

重庆市工程建设标准

预应力混凝土空心板应用技术标准

Technical standard for precast prestressed concrete
hollow-core slab

DBJ50/T-475-2024

主编单位:重 庆 大 学

重庆恒昇大业智能建造科技有限公司

批准部门:重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期:2 0 2 4 年 0 7 月 0 1 日

2024 重 庆

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标〔2024〕13 号

重庆市住房和城乡建设委员会 关于发布《预应力混凝土空心板应用技术标准》 的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,两江新区、重庆高新区建设局,万盛经开区住房城乡建设局、双桥经开区建设局、经开区生态环境建设局,各有关单位:

现批准《预应力混凝土空心板应用技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T-475-2024,自 2024 年 7 月 1 日起施行。标准文本可在标准施行后登录重庆市住房和城乡建设技术发展中心官网免费下载。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆大学负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2024 年 4 月 16 日

重庆工程建设

前 言

本标准是编制组根据重庆市住房和城乡建设委员会《关于下达 2018 年度重庆市工程建设标准制订修订项目计划(第二批)的通知》(渝建〔2018〕655 号)要求,经广泛调查研究,开展基础试验研究,认真总结实际工程经验,参考国内外相关规范标准,并在广泛征求意见的基础上编制而成。

本标准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;6. 结构设计;7. 构件生产、存放与运输;8. 施工;9. 质量检验和验收。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,由重庆大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送重庆大学土木工程学院(地址:重庆市沙坪坝区沙北街 83 号重庆大学 B 区第二综合楼 1501 室,邮编 400045)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主 编 单 位：重庆大学

重庆恒昇大业智能建造科技有限公司

参 编 单 位：重庆恒昇大业建筑科技集团有限公司

重庆恒昇大业建筑设计有限公司

重庆市涪陵区大业建材有限公司

重庆市恒昇大业建设工程有限公司

中国建筑材料科学研究总院有限公司

重庆城市科技学院

重庆建工高新建材有限公司

渝建实业集团股份有限公司

四川省第七建筑有限公司

重庆大学建筑规划设计研究总院有限公司

筑邦建筑技术(重庆)有限公司

重庆渝发建设有限公司

重庆华硕建设有限公司

重庆城建控股(集团)有限责任公司

主要起草人：刘界鹏 李 江 姜凯旋 杜和醅 赵顺增

熊 然 邵培柳 徐 涛 陈伯纯 黄绸辉

康少波 王卫永 段小雨 兰国权 杨秀川

杨文烈 李 刚 张俊兵 古 龙 郑 君

陈 波 贺颖慧 尹 东 谭惠文 谭 帆

杨艳波 杨 磊 潘陈建 廖 俊 周建荣

殷文胜 钟 波 赵碧寒 姜 鹏 李明春

赵彦威 王 涛 王肖巍 苏天童 姜 东

周银飞 杨世英 张文毅

审 查 专 家：邓小华 杨长辉 杨经纬 江世永 南学飞

沈治宇 龚文璞

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	7
4	材料	8
4.1	混凝土	8
4.2	钢筋	8
5	结构分析	9
5.1	一般规定	9
5.2	竖向荷载作用下楼盖分析	9
5.3	水平荷载作用下楼盖分析	14
6	结构设计	19
6.1	一般规定	19
6.2	竖向荷载作用下楼盖设计	20
6.3	水平荷载作用下楼盖设计	26
6.4	构造规定	28
7	构件生产、存放与运输	41
7.1	一般规定	41
7.2	构件生产	41
7.3	构件存放与运输	42
8	施工	43
8.1	一般规定	43
8.2	施工准备	43

8.3 吊装施工	43
8.4 后浇混凝土施工	45
9 质量检验和验收	46
9.1 一般规定	46
9.2 质量检验	46
9.3 验收	48
本标准用词说明	50
引用标准名录	51
条文说明	53

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic requirements	7
4	Materials	8
4.1	Concrete	8
4.2	Steel reinforcement	8
5	Structural analysis	9
5.1	General requirements	9
5.2	Floor analysis under vertical loads	9
5.3	Floor analysis under horizontal loads	14
6	Structural design	19
6.1	General requirements	19
6.2	Floor design under vertical loads	20
6.3	Floor design under horizontal loads	26
6.4	Detailing requirements	28
7	Component manufacture, storage and transportation ...	41
7.1	General requirements	41
7.2	Component manufacture	41
7.3	Component storage and transportation	42
8	Construction	43
8.1	General requirements	43
8.2	Construction preparation	43

8.3	Lifting construction	43
8.4	Post-cast concrete construction	45
9	Quality inspection and acceptance	46
9.1	General requirements	46
9.2	Component inspection	46
9.3	Acceptance	48
Explanation of Wording in this standard		50
List of quoted standards		51
Explanation of provisions		53

1 总 则

1.0.1 为规范预应力混凝土空心板的工程应用,做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于抗震设防烈度不高于 8 度的一般工业与民用建筑楼盖中预应力混凝土空心板的应用。构筑物 and 市政工程可参考使用。

1.0.3 预应力混凝土空心板的应用除应符合本标准规定外,尚应符合国家现行强制性标准和相关规定。

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,多个通长孔洞规则布置的先张法预应力混凝土板类空心构件,本标准简称“空心板”。

2.1.2 预应力混凝土空心板叠合层 cast-in-situ concrete topping

预应力混凝土空心板上部的钢筋混凝土现浇层,本标准简称“叠合层”。

2.1.3 预应力混凝土空心板楼盖 prestressed concrete hollow-core slab floor

楼板采用预应力混凝土空心板,且不设叠合层的楼盖,本标准简称“空心板楼盖”。

2.1.4 预应力混凝土空心板叠合楼盖 topped prestressed concrete hollow-core slab floor

楼板采用预应力混凝土空心板,且设叠合层的楼盖,本标准简称“空心板叠合楼盖”。

2.1.5 集力梁 collector

与水平地震作用方向平行,用于将楼盖水平地震作用传递至竖向抗侧力构件的框架梁。

2.1.6 纵向接缝 longitudinal joint

平行于板跨方向的板间拼接缝。

2.1.7 横向接缝 transverse joint

垂直于板跨方向的板端拼接缝。

2.1.8 有效板宽 effective resisting width of slab for loads

空心板通过板侧键槽将板上非均布荷载沿垂直于板跨方向传递的有效范围。

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_{tk} ——空心板混凝土轴心抗拉强度标准值。

2.2.2 作用和作用效应

M_{1G} ——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；

M_{1k} ——第一阶段荷载标准组合下在设计截面产生的弯矩值；

M_{1Gk} ——第一阶段空心板自重标准值(当有叠合层时，含叠合层自重标准值)在设计截面产生的弯矩值；

M_{1Qk} ——第一阶段施工可变荷载标准值在设计截面产生的弯矩值；

M_{2k} ——第二阶段荷载标准组合下在设计截面产生的弯矩

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 ——空心板楼盖及空心板叠合楼盖的正截面受弯承载力设计值；

M_{cr} ——空心板楼盖及空心板叠合楼盖的正截面开裂弯矩值；

V_{1G} ——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；

F_{Eki} —— i 层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} ——水平地震作用下，楼盖连接节点剪力设计值；

N_{jdE} ——水平地震作用下，楼盖连接节点拉力设计值；

V_{uE} ——水平地震作用下，楼盖连接节点受剪承载力设计值；

N_{uE} ——水平地震作用下，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_{ek1} 、 σ_{ek2} ——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_{pe1} 、 σ_{pe2} ——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_{pe} ——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

W_0 ——第二阶段空心板叠合截面下边缘的弹性抵抗矩；

W_{01} ——第一阶段空心板截面下边缘的弹性抵抗矩；

W_{02} ——第一阶段空心板截面上边缘的弹性抵抗矩；

b_w ——空心板楼盖及空心板叠合楼盖各实际肋宽之和；

b ——预制层与叠合层接触面宽度；

h_0 ——空心板楼盖及空心板叠合楼盖截面有效高度；

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} ——空心板的短期刚度；

B_{s2} ——空心板叠合楼盖第二阶段的短期刚度；

E_{cl} ——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 ——受弯承载力折减系数；
- Ψ_v ——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 空心板应进行标准化设计、工厂化生产、装配化施工,并应统筹各方关系,实现全过程协同。

3.0.2 空心板楼盖不应用于高层建筑,空心板叠合楼盖可用于高层建筑。空心板应与支承构件进行可靠连接,保证地震作用下楼盖整体性。

3.0.3 空心板楼盖的楼板应按单向板设计,空心板叠合楼盖的楼板宜按单向板设计。

3.0.4 空心板楼盖及空心板叠合楼盖应按短暂设计状况、持久设计状况、地震设计状况和偶然设计状况进行设计,应符合国家现行相关标准的规定。在短暂设计状况、持久设计状况下的空心板楼盖及空心板叠合楼盖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。

3.0.5 空心板楼盖及空心板叠合楼盖的安全等级和设计工作年限应与整体结构一致。

3.0.6 空心板楼盖及空心板叠合楼盖应满足耐火要求,对于耐火极限要求不低于1.5h的空心板,其预应力筋保护层厚度应符合下列规定:

1 按简支板考虑时,预应力筋耐火保护层厚度不应小于40mm;

2 按连续板考虑时,预应力筋耐火保护层厚度不应小于20mm。

3.0.7 空心板楼盖及空心板叠合楼盖应满足振动舒适度要求。空心板叠合楼盖进行振动舒适度验算时,可按连续板考虑。

4 材 料

4.1 混凝土

4.1.1 空心板所采用混凝土各项性能和计算指标的要求,应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

4.1.2 空心板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 板间键槽灌缝材料宜采用具备良好和易性的低收缩性砂浆或混凝土,砂浆抗压强度不应低于 M20、混凝土强度等级不应低于 C25。

4.2 钢 筋

4.2.1 预应力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《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构设计规范》GB50010 的有关规定。预应力混凝土用钢丝应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 的有关规定,预应力混凝土用钢绞线应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定。

4.2.3 当预制构件中配置钢筋焊接网片时,应按现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和现行行业标准《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114 的有关规定执行。

5 结构分析

5.1 一般规定

5.1.1 空心板楼盖及空心板叠合楼盖宜根据楼盖平面内变形形态,合理确定楼盖计算假定后进行结构整体分析。采用刚性楼盖假定进行结构整体分析时,应符合下列规定:

1 空心板楼盖应平面规则、连接可靠,平面长宽比不应大于3,且纵向接缝灌浆键槽水平剪应力设计值不应大于0.4MPa;

2 空心板叠合楼盖应平面规则、连接可靠。

5.1.2 空心板楼盖应根据分析计算结果,按本标准第6.3节的规定,对节点进行连接设计。当采用空心板楼盖的主体结构满足平面规则、质量和侧向刚度分布均匀,且按基本抗震设防目标进行设计时,可按本标准第5.3节的规定,用简化方法对楼盖进行水平地震作用和内力分析计算。

5.1.3 空心板在进行翻转、运输、吊运、安装等短暂设计状况下的施工验算时,应将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。空心板运输、吊运时,动力系数宜取1.5;翻转、临时固定时,动力系数可取1.2。

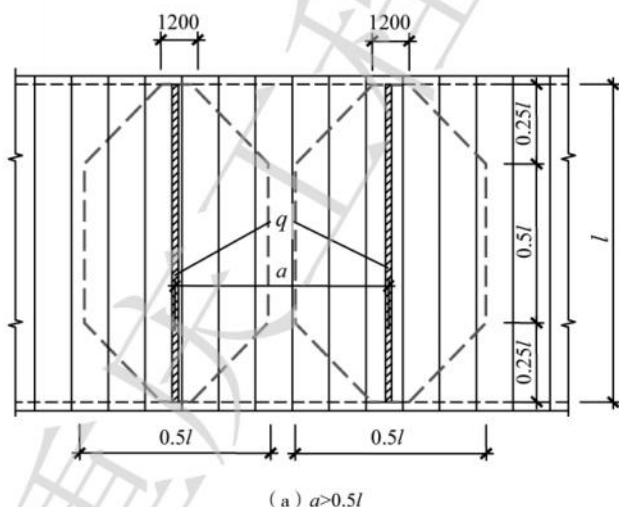
5.1.4 空心板在进行后浇叠合层的施工阶段验算时,施工可变荷载可取 1.5kN/m^2 ,并应根据现场实际施工情况复核。

5.2 竖向荷载作用下楼盖分析

5.2.1 与空心板布置方向平行的支承构件设计,宜计入相邻单块空心板预制宽度一半范围内的荷载。

5.2.2 当楼面为非均布荷载作用时,应考虑由非均布荷载引起的板底横向拉应力,防止空心板产生劈裂破坏;必要时,应考虑冲切破坏。非均布荷载应考虑由有效板宽范围内(图 5.2.2,以墙体线荷载为例)的空心板共同承担。在墙体线荷载作用下,有效板宽应符合下列规定:

- 1 支座处,有效板宽外边界由墙体中心线两侧各 600mm 组成;
- 2 跨中 $0.5l$ 范围,有效板宽外边界由墙体中心线两侧各 $0.25l$ 组成;
- 3 距支座边 $0.25l$ 范围,有效板宽外边界由以上两条外边界插值组成;
- 4 当两个墙体线荷载沿板宽方向间距 a 小于 $0.5l$ 时,有效板宽发生重叠,按外边界确定有效板宽。



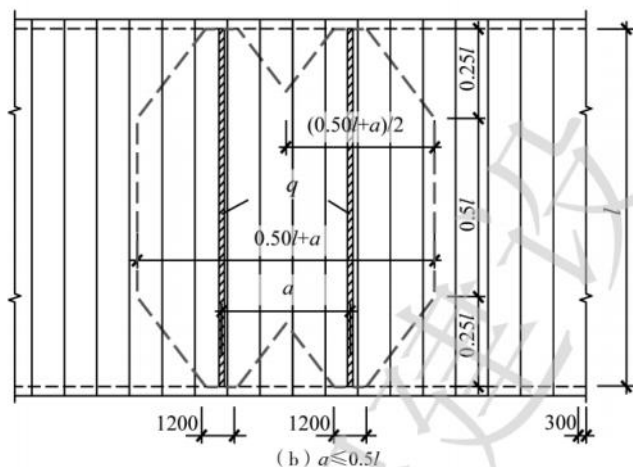


图 5.2.2 非均布荷载作用下有效板宽范围

l —空心板计算跨度; a —集中荷载横向间距; q —墙体线荷载

5.2.3 空心板开洞宜避开预应力筋的位置,并应符合下列规定:

1 洞宽不大于 50mm 且未切断板肋和预应力筋时,可不作处理;

2 洞宽大于 50mm 且不大于 600mm 时,应符合下列规定:

1) 洞边距板端支座不小于 $3l/8$

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担(图 5.2.3-1);楼板受剪计算时,均布荷载下剪力由洞两边各 $0.25l$ 范围内的空心板共同承担,非均布荷载下剪力应考虑按本标准第 5.2.2 条的规定。

图 5.2.3-1 洞边距板端支座不小于 $3l/8$ 空心板开洞情况

l —空心板计算跨度; B_b —洞宽; L_b —洞边距板端支座距离

2) 洞边距板端支座小于 $3l/8$

应将板跨方向平行的洞边所在直线当作板洞侧边,洞宽范围内荷载以线荷载作用到板洞侧边,受弯受剪计算时有效板宽范围如图 5.2.3-2 所示。

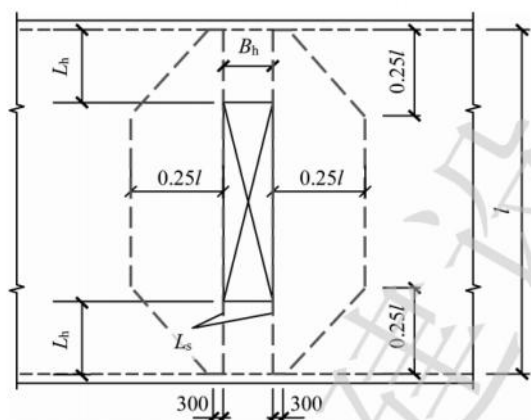


图 5.2.3-2 洞边距板端支座小于 $3l/8$ 空心板开洞情况

l —空心板计算跨度; B_h —洞宽; L_h —洞边距板端支座距离; L_s —洞边所在直线

3) 洞边在板端支座处

应将与板跨方向平行的洞边所在直线当作板洞侧边, 洞宽范围内荷载以线荷载作用到板洞侧边, 受弯受剪计算时有效板宽范围如图 5.2.3-3 所示。

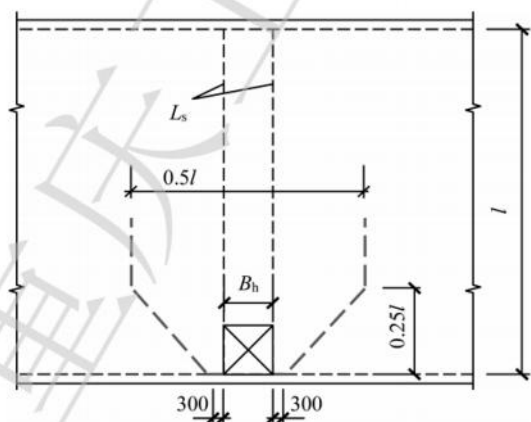


图 5.2.3-3 洞边在板端支座处空心板开洞情况

l —空心板计算跨度; B_h —洞宽; L_s —洞边所在直线

3 洞宽大于 600mm 时,宜采取加强措施。

5.3 水平荷载作用下楼盖分析

5.3.1 采用简化方法计算时,空心板楼盖水平地震作用标准值,应按下式确定:

$$F_{Eki} = \alpha_i G_i \quad (5.3.1)$$

式中: F_{Eki} —— i 层空心板楼盖所受水平地震作用标准值,不应小于 $0.2\beta_1\alpha_{\max} I_e G_i$, 其中转化系数 β_1 按表 5.3.2-1 取值, $\alpha_{\max}$ 为设防烈度水平地震影响系数最大值,按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 取值, I_e 为抗震设防类别系数,特殊设防类取 1.5,重点设防类取 1.25,标准设防类和适度设防类取 1.0;

G_i —— i 层空心板楼盖重力荷载代表值;

α_i —— i 层水平地震加速度系数,应符合第 5.3.2 条规定。

5.3.2 水平地震加速度系数 α_i (图 5.3.2),应符合下列规定:

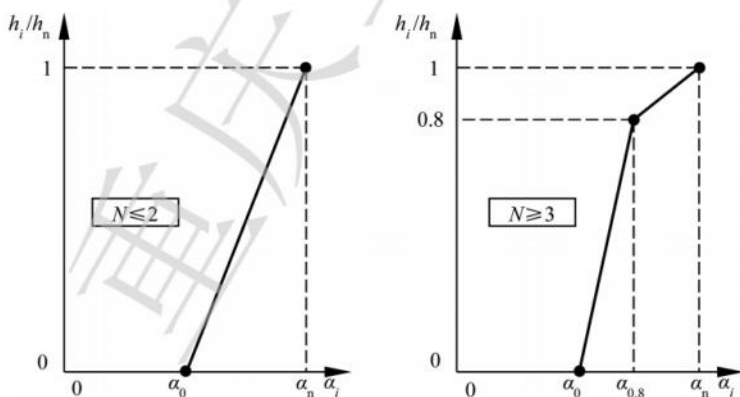


图 5.3.2 水平地震加速度系数

1 当层数 $N \leq 2$ 时,应按下式确定:

$$\alpha_i = (\alpha_n - \alpha_0) h_i / h_n + \alpha_0 \quad (5.3.2-1)$$

2 当层数 $N \geq 3$ 时,应按下列公式确定:

1) $h_i / h_n \leq 0.8$,

$$\alpha_i = 1.25(\alpha_{0.8} - \alpha_0) h_i / h_n + \alpha_0 \quad (5.3.2-2)$$

2) $h_i / h_n > 0.8$,

$$\alpha_i = (5h_i / h_n - 4)(\alpha_n - \alpha_{0.8}) + \alpha_{0.8} \quad (5.3.2-3)$$

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 5.3.1 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 5.3.2-3 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 5.3.2-3 确定, α_1 为设防烈度结构基本自振周期水平地震影响系数,按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 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,转化系数 β_2 按表 5.3.2-2 取值,其余参数应符合第 5.3.1 条规定;

h_i —— i 层高度;

h_n ——屋顶高度。

表 5.3.2-1 转化系数 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)
I 类	2	2	2	2	2
II 类	2.5	2.5	2	2	2
III 类	2.5	2.5	2	2	2
IV 类	3.5	2.5	2	2	2

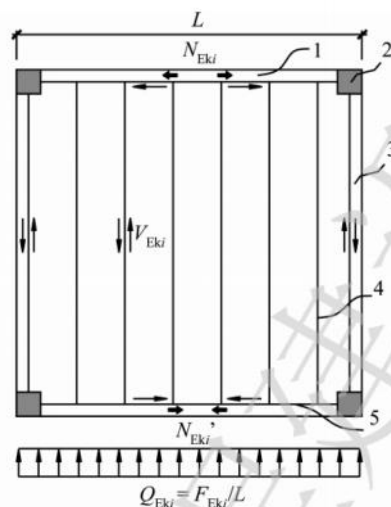
表 5.3.2-2 转化系数 β_2 取值

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

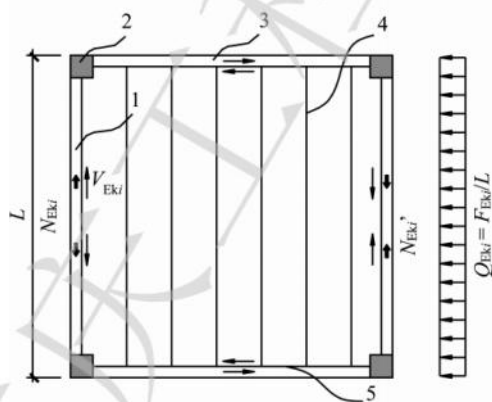
表 5.3.2-3 振型参与系数 α_1 取值

结构类型	α_1
框架	0.7
框架剪力墙	0.85
其他	1.0

5.3.3 空心板楼盖可按深梁模型(图 5.3.3)计算连接内力,并按第 6.3.3 条~第 6.3.5 条进行承载力验算。



(a) 水平地震作用方向与板跨方向平行



(b) 水平地震作用方向与板跨方向垂直

图 5.3.3 空心板楼盖深梁模型

L —深梁模型跨度； F_{Eki} — i 层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；1—弦杆；2—抗侧力构件；3—集力梁；
 4—纵向接缝；5—横向接缝

5.3.4 当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:

$$F_{pi} = 0.4\beta_1\alpha_{\max}k_nI_eG_{ki}\left(\frac{1+2h_i/h_n}{3}\right) \quad (5.3.4)$$

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_n ——调整系数,一般情况下取 1.0;对非刚性楼盖,取 $1.0 + L_i/30.5$ 且不应大于 2.0, L_i 为与剪力墙平面外垂直的空心板跨度(m)。

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 空心板楼盖及空心板叠合楼盖宜按施工阶段不设支撑进行设计。

6.1.2 空心板叠合楼盖,内力计算应符合下列规定:

1 第一阶段:后浇的叠合层混凝土未达到强度设计值之前,荷载由空心板承担,空心板按简支构件计算;荷载包括空心板自重、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。

6.1.3 空心板楼盖的承载力、裂缝及挠度应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关规定进行验算;空心板叠合楼盖应根据施工阶段和使用阶段的不同受力模式,按本标准第 6.2 节分别进行承载力、裂缝及挠度验算。

6.1.4 空心板楼盖及空心板叠合楼盖受力裂缝控制应满足下列要求:

1 生产施工阶段,空心板楼盖及空心板叠合楼盖板底裂缝应按不低于二级控制;使用阶段,空心板楼盖及空心板叠合楼盖板底裂缝宜按不低于二级控制;

2 使用阶段,空心板叠合楼盖按连续板设计时,处于负弯矩

区的板顶裂缝宽度,应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关规定。

6.1.5 空心板楼盖及空心板叠合楼盖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 6.1.5 规定的挠度限值。

表 6.1.5 空心板楼盖及空心板叠合楼盖挠度限值

构件类型	挠度限值
当 $l_0 < 7\text{m}$ 时	$l_0/200(l_0/250)$
当 $7\text{m} \leq l_0 \leq 9\text{m}$ 时	$l_0/250(l_0/300)$
当 $l_0 > 9\text{m}$ 时	$l_0/300(l_0/400)$

注:1 表中 l_0 为计算跨度;

2 表中括号内的数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件。

6.1.6 空心板楼盖及空心板叠合楼盖应通过可靠节点连接,将水平剪力传递到竖向抗侧力构件,并应符合本标准第 6.3 节有关规定。

6.2 竖向荷载作用下楼盖设计

6.2.1 空心板楼盖及空心板叠合楼盖的正截面受弯承载力应符合本标准第 6.2.3 条~第 6.2.5 条要求,弯矩设计值应按下列规定确定:

预制构件正弯矩区段

$$M = M_{1G} + M_{1Q} \quad (6.2.1-1)$$

叠合构件正弯矩区段

$$M = M_{1G} + M_{2G} + M_{2Q} \quad (6.2.1-2)$$

叠合构件负弯矩区段

$$M = M_{2G} + M_{2Q} \quad (6.2.1-3)$$

式中: M_{1G} ——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。

6.2.2 空心板楼盖及空心板叠合楼盖的斜截面受剪承载力应符合本标准第 6.2.6 条～第 6.2.7 条要求，其中，施工阶段不设支撑的空心板叠合楼盖，剪力设计值应按下列规定确定：

预制构件

$$V = V_{1G} + V_{1Q} \quad (6.2.2-1)$$

叠合构件

$$V = V_{1G} + V_{2G} + V_{2Q} \quad (6.2.2-2)$$

式中： V_{1G} ——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。

6.2.3 空心板楼盖及空心板叠合楼盖的正截面受弯承载力设计值应符合下列要求：

$$M_u \geq M_{cr} \quad (6.2.3)$$

式中： M_u ——空心板楼盖及空心板叠合楼盖的正截面受弯承载力设计值；

M_{cr} ——空心板楼盖及空心板叠合楼盖的正截面开裂弯矩值。

6.2.4 空心板楼盖及空心板叠合楼盖的正截面受弯承载力符合下式条件时,则可不遵守本标准式(6.2.3)的规定:

$$1.4M \leq M_u \quad (6.2.4)$$

6.2.5 空心板楼盖及空心板叠合楼盖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,并应计入空心板受弯承载力折减系数 Ψ_m 。

6.2.6 空心板楼盖及空心板叠合楼盖斜截面受剪承载力应符合下列规定:

$$V \leq 0.7\Psi_v f_t b_w h_0 \quad (6.2.6)$$

式中: V ——剪力设计值;

Ψ_v ——受剪承载力折减系数,见表 6.2.6;

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 ——空心板楼盖及空心板叠合楼盖各实际肋宽之和;

h_0 ——空心板楼盖及空心板叠合楼盖截面有效高度,取底部预应力筋截面重心至截面受压边缘的距离。

表 6.2.6 空心板楼盖及空心板叠合楼盖受剪承载力折减系数 Ψ_v

空心板高(mm)	≤ 200	210~250	260~300	310~380	390~500
Ψ_v	1.0	0.95	0.85	0.70	0.60

6.2.7 空心板叠合楼盖的叠合界面粗糙度构造要求应符合本标准第 6.4.10 条的规定,其叠合面的剪力设计值应符合下列公式的要求:

$$\frac{V}{bh_0} \leq 0.4(MPa) \quad (6.2.7)$$

式中: b ——预制层与叠合层接触面宽度。

6.2.8 生产阶段,空心板正截面边缘的混凝土法向应力应符合

下列规定：

$$\sigma_{ct} \leqslant f'_{tk} \quad (6.2.8-1)$$

$$\sigma_{cc} \leqslant 0.8f'_{ck} \quad (6.2.8-2)$$

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)。

6.2.9 施工阶段，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：

$$\sigma_1 = \sigma_{ck1} + \sigma_{pc1} \quad (6.2.9-1)$$

上边缘混凝土法向应力：

$$\sigma_2 = \sigma_{ck2} + \sigma_{pc2} \quad (6.2.9-2)$$

混凝土法向应力 σ_1 、 σ_2 为拉应力时，应满足公式(6.2.8-1)的要求；混凝土法向应力 σ_1 、 σ_2 为压应力时，应满足公式(6.2.8-2)的要求。

$$\sigma_{ck1} = \frac{M_{1k}}{W_{01}} \quad (6.2.9-3)$$

$$\sigma_{ck2} = \frac{M_{1k}}{W_{02}} \quad (6.2.9-4)$$

$$M_{1k} = M_{1Gk} + M_{1Qk} \quad (6.2.9-5)$$

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} ——第一阶段空心板截面下边缘的弹性抵抗矩；

W_{02} ——第一阶段空心板截面上边缘的弹性抵抗矩。

6.2.10 使用阶段，空心板叠合楼盖板底裂缝按二级控制时，板底正截面边缘的混凝土法向应力应符合下列规定：

$$\sigma_{ck} + \sigma_{pc} \leq \gamma f_{tk} \quad (6.2.10-1)$$

$$\sigma_{ck} = \frac{M_{1Gk}}{W_{01}} + \frac{M_{2k}}{W_0} \quad (6.2.10-2)$$

$$M_{2k} = M_{2Gk} + M_{2Qk} \quad (6.2.10-3)$$

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} ——空心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} ——第一阶段空心板截面下边缘的弹性抵抗矩；

W_0 ——第二阶段空心板叠合截面下边缘的弹性抵抗矩。

6.2.11 空心板叠合楼盖，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：

$$B = \frac{M_k}{\left(\frac{B_{s2}}{B_{s1}} - 1\right) M_{1Gk} + (\theta - 1) M_q + M_k} B_{s2} \quad (6.2.11-1)$$

$$M_k = M_{1Gk} + M_{2k} \quad (6.2.11-2)$$

$$M_q = M_{1Gk} + M_{2Gk} + \varphi_q M_{2Qk} \quad (6.2.11-3)$$

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

M_k ——空心板叠合楼盖按荷载标准组合计算的弯矩值；

M_q ——空心板叠合楼盖按荷载准永久组合计算的弯矩值；

B_{s1} ——空心板的短期刚度，按第 6.2.12 条计算；

B_{s2} ——空心板叠合楼盖第二阶段的短期刚度，按第 6.2.12 条计算；

φ_q ——第二阶段可变荷载的准永久值系数。

6.2.12 空心板正弯矩区段内的短期刚度，可按下列规定计算。

1 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：

$$B_{s2} = 0.7 E_{c1} I_0 \quad (6.2.12)$$

式中： E_{c1} ——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。

6.3 水平荷载作用下楼盖设计

6.3.1 空心板叠合楼盖水平剪力传递应符合下列规定:

1 一般情况下,水平剪力仅考虑通过现浇叠合层传递到竖向抗侧力构件;

2 当叠合界面水平剪切应力不大于 0.4MPa 时,可考虑预制部分与叠合层共同传递水平剪力。

6.3.2 空心板楼盖水平剪力传递应符合下列规定:

1 纵向接缝间水平剪力可通过下列方式进行传递:

1) 灌浆键槽传递;

2) 纵向接缝连接件传递;当采用剪切摩擦原理的钢筋连接,作为纵向接缝连接件时,灌浆键槽传递方式与纵向接缝连接件传递方式不应叠加使用;

3) 与纵向接缝垂直的板端钢筋混凝土构件传递。

2 横向接缝间的剪力应通过灌缝或灌孔中的连接钢筋传递;

3 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 5.3.3)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。

6.3.3 空心板楼盖连接节点抗震承载力设计值,应符合下列规定:

$$V_{j\text{dE}} \leq V_{\text{uE}}/\gamma_{\text{RE}} \quad (6.3.3-1)$$

$$N_{j\text{dE}} \leq N_{\text{uE}}/\gamma_{\text{RE}} \quad (6.3.3-2)$$

式中: $V_{j\text{dE}}$ ——水平地震作用下,楼盖连接节点剪力设计值;

$N_{j\text{dE}}$ ——水平地震作用下,楼盖连接节点拉力设计值;

V_{uE} ——水平地震作用下,楼盖连接节点受剪承载力设计值;

N_{uE} ——水平地震作用下,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。

6.3.4 纵向接缝灌浆键槽水平受剪承载力设计值应按下式计算:

$$V_{uE} = \tau_c h_j l_j \quad (6.3.4)$$

式中: τ_c ——灌浆键槽抗剪强度设计值,取 0.4MPa;

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。

6.3.5 板板间或板梁间,采用钢筋连接时,其水平受剪承载力和受拉承载力应按下式计算:

$$V_{uE} = 0.75\mu f_y A_{sf} \quad (6.3.5-1)$$

$$N_{uE} = 0.9f_y A_s \quad (6.3.5-2)$$

式中: μ ——剪切摩擦系数,按表 6.3.5 取值;

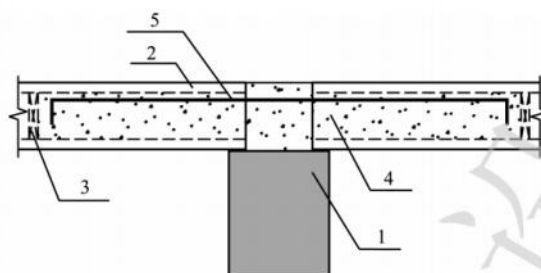
f_y ——普通钢筋抗拉强度设计值;

A_{sf} ——受剪区横向普通钢筋的截面面积;

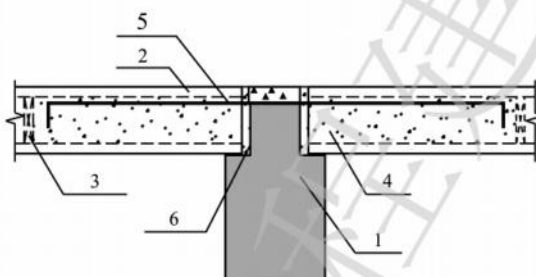
A_s ——受拉区纵向普通钢筋的截面面积。

表 6.3.5 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 6.3.5)	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 6.3.5 横向接缝类型示意

1—支承构件；2—空心板；3—板孔堵头；4—混凝土灌孔；5—连接钢筋；6—接缝表面

6.4 构造规定

6.4.1 空心板的横截面(图 6.4.1),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,孔洞周围实心部分尺寸应符合表 6.4.1 的规定;

表 6.4.1 孔洞周围实心部分尺寸

空心板厚度 H	边肋宽度 b_1	中肋宽度 b_2	板面厚度 t_1	板底厚度 t_2
$100\text{mm} \leq H < 200\text{mm}$	$\geq 25\text{mm}$	$\geq 25\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$
$200\text{mm} \leq H < 380\text{mm}$	$\geq 30\text{mm}$	$\geq 30\text{mm}$	$\geq 25\text{mm}$	$\geq 25\text{mm}$
$380\text{mm} \leq H < 500\text{mm}$	$\geq 35\text{mm}$	$\geq 35\text{mm}$	$\geq 30\text{mm}$	$\geq 30\text{mm}$

2 空心板的宽度应根据生产设备及工程实际需要确定,宜取 1200mm;高度应满足承载力和刚度要求;

3 空心板纵向侧边宜设成齿形,传递板间剪力。

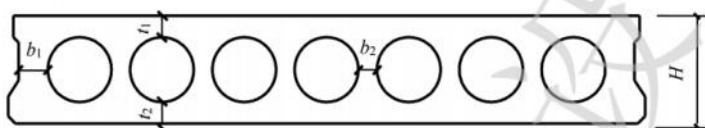


图 6.4.1 空心板截面形式示意

(注:孔型仅作示意)

6.4.2 空心板侧边键槽拼缝宜密拼(图 6.4.2)。拼缝上口宽度 b_j 不宜小于 20mm。

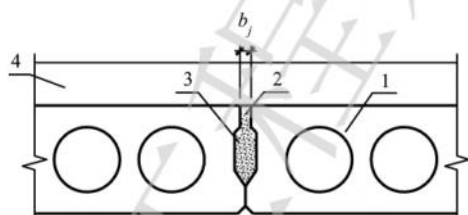


图 6.4.2 侧边拼缝构造形式

1—空心板;2—板间灌缝;3—锯齿边;4—叠合层(若需要)

6.4.3 空心板轴线跨度 L 与板的截面高度 h 的比值:屋面板 L/h 不宜大于 50;楼板 L/h 不宜大于 40。

6.4.4 预应力筋的张拉控制应力 σ_{con} 不应大于 $0.75f_{ptk}$,且不应小于 $0.4f_{ptk}$;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 $0.05f_{ptk}$ 。

6.4.5 预应力筋公称直径不应小于 5mm,不宜大于 15.2mm。

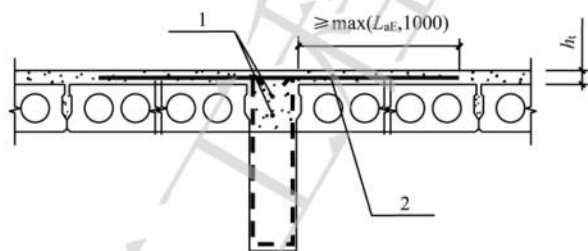
6.4.6 先张法预应力筋之间的净间距不宜小于其公称直径的 2.5 倍和 12.5mm,且应符合下列规定:

1 预应力钢丝,不应小于 15mm;

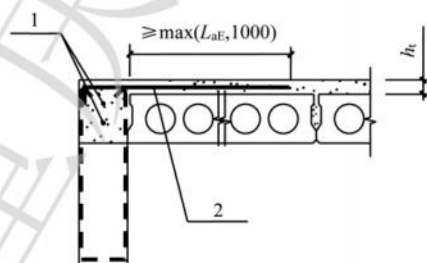
- 2 三股钢绞线,不应小于 20mm;
 - 3 七股钢绞线,不应小于 25mm。
- 6.4.7 空心板叠合楼盖所属建筑物的设防烈度不高于 7 度,且空心板厚度不大于 250mm 时,叠合层厚度不应小于 60mm;其余情况叠合层厚度不宜小于 80mm。
- 6.4.8 空心板叠合楼盖叠合层配筋应符合下列规定:
- 1 叠合层混凝土厚度小于 100mm 时,可采用单层双向配筋;
 - 2 叠合层混凝土厚度不小于 100mm 时,可采用双层双向配筋;
 - 3 按叠合层截面计算单向配筋率不应小于 0.2%,钢筋直径不宜小于 6mm,间距不宜大于 200mm;
 - 4 钢筋保护层厚度应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定;
 - 5 叠合层钢筋应按抗震受拉钢筋锚入支座内。
- 6.4.9 当空心板叠合楼盖按连续板设计时,负弯矩区受力钢筋按叠合构件全截面计算的最小配筋率及钢筋锚固长度应满足现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。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 $l/3$ 。
- 6.4.10 当叠合层混凝土强度小于 C40 时,空心板与叠合层接触的表面应做成凹凸差不小于 4mm 的粗糙面,且粗糙面的面积占比大于 80%。
- 6.4.11 空心板侧边与混凝土梁、钢梁翼缘、剪力墙或砌体墙的连接节点(图 6.4.11-1~图 6.4.11-4),应符合下列规定:
- 1 空心板侧边不宜伸进混凝土梁、钢梁翼缘、剪力墙或砌体墙内;
 - 2 支座纵筋:有叠合层时,应沿板厚范围通长均匀布置且在

两端进行抗震锚固,直径不应小于 12mm,与梁连接时,数量不应少于 2 根,可用梁纵筋替代,与墙连接时,中间支座处数量不应少于 2 根,边支座处数量不应少于 4 根,砌体墙附加钢筋直径不应小于 8mm,间距不应大于 200mm;无叠合层时,支座纵筋及附加钢筋均应计算确定;

3 垂直板跨方向配置的板侧拉结抗剪钢筋:有叠合层时,设置在叠合层内,伸入板侧支座长度应满足抗震锚固要求,伸入板内锚固长度不应小于 L_{aE} 和 1000mm 的较大值,直径不应小于 6mm,间距不应大于 800mm;无叠合层时,钢筋应计算确定,位置宜避开跨中区域,尽量分布于板端 1/4 跨度范围内,伸入板侧支座长度应满足抗震锚固要求,伸入板内钢筋锚固长度不应小于 L_{aE} (图 6.4.11-5)。



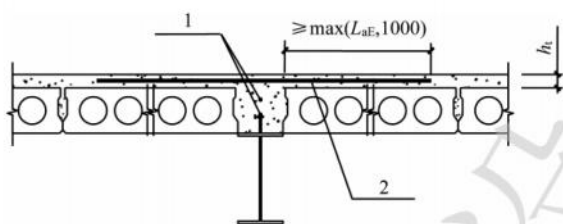
(a) 中节点



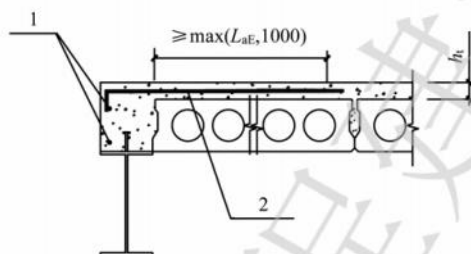
(b) 边节点

图 6.4.11-1 板侧与钢筋混凝土梁连接节点

1—支座纵筋;2—板侧拉结抗剪钢筋; h_1 —叠合层厚度; L_{aE} —锚固长度



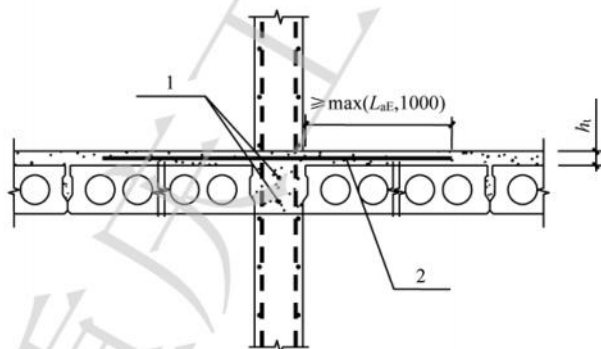
(a) 中节点



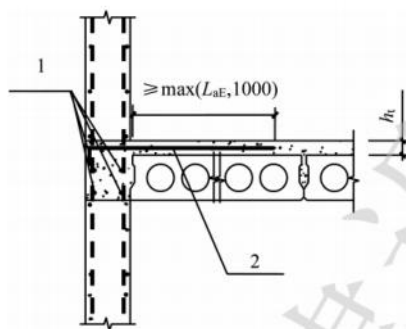
(b) 边节点

图 6.4.11-2 板侧与钢梁连接节点

1—支座纵筋;2—板侧拉结抗剪钢筋; h_t —叠合层厚度; L_{aE} —锚固长度



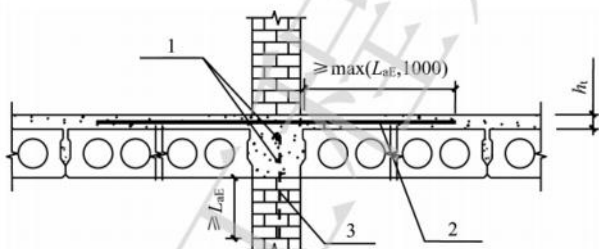
(a) 中节点



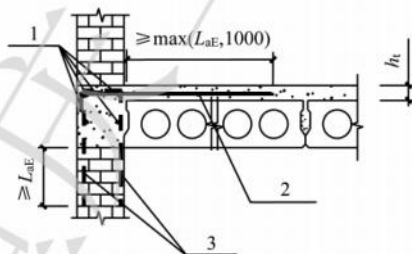
(b) 边节点

图 6.4.11-3 板侧与剪力墙连接节点

1—支座纵筋;2—板侧拉结抗剪钢筋; h_t —叠合层厚度; L_{aE} —锚固长度



(a) 中节点



(b) 边节点

图 6.4.11-4 板侧与砌体墙连接节点

1—支座纵筋;2—板侧拉结抗剪钢筋;3—附加钢筋; h_t —叠合层厚度; L_{aE} —锚固长度

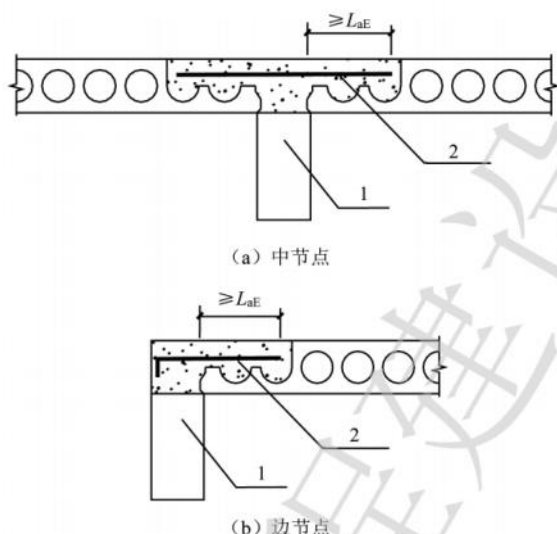


图 6.4.11-5 无叠合层板侧拉结抗剪钢筋连接示意

1—板侧支座；2—板侧拉结抗剪钢筋； L_{aE} —锚固长度

6.4.12 空心板板端应设置堵头，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，当孔端承受上部竖向结构构件压力时，灌注的混凝土强度等级不应小于竖向墙柱构件的混凝土强度等级。堵头深度应符合下列规定：

- 1 不应小于空心板板端支承长度 α_0 和 100mm 的较大值；
- 2 当空心板板端承受上部竖向结构构件局部压力时，不应小于空心板板端支承长度 α_0 和楼板厚度 h 之和，且不应小于 100mm(图 6.4.12)；
- 3 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。

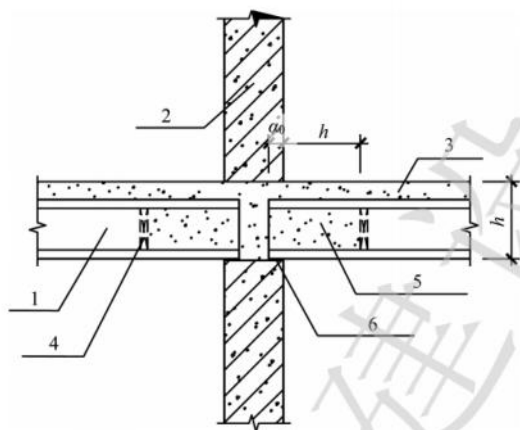


图 6.4.12 孔端承受上部竖向结构构件局部压力堵头示意

1—空心板；2—竖向结构构件；3—叠合层；4—板孔堵头；5—混凝土灌孔；
6—坐浆或垫片； a_0 —空心板板端支承长度， h —楼板厚度

6.4.13 空心板板端与混凝土梁、钢梁翼缘、剪力墙或砌体墙的连接节点(图 6.4.13-1~图 6.4.13-4)，应符合下列规定：

1 空心板板端支承长度 a_0 不宜小于 $L/180$ 和 50mm 的较大值；

2 沿板跨方向配置的板端拉结抗剪钢筋：伸入板端支座长度应满足抗震锚固要求，伸入板内锚固长度不应小于 L_{aE} 和 1000mm 的较大值；有叠合层时，钢筋可按构造配置在板间灌缝处，直径不应小于 8mm，间距不应大于 1200mm；无叠合层时，钢筋应计算确定，抗震设防烈度高于 7 度时，尚应将不小于总数二分之一的拉结抗剪钢筋布置于板孔内，板孔内钢筋布置区域应用混凝土浇灌密实，堵头深度不应小于钢筋锚固长度；

3 支座纵筋、砌体墙或剪力墙附加钢筋要求同 6.4.11 条规定。

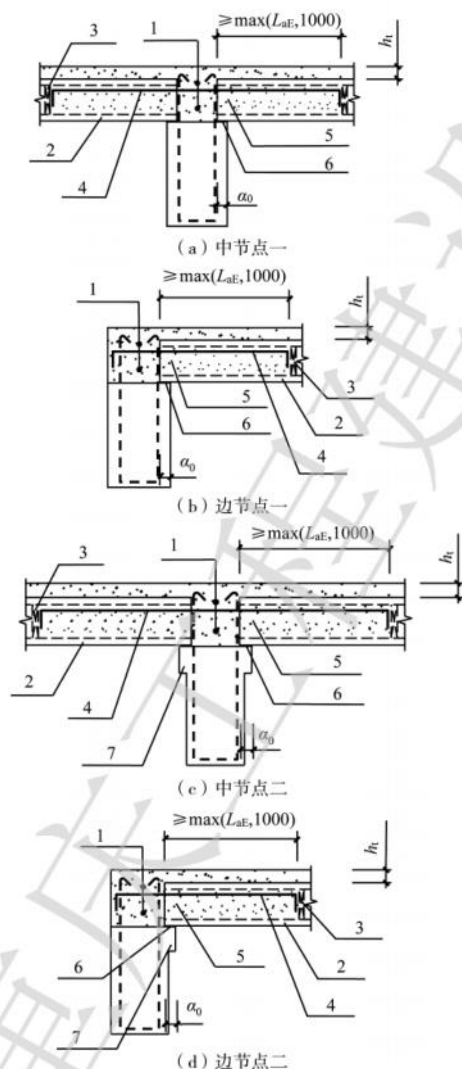
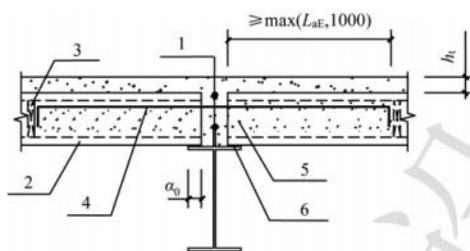
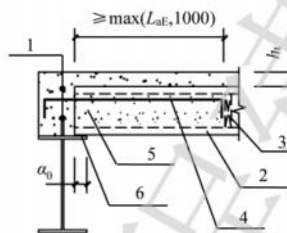


图 6.4.13-1 板端与钢筋混凝土梁连接节点

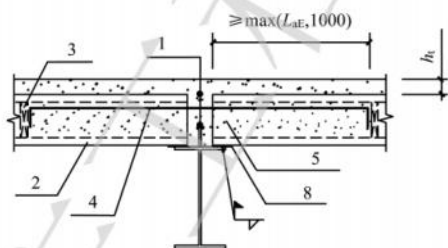
1—支座纵筋；2—空心板；3—板孔堵头；4—板端拉结抗剪钢筋；5—混凝土灌孔；
6—坐浆或垫片；7—钢筋混凝土或角钢支承； h_1 —叠合层厚度； L_{aE} —锚固长度；
 a_0 —空心板端支承长度



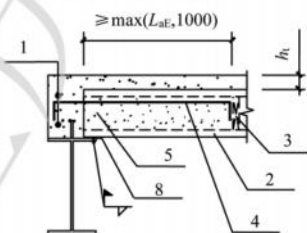
(a) 中节点一



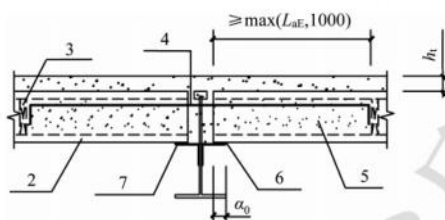
(b) 边节点一



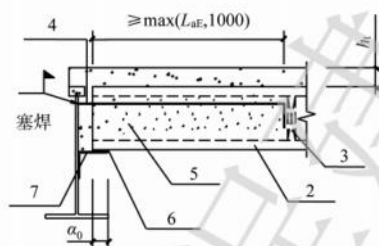
(c) 中节点二



(d) 边节点二



(e) 中节点三



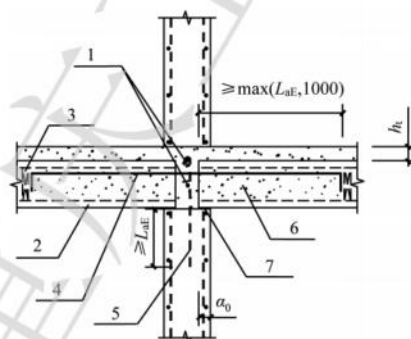
(f) 边节点三

图 6.4.13-2 板端与钢梁连接节点

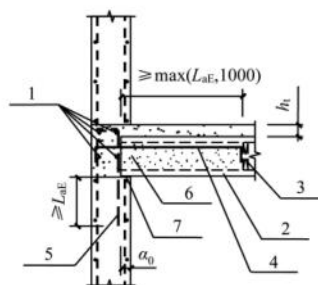
1—支座纵筋;2—空心板;3—板孔堵头;4—板端拉结抗剪钢筋;5—混凝土灌孔;

6—坐浆或垫片;7—角钢支承;8—预埋钢板; h_f —叠合层厚度;

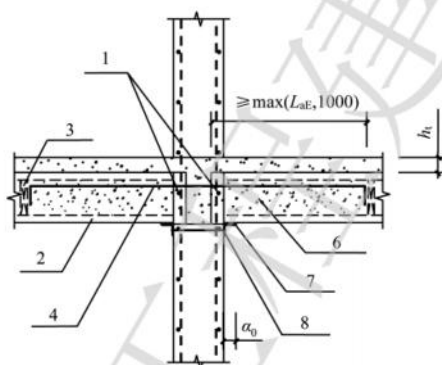
L_{aE} —锚固长度; α_0 —空心板端支承长度



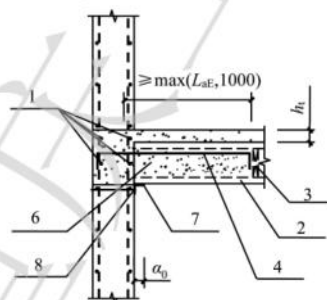
(a) 中节点一



(b) 边节点一



(c) 中节点二



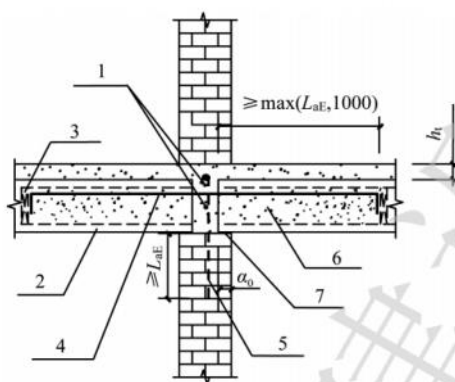
(d) 边节点二

图 6.4.13-3 板端与剪力墙连接节点

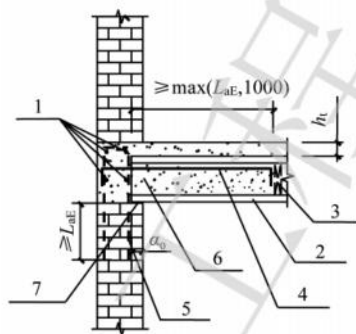
1—支座钢筋;2—空心板;3—板孔堵头;4—板端拉结抗剪钢筋;5—附加钢筋;

6—混凝土灌孔;7—坐浆或垫片;8—角钢支承; h_t —叠合层厚度;

L_{aE} —锚固长度; α_0 —空心板端支承长度



(a) 中节点



(b) 边节点

图 6.4.13-4 板端与砌体墙连接节点

1—支座纵筋；2—空心板；3—板孔堵头；4—板端拉结抗剪钢筋；5—附加钢筋；

6—混凝土灌孔；7—坐浆或垫片； h_i —叠合层厚度； L_{aE} —锚固长度；

α_0 —空心板端支承长度

7 构件生产、存放与运输

7.1 一般规定

7.1.1 空心板生产企业应具有生产场所,生产设备、设施及生产工艺应符合生产规模、生产特点和质量要求,并应符合环境保护和安全生产要求。生产企业应有质量保证体系并确保有效实施。

7.1.2 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。

7.1.3 生产企业应于生产前制定生产方案。生产方案宜包括生产计划、生产工艺、模具方案、质量与安全控制措施、成品保护、存放与运输等内容。

7.1.4 构件生产应以设计文件为依据。

7.1.5 空心板生产前,应按设计要求和质量标准进行图纸会审和技术交底。作业人员应经过专业技术培训。

7.1.6 经检验合格的产品方可运输出厂。

7.1.7 空心板应采用编码进行标识,编码宜采用二维码或 RFID 芯片等方式;可采用文字形式进行标注。

7.2 构件生产

7.2.1 空心板原材料、部件及配件,应按照现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、设计文件及合同约定进行进厂检验。

7.2.2 预应力筋的张拉及放张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。

7.2.3 吊点形式、位置及数量应按照构件设计文件制作、安装和设置。

7.2.4 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。混凝土浇筑、养护等工艺应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

7.2.5 空心板在养护完成后应使用专用切割机具进行分割,分割时混凝土强度实测值不应低于设计强度的 75%,分割尺寸应满足设计要求。

7.2.6 外露金属件的防腐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 的有关规定。

7.3 构件存放与运输

7.3.1 空心板的存放应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的相关规定。

7.3.2 空心板多层叠放时,每层构件间的垫块应上下对齐,垫块中心距板端宜小于 300mm;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,应采取措施控制空心板的起拱和翘曲变形。

7.3.3 运出厂时混凝土强度实测值不应低于设计强度的 75%。运输时动力系数宜取 1.5。

7.3.4 空心板宜采用水平运输方式,叠放不宜超过 6 层。

7.3.5 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。

8 施 工

8.1 一般规定

8.1.1 施工单位应编制施工组织设计或专项施工方案,对施工人员进行技术交底。

8.1.2 施工过程中,不应在空心板上集中堆放大量施工材料或使空心板承受较大的冲击荷载,施工材料自重及施工荷载不应超过施工方案的相应要求。

8.1.3 未经设计允许,不应在施工现场对空心板进行切割、开洞。

8.1.4 构件堆场宜为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。叠放不宜超过 6 层。

8.2 施工准备

8.2.1 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 的有关规定。

8.2.2 空心板的施工宜采用标准化、模数化的吊具。

8.2.3 施工测量除应符合本标准的规定,并应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 的有关规定。

8.2.4 空心板施工前应安装堵头,并应符合第 6.4.12 条的规定。

8.3 吊装施工

8.3.1 起吊和安装作业应根据设计要求和施工方案进行。

8.3.2 起吊和安装作业时宜设置缆风绳控制就位;吊索水平夹

角不宜小于 60° ，不应小于 45° ；对尺寸较大的空心板，宜采用梁式吊具。

8.3.3 空心板宜设置板端临时支撑；当设计支承长度 α_0 满足第 6.4.13 条时，可不设置板端临时支撑。空心板应根据设计要求确定跨中临时支撑的设置方式。上下各层支撑应对齐，各层支撑底部宜设垫板。结构现浇部分的模板支撑系统不宜利用空心板下部临时支撑系统作为支点。

8.3.4 空心板的支承构件应有临时或永久的固定措施；空心板的支承位置宜设置厚度不大于 30mm 的垫片或坐浆。

8.3.5 空心板的调整应符合下列规定：

- 1 空心板之间的接缝宽度应满足设计要求；
- 2 空心板之间的反拱差值应满足第 9.3.2 条的规定。

8.3.6 空心板调整完成后，应及时进行灌缝，并应保证灌浆填充饱满。灌缝材料强度实测值小于 10MPa 时，板面上不应进行施工作业。

8.3.7 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。

8.3.8 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，空心板不应承受较大的荷载。

8.3.9 空心板的吊装应符合本标准的规定，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。

8.3.10 吊装上一层结构构件时，本层结构构件应符合下列规定：

- 1 混凝土或砂浆强度达到 10MPa 或灌缝完成 24h 后；
- 2 构件应完成调整，达到容许误差范围内。

8.4 后浇混凝土施工

8.4.1 空心板的后浇混凝土应根据施工方案要求的顺序施工。

8.4.2 现浇板带的施工应符合下列要求:板带宽度小于 200mm 时,可采用吊模;板带宽度不小于 200mm 时,应采用下部支模。

8.4.3 叠合层混凝土浇筑前,应按照设计要求铺设叠合层内钢筋和设置预留预埋,同时应保持空心板表面洁净、湿润。

8.4.4 后浇混凝土应符合本标准的规定,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。

8.4.5 后浇混凝土浇筑完毕后应及时进行养护,养护持续时间不应少于 7 天;宜对板支座处叠合层的面层混凝土进行切缝。

9 质量检验和验收

9.1 一般规定

9.1.1 空心板的生产应由生产单位按本标准规定进行质量控制,并应符合国家现行标准《预应力混凝土空心板》GB/T 14040、现行行业标准《工厂预制混凝土构件质量管理标准》JG/T 565 的有关规定。

9.1.2 空心板的施工应由施工单位按本标准规定进行质量控制,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。

9.1.3 空心板的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。

9.2 质量检验

9.2.1 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 9.2.1 的规定。

表 9.2.1 空心板外观质量

项号	项目		质量要求
1	露筋	主筋	不应有
		副筋	不宜有
2	孔洞、疏松、夹渣	任何部位	不应有
3	蜂窝	支座预应力筋锚固部位、跨中板顶	不应有
		其余部位	不宜有

续表9.2.1

项号	项目		质量要求
4	裂缝	板底裂缝、板面纵向裂缝、肋部裂缝	不应有
		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
5	外表缺陷	板底表面	不应有
		板顶、板侧表面	不宜有
6	外形缺陷	任何部位	不宜有
7	外表沾污	任何部位	不应有

9.2.2 空心板外形尺寸应符合表9.2.2的规定。

表9.2.2 空心板外形尺寸允许偏差

项次	检查项目			允许偏差
1	规格尺寸	长度		±10
2		宽度		±5
3		厚度		±5
4	对角线差			6
5	外形	下表面平整度		3
6		侧向弯曲		$L/750$ 且 ≤ 20
7		扭翘		$L/750$
8	保护层厚度			+5,-3
9	上表面粗糙度	深度		≥ 4
10		面积占比		$\geq 80\%$
11	预埋钢板	中心线位置偏差		5
		平面高差		0,-5
12	预埋螺栓	中心线位置偏移		2
		外露长度		+10,-5
13	预埋线盒、电盒	在构件平面的水平方向中心位置偏差		10
		与构件表面混凝土高差		0,-5

续表 9.2.2

项次	检查项目		允许偏差
14	预留孔	中心线位置偏移	5
		孔尺寸	±5
15	预应力筋与空心板内孔净间距		+5,0
16	预应力筋在板宽方向的中心位置与规定位置的偏差		<10
17	板端预应力筋回缩值		-3(单根) -2(平均)
18	内孔间净距		±3

注: L 为空心板标志长度;除第 10 项外,其余项单位均为 mm。

9.3 验收

9.3.1 空心板的进场验收应由监理(建设)单位、施工单位等按本标准规定进行,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。

9.3.2 空心板现场安装施工的允许偏差应符合表 9.3.2 要求。

表 9.3.2 安装允许偏差

检查项目		允许偏差(mm)	
构件中心线对轴线的位置	板	5	
构件标高	构件底面或顶面	±5	
相邻构件平整度	板端面		5
	板底面	有吊顶	5
		无吊顶	3
板支承长度	板	±5	
支座、支垫中心位置	板	10	
相邻平板下表面高低差	有吊顶	5	
	无吊顶	3	
拼缝宽度	板侧	±5	

9.3.3 空心板叠合层钢筋和混凝土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》GB 50204 执行, 并提供相关的文件和记录。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

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:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“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,采用“可”。

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

引用标准名录

- 1 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 2 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
- 3 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 4 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 5 《工程测量标准》GB 50026
- 6 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068
- 7 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 8 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 9 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 10 《预应力混凝土空心板》GB/T 14040
- 11 《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083
- 12 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- 13 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223
- 14 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 15 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 16 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33
- 17 《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114
- 18 《工厂预制混凝土构件质量管理标准》JG/T 565

重庆工程建设

重庆市工程建设标准

预应力混凝土空心板应用技术标准

DBJ50/T-475-2024

条文说明

2024 重 庆

重庆工程建设

目 次

1	总则	57
2	术语和符号	58
2.1	术语	58
2.2	符号	58
3	基本规定	59
4	材料	62
4.1	混凝土	62
4.2	钢筋	63
5	结构分析	64
5.1	一般规定	64
5.2	竖向荷载作用下楼盖分析	65
5.3	水平荷载作用下楼盖分析	68
6	结构设计	69
6.1	一般规定	69
6.2	竖向荷载作用下楼盖设计	70
6.3	水平荷载作用下楼盖设计	73
6.4	构造规定	75
7	构件生产、存放与运输	78
7.1	一般规定	78
7.2	构件生产	78
7.3	构件存放与运输	78
8	施工	80
8.3	吊装施工	80
8.4	后浇混凝土施工	80

9	质量检验和验收	81
9.2	质量检验	81
9.3	验收	84

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。抗震设防烈度超过 8 度时,应专门研究论证。

当遇有板底表面温度高于 100°C 或有生产热源使板底表面温度经常高于 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 本标准主要针对预应力混凝土空心板的设计、生产、运输、施工和验收等应用内容编制而成,未做规定部分应按国家现行强制性标准和有关规定执行。

2 术语和符号

2.1 术 语

本标准仅给出专有术语,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

本标准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 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。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。此外,空心板在设计时应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 预制装配式楼盖连接可靠性是保证结构安全的关键,为保证预制装配式楼盖不先于抗侧力主体结构破坏,丧失整体性,预制装配式楼盖节点连接的抗震性能目标应高于抗侧力主体结构的抗震性能目标。

3.0.3 空心板无叠合层时,板缝不传递弯矩,但传递非均布竖向荷载,按单向板设计。空心板有叠合层时,一般情况下,叠合层厚度占整个板厚比例小,垂直于空心板板跨方向传递弯矩的能力有限可忽略,故按单向板设计。以预制板厚 100mm,叠合层厚 60mm 为例,两个方向惯性矩比值 I_x/I_y 为 $60^3/160^3=5.27\%$,假设 x 向和 y 向跨度比值 $l_x/l_y=1$,分配到两个方向的均布荷载为 q_x 和 q_y ,按照板带中心点位移相等计算: $5q_x l_x^4/384EI_x = 5q_y l_y^4/384EI_y$, $q_x/q_y = I_x/I_y = 5.27\%$,得到与预制板跨垂直方向传递弯矩能力仍很小,宜按单向板设计。

3.0.4~3.0.5 《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;持续期一般与设计工作年限为同一数量级。短暂状况指在结构施工和使用过程中出现概率较大,而与设计工作年限相比持

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。

3.0.6 重庆大学与重庆恒昇大业建筑科技集团有限公司对3个两跨空心板叠合楼盖足尺构件进行了耐火试验(详论文《预应力混凝土空心叠合板耐火性能试验和理论研究》)。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。

计算耐火保护层厚度时,不应包括抹灰粉刷层。

试验表明,板片孔洞内温度远小于板底温度,故预应力筋与孔洞间保护层厚度不小于15mm即可。

3.0.7 工程实践中,空心板叠合楼盖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空心板叠合楼盖静力性能、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,本标准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,按第 6.2.1 条~第 6.2.12 条进行二阶段设计,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。

4 材 料

4.1 混凝土

4.1.2 空心板宜采用干硬性混凝土生产,可提高生产效率,干硬性混凝土的各项性能指标均应满足设计要求。

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 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。本标准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,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。灌缝混凝土建议采用自密实混凝土,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、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,采用低松弛预应力筋可减小预应力损失。

5 结构分析

5.1 一般规定

5.1.1 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。对于空心板楼盖,纵向接缝灌浆键槽水平剪应力不大于 0.4MPa 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 0.4MPa 时,板件相互错动变形加大,整体分析中宜计入其影响。另外,空心板楼盖为各向异性板,宜按单向板考虑,不应通过长宽比判断后按双向板考虑。

5.1.2 标准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”设计的框架结构进行了弹塑性时程分析,提取楼层地震力与本标准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,按本标准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,用本标准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,本标准第 5.3.1 条和第 5.3.2 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中震弹塑性分析,并确定预制楼盖水平地震作用,楼盖节点连接的抗震性能目标应高于抗侧力主体结构的抗震性能目标。详论文《预制装配式楼盖水平地震作用计算方法》。

5.1.3 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。本标准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。动力系数尚可根

据具体情况适当增减。

5.1.4 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,此处施工可变荷载不含后浇叠合层混凝土自重。

5.2 竖向荷载作用下楼盖分析

5.2.2 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 $10\% \sim 20\%$ 。

2 空心板通过板侧键槽将板上非均布荷载传递至相邻板片。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。

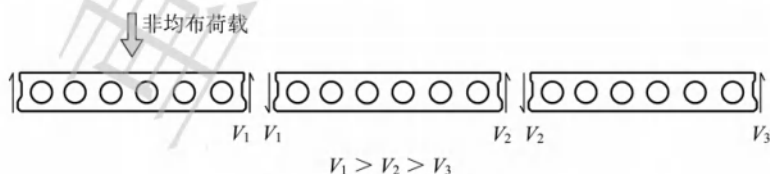


图 1 在非均布荷载下预应力混凝土空心板间剪力传递

当空心板按照美国 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)	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	380mm
一个集中荷载	15.0kN	33.0kN	44.4kN	59.4kN	73.9kN	95.9kN
两个集中荷载间距 $\geq 0.5l$	10.1kN	22.0kN	29.9kN	39.6kN	49.7kN	64.2kN
两个集中荷载间距 $< 300\text{mm}$	7.5kN	16.3kN	22.0kN	29.5kN	37.0kN	48.0kN

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 300mm 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 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。

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

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 300mm 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 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$;

5 以上限值是在叠合面层混凝土强度(圆柱体)为 4000psi(28MPa),弹性模量 $E=3000\text{ksi}$,厚度为 2"(51mm)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,其他板型空心板应结合自身试验情况参考使用。

当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。

5.2.3 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,其他板型空心板应结合自身试验情况参考使用。

当洞口宽度较大时,可在洞口两边设置钢托板(图 2),用以支承洞边的短板。根据 SP 公司经验,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,钢托板上的受力比率分别为 20% 和 28%。

安全起见,设计钢托板时,当孔洞宽度小于 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。

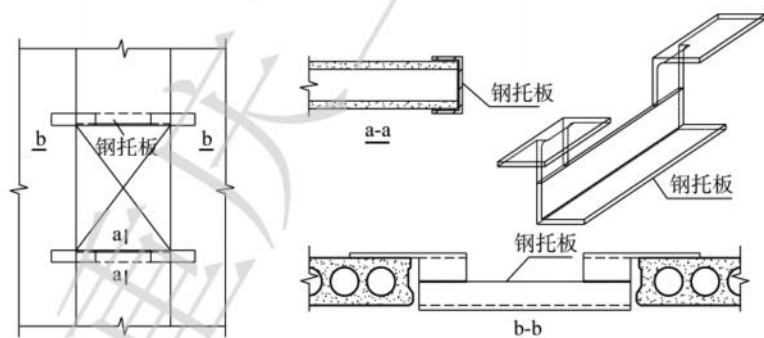


图 2 钢托板设置示意

5.3 水平荷载作用下楼盖分析

5.3.1、5.3.2 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,空心板楼盖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》。

5.3.3 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。

5.3.4 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》。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, $100\text{ft} = 30.5\text{m}$ 。ACI318-14 要求局部拉脱名义拉力不得小于 0.3kip/ft ,换算为国际单位即为 4.47kN/m ,取 4.5kN/m 。

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 预应力混凝土空心板具有刚度大、承载力强等特点,施工阶段不设支撑也可承受较大荷载。空心板叠合楼盖施工阶段不设支撑时,可按简支构件设计(见本标准第 6.1.2 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。

故本标准推荐施工阶段不设支撑,本章设计内容按施工阶段不设支撑进行规定。施工阶段不设支撑的部位不含基于施工安全考虑,在空心板板端支座附近设置的支撑。

施工阶段,空心板叠合楼盖板底如在板端支座附近以外设支撑,尚应符合以下规定:

1 楼板宜按连续板计算。当支撑设置量充足,可确保施工阶段预制板基本无变形时,可根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定,按整体受弯构件进行承载力、裂缝及挠度验算;

2 使用阶段进行抗裂和挠度计算时,应考虑预应力只施加在预制底板上的影响。

6.1.2 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。

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的荷载。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。

6.1.4 在生产阶段,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,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,一般要求空心板楼盖板底不出现裂缝;如按连续板设计,一般要求处于正弯矩区的空心板叠合楼盖板底不出现裂缝;上述要求可充分发挥预应力优势,提高建筑品质。对品质无特别要求的建筑,空心板楼盖板及空心板叠合楼盖底裂缝控制等级可按《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定执行。如按连续板设计,处于负弯矩区的空心板叠合楼盖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。

本条所述裂缝不含板缝处的拼缝。

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

6.1.6 本条“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。

6.2 竖向荷载作用下楼盖设计

6.2.1 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。

无支撑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。

6.2.3 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。

施工阶段不设支撑的空心板叠合楼盖,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。

6.2.4 参考《冷轧带肋钢筋混凝土结构技术规程》JGJ 95-2011第6.1.7条。对于无明显屈服点的预应力钢筋受弯构件,当构件的配筋率过低时,在使用或施工过程中有可能出现构件脆断事故。为了防止出现这种情况,在设计中应考虑构件的最小配筋率问题。最小配筋率的确定原则是:在此配筋率下,预应力混凝土受弯构件的正截面受弯承载力设计值应不低于该构件的正截面开裂弯矩值(第6.2.3条)。

经过多年实践,当预应力筋材性指标、设计及施工工艺符合相关标准要求的情况下,预应力空心板一裂即断的情况已经解决,构件裂缝出现荷载与破坏荷载有较长一段距离,《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010规定预应力筋总伸长率不低于3.5%,具备较好延性。当构件的承载力安全储备较高时,可不考虑最小配筋率的规定,本标准参考《冷轧带肋钢筋混凝土结构技术规程》JGJ 95-2011第6.1.7条,折算承载力系数取1.4。

6.2.5 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。

6.2.6 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。

对厚度大于 380mm 的空心板,根据欧洲的相关做法,将混凝土强度降低 10% 使用(厚度大于 450mm 的空心板),所以将表中厚度在 390mm~500mm 范围内的空心板受剪承载力系数再降低 10%,同时,为安全起见,将折减系数进一步降低至 0.6。

当空心板斜剪面受剪承载力不足时,应采用其他规格的空心板或通过用强度不低于 C30 的混凝土灌孔。空心板灌孔区域的受剪承载力按公式(6.2.6)计算,肋宽按实心板宽取值,混凝土强度可取灌孔混凝土强度和空心板混凝土强度的较低值。

6.2.7 当叠合面的剪力设计值不满足公式(6.2.7)的要求时,应修改板型以满足公式要求;或采取措施增强界面摩擦和粘结,提高限值。

6.2.8、6.2.9 第 6.2.8 条~第 6.2.9 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。

6.2.10 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,本标准建议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。

6.2.11 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。

6.2.12 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。

6.3 水平荷载作用下楼盖设计

6.3.1 采用第 5.3.1 条和第 5.3.2 条计算楼盖水平地震作用,利用楼盖水平地震作用除以楼盖水平面内面积(楼盖水平宽度乘以长度)即得到叠合界面剪切应力(假设均匀分布)。

6.3.2 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,灌浆键槽受剪承载力见式(6.3.4)。

纵向接缝连接件一般采用钢筋连接,如图 3-1 所示,受剪承载力应采用剪切摩擦原理,根据式(6.3.5-1)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受剪承载力不够时,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,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受剪承载力采用剪切摩擦原理,根据式(6.3.5-1)确定。

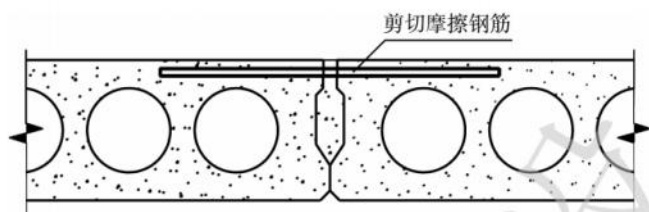


图 3-1 纵向接缝钢筋连接示意图

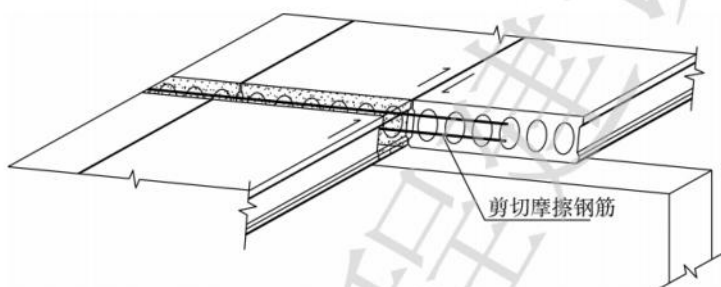


图 3-2 板端钢筋混凝土构件抗剪示意图

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。

6.3.4 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 0.4MPa (PCI 建议强度值 80psi ,换算成国际单位即为 0.55MPa ,应用到设计值中需乘以强度折减系数 0.75 ,约为 0.4MPa);进行空心板楼盖连接大震不屈服验算时,可采用 0.55MPa 作为抗剪强度标准值。

6.3.5 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。

6.4 构造规定

6.4.1 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,本标准空心板板侧建议采用齿形键槽,其余形式边槽需专门研究。

6.4.2 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。灌缝时,应采用流动性高的材料,并采取措施保证灌缝密实。

6.4.3 为保证楼板具有合适的强度和刚度,规定了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。

6.4.4 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。

6.4.5 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。

6.4.6 本条在现行国家标准《混凝土结构设计规范》(2015 年版)GB 50010-2010 第 10.3.1 条基础上,做了改进。生产预应力混凝土空心板的混凝土粗骨料最大粒径一般不超过 10mm,故直接将“混凝土粗骨料最大粒径的 1.25 倍”直接改为“12.5mm”。“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。”可操作性差,予以删除。

6.4.8 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 50mm;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 60mm。

新西兰 NZS 3101:2006 规定叠合层厚度最小 50mm,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 50mm,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 50~64mm 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 60mm。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,钢筋按抗震受拉锚固。

6.4.9 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。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。

6.4.11 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 4 所示的情况,靠近板侧边支座的楼板下部出现开裂。

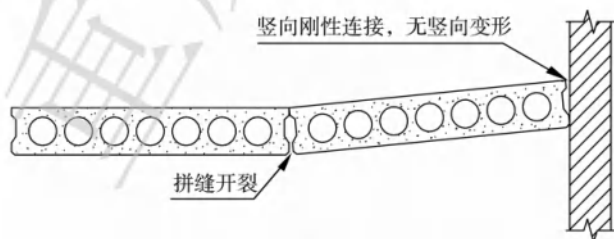


图 4 板侧边支座刚接引起下部开裂

由于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 600mm 的现浇板带。

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

6.4.13 ACI 318-14 第 6.2.6 条规定,楼板在支座上的支承长度不小于 $L_n/180$ 和 2in 的较大值, L_n 为楼板净跨。本条参考 ACI, 2in 约为 50mm,且将楼板净跨 L_n 改为轴线跨度 L 。

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。

7 构件生产、存放与运输

7.1 一般规定

7.1.2 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。

7.1.3 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。

7.1.5 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。

7.2 构件生产

7.2.3 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。

7.3 构件存放与运输

7.3.1 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)。两种存放的要求比较类似,因此未作区分。

7.3.2 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。长期存放时,为控制空心板的起拱和翘曲变形,可采取覆盖遮阳、增加配重等方式。

7.3.3~7.3.4 参考现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231-2016。

8 施 工

8.3 吊装施工

8.3.3 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。

8.3.5 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。

8.4 后浇混凝土施工

8.4.5 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 5mm,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。

9 质量检验和验收

9.2 质量检验

9.2.1 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。

为满足技术水平的发展趋势,本标准暂不规定相应的检验方法,在实践过程中推荐采用信息化、数字化的检验方法;在无法使用相应方法时,仍可采用原始的检验方法,见表 3 所示。

表 3 外观质量检验对照表

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	

续表3

项号	项目		质量要求	检验方法
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;
 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;
 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;
 4 裂缝指伸入混凝土内的缝隙;
 5 外表缺陷指板表面麻面、掉皮、起砂和漏抹等缺陷;
 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、凸肋和疤瘤等缺陷;
 7 外表沾污指构件表面有油污或其他粘杂物;
 8 对表 9.2.1 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。

9.2.2 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做上表面粗糙度要求;
- 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 2mm;并且单根钢绞线的回缩值不得大于 3mm(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。

与 9.2.1 条条文明说明类似,如无信息化、数字化的检验方法时,可采用下表 4 的检验方法。

表 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	±5	用尺量两端,取其中偏差绝对值较大值	
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		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	
8	保护层厚度		+5,-3	用尺量	
9	上表面	深度	≥2	用尺量	
10	粗糙度	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
12		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

续表4

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)
13	预埋 部件	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)	用游标卡尺于板端面测量
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

9.3 验 收

9.3.2 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。

与 9.2.1 条条文明说明类似,如无信息化、数字化的检验方法时,可采用表 5 的检验方法。

表 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	有吊顶 5	
		无吊顶 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	有吊顶	5	钢尺量测
	无吊顶	3	钢尺量测
拼缝宽度	板侧	±5	钢尺量测

9.3.3 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。