接宽度不小于 300mm；
- 3 防护面层铺设应做到平整无褶皱。

6.4.3 植被面层养护应符合下列规定：

- 1 洒水时应控制喷头与坡面的距离、出水量和移动速度；
- 2 出芽期应增加洒水频率和洒水量；
- 3 幼苗期应维持植被面层表面湿润；
- 4 生长期可逐渐降低洒水浇灌频率。洒水浇灌时间宜在午后进行，且保证湿透土层 10cm 以上。

6.5 回收与再利用

6.5.1 回收施工应符合下列规定：

- 1 回收施工应根据回收拆除率的要求，制订专项拆除方案，确定回收技术、方法和顺序；
- 2 应按照面层、面板、锚固构件、连接构件、支护桩等构件的特性和类型进行分类回收；
- 3 应结合地下结构施工和土方回填顺序进行回收；
- 4 根据回收作业条件，制定相应的应急预案。

6.5.2 装配式构件回收再利用前，应进行评估。对于可修复构件，应进行修复鉴定，并根据鉴定结果综合利用。

6.5.3 装配式构件多次周转使用时，应进行矫正与修补。

6.6 监测

6.6.1 边坡监测方案应包括项目名称、监测方法、测点布置、监测项目报警值和信息反馈制度等内容，经监理和业主共同认可后实施。

6.6.2 边坡工程监测应符合下列规定：

- 1 坡顶和坡面位移点的间距不宜大于 20m，边坡顶部设置不少于 3 个监测点的观测网；
- 2 应选择有代表性的锚固构件，监测其拉力和预应力损失；
- 3 边坡工程施工初期，监测宜每天一次；
- 4 监测工作可根据设计要求、边坡稳定性、周边环境和施工进度等因素进

行动态调整，当出现险情时应加强监测；

5 永久性边坡工程竣工后的监测至变形稳定为止，且不宜少于 2 年。

6.6.4 当出现下列情况之一时，应立即报警并及时反馈，并通知有关各方对边坡支护结构和周边环境中的保护对象采取应急处理措施：

- 1 监测项目的内力及变形监测累计值达到报警值；
- 2 装配式防护或周边土体的位移值增长且不收敛；
- 3 锚固构件和连接构件有松弛、断裂或拔出的迹象；
- 4 坡顶临近管线变形突然增大或出现裂缝、泄漏等；
- 5 坡顶临近建（构）筑物、地面出现较严重的新裂缝，原有裂缝有新发展；
- 6 根据当地工程经验判断已出现其他必须报警的情况。

7 质量检验与验收

7.1 一般规定

7.1.1 绿色装配式边坡防护工程施工应健全质量管理体系、施工质量控制和质量检验制度。

7.1.2 工程质量验收应在施工单位自检基础上，按照检验批、分项工程、分部工程进行。

7.1.3 装配式构件应进场验收，包括性能和外观质量。

7.2 质量检验

7.2.1 装配式面层、面板及构件进场时应有产品质量检验合格证明，其规格型号、构件牌号、产品长度等主要性能参数应满足设计要求。

7.2.2 面层、面板应进行外观检测，面层外观检验标准见表 7.2.2，面板应进行表面质量检查。

表 7.2.2 外观检验标准

序号	疵点名称	一般缺陷	严重缺陷	备注
1	面不均、折痕	轻微	严重	
2	杂物	软质，粗 $\leq 5\text{mm}$	硬质；软质，粗 $> 5\text{mm}$	
3	边不良	$\leq 3\text{m}$ 时，每 500mm 计一处	$> 3\text{m}$	
4	破损	$\leq 5\text{mm}$	$> 5\text{mm}$ ；破洞	以疵点最大长度计
5	其他	参照相似疵点评定		

7.2.3 面层、面板的技术指标见表 7.2.3，并应满足设计要求。

表 7.2.3-1 装配式面层技术质量检验

序号	基本项目	偏差要求	备注
1	拉伸强度	-5%	
2	屈服伸长率	±5%	
3	单位面积质量	±5%	
4	平均厚度	-5%	

表 7.2.3-2 装配式面板技术指标质量检验

序号	项目	偏差要求	备注
1	拉伸屈服应力（横向）	-5%	
2	拉伸屈服应力（纵向）	-5%	
3	抗弯	-5%	
4	模量	-5%	

7.2.4 面层、面板检验批次划分应符合以下规定：

- 1 产品应以同一品种、同一规格、同一工艺的一个交货批划分检验批次；
- 2 检验以同等型号规格 10000m²为一批次；不足 10000m²时，以同一班次生产的同一规格的产品数为一批次；
- 3 每批次产品随机抽取 1%~3%，但不应少于 100m²。

7.2.5 性能质量的检验结果以平均值表示，合格率应达到 90%以上。

7.3 施工检验

7.3.1 现场施工分区分块阶段检验范围不大于 5000m²。

7.3.2 阶段检验主要内容包括：边坡坡率、平整度、面层搭接及压边等。

7.3.3 装配式面层施工质量检验应符合表 7.3.3 的规定。

表 7.3.3 装配面层质量检验

分部项目	检验项目	质量要求	检查数量	检验方法
面层构造	面层构件	质量应符合施工图要求，抗拉强度，伸长率、单位面积质量、平均厚度	全部	查看

	面层搭接	偏差 - 10mm	全部	测量
	紧固构件	紧固构件是否齐全	全部	查看
	连接构件	偏差±10mm	10%	测量
	翻边	偏差 - 10mm	全部	测量
压边构造	混凝土厚度	偏差 - 10mm	10%	测量
锚固构件	位置	偏差±100mm	10%	测量
	长度	偏差±5mm	10%	测量
	外露长度	偏差±5mm	10%	测量

7.3.4 装配式面板质量检验分区宜沿坡长每 20m 为一检验批次，检验项目和要求见表 7.3.4。

表 7.3.4 装配式面板质量检验方法

分部项目	检验项目	质量要求	检查数量	检验方法
坡面	平整度	偏差±5mm	10%	查看、测量
	坡率	偏差±1%	10%	查看、测量
装配式面板	板的构件	参见表 6.3.5	10%	查看
连接构件		按设计	10%	测量

7.4 工程验收

7.4.1 边坡防护工程施工质量验收应取得下列资料：

- 1 边坡防护工程的设计文件，边坡防护工程勘察报告和工程验收报告；
- 2 边坡防护工程与周边建筑物位置关系图；
- 3 原构件出厂合格证，进场构件复检报告或委托检验报告；
- 4 支护结构或有关构件的检验报告；
- 5 边坡防护工程和周边建筑物监测报告；
- 6 隐蔽工程验收记录；
- 7 设计变更通知、重大问题处理文件和技术洽商记录；
- 8 施工记录；

9 竣工图。

7.4.2 工程验收应符合下列规定：

1 检验批工程的质量验收应分主控项目和一般项目验收；

2 隐蔽工程应在施工单位自检合格后，于隐蔽前通知有关人员检查验收，并形成中间验收文件；

3 分部或子分部工程的验收，应在分项工程通过验收的基础上，对必要的部位进行见证检验验收；

4 边坡防护工程完成后，施工单位自行组织有关人员进行检查评定，并向建设单位提交工程验收报告；

5 建设单位收到边坡防护工程验收报告后，应由建设单位组织施工、勘察、设计及监理等单位进行边坡防护工程验收。

7.4.3 工程验收项目分为主控和一般项目，应按如下规定：

1 绿色装配放坡防护验收

主控项目：面层搭接、锚固构件抗拔、连接构件的松紧程度；

一般项目：面层铺设的平整度、坡顶、坡底压边；

2 绿色装配垂直防护验收

主控项目：支护桩的垂直度、锚固构件抗拔；

一般项目：装配式面板连接效果；

3 绿色装配植被防护验收

主控项目：面层搭接、锚固构件抗拔、连接构件的松紧程度；

一般项目：面层铺设的平整度、植被绿化率。

7.5 验收合格标准

7.5.1 检验批的质量验收合格标准应符合下列规定：

1 主控项目的质量应经抽样检验合格率达到 90%及以上；

2 一般项目采用计数抽样检验时，其在检验批范围内及某一构件的计数点中的合格点率均应达到 80%及以上，且均不得有严重缺陷和偏差。

7.5.2 不合格检验批的处理应符合下列规定：

- 1 不合格的构件、构配件及半成品不得使用；
- 2 施工中，质量不合格的检验批，应返工、返修，并应重新验收；
- 3 施工后，质量不合格的检验批，应按本规程的有关规定处理，并应重新验收。

【条文说明：本条规定了不合格检验批的处理原则。进场验收不合格的构件、构配件及半成品不得用于工程中。对出现的施工质量不合格的检验批，允许返工、返修后重新验收；对施工后出现的不合格检验批，规定应按本规范各章节的有关规定处理并重新验收。】

附录 A 边坡防护形式分类原则

GRF××-×

其中：GRF——绿色装配式支护；

从左起第一个“×”——设计使用期限（0 或 1）；

“0”表示临时性；

“1”表示永久性；

从左起第二个“×”——边坡支护结构类型（1 或 2）

“1”表示边坡防护；

“2”表示边坡支挡；

从左起第三个“×”——构件特性（A、B、C...）

附录 B 装配式面层构件拉伸试验方法

B.0.1 绿色边坡防护构件的拉伸强度及相应伸长率的试验方法。

- 1 拉伸强度：试样拉伸直至断裂时每单位宽度的最大拉力，以 kN/m 表示。
- 2 伸长率：试样实际夹持长度的增加与实际夹持长度的比值，以 % 表示。

B.0.2 试验设备

- 1 试验机：应具有等速拉伸功能，符合 GB/T 16825 中的一级试验机要求。
- 2 夹具：钳口表面应不小于试样宽度，并采取适当措施避免试样滑移和损伤。
- 3 伸长计：能够测量试样上两个标记点之间的距离，对试样无任何损伤和滑移，能反映标记点的真实动程。伸长计的精度不应超过 $\pm 1\text{mm}$ 。

B.0.3 试样制备

- 1 纵横向每组试样数量均不少于 5 个。
- 2 试样尺寸应符合下列规定：
 - 1) 每个试样最小宽度为 200mm。对横向节距小于 75mm 的产品，在其宽度方向上至少有 5 个完整的抗拉单元；对于节距大于或等于 75mm 的产品，在其宽度方向上应当包含至少 2 个完整的抗拉单元。试样长度不应小于试样宽度。
 - 2) 如果试样切割应保证结构完整，可采用刀、剪子或热切等形式，并应记录在试验报告中。

B.0.4 操作步骤

- 1 试验机拉伸速率不大于 20mm/min。
- 2 将试样对中放入夹具内夹紧。
- 3 开动试验机连续运行直至试样断裂，停机并回复至初始隔距位置。记录最大负荷，精确至满量程的 0.2%；记录最大负荷下的伸长量 ΔL ，精确到小数点后一位。

B.0.5 数据处理

- 1 拉伸强度应按下式计算：

$$F_f = F_m \cdot G \quad (\text{B.0.5-1})$$

式中 F_f ——拉伸强度 (kN/m)；

F_m ----最大负载 (kN)。

2 绿色装配式边坡防护构件按下式计算：

$$G = \frac{N_m}{N_s} \quad (\text{B.0.5-2})$$

式中 N_m ----被试产品在 1m 宽内的拉伸单元数；

N_s ----试样内的拉伸单元数。

3 伸长率应按下式计算：

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (\text{B.0.5-3})$$

式中 ε ----伸长率 (%)；

L_0 ----试样计量长度 (mm)；

ΔL ----最大拉力时试样计量长度的伸长量 (m)。

4 实验数据分析报告应提供拉伸强度及伸长率的平均值、标准差和变异系数。其中，拉伸强度精确至三位有效数字，伸长率精确至 1%，变异系数精确至 0.1%。

附录 C 垂直防护装配式面板土压力计算

C.0.1 垂直防护装配式面板土压力可采用土体等效内摩擦角按照拟化筒仓侧压力理论进行计算：

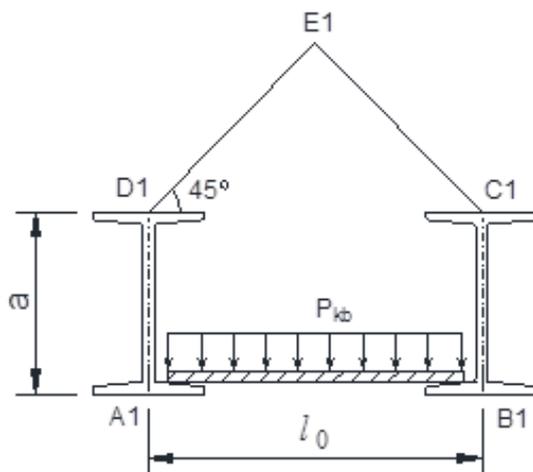


图 C.0.1 型钢桩装配式面板侧向土压力计算简图

$$P_{kb} = C_h \frac{A}{U} \frac{\gamma}{\tan \varphi_D} \left(1 - e^{-\frac{U}{A} k z} \right) \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$A = l_0 \left(a + \frac{l_0}{4} \right) \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$k = K_a \tan \varphi_D \quad (\text{C.0.1-3})$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_D}{2} \right) \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$U = 2a + 2.41l_0 \quad (\text{C.0.1-5})$$

式中：A——A₁B₁C₁E₁D₁ 的面积（m²）；

l₀——桩中心距（m）；

a——支护桩在平行于侧向土压力方向上的长度（m）；

U——闭合截面 A₁B₁C₁E₁D₁ 的周长（m）；

γ——土体重度（kN/m³）；

φ_D——土体等效内摩擦角（°）；

z——装配式面板中心至边坡顶的深度（m）；

C_h——修正系数，当 z ≤ H/3 时，C_h = 1 + 3z/H；当 z > H/3 时，C_h = 2；

H——支护设计高度（m）。

【C.0.1 条文说明】：根据其受力特征，绿色装配式垂直防护的力学模型可简化为一个由支护桩、桩间装配

式面板以及土拱组成的筒仓侧壁。本条采用了拟化筒仓法计算垂直防护装配式面板所受到的平均侧向土压力，并参考了《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB50077、《钢筒仓设计规范》GB50884，但是，采用了土体等效内摩擦角，体现土体粘聚力对土拱的贡献。

C.0.2 土体等效内摩擦角可根据实际情况按下列两种方法计算：

按土体抗剪强度相等的原则，可采用下式进行等效计算：

$$\varphi_D = \arctan\left(\tan\varphi + \frac{c}{\gamma z + \sum \sigma_{kj}}\right) \quad (\text{C.0.2-1})$$

按总土压力相等的原则，可按下式进行等效计算：

$$\varphi_D = 90^\circ - 2\arctan\left[\left(1 - \frac{z_0}{z}\right)\tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)\right] \quad (\text{C.0.2-2})$$

式中： c ——土体粘聚力（kPa）；

φ ——计算单元土体内摩擦角（°）；

σ_{kj} ——第 j 个附加荷载作用下土中计算点的附加竖向应力标准值（kPa）；

z_0 ——支护土体自重及附加荷载共同作用下的土体自立高度。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

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么做的，采用“可”。

2 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《复合土钉墙基坑支护技术规范》 GB50739
- 《建筑边坡工程技术规范》 GB50330
- 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》 GB50086
- 《建筑基坑工程监测技术规范》 GB50497
- 《土工合成构件应用技术规范》 GB/T 50290
- 《土工合成构件塑料土工格栅》 GB/T 17689
- 《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》 GB/T11263
- 《建筑结构用钢板》 GB/T 19879
- 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB50202
- 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB50300
- 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ120
- 《基坑土钉支护技术规程》 CECS96
- 《土工合成构件测试规程》 SL235
- 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ1
- 《焊接 H 型钢》 YB3301
- 《建筑钢结构焊接技术规程》 JGJ81