

玻璃纤维增强复合材料筋
基坑工程应用技术规程

Technical specification for excavation
engineering application of GFRP bar

(报批稿)

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	3
5 材料	5
5.1 混凝土	5
5.2 GFRP 筋	6
5.3 钢筋	7
6 设计与计算	8
6.1 结构计算	8
6.2 地下连续墙设计	8
6.3 排桩设计	9
6.4 冠梁、腰梁设计	10
6.5 锚杆设计	12
6.6 土钉设计	13
6.7 构造要求	18
7 施工	20
7.1 一般规定	20
7.2 地下连续墙的施工	20
7.3 灌注桩的施工	20
7.4 冠梁、腰梁的施工	21
7.5 锚杆施工	21
7.6 土钉施工	21
8 检测与监测	22
8.1 检测	22
8.2 监测	23
附录 A（规范性） 锚杆抗拔试验要点	24
A.1 一般规定	24
A.2 基本试验	24
A.3 蠕变试验	25
A.4 验收试验	25
附录 B（规范性） 土钉抗拔试验要点	27
附录 C（规范性） GFRP 筋进场检验项目和方法	29
附录 D（规范性） GFRP 筋连接性能测试方法	31

图 1	理论直线滑动面	13
图 2	土钉墙整体稳定性验算	14
图 3	基坑底面下有软土层的土钉墙隆起稳定性验算	15
图 4	土钉抗拔承载力计算	17
图 5	GFRP 箍筋弯折的构造要求	18
图 D.1	GFRP 筋连接试样示意图	31
表 1	支护结构的安全等级及结构重要性系数	3
表 2	混凝土轴心抗压强度标准值 (N/mm^2)	5
表 3	混凝土轴心抗拉强度标准值 (N/mm^2)	5
表 4	混凝土轴心抗压强度的设计值 (N/mm^2)	5
表 5	混凝土轴心抗拉强度的设计值 (N/mm^2)	5
表 6	混凝土的弹性模量 ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	6
表 7	GFRP 筋公称直径、允许偏差和直线度	6
表 8	GFRP 筋的主要力学性能指标	6
表 9	普通钢筋强度标准值	7
表 10	普通钢筋强度设计值	7
表 11	普通钢筋在最大力下的总伸长率限值	7
表 12	钢筋的弹性模量	7
表 13	整体稳定安全系数	14
表 14	土钉的极限粘结强度标准值	17
表 15	锚杆的抗拔承载力检测值	22
表 A.1	多循环加载试验的加载分级与锚头位移观测时间	24
表 A.2	蠕变试验加载分级与锚头位移观测时间	25
表 A.3	单循环加载试验的加载分级与锚头位移观测时间	25
表 B.1	单循环加载试验的加载等级与土钉位移观测时间	27
表 C.1	GFRP 筋材进场检验项目	29

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替DGJ32/TJ 162-2014《玻璃纤维增强复合材料筋基坑工程应用技术规程》，与DGJ32/TJ 162-2014相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 新增全文性基本规定；
- 修改了部分术语和释义；
- 调整了GFRP筋的主要尺寸及允许偏差和主要力学性能指标；
- 取消了HRBF335牌号钢筋；
- 调整了GFRP筋锚杆的应用技术规定；
- 调整了GFRP筋施工相关技术要求；
- 增加了GFRP筋接头性能检测要求。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省住房和城乡建设厅提出。

本文件由江苏省住房和城乡建设厅归口。

本文件起草单位：江苏华东工程设计有限公司、南京市测绘勘察研究院股份有限公司、东南大学、南京地铁建设有限责任公司、江苏绿材谷新材料科技发展有限公司。

本文件主要起草人：金雪莲 樊有维 吴智深 耿晔宽 周亚丽 杨寿松 付守印 高芬芬 周慧 旺 昕 顾兴宇 徐源 张书丰 魏星

本文件及其所替代文件的历次版本发布情况为：

- 2014年4月14日首次发布为DGJ32/TJ 162-2014；
- 本次为第一次修订。

玻璃纤维增强复合材料筋基坑工程应用技术规程

1 范围

本规程适用于基坑工程结构体系中的临时结构构件，主要包括基坑工程中排桩、地下连续墙、冠梁、腰梁、锚杆、土钉等。

玻璃纤维增强复合材料（GFRP）筋在基坑工程中的应用，除应符合本规程外，尚应符合国家及江苏省现行有关标准的规定

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB50007 建筑地基基础设计规范
- GB50009 建筑结构荷载规范
- GB50010 混凝土结构设计规范
- GB50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范
- GB50202 建筑地基基础工程质量验收规范
- GB50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB50497 建筑基坑工程监测技术标准
- GB50608 纤维增强复合材料建设工程应用技术规范
- GB55003 建筑与市政地基基础通用规范
- GB55008 混凝土结构通用规范
- GB/T5976 钢丝绳夹
- GB/T14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB/T1446 纤维增强塑料性能试验方法总则
- JGJ94 建筑桩基技术规范
- JGJ120 建筑基坑支护技术规程
- JGJ/T182 锚杆锚固质量无损检测技术规程
- JGJ/T401 锚杆检测与监测技术规程
- JG/T351 纤维增强复合材料筋
- JG/T406 土木工程用玻璃纤维增强筋
- CJJ/T192 盾构可切削混凝土配筋技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

玻璃纤维增强复合材料 glass fiber reinforced polymer

玻璃纤维增强复合材料由两相组成,其中玻璃纤维或玻璃纤维织物为增强相,聚合物树脂为基体相,通过机械强制复合工艺方法制备而成,简称GFRP。

3.2

GFRP 筋 GFRP bar

由单向连续纤维拉挤成型并经树脂浸渍固化的玻璃纤维增强复合材料棒状制品。

3.3

GFRP 筋混凝土结构构件 GFRP concrete structure member

配置受力GFRP筋的混凝土结构构件。

3.4

混合配筋 mixed reinforcement

同一横截面内钢筋与GFRP筋混合配置方式,GFRP筋与钢筋应均匀、间隔布置。

3.5

全 GFRP 筋 full GFRP bar

同一横截面内纵筋全部采用GFRP筋配置方式。

3.6

混凝土保护层混凝土保护层 concrete cover

结构构件中GFRP筋(或钢筋)外边缘至构件表面范围的混凝土,简称保护层。

3.7

锚固长度 anchorage length

受力GFRP筋(或钢筋)依靠其表面与混凝土的粘结作用或端部构造的挤压作用而达到设计承受应力所需的长度。

3.8

配筋率 ratio of reinforcement

混凝土构件中配置的筋材面积(或体积)与规定的混凝土截面面积(或体积)的比值。其中,当筋材采用GFRP筋时,称为GFRP筋配筋率;当筋材采用钢筋时,称为钢筋配筋率;当采用混合配筋时,称为总配筋率。

3.9

基坑工程 excavation engineering

采用支护、地下水控制及环境保护等措施,形成由地面向下开挖的地下空间,保证地下结构施工及其周边环境安全的工程。

3.10

排桩 soldier pile wall

沿基坑侧壁排列设置的支护桩及冠梁组成的支挡式结构部件或悬臂式支挡结构。

3.11

地下连续墙 diaphragm wall

分槽段用专用机械成槽、配置钢筋(GFRP筋)并浇筑混凝土所形成的连续地下墙体。亦可称为现浇地下连续墙。

3.12

冠梁 capping beam

设置在挡土构件顶部的将挡土构件连为整体的GFRP筋(或钢筋)混凝土梁。

3.13

腰梁 waling

设置在挡土构件侧面的传递锚杆或内支撑支点力的GFRP筋(或钢筋)混凝土梁或钢梁。

3.14

土钉 soil nail

植入土中并注浆形成的承受拉力与剪力的杆件。由GFRP筋用作土钉筋材时简称GFRP筋土钉。

3.15

锚杆 anchor

由杆体、注浆固结体、锚具、套管所组成的一端与支护结构构件连接，另一端锚固在稳定岩土体内的受拉杆件。由GFRP筋用作杆体时简称GFRP筋锚杆。

4 基本规定

4.0.1 基坑工程应保证支护结构、周边建（构）筑物、地下管线、道路、城市轨道交通等市政设施的安全和正常使用，并应保证主体地下结构的施工空间和安全。

4.0.2 基坑工程设计应规定工作年限，且设计工作年限不应小于一年。

4.0.3 基坑工程设计时，应当根据支护结构破坏可能产生后果（危及人的生命、造成经济损失、对社会或环境产生影响等）的严重性，采用不同的安全等级。支护结构安全等级的划分和结构重要性系数 γ_0 应符合表1的规定。对同一基坑的不同部位，可采用不同的安全等级。

表1 支护结构的安全等级及结构重要性系数

安全等级	破坏后果	重要性系数 γ_0
一级	很严重	≥ 1.10
二级	严重	≥ 1.00
三级	不严重	≥ 0.90

4.0.4 基坑工程设计时应按下列极限状态分析计算：

a) 承载能力极限状态

- 1) 支护结构构件或连接因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承受荷载，或出现压屈、局部失稳；
- 2) 支护结构及土体整体滑动；
- 3) 坑底土体隆起而丧失稳定；
- 4) 对挡土结构，坑底土体丧失嵌固能力而使支护结构推移或倾覆；
- 5) 对锚拉式挡土结构或土钉墙，土体丧失对锚杆或土钉的锚固能力；

b) 正常使用极限状态

- 1) 支护结构位移造成基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路等损坏或影响其正常使用；
- 2) 支护结构位移而影响主体地下结构正常施工。

4.0.5 基坑工程设计应包括下列内容：

- a) 支护结构体系上的作用和作用组合确定；
- b) 基坑支护体系的稳定性验算；
- c) 支护结构的承载力、稳定性和变形计算；
- d) 地下水控制设计；
- e) 对周边环境影响的控制要求；

- f) 基坑开挖与回填要求；
- g) 支护结构安全施工要求；
- h) 基坑工程施工验收检验要求；
- i) 基坑工程监测与维护要求。
- j) 涉及危大工程的重点部位和环节、保障周边环境和工程施工安全的技术要求。

4.0.6 GFRP 筋在基坑工程中的运用应按基坑规模、工程地质与水文地质条件、环境保护特征及后续工程建设需求等控制因素综合确定。不宜用于临近复杂环境的一级基坑工程。

4.0.7 GFRP 筋在基坑工程中的应用范围为排桩、地下连续墙、冠梁、腰梁、锚杆及土钉，不宜用于立柱桩和支撑梁构件，地下连续墙兼做为主体结构侧墙时不得使用。

4.0.8 玻璃纤维增强复合材料（GFRP）筋可完全或部分替代钢筋使用。

4.0.9 GFRP 筋混凝土结构构件按承载能力极限状态设计时，应符合下式规定：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$S_d = \gamma_F S_k \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

γ_0 ——支护结构重要性系数，应按本规程第4.0.3条的规定采用；

S_d ——作用基本组合的效应（轴力、弯矩、剪力等）设计值；

R_d ——支护结构构件的抗力设计值；

γ_F ——作用基本组合的综合分项系数，支护结构构件按承载能力极限状态设计时，对于GFRP筋混凝土构件， γ_F 不应小于1.25，对于GFRP筋锚杆及土钉， γ_F 不应小于1.35；

S_k ——作用标准组合的效应。

4.0.10 全 GFRP 筋混凝土支护结构的正截面受弯承载力简化计算时，应符合下列假定：

- a) 截面应变保持平面；
- b) 不考虑混凝土的抗拉作用；
- c) 受压混凝土的应力-应变关系曲线应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定取值；
- d) 纵向 GFRP 筋的拉应力应取 GFRP 筋的拉应变与其弹性模量的乘积，且不应超过 GFRP 筋抗拉强度设计值，同时其极限拉应变不应大于 0.01；
- e) 不应计入受压区 GFRP 筋的影响。

4.0.11 混合配筋混凝土支护结构的正截面受弯承载力简化计算时，应符合下列假定：

- a) 截面应变保持平面；
- b) 不考虑混凝土的抗拉作用；
- c) 受压混凝土的应力-应变关系曲线应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定取值；
- d) 纵向受拉钢筋的极限拉应变取为 0.01；
- e) 纵向钢筋的应力取钢筋应变与其弹性模量的乘积，且钢筋应力不应超过钢筋抗压、抗拉强度设计值；
- f) 纵向 GFRP 筋的拉应力应取 GFRP 筋的拉应变与其弹性模量的乘积，且不应超过 GFRP 筋抗拉强度设计值，同时其极限拉应变不应大于 0.01；
- g) 不应计入受压区 GFRP 筋的影响；
- h) 同一位置处的钢筋和 GFRP 筋应变相同。

4.0.12 GFRP 筋锚杆的应用应符合下列规定：

- a) 锚杆杆体宜采用玻璃纤维锚索；
- b) GFRP 筋锚杆宜在极限抗拔承载力较低时采用；

- c) 锚杆注浆宜采用二次压力注浆工艺；
- d) 锚杆锚固段不应设置在淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土及松散填土层内；
- e) 在复杂地质条件下，应通过现场试验确定锚杆的适用性。
- 4.0.13 GFRP 筋土钉宜应用于侧壁安全等级为二级、三级的基坑工程，且基坑深度不应大于 12m。
- 4.0.14 基坑工程中混凝土构件设计宜采取钢筋与 GFRP 筋混合配置方式。完成使用功能后需破除的结构或构件设计可采用全 GFRP 筋配置方式。

5 材料

5.1 混凝土

5.1.1 混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值系指按标准方法制作、养护的边长为 150mm 的立方体试件，在 28d 或设计规定龄期以标准试验方法测得的具有 95%保证率的抗压强度值。

5.1.2 用于排桩、地下连续墙、冠梁、腰梁等结构的混凝土强度等级不应低于 C25；用于土钉墙面层的混凝土强度等级不宜低于 C20。

5.1.3 混凝土轴心抗压强度的标准值 f_{ck} 应按表 2 采用；轴心抗拉强度的标准值 f_{tk} 应按表 3 采用。

表 2 混凝土轴心抗压强度标准值 (N/mm²)

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2

表 3 混凝土轴心抗拉强度标准值 (N/mm²)

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11

5.1.4 混凝土轴心抗压强度的设计值 f_c 应按表 4 采用；轴心抗拉强度的设计值 f_t 应按表 5 采用。

表 4 混凝土轴心抗压强度的设计值 (N/mm²)

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9

表 5 混凝土轴心抗拉强度的设计值 (N/mm²)

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

5.1.5 混凝土受压和受拉的弹性模量 E_c 应按表 6 采用。混凝土的剪切变形模量 G_c 可按相应弹性模量值的 40% 采用。混凝土泊松比 ν_c 可按 0.2 采用。

表 6 混凝土的弹性模量 ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)

混凝土 强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
E_c	2.20	2.55	2.80	3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80

5.2 GFRP 筋

5.2.1 GFRP 筋的树脂基体应使用乙烯基树脂和环氧树脂或乙烯基树脂和环氧树脂混合树脂。

5.2.2 GFRP 筋杆体表面一般为全螺纹式，杆体外观应质地均匀、无气泡、无裂纹及其他加工缺陷，其螺纹牙形、牙距应整齐无损伤。纤维体积含量在 60%~70%，密度为 $1.9\text{g/cm}^3 \sim 2.2\text{g/cm}^3$ 。

5.2.3 GFRP 筋有弯曲需求时，应按设计要求工厂化生产完成。

5.2.4 GFRP 筋杆体公称直径范围宜为 10mm~36mm，常用 GFRP 筋的公称直径规格宜为 20mm、22mm、25mm、28mm 和 32mm。GFRP 筋的外形尺寸、允许偏差和直线度应符合表 7 的要求。

表 7 GFRP 筋公称直径、允许偏差和直线度

公称直径 (mm)	允许偏差 (mm)	直线度 (mm/m)
10	± 0.2	≤ 3
12		
14		
16		
18		
20	± 0.3	≤ 4
22		
25		
28		
30	± 0.4	≤ 5
32		
34		
36		

注：本规程中未特别说明的 GFRP 筋均指实心筋材。

5.2.5 GFRP 筋的强度标准值应具有不小于 95%的保证率。GFRP 筋的主要力学性能指标应符合表 8 的要求。

表 8 GFRP 筋的主要力学性能指标

公称直径 d (mm)	抗拉强度标准值 f_{tk} (N/mm^2)	剪切强度 f_v (N/mm^2)	弹性模量 E_r ($\times 10^5 \text{N/mm}^2$)	极限拉应变 ε (%)
$d < 16$	≥ 600	≥ 110	≥ 0.4	≥ 1.2
$16 \leq d < 25$	≥ 550			
$25 \leq d < 34$	≥ 500			
$d \geq 34$	≥ 450			

5.2.6 GFRP 筋抗拉强度设计值按照抗拉强度标准值除以 1.4 予以折减。GFRP 筋土钉杆体配套托盘及螺母承载力标准值不小于配套同直径杆体抗拉承载力设计值。

5.3 钢筋

5.3.1 混凝土结构的钢筋应按下列规定选用：

- a) 纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500、HRB335、HPB300 钢筋；
- b) 箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HRB335、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋。

5.3.2 钢筋的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。普通钢筋的屈服强度标准值 f_{yk} 、极限强度标准值 f_{stk} 应按表 9 采用。

表 9 普通钢筋强度标准值

牌号	符号	公称直径 d (mm)	屈服强度标准值 f_{yk} (N/mm ²)	极限强度标准值 f_{stk} (N/mm ²)
HPB300		6~14	300	420
HRB335		6~14	335	455
HRB400 HRBF400	F	6~50	400	540
HRB500 HRBF500	F	6~50	500	630

5.3.3 普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y 、抗压强度设计值 f_y' 应按表 10 采用。

表 10 普通钢筋强度设计值

牌号	抗拉强度设计值 f_y (N/mm ²)	抗压强度设计值 f_y' (N/mm ²)
HPB300	270	270
HRB335	300	300
HRB400、HRBF400	360	360
HRB500、HRBF500	435	435

5.3.4 普通钢筋在最大力下的总伸长率 δ_{gt} 不应小于表 11 规定的数值。

表 11 普通钢筋在最大力下的总伸长率限值

钢筋牌号	HPB300	HRB335、HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500
δ_{gt} (%)	10.0	7.5

5.3.5 普通钢筋的弹性模量 E_s 可按表 12 采用。

表 12 钢筋的弹性模量

牌号或种类	弹性模量 E_s ($\times 10^5$ N/mm ²)
HPB300 钢筋	2.10

HRB335、HRB400、HRB500 钢筋 HRBF400、HRBF500 钢筋	2.00
---	------

6 设计与计算

6.1 结构计算

6.1.1 基坑支护结构体系上的作用和作用组合按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 中的有关规定确定。

6.1.2 地下连续墙、排桩的稳定性、结构内力与变形计算可按有关国家和地方标准进行。

6.1.3 地下连续墙、排桩可根据受力条件分段按平面问题计算，地下连续墙可取单位或单元宽度；排桩水平荷载计算宽度可取排桩的中心距。

6.1.4 结构内力的设计值应按下列规定计算：

a) 截面弯矩设计值 M

$$M = \gamma_0 \gamma_F M_k \dots\dots\dots (1)$$

b) 截面剪力设计值 V

$$V = \gamma_0 \gamma_F V_k \dots\dots\dots (2)$$

c) 轴向拉力设计值 N

$$N = \gamma_0 \gamma_F N_k \dots\dots\dots (3)$$

式中：

M_k ——作用标准组合的弯矩值 (kN·m)，可按有关国家和地方标准的规定计算；

V_k ——作用标准组合的剪力值 (kN)，可按有关国家和地方标准的规定计算；

N_k ——作用标准组合的土钉或锚杆轴向拉力值 (kN)；

γ_F ——作用基本组合的综合分项系数，应按本规程第4.0.9条的规定采用。

6.2 地下连续墙设计

6.2.1 地下连续墙正截面受弯承载力计算应符合本规程第4.0.10、4.0.11条的假定。

6.2.2 地下连续墙正截面受弯承载力计算时，受压区混凝土的应力图形可简化为等效矩形应力图。

6.2.3 地下连续墙纵向受力钢筋配置有两种形式：

a) 混合配筋即同一横截面内钢筋与 GFRP 筋混合配置方式，GFRP 筋与钢筋应均匀、间隔布置；

b) 全 GFRP 筋即同一横截面内纵筋全部采用 GFRP 筋配置方式。

6.2.4 混合配筋的截面，其配筋率应满足下列要求：

$$\rho_s + \frac{f_{fd}}{f_y} \rho_f \geq \frac{f_c}{f_y} \cdot \frac{3\varepsilon_{cu} - \varepsilon_0}{3(\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{fd})} \dots\dots\dots (1)$$

$$\rho_s + \frac{E_f}{E_s} \rho_f \leq \frac{f_c}{f_y} \cdot \frac{3\varepsilon_{cu} - \varepsilon_0}{3(\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm²)；

f_{fd} ——GFRP筋抗拉强度设计值 (N/mm²)；

f_y ——钢筋抗拉强度设计值 (N/mm²)；

E_f ——GFRP筋的弹性模量 (N/mm²)；

E_s ——钢筋的弹性模量 (N/mm²)；

ε_0 ——混凝土压应力达到 f_c 时的混凝土压应变；

ε_{cu} ——混凝土极限压应变；

ε_{fd} ——GFRP筋设计拉应变；

ε_y ——钢筋的屈服应变；

ρ_s ——纵向受力钢筋的配筋率，取 $\rho_s = \frac{A_s}{bh_0}$ ；

ρ_f ——纵向受力GFRP筋的配筋率，取 $\rho_f = \frac{A_f}{bh_0}$ ；

A_f ——纵向受力GFRP筋的面积 (mm²)；

A_s ——纵向受力钢筋的面积 (mm²)。

6.2.5 纵筋配置 GFRP 筋的地下连续墙，其正截面受弯承载力应按下列公式计算：

$$M = f_c b h_0^2 \xi (1 - \xi / 2) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\xi = \frac{A_0 - B_0 + \sqrt{(A_0 - B_0)^2 + 3.2 B_0}}{2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$A_0 = \frac{f_y \rho_s}{f_c} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$B_0 = \frac{0.0033 E_f \rho_f}{f_c} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

A_0 、 B_0 ——计算系数；

M ——弯矩设计值 (N·mm)；

b ——构件截面宽度 (mm)；

h_0 ——GFRP筋和钢筋合力点距构件顶面的距离 (mm)；

ξ ——混凝土的相对受压区高度。

6.2.6 地下连续墙的受剪截面应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 中的相关要求，其斜截面受剪承载力可按本规程 6.4.2 条和 6.4.3 条计算。

6.2.7 地下连续墙的箍筋可采用 GFRP 筋或钢筋，在支点和基坑开挖面等剪力较大的部位，宜采用钢筋作为箍筋。

6.3 排桩设计

6.3.1 圆形截面混凝土支护桩可采用完全 GFRP 筋或混合配筋方式，当纵向受力筋沿周边均匀配置时，其正截面承载力计算表达式为：

$$A_1 r^2 f_c + C_1 \varepsilon_{cu} E_f \rho_f r^2 + R_1 \rho_s r^2 f_y = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$M_u \leq B_1 r^3 f_c + D_1 \varepsilon_{cu} E_f \rho_f r^3 + S_1 \rho_s g r^3 f_y \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$A_1 = \alpha - \sin \alpha \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$B_1 = \frac{2}{3} \sin^3 \alpha \dots\dots\dots (4)$$

$$C_1 = \frac{-(\pi - \theta_0)(1 - 2\xi) - g \sin \theta_0}{2\xi} \dots\dots\dots (5)$$

$$D_1 = \frac{g^2 \left[\frac{1}{2} (\pi - \theta_0) - \frac{1}{4} \sin 2\theta_0 \right] + g(1 - 2\xi) \sin \theta_0}{2\xi} \dots\dots\dots (6)$$

$$R_1 = \theta_{sc} - \pi + \theta_{st} - \frac{g(\sin \theta_{st} - \sin \theta_{sc}) - (1 - 2\xi) \cdot (\theta_{st} - \theta_{sc})}{g \cos \theta_{st} - (1 - 2\xi)} \dots\dots\dots (7)$$

$$S_1 = \sin \theta_{sc} + \sin \theta_{st} - \frac{1}{g \cos \theta_{st} - (1 - 2\xi)} \left[g \left(\frac{\theta_{st} - \theta_{sc}}{2} + \frac{\sin 2\theta_{st} - \sin 2\theta_{sc}}{4} \right) - (1 - 2\xi) \cdot (\sin \theta_{st} - \sin \theta_{sc}) \right] \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{g + 1 - 2\xi}{2\xi} \varepsilon_{cu} E_f \leq f_{fd} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 、 R_1 、 S_1 ——计算系数；

α ——对应于受压区混凝土截面面积的圆心角的一半（rad）， $\alpha = \arccos(1 - 2\beta_1 \xi)$ ；

β_1 ——矩形应力图的受压区高度与截面应保持平截面假定所确定的中和轴高度的比值，当混凝土强度等级不超过C50时， β_1 取为0.80；

θ_0 ——实际受压区对应的圆心角的一半， $\theta_0 = \arccos\left(\frac{r - x_0}{r}\right) = \arccos(1 - 2\xi)$ ；

ε_{cu} ——混凝土极限压应变；

E_f ——GFRP筋的弹性模量（N/mm²）；

r ——圆形截面的半径（mm）；

r_f ——纵向GFRP筋重心所在圆周的半径（mm）；

g ——纵向GFRP筋重心所在圆周的半径与圆形截面半径的比值， $g = \frac{r_f}{r}$ ；

x_0 ——混凝土实际受压区高度（mm）；

ξ ——混凝土的相对受压区高度， $\xi = x_0 / 2r$ ；

ρ_f ——纵向GFRP筋的配筋率；

ρ_s ——纵向钢筋的配筋率；

θ_{sc} ——纵向钢筋受压进入屈服强度对应的圆心角之半， $\theta_{sc} = \arccos \left[\frac{f'_y}{E_s} \cdot \frac{2\xi}{g \varepsilon_{cu}} + \frac{1 - 2\xi}{g} \right] \leq \pi$ ；

θ_{st} ——纵向钢筋受拉进入屈服强度对应的圆心角之半， $\theta_{st} = \arccos \left[-\frac{f_y}{E_s} \cdot \frac{2\xi}{g \varepsilon_{cu}} + \frac{1 - 2\xi}{g} \right] \leq \pi$ 。

6.3.2 排桩的受剪截面应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010中6.3.1条的要求，其斜截面受剪承载力可按本规程第6.4.2条计算，但上述条文公式中的截面宽度 b 和截面有效高度 h_0 应分别以 $1.76r$ 和 $1.6r$ 代替，此处， r 为圆形截面的半径。

6.3.3 排桩的箍筋可采用GFRP筋或钢筋，在支点和基坑开挖面等剪力较大的部位，宜采用钢筋作为箍筋。

6.4 冠梁、腰梁设计

6.4.1 冠梁、腰梁正截面受弯承载力可按本规程6.2.5条计算。

6.4.2 采用 GFRP 筋作为箍筋的冠梁和腰梁斜截面受剪承载力，应按下列公式计算：

$$V \leq V_c + V_f \dots\dots\dots (1)$$

$$V_c = 0.86f_tbc \dots\dots\dots (2)$$

$$c = kh_0 \dots\dots\dots (3)$$

$$k = \sqrt{2\rho_f\alpha_f + (\rho_f\alpha_f)^2} - \rho_f\alpha_f \dots\dots\dots (4)$$

$$\rho_f = A_f / bh_0 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

V ——构件斜截面上的最大剪力设计值 (N)；

V_c ——构件斜截面上混凝土受剪承载力设计值 (N)；

V_f ——构件斜截面上箍筋受剪承载力设计值 (N)；

b ——构件的截面宽度 (mm)；

c ——截面中和轴到受压区边缘的距离 (mm)；

A_f ——纵向受拉 GFRP 筋截面面积 (mm²)；

ρ_f ——纵向受拉 GFRP 筋配筋率；

α_f ——GFRP 筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；

h_0 ——纵向受拉 GFRP 筋合力点至截面受压区边缘的距离 (mm)。

6.4.3 受弯构件斜截面上箍筋受剪承载力设计值 V_f ，应按下列公式计算：

$$V_f = \frac{A_{fv}f_{fv}h_0}{s} \dots\dots\dots (1)$$

$$A_{fv} = nA_{fv1} \dots\dots\dots (2)$$

6.4.4 箍筋的抗拉强度设计值应按下列公式确定：

$$f_{fv} = \min\{0.004E_f, \Phi_{\text{bend}}f_{fd}\} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Phi_{\text{bend}} = \left(0.3 + 0.05\frac{r_v}{d_v}\right) \dots\dots\dots (2)$$

6.4.5 当 $V > 0.375V_c$ 时，箍筋的配筋率不应小于最小配筋率 $\rho_{fv,\min}$ ，最小配筋率应按下式计算：

$$\rho_{fv,\min} = \frac{A_{fv,\min}}{bs} = 0.35f_t / f_{fv} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

f_{fv} ——GFRP 箍筋的抗拉强度设计值 (N/mm²)；

Φ_{bend} ——GFRP 筋的弯拉强度与抗拉强度设计值的比值；

A_{fv} ——配置在同一截面内 GFRP 箍筋各肢的全部截面面积 (mm²)；

n ——同一截面内箍筋的肢数；

A_{fv1} ——单肢箍筋的截面面积 (mm²)；

s ——沿构件长度方向的箍筋间距 (mm)；

E_f ——箍筋的弹性模量 (N/mm²)；

r_v ——GFRP 箍筋的弯折半径 (mm)；

d_v ——GFRP 箍筋的直径 (mm)。

6.4.6 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》

GB50010 的有关规定计算。

6.4.7 冠梁、腰梁与支撑连接节点范围不少于 3 倍支撑梁宽范围内箍筋应采用钢筋作为箍筋，其余区域可采用钢筋与 GFRP 筋间隔混合配置方式。

6.5 锚杆设计

6.5.1 锚杆的极限抗拔承载力应符合下式规定：

$$\frac{R_k}{N_k} \geq K_t \dots\dots\dots (1)$$

式中：

K_t ——锚杆抗拔安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支护结构， K_t 分别不应小于 1.8、1.6、1.4；

N_k ——锚杆轴向拉力标准值（kN），按本规程第 6.5.2 条的规定计算；

R_k ——锚杆极限抗拔承载力标准值（kN），按本规程第 6.5.3 条的规定确定。

6.5.2 锚杆的轴向拉力标准值应按下式计算：

$$N_k = \frac{F_h s}{b_a \cos \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

N_k ——锚杆的轴向拉力标准值（kN）；

F_h ——挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力（kN），按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的规定确定；

s ——锚杆水平间距（m）；

b_a ——挡土结构计算宽度（m）；

α ——锚杆倾角（°）。

6.5.3 锚杆结构的设计计算，应包括下列内容：

- a) 锚杆杆体的受拉承载力计算；
- b) 锚杆锚固段注浆体与筋体、注浆体与地层间的抗拔承载力计算；
- c) 压力型或压力分散型锚杆，尚应进行锚固注浆体横截面的受压承载力计算。

6.5.4 锚杆杆体的受拉承载力应符合下式规定：

$$N \leq f_{td} A_f \dots\dots\dots (1)$$

式中：

N ——锚杆轴向拉力设计值（kN），按本规程第 6.1.4 的规定计算；

f_{td} ——GFRP 筋抗拉强度设计值（kPa），按本规程 5.2.6 取用；

A_f ——GFRP 筋的截面面积（m²）。

6.5.5 锚杆极限抗拔承载力应按下列规定确定：

- a) 锚杆极限抗拔承载力应通过抗拔试验确定，试验方法应符合本规程附录 A 的规定。
- b) 锚杆锚固段的抗拔承载力标准值也可按相关标准的经验公式估算，但应通过本规程附录 A 规定的抗拔试验进行验证。
- c) 当锚杆锚固段主要位于黏土层、填土层时，应考虑土的蠕变对锚杆预应力损失的影响，并应根据蠕变试验确定锚杆的极限抗拔承载力。锚杆的蠕变试验应符合本规程附录 A 的规定。

6.5.6 锚杆的非锚固段长度应按下式确定，且不应小于 5.0m（图 1）：

$$l_f \geq \frac{(a_1 + a_2 - d \tan \alpha) \sin(45^\circ - \frac{\varphi_m}{2})}{\sin(45^\circ + \frac{\varphi_m}{2} + \alpha)} + \frac{d}{\cos \alpha} + 1.5 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

l_f ——锚杆非锚固段长度 (m)；

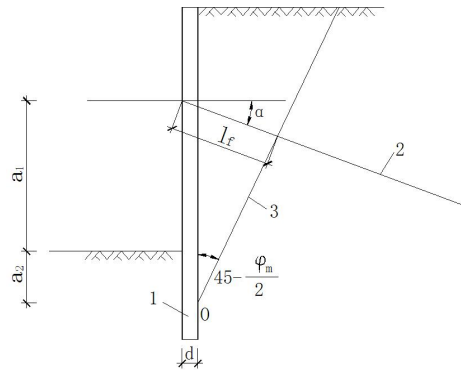
α ——锚杆倾角($^\circ$)；

a_1 ——锚杆的锚头中点至基坑底面的距离 (m)；

a_2 ——基坑底面至挡土基坑外侧主动土压力强度与基坑内侧被动土压力强度等值点 0 的距离 (m)；
对成层土，当存在多个等值点时应按其中最深的等值点计算；

d ——挡土构件的水平尺寸 (m)；

φ_m ——0 点以上各土层按厚度加权的等效内摩擦角($^\circ$)。



注：1—挡土构件；2—锚杆；3—理论直线滑动面

图 1 理论直线滑动面

6.5.7 锚杆锁定值宜取锚杆轴向拉力标准值的 (0.75~0.9) 倍，且应与锚杆的预加轴向拉力值一致，锚杆预加轴向拉力值应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定计算。

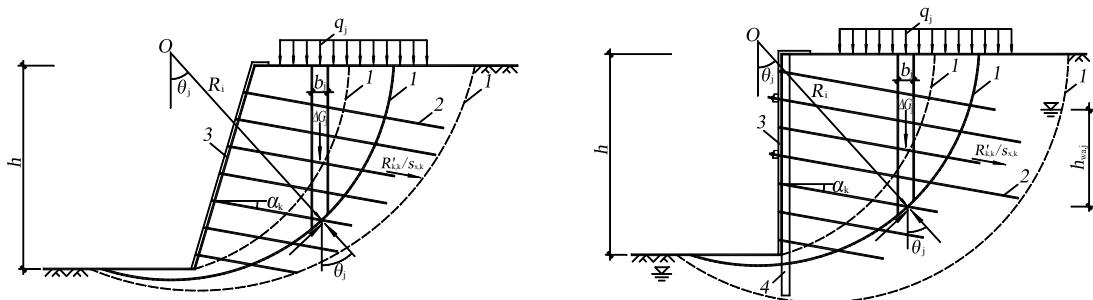
6.5.8 锚杆的布置应符合下列规定：

- 锚杆的水平间距不宜小于 1.5m；对多层锚杆，其竖向间距不宜小于 2.0m；当锚杆的间距小于 1.5m 时，应根据群锚效应对锚杆抗拔承载力进行折减或改变相邻锚杆的倾角；
- 锚杆锚固段的上覆土层厚度不宜小于 4.0m；
- 锚杆倾角宜取 $15^\circ \sim 25^\circ$ ，不应大于 45° ，不应小于 10° ；锚杆的锚固段宜设置在强度较高的土层内；
- 当锚杆上方存在天然地基的建筑物或地下构筑物时，宜避开易塌孔、变形的地层。

6.6 土钉设计

6.6.1 对基坑开挖的各工况进行土钉墙整体滑动稳定性验算时，应符合下列规定：

- 整体滑动稳定性可采用圆弧滑动条分法进行验算；
- 采用圆弧滑动条分法时(图 2)，其整体稳定性应符合下式规定：



(a) 土钉墙在地下水位以上；

(b) 水泥土桩或微型桩复合土钉墙

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/748072005010006065>