中国工程建设标准化协会标准

《纤维复合材料修复加固边坡支挡结构技术规程》

（T/CECS \*\*\*-20\*\*）

征求意见稿

《纤维复合材料修复加固边坡支挡结构技术规程》编制组

二零二二年 月 日

**前 言**

本规范是根据《标准制修订计划文件》（[2021]12号）的要求，由哈尔滨工业大学编制而成。

本规范在编制过程中，规范编制组开展了多项专题研究，进行了广泛的调研分析和大量的试验研究，总结了近年来我国在使纤维增强复合材料修复加固边坡结构工程领域的实践经验，与相关标准进行了协调，与国际先进的标准进行了比较和借鉴。在此基础上以多种方式广泛征求了有关单位和专家的意见，并进行了大量的试设计和工程试验，对重点章节进行了反复修改，最后经审核定稿。

本规范分为7章。主要内容有：总则、术语与符号、基本规定、材料、边坡结构工程加固、加固工程施工和工程监测、检验及验收等。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由哈尔滨工业大学负责具体技术内容的解释。为充实、提高规范的质量，请各使用单位在施行本规范过程中，结合工程实践，认真总结经验，并将意见和建议寄交哈尔滨工业大学行业标准《纤维复合材料修复加固边坡支挡结构技术规程》管理组（地址:黑龙江省哈尔滨市南岗区黄河路73号，邮编：150006），以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

|  |  |
| --- | --- |
| **主编单位：** | 哈尔滨工业大学 |
| **参编单位：** |  |
| **主要起草人：** |  |
| **主要审查人：** |  |

**目 次**

[1 总 则 （1）](#_Toc97971422)

[2 术语与符号 （2）](#_Toc97971423)

[2.1 术 语 （2）](#_Toc97971424)

[2.2 符 号 （2）](#_Toc97971425)

[3 基 本 规 定 （8）](#_Toc97971426)

[3.1 一般规定 （8）](#_Toc97971427)

[3.2 边坡加固结构工程鉴定及安全等级 （8）](#_Toc97971428)

[3.3 边坡结构加固设计 （9）](#_Toc97971429)

[4 材 料 （10）](#_Toc97971430)

[4.1 一般规定 （10）](#_Toc97971431)

[4.2 纤维布 （10）](#_Toc97971432)

[4.3 纤维增强复合材料（FRP）板材及配套树脂胶粘剂 （11）](#_Toc97971433)

[4.4 纤维增强复合材料（FRP）筋混凝土构件 （11）](#_Toc97971434)

[4.5 纤维增强复合材料（FRP）锚杆（索） （12）](#_Toc97971435)

[4.6 纤维增强复合材料（FRP）管混凝土构件 （13）](#_Toc97971436)

[5 边 坡 结 构 工 程 加 固 （14）](#_Toc97971437)

[5.1 一般规定 （14）](#_Toc97971438)

[5.2 FRP锚杆（索）挡墙加固边坡结构 （15）](#_Toc97971439)

[5.3 岩石喷锚加固边坡结构 （21）](#_Toc97971440)

[5.4 重力式、悬臂式及扶壁式挡墙加固边坡工程 （24）](#_Toc97971441)

[5.5 桩板式挡墙加固边坡结构 （34）](#_Toc97971442)

[6 加 固 工 程 施 工 （41）](#_Toc97971443)

[6.1 一般规定 （41）](#_Toc97971444)

[6.2 施工组织设计 （42）](#_Toc97971445)

[6.3 信息法施工 （43）](#_Toc97971446)

[6.4 爆破施工 （43）](#_Toc97971447)

[6.5 施工险情应急措施 （43）](#_Toc97971448)

[7 工程监测、检验及验收 （44）](#_Toc97971449)

[7.1 监测 （44）](#_Toc97971450)

[7.2 质量检验 （44）](#_Toc97971451)

[7.3 验 收 （45）](#_Toc97971452)

[本规范用词说明 （46）](#_Toc97971453)

[引用标准名录 （47）](#_Toc97971454)

[条文说明 （48）](#_Toc97971454)

**Contents**

[1 General provisions （1）](#_Toc97971422)

[2 Terms and symbols （2）](#_Toc97971423)

[2.1 Terms （2）](#_Toc97971424)

[2.2 Symbols （2）](#_Toc97971425)

[3 Basic Provisions （8）](#_Toc97971426)

[3.1 General requirement （8）](#_Toc97971427)

[3.2 Engineering appraisal and safety grade of slope reinforcement structure （8）](#_Toc97971428)

[3.3 Reinforcement design of slope structure （9）](#_Toc97971429)

[4 Materials （10）](#_Toc97971430)

[4.1 General requirement （10）](#_Toc97971431)

[4.2 Fiber Cloth （10）](#_Toc97971432)

[4.3 Fiber Reinforced Polymer sheet and supporting resin adhesive （11）](#_Toc97971433)

[4.4 Concrete members with Fiber Reinforced Composite bars （11）](#_Toc97971434)

[4.5 FRP anchor (cable) （12）](#_Toc97971435)

[4.6 Fiber Reinforced Composite material pipe concrete member （13）](#_Toc97971436)

[5 Reinforcement of side slope construction process （14）](#_Toc97971437)

[5.1 General requirement （14）](#_Toc97971438)

[5.2 Strenthening slope structure with FRP cable retaining wall （15）](#_Toc97971439)

[5.3 Rock shotcrete reinforcement of slope structure （21）](#_Toc97971440)

[5.4 Gravity, Cantilever and Buttress Retaining Wall reinforcement of slope engineering （24）](#_Toc97971441)

[5.5 Reinforcement of slope structure with pile-plate retaining wall （34）](#_Toc97971442)

[6 Fixing process operation （41）](#_Toc97971443)

[6.1 General requirement （41）](#_Toc97971444)

[6.2 Construction Organization Design （42）](#_Toc97971445)

[6.3 Construction by Information Method （43）](#_Toc97971446)

[6.4 Blasting Construction （43）](#_Toc97971447)

[6.5 Construction Emergency Measures （43）](#_Toc97971448)

[7 Engineering Monitoring, Inspection and Acceptance （44）](#_Toc97971449)

[7.1 Monitoring （44）](#_Toc97971450)

[7.2 Quality Inspection （44）](#_Toc97971451)

[7.3 Inspection （45）](#_Toc97971452)

[Explanation of wording in this code （46）](#_Toc97971453)

[List of quoted standards （47）](#_Toc97971454)

[Explanation of provisions （48）](#_Toc97971454)

# 1 总 则

**1.0.1** 为使纤维增强复合材料在修复加固边坡结构工程应用中做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于表面粘贴纤维增强复合材料板修复加固边坡结构、纤维增强复合材料混凝土构件修复加固边坡结构以及纤维增强复合材料锚杆修复加固边坡结构的设计、施工与验收。

**1.0.3**  纤维增强复合材料在修复加固边坡结构工程中的应用，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语与符号

## 2.1 术 语

**2.1.1** FRP Fiber Reinforce Polymer

由高性能纤维拉挤成型并经树脂浸渍固化制成的纤维增强复合材料。按所用纤维的种类分为碳纤维增强复合材料（CFRP）、玻璃纤维增强复合材料（GFRP）、芳纶增强复合材料（AFRP）和玄武岩纤维增强复合材料（BFRP）等。

**2.1.2** FRP布 FRP fabric

高性能纤维的一种制品形式，包括单向、双向或多向等纤维织物。按所用纤维的种类分为碳纤维布、玻璃纤维布、芳纶布和玄武岩纤维布等。本规范中无特殊说明时指单向纤维布。

**2.1.3** FRP板 FRP sheet

连续纤维单向或多向排列，并在工厂经树脂浸渍固化的板状制品。

**2.1.4** FRP筋 FRP bar

由单向连续纤维拉挤成型并经树脂浸渍固化的纤维增强复合材料棒状制品，其中单向连续纤维包括碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维和芳纶。

**2.1.5** FRP管 FRP tube

由多向纤维铺设并经树脂浸渍固化形成的圆形或方形层合管，其中多向连续纤维包括碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维和芳纶。

**2.1.6** FRP筋-混凝土结构 FRP-concrete composite structure

由CFRP筋替代钢筋与混凝土组合而成，能整体受力的结构。

**2.1.7** FRP管-混凝土结构 FRP tube-concrete composite structure采用FRP管与内填充混凝土组合形成的结构。

## 2.2 符 号

**2.2.1** 材料性能

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | FRP筋的应力（MPa）； |
|  | —— | 预应力FRP筋的应力（MPa）； |
|  | —— | FRP筋应力极限值（MPa）； |
|  | —— | FRP筋承载力标准值（MPa）； |
|  | —— | FRP筋的张拉控制应力（MPa）； |
|  | —— | FRP筋或预应力FRP筋抗拉强度设计值（kPa）； |
|  | —— | 岩石与锚固体极限粘结强度标准值（MPa）； |
|  | —— | 天然岩石单轴抗压强度（MPa）； |
|  | —— | 挡墙每延米自重（kN/m）； |
|  | —— | 荷载效应标准组合下FRP筋的应力（MPa）； |
|  | —— | FRP筋的弹性模量（GPa）； |
|  | —— | 截面抗弯刚度（GPa）； |
|  | —— | 荷截效应标准组合作用下受弯构件的短期抗弯刚（GPa）； |
|  | —— | 正截面混凝土极限压应变，取0.0033； |
|  | —— | FRP筋的抗拉强度设计值（MPa）； |
|  | —— | 混凝土轴心抗拉强度设计值（MPa）； |
|  | —— | 箍筋的抗拉强度设计值（MPa）； |
|  | —— | FRP管的环向极限应变标准值； |
|  | —— | FRP约束混凝土抗压强度设计值（MPa）； |
|  | —— | 地基的横向承载力特征值（kPa）； |
|  | —— | 岩石天然单轴极限抗压强度标准值（kPa）； |
|  | —— | 地基的横向承载力特征值（kPa）； |
|  | —— | 滑动面以上土体的重度（kN/m3）； |
|  | —— | 滑动面以下土体的重度（kN/m3）； |
|  | —— | FRP约束混凝土应力-应变曲线第一段斜率，取无约東混-凝土弹性模量（GPa）； |
|  | —— | 受弯构件中FRP约束混凝土极限应变设计值； |
|  | —— | 第*i*层层板的纤维方向表观弹性模量（GPa）； |
|  | —— | 纤维允许拉应变，取=0.004。 |

**2.2.2** 作用、作用效应及承载力

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 相应于作用的标准组合时，每延米侧向岩土压力合力水  平分力修正值（kN）； |
|  | —— | 相应于作用的标准组合时，每延米侧向主动岩土压力合力水平分力（kN）； |
|  | —— | 相应于作用的标准组合时侧向岩土压力水平分力修正值（kN/m2）； |
|  | —— | 相应于作用的标准组合时锚杆所受轴向拉力（kN）； |
|  | —— | 锚杆水平拉力标准值（kN）； |
|  | —— | 滑移面的黏聚力（kPa）； |
|  | —— | 分别为不稳定块体自重在平行和垂直于滑面方向的分力（kN）； |
|  | —— | 单根FRP锚杆轴向拉力在抗滑方向上的分力（kN）； |
|  | —— | 单根FRP锚杆轴向拉力在垂直于滑动面方向分（kN）； |
|  | —— | 每延米主动岩土压力合力（kN/m）； |
|  | —— | 按荷载效应标准组合计算的弯矩值，取计算区段内的最  弯矩值（kN·m）； |
|  | —— | 按荷载效应准永久组合计算的弯矩值，取计算区段内的  最大弯矩值（kN·m）； |
|  | —— | 构件斜截面上的最大剪力设计值（kN）； |
|  | —— | 构件斜截面上混凝土受剪承载力设计值（kN）； |
|  | —— | 构件斜截面上箍筋受剪承载力设计值（kN）； |
|  | —— | 外荷载产生的剪力设计值（kN）； |
|  | —— | 混凝土和箍筋承担的剪力设计值（kN），按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010有关规定计算； |
|  | —— | FRP管承担的剪力设计值（kN）。 |

**2.2.3** 几何参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 挡墙高度（m）； |
|  | —— | 锚杆倾角、墙背与墙底水平投影的夹角（°）； |
|  | —— | 锚杆FRP筋或预应力FRP锚索截面面积（m2）； |
|  | —— | 锚杆的水平间距（m）； |
|  | —— | 锚杆的垂直间距（m）； |
|  | —— | 滑动面面积（m2）； |
|  | —— | 滑动面上的摩擦系数； |
|  | —— | 墙背与岩土的摩擦角（°）； |
|  | —— | 挡墙底面水平投影宽度（m）； |
|  | —— | 挡墙中心到墙趾的水平宽度（m）； |
|  | —— | 岩土压力作用点到强踵的竖直距离（m）； |
|  | —— | 受弯构件按荷载效应的标准组合并计入长期作用影响-  的最大裂缝宽度（mm）； |
|  | —— | 纵向受拉FRP筋外边缘至受拉区底边的距离（m）； |
|  | —— | 受拉区FRP筋的截面面积（m2）； |
|  | —— | 有效受拉混凝土截面面积（m2）； |
|  | —— | 受拉区纵向FRP筋的等效直径（m）； |
|  | —— | 受拉区第*i*种纵向FRP筋的公称直径（m）； |
|  | —— | FRP筋合力点距混凝土受压区边缘的距离（m）； |
|  | —— | 相对界限受压区高度（m）； |
|  | —— | 构件截面宽度（m）； |
|  | —— | 混凝土受压区高度（m）； |
|  | —— | 矩形截面的宽度，T形截面或I形截面的腹板宽度（m）； |
|  | —— | 配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积（m2）； |
|  | —— | 同一截面内箍筋的肢数； |
|  | —— | 单肢箍筋的截面面积（m2）； |
|  | —— | 受拉区第i种纵向FRP筋的根数； |
|  | —— | 沿构什长度方向上的箍筋间距或螺旋筋的问距（m）； |
|  | —— | 倾斜箍筋或螺旋筋与构件纵向轴线的夹角（°）； |
|  | —— | FRP箍筋的弯折半径（m）； |
|  | —— | FRP箍筋的直径（m）； |
|  | —— | 弯钩处的搭接长度（m）； |
|  | —— | 圆形箍筋直径或矩形箍筋高度（m）； |
|  | —— | FRP筋最小锚固长度（m）； |
|  | —— | FRP圆管的壁厚（m），即； |
|  | —— | 内核心混凝土半径（m）； |
|  | —— | 构件计算长度，按现行国家标准《混凝土结构设计规范GB 50010的有关规定取值（m）； |
|  | —— | FRP管内直径（m）； |
|  | —— | 构件两端的荷载偏心距（m）； |
|  | —— | 桩身计算宽度（m）； |
|  | —— | 桩宽（m）； |
|  | —— | 桩径（m）； |
|  | —— | 滑动面以下土体的等效内摩擦角（°）； |
|  | —— | 设桩处滑动面至地面的距离（m）； |
|  | —— | 滑动面至计算点的距离（m）； |
|  | —— | 滑动面以下土体的内摩擦角（°）； |
|  | —— | 第i层纤维方向与构件轴向的夹角（°）； |
|  | —— | 构件截面直径（m）； |
|  | —— | 第i层层板的厚度（m）； |
|  | —— | 纤维层数。 |

**2.2.4** 计算系数及其他

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 正常使用极限状态下FRP筋及预应力FRP筋的徐变断裂折减系数，参照规范GB50608表6.1.3取值； |
|  | —— | FRP环境影响因素，参照规范GB50608表3.2.12取值； |
|  | —— | FRP锚杆挡墙侧向岩土压力修正系数，应根据岩土类别和锚杆类型按表5.2.2-1确定； |
|  | —— | ，按表5.2.2-2确定； |
|  | —— | 挡墙抗滑移稳定系数； |
|  | —— | 挡墙底与地基岩土体的摩擦系数，宜由试验确定，也可按表5.2.2-1选用； |
|  | —— | 挡墙抗倾覆稳定系数； |
|  | —— | 裂缝建纵向受拉FRP筋应力不均匀系数； |
|  | —— | 按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉FRP筋的配筋率； |
|  | —— | 受拉区纵向FRP筋的相对粘结特性系数； |
|  | —— | 考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数； |
|  | —— | FRP筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值； |
|  | —— | 纵向受拉FRP筋的配筋率； |
|  | —— | 受压翼缘截面面积与腹板有效截面面积的比值； |
|  | —— | 受压翼缘截面与腹板的配筋率； |
|  | —— | 系数，按国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-第7.1.3条的规定执行； |
|  | —— | FRP筋混凝土梁的最小配筋率； |
|  | —— | FRP筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值； |
|  | —— |  |
|  | —— |  |
|  | —— | 在水平方向的换算系数,根据岩层构造可取0.50~1.00； |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 折减系数,根据岩层的裂缝、风化及软化程度可取0.30~0.45。 |

# 3 基 本 规 定

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 与修复加固边坡结构配套使用的混凝土结构加固材料、加固构件、加固技术以及裂缝修补技术等符合国家现行标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367的有关规定；混凝土结构耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定。

**3.1.2**  边坡结构修复加固用纤维增强复合材料板材、锚杆、锚夹具及加固技术应符合国家现行标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608、《结构用纤维增强复合拉索》GB/T 35156及《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370的有关规定。

**3.1.3** 未经技术诊断和设计许可，采用纤维增强复合材料修复加固后的边坡结构的用途和使用条件不得改变；边坡加固结构的设计使用年限不应低于被保护建（构）筑物的设计使用年限。

**3.1.4**  边坡结构形式及修复加固方式应考虑场地周边地形和地质条件以及环境因素，同时应考虑边坡高度、测压力对边坡变形的影响，并符合国家现行标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的相关规定。

**3.1.5** 既有边坡加固结构工程的勘察、加固设计、施工、检测和验收等环节应由具备资质单位和经验的专业技术人员负责。

## 3.2 边坡加固结构工程鉴定及安全等级

**3.2.1** 边坡加固结构工程鉴定包括工程质量鉴定、加固可靠性鉴定、结构安全性、适用性及耐久性鉴定。

**3.2.2**  当需要对边坡结构修复加固工程进行自然灾害鉴定时（台风、洪水、泥石流、火灾及地震），鉴定项目安全等级评价应符合国家现行有关标准的规定。

**3.2.3**  边坡加固结构工程的安全等级应考虑其损坏后可能造成的人员伤亡、产生不良影响等直接或间接经济损失，根据边坡的类型和高度可分为三个等级，即很严重（造成重大的人员伤亡或财产损失）、严重（可能造成人员伤亡或财产损失）和不严重（可能造成财产损失）。

**3.2.4**  边坡加固结构破坏后产生很严重和严重的情形应将其安全等级定为一级，主要包括滑坡地段以及有重要建筑物的边坡支挡工程。

## 3.3 边坡结构加固设计

**3.3.1**  边坡结构加固设计应考虑：

**1）**当加固材料与结构达到最大承载能力以及锚固系统失效而不能继续承载或出现坡体失稳情况应满足承载能力极限状态的设计要求；

**2）**加固结构达到正常使用所规定的变形限值或者耐久性需求限值时应满足正常使用极限状态的设计要求。

**3.3.2**  边坡结构加固设计采用的荷载效应组合、抗力限制以及承载力计算方法应符合国家现行标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的相关规定；有抗震需求的边坡支挡结构应根据有关标准考虑地震作用的影响。

**3.3.3**  边坡结构加固设计应考虑以下情况：

**1）** 经专业机构鉴定或工程勘察确认为必须或应该采取加固措施；

**2）**加固结构出现严重腐蚀、材料损伤或锚固失效导致结构承载力不足；

**3）** 遭受自然灾害或突发安全事故引起边坡支挡结构不满足正常使用需求的情况；

**4）**使用条件发生重大变化或使用用途发生改变的情况。

**3.3.4**  边坡结构加固设计使用年限及加固方案应符合国家现行标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330以及《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843的规定。

# 4 材 料

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 材料包括边坡结构加固用增强纤维、纤维布、树脂基体、纤维增强复合材料、加固用树脂胶粘剂。

**4.1.2** 加固用增强纤维应采用碳纤维、玻璃纤维、芳纶和玄武岩纤维；树脂基体可选用环氧树脂、乙烯基酯树脂和聚氨酯；纤维增强复合材料包括FRP板材、FRP筋、FRP锚杆与FRP管；加固用树脂胶粘剂应采用环氧树脂。

**4.1.3** FRP锚杆应与相应的锚具配套使用，锚具类型应符合国家现行有关产品标准的规定。

**4.1.4**  FRP材料的抗拉强度设计值应按照下式进行计算并确定：

|  |  |
| --- | --- |
| （4.1.1） |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | FRP材料的抗拉强度设计值； |
|  | | | —— | FRP材料的抗拉强度标准值； |
|  | | | —— | FRP材料的分项系数，对于纤维布及FRP筋取1.4，对于FRP板材及锚杆（索）取1.25； |
|  | | | —— | FRP材料的环境影响系数，其取值应符合国家现行标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的有关规定；对于临时性混凝土结构，可取1.0。 |

## 4.2 纤维布

**4.2.1**  纤维布包括碳纤维布、玻璃纤维布、芳纶布和玄武岩纤维布，其中纤维布性能应符合国家现行有关产品标准的规定。

**4.2.2** 用于外粘加固的单向纤维布的抗拉强度应按纤维布的净截面面积计算；单层碳纤维布单位面积质量范围建议为：150~450g/m2，单层玻璃纤维布单位面积质量范围建议为：300~900g/m2，单层芳纶布单位面积质量范围建议为：250~650g/m2，单层玄武岩纤维布单位面积质量范围建议为：300~900g/m2。

**4.2.3** 碳纤维布分为高强度型和高模量型，其中高强度碳纤维布包括I、II和III三个强度等级，玻璃纤维布包括I、II两个强度等级；纤维布抗拉强度标准值应具有95%的保证率（99%置信度），弹性模量和断裂伸长率应取平均值；纤维布的主要力学性能指标应符合国家现行标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的有关规定。

## 4.3 纤维增强复合材料（FRP）板材及配套树脂胶粘剂

**4.3.1** 用于外粘加固的单向FRP板材的抗拉强度应按板的截面面积（包含树脂）进行计算，板材的纤维体积含量不应低于60%。

**4.3.2** 单向FRP板的抗拉强度标准值应具有95%的保证率（99%置信度），弹性模量和断裂伸长率应取平均值，单向板的主要力学指标应符合国家现行标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的有关规定。

**4.3.3** 采用外粘FRP板材加固边坡支挡结构时，应采用配套的底层树脂、找平材料和FRP板材胶粘剂，上述材料的性能指标应满足国家现行标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的有关规定。

**4.3.4** 浸渍树脂和FRP胶粘剂在一般使用环境下的热变形温度应大于50℃，特殊环境下不应低于60℃，且经2000h的湿热循环加速老化后强度下降速率应低于20%。

## 4.4 纤维增强复合材料（FRP）筋混凝土构件

**4.4.1** 混凝土增强用FRP筋包括CFRP筋、GFRP筋、BFRP筋和AFRP筋，CFRP、GFRP和AFRP筋性能应符合现行国家标准《结构工程用纤维增强复合材料筋》GB/T 26743的规定，BFRP筋应符合现行行业标准《纤维增强复合材料筋》JG/T 315的有关规定。

**4.4.2** FRP筋的强度标准值应具有不小于95%的保证率（99%置信度），弹性模量和断裂伸长率应取平均值。FRP筋的抗拉强度应按筋材的截面面积（包含树脂）进行计算，其中截面面积应按照名义直径进行计算。FRP筋的纤维体积含量不应小于60%，力学性能指标应满足《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的有关规定。

**4.4.3**  GFRP筋中的玻璃纤维考虑到混凝土的碱性环境应使用高强型、且含碱量小于0.8%的无碱玻璃纤维或耐碱玻璃纤维，不得使用中碱玻璃纤维及高碱玻璃纤维。

**4.4.4**  边坡结构加固用主要受力构件混凝土强度等级应按边长为150mm立方体试件的抗压强度标准值确定；普通FRP筋混凝土构件不应低于C30，预应力FRP筋混凝土构件不应低于C40。

**4.4.5**  混凝土轴心抗压强度标准值和设计值、轴心抗拉强度标准值和设计值以及弹性模量取值应符合现行行业标准《纤维增强复合材料筋混凝土桥梁技术标准》CJJ/T 280-2018的有关规定。

**4.4.6**  预应力FRP筋锚具、夹具和连接器的静载性能和疲劳性能应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370的有关规定；锚具类型可采用机械式、粘结式或混合式，锚具选择应考虑FRP筋种类、预张力水平以及加固工程应用环境，必要时应采用相应措施降低锚具对FRP筋产生的环向剪切应力。

## 4.5 纤维增强复合材料（FRP）锚杆（索）

**4.5.1** 纤维增强复合材料锚杆（索）一般由索体、配套锚具和外包保护层组成，索体的组装、预张拉方法及防护措施应符合《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156的规定。

**4.5.2** 根据索体形式不同分为平行棒索、绞线索和拉杆索，其中平行棒索中细棒应符合《结构工程用纤维增强复合材料筋》GB/T 26743的规定。

**4.5.3**  根据纤维类型将锚杆索分为碳纤维复材索、玻璃纤维复材索、玄武岩纤维复材索和混杂纤维复材索。

**4.5.4**  索体的物理性能、力学性能及其检测方法应符合《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156的规定。

**4.5.5** 索体应配备相应的锚具、夹具和连接器，锚具类型、回缩、静载/疲劳性能应符合《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370、《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156的规定。

## 4.6 纤维增强复合材料（FRP）管混凝土构件

**4.6.1** 用于FRP管混凝土组合构件的FRP圆管径厚比不应大于80；应根据FRP管的受力状态对纤维取向及铺层进行专门设计。当采用角铺设层合管时，宜采用对称、平衡的铺层方式，并应将不同角度的纤维分散布置。

**4.6.2** 用于FRP管混凝土组合构件的FRP管，宜采用正交各向异性对称层合管，采用角铺设层合管时在轴向和环向都应布置足够的纤维。

**4.6.3** FRP管混凝土组合受压构件中的轴心受压构件，混凝土的应力-应变关系，应采用《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB50608中规定的环向极限应变，并应按《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》 GB50608中第4.4.4~4.4.6条规定确定。

**4.6.4** 计算约束混凝土的轴心抗压强度及极限压应变设计值时，当计算得出的约束混凝土极限压应变值大于由规定的FRP条形压缩试件试验方法确定的极限压应变时，应取FRP条形压缩试件试验方法确定的极限压应变为约束混凝土的极限压应变。

# 5 边 坡 结 构 工 程 加 固

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 进行既有边坡工程加固时，加固方案应考虑以下因素：

**1）**确定原支护结构的损伤机理、破坏模式，支护结构及构件的开裂与变形情况；

**2）**新增支护结构与原支护结构的受力分析计算；

**3）**加固方案的合理性与有效性分析；

**4）**施工方案的经济性与合理性分析。

**5.1.2** 边坡工程加固方案应根据边坡工程的破坏模式与原因，同时考虑施工安全、可行性及现场条件等因素确定。当采用多种组合加固方法时，应保证组合支护结构受力与变形协调。

**5.1.3** 边坡加固方案所选支护结构形式宜有利于与原支护结构受力协调并对既有边坡工程稳定性和支护结构安全性扰动小。

**5.1.4** 边坡工程加固可采用新增支护结构和既有支护结构相互独立的受力体系，也可采用新增结构与原有支护结构共同受力的组合受力体系。

**5.1.5** 以下边坡工程宜优先考虑采用预应力锚杆加固方法：

**1）**已发生较大变形和开裂的边坡工程；

**2）**对变形控制有较高要求的边坡工程；

**3）**采用其他加固方法造成边坡稳定性降低的边坡工程。

**5.1.6** 对于主要构件且应力较大易发生较大变形和开裂的边坡支护结构，应优先对高应力构件进行卸载并降低其应力水平，可考虑采用预应力锚固加固法、削方减载法及堆载反压法。当采用预应力锚杆降低支护结构的应力水平时，锚杆数量应满足锚固加固的需要。

**5.1.7** 边坡工程加固设计计算除本章有特别规定外，尚应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB50330 以及《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB50843的有关规定。

## 5.2 FRP锚杆（索）挡墙加固边坡结构

**5.2.1 一般规定**

**1** 根据挡墙的结构形式可分为板肋式FRP锚杆挡墙、格构式FRP锚杆挡墙和排桩式FRP锚杆挡墙；根据锚杆的类型可分为非预应力FRP锚杆（索）挡墙和预应力FRP锚杆（索）挡墙；非预应力锚杆可选用耐碱GFRP筋、AFRP筋或CFRP筋，预应力锚杆应选用CFRP筋和AFRP筋。

**2** 下列边坡加固时宜采用FRP排桩式锚杆挡墙：

1. 位于滑坡区或切坡后可能引发滑坡的边坡；
2. 切坡后可能沿外倾软弱结构面滑动、破坏后果严重的边坡；
3. 高度较大、稳定性较差的土质边坡；
4. 边坡塌滑区内有重要建筑物基础的Ⅳ类岩质边坡和土质边坡。

**3** 在设计和施工时填方FRP锚杆挡墙应采取有效措施防止新填方土体沉降造成的FRP锚杆附加应力过大。高度较大的新填方边坡不宜采用FRP锚杆挡墙；施工期稳定性较好的边坡可采用板肋式或格构式FRP锚杆挡墙。

**4**  荷载效应准永久组合下，FRP筋的应力*σfs*或预应力FRP筋的应力不宜大于下式的应力极限值：

 （5.2.1）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 正常使用极限状态下FRP筋及预应力FRP筋的徐变断裂折减系数，参照规范GB50608表6.1.3取值； |
|  |  |  | —— | FRP材料的环境影响因素，参照规范GB50608表3.2.12取值。 |

**5** 预应力CFRP筋的张拉控制应力为：，AFRP筋的张拉控制应力为：。

**5.2.2 设计计算**

**1**  FRP锚杆挡墙的设计与计算应包括以下内容：

1. 侧向岩土压力计算；
2. 挡墙结构内力计算；
3. 立柱嵌入深度计算；
4. FRP锚杆承载力和混凝土构件局部承压强度以及抗裂性计算；
5. 挡板、立柱（肋柱或排桩）及其基础设计；

**2** 坡顶无建（构）筑物且不需对边坡变形进行控制的FRP锚杆挡墙，其侧向岩土压力合力可按下式计算：

 （5.2.2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 相应于作用的标准组合时，每延米侧向岩土压力  合力水平分力修正值（kN）； |
|  |  |  | —— | 相应于作用的标准组合时，每延米侧向主动岩土压力合力水平分力（kN）； |
|  |  |  | —— | FRP锚杆挡墙侧向岩土压力修正系数，应根据岩土类别和锚杆类型按表5.2.2-1确定。 |

表5.2.2-1 FRP锚杆挡墙侧向岩土压力修正系数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 锚杆类型  岩土类别 | 非预应力FRP锚杆 | | | 预应力FRP锚杆 | |
| 土层  锚杆 | 自由段为土层的FRP锚杆 | 自由段为岩层的FRP锚杆 | 自由段为土层时 | 自由段为岩层时 |
|  | 1.1～1.2 | 1.1～1.2 | 1.0 | 1.2～1.3 | 1.1 |

注:当铺杆变形计算值较小时取大值，较大时取小值。

**3** 在计算FRP锚杆挡墙由岩土自重产生的侧压力分布时，应考虑FRP锚杆层数、挡墙位移大小、支护结构刚度和施工方法等因素，可将挡墙侧压力分布简化为三角形、梯形或当地经验图形。

**4**  填方FRP锚杆挡墙和单排FRP锚杆的土层锚杆挡墙侧压力分布可近似按库仑理论取为三角形分布。

**5** 对岩质边坡以及坚硬、硬塑状黏性土和密实、中密砂土类边坡，当采用逆作法施工的柔性结构多层FRP锚杆挡墙时，侧压图分布如图5.2.1确定。

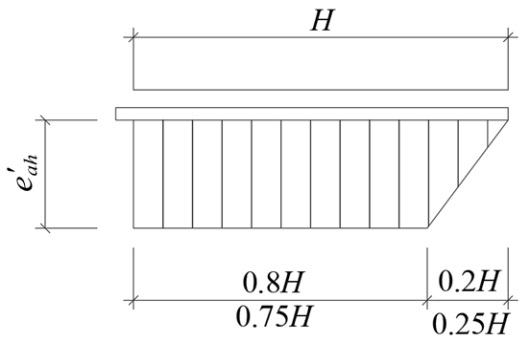


图5.2.1 锚杆挡墙侧压力分布图（括号内数值适用于土质边坡）

上图中按下列公式计算：

对岩质边坡：

 （5.2.3-1）

对土质边坡：

 （5.2.3-2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 相应于作用的标准组合时侧向岩土压力水平分力修正值（kN/m2）； |
|  |  | H | —— | 挡墙高度（m）。 |

**6**  FRP锚杆（索）轴向拉力标准值应按下式计算：

 （5.2.4）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： | *Nak* | —— | 相应于作用的标准组合时锚杆所受轴向拉力（kN）； |
|  |  | *Htk* | —— | 锚杆水平拉力标准值（kN）； |
|  |  |  | —— | 锚杆倾角（°）。 |

**7** 锚杆（索）FRP筋截面面积应满足下列公式的要求:

普通FRP锚杆：

 （5.2.5-1）

预应力FRP锚索锚杆：

 （5.2.5-2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： | As | —— | 锚杆FRP筋或预应力FRP锚索截面面积（m2）； |
| ， | | | —— | FRP筋或预应力FRP筋抗拉强度设计值（kPa）； |
|  |  | *Kb* | —— | FRP锚杆杆体抗拉安全系数，应按表5.2.2-2取值。 |

表5.2.2-2 锚杆杆体抗拉安全系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 边坡工程安全等级 | 安全系数 | |
| 临时性锚杆 | 永久性锚杆 |
| 一级 | 1.8 | 2.2 |
| 二级 | 1.6 | 2.0 |
| 三级 | 1.4 | 1.8 |

**8** FRP锚杆索锚固体与岩土层间的锚固长度应按照下式进行计算：

 （5.2.6）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | FRP锚杆锚固体抗拔安全系数，按表5.2.2-3取值； |
|  | | | —— | FRP锚杆的锚固长度（m）； |
|  | | | —— | FRP锚杆锚固段的钻孔直径（m）； |
|  |  |  | —— | 岩土层与锚固体的极限粘结强度标准值（kPa），应通过试验测试确定，如无试验资料可按照表5.2.2-4和5.2.2-5取值。 |

表5.2.2-3 岩土FRP锚杆锚固体抗拔安全系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 边坡工程安全等级 | 安全系数 | |
| 临时性锚杆 | 永久性锚杆 |
| 一级 | 2.0 | 2.6 |
| 二级 | 1.8 | 2.4 |
| 三级 | 1.6 | 2.2 |

表5.2.2-4 岩石与锚固体极限粘结强度标准值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 岩石类别 | | 值（kPa） |
| 极软岩 | | 270-360 |
| 软岩 | | 360-760 |
| 较软岩 | | 760-1200 |
| 较硬岩 | | 1200-1800 |
| 坚硬岩 | | 1800-2600 |
| 注: | 1：适用于注浆强度等级为M30； | | |
|  | 2：仅适用于初步设计，施工时应通过试验检验； | | |
|  | 3：岩体结构面发育时，取表中下限值； | | |
|  | 4：岩石类别根据天然单轴抗压强度划分5MPa为极软岩, 5MPa | | |
| 15MPa, 15MPa30MPa软岩，30MPa60MPa为较硬岩，5.260MPa为坚硬岩。 | | | |

表5.2.2-5 土体与锚固体极限粘结强度标准值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土层种类 | 土的状态 | 值（kPa） |
| 黏性土 | 坚硬  硬塑  可塑  软塑 | 65～100  50～65  40～50  20～40 |
| 砂土 | 稍密  中密  密实 | 100～140  140～200  200～280 |
| 碎石土 | 稍密  中密  密实 | 120～160  160～220  220～300 |

**9** FRP锚杆（索）的弹性变形和水平刚度系数应由锚杆抗拔试验进行确定，如无试验资料可参考GB 50330的相关规定进行计算。

**10** 对板肋式和排桩式FRP锚杆挡墙，立柱荷载取立柱受荷范围内最不利荷载效应的标准组合值进行计算。

**11** 根据立柱下端的嵌岩程度，可按铰接端或固定端考虑；当立柱位于强风化岩层以及坚硬、硬塑状黏性土和密实、中密砂土内时，其嵌入深度可按等值梁法计算。

**12** 结构内力计算时除坚硬、硬塑状黏性土和密实、中密砂土类外的土质边坡锚杆挡墙外宜按弹性支点法计算。当锚固点水平变形较小时，结构内力可按静力平衡法或等值梁法计算。

**13**  挡板可根据挡板与立柱连接构造的不同简化为支撑在立柱上的水平连续板、简支板或双铰拱板；设计荷载可取板所处位置的岩土压力值。岩质边坡锚杆挡墙或坚硬、硬塑状黏性土和密实、中密砂土等且排水良好的挖方土质边坡锚杆挡墙，可根据当地的工程经验考虑两立柱间岩土形成的卸荷拱效应。

**14** 可采用圆弧滑动法或折线滑动法进行由支护结构、FRP锚杆和地层组成的锚杆挡墙体系的整体稳定性验算。

**5.2.3 构造设计**

**1** FRP锚杆挡墙立柱的间距宜采用2.0~6.0m。

**2** FRP锚杆挡墙的锚杆布置应符合下列规定：

1. FRP锚杆上下排垂直间距、水平间距均不宜小于2.0m；
2. 当FRP锚杆间距小于上述规定或锚固段岩土层稳定性较差时，FRP锚杆宜采用长短相间的方式布置；
3. 第一排FRP锚杆锚固体上覆土层的厚度不宜小于4.0m，上覆岩层的厚度不宜小于2.0m；
4. 第一锚点位置可设于坡顶下1.5~2.0m处；
5. FRP锚杆的倾角宜采用10~35°；
6. FRP锚杆布置应尽量与边坡走向垂直，并应与结构面呈较大倾角相交；
7. 立柱位于土层时宜在立柱底部附近设置锚杆。

**3**  立柱、挡板和格构梁的混凝土强度等级不应小于C25。

**4**  立柱的截面尺寸除应满足强度、刚度和抗裂要求外，还应满足挡板的支座宽度、锚杆钻孔和锚固等要求。

**5** 肋柱截面宽度不宜小于300mm，截面高度不宜小于400mm，钻孔桩直径不宜小于500mm，人工挖孔桩直径不宜小于800mm。

**6**  立柱基础可采用独立基础、条形基础或桩基础等形式，应置于稳定的地层内。

**7** FRP锚杆挡墙立柱宜对称配筋，当第一锚点以上悬臂部分内力较大或柱顶设单锚时，可根据立柱的内力包络图采用不对称配筋做法。

**8**  应按强度、刚度和抗裂要求进行格构梁截面尺寸计算，格构梁截面宽度和截面高度均不宜小于300mm。

**9** FRP锚杆挡墙现浇混凝土构件的伸缩缝间距不宜大于20~25m。

**10** 当FRP锚杆挡墙的锚固区内有建（构）筑物基础传递较大荷载时，除应验算挡墙的整体稳定性外，还应适当加长FRP锚杆并采用长短相间的设置方法。

## 5.3 岩石喷锚加固边坡结构

**5.3.1 一般规定**

**1** 岩石锚喷加固边坡结构应符合下列规定：

1. 对于永久性岩质边坡（基坑边坡）进行整体稳定性加固时，І类岩质边坡可采用混凝土锚喷加固；Ⅱ类岩质边坡宜采用锚喷加固； Ⅲ类岩质边坡应采用锚喷加固，且边坡高度不宜大于15m；
2. 对临时性岩质边坡（基坑边坡）进行整体稳定性加固时，І、Ⅱ类岩质边坡可采用锚喷加固；Ⅲ类岩质边坡宜采用锚喷加固，且边坡高度不应大于25m；
3. 对边坡局部不稳定岩石块体，可采用锚喷进行局部加固，膨胀性岩质边坡和具有严重腐蚀性的边坡不应采用锚喷加固，坡体渗水明显或有深层外倾滑动面的岩质边坡不宜采用锚喷加固。

**2**  岩质边坡整体稳定用系统FRP锚杆加固后，对局部不稳定块体尚应采用FRP锚杆进行加固。

**5.3.2 设计计算**

**1** 采用FRP锚喷加固的岩质边坡整体稳定性计算应符合下列规定：

1. 岩石侧压力分布可按本规范第5.2.2节的规定进行确定；
2. FRP锚杆轴向拉力可按下式计算：

 （5.3.1）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 相应于作用的标准组合时FRP锚杆所受轴向拉力（kN）； |
|  | | | —— | FRP锚杆的水平、垂直间距（m）； |
|  | | | —— | 相应于作用的标准组合时侧向岩石压力水平分力修正值（kN/m）; |
|  |  |  | —— | 锚杆倾角（°）。 |

**2** 锚喷加固边坡时，FRP锚杆计算应符合本规范第5.2.2节的规定。

**3** 采用局部FRP锚杆加固不稳定岩石块体时，FRP锚杆承载力应符合下式规定：

 （5.3.2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： | A | —— | 滑动面面积（m2）； |
| c | | | —— | 滑移面的黏聚力（kPa）； |
|  | | | —— | 滑动面上的摩擦系数； |
|  | | | —— | 分别为不稳定块体自重在平行和垂直于滑面方向的分力（kN）； |
|  | | | —— | 单根FRP锚杆轴向拉力在抗滑方向和垂直于滑动面方向上的分力（kN）； |
|  | | | —— | FRP锚杆抗拉安全系数。 |

**5.3.3 构造设计**

**1** 系统FRP锚杆的设置宜符合下列规定：

1. FRP锚杆布置宜采用行列式排列或菱形布置排列；
2. FRP锚杆间距宜为1.25~3.00m，且不应大于FRP锚杆长度的一半；对І、Ⅱ类岩体边坡最大间距不应大于3.00m，对Ⅲ、Ⅳ类岩体边坡最大间距不应大于2.00m；
3. FRP锚杆的安设倾角宜为10~ 20°；
4. 应采用全粘结FRP锚杆。

**2** 锚喷加固岩质边坡整体结构时，其面板应符合下列规定：

1. 对永久性边坡，І类岩质边坡喷射混凝土面板厚度不应小于50mm，Ⅱ类岩质边坡喷射混凝土面板厚度不应小于100mm，Ⅲ类岩体边坡混凝土面板厚度不应小于150mm；对临时性边坡，І类岩质边坡喷射混凝土面板厚度不应小于50mm，Ⅱ类岩质边坡喷射混凝土面板厚度不应小于80mm，Ⅲ类岩体边坡混凝土面板厚度不应小于100mm；
2. FRP锚杆与面板的连接应有可靠的连接构造措施。

**3** 岩质边坡坡面防护宜符合下列规定：

1. FRP锚杆布置宜采用行列式排列，也可采用菱形排列；
2. 应采用全粘结FRP锚杆，锚杆长度为3~6m，锚杆倾角宜为15~ 25°，FRP锚杆直径可采用6~10mm；钻孔直径为40~70mm；
3. І、Ⅱ类岩质边坡可采用混凝土锚喷加固，Ⅲ类岩质边坡宜采用混凝土锚喷加固， Ⅳ类岩质边坡应采用混凝土锚喷加固。
4. 混凝土喷层厚度可采用50~80mm，І、Ⅱ类岩质边坡可取小值， Ⅲ、Ⅳ类岩质边坡宜取大值；

**4** 喷射混凝土强度等级，对永久性边坡不应低于C25，对防水要求较高的不应低于C30；对临时性边坡不应低于C20，喷射混凝土ld龄期的抗压强度设计值不应小于5MPa。

**5** 喷射混凝土的物理力学参数可按表5.3.1-1采用。

表5.3.3-1 喷射混凝土物理力学参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 喷射混凝土强度等级 | C20 | C25 | C30 |
| 轴心抗压强度设计值(MPa) | 9.60 | 11.90 | 14.30 |
| 抗拉强度设计值(MPa) | 1.10 | 1.27 | 1.43 |
| 弹性模量(MPa) | 2.1 | 2.33 | 2.50 |
| 重度（kN/m3） | 22.00 | | |

**6**  喷射混凝土与岩面的粘结力，对整体状和块状岩体不应低于0.80MPa，对碎裂状岩体不应低于0.40MPa，喷射混凝土与岩面粘结力试验应符合现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》 GB 50086的规定。

## 5.4 重力式、悬臂式及扶壁式挡墙加固边坡工程

**5.4.1 一般规定**

**1** FRP筋混凝土重力式挡墙根据使用要求、地形、地质和施工条件等综合考虑确定，可分为俯斜式挡墙、仰斜式挡墙、直立式挡墙和衡重式挡墙等。

**2** 对岩质边坡和挖方形成的土质边坡宜优先采用仰斜式挡墙，高度较大的土质边坡宜采用衡重式或仰斜式挡墙。

**3** 采用FRP筋混凝土重力式挡墙时，土质边坡高度不宜大于10m，岩质边坡高度不宜大于12m；对变形有严格要求或开挖土石方可能危及边坡稳定及相邻建筑物安全的边坡不应采用重力式挡墙。

**4** FRP筋混凝土悬臂式挡墙和扶壁式挡墙适用于地基承载力较低的填方边坡加固工程；FRP筋混凝土悬臂式挡墙的适用高度不宜超过6m，扶壁式挡墙不宜超过10m，两张挡墙结构应采用现浇FRP筋混凝土结构。

**5** 重力式挡墙、悬臂式挡墙和扶壁式挡墙选用的FRP筋混凝土构件，应进行正常使用极限状态的裂缝宽度、变形计算和承载能力极限状态验算，预应力FRP筋混凝土构件应进行承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算。

**6** 采用粘贴FRP 板材加固修复重力式挡墙、悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的相关规定与设计计算方法应符合GB 50608的相关规定。

**5.4.2 设计计算**

**1** 土质边坡采用高度不小于5m的重力式挡墙，主动土压力宜乘以增大系数确定，挡墙高度5~8m时增大系数宜取1.1，挡墙高度大于8m时增大系数宜取1.2。

**2**  FRP筋混凝土重力式挡墙、悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的抗滑移稳定性稳定应按下列公式计算：

 （5.4.1-1）  （5.4.1-2）

 （5.4.1-3）

 （5.4.1-4）

 （5.4.1-5）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 每延米主动岩土压力合力（kN/m）； |
|  | | | —— | 挡墙抗滑移稳定系数； |
|  | | | —— | 挡墙每延米自重（kN/m）； |
|  | | | —— | 墙背与墙底水平投影的夹角（°）； |
|  | | | —— | 墙背与岩土的摩擦角（°）； |
|  | | | —— | 挡墙底与地基岩土体的摩擦系数，宜由试验确定，也可按表5.4.2-1岩土与挡墙底面摩擦系数选用。 |

表5.4.2-1 岩土与挡墙底面摩擦系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 岩土类别 | | 摩擦系数 |
| 黏性土 | 可塑 | 0.20~0.25 |
| 硬塑 | 0.25~0.30 |
| 坚硬 | 0.30~0.40 |
| 粉土 | | 0.25~0.35 |
| 中砂、粗砂、砾砂 | | 0.35~0.40 |
| 碎石土 | | 0.40~0.50 |
| 极软岩、软岩、较软岩 | | 0.40~0.60 |
| 表面粗糙的坚硬岩、较硬岩 | | 0.65~0.75 |

**3** FRP筋混凝土重力式挡土墙、悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的抗倾覆稳定性按下式进行验算：

 （5.4.2-1）

 （5.4.2-2）

 （5.4.2-3）

 （5.4.2-4）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 挡墙抗倾覆稳定系数； |
|  | | | —— | 挡墙底面水平投影宽度（m）； |
|  | | | —— | 挡墙中心到墙趾的水平宽度（m）； |
|  | | | —— | 岩土压力作用点到强踵的竖直距离（m）。 |

**4** 计算FRP筋混凝土悬臂式和扶壁式挡墙整体稳定性和立板内力时，可不考虑挡墙前底板以上土的影响；在计算墙趾板内力时，应计算底板以上填土的自重。计算悬臂式和扶壁式挡墙实际墙背和墙踵板的土压力时，可不计填料与板间的摩擦力。

**5** FRP筋混凝土悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的侧向主动土压力宜按第二破裂面法进行计算。当不能形成第二破裂面时，可用墙踵下缘与墙顶内缘的连线或通过墙踵的竖向面作为假想墙背计算，取其中不利状态的侧向压力作为设计控制值。侧向压力分布参照规范GB50330进行计算。

**6**  对FRP筋混凝土扶壁式挡墙，根据其受力特点可按下列简化模型进行内力计算：

1. 立板和墙踵板可根据边界约束条件按三边固定，一边自由的板或以扶壁为支点的连续板进行计算；
2. 墙趾底板可简化为固定在立板上的悬臂板进行计算；
3. 扶壁可简化为T形悬臂梁进行计算，其中立板为梁的翼缘，扶壁为梁的腹板。

**7** FRP筋混凝土重力式挡墙、悬臂式挡墙和扶壁式挡墙构件按荷载效应的标准组合并计入长期作用影响的最大裂缝宽度，应按照下式计算：

 （5.4.3-1）

 （5.4.3-2）

 （5.4.3-3）

 （5.4.3-4）

 （5.4.3-5）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 受弯构件按荷载效应的标准组合并计入长期作  用影响的最大裂缝宽度（mm）； |
|  | | | —— | 裂缝建纵向受拉FRP筋应力不均匀系数：当时，取；当时，取；对直接承受重复荷载的构件，取； |
|  | | | —— | 荷载效应标准组合下FRP筋的应力（MPa）； |
|  | | | —— | FRP筋的弹性模量（GPa）； |
|  | | | —— | 纵向受拉FRP筋外边缘至受拉区底边的距离 (m)； |
|  | | | —— | 按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉FRP筋的配筋率； |
|  | | | —— | 受拉区FRP筋的截面面积（m2）； |
|  | | | —— | 有效受拉混凝土截面面积（m2），对受弯构件，取其中，为受拉翼缘的宽度、高度（m）； |
|  | | | —— | 受拉区纵向FRP筋的等效直径（m）； |
|  | | | —— | 受拉区第i种纵向FRP筋的公称直径（m）； |
|  | | | —— | 受拉区第i种纵向FRP筋的根数； |
|  | | | —— | 受拉区纵向FRP筋的相对粘结特性系数，根据FRP筋表面特性不同，参照试验数据，取粘结试验所得的FRP筋粘结强度与同条件带肋钢筋的粘结强度的比值。当大于1.5时，取1.5；无试验数据时，可取0.7； |
|  | | | —— | 按荷载效应标准组合计算的弯矩值,取计算区段内的最大弯矩值（kN·m）； |
|  | | | —— | FRP筋合力点距混凝土受压区边缘的距离(m)。 |

**8** FRP筋混凝土受弯构件的挠度计算可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定执行。对于矩形、T形、倒T形和I形截面受弯构件，按荷载效应标准组合并计入长期作用影响的截面抗弯刚度，可按下式计算：

 （5.4.4）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 截面抗弯刚度（GPa）； |
|  | | | —— | 按荷载效应准永久组合计算的弯矩值，取计算区段内的最大弯矩值（kN·m）； |
|  | | | —— | 考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数； |
|  | | | —— | 荷截效应标准组合作用下受弯构件的短期抗弯刚（GPa）； |
|  | | | —— | 墙背与岩土的摩擦角（°）； |

荷截效应标准组合作用下受弯构件的短期抗弯刚，可按下式进行计算：

 （5.4.5-1）

 （5.4.5-2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 裂缝间纵向受拉FRP应变不均匀系数； |
|  | | | —— | FRP筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值； |
|  | | | —— | 纵向受拉FRP筋的配筋率，取； |
|  | | | —— | 受压翼缘截面面积与腹板有效截面面积的比值。 |

**9** 纵向受拉FRP筋达到设计强度与受压区混凝土破坏同时发生的相对界限受压区高度及相应的配筋率，应按下列公式计算：

 （5.4.6-1）

 （5.4.6-2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 相对界限受压区高度（m）； |
|  | | | —— | 相应的配筋率； |
|  | | | —— | 系数，按国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010第7.1.3条的规定执行； |
|  | | | —— | 正截面混凝土极限压应变，取0.0033； |
|  | | | —— | FRP筋的抗拉强度设计值（MPa）； |
|  | | | —— | FRP筋的弹性模量（GPa）； |
|  | | | —— | 当FRP筋与受压边缘混凝土同时达到极限应变时FRP筋混凝土梁的平衡配筋率。 |

**10** 不同FRP筋配筋率下的FRP有效设计应力应按下式计算：

（5.4.7）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 纵向FRP筋的配筋率。 |

**11** FRP筋混凝土挡墙结构正截面受弯极限承载力应按照以下公式计算：

1. 当时：

（5.4.8-1）



1. 当时：

 （5.4.8-2）

 （5.4.8-3）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | FRP筋混凝土梁的最小配筋率； |
|  | | | —— | 当FRP筋与受压边缘混凝土同时达到极限应变时，FRP筋混凝土梁的平衡配筋率； |
|  | | | —— | FRP筋横截面面积（m2）； |
|  | | | —— | 混凝土轴心抗压强度设计值（MPa）； |
|  | | | —— | FRP筋的有效设计应力值（MPa）； |
|  | | | —— | 混凝土轴心抗拉强度设计值（MPa）； |
|  | | | —— | 构件截面宽度（m）； |
|  | | | —— | FRP筋合力点距构件顶面的距离（m）； |
|  | | | —— | 混凝土受压区高度（m）。 |

**12** 采用FRP筋作为箍筋的混凝土构件的斜截面受剪承载力，应按下列公式计算：

 （5.4.9-1）

 （5.4.9-2）

 （5.4.9-3）

 （5.4.9-4）

 （5.4.9-5）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 构件斜截面上的最大剪力设计值（kN）； |
|  | | | —— | 构件斜截面上混凝土受剪承载力设计值（kN）； |
|  | | | —— | 构件斜截面上箍筋受剪承载力设计值（kN）； |
|  | | | —— | 矩形截面的宽度（m），T形截面或I形截面的腹板宽度； |
|  | | | —— | 截面中和轴到受压区边缘的距离（m）； |
|  | | | —— | 纵向受拉FRP筋截面面积（m2）； |
|  | | | —— | 纵向受拉FRP筋配筋率； |
|  | | | —— | FRP筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值； |
|  | | | —— | 纵向受拉FRP筋合力点至截面受压区边缘的距离（m）。 |

**13** 受弯构件斜截面上FRP箍筋受剪承载力设计值，应按下列公式计算，当配置垂直于构件轴线的箍筋时：

 （5.4.10-1）

 （5.4.10-2）

1. 当配置不垂直于构件轴线的箍筋时：

 （5.4.10-3）

1. 当配置连续矩形骤旋箍筋时：

 （5.4.10-4）

1. 箍筋的抗拉强度设计值应按下列公式确定：

 （5.4.10-5）

 （5.4.10-6）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 箍筋的抗拉强度设计值（MPa）； |
|  | | | —— | 配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积 （m2）； |
|  | | | —— | 同一截面内箍筋的肢数； |
|  | | | —— | 单肢箍筋的截面面积（m2）； |
|  | | | —— | 沿构什长度方向上的箍筋间距或螺旋筋的间距（m）； |
|  | | | —— | 倾斜箍筋或螺旋筋与构件纵向轴线的夹角（°）； |
|  | | | —— | 箍筋的弹性模量（GPa）； |
|  | | | —— | 箍筋的弯折半径（m）； |
|  | | | —— | 箍筋的直径（m）。 |

当V>0. 375时，箍筋的配筋率不应小于最小配筋率，最小配筋率应按下式计算：

 （5.4.11）

采用钢筋作为箍筋的混凝土构件的斜截面受剪承载力应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定计算。

**5.4.3 构造设计**

**1** 重力式挡墙基底可做成逆坡形式。对土质地基，基底逆坡坡度不宜大于1:10；对岩质地基，基底逆坡坡度不宜大于1:5。挡墙地基表面纵坡大于5%时，应将基底设计为台阶式，其最下一级台阶底宽不宜小于1.00m。块石或条石挡墙的墙顶宽度不宜小于400mm，毛石混凝土、素混凝土挡墙的墙顶宽度不宜小于200mm。

**2** 重力式挡墙应根据地基稳定性、地基承载力、冻结深度、水流冲刷情况以及岩石风化程度等因素确定基础埋置深度。土质地基中，基础最小埋置深度不宜小于0.50m，岩质地基中，基础最小埋置深度不宜小于0. 30m。基础埋置深度应从坡脚排水沟底算起。受水流冲刷时，埋深应从预计冲刷底面算起。

**3** 应优先选择抗剪强度高和透水性较强的填料作为挡墙后面的填土。当采用黏性土作填料时，宜掺入适量的砂砾或碎石；不应采用淤泥质土、耕植土、膨胀性黏土等软弱有害的岩土体作为填料。

**4** 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙应根据结构承载力和所处环境类别确定混凝土强度等级，且不应低于C25；扶壁和立板的混凝土保护层厚度不应小于35mm，底板的保护层厚度不应小于40mm。受力钢筋直径不应小于12mm，间距不宜大于250mm。

**5** 悬臂式挡墙截面尺寸应根据强度和变形计算确定，立板顶宽和底板厚度不应小于200mm。当挡墙高度大于4m时，宜加根部翼。

**6** 扶壁式挡墙的尺寸应根据挡墙强度和变形计算确定，并应符合下列规定：

1. 两扶壁之间的距离宜取挡墙高度的1/3~1/2；
2. 扶壁的厚度宜取扶壁间距的1/8~1/6，且不宜小于300mm；
3. 立板顶端和底板的厚度不应小于200mm；
4. 立板在扶壁处的外伸长度,宜根据外伸悬臂固端弯矩与中间跨固端弯矩相等的原则确定，可取两扶壁净距的0.35倍左右。

**7** 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙结构构件应根据其受力特点进行配筋设计，其配筋率、FRP筋的连接和锚固等应符合现行国家标准GB 50608的有关规定。

**8**  当挡墙受滑动稳定控制时，应采取提高抗滑能力的构造措施，宜在墙底下设防滑键，其厚度应根据抗剪强度计算确定，且不应小于300mm，其高度应保证键前土体不被挤出。悬臂式挡墙和扶壁式挡墙位于纵向坡度大于5%的斜坡时，基底宜做成台阶形。

**9** FRP筋不宜用作受压筋，但可作为架立筋。不应采用光圆表面的FRP筋。纵向FRP筋的配筋率不应小于最小配筋率最小配筋率可按下式计算：

 （5.4.12）

**10** FRP箍筋应有锚固段，锚固可采用90°的弯钩，弯钩处的搭接长度应满足下式要求，箍筋的弯折半径与的比值不得小于3：

 （5.4.13）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 每延米主动岩土压力合力（kN/m）； |
|  | | | —— | 挡墙抗滑移稳定系数； |

**11** FRP筋用于混凝土板时，最小保护层的厚度不应小于15mm；用于混凝土梁时，最小保护层厚度不应小于20mm。锚固区应配置足够的横向间接钢筋。

**12**  受拉FRP筋的锚固长度应通过试验确定。无试验数据时，锚固长度可按下式计算，且GFRP筋、AFRP和CFRP筋的最小锚固长度分别不应小于20d、25d和35d，当锚固长度不足时，应采用可靠的机械锚固措施。

 （5.4.14）

**13** 纵向受力的FRP筋水平方向的净间距不应小于25mm或FRP筋的最大直径。当需要配置多层纵向FRP筋时，各层FRP筋之间的净间距不应小于25mm或FRP筋的最大直径。超过2根FRP筋不应捆绑在一起作为一根FRP筋使用。

## 5.5 桩板式挡墙加固边坡结构

**5.5.1 一般规定**

**1** 桩板式挡墙适用于开挖土石方可能危及相邻建筑物或环境安全的边坡加固以及工程滑坡治理。挡板可采用现浇板或预制板，桩板式挡墙形式的选择应根据工程特点、使用要求、地形、地质和施工条件等综合考虑确定，按其结构形式分为悬臂式桩板挡墙、锚拉式桩板挡墙。

**2** 悬臂式桩板挡墙高度不宜超过12m，锚拉式桩板挡墙高度不宜大于25m，桩间距不宜小于2倍桩径或桩截面短边尺寸。桩间距、桩长和截面尺寸应根据岩土侧压力大小和锚固段地基承载力等因素确定，并达到安全可靠、经济合理。

**3**  选用FRP管混凝土桩时，用于FRP管混凝土组合构件的FRP圆管径厚比不应大于80。

**4**  用于FRP管混凝土组合构件的FRP管，宜采用正交各向异性对称层合管，采用角铺设层合管时在轴向和环向都应布置足够的纤维。

**5**  FRP圆管组合构件中FRP管的环向刚度应满足下式规定：

 （5.5.1）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | FRP管的等效环向抗拉弹性模量（GPa）； |
|  | | | —— | FRP圆管的壁厚（mm）； |
|  | | | —— | 内核心混凝土半径（m）。 |

**6** FRP管混凝土组合构件内可配或不配钢筋。当FRP管混凝土组合构件内不配钢筋时，设计中应避免极限状态时FRP管受拉区破坏。

**7** FRP管组合构件施工中混凝土强度等级不应低于C30，且不应高于C60，设计中宜计入混凝土的收缩、徐变及FRP管与混凝土间的温差对组合构件的不利影响。

**8** ， FRP管可兼作混凝土的模板使用，并应根据施工阶段的受力状况，验算FRP管的强度、稳定性和变形。

**9** 当FRP管组合构件的长细比不满足下列条件时，设计中应合理计算二阶效应的影响：

 （5.5.2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 构件计算长度（m），按现行国家标准《混凝土结构设计规范GB 50010的有关规定取值; |
|  | | | —— | FRP管内直径（m）； |
|  | | | —— | FRP管的环向极限应变标准值； |
|  | | | —— | FRP约束混凝土抗压强度设计值（MPa）； |
|  | | | —— | 构件两端的荷载偏心距（m），构件同向受弯时，两者同号；反向受弯时，两者异号；为两者中绝对值较大者且始终取正值。 |

**10** FRP管受压组合构件正常使用极限状态，应符合下列规定：

1. 混凝土压应变不应超过0.002；
2. 对于内配钢筋的FRP管混凝土组合构件，其纵向钢筋不应达到其屈服强度标准值。

**11** 采用粘贴FRP 板材加固修复桩板式挡墙的相关规定与设计计算方法应符合《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的相关规定。

**5.5.2 设计计算**

**1** FRP管混凝土桩板式挡墙的岩土侧向压力可按库仑主动土压力计算，并根据对加固边坡结构变形的不同限制要求。对有潜在滑动面的边坡及工程滑坡，应取滑动剩余下滑力与主动岩土压力两者中的较大值进行桩板式挡墙设计。

**2** 可按左右两相邻桩桩中心之间距离的各一半之和计算作用在桩上的荷载宽度，可取板的计算板跨度计算作用在挡板上的荷载宽度。

**3** 桩板式挡墙用于滑坡支挡时，可由桩前剩余抗滑力或被动土压力确定滑动面以上桩前滑体抗力，且设计时应选较小值。当桩前滑体可能滑动时，不应计其抗力。

**4** 桩板式挡墙桩身内力计算时，应根据岩土侧压力或滑坡推力计算临空段或边坡滑动面以上部分桩身内力。宜根据埋人段地面或滑动面处弯矩和剪力，采用地基系数法计算嵌入段或滑动面以下部分桩身内力。根据岩土条件可选用“k法”或“m法”，地基系数k和m值宜根据试验资料、地方经验和工程类比综合确定。

**5** 桩板式挡墙桩嵌入岩土层部分的内力采用地基系数法，计算时，桩的计算宽度可按下列规定取值：

圆形桩：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| d1m时， |  | （5.5.3-1） |
| d1m时， |  | （5.5.3-2） |

矩形桩：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| b1m时， |  | （5.5.3-3） |
| b1m时， |  | （5.5.3-4） |

式中：——桩身计算宽度（m）；

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| b | ——桩宽（m）； |  |  |  |
| d | ——桩径（m）。 |  |  |  |

**6**  应结合岩土层情况和桩基埋人深度确定桩底支承，可按自由端或铰支端考虑。

**7** 桩嵌入岩土层的深度应根据地基的横向承载力特征值确定，并应符合下列规定：

1. 嵌入岩层时，桩的最大横向压应力应小于或等于地基的横向承载力特征值。当桩为矩形截面时，地基的横向承载力特征值可按下式计算：

 （5.5.4）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 地基的横向承载力特征值（kPa）； |
|  | | | —— | 在水平方向的换算系数,根据岩层构造可取0.50~1.00； |
|  | | | —— | 折减系数,根据岩层的裂缝、风化及软化程度可取  0. 30~0.45； |
|  | | | —— | 岩石天然单轴极限抗压强度标准值（kPa）。 |

1. 嵌入土层或风化层土、砂砾状岩层时，滑动面以下或桩嵌入稳定岩土层内深度为h2/3和h2 （滑动面以下或嵌入稳定岩土层内桩长）处的横向压应力不应大于地基横向承载力特征值。悬臂抗滑桩地基横向承载力特征值可按下列公式计算：

当设桩处沿滑动方向地面坡度小于8时，地基y点的横向承载力特征值可按下式计算：

 （5.5.5）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 地基的横向承载力特征值（kPa）； |
|  | | | —— | 滑动面以上土体的重度（kN/m3）； |
|  | | | —— | 滑动面以下土体的重度（kN/m3）； |
|  | | | —— | 滑动面以下土体的等效内摩擦角（°）； |
|  | | | —— | 设桩处滑动面至地面的距离（m）； |
|  | | | —— | 滑动面至计算点的距离（m）。 |

当设桩处沿滑动方向地面坡度且时，地基y点的横向承载力特征值可按下式计算:

（5.5.6）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 滑动面以下土体的内摩擦角（°）。 |

**8**  桩基嵌固段顶端地面处的水平位移不宜大于10mm，当地基强度或位移不能满足要求时，应通过调整桩的埋深、截面尺寸或间距等措施进行处理。

**9** 桩板式挡墙的桩身按受弯构件设计，无特殊要求时可不作裂缝宽度验算。

**10** 锚拉式桩板挡墙计算时可考虑将桩、锚固段岩土体及锚索（杆）视为一整体，锚索（杆）视为弹性支座，桩简化为受横向变形约束的弹性地基梁，根据位移变形协调原理，按“k法”或“m法”计算锚杆（索）拉力及桩各段内力和位移。

**11** 锚拉桩采用锚固段为岩石的预应力锚杆（索）或全粘结岩石锚杆时,锚杆（索）可按刚性杆考虑,将桩简化为单跨简支梁或多跨连续梁,计算桩各段内力和位移。

**12** FRP圆管混凝土受弯构件中混凝土的受压应力应变关系，应按下列公式确定：

当时：

 （5.5.7-1）

当时：

 （5.5.7-2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 约束混凝土应力-应变曲线第一段斜率，取无约束混凝土弹性模量（GPa）； |
|  | | | —— | 混凝土轴心抗压强度设计值（MPa）； |
|  | | | —— | 受弯构件中FRP约束混凝土极限应变设计值。 |

**13** FRP管混凝土组合构件受剪承载力应按下列公式计算：

 （5.5.8-1）

 （5.5.8-2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中 | ： |  | —— | 外荷载产生的剪力设计值（kN）； |
|  | | | —— | 混凝土和箍筋承担的剪力设计值（kN），按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定计算； |
|  | | | —— | FRP管承担的剪力设计值（kN）； |
|  | | | —— | 第i层纤维方向与构件轴向的夹角（°）； |
|  | | | —— | 构件截面直径（m）； |
|  | | | —— | 第*i*层层板的纤维方向表观弹性模量（GPa）； |
|  | | | —— | 第*i*层层板的厚度（m）； |
|  | | | —— | 纤维允许拉应变，取=0.004； |
|  | | | —— | 纤维层数。 |

**5.5.3 构造设计**

**1** FRP管混凝土桩的混凝土强度等级不应低于C25。

**2**  FRP管混凝土桩受力主筋混凝土保护层不应小于50mm，挡板受力主筋混凝土保护层在挡土一侧不应小于25mm，在临空一侧不应小于20mm。

**3** FRP管混凝土桩内不宜采用斜筋抗剪，可采用调整混凝土强度等级、箍筋直径和间距和桩身截面尺寸等措施满足剪力较大时斜截面抗剪强度要求。

**4** FRP管混凝土桩宜采用封闭式箍筋，肢数不宜多于4肢，桩的两侧和受压边应配置纵向构造钢筋。

**5** 锚拉式桩板挡墙锚孔距桩顶距离不宜小于1500mm，桩身箍筋应在锚固点附近适当加密。

**6** 悬臂式桩板挡墙桩长在岩质地基中嵌固深度不宜小于桩总长的1/4，土质地基中不宜小于1/3。

**7** 桩板式挡墙应根据其受力特点进行配筋设计，其配筋率、钢筋搭接和锚固应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定。桩板式挡墙纵向伸缩缝间距不宜大于25m，

**8** FRP管和混凝土之间应采取抗滑移措施。FRP管应具有粗糙或凹凸不平的内表面， FRP管内壁和钢管外壁不得有油污粉尘等污物，并宜在混凝土中加人适量的膨胀剂。

**9**  FRP管内混凝土宜连续浇灌，必须间隙时，间隙时间不应超过混凝土終凝时间。

**10** FRP管内混凝土的浇灌质量，可用敲击管壁的方法进行初步检查，如有异常，则应用超声波检测，应严格控制浇灌混凝土的施工步骤。

# 6 加 固 工 程 施 工

## 6.1 一般规定

**6.1.1**  采用FRP加固既有边坡结构应根据工程地质条件，边坡环境因素、加固设计文件与监测鉴定文件等编制相应的施工方案，同时应才去有效、合理的措施确保施工安全。

**6.1.2**  对于不稳定或欠稳定的边坡工程，应根据边坡的地址条件与环境因素以及可能发生的破坏方式等情况，采取有效的施工措施，增加边坡工程的稳定性，未经设计许可严禁大开挖以及爆破等作用。

**6.1.3** 边坡结构加固工程应采取有效的排水措施，满足地下水、暴雨和施工用水的排序需求；一级边坡加固工程应采用信息法施工，同时应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330的有关规定。

**6.1.4** 采用外粘FRP板材加固混凝土结构施工前应根据设计要求及施工现场情况编制施工技术方案。施工应在5~35℃间进行，当环境温度低于5℃时，应采取低温固化树脂或者升温措施，当环境湿度高于70%，应考虑湿度对树脂固化的影响。

**6.1.5**  FRP筋混凝土结构施工方法相关要求应符合国家行业标准《纤维增强复合材料筋混凝土桥梁技术标准》CJJ/T280、国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的相关规定。

**6.1.6** FRP锚杆（索）的锚固以及预张拉施工方法应符合国家标准《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156的相关规定。

**6.1.7** FRP管混凝土结构施工方法相关要求应符合国家行业标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB50608、国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的相关规定。

**6.1.8** 边坡工程加固施工除应符合本章规定外，还应符合《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB50608、《建筑边坡工程技术规范》GB 50300以及《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843的有关规定。

## 6.2 施工组织设计

**6.2.1**  边坡结构加固工程施工组织设计应包括工程概况、施工准备与方案、施工进度计划、质量保证体系及措施以及应急预案等，相关要求应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB50843 、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的有关规定。边坡加固工程组织设计应反映信息法施工的特殊要求。

**6.2.2** FRP锚杆（索）、锚夹具以及连接器的标志、包装、运输及贮存应符合《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156、《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370的有关规定；锚杆施工准备工作、锚孔施工、锚杆灌浆、锚杆张拉及锁定应符合《建筑边坡工程技术规范》GB 50330的有关规定；排桩法锚杆挡墙以及在施工过程中可能失稳的板肋式锚杆挡墙应采用逆作法施工，对施工期不利工况的锚杆挡墙应按临时性支护结构进行验算。

**6.2.3**  FRP筋混凝土挡墙的施工方法及构造措施应符合《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB50608的相关规定；挡墙在施工前应预设好排水系统，同时保证边坡和基坑坡面干燥。

**6.2.4** 采用FRP板材加固边坡支挡混凝土结构的施工机具选用应符合《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB50608的相关规定；粘贴FRP板材施工步骤包括：混凝土基层处理→切割并打磨FRP板材→涂抹FRP胶黏剂→粘贴FRP板材并压实→表面防护处理。当因外观需求、避免阳关直射、火灾、撞击等原因需进行表面防护时，因采取响应的措施确保防护材料与FRP板材之间的可靠粘结。

## 6.3 信息法施工

**6.3.1** 信息法施工的准备工作应包括：熟悉地质及环境资料，掌握施工的特殊要求，收集同类边工程加固的施工经验，制定和实施边坡支护结构的监测方案和应急预案。

**6.3.2** 信息法施工应掌握边坡加固工程的监测情况，编录施工现场的地质状态与原地质资料，为施工勘察提供资料。

**6.3.3** 根据施工方案，对可能出现开挖不利的工况进行边坡及支护结构强度、变形和稳定性验算，建立信息反馈制度，及时调整施工方案。

## 6.4 爆破施工

**6.4.1** 对于地质条件差、边坡稳定性差的结构不应采取爆破开挖方案。

**6.4.2** 爆破危险区应采取安全保护措施，爆破前应对建（构）筑物的原有状况进行监测并记录。

**6.4.3**  支护结构坡面爆破宜采用光面爆破法，爆破施工技术尚应符合国家现行有关标准的规定。

**6.4.4** 对于稳定性较差的边坡或爆破影响范围内坡顶有重要建筑物的边坡，爆破震动效应应通过监测或试爆试验加以确定。

## 6.5 施工险情应急措施

**6.5.1** 当边坡结构加固工程施工过程中出现险情时，应做好资料收集、整理及汇编等工作。

**6.5.2**  当边坡结构加固工程变形过大、周边建筑物地面出现沉降开裂等紧急情况时应暂停施工，并采取相应的应急措施。

**6.5.3** 当边坡结构加固工程施工出现险情时，施工单位应和相关设计单位、监测单位等检查并确认险情原因，采取边坡排危抢险方案制定相应的施工抢险方案。

**6.5.4** 施工单位应根据制定的抢险方案及时开展边坡工程抢险工作。

# 7 工程监测、检验及验收

## 7.1 监测

**7.1.1**  边坡塌滑区有重要建（构）筑物的一级边坡结构工程加固施工时应对坡顶水平位移、垂直位移、地表裂缝及坡顶建（构）筑物变形进行监测。

**7.1.2**  边坡结构加固工程应由设计单位提出监测项目和相关要求，由业主委托监测单位编制监测方案；根据安全等级、地质环境、边坡类型选择监测项目，监测项目表应参考《建筑边坡工程技术规范》GB 50330中表19.1.3的有关规定。

**7.1.3** 边坡结构加固工程监测应包括坡顶位移观测、预应力及非预应力锚杆索拉力及预应力损失监测，监测应符合《建筑边坡工程技术规范》GB 50330的相关规定。

**7.1.4** 应采取有效措施对地表裂缝、位错等变化进行监测，且监测精度应满足相关规定；对于地质条件极其复杂且采用新技术治理的一级边坡应建立边坡工程的长期监测系统。

**7.1.5** 边坡结构加固工程监测应呈现在监测报告中，包括边坡工程概况、监测依据及项目需求、监测仪器信息、测点布置图一级监测数据分析。

## 7.2 质量检验

**7.2.1**  边坡结构加固工程的原材料质量检验应包括材料出厂合格证检查，材料现场抽检以及锚杆浆体和混凝土的强度等级检验，材料的质量检验应符合《建筑边坡工程技术规范》GB50330、《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB50608以及《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370的相关规定。

**7.2.2**  边坡结构加固工程的质量检测报告应包括工程概况、检测依据、检测方法、仪器设备信息、检测点分布、检测数据分析及结论。

## 7.3 验 收

**7.3.1** 边坡结构加固工程的质量验收应取得的资料包括加固工程的设计、勘察及鉴定文件，原材料的出厂合格证以及检测报告，混凝土及砂浆强度检验报告，支护结构的有关检验报告，边坡加固工程和周围建筑物的监测报告、施工记录及竣工图。

**7.3.2** 边坡结构加固工程的质量验收应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843的相关规定。

# 本规范用词说明

**1** 为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：

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”。

**1** 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

《混凝土结构加固设计规范》GB 50367

《混凝土结构设计规范》GB50010

《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608

《结构用纤维增强复合拉索》GB/T 35156

《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370

《建筑边坡工程技术规范》GB 50330

《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843

《结构工程用纤维增强复合材料筋》GB/T 26743

《纤维增强复合材料筋》JG/T 315

《纤维增强复合材料筋混凝土桥梁技术标准》CJJ/T 280-2018

《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB50843

《锚杆喷射混凝土支护技术规范》 GB 50086

《混凝土结构工程施工规范》GB 50666

中国工程建设标准化协会标准

**纤维复合材料修复加固边坡支挡结构技术规程**

**条文说明**

**制 定 说 明**

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位的有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，供使用者参考。在使用过程中如发现条文说明有不妥之处，并将意见和建议寄交哈尔滨工业大学行业标准《纤维复合材料修复加固边坡支挡结构技术规程》管理组（地址:黑龙江省哈尔滨市南岗区黄河路73号，邮编：150006）。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

**目 次**

[1 总 则 （52）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971422)

[2 术语与符号 （53）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971423)

[3 基 本 规 定 （54）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971426)

[3.1 一般规定 （54）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971427)

[3.2 边坡加固结构工程鉴定及安全等级 （54）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971428)

[3.3 边坡结构加固设计 （55）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971429)

[4 材 料 （56）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971430)

[4.1 一般规定 （56）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971431)

[4.2 纤维布 （56）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971432)

[4.3 纤维增强复合材料（FRP）板材及配套树脂胶粘剂 （57）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971433)

[4.4 纤维增强复合材料（FRP）筋混凝土构件 （57）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971434)

[4.5 纤维增强复合材料（FRP）锚杆（索） （58）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971435)

[4.6 纤维增强复合材料（FRP）管混凝土构件 （58）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971436)

[5 边 坡 结 构 工 程 加 固 （59）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971437)

[5.1 一般规定 （59）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971438)

[5.2 FRP锚杆（索）挡墙加固边坡结构 （59）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971439)

[5.3 岩石喷锚加固边坡结构 （60）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971440)

[5.4 重力式、悬臂式及扶壁式挡墙加固边坡工程 （60）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971441)

[5.5 桩板式挡墙加固边坡结构 （61）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971442)

[6 加 固 工 程 施 工 （63）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971443)

[6.1 一般规定 （63）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971444)

[6.2 施工组织设计 （63）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971445)

[6.3 信息法施工 （64）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971446)

[6.4 爆破施工 （64）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971447)

[6.5 施工险情应急措施 （64）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971448)

[7 工程监测、检验及验收 （65）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971449)

[7.1 监测 （65）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971450)

[7.2 质量检验 （65）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971451)

[7.3 验 收 （65）](file:///C:\Users\NiuYanzhao\Desktop\纤维增强复合材料修复加固边坡结构技术规程-征求意见稿%20(1).docx#_Toc97971452)

# 1 总 则

**1.0.1** 国外FRP材料在修复加固边坡结构工程中已经得到广泛应用，尤其是FRP材料用于岩石喷锚、重力式、悬臂式、扶壁式及桩板式挡墙修复加固边坡结构，采用FRP材料被认为是一种大幅提高结构耐久性的方法。目前，美国、加拿大、日本等国家已有大量的应用案例。国内部分边坡结构也采用了FRP材料修复加固的结构形式。为了规范FRP材料在修复加固边坡结构工程中的结构设计，使其更具有科学性、先进性及合理性，总结理论研究和工程实践经验，并按照修复加固边坡结构总体性规范的要求进行FRP修复加固边坡结构工程设计标准的编制非常具有必要性。

**1.0.2** 本条给出了本标准适用的范围。本标准依据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153规定的设计原则编制，适用范围为表面粘贴纤维增强复合材料板修复加固边坡结构、纤维增强复合材料混凝土构件修复加固边坡结构以及纤维增强复合材料锚杆修复加固边坡结构的设计、施工与验收。

**1.0.3** 需要满足的其他相关标准由本标准的适用范围确定。

# 2 术语与符号

术语列出了与FRP材料在修复加固边坡结构工程相关的专业性术语，以达到概念解释与表达统一的目的。符号按材料性能、作用与作用效应、几何参数、计算系数及其他等几个部分列出。主体符号参照城市桥梁设计规范,以达到设计使用习惯的一致性。

# 3 基 本 规 定

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 本条规定了与FRP修复加固边坡结构配套使用的混凝土结构加固材料、加固构件、加固技术以及裂缝修补技术等的选用原则。

**3.1.2** 本条规定了与FRP修复加固边坡结构配套使用的板材、锚杆、锚夹具及加固技术的选用原则。

**3.1.3** 边坡的使用年限指边坡工程的支护结构能发挥正常支护功能的年限，边坡工程设计年限临时边坡为2年，永久边坡按50年设计，当受边坡支护结构保护的建筑物（坡顶塌滑区、坡下塌方区）为临时或永久性时，支护结构的设计使用年限应不低于上述值。

**3.1.4** 综合考虑场地地质条件、边坡变形控制的难易程度、边坡重要性及安全等级、施工可行性及经济性、选择合理的支护设计方案是设计成功的关键。

**3.1.5** 对既有边坡加固结构工程的勘察、加固设计、施工、检测和验收等环节应由具备资质单位和经验的专业技术人员负责。

## 3.2 边坡加固结构工程鉴定及安全等级

**3.2.1** 本条规定边坡加固结构工程鉴定的内容，包括工程质量鉴定、加固可靠性鉴定、结构安全性、适用性及耐久性鉴定。

**3.2.2～3.2.4** 边坡工程安全等级是支护工程设计、施工中根据不同的地质环境条件及工程具体情况加以区别对待的重要标准。除根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068按破坏后果严重性分为很严重、严重、不严重外，尚考虑了边坡稳定性因素（岩土类别和坡高）。对危害性极严重、环境和地质条件复杂的边坡工程，当安全等级已为一级时，主要通过组织专家进行专项论证的方式来保证支支护方案的安全性和合理性。

**3.3 边坡结构加固设计**

**3.3.1** 本条文说明边坡工程设计的两类极限状态的相关内容。

**3.3.2** 本次修订对边坡工程计算或验算的内容采用的不同荷载效应组合与相应的抗力进行了规定。

**3.3.3**、**3.3.4** 本条文对边坡结构加固设计应考虑的情况，边坡结构加固设计使用年限及加固方案进行规定。

# 4 材 料

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 目前工程中常用的FRP材料包括边坡结构加固用增强纤维、纤维布、树脂基体、纤维增强复合材料、加固用树脂胶粘剂。

**4.1.2** 目前工程中常用加固用纤维为碳纤维、玻璃纤维、芳纶和玄武岩纤维；常用树脂基体可选用环氧树脂、乙烯基酯树脂和聚氨酯；常用纤维增强复合材料包括FRP板材、FRP筋、FRP锚杆与FRP管；加固用树脂胶粘剂应采用环氧树脂。

**4.1.3** 由于FRP材料多为典型的正交各向异性材料，导致存在难以锚固的问题，因此FRP锚杆应与相应的锚具配套使用，锚具类型应符合国家现行有关产品标准的规定。

**4.1.4** 按照现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153的规定， FRP筋的强度标准值应具有95%的保证率，弹性模量取平均值。除了FRP筋的拉伸强度、弹性模量外，还应有剪切强度、抗压强度、耐久性和耐火性能等方面的数据支持。

## 4.2 纤维布

**4.2.1**  目前工程中常用的纤维布包括碳纤维布、玻璃纤维布、芳纶布和玄武岩纤维布，其中纤维布性能应符合国家现行有关产品标准的规定。

**4.2.2、4.2.3** 工程中用于外粘加固的单向纤维布的抗拉强度应按纤维布的净截面面积计算；碳纤维布分为高强度型和高模量型，其中高强度碳纤维布包括I、II和III三个强度等级，玻璃纤维布包括I、II两个强度等级；按照现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153的规定，纤维布抗拉强度标准值应具有95%的保证率（99%置信度），弹性模量和断裂伸长率应取平均值；纤维布的主要力学性能指标应符合国家现行标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的有关规定。

## 4.3 纤维增强复合材料（FRP）板材及配套树脂胶粘剂

**4.3.1** 本条文规定了用于外粘加固的单向FRP板材的抗拉强度应按板的截面面积（包含树脂）进行计算，板材的纤维体积含量不应低于60%。

**4.3.2** 按照现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153的规定， FRP板的强度标准值应具有95%的保证率，弹性模量和断裂伸长率应取平均值，单向板的主要力学指标应符合国家现行标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的有关规定。

**4.3.3** 本条文对FRP板加固修复边坡结构工程配套的底层树脂、找平材料和FRP板材胶粘剂的性能指标应满足国家现行标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的有关规定。

**4.3.4** 浸渍树脂和FRP胶粘剂在使用过程中对温度敏感性大，一般使用环境下的热变形温度应大于50℃，特殊环境下不应低于60℃，且经2000h的湿热循环加速老化后强度下降速率应低于20%。

## 4.4 纤维增强复合材料（FRP）筋混凝土构件

**4.4.1** 本条文列举了工程常用的FRP筋及性能应符合的标准。

**4.4.2** 按照现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153的规定， FRP筋的强度标准值应具有不小于95%的保证率（99%置信度），弹性模量和断裂伸长率应取平均值。FRP筋的抗拉强度应按筋材的截面面积（包含树脂）进行计算，其中截面面积应按照名义直径进行计算。FRP筋的纤维体积含量不应小于60%，力学性能指标应满足《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的有关规定。

**4.4.3** 考虑到混凝土的碱性环境，本条文规定在混凝土碱性环境中GFRP筋应使用高强型、且含碱量小于0.8%的无碱玻璃纤维或耐碱玻璃纤维，不得使用中碱玻璃纤维及高碱玻璃纤维。

**4.4.4、4.4.5** 本条文规定了边坡结构加固用主要受力构件混凝土强度等级测试方法以及混凝土轴心抗压强度标准值和设计值、轴心抗拉强度标准值和设计值以及弹性模量取值应符合的有关规定。

**4.4.6** 本条文规定预应力FRP筋锚具、夹具和连接器的静载性能和疲劳性能应符合的标准规定，并对锚具类型及筋材类型作出规定。

## 4.5 纤维增强复合材料（FRP）锚杆（索）

**4.5.1** 锚杆是能将张拉力传递到稳定的或适宜的岩土体中的种受拉杆件（体系），一般由锚头、杆体自由段和杆体锚固段组成。**4.5.2、4.5.3** 本条文规定了纤维增强复合材料锚杆（索）的材料类型、一般形式以及锚杆（索）性能应符合的规定。

**4.5.4** 本条文规定索体的物理性能、力学性能及其检测方法应符合《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156的规定

**4.5.5** 由于FRP杆（索）为典型的正交各向异性材料，其沿纤维方向的抗拉性能远高于垂直于纤维方向的抗压与抗剪性能，FRP杆（索）应配备相应的锚具、夹具和连接器，锚具类型、回缩、静载/疲劳性能应符合《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370、《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156的规定。

## 4.6 纤维增强复合材料（FRP）管混凝土构件

**4.6.1、4.6.2** 本条文对用于FRP管混凝土组合构件的FRP圆管设计原则以及用于FRP管混凝土组合构件的FRP管铺设布置方式进行说明。

**4.6.3、4.6.4** 本条文对FRP管混凝土组合受压构件中的轴心受压构件，混凝土的应力-应变关系测试方法给出规定，计算得出的约束混凝土极限压应变值大于由规定的FRP条形压缩试件试验方法确定的极限压应变时，应取FRP条形压缩试件试验方法确定的极限压应变为约束混凝土的极限压应变。

# 5 边 坡 结 构 工 程 加 固

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 在进行既有边坡工程加固时，加固方案的选择至关重要，本条文给出确定既有边坡加固方案应考虑的一般因素。

**5.1.2** 边坡工程的破坏模式与原因决定边坡工程加固方案，同时也应考虑施工安全、可行性及现场条件等因素确定。

**5.1.3、5.1.4** 本条文列举边坡加固方案所选支护结构形式，并提出宜有利于与原支护结构受力协调并对既有边坡工程稳定性和支护结构安全性扰动小的要求。

**5.1.5** 本条文规定宜优先考虑采用预应力锚杆加固方法的边坡工程。

**5.1.6、5.1.7** 工程中应力较大易发生较大变形和开裂的边坡支护结构，可考虑采用预应力锚固加固法、削方减载法及堆载反压法优先对高应力构件进行卸载并降低其应力水平。边坡工程加固设计计算除本章有特别规定外，尚应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB50330 以及《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB50843的有关规定。

## 5.2 FRP锚杆（索）挡墙加固边坡结构

**5.2.1** 本条文规定FRP锚杆的结构形式、宜采用FRP排桩式锚杆挡墙的边坡加固工程、不同边坡应采用的FRP锚杆挡墙类型以及FRP锚杆挡墙中FRP筋的力学性能。

**5.2.2** 规定FRP锚杆挡墙的设计与计算内容。先应确定坡顶无建（构）筑物且不需对边坡变形进行控制的FRP锚杆挡墙侧向岩土压力合力、岩土自重产生的侧压力分布，进而对FRP锚杆（索）挡墙进行设计。

**5.2.3**  本条文对FRP锚杆挡墙立柱的间距、FRP锚杆挡墙的锚杆布置，立柱、挡板和格构梁的混凝土强度等级、截面尺寸、配筋方式给出规定。

## 5.3 岩石喷锚加固边坡结构

**5.3.1** 本条文列举岩石锚喷加固边坡结构应符合的规定，指出岩质边坡整体稳定用系统FRP锚杆加固后，对局部不稳定块体尚应采用FRP锚杆进行加固。

**5.3.2** 本条文列举采用FRP锚喷加固的岩质边坡整体稳定性计算应符合的规定，规定FRP锚杆承载力计算方法。

**5.3.3** 本条文对FRP锚杆布置方式、锚杆间距、锚杆的安设倾角等作出规定，对锚喷加固岩质边坡整体结构时永久性边坡、临时性边坡的面板厚度作出规定，规定岩质边坡坡面防护宜符合的要求，并对喷射混凝土强度等级、物理力学参数作出规定。

## 5.4 重力式、悬臂式及扶壁式挡墙加固边坡工程

**5.4.1** 应根据使用要求、地形、地质和施工条件等综合考虑FRP筋混凝土挡土墙类型，FRP筋混凝土悬臂式挡墙和扶壁式挡墙适用于地基承载力较低的填方边坡加固工程。应进行正常使用极限状态的裂缝宽度、变形计算和承载能力极限状态验算，预应力FRP筋混凝土构件应进行承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算。

**5.4.2** 对FRP筋混凝土构件用于重力式、悬臂式及扶壁式挡墙加固边坡工程的设计计算时，应对挡墙进行抗滑移稳定性计算和抗倾覆计算。FRP筋混凝土重力式挡墙、悬臂式挡墙和扶壁式挡墙构件按荷载效应的标准组合并计入长期作用影响的最大裂缝宽度计算。FRP筋混凝土受弯构件的挠度计算可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定执行。挡墙设计包括纵向受拉FRP筋达到设计强度与受压区混凝土破坏同时发生的相对界限受压区高度及相应的配筋率计算，正截面受弯极限承载计算，斜截面受剪承载力计算，受弯构件斜截面上FRP箍筋受剪承载力计算等。

**5.4.3** 重力式挡墙基底可做成逆坡形式。重力式挡墙应根据地基稳定性、地基承载力、冻结深度、水流冲刷情况以及岩石风化程度等因素确定基础埋置深度，且应优先选择抗剪强度高和透水性较强的填料作为挡墙后面的填土。悬臂式挡墙和扶壁式挡墙应根据结构承载力和所处环境类别确定混凝土强度等级，且不应低于C25。扶壁和立板的混凝土保护层厚度不应小于35mm，底板的保护层厚度不应小于40mm。受力钢筋直径不应小于12mm，间距不宜大于250mm。悬臂式挡墙截面尺寸应根据强度和变形计算确定，

扶壁式挡墙的尺寸应根据挡墙强度和变形计算确定。悬臂式挡墙和扶壁式挡墙结构构件配筋率、FRP筋的连接和锚固等应符合现行国家标准GB 50608的有关规定，且FRP筋不宜用作受压筋，但可作为架立筋，不应采用光圆表面的FRP筋。FRP筋用于混凝土板时，最小保护层的厚度不应小于15mm；用于混凝土梁时，最小保护层厚度不应小于20mm。锚固区应配置足够的横向间接钢筋。

## 5.5 桩板式挡墙加固边坡结构

**5.5.1** 本条文指出桩板式挡墙按其结构形式分为悬臂式桩板挡墙、锚拉式桩板挡墙。选用FRP管混凝土桩时，用于FRP管混凝土组合构件的FRP圆管径厚比不应大于80。用于FRP管混凝土组合构件的FRP管，宜采用正交各向异性对称层合管，采用角铺设层合管时在轴向和环向都应布置足够的纤维。FRP管混凝土组合构件内可配或不配钢筋。FRP管可兼作混凝土的模板使用，采用粘贴FRP 板材加固修复桩板式挡墙的相关规定与设计计算方法应符合《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的相关规定。

**5.5.2** FRP管混凝土桩板式挡墙的岩土侧向压力可按库仑主动土压力计算，可按左右两相邻桩桩中心之间距离的各一半之和计算作用在桩上的荷载宽度，可取板的计算板跨度计算作用在挡板上的荷载宽度。桩板式挡墙用于滑坡支挡时，可由桩前剩余抗滑力或被动土压力确定滑动面以上桩前滑体抗力，且设计时应选较小值。当桩前滑体可能滑动时，不应计其抗力。桩板式挡墙桩嵌入岩土层部分的内力采用地基系数法**。**应结合岩土层情况和桩基埋人深度确定桩底支承，可按自由端或铰支端考虑。桩嵌入岩土层的深度应根据地基的横向承载力特征值确定**。**桩板式挡墙的桩身按受弯构件设计，无特殊要求时可不作裂缝宽度验算。

**5.5.3** 本条文规定FRP管混凝土桩的混凝土强度等级不应低于C25。FRP管混凝土桩受力主筋混凝土保护层不应小于50mm，挡板受力主筋混凝土保护层在挡土一侧不应小于25mm，在临空一侧不应小于20mm。桩板式挡墙应根据其受力特点进行配筋设计，其配筋率、钢筋搭接和锚固应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定。桩板式挡墙纵向伸缩缝间距不宜大于25m。FRP管和混凝土之间应采取抗滑移措施。应严格控制浇灌混凝土的施工步骤，保证FRP管内混凝土的浇灌质量。

# 6 加 固 工 程 施 工

## 6.1 一般规定

**6.1.1**  本条文规定采用FRP加固既有边坡结构所应根据的条件、因素及条文，应同时采取有效、合理的措施确保施工安全。

**6.1.2** 边坡工程的稳定性是修复加固边坡重要因素，对于不稳定或欠稳定的边坡工程，应根据边坡的地址条件与环境因素以及可能发生的破坏方式等情况，采取有效的施工措施，增加边坡工程的稳定性

**6.1.3** 本条文规定边坡结构加固工程应采取有效的排水措施，满足地下水、暴雨和施工用水的排序需求。

**6.1.4** 采用外粘FRP板材加固混凝土结构施工前应考虑环境因素如温度的影响。本条文规定施工应在5~35℃间进行，当环境温度低于5℃时，应采取低温固化树脂或者升温措施，当环境湿度高于70%，应考虑湿度对树脂固化的影响。

**6.1.5～6.1.8**  本条文规定FRP筋混凝土结构施工方法、FRP锚杆（索）的锚固以及预张拉施工方法、FRP管混凝土结构施工方法、边坡工程加固施工应符合的规范。

## 6.2 施工组织设计

**6.2.1**  本条文给出边坡结构加固工程施工组织设计应包括工程概况、施工准备与方案、施工进度计划、质量保证体系及措施以及应急预案等，并给出相关要求应符合的现行国家标准。

**6.2.2** 本条文给出FRP锚杆（索）、锚夹具以及连接器的标志、包装、运输及贮存应符合的现行国家标准。

**6.2.3**  本条文给出FRP筋混凝土挡墙的施工方法及构造措施应符合的现行国家标准。

**6.2.4** 本条文给出采用FRP板材加固边坡支挡混凝土结构的施工机具选用应符合《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB50608的相关规定。

## 6.3 信息法施工

**6.3.1** 本条文指出信息法施工的准备工作。

**6.3.2、6.3.3** 规定信息法施工应掌握的相关资料，根据施工方案，对可能出现开挖不利的工况进行边坡及支护结构强度、变形和稳定性验算，建立信息反馈制度，及时调整施工方案。

## 6.4 爆破施工

**6.4.1～6.4.4** 本条文给出不应采取爆破开挖方案的地质情况，爆破危险区应采取安全保护措施，爆破施工技术尚应符合国家现行有关标准的规定。指出对于稳定性较差的边坡或爆破影响范围内坡顶有重要建筑物的边坡，爆破震动效应应通过监测或试爆试验加以确定。

## 6.5 施工险情应急措施

**6.5.1～6.5.4** 本条文规定施工过程中出现险情时，应做好资料收集、整理及汇编等工作。应暂停施工的，并采取相应的应急措施。

当边坡结构加固工程施工出现险情时，检查并确认险情原因，采取边坡排危抢险方案制定相应的施工抢险方案，及时开展边坡工程抢险工作。

# 7 工程监测、检验及验收

## 7.1 监测

**7.1.1**  本条文指出当对边坡塌滑区有重要建（构）筑物的一级边坡结构工程加固施工时，应对坡顶水平位移、垂直位移、地表裂缝及坡顶建（构）筑物变形进行监测。

**7.1.2**  本条文规定边坡结构加固工程应由设计单位提出监测项目和相关要求，由业主委托监测单位编制监测方案；根据安全等级、地质环境、边坡类型选择监测项目，监测项目表应参考《建筑边坡工程技术规范》GB 50330中表19.1.3的有关规定。

**7.1.3** 本条文给出边坡结构加固工程监测应包括的内容及应符合的相应标准内容。

**7.1.4** 对地表裂缝、位错等变化应采取有效措施对进行监测，且监测精度应满足相关规定；对于地质条件极其复杂且采用新技术治理的一级边坡应建立边坡工程的长期监测系统。

**7.1.5** 本条文规定边坡结构加固工程监测应呈现在监测报告中，包括边坡工程概况、监测依据及项目需求、监测仪器信息、测点布置图一级监测数据分析。

## 7.2 质量检验

**7.2.1**  本条文规定边坡结构加固工程的原材料质量检验应包括的内容，及应符合的相应标准内容。

**7.2.2**  本条文规定边坡结构加固工程的质量检测报告应包括工程概况、检测依据、检测方法、仪器设备信息、检测点分布、检测数据分析及结论。

## 7.3 验 收

**7.3.1** 本条文规定边坡结构加固工程的质量验收应取得的资料，其中包括加固工程的设计、勘察及鉴定文件，原材料的出厂合格证以及检测报告，混凝土及砂浆强度检验报告，支护结构的有关检验报告，边坡加固工程和周围建筑物的监测报告、施工记录及竣工图。

**7.3.2** 本条文给出边坡结构加固工程的质量验收应符合的相应标准内容。