

广东省标准

DBJ/T 15—xx—2025

备案号 J XXXXX-2025

**玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆**

**技术标准**

**Technical Standard of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)**

**Composite Anchor**

**（送审稿）**

2025-XX-XX 发布 2025-XX-XX 实施

广东省住房和城乡建设厅 发布

**本标准不涉及专利**

广东省标准

玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆技术标准

Technical Standard of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Composite Anchor

**DBJ/T 15—××—2025**

住房和城乡建设部备案号：J×××××—2025

批准部门：广东省住房和城乡建设厅

施行日期：2025年××月××日

**××××**出版社

2025

广东省住房和城乡建设厅关于发布广东省标准

《玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆技术标准》的公告

粤建公告〔2025〕××号

经组织专家委员会审查，现批准《玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆技术标准》为广东省工程建设地方标准，编号为DBJ/T 15—xx—2025。本标准自2025年××月××日起实施。

本标准由广东省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释，并于出版后在广东省住房和城乡建设厅门户网站（http://zfcxjst.gd.gov.cn）公开标准全文。

广东省住房和城乡建设厅

2025年××月××日

**前 言**

根据广东省市场监督管理局《关于批准下达2023年第二批广东省地方标准制修订计划的通知》（粤市监标准〔2023〕591号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，与国内相关标准协调，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿，形成本标准。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 材料；5 设计；6 施工；7 试验与验收。

本标准不涉及专利。

本标准由广东省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送广州市建筑科学研究院集团有限公司（地址：广州市白云区白云大道北833号建研大厦，邮编：510440）。

本标准主编单位：广州市建筑科学研究院集团有限公司

广州市轨道交通产业联盟

广州市市政工程试验检测有限公司

本标准参编单位：广州建筑股份有限公司

广州市第一市政工程有限公司

广州南沙交通投资集团有限公司

广州机场建设投资集团有限公司

广州市市政工程机械施工有限公司

广州地铁设计研究院股份有限公司

广州市设计院集团有限公司

广东省建筑设计研究院集团股份有限公司

德士达建材（广东）有限公司

广东华固工程有限公司

广州市盛通建设工程质量检测有限公司

广州市城建规划设计院有限公司

本标准主要起草人员：周治国 刘忠诚 孙晓立 杨 军

严俊刚 孙 林 李燕玲 陈海英

李柯柯 桂建文 周阳军 吴广宇

卞德存 吴郁华 朱 敏 陈晓丹

伍永胜 黄俊光 秦泳生 郭典塔

钟庆明 董晓斌 苏定立 叶东昌

李志利 熊 勃 曹绍林

本标准主要审查人员：……

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc4369)

[2 术语和符号 2](#_Toc10633)

[2.1 术 语 2](#_Toc28374)

[2.2 符 号 2](#_Toc21124)

[3 基 本 规 定 4](#_Toc11695)

[4 材 料 5](#_Toc26301)

[4.1 一 般 规 定 5](#_Toc1110)

[4.2 玻璃纤维增强筋 5](#_Toc6132)

[4.3 金 属 杆 体 6](#_Toc970)

[4.4 注 浆 材 料 7](#_Toc18533)

[4.5 机械连接系统 7](#_Toc11696)

[5 设 计 8](#_Toc16940)

[5.1 一 般 规 定 8](#_Toc24210)

[5.2 承载力计算 8](#_Toc18180)

[5.3 锚杆结构设计 10](#_Toc13102)

[5.4 稳定性验算 12](#_Toc8926)

[5.5 锚杆连接设计 12](#_Toc2362)

[5.6 构 造 设 计 13](#_Toc14)

[6 施 工 14](#_Toc32583)

[6.1 一 般 规 定 14](#_Toc29232)

[6.2 杆体制作、存储和安放 14](#_Toc13474)

[6.3 钻 孔 14](#_Toc5367)

[6.4 杆 体 下 放 14](#_Toc20841)

[6.5 注 浆 14](#_Toc18032)

[6.6 张拉与锁定 15](#_Toc24628)

[6.7 拔 除 15](#_Toc144)

[7 试验与验收 17](#_Toc3574)

[7.1 一 般 规 定 17](#_Toc13315)

[7.2 材 料 基 本 试 验 17](#_Toc18956)

[7.3 现 场 试 验 17](#_Toc22163)

[7.4 质 量 检 验 17](#_Toc20365)

[7.5 不合格锚杆处理 18](#_Toc10655)

[7.6 验 收 18](#_Toc10843)

[附录A GFRP组合锚杆施工记录 19](#_Toc8572)

[附录B GFRP筋主要技术参数性能试验 22](#_Toc7562)

[B.1 外观检测和尺寸测量 22](#_Toc23739)

[B.2 拉伸性能试验 22](#_Toc15885)

[B.3 剪切强度试验 23](#_Toc21147)

[B.4 粘结强度试验（拉拔试验） 23](#_Toc27600)

[附录C GFRP组合锚杆抗拔试验 25](#_Toc23107)

[C.1 一 般 规 定 25](#_Toc25769)

[C.2 基 本 试 验 25](#_Toc30824)

[C.3 蠕 变 试 验 26](#_Toc18374)

[C.4 验 收 试 验 27](#_Toc3983)

[本标准用词说明 28](#_Toc21881)

[引用标准名录 29](#_Toc12054)

附：[条文说明 30](#_Toc22175)

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc4369)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc10633)

[2.1 Terms 2](#_Toc28374)

[2.2 Symbols 2](#_Toc21124)

[3 Basic Requirements 4](#_Toc11695)

[4 Materials 5](#_Toc26301)

[4.1 General Requirements 5](#_Toc1110)

[4.2 Glass Fiber Reinforced Polymer Bar 5](#_Toc6132)

[4.3 Metal Rod Body 6](#_Toc970)

[4.4 Grouting Material 7](#_Toc18533)

[4.5 Mechanical Connection System 7](#_Toc11696)

[5 Design 8](#_Toc16940)

[5.1 General Requirements 8](#_Toc24210)

[5.2 Calculation of Bearing Capacity 8](#_Toc18180)

[5.3 Anchor Rod Structure Design 10](#_Toc13102)

[5.4 Stability Check Calculation 12](#_Toc8926)

[5.5 Anchor Rod Connection Design 12](#_Toc2362)

[5.6 Structural Design 13](#_Toc14)

[6 Construction 14](#_Toc32583)

[6.1 General Requirements 14](#_Toc29232)

[6.2 Rod Bodies Construction, Storage and Installation 14](#_Toc13474)

[6.3 Drill Hole 14](#_Toc5367)

[6.4 Rod Bodies Lowering 14](#_Toc20841)

[6.5 Grouting 14](#_Toc18032)

[6.6 Tensioning and Locking 15](#_Toc24628)

[6.7 Pulling Out 15](#_Toc144)

[7 Testing and Acceptance 17](#_Toc3574)

[7.1 General Requirements 17](#_Toc13315)

[7.2 Basic Material Testing 17](#_Toc18956)

[7.3 Field Test 17](#_Toc22163)

[7.4 Quality Inspection 17](#_Toc20365)

[7.5 Unqualified Anchor Rod Treatment 18](#_Toc10655)

[7.6 Acceptance 18](#_Toc10843)

[Appendix A Construction Record of GFRP Composite Anchor Rod 19](#_Toc8572)

[Appendix B GFRP Bar Main Technical Parameters Performance Tests 22](#_Toc7562)

[B.1 Appearance Inspection and Dimensional Measurement 22](#_Toc23739)

[B.2 Tensile Property Test 22](#_Toc15885)

[B.3 Shear Strength Test 23](#_Toc21147)

[B.4 Adhesive Strength Test (Pull-out Test) 23](#_Toc27600)

[Appendix C GFRP Composite Anchor Rod Pull-out Test 25](#_Toc23107)

[C.1 General Requirements 25](#_Toc25769)

[C.2 Basic Test 25](#_Toc30824)

[C.3 Creep Test 26](#_Toc18374)

[C.4 Acceptable Test 27](#_Toc3983)

[Explanation of Wording in This Standard 28](#_Toc21881)

[List of Quoted Standards 29](#_Toc12054)

[Addition：Explanation of Provisions 30](#_Toc22175)

# **1 总 则**

**1.0.1** 为指导和规范玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆技术的应用，保证其安全适用、技术先进、经济合理、保护环境，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于广东省土木工程领域玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆的设计、施工、检测与验收工作。

**1.0.3** 玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆技术的应用，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

# 

# 2 术语和符号

## 2.1 术 语

**2.1.1** 玻璃纤维 glass fiber

硅酸盐熔体制成的玻璃态纤维或丝状物。

**2.1.2** 无碱玻璃纤维 E-glass fiber

不含碱金属氧化物（如Na₂O和K₂O）或含量极低（一般小于1%）的玻璃纤维，具有良好的、电绝缘性、耐腐蚀性和热稳定性。

**2.1.3** 耐碱玻璃纤维 AR-glass fiber

一般是指添加了氧化锆的玻璃纤维，具有良好的耐碱腐蚀性。

**2.1.4** 玻璃纤维增强筋（GFRP） glass fiber reinforced polymer

由单向玻璃纤维拉挤成型并经树脂浸渍固化的复合筋材，本标准中简称GFRP筋。

**2.1.5** 玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆 glass fiber reinforced polymer（GFRP）composite anchor

玻璃纤维增强筋（GFRP）与钢绞线、钢筋等传统材料通过连接器相连形成受力主筋的锚杆，本标准中简称GFRP组合锚杆。

**2.1.6** 直线度 straightness

单位长度内筋材与理想直线的偏离程度。

**2.1.7** 锚孔偏斜度 anchor hole inclination

指锚孔的实际轴线与设计轴线之间的偏差程度，一般用斜率表示。

## **2.2 符 号**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *α* | —— | | GFRP组合锚杆的倾角； |
| *b*a | —— | | 挡土构件的计算宽度； |
| *A*0 | —— | 地下结构计算单元的抗浮面积； | |
| *A*f | —— | GFRP筋的截面面积； | |
| *c* | —— | GFRP组合抗浮锚杆锥尖范围岩土体结构面的平均粘聚力； | |
| *d* | —— | GFRP筋公称直径； | |
| *D* | —— | GFRP组合锚杆的锚固体直径； | |
| *ε*gu | —— | GFRP的极限拉应变； | |
| *E*f | —— | GFRP筋的弹性模量； | |
| *f*d | —— | GFRP筋的抗拉强度设计值； | |
| *f*mk | —— | GFRP组合锚杆的锚固体与岩土体之间的极限粘结强度标准值； | |
| *f*ms | —— | GFRP筋与锚固体之间的粘结强度标准值； | |
| *f*ptk | —— | GFRP筋的抗拉强度标准值； | |
| *f*t | —— | GFRP组合锚杆锚固体的抗拉强度设计值； | |
| *f*u | —— | GFRP筋的抗拉强度； | |
| *f*v | —— | GFRP筋的剪切强度； | |
| *F*hk | —— | 挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力标准值； | |
| *F*wk | —— | 地下水的浮力标准值； | |
| *G*k | —— | 结构自重及其上作用的有利永久荷载的标准值； | |
| Δ*h* | —— | | 地下结构底板底标高与抗浮设计水位的标高差； |
| *k*c | —— | 锚杆蠕变率； | |
| *K* | —— | | GFRP组合锚杆抗拔安全系数； |
| *K*b1 | —— | | 岩土体的重量安全系数； |
| *K*b2 | —— | | 岩土体的抗拉承载力安全系数； |
| *l*a | —— | GFRP组合锚杆锚固体与岩土体之间的锚固段长度； | |
| *l*ab | —— | GFRP组合锚杆杆体与锚固体之间的锚固段长度； | |
| *l*w | —— | GFRP组合锚杆的计算长度； | |
| *m* | —— | GFRP组合抗浮锚杆的设计根数； | |
| *n* | —— | GFRP筋的数量； | |
| *N*k | —— | | GFRP组合锚杆轴向拉力标准值； |
| *W* | —— | GFRP组合锚杆作用范围内岩土体的重量标准值； | |
| *γ*e | —— | GFRP筋材料的环境影响系数； | |
| *γ*f | —— | GFRP筋材料的分项系数； | |
| *γ*s | —— | 岩土体的天然重度； | |
| *γ*w | —— | 水的重度； | |
| *r* | —— | GFRP组合抗浮锚杆的布置间距； | |
| *R*lk | —— | GFRP组合锚杆作用范围内岩土体下部破裂面上的岩体竖向抗拉承载力标准值； | |
| *R*k | —— | GFRP组合锚杆极限抗拔承载力标准值； | |
| *s* | —— | 边坡支护和基坑支护GFRP组合锚杆的水平间距； | |
| *τ*u | —— | GFRP筋的粘结强度。 | |

# 3 基 本 规 定

**3.0.1** GFRP组合锚杆适用于基坑支护工程、边坡支护工程和地下结构抗浮工程。

**3.0.2** GFRP组合锚杆锚固段应全部使用GFRP筋，自由段应根据设计要求和土层情况选择合适的筋材。

**3.0.3** GFRP组合锚杆应包括GFRP筋、金属杆体、机械连接系统和锚具。

**3.0.4** GFRP组合锚杆施工前，应通过现场试验验证其设计参数是否合理。

**3.0.5** 进行GFRP组合锚杆设计时，宜首先进行总体设计，然后进行结构设计和连接设计。

**3.0.6** GFRP筋制作完成后应及时使用，贮存期超过一年的GFRP筋使用前应重新评价其性能。

**3.0.7** GFRP筋应按照设计要求一次制作成型，不应在施工现场进行切削、弯折等二次加工。

# 4 材 料

## 4.1 一 般 规 定

**4.1.1** GFRP组合锚杆的配件材料本身或经防腐处理后应具备与GFRP筋相匹配的耐久性。

**4.1.2** GFRP筋的极限拉力值不应低于金属杆体屈服荷载且不宜高于金属杆体极限荷载的1.2倍。

## 4.2 玻璃纤维增强筋

**4.2.1** GFRP筋形状宜为螺纹形式，筋体材质应均匀，无气泡、无裂纹及其他影响强度的缺陷，螺纹的牙型、牙距应整齐、无损伤。

**4.2.2** GFRP筋的纤维含量（按质量计）应为70% ~ 80%，密度为1.9 g/cm3 ~ 2.2 g/cm3。

**4.2.3** GFRP筋的树脂基体宜使用乙烯基树脂或环氧树脂，不宜使用不饱和树脂。

**4.2.4** GFRP筋中所用的玻璃纤维应采用碱金属含量不大于1%的无碱玻璃纤维或耐碱玻璃纤维，不得采用中碱玻璃纤维及高碱玻璃纤维。

**4.2.5** GFRP筋的公称直径范围宜为10 mm ~ 36 mm，常用GFRP筋的公称直径规格宜为20 mm、22 mm、25 mm、28 mm和32 mm。GFRP筋的公称直径、允许偏差和直线度应符合表4.2.5的要求。

**表4.2.5 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 |

**4.2.6** GFRP筋的力学性能应符合表4.2.6的要求。

**表4.2.6 GFRP筋力学性能**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **公称直径**  ***d*（mm）** | **抗拉强度标准值**  ***f*ptk（MPa）** | **剪切强度**  ***f*v（MPa）** | **极限拉应变**  ***ε*gu（%）** | **弹性模量**  ***E*f（GPa）** |
| *d* <16 | 600 | ≥ 110 | ≥ 1.2 | ≥ 40 |
| 16 ≤ *d* <25 | 550 |
| 25 ≤ *d* <34 | 500 |
| *d* ≥34 | 450 |

注：GFRP筋抗拉强度标准值保证率为95%，极限拉应变*ε*gu是GFRP筋在拉伸试验中达到极限抗拉强度时的应变值。

## 4.3 金 属 杆 体

**4.3.1** GFRP组合锚杆中的金属杆体可使用精轧螺纹钢、无粘结钢绞线或高强钢丝，不宜采用镀锌钢材。

**4.3.2** 采用高强预应力钢丝时，其力学性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223的规定。

**4.3.3** 采用预应力钢绞线时，其力学性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224的规定，其抗拉强度应符合表4.3.3的规定。

**表4.3.3 钢绞线抗拉强度设计值、标准值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **种类** | **直径**  **（mm）** | **抗拉强度设计值**  ***f*py（MPa）** | **屈服强度标准值**  ***f*pyk（MPa）** | **极限强度标准值**  ***f*ptk（MPa）** |
| 1×3  三股 | 8.6，10.8，12.9 | 1220 | 1410 | 1720 |
| 1320 | 1670 | 1860 |
| 1390 | 1760 | 1960 |
| 1×7  七股 | 9.5，12.7，15.2，17.8 | 1220 | 1540 | 1720 |
| 1320 | 1670 | 1860 |
| 1390 | 1760 | 1960 |
| 21.6 | 1220 | 1590 | 1720 |
| 1320 | 1670 | 1860 |

**4.3.4** 采用预应力螺纹钢筋时，其抗拉强度应符合表4.3.4的规定。

**表4.3.4 预应力螺纹钢筋抗拉强度设计值、标准值**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **种类** | **直径**  **（mm）** | **型号** | **抗拉强度设计值**  ***f*y（MPa）** | **屈服强度标准值**  ***f*yk（MPa）** | **极限强度标准值**  ***f*stk（MPa）** |
| 预应力螺纹钢筋 | 18，25，32，40，50 | PSB785 | 650 | 785 | 980 |
| PSB930 | 770 | 930 | 1030 |
| PSB1080 | 900 | 1080 | 1230 |

**4.3.5** 采用无粘结钢绞线时，其主要技术参数应符合表4.3.5的规定。

**表4.3.5 无粘结钢绞线主要技术参数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **防腐油脂线重量（g/m）** | | | **> 32** | **钢材与PE层间摩擦系数** | | **0.04 ~ 0.10** | |
| PE层厚度  （mm） | 双层 | 外层 | 0.80 ~ 1.00 | 成品重量  （kg/m） | 直径（mm） | 单层 | 双层 |
| 内层 | 0.80 ~ 1.00 | 15.2 | 1.218 | 1.27 |
| 单层 | | 0.80 ~ 1.00 | 12.7 | 0.871 | 0.907 |

## **4.4 注 浆 材 料**

**4.4.1** 注浆用水泥宜采用普通硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，水泥应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175的有关规定。

**4.4.2** 注浆料拌和用水应符合现行行业标准《混凝土拌和用水标准》JGJ 63的有关规定。

**4.4.3** 注浆用砂的含泥量（按重量计）不应大于3%，云母、有机物、硫化物和硫酸盐等有害物质的含量（按重量计）不应大于1%。

**4.4.4** 注浆料外加剂的品种和掺量应由试验确定。

## **4.5 机械连接系统**

**4.5.1** 杆体连接器的力学性能应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107的相关规定。

**4.5.2**  GFRP筋和金属杆体的连接方式应根据GFRP筋类型进行选择。表面带螺牙的GFRP筋与钢绞线连接宜采用螺母连接器，光面GFRP筋与钢绞线连接宜采用套筒连接器（图4.5.2）。



（a）螺母连接器 （b）套筒连接器

**图4.5.2 GFRP组合锚杆连接器**

1. GFRP筋；2-夹片；3-螺母；4-钢绞线；5-螺杆；6-套筒；7-接头保护套

**4.5.3** 锚具的力学性能应满足现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370、现行行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85和现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92的相关规定。

**4.5.4** 当连接器、锚具用于地下永久抗浮结构时，其疲劳承载性能和周期承载性能应满足设计要求。

# 5 设 计

## 5.1 一 般 规 定

**5.1.1**  GFRP组合锚杆用作基坑支护的设计使用年限不应小于1年；用作临时边坡支护的设计使用年限不应小于2年；用作永久边坡支护和主体结构基础抗浮锚杆的设计使用年限应分别与边坡和主体结构相同。

**5.1.2** GFRP组合锚杆金属段杆体、连接器和锚具应根据锚杆使用年限和地层腐蚀性进行防腐设计且应符合现行行业标准《岩土锚杆（索）技术规程》CECS 22:2005相关规定。

**5.1.3** GFRP组合锚杆总体设计宜按下列程序进行：

**1** 调查和勘察锚杆施工影响范围内的工程条件和周边环境；

**2** 初步方案设计，明确锚杆结构形式与组合形式；

**3** 力学验算与稳定性验算；

**4** 确定实施方案，明确构造设计与连接设计。

**5.1.4** GFRP组合锚杆的结构形式和组合形式宜分别按表5.1.4-1和5.1.4-2选取。

**表5.1.4-1 GFRP组合锚杆的结构形式及适用条件**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **结构形式** | **特点** | **适用条件** |
| 主动型 | 有自由段，需施加预应力 | 深基坑工程、永久工程、复杂地层等 |
| 被动型 | 无自由段，不需施加预应力 | 临时支护、浅层加固等 |

**表5.1.4-2 GFRP组合锚杆的组合形式及特点**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **组合形式** | **杆体筋材** | | **是否存在连接器** | **特点** |
| 拔除型 | 拔除段 | 钢筋或钢绞线 | 是 | 锚头至连接器部分的杆体全部拔除，连接器后方的GFRP筋体留在岩土体内 |
| 切削段 | GFRP筋 |
| 切削型 | GFRP筋 | | 不宜设置 | 锚杆杆体全部留在岩土体内 |

**5.1.5** 预应力锚杆的锚固段和无预应力锚杆宜采用GFRP筋。

**5.1.6** 预应力锚杆的自由段类型应按下列规定选用：

**1** 用于基坑支护和地下结构抗浮的预应力锚杆自由段宜采用GFRP筋；

**2** 用于安全等级为三级的边坡支护的预应力锚杆自由段可采用GFRP筋或钢绞线；

**3** 用于安全等级为一级、二级的边坡支护的预应力锚杆自由段宜采用钢绞线，不宜采用GFRP筋。

**5.1.7** GFRP组合锚杆锚固段不宜设置在GFRP组合锚杆锚固段不宜设置在未经处理的松散砂层、有机质土、淤泥质土、液限*w*L≥50%的土层及相对密实度*D*r<0.3的砂土层中。

## 5.2 承载力计算

**5.2.1** 边坡支护和基坑支护GFRP组合锚杆的轴向拉力标准值应按式（5.2.1）计算：

 （5.2.1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *N*k | —— | GFRP组合锚杆轴向拉力标准值（kN）； |
|  | *F*hk | —— | 挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力标准值（kN），按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330和现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的有关规定确定； |
|  | *s* | —— | GFRP组合锚杆的水平间距（m）； |
|  | *b*a | —— | 挡土构件的计算宽度（m）； |
|  | *α* | —— | GFRP组合锚杆的倾角（°）。 |

**5.2.2** GFRP组合抗浮锚杆的轴向拉力标准值应按下列公式计算：

 （5.2.2-1）

 （5.2.2-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *m* | —— | GFRP组合抗浮锚杆的设计根数； |
|  | *F*wk | —— | 地下水的浮力标准值（kN）； |
|  | *G*k | —— | 结构自重及其上作用的有利永久荷载的标准值（kN），有抗浮桩、支护桩墙等抗浮构件时可考虑其有利影响； |
|  | *γ*w | —— | 水的重度（kN/m3）； |
|  | *A*0 | —— | 地下结构计算单元的抗浮面积（m2）； |
|  | Δ*h* | —— | 地下结构底板底标高与抗浮设计水位的标高差（m）。 |

**5.2.3** GFRP组合锚杆的极限抗拔承载力应符合式（5.2.3）的规定：

 （5.2.3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *K* | —— | GFRP组合锚杆抗拔安全系数，不应小于表5.2.3规定取值； |
|  | *N*k | —— | GFRP组合锚杆轴向拉力标准值（kN）； |
|  | *R*k | —— | GFRP组合锚杆极限抗拔承载力标准值（kN），采用拔除型组合锚杆时，为拔除段锚杆与切削段锚杆之间连接器的极限抗拉承载力特征值。 |

**表5.2.3 GFRP组合锚杆抗拔安全系数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **安全等级** | **锚杆损坏的危害程度** | **最小安全系数** | |
| **临时锚杆** | **永久锚杆** |
| Ⅰ | 危害大，会构成公共安全问题 | 1.8 | 2.4 |
| Ⅱ | 危害较大，但不致出现公共安全问题 | 1.6 | 2.2 |
| Ⅲ | 危害较轻，不构成公共安全问题 | 1.4 | 2.0 |

**5.2.4** 锚杆极限抗拔承载力应由基本试验确定，初步设计时可按式(5.2.4)估算:

 (5.2.4)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *D* | —— | 锚固体直径（m）； |
|  | *f*mk,i | —— | 锚固体与第i层地层间的界面黏结强度标准值（kPa）； |
|  | *L*ai | —— | 锚固体在第i层地层中的长度（m）； |
|  |  | —— | 锚固段长度对极限粘结强度的影响系数，应由现场试验确定。无试验资料时，可按表5.2.4取值。 |

**5.2.4 极限粘结强度的影响系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **地层** | **土层** | | | | | **岩层** | | | | |
| 锚固段长度（m） | 18~14 | 14~10 | 10 | 10~6 | 6~4 | 12~9 | 9~6 | 6 | 6~3 | 3~2 |
|  | 0.6~0.8 | 0.8~1.0 | 1.0 | 1.0~1.3 | 1.3~1.6 | 0.6~0.8 | 0.8~1.0 | 1.0 | 1.0~1.3 | 1.3~1.6 |

## 5.3 锚杆结构设计

**5.3.1** GFRP组合锚杆杆体的筋体截面面积应按式（5.3.1）确定：

 （5.3.1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *A*f | —— | GFRP筋的截面面积（mm2）； |
|  | *f*ptk | —— | GFRP筋的抗拉强度标准值（kPa）； |
|  | *γ*e | —— | GFRP筋材料的环境影响系数，对基坑支护锚杆和临时边坡支护锚杆，取1.0；对主体结构基础抗浮锚杆和永久边坡支护锚杆，可取1.2；对侵蚀性环境中主体结构基础的抗浮锚杆，可取1.6（强碱环境中取2.0）。 |

**5.3.2** GFRP组合锚杆的锚固体与岩土体之间的锚固段长度应通过试验确定。初步设计时，可按式（5.3.2）估算：

 （5.3.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *l*a | —— | GFRP组合锚杆锚固体与岩土体之间的锚固段长度（m）； |
|  | *D* | —— | GFRP组合锚杆的锚固体直径（m）； |
|  | *f*mk | —— | GFRP组合锚杆的锚固体与岩土体之间的极限粘结强度标准值（kPa），应通过试验确定；当无试验资料时可按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330或《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的相关规定确定。 |

**GFRP组合锚杆的锚固长度还应符合以下规定：**

**1** 对于边坡支护GFRP组合锚杆，锚杆锚固段有效长度在土层中不宜小于6 m；

**2** 对于基坑支护GFRP组合锚杆，锚杆锚固段有效长度在岩层中宜取3 m ~ 6.5 m，土层中宜取4 m ~ 10 m；

**3** 对于GFRP抗浮组合锚杆，锚杆锚固段有效长度在岩层中宜取3 m ~ 8 m，土层中宜取6 m ~ 12 m。

**5.3.3** GFRP组合锚杆的杆体与锚固体之间的锚固段长度应符合式（5.3.3）的规定：

 （5.3.3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *l*ab | —— | GFRP组合锚杆杆体与锚固体之间的锚固段长度（m）； |
|  | *n* | —— | GFRP筋的数量； |
|  | *d* | —— | GFRP筋公称直径（mm）； |
|  | *f*ms | —— | GFRP筋与锚固体之间的粘结强度标准值（MPa），应通过试验确定；当无试验资料时，可参考表5.3.3取值。 |

**表5.3.3 GFRP筋与锚固体之间的粘结强度标准值**

|  |  |
| --- | --- |
| **水泥浆或水泥砂浆强度等级** | **GFRP筋与锚固体之间的粘结强度标准值（MPa）** |
| M20 | 1.75 |
| M30 | 2.00 |
| M35 | 2.25 |

**5.3.4** 预应力GFRP组合锚杆的自由段应超过潜在滑裂面不小于1.5 m且自由段长度不宜小于5 m，滑裂面位置应根据整体稳定性计算确定。

**5.3.5** GFRP组合抗浮锚杆与底板之间的锚固长度应满足现行国家规范《混凝土结构设计规范》GB 50010的要求并符合下列规定：

**1** 采用直线锚固形式时，锚固长度*l*ad可按下列公式计算且不应小于20*d*，锚杆杆体伸过底板等厚中线的长度不应小于5*d*：

 （5.3.5-1）

 （5.3.5-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *f*d | —— | GFRP筋的抗拉强度设计值（MPa）； |
|  | *γ*f | —— | GFRP筋材料的分项系数，取1.4； |
|  | *f*t | —— | GFRP组合锚杆锚固体的抗拉强度设计值（MPa）； |
|  | *d* | —— | GFRP筋公称直径； |
|  | *f*ptk | —— | GFRP筋的抗拉强度标准值； |
|  | *γ*e | —— | GFRP筋材料的环境影响系数，按5.3.1条选取。 |

**2** 当板截面尺寸不满足直线锚固要求时，GFRP筋也可采用机械锚固方式，包括机械锚头在内的垂直投影锚固长度不应小于0.4*l*ad；

**3** GFRP筋也可采用90°弯折锚固的方式，此时GFRP筋应伸至板上部纵向钢筋内边进行90°弯折，其包含弯弧在内的垂直投影长度不应小于0.4*l*ad，包含弯弧在内的水平投影长度不应小于15*d*，弯折半径与GFRP筋直径的比值不应小于3。

**5.3.6** GFRP组合锚杆金属杆体的强度设计应该现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086的相关规定执行。

**5.4 稳定性验算**

**5.4.1** 边坡支护和基坑支护GFRP组合锚杆的整体稳定性可采用圆弧滑动条分法和折线裂面法验算，圆弧滑动条分法计算应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120相关规定执行，折线裂面法计算应按现行行业标准《岩土锚杆（索）技术规程》CECS 22相关规定执行且宜按下列要求选用：

**1** 土层性质较好时选用Kranz法，稳定安全系数*K*s应大于1.5；

**2** 锚固体下方存在明显软弱层时选用圆弧滑动简单条分法，稳定安全系数*K*s应大于1.8。

5.4.2 GFRP组合抗浮锚杆的群锚稳定性应按下列公式验算：

 （5.4.2-1）

 （5.4.2-2）

 （5.4.2-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *W* | —— | GFRP组合锚杆作用范围内岩土体的重量标准值（kN），计算时取天然重量； |
|  | *R*lk | —— | GFRP组合锚杆作用范围内岩土体下部破裂面上的岩体竖向抗拉承载力标准值（kN）； |
|  | *K*b1 | —— | 岩土体的重量安全系数，取1.5； |
|  | *K*b2 | —— | 岩土体的抗拉承载力安全系数，取3.0； |
|  | *l*w | —— | GFRP组合锚杆的计算长度（m），取锚固段长度和自由段长度之和且锚固段长度不应大于锚杆的有效锚固长度； |
|  | *r* | —— | GFRP组合锚杆的布置间距（m），横纵间距不一致时，可按作用面积等效计算：*r*2=横间距×纵间距； |
|  | *γ*s | —— | 岩土体的天然重度（kN/m3）； |
|  | *c* | —— | 锥尖范围岩土体结构面的平均粘聚力（kPa）。 |

**5.5 锚杆连接设计**

**5.5.1** GFRP组合锚杆的连接形式应符合下列规定：

**1** 拔除型GFRP组合锚杆的GFRP筋与钢绞线的连接宜采用螺母连接器；

**2** 切削型GFRP组合锚杆的GFRP筋与钢绞线的连接宜采用套筒连接器；

**3** GFRP筋连接不应采用绑扎搭接。

**5.5.2**  拔除段锚杆与切削段锚杆之间连接器的极限抗拉承载力特征值不应高于拔除段锚杆杆体和切削段锚杆杆体的极限抗拉承载力特征值且不宜低于75%；连接器与锚杆杆体极限抗拉承载力特征值之差不宜小于20 kN。

**5.5.3** 切削段锚杆杆体不宜设置连接器，如需设置，应满足下列要求：

**1** 连接器应避开锚固段端部及潜在滑裂面位置，宜设置在锚固段中部；

2 多根筋材之间连接器应错开位置，错开间距不应小于35倍杆体直径且不宜小于500 mm；

3 连接器的极限抗拉承载力不应低于切削段杆体的极限抗拉承载力。

## 5.6 构 造 设 计

**5.6.1** 边坡支护和基坑支护GFRP组合锚杆的成孔直径宜取150 mm ~ 200 mm；GFRP抗浮组合锚杆的成孔直径宜取100 mm ~ 200 mm。

**5.6.2** 锚杆孔径不大于150 mm时，GFRP组合锚杆的杆体数量不宜超过4个；锚杆孔径大于150 mm且不大于200 mm时，杆体数量不宜超过6个。

**5.6.3** 应沿GFRP组合锚杆杆体全长设置定位支架并符合下列规定：

**1** 定位支架的间距宜根据锚杆杆体的组装刚度确定；

**2** 边坡支护和基坑支护GFRP组合锚杆自由段的定位支架间距宜取1.5 m ~ 2.0 m，锚固段的间距宜取1.0 m ~ 1.5 m；

**3** GFRP抗浮组合锚杆的定位支架间距宜取1.0 m ~ 1.5 m；

**4** 定位支架应能使各GFRP筋相互分离。

**5.6.4** GFRP组合锚杆的杆体间距不应小于10 mm；对于临时锚杆，最小保护层厚度不应小于10 mm；对于永久锚杆，最小保护层厚度不应小于30 mm且不应小于筋材直径。

**5.6.5** 相邻GFRP组合锚杆的间距不宜小于1.5 m，当锚杆的间距小于1.5 m时，应将锚固段错开布置或改变相邻锚杆倾角。

**5.6.6** 边坡支护和基坑支护GFRP组合锚杆的注浆材料应采用水泥浆或水泥砂浆，GFRP段宜全长注浆，强度不宜低于20 MPa；GFRP抗浮组合锚杆应采用水泥砂浆或细石混凝土全长注浆，强度不宜低于30 MPa。

# 6 施 工

## 6.1 一 般 规 定

**6.1.1** GFRP组合锚杆施工前应编制施工方案并在施工中严格执行。

**6.1.2** 接触GFRP筋的作业人员应戴手套操作。

**6.1.3** 施工过程中，应避免重荷载直接作用在GFRP筋锚头上，防止发生剪切破坏。

**6.1.4** 施工过程中应填写GFRP组合锚杆施工记录表，施工记录表模板参见本标准附录A中表A.0.1。

## 6.2 杆体制作、存储和安放

**6.2.1** GFRP筋宜在工厂内制作并在施工现场的专门作业棚内组装和存储。

**6.2.2**  GFRP筋存储时应水平放置，避免长时间暴晒，防油污染，避免火种，隔离热源和化学腐蚀物。

**6.2.3** GFRP筋装卸、运输时应绑扎成捆，装卸时应在吊点采取加固措施，防止吊绳挤断、压碎筋体。

**6.2.4** GFRP组合锚杆组装时，GFRP筋、钢绞线或钢筋应平行、间距均匀；组装完成后，应检查GFRP筋间距、连接情况和隔离支架布置等，满足设计要求后方可起吊安装。

## 6.3 钻 孔

**6.3.1** GFRP组合锚杆应根据土层的性状和地下水条件选择合理的成孔方法，可采用套管护壁、干成孔或泥浆护壁成孔工艺，成孔工艺应满足孔壁稳定性要求。

**6.3.2** 锚孔定位偏差不应大于50 mm，偏斜度不应大于2%。

**6.3.3** 对于边坡支护和基坑支护GFRP组合锚杆，钻孔深度超过锚杆设计长度不应小于0.5 m；对于GFRP组合抗浮锚杆，岩层中钻孔长度宜超过锚杆设计长度0.1 m ~ 0.3 m，土层中宜超过0.3 m ~ 1.0 m。

**6.4 杆 体 下 放**

**6.4.1** GFRP组合锚杆起吊前应对起吊过程中杆体的受力进行分析并进行试吊，保证杆体下放过程中弯曲半径不小于其直径的20倍。

**6.4.2** 杆体下放时，应与钻孔角度保持一致，防止扭压和弯曲。

**6.4.3** 无预应力锚杆杆体插入孔内的深度不应小于锚杆长度的95%；预应力锚杆杆体插入孔内的深度不应小于锚杆长度的98%。

**6.4.4** 采用套管护壁工艺成孔时，应在拔出套管前将杆体插入孔内；采用非套管护壁成孔时，杆体应匀速推送至孔内。

**6.4.5** 杆体下放完成后，应采取措施防止GFRP组合锚杆在注浆时发生位移。

## 6.5 注 浆

**6.5.1** 注浆料应搅拌均匀，随搅随用并在初凝前用完。

**6.5.2** GFRP组合锚杆宜采用二次压力注浆工艺，二次压力注浆宜在初次浆体的水泥结石体强度达到5 MPa后进行，开环压力不宜低于2 MPa，需持续至注浆压力稳定且浆液从排气孔溢出为止。

**6.5.3** 地下水有流动性或同时进行降水作业时，应采取措施避免地下水的流动造成注浆料的稀释及流失。

**6.5.4** 注浆后不应随意敲击杆体，也不应在杆体上悬挂重物。

**6.5.5** 注浆过程中应填写GFRP组合锚杆注浆记录表，注浆记录表模板参见本标准附录A中表A.0.2。

## 6.6 张拉与锁定

**6.6.1** 应在注浆料初凝后安装锚杆配件（如垫板、螺母等）并进行初步紧固。最终张拉紧固应在注浆料强度达到80%设计强度后进行，确保锚杆的锚固力达到设计要求。

**6.6.2** GFRP组合预应力锚杆的初始预应力（锁定拉力）应符合下列规定：

**1** 永久锚杆锁定值宜为锚杆轴向拉力标准值的85%~95%，临时锚杆宜为70%~85%，拔除型锚杆不宜超过75%；

**2** 特殊地层或重要工程应进行蠕变试验，蠕变率超限时需重新评估锁定值。

**6.6.3** GFRP组合预应力锚杆的张拉和锁定应符合下列规定：

**1** 锚头台座的承压面应平整并与锚杆轴线方向垂直；

**2** 锚杆张拉前应对张拉设备进行标定；

**3** 锚杆张拉应有序进行，张拉顺序应遵循以下原则：

1）对称张拉：从中心向两侧或两侧向中心对称进行；

2）分层张拉：先下层后上层，逐步增加荷载；

3）间隔张拉：间隔、跳开张拉，防止邻近锚杆的相互影响。

**4**  锚杆正式张拉前，应取0.1倍 ~ 0.2倍轴向拉力标准值，对锚杆预张拉1次 ~ 2次，使杆体完全平直，各部位接触紧密；

**5** 张拉速度应均匀、缓慢，宜取2 kN/min ~ 5 kN/min，防止因张拉过快导致锚杆损坏或孔壁破裂；

**6** 锚杆张拉荷载宜超张拉至设计值（初始预应力）的1.1倍 ~ 1.3倍并持荷5 min~10 min，应满足下列要求：

**1**）自由段为钢绞线时，取1.1倍 ~ 1.2倍；

**2**）自由段为GFRP筋时，取1.15倍 ~ 1.3倍。

## 6.7 拔 除

**6.7.1**  GFRP组合锚杆自由段拔除施工前，锚杆应完成其使用功能。基坑工程围护结构应具备下列条件：

**1** 地下室外墙和围护桩之间的肥槽应回填或设置换撑板（梁）等措施，回填高度或换撑板（梁）的刚度、强度、稳定性应满足设计要求；

**2** 施工作业面应满足施工人员、机具设备的操作距离和安全要求；

**3** 主体地下结构宜采取适当的保护措施。

**6.7.2** GFRP组合锚杆杆体拔除前应卸压并拆除锚头锚具，拔除施工应从下至上逐层进行。

**6.7.3** GFRP组合锚杆杆体拔除施工宜采用逐级加载法，前三级荷载可按连接器极限抗拉承载力标准值的20%施加，四~六级荷载按10%施加，达到90%后每级按5%施加，直到连接器破坏、杆体脱离，然后人工拔出杆体。

**6.7.4** GFRP组合锚杆杆体卸载及锚具工作夹片拆除过程中，操作人员应在锚头侧方位施工。

**6.7.5** 连接器无法破坏或杆体被拔断时，应复核锚杆施工记录，记录杆体的位置、埋深和长度等。

# 7 试验与验收

## 7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 锚杆工程应进行质量检验和验收试验。

**7.1.2** 锚杆工程竣工后，应按设计要求和质量合格条件验收**。**

**7.1.3** 对检验不合格的锚杆应进行处理。

## 7.2 材 料 基 本 试 验

**7.2.1** GFRP筋的外观和尺寸检验应采用一次随机抽样方法，力学性能检验应采用二次随机抽样方法，每批次样本数量不宜少于5根。

**7.2.2** GFRP筋的外观、尺寸、拉伸性能、剪切强度和粘结强度试验应按本标准的附录B进行。

**7.2.3** 杆体连接器的拉伸性能试验应按照现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107的相关规定进行。

**7.2.4** 注浆料强度检验用的试块每30根锚杆不应少于一组，每组不应少于6个试块。

## 7.3 现 场 试 验

**7.3.1** GFRP组合锚杆的现场试验包括基本试验、蠕变试验和验收试验，应按本标准的附录C进行。

**7.3.2** 锚杆基本试验的地层条件、锚杆杆体和参数、施工工艺应与工程锚杆相同且试验数量不应少于3根。

**7.3.3** 对塑性指数大于17的土层锚杆、极度风化的泥质岩层中或节理裂隙发育张开且充填有粘性土的岩层中的锚杆，应进行蠕变试验。用作蠕变试验的锚杆不得少于3根。

**7.3.4** GFRP组合锚杆应进行验收试验。非预应力锚杆验收试验数量不应少于同类锚杆总数的5%且同一土层中的锚杆检测数量不应少于3根。预应力锚杆验收方法和检验数量应符合《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086的相关规定。

**7.3.5** 从锚杆注浆完成到试验开始的间歇时间，在确定锚杆锚固段注浆料强度达到设计要求的前提下，对于砂类土，不应少于10 d；对于粉土和黏性土，不应少于15 d；对于淤泥或淤泥质土，不应少于25 d。

**7.3.6** GFRP组合锚杆的基本试验、验收试验过程中应填写GFRP组合锚杆拉拔试验记录表，拉拔记录表模板参见本标准附录A中表A.0.3。

## 7.4 质 量 检 验

**7.4.1** GFRP组合锚杆质量检验分为原材料质量检验和施工质量检验。

**7.4.2** 锚杆原材料的质量检验资料包括：

1 材料出厂合格证；

2 材料现场抽检试验报告；

3 锚杆浆体强度等级检验报告。

**7.4.3** 锚杆的施工质量检验应按本标准第7.3节验收试验的规定进行。

**7.4.4** 锚杆的质量检验应符合表7.4.4规定。

**表7.4.4 锚杆工程质量检验标准**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目** | **序号** | **检查项目** | **允许偏差或允许值** | **检查方法** |
| 主控项目 | 1 | 锚杆杆体长度（mm） | +200  -50 | 尺量 |
| 2 | 锚杆抗拉拔力 | 设计要求 | 现场拉拔试验 |
| 一般项目 | 1 | GFRP筋长度（mm） | ±200 | 尺量 |
| 2 | 锚杆位置（mm） | ±50 | 尺量 |
| 3 | 钻孔倾斜度 | 2% | 测斜仪 |
| 4 | 注浆体强度 | 设计要求 | 试样送检 |
| 5 | 注浆量 | 大于理论计算浆量 | 检查注浆记录 |
| 6 | 连接器极限抗拉承载力 | ±5% | 室内拉拔试验 |

## 7.5 不合格锚杆处理

**7.5.1**  GFRP组合锚杆验收试验不合格时，应增加锚杆试件数量。增加的锚杆试件应为不合格锚杆的3倍。

**7.5.2** 对于不合格的锚杆，如果具备进行二次高压注浆的条件，应进行二次注浆处理并重新进行验收试验。否则永久性锚杆的抗力锁定为实际试验荷载最大值的50%，临时性锚杆为70%。

**7.5.3** 按不合格锚杆所在位置或区段，核定实际达到的抗力与设计抗力的差值，应采用增补锚杆的方法予以补足至该区段原设计要求的锚杆抗力值。

## 7.6 验 收

**7.6.1** GFRP组合锚杆工程验收应按《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300及《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202执行。

**7.6.2** GFRP组合锚杆工程验收应提交下列文件：

1 原材料出厂合格证，材料现场抽检试验报告，水泥浆（砂浆）试块抗压强度等级试验报告；

2 按本标准附录A的内容和格式提供的锚杆工程施工记录；

3 锚杆验收试验报告；

4 隐蔽工程检查验收记录；

5 设计变更报告；

6 工程重大问题处理文件；

7 竣工图。

# 附录A GFRP组合锚杆施工记录

**A.0.1** GFRP组合锚杆施工记录表模板见表A.0.1。

**表A.0.1 GFRP组合锚杆施工记录表**

钻孔日期：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 施工单位：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 工程名称：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

设计孔径：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 设计孔长：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 钻机型号：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 锚杆  编号 | 地层  类别 | 钻孔直径  （mm） | 钻孔时间  （min） | 钻孔长度  （m） | 注浆量  （m3） | 钻孔倾角  （°） | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

记录员： 质检员： 工长： 技术负责人：

注：1 备注栏记录钻孔过程中的异常情况，如塌孔、缩径、地下水情况及相应的处理方法；

2 进行压水试验的钻孔应记录压水试验结果和相应的处理方法。

**A.0.2** GFRP组合锚杆注浆记录表模板见表A.0.2。

**表A.0.2 GFRP组合锚杆注浆记录表**

注浆日期：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 施工单位：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 工程名称：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

设计浆量：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 设计注浆次数：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 注浆设备：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 锚杆  编号 | 地层  类别 | 注浆次数 | 注浆材料 | 注浆开始时间 | 注浆终止  时间 | 注浆压力  （MPa） | 注浆量  （L） | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

记录员： 质检员： 工长： 技术负责人：

注：注浆材料包括水泥型号、配合比、外加剂名称和掺量。

**A.0.3** GFRP组合锚杆拉拔试验记录表模板见表A.0.3。

**表A.0.3 GFRP组合锚杆拉拔试验记录表**

工程名称：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 检验单位：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 工程名称：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

检验设备：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 承载力设计值：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

张拉锁定荷载：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 最大试验荷载：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 锚杆  编号 | 试验  荷载 | 压力表读数  （MPa） | 间隔  时间 | 位移计读数（mm） | | | 位移（mm） | | 备注 |
| 1# | 2# | 平均 | 增量 | 累计 |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |

记录员： 质检员： 工长： 技术负责人：

# 附录B GFRP筋主要技术参数性能试验

## B.1 外观检测和尺寸测量

**B.1.1** 外观检测应在正常（光）照度下，距离0.5 m对样品进行目测。

**B.1.2** 长度测量采用精度1 mm的尺子，测量3次，取算术平均值。

**B.1.3** 直径测量采用精度0.02 mm的游标卡尺，任意取3个位置测量，取算术平均值。

**B.1.4** 直线度测量采用精度1 mm的钢尺，将1 mm左右的筋材水平放置在平台上，任意转动3次分别测试其最大挠度，取算数平均值。

## B.2 拉伸性能试验

**B.2.1** 试件的长度为试件锚固端（150 mm ~ 300 mm）与30倍的杆体直径长度之和，试件总长度宜取800 mm ~ 1500 mm。

**B.2.2** 夹持试件时，应尽量确保试件仅受轴向拉力的作用。

**B.2.3** 荷载加载速率应控制在每分钟应力增加100 MPa ~ 500 MPa之间，均匀加载至试件破坏。

**B.2.4** 引伸计监测应变量应至少进行到GFRP筋抗拉强度标准值的60%的加载时刻。

**B.2.5** 抗拉强度*f*u应按式（B.2.5）计算，保留1位小数：

 （B.2.5）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *f*u | —— | GFRP筋的抗拉强度（MPa）； |
|  | *F*u | —— | GFRP筋拉伸弹性阶段的荷载最大值（N）； |
|  | *A*f | —— | GFRP筋试件的横截面积（mm2）。 |

**B.2.6** 弹性模量*E*f应按式（B.2.6）计算，保留1位小数：

 （B.2.6）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *E*f | —— | GFRP筋的弹性模量（GPa）； |
|  | *F*1 | —— | 60%±5%的*F*u（kN）； |
|  | *ε*1 | —— | 60%±5%的*F*u对应的应变（%）； |
|  | *F*2 | —— | 20%±5%的*F*u（kN）； |
|  | *ε*2 | —— | 20%±5%的*F*u对应的应变（%）。 |

**B.2.7** 极限拉应变*ε*gu应按式（B.2.7）计算，保留3位有效数字：

 （B.2.7）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *ε*gu | —— | GFRP筋破坏时的极限拉应变（%）。 |

**B.2.8** 试件的横截面积*A*f应按下列步骤确定：

**1** 从待检测的同批次试件中，截取一段长度约为5 cm的短试件，用精度为0.02 mm的游标卡尺测量短试件长度3次，每次测量旋转120°，取算术平均值，精确到0.1 mm，获得短试件的长度*L*；

**2** 短试件浸入量杯之前测量液体的体积*V*0，浸入后再测量液体的体积*V*1，浸入时应避免短试件将空气带入液体之中；

**3** 试件的横截面积*A*f按式（B.2.8）计算，精确到0.1 mm2。

 （B.2.8）

## B.3 剪切强度试验

**B.3.1** 将GFRP筋杆体截成300 mm长的试件后放入双剪测试装置中，在万能材料试验机上进行剪切强度的测定。

**B.3.2** 试件应固定在剪切试验台的中心，与上部加载装置接触，加载面与试件之间不应看见明显的缝隙。

**B.3.3** 荷载加载速率应控制在每分钟应力增加30 MPa ~ 60 MPa之间，均匀加载至试件破坏，试验过程中，试件不应被撞击。

**B.3.4** 破坏模式是否为剪切破坏应通过视觉进行判断。

**B.3.5** 剪切强度*f*v应按式（B.3.5）计算，保留1位小数：

 （B.3.5）

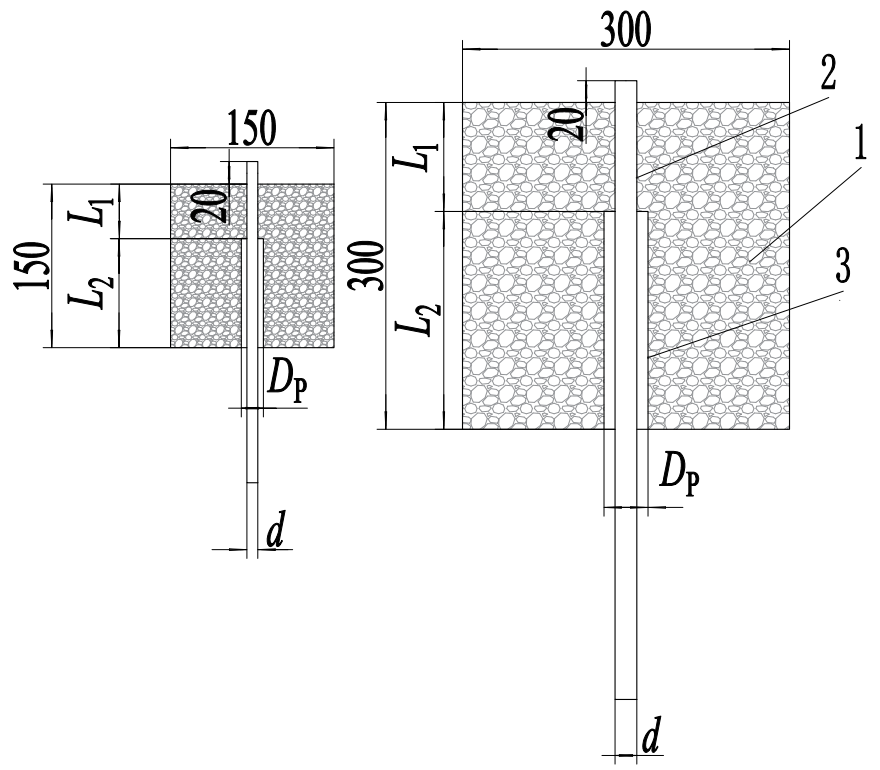
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *f*v | —— | GFRP筋的剪切强度（MPa）； |
|  | *P* | —— | 试件的最大破坏荷载（N）。 |

## B.4 粘结强度试验（拉拔试验）

**B.4.1** 拔出试样的形状及尺寸应符合图B.4.1的规定：

**1** 公称直径不大于16 mm的GFRP筋采用的混凝土试块尺寸为150 mm×150 mm×150 mm；

**2** 公称直径大于16 mm的GFRP筋采用的混凝土试块尺寸为300 mm×300 mm×300 mm。



**图B.4.1 拔出试样示意图**

1-混凝土试块；2-GFRP筋；3-PVC套管；*d*-GFRP筋直径；*L*1-GFRP筋埋入长度，*L*1 = 5 *d*，*L*1 ≥ 50 mm；*L*2-套管长度，*L*2 ≥ 50 mm；*D*p-套管内径

**B.4.2** 每组拔出试样数量不应少于5个，同时每组应制作混凝土标准试件3个，用于测量混凝土实际抗压强度。

**B.4.3** 位移传感器的精度不应小于0.001 mm。

**B.4.4** 试件应在标准养护室内进行养护，在试样龄期为28 d时进行试验。

**B.4.5** 试验开始前，应检查试样外观情况并测量试样的直径。

**B.4.6** 试验步骤应符合下列规定：

**1** 将试样套上中心有孔的垫板，然后装入已安装在中心拔出试验装置上的试验夹具，中心拔出试验装置的下夹头将试样加载端锚具夹牢；

**2** 安装和固定位移传感器，位移传感器端与GFRP筋自由端面接触良好；

**3** 以不超过20 kN/min或1 mm/min的速度连续均匀加载，直至试件被破坏。

**B.4.7** 试样出现下列情况之一时，试验数据应作无效数据处理：

**1** 试样的混凝土强度不符合要求；

**2** GFRP筋与混凝土承压面不垂直，偏斜较大，致使试样提前劈裂破坏。

**B.4.8** 粘结强度*τ*u应按式（B.4.8）计算，保留1位小数：

 （B.4.8）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *τ*u | —— | GFRP筋的粘结强度（MPa）； |
|  | *V*u | —— | GFRP筋粘结破坏的最大荷载（N）； |
|  | *d* | —— | GFRP筋的公称直径（mm）； |
|  | *L*1 | —— | GFRP筋的埋入长度（mm）； |
|  | *F*cu，k | —— | C30混凝土的抗压强度标准值（MPa）； |
|  | *σ*cu | —— | 28 d龄期时混凝土标准试样的抗压强度实测值（MPa）。 |

# 附录C GFRP组合锚杆抗拔试验

## C.1 一 般 规 定

**C.1.1** 试验锚杆的参数、材料、施工工艺及其所处的地质条件应与工程锚杆相同。

**C.1.2** 加载装置（千斤顶、油泵）的额定压力应大于最大试验压力且试验前应进行标定。

**C.1.3** 加载反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求，加载时千斤顶应与锚杆同轴。

**C.1.4** 计量仪表（测力计、位移计、压力表）的精度应满足试验要求。

**C.1.5** 试验锚杆宜在自由段与锚固段之间设置消除自由段摩阻力的装置。

**C.1.6** 对预应力筋，最大试验荷载下的锚杆杆体应力不应超过其抗拉强度标准值的0.9倍；对GFRP筋，最大试验荷载下的锚杆杆体轴力不应超过极限抗拉承载力标准值的0.8倍。

## C.2 基 本 试 验

**C.2.1** 基本试验是确定锚杆极限抗拔承载力的试验，最大试验荷载应大于预估破坏荷载且试验锚杆杆体截面面积应符合本标准C.1.6条的规定；不符合时，应按本标准C.1.6条对杆体强度的要求确定最大试验荷载。必要时，可增加试验锚杆的杆体截面面积。

**C.2.2** 锚杆极限抗拔承载力试验宜采用循环加载法，其加载分级和锚头位移观测时间应按表C.2.2确定。

**表C.2.2 循环加载试验的加载分级与锚头位移观测时间**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **循环次数** | **分级荷载与最大试验荷载的百分比（%）** | | | | | | |
| **初始荷载** | **加载过程** | | | **卸载过程** | | |
| 第一循环 | 10 | 20 | 40 | 50 | 40 | 20 | 10 |
| 第二循环 | 10 | 30 | 50 | 60 | 50 | 30 | 10 |
| 第三循环 | 10 | 40 | 60 | 70 | 60 | 40 | 10 |
| 第四循环 | 10 | 50 | 70 | 80 | 70 | 50 | 10 |
| 第五循环 | 10 | 60 | 80 | 90 | 80 | 60 | 10 |
| 第六循环 | 10 | 70 | 90 | 100 | 90 | 70 | 10 |
| 观测时间（min） | | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 5 |

注：1 锚杆加载前应预先施加初始荷载，初始荷载应取锚杆极限抗拉承载力标准值的10％；

2 每级加、卸荷载稳定后，在观测时间内测读锚头位移不应少于3次；

3 在每级荷载的观测时间内，当锚头位移增量不大于1.0 mm时，可视为位移稳定；当观测时间内锚头位移增量大于1.0 mm时，应在该级荷载下再延长观测时间60 min，每隔10 min测读锚头位移1次；当该60 min内锚头位移增量小于2.0 mm时，可视为锚头位移收敛；当锚头位移稳定或收敛后，方可施加下一级荷载；

4 加至最大试验荷载后，当锚杆尚未出现本标准C.2.4条规定的终止加载情况且继续加载后满足本标准C.1.6条对杆体强度的要求时，宜按最大试验荷载10％的荷载增量继续进行下一循环加载，此时，每级加载中间过程的分级荷载与最大试验荷载的百分比应分别相应增加10％，其观测时间应为10 min。

**C.2.3** 当锚杆极限抗拔承载力试验采用逐级加载法时，其加载分级和锚头位移观测时间应按表C.2.2中每一循环的最大荷载及相应的观测时间逐级加载和卸载。

**C.2.4** 锚杆试验中遇下列情况之一时，应终止继续加载：

**1** 从第二级加载开始，后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生位移增量的2倍；

**2** 土层锚杆在3 h内、岩层锚杆在2 h内，锚头位移不收敛；

**3** 锚杆杆体破坏。

**C.2.5** 循环加载试验应绘制锚杆的荷载-位移曲线、荷载-弹性位移曲线和荷载-塑性位移曲线。锚杆的位移不应包括试验反力装置的变形。

**C.2.6** 锚杆极限抗拔承载力应按下列方法确定：

**1** 单根锚杆的极限抗拔承载力，在某级试验荷载下出现本标准C.2.4条规定的终止继续加载情况时，应取终止加载的前一级荷载值；未出现时，应取最大试验荷载值；

**2** 参加统计的试验锚杆，当极限抗拔承载力的极差不超过其平均值的30%时，锚杆极限抗拔承载力标准值可取平均值；当级差超过其平均值的30%时，宜增加试验锚杆数量，应根据级差过大的原因，按实际情况重新进行统计后确定锚杆极限抗拔承载力标准值。

## C.3 蠕 变 试 验

**C.3.1** 蠕变试验用于检测GFRP组合锚杆的蠕变特性，为控制蠕变量和预应力损失提供设计参数，试验锚杆数量不应少于3根。

**C.3.2** 蠕变试验的加载分级和锚头位移观测时间应按表C.3.2确定。在观测时间内荷载必须保持恒定。

**表C.3.2 蠕变试验加载分级与锚头位移观测时间**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **加载等级** | **观测时间（min）** | | | |
| **临时性锚杆** | | **永久性锚杆** | |
| ***t*1** | ***t*2** | ***t*1** | ***t*2** |
| 0.25 *N*ak | — | — | 5 | 10 |
| 0.50 *N*ak | 5 | 10 | 15 | 30 |
| 0.75 *N*ak | 15 | 30 | 30 | 60 |
| 1.00 *N*ak | 30 | 60 | 60 | 120 |
| 1.20 *N*ak | 45 | 90 | 120 | 240 |
| 1.50 *N*ak | 60 | 120 | 180 | 360 |

**C.3.3** 每级荷载按时间间隔1 min、5 min、10 min、15 min、30 min、45 min、60 min、90 min、120 min、150 min、180 min、210 min、240 min、270 min、300 min、330 min、360 min记录蠕变量。

**C.3.4** 试验时应绘制每级荷载下锚杆的蠕变量-时间对数曲线。蠕变率应按式（C.3.4）计算：

 （C.3.4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *k*c | —— | 锚杆蠕变率； |
|  | *s*1 | —— | *t*1时间测得的蠕变量（mm）； |
|  | *s*2 | —— | *t*2时间测得的蠕变量（mm）； |
|  | *t*1、*t*2 | —— | 位移观测时间（min）。 |

**C.3.5** 锚杆锚杆在最后一级荷载作用下的蠕变率不应大于2.0 mm/对数周期。

## C.4 验 收 试 验

**C.4.1** 验收试验应判定GFRP组合锚杆在验收荷载作用下的抗拔性能是否满足设计要求，为工程验收提供依据。

**C.4.2** 验收试验的最大试验荷载，对永久性锚杆取轴向拉力标准值的1.5倍，对临时性锚杆取1.2倍，同时尚应符合本标准C.1.6条对锚杆杆体强度的要求。

**C.4.3** 验收试验宜采用多循环加卸载法和单循环加卸载法，其加载分级和锚头位移观测时间应分别按表C.4.3-1和表C.4.3-2确定。

**表C.4.3-1 多循环加卸载法荷载分级与锚头位移观测时间**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **循环次数** | **分级荷载与最大试验荷载的百分比（%）** | | | | | | | |
| **初始荷载** | **加载过程** | | | | **卸载过程** | | |
| 第一循环 | 30 | 50 | — | — | 60 | — | 50 | 30 |
| 第二循环 | 30 | 30 | 50 | 60 | 70 | — | 50 | 30 |
| 第三循环 | 30 | 40 | 60 | 70 | 80 | — | 50 | 30 |
| 第四循环 | 30 | 50 | 70 | 80 | 90 | 70 | 50 | 30 |
| 第五循环 | 30 | 60 | 80 | 90 | 100 | 70 | 50 | 30 |
| 观测时间（min） | | 5 | 5 | 5 | ≥10 | 5 | 5 | 5 |

注：加卸荷速率、锚头位移测读次数、间隔时间、相对稳定判定标准均应按照基本试验确定。

**表C.4.3-2 单循环加卸载法荷载分级与锚头位移观测时间**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **分级荷载与最大试验荷载的百分比（%）** | | | | | | | | | |
| **初始荷载** | **加载过程** | | | | | | **卸载过程** | | |
| 30 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 70 | 50 | 30 |
| 观测时间（min） | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | ≥6 | 1 | 1 | 1 |

注：1 加荷速率宜取50 kN/min，卸荷速率宜取100 kN/min；

2 持荷中期、末期分别测读1次锚头位移；卸荷末期测读1次锚头位移；

3 最大荷载作用下，每间隔3 min测读一次锚头位移，0 min ~ 30min观测时间内相邻两次位移读数增量小于0.1 mm，或1 h观测时间内锚头位移增量小于1 mm，可判定锚头位移达到相对稳定标准。

**C.4.4** 锚杆试验时，遇到本标准C.2.4条规定的终止继续加载情况时，应终止继续加载。单根锚杆的极限抗拔承载力应按本标准C.2.6条第1款的规定确定。

**C.4.5** 验收荷载试验应绘制锚杆的荷载-位移曲线。锚杆的位移不应包括试验反力装置的变形。

**C.4.6** 验收试验中，符合下列要求的锚杆应判定合格：

**1** 在最大试验荷载下，锚杆位移稳定或收敛；

**2** 在最大试验荷载下测得的总位移量应大于自由段长度理论弹性伸长量的80%且应小于自由段长度与1/2锚固段长度之和的理论弹性伸长量。

# 本标准用词说明

**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样不可的：

正面用词采用“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：

正面词用“宜”，反面词用“不宜”。

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

# 引用标准名录

《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086

《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》GB 50608

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 52202

《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223

《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224

《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370

《混凝土拌和用水标准》JGJ 63

《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85

《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92

《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107

《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

《土木工程用玻璃纤维增强筋》JG/T 406

《建筑地基基础检测规范》DBJ /T15

《岩土锚杆（索）技术规程》CECS22:2005

广东省标准

**玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆技术标准**

**Technical Standard of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Composite Anchor**

**DBJ/T 15—xx—2025**

条文说明

**制定说明**

《玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆技术标准》DBJ/T 15—xxx—2025，经广东省住房和城乡建设厅2025年xx月xx日以第xx号公告批准发布。

本标准制定过程之中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了广东省玻璃纤维增强筋（GFRP）组合锚杆技术领域的实践经验，同时参考了国内外先进技术规范、技术标准，并开展了专题研究，广泛征求了有关单位和专家的意见，对主要问题进行了反复讨论与修改。

为便于有关单位人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了解释和说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握条文规定的参考。

**目 次**

[1 总 则 33](#_Toc10534)

[3 基 本 规 定 34](#_Toc24910)

[4 材 料 35](#_Toc10348)

[5 设 计 35](#_Toc8256)

[6 施 工 40](#_Toc15725)

[7 试验与验收 41](#_Toc21340)

**1 总 则**

1.0.1GFRP筋是无机脆性材料，具有抗拉强度高、耐腐蚀性好等特点，在复杂城市地下空间中的应用具有较显著的优势。在市政施工中，有时需对围护结构进行切削破碎，在地铁盾构施工中，经常会遇到穿越锚索区域的情况，传统边坡支护锚杆和基坑支护锚杆的筋材一般为钢绞线和螺纹精钢，一方面，钢筋的抗剪强度较高，不易削断、易损坏刀头，不利于施工及边坡安全，另一方面，切削钢筋的速度较慢，需要的工期相对较长，影响工程总体工期、增加成本。采用GFRP筋替代钢筋能够有效解决上述问题。此外，由于GFRP筋的易切削性，在进行基坑支护设计时，可以将GFRP组合锚杆的GFRP筋材段设计至用地红线外，增加支护设计安全冗余度的同时，残留的支护结构物也不会对日后红线外地区的开发造成安全隐患。GFRP组合锚杆用于永久边坡加固和地下结构抗浮主要是考虑了GFRP材料的耐腐蚀性，相较于钢锚杆，减少了防腐措施，优化了施工工序。

在质量得到保证的前提下，将GFRP组合锚杆应用于边坡支护锚杆、基坑支护锚杆、建筑结构抗浮锚杆等领域，具有安全、经济、绿色、环保的优势。因此，通过制定GFRP组合锚杆技术标准，可进一步推动新材料的应用和岩土工程技术的发展。

# 3 基 本 规 定

**3.0.1** 从2010年开始，标准编制单位在国内外完成了大量GFRP组合锚杆的工程应用，范围涉及基坑支护工程、边坡支护工程和地下结构抗浮工程。由于GFRP筋材的易切削性可以减少地铁盾构施工过程中的锚杆拆除工序，GFRP组合锚杆应用最多的是地铁车站基坑支护。卡塔尔的多哈地铁使用了约150根GFRP组合锚杆，沙特阿拉伯利加德地铁站深基坑支护使用了超过5000 m的GFRP组合锚杆，印度的格浦尔地铁零英里站和法国大巴黎地铁四号线Bagneux车站均使用了GFRP组合锚杆进行基坑支护。

GFRP组合锚杆在边坡支护和地下结构抗浮的应用也得到了较多的工程实践。在国内，深圳盐田人才安居房项目抗浮锚杆全部采用GFRP组合锚杆，共计638根，香港碧湾道公租房项目边坡支护工程使用了1000多根GFRP组合锚杆，广州增城区某项目使用GFRP组合锚杆用作边坡支护，花都区某地下车库使用GFRP锚杆作为抗浮锚杆。在国外，沙特阿拉伯的绿金杜巴一体化太阳能联合循环电站使用了264根GFRP组合锚杆，以色列的Pri Migadmin公寓使用了超2000 m的GFRP组合锚杆。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 1736240323245 | 3b431fa520d1c43ef769f3b49505324 |
| （a）卡塔尔多哈地铁站基坑支护 | （b）香港碧湾道公租房边坡支护 | （c）深圳盐田区人才房地下室抗浮 |

**图3-1 GFRP组合锚杆工程应用案例**

目前，由标准编制单位设计施工的GFRP组合锚杆支护结构的最长服役年限已超过10年，至今未见支护失效的相关报道，也未出现因GFRP组合锚杆代替传统钢筋锚杆而引发的工程事故，可见GFRP组合锚杆在基坑支护工程、边坡支护工程和地下结构抗浮工程中的应用是安全可靠的。此外，国内还有将GFRP锚杆用于堤坝加固、遗址修复的工程案例，但是这些工程的应用时间较短，所以本标准中未将其他应用场景列入GFRP组合锚杆的应用范围。

3.0.5 通过采用合理的筋材搭配和接头形式，GFRP组合锚杆可以根据工程需要实现可切削、可回收的目的。在进行锚杆结构设计之前，建议根据场地情况和后续施工需要进行总体设计，确定锚杆的组合形式。

3.0.6 GFRP筋会在不同的化学环境中（包括酸、碱）发生性能劣化，GFRP筋的贮存期一般不超过一年。超过一年时，应重新评价其性能。

# 4 材 料

## 4.1 基本规定

**4.1.2** GFRP筋体为脆性材料，只有极限强度，无明显屈服强度。由于GFRP筋体抗拉性能离散性高于金属杆体，因此本条规定GFRP筋体的极限拉力值应高于金属杆体的屈服荷载。为避免二者抗拉承载力区别过大造成材料浪费，同时规定了GFRP筋体的极限拉力值不应高于金属杆体极限拉力值的1.2倍。

## 4.2 玻璃纤维增强筋

**4.2.4** 既有研究表明，过量的氧化钠、氧化钾会导致玻璃纤维的耐碱腐蚀性能显著降低，一般情况下，水泥砂浆和混凝土的碱性比较强，从产品的耐久性角度考虑，必须采用无碱或耐碱玻璃纤维，从而保证GFRP筋的长期力学性能。本条规定与《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608和《土木工程用玻璃纤维增强筋》JG/T 406中的相关规定一致。

## 4.3 金 属 杆 体

4.3.1 锚杆金属杆体材料可根据锚固工程性质、锚固部位和工程规模等因素，选择高强度、低松弛的预应力螺纹钢筋、预应力钢丝或钢绞线。镀锌钢材由于存在氢脆风险且强度较低，不宜用作GFRP组合锚杆金属杆体。

## 4.4 注 浆 材 料

4.4.4 注浆料外加剂的品种和掺量可通过实验室或现场试验来确定，质量控制指标应包括坍落度、凝结时间、强度和收缩性，相应试验方法应按现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448或相关行业标准执行。

## **4.5 机械连接系统**

4.5.4 当连接器、锚具用于地下永久抗浮结构时，由于地下水浮力呈间断性、周期性变化，故连接器、锚具的疲劳承载性能和周期承载性能均应满足要求。

连接器、锚具的疲劳与周期承载性能设计应符合下列要求：

**1** 疲劳性能：应通过200万次疲劳荷载性能试验，且疲劳应力幅不应小于80 MPa。

**2** 周期承载性能：按《公路桥梁预应力钢绞线用锚具、夹具和连接器》JT/T 329规定，在1.5倍设计荷载下循环加载50次，残余变形不应大于2mm。

# 5 设 计

## 5.1 一 般 规 定

**5.1.1** 基坑支护的最小设计使用年限与《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的规定一致。根据《建筑边坡工程技术规范》GB 50330，临时边坡是指使用年限不超过2年的边坡，永久边坡一般按50年计算，相应规定了锚杆支护的设计使用年限。主体结构基础抗浮锚杆属于永久支护结构，设计使用年限应与主体结构相同。

5.1.4 锚杆的拔除主要是为了解决边界红线问题，传统的锚杆回收只能简单地完成自由段部分的杆体回收，锚固段的钢绞线仍然残留在岩土体中，对后续施工造成影响。近年来，国内研发了多种可回收锚杆，实现了大部分主筋的回收。但其结构复杂，钢制承载体仍然留在土体中无法回收，整体回收率只有70% ~ 80%，对后续施工仍会有一定影响。

对于GFRP组合锚杆而言，拔除段采用钢筋或钢绞线，切削段采用GFRP筋，二者通过连接器连接，通过合理的结构设计，可以使GFRP组合锚杆在接头处最先发生破坏，从而实现金属杆体全部拔除、只残留易切削的GFRP筋的目的。

需要注意的是，拔除段的钢筋、钢绞线和连接器不能与注浆体锚固在一起，否则将无法拔除。出于设计和施工便捷性的角度考虑，一般情况下，建议将自由段与锚固段的分界点设计为拔除段与切削段的分界点，即将GFRP组合锚杆的自由段杆体全部拔除。

对于GFRP组合锚杆组合形式的选择，标准编制单位结合工程实践经验给出建议如下：当施工红线范围内的锚杆支护结构需要全部拆除（需要二次施工或为了回收再利用等），而施工场地狭小、大型切削设备不便使用的时候，可以选用拔除型GFRP组合锚杆。在确定拔除段长度的时候，还需要综合考虑锚固段的埋置深度和施工成本。一方面，锚固段埋深较大时，自由段钢绞线过长、变形过大，可能造成拔除困难。另一方面，拔除段长度越大，可节约的施工成本越高。切削型锚杆的杆体全部采用GFRP筋，可以全部留在岩土体内，适用于短期内不需要二次施工，或可以使用大型切削设备统一处理的工程。选用GFRP组合锚杆的组合形式时，还应该结合5.1.6的规定进行。

**5.1.6** 根据《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120和《建筑边坡工程技术规范》GB 50330，预应力锚杆的自由段应超过潜在滑裂面不小于1.5 m，处于拉、剪复合受力状态。GFRP筋属于脆性材料，抗剪能力较差，其在预应力锚杆自由段上的应用应根据岩土体状态和锚杆受力形式谨慎选择。

对于地下结构预应力抗浮锚杆，其主要受力形式为受拉，采用GFRP筋可以解决锚杆自由段易腐蚀的问题；对于基坑预应力支护锚杆，由于其多与抗滑桩、地下连续墙结合使用，受力状态较为稳定，自由段采用GFRP筋可以很好地解决边界红线问题。故本条中规定用于基坑支护和地下结构抗浮的预应力锚杆自由段宜采用GFRP筋。

对于三级边坡预应力支护锚杆，由于边坡的土层状态较为稳定，锚杆受力较小，采用GFRP筋可以解决锚杆自由段易腐蚀的问题。因此，建议根据使用要求和锚杆受力情况，选择GFRP筋或钢绞线作为预应力锚杆的自由段。

但是，对于一级、二级边坡工程的预应力支护锚杆，由于边坡岩土体的状态通常不稳定且边坡开挖高度大，一旦边坡滑移面出现较大变形，GFRP锚杆易突发破坏，会造成严重安全事故。出于安全考虑，一级、二级边坡工程的预应力支护锚杆不宜使用GFRP筋作为自由段。

**5.1.7** 锚杆锚固段不宜设置在淤泥层中，主要是因为淤泥层的强度低、变形大、稳定性差，难以满足锚固要求。如果无法避开淤泥层，需采取增加锚固长度、改良土体等措施来提高锚固性能，同时加强监测和维护，确保工程安全。

## **5.2 承载力计算**

**5.2.3** 表5.2.3参考现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086和现行行业标准《岩土锚杆（索）技术规程》CECS 22编制。

## 5.3 锚杆结构设计

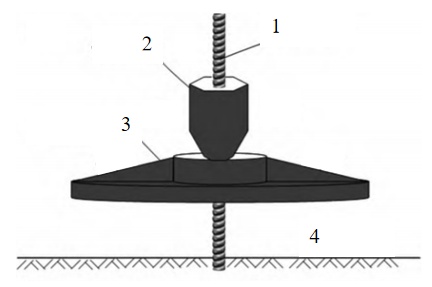
**5.3.1** GFRP筋在长期所处环境的酸碱盐、湿度、温度等作用下，性能会有不同程度的降低，通过环境影响系数*γ*e进行考虑。本条规定的环境影响系数*γ*e取值与《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608一致，是根据我国试验研究成果并参考了ACI相关规范和国外学者的试验研究数据确定的。强碱环境指pH值大于11的岩土体或地下水。

5.3.2 锚杆锚固段的有效长度主要与锚固体和土层之间的粘结性能相关，与杆体的材料性能关系不大，本条主要参考了《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330和《抗浮锚杆技术规程》YB/T 4659的相关规定。

5.3.3 大量试验结果表明，GFRP筋与水泥砂浆（混凝土）之间的粘结强度较钢筋与水泥砂浆（混凝土）之间的粘结强度更低，对GFRP组合锚杆的杆体与锚固体之间的锚固长度进行校核是有必要的。编制单位开展了一系列GFRP筋粘结强度拉拔试验，总结了国内外相关的研究数据结果，发现GFRP筋与锚固体之间的粘结强度标准值较钢筋的降低幅度集中在10% ~ 20%的范围内。最终，表5.3.5中给出的取值是参考了《建筑边坡工程技术规范》GB 50330和《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086的相关规定并考虑了约15%的降低幅度给出的。

**5.3.4** 本条参照《岩土锚杆(索)技术规程》CECS 22制定。

5.3.5 本条第1款中受拉钢筋的锚固长度是参考了《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608的相关规定给出的。本条第2款所述机械锚固方式主要有支承式、夹片式、握裹式等，图5-1所示为GFRP组合抗浮锚杆较常使用的全螺旋玻璃纤维材质螺母−托盘锚固系统。



**图5-1 螺母−托盘锚固体系**

1-GFRP筋；2-锁紧螺母；3-应力扩散托盘；4-基础底面

本条第3款规定了GFRP筋可以采用90°弯折锚固的方式。在实际工程中，由于GFRP筋的弹性模量和抗剪强度均较小，现场难以利用现有机械进行弯折处理。如需采用90°弯折锚固的方式，可以在GFRP筋生产过程中，利用预先设计好的模具一次加工成型。此外，也可以选择将弯折段和水平锚固段的GFRP筋替换为钢筋，利用连接器将二者连接为整体。

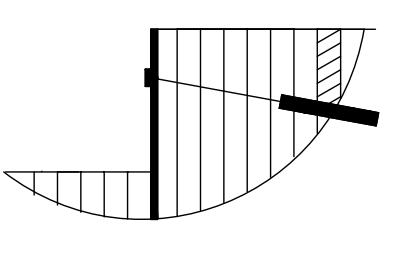
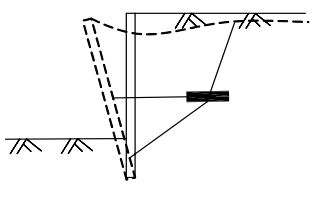
**5.4 稳定性验算**

5.4.1 目前，应用较广的边坡、基坑锚固支护体系的整体稳定性验算方法主要有两种：《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120推荐的圆弧滑动简单条分法以及《岩土锚杆(索)技术规程》CECS 22和《高压喷射扩大头锚杆（索）规程》JG/T 033推荐的Kranz方法。实际工程设计中，技术人员在进行锚固支护体系整体稳定性验算时对这两种方法的采用情况不一。

本条根据两种验算方法的失稳形式和GFRP组合锚杆的结构特点，对两种方法的使用场景进行了区分。如图5-2（a）所示，圆弧滑动简单条分法的破坏形式与土坡失稳类似，其破坏机理是破坏面上的土体受到的剪力超过土体的抗剪强度，相关标准中一般规定安全系数大于1.3。而Kranz方法（图5-2（b））的破坏形式表现为挡土结构向坑内倾覆或滑移，后方土体向坑内滑移，其破坏机理是锚杆锚固段附近的土体大片塑性破坏造成锚固作用失效，相关标准中一般规定安全系数大于1.5。

因此，若锚固体下方有明显软弱层，即使上部土层性质良好，也要进行圆弧滑动简单条分法验算。这种情况下，锚杆在滑动面上会受到剪切作用，由于GFRP筋的抗剪强度较差，本条提高了GFRP组合锚杆使用圆弧滑动简单条分法验算的安全系数。

土层性质较好时，桩锚支护体系可不进行圆弧滑动简单条分法验算，采用Kranz方法验算即可。这种情况下，锚杆主要承受轴向拉力作用，故本条中GFRP组合锚杆使用Kranz方法的安全系数与常规锚杆保持一致。

（a）圆弧滑动失稳形式 （b）Kranz失稳形式

**图5-2 锚固支护整体失稳形式**

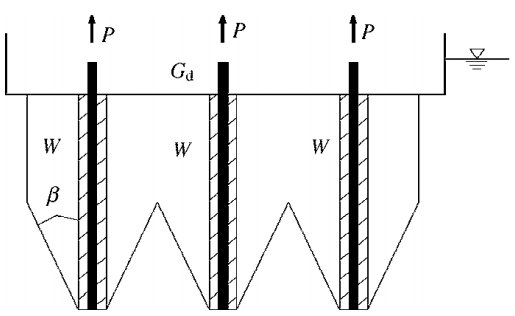
5.4.2 GFRP组合抗浮锚杆存在群锚效应并呈整体破坏时的抗浮稳定性验算的计算模型如图5-3所示。与传统模型相比，做了4点改进：

**1** 对GFRP组合锚杆的计算长度进行了限制。GFRP组合锚杆的锚固段长度超过有效锚固长度以后，岩土体产生的有效抗力迅速减弱，稳定破坏模式可能不再为锥体破坏，故本条规定计算长度中的锚固段长度不应大于有效锚固长度。

**2** 国内外标准在进行稳定性验算时，岩土体的重量安全系数和抗拔承载力安全系数均采用相同值，但岩土体抗拔承载力的变异性显著大于重量的变异性，故*K*b2应大于*K*b1。

**3** 计算岩土体重量采用的是岩土体的天然重度，而非传统标准采用的浮重度。黏性土、微风化岩等弱透水性地层中，表层水与岩土体内的水未必贯通，岩土体的实际重度未必表现为浮重度。数十个实际工程的反算结果表明，采用天然重度能够满足工程的安全需求，采用浮重度则偏于保守。

**4** 传统计算中半锥角取30°~45°，本条中取30°。半锥角越小，计算锥体的体积越小，半锥角取下限值简化了计算过程，同时提高了安全系数。



**图5-3 抗浮锚杆群锚效应**

**5.5 锚杆连接设计**

5.5.1 标准编制单位在进行连接器的抗拉性能试验时发现，套筒连接器的抗拉能力要大于螺母连接器，这主要是因为使用螺母连接器时GFRP筋的螺牙易出现剪切破坏，因此，一般情况下宜使用套筒连接器。但是，需要拔除自由段钢绞线时，可以使用螺母连接器，更方便回收。

5.5.2 本条规定是为了保证回收拔除段锚杆时，杆体不会先于连接器被拔断。

5.5.3 大量工程实践表明锚固段轴力呈指数衰减，中部轴力约为端部的30%-50%。标准编制组在进行GFRP组合锚杆内力测试时发现，连接器距锚固段端部1.2m（锚固段长6m），其实测轴力为端部的42%。

## 5.6 构 造 设 计

5.6.4对于传统金属锚杆，最小保护层厚度需要考虑两个因素，一要保护金属锚杆不发生锈蚀，二要保证锚杆杆体与锚固体间充分粘结。对于GFRP组合锚杆，在粘结性能拉拔试验的过程中，由于玻璃纤维的断裂，杆体发生径向膨胀，握裹的水泥或混凝土材料有可能发生劈裂破坏。故虽然不需要考虑杆体锈蚀的问题，GFRP组合锚杆的最小保护层厚度并未较钢筋锚杆减小。本条规定的最小杆体间距和最小保护层厚度是参考了《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330和《抗浮锚杆技术规程》YB/T 4659，结合了编制单位开展的大量试验结果确定的。

5.6.6 由于GFRP筋的抗剪性能较弱，在边坡支护和基坑支护设计中，采用全长注浆有助于提升锚杆整体的抗剪能力。

# 6 施 工

## 6.1 一 般 规 定

6.1.2 GFRP筋表面带有玻璃纤维毛刺，扎到手后不易处理，作业人员应戴手套操作。

## 6.3 钻 孔

6.3.1 岩层可采用冲击成孔（干成孔）工艺，容易塌孔及地下水丰富的地层应采用套管护壁或泥浆护壁工艺。

**6.4 杆 体 下 放**

6.4.5 由于GFRP筋的密度较小且注浆管为密封状态，在注浆和上拔套管的过程中，GFRP组合锚杆易受浮力影响而发生明显位移，抗浮锚杆多为竖向布置，其上浮问题尤为严重。GFRP筋具有一定柔性，轴向受压时会发生轻微弯曲，导致上浮后的锚杆很难复压至原设计深度。故在杆体下放完成后、注浆前，应采取适当的措施防止GFRP组合锚杆在注浆时发生位移。

编制单位结合工程经验提供两种解决方案以供参考。一种是在锚杆底端安装金属或混凝土配重块，出于配重块的质量和体积限制，这种方法适用于设计长度较短的组合锚杆。另一种方法是在锚杆杆体上安装单向卡扣，下放时卡扣处于收缩状态，到达设计深度后，卡扣展开卡住孔壁，以抑制组合锚杆上浮，这种方法对孔周岩土体的强度要求较高。

## 6.5 注 浆

**6.5.2** 采用泥浆护壁回转方式成孔时，会在孔壁上形成一层泥皮，大大降低界面黏结强度，采用二次压力注浆工艺可以很大程度上消除泥皮的不利影响。水泥浆的水灰比宜取0.45 ~ 0.50；水泥砂浆的水灰比宜取0.40 ~ 0.45，灰砂比宜取0.5 ~ 1.0。

## 6.6 张拉与锁定

**6.6.3** 标准编制单位在进行GFRP组合锚杆张拉锁定时发现，自由段为钢绞线的组合锚杆预应力损失率在9%左右，而自由段为GFRP筋的组合锚杆预应力损失率在12%~15%之间，这主要是由于GFRP筋表面粗糙，与自由段摩擦力过大导致的。因此本条规定了自由段为GFRP筋的组合锚杆超张拉力值要大于自由段为钢绞线的超张拉力值。

# 7 试验与验收

## 7.2 材 料 基 本 试 验

**7.2.1** 现场抽检时，对于同一规格、同一材料、同一生产工艺的杆体筋材，应以500根为一批，不足此数量时，按一批计。

现场抽检时，对于同一规格、同一等级、同一型式的连接器，应以500个为一批，不足此数量时，按一批计。

现场抽检时，对于同一规格、同一等级、同一型式的锚具，应以1000个为一批，不足此数量时，按一批计。