

T/CUPC

团 体 标 准

T/CUPC XXXX—2025

装配式建筑 房屋复合材料钢筋混凝土结构 施工规范

Code for construction of composite reinforced concrete structures of prefabricated
buildings and houses

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 实施

中国城镇化促进会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 1

5 材料要求 2

6 设计规定 3

7 施工及验收 5

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。

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××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

装配式建筑 房屋复合材料钢筋混凝土结构施工规范

1 范围

本文件规定了装配式建筑房屋复合材料钢筋混凝土结构施工的基本要求、材料要求、设计规定、施工及验收。

本文件适用于装配式建筑房屋复合材料钢筋混凝土结构施工。

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。

- GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB/T 33959 钢筋混凝土用不锈钢钢筋
- GB/T 50010 混凝土结构设计标准（2024年版）
- GB 50153 工程结构可靠性设计统一标准
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50300 建筑工程施工质量验收统一标准
- GB 50666 混凝土结构工程施工规范
- JGJ 1 装配式混凝土结构技术规程
- JGJ 85 预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程
- JGJ 92 无粘结预应力混凝土结构技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

FRP 筋混凝土结构 concrete structure reinforced or prestressed with FRP reinforcements
配置受力的非预应力FRP筋或预应力FRP筋的混凝土结构。

3.2

预应力 FRP 筋混凝土结构 FRP prestressed concrete structure
配置受力的预应力FRP筋,通过张拉或其他方法建立预应力的混凝土结构。

3.3

无粘结预应力 FRP 筋混凝土结构 unbonded FRP prestressed concrete structure
配置与混凝土之间可保持相对滑动的无粘结预应力FRP筋的后张法预应力混凝土结构。

4 基本要求

- 4.1 施工单位应在工程开工前,组织图纸会审和设计交底,深入理解设计文件中关于 FRP 筋材料特性、构件连接、预应力施工等特殊要求。对于设计深度未能满足施工要求的,应提请设计单位予以明确。
- 4.2 施工单位应编制专项施工组织设计,其内容应全面覆盖预制构件生产、运输与存放、现场安装与连接、预应力张拉(如适用)等关键环节。对于技术复杂、安全风险高的分部工程,如大型预制构件吊装、预应力 FRP 筋张拉等,尚应编制专项施工方案。
- 4.3 专项施工方案应具有针对性和可操作性,内容至少应包括:工程概况、施工部署、进度计划、施工方法与工艺流程、材料与设备计划、质量管理措施、安全文明施工与环境保护措施、应急预案等。
- 4.4 施工前,应对管理和作业人员进行专项技术培训和交底。培训内容应包含 FRP 筋的材料特性(如各向异性、脆性、不耐高温、不耐磨损等)、施工注意事项、专用工具使用方法及质量验收标准。

- 4.5 施工单位宜建立项目信息管理平台，应用建筑信息模型（BIM）技术，对预制构件的生产、运输、吊装、连接等全过程进行信息化管理，实现设计与施工信息的无缝传递和协同工作。
- 4.6 工程采用的 FRP 筋、锚具、连接件、灌浆料、座浆料等主要材料及部品，均应具有产品标准、设计文件要求的质量证明文件，包括出厂合格证、检验报告等。
- 4.7 主要材料进场时，应按本规范及国家现行相关标准的规定进行抽样复验，检验合格后方可使用。严禁使用不合格的材料和产品。
- FRP 筋的复验项目应至少包括抗拉强度、弹性模量和极限拉应变。
 - 预应力 FRP 筋用锚具系统应按规定进行静载锚固性能试验。
 - 钢筋连接用灌浆料应复验其流动度、抗压强度、竖向膨胀率等指标。
- 4.8 预制 FRP 筋混凝土构件应在工厂内生产完成，其结构性能检验（如承载力、挠度、裂缝宽度等）应符合设计及 GB 50204 的规定。
- 4.9 所有材料与构件的运输、存放与管理，应制定并执行专门的制度，防止 FRP 筋因弯折、磨损、紫外线长期照射或高温环境而导致性能劣化。
- 4.10 施工过程应实行严格的质量控制，贯彻工序自检、互检和交接检的“三检”制度，并形成书面记录。
- 4.11 装配式 FRP 筋混凝土结构的施工测量与控制，应建立从构件生产到现场安装全过程的统一测量控制系统，保证构件安装的精准就位。
- 4.12 预制构件安装前，应对其外观质量、尺寸偏差、预留预埋等进行复核，清理结合面的浮浆和杂物，并做好安装定位线。
- 4.13 构件安装就位后，应及时采取临时支撑和固定措施，确保构件在连接节点达到设计规定强度前的稳定性和安全性。临时支撑的拆除时间与顺序应符合设计要求及专项施工方案的规定。
- 4.14 装配式结构的各类连接节点施工是质量控制的重点。钢筋套筒灌浆连接、浆锚搭接连接、后浇混凝土等连接方式，必须严格按照设计要求和工艺标准进行操作，并确保其密实度与强度。
- 4.15 对于预应力 FRP 筋混凝土结构，预应力施工必须由专业队伍进行。张拉设备应定期标定，张拉应力与伸长值应实行双控，并做好详实的张拉记录。
- 4.16 装配式 FRP 筋混凝土结构的验收应划分为单位工程、分部工程、分项工程和检验批。其验收程序、组织及合格标准应符合 GB 50300 的规定。
- 4.17 检验批的质量验收应包括实物检查和资料检查。实物检查主要针对构件安装、连接质量、外观尺寸等；资料检查则应核查原材料、构件的合格证、复验报告、施工记录、隐蔽工程验收记录等文件的完整性与符合性。
- 4.18 当施工质量不符合设计要求或规范规定时，应立即停止后续工序，进行分析处理。经返工、返修或更换构件的工程，应重新进行验收。若经设计单位认可或法定检测机构鉴定能够满足结构安全和使用功能的，可予以验收。

5 材料要求

5.1 一般要求

- 5.1.1 装配式建筑房屋的复合材料（FRP）筋混凝土构件中，其纵向 FRP 筋材可选用玻璃纤维（GFRP）、碳纤维（CFRP）、芳纶纤维（AFRP）或玄武岩纤维（BFRP）筋。
- 5.1.2 对于采用预应力的 FRP 筋混凝土构件，其纵向受力筋的选用应符合下列规定：
- 预应力主筋推荐采用碳纤维（CFRP）筋或芳纶纤维（AFRP）筋。
 - 非预应力筋的选用应根据使用环境确定：
 - 处于一般大气环境及无盐冻融环境时，可选用普通钢筋、GFRP筋、CFRP筋、AFRP筋或BFRP筋。
 - 处于除冰盐环境、近海或海洋环境、盐结晶环境、工业大气污染环境及其他化学腐蚀环境时，非预应力筋宜优先选用环氧涂层钢筋、不锈钢钢筋、GFRP筋、CFRP筋、AFRP筋或BFRP筋。
- 5.1.3 构件的横向 FRP 受力筋可选用 GFRP 筋、CFRP 筋、AFRP 筋或 BFRP 筋。。

5.2 FRP 筋材

- 5.2.1 GFRP 筋所采用的玻璃纤维应为高强度型,且必须为含碱量低于 0.8%的无碱玻璃纤维或耐碱玻璃纤维。严禁使用中碱及高碱玻璃纤维。
- 5.2.2 FRP 筋中纤维的体积含量不应低于 60%。
- 5.2.3 FRP 筋材的强度标准值应具有不低于 95%的保证率,其弹性模量与断裂伸长率指标可取平均值。FRP 筋的主要力学性能指标应符合本文件表 1 的规定。

表 1 主要力学性能指标

FRP筋类型	抗拉强度标准值 (N/mm ²)		弹性模量 (N/mm ²)	伸长率 (%)
CFRP筋	≥1 800		≥1.4×10 ⁵	≥1.5
AFRP筋	≥1 300		≥6.5×10 ⁴	≥2.0
GFRP筋	d≤10 mm	≥700	≥4.5×10 ⁴	≥2.0
	22 mm≥d>10 mm	≥600		≥1.8
	d>22 mm	≥500		≥1.5
BFRP筋	d≤ 10 mm	≥1 300	≥5.0×10 ⁴	≥2.6
	22 mm≥d>10 mm	≥1 000		≥2.0
	d>22 mm	≥800		≥1.6

- 5.2.4 非预应力 FRP 筋与预应力 FRP 筋的抗拉强度设计值应依据公式进行计算确定。

5.3 混凝土与钢筋

- 5.3.1 装配式 FRP 筋混凝土构件的混凝土,除应满足设计强度等级要求外,其配合比设计尚应充分考虑预制生产的特点,满足早期强度、工作性及耐久性的要求。
 - 用于普通 FRP 筋预制构件的混凝土,其强度等级不应低于 C30,并宜采用流动性好的混凝土拌合物。
 - 用于预应力 FRP 筋预制构件的混凝土,其强度等级不应低于 C40,且浇筑时入模坍落度不宜过大,以减少泌水和收缩。
- 5.3.2 预制构件中与 FRP 筋共同使用的普通钢筋,其选用应符合下列规定:
 - 宜优先采用延性好、焊接性能稳定的 HRB400、HRB500 级热轧带肋钢筋。
 - 用于构件连接、吊装用内埋式金属螺母、吊钉及配套锚筋等预埋件的钢材,其性能应符合设计及相关产品标准的规定。
- 5.3.3 处于腐蚀环境的预制构件,当设计采用环氧涂层钢筋时,其运输、绑扎及混凝土浇筑过程中应采取有效措施,防止对涂层造成损伤。
- 5.3.4 预制构件中采用不锈钢钢筋时,其力学性能、耐腐蚀性能应符合 GB/T 33959 的规定,并应注意与其他材料接触时的电化学隔离措施。

5.4 预应力锚固系统

- 5.4.1 用于预制预应力 FRP 筋混凝土构件的锚固系统,其选型与设计应遵循安全可靠、与预制生产工艺相适配的原则。
 - 锚具型式应根据 FRP 筋的材质、表面形态、张拉控制应力及构件类型综合确定,可选用夹片式、粘结式或复合式锚具。
 - 锚具系统的设计应着重考虑降低 FRP 筋在锚固区的应力集中,可采用应力缓和锚固等构造措施。
 - 锚具系统应满足预制构件在脱模、堆放、运输及安装等工况下的耐久性要求。
- 5.4.2 锚具、夹具及连接器的性能应符合 GB/T 14370 和 JGJ 85 关于静载锚固性能、疲劳性能等的有关规定。用于有抗震要求的预制构件时,其锚固系统尚应满足低周反复荷载下的性能要求。
- 5.4.3 在预制构件生产前,应对采用的预应力 FRP 筋-锚具组装件进行工艺性试验验证,确认其张拉锚固过程的可靠性与稳定性。锚固区在构件中的位置应准确,混凝土应浇筑密实。

6 设计规定

6.1 一般规定

- 6.1.1 装配式 FRP 筋混凝土结构的安全等级与设计使用年限，应符合 GB 50153 的有关规定，并应与建筑主体的设计使用年限相协调。
- 6.1.2 预应力 FRP 筋混凝土结构设计时，应计入预应力效应。对于超静定结构，由预应力引起的次内力应参与荷载效应组合计算。
- 6.1.3 在不同设计状况下进行作用效应组合时，预应力作用的分项系数取值应符合下列规定：
- 在承载能力极限状态计算中，当预应力作用效应对结构有利时，其分项系数应取 1.0；当不利时，应取 1.2。
 - 在正常使用极限状态验算中，预应力作用的分项系数宜取 1.0。

6.2 承载能力极限状态计算

- 6.2.1 装配式 FRP 筋混凝土结构及其构件的承载能力极限状态设计应包含下列内容：
- 各类结构构件均应进行承载力计算，必要时尚需进行稳定性验算。
 - 对于直接承受多次重复荷载的构件，应进行疲劳承载力验算。
 - 位于抗震设防地区的结构，应进行结构构件的抗震承载力计算。
 - 必要时，应对整体结构或其部分进行抗倾覆、抗滑移及抗漂浮验算。
 - 对可能遭受偶然作用且需防止发生连续性倒塌的重要结构部位，宜进行相应的防连续倒塌设计。
- 6.2.2 装配式 FRP 筋混凝土结构构件的承载力设计，应采用荷载基本组合效应设计值进行，并应符合规定的极限状态设计表达式要求。

6.3 正常使用极限状态验算

- 6.3.1 装配式 FRP 筋混凝土结构构件应根据其使用功能、所处环境及外观质量控制要求，进行下列验算：
- 构件的挠度变形；
 - 受力裂缝宽度；
 - 混凝土的拉应力；
 - FRP 受拉筋的应力。
- 6.3.2 正常使用极限状态的验算，应根据不同的验算目的，分别采用荷载的标准组合、准永久组合或频遇组合，并考虑荷载长期作用的影响，按规定的极限状态设计表达式进行。
- 6.3.3 装配式受弯构件的挠度验算应符合下列规定：
- 普通 FRP 筋混凝土受弯构件的最大挠度，应按荷载准永久组合并考虑长期作用影响进行计算。
 - 预应力 FRP 筋混凝土受弯构件的最大挠度，应按荷载标准组合并考虑长期作用影响进行计算。
- 注：计算得到的挠度值不应超过现行混凝土结构设计规范所规定的限值。
- 6.3.4 装配式 FRP 筋混凝土构件正截面的裂缝控制等级划分为三级，其具体划分标准及控制要求应符合现行混凝土结构设计规范的有关规定。
- 6.3.5 裂缝宽度控制应符合下列规定：
- 对于允许出现裂缝的普通 FRP 筋混凝土构件，按荷载准永久组合并考虑长期作用影响计算的最大裂缝宽度，不应超过本文件表 2 规定的限值 ω_{lim} 。
 - 对于允许出现裂缝的预应力 FRP 筋混凝土构件，按荷载标准组合并考虑长期作用影响计算的最大裂缝宽度，不应超过本文件表 2 规定的限值 ω_{lim} 。
 - 对于二 a 类环境下的预应力 FRP 筋混凝土构件，尚需按荷载准永久组合进行验算，且其受拉边缘混凝土的拉应力不应超过混凝土抗拉强度标准值。

表 2 结构构件的最大裂缝宽度限值 ω_{lim}

结构类型	非预应力筋类型	环境类别			
		一	二a	二b	三a、三b
普通FRP筋混凝土结构	—	0.50 mm			
预应力FRP筋	FRP筋	0.50 mm			

结构类型	非预应力筋类型	环境类别			
		一	二a	二b	三a、三b
混凝土结构	普通钢筋	0.20 mm	0.1 mm	—	—
	环氧涂层钢筋	0.20 mm			
	不锈钢钢筋	0.20 mm			

注：环境类别符合GB/T 50010的有关规定。

7 施工及验收

7.1 一般规定

7.1.1 装配式 FRP 筋混凝土结构的施工，除应执行本文件外，尚应符合现行 GB 50666 及 JGJ 1 等相关标准的规定。

7.1.2 装配式 FRP 筋混凝土结构的质量验收，除应执行本文件外，尚应符合 GB 50204 及 GB 50300 的规定。

7.1.3 FRP 筋材料进场时，应进行进场验收，并应符合下列规定：

- 应对其外观、规格、型号及数量进行核查。FRP 筋应平直、无肉眼可见的裂纹、机械损伤，表面不得有油渍、泥污等影响粘结的污染物。
- 应按国家现行相关产品标准及设计要求的检验批次，抽样复验其力学性能，检验项目应包括抗拉强度、弹性模量及极限拉应变。
- FRP 箍筋除应进行力学性能检验外，其几何尺寸，特别是弯钩的弯折半径与平直段长度，必须符合本文件第 7.5.1 条的构造规定。

7.1.4 FRP 筋的包装、运输与贮存管理应符合下列规定：

- 不同规格、型号与等级的 FRP 筋应有清晰、不易脱落的标志，预应力 FRP 筋的标记应具有更高的耐久性。
- FRP 筋产品应采用能有效防止磨损、刮伤的材料进行包装。在运输与吊装过程中，应采取支垫、捆绑等有效措施，防止筋材产生过大的弯曲、扭曲或与硬物碰撞。
- 贮存场地应平整、坚实、通风良好。FRP 筋应架空存放，严禁直接接触地面，支撑垫块应无化学腐蚀性。
- FRP 筋应按类别、规格分别码放，并应采取遮雨、遮阳等全天候防护措施，避免长期暴露于紫外线辐射下。贮存环境温度不宜超过 60 ℃。

7.2 FRP 筋的安装与验收

7.2.1 FRP 筋的加工应符合下列规定：

- FRP 筋不宜在现场进行截断。当确需截断时，必须使用专用切割工具，推荐采用转速不低于 600 r/min 的金刚石砂轮片切割机，切割过程中应采取措施防止 FRP 筋因过热或挤压产生劈裂、分层等损伤。
- 严禁采用电弧焊、气焊等热熔方式对 FRP 筋进行切割或焊接。

7.2.2 FRP 筋的绑扎安装应符合下列规定：

- 绑扎应采用耐腐蚀的柔性材料，如塑料扎带或尼龙扣件。绑扎应牢固，确保在混凝土浇筑过程中不发生移位和松动。
- 对于截面高度较大的梁、墙板等构件，应采取设置专用定位支架、下拉筋等有效措施，防止 FRP 筋骨架在混凝土浇筑时上浮。
- 施工过程中，严禁操作人员直接踩踏已安装完成的 FRP 筋骨架构件，也不得将其作为支撑点悬挂重物或设施。

7.2.3 FRP 筋的连接与搭接应符合设计要求。同一根受力 FRP 筋上不得设置两个及以上的接头。接头末端至钢筋弯起点的距离不应小于 FRP 筋公称直径的 10 倍。

7.2.4 对于暴露于大气环境中的体外预应力 FRP 筋，其防护系统施工应符合设计要求，防护材料应完整、连续、耐久，并应能有效抵御紫外线老化及外界环境侵蚀。

7.2.5 在浇筑混凝土前，应组织进行 FRP 筋工程的隐蔽验收，验收内容应包括：

- 纵向受力 FRP 筋的品种、级别、规格、数量及安装位置。

- FRP 筋的连接方式、接头位置、接头质量、接头面积百分率及搭接长度。
- FRP 筋的锚固方式与锚固长度。
- FRP 箍筋及横向钢筋的品种、级别、规格、数量、间距，以及箍筋弯钩的弯折角度、半径与平直段长度。
- 预埋成孔管道的定位、固定、连接及密封状况，灌浆孔、排气孔的通畅性。

7.2.6 FRP 筋安装位置的允许偏差应符合本文件表 3 的规定。

表 3 FRP 筋安装允许偏差

序号	检查项目		允许偏差（mm）
1	绑扎 FRP 筋网尺寸	长度、宽度	±10
		网眼尺寸	±20
2	FRP 筋骨架外轮廓尺寸	长度	±10
		宽度、高度或直径	±5
3	纵向受力 FRP 筋	锚固长度	-20
		间距	±10
		排距	±5
4	箍筋、分布筋间距		±10
5	保护层厚度	柱、梁	±5
		基础、墩台	±10
		板	±3

7.3 预应力 FRP 筋的张拉与锚固

- 7.3.1 预应力 FRP 筋用锚具、夹具和连接器系统进场时，其技术性能指标应符合 JGJ 85 的规定，并提供有效的型式检验报告和出厂合格证。
- 7.3.2 预应力 FRP 筋的下料长度应通过计算确定，计算时应综合考虑构件孔道长度、锚具厚度、千斤顶工作长度、张拉伸长值及施工工艺等因素。
- 7.3.3 对 FRP 筋施加预应力时，同条件养护的混凝土试块强度及弹性模量必须达到设计规定值。当设计无具体要求时，混凝土强度不应低于设计强度等级值的 80%，弹性模量不应低于其 28 d 弹性模量的 80%。
- 7.3.4 采用应力控制方法张拉时，应校核预应力 FRP 筋的伸长值。实测伸长值与理论计算伸长值的相对偏差应控制在±6%以内。若超出此范围，应暂停张拉，查明原因并采取措施予以调整后后方可继续张拉。
- 7.3.5 张拉与放张作业必须制定专项安全方案。张拉区域应设置明显的安全警示标识，张拉过程中，严禁任何人员站在预应力筋两端正前方或穿越张拉操作区域。
- 7.3.6 在已安装预应力 FRP 筋的结构构件附近进行焊接或其他热作业时，应对预应力筋、护套及锚具系统采取全面的防护隔离措施，防止焊渣溅落或高温造成损伤。
- 7.3.7 预应力张拉过程质量验收应符合下列规定：
- 张拉设备及仪表必须按规定周期进行检定或校准，并处于有效期内。
 - 张拉程序、张拉力值及张拉顺序必须符合设计要求和专项施工方案的规定。
 - 张拉记录应完整、真实、准确。
 - 张拉控制应力严禁超过 FRP 筋抗拉强度标准值的限定比例。
- 7.3.8 先张法预应力构件放张后，实际建立的预应力总值与设计规定检验值的相对允许偏差为±6%。
- 7.3.9 体外预应力及无粘结预应力 FRP 筋混凝土结构的施工与验收，尚应符合 JGJ 92 的有关规定。

7.4 混凝土浇筑与养护

- 7.4.1 在混凝土浇筑前，应组织进行模板、预埋系统及 FRP 筋工程的综合验收。确认符合设计要求后，方可签署隐蔽工程验收记录。验收重点应包括：
- 模板支撑的稳定性；
 - FRP 筋、锚具、预应力管道；

- 各类预埋件的规格、数量、位置、固定状况、保护层厚度；
- 灌浆孔、排气孔的畅通性。

7.4.2 浇筑时，应确保 FRP 筋、预应力孔道及锚固区表面清洁，无新沾染的泥浆、油污、脱模剂等影响粘结或传递预应力的污染物。

7.4.3 混凝土的浇筑应连续进行，并应严格控制其浇筑顺序与浇筑速度，避免对 FRP 筋骨架构件产生不对称冲击。对于预应力构件，宜从构件中部向两端对称均匀下料。

7.4.4 混凝土的振捣应密实，尤其应保证锚固区、筋材密集区的浇筑质量。使用插入式振捣器时，应遵循“快插慢拔”的原则，垂直插入，避免振捣棒直接接触和挤压 FRP 筋、预应力管道、锚垫板及预埋件，防止因扰动导致其移位、变形或损坏。严禁利用 FRP 筋作为振捣的传导媒介。

7.4.5 在混凝土初凝前，宜采用木抹对构件表面进行二次抹压，以封闭表面塑性收缩裂缝。对于采用清水混凝土饰面的预制构件，其浇筑与表面处理工艺应满足专项技术方案的要求。

7.4.6 混凝土浇筑完成后，应及时采取覆盖、洒水或喷涂养护剂等有效措施进行保湿养护。养护时间与措施应符合 GB 50666 的规定，并应保证混凝土强度正常增长，防止早期开裂。对于预应力构件，在预应力张拉前，必须保证充分的养护。

7.5 装配式构件连接与后张法灌浆

7.5.1 采用 FRP 筋的预制构件在安装就位后，其节点连接与接缝施工应符合设计及专项施工方案的要求。连接区域的 FRP 筋搭接、锚固长度及构造必须严格按设计执行。

7.5.2 对于后张法有粘结预应力 FRP 筋体系，其孔道灌浆施工应符合下列规定：

- 灌浆料应具备流动性好、微膨胀、高强、早强及对 FRP 筋无腐蚀性等技术特性，其性能指标应符合现行相关标准的规定。
- 灌浆应在预应力筋张拉后尽早进行，以防止预应力筋锈蚀和预应力松弛。
- 灌浆前，应全面检查孔道及灌浆、排气系统的密封性。可采用压缩空气清除孔道内可能存在的积水和杂物。
- 灌浆应从孔道最低点的灌浆孔压入，由最高点的排气孔排出。当排出的浆体流动度与进口处一致时，方可封闭排气孔。灌浆应缓慢、均匀、连续进行，不得中断，并应保证孔道内密实充盈。
- 灌浆完成后，应及时对灌浆孔、排气孔进行封堵处理。在灌浆料强度达到规定值前，所有预应力构件不得承受外部荷载或进行扰动。

7.6 质量验收

7.6.1 FRP 筋混凝土结构的质量验收应划分为单位工程、分部工程、分项工程和检验批。其划分原则应符合 GB 50300 的规定。

7.6.2 FRP 筋分项工程的验收，应重点对以下内容进行核查：

- 主控项目：
 - FRP 筋的品种、规格、级别和数量必须符合设计要求。
 - FRP 筋的力学性能复验结果必须符合国家现行产品标准及设计要求。
 - FRP 筋的安装位置、保护层厚度及锚固长度必须符合设计规定。
 - 预应力 FRP 筋的张拉力、张拉顺序及工艺必须符合设计和施工方案要求。
 - 后张法孔道灌浆的密实度及灌浆料强度必须符合设计要求。
- 一般项目：
 - FRP 筋应平直、无损，表面洁净。
 - FRP 筋绑扎、安装的允许偏差应符合本文件表3的规定。
 - 箍筋弯钩的弯折半径与平直段长度应符合规范要求。

7.6.3 对于装配式结构，其预制构件连接节点的施工质量验收应作为重中之重。应核查连接件的数量、位置、紧固力矩，以及接缝处灌浆或现浇混凝土的密实度。

7.6.4 工程实体质量检测可包括以下内容：

- 采用无损或局部破损方法检测关键部位混凝土的强度。
- 采用雷达仪或钢筋扫描仪等设备，对重要构件的 FRP 筋位置、保护层厚度进行抽查验证。

——对预应力体系，可依据工程重要性进行孔道灌浆密实度专项检测。

7.6.5 施工验收资料应完整、准确、有效，必须包含但不限于：

- FRP 筋及锚具系统的质量证明文件、复验报告；
 - 张拉记录与灌浆记录；隐蔽工程验收记录；
 - 装配式构件吊装与连接记录；以及混凝土强度评定报告等。
-