
干式连接全装配式低多层混凝土结构技术 规程

（征求意见稿）

2026—××—××发布

2026—××—××实施

中国建筑学会

发布

前 言

本标准编制过程中，分析了我国装配式混凝土结构技术路径和特点，面向低多层居住建筑，提出了干式连接全装配式混凝土结构技术。为保证该技术的质量与安全，特制订本标准。

本标准共 9 章，主要技术内容包括：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 材料；5 建筑设计；6 结构设计；7 生产运输；8 施工安装；9 质量验收。

本标准由上海安逸成品建筑科技有限公司、安徽研砼建筑科技有限公司提出并归口，在执行过程中如有意见或建议，请反馈至上海安逸成品建筑科技有限公司（地址：×××；邮政编码：×××）。

本标准起草单位：上海安逸成品建筑科技有限公司、安徽研砼建筑科技有限公司、东南大学、南京工业大学、南京长江都市建筑设计股份有限公司……

本标准主要起草人：

本标准主要审查人：

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	4
4	材料	5
4.1	混凝土、钢筋和钢材	5
4.2	连接材料	5
4.3	其他材料	6
5	建筑设计	7
5.1	一般规定	7
5.2	平面、立面设计	7
5.3	建筑构造设计	8
6	结构设计	9
6.1	一般规定	9
6.2	结构分析	10
6.3	预制构件设计	11
6.4	连接设计	12
7	生产运输	19
8	施工安装	20
9	质量验收	21
	本规程用词说明	23
	引用标准名录	24

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	2
4	Materials	3
	4.1 Concrete、Reinforcing Bar and Steel	4
	4.2 Connection Materials	5
	4.3 Other Materials	5
5	Architecture Design.....	5
	5.1 General Requirements.....	6
	5.2 Plan Elevation and Façade Design	7
	5.3 Configuration Design.....	7
6	Structural Design.....	9
	6.1 General Requirements.....	9
	6.2 Structural Analysis.....	10
	6.3 Precast Component Design	11
	6.4 Connection Design.....	12
7	Production and Transportation	17
8	Construction and Erection.....	18
9	Quality Acceptance.....	19
	Explanation of Wording in This Standard	21
	List of Quoted Standards	22
	Addition: Explanation of Provisions	23

1 总 则

1.0.1 为规范干式连接全装配式低多层混凝土结构技术的设计、生产、施工与验收，做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度不超过 8 度（0.2g）的居住建筑干式连接全装配式低多层混凝土结构的设计、生产、施工及验收。

1.0.3 干式连接全装配式低多层混凝土结构的设计、生产、施工与验收除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 干式连接全装配式低多层混凝土结构 dry jointed fully assembled multi-storey concrete structures

由全预制单肢或多肢薄肢钢筋混凝土柱、全预制薄腹钢筋混凝土梁、全预制楼板等主体结构预制构件构成，上、下层全预制单肢或多肢薄肢钢筋混凝土柱通过钢筋套筒灌浆连接或钢筋浆锚连接，全预制单肢或多肢薄肢钢筋混凝土柱、全预制薄腹钢筋混凝土梁、全预制楼板之间通过干法连接件螺栓连接而成的整体结构，简称干式连接低多层结构。

2.1.2 全预制单肢或多肢薄肢钢筋混凝土柱 fully prefabricated single-limb or multi-limb thin-walled reinforced concrete columns

工厂或现场预制的一字形、L形、T形或十字形截面的单肢或多肢薄肢钢筋混凝土柱，简称全预制柱。

2.1.3 全预制薄腹钢筋混凝土梁 fully precast concrete beams

工厂或现场预制的矩形截面薄腹钢筋混凝土梁，简称全预制梁。

2.1.4 全预制楼板 fully precast concrete slabs

工厂或现场预制的钢筋混凝土楼板。

2.1.5 预制牛腿 precast concrete corbels

全预制柱与全预制梁连接的节点部位和全预制柱、全预制梁与全预制楼板连接部位留设的，便于全预制梁和全预制板搁置及连接的牛腿部件，简称预制牛腿。

2.1.6 干法连接件 dry connectors

为实现全预制柱、全预制梁与全预制楼板之间的螺栓连接，而在预制构件连接部位埋设的由开设螺栓连接孔的端板及锚固钢筋构成的连接件装置，简称干法连接件。干法连接件根据所连接预制构件的不同，又分为梁用干法连接件和板用干法连接件。

2.1.7 干式连接 dry joints

全预制构件连接节点部位设置成对干法连接件或一侧预埋套筒、一侧干法连接件，并通过螺栓连接而形成的干式连接。

2.1.8 预制梁柱节点 precast concrete beam-column joint

工厂预制的带预制牛腿的预制梁柱节点。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

γ_0	——	结构重要性系数，安全等级为一级时不应小于 1.1，安全等级为二级时不应小于 1.0；
V_{jd}	——	持久设计状况和短暂设计状况下接缝剪力设计值(N)；
V_{jdE}	——	地震设计状况下接缝剪力设计值(N)；
V_u	——	持久设计状况和短暂设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值(N)；
V_{uE}	——	地震设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值(N)；
V_{mua}	——	被连接构件端部按实配钢筋面积计算的斜截面受剪承载力设计值(N)；
γ_{RE}	——	接缝受剪承载力抗震调整系数；
η_j	——	接缝受剪承载力增大系数。

2.2.2 计算系数

γ_0	——	结构重要性系数；
γ_{RE}	——	接缝受剪承载力抗震调整系数；
η_j	——	接缝受剪承载力增大系数。

3 基本规定

3.0.1 干式连接低多层结构建筑应采用系统集成的方法统筹设计、生产运输、施工安装、运维环节，加强建筑、结构、设备、装修等专业之间的配合，实现全过程、全专业协同的一体化、集成化设计。

3.0.2 干式连接低多层结构建筑设计应按照通用化、模数化、标准化的要求，以少规格、多组合的原则，实现建筑及部品部件的系列化和多样化。

3.0.3 预制构件及其连接节点应受力明确、构造简单，并应满足安全、舒适和耐久要求。

3.0.4 预制构件的工厂化生产应建立完善的生产质量管理体系，设置产品标识，提高生产精度，保障产品质量。

3.0.5 干式连接低多层结构建筑应协调建设、设计、制作、施工各方之间的关系，制定相互协同的施工组织方案，并应采用装配式施工，保证工程质量，提高劳动效率。

3.0.6 干式连接低多层结构建筑应实现全装修，并宜采用装配化装修，内装系统应与结构系统、外围护系统、设备与管线系统一体化设计建造。

4 材 料

4.1 混凝土、钢筋和钢材

4.1.1 混凝土、钢筋和钢材的性能要求应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计标准》GB 50017 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 等的有关规定。

4.1.2 预制构件的混凝土强度等级不宜低于 C30。

4.1.3 钢筋的选用应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。普通钢筋采用套筒灌浆连接和浆锚搭接连接时，钢筋应采用热轧带肋钢筋。

4.2 连接材料

4.2.1 干法连接件的端板、锚固钢筋的性能要求应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。干法连接件的锚固钢筋宜采用 HRB400 及以上热轧带肋钢筋。

4.2.2 干式连接宜采用 8.8 级及以上承压型连接高强度螺栓，其性能要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

4.2.3 干式连接用钢筋套筒的性能要求应符合现行行业标准《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163 的有关规定，连接钢筋宜采用 HRB400 及以上热轧带肋钢筋。

4.2.4 全预制构件底部坐浆材料、梁柱节点接缝灌缝材料、角部连接钢筋灌缝材料、干法连接件封堵材料等均应采用水泥基灌浆料，其性能要求应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 的有关规定，且其抗压强度不应低于预制构件混凝土抗压强度。

4.2.5 钢筋套筒灌浆连接接头采用的套筒应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆套筒》JG/T 398 的有关规定，采用的灌浆料应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 的有关规定。

4.2.6 钢筋浆锚连接接头采用的镀锌金属波纹管应符合现行行业标准《预应力混凝土金属波纹管》JG 225 的有关规定，采用的水泥基灌浆料应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定。

4.3 其他材料

4.3.1 预制构件的吊环应采用未经冷加工的 HPB300 级钢筋制作。吊装用内埋式螺母或吊杆的材料应符合国家现行相关标准的规定。

4.3.2 外露接缝密封材料应选用与混凝土相容、具备规定的抗剪切和伸缩变形能力及防霉、防水、防火、耐候等性能的密封胶，其除应满足设计要求外，尚应符合国家现行标准《建筑密封胶分级和要求》GB/T 22083、《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T 881、《硅酮建筑密封胶》GB/T 14683、《聚氨酯建筑密封胶》JC/T 482、《聚硫建筑密封胶》JC/T 483 等的有关规定。接缝处填充用保温材料的燃烧性能应满足国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624-2012 中 A 级的要求。

4.3.3 干式连接低多层结构建筑采用的室内装修材料应符合现行国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB 50325 和《建筑内部装修设计防火规范》GB 50222 的有关规定。

4.3.4 预制构件施工用临时支撑宜选用轻质、高强、耐用的材料，选用材料的技术指标应符合国家现行有关标准的规定，连接件宜选用标准定型产品。

5 建筑设计

5.1 一般规定

5.1.1 干式连接低多层结构建筑应满足建筑全寿命期的使用维护要求，宜采用管线分离的方式。

5.1.2 干式连接低多层结构建筑设计应符合现行国家标准《建筑模数协调标准》GB/T 50002 的有关规定。

5.1.3 干式连接低多层结构建筑的围护结构以及楼梯、阳台、隔墙、空调板、管道井等配套构件、室内装修材料宜采用工业化、标准化产品。

5.1.4 干式连接低多层结构建筑的体形系数、窗墙面积比、围护结构的热工性能等应符合节能要求。

5.1.5 干式连接低多层结构建筑的部品部件应采用标准化接口。

5.2 平面、立面设计

5.2.1 干式连接低多层结构建筑平面设计应符合下列规定：

- 1 应采用大开间大进深、空间灵活可变的布置方式；
- 2 平面布置应规则，柱宜上下对齐贯通，门窗洞口宜上下对齐、成列布置；
- 3 设备与管线宜集中设置，并应进行管线综合设计；
- 4 厨房和卫生间的平面布置应合理，其平面尺寸宜满足标准化整体橱柜及整体卫浴的要求。

5.2.2 干式连接低多层结构建筑立面设计应符合下列规定：

- 1 外墙、阳台板、空调板、外窗、遮阳设施及装饰等部品部件宜进行标准化设计；
- 2 宜通过建筑体量、材质肌理、色彩等变化，形成丰富多样的立面效果；
- 3 外墙装饰面层宜采用清水混凝土、装饰混凝土、免抹灰涂料和反打面砖等耐久性强的建筑材料。

5.2.3 干式连接低多层结构建筑应根据建筑功能、主体结构、设备管线及装修等要求，确定合理的层高及净高尺寸。

5.3 建筑构造设计

5.3.1 外墙接缝及门窗洞口等防水薄弱部位宜采用材料防水和构造防水相结合的做法，并应符合下列规定：

- 1 墙板水平接缝宜采用高低缝或企口缝构造；
- 2 墙板竖缝可采用平口或槽口构造；
- 3 当板缝空腔需设置导水管排水时，板缝内侧应增设气密条密封构造。

5.3.2 内隔墙宜采用蒸压加气混凝土条板、钢筋陶粒混凝土墙板、GRC 轻质隔墙板等，并应符合国家现行标准《蒸压加气混凝土板》GB/T 15762、《钢筋陶粒混凝土轻质墙板》JC/T 2214、《玻璃纤维增强水泥轻质多孔隔墙条板》GB/T 19631 的有关规定。

5.3.3 门窗应采用标准化部件，并宜采用缺口、预留副框或预埋件等方法与墙体可靠连接。

5.3.4 空调板宜集中布置，并宜与阳台合并设置。

5.3.5 女儿墙板内侧在要求的泛水高度处应设凹槽、挑檐或其他泛水收头等构造。

5.3.6 干式连接低多层结构建筑宜采用同层排水设计，并结合房间净高、楼板跨度、设备管线等因素确定降板方案。

5.3.7 设备管线宜与预制构件上的预埋件可靠连接，穿过楼板的部位，应采取防水、防火、隔声等措施。

5.3.8 当采用地面辐射供暖时，地面和楼板的设计应符合现行行业标准《地面辐射供暖技术规程》JGJ 142 的有关规定。

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 干式连接低多层结构布置应简单、规则、均匀、对称，符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定，不应采用严重不规则的结构，并应符合下列要求：

- 1 应具有必要的承载力、刚度和良好的延性；
- 2 结构的竖向和水平布置应具有合理的刚度和承载力分布，应避免局部突变和扭转效应而形成薄弱部位，对可能出现的薄弱部位应采取措施予以加强；
- 3 结构在两个主轴方向的动力特性宜相近。

6.1.2 干式连接低多层结构房屋最大适用高度应满足表 6.1.2 的要求，当超过表内高度限制时，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施。

表 6.1.2 干式连接低多层结构房屋最大适用高度

抗震设防烈度	6 度	7 度		8 度
	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g
最大适用高度 (m)	18	15	12	6

注：房屋高度指室外地面到主要屋面的高度，不包括局部突出屋顶的部分。

6.1.3 干式连接低多层结构的高宽比不宜超过表 6.1.3 的数值。

表 6.1.3 干式连接低多层结构适用的最大高宽比

抗震设防烈度	6 度	7 度		8 度
	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g
最大高宽比	3.5	3	2.5	2.0

6.1.4 干式连接低多层结构构件的抗震设计，应根据抗震设防烈度、建筑场地类别和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。丙类装配整体式混凝土结构的抗震等级应按表 6.1.4 确定。其他抗震设防类别和特殊场地类别下的建筑应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 中对抗震措施进行调整的规定。

表 6.1.4 丙类干式连接低多层结构的抗震等级

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度
抗震等级	四	三	二

6.1.5 干式连接低多层结构构件及节点应进行承载能力极限状态与正常使用极限

状态设计，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计标准》GB 50017 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 等的有关规定。

6.1.6 抗震设计时，构件及节点的承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应按表 6.1.6 采用；当仅考虑竖向地震作用组合时，承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应取 1.0。干法连接件及预埋套筒的锚固钢筋截面计算的承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应取为 1.0。

表 6.1.6 构件及节点承载力抗震调整系数 γ_{RE}

结构构件 类别	正截面承载力计算				斜截面承载力计算	接缝受剪承载力计算
	受弯构件	偏心受压柱		偏心受拉构件	各类构件及节点	
		轴压比小于 0.15	轴压比不小于 0.15			
γ_{RE}	0.75	0.75	0.80	0.85	0.85	0.85

6.1.7 干式连接低多层结构的作用及作用组合应根据国家现行标准《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《混凝土结构通用规范》GB 55008、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 等确定。

6.2 结构分析

6.2.1 干式连接低多层结构的内力和变形分析中，多遇地震作用下可采用弹性分析方法，设防烈度地震及罕遇地震作用下，可根据抗震性能目标及结构实际受力状态采用弹性分析方法或弹塑性分析方法。弹塑性分析时，宜根据节点和接缝在受力全过程中的特性进行节点和接缝的模拟。材料的非线性行为可根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定，节点和接缝的非线性行为可根据试验或有限元分析结果确定。

6.2.2 干式连接低多层结构内力和变形分析时，应根据全预制楼板与全预制梁及全预制柱之间的接缝构造，采用刚性楼盖或弹性楼盖假定，且不宜考虑楼板对全预制梁的刚度增大效应。

6.2.3 干式连接低多层结构在多遇地震作用下的内力和变形分析时，结构阻尼比可取 0.04。

6.2.4 干式连接低多层结构内力和变形计算时，应计入填充墙对结构刚度的影响。

当采用轻质墙板填充墙时，可采用周期折减的方法考虑其对结构刚度的影响，周期折减系数可取 0.7~0.9。

6.2.5 干式连接低多层结构采用外挂墙板时，应按下列规定计入外挂墙板的影响：

- 1 应计入支承于主体结构的外挂墙板的自重；
- 2 当外挂墙板相对于其支承构件有偏心时，应计入外挂墙板重力荷载偏心产生的不利影响；
- 3 采用点支承与主体结构相连的外挂墙板，连接节点具有适应主体结构变形的能力时，可不计入其刚度影响；
- 4 采用线支承与主体结构相连的外挂墙板，应根据刚度等代原则计入其刚度影响，但不得考虑外挂墙板的有利影响。

6.2.6 干式连接低多层结构应分别进行风荷载或多遇地震作用下的结构楼层弹性层间位移验算及罕遇地震作用下的结构薄弱层（部位）弹塑性层间位移验算，弹性层间位移角限值取 1/450，弹塑性层间位移角限值取 1/50。

6.2.7 干式连接低多层结构内力和变形计算时，宜按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定考虑结构重力二阶效应的影响，可不考虑构件的扭曲变形。

6.3 预制构件设计

6.3.1 预制构件设计应符合下列规定：

- 1 预制构件的设计应满足标准化的要求，宜采用建筑信息化模型(BIM)技术进行一体化设计，确保预制构件的钢筋与预留洞口、预埋件等相协调，简化预制构件连接节点施工；
- 2 预制构件的形状、尺寸、重量等应满足制作、运输、安装各环节的要求；
- 3 预制构件的配筋设计应便于工厂化生产和现场连接。

6.3.2 全预制柱截面形状可以设计为一字形、L 形、T 形或十字形，并宜采用等肢对称截面。当设计为不等肢截面时，不同肢高比不宜超过 1.6，肢厚相差不大于 50mm。

全预制柱可视具体情况按结构层高整层预制，当楼面梁较多、节点钢筋布置复杂时，宜采用柱身及梁柱节点分别预制的设计方案。

6.3.3 全预制柱剪跨比宜大于 2，轴压比不宜大于表 6.3.3 规定的限值。

表 6.3.3 全预制柱的轴压比限值

截面形式	抗震等级		
	二级	三级	四级
一字形 ¹	0.60	0.60	0.70
L 形、Z 形 ²	0.50	0.60	0.70
T 形 ²	0.55	0.65	0.75
十字形 ²	0.60	0.70	0.80

注：1 一字形截面全预制柱的轴压比按剪力墙计算，其轴压比指在重力荷载代表值作用下柱的轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积的比值。

2 L 形、Z 形、T 形、十字形截面全预制柱的轴压比按框架柱计算，其轴压比指柱地震作用组合的轴向压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值。其轴压比限值的调整，可按《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的有关规定执行。

6.3.4 全预制柱的截面内力计算、截面承载力计算以及配筋设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的有关规定，并应考虑全预制梁或全预制楼板通过预制牛腿产生的竖向偏心荷载的影响。采用钢筋套筒灌浆连接或钢筋浆锚搭接连接的全预制柱，其构件设计与构造尚应符合国家现行标准《装配式混凝土建筑设计标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 等的有关规定。

6.3.5 全预制梁的设计与构造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，并应考虑全预制楼板通过预制牛腿产生的竖向偏心荷载的影响。

6.3.6 预制牛腿应满足全预制梁及全预制楼板的搁置及抗剪承载力要求，其设计与构造可参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行。

6.3.7 全预制楼板的设计与构造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，其板端边界条件应视与全预制梁的连接接缝构造情况，按简支、固支或弹性支座考虑。

6.4 连接设计

6.4.1 干式连接低多层结构的节点及接缝正截面承载力应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。节点及接缝的受剪承载力应符合下列规定：

1 持久设计状况、短暂设计状况

$$\gamma_0 V_{jd} \leq V_u \quad (6.4.1-1)$$

2 地震设计状况

$$V_{jdE} \leq V_{uE} / \gamma_{RE} \quad (6.4.1-2)$$

在梁、柱端部箍筋加密区，尚应符合下式要求：

$$\eta_j V_{mua} \leq V_{uE} \quad (6.4.1-3)$$

式中： γ_0 —— 结构重要性系数，安全等级为一级时不应小于 1.1，安全等级为二级时不应小于 1.0；

V_{jd} —— 持久设计状况和短暂设计状况下接缝剪力设计值(N)；

V_{jdE} —— 地震设计状况下接缝剪力设计值(N)；

V_u —— 持久设计状况和短暂设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值(N)；

V_{uE} —— 地震设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值(N)；

V_{mua} —— 被连接构件端部按实配钢筋面积计算的斜截面受剪承载力设计值(N)；

γ_{RE} —— 接缝受剪承载力抗震调整系数，按本标准第 6.1.6 条确定，此处取 0.85；

η_j —— 接缝受剪承载力增大系数，抗震等级为二级取 1.2，抗震等级为三、四级取 1.1。

6.4.2 干式连接的干法连接件、螺栓、钢筋套筒连接接头等的承载力验算应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计标准》GB 50017、《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 等的有关规定，对于螺栓连接的承载力设计值可根据试验结果或现行有关产品标准确定。

6.4.3 全预制柱之间以及全预制柱与预制梁柱节点之间宜采用钢筋套筒灌浆连接；当房屋高度不大于 12m 或层数不超过 3 层时，可采用钢筋浆锚搭接连接。钢筋套筒灌浆连接和钢筋浆锚搭接连接的构造应符合国家现行标准《装配式混凝土建筑设计标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 等的有关规定。

6.4.4 全预制柱与全预制梁节点可采用暗牛腿干式连接构造（图 6.4.4），并应符合下列规定：

1 可采用全预制柱与全预制梁内均预埋干法连接件的成对干法连接件构造和全预制柱内预埋钢筋套筒、全预制梁内预埋干法连接件的一侧预埋套筒、一侧干法连接件构造；

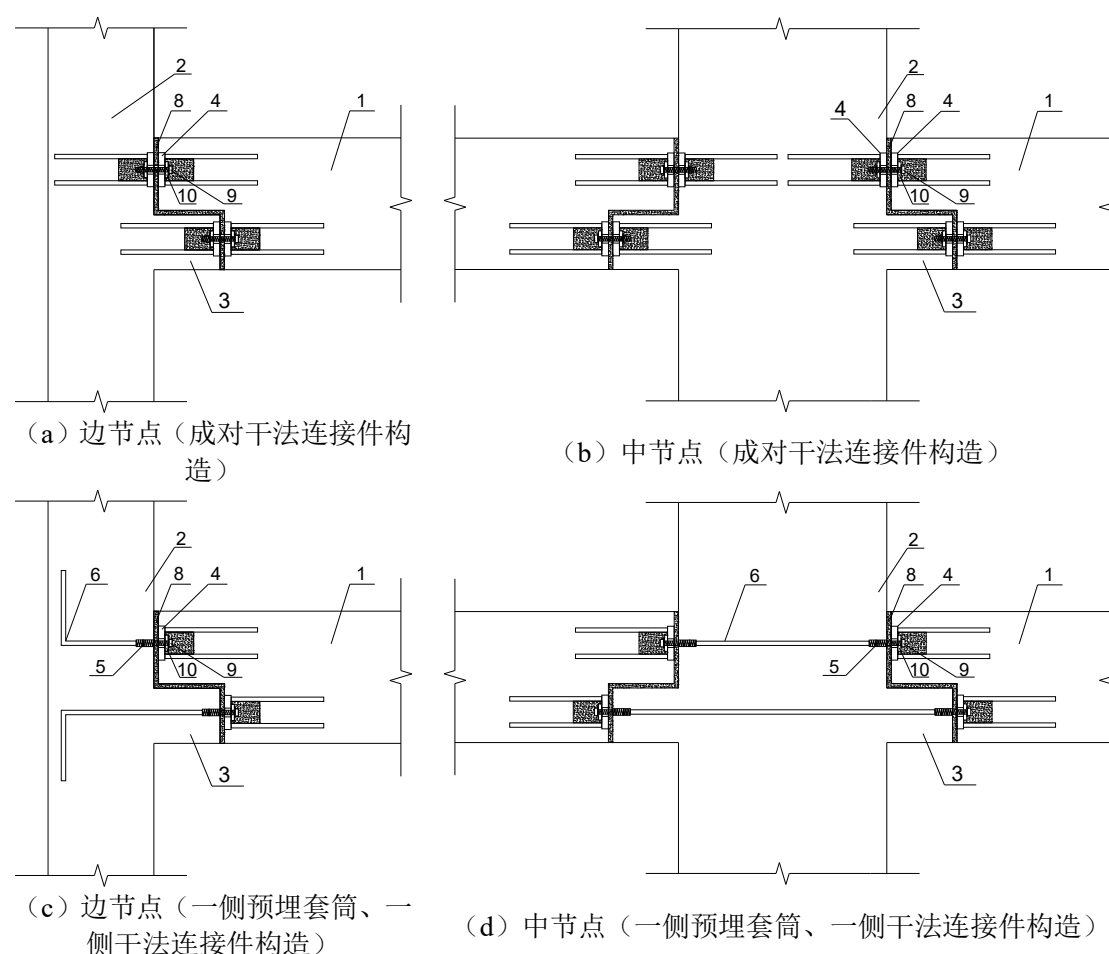
2 干法连接件和钢筋套筒应在预制构件内可靠锚固，当全预制柱截面尺寸无法满足干法连接件锚固要求时，应采用预埋套筒代替；对于预埋套筒，边节点可在柱内弯折锚固或机械锚固，也可在柱外侧设置锚固板（图 6.4.4e），中节点连接钢筋可贯穿全预制柱；

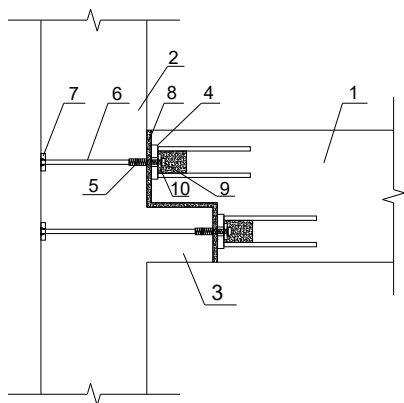
3 节点连接的螺栓规格、位置及数量应按本标准第 6.4.5 条、第 6.4.6 条的规定计算确定，同时，应考虑干法连接件安装空间需求；

4 当采用钢筋套筒时，套筒及连接钢筋规格应与螺栓规格匹配，并应保证预埋套筒与连接钢筋及螺栓的可靠连接；

5 暗牛腿处形成的梁端竖向接缝和水平接缝宽度不宜小于 20mm、不宜大于 30mm，并应采用灌浆料填实，必要时可采用纤维增强灌浆料，灌缝材料性能应满足本标准第 4.2.4 条的规定。

6 螺栓安装完成后，干法连接件空腔应采用灌浆料封堵，封堵材料性能应满足本标准第 4.2.4 条的规定。





(e) 边节点（一侧预埋套筒并采用锚固板、一侧干法连接件构造）

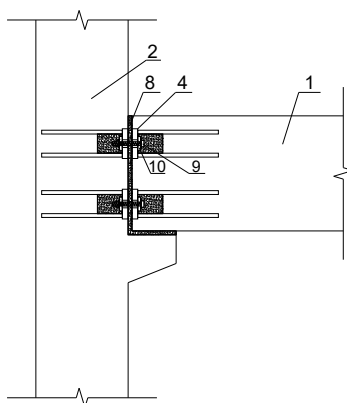
图 6.4.4 暗牛腿干式连接梁柱节点构造示意

1—全预制梁；2—全预制柱；3—预制牛腿；4—干法连接件；5—钢筋套筒；6—连接钢筋；7—锚固板；8—梁柱节点接缝；9—高强螺栓；10—垫板（增加 9、10）

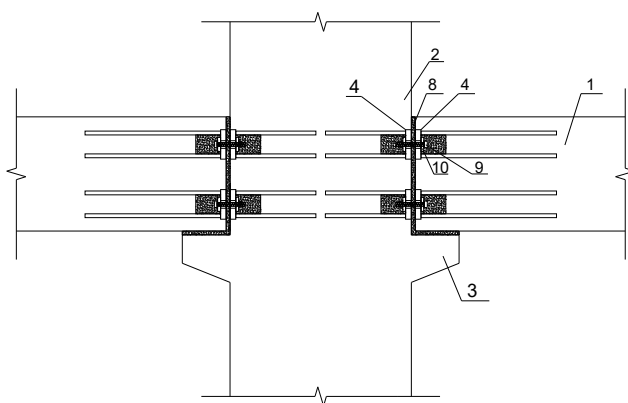
6.4.5 暗牛腿干式连接梁柱节点的梁端受弯承载力可按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定进行计算，受压侧抗压强度应取梁、柱、牛腿及接缝填实材料抗压强度的较小值，拉力应全部由螺栓承担，可考虑受压侧螺栓贡献。

6.4.6 暗牛腿干式连接梁柱节点接缝截面的受剪承载力计算时，宜仅考虑预制牛腿的抗剪贡献，并按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定计算预制牛腿的受剪承载力。

6.4.7 全预制柱与全预制梁节点也可采用明牛腿干式连接构造（图 6.4.7），其构造及计算可按照本标准第 6.4.4 条~第 6.4.6 条的有关规定执行。



(a) 边节点（成对干法连接件构造）



(b) 中节点（成对干法连接件构造）

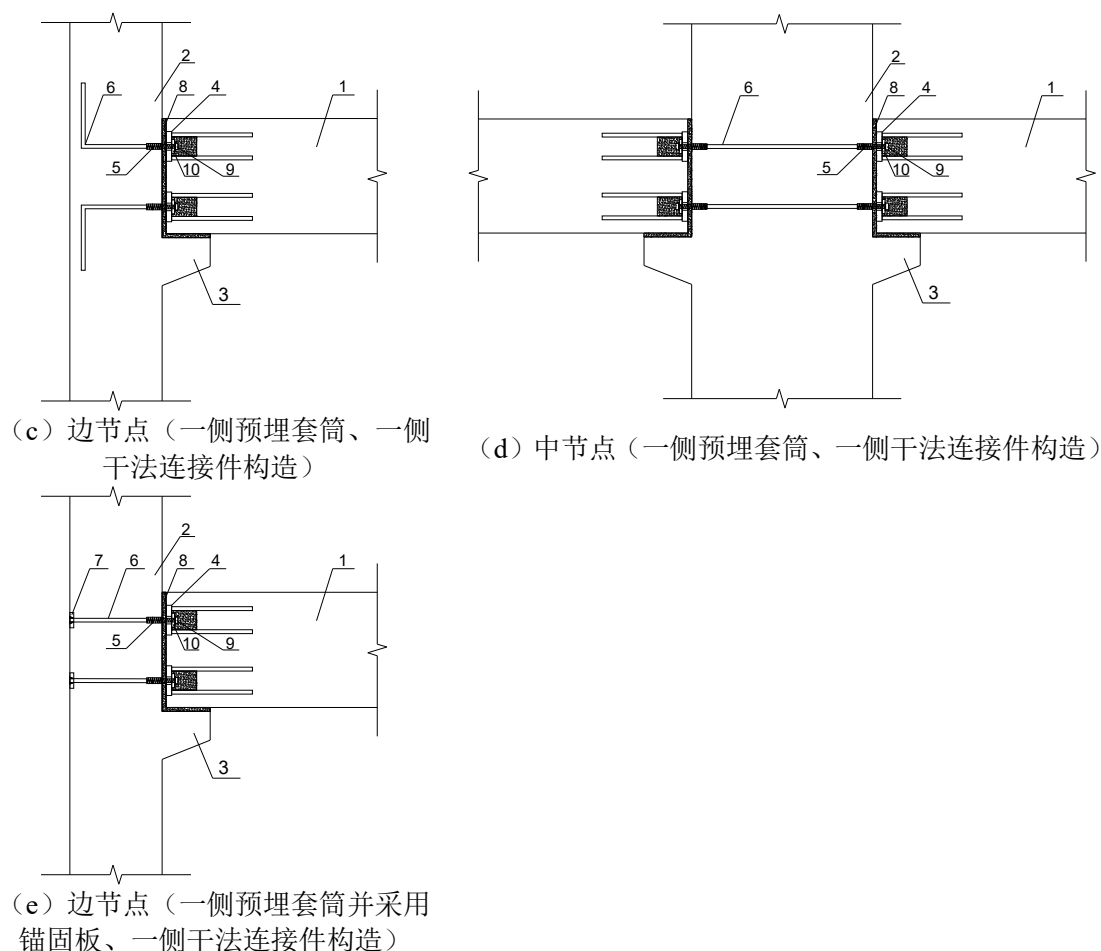


图 6.4.7 明牛腿干式连接梁柱节点构造示意

1—全预制梁；2—全预制柱；3—预制牛腿；4—干法连接件；5—钢筋套筒；6—连接钢筋；7—锚固板；8—梁柱节点接缝；9—高强螺栓；10—垫板（增加 9、10）

6.4.8 全预制楼板与全预制梁（全预制柱）的接缝采用明牛腿干式连接构造，并采用干法连接件与角部连接钢筋的混合连接方案（图 6.4.8）时，其应符合下列规定：

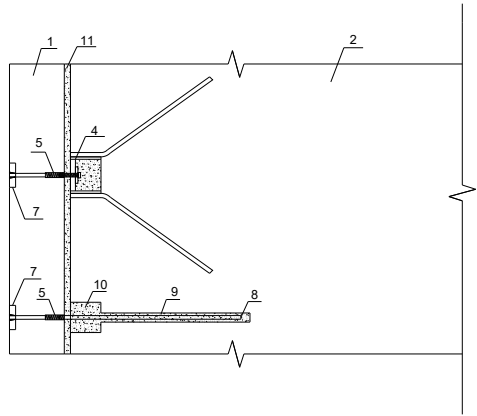
1 干法连接件锚固钢筋宜采用八字形布置，干法连接件宜等间距布置，且其间距不宜大于 600mm；

2 角部连接钢筋应在全预制楼板四角设置，其直径不宜小于 16mm，槽口长度应满足角部钢筋锚固要求，槽口根部应局部放大以满足角部连接钢筋安装要求；

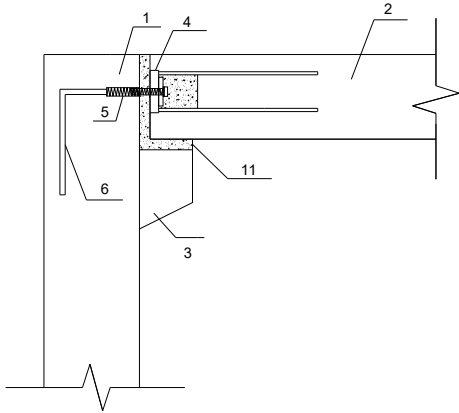
3 梁（柱）内预埋套筒侧应采用钢筋弯折锚固（图 6.4.8a）、机械锚固或梁外侧设置锚固板构造（图 6.4.8b）。

4 螺栓及角部连接钢筋安装完成后，干法连接件空腔应采用封堵材料封堵，槽口应采用灌缝材料填实，封堵材料及灌缝材料性能应满足本标准第 4.2.4 条的

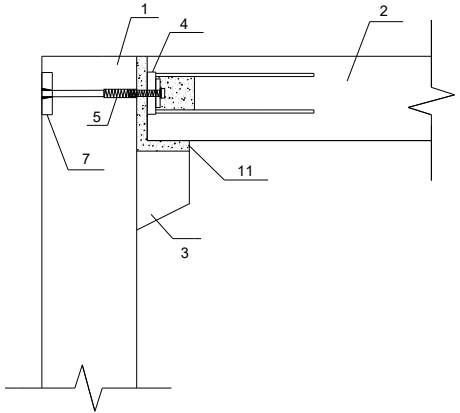
规定。



(a) 干法连接件与角部钢筋的连接构造



(b) 连接构造（钢筋弯折锚固）



(c) 连接构造（钢筋锚固板构造）

图 6.4.8 明牛腿形式干式连接板梁（柱）接缝构造示意

1—全预制梁（柱）；2—全预制楼板；3—预制牛腿；4—干法连接件；5—钢筋套筒；6—连接钢筋；7—锚固板；8—角部连接钢筋；9—槽口；10—板面槽口手孔；11—板梁（柱）接缝

6.4.9 全预制楼板与全预制梁（全预制柱）的接缝受弯承载力可按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定进行计算，受压侧抗压强度应取梁、板及接缝填实材料抗压强度的较小值，拉力应全部由螺栓和角部钢筋承担；接缝平面内抗剪刚度及平面外抗弯刚度宜通过有限元分析或试验确定。

6.4.10 全预制楼板与全预制梁（全预制柱）的接缝采用销键连接（图 6.4.10）时，销键可采用规格不小于 M14 的 C 级普通螺栓或直径不小于 20mm 的 HRB400 级钢筋，销键孔内应灌注灌浆料，其性能应满足本标准第 4.2.4 条的规定。

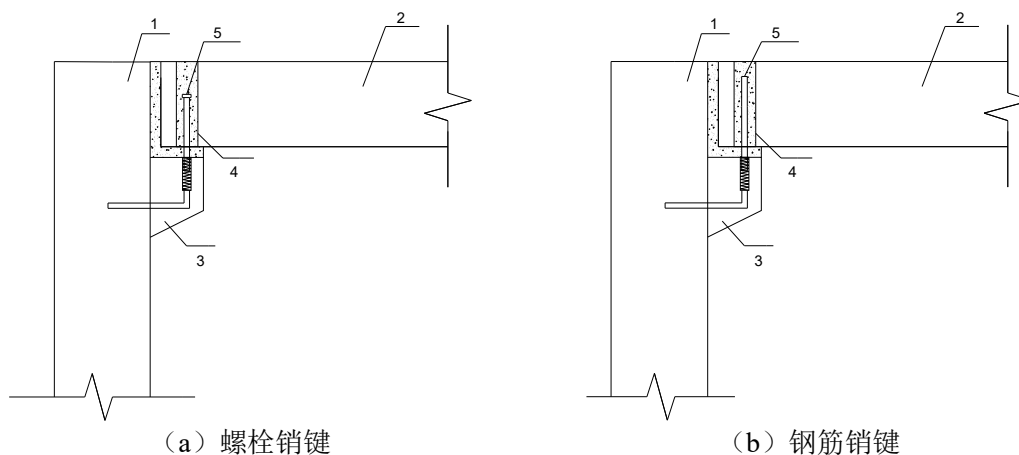


图 6.4.10 销键连接板梁接缝构造示意

1—全预制梁（柱）；2—全预制楼板；3—预制牛腿；4—销键孔；5—销键（螺栓或钢筋）

6.4.11 全预制构件与坐浆材料、节点接缝灌缝材料的结合面应设置粗糙面，并应符合下列规定：

- 1 全预制梁与预制牛腿之间的结合面应设置粗糙面；
- 2 全预制楼板与预制牛腿之间的板侧结合面宜设置粗糙面；
- 3 全预制柱底部应设置粗糙面；
- 4 粗糙面的面积不宜小于结合面的 80%，粗糙面凹凸深度不应小于 6mm。

7 生产运输

7.0.1 干式连接低多层结构的预制构件的生产和运输，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 等的有关规定。

7.0.2 干法连接件进场时应制作有代表性试件，对其抗拉强度进行试验验证。

7.0.3 对于采用钢筋套筒的干式连接，机械连接端的钢筋丝头加工、连接安装、质量检查应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定。

7.0.4 全预制构件的预埋件种类、数量应符合设计要求。干式连接的干法连接件、预埋套筒的规格、数量应符合设计要求，定位应准确，其安装允许偏差不应超过 3mm。

7.0.5 干法连接件入模时，应采取适当措施确保其空腔内无漏浆。

7.0.6 预制构件粗糙面成型，宜优先选用气泡膜粗糙面、免凿毛止浆带粗糙面或水洗露骨料粗糙面，也可采用拉毛、凿毛处理，不得单独采用花纹钢板粗糙面。

7.0.7 预制梁柱节点宜采用组合钢模制作，其外形尺寸允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ ，其干法连接件、预埋套筒、金属波纹管等预埋件位置允许偏差为 2mm。

7.0.8 全预制构件生产和运输过程中，应做好产品保护和安全措施。

8 施工安装

8.1.1 干式连接低多层结构的施工除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《钢结构工程施工规范》GB 50755、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 等的有关规定。

8.1.2 预制构件、安装用材料及配件等应符合国家现行有关标准及产品应用技术手册的规定，并应按照国家现行相关标准的规定进行进场验收。

8.1.3 干式连接低多层结构施工前，应根据设计要求和施工方案进行必要的施工验算，并应符合现行国家标准《混凝土结构施工规范》GB 50666 的有关规定。

8.1.4 全预制柱与全预制梁干式连接节点施工时，应符合下列规定：

- 1 全预制梁安装前，应在预制牛腿顶面设置支垫材料找平及调整标高；
- 2 全预制梁吊装就位后，应采取可靠的临时固定措施；
- 3 采用先螺栓连接后灌缝的施工顺序，螺栓紧固应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定；
- 4 全预制梁与预制牛腿及全预制柱之间的接缝以及干法连接件空腔内应灌实。

8.1.5 全预制楼板与全预制梁干式连接节点施工时，应符合下列规定：

- 1 全预制板安装前，应在预制牛腿顶面设置支垫材料找平及调整标高；
- 2 全预制板吊装就位后，应采取可靠的临时固定措施；
- 3 采用先角部钢筋安装及螺栓连接后灌缝的施工顺序，角部钢筋安装应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定，螺栓紧固应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定；
- 4 全预制楼板与预制牛腿之间的接缝以及角部钢筋槽口内应灌实。

9 质量验收

9.1.1 干式连接低多层结构的质量验收除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 等的有关规定。

9.1.2 干式连接低多层结构的螺栓连接施工质量应符合国家现行标准《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

9.1.3 干式连接低多层结构的钢筋套筒连接施工质量应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定。

9.1.4 干式连接低多层结构的钢筋套筒灌浆连接施工质量应符合国家现行标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 和《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 的有关规定。

9.1.5 干式连接低多层结构的接缝防水施工应按设计要求制定专项验收方案，防水材料的性能及接缝防水施工的质量验收应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的有关规定。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

正面词采用“可”，反面词采用“不可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应按……执行（或采用）”或“应符合……规定（或要求）”。非必须按指定的标准、规范执行的写法为：“可参照……”。

引用标准名录

1. 《工程结构通用规范》 GB 55001
2. 《建筑与市政工程抗震通用规范》 GB 55002
3. 《混凝土结构通用规范》 GB 55008
4. 《建筑材料及制品燃烧性能分级》 GB 8624
5. 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
6. 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
7. 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
8. 《钢结构设计标准》 GB 50017
9. 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
10. 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
11. 《建筑内部装修设计防火规范》 GB 50222
12. 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》 GB 50325
13. 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
14. 《硅酮建筑密封胶》 GB/T 14683
15. 《蒸压加气混凝土板》 GB/T 15762
16. 《玻璃纤维增强水泥轻质多孔隔墙条板》 GB/T 19631
17. 《建筑密封胶分级和要求》 GB/T 22083
18. 《建筑模数协调标准》 GB/T 50002
19. 《水泥基灌浆材料应用技术规范》 GB/T 50448
20. 《装配式混凝土建筑技术标准》 GB/T 51231
21. 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ 1
22. 《钢筋焊接及验收规程》 JGJ 18
23. 《钢筋机械连接技术规程》 JGJ 107
24. 《地面辐射供暖技术规程》 JGJ 142
25. 《混凝土异形柱结构技术规程》 JGJ 149
26. 《钢筋锚固板应用技术规程》 JGJ 256
27. 《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》 JGJ 355
28. 《预应力混凝土金属波纹管》 JG 225
29. 《钢筋机械连接用套筒》 JG/T 163
30. 《钢筋连接用灌浆套筒》 JG/T 398
31. 《钢筋连接用套筒灌浆料》 JG/T 408

- 32. 《聚氨酯建筑密封胶》JC/T 482
- 33. 《聚硫建筑密封胶》JC/T 483
- 34. 《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T 881
- 35. 《钢筋陶粒混凝土轻质墙板》JC/T 2214

上海安逸成品建筑科技有限公司企业标准

干式连接全装配式低多层混凝土结构技术 规程

Q/AYCP ××××—2024

条 文 说 明

目 次

1	总 则.....	28
2	术语和符号.....	30
2.1	术语.....	30
3	基本规定.....	33
4	材 料.....	34
4.1	混凝土、钢筋和钢材.....	34
4.2	连接材料.....	34
4.3	其他材料.....	34
5	建筑设计.....	35
5.1	一般规定.....	35
5.2	平面、立面设计.....	35
5.3	建筑构造设计.....	36
6	结构设计.....	38
6.1	一般规定.....	38
6.2	结构分析.....	39
6.3	预制构件设计.....	41
6.4	连接设计.....	43
7	生产运输.....	48
8	施工安装.....	51
9	质量验收.....	53

1 总 则

1.0.1 装配式混凝土结构作为我国装配式建筑推广应用的主要形式，受到行业普遍关注，并得到快速发展。以结构整体性能及节点连接构造“等同现浇”为典型特征的装配整体式混凝土结构体系，由于其便于在现浇模式下推广，而长期占据主导地位，也成为国家现行有关标准，如《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 等，推荐的主要做法。

“等同现浇”装配式混凝土结构体系更多面向高层建筑，通过框架结构梁柱节点现浇、剪力墙结构剪力墙边缘构件现浇、楼盖叠合层现浇等手段，将离散的预制构件连接成整体，实现接近传统现浇混凝土结构的整体性能及抗震性能。但相关工程实践也暴露出其固有缺陷，如预制构件大量钢筋伸出而不利于生产、运输及安装；节点构造复杂而导致材料用量增多、安装效率降低；现场预制构件安装与局部支模现浇两种截然不同的施工工艺相互穿插而导致施工组织复杂、施工效率低、质量难以保证等等。可以看出，“等同现浇”装配式混凝土结构体系很好地解决了高层建筑结构的安全性问题，但无法充分发挥预制混凝土技术优势。

对于低多层建筑，直接沿用高层建筑的相关装配式做法，可完全满足其可靠性要求且安全富裕度较大，而相对复杂的节点构造及施工工艺也不利于工程应用。借鉴国内外相关试验研究成果及工程实践经验，低多层建筑中可适当采用一些更高效的干式连接技术，如螺栓连接、预应力连接、焊接连接等，虽然其结构整体性和抗震能力较传统现浇结构有所退化，但通过科学的设计与构造，仍能保证干式连接低多层建筑结构的可靠性。同时，干式连接技术既可实现预制构件少出筋或免出筋而提高构件预制效率，又可实现现场无混凝土后浇的湿作业而提高施工效率，最大限度提质增效。

当前我国正大力推广美好乡村建设，城市更新也成为新的热点，以低多层建筑为主的乡村住宅建设和城市低密度住宅建设需求将长期保持高水平，而建立适宜的装配式混凝土结构技术迫在眉睫。因此，标准编制组针对性地提出了干式连接全装配式低多层混凝土结构技术，基于相关试验研究结果，研编本规程，以指导干式连接全装配式低多层混凝土结构的设计、生产、施工与验收。

1.0.2 本规程的干式连接全装配式低多层混凝土结构技术，主要面向低多层居住

建筑开发，并形成了适宜的以全预制单肢或多肢薄肢钢筋混凝土柱、全预制薄腹钢筋混凝土梁、全预制楼板为代表的预制构件系统和基于干法连接件的连接技术。因此，本规程主要适用于居住建筑干式连接全装配式低多层混凝土结构的设计、生产、施工及验收。另外，通过合理的设计与构造，干式连接全装配式低多层混凝土结构技术亦可拓展应用于较为规则、无特殊使用要求的一般公共建筑、工业建筑和农业建筑中。

鉴于目前研究成果和工程实践的局限性，考虑到干式连接全装配式低多层混凝土结构的抗震性能特点，为确保安全适用，暂未将抗震设防烈度 8 度（0.3g）及以上抗震设计的干式连接全装配式低多层混凝土结构列入本规程适用范围，待后续试验进一步验证其抗震安全性后，在标准修订阶段予以完善。

1.0.3 本规程是在基本遵照国家现行通用规范《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《钢结构通用规范》GB 55006 及国家现行有关标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢结构设计标准》GB 50017、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《钢结构工程施工规范》GB 50755、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1、《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 等基础上，结合干式连接全装配式多层混凝土结构的技术特点，借鉴现行行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的有关规定，基于相关试验研究成果及工程实践经验编制而成。

2 术语和符号

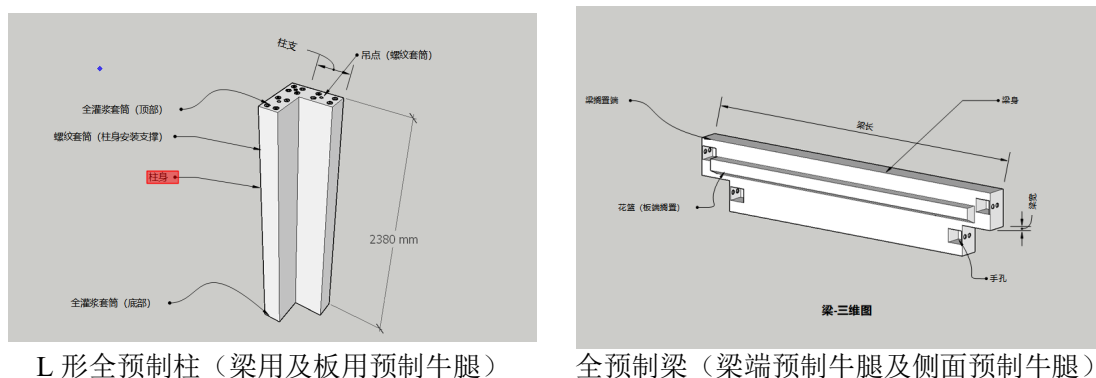
2.1 术语

2.1.1~2.1.5 干式连接全装配式低多层混凝土结构采用主体结构构件全预制形式，竖向构件（全预制柱）之间通过成熟的钢筋套筒灌浆连接或钢筋浆锚连接，竖向构件与水平构件（全预制梁、全预制楼板）之间及水平构件之间均通过干法连接件螺栓连接，从而使得现场避免后浇混凝土湿作业，形成干式连接工艺，提高了构件预制及安装效率。

对于全预制柱和全预制梁，为实现无“露梁露柱”的建筑空间需求，同时考虑低多层建筑结构性性能安全要求，分别采用一字形、L形、T形或十字形截面的单肢或多肢薄肢（最小肢厚为 180mm）钢筋混凝土柱和薄腹（一般与柱肢厚相同，最小梁宽为 180mm）钢筋混凝土梁。

为便于全预制梁和全预制楼板的搁置及连接，分别在全预制柱节点部位与全预制梁连接侧面和全预制柱、全预制梁与全预制楼板连接侧面设置预制牛腿。全预制柱与全预制梁之间可采用暗牛腿构造（梁用预制牛腿），全预制柱、全预制梁与全预制楼板之间可采用明牛腿构造（板用预制牛腿）。

全预制柱和全预制梁构件示意可参见图 1。



L 形全预制柱（梁用及板用预制牛腿）

全预制梁（梁端预制牛腿及侧面预制牛腿）

图 1 全预制柱与全预制梁构件示意

1—全预制柱；2—全预制梁；3—预制牛腿

2.1.6 干法连接件（图 2）由端板与锚固钢筋构成，其中，端板为具有一定厚度的钢板，并根据设计要求开设螺栓连接孔；锚固钢筋与端板之间通过螺纹连接，必要时可对锚固钢筋与端板之间周圈围焊进行增强。

根据干法连接件所连接预制构件的不同，又分为梁用干法连接件和板用干法

连接件，考虑到梁、板构件形式及连接要求，两种干法连接件在端板尺寸、螺栓孔数量及锚固钢筋数量及布置等方面存在差异。

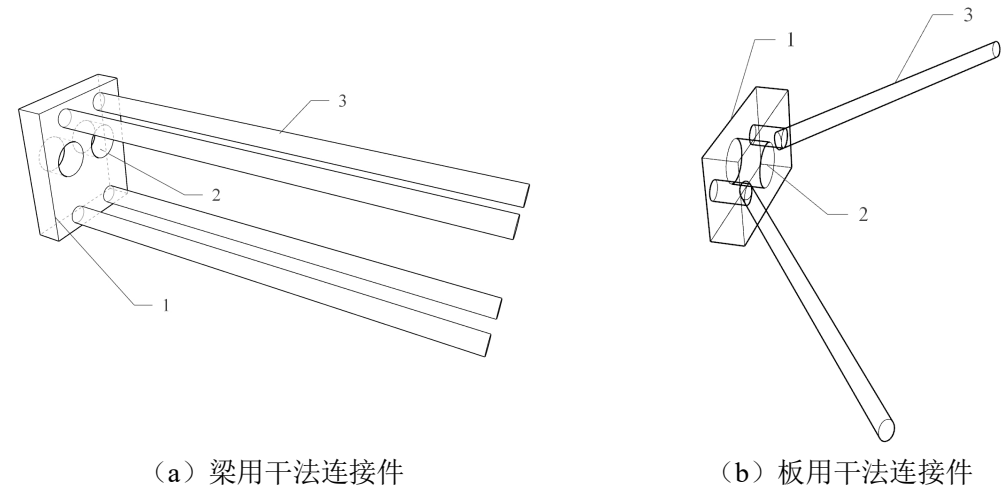


图2 干法连接件

1—端板；2—螺栓连接孔；3—锚固钢筋

2.1.7 干式连接全装配式低多层混凝土结构的不同类全预制构件之间主要螺栓连接，可根据设计选用图3所示的成对干法连接件构造和一侧预埋套筒、一侧干法连接件构造。前者构造简单、受力可靠，但干法连接件对预制构件尺寸及钢筋布置影响较大；后者通过连接套筒代替干法连接件，简化了预埋而避免了干法连接件对构件的影响，但需通过合理的构造和科学的工艺，确保套筒的可靠锚固及螺栓与套筒的可靠连接。

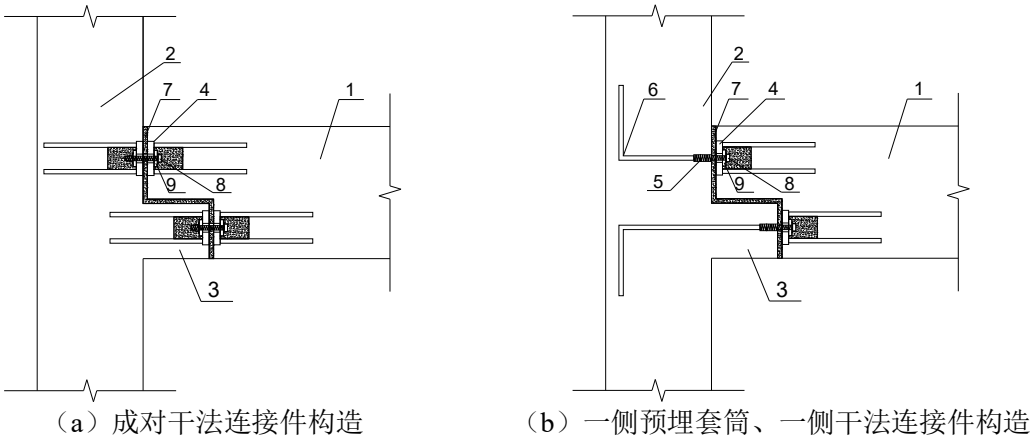


图3 干式连接示意

1—全预制梁；2—全预制柱；3—预制牛腿；4—干法连接件；5—钢筋套筒；6—连接钢筋；7—梁柱节点接缝；8—高强螺栓；9—垫板

2.1.8 全预制柱在梁柱节点部位可能在多个方向均存在与梁、板连接用的预制牛腿，且全预制柱肢厚较薄，该部位钢筋及预埋将非常拥挤。为简化工厂预制及现

场连接施工，可将梁柱节点单独预制，同时将预制牛腿通过一体化考虑，形成部件化的预制梁柱节点（图 4）。

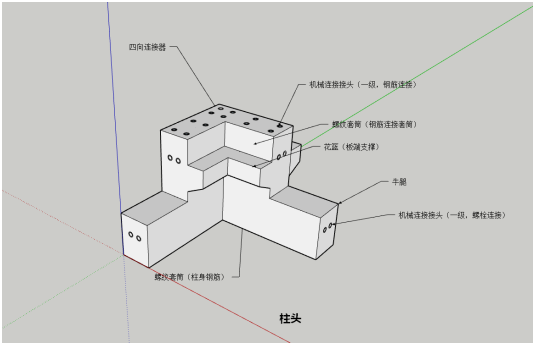


图 4 预制梁柱节点

3 基本规定

3.0.1 干式连接低多层结构的构件均为全预制形式，其全预制构件的尺寸与形状、连接构造等需融合建筑、结构、设备、装修等各专业的具体要求，也需兼顾生产、运输、施工安装乃至运维阶段的实际需要。因此，干式连接低多层结构建筑应立足产品思维，通过系统集成的方法，实现设计、生产运输、施工安装、运维的全过程一体化和建筑、结构、设备、装修的专业集成化。

3.0.3 干式连接低多层结构预制构件尺寸及其连接节点布置除应满足本标准第3.0.2条的模数化要求，更需通过科学的设计和合理的构造，使得预制构件及其连接节点应受力明确、构造简单，以保证结构安全性和施工便利性的要求。同时，为保证干式连接低多层结构建筑品质，其结构设计中尚应考虑舒适性及耐久性等建筑功能及物理性能要求。

3.0.4 对预制构件设置可靠标识有利于在施工过程中发现质量问题并及时进行修补、更换。构件标识要考虑与构件装配图的对应性：如设计要求构件只能以某一特定朝向搬运，则需在构件上做出恰当标识；如有必要时，尚需通过约定标识构件在结构中的位置和方向。

4 材 料

4.1 混凝土、钢筋和钢材

4.1.3 钢筋套筒灌浆连接接头和浆锚搭接连接接头，主要适用于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中所规定的热轧带肋钢筋。热轧带肋钢筋的肋，可以使钢筋与灌浆料之间产生足够的摩擦力和机械咬合力，有效地传递应力，从而形成可靠的连接接头。

4.2 连接材料

4.2.1 干法连接件主要通过锚固钢筋与混凝土的可靠黏结，实现其在预制构件内的可靠预埋，以充分发挥螺栓连接的承载力。因此，干法连接件的锚固钢筋应尽量选用高强度材料，并采用与混凝土黏结性能良好的带肋钢筋。

4.2.4 预制构件底部坐浆材料、梁柱节点接缝灌缝材料和干法连接件封堵材料将传递节点压力及剪力，且由于其厚度较薄、受力较为集中，使得其容易发生过早破坏而影响节点整体性能。因此，建议采用强度较高的水泥基灌浆料，其 28d 抗压强度不应低于 60MPa。另外，对于构造及受力更为复杂的梁柱节点接缝灌缝材料，也可采用纤维增强水泥基灌浆料，以进一步提高材料的抗裂性能，同时应注意掺入纤维对灌浆料拌合物的施工和易性的影响，确保灌缝的饱满、密实。

4.3 其他材料

4.3.1 为了达到节约材料、方便施工、吊装可靠的目的，并避免外露金属件的锈蚀，预制构件的吊装方式宜优先采用内埋式螺母、内埋式吊杆或预留吊装孔。这些部件及配套的专用吊具等所采用的材料，应根据相应的产品标准和应用技术规程选用。

4.3.2 外露接缝处的密封材料，除应满足抗剪切和伸缩变形能力等力学性能要求外，尚应满足防霉、防水、防火、耐候等建筑物理性能要求。密封胶的宽度和厚度应通过计算决定。

4.3.4 为实现绿色施工的要求，临时支撑材料宜选用钢材或铝合金等轻质高强的可循环材料。结合干式连接低多层结构全预制构件特点，推荐采用定型化、模块化的临时支撑体系，实现高效施工。

5 建筑设计

5.1 一般规定

5.1.1 干式连接低多层结构建筑设计应保证其在全寿命周期内，除符合建筑功能的要求外，还应符合建筑防火、安全、保温、隔热、隔声、防水、采光等建筑物物理性能要求。

传统的建筑设计，尤其是居住建筑的设计，一般均将设备管线埋在楼板现浇混凝土或墙体中，把使用年限不同的主体结构和管线设备混在一起建造。若干年后，大量的住宅虽然主体结构尚可，但装修和设备等早已老化，无法改造更新，从而导致不得不拆除重建，缩短了建筑使用寿命。提倡采用主体结构构件、内装修部品和管线设备的三部分装配化集成技术系统，实现室内装修、管道设备与主体结构的分离，从而使住宅具备结构耐久性，室内空间灵活性以及可更新性等特点，同时兼备低能耗、高品质和长寿命的优势。

5.1.2 干式连接低多层结构建筑设计应采用模数来协调结构构件、内装部品、设备与管线之间的尺寸关系，做到部品部件设计、生产和安装等相互间尺寸协调，减少和优化各部品部件的种类和尺寸。

5.1.4 根据不同的气候分区及建筑的类型分别按现行国家或行业标准《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 26、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 134、《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》JGJ 75、《公共建筑节能设计标准》GB 50189 执行。

5.1.5 干式连接低多层结构建筑部品部件之间应预留统一的接口，可采用刚性连接或柔性连接。

1 刚性连接模块的连接边或连接面的几何尺寸、开口应吻合，采用相同的材料和部品部件进行直接连接；

2 无法进行直接连接的模块可采用柔性连接方式进行间接相连，柔性连接的部分应牢固可靠，并需要对连接方式、节点进行详细设计。

5.2 平面、立面设计

5.2.1 干式连接低多层结构建筑设计推荐采用大空间的平面，合理布置承重构件

及管井位置。在装配式居住建筑中采用这种平面布局方式不但有利于结构布置，而且可减少预制楼板的类型。但设计时也应适当考虑实际的构件运输及吊装能力，以免构件尺寸过大导致运输及吊装困难。

干式连接低多层结构建筑的平面设计应考虑建筑各功能空间的使用尺寸，并结合结构受力特点，合理设计预制构件。同时应注意预制构件的定位尺寸，在满足平面功能需要的同时，还应符合模数协调和标准化的要求。另外，平面设计应充分考虑设备管线与结构体系之间的关系。例如卫生间涉及建筑、结构、给排水、暖通、电气等各专业，需要多工种协作完成；平面设计时应考虑卫生间平面位置与竖向管线的关系、卫生间降板范围与结构的关系等。如采用标准化的预制盒子卫生间（整体卫浴）及标准化的厨房整体橱柜，除考虑设备管线的接口设计，还应考虑卫生间平面尺寸与预制盒子卫生间尺寸之间、厨房平面尺寸与标准化厨房整体橱柜尺寸之间的模数协调。

设备管线应进行综合设计，减少平面交叉；竖向管线宜集中布置，并应满足维修更换的要求。

5.2.2 干式连接低多层结构建筑外墙可通过预制装饰混凝土反打面砖、装饰构件、清水混凝土、彩色混凝土等多种形式使建筑立面多样化，也可通过单元组合、色彩搭配、阳台交错设置等做法丰富外立面。

5.3 建筑构造设计

5.3.1 干式连接低多层结构建筑外墙的设计关键在于连接节点的构造设计。对于外墙板连接节点的构造设计，悬挑构件、装饰构件连接节点的构造设计，以及门窗连接节点的构造设计等，均应根据建筑功能的需要，满足结构、热工、防水、防火、保温、隔热、隔声及建筑造型设计等要求。外墙板的各类接缝设计应构造合理、施工方便、坚固耐久，并结合本地材料、制作及施工条件进行综合考虑。

材料防水是靠防水材料阻断水的通路，以达到防水的目的或增加抗渗漏的能力。如预制外墙板的接缝采用耐候性密封胶等防水材料，用以阻断水的通路。用于防水的密封材料应选用耐候性密封胶；接缝处的背衬材料宜采用发泡氯丁橡胶或发泡聚乙烯塑料棒；外墙板接缝中用于第二道防水的密封胶条，宜采用三元乙丙橡胶、氯丁橡胶或硅橡胶。

构造防水是采取合适的构造形式，阻断水的通路，以达到防水的目的。如在

外墙板接缝外口设置适当的线型构造（立缝的沟槽，平缝的挡水台、披水等），形成空腔，截断毛细管通路，利用排水构造将渗入接缝的雨水排出墙外，防止向室内渗漏。

5.3.4 集中布置空调板，可提高外墙的标准化和经济性。

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 干式连接低多层结构的平面及竖向布置应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规则性要求，严重不规则的结构会出现各种非标准的构件，且在地震作用下内力分布较复杂，不适宜采用装配式结构。

对于结构的规则性要求以及严重不规则结构的判定可按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 得有关规定执行。

对于结构受力集中部位或薄弱部位，可采取可行、可靠措施予以加强，如局部增设支撑、结构隔震或减震措施等。

6.1.2 干式连接低多层结构的主要受力构件为全预制单肢或多肢薄肢钢筋混凝土柱（全预制柱）、全预制薄腹钢筋混凝土梁（全预制梁）、全预制楼板，其主要承重及抗侧力构件为全预制柱，其截面形状及受力特性与异形柱基本相同，但其最小肢厚可做到 180mm，其要求小于异形柱要求的最小 200mm 肢厚，一定程度上制约了其承载力及刚度性能。另外，考虑到全预制柱和全预制梁、全预制楼板之间均为干式连接，标准编制组前期相关试验结果表明，结构节点虽能达到设计要求且与现浇节点相当的承载力，但刚度受到明显影响，表现为半刚性节点的受力特性，将增大结构在地震作用下的整体变形响应。因此，基于对干式连接低多层结构抗震特性的既有成果，本条在参考现行行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的有关规定基础上，对其房屋的最大适用高度进行从严控制，在《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 规定的基础上降低 6m（2 层），以确保结构抗震安全。

结构顶层采用坡屋顶时房屋最大适用高度在国家现行标准中未作具体规定，干式连接低多层结构设计时可由设计人员根据实际情况合理确定。通常的做法是当檐口标高不设水平楼板时，总高度可算至檐口标高处；当檐口标高附近有水平楼板，即带阁楼的坡屋顶情形，此时高度可算至坡高的 1/2 高度处。

在实际工程设计中应综合考虑结构设计方案、抗震设防烈度、场地类别、结构布置规则性等具体影响因素，合理使用本条关于干式连接低多层结构房屋最大适用高度的规定。当房屋高度超过表中规定的数值时，通过合理的结构加强措施，

如局部增设支撑、结构隔震或减震措施等，基于严格、完整的计算分析论证及必要的试验验证，仍可保证安全应用。

后续标准编制组将对干式连接低多层结构技术体系进行持续研发，待技术逐步完善、具备充分的试验成果论证及丰富的实践检验的基础后，将对其房屋最大适用高度进行科学修正，以促进该技术体系的科学发展与完善。

6.1.3 鉴于干式连接低多层结构技术特点及受力特性，为保证结构的整体刚度及稳定性，参考《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 对高层建筑的相关规定，并考虑低多层建筑层数较少及高度较小的有利条件，对其结构最大高宽比进行了规定，总体上仍然基于《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的有关规定进行了从严控制。

6.1.4 本条结构抗震等级是针对干式连接低多层结构抗震性能特点，参考国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 及《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的有关规定进行确定。

6.2 结构分析

6.2.1 多遇地震（小震）作用下，结构需满足“小震不坏”设防要求，结构构件及节点均处于弹性状态，可采用弹性假定进行结构分析。设防烈度地震（中震）及罕遇地震（大震）作用下，如预设的性能目标为结构或构件保持弹性或不屈服，可采用弹性分析方法，否则应采用弹塑性分析方法。

水平构件也可考虑塑性内力重分布分析方法，梁采用弯矩调幅法，楼板采用塑性极限分析方法。

干式连接低多层结构进行弹塑性分析时，构件及节点均可能进入塑性状态。构件的模拟与现浇混凝土结构相同，而节点及接缝的全过程非线性行为的模拟是否准确，是决定分析结果是否准确的关键因素。试验结果证明，干式连接低多层结构的节点及接缝，呈现出半刚性特点，应根据试验结果或精细有限元分析结果，总结节点及接缝的特性，如弯矩-转角关系、剪力-滑移关系等，并反映在计算模型中。

6.2.2 干式连接低多层结构的全预制楼板与其支承构件（全预制梁与全预制柱）之间接缝一般采用板用干法连接件连接，并在楼板角部增设连接钢筋，此时接缝刚度可按照刚性或半刚性考虑，实际设计中应根据干法连接件及角部连接钢筋的

具体设计，通过试验或有限元分析方法确定楼盖面内的等效刚度。如刚度较大，接近现浇楼盖，可采用刚性楼盖假定，否则应按照弹性楼盖假定进行分析，以考虑接缝变形导致的全预制楼板刚体位移。

全预制楼板也可通过浆锚螺栓或钢筋销键与其支撑构件进行连接（类似预制楼梯固定端连接构造），此时接缝刚度较小，可按弹性楼盖假定进行分析。

全预制楼板对全预制梁刚度增大作用较小，设计中可不予考虑。

6.2.3 干式连接低多层结构的弹塑性变形集中在节点和接缝部位，结构的塑性发展程度将不及现浇混凝土结构充分，导致其结构阻尼比将有所降低。同时，与钢结构对比，由于节点及接缝部位的坐浆料及灌缝料的贡献，其结构阻尼比将高于钢结构。因此，本条建议干式连接低多层结构设计计算时，其结构阻尼比可按 0.04 取用。

6.2.4 非承重内隔墙的刚度对结构的整体刚度、地震力的分布、相邻构件的破坏模式等都有影响，影响大小与隔墙的数量、刚度、与主体结构连接的刚度直接相关。

非承重隔墙的做法有砌块抹灰、轻质复合墙板、条板内隔墙、预制混凝土内隔墙等。轻质复合墙板、条板内隔墙等一般是在主体结构完工后二次施工，与主体结构之间存在拼缝，参考现浇混凝土结构的处理方式，采用周期折减的方法考虑其对结构刚度的影响。周期折减系数根据实际情况及经验，由设计人员确定。当轻质隔墙板刚度较小且结构刚度较大时，考虑到干式连接低多层结构刚度较小时，周期折减系数可取 0.7~0.9。

非承重墙体为砌块隔墙时，周期折减系数的取值可参照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定执行。

6.2.5 外围护墙采用外挂墙板时，与主体结构一般采用点支承或线支承连接方式，其对主体结构的影响及处理方式与现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的有关规定一致。

6.2.6 试验结果表明，干式连接低多层结构具有变形相对集中于节点及接缝部位、变形能力较好的特点。考虑结构构件的裂缝控制、非结构构件的正常使用要求，结构楼层弹性层间位移角限值较现浇混凝土框架结构适当放松；考虑大震作用下结构防倒塌要求，其层间弹塑性位移角限值保持与现浇混凝土框架结构一致。

6.2.7 干式连接低多层结构由于节点及接缝的半刚性特点，其结构水平位移将有所增大，同时，全预制柱的多肢、肢薄的特点也一定程度影响了其抗侧刚度。另外，全预制梁在全预制柱牛腿上的搁置及连接将导致明显的偏心竖向荷载而加大构件二阶效应。因此，其内力与变形分析过程中应考虑结构层面重力二阶效应（ $P-\Delta$ 效应）和受压构件的挠曲效应（ $P-\delta$ 效应）。

6.3 预制构件设计

6.3.1 预制构件设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 等的有关规定。

预制构件的标准化指在结构设计时，应尽量减少梁板柱等预制结构构件的种类，保证模板能够多次重复使用，以降低造价。

构件在安装过程中，钢筋对位直接制约构件的连接效率，故宜采用大直径、大间距的配筋方式，以便于现场钢筋的对位和连接。

6.3.2 结合干式连接低多层结构的全预制柱的布置位置，全预制柱截面形状可设计成一字形、L 形、T 形或十字形，以适应角柱、边柱、中柱等不同位置建筑外露柱的要求。

为尽量减小全预制柱的扭转效应，建议其截面形状为肢高、肢厚相等的等肢对称截面形状。当不得不采用不等肢截面时，对其肢高比及肢厚差进行限制，以减小截面不对称所带来的结构扭转、两主轴方向刚度不均匀等不利影响。

全预制柱在梁柱节点部位可能在多个方向均需与梁、板连接用的预制牛腿，且全预制柱肢厚较薄，该部位钢筋布置及有关预埋将极为拥挤。为简化工厂预制、方便现场施工，可将柱身及梁柱节点单独预制，梁柱节点预制时与预制牛腿进行一体化设计与制作，形成本标准第 2.1.8 条说明的部件化的预制梁柱节点。预制柱身及预制梁柱节点之间仍然可以采用钢筋套筒灌浆连接或钢筋浆锚搭接连接。

6.3.3 全预制柱由于其截面特点，其受力性能与异形柱基本相同，其在低周反复荷载作用下的破坏较矩形柱严重。为提高全预制柱的延性，避免短柱出现，实现受弯破坏形态，对其剪跨比进行限制。

控制轴压比是保证全预制柱的延性性能的重要措施。对于全预制柱，当其截面形状为一字形时，其受力性能与剪力墙类似，因此，按剪力墙轴压比的有关规

定进行计算和控制。同时，国家现行标准未对四级剪力墙轴压比限值进行明确，本标准参考工程实际做法，按 0.70 进行控制；当其截面形状为 L 形、Z 形、T 形、十字形截面时，其受力性能与异形柱类似，因此，按异形柱轴压比的有关规定进行计算控制，而异形柱与剪跨比、肢端暗柱设置、500MPa 纵向受力钢筋等情形下轴压比限值的调整措施仍然适用于全预制柱。

6.3.4 全预制柱的截面弯矩设计值、剪力设计值、正截面承载力计算、斜截面承载力计算以及纵向受力钢筋配筋百分率、箍筋加密区范围与配箍特征值等应按照国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的有关规定执行。

同时，结合干式连接低多层结构构件连接节点及接缝构造特点，全预制梁与全预制楼板将对全预制柱产生明显的竖向偏心荷载，其对全预制柱的截面内力及承载力均有直接影响，设计时应予以充分考虑，确保结构安全。

另外，干式连接低多层结构的全预制柱可采用钢筋套筒灌浆连接或钢筋浆锚搭接连接，其构件设计与构造可按照国家现行标准《装配式混凝土建筑设计标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 等的有关规定执行。

6.3.5 全预制梁的截面尺寸及配筋计算可按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对现浇混凝土梁的有关规定执行，同时，应注意与全预制柱截面尺寸的协调，梁端与预制牛腿连接部位应做好截面配筋加强构造，并处理好钢筋布置与干式连接涉及的干法连接件、套筒等预埋的位置关系。

同时，全预制楼板将通过预制牛腿向全预制梁侧面传递竖向荷载，从而导致全预制梁的竖向偏心荷载，对仅有一侧有板的边梁或悬挑梁影响较大，设计计算中应充分考虑该不利影响，确保结构安全。

6.3.6 预制牛腿主要用于全预制梁在全预制柱上、全预制楼板在全预制梁上的搁置，并应保证牛腿抗剪承载力满足该部位受剪要求。预制牛腿的截面尺寸及配筋计算可按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行，同时，设计时应结合干式连接构造，充分考虑预制牛腿可能受到的内力，并应注意与全预制柱及全预制梁截面尺寸的协调，处理好牛腿钢筋的锚固问题及牛腿配筋与干式连接相关干法连接件、预埋套筒的位置关系。

6.3.7 全预制楼板的截面尺寸及配筋计算可按照现行国家标准《混凝土结构设计

规范》GB 50010 对现浇混凝土板的有关规定执行，同时，应处理好纵向受力钢筋布置与干式连接涉及的预埋干法连接件、钢筋套筒之间的位置关系。

全预制楼板板端的边界条件直接决定了其内力计算及截面设计，而边界条件是否按简支、固支或弹性支座考虑，将取决于全预制楼板与全预制梁及全预制柱的连接接缝构造情况。

一般情况下，板梁（柱）接缝采用干法连接件与角部钢筋的混合连接方案。当干法连接件布置较密，接缝刚度较大时，可按固支考虑；当干法连接件布置较稀疏，接缝刚度较小时，可按简支考虑；当介于前两者之间时，则需适当考虑边界刚度，按弹性支座考虑，实际设计时可考虑将板端弯矩进行比例释放，具体释放比例则需结合试验或有限元分析结果确定。

当板梁（柱）接缝通过浆锚钢筋销键连接时，接缝刚度较小，可按简支边界条件进行分析。

6.4 连接设计

6.4.2 如本标准第 2.1.7 条所述，干式连接低多层结构的干式连接主要包括成对干法连接件构造和一侧预埋套筒、一侧干法连接件构造。为保证节点及接缝连接的可靠性，螺栓或钢筋套筒连接需充分发挥其承载力。因此，需对干法连接件、螺栓及钢筋套筒连接接头的承载力进行验算。对于干法连接件，当前产品设计参见图 2，钢板采用 45 号钢，厚度一般为 30mm。梁用连接件在四角开设螺纹通孔，并与 4 根锚固钢筋连接。板用连接件在两侧开设螺纹通孔，并与 2 根锚固钢筋连接。连接件中部开设圆孔或长圆孔，用于螺栓连接。试验结果表明，其能保证 2 根 10.9 级 M20 高强螺栓破断，且其能保证螺栓安装所需作业空间；对于螺栓本体，应根据节点或接缝对其内力要求，核算其受拉或抗剪承载力，确保其数量及直径满足受力要求；对于钢筋套筒连接，应验算其连接钢筋及接头的承载力，以充分发挥其锚固性能。

6.4.3 全预制柱之间可采用钢筋套筒灌浆连接以实现柱构件的刚性连接。同时，考虑到干式连接低多层结构建筑高度较小，地震作用相对较小，当满足房屋高度不大于 12m 或层数不超过 3 层时，也可采用钢筋浆锚搭接连接，以节约造价、简化施工。

考虑到梁柱节点部位构造复杂、尺寸限制及配筋密集，宜采用预制梁柱节点。

预制梁柱节点与上下层预制柱身之间仍可采用钢筋套筒灌浆连接或钢筋浆锚搭接连接（图 5）。为进一步简化预制梁柱节点构造，当采用钢筋套筒灌浆连接时，灌浆套筒分别预埋于下层预制柱身的顶部及上层预制柱身的根部，为保证灌浆饱满度，与下层预制柱身连接时，可采用排浆法工艺，与上层预制柱身连接时，可采用压力灌浆工艺。当采用钢筋浆锚搭接连接时，可参照钢筋套筒灌浆连接的做法，将金属波纹管分别预埋于下层预制柱身的顶部及上层预制柱身的根部，也可考虑将通高的金属波纹管预埋于预制梁柱节点内，下层预制柱身通过金属波纹管穿越节点，并向上伸出锚固于上层预制柱身根部预埋的金属波纹管内。

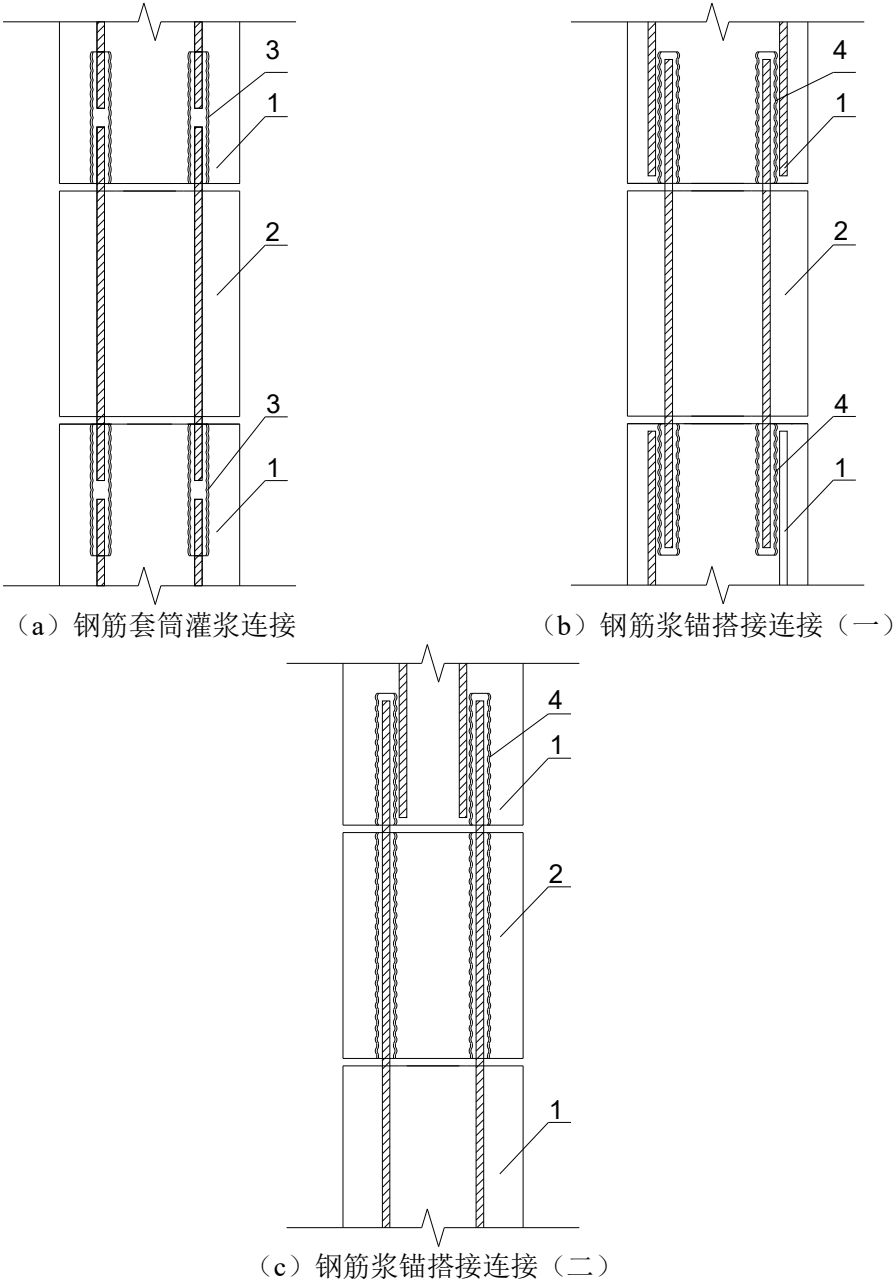


图 5 预制梁柱节点与预制柱身的连接构造

1—全预制柱；2—预制梁柱节点；3—钢筋连接用灌浆套筒；4—金属波纹管

6.4.4 试验结果表明，成对干法连接件构造和一侧预埋套筒、一侧干法连接件构造均可保证螺栓承载力充分发挥及节点连接的可靠性。对于成对干法连接件构造，主要依靠干法连接件的良好锚固及传力特性保证螺栓承载力发挥，性能可靠，但其对节点部位的配筋构造、梁柱截面尺寸等要求较高；对于一侧预埋套筒、一侧干法连接件构造主要是通过钢筋套筒代替干法连接件，利用其体积优势避免与钢筋的碰撞，方便制作，但其传力性能将受到钢筋套筒及其连接钢筋施工质量的直接影响，质量控制更为严格。因此，实际设计中应结合梁柱节点的具体情况，合理选用成对干法连接件构造和一侧预埋套筒、一侧干法连接件构造。

对于钢筋套筒，为确保其可靠锚固，同时考虑全预制柱的截面尺寸限制，其一般采取连接钢筋弯折锚固或机械锚固。当全预制柱肢高较小，无法满足连接钢筋弯折锚固或机械锚固的锚固长度要求时，可采用在柱外侧设置锚固板的方式，将钢筋套筒的拉力转化为锚固板与柱侧面混凝土的压力，以确保其传力性能可靠发挥。

节点连接的螺栓规格、位置及数量应确保梁端的正截面受弯承载力和接缝截面受剪承载力满足设计要求。同时，考虑到螺栓与干法连接件的构造关系，螺栓的具体设计仍应充分考虑干法连接件的布置空间需求（应确保干法连接件的可靠锚固及其周边梁柱纵筋及箍筋的布置），否则将无法实施。

对于钢筋套筒，其一端与连接钢筋螺纹连接，一端与螺栓螺纹连接，三者规格应相互匹配，为充分发挥螺栓承载力，应确保钢筋套筒与连接钢筋及螺栓连接的可靠性。

梁端竖向接缝和水平接缝是保证节点部位压力荷载可靠传递的重要部位，应确保灌浆饱满、密实。同时，为确保接缝填实材料晚于预制构件混凝土破坏，应确保其抗压强度高于预制构件混凝土强度。为保证接缝灌浆质量，其接缝宽度不宜小于 20mm，且应注意灌浆料的流动度满足灌缝工艺要求，尤其是采用纤维增强灌浆料时，更应注意其纤维掺量，在提升材料抗裂性能的同时，保证其具有足够的流动度。

干法连接件空腔内封堵材料将承担传递压力、保护螺栓的作用。试验结果表明，在梁端正、负弯矩往复作用下，该局部由于螺栓和干法连接件钢板的反复拉压及往复变形影响，较易发生表面崩裂。因此，本标准要求干法连接件封堵材料

采用高强度灌浆料，以确保节点受力安全。

6.4.5 试验研究表明，采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010规定的基于平截面假定的正截面受弯承载力计算方法，可安全预测暗牛腿干式连接梁柱节点的梁端受弯承载力。同时，为偏于安全，受压侧混凝土抗压强度应取所有受压材料抗压强度的较小值，拉力则由受拉螺栓全部承担。另外，为合理利用螺栓强度，简化连接构造，计算中可考虑受压侧螺栓对截面受弯承载力的贡献。

6.4.6 暗牛腿干式连接梁柱节点将由预制牛腿及受压侧螺栓共同抵抗剪力（偏安全地不考虑受拉侧螺栓的抗剪贡献），考虑到预制牛腿刚度较螺栓抗剪刚度较大，且试验中发现破坏阶段截面受压区较小，螺栓位置由于干法连接件尺寸限制较为靠近截面中性轴，导致截面内螺栓均属于受拉状态，因此，本条偏安全地不考虑螺栓的销栓抗剪作用。

6.4.7 明牛腿干式连接梁柱节点通过明牛腿实现全预制梁施工过程中的搁置，并提供梁端抗剪承载性能，其受力性能较暗牛腿形式干式连接梁柱节点更为简单，但材料用量较大，也会影响建筑空间，应综合建筑及结构因素进行合理选择。对于明牛腿节点构造及相关计算，如干式连接方式及具体构造、梁端截面承载力验算等，可参照本标准关于暗牛腿干式连接梁柱节点的有关规定执行。

6.4.8 试验结果表明，角部连接钢筋的设置可明显提高板梁（柱）接缝的承载力及刚度，是改善仅设置干法连接件的板梁（柱）接缝力学性能的可靠措施。

板用干法连接件采用八字形布置的锚固钢筋，有利于将螺栓内力传递至更大范围的板，易扩散应力，防止因楼板厚度有限导致干法连接件局部受力集中引起混凝土开裂。

干法连接件的数量及间距将直接决定板梁（柱）接缝的受弯承载力及刚度，为确保安全，对其布置方式和间距做了规定。

试验结果表明，16mm 直径角部连接钢筋对试件承载力及刚度提高显著，因此，建议角部连接钢筋直径不宜小于 16mm。同时，为能充分发挥角部连接钢筋对板梁（柱）接缝性能的提升作用，应确保其强度的充分发挥，这取决于角部钢筋自身的锚固及钢筋套筒的锚固性能，因此，本条对角部连接钢筋的锚固及钢筋套筒的锚固提出了构造措施建议。

另外，为便于角部钢筋与钢筋套筒的连接施工，板面槽口根部应局部放大作

为角部钢筋安装的“手孔”。

6.4.9 试验研究表明，采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010规定的基于平截面假定的正截面受弯承载力计算方法，可安全预测采用明牛腿形式的干法连接件与角部连接钢筋的混合连接的干式连接板梁（柱）接缝的板端受弯承载力。对于具体计算参数的取值，则与梁柱节点基本相同。

接缝构造决定了全预制楼板构件抗弯设计时的边界条件假定，实际设计中，可基于设计软件提供的板端弯矩释放功能，具体释放百分比则需结合试验或有限元分析结果确定。同时，接缝构造及其面内抗剪刚度也决定了结构在水平荷载作用下计算分析时的刚性或弹性楼板假定，同样应通过有限元分析或试验选用合理的楼盖刚度假定。

6.4.10 销键连接构造简单、施工工效，可供板端支座按简支边界条件的设计情况选用。销键按照设计要求，可选择 C 级普通螺栓或普通钢筋，为确保销键连接的安全性，本条对螺栓规格、钢筋直径及灌孔材料进行了要求。

另外，当采用钢筋销键时，为提高其抗拔能力，可采用钢筋镦头或设置锚固板工艺。

6.4.11 节点及接缝的结合面设置粗糙面，有利于增强结合面不同材料之间的黏结性能，提高节点及接缝的抗剪能力及整体性能。对于干式连接低多层结构中抗剪要求较高的全预制梁与预制牛腿之间的结合面以及全预制柱底部的结合面应设置粗糙面，而考虑到全预制楼板板端抗剪要求相对较低，其与预制牛腿之间的板侧结合面可根据设计要求确定是否设置结合面。

粗糙面的面积百分率及凹凸深度与现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定一致。

7 生产运输

7.0.2 干法连接件尚属于新产品，还未形成系统的产品标准和技术要求。为确保其应用安全，在技术条件暂未成熟的条件下，本条要求对进场干法连接件按照设计使用的规格，制作代表性试件，每种规格 1 组，每组 3 个，进行干法连接件螺栓接头的抗拉强度试验，并出具试验结果报告，对干法连接件产品质量及性能可靠性进行判定。

7.0.3 干式连接当采用钢筋套筒时，其与连接钢筋之间为钢筋机械连接，其制作应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 对机械连接接头钢筋丝头加工、连接安装、质量检查的有关规定，并最终确保破坏不发生断于接头及避免连接钢筋与灌浆套筒拉脱现象。

7.0.4 全预制构件由于其整体制作工艺，其容差性相对较低，因此，应严格确保预埋件的施工质量，以免预埋件规格、数量、位置问题导致预制构件作废。

国家现行标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 规定预埋螺栓、预埋套筒及螺母安装允许偏差均为 2mm，预留插筋安装允许偏差为 3mm。对于干式连接的干法连接件，可通过端板开设螺栓孔的大小进行适当放大以提高螺栓安装的容差范围，以适应干法连接件之间及其与钢筋套筒之间的安装偏位，该调整工艺与钢筋套筒灌浆连接通过预留插筋倾斜调整其与钢筋套筒之间的位置偏差基本类似。因此，本条参考现行标准对预留插筋的有关规定，对干法连接件的安装允许偏差为 3mm。

7.0.5 鉴于预制构件生产工艺需求，干法连接件在预制构件混凝土浇筑过程中，应采取适当措施保证混凝土不致进入干法连接件空腔内而导致堵塞螺栓孔或影响安装螺栓的“手孔”作业空间。实际制作过程中，可采用填塞泡沫块措施，便于混凝土强度达到设计要求或拆模后取出。

7.0.6 预制构件粗糙面成型工艺较多，有传统的拉毛、凿毛及水洗露骨料粗糙面以及近年来出现的花纹钢板成型粗糙面。编制组在前期相关研究工作中提出了气泡膜粗糙面，并在干式连接低多层结构试验及试点工程建设中，提出了类似气泡膜的免凿毛止浆带成型粗糙面。试验结果表明，水洗露骨料粗糙面、气泡膜粗糙面工艺控制良好的前提下，均能保证较好的结合面抗剪能力，因此，本条推荐选

用。拉毛、凿毛为传统工艺，已通过试验及实践证实其质量可靠性，但质量控制相对困难，效率也相对较低，可供选用。花纹钢板粗糙面由于凹凸深度不够，无法提供足够的结合面黏结能力，虽然其成型工艺最为方便，但考虑到安全性要求，应谨慎采用。

7.0.7 由于预制梁柱节点外形复杂，同时为保证现场与梁、板的顺利连接，对其制作精度要求较高，因此，建议采用组合钢模进行制作，以确保成品预制质量。

同时，为提高预制梁柱节点的成品质量，本条对其构件外形尺寸偏差及预埋件位置偏差做了较国家现行标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 及本标准第 7.0.4 条更为严格的规定。

7.0.8 全预制构件在生产和运输过程中，应做好预制构件存放和运输过程中的质量安全保证措施。

预制构件存放应符合下列规定：

- 1 存放场地应平整、坚实，并应有排水措施；
- 2 存放库区宜实行分区管理和信息化台账管理；
- 3 应按照产品品种、规格型号、检验状态分类存放，产品标识应明确、耐久，预埋吊件应朝上，标识应向外；
- 4 应合理设置垫块支点位置，确保预制构件存放稳定，支点宜与起吊点位置一致；
- 5 与清水混凝土面接触的垫块应采取防污染措施；
- 6 预制构件多层叠放时，每层构件间的垫块应上下对齐；全预制楼板、叠合板、阳台板和空调板等构件宜平放，叠放层数不宜超过 6 层；
- 7 全预制梁宜平放且用两条垫木支撑；
- 8 全预制柱应结合其截面特点，宜单层平放，当多层叠放时，应在上下层全预制柱垫点处构件空心位置设置垫块垫实。

预制构件成品保护应符合下列规定：

- 1 预制构件成品外露保温板应采取防止开裂措施，外露钢筋应采取防弯折措施，外露干法连接件等外露金属件应按不同环境类别进行防护或防腐、防锈；
- 2 宜采取保证吊装前预埋螺栓孔清洁的措施；
- 3 钢筋连接套筒、预埋孔洞应采取防止堵塞的临时封堵措施；

4 露骨料粗糙面冲洗完成后应对灌浆套筒及干法连接件进行检查，并清理其内部的杂物；

5 冬期生产和存放的预制构件的非贯穿孔洞应采取措施防止雨雪水进入发生冻胀损坏。

预制构件在运输过程中应做好安全和成品防护，并应符合下列规定：

1 应根据预制构件种类采取可靠的固定措施。

2 对于超高、超宽、形状特殊的大型预制构件的运输和存放应制定专门的质量安全保证措施。

3 运输时宜采取如下防护措施：

1)设置柔性垫片避免预制构件边角部位或链索接触处的混凝土损伤。

2)用塑料薄膜包裹垫块避免预制构件外观污染。

3)墙板门窗框、装饰表面和棱角采用塑料贴膜或其他措施防护。

4)竖向薄壁构件设置临时防护支架。

5)装箱运输时，箱内四周采用木材或柔性垫片填实，支撑牢固。

4 应根据构件特点采用不同的运输方式，托架、靠放架、插放架应进行专门设计，进行强度、稳定性和刚度验算：

1)外墙板宜采用立式运输，外饰面层应朝外，梁、板、楼梯、阳台宜采用水平运输。

2)采用靠放架立式运输时，构件与地面倾斜角度宜大于 80° ，构件应对称靠放，每侧不大于 2 层，构件层间上部采用木垫块隔离。

3)采用插放架直立运输时，应采取防止构件倾倒措施，构件之间应设置隔离垫块。

4)水平运输时，全预制梁、柱构件叠放不宜超过 3 层，全预制楼板叠放不宜超过 6 层。

8 施工安装

8.1.2 预制构件、安装用材料及配件进场验收应符合本标准第 9 章、现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 及产品应用技术手册等的有关规定。确保预制构件、安装用材料及配件进场的产品品质。

8.1.3 施工验算一般需考虑预制构件脱模、翻转、运输、堆放、吊装、临时固定以及节点连接等施工全过程。施工验算主要内容为临时性结构以及预制构件、预埋吊件及预埋件、吊具、临时支撑等，可参照现行国家标准《混凝土结构施工规范》GB 50666 的有关规定执行。

对于干式连接低多层结构，预制牛腿为全预制梁及全预制楼板安装过程中的永久支座，应根据施工阶段荷载情况及全预制梁或全预制楼板的受力情况，对预制牛腿的抗剪承载力进行验算；同时，全预制柱和全预制梁分别为全预制梁和全预制楼板安装时的临时支撑，需考虑实际施工工况，进行相应的施工验算；施工验算除要考虑自重和施工荷载外，尚需考虑施工过程中的温差和混凝土收缩等不利影响；对于高空安装的预制结构，构件装配工况和临时支撑系统验算还需考虑风荷载的作用。

8.1.4 考虑到全预制梁与预制牛腿构件表面可能的不平整，如直接接触或出现集中受力的现象，设置垫片有利于均匀受力，也可以在一定范围内调整构件的标高。垫片一般为铁片或橡胶片，其尺寸按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的局部受压承载力要求确定。

考虑到全预制梁已具备成型构件受力条件，可通过合理的计算，进一步优化梁下临时支撑布置，尽可能利用构件受力能力，同时减少施工措施。

螺栓应对称、循环拧紧，注意单根螺栓紧固时全预制梁端部可能产生的转动。

全预制梁与预制牛腿及全预制柱之间的接缝填实材料以及干法连接件空腔内封堵材料的施工质量尤其重要，不仅决定了节点压力的有效传递，也能保护螺栓免于锈蚀，应严格控制其施工质量，保证其饱满、密实。由于暗牛腿接缝构造复杂，应在接缝周围做好适当的封堵措施，以免灌缝时漏浆而影响灌缝质量。

8.1.5 本条对全预制楼板与全预制梁干式连接节点施工的要求和全预制柱与全预

制梁干式连接节点施工要求基本类似。其中，全预制楼板由于其平面几何形状，其标高调整需通过下部临时支撑及垫片共同调整；板下临时支撑仍可合理优化；角部钢筋安装就位且螺栓紧固到位后，可同步灌注角部钢筋浆锚材料及板梁接缝灌缝材料。

9 质量验收

9.1.1 干式连接低多层结构采用全预制构件，因此，预制构件进场时需对其进行结构性能检验，并应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

9.1.5 干式连接低多层结构的节点及接缝的受力性能与装配整体式混凝土结构差异较大，突出表现在其刚度较低、变形能力较强，因此应考虑防水材料适应节点及接缝较大变形的抗裂等要求，并根据材料性能要求制定专项验收方案。