



CECS XXX: 202X

中国工程建设标准化协会标准

预应力混凝土空心板应用技术规程

Technical specification for precast prestressed concrete hollow-core slabs

(征求意见稿)

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2020]14 号）的要求，规程编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，采纳最新试验成果，参考国内外相关标准，并广泛征求意见基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.材料；5.结构分析与设计；6.构件生产、检验、存放与运输；7.构件施工；8.质量检验和验收；9.安全与环境保护。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑产业化分会（CECS/TC 50）归口管理，由重庆大学建筑规划设计研究总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，请寄送重庆大学建筑规划设计研究总院有限公司（地址：重庆市沙坪坝区沙北街 83 号 / 重庆大学设计创意产业园，邮编 400045，联系人：李江 lijiangcqu@cqu.edu.cn）。

本规程主编单位：

重庆大学建筑规划设计研究总院有限公司
重庆恒昇大业建筑科技集团有限公司

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

1	总则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	2
3	基本规定.....	6
4	材料.....	7
4.1	混凝土.....	7
4.2	钢筋.....	7
4.3	其它材料.....	7
5	结构分析与设计.....	8
5.1	一般规定.....	8
5.2	作用及作用组合.....	9
5.3	结构整体分析.....	9
5.4	楼盖设计.....	9
5.5	构件设计.....	17
5.6	外墙板设计.....	22
5.7	构造规定.....	23
6	构件生产、检验、存放与运输.....	31
6.1	一般规定.....	31
6.2	生产.....	31
6.3	检验.....	34
6.4	存放.....	35
6.5	运输.....	36
7	构件施工.....	37
7.1	一般规定.....	37
7.2	机械设备和吊具、防护系统.....	37
7.3	测量定位.....	38

7.4	起吊和安装.....	38
7.5	连接.....	40
7.6	预埋预留施工.....	40
7.7	叠合层施工.....	40
8	质量检验和验收.....	42
8.1	一般规定.....	42
8.2	成品检验.....	43
8.3	进场验收.....	45
8.4	安装验收.....	46
8.5	钢筋与叠合层混凝土验收.....	48
9	安全与环境保护.....	49
9.1	一般规定.....	49
9.2	生产和施工安全管理.....	49
9.3	职业健康安全.....	50
9.4	环境保护.....	50
	本规程用词说明.....	52
	引用标准名录.....	53

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
	2.1 Terms	2
	2.2 Symbols	2
3	General Requirements	6
4	Material	7
	4.1 Concrete	7
	4.2 Steel Reinforcement	7
	4.3 Other Materials	7
5	Structural Analysis and Design	8
	5.1 General	8
	5.2 Combination of Loads	9
	5.3 Overall structural Analysis	9
	5.4 Floor Design	9
	5.5 Member Design	17
	5.6 Exterior-decorative Wall Panel Design	22
	5.7 Detailing Requirements	23
6	Component Manufacture, Inspection, Storage and Transportation	31
	6.1 General	31
	6.2 Manufacture	31
	6.3 Inspection	34
	6.4 Storage	35
	6.5 Transportation	36
7	Construction	37
	7.1 General	37
	7.2 Mechanical Equipment, Spreader, and Protection System	37
	7.3 Measurement and Positioning	38

7.4 Lifting and Installation.....	38
7.5 Connection	40
7.6 Construction of Embedded Parts	40
7.7 Casting	40
8 Acceptance.....	42
8.1 General.....	42
8.2 Product Inspection	43
8.3 On-site Inspection	45
8.4 Installation Inspection.....	46
8.5 Steel Reinforcement and Casting Inspection	48
9 Safty and Environmental Protection	49
9.1 General.....	49
9.2 Safty Management of Production and Construction.....	49
9.3 Occupational Health and Safty	50
9.4 Environmental Protection	50
Explanation of wording in this technical specification.....	52
List of quoted standards	53

1 总则

1.0.1 为贯彻执行国家的技术经济政策，规范预应力混凝土空心板的应用，做到技术先进、安全适用、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小于或等于 8 度（ $0.30g$ ）地区的一般工业与民用建筑预应力混凝土空心板的设计、生产、施工及验收。当板表面温度高于 100°C 、有生产热源使板表面温度经常高于 60°C ，或直接承受动力荷载时，应按国家现行有关标准进行专门设计。

1.0.3 预应力混凝土空心板的设计、生产、施工及验收除应符合本规程外，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 预应力混凝土空心板 prestressed concrete hollow-core slabs

具有标准化的板厚与标志宽度，由多个规则布置通长孔洞组成的先张法预应力混凝土板类空心构件，本规程简称“空心板”。

2.1.2 预应力混凝土空心底板叠合板 topped prestressed concrete hollow-core slabs

将预应力混凝土空心板作为底板，并在其上设有现浇叠合层的板，本规程简称“叠合板”。

2.1.3 叠合层 cast-in-situ concrete topping

在预应力混凝土空心板上部按受力要求配筋并浇筑混凝土的现浇层。

2.2 符号

2.2.1 材料性能参数

- f'_{tk} 、 f'_{ck} —— 与相应阶段对应龄期的混凝土立方体抗压强度 f'_{cu} 相应的混凝土轴心抗拉强度标准值、轴心抗压强度标准值；
- f_t —— 混凝土轴心抗拉强度设计值；
- f_{tk} —— 预应力混凝土空心板（当有叠合层时，为预应力混凝土空心底板）混凝土轴心抗拉强度标准值；
- f_y —— 普通钢筋抗拉强度设计值。

2.2.2 作用和作用效应

- M —— 弯矩设计值；
- M_k —— 叠合楼板按荷载标准组合计算的弯矩值；
- M_q —— 叠合楼板按荷载准永久组合计算的弯矩值；
- M_{1G} —— 预应力混凝土空心板自重和叠合层自重在计算截面产生的弯矩设计值；
- M_{2G} —— 第二阶段装修面层、吊顶等自重在计算截面产生的弯矩设计值；
- M_{1Q} —— 第一阶段施工可变荷载在计算截面产生的弯矩设计值；

M_{2Q}	—— 第二阶段可变荷载在计算截面产生的弯矩设计值，取本阶段施工可变荷载和使用阶段可变荷载在计算截面产生的弯矩设计值中的较大值。
M_{1k}	—— 第一阶段荷载标准组合下在计算截面产生的弯矩值；
M_{1Gk}	—— 第一阶段预应力混凝土空心板自重标准值（当有叠合层时，含叠合层自重标准值）在计算截面产生的弯矩值；
M_{1Qk}	—— 第一阶段施工可变荷载标准值在计算截面产生的弯矩值；
M_{2k}	—— 第二阶段荷载标准组合下在计算截面产生的弯矩值；
M_{2Gk}	—— 第二阶段装修面层、吊顶等自重标准值在计算截面产生的弯矩值；
M_{2Qk}	—— 第二阶段可变荷载标准值在计算截面产生的弯矩值，取本阶段施工可变荷载标准值和使用阶段可变荷载标准值在计算截面产生的弯矩值中的较大值；
M_u	—— 预应力混凝土空心板及其叠合板的正截面受弯承载力设计值；
M_{cr}	—— 预应力混凝土空心板及其叠合板的正截面开裂弯矩值；
V	—— 斜截面剪力设计值；
V_{1G}	—— 预应力混凝土空心板自重和叠合层自重产生的剪力设计值；
V_{2G}	—— 第二阶段装修面层、吊顶等自重产生的剪力设计值；
V_{1Q}	—— 第一阶段施工可变荷载产生的剪力设计值；
V_{2Q}	—— 第二阶段可变荷载产生的剪力设计值，取本阶段施工可变荷载和使用阶段可变荷载产生的剪力设计值中的较大值；
F_{Eki}	—— i 层预应力混凝土空心板楼盖所受水平地震作用标准值；
F_{pi}	—— i 层剪力墙平面外地震作用引起的局部拉脱力；
V_{jdE}	—— 水平设防烈度地震作用下，楼盖连接节点剪力设计值；

N_{jdE}	——	水平设防烈度地震作用下，楼盖连接节点拉力设计值；
V_{uE}	——	水平设防烈度地震作用下，楼盖连接节点受剪承载力设计值；
N_{uE}	——	水平设防烈度地震作用下，楼盖连接节点受拉承载力设计值；
σ_{ct} 、 σ_{cc}	——	生产阶段（包括制作、堆放、吊装等）相应的荷载标准组合下产生在构件计算截面受拉区、受压区边缘的混凝土法向拉应力、压应力；
σ_{ck1} 、 σ_{ck2}	——	叠合层浇筑阶段相应的荷载标准组合下产生在构件计算截面下边缘和上边缘混凝土的法向应力；
σ_{pc1} 、 σ_{pc2}	——	叠合层浇筑阶段扣除相应预应力损失后在构件计算截面下边缘和上边缘混凝土的法向预应力；
σ_{ck}	——	使用阶段按荷载标准组合计算控制截面抗裂验算边缘的混凝土法向应力；
σ_{pc}	——	使用阶段扣除全部预应力损失后在控制截面抗裂验算边缘混凝土的法向预压应力；
τ_c	——	灌浆键槽抗剪强度设计值。

2.2.3 几何参数

l	——	板的计算跨度；
W_0	——	第二阶段预应力混凝土空心底板叠合板截面下边缘的弹性抵抗矩；
W_{01}	——	第一阶段预应力混凝土空心板截面下边缘的弹性抵抗矩；
W_{02}	——	第一阶段预应力混凝土空心板截面上边缘的弹性抵抗矩；
b_w	——	预应力混凝土空心板及其叠合板各肋宽之和；
b	——	预制层与叠合层接触面宽度；
h_0	——	预应力混凝土空心板及其叠合板截面有效高度；
h_j	——	纵向接缝间灌浆键槽净高；
l_j	——	纵向接缝间灌浆键槽计算长度；

A_{sf}	——	受剪区横向普通钢筋的截面面积；
A_s	——	受拉区纵向普通钢筋的截面面积；
h_i	——	i 层高度；
h_n	——	屋顶高度；
B_{s1}	——	预应力混凝土空心板的短期刚度；
B_{s2}	——	叠合楼板第二阶段的短期刚度；
E_{c1}	——	预应力混凝土空心板的混凝土弹性模量；
I_0	——	叠合构件换算截面的惯性矩。

2.2.4 其它系数

μ	剪切摩擦系数；
θ	考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数；
φ_q	第二阶段可变荷载的准永久值系数；
ψ_m	空心板受弯承载力折减系数；
ψ_v	空心板受剪承载力折减系数；
γ	混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数；
γ_{RE}	楼盖连接节点承载力抗震调整系数；
α_i	i 层水平地震加速度系数。

3 基本规定

3.0.1 预应力混凝土空心板宜统筹设计、生产、施工，实现全过程的协同。

3.0.2 预应力混凝土空心板应进行标准化设计、工业化生产、装配化施工。

3.0.3 预应力混凝土空心板应采用专用自动化设备及先张法预应力长线工艺生产。

4 材料

4.1 混凝土

4.1.1 预应力混凝土空心板所采用混凝土的各项性能、计算指标及有关结构混凝土耐久性能的要求，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

4.1.2 预应力混凝土空心板宜采用干硬性混凝土，强度等级不应低于 C40；叠合层混凝土强度等级不应低于 C30。

4.1.3 板间键槽灌缝材料应采用具备良好和易性和保水性，且抗压强度不低于 20MPa 的水泥砂浆或强度等级不低于 C25 的自密实混凝土，并宜掺微膨胀剂。

4.2 钢筋

4.2.1 预应力钢筋宜采用低松弛的消除应力螺旋肋钢丝或钢绞线。

4.2.2 钢筋的各项计算指标及性能应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。预应力混凝土用钢丝应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 的规定，预应力混凝土用钢绞线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。

4.2.3 当预制构件中采用钢筋焊接网片配筋时，应按现行行业标准《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114 的规定执行。

4.2.4 预制构件的吊环应采用未经冷加工的 HPB300 级钢筋或 Q235B 圆钢制作。

4.3 其它材料

4.3.1 预制构件吊装用内埋式螺母或内埋式吊杆及配套的吊具，应符合国家现行相关标准的相关规定。

4.3.2 预制构件连接钢材的性能应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

4.3.3 预应力混凝土空心外墙板所用保温材料的性能应符合国家现行标准的相关规定。

5 结构分析与设计

5.1 一般规定

5.1.1 预应力混凝土空心板及其叠合板应按短暂设计状况、持久设计状况、地震设计状况进行设计，应符合现行国家标准的相关规定。

5.1.2 在短暂设计状况、持久设计状况下的预应力混凝土空心板及其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。

5.1.3 预应力混凝土空心板及其叠合板的安全等级和设计使用年限应与整体结构保持一致。

5.1.4 预应力混凝土空心板应与支承构件进行可靠连接。

5.1.5 预应力混凝土空心板连接宜按中震弹性、大震不屈服设计，并应采取措施保证楼盖整体性。

5.1.6 预应力混凝土空心板施工阶段不宜设支撑（支座附近除外），其承载力、裂缝及挠度应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定进行验算。

5.1.7 预应力混凝土空心底板叠合板应根据施工阶段支撑设置情况进行验算：

1 不设支撑时（支座附近除外），应根据施工阶段和使用阶段的不同受力模式（5.5.1 条），按本规程 5.5 节分别进行承载力、裂缝及挠度验算。

2 设支撑时（支座附近除外），可根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 相关规定，按整体受弯构件进行承载力、裂缝及挠度验算。

5.1.8 预应力混凝土空心板及其叠合板受力裂缝控制应满足以下要求：

1 生产、施工及使用阶段，预应力混凝土空心板及其叠合板板底裂缝均应按二级控制；

2 使用阶段，预应力混凝土空心底板叠合板按连续板设计时，处于正弯矩区的板底裂缝应按二级控制，处于负弯矩区的板顶裂缝宽度，应按三级控制；

3 裂缝控制等级应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 相关规定。

5.1.9 预应力混凝土空心板及其叠合板的最大挠度应按荷载的标准组合，并考虑荷载长期作用的影响进行计算，其计算值不应超过表 5.1.9 规定的挠度限值。

表 5.1.9 预应力混凝土空心板及其叠合板挠度限值

构件类型	挠度限值
当 $l_0 < 7\text{m}$ 时	$l_0/200$
当 $7\text{m} \leq l_0 \leq 9\text{m}$ 时	$l_0/250$
当 $l_0 > 9\text{m}$ 时	$l_0/300$

注：表中 l_0 为计算跨度

5.1.10 预应力混凝土空心板叠合板进行楼盖振动舒适度及耐火验算时，可按连续板考虑。

5.2 作用及作用组合

5.2.1 预应力混凝土空心板及其叠合板应采用荷载基本组合进行承载能力极限状态计算，采用荷载标准组合进行正常使用极限状态验算。

5.2.2 预应力混凝土空心板在翻转、运输、吊运、安装等短暂设计状况下的施工验算，应将预应力混凝土空心板自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。预应力混凝土空心板运输、吊运时，动力系数宜取 1.5；构件翻转及临时固定时，动力系数可取 1.2。

5.2.3 进行后浇叠合层混凝土施工阶段验算时，施工可变荷载可取 1.5kN/m^2 ，并应根据现场实际施工情况复核。

5.3 结构整体分析

5.3.1 平面规则、连接可靠的有叠合层预应力混凝土空心板楼盖可按刚性楼盖进行结构整体分析。楼层水平地震剪力宜按抗侧力构件等效刚度的比例分配。

5.3.2 平面规则、连接可靠，平面长宽比不大于 3，且纵向接缝灌浆键槽水平剪应力设计值不大于 0.4MPa 的无叠合层预应力混凝土空心板楼盖，可按刚性楼盖进行结构整体分析；否则宜根据楼盖平面内实际变形，合理确定楼盖计算假定后进行结构整体分析。

5.3.3 有叠合层且灌孔长度大于 6 倍楼板总厚度的预应力混凝土空心板楼盖，楼板对梁刚度及承载力的影响可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算，当灌孔长度不足时不宜考虑该影响；无叠合层预应力混凝土空心板楼盖，不宜考虑楼板对梁刚度及承载力的影响。

5.4 楼盖设计

（I）竖向荷载作用下楼盖设计

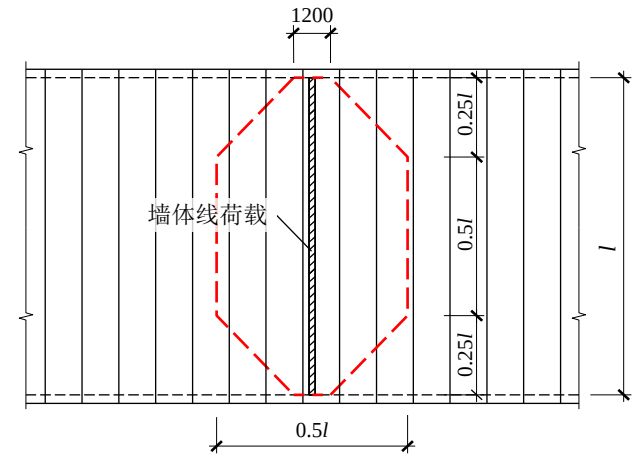
5.4.1 预应力混凝土空心板及其叠合板应按单向板设计。

5.4.2 与预应力混凝土空心板布置方向平行的支承构件设计，宜计入相邻单块预应力混凝土空心板预制宽度一半范围内的荷载。

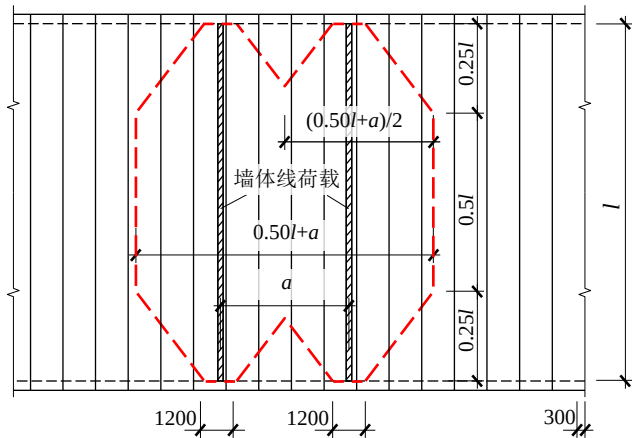
5.4.3 当楼面为非均布荷载作用时，应符合下列要求：

1 应考虑由非均布荷载引起的板底横向拉应力，防止预应力混凝土空心板产生劈裂破坏；必要时，应考虑冲切破坏。

2 非均布荷载应考虑由有效板宽范围内（图 5.4.3，以墙体线荷载为例）的预应力混凝土空心板共同承担。



(a) 有效板宽无重叠



(b) 有效板宽有重叠

图 5.4.3 非均布荷载作用下有效板宽范围

注：图中尺寸单位 mm。

l —预应力混凝土空心板计算跨度； a —集中荷载横向间距

5.4.4 预应力混凝土空心板开洞宜避开预应力筋的位置，减少切断预应力筋的数量。

1 开洞较小，切断预应力筋数量较少时，可按以下几种常见情况考虑开洞对受力的影响：

(1) 洞边距板端支座不小于 $3l/8$ （图 5.4.4-1）

进行楼板受弯计算时，洞宽范围内荷载由洞两边各 $0.25l$ 范围内的空心板共同承受；

进行楼板受剪计算时，均布荷载下剪力可不作特殊考虑，非均布荷载下剪力应按本规程第 5.4.2 条考虑。

(2) 洞边距板端支座小于 $3l/8$ (图 5.4.4-2)

将与板跨方向平行的洞边所在直线当作楼板侧边支座，洞宽范围内荷载以线荷载作用到板侧边，受弯受剪计算时有效板宽范围如图 5.4.4-2 所示。

(3) 洞边在板端支座处 (图 5.4.4-3)

当洞沿板跨方向尺寸小于 $l/8$ 且小于 1200mm 时，受弯计算不考虑洞的影响，否则，将洞边所在直线当作楼板侧边支座考虑，洞宽范围内荷载以线荷载作用到板侧边；

受剪计算时，将洞边所在直线当作楼板侧边支座考虑，洞宽范围内荷载以线荷载作用到板侧边。

2 开洞较大，割断预应力筋数量较多时，可采用钢托板将开洞板上的荷载传递到相邻板。

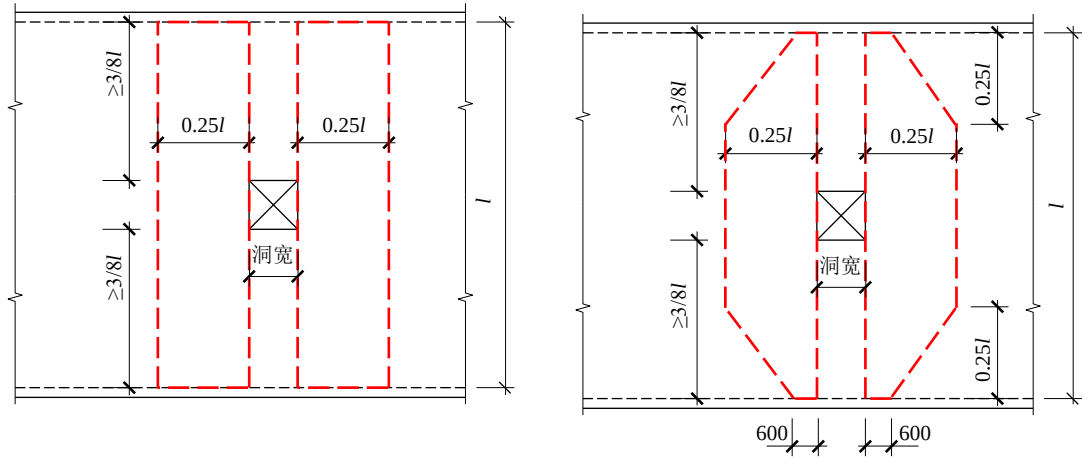


图 5.4.4-1 预应力混凝土空心板开洞情况一

注：图中尺寸单位 mm。

l —预应力混凝土空心板计算跨度

α_i —— i 层水平地震加速度系数，应符合第 5.4.9 条规定。

5.4.9 水平地震加速度系数 α_i (图 5.4.9)，应符合下列规定：

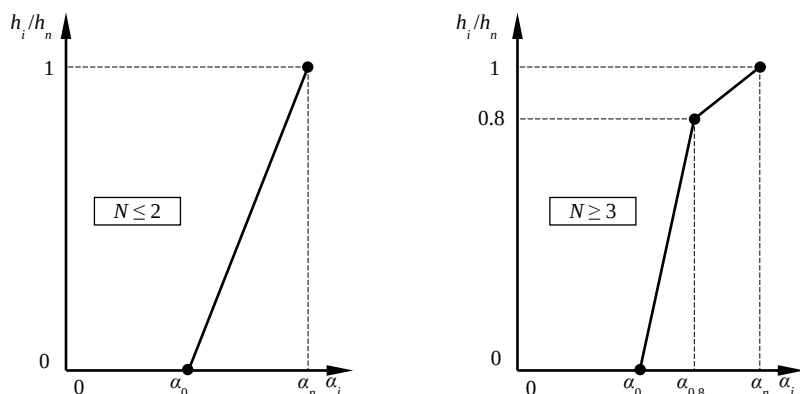


图 5.4.9 水平地震加速度系数

1 当层数 $N \leq 2$ 时，应按下式确定：

$$\alpha_i = (\alpha_n - \alpha_0)h_i / h_n + \alpha_0 \quad (5.4.9-1)$$

2 当层数 $N \geq 3$ 时，应按下列公式确定：

1) $h_i / h_n \leq 0.8$,

$$\alpha_i = 1.25(\alpha_{0.8} - \alpha_0)h_i / h_n + \alpha_0 \quad (5.4.9-2)$$

2) $h_i / h_n > 0.8$,

$$\alpha_i = (5h_i / h_n - 4)(\alpha_n - \alpha_{0.8}) + \alpha_{0.8} \quad (5.4.9-3)$$

式中： α_0 ——结构底部水平地震加速度系数，取 $0.4\beta_1\alpha_{\max}I_e$ ，式中参数应符合第 5.4.8 条规定；

$\alpha_{0.8}$ —— $0.8h_n$ 处水平地震加速度系数，取 α_0 与 $0.9\Gamma_{m1}\alpha_1$ 的较大值；其中 Γ_{m1} 为第 1 振型参与系数，取 $1 + 0.5z_s(1 - 1/N)$ ，振型参与调整系数 z_s 按表 5.4.9-3 确定；

α_n —— h_n 处水平地震加速度系数，取 $\sqrt{(\Gamma_{m1}\alpha_1)^2 + (\Gamma_{m2}C_{s2})^2}$ ，且不应小于 $\alpha_{0.8}$ ；

其中 Γ_{m2} 为高阶振型参与系数，取 $0.9z_s(1 - 1/N)^2$ ，振型参与调整系数 z_s 按表 5.4.9-3 确定， α_1 为设防地震结构基本自振周期水平地震影响系数，按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 取值， C_{s2} 为高阶地震反应系数，取 $(0.15N + 0.25)I_e\beta_1\alpha_{\max}$ 、 $I_e\beta_1\alpha_{\max}$ 和 $33.3I_e\beta_2\alpha_{\max} / (N - 1)$ 三者较小值，系数 β_2 按表 5.4.9-2 取值，其余参数应符合第 5.4.8 条规定；

h_i —— i 层高度；

h_n ——屋顶高度。

表 5.4.9-1 系数 β_1 取值

场地类别	6 度(0.05g)	7 度(0.10g)	7 度(0.15g)	8 度(0.20g)	8 度(0.30g)	9 度(0.40g)
I 类	2	2	2	2	2	2
II 类	2.5	2.5	2	2	2	2
III 类	2.5	2.5	2	2	2	2
IV 类	3.5	2.5	2	2	2	2

表 5.4.9-2 系数 β_2 取值

场地类别	6 度(0.05g)	7 度(0.10g)	7 度(0.15g)	8 度(0.20g)	8 度(0.30g)	9 度(0.40g)
I 类	1	1	1	1	1	1
II 类	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
III 类	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
IV 类	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5

表 5.4.9-3 振型参与系数 z_s 取值

结构类型	z_s
框架	0.7
框架剪力墙	0.85
其他	1.0

5.4.10 无叠合层预应力混凝土空心板楼盖可按深梁模型（图 5.4.10）计算连接内力，并按第 5.4.12 条~第 5.4.14 条进行承载力验算。

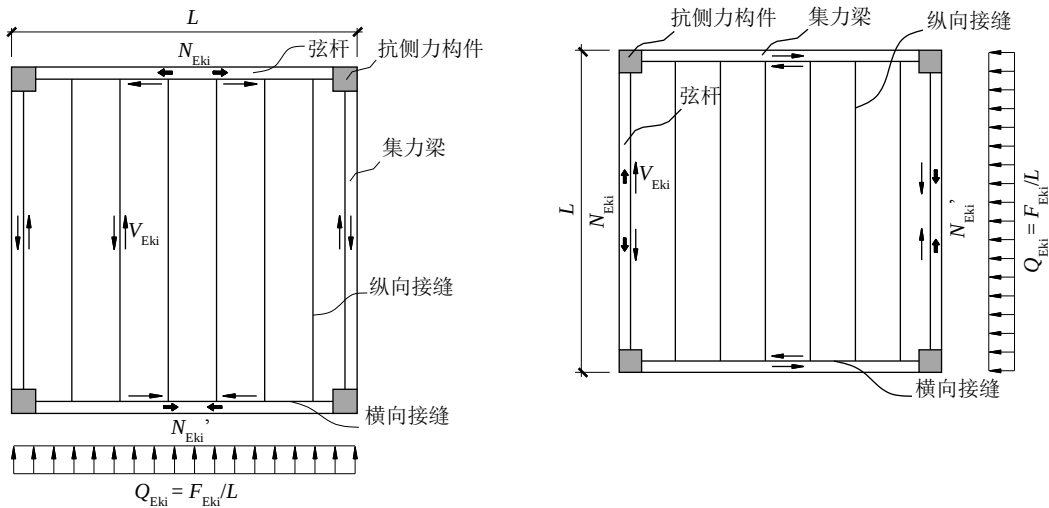


图 5.4.10 无叠合层预应力混凝土空心板楼盖深梁模型

L —深梁模型跨度； F_{Eki} — i 层预应力混凝土空心板楼盖所受水平地震作用标准值；

N_{Eki} —深梁模型弦杆拉力标准值； N'_{Eki} —深梁模型弦杆压力标准值；

V_{Eki} —深梁模型接缝剪力标准值

5.4.11 当无叠合层预应力混凝土空心板楼盖的支承构件为剪力墙时，尚应按下式计算剪力墙平面外地震作用引起的局部拉脱力：

$$F_{pi}=0.4\beta_i\alpha_{\max}k_aI_eG_{ki}\left(\frac{1+2h_i/h_n}{3}\right) \quad (5.4.11)$$

式中： F_{pi} —— i 层剪力墙平面外地震作用引起的局部拉脱力，不应小于 4.5kN/m；

G_{ki} —— i 层参与计算剪力墙重力荷载标准值；

k_a ——调整系数，一般情况下取 1.0；对非刚性楼盖，取 $1.0+L_f/30.5$ 且不应大于 2.0， L_f 为与剪力墙平面外垂直的预应力混凝土空心板跨度（m）。

5.4.12 无叠合层预应力混凝土空心板楼盖连接节点抗震承载力设计值，应符合下列规定：

$$V_{jDE} \leq V_{uE} / \gamma_{RE} \quad (5.4.12-1)$$

$$N_{jDE} \leq N_{uE} / \gamma_{RE} \quad (5.4.12-2)$$

式中： V_{jDE} ——水平设防烈度地震作用下，楼盖连接节点剪力设计值；

N_{jDE} ——水平设防烈度地震作用下，楼盖连接节点拉力设计值；

V_{uE} ——水平设防烈度地震作用下，楼盖连接节点受剪承载力设计值；

N_{uE} ——水平设防烈度地震作用下，楼盖连接节点受拉承载力设计值；

γ_{RE} ——楼盖连接节点承载力抗震调整系数，取 1.0。

5.4.13 纵向接缝灌浆键槽受剪承载力设计值应按下列式计算：

$$V_{uE} = \tau_c h_j l_j \quad (5.4.13)$$

式中： τ_c ——灌浆键槽抗剪强度设计值，取 0.4 MPa；

h_j ——纵向接缝间灌浆键槽净高；

l_j ——纵向接缝间灌浆键槽计算长度。

5.4.14 板板间或板梁间，采用钢筋连接时，其水平抗剪承载力和抗拉承载力应按下列式计算：

$$V_{uE} = 0.75\mu f_y A_{sf} \quad (5.4.14-1)$$

$$N_{uE} = 0.9 f_y A_s \quad (5.4.14-2)$$

式中： μ ——剪切摩擦系数，按表 5.4.14 取值；

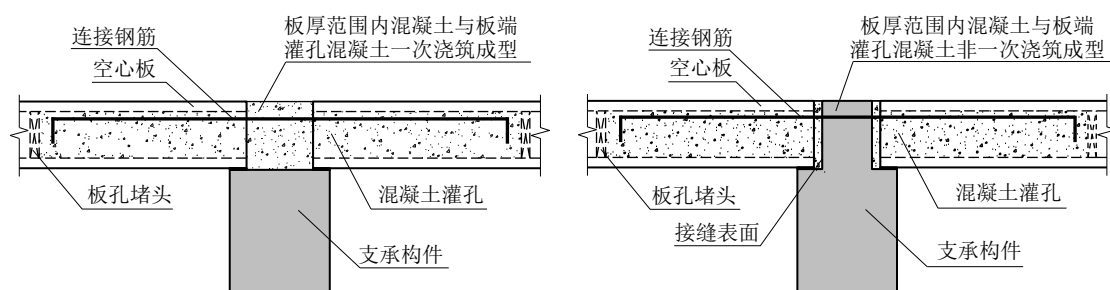
f_y ——普通钢筋抗拉强度设计值；

A_{sf} ——受剪区横向普通钢筋的截面面积；

A_s ——受拉区纵向普通钢筋的截面面积。

表 5.4.14 剪切摩擦系数 μ 取值

接缝类型		剪切摩擦系数 μ
纵向接缝	接缝表面有粗糙面 (6mm 凹凸差)	1.0
	接缝表面无粗糙面	0.6
横向接缝 (图 5.4.14)	支承构件板厚范围内混凝土与板端灌孔混凝土一次浇筑成型	1.4
	支承构件板厚范围内混凝土与板端灌孔混凝土非一次浇筑成型, 接缝表面有粗糙面 (6mm 凹凸差)	1.0
	支承构件板厚范围内混凝土与板端灌孔混凝土非一次浇筑成型, 接缝表面无粗糙面	0.6



(a) 支承构件板厚范围内混凝土与板端灌孔混凝土一次浇筑成型 (b) 支承构件板厚范围内混凝土与板端灌孔混凝土非一次浇筑成型

图 5.4.14 横向接缝类型示意

5.4.15 水平荷载在板与梁连接处产生的剪力直接作用在竖向抗侧力构件上或通过集力梁 (图 5.4.10) 传递到竖向抗侧力构件上。板梁连接处宜仅考虑纵向接缝连接件的抗剪作用。

5.4.16 预应力混凝土空心板纵向接缝间水平剪力可通过以下方式进行传递:

- 1 灌浆键槽传递;
- 2 纵向接缝连接件传递;
- 3 与纵向接缝垂直的板端钢筋混凝土构件传递。

灌浆键槽传递方式与纵向接缝连接件 (采用剪切摩擦原理的钢筋连接) 传递方式不应叠加使用。

5.4.17 预应力混凝土空心板横向接缝间的剪力应通过灌缝或灌孔中的连接钢筋传递。

5.5 构件设计

5.5.1 预应力混凝土空心底板叠合板，施工阶段不设支撑时（支座附近除外），内力应按下列两个阶段分别计算：

1 第一阶段：后浇的叠合层混凝土未达到强度设计值之前，荷载由预应力混凝土空心板承担，预应力混凝土空心板按简支构件计算；荷载包括预应力混凝土空心板自重、叠合层自重以及施工阶段的可变荷载。

2 第二阶段：叠合层混凝土达到设计规定的强度值之后，叠合构件按整体结构计算；荷载考虑下列两种情况，取较大值：

（1）施工阶段：考虑预应力混凝土空心板自重、叠合层自重、装修面层、吊顶等自重以及施工阶段可变荷载；

（2）使用阶段：考虑预应力混凝土空心板自重、叠合层自重、装修面层、吊顶等自重以及使用阶段可变荷载。

5.5.2 预应力混凝土空心板及其叠合板的正截面受弯承载力应符合本规程第 5.5.4 条~第 5.5.6 条要求，其中，施工阶段不设支撑（支座附近除外）的预应力混凝土空心底板叠合板，弯矩设计值应按下列规定确定：

预制构件正弯矩区段

$$M = M_{1G} + M_{1Q} \quad (5.5.2-1)$$

叠合构件正弯矩区段

$$M = M_{1G} + M_{2G} + M_{2Q} \quad (5.5.2-2)$$

叠合构件负弯矩区段

$$M = M_{2G} + M_{2Q} \quad (5.5.2-3)$$

式中： M_{1G} ——预应力混凝土空心板自重和叠合层自重在设计截面产生的弯矩设计值；

M_{2G} ——第二阶段装修面层、吊顶等自重在设计截面产生的弯矩设计值；

M_{1Q} ——第一阶段施工可变荷载在设计截面产生的弯矩设计值；

M_{2Q} ——第二阶段可变荷载在设计截面产生的弯矩设计值，取本阶段施工可变荷载和使用阶段可变荷载在设计截面产生的弯矩设计值中的较大值。

5.5.3 预应力混凝土空心板及其叠合板的斜截面受剪承载力应符合本规程第 5.5.7 条~第 5.5.8 条要求，其中，施工阶段不设支撑（支座附近除外）的预应力混凝土空心底板叠合板，剪力设计值应按下列规定确定：

预制构件

$$V = V_{1G} + V_{1Q} \quad (5.5.3-1)$$

叠合构件

$$V = V_{1G} + V_{2G} + V_{2Q} \quad (5.5.3-2)$$

式中： V_{1G} ——预应力混凝土空心板自重和叠合层自重在设计截面产生的剪力设计值；

V_{2G} ——第二阶段装修面层、吊顶等自重在设计截面产生的剪力设计值；

V_{1Q} ——第一阶段施工可变荷载在设计截面产生的剪力设计值；

V_{2Q} ——第二阶段可变荷载在设计截面产生的剪力设计值，取本阶段施工可变荷载和使用阶段可变荷载在设计截面产生的剪力设计值中的较大值。

5.5.4 预应力混凝土空心板及其叠合板的正截面受弯承载力设计值应符合下列要求：

$$M_u \geq M_{cr} \quad (5.5.4)$$

式中： M_u ——预应力混凝土空心板及其叠合板的正截面受弯承载力设计值；

M_{cr} ——预应力混凝土空心板及其叠合板的正截面开裂弯矩值。

5.5.5 预应力混凝土空心板及其叠合板的正截面受弯承载力符合下式条件时，则可不遵守本规程式（5.5.4）的规定：

$$1.4M \leq M_u \quad (5.5.5)$$

5.5.6 预应力混凝土空心板及其叠合板正截面受弯承载力应按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行计算，但需考虑空心板受弯承载力折减系数 ψ_m 。

5.5.7 预应力混凝土空心板及其叠合板斜截面受剪承载力应符合下列规定：

$$V \leq 0.7\psi_v f_t b_w h_0 \quad (5.5.7)$$

式中： V ——斜截面剪力设计值；

ψ_v ——空心板受剪承载力折减系数，见表 5.5.7；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定采用；

b_w ——预应力混凝土空心板及其叠合板各肋宽之和；

h_0 ——预应力混凝土空心板及其叠合板截面有效高度。

表 5.5.7 预应力混凝土空心板受剪承载力折减系数 ψ_v

预制板高(mm)	≤200	250	300	380
ψ_v	1.0	0.95	0.85	0.70

5.5.8 预应力混凝土空心底板叠合板的叠合界面粗糙度构造要求符合本规程的规定时，其叠合面的受剪强度应符合下列公式的要求：

$$\frac{V}{bh_0} \leq 0.4(\text{MPa}) \quad (5.5.8)$$

式中： b ——预制层与叠合层接触面宽度。

5.5.9 生产阶段，预应力混凝土空心板正截面边缘的混凝土法向应力应符合下列规定：

$$\sigma_{ct} \leq f'_{tk} \quad (5.5.9-1)$$

$$\sigma_{cc} \leq 0.8f'_{ck} \quad (5.5.9-2)$$

式中： σ_{ct} 、 σ_{cc} ——生产阶段（包括制作、堆放、吊装等）相应的荷载标准组合下产生在构件计算截面受拉区、受压区边缘的混凝土法向拉应力、压应力（MPa）；

f'_{tk} 、 f'_{ck} ——与相应阶段对应龄期的混凝土立方体抗压强度 f'_{cu} 相应的混凝土轴心抗拉强度标准值、轴心抗压强度标准值（MPa）。

5.5.10 施工阶段，预应力混凝土空心板正截面边缘的混凝土法向应力应按下列公式计算：

下边缘混凝土法向应力：

$$\sigma_1 = \sigma_{ck1} + \sigma_{pc1} \quad (5.5.10-1)$$

上边缘混凝土法向应力：

$$\sigma_2 = \sigma_{ck2} + \sigma_{pc2} \quad (5.5.10-2)$$

混凝土法向应力 σ_1 、 σ_2 为拉应力时，应满足公式(5.5.9-1)的要求；混凝土法向应力 σ_1 、 σ_2 为压应力时，应满足公式(5.5.9-2)的要求。

$$\sigma_{ck1} = \frac{M_{1k}}{W_{01}} \quad (5.5.10-3)$$

$$\sigma_{ck2} = \frac{M_{1k}}{W_{02}} \quad (5.5.10-4)$$

$$M_{1k} = M_{1Gk} + M_{1Qk} \quad (5.5.10-5)$$

式中： σ_{ck1} 、 σ_{ck2} ——叠合层浇筑阶段相应的荷载标准组合下产生在构件计算截面下边缘和上边缘混凝土的法向应力（MPa），拉为正，压为负；

σ_{pc1} 、 σ_{pc2} ——叠合层浇筑阶段扣除相应预应力损失后在构件计算截面下边缘和上边缘混凝土的法向预应力（MPa），拉为正，压为负；

f'_{tk} 、 f'_{ck} ——与相应阶段对应龄期的混凝土立方体抗压强度 f'_{cu} 相应的混凝土轴心抗拉强度标准值、轴心抗压强度标准值（MPa）；

M_{1k} ——第一阶段荷载标准组合下在计算截面产生的弯矩值；

M_{1Gk} ——第一阶段预应力混凝土空心板自重标准值（当有叠合层时，含叠合层自重标准值）在计算截面产生的弯矩值；

M_{1Qk} ——第一阶段施工可变荷载标准值在计算截面产生的弯矩值；

W_{01} ——预应力混凝土空心板截面下边缘的弹性抵抗矩；

W_{02} ——预应力混凝土空心板截面上边缘的弹性抵抗矩。

5.5.11 使用阶段，预应力混凝土空心底板叠合板底正截面边缘的混凝土法向应力应符合下列规定：

$$\sigma_{ck} + \sigma_{pc} \leq \gamma f_{tk} \quad (5.5.11-1)$$

$$\sigma_{ck} = \frac{M_{1Gk}}{W_{01}} + \frac{M_{2k}}{W_0} \quad (5.5.11-2)$$

$$M_{2k} = M_{2Gk} + M_{2Qk} \quad (5.5.11-3)$$

式中： σ_{ck} ——使用阶段按荷载标准组合计算控制截面抗裂验算边缘的混凝土法向应力（MPa），拉为正，压为负；

σ_{pc} ——使用阶段扣除全部预应力损失后在控制截面抗裂验算边缘混凝土的法向预压应力（MPa），拉为正，压为负；

f_{tk} ——预应力混凝土空心板（当有叠合层时，为预应力混凝土空心底板）混凝土轴心抗拉强度标准值（MPa）；

γ ——混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值；

M_{1Gk} ——第一阶段预应力混凝土空心板自重标准值（当有叠合层时，含叠合层自重标准值）在计算截面产生的弯矩值；

M_{2k} ——第二阶段荷载标准组合下在计算截面产生的弯矩值；

M_{2Gk} ——第二阶段装修面层、吊顶等自重标准值在计算截面产生的弯矩值；

M_{2Qk} ——第二阶段可变荷载标准值在计算截面产生的弯矩值，取本阶段施工可变荷载标准值和使用阶段可变荷载标准值在计算截面产生的弯矩值中的较大值；

W_{01} ——第一阶段预应力混凝土空心板截面下边缘的弹性抵抗矩；

W_0 ——第二阶段预应力混凝土空心底板叠合板截面下边缘的弹性抵抗矩。

5.5.12 预应力混凝土空心底板叠合板，按荷载标准组合并考虑长期作用影响的刚度可按下列公式计算：

$$B = \frac{M_k}{\left(\frac{B_{s2}}{B_{s1}} - 1\right)M_{1Gk} + (\theta - 1)M_q + M_k} B_{s2} \quad (5.5.12-1)$$

$$M_k = M_{1Gk} + M_{2k} \quad (5.5.12-2)$$

$$M_q = M_{1Gk} + M_{2Gk} + \varphi_q M_{2Qk} \quad (5.5.12-3)$$

式中： θ ——考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数，预应力叠合板取 $\theta=2.0$ ；

M_k ——叠合楼板按荷载标准组合计算的弯矩值；

M_q ——叠合楼板按荷载准永久组合计算的弯矩值；

B_{s1} ——预应力混凝土空心板的短期刚度，按第 5.5.13 条计算；

B_{s2} ——叠合楼板第二阶段的短期刚度，按第 5.5.13 条计算；

φ_q ——第二阶段可变荷载的准永久值系数；

5.5.13 预应力混凝土空心板正弯矩区段内的短期刚度，可按下列规定计算。

1 预应力混凝土空心板的短期刚度 B_{s1} 可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定计算。

2 叠合构件第二阶段的短期刚度可按下列公式计算：

$$B_{s2} = 0.7E_{c1}I_0 \quad (5.5.13)$$

式中： E_{c1} ——预应力混凝土空心板的混凝土弹性模量；

I_0 ——叠合构件换算截面的惯性矩，此时，叠合层的混凝土截面面积应按弹性模量比换算成预制构件混凝土的截面面积。

5.6 外墙板设计

5.6.1 正常使用状态下，外墙板应具有良好的工作性能。外墙板在多遇地震作用下应能正常使用；在设防烈度地震作用下经修理后应仍可使用；在预估的罕遇地震作用下不应整体脱落。

5.6.2 外墙板与主体结构的连接节点应具有足够的承载力和适应主体结构变形的能力。外墙板和连接节点的结构分析、承载力计算和构造要求应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的相关规定。

5.6.3 抗震设计时，外墙板与主体结构的连接节点在墙板平面内应具有不小于主体结构在设防烈度地震作用下弹性层间位移角 3 倍的变形能力。

5.6.4 主体结构计算时，应按下列规定计入外墙板的影响：

1 应计入支承于主体结构的外墙板的自重；

2 当外墙板相对于其支承构件有偏心时，应计入外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墙板，应根据刚度等代原则计入其刚度影响，但不应考虑外墙板的有利影响。

5.6.5 计算外墙板的地震作用标准值时，可采用等效侧力法，并可按下式计算：

$$q_{Ek} = \beta_E \alpha_{\max} G_k / A \quad (5.6.5)$$

式中： q_{Ek} ——分布水平地震作用标准值（kN/m²），当验算连接节点承载力时，
连接节点地震作用效应标准值应乘以 2.0 的增大系数；

β_E ——动力放大系数，不应小于 5.0；

$\alpha_{\max}$ ——水平多遇地震影响系数最大值，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；

G_k ——外墙板的重力荷载标准值（kN）；

A ——外墙板的平面面积（m²）；

5.6.6 外墙板的形式和尺寸应根据建筑立面造型、主体结构层间位移限值、楼层高度、节点连接方式、温度变化、接缝构造、运输限制条件和现场起吊能力等因素确定；板间接缝宽度应根据计算确定且不宜小于 10 mm；当计算缝宽大于 30 mm 时，宜调整外墙板的形式或连接方式。

5.6.7 外墙板不应跨越主体结构的变形缝。主体结构变形缝两侧的外墙板的构造缝应能适应主体结构的变形要求，宜采用柔性连接设计或滑动型连接设计，并采取易于修复的构造措施。

5.7 构造规定

5.7.1 预应力混凝土空心板的横截面（图 5.7.1），应符合下列规定：

- 1 空心孔洞形状、大小及数量应根据受力及生产需要确定；
- 2 板的宽度应根据生产设备及工程实际需要确定；
- 3 板的高度应满足承载力和刚度要求；
- 4 板侧宜设成锯齿形，传递板间剪力。

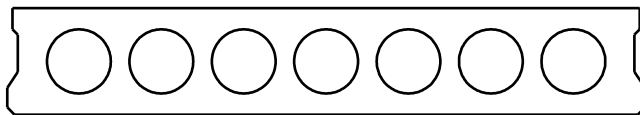


图 5.7.1 预应力混凝土空心板截面形式示意

5.7.2 预应力混凝土空心板轴线跨度 L 与板的截面高度 h 的比值宜符合下列规定：

屋面板： $L/h \leq 50$ ；

楼板： $L/h \leq 40$ 。

5.7.3 预应力混凝土空心板的预应力筋保护层厚度不应小于 20 mm。按简支板考虑耐火时，预应力筋耐火保护层厚度不小于 40 mm，耐火极限可取 1.5 h；按连

续板考虑耐火时，预应力筋耐火保护层厚度不小于 20 mm，耐火极限可取 1.5 h。

计算耐火保护层厚度时，宜包括抹灰粉刷层在内。

5.7.4 施加预应力时，预应力混凝土空心板混凝土的实际强度不宜低于设计值的 75%。

5.7.5 预应力筋的张拉控制应力 σ_{con} 不应大于 $0.75 f_{\text{ptk}}$ ，且不应小于 $0.4 f_{\text{ptk}}$ ；当要求部分抵消由于应力松弛、摩擦、钢筋分批张拉以及预应力筋与张拉台座之间的温差等因素产生的预应力损失时，张拉控制应力限值可相应提高 $0.05 f_{\text{ptk}}$ 。

5.7.6 预应力筋公称直径不应小于 5 mm，不宜大于 15.2 mm。

5.7.7 先张法预应力筋之间的净间距不宜小于其公称直径的 2.5 倍和混凝土粗骨料最大粒径的 1.25 倍，且应符合下列规定：

预应力钢丝，不应小于 15 mm；三股钢绞线，不应小于 20 mm；七股钢绞线，不应小于 25 mm。当混凝土振捣密实性具有可靠保证时，净间距可放宽为最大粗骨料粒径的 1.0 倍。

5.7.8 叠合层混凝土的厚度不应小于 60 mm；单层双向配筋，单向配筋率（按叠合层截面计算）不应小于 0.2%，当叠合层混凝土厚度不小于 100 mm 时，可采用双层双向配筋。钢筋直径不宜小于 6 mm，间距不宜大于 200 mm。叠合层钢筋应按受拉钢筋锚入支座内。

5.7.9 当预应力混凝土空心底板叠合板按连续板设计时，负弯矩区受力钢筋最小配筋率（按叠合构件全截面计算）及钢筋锚固长度应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。当考虑支座处叠合层对楼板耐火极限的有利作用时，支座负弯矩钢筋若采用分离式布置，钢筋截断位置至支座边长度不应小于 $l/3$ ；当考虑支座处叠合层对楼板振动舒适度的有利作用时，对负弯矩区配筋无特殊要求。

5.7.10 当叠合层混凝土强度小于 C40 时，预应力混凝土空心板与叠合层接触的表面应做成凹凸差不小于 2 mm 的粗糙面。

5.7.11 预应力混凝土空心板侧边键槽拼缝宜采用密拼的构造形式（图 5.7.11）。拼缝上口宽度 b_j 不宜小于 20 mm。

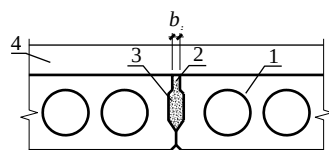


图 5.7.11 侧边拼缝构造形式

- 1—预应力混凝土空心板；2—板间灌缝；
3—锯齿边；4—叠合层（若需要）

5.7.12 预应力混凝土空心板侧边不宜伸进混凝土梁、剪力墙或钢梁翼缘内。

5.7.13 预应力混凝土空心板板侧可采用图 5.7.12-1~图 5.7.12-4 所示连接形式。

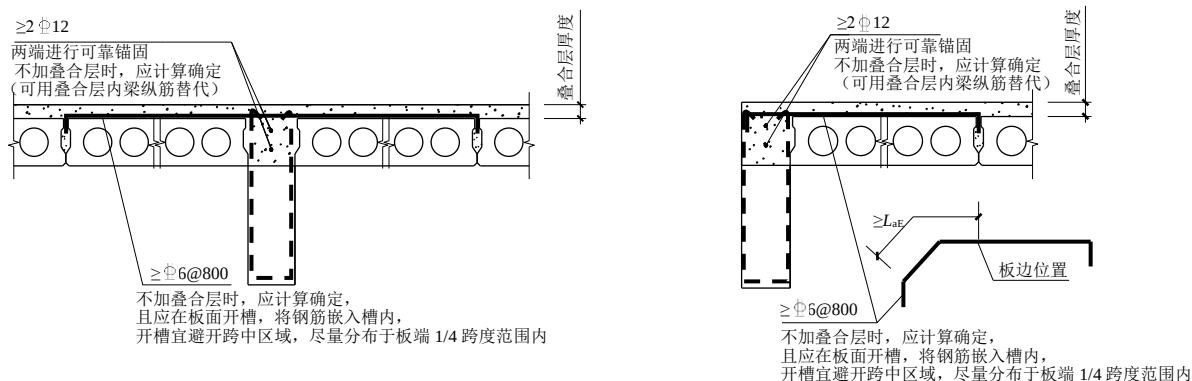


图 5.7.12-1 板侧与钢筋混凝土梁连接节点

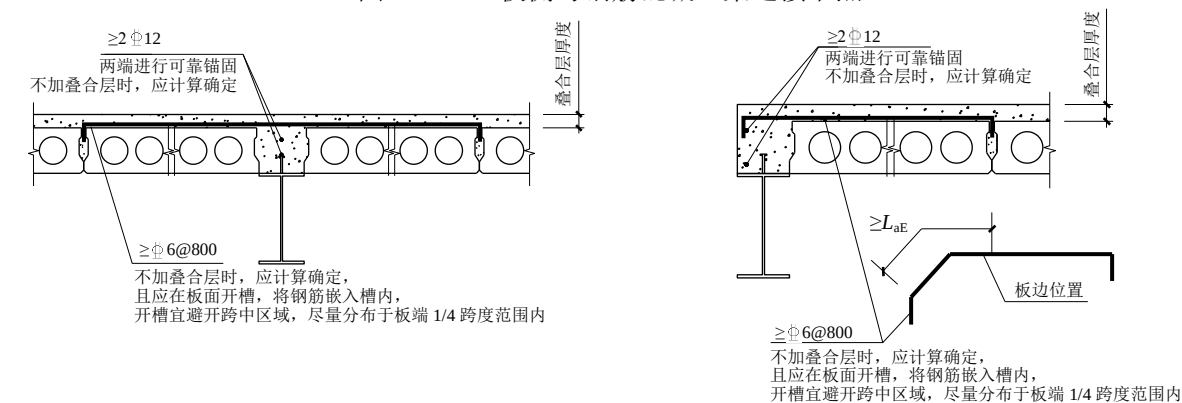


图 5.7.12-2 板侧与钢梁连接节点

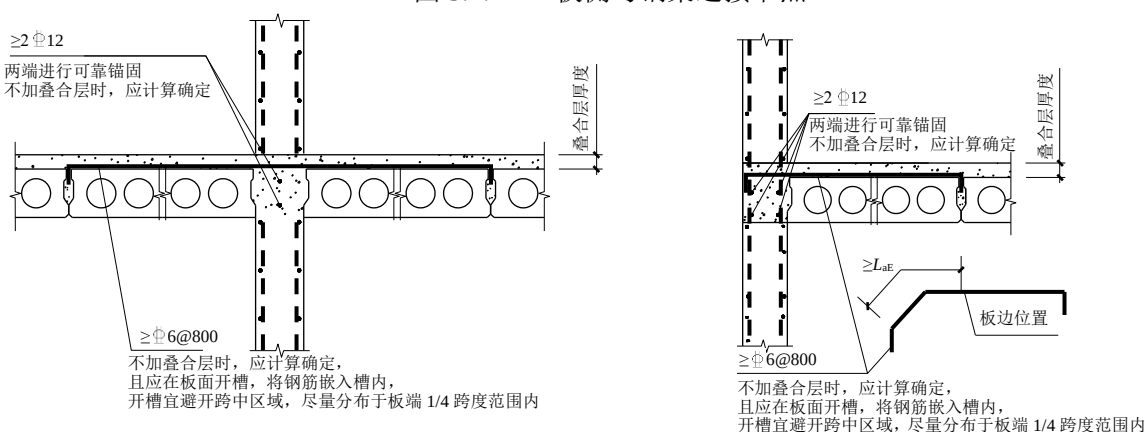


图 5.7.12-3 板侧与剪力墙连接节点

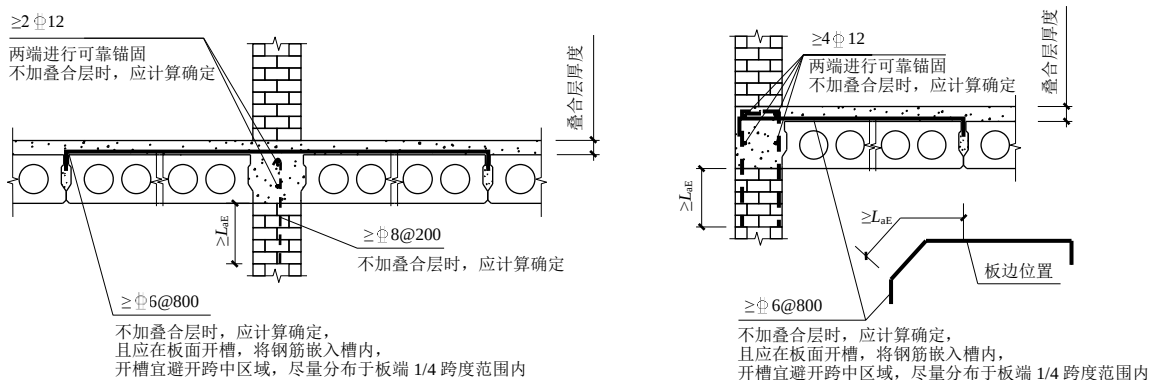


图 5.7.12-4 板侧与砌体墙连接节点

5.7.14 预应力混凝土空心板板端应有堵头，堵头深度宜为 50~100 mm。当预应力混凝土空心板板端承受上部竖向结构构件局部压力时，堵头深度不应小于竖向结构构件支承在空心板端长度 b 和楼板厚度 h 之和，且不应小于 100mm(图 5.7.14)。当空心孔洞配有钢筋时，堵头深度尚不应小于钢筋锚固长度。堵头至板端范围内空心孔洞应采用强度等级不低于 C30 的混凝土浇灌密实，当承受上部竖向结构构件局部压力时，尚应验算局压承载力。

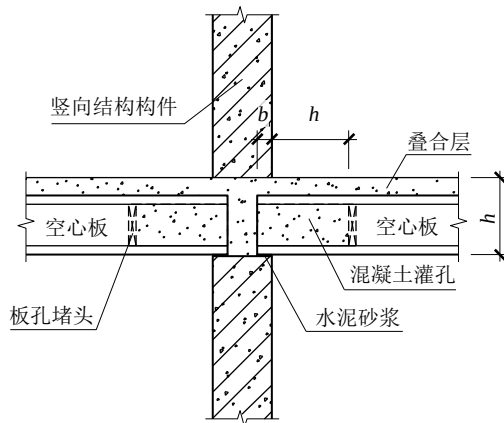


图 5.7.14 孔端承受上部竖向结构构件局部压力堵头示意图

b —竖向结构构件支承在空心板端长度， h —楼板厚度

5.7.15 预应力混凝土空心板板端支承长度 α_0 不宜小于 $L/180$ 和 50 mm 的较大值。

5.7.16 预应力混凝土空心板板端支承长度 α_0 满足第 5.7.15 条要求时，可采用图 5.7.16-1~图 5.7.16-4 所示连接形式。有叠合层时，沿板跨方向配置的拉结抗剪钢筋可按构造配置在板间灌缝处；无叠合层时，沿板跨方向配置的拉结抗剪钢筋应计算确定，抗震设防烈度大于 7 度时，尚应将部分拉结抗剪钢筋布置于板孔内，并不应小于拉结抗剪钢筋总数的 1/2。

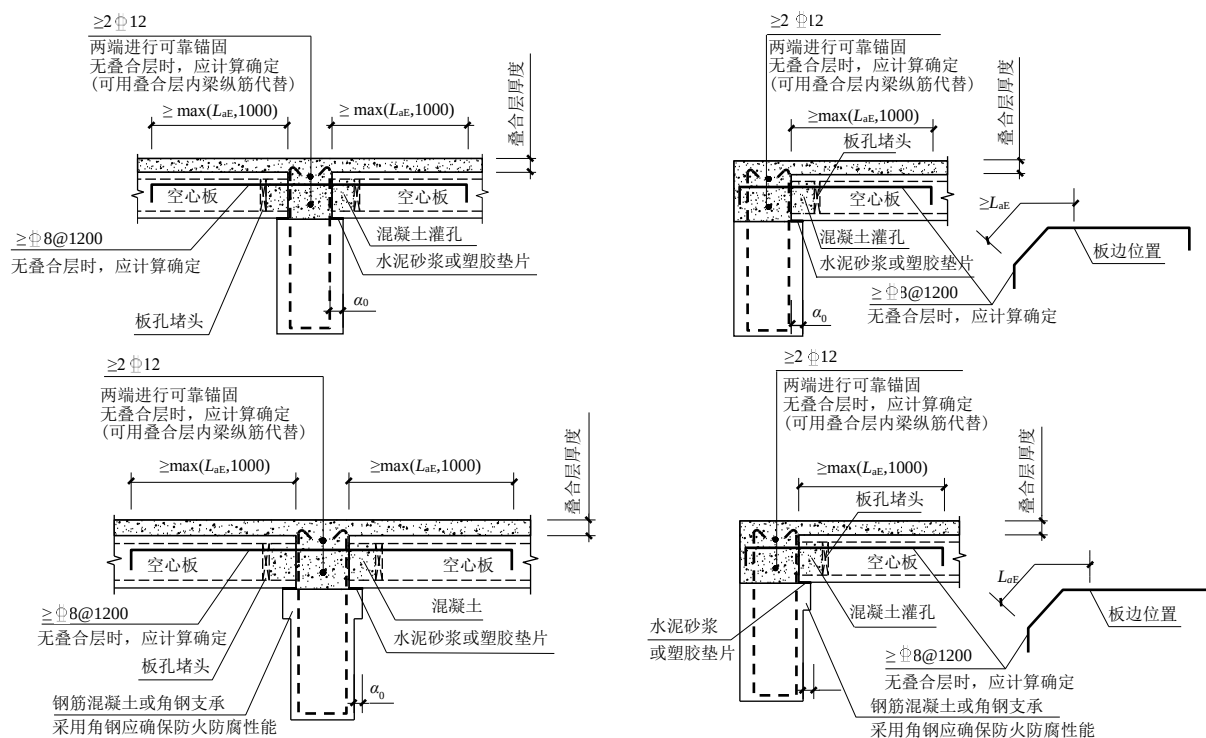
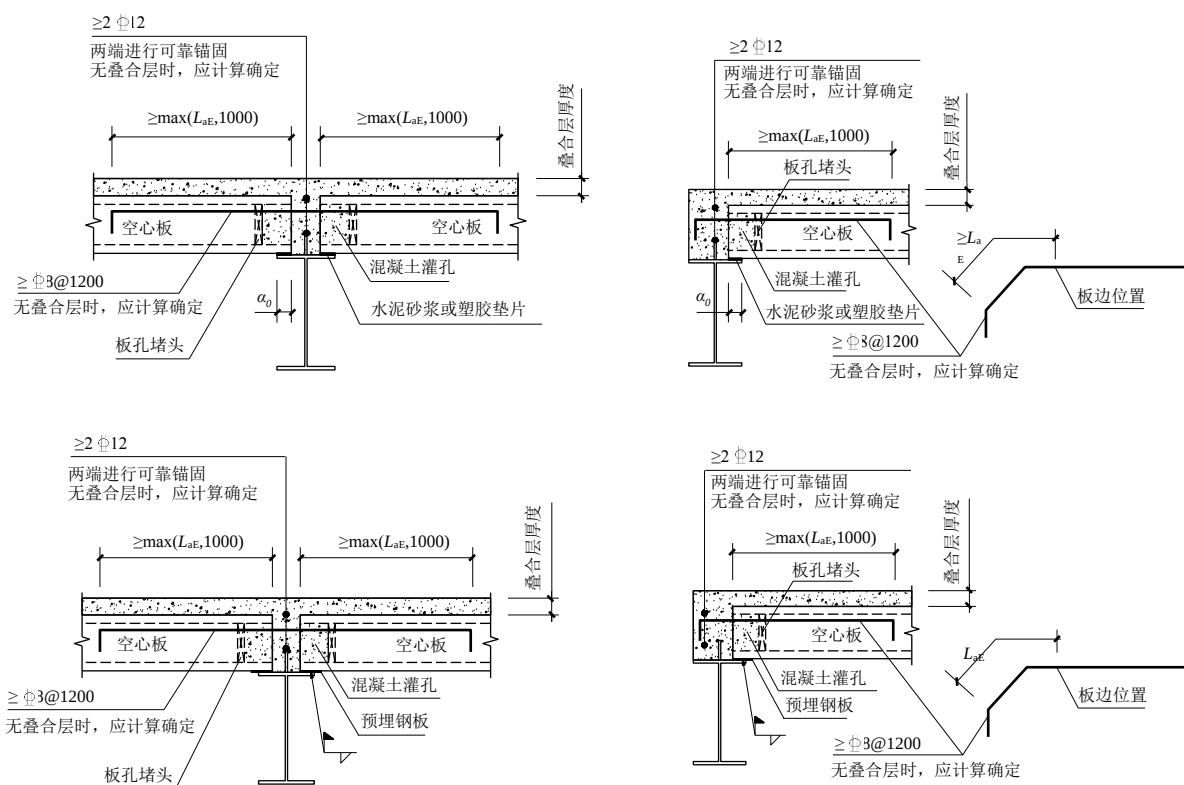


图 5.7.16-1 板端与钢筋混凝土梁连接节点



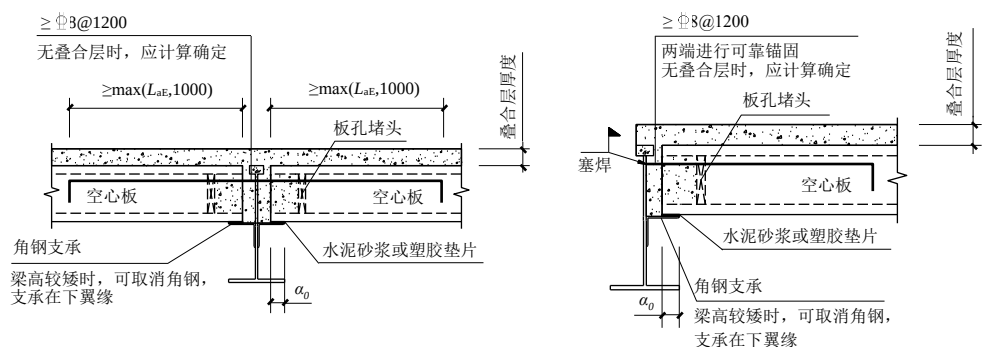


图 5.7.16-2 板端与钢梁连接节点

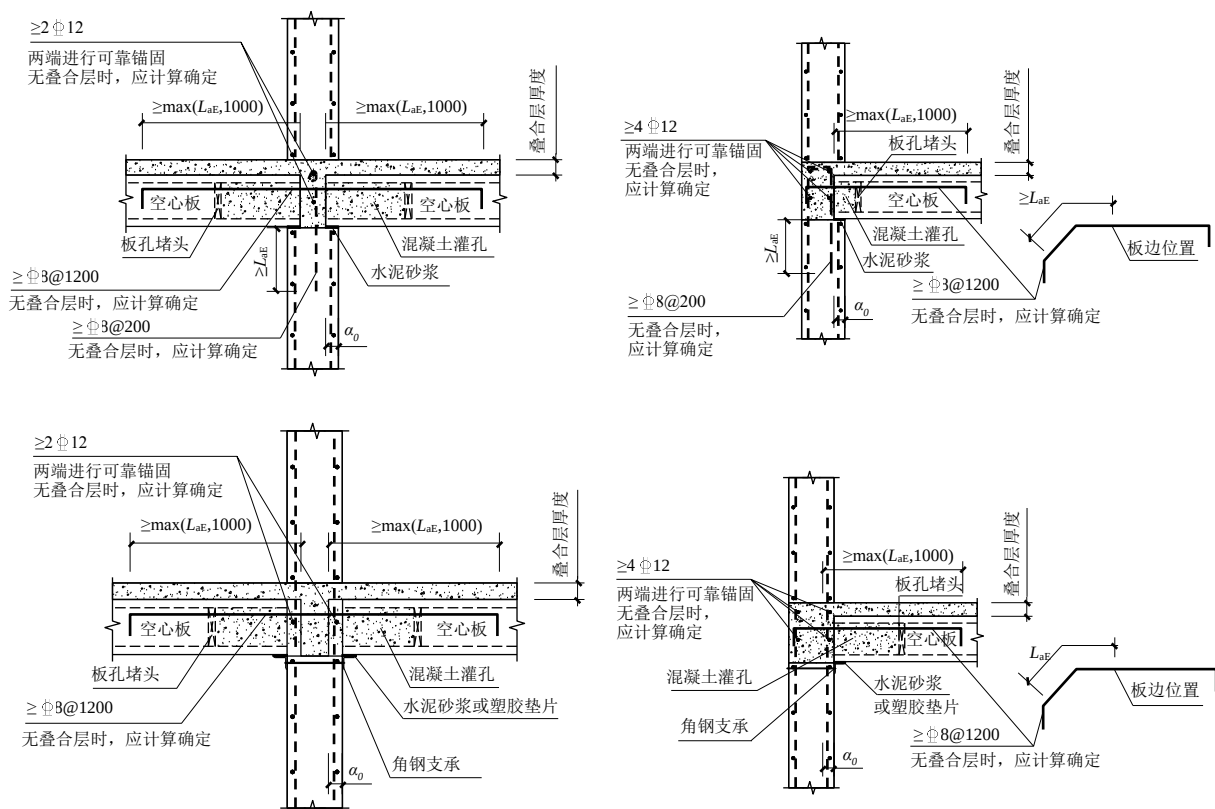


图 5.7.16-3 板端与剪力墙连接节点

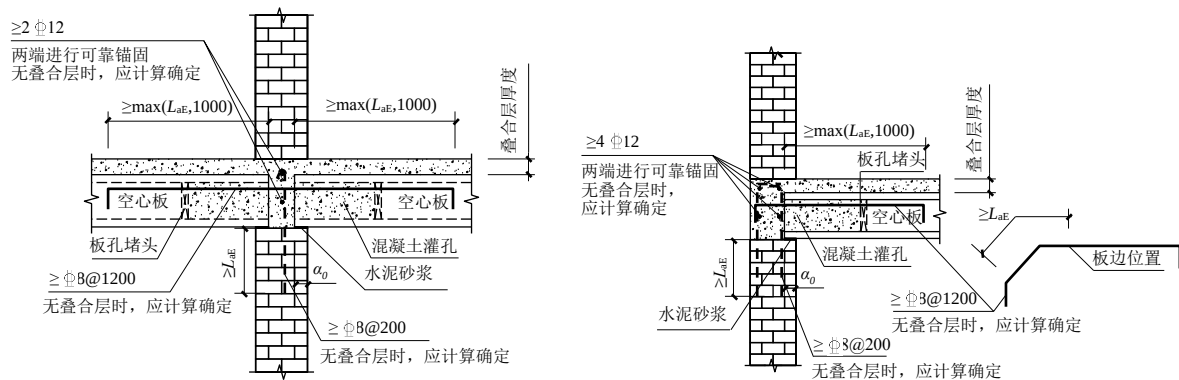


图 5.7.16-4 板端与砌体墙连接节点

5.7.17 预应力混凝土空心板板端支承长度 α_0 不满足第 5.7.15 条要求时,应采取有效拉结措施(图 5.7.17),且应满足以下要求:

- 1 板端灌孔深度不应小于 300 mm, 当有配筋时尚不应小于钢筋锚固长度;
- 2 有叠合层时,应在不少于总数 1/4 的板孔设置直径不小于 12 mm 的拉结钢筋;
- 3 无叠合层时,应在不少于总数 1/2 的板孔设置直径不小于 12 mm 的拉结抗剪钢筋,拉结抗剪钢筋数量应满足计算要求。

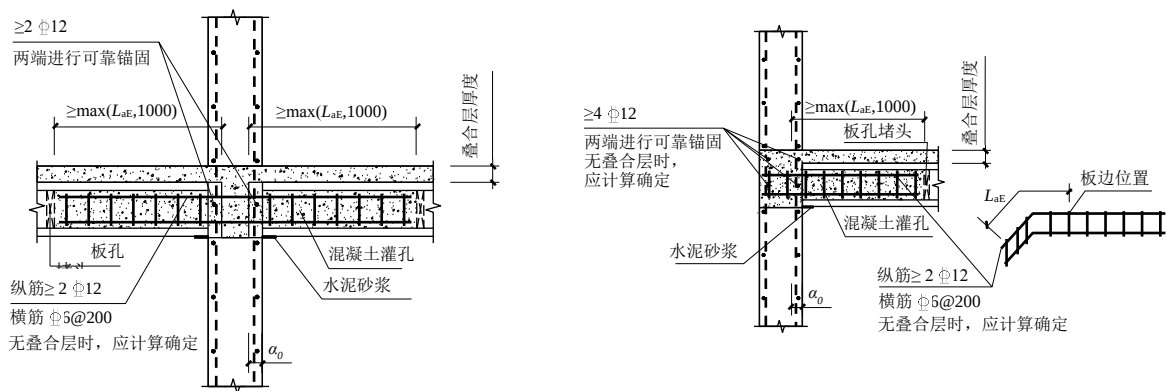


图 5.7.17 支承长度不满足要求时拉结措施示意图

5.7.18 预应力混凝土空心墙板与主体结构可采用图 5.7.18-1~图 5.7.18-2 所示连接形式。

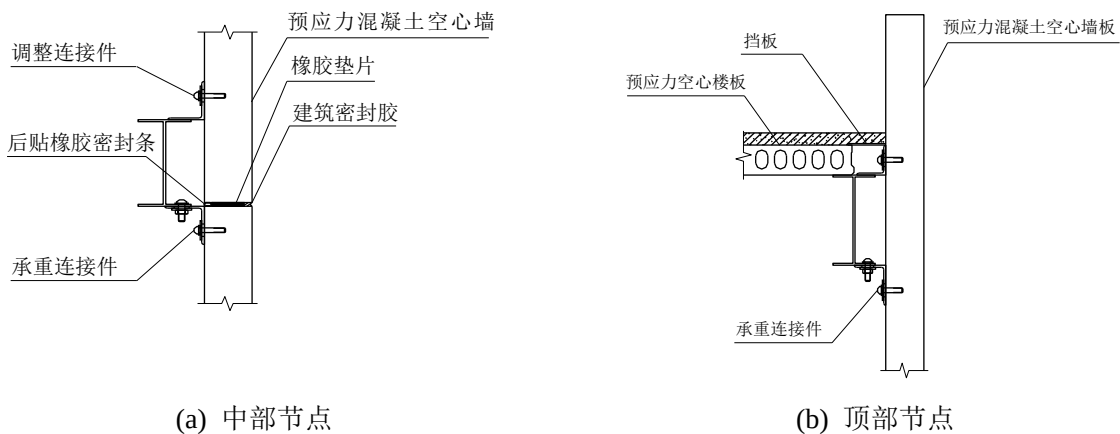


图 5.7.18-1 预应力空心墙板与钢梁连接节点

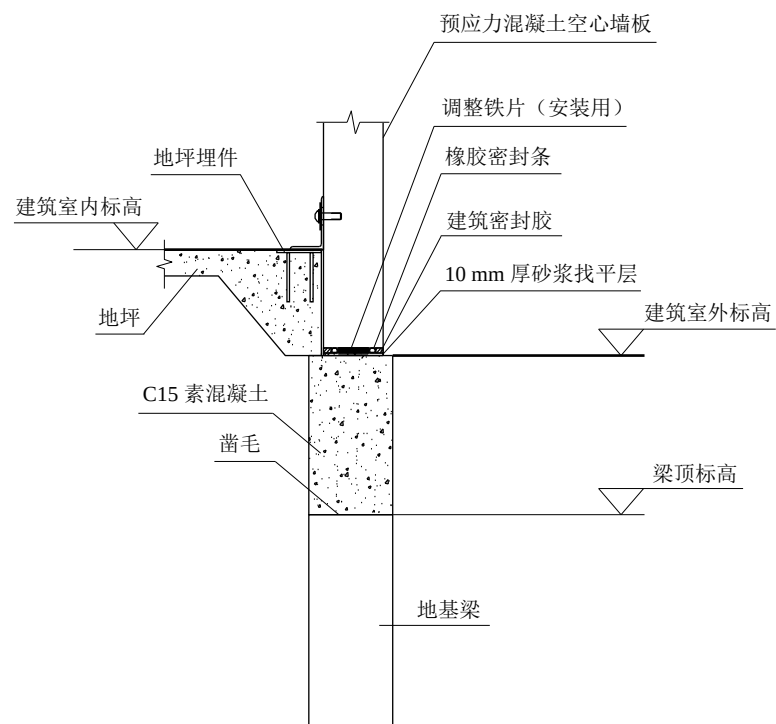


图 5.7.18-2 预应力空心墙板底部节点

6 构件生产、检验、存放与运输

6.1 一般规定

6.1.1 构件生产前应编制生产方案，包括材料要求、生产组织与计划、生产工艺和质量保证措施、质量与检验要求、成品保护措施、运输堆放措施等内容。

6.1.2 构件生产应以加工图设计文件为依据，生产单位应对加工图设计文件进行工艺性审查，当需要修改加工图设计文件时，应办理设计变更文件。

6.1.3 加工图设计文件应包括：

- 1 构件的模板图、配筋图及各种预埋件的细部构造图等；
- 2 构件脱模、翻转、吊装等相关内容及验算文件；
- 3 吊点受力验算书。

6.1.4 构件生产前，应进行技术交底，并对相关岗位人员进行专业技术培训，特种作业人员应持证上岗。

6.1.5 混凝土原材料应按品种、数量分别存放，并应符合下列规定：

- 1 水泥和掺合料应存放在密封、干燥、防止受潮的筒仓内。不同生产企业、不同品种、不同强度等级原材料不得混仓；
- 2 砂、石应按不同品种、规格分别存放，并应有防混料、防尘和防雨措施；
- 3 外加剂应按不同生产企业、不同品种分别存放，并有防止沉淀等措施。

6.1.6 构件混凝土成型前应进行隐蔽工程检查并做好记录，检查项目应包括：

- 1 预应力筋的牌号、规格、数量、位置和间距；
- 2 预应力筋的混凝土保护层厚度；
- 3 预埋件（包含预埋线盒和管线等）的规格、数量、位置及固定措施；
- 4 预应力筋及其锚具、连接器和锚垫板的品种、规格、数量、位置。

6.1.7 构件制作完成后，外露金属件的防腐、防锈处理应符合设计及现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的规定。

6.1.8 不合格品应在显著位置标记不合格标志，应与合格品分区、单独存放，并集中处理，处理结果应有相应资料备查。

6.2 生产

6.2.1 预应力筋应检查合格后进行下料和安装，并应符合下列规定：

- 1 预应力筋表面不应有油污，不应严重锈蚀；
- 2 预应力筋的牌号和规格应与设计图纸要求一致。

6.2.2 预应力筋下料应符合下列规定：

1 预应力筋的下料长度应根据台座长度、锚夹具长度、千斤顶长度和外露长度等因素经计算确定。首次使用时，下料长度应经试验校准，符合要求后方可成批下料；

2 预应力筋应使用砂轮锯或切断机等机械方法切断，不应采用电弧或气焊切断。

6.2.3 预应力筋张拉应符合设计要求，并应符合下列规定：

1 应考虑预制构件受力特点、生产方便及操作安全等因素确定张拉顺序；

2 宜采用多根预应力筋整体张拉方式；单根张拉时应采取对称和分级方式，按照校准的张拉力控制张拉精度，并以预应力筋的伸长值作为校核；

3 预应力筋张拉时，应从零拉力加载至初拉力后，量测伸长值初读数，再以均匀速率加载至张拉控制力；

4 张拉过程中应避免预应力筋断裂或滑脱；

5 预应力筋张拉锚固后，应对实际建立的预应力值与设计给定值的偏差进行控制；每工作班抽查预应力筋总数的 1%，且不少于 3 根。

6.2.4 预应力筋放张应符合设计要求，并应符合下列规定：

1 预应力筋放张时，混凝土强度应符合设计要求，且同条件养护的混凝土立方体抗压强度不应低于设计混凝土强度等级值的 75%；采用消除应力螺旋肋钢丝或钢绞线作为预应力筋的先张法构件，尚不应低于 30MPa；

2 放张前，应将限制构件变形的模具拆除；

3 宜采取缓慢放张工艺进行整体放张；

4 对受弯或偏心受压的预应力构件，宜先同时放张预压应力较小区域的预应力筋，再同时放张预压应力较大区域的预应力筋；

5 单根放张时，应分阶段、对称且相互交错放张；

6 放张后，预应力筋的切断顺序，宜从放张端开始逐次切向另一端。

6.2.5 吊点形式、位置及数量应严格按照构件加工图设计文件制作、安装和设置。如有变化调整应重新验算。

6.2.6 混凝土质量控制应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

6.2.7 混凝土成型应符合下列规定：

1 混凝土成型前，预埋件及预留钢筋的外露部分宜采取防止污染的措施；

2 混凝土倾落高度不宜大于 600 mm，并应均匀摊铺；

3 混凝土成型应连续进行；

4 混凝土从出机到成型完毕的延续时间，气温高于 25℃时不宜超过 60 min，气温不高于 25℃时不宜超过 90 min。

6.2.8 采用塑性混凝土时，混凝土振捣应符合下列规定：

1 混凝土宜采用机械振捣方式成型。振捣设备应根据混凝土的品种、工作性、预制构件的规格和形状等因素确定，并应制定振捣成型操作规程；

2 当采用振捣棒时，混凝土振捣过程中不应碰触钢筋骨架和预埋件；

3 混凝土振捣过程中应随时检查模具有无漏浆、变形或预埋件移位等现象，如有偏差应采取措施及时纠正；

4 混凝土振捣完成后宜对表面进行抹平提浆，做二次抹面处理。

6.2.9 预制构件粗糙面成型应符合下列规定：

1 结合部位的粗糙面宜在混凝土初凝前进行拉毛处理；

2 粗糙面的凹凸差不应小于 2 mm。

6.2.10 混凝土的强度等级应符合设计要求。用于检查混凝土强度的试件，应在构件制作地点随机抽取，取样与试件留置应符合下列规定：

1 每拌制 100 盘且不超过 100 m³ 的同配合比混凝土，取样不应少于一次；

2 每工作班拌制的同一配合比的混凝土不足 100 盘时，取样不应少于一次；

3 每批（次）制作试件不应少于 3 组。其中同条件养护试件 2 组，判断其强度是否满足构件放张和出厂要求；标准养护试件 1 组，评定其强度是否合格。还可根据预制构件生产和施工要求增设同条件试件，检验强度作为工序转换的依据；

4 蒸汽养护的预制构件，其强度评定混凝土试块应随同构件蒸养后，再转入标准条件养护。构件脱模起吊、预应力放张的混凝土同条件试块，其养护条件应与构件生产中采用的养护条件相同；

5 除设计有要求外，预制构件出厂时的混凝土强度不应低于设计强度的 75%。

6.2.11 生产单位应根据地区气候因素，针对不同类型的构件及其养护方法编制养护方案，建立养护记录和养护台账。

6.2.12 生产单位应根据构件特点和生产任务量选择自然养护、自然养护加养护剂或加热养护等养护方式。

6.2.13 加热养护工艺应通过试验确定，宜采用加热养护温度自动控制装置，且应符合下列规定：

- 1 加热养护可选择蒸汽加热、电加热或模具加热等方式;
- 2 在常温下预养护时间不宜少于 2 h;
- 3 升、降温速度不宜超过 10℃/h;
- 4 最高养护温度不宜超过 70℃;
- 5 构件在撤除养护措施前,应进行温度测量,当构件表面与外界温差不大于 20℃时,方可撤除养护措施;

6.2.14 预应力混凝土空心板在养护完成后应使用专用切割机具进行分割,分割尺寸应符合设计要求。

6.2.15 标识可采用文字形式进行标注,应包括构件编号、项目名称、厚度、长度、预应力配筋、重量、使用部位、生产厂家、生产日期(批次)、检验合格章等信息。

6.2.16 除标识外还应采用编码,且具有唯一性,其中应包含项目名称、生产厂家、生产日期等构件的基本信息,还应包含构件的生产信息。编码宜采用二维码或 RFID 芯片等方式,方便构件生产的信息化管理,并为建造全过程信息化管理提供基础。

6.3 检验

6.3.1 先张法预应力筋张拉锚固后,实际的预应力值与工程设计规定检验值的相对允许偏差应控制为 $\pm 5\%$ 。

6.3.2 预应力筋的张拉控制应力,应以张拉时的实际伸长值与理论计算伸长值进行校核。实际伸长值与理论计算伸长值的允许偏差应控制为 $\pm 6\%$,否则应暂停张拉,查明原因。

6.3.3 预应力筋放张前,应对预制构件混凝土强度进行检验。同条件养护的混凝土立方体试件抗压强度应符合设计要求,当设计无具体要求时应符合下列规定:

- 1 应达到配套锚固产品技术要求的混凝土最低强度且不应低于设计混凝土强度等级值的 75%;

- 2 对采用消除应力螺旋肋钢丝或钢绞线作为预应力筋的先张法构件,不应低于 30 MPa。

6.3.4 预制构件上的预埋件、预留插筋、预留孔洞、预埋管线等规格型号、数量应符合设计要求。

6.3.5 预埋件用钢材及焊条的性能应符合设计要求。预埋件加工偏差应符合表 6.3.5-1 的规定。

表 6.3.5-1 预埋件加工允许偏差

项次	检验项目	允许偏差 (mm)	检验方法 (以下工具包括但不限于)
1	预埋件锚板 (墩头) 的边长	0, -5	用钢尺量测
2	预埋件锚板的平整度	1	用直尺和塞尺量测
3	锚筋	长度	10, -5
		间距偏差	±10

6.3.6 预应力筋检验应符合下列规定：

- 1 在同一检验批内，应抽查各类型构件总数的 10%，且不少于 3 个构件，每个构件不应少于 5 处；
- 2 定位控制点的竖向位置偏差应符合表 6.3.5-2 的规定，其合格率应达到 90% 及以上，且不得有超过表中数值 1.5 倍的尺寸偏差；
- 3 定位控制点的水平位置偏差应不大于 10mm。

表 6.3.5-2 预应力筋定位控制点的竖向位置允许偏差

构件截面高 (厚) 度 (mm)	$H \leq 300$	$300 < H \leq 1500$	检验方法 (以下工具包括但不限于)
允许偏差 (mm)	±5	±10	尺量

6.4 存放

6.4.1 生产单位、施工单位应于构件存放前制定合适的存放方案。

6.4.2 存放场地宜为混凝土硬化地面或经人工处理的自然地坪，满足平整度和承载力要求，并应有排水措施。

6.4.3 存放场地宜设置在垂直运输机械有效起重范围内且不受其他工序施工作业影响的区域，场地内应设置内部和外部通道。运输车入场道路，应满足预制构件的运输要求。卸放、吊装工作范围内不应有障碍物，并应有满足预制构件周转使用的场地。

6.4.4 存放库区应采用信息化方式进行分区管理。

6.4.5 存放应符合下列规定：

- 1 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，预埋吊件应向上，标识应向外；
- 2 应合理设置垫块支点，确保预制构件存放稳定；
- 3 与清水混凝土面接触的垫块应采取防污染措施；

4 预应力混凝土空心板多层叠放时,每层构件间的垫块应上下对齐;宜平放,叠放层数不宜超过 6 层,总高度不宜超过 2m;长期存放时,应采取措施控制预应力构件起拱值和翘曲变形。

6.4.6 预应力混凝土空心板尚应按现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 采用相应成品保护措施。

6.5 运输

6.5.1 应结合本地区交通条件及相关交通法律法规,编制运输方案。

6.5.2 对于常规养护的构件,其运出出厂时混凝土强度实测值不应低于设计强度的 75%,蒸汽养护的构件其强度应达到 100%。运输时动力系数宜取 1.5。

6.5.3 预应力混凝土空心板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 应根据构件的规格采取可靠的固定措施。

2 对于超高、超宽、超长和形状特殊的构件的运输应制定专门的质量安全保障措施。

3 运输时宜采取如下防护措施:

(1) 设置柔性垫片避免构件边角部位或链索接触处的混凝土损伤;

(2) 与清水混凝土面接触的垫块用塑料薄膜包裹,避免预应力混凝土空心板外观污染;

(3) 装箱运输时,箱内四周采用木材或柔性垫片填实,并保证支撑牢固。

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,并进行强度、稳定性和刚度验算。

6.5.4 宜采用水平运输方式;叠放不宜超过 6 层。

6.5.5 场内运输宜设置循环线路,运输车辆应满足构件尺寸和载重要求。

6.5.6 装卸构件时应考虑车体平衡,应采取防止构件移动或倾倒的绑扎固定措施。

7 构件施工

7.1 一般规定

7.1.1 施工前相应人员应熟悉图纸，掌握有关技术要求及细部构造；应根据施工特点和要求，编制施工组织设计或专项施工方案，对施工现场平面布置、转运路线、道路条件及吊装方案等作出规定，并经过审查批准后施工。

7.1.2 施工作业人员组成及技术水平应满足施工的需要。施工作业人员应经培训，具备岗位需要的基础知识和技能，并应取得相应的培训合格证书。

7.1.3 施工前，应向现场作业人员逐项进行技术交底、安全教育。

7.1.4 安装施工前，应确认已施工的主体结构质量符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 或《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 以及相关规程的规定，并应确认预应力混凝土空心板的混凝土强度及预制构件和配件的型号、规格、数量等符合设计及相关要求。

7.1.5 施工前，应根据设计要求和施工方案进行施工验算。验算时应将构件自重乘以相应的动力系数：构件吊运、运输时宜取 1.5，构件翻转及安装过程中就位、临时固定时宜取 1.2。当有可靠经验时，动力系数可根据实际受力情况和安全要求适当增减。施工验算尚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。

7.1.6 预应力混凝土空心板的施工现场，应满足起吊、堆放、运输等要求，防止预应力混凝土空心板破损、丧失稳定等情况的发生。

7.2 机械设备和吊具、防护系统

7.2.1 安装施工前，应复核吊装设备的吊装能力。应按现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 的有关规定，检查复核吊装设备及吊具处于安全操作状态，并核实现场环境、天气、道路状况等满足吊装施工要求。

7.2.2 防护系统应按施工方案进行搭设、验收，并宜符合下列规定：

1 工具式外防护架应试组装并全面检查，附着在构件上的防护系统应复核其与吊装系统的协调；

2 防护架应经计算确定；

3 高处作业人员应正确使用安全防护用品和设施，宜采用工具式操作架进行安装作业。

7.2.3 施工单位应根据预制构件的形状、尺寸、重量和作业半径等要求选择吊具和起重设备，宜采用标准化、模数化吊具，所采用的吊具和起重设备及其操作，应符合国家现行有关标准及产品应用技术手册的规定。

7.2.4 新购、大修、改造以及停用 1 个月以上的机械设备，应按规定进行检验。机械设备和吊具进场时，应检查各项入场资料，并应符合现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 的相关规定。

7.3 测量定位

7.3.1 施工测量前，应收集测量资料，熟悉施工设计图纸，明确施工要求，制定施工测量方案。

7.3.2 安装施工前，应进行测量放线、设置构件安装定位标识。测量放线应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 的有关规定。

7.3.3 每层应设置不少于 2 个引测高程控制点，每层楼面轴线垂直控制点不应少于 4 个。控制轴线投测至楼层后，应在结构平面上按闭合图形对投测轴线进行校核。合格后，才能进行施工层上的其他测设工作；否则，应重新进行投测。

7.3.4 混凝土构件安装位置线应由控制线引出，混凝土构件应设置不少于 2 条安装位置线。

7.3.5 混凝土构件安装前，应在已完结构上弹出安装控制线及标识。

7.3.6 施工测量除应符合本规程的规定外，尚应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 的相关规定。

7.4 起吊和安装

7.4.1 起吊和安装作业应根据设计要求和施工方案，组织进行流水施工。

7.4.2 起吊和安装作业应按经审批的专项施工方案作业，不得更改。

7.4.3 起吊前，应按设计图纸核对其型号及长度，并宜在待铺设部位注明型号及长度。

7.4.4 起吊用钢丝绳、吊装带、卸扣、吊钩等吊具应根据预制构件形状、尺寸及重量等参数经验算或试验进行配置，并应在其额定范围内使用。

7.4.5 正式起吊作业前，应按经审批的专项施工方案进行试吊，验证吊装参数。

7.4.6 起吊和安装作业时宜选择预埋的吊点。无预埋吊点时，应经计算确定吊点位置。应保证吊具连接可靠，应采取保证起重设备的主钩位置、吊具及构件重心在竖直方向上重合的措施。

7.4.7 起吊和安装作业时吊索水平夹角不宜小于 60°，不应小于 45°；对尺寸较大或形状复杂的预制构件，宜采用梁式吊具。

7.4.8 起吊和安装作业时，预应力混凝土空心板上应设置缆风绳控制就位，保证就位平稳。

7.4.9 完成起吊就位后，应及时校准并采取临时固定措施。预应力混凝土空心板与吊具的分离应在校准定位及临时固定措施安装完成后进行。

7.4.10 吊装时应对预应力混凝土空心板进行成品保护，采用有效措施保护预应力混凝土空心板，避免污染以及损坏；预应力混凝土空心板支承在梁上之后，在板边缘位置宜贴泡沫胶带，或在板边缘与梁或墙之间设置厚度不大于 30 mm 的坐浆或垫片，以防止漏浆和保证板端均匀受力。

7.4.11 预应力混凝土空心板的安装调整应符合下列规定：

1 安装预应力混凝土空心板前应检查支座、支撑架顶面标高和平整度，并检查结合面粗糙度是否符合设计要求；

2 预应力混凝土空心板之间的接缝宽度应满足设计要求，宜采用撬棍或千斤顶进行调整；

3 临时独立支撑应在叠合层混凝土强度达到设计要求后方可拆除。

7.4.12 预应力混凝土空心板宜设置板端支撑，当设计支承长度 α_0 满足 5.7.15 条时，可不设置板端支撑；预应力混凝土空心板应根据设计要求确定是否设置跨中支撑。如设置支撑，上下各层应对齐，且底部宜设垫板。

7.4.13 预应力混凝土空心板安装完毕后，可进行水电管线的敷设与连接工作。为便于施工，预应力混凝土空心板在吊装前宜将相应的预留洞口按设计要求开孔开洞；未经设计允许不得在施工现场对混凝土构件进行切割、开洞。

7.4.14 临时支撑拆除时，叠合层混凝土强度应符合下列规定：

1 当板跨度不大于 8m 时，同条件养护的混凝土强度不应小于设计值的 75%；

2 当板跨度大于 8m 时，同条件养护的混凝土强度不应小于设计值的 100%。

7.4.15 施工荷载应符合设计要求和现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的规定，并应避免单块预应力混凝土空心板承受较大的集中荷载。

7.4.16 预应力混凝土空心板安装后应对安装位置、安装标高进行校核与调整；相邻预应力混凝土空心板，应对相邻部位平整度、高差、拼缝尺寸进行校核与调整。

7.4.17 预应力混凝土空心板调整完成后，接缝宽度应符合设计要求，并及时进行灌缝处理。灌缝前应清理接缝，接缝表面应洒水湿润；灌缝宜一次操作灌满整个

高度；冬期施工时，应采取预防措施，避免接缝处积雪和结冰。灌缝材料强度小于 10 MPa 时，板面上不得进行任何施工作业。

7.5 连接

7.5.1 预应力混凝土空心板的后浇混凝土节点应根据施工方案要求的顺序施工。

7.5.2 当按照设计要求需要设置后浇板带时，板带的施工应符合下列要求：板带宽度小于 200 mm，可采用吊模现浇；板带宽度不小于 200 mm，应采用下部支模现浇。

7.5.3 后浇板带采用支模现浇时，模板宜采用工具式定型模板，接缝部分及与定型模板接缝处均应采用可靠的密封措施，保证接缝平顺和不漏浆。

7.5.4 后浇板带施工时，应采取有效的措施防止各种预埋管槽线盒位置偏移。管线连接处应采取可靠的密封措施。浇筑和振捣时，应对模板及支架进行观察和维护，发生异常情况应及时进行处理。采用有效措施防止模板、相连构件、钢筋、预埋件移位。

7.5.5 浇筑后浇板带混凝土时应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666；浇筑过程中，混凝土应均匀铺开，防止局部堆积，施工可变荷载不应大于 1.5 kN/m²。

7.5.6 后浇板带混凝土浇筑时应采取可靠的保护措施，不应移动预埋件的位置，且不得污染预埋件表面。

7.5.7 后浇板带混凝土浇筑完毕后应及时进行养护。养护可采用直接浇水、覆盖塑料薄膜等方式。养护持续时间不得少于 14 天。

7.6 预埋预留施工

7.6.1 叠合层混凝土浇筑前，应按设计要求设置预埋预留。

7.6.2 应在预应力混凝土空心板上标识出机电管线、吊挂件、预埋件和预留孔洞等位置。机电管线应按设计要求进行布置，若布置于叠合层中时，叠合层厚度不足，可预埋于板肋之间或预穿于预留孔洞中。预留孔洞的布置应避开预应力筋，若无法避开时，应由设计确认。

7.6.3 预埋预留设置完成后应采取固定或防污染措施，保证浇筑叠合层混凝土时其不变形移位或不受污染。

7.7 叠合层施工

7.7.1 浇筑叠合层混凝土前，应按照设计要求铺设叠合层内钢筋（含拼缝防裂钢筋等），宜在预应力混凝土空心板上标识出钢筋的位置，并根据钢筋间距弹线绑扎；上部受力钢筋带弯钩时，弯钩向下摆放，应保证钢筋搭接和间距符合设计要求；在绑扎过程中，应注意避免局部构件堆载过大；完成后，应对钢筋布置进行逐项检查，合格后方可浇筑叠合层混凝土。

7.7.2 浇筑叠合层混凝土前，应将预应力混凝土空心板表面清扫干净并浇水充分湿润，但不得有积水。当气温低于 5℃时，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 有关冬期施工的相关规定。

7.7.3 后浇带应按施工技术方案进行留设和处理，并应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的相关规定。

7.7.4 叠合层混凝土浇筑完毕后应及时进行养护，可采用洒水养护、覆盖塑料薄膜养护等方式，养护持续时间不得少于 7 天；且宜对板支座处叠合层混凝土进行切缝处理。

8 质量检验和验收

8.1 一般规定

8.1.1 原材料及配件应按照国家现行有关标准、设计文件及合同约定进行进厂检验。检验批划分应符合下列规定：

1 预制构件生产单位将采购的同一厂家同批次材料、配件及半成品用于生产不同工程的预制构件时，可统一划分检验批；

2 获得认证的或来源稳定且连续三批均一次检验合格的原材料及配件，进厂检验时检验批的容量可按本规程的有关规定扩大一倍。扩大检验批后的检验中，出现不合格情况时，应按扩大前的检验批容量重新检验。

8.1.2 预应力混凝土空心板的生产应由生产单位进行质量控制，除应符合本规程规定之外，尚应符合现行行业标准《工厂预制混凝土构件质量管理标准》JG/T 565 的相关规定。

8.1.3 预应力混凝土空心板的安装、钢筋、叠合层混凝土等分项工程应由施工单位进行质量控制，除应符合本规程规定之外，尚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 的相关规定。

8.1.4 预应力混凝土空心板的外观质量应符合设计文件要求；当设计文件无具体要求时，应符合表 8.1.4 的规定。

表 8.1.4 预应力空心板外观质量

项号	项目		质量要求	检验方法
1	露筋	主筋	不应有	观察
		副筋	不宜有	
2	孔洞、疏松、夹渣	任何部位	不应有	观察
3	蜂窝	支座预应力筋锚固部位 跨中板顶	不应有	观察
		其余部位	不宜有	观察
4	裂缝	板底裂缝 板面纵向裂缝 肋部裂缝	不应有	观察
		支座预应力筋挤压裂缝	不宜有	
		板面横向裂缝 板面不规则裂缝	裂缝宽度不应大于 0.10mm	观察和用尺、刻度放大镜量测
5	外表缺陷	板底表面	不应有	观察

		板顶、板侧表面	不宜有	
6	外形缺陷	任何部位	不宜有	观察
7	外表沾污	任何部位	不应有	观察
注 1：露筋指板内钢筋未被混凝土包裹而外露的缺陷。 注 2：孔洞指混凝土中深度和长度均超过保护层厚度的孔穴；疏松指混凝土中局部密实；夹渣指混凝土中夹有杂物且深度超过保护层厚度。 注 3：蜂窝指板混凝土表面缺少水泥砂浆而形成石子外露的缺陷。 注 4：裂缝指伸入混凝土内的缝隙。 注 5：外表缺陷指板表面麻面、掉皮、起砂和漏抹等缺陷。 注 6：外形缺陷指板端头不直、倾斜、缺棱掉角、棱角不直、翘曲不平、飞边、凸肋和疤痕等缺陷。 注 7：外表沾污指构件表面有油污或其他粘杂物。 注 8：对表 8.1.4 中不影响结构性能及安装使用性能的外观质量缺陷，允许采用提高一个强度等级的细石混凝土或水泥砂浆及时修补。				

8.1.5 检验要求和实验方法尚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。

8.2 成品检验

8.2.1 预应力混凝土空心板的质量应符合本规程、国家现行有关标准的规定和设计的要求。

8.2.2 预应力混凝土空心板除设计有专门要求外，进场时可不进行结构性能检验，如需进行结构性能检验时，应符合下列规定：

1 结构性能检验应符合国家现行有关标准的规定及设计要求，检验要求和试验方法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；

2 允许出现裂缝时进行承载力、挠度和裂缝宽度检验；不允许出现裂缝时应进行承载力、挠度和抗裂检验；

3 如有可靠应用经验时，可只进行裂缝宽度、抗裂和挠度检验；

4 如多个工程共同使用时，结构性能检验可共同委托，其结果对多个工程共同有效。

如不做结构性能检验时，应采取下列措施：

1 施工单位或监理单位代表驻厂监督生产过程；

2 当无驻厂监督时，预制构件进场时应对其主要受力钢筋数量、规格、间距、保护层厚度及混凝土强度等进行实体检验。

8.2.3 预应力混凝土空心板粗糙面的外观质量应符合设计要求。

8.2.4 预制构件成品检验应符合下列规定：

1 同一类型构件，不超过 1000 个为一批，每批应抽查构件数量的 5%，且不应少于 3 个；

2 预应力混凝土空心板外形尺寸允许偏差和检验方法应符合表 8.2.4 的规定。

3 施工过程中临时使用的预埋件，其中心线位置允许偏差可放宽 2 倍。

表 8.2.4 预应力混凝土空心板外形尺寸允许偏差及检验方法

项次	检查项目			允许偏差 (mm)	检验方法（以下工具包括但不限于）
1	规格尺寸	长度		±10	用尺量两端及中部，取其中偏差绝对值较大值
2		宽度	1.2m 标准板	0, -10	用尺量两端，取其中偏差绝对值较大值
			<1.2m 非标准板	±10	
3		厚度		±5	用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
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
5	外形	下表面平整度		3	用 2m 靠尺沿宽度方向紧靠在构件表面上，用楔形塞尺量测靠尺与表面之间的最大缝隙。沿长度方向取五个部位测量，取其中偏差绝对值较大值
6		侧向弯曲		L/750 且 ≤20	拉线，钢尺量最大弯曲处
7		扭翘		L/750	四对角拉两条线，量测两线交点之间的距离，其值的 2 倍为扭翘值
8	保护层厚度			+5， - 3	用尺量
9	上表面粗糙度	深度		≥2	用尺量
10		面积占比		≥80%	用尺量

11	预埋 部件	预埋钢 板	中心线位置偏 差	5	用尺量测纵横两个方向的中心线位置， 取其中较大值	
			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	
预埋螺 栓		中心线位置偏 移	2	用尺量测纵横两个方向的中心线位置， 取其中较大值		
		外露长度	+10， -5	用尺量		
预埋线 盒、电盒		在构件平面的 水平方向中心 位置偏差	10	用尺量		
		与构件表面混 凝土高差	0， -5	用尺量		
14		预留 孔	中心线位置偏移		5	用尺量测纵横两个方向的中心线位置， 取其中较大处
			孔尺寸		±5	用尺量测纵横两个方向尺寸，取其较大 值
15	预应力筋与空心板内孔净间距			+5， 0	用尺量测板端面	
16	预应力筋在板宽方向的中心位置 与规定位置的偏差			<10	用尺量测板端面	
17	板端预应力筋回缩值			-3（单根） -2（平均）	用尺板端面测量	
18	内孔间净距			±3	尺量，沿截面横向测量所有孔间净距， 取其偏差较大值	

注：L 为预应力混凝土空心板标志长度。

8.3 进场验收

8.3.1 预应力混凝土空心板可按装配式结构分项工程进行验收；并且宜按下列规定划分为若干检验批：

- 1 预应力混凝土空心板进场按同一生产单位、同一进场时间、同一构件类型每 1000 件划为一个检验批，不足 1000 件的也划为一个检验批；
- 2 预应力混凝土空心板安装施工检验批根据现场施工质量控制要求，按楼层、施工段、变形缝等进行划分。

8.3.2 预应力混凝土空心板的外观质量缺陷，应由监理（建设）单位、施工单位等各方根据其对结构性能和使用功能影响的严重程度，按本规程 8.1.4 条确定。

（一）主控项目

8.3.3 专业企业生产的构件，进场时应检查质量证明文件，并核对预制构件上标明的生产单位、构件型号、编号、生产日期和出厂质量验收标志。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量证明文件或质量验收记录。

8.3.4 外观质量应符合表 8.1.4 的规定，不应有影响结构性能和安装、使用功能的尺寸偏差。对已经出现的外观质量问题，应按技术处理方案进行处理，并重新检查验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，量测，检查技术处理方案。

8.3.5 预埋件、插筋、套筒和预留孔洞的规格、位置和数量应符合设计要求或标准图要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、量测。

（二）一般项目

8.3.6 预应力混凝土空心板的尺寸偏差应符合下列要求。

检查数量：同一类型构件，不超过 100 件为一批，每批抽查数量为 5%且不少于 3 件。

检验方法：量测，详见表 8.4.5。

8.4 安装验收

（一）主控项目

8.4.1 预应力混凝土空心板的临时固定措施应符合设计、专项施工方案要求及国家现行有关标准的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工方案、施工记录或设计文件。

8.4.2 预应力混凝土空心板安装就位时，外观质量应符合表 8.1.4 的规定，主要传力部位不应出现影响结构性能和构件安装施工的严重尺寸偏差。

对已出现外观质量不符合规定和严重尺寸偏差的构件，应拆除并吊回地面，由施工单位提出技术处理方案，并经监理(建设)单位和设计单位认可后进行处理。处理合格后才能再次吊装施工。

安装宜与主体结构同步进行，可在安装部位的主体结构验收合格后进行，并应符合国家现行有关标准的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查技术处理方案。

8.4.3 预应力混凝土空心板安装完成后，外观质量应符合表 8.1.4 的规定。

对已出现的影响结构性能的缺陷，应由施工单位提出技术处理方案，并经监理(建设)单位和设计单位认可后进行处理。对经处理的部位，应重新检查验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查技术处理方案。

8.4.4 承受内力的接头和拼缝，当其混凝土或砂浆强度未达到设计要求时，以及构件未完成调整达到容许误差范围内时，不应吊装上一层结构构件；当设计无具体要求时，宜在材料强度不小于 10 MPa 或 24 h 后吊装上一层结构构件。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，测量，检查混凝土同条件试件强度报告。

(二) 一般项目

8.4.5 现场安装施工的允许偏差应符合表 8.4.5 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%，且均不少于 3 面。

检查方法：观察及尺量检查。

表 8.4.5 安装允许偏差

检查项目		允许偏差 (mm)	检验方法
构件中心线对轴线的位置	板	5	钢尺量测
构件标高	构件底面或顶面	±5	水准仪和钢尺检查
相邻构件平整度	板端面	5	钢尺、塞尺量测
	板底面	抹灰 5	
		不抹灰 3	
板支承长度	板	±5	钢尺量测
支座、支垫中心位置	板	10	钢尺量测
相邻平板下表面高低差	板	≤5	钢尺量测
拼缝宽度	板侧	±5	钢尺量测

8.5 钢筋与叠合层混凝土验收

（一）主控项目

8.5.1 在浇筑叠合层混凝土之前，应进行钢筋隐蔽工程验收，其内容包括钢筋品种、规格、数量、位置和连接接头位置以及预埋件数量、位置等。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察，钢尺检查。

8.5.2 叠合层混凝土的强度应符合设计要求。

检查数量：应按国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 执行。

检验方法：检查施工记录及试件强度试验报告。

8.5.3 混凝土运输、浇筑及间歇的全部时间不应超过混凝土的初凝时间。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

（二）一般项目

8.5.4 施工缝和后浇带的位置应按设计要求和施工技术方案确定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

8.5.5 预应力混凝土空心板施工质量验收应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 执行，并提供相关的文件和记录。

8.5.6 预应力混凝土空心板分项工程施工质量验收合格应符合下列规定：

- 1 有关工序和分项工程施工质量验收应合格；
- 2 应有完整的质量控制资料；
- 3 观感质量验收应合格。

当预应力混凝土空心板施工质量不符合要求时，应进行专门的技术处理，然后按技术处理方案和协商文件进行验收。

9 安全与环境保护

9.1 一般规定

9.1.1 生产和施工作业应执行国家、地方、行业和企业的安全生产法规和规章制度，落实各级各类人员的安全生产责任制。

9.1.2 生产和施工企业应对危险源进行辨识、分析，提出应对处理措施，制定应急预案，并根据应急预案进行演练。

9.2 生产和施工安全管理

9.2.1 构件起吊前应设置安全警戒区域，严禁非操作人员入内。严禁在已吊起的构件下方或起重臂旋转范围内作业或行走。

9.2.2 作业人员应正确穿戴防滑鞋、安全帽等劳动保护用品，高处作业佩挂安全带应严格遵守高挂低用。高空作业的各项安全措施经检查不合格时，严禁高空作业。

9.2.3 构件应采用垂直吊运，严禁采用斜拉、斜吊。

9.2.4 在吊装回转、俯仰吊臂、起落吊钩等动作前，应鸣声示意。一次宜进行一个动作，待前一动作结束后，再进行下一动作。

9.2.5 吊起的构件不应长时间悬挂在空中，应采取措施及时将重物降落到安全位置。

9.2.6 吊运过程应平稳，构件应水平或垂直，不应有大幅度摆动，不应突然制动。回转未停稳前，不应做反向操作。

9.2.7 采用抬吊时，应进行合理的负荷分配，构件重量不得超过两机额定起重量总和的 75%，单机载荷不得超过额定起重量的 80%。两机应协调起吊和就位，起吊的速度应平稳缓慢。

9.2.8 对吊装中未形成空间稳定体系的部分，应采取有效的临时固定措施。

9.2.9 永久固定的连接，应经过严格检查，并确认构件稳定后，方可拆除临时固定措施。

9.2.10 起重设备及其配合作业的相关机具设备在工作时，应指定专人指挥。对混凝土构件进行移动、吊升、停止、安装时的全过程应用远程通讯设备进行指挥，信号不明不应起吊。

9.2.11 吊车吊装时应观测吊装安全距离、吊车支腿处地基变化情况及吊具的受力情况。

9.2.12 结构现浇部分的模板支撑系统不应利用预应力混凝土空心板下部临时支撑系统作为支点。

9.2.13 高处作业使用的工具和零配件等，应采取防坠落措施，严禁上下抛掷。

9.2.14 除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行标准《建设工程施工现场消防安全技术规范》GB 50720、《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46、《建筑施工安全检查标准》JGJ 59、《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》JGJ 276等标准的相关规定。

9.3 职业健康安全

9.3.1 应执行国家、地方、行业和企业的安全生产法规和规章制度，落实各级各类人员的安全生产责任制。

9.3.2 应制定用电安全、设备安全、生产操作安全、运输、吊装、堆放安全、消防安全等管理制度。

9.3.3 安全、职业健康设施等应与生产设施同时设计，同时施工，同时投入使用。

9.3.4 应按标准分析评价危险源，根据评价情况落实防范措施，制定应急预案，明确各类设备设施安全操作规程并检查落实执行情况。

9.4 环境保护

9.4.1 环境保护措施应符合国家及地方相关规定。

9.4.2 构件生产过程中应遵守如下要求：

1 生产单位应加强对工业废渣废水的管理，厂区应设置污水池和排水沟。废水、废渣应处理，严禁未经处理而直接排放；

2 生产过程产生的粘结剂、稀释剂等易燃、易爆化学制品废弃物应及时收集送至指定储存器内，按规定回收，严禁未经处理随意丢弃和堆放；

3 生产期间，应保持车间整洁，防止粉尘污染；

4 生产期间，噪声控制应严格遵守国家现行标准《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348 有关规定；

5 夜间生产，应防止光污染对周边居民的影响。

9.4.3 构件运输过程中，应保持车辆整洁，防止对道路的污染，减少道路扬尘。

9.4.4 施工过程中应遵守如下要求：

1 施工项目部应制订施工环境保护计划，落实责任人员，并组织实施。对混凝土结构施工过程的环境保护效果，宜进行自评估；

2 施工过程中，对于报废构件，应进行分类、统计和回收处理；

3 施工过程中，应对材料搬运、施工设备和机具作业等采取可靠的降低噪声措施。施工作业在施工场界的噪声级应符合现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523 的有关规定；

4 施工过程中，对施工设备和机具维修、运行、存储时的漏油，应采取有效的隔离措施，不得直接污染土壤、污染预制构件。漏油应统一收集并进行无害化处理。

本规程用词说明

1 为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么做的，采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《工业企业厂界环境噪声排放标准》 GB 12348-2008
- 2 《建筑施工场界环境噪声排放标准》 GB 12523-2011
- 3 《混凝土结构设计规范》（2015 年版） GB 50010-2010
- 4 《建筑抗震设计规范》（2016 年版） GB 50011-2010
- 5 《钢结构设计标准》 GB 50017-2017
- 6 《工程测量标准》 GB 50026-2020
- 7 《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068-2018
- 8 《混凝土质量控制标准》 GB 50164-2011
- 9 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204-2015
- 10 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205-2020
- 11 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666-2011
- 12 《建设工程施工现场消防安全技术规范》 GB 50720-2011
- 13 《预应力混凝土空心板》 GB/T 14040-2007
- 14 《生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则》 GB/T 29639-2020
- 15 《工程结构设计基本术语标准》 GB/T 50083-2014
- 16 《装配式混凝土建筑技术标准》 GB/T 51231-2016
- 17 《预应力混凝土用钢丝》 GB/T 5223-2014
- 18 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224-2014
- 19 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ 1-2014
- 20 《建筑机械使用安全技术规程》 JGJ 33-2012
- 21 《施工现场临时用电安全技术规范》 JGJ 46-2005
- 22 《建筑施工安全检查标准》 JGJ 59-2011
- 23 《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》 JGJ 114-2014
- 24 《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》 JGJ 276-2012
- 25 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》 JGJ/T 23-2011
- 26 《挤压成型混凝土抗压强度试验方法》 JG/T 520-2018
- 27 《工厂预制混凝土构件质量管理标准》 JG/T 565-2018
- 28 《大跨度预应力混凝土空心板》 T/CECS 10132-2021
- 29 《SP 预应力空心板（技术手册）》 99ZG408(附册一)-2002
- 30 《SP 预应力空心板》 05SG408-2005

中国工程建设标准化协会标准

预应力混凝土空心板应用技术规程

CECS XXX : 202X

条文说明

编制说明

《预应力混凝土空心板应用技术规程》（CECS XXX : 202X），经中国工程建设标准化协会标准 202X 年 XX 月 XX 日以第 XXX 号公告批准发布。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，进行了大量的试验和理论研究，认真总结了研究成果和实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过试验取得了重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《预应力混凝土空心板应用技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，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规程规定的参考。

目 次

1	总则.....	58
2	术语和符号.....	59
2.1	术语.....	59
2.2	符号.....	59
3	基本规定.....	60
4	材料.....	61
4.1	混凝土.....	61
4.2	钢筋.....	61
4.3	其它材料.....	61
5	结构分析与设计.....	62
5.1	一般规定.....	62
5.2	作用及作用组合.....	64
5.3	结构整体分析.....	64
5.4	楼盖设计.....	64
5.5	构件设计.....	68
5.6	外墙板设计.....	70
5.7	构造规定.....	70
6	构件生产、检验、存放与运输.....	74
6.1	一般规定.....	74
6.2	生产.....	74
6.3	检验.....	76
6.4	存放.....	76
6.5	运输.....	76
7	构件施工.....	77
7.1	一般规定.....	77

7.2	机械设备和吊具、防护系统.....	77
7.3	测量定位.....	77
7.4	起吊和安装.....	77
7.5	连接.....	77
7.6	预埋预留施工.....	77
7.7	叠合层施工.....	77
8	质量检验和验收.....	79
8.1	一般规定.....	79
8.2	成品检验.....	79
8.3	进场验收.....	80
8.4	安装验收.....	80
8.5	钢筋与叠合层混凝土验收.....	80
9	安全与环境保护.....	81
9.1	一般规定.....	81
9.2	生产和施工安全管理.....	81
9.3	职业健康安全.....	81
9.4	环境保护.....	81

1 总则

1.0.2 参考国家现行标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231-2016、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1-2014，规定抗震设防烈度不超过 8 度（0.30g）。抗震设防烈度超过 8 度（0.30g）时，应专门研究论证。

1.0.3 本规程主要针对预应力混凝土空心板的设计、生产、施工和验收编制而成，未做规定部分应按国家现行有关标准执行。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.3 本规程仅给出专有术语，其他术语与现行国家标准《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083-2014 相同。

2.2 符号

2.2.4 本规程仅列出了常用的符号，其他符号均在条文相应处单独说明。

3 基本规定

3.0.1 预应力混凝土空心板在设计时宜按照现有工厂的生产模数进行预排布，并综合各专业意见明确空心板板片尺寸、开洞尺寸及位置等信息，减少工厂生产及现场施工作业难度。

3.0.2 本条强调了预制构件标准化设计、工业化生产、装配化施工，突出了装配式建筑建设高效、环保的特点，可实现可持续发展。预应力混凝土空心板为典型的适合标准化设计、工厂化生产、装配化施工的预制构件，其宽度一般取 1.2m，长度可根据工程需要进行切割。

3.0.3 采用专用自动化设备及先张法预应力长线工艺生产空心板构件，对混凝土产生预压应力，保证构件在生产、施工过程中不开裂，质量可控、施工简单、生产效率高。

4 材料

4.1 混凝土

4.1.2 对预应力混凝土空心板，采用干硬性混凝土可提高生产效率，但干硬性混凝土的各项性能指标均应满足设计要求。

预应力混凝土空心板的纵向受力钢筋强度很高，因此，空心板的混凝土强度等级应相应地提高，以达到更经济的目的，本条规定空心板混凝土强度等级不应低于 C40。叠合层中平均压应力不高，参考国内外应用经验，本条规定其混凝土强度等级不应低于 C30。

4.1.3 预应力混凝土空心板即使设有叠合层，其厚度相较于预制部分仍很小，不能保证竖向荷载作用下板与板之间协同受力。竖向荷载作用下，空心板板片间协同受力的关键在于板侧键槽。本规程建议采用美国预制预应力混凝土协会（Precast/Prestressed Concrete Institute，以下简称 PCI）推荐使用的锁嵌式键槽，此种键槽传力机制明确，且有试验数据支撑和成功应用经验。板间键槽灌缝的另一个作用是通过灌缝传递水平荷载作用下的板间剪力，保证楼盖整体性。

根据国内外经验，灌浆料应具备良好的和易性和保水性，便于工人快速将板缝灌实并不因失水导致灌浆失效；同时应具有一定的抗压强度，确保板间协同受力，楼盖形成整体。为确保板缝灌实，改善拼缝性能，可适当加入膨胀剂等外加剂。对拼缝宽度较大能保证灌浆密实的情况，可用细石混凝土代替自密实混凝土；对设置叠合层且拼缝宽度较大，可保证叠合层混凝土填实拼缝的情况，板间灌缝可采用叠合层混凝土，与叠合层同时浇筑。

4.2 钢筋

4.2.1 根据荷载大小、预应力混凝土空心板板跨、板厚以及预应力传递长度等因素综合考虑采用何种预应力钢筋。预应力筋布置在空心板混凝土肋范围内，采用低松弛预应力钢筋可减小预应力损失。

4.3 其它材料

无条文说明。

5 结构分析与设计

5.1 一般规定

5.1.2 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068-2018 规定，持久状况指在结构使用过程中一定出现，其持续期很长的状况；持续期一般与设计使用年限为同一数量级。短暂状况指在结构施工和使用过程中出现概率较大，而与设计使用年限相比持续期很短的状况，如施工和维修等。持久状况和短暂状况均应进行承载能力极限状态设计。对持久状况尚应进行正常使用极限状态验算，对短暂状况，可根据需要进行正常使用极限状态验算。

5.1.5 预应力混凝土空心板楼盖整体性措施一般有两种：（1）设置叠合层；（2）在楼板与楼板、楼板与梁之间进行连接设计。我国抗震规范规定的水平地震作用计算方法未将主体抗侧力结构地震作用和楼盖地震作用计算分开，主体结构采用低承载力-高延性原则，而楼板没有特殊构造措施保证延性，呈现高承载力-低延性。若按现行国家标准《建筑抗震设计规范》（2016 年版）GB 50011-2010 的规定计算楼层水平地震作用，直接将其用于主体抗侧力结构设计和楼盖连接设计，会引起以下问题：因设计超强（富余的截面尺寸和配筋、抗震等级加强、荷载效应组合等）、材料超强（材料设计强度与实际强度的差异）以及结构体系超强（结构形式、结构超静定次数等）等因素，主体抗侧力结构在达到小震计算地震作用时，并不会屈服进入平台段，此时若遭受比设计更大的地震，会导致楼盖受到的实际地震力远大于设计计算值；预制装配式楼盖承载力富余量不及现浇楼盖，此时预制楼盖可能先屈服甚至破坏，丧失整体性，影响结构传力。为保证地震作用下预应力混凝土空心板楼盖的整体性，本规程规定预应力混凝土空心板连接宜按中震弹性、大震不屈服设计。本规程第 5.4 节对楼盖水平地震作用下连接内力计算及连接设计进行了详细规定。

为提高安全储备，本规程建议：采用无叠合层预应力混凝土空心板做楼板时，结构最大适用高度可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》（2016 年版）GB 50011-2010 规定适当降低（宜降低 10%左右）。

5.1.6 条文括号中，“支座附近”指预应力混凝土空心板板端支座附近。在预应力混凝土空心板施工阶段板端支承长度不够时，此区域可设置支撑，以保证施工安全。

5.1.7 预应力混凝土空心底板叠合板施工阶段不设支撑时，可按简支构件设计（见本规程 5.5.1 条），可充分发挥板底预应力筋强度高、对混凝土有预压力的优势，同时可减小使用阶段叠合层支座区域负弯矩，节省负弯矩筋，减小支座端开裂风险。

5.1.8 在生产阶段，预应力混凝土空心板一般要求板顶不出现裂缝；此阶段若板顶出现受力裂缝，因预应力混凝土空心板板顶一般不配筋，会导致后期裂缝扩展不受控，削弱截面，影响受力性能。对生产阶段出现的温度裂缝或收缩裂缝等非受力裂缝，不在本条考虑范围内。

在施工阶段，预应力混凝土空心板一般要求板底不出现裂缝；此阶段如果出现裂缝，会降低建筑品质，影响用户体验。

在使用阶段，如按单向板设计，一般要求预应力混凝土空心板板底不出现裂缝；如按连续板设计，一般要求处于正弯矩区的预应力混凝土空心底板叠合板板底不出现裂缝；上述要求可充分发挥预应力优势，提高建筑品质。如按连续板设计，处于负弯矩区的预应力混凝土空心底板叠合板板顶为普通钢筋混凝土，对于裂缝控制要求同普通钢筋混凝土结构。

5.1.9 参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 第 3.4.3 条。

5.1.10 工程实践中，预应力混凝土空心底板叠合板按简支板设计会存在以下问题：（1）忽视叠合层对板端约束的贡献，楼板舒适度验算时难以满足要求；（2）忽视叠合层对板端约束的贡献，楼板耐火能力被低估。本条规定旨在引导考虑支座处叠合层及叠合层中配筋对支座的约束作用，合理评估楼盖舒适度及耐火能力。

重庆大学与重庆恒昇大业建筑科技集团有限公司设计了 3 组（分别为静力性能组、楼盖振动舒适度组及耐火性能组），共 13 个足尺构件，研究了支座处叠合层及叠合层配筋对预应力混凝土空心底板叠合板静力性能、振动舒适度及耐火性能的影响。试验结果表明：（1）支座处叠合层及叠合层中配筋对支座的约束作用，可显著改善楼盖振动舒适度及耐火性能；（2）为充分利用预应力钢筋的高强性能，合理配置支座处叠合层负弯矩区配筋，在静力设计时，本规程推荐考虑支座处叠合层及叠合层中配筋对支座的约束作用；按连续板进行计算时，在施工浇筑阶段除支座处外，不应设置支撑，按 5.5 节进行二阶段设计，支座处负弯矩区配筋计算只需考虑叠合层混凝土达到设计规定强度后，产生的装修面层、吊顶等自重以及使用阶段可变荷载。

5.2 作用及作用组合

5.2.2 条文规定与现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 相同。本规程采用先张法施加预应力，且在底模上设置砂层或涂脱模剂，预应力混凝土空心板受到预应力产生反拱变形，与底模自动脱离，因此可忽略脱模吸附力。

5.2.3 条文规定与现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 相同。

5.3 结构整体分析

5.3.1 参考现行国家标准《建筑抗震设计规范》（2016 版）GB 50011-2010。

5.3.2 ASCE 7-16 规定，平面长宽比不大于 3，水平规则的混凝土楼盖可按刚性楼盖分析。预应力混凝土空心板楼盖，纵向接缝灌浆键槽水平剪应力不大于 0.4 MPa 时，可认为各预制板在水平地震作用下作为整体协同变形；当水平剪应力超过 0.4 MPa 时，板件相互错动变形加大，整体分析中宜计入其影响。

5.4 楼盖设计

5.4.1 预应力混凝土空心板无叠合层时，板缝不传递弯矩（实际传递了部分弯矩，详见第 5.4.3 条文说明），但传递非均布竖向荷载，按单向板设计。预应力空心板有叠合层时，叠合层厚度占整个板厚比例很小，垂直于预应力混凝土空心板板跨方向传递弯矩的能力有限可忽略，故也按单向板设计。

5.4.3 本条参考 PCI 相关文献及《SP 预应力空心板（技术手册）》99ZG408(附册一)-2002。

1 采用本条方法进行设计时，有以下几点限制：

（1）楼板宽度应大于其跨度。当楼板宽度小于其跨度时，其有效板宽也将变窄。

（2）板的跨厚比特别大时（ >50 ），在中部的有效板宽应减小 10%~20%。

2 一般空心板设计中未考虑沿板间键槽水泥砂浆灌缝传递的两组力：第一组是由于板两侧边受的不同大小的剪力（图 1）所产生的扭矩；板缝离外力越远，板缝中传递的剪力越小，这种由于大小不同的剪力产生的扭矩，将会在空心板中产生附加剪应力。第二组是在板缝剪力的作用下，产生的较小的横向弯矩；其结果是在板面产生横向压应力而在板底产生横向拉应力。由于空心板的板底没有配置横向钢筋，这种横向拉应力必须由混凝土单独承受，故这种引起空心板产生横向弯曲的集中荷载，必须限制在可能引起板劈裂的范围以内。

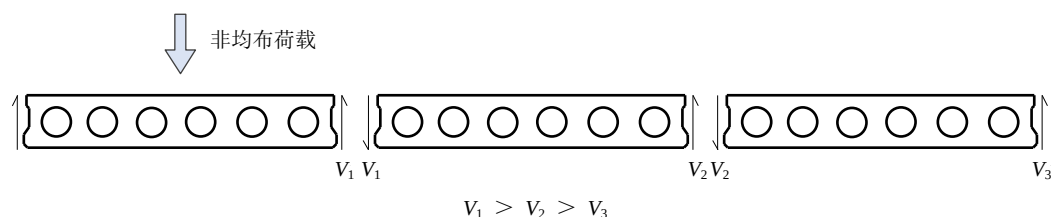


图 1 在非均匀荷载下预应力混凝土空心板间剪力传递

当预应力混凝土空心板按照美国 SPANCRETE(简称 SP)公司的方式进行生产施工时，其集中荷载限值见表 1 和表 2 所示，此集中荷载限值考虑了板纵向劈裂和冲切破坏的情况。

(1) 无叠合层的 SP 板上作用一个或两个集中荷载时，单个集中荷载的最大限值见表 1。

表 1 单个集中荷载的最大限值

板厚(不含叠合层)	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	380 mm
一个集中荷载	15.0 kN	33.0 kN	44.4 kN	59.4 kN	73.9 kN	95.9 kN
两个集中荷载间距 $\geq 0.5l$	10.1 kN	22.0 kN	29.9 kN	39.6 kN	49.7 kN	64.2 kN
两个集中荷载间距 < 300 mm	7.5 kN	16.3 kN	22.0 kN	29.5 kN	37.0 kN	48.0 kN

注：1 表中限值为设计值；

2 表中的两个集中荷载，是指作用在沿板跨方向同一直线上的两个荷载。因此，单个集中荷载的最大限值，有所降低；

3 当两个集中荷载的间距在 300 mm 和 0.5l 之间时，仍可按上表用插入法取值；

4 集中荷载下应设置支承垫板，支承垫板的尺寸应不小于 100 mm $\times$ 100 mm。

(2) 有叠合层的 SP 板（可称 SPD 板）上作用一个或两个集中荷载时，每个集中荷载的最大限值见表 2。

表 2 单个集中荷载的最大限值

板厚(不含叠合层)	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	380 mm
一个集中荷载	26.0 kN	45.3 kN	55.9 kN	70.0 kN	84.5 kN	106.1 kN
两个集中荷载间距 $\geq 0.5l$	17.6 kN	29.9 kN	37.4 kN	46.6 kN	56.8 kN	70.9 kN
两个集中荷载间距 < 300 mm	13.2 kN	22.4 kN	27.7 kN	34.8 kN	42.3 kN	52.8 kN

注：1 表中限值为设计值；

2 表中的两个集中荷载，是指作用在沿板跨方向同一直线上的两个荷载。因此，每个集中荷载的最大限值，有所降低；

3 当两个集中荷载的间距在 300 mm 和 0.5l 之间时，仍可按上表用插入法求其允许值；

4 集中荷载下应设置支承垫板，支承垫板的尺寸应不小于 100mm $\times$ 100mm；

5 以上限值是在叠合面层混凝土强度（圆柱体）为 4000 psi（28 MPa），弹性模量 $E=3000$ ksi，厚度为 2"（51 mm）的条件下得到的。

以上集中荷载限值是是根据美国 SP 公司一定条件下做的大量足尺楼板体系试验得出的简化结论，其他板型预应力混凝土空心板应结合自身试验情况参考使用。

当预应力混凝土空心板有叠合层且其上非均布荷载为轻质隔墙荷载时,可考虑将轻质隔墙荷载简化为均布荷载进行设计。

5.4.4 本条参考 PCI 相关文献及《SP 预应力空心板（技术手册）》99ZG408(附册一)-2002。

当洞口宽度较大时,在洞口两边必须设置钢托板(图 2),用以支承洞边的短板。通过试验,钢托板的受力情况如下:当孔洞宽度为 1000mm 时,钢托板上完全不受力,说明板上的后加荷载,全部通过两边的灌缝传到相邻的空心板。当孔洞宽度为 2000mm 和 3000mm 时,钢支座上的受力比率分别为 20%和 28%。

安全起见,设计钢支座时,当孔洞宽度为 1000mm 时,钢托板考虑板的自重加 25%的后加荷载;当孔洞宽度为 2000mm 时,钢托板考虑板的自重加 50%的后加荷载;当孔洞宽度为 3000mm 时,钢托板考虑板的自重加 75%的后加荷载。

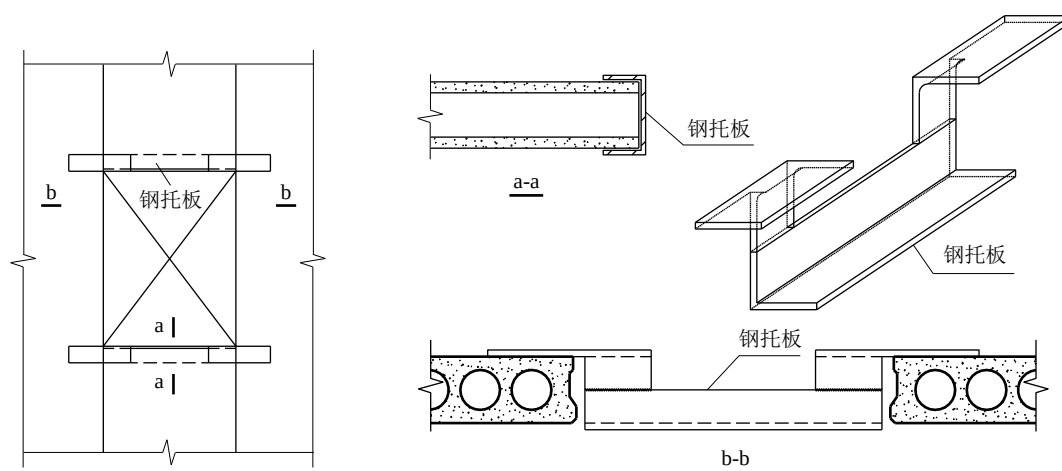


图 2 钢托板设置示意

5.4.6 该条“节点连接”主要指板与板连接、板与梁连接、板与竖向抗侧力构件连接。

5.4.7 规程编制组针对按基本抗震设防目标:“小震不坏、中震可修、大震不倒”设计的结构进行了弹塑性时程分析,提取楼层地震力与本规程预制楼盖水平地震作用计算公式得到的数值进行了对比。结果表明,按本规程预制楼盖水平地震作用计算公式得到的楼层地震作用大于大震下弹塑性时程分析得到的数值,用本规程计算值进行楼盖设计,可确保预制楼盖各连接节点达到中震弹性、大震不屈服的性能,确保楼盖整体性。对采用更高性能目标进行抗震设计的结构,本规程第 5.4.12 节条规定的楼盖水平地震作用计算公式不再继续适用,应结合实际情况进行大震弹塑性分析,并确定预制楼盖水平地震作用。

5.4.8-5.4.9 条文引入美国《Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures》(ASCE 7-16)中关于楼盖水平地震作用计算的规定,结合我国抗震设计特点进行协调性处理,形成符合我国抗震设计特点的楼盖水平地震作用计算公式。按此公式设计,预应力混凝土空心板连接能达到中震弹性、大震不屈服的结构性能,确保地震作用下楼盖整体性。详见论文《预制装配式楼盖水平地震作用计算方法研究》。

5.4.10 预应力混凝土空心板组成的楼盖可等效为沿水平力作用方向、两端简支的深梁(多跨可等效为连续深梁),与水平力作用方向垂直的外圈梁作为深梁的拉压弦杆。弦杆内力等于深梁所受水平弯矩除以深梁有效梁高,有效梁高取楼盖沿水平力作用方向长度的0.8倍。深梁纵向受力钢筋可配置在弦杆内,且优先配置在板厚范围内,如钢筋过密可配置在梁腹板范围内,应尽量减小此钢筋与楼板竖向偏心。钢筋应沿等效深梁跨度方向通长布置。

弦杆与楼板连接位置相当于翼缘与腹板的连接关系,根据剪应力互等原理,弦杆与楼板连接界面存在剪力,需要采取措施保证界面剪力传递。

5.4.11 本条规定来自ASCE 7-16第12章第11节关于剪力墙与预制楼盖进行锚固计算的规定。采用 $\beta_1\alpha_{\max}$ 替代 S_{Ds} 的计算过程详见论文《预制装配式楼盖水平地震作用计算方法研究》。ASCE 7-16中, $k_a=1.0+L_f/100$, L_f 为与剪力墙平面外垂直的预应力混凝土空心板跨度,单位为英尺(ft),经过换算,100 ft=30.5 m。ACI318-14要求局部拉脱名义拉力不得小于0.3 kip/ft,换算为国际单位即为4.47 kN/m,取4.5 kN/m。

5.4.13 本条参考《PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs and Walls》,纵向接缝间灌浆键槽抗剪强度设计值取0.4 MPa(PCI建议强度值80 psi,换算成国际单位即为0.55 MPa,应用到设计值中需乘以强度折减系数0.75,约为0.4 MPa);进行预应力混凝土空心板楼盖连接大震不屈服验算时,可采用0.55 MPa作为抗剪强度标准值。

5.4.14 本条参考ACI 318及《PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs and Walls》,利用剪切摩擦原理计算采用钢筋连接的节点抗剪承载能力;式中0.75和0.9均为折减系数。

5.4.15 楼板受到的水平力需通过合理的连接可靠的传递到竖向抗侧力构件上,可以选择直接传递也可以选择通过集力梁传递。

板梁连接处是楼板水平荷载传递至竖向抗侧力构件的关键位置，板侧键槽抗剪作用仅可作为安全储备，因此，宜仅考虑纵向接缝连接件的抗剪作用。

5.4.16 当灌浆料与预制混凝土结合良好时，可以考虑通过预制板之间的灌浆键槽进行楼板剪力传递，灌浆键槽抗剪承载力见式（5.4.13）。

纵向接缝连接件一般采用钢筋连接，如图 3-1 所示，抗剪承载力应采用剪切摩擦原理，根据式（5.4.14-1）确定。

当不考虑沿板纵向接缝传递水平剪力或纵向接缝水平抗剪承载力不够时，可以考虑利用与纵向接缝垂直的板端钢筋混凝土构件进行剪力传递，如图 3-2 所示，采用此种方式时，预应力混凝土空心板板端与承担抗剪作用的钢筋混凝土构件间应采取更强的连接措施，确保空心板与钢筋混凝土构件共同变形。板端钢筋混凝土构件中钢筋抗剪承载力采用剪切摩擦原理，根据式（5.4.14-1）确定。

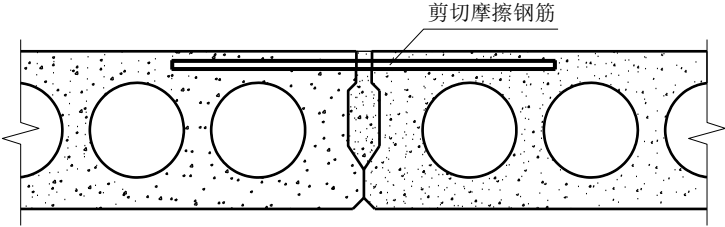


图 3-1 纵向接缝钢筋连接示意图

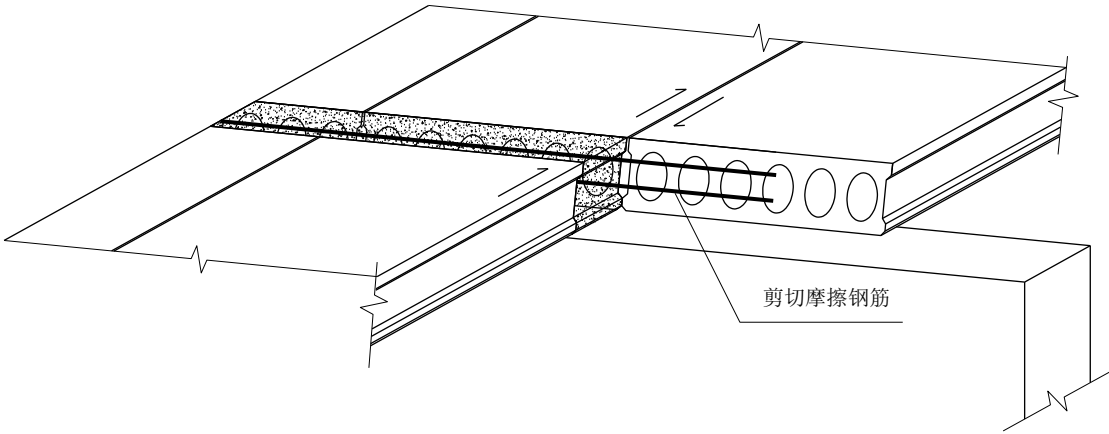


图 3-2 板端钢筋混凝土构件抗剪示意图

5.5 构件设计

5.5.1 本条参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 附录 H。

本条给出“二阶段受力叠合受弯构件”在叠合层混凝土达到设计强度前的第一阶段和达到设计强度后的第二阶段所应考虑荷载。在第二阶段，因为当叠合层混凝土达到设计强度后仍可能存在施工可变荷载，且其产生的荷载效应可能超

过使用阶段可变荷载产生的荷载效应，故应按这两种荷载效应中的较大值进行设计。

5.5.2 本条参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 附录 H。

无支撑(支座附近除外)叠合构件的受力特点在于：（1）第一阶段后浇叠合层混凝土尚未硬化，预制构件、叠合层自重以及第一阶段施工活荷载均由预制构件承担，此时支座处于铰接状态，支座无负弯矩；（2）第二阶段后浇叠合层混凝土达到设计规定的强度值后，预制构件自重、叠合层自重、装修面层、吊顶等自重以及使用阶段的可变荷载由叠合构件共同承担。当考虑叠合层约束作用，按连续板设计时，装修面层、吊顶等自重以及使用阶段的可变荷载在支座处产生负弯矩；当不考虑叠合层约束作用时，按简支板设计。

5.5.4 本条规定了预应力混凝土构件的弯矩设计值不小于开裂弯矩，其目的是控制受拉钢筋总配筋量不能过少，使构件具有应有的延性，以防止预应力受弯构件开裂后的突然脆断。

施工阶段不设支撑(支座附近除外)的预应力混凝土空心底板叠合板，为“二阶段”受力模式，其第一阶段受力截面与第二阶段受力截面不同，宜考虑其对正截面开裂弯矩值的影响。

5.5.6 根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 正截面承载力公式进行正截面承载力验算。

受弯承载力折减系数 ψ_m 取 0.9，是考虑预应力混凝土空心板的跨度大，在开洞大和非均匀荷载情况下受力比较复杂，同时也考虑了预应力混凝土空心板在极限受弯状态下，其刚度往往不易满足要求，因此而采取的受弯承载力折减系数。

5.5.7 参考《SP 预应力空心板》05SG408-2005 图集，根据国内外试验资料与我国国家现行标准中的计算公式对比形成。对于叠合板，有效高度中含叠合层部分厚度。

5.5.9~5.5.10 第 5.5.9 条~第 5.5.10 条参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 第 10.1.11 条。

在施工阶段对截面边缘混凝土法向应力的限值条件，是根据国内外相关规范校准并吸取国内的工程设计经验而得的。其中，对混凝土法向应力的限值，均用与各施工阶段混凝土抗压强度 f_{cu} 相对应的抗拉强度及抗压强度标准值表示。

5.5.11 根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 第 3.4.5 条规定，一类、二 a 类环境类别预应力构件裂缝控制等级按三级即可，但为了提高结构耐久性、提升建筑品质，本规程对预应力混凝土空心板底面受力方向的裂缝控制制定为二级：一般要求不出现裂缝。

5.5.12 叠合楼板的挠度按弹性方法计算，本条给出了刚度 B 的计算方法。其考虑了二阶段受力的特征且按标准组合并考虑荷载长期作用影响。该公式是在假定荷载对挠度的长期影响均发生在受力第二阶段的前提下，根据第一阶段和第二阶段的弯矩曲率关系导出的。

5.5.13 钢筋混凝土二阶段受力叠合受弯构件第二阶段短期刚度是在一般钢筋混凝土受弯构件短期刚度计算公式的基础上考虑了二阶段受力对叠合截面的受压区混凝土应力形成的滞后效应后经简化得出的。对要求不出现裂缝的预应力混凝土二阶段受力叠合楼板，第二阶段短期刚度公式中的系数 0.7 是根据试验结果确定的。

实际工程中，如果预制层与叠合层混凝土弹性模量相差不大，可以取现浇层及预制层混凝土弹性模量平均值 E_c 和叠合构件截面惯性矩 I 进行近似计算。

5.6 外墙板设计

无条文说明。

5.7 构造规定

5.7.1 预应力混凝土空心板横截面形式多种多样，可根据具体需要设定，其中最关键的部分在于板侧抗剪键槽的设置。美国 PCI 建议的锯齿形键槽通过键槽间灌浆砂浆或混凝土的受压传递板间剪力，使预应力混凝土空心板在平面外形成整体，充分利用预应力钢筋性能、减小板片平面外变形。鉴于此，本规程预应力混凝土空心板板侧建议采用锯齿形键槽。

5.7.2 为保证楼板具有合适的强度和刚度，规定了预应力混凝土空心板的合理跨高比。此规定数值参考国内外经验。此限值并非绝对，设计人员可根据实际情况做出适当调整。

5.7.3 重庆大学与重庆恒昇大业建筑科技集团有限公司对 3 个两跨预应力混凝土空心底板叠合板足尺构件进行了耐火试验。试验中，参考《建筑钢结构防火技术规范》GB 51429-2017，结构重要性系数取 1.1（耐火等级一级），按频遇组合对构件施加均布荷载。板底预应力筋保护层厚度取 20mm，板顶支座按连续跨设计，

支座负弯矩筋分别按均布荷载基本组合（B1 构件）、标准组合（B2 构件）以及频遇组合（B3 构件）进行计算配置，其中按基本组合设计的构件（B1 构件），负弯矩筋采用分离式配置，在 $l/4$ 处截断。试验结果表明：（1）三个构件受火时间达到 1.5h 时（B2、B3 构件受火时间达到 2h），均未达到极限弯曲变形量和极限弯曲变形速率，判断未丧失承载能力；（2）B1 构件板顶主裂缝出现在 $l/4$ 处截断处，此现象与构件受火变形后，内力重分布，负弯矩增大有关，建议板顶负弯矩筋若采用分离式配筋，可延长钢筋截断位置至 $l/3$ 处。

5.7.4 现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 第 10.1.4 条对施加预应力时，所需的混凝土强度进行了规定。

5.7.5 参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 第 10.1.3 条。

现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 第 10.1.3 条对预应力筋的张拉控制应力进行了规定。

5.7.6 从结构与构件的长期耐久性考虑，受力钢筋不建议采用过小的直径；从防止混凝土劈裂以及减小预制底板厚度考虑，受力钢筋直径不宜过大。

5.7.7 根据先张法预应力筋的锚固及预应力传递性能，提出了配筋净间距的要求，其数值是根据试验研究及工程经验确定的。根据多年来的工程经验，为确保预制构件的耐久性，适当增加了预应力筋净间距的限值。

5.7.8 现行国家标准《建筑抗震设计规范》（2016 年版）GB 50011-2010 第 6.1.7 条规定，装配整体式楼、屋盖采用配筋现浇面层加强时，其厚度不应小于 50 mm；现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1-2014 第 6.6.2 条规定，后浇混凝土叠合层厚度不应小于 60 mm。

新西兰 NZS 3101:2006 规定叠合层厚度最小 50 mm，最小钢筋面积采用抗温差和收缩钢筋面积。美国 ACI 规定叠合层最小厚度 50 mm，钢筋面积由水平力计算确定。美国 PCI 手册建议叠合层厚度在 50~64 mm 之间，因为叠合层越厚地震力越大，对整体结构不利；且根据 PCI 相关论文建议，叠合层最小配筋比抗温差及收缩钢筋面积增加约 65%，按国内换算即 0.165%。叠合层钢筋防止地震作用下叠合层剪切开裂且裂缝过大影响楼板整体性。

综上，鉴于安全考虑，叠合层混凝土厚度不应小于 60 mm，此厚度为平均厚度而非最小厚度。叠合层单向配筋率不应小于 0.2%。

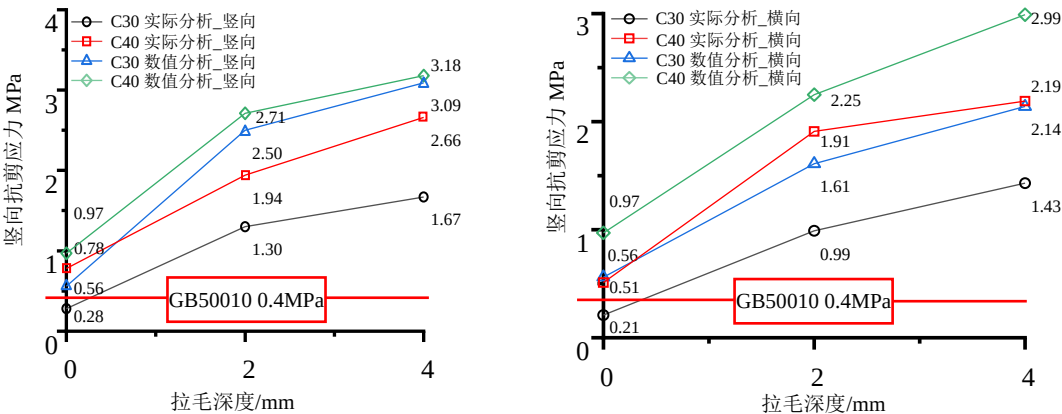
叠合层最小配筋按叠合层厚度计算，钢筋按充分受拉锚固。

5.7.9 重庆大学与重庆恒昇大业建筑科技集团有限公司进行的耐火试验及其他相关试验文献表明，支座负弯矩筋采用在 $l/4$ 处截断配置的构件，受火变形后，内力重分布，负弯矩增大，其板顶主裂缝出现在 $l/4$ 处截断处。建议板顶负弯矩筋若采用分离式配筋，可延长钢筋截断位置至 $l/3$ 处。

5.7.10 重庆恒昇大业建筑科技集团有限公司与润铸建筑工程（上海）有限公司用不同粗糙面深度对叠合构件受弯、受剪及抗拉拔性能进行了试验研究，结果表明：

（1）提高混凝土强度有利于叠合面的抗弯、抗剪及抗拉拔等力学性能的提升；

（2）国家现行标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 与《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1-2014 规定的拉毛深度需大于 4 mm 且抗剪应力值需不小于 0.4 MPa。由试验结果得知，在 2 mm 拉毛深度时，所有试件（C30 与 C40 试件）都已满足标准所要求的抗剪应力值，在 0 mm 拉毛深度时，C40 构件亦能满足标准所要求的抗剪应力值。具体如图 4 所示。



a) 竖向抗剪应力与拉毛深度关系 b) 横向抗剪应力与拉毛深度关系

图 4 抗剪应力与拉毛深度关系

（3）混凝土强度和拉毛深度对受弯构件的抗弯承载力影响不显著。因为界面不发生剪切破坏，受弯构件的抗弯承载力不会有变化；

（4）抗弯破坏数值由剪力和底部开裂控制，并非由叠合界面控制；

（5）抗剪与抗拉拔应力与试件混凝土强度和拉毛深度呈正相关关系。

5.7.11 本条参考 PCI 及《SP 预应力空心板》05SG408-2005，密拼条件下，板缝剪力传递效果最好。

5.7.12 预应力混凝土空心板按单向板设计，其板侧边宜与梁、剪力墙等构件保持柔性连接，否则易出现如图 5 所示的情况，靠近板侧边支座的楼板下部出现开裂。

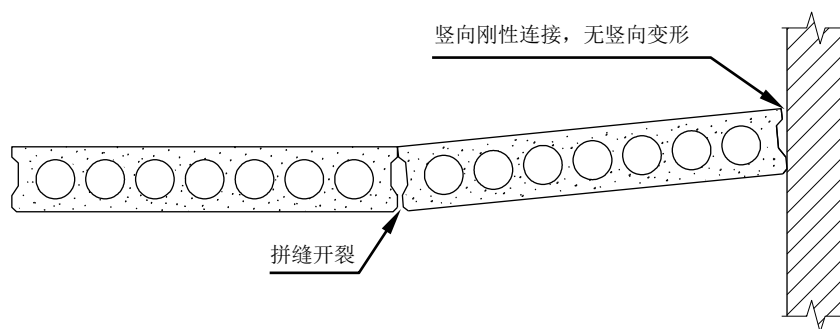


图 5 板侧边支座刚接引起下部开裂

由于预应力混凝土空心板宽度有固定模数，难以保证在密拼情况下，板侧边都能恰好在混凝土梁、剪力墙或钢梁翼缘边缘。一般有以下方式进行处理：

- (1) 预先做好建筑结构布局，确保符合预应力混凝土空心板宽度模数；
- (2) 对预应力混凝土空心板沿纵向切割，得到非固定模数宽度的板片；
- (3) 对以上两条都无法解决问题的情况，可通过调整板片排布，在板侧做宽度不大于 600 mm 的现浇板带。

5.7.14 当竖向结构构件直接支承在预应力混凝土空心板端时，为防止预应力混凝土空心板板端发生局压破坏，将局部压力传力范围内板孔均用混凝土浇灌密实。

5.7.16 本条板端节点连接方式可作设计参考，鼓励工程和研究人員探索更加安全高效的板端节点连接方式。板端支座采用的塑胶垫片应具有足够的强度和刚度，当竖向构件为剪力墙或砌体墙时，塑胶垫片会减小竖向构件截面尺寸，不建议采用。

6 构件生产、检验、存放与运输

6.1 一般规定

6.1.1 生产方案具体内容包括：生产工艺、生产计划、模具技术及质量保证措施、模具计划、构件技术质量控制措施、成品保护、堆放及运输计划及措施等内容，必要时，应对预制构件脱模、吊运、堆放、翻转及运输等工况进行验算。

6.1.3 加工图设计文件应由具有加工图设计深化能力的单位编制，并经原施工图设计单位确认。

6.1.4 生产前，技术负责人应对生产人员进行技术交底，交底应包含模具要求、质量要求等内容，并应对相关岗位人员进行技术培训。龙门吊、叉车、锅炉等特殊工种操作人员应具有特种作业资格证并在有效期内方可持证上岗。

6.1.6 本条所规定的预制构件混凝土成型前应进行的隐蔽检查，是保证预制构件满足结构性能的关键质量控制环节，应严格执行。为便于预制构件脱模以及保证成型后的表面质量还应检查模台上隔离材料（如干砂）的均匀度和厚度。

6.2 生产

6.2.1 本条规定了预应力筋下料和安装前的检查内容；安装后还应及时检查预应力筋的位置、间距和数量。

6.2.2 由于预应力筋过度受热会降低力学性能，因此规定了其切断方式。

6.2.3 预应力筋的张拉顺序应使混凝土不产生超应力、构件不扭转与侧弯，因此，对称张拉是一个重要原则；对张拉比较敏感的结构构件，若不能对称张拉，也应尽量做到逐步渐进地施加预应力。

一般情况下，同一束有粘结预应力筋应采取整束张拉，使各根预应力筋建立的应力均匀。只有在能够确保预应力筋张拉没有叠压影响时，才允许采用逐根张拉工艺。

预应力工程的重要目的是通过配置的预应力筋建立设计希望的准确的预应力值。然而，在张拉阶段出现预应力筋的断裂，可能意味着其材料、加工制作、安装及张拉等一系列环节中出现了问题；另外，由于预应力筋断裂或滑脱对结构构件的受力性能影响极大。因此，规定应严格限制其断裂或滑脱的数量。先张法预应力构件中的预应力筋不允许出现断裂或滑脱，若在浇筑混凝土前出现断裂或

滑脱，相应的预应力筋应予以更换。本条控制的不仅是张拉质量，同时也是对材料、制作、安装等工序的质量要求。

预应力筋张拉前，应根据张拉控制应力和预应力筋面积确定张拉力，根据千斤顶标定结果确定油泵压力表读数。

6.2.4 先张法构件的预应力是靠粘结力传递的，过低的混凝土强度其相应的粘结强度也较低，造成预应力传递长度增加，因此本条规定了放张时的混凝土最低强度值。

6.2.5 吊点主要有吊环、吊钉、圆头预埋吊拉杆等形式，应根据构件具体情况选择相应的吊点形式。吊点宜通过模具进行定位，制作应严格按照构件加工图要求，制作过程中定期、定量检查；并保证安装牢固。采用干硬性混凝土挤压成型工艺生产的构件，在工厂内可采用专用夹具进行临时吊运，现场安装时不宜采用该形式，宜采用吊带、专用工装吊具等安全富余系数更高的吊装形式。

6.2.6 预应力混凝土空心板生产使用混凝土可为干硬性混凝土或塑性混凝土。

6.2.7 混凝土配合比、性能指标等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 50204-2015 的规定。塑性混凝土拌合物应具有良好的粘聚性、流动性和保水性，以便于生产操作，保证混凝土拌合物在浇筑过程中不致产生分层、离析和泌水现象，这是获得良好浇筑成型质量的前提。

6.2.10 本条针对不同混凝土生产量，规定了用于检查结构构件混凝土强度试件的取样与留置要求。试件每次制作 3 组，其中：2 组采用同条件养护，用于构件脱模时测定构件的脱模强度、构件运输时测定构件的运输强度，另外 1 组采用标准养护，测定构件混凝土能否达到设计强度。

日平均温度逐日累计达到 600（℃·天）时应当进行混凝土试块抗压强度检测，0℃及以下龄期不计入；龄期不应小于 14 天，也不宜大于 60 天。

6.2.12 养护应同时注意湿度和温度，原则是：湿度要充分，温度要适宜。条件允许的情况下，预制构件优先选用自然养护。采用加热养护时，按照合理的养护制度和方法进行温控可避免预制构件出现温差裂缝。

6.2.13 采用加热养护时，在可接受生产效率范围内，适当延长混凝土成型后的预养护时间，有利于减少混凝土在热养护过程中的内部损伤；适当降低升温 and 降温速度，可减少温度应力对混凝土内部结构的不利影响；控制最高温度和恒温温度不宜超过 70℃，有利于避免烧面；撤除养护措施前，控制构件表面与外界温差不大于 20℃，以免由于构件内外温差过大造成构件表面开裂。

6.3 检验

6.3.1 预应力筋张拉锚固后，实际建立的预应力值与量测时间相关。相隔时间越长，预应力损失值越大，故检验值应通过计算确定。预应力筋张拉后实际建立的预应力值对结构受力性能影响很大，应予以保证。先张法施工中可以用应力测定仪器直接测定张拉锚固后预应力筋的应力值。

6.3.3 过早地对混凝土施加预应力，会引起较大的收缩及徐变损失，同时可能因局部受压应力过大而引起混凝土损伤。本条对预应力筋张拉及放张时混凝土强度的规定与现行国家标准《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 一致。若设计对此有明确要求，则应按设计要求执行。

6.4 存放

6.4.1 存放场地可分为工厂内存放（时间较长，但一般不超过三个月）和工地内存放（时间较短，一般不超过一周）。两种存放场地的要求比较类似，因此未作区分。

存放场地应平整且承载力满足构件堆放要求，避免发生由于场地原因造成构件开裂和损坏的现象。场地平整度和承载力可根据存放方案通过计算获得。

6.4.5 因预应力构件与普通钢筋混凝土构件内部应力分布的不同，推荐垫块支点位置尽量向板两端靠近，垫块中心线距板端不宜大于 300 mm。

6.5 运输

6.5.2 构件出厂日混凝土强度不应低于设计强度的 75%，主要为避免构件在运输过程中和装配施工完成后，因强度不足造成构件不可修复性破坏。构件出厂日混凝土强度应采用同条件养护混凝土强度的实测值。对于强度未达到 100% 的构件，现场安装前应根据实际情况进行施工验算确定是否需要加临时支撑。强度测定可采用回弹方式。

生产过程中强度检测可使用回弹仪等仪器，强度计算方式应符合现行行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23-2011 的相关规定。

6.5.3 本条参考现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231-2016。

6.5.4 本条参考现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231-2016 规定：板类构件叠放不宜超过 6 层。

7 构件施工

7.1 一般规定

7.1.5 本条参照现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666-2011 第 9.2.2 条。

7.2 机械设备和吊具、防护系统

无条文说明。

7.3 测量定位

无条文说明。

7.4 起吊和安装

7.4.7 本条参考现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1-2014 第 12.1.4 条。

7.4.12 当板中需设置额外支撑时，参考《混凝土结构设计规范》（2015 年版）GB 50010-2010 对预应力混凝土空心板进行承载力验算和裂缝验算。

7.4.14 干硬性混凝土同条件养护混凝土试块的制作和试验方法可参考现行行业标准《挤压成型混凝土抗压强度试验方法》JG/T 520-2018 的规定执行；若试块难以制作，可采用回弹仪等测量方式，并按照相关标准要求进行了强度检测。

7.4.16 安装后，相邻预应力混凝土空心板的高差应符合要求。工程实践中可采用安装前测量板的反拱值，安装时同一区域选用反拱值符合要求的板，或安装后对高差不符合要求部位采用螺杆紧固的方法处理。

7.5 连接

7.5.5 浇筑过程中，混凝土应及时均匀铺开，防止局部堆积；施工可变荷载 1.5 kN/m^2 限值不包括现浇层混凝土重量（现浇层混凝土应是均匀铺开的），如果现浇层混凝土在浇筑过程中存在局部堆积的情况，需进行专门验算。

7.6 预埋预留施工

无条文说明。

7.7 叠合层施工

7.7.4 根据实际工程经验，为控制叠合层混凝土在正常使用过程中裂缝的产生和发展，可于板支座处梁两侧对应位置切缝，并填充弹性材料（如密封胶等）。如

叠合层钢筋参与结构分析计算，切缝深度不宜大于 5 mm，即不宜切断相应钢筋；如叠合层内钢筋仅为抗裂构造钢筋，切缝深度不宜小于叠合层厚度的 1/3。如建筑面层在叠合层混凝土养护完成后施作，一般可不用特殊处理。

8 质量检验和验收

8.1 一般规定

8.1.4 表 8.1.4 参考国家现行标准《预应力混凝土空心板》GB/T 14040-2007 第 4.6.1 条和 4.6.2 条和《大跨度预应力混凝土空心板》T/CECS 10132-2021 第 5.5.1 条。表中质量要求“不宜有”的项目可通过后续施工工序予以掩盖的，可不作特别处理；质量要求“不应有”的项目应按相关现行国家或地方标准进行整改。

8.2 成品检验

8.2.1 对专业企业生产的预制构件，质量证明文件包括产品合格证明书、混凝土强度检验报告及其他重要检验报告等；预制构件的钢筋、混凝土原材料、预应力材料、预埋件等均应参照本规程及国家现行有关标准的规定进行检验，其检验报告在预制构件进场时可不提供，但应在构件生产单位存档保留，以便查阅。

8.2.2 本条规定了专业企业生产预制构件进场时的结构性能检验要求。结构性能检验通常应在构件进场时进行，但考虑检验方便，工程中多在各方参与下在预制构件生产场地进行。

可靠应用经验指该单位生产的标准构件在其他工程已多次应用，如预制楼梯、预制空心板、预制双 T 板等。

现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204-2015 附录 B 给出了受弯预制构件的抗裂、变形及承载力性能的检验要求和检验方法。

8.2.4 本条说明如下：

1 测量下表面平整度时，预应力混凝土空心板本身有反拱变形，因此在板的宽度方向测量平整度，每块板分 5 个部位测量；

2 无叠合层的预应力混凝土空心板可不作上表面粗糙度要求；

3 如无预埋和预留项目，相关规定可不执行；

4 预制构件端部预应力钢绞线实测回缩值（缩入混凝土切割面）应符合下列规定：每块板各端的所有钢绞线回缩值的平均值，不得大于 2 mm；并且单根钢绞线的回缩值不得大于 3 mm（板端部涂油的钢绞线的允许回缩值另行确定）。回缩值不合格的板应根据实际情况经特殊处理后方可使用。

8.3 进场验收

8.3.1 特别说明本节内容参考现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204-2015。

8.4 安装验收

8.4.5 本条增加了相邻平板下表面高低差、拼缝宽度的安装允许偏差。

8.5 钢筋与叠合层混凝土验收

8.5.2 叠合层混凝土为结构混凝土，强度合格判定应采用标准养护试块；灌缝混凝土或砂浆可采用同条件试块。

9 安全与环境保护

9.1 一般规定

9.1.1 本节合并了生产和施工两类企业应执行的相关规定。

9.2 生产和施工安全管理

无条文说明。

9.3 职业健康安全

9.3.3 通过设计等手段使设备及生产系统本身具有安全性，即使在误操作或发生故障的情况下也不会造成事故。

9.3.4 生产单位各类安全防护设施及操作规程应根据危险源分析进行安装与制定。应急预案应遵照现行国家标准《生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则》GB/T 29639-2020 进行编制。

9.4 环境保护

无条文说明。