



T/CECS XXX—202X

中国工程建设标准化协会标准

3D 打印混凝土边框叠合板应用技术规程

3D printing concrete frame laminated board application technical specification

（征求意见稿）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

****出版社

中国工程建设标准化协会标准

3D 打印混凝土边框叠合板应用技术规程

3D printing concrete frame laminated board application technical specification

T/CECS ×××-202×

（征求意见稿）

主编单位：中国建筑设计研究院有限公司

北京建工新型建材有限责任公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202×年××月××日

****出版社

2024 年 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2023〕50 号）文件要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制订了本规程。

本规程主要技术内容包括：总则，术语和符号，材料，结构设计，生产、运输和堆放，施工，质量验收。

本规程的某些内容涉及一种 3D 打印钢筋混凝土预制叠合板及其生产工艺(202310479605.2)等专利。涉及专利的问题，使用者可直接与主编单位及专利权人协商处理。除此之外，部分内容仍有可能直接或间接涉及其他专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑产业化分会归口管理，由中国建筑设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地 址：北京市西城区车公庄大街 19 号中国建筑设计研究院有限公司，邮编： 100044），以供修订时参考。

主 编 单 位：

参 编 单 位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则.....	4
2 术语和符号.....	5
2.1 术 语.....	5
2.2 符 号.....	7
3 材 料.....	8
4 结构设计.....	11
4.1 一般规定.....	11
4.2 构件设计.....	12
4.3 板缝节点设计.....	14
4.4 支座节点设计.....	16
5 生产、运输与存放.....	18
5.1 一般规定.....	18
5.2 生产准备.....	18
5.3 构件生产.....	19
5.4 运输与存放.....	21
5.5 质量检验.....	21
6 施工.....	24
6.1 一般规定.....	24
6.2 安装准备.....	25
6.3 安装与连接.....	25
6.4 混凝土浇筑.....	27
7 质量验收.....	29
7.1 一般规定.....	29
7.2 主控项目.....	30
7.3 一般项目.....	30
附录 A 3D 打印抗压强度及其折减率测试方法.....	32
附录 B 3D 打印边框与后浇混凝土界面劈裂强度测试方法.....	34
用 词 说 明.....	36
引用标准名录.....	37
附：条文说明.....	39

Contents

2	Terms and symbols.....	5
2.1	Terms.....	5
2.2	Symbols.....	7
3	Materials.....	8
4	Structural design.....	11
4.1	General provisions.....	11
4.2	Member design.....	12
4.3	Plate joint design	14
4.4	Support joint design.....	16
5	Production, transportation and storage.....	18
5.1	General provisions.....	18
5.2	Production preparation	18
5.3	Member production	19
5.4	Transportation and storage	21
5.5	Quality inspection.....	21
6	Construction	24
6.1	General provisions.....	24
6.2	Installation preparation.....	25
6.3	Installation and connection.....	25
6.4	Concrete pouring	27
7	Quality acceptance	29
7.1	General provisions.....	29
7.2	Main control items.....	30
7.3	General items	30
	Appendix A Test method for compressive strength and reduction rate of 3D printed concrete structures.....	32
	Appendix B Test method for interfacial shear strength of 3D printed frame and post-cast concrete.....	34
	Explanation of wording.....	36
	List of quoted standards	37
	Addition: Explanation of provisions	39

1 总则

1.0.1 为规范 3D 打印混凝土边框叠合板应用的技术要求，做到安全适用、经济合理、技术先进、保证质量，制定本规程。

【条文说明】

1.0.1 钢筋桁架混凝土叠合板具有整体性能好、安装效率高、施工质量优等优点，近年来在装配式建筑中得到广泛应用。3D 打印混凝土边框的作用替代侧模，实现叠合板预制底板制作免模板，同时与边框内混凝土结合形成预制底板。为规范 3D 打印混凝土边框叠合板的设计、生产、施工及验收，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度 8 度及以下地区的工业与民用建筑中 3D 打印混凝土边框叠合板的设计、生产、施工及验收。

【条文说明】

1.0.2 由于目前研究成果有限，本规程的适用范围未包含抗震设防烈度为 9 度的地区。对于工业建筑，本规程适用于无特殊使用环境和条件下的普通单层或多层工业厂房建筑；当建筑处于特殊使用环境和条件，如高温高湿环境、腐蚀环境、有动力荷载等，需根据具体情况进行专项设计。

1.0.3 3D 打印混凝土边框叠合板的设计、生产、施工及验收除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】

1.0.3 国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《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、《混凝土结构成型钢筋应用技术规程》JGJ 366、《工厂预制混凝土构件质量管理标准》JG / T 565 中，对于混凝土叠合板、钢筋桁架混凝土叠合板和钢筋桁架预制板及其应用，均有相应规定。本规程在这些标准的基础上，通过进一步的研究和实践，针对 3D 打印混凝土边框叠合板的应用提出了相应规定。当采用本规程时，对与其他现行标准中不完全一致之处，需注意适用条件和附加要求。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 3D 打印混凝土 3D printed concrete

以水泥、骨料和水为主要原材料,根据需要加入矿物掺合料和外加剂等材料,按一定配合比拌合后,通过 3D 打印工艺成型、经养护硬化后具有强度的工程材料。

2.1.2 3D 打印混凝土边框叠合板 3D printed concrete frame laminated board

采用 3D 打印混凝土边框预制底板、上部现场后浇混凝土形成的叠合板,用于楼板、屋面板。简称边框叠合板。

【条文说明】

2.1.2 3D 打印混凝土边框预制底板用作叠合板共同受力的底板。预制底板在生产、施工过程中独立承载,后浇叠合层混凝土浇筑后形成叠合板。

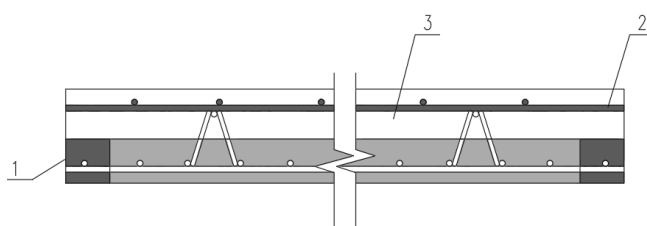


图 1 3D 打印混凝土边框叠合板示意

1—3D 打印混凝土边框预制底板; 2—上铁钢筋; 3—后浇混凝土

2.1.3 3D 打印混凝土边框预制底板 3D printed precast bottom plate with concrete border

预制底板的混凝土边框采用 3D 技术实现免模板成型,以钢筋桁架作为加劲肋的预制混凝土底板。简称预制底板。

【条文说明】

2.1.3 通过 3D 混凝土打印机打印一层预制底板的边框,再架设钢筋网片,接着打印边框剩余高度。待边框硬化后,架设钢筋桁架并在边框内侧进行浇筑混凝土,再静养、拉毛、养护、脱模,形成 3D 打印钢筋混凝土边框预制底板。

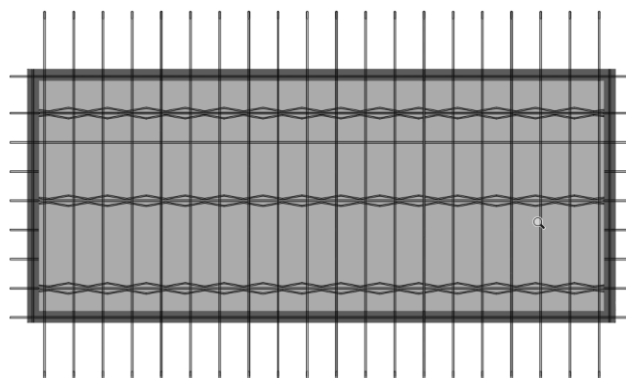


图 2 3D 打印混凝土边框叠合板示意

1—3D 打印混凝土边框；2—中部混凝土；3—焊接钢筋网片；4—钢筋桁架

2.1.4 3D 打印混凝土边框 3D printed concrete border

预制底板的周边采用挤出堆叠工艺实现混凝土免模板成型。简称边框。

【条文说明】

2.1.4 在传统预制底板加工过程中，钢模板工程复杂，自动化程度低，不符合新时代我国建筑智能建造与新型建筑工业化的需求，将 3D 打印技术用于预制底板的边框的制作，待边框硬化后，替代侧模，实现预制底板免模板生产，同时与边框内混凝土结合形成预制底板。

2.1.5 焊接钢筋网片 welded steel mesh

具有相同或不同直径的预制底板纵向和横向钢筋分别以一定间距垂直排列，全部交叉点均用电阻点焊焊在一起的钢筋网片。

【条文说明】

2.1.5 预制底板受力钢筋采用焊接钢筋网片，可提高预制底板的生产效率和减少人工，在预制构件厂打造“机器人”应用场景，提升预制构件生产的工业化和智能化水平。

2.1.6 后浇带式接缝 post-cast belt joint

边框叠合板中，当预制底板需要拼接时，预制底板之间采用后浇带连接，形成共同受力的一种接缝形式。

【条文说明】

2.1.6 预制底板由于 3D 打印的特殊工艺，边框侧面凹凸形成键槽，采用后浇带式接缝更适用 3D 打印混凝土边框预制底板。后浇带式接缝可分为双向受力接缝和单向受力接缝。

2.2 符 号

2.2.1 几何参数

d ——钢筋直径

h 、 h_1 、 h_2 ——边框叠合板、预制底板、后浇叠合层厚度；

l_a ——纵向受拉钢筋的锚固长度；

l_{ab} ——纵向受拉钢筋的基本锚固长度；

l_l ——纵向受拉钢筋的搭接长度；

3 材 料

3.0.1 预制底板的混凝土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，其强度等级不宜低于 C30。

【条文说明】

3.0.1 预制底板所用混凝土材料包括 3D 打印混凝土和后浇混凝土。

3.0.2 边框用 3D 打印混凝土强度等级不应低于叠合板混凝土设计强度等级，且不宜高于后浇混凝土一个强度等级。检测方法宜参照本规程附录 A，且符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定。

【条文说明】

3.0.2 3D 打印混凝土与后浇混凝土在整体成型后协同受力，故强度等级宜相同。3D 打印混凝土硬化后的力学性能应与普通混凝土一致，因此对于硬化后 3D 打印混凝土力学性能的要求采用了与普通混凝土相同的规定。此外，由于 3D 打印混凝土的成型方式特殊，因此力学性能存在各向异性。其抗压强度折减率、应符合中国工程建设标准化协会标准《混凝土 3D 打印技术规程》T/CECS 786 中的有关规定。

3.0.3 3D 打印混凝土与后浇混凝土界面劈裂抗拉强度宜符合表 3.0.3 的规定，检测方法宜参照本规程附录 B。

表 3.0.3 3D 打印混凝土与后浇混凝土界面劈裂抗拉强度要求

后浇混凝土强度等级	劈裂抗拉强度（MPa）
C30	≥ 2.4
C40	≥ 3.2
C50	≥ 3.5
C60	≥ 4.2

【条文说明】

3.0.3 3D 打印混凝土边框预制底板成型后，3D 打印边框与后浇混凝土存在界面。根据叠合板的受力特点，必须对界面劈裂抗拉强度进行检测。附录 B 的检测方法参考了《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 中“9 劈裂抗拉强度试验”的内容。

3.0.4 边框用 3D 打印混凝土宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。当采用其他品种水泥时，其性能指标应符合现行国家有关标准的规定。

3.0.5 边框用 3D 打印混凝土粗骨料宜选用粒形良好、质地坚固的碎石或卵石，且最大公称粒径不宜大于 10mm。粗骨料的含泥量和泥块含量应符合表 3.0.4 的规定，其他性能及试验方法应符合现行国家标准《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685 的有关规定。

表 3.0.4 粗骨料的含泥量和泥块含量

项目	含泥量	泥块含量
指标 (%)	≤1.0	≤0.5

3.0.6 边框用 3D 打印混凝土细骨料宜选用级配 II 区的中砂。天然砂的含泥量、泥块含量应符合表 3.0.5-1 的规定；人工砂的石粉含量应符合表 3.0.5-2 的规定。细骨料的其他性能及试验方法应符合现行国家标准《建筑用砂》GB/T 14684 的有关规定。

表 3.0.5-1 天然砂的含泥量和泥块含量

项目	含泥量	泥块含量
指标 (%)	≤3.0	≤1.0

表 3.0.5-2 人工砂的石粉含量

项目		指标 (%)
石粉含量 (%)	MB<1.4	≤7.0
	MB≥1.4	≤3.0

【条文说明】

3.05~3.0.6 本规程所述混凝土 3D 打印具体为挤出型混凝土 3D 打印。挤出型要求混凝土材料中骨料的粒径不宜过大，否则易导致输料管堵塞或打印头端送料螺杆卡死。因此，骨料的粒径应首先根据输料设备、打印头尺寸和经验等进行设计，并通过试验确定。

3.0.7 边框用 3D 打印混凝土拌合物流动性、可挤出性和支撑性宜符合表 3.0.7 的规定。

表 3.0.7 3D 打印混凝土拌合物要求及检验方法

项目	技术要求	检验方法
流动度 (mm)	160~200	《水泥胶砂流动度测定方法》 GB/T 2419
凝结时间 (min)	≤90	《建筑砂浆基本性能试验方法》 JGJ/T 70
可挤出性	连续均匀、无堵塞、无明显拉裂	观测
支撑性	挤出后形态保持稳定且不倒塌	观测

【条文说明】

3.0.7 流动性是 3D 打印混凝土拌合物的重要指标之一。当流动性过小时，拌合物难以被挤出，导致供料管堵塞；当流动度过大时，3D 打印混凝土材料挤出后可建造性差，难以满足支撑性要求。根据已进行的 3D 打印混凝土拌合物流动性试验，并结合国内多篇文献中挤出型 3D 打印混凝土拌合物的流动性指标，对 3D 打印混凝土拌合物的流动性给出了建议的取值范围。

3.0.8 预制底板用钢筋、钢材应符合下列规定：

1 热轧钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T50010 的有关规定。

2 冷轧带肋钢筋应符合现行行业标准《冷轧带肋钢筋混凝土结构技术规程》JGJ 95 的有关规定。

3 预制底板所用钢筋桁架应符合现行中国工程建设标准化协会标准《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》T/CECS 715 的有关规定。

4 预埋件锚板、锚筋及吊环材料应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T50010 的有关规定。

【条文说明】

3.0.8 3D 打印混凝土边框预制底板所用钢筋、钢筋桁架等材料与钢筋桁架混凝土叠合板一致，因此对钢筋、桁架钢筋的要求与现行中国工程建设标准化协会标准《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》T/CECS 715 中的有关规定保持一致。

4 结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 在短暂设计状况、持久设计状况下的边框叠合板应按承载能力极限状态进行计算，并应对正常使用极限状态进行验算。并应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T50010、《建筑抗震设计标准》GB/T50011 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 等的有关规定。

【条文说明】

4.1.1 在边框叠合板设计中，除对使用阶段持久设计状况进行验算外，还应重视施工阶段的验算，即短暂设计状况的验算。

4.1.2 边框叠合板符合本规程的设计方法与构造措施的规定时，结构整体分析中可采用与现浇混凝土板相同的计算假定。

【条文说明】

4.1.2 对后浇带式接缝的单双向板进行的加载试验表明，满足本规程的设计方法和构造措施要求时，边框叠合楼板具有良好的整体性，板底裂缝开展、塑性铰线走势、以及挠度最大位置与现浇板基本一致，对于一般平面规则的结构，可采用刚性楼板假定进行设计；对于平面复杂或不规则的结构，需要采用弹性楼板进行分析时，楼板的模拟方法可与现浇混凝土板相同。

4.1.3 边框叠合板应根据平面尺寸和预制底板生产、运输及吊装能力进行布置，并宜进行标准化设计。

4.1.4 四边支承的边框叠合板的设计应符合下列规定：

1 长宽比大于 2 时，宜按单向板设计；长宽比不大于 2 时，宜按双向板设计。

2 边框叠合板中，当预制底板需要拼接时，预制底板之间宜采用后浇带式接缝，实现共同受力。

【条文说明】

4.1.4 对后浇带式接缝的单双向板进行的加载试验表明，，边框叠合楼板表现出与现浇板相近的受力特性，参照现浇板的设计，当长宽比大于 2 时，宜按单向板设计；长宽比不大于 2 时，宜按双向板设计。

4.2 构件设计

4.2.1 预制底板的厚度不宜小于 60mm，且不应小于 50mm；3D 打印混凝土边框的宽度不宜小于 50mm，且不应小于 40mm；后浇混凝土叠合层厚度不应小于 60mm。

【条文说明】

4.2.1 当现浇层中不布置机电管线时，其厚度可以采用 50mm；当现浇层中布置机电管线时，其厚度不宜小于 60mm；当现浇层中布置机电管线且有交叉重叠时，推荐其厚度采用 70mm。根据现场实际打印测试，边框宽度考虑粗骨料粒径以及经济性宜为 50mm，亦可根据输料设备、打印头尺寸等进行设计，分两层或三层打印完成。

4.2.2 边框叠合楼板钢筋的混凝土保护层厚度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。

4.2.3 边框叠合楼板中的纵向钢筋宜采用钢筋焊接网片。当采用钢筋焊接网片时，应符合现行行业标准《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114 的有关规定。

【条文说明】

4.2.3 预制底板受力钢筋采用焊接钢筋网片，可提高预制底板的生产效率和减少人工，在预制构件厂打造“机器人”应用场景，提升预制构件生产的工业化和智能化水平。

4.2.4 预制底板板端构造钢筋至边框板边的距离不宜大于 25mm，板端受力钢筋宜靠近边框内侧布置；板侧受力钢筋至边框板边的距离不宜大于 25mm。

【条文说明】

4.2.4 如图 3，规定第一道钢筋中线至边框板边的距离不宜大于 25mm，保证边框内部有一根钢筋存在。根据现场试件试验，边框内部钢筋的存在可提高预制底板振捣时边框的抗裂能力。板端边框可设构造钢筋，两端可不出筋；板侧边框内部的钢筋可结合受力钢筋设置。

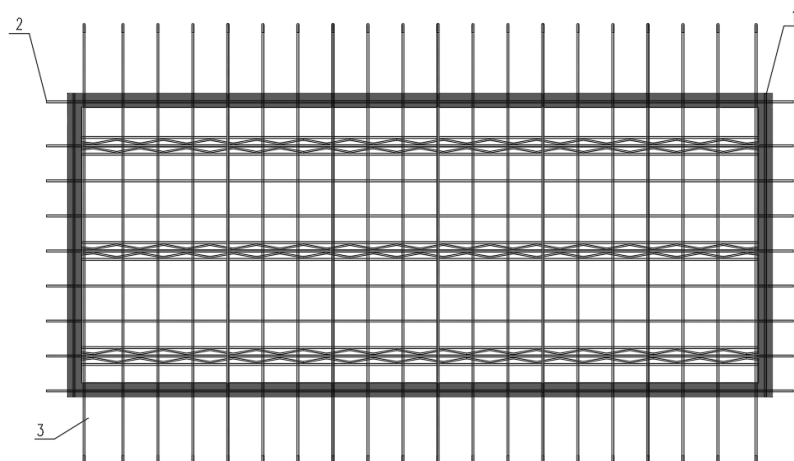


图 3 预制底板钢筋布置示意

1—板端构造钢筋；2—板侧受力钢筋；2—板端受力钢筋

4.2.5 预制底板所用钢筋桁架应符合现行中国工程建设标准化协会标准《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》T/CECS 715 的有关规定，且钢筋桁架的布置从边框边缘开始，宜避开边框位置。

【条文说明】

4.2.5 钢筋桁架作为非受力钢筋，为了避免桁架筋影响 3D 打印的连续性，桁架钢筋的布置可以从边框边缘开始，宜避开边框位置。

4.2.6 边框叠合楼板开洞时，应符合下列规定：

- 1 洞口大小及洞口周边加强措施应符合国家现行标准的有关规定；
- 2 洞口应预留，不应现场开凿。

4.2.7 预制底板与后浇混凝土之间的结合面应符合下列规定：

- 1 预制底板与后浇混凝土叠合层之间的结合面应设置粗糙面；
- 2 接缝处预制底板板侧与后浇混凝土之间的结合面宜设置粗糙面；
- 3 粗糙面面积不宜小于结合面的 80%，凹凸深度不应小于 4mm。

【条文说明】

4.2.7 虽然对后浇带式接缝的节点进行了加载试验，试件边框由 3D 混凝土打印机分 3 层打印完成，边框侧面自然粗糙，在不拉毛的情况下与后浇混凝土的结合后并未出现明显的薄弱部位，节点的裂缝开展并未优先在此结合面出现。但本条第 2 款仍然对板侧的粗糙有一定规定，若打印边框侧面粗糙度天然满足第 3 款的要求，就无需再拉毛处理，否则仍然需要拉毛后满足第 3 款的粗糙度要求。

4.2.8 边框叠合板的钢筋桁架兼做吊点时，应满足以下规定：

- 1 钢筋桁架下弦钢筋下表面至桁架预制板上表面的距离不应小于 35mm。
- 2 吊点应选择在上弦钢筋焊点所在位置，焊点不应脱焊；吊点数量不少于 4 个，吊点位置应设置明显标识。
- 3 应在吊点位置钢筋桁架下弦钢筋上方设置至少 2 根附加钢筋，附加钢筋直径不宜小于 8mm，在吊点两侧的长度不宜小于 150mm(图 4.2.8)。

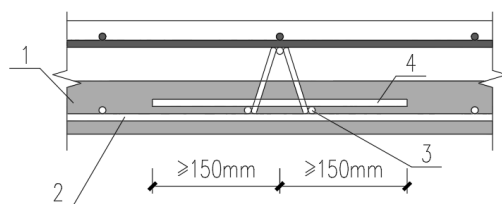


图 4.2.8 吊点处附加钢筋示意

1— 预制底板；2—预制板内焊接钢筋网片；3—下弦钢筋；4—附加钢筋

【条文说明】

4.2.8 利用钢筋桁架兼做吊点，可以减少生产工序，节约成本。根据预制底板生产工序，钢筋桁架下弦钢筋位于板内钢筋网片的上方，需要在吊点位置钢筋桁架下弦钢筋上方设置附加钢筋，防止产生钢筋桁架被拉出破坏。

4.3 板缝节点设计

4.3.1 边框叠合板板缝受弯承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T50010 的有关规定，并应符合下列规定：

- 1 当预制底板与后浇叠合层的混凝土等级不相同时，应按受压区位置处混凝土的强度等级计算受弯承载力。

- 2 接缝处的受弯承载力不应低于接缝处的设计弯矩。

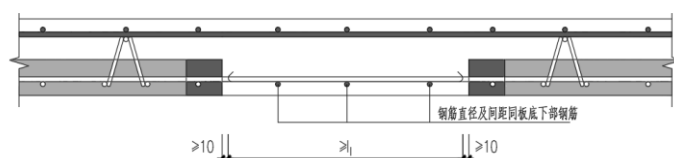
4.3.2 预制底板之间采用后浇带式接缝连接，双向板采用后浇带式双向受力接缝，单向板采用后浇带式单向受力接缝。

【条文说明】

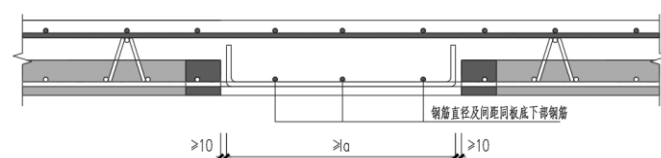
4.3.2 预制底板由于 3D 打印的特殊工艺，边框侧面凹凸形成键槽，采用后浇带式接缝更适用 3D 打印混凝土边框预制底板。根据叠合板的受力特点，后浇带式接缝可分为双向受力接缝和单向受力接缝。后浇带式接缝的具体构造措施本规程的相关规定。

4.3.3 双向板采用后浇带式双向受力接缝时，应符合下列规定：

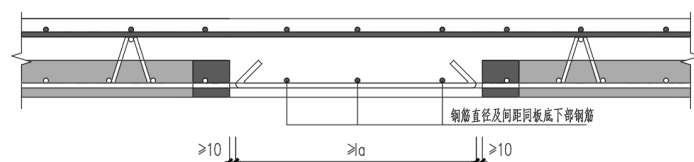
- 1 后浇带宽度不宜小于 200mm。
- 2 后浇带两侧板底纵向受力钢筋可在后浇带中焊接、搭接连接或弯折锚固。
- 3 后浇带两侧板底纵向受力钢筋在后浇带中搭接连接时(图 4.3.3)，接缝处板底外伸钢筋的锚固长度 l_a 、搭接长度 l_l 和端部弯钩构造应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T50010 的有关规定。
- 4 接缝处顺缝板底纵筋直径及间距同板底部钢筋。



(a) 板底纵筋直线搭接



(b) 板底纵筋端部带 90° 弯钩搭接



(c) 板底纵筋端部带 135° 弯钩搭接

图 4.3.3 后浇带式双向受力接缝构造示意

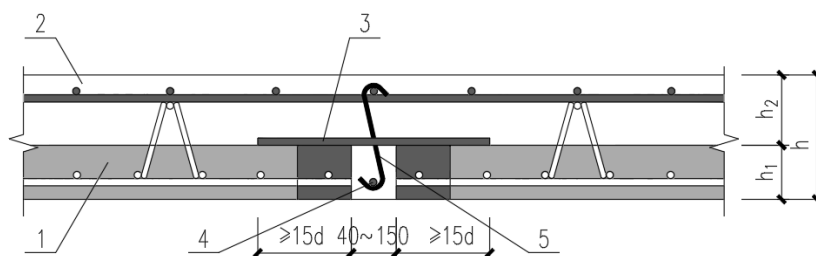
【条文说明】

4.3.3 本条第 1 款～第 3 款的规定与现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB / T 51231 基本相同。第 4 款对接缝处顺缝板底纵筋配筋进行要求。

4.3.4 单向板采用后浇带式单向受力接缝时 (图 4.3.4)，应符合下列规定：

- 1 后浇带宽度宜为 40mm~150mm。
- 2 接缝处紧贴预制底板顶面宜设置垂直于接缝的附加钢筋，附加钢筋伸入两侧后浇混凝土叠合板的锚固长度不应小于附加钢筋直径的 15 倍。
- 3 附加钢筋截面面积不宜小于预制底板中与附加钢筋同方向钢筋面积，附加钢筋直径不应小于 6mm，间距不宜大于 250mm。
- 4 接缝处与缝平行方向附加一根钢筋，钢筋直径不应小于 6mm。

5 接缝处附加吊筋，钢筋直径不应小于 6mm，间距不宜大于 600mm。



1—预制底板；2—后浇叠合层；3—附加钢筋；4—接缝附加钢筋；5—接缝附加吊筋

图 4.3.4 后浇带式单向受力接缝构造示意

4.3.5 接缝宜避开楼板最大弯矩截面，设置在受力较小部位。

4.4 支座节点设计

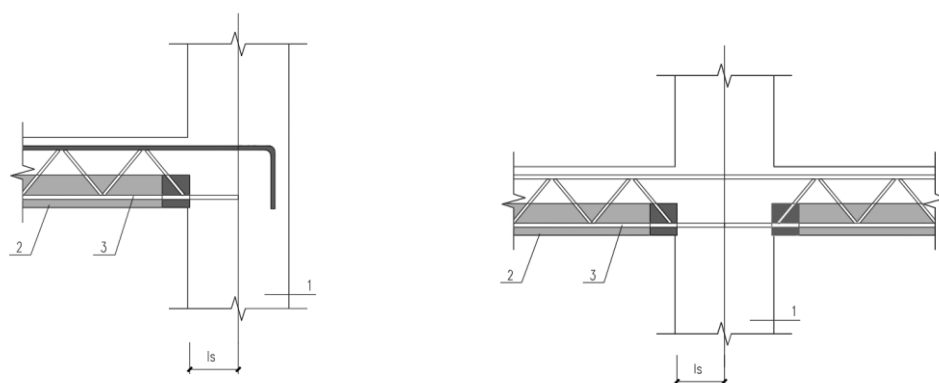
4.4.1 边框叠合板板端的正截面受弯承载力、受剪承载力应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T50010 的有关规定。

4.4.2 边框叠合板板面纵向钢筋应符合下列规定：

1 对于中节点支座，板面钢筋应贯通；

2 对于端节点支座，钢筋伸入支座长度不应小于受拉钢筋的锚固长度(l_a)；当截面尺寸不满足直线锚固要求时，可采用 90° 弯折锚固措施，且构造要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T50010 的有关规定。

4.4.3 双向板预制底板板端、板侧，单向板预制底板板端纵向钢筋伸入支座时，应在支承梁或墙的后浇混凝土中锚固(图 4.4.3)，锚固长度不应小于 l_s 。当支座承担负弯矩时， l_s 不应小于钢筋直径的 5 倍且宜伸至支座中心线；当节点区承受正弯矩时， l_s 不应小于受拉钢筋锚固长度 l_a 。



(a) 端节点

(b) 中节点

图 4.4.3 单向板板端或双向板板端、板侧支座构造示意

1—支承梁或墙；2—单向板板端或双向板板端、板侧；3—预制底板纵筋

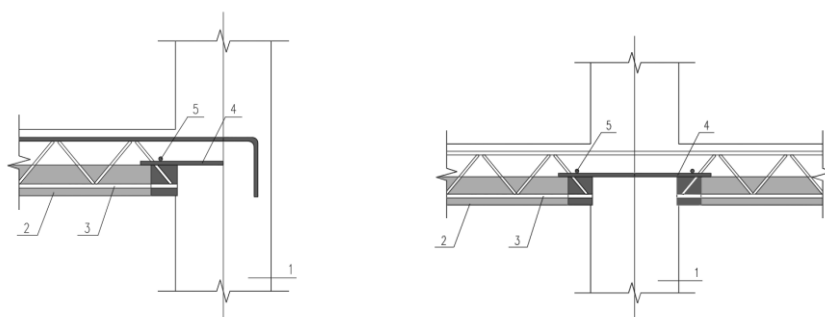
【条文说明】

4.4.3 参考现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1，规定了预制底板纵向钢筋伸入支座的锚固长度。

4.4.4 单向板预制底板板侧支座处，预制底板的分布钢筋不伸出支座时，应符合下列规定：

1 应在预制底板顶面的叠合层内设置附加分布钢筋；附加分布钢筋的截面面积不宜小于预制底板内分布钢筋面积，直径不宜小于 6mm；附加钢筋伸入叠合层和支座的长度均不宜小于 15d，d 为附加钢筋直径，且宜伸过支座中心线（图 4.4.5）；

2 附加分布钢筋伸入叠合层的长度范围内宜配置 1 根附加构造钢筋，附加构造钢筋宜放置于附加分布钢筋上面，直径不宜小于 6mm，且应与附加钢筋绑扎。



(a) 端节点

(b) 中节点

图 4.4.4 单向板板侧支座构造示意

1—支承梁或墙；2—单向板板侧；3—预制底板纵筋；4—附加分布钢筋；5—附加钢筋

5 生产、运输与存放

5.1 一般规定

5.1.1 预制底板生产企业应具有固定的生产场所，生产设备、设施及生产工艺应符合企业的生产规模、生产特点和质量要求，并应符合环境保护和安全生产要求。预制底板生产企业应建立质量保证体系并确保有效实施。

5.1.2 预制底板生产企业应建立完善的安全生产管理制度，宜建立符合现行国家标准《企业安全生产标准化基本规范》GB/T 33000 规定的安全生产标准化管理体系，且宜通过三级以上安全生产标准化评审。

5.1.3 预制底板生产前，应由建设单位组织设计单位、生产企业、施工单位、监理单位进行设计文件交底和图纸会审，并根据批准的设计文件、拟定的生产工艺、运输吊装方案等编制构件加工详图。

5.1.4 预制底板生产前，应制定生产方案。生产方案宜包括生产计划、生产工艺、边框打印方案及计划、质量与安全控制措施、成品保护、运输与存放等内容。

5.1.5 宜由建设单位组织设计单位、生产企业、施工单位、监理单位进行预制底板首件验收。

5.2 生产准备

5.2.1 模台配置方案应与预制底板的形式、生产计划、生产工艺相适应。预制底板模台应具有足够的强度、刚度和整体稳定性，并应满足预留孔洞、预埋件定位和脱模等的要求。模台外观质量及其拼装以及表面平整度应符合现有规范要求。

5.2.2 用于混凝土 3D 打印的设备包括供料设备、搅拌设备、输料设备、3D 打印设备、清洗及废水回收设备。

5.2.3 3D 打印混凝土搅拌设备应符合现行国家标准《混凝土搅拌机》GB/T 9142 的规定，宜采用强制式搅拌机。当采用其他类型的搅拌设备时，应根据打印需要适当延长搅拌时间。搅拌设备容量选型时应根据输料设备输送量、输送管长度、打印头容积和打印速度确定。

5.2.4 3D 打印混凝土输料设备宜采用活塞泵形式，骨料粒径较小时可采用螺杆泵形式，输送量应具有可调节功能。

5.2.5 打印软件系统的技术要求应符合下列规定：

1 应具备识别 CAD 图纸为打印路径的功能，同时具有打印路径编程功能，自动计算每层打印时间和总打印时间。

2 应具备实时监测打印硬件系统中电气部件是否正常运行的功能，电气部件出现异常应能够自动停止并发出警报。

3 宜具备打印过程模拟功能。

4 宜具备打印偏差自动监测功能，并进行提示。

5 宜具备打印过程断点续打功能。

【条文说明】

5.2.5 当生产过程因各种原因导致中断时，恢复生产时需要从中断位置继续，设备需具备打印过程断点续打功能。

5.2.6 打印速率的选择应根据 3D 混凝土拌合物性能和打印设备技术参数确定。

【条文说明】

5.2.9 3D 打印混凝土打印实际高度受到打印速度和材料性能的多种因素影响，与打印头设定的高度通常是不一致的，正式生产前应对打印参数进行试验确定。

5.2.7 打印头出料口尺寸应根据打印宽度、挤出速率、打印速率、骨料粒径等因素确定，且直径或边长不宜小于 40mm。

【条文说明】

5.2.7 3D 打印混凝土的出料口尺寸与所用骨料的粒径有关，对于采用粗骨料的 3D 打印混凝土不宜过小。

5.3 构件生产

5.3.1 钢筋宜采用自动化机械设备加工，并应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

5.3.2 钢筋网片应检查合格后方可进行安装，严禁在入模后的钢筋网片上踩踏或行走，不得在钢筋上放置杂物。

【条文说明】

5.3.2 钢筋安装牢固并保证位置准确，是钢筋安装的基本要求。预制底板工艺需要钢筋网片提前制作，整体安放。

5.3.3 应采取专门措施保证钢筋网片的混凝土保护层厚度符合设计文件的规定，并应对桁架钢筋高度进行有效控制，必要时应采取工装固定措施确保桁架钢筋位置。

5.3.4 3D 打印混凝土边框的打印应符合下列规定：

1 边框的打印高度不宜超过 80mm。当高度不超过 60mm 时，宜分 2 层打

印；当高度超过 60mm 时，宜分 3 层打印。

2 边框第一层混凝土打印完成后放置钢筋网片，再打印剩余层直到边框高度达到设计要求，各层打印间隔时间不宜过长。

【条文说明】

5.3.4 边框的打印路径为打印条带的中心线，打印路径即为打印边缘尺寸减去打印条带宽度的一半。

5.3.5 预制底板混凝土的浇筑应符合下列规定：

1 混凝土浇筑时，3D 打印混凝土边框应具有一定的强度，应安装定位工装防止模台振捣时边框出现滑移和跳动。

2 混凝土浇筑应连续进行并均匀摊铺。

3 应采取措施保证模具、钢筋、预埋件等不发生变形或移位，若有变形或移位应及时纠正；应对外露钢筋、预埋件、预留孔洞进行保护。

4 投料完成后，根据边框强度选择模台振捣成型或振捣棒振捣。

5 振捣完成后应及时量测混凝土浇筑厚度，当浇筑厚度超过允许偏差时应做相应处理。

6 混凝土从出机到浇筑完成的时间，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

【条文说明】

5.3.5 浇筑前，3D 打印混凝土边框应养护至具有一定强度。可以采用自然养护或加热养护缩短养护时间。浇筑过程中，需进行充分有效振捣，避免出现漏振造成蜂窝麻面现象。当采用振捣棒振捣时，不宜触碰打印边框、钢筋、预埋件、预埋线盒等，以免发生位置、尺寸等偏差。对洒落的混凝土需及时清理。

5.3.6 预制底板的养护应根据生产计划选择自然养护、自然养护加养护剂或加热养护等方式。当采用加热养护时，应建立加热养护制度，加热养护制度应通过试验确定；宜采用加热养护温度自动控制装置，最高养护温度不宜超过 70℃。

【条文说明】

5.3.6 加热养护可加速混凝土凝结硬化缩短脱模时间，加快模板的周转，提高生产效率。当采用加热养护时，需通过试验确定合适的养护温度曲线，对静停、升温、恒温、降温时间进行控制，避免产生混凝土收缩裂缝。

5.3.7 预制底板顶面宜采用拉毛工艺成型粗糙面，侧面为 3D 打印混凝土边框自然粗糙面，当不能满足设计要求时，采取拉毛工艺。

5.3.8 预制底板起吊脱底模时，同条件养护的混凝土立方体试块抗压强度应符合设计文件的规定，当设计无具体规定时，抗压强度不应低于 15MPa。

5.4 运输与存放

5.4.1 预制底板的运输与存放应制定专项方案。专项方案宜包括存放场地、固定要求、存放支垫、运输时间、运输次序、运输线路及成品保护措施等内容。

5.4.2 预制底板的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 预制底板应平放，钢筋桁架应向上，严禁倒置。
- 3 应合理布置预制底板垫块，垫块位置宜与吊点位置一致。
- 4 预制底板多层叠放时，各层垫块应上下对齐，叠放层数不宜大于 6 层。

长期存放时，应采取措施控制预制底板翘曲变形。

5.4.3 预制底板装车前应进行检查。吊具、专用运输架应完好、齐全；吊具与预制底板规格应匹配。吊装时，不应错挂、漏挂。预制底板吊运应符合本规程其他有关规定。

5.4.4 预制底板的运输应符合下列规定：

- 1 预制底板宜采用专用运输车进行运输；当采用非专用运输车时，应采取相应的加固、保护措施。
- 2 预制底板运输时应采用专用运输架。
- 3 预制底板应平放，并用夹具与专用运输架绑扎牢固；预制底板边角和绑扎接触部位应采用柔性垫衬材料保护；专用运输架、车厢板和预制底板之间应放入柔性垫衬材料。
- 4 预制底板堆放高度不应超过运输路线的限高要求。

5.4.5 预制底板堆放位置和次序、装车位置和次序，宜与工程施工进度及次序相协调。

5.5 质量检验

5.5.1 预制底板边框打印完成后 2h 以内，应对打印条带的外边缘尺寸进行检测，对尺寸不满足要求的边框进行修理。

5.5.2 预制底板浇筑混凝土前，应进行隐蔽工程检查，检查应包括：

- 1 钢筋桁架和纵向钢筋的规格、数量、位置、间距、长度等。

- 2 预埋件、预留插筋的规格、数量、位置及固定措施。
- 3 预留孔洞的规格、数量、位置及固定措施。
- 4 钢筋的混凝土保护层厚度。

5.5.3 预制底板脱模后，应进行成品质量检查，检查应包括下列内容：

- 1 外观质量。
- 2 尺寸偏差。
- 3 粗糙面质量。
- 4 预埋件、预留插筋的规格、数量、位置。
- 5 预留孔洞的规格、数量、位置。

5.5.4 预制底板的边框打印完成后的尺寸检测、浇筑混凝土前的隐蔽工程检查以及成品质量检查，可采用具有可与图纸比对智能图像检测设备。

5.5.5 预制底板的尺寸偏差应符合设计文件的规定；当设计无具体规定时，应符合表 5.5.5 的规定。

表 5.5.5 预制底板的尺寸允许偏差和检验方法

项次	检查项目			允许偏差(mm)	检验方法
1	规格尺寸	长度	≤6m	±3	尺量，两端及中间部，取其中偏差绝对值较大值，或智能图像检测设备
			>6m	±5	
2		宽度		±5	
3		厚度		±5	尺量，板四角和四边中部位置共 8 处，取其中偏差绝对值较大值，或智能图像检测设备
4		对角线差		6	在构件表面，用尺量测两对角线的长度，取其绝对值的差值或智能图像检测设备，或智能图像检测设备
5	打印边框	宽度		+5, 0	尺量或智能图像检测设备
6	外形	下表面平整度		3	2m 靠尺和塞尺量，或 2m 电子靠塞尺量
7		侧向弯曲		L/750 且 ≤20	拉线，尺量侧向弯曲最大处
8		翘曲		L/750	四对角拉两条线，量测两线交点之间的距离，其值的 2 倍为翘曲值
9	预埋件	钢板	中心线位置	5	用尺量测纵横两个方向的中心线位置，取其中较大值，或智能图像检测设备
			平面高差	0, -5	用尺紧靠在预埋件上，用楔形塞尺量

					测预埋件平面与混凝土面的最大缝隙
10		螺栓	中心线位置	2	尺量，纵横两个方向的中心线位置，取其中偏差较大值，或智能图像检测设备
			外露长度	+10, -5	尺量，或智能图像检测设备
11		线盒	在构件平面的水平方向中心线位置	10	尺量，或智能图像检测设备
			与构件表面混凝土高差	0, -5	尺量
12	预留孔		中心线位置	5	尺量，纵横两个方向的中心线位置，取其中偏差较大值，或智能图像检测设备
			孔尺寸	±5	
13	预留洞		中心线位置	5	
			洞口尺寸、深度	±5	
14	预留插筋		中心线位置	3	
			外露长度	±5	尺量，或智能图像检测设备
15	钢筋桁架高度			+5, 0	尺量

注：1 L 为预制底板长边边长。

2 检查中心线、螺栓和孔道位置偏差时，应沿纵、横两个方向量测，并取其中偏差较大值。

5.3.6 预制底板成品质量检查后，应及时在构件上设置产品标识、吊点位置标识及预制底板安装方向标识。产品标识宜包括工程名称、构件编号、构件规格、构件重量、制作日期、合格状态、生产企业、质检员等信息。

5.5.7 预制底板的质量证明文件应包括下列内容：

- 1 出厂合格证。
- 2 钢筋和钢筋桁架检验报告
- 3 打印混凝土强度检验报告
- 4 打印混凝土边框宽度检验报告
- 5 混凝土强度检验报告
- 6 合同要求的其他质量证明文件

【条文说明】

5.5.7 质量证明文件除本条规定的内容外，也可由供需双方协商补充。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 边框叠合板施工前应编制专项施工方案，并依据施工组织设计、专项方案及有关规程、施工工艺标准对施工人员进行质量安全技术交底。专项施工方案中应有质量管理及安全保障措施等。

【条文说明】

6.1.1 应编制专项施工方案并按规定程序审批。专项施工方案应包含施工现场平面布置图、预制底板场内运转路线、道路条件及吊装方案等；对涉及结构安全和人身安全的内容，应有明确规定和相应措施。

6.1.2 预制底板的外观质量、尺寸偏差、预留预埋孔洞规格及位置、钢筋规格型号、外露钢筋长度及位置等应符合设计要求和现行国家有关标准的规定。

6.1.3 预制底板进场应有相应的构件标识、质量证明文件等，预制底板应有安装方向标识，所有作为吊点的桁架钢筋部位应有明显标识，并按现行国家有关标准的规定进行进场验收。

6.1.4 施工现场应根据施工平面合理规划运输道路和堆放场地，并应符合下列规定：

- 1 现场运输道路按运输车辆要求设置转弯半径及坡度；
- 2 构件堆放场地应平整硬化、不积水，并应有排水措施；
- 3 运到施工现场的预制底板需要堆放时，应按规格、使用部位、吊装顺序分别堆放，堆放要求应符合本规程的相关规定。
- 4 堆放场地应设置在吊装设备的有效起重范围内。

【条文说明】

6.1.4 根据装配式建造方式要求，施工现场宜规划主体装配区、构件堆放区、材料堆放区和运输道路。预制底板运至现场后，可根据平面布置，分单元合理安排堆放，便与吊装施工。预制底板多层水平堆放时，各层板间垫块应坚实，上下对齐，位置准确。构件码放场地合理布置在吊装机械可覆盖范围内，避免二次搬运。在施工现场的堆放要求与构件厂相同。

6.1.5 预制底板在卸车、安装中，不得用钢丝绳捆绑直接起吊，且吊装工作范围内不得有障碍物。

6.1.6 预制底板的吊装应根据其尺寸、吊点位置，选择合适的模数化的专用吊装工具。

6.1.7 施工过程中，不应在预制底板上集中堆放施工材料或使其承受较大的冲击荷载，施工材料自重及施工荷载不应超过设计允许值。

6.1.8 预埋水电管线在边框叠合板后浇混凝土叠合层中交叉布置不应超过2层。

6.2 安装准备

6.2.1 安装作业前，应按施工方案中的吊装流程，核对预制底板编号、箭头方向、预留孔洞与水电图纸的相对位置是否一致，明确吊装顺序并符合设计图纸要求。

6.2.2 安装作业前，应进行测量放线并设置安装定位标识，定位轴线和标高控制线精度应符合现行国家标准有关规定。

6.2.3 安装作业前，应对吊装设备、吊具与吊索进行质量检查，确认吊装设备、吊具与吊索形式、规格、型号、质量符合要求，并处于安全操作状态。

6.2.4 安装作业前，对支撑预制底板的墙或梁顶面标高应进行认真检查，必要时进行修整，确保预制底板按设计要求就位。

6.2.5 对混凝土结合面松散的石子和浮浆应剔除，露出密实混凝土，并用水冲洗干净，结合面不应留明水。

6.2.6 吊装作业区应实施隔离封闭管理，并应设置警戒线和警戒标识；对无法封闭的，应采取专项防护措施。

6.3 安装与连接

6.3.1 预制底板安装时，应采取临时支撑和固定措施，且应符合以下规定：

1 临时支撑应具有足够的强度、刚度和稳定性，宜选用可调独立支撑体系；当采用专用定型产品时，专用定型产品和施工操作应符合产品标准和专项施工方案的规定。

2 首层支撑架体地基应平整坚实，宜采取硬化措施。

3 支撑立杆下宜设置垫块；竖向连续支撑层数不宜少于2层，且上下层支撑应对准。

4 预制底板边缘应增设竖向支撑杆件；对泵管、布料机部位的预制底板底部应进行支撑加固。

5 支撑架体顶部的支托梁宜与边框叠合板中桁架钢筋垂直，拼缝处临时支撑架体顶部支托梁宜于拼缝垂直且应在拼缝处连续设置；支撑架体搭设完成后应对架体标高进行校核。

【条文说明】

6.3.1 支撑架体标高校核时，需考虑支撑架体自身的变形，支架的轴向压缩变形或侧向挠度需经计算确定。

6.3.2 预制底板起吊及临时安放应符合以下规定：

1 吊点的数量及位置符合本规程相关的规定；

2 每班作业起吊时要先试吊一次，先吊起距地500mm停止，确认起重设备与体与通信设施工作正常，吊具连接可靠，满足要求后方可吊运；

3 预制底板起吊、移动、就位的全过程中，信号指挥员、司索工、起重机械司机应保持通信畅通并协调一致。信号不明时不得吊运和安装。起重机械将预制底板吊起时，应缓慢，略作停顿，再次检查吊挂，若有问题，应立即处理，确认无误后，继续提升，使之缓慢靠近安装作业面；

4 吊至操作面的上方时，应从上垂直向下稳定下落，不得旋转；在距作业面上方2m处略作停顿，确定安装方位，施工人员应通过牵引绳，控制构件下落方向，待边框预制叠合板构件吊装至作业面上300mm~500mm处，略作停顿，将3D打印混凝土边框与墙柱上的安放位置线对准，调整叠合板方向、位置，缓慢落吊，5级风以上时应停止吊装。

6.3.3 预制底板按照平面安放位置线对准后，采用专业辅助工具进行微调平面位置，精确就位；根据标高控制线校核预制底板标高位置，利用支撑可调功能进行校正，板底标高符合设计要求。

6.3.4 吊装就位后，应对安装位置、方向、标高、相邻构件平整度、拼缝宽度及搁置长度进行校核和调整，并应采取临时固定措施，合格后方可摘除吊钩；当不符合设计文件和现行国家标准规定时，应将预制底板重新起吊，通过可调托座进行调节。

【条文说明】

6.3.4 临时固定措施是装配式结构构件安装过程中承受施工荷载、保证构件定位准确的有效措施。在预制构件安装就位后，需利用其相邻构件或临时支撑措施对其进行固定。临时支撑措施应能承受结构自重、施工荷载、风荷载、吊装就位产生的冲击荷载等的作用，不得使结构构件产生永久变形。

6.3.5 预制底板与墙体或梁交接处宜采用通长木方或角钢连接封闭，板底标高应准确控制。

6.3.6 采用后浇带式接缝时，宜采用工具式支架和定型模板；当边框叠合板单向受力时，可采用吊模施工；模板与边框侧边应采取粘接密封条等防止漏浆的措施。

6.4 混凝土浇筑

6.4.1 预制底板板面钢筋、附加钢筋的牌号、规格和数量应符合设计文件的规定。

6.4.2 混凝土配合比设计应符合国家现行标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的有关规定。

6.4.3 边框叠合板后浇混凝土浇筑前应检查并校正预制底板外露钢筋；清除预制混凝土板上的杂物、浮浆及松散骨料，表面干燥时应润湿，并不得留有积水。

6.4.4 边框叠合板后浇混凝土浇筑前应完成水电管线敷设及上部现浇混凝土中的钢筋绑扎，并设置钢筋定位件固定上部钢筋位置。边框叠合板后浇混凝土中的钢筋宜采用成型钢筋网片整体安装定位。

6.4.5 边框叠合板后浇混凝土浇筑时，预埋件位置应可靠固定，防止移位，且不得污染预埋件连接部位。

6.4.6 混凝土浇筑应从中间向两边对称浇筑，保证预制底板及支撑受力均匀。混凝土浇筑应连续进行，浇筑后宜使用平板振捣器振捣，保证混凝土振捣密实；叠合板与周边混凝土结构连接处，浇筑混凝土时应加密振捣点，当采取延长振捣时间措施时，应符合有关标准和施工作业要求。

6.4.7 混凝土浇筑应布料均衡，浇筑和振捣时，应设专人对模板及支架进行观察和维护，发生异常情况应及时处理；叠合板接缝处混凝土浇筑和振捣应采取

措施防止模板、叠合板、钢筋、预埋件及定位件移位。

6.4.8 后浇混凝土浇筑完成后，操作人员应及时利用耙子、木刮杠刮平至混凝土标高，随即用木抹子搓平，初凝前进行二次压光抹面，并对边框叠合板表面标高进行校核。

6.4.9 采用泵送混凝土浇筑时，应采取防止泵送设备超重或冲击力过大影响桁架预制板及支撑架体安全的措施。

6.4.10 后浇混凝土浇筑后12h内应进行洒水养护或覆盖养护。当日平均气温低于5℃时，不应采用洒水养护，宜采用薄膜覆盖养护，养护时间不应少于7d。

6.4.11 后浇混凝土强度达到设计文件和现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关要求后，方可拆除支撑架体；多个楼层间连续支撑的底层支架拆除时间，应根据连续支模的楼层间荷载分配和混凝土强度的增长情况确定。拆除支撑时，拆除的模板和支架，宜分散堆放并及时清运。

7 质量验收

7.1 一般规定

7.1.1 边框叠合板施工的分项工程、检验批划分和质量验收，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。

【条文说明】

7.1.1 根据现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204，3D 打印混凝土边框叠合板施工包含模板分项工程、钢筋分项工程、混凝土分项工程、现浇结构分项工程和装配式结构分项工程。其中，模板分项工程包括模板、支架、临时支撑的设计、安装与拆除等内容；钢筋分项工程包括板面钢筋、附加钢筋的进场检验、加工、连接与安装等内容；混凝土分项工程包括后浇混凝土原材料进场检验、制备与运输、现场施工等内容；现浇结构分项工程包括叠合板现浇混凝土部分的外观质量、位置与尺寸偏差等内容；装配式结构分项工程包括预制底板、安装与连接等内容。

7.1.2 边框叠合板施工用的预制底板、原材料、配件均应按检验批进行进场验收。

7.1.3 边框叠合板浇筑混凝土之前，应进行隐蔽工程验收，验收应包括下列主要内容：

- 1 预制底板叠合部位顶面、拼接部位侧面粗糙面的质量；
- 2 板面钢筋、附加钢筋的牌号、规格、数量、位置、间距；
- 3 预制底板接缝处构造做法，包括附加钢筋长度、弯钩角度、平直段长度等；
- 4 钢筋的连接方式、接头位置、接头数量、搭接长度、锚固方式及锚固长度；
- 5 预埋件、预留孔洞、预留管线的规格、数量、位置、加强措施；
- 6 其他隐蔽项目。

7.1.4 混凝土结构子分部工程施工质量验收时，应提供下列文件和记录：

- 1 工程设计文件、预制底板安装施工图和加工详图。
- 2 预制底板、主要材料及配件的质量证明文件、进场验收记录和抽样复验报告。
- 3 预制底板吊装施工记录。
- 4 隐蔽工程验收文件。

- 5 后浇混凝土强度检测报告。
- 6 装配式结构分项工程质量验收文件。
- 7 其他相关文件和记录。

7.2 主控项目

7.2.1 预制底板安装时的临时固定措施应符合设计、专项施工方案要求及现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查，检查施工方案、施工记录或设计文件。

7.2.2 预制底板的板面钢筋、附加钢筋的牌号、规格、数量、位置、间距应符合设计文件的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，量测。

7.2.3 预制底板接缝构造应符合设计文件的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，量测。

7.2.4 后浇混凝土强度应符合设计文件的规定。

检查数量：按批检验。

检验方法：按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的要求进行。

7.2.5 边框叠合板的外观质量不应有严重缺陷，且不应有影响结构性能和安装、使用功能的尺寸偏差。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，量测；检查处理记录。

7.3 一般项目

7.3.1 预埋件、预留孔洞、预留管线的规格、数量、位置、加强措施应符合设计文件的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、尺量；检查产品合格证。

7.3.2 预制底板安装的尺寸允许偏差及检验方法应满足表 7.3.2 的要求。

检查数量：按楼层、结构缝或施工段划分检验批。同一检验批内，应按有代

表性的自然间抽查 10%，且不少于 3 间；对大空间结构，可按纵、横轴线划分检查面，抽查 10%，且不少于 3 面。

表 7.3.2 预制底板安装尺寸允许偏差及检验方法

项 目	允许偏差（mm）	检验方法
轴线位置	5	钢尺检查
预制底板下表面标高	±5	水准仪或拉线、钢尺检查
预制底板搁置长度	±10	钢尺检查
相邻预制底板下表面高低差	2	钢尺检查
下表面平整度	5	钢尺、塞尺检查

7.3.3 边框叠合板厚度的偏差应符合设计文件的规定；当设计无具体规定时，厚度的允许偏差应为±5mm。

检查数量：按楼层、结构缝或施工段划分检验批。同一检验批内，应按有代表性的自然间抽查 10%，且不少于 3 间；对大空间结构，可按纵、横轴线划分检查面，抽查 10%，且不少于 3 面。

检验方法：观察，检查处理记录。

7.3.4 边框叠合板的外观质量不应有一般缺陷，对出现的一般缺陷应按技术方案进行处理，并重新检查验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查处理记录。

附录 A 3D 打印抗压强度及其折减率测试方法

A. 0.1 标准试件的制备及测试应符合下列规定：

- 1 试件配合比应与 3D 打印混凝土配合比相同。
- 2 试件尺寸应为边长 150mm 的立方体。
- 3 试件的成型、养护和测试应按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定进行。

A. 0.2 3D 打印试件的制备及测试应符合下列规定：

1 用 3D 打印设备将试件打印成型，按打印头出料宽度 $50\pm 5\text{mm}$ 、单层高度 10mm 的打印参数，打印成型的试件尺寸在高度和长度方向分别不应小于切割后试件尺寸的 2 倍，打印完成后应在室温下覆膜养护 24h 后移入标准养护室中养护。

2 至少养护 7d 后，除打印试件底面外其余 5 面采取切割、打磨方式，制备成与标准成型试件尺寸相同的立方体试件，完成后在底面做好试件标记；切割试件要求表面平整、测试上下面平行度，尺寸误差 1mm，切割过程如有掉角缺损，需用同配比打印材料修补完整（图 A.0.2）。

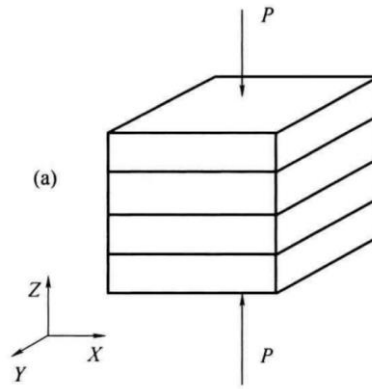


图 A.0.2 混凝土 3D 打印构件

3 每组至少制备 6 个试件，制备完成的试件放入标准养护室中。

4 标准养护至 28d 的打印试件应按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定进行测试,测试加载力方向应为打印成型面并垂直于底面。

A. 0.3 抗压强度折减率的计算及确定应按下列方法进行：

1 抗压强度折减率下式计算：

$$X = \left(1 - \frac{R_{C1}}{R_{C2}}\right) \times 100\% \quad (\text{A.0.1})$$

式中： X ——打印强度折减率（%）；

R_{C1} ——3D 打印试件抗压强度（MPa）；

R_{C2} ——标准试件抗压强度（MPa）。

2 强度值 R_{C1} 的确定应符合下列规定：

- 1) 将不少于 6 个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值（精确至 0.1MPa）；
- 2) 若测值中的最大值或最小值中如有 1 个与 6 个试件测试的算术平均值的差值超过 15%时，则把最大及最小值一并舍除，并用其余试件测值的算术平均值作为该组试件的抗压强度值。

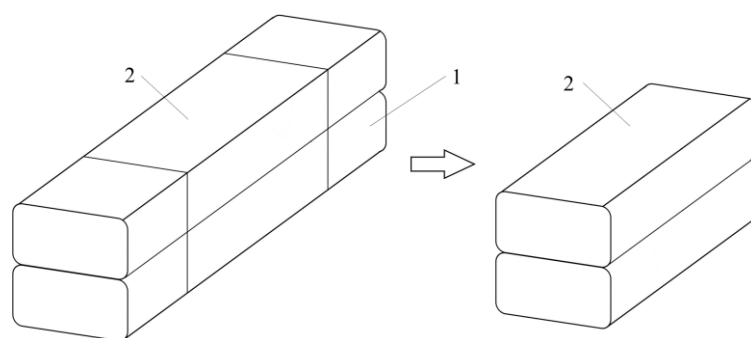
附录 B 3D 打印边框与后浇混凝土界面劈裂强度测试方法

B.0.1 试件的制备应符合下列规定：

1 根据实际打印参数，按照图 B.0.1-1 所示打印成型试件，且打印头出料宽度控制在 $60\pm 5\text{mm}$ 范围内。双层打印总高度为 60mm 。打印成型后立即覆膜，在常温下养护 24h 。

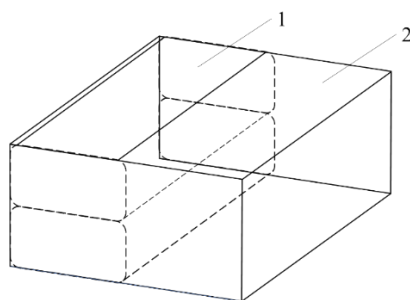
2 覆膜养护 24h 后，切割截取长度为 120mm 的 3D 打印试件，按照图 B.0.1-2 装入 $120\text{mm}\times 120\text{mm}\times 60\text{mm}$ 的定制模具中，再浇筑普通混凝土。振动密实抹平后，标准养护至试验龄期。测试试件整体成型龄期不应少于 7d 。

测试试件的劈裂承压面应经过进行打磨处理，使其劈裂承压面上下表面平行。



1—打印构件；2—截取的构件

图 B.0.1-1 3D 打印混凝土边框部分测试试件制备方法



1—3D 打印混凝土构件；2—后浇混凝土构件

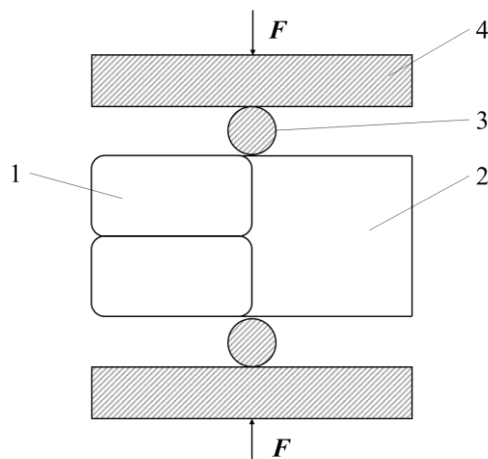
图 B.0.1-2 3D 打印边框与后浇混凝土界面劈裂强度测试试件制备方法

B.0.2 3D 打印边框与后浇混凝土界面劈裂强度测试方法示意图如图 B.0.2 所示。劈裂强度试验按下列步骤进行：

- 1 试件到达试验龄期时，从养护地点取出后，应尽快进行试验；
- 2 试件放置在试验机前，应将试件表面与上、下承压板面擦拭干净。根据 3D 打印混凝土与内浇混凝土界面确定出劈裂面的位置。
- 3 将试件放在试验机下承压板的中心位置，劈裂承压面和劈裂面应与试件

成型时的顶面垂直；在上、下压板与试件之间垫以长度 120mm、直径 18mm 的光圆钢棒，上、下钢棒应放置于 3D 打印混凝土与内浇混凝土界面处。

- 4 开启试验机，当上压板与试件接近时，调整球座，使接触均衡。
- 5 在试验过程中连续均匀地加荷，加载速度宜取 0.05MPa/s~0.08MPa/s。
- 6 试件断裂面应垂直于承压面，当断裂面不垂直于承压面时，应做好记录。



1—3D 打印混凝土；2—后浇混凝土；3—钢棒；4—万能压力机压板

图 B.0.2 3D 打印边框与后浇混凝土界面劈裂强度测试方法示意图

B. 0. 3 3D 打印混凝土与后浇混凝土劈裂抗拉强度试验结果计算及确定应按下列方法进行。

- 1 混凝土劈裂强度应按下列公式计算：

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi A} = 0.637 \frac{F}{A} \quad (\text{A.0.3})$$

式中： f_{ts} ——混凝土劈裂强度（MPa），计算结果应精确至 0.01MPa；

F ——试件破坏荷载（N）；

A ——试件劈裂面面积（mm²）。

- 2 3D 打印混凝土与后浇混凝土劈裂抗拉强度值的确定应符合下列规定：

1) 应以至少 3 个试件测值的算术平均值作为该组试件的劈裂抗拉强度值，应精确至 0.01MPa；

2) 当测值中的最大值或最小值中有一个与算术平均值的差值超过 15%时，则应把最大及最小值一并舍除，取其余试件测值的算术平均值作为该组试件的抗压强度值；

3) 当测值中的最大值和最小值均与算术平均值的差值超过 15%时，该组试件的试验结果无效。

用 词 说 明

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么做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

- 《混凝土结构设计标准》GB/T 50010
- 《建筑抗震设计标准》GB/T 50011
- 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《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
- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《混凝土搅拌机》GB/T 9142
- 《建筑用砂》GB/T 14684
- 《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685
- 《企业安全生产标准化基本规范》GB/T 33000
- 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114
- 《混凝土结构成型钢筋应用技术规程》JGJ 366
- 《工厂预制混凝土构件质量管理标准》JG/T 565
- 《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》T/CECS 715
- 《混凝土 3D 打印技术规程》T/CECS 786

中国工程建设标准化协会标准

3D 打印混凝土边框叠合板应用技术规程

T/CECS XXX-202X

条 文 说 明

制 定 说 明

本规程制定过程中，编制组进行了 3D 打印混凝土边框叠合板的调查研究，总结了我国工程建设的实践研究，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，总结了相关研究成果与工程实践经验，为本标准的编制奠定了重要基础。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程《3D 打印混凝土边框叠合板应用技术规程》时能正确理解和执行条款规定，编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则
2	术语和符号
2.1	术 语
2.2	符 号
3	材 料
4	结构设计
4.1	一般规定
4.2	构件设计
4.3	板缝节点设计
4.4	支座节点设计
5	生产、运输与存放
5.1	一般规定
5.2	生产准备
5.3	构件生产
5.4	运输与存放
5.5	质量检验
6	施工
6.1	一般规定
6.2	安装准备
6.3	安装与连接
6.4	混凝土浇筑
7	质量验收
7.1	一般规定
7.2	主控项目
7.3	一般项目