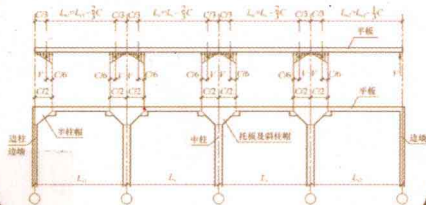


地下车库

无梁楼盖结构设计 技术措施

◀ 于振洲 金光豪◎编著 ▶



本书详细论述了地下车库无梁楼盖常用的经验系数法和等代框架法的力学概念、计算要点和配筋构造，还给出了无梁楼盖顶板的荷载取值。附录提供了两种方法非人防区和人防区的计算书以及某住宅小区地下车库结构设计总说明供参考。

本书可供建筑结构设计人员工作查阅，也可供相关专业科研人员 and 师生参考。

DIXIA CHEKU
WULIANG LOUGAI JIEGOU SHEJI JISHU CUOSHI

中国建筑工业出版社

地下车库无梁楼盖结构设计 技术措施

于振洲 金光豪 编著

中国建筑工业出版社

前 言

地下车库顶板采用无梁楼盖是一种综合技术经济指标较好的结构型式。

本《技术措施》详细论述了地下车库无梁楼盖目前常用的经验系数法和等代框架法的力学概念、计算要点和配筋构造,对其他计算方法作了简要介绍。本《技术措施》还给出了无梁楼盖顶板的荷载取值。

对内跨 $8.1\text{m}\times 8.1\text{m}$ 柱网,在覆土厚 1.0m 、 1.5m 、 2.0m 、 2.5m 、 3.0m 工况下,采用经验系数法计算,给出了非人防区和 6 级人防区地下车库无梁楼盖的顶板厚度、托板和斜柱帽尺寸、柱截面尺寸、混凝土和钢筋的强度等级及内跨配筋。弯矩配筋和冲切验算的计算书列入附录 A 和附录 C,可以参考调用,供施工图设计和施工图审查。

对端跨跨度 8.5m 、 8.1m 、 7.5m 、 7.0m 、 6.5m ,边支座有半柱帽和无半柱帽,取 5 跨等代框架,在覆土厚 1.0m 、 1.5m 、 2.0m 、 2.5m 、 3.0m 工况下,采用理正软件等代框架近似分析法计算弯矩内力,给出了非人防区和 6 级人防区端跨的弯矩。弯矩配筋的计算书列入附录 B,可以参考调用,供施工图设计和施工图审查。

上述内跨为 $8.1\text{m}\times 8.1\text{m}$ 柱网的弯矩 (100%),可参考用在内跨为 $8.0\text{m}\times 8.0\text{m}$ 柱网的工程中 (95.7%),误差为 ($+4.3\%$);当参考用在内跨为 $8.2\text{m}\times 8.2\text{m}$ 柱网的工程中 (104.46%),误差为 (-4.46%),冲切面 II 的冲切承载力能满足规范要求。

附录 D 提供了某住宅小区地下车库《结构设计总说明》示例,供参考。

本《技术措施》的文字输入和绘图由蔡星光同志完成,端跨的弯矩配筋计算由金光豪同志完成,校审由于明江和曲连震二同志完成,他们为本《技术措施》付出了辛勤劳动。

本《技术措施》用在单层地下车库无梁楼盖设计中,对保证结构设计安全和质量、节约钢材、加快设计进度,能起到较好作用。

由于著者水平所限,本《技术措施》难免存在疏漏与错误,请使用者指正。

于振洲 金光豪

北京梁开建筑设计事务所,北京中外建建筑设计有限公司第二分公司

2011 年 4 月

目 录

1 地下车库无梁楼盖结构体系	1
1.0.1 结构体系的特点	1
1.0.2 柱网及结构布置	1
1.0.3 基础类型	1
1.0.4 结构体系的优点	1
1.0.5 结构体系的适用条件	1
2 地下车库无梁楼盖结构受力特点	2
2.0.1 竖向荷载下, 每个方向的等代梁均受总荷载	2
2.0.2 水平地震作用下, 近似考虑柱上板带受力	3
2.0.3 由托板和斜柱帽形成柱顶刚域	3
2.0.4 端跨不宜用大跨	4
2.0.5 板带弯矩可转移调整	4
2.0.6 截面计算弯矩的折减	4
2.0.7 地下车库无梁楼盖承受竖向总荷载值很大	4
3 地下车库无梁楼盖顶板荷载及荷载组合值	5
3.0.1 顶板恒载标准值 q_{Gk}	5
3.0.2 顶板活载标准值 q_{Qk}	5
3.0.3 顶板承载能力极限状态的荷载基本组合值 q	6
3.0.4 非人防区顶板正常使用极限状态的荷载准永久组合值 q_q	6
4 地下车库无梁楼盖内力与配筋计算	7
4.1 竖向荷载下等代梁经验系数法内力与配筋计算	7
4.1.1 等代梁柱上板带和跨中板带弯矩设计值分配比例	7
4.1.2 等代梁经验系数法的限制条件	7
4.1.3 等代梁经验系数法及其力学概念	8
4.1.4 地下车库 6 级 (6B 级) 人防区弯矩分配比例的调整	11
4.1.5 经验系数法例题 [4.1.5]	11
4.1.6 经验系数法内跨弯矩配筋、冲切验算及裂缝宽度验算汇总表	15
4.1.7 经验系数法的实用性	16
4.2 等代框架法无梁楼盖内力与配筋计算	17
4.2.1 等代框架法	17
4.2.2 等代框架的组成	17
4.2.3 竖向荷载下等代框架近似分析法	18
4.2.4 理正无梁楼盖等代框架分析软件	18
4.2.5 计算例题 [4.1.5] 与 [4.2.4] 计算结果对比分析	25
4.2.6 等代框架近似分析法端跨弯矩配筋汇总表	26
4.2.7 竖向荷载与水平地震作用下等代框架按《钢筋混凝土升板结构技术规范》	

GBJ 130—90 方法计算	30
4.2.8 等代框架按《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92—2004 方法计算	31
4.3 竖向荷载下地下车库无梁楼盖结构整体计算	32
4.3.1 整体计算的目的	32
4.3.2 整体计算要点	32
4.4 水平地震作用下地下车库板柱剪力墙体系整体近似计算	33
4.4.1 7 度、8 度区Ⅲ类、Ⅳ类场地单建式丙类地下车库地震作用计算	33
4.4.2 地下车库板柱剪力墙体系水平地震作用下内力近似分析	33
4.5 无梁楼盖内力有限元分析方法	34
5 地下车库无梁楼盖配筋设计	35
5.0.1 贯通筋	35
5.0.2 非贯通筋	35
5.0.3 地下车库无梁楼盖钢筋的排布构造	35
5.0.4 柱上板带构造暗梁	38
5.0.5 托板和斜柱帽配筋	38
5.0.6 地下车库的抗震等级及柱轴压比限值	39
5.0.7 柱截面及最小配筋	39
6 地下车库无梁楼盖结构施工图制图方法	41
6.0.1 按《建筑结构制图标准》GB/T 50105—2001 的基本规定绘制结构施工图	41
6.0.2 图纸编排顺序	41
6.0.3 基础平面图	41
6.0.4 无梁楼盖顶板配筋图	41
附录 A 地下车库 8.1m×8.1m 柱网无梁楼盖（内跨）经验系数法配筋计算书 （非人防和 6 级人防区）	43
附录 B 地下车库 8.1m×8.1m 柱网无梁楼盖（端跨）等代框架法配筋计算书 （非人防和 6 级人防区）	54
附录 C 地下车库 8.1m×8.1m 柱网无梁楼盖（内跨）冲切验算计算书 （非人防和 6 级人防区）	239
附录 D 地下车库结构设计总说明（示例）	250
参考文献	263

1 地下车库无梁楼盖结构体系

1.0.1 结构体系的特点

地下车库无梁楼盖是将没有框架梁和次梁的等厚度平板直接支承在几行中间柱上，形成板柱体系，边柱、边墙、内墙和局部大梁也可作为平板的局部支承；柱网平面布置中间部位为正方形，端跨可为矩形；柱截面采用方形柱，中间柱柱顶设置托板和斜柱帽，形成刚域，作为平板的支座，边柱（边墙）可设置半柱帽；特殊部位可设置纵横大梁，形成局部梁板体系。

1.0.2 柱网及结构布置

地下车库无梁楼盖内跨合理柱网通常为 $8.1\text{m} \times 8.1\text{m}$ ，柱截面 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ ($0.65\text{m} \times 0.65\text{m}$)，柱间净宽 7.5m (7.45m)，可停放三辆小汽车，端跨柱距宜为 $5.4 \sim 8.1\text{m}$ 。无梁楼盖柱网变化处可设局部大梁或混凝土内墙，汽车坡道、人员出入口、排风竖井处设混凝土外墙、内墙和局部大梁。

1.0.3 基础类型

当地基承载力特征值较高时 ($f_{ak} \geq 240\text{kPa}$)，中间柱可采用独立基础加防水板，外墙（边柱）和内墙采用条基，特殊部位可采用局部筏基；当地基承载力特征值较低时，独立基础底面积过大，宜采用整体式筏板基础，也可采用柱下墙下桩基础加防水板。上述防水板底面通常与独基、条基或桩承台底面平，防水板顶面以上有一定厚度覆土，可平衡部分水浮力，也便于做车库排水沟、集水坑。

1.0.4 结构体系的优点

- (1) 有效地减小结构顶板高度（约 $400 \sim 500\text{mm}$ ），有效地减小车库埋深；
- (2) 车库内顶棚平整美观，利于敷设风管、喷淋水管及电气管线；
- (3) 施工模板简单；
- (4) 综合技术经济指标较好。

1.0.5 结构体系的适用条件

地下车库无梁楼盖结构体系可用于非人防区和 6 级（6B 级）人防区，5 级人防区顶板等效静载过大，该体系已不适用。

2 地下车库无梁楼盖结构受力特点

2.0.1 竖向荷载下，每个方向的等代梁均受总荷载

视无梁楼盖为支承在柱上的等代梁，等代梁跨度取柱中心线之间的距离 (L_x 、 L_y)，等代梁宽度取柱两侧区格板半跨之和 ($b_x=L_y$ 、 $b_y=L_x$)，见图 2.0.1。设无梁楼盖平板受竖向总荷载 q ，则 x 向和 y 向正交等代梁每方向均受总荷载 q (系柱支承双向板受力特性)，即计算 x 向等代梁时用总荷载 q ，计算 y 向等代梁时也用总荷载 q 。

沿等代梁宽度分为柱上板带 (ZSB) 和跨中板带 (KZB)，柱上板带宽度取柱两侧区格板 $1/4$ 跨之和，两侧其余宽度各为 $1/2$ 跨中板带。 x 向和 y 向正交等代梁其柱上板带与跨中板带的力学关系为柱上板带直接支承在柱上，而跨中板带则支承在另一方向柱上板带上，即板搭板结构，因此跨中板带底部钢筋应置于柱上板带底部钢筋之上。

在竖向总荷载 q 作用下，等代梁可按多跨连续梁或多跨框架梁进行内力计算，等代梁

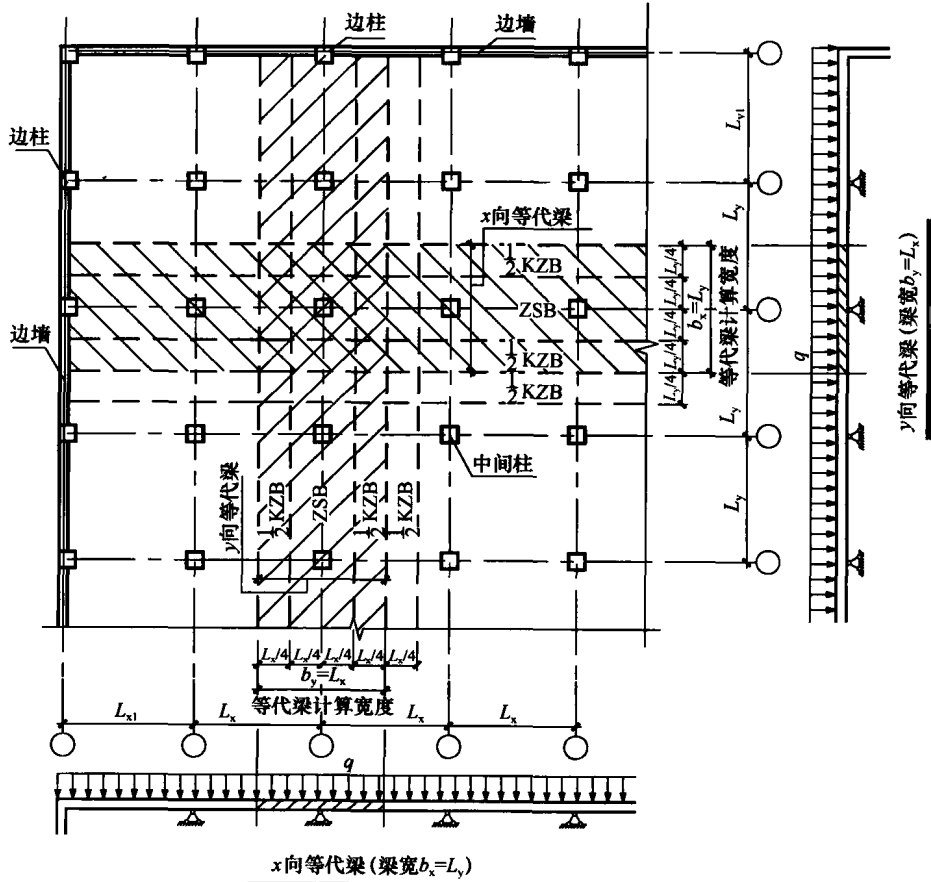


图 2.0.1 等代梁及板带划分

计算弯矩按比例分配给柱上板带和跨中板带的各截面。

2.0.2 水平地震作用下，近似考虑柱上板带受力

在水平荷载作用下，用等代框架法计算内力时，板的有效刚度要比等代梁板的全宽计算所得的刚度要小，国内外实验表明，板的有效宽度约为板全宽的 25%~50%，等代梁宽度按 4.2.2 条确定。等代梁支座地震弯矩可仅由柱上板带支座截面承受。

2.0.3 由托板和斜柱帽形成柱顶刚域

地下车库无梁楼盖承受下列荷载：板自重、覆土重、地面活载、消防车荷载、人防顶板荷载，由于竖向总荷载很大，托板和斜柱帽采用图 2.0.3-1 合理的形式和尺寸。

(1) 柱顶刚域使柱与板的连接更为强固，保证板在柱支承处有足够的冲切强度，能合理地分布弯矩于楼盖中，且增加楼盖刚度。

(2) 设置斜柱帽使柱帽有效宽度 C 足够大（取 $C=2600\text{mm}$ 、 2650mm ），可有效地减小等代梁的计算跨度，与仅设托板不设斜柱帽（ $C'=1200\text{mm}$ 、 1250mm ）时相比较，等代梁总弯矩值减小 32% 左右。

托板和斜柱帽形成柱顶宽支座，等代梁支座反力按三角形分布，在柱帽有效宽度边缘处反力最大，柱中心处为 0，见图 2.0.3-2，则内跨计算跨度为 $L_n=L-\frac{2}{3}C$ ，端跨有半柱帽时，计算跨度也为 $L_n=L-\frac{2}{3}C$ ，而端跨无半柱帽时，计算跨度为 $L_n=L-\frac{1}{3}C$ 。

(3) 取托板宽度 a_i 足够大，应 $a_i \geq 0.35L$ （取 $a_i=3000\text{mm}$ 、 3200mm ），可有效地减小冲切面 II 的冲切力，以满足抗冲切承载力。

(4) 取托板厚度 300mm，有效地增加柱上板带支座负弯矩配筋时的截面计算高度 h_0 。

(5) 图 2.0.3-1 托板和斜柱帽的形式和尺寸，经设计计算比较，在内跨柱网 $8.1\text{m} \times 8.1\text{m}$ ，覆土厚度 $1.0 \sim 3.0\text{m}$ ，平板厚 400mm、450mm、500mm，托板厚 300mm，顶板混凝土强度等级 C30、C35，采用 HRB400 级钢筋的条件下，能使非人防区和 6 级人防区

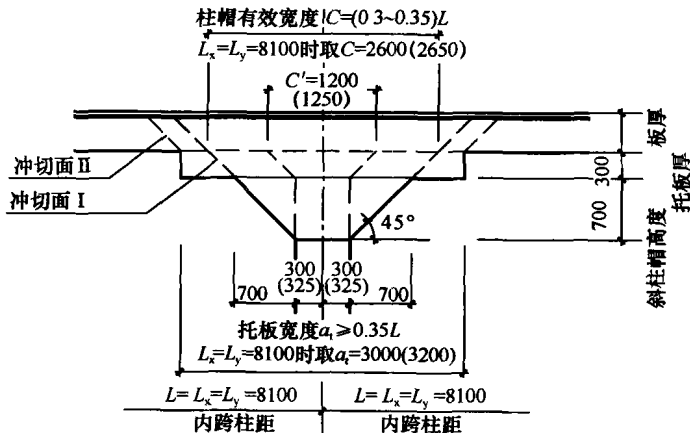


图 2.0.3-1 托板和斜柱帽尺寸

注：覆土厚 1.0m、1.5m、2.0m，柱截面 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ ， $C=2600\text{mm}$ ；
覆土厚 2.5m、3.0m，柱截面 $650\text{mm} \times 650\text{mm}$ ， $C=2650\text{mm}$ 。

地下车库无梁楼盖系列获得流畅、合理和比较经济的综合配筋效果。

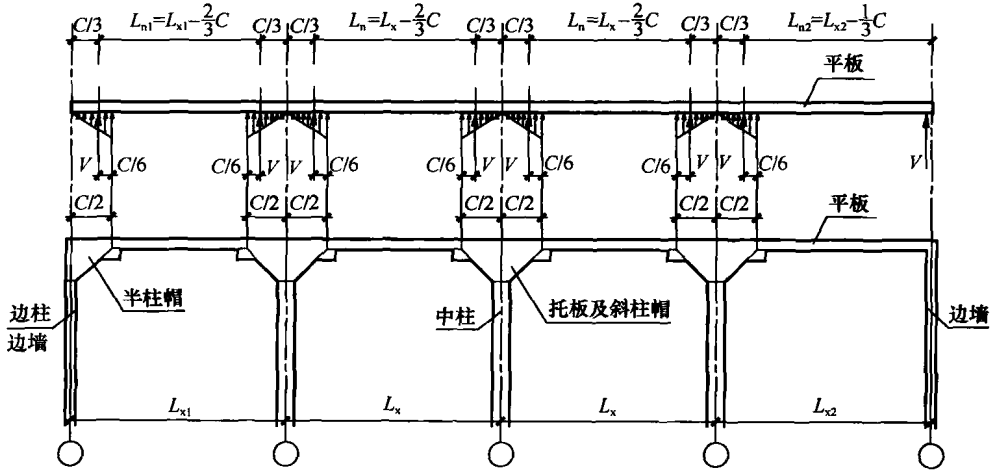


图 2.0.3-2 等代梁支座反力及计算跨度

L_x —内跨跨度； L_{x1} 、 L_{x2} —端跨跨度； L_n —计算跨度； C —柱帽有效宽度； V —等代梁支座反力

2.0.4 端跨不宜用大跨

端跨跨中和柱上板带边支座截面弯矩比内跨大很多，因此端跨跨度不宜用大跨。要与建筑师协商，宜使 $L_{\text{端跨}} \leq 0.8L_{\text{内跨}}$ ，端跨跨度较大时，边支座尽量设半柱帽，使计算跨度减小。

2.0.5 板带弯矩可转移调整

x 向或 y 向等代梁的弯矩分配给各板带各截面之后，根据需要可适当转移和调整。

(1) 板带支座负弯矩与跨中正弯矩可按弯矩调幅的方法进行转移调整。6 级（6B 级）人防区，当用等代框架法计算时，宜将支座负弯矩下调 10%，按平衡条件将跨中弯矩相应上调。

(2) 如有需要，在总弯矩量不变的条件下，允许将柱上板带支座负弯矩的 10% 转移给跨中板带支座截面。对地下车库无梁楼盖此项转移通常不需要。

2.0.6 截面计算弯矩的折减

除边支座及边跨中外，板带各截面的计算弯矩值按《钢筋混凝土升板结构技术规范》GBJ 130—90 第 3.3.7 条乘以 0.8 折减系数，以考虑板的拱效应。

2.0.7 地下车库无梁楼盖承受竖向总荷载值很大

非人防区覆土厚 1.0~3.0m 时，竖向荷载设计值为 67.8~116.3kN/m²；
6 级人防区覆土厚 1.0~3.0m 时，竖向荷载设计值为 108.4~159.4kN/m²。
上述荷载下，通常由柱顶冲切承载力确定平板厚度及托板宽度。

3 地下车库无梁楼盖顶板荷载及荷载组合值

3.0.1 顶板恒载标准值 q_{Gk}

地下车库无梁楼盖顶板恒载标准值 q_{Gk}

表 3.0.1

覆 土		车库顶板采用无梁楼盖				车库顶板恒载标准值合计 $q_{Gk} = \text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{④}$ (kN/m ²)	用于整体计算时车库顶板恒载标准值合计 $q_{Gk} = \text{①} + \text{③} + \text{④}$ (kN/m ²)
覆土厚 H (m)	覆土重 ①(kN/m ²)	板厚 h (mm)	板 重 ②(kN/m ²)	托板及柱帽重 ③(kN/m ²)	板底挂重 ④(kN/m ²)		
1.0	$1.0 \times 20 = 20.0$	400	$0.4 \times 25 = 10.0$	1.6	0.4	32.0	22.0
1.5	$1.5 \times 20 = 30.0$	450	$0.45 \times 25 = 11.3$			43.3	32.0
2.0	$2.0 \times 20 = 40.0$					53.3	42.0
2.5	$2.5 \times 20 = 50.0$	500	$0.5 \times 25 = 12.5$			64.5	52.0
3.0	$3.0 \times 20 = 60.0$					74.5	62.0

- 注：1. 车库顶板覆土按饱和土，取重度 20kN/m^3 ；
2. 无梁楼盖的托板按平面 $3\text{m} \times 3\text{m}$ ，厚 0.3m ，斜柱帽按上底 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ，下底 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ 计算重量。

3.0.2 顶板活载标准值 q_{Qk}

地下车库无梁楼盖顶板活载标准值 q_{Qk}

表 3.0.2

覆土厚 H (m)	30t 消防车后轴轮压在深度 H 处，土中扩散面积 A 及压力		扩散压力在车库顶板最不利位置时的等效均布活载标准值 ①(kN/m ²)	地面堆载标准值 ②(kN/m ²)	车库顶板活载标准值合计 $q_{Qk} = \text{①} + \text{②}$ (kN/m ²)
	面积 A (m \times m)	压力(kN/m ²)			
1.0	$A = 3.8 \times 3.0$	21.1	11.0	10.0	21.0
1.5	$A = 4.5 \times 3.7$	14.4	10.0		20.0
2.0	$A = 5.2 \times 4.4$	10.5	8.0		18.0
2.5	$A = 5.9 \times 5.1$	8.0	7.0		17.0
3.0	$A = 6.6 \times 5.8$	6.3	6.0		16.0

- 注：1. 车库柱网取 $8.1\text{m} \times 8.1\text{m}$ ；
2. 按《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001(2006 年版)第 4.1.1 条文说明，取 30t 消防车后轴轮压为 $4 \times 60\text{kN}$ ；
3. 轮压在土中扩散计算按《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332—2002 附录 C 方法计算；
4. 车库顶板上轮压等效均布活载按《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001(2006 年版)附录 B 第 B.0.6 条，取后轴轮压重心与板跨中心重合，按四边简支板绝对最大弯矩等值来确定；
5. 30t 消防车荷载与地面堆载同时考虑是出于车库顶部覆土厚度较难控制，庭院绿化时有可能堆筑土丘或修建建筑小品等超载发生，取活荷载组合值系数 1.0；
6. 上表车库顶板活载标准值也可用于车库顶板采用梁板结构体系中。

3.0.3 顶板承载能力极限状态的荷载基本组合值 q

(1) 非人防区顶板荷载设计值 q

$$q = \gamma_G q_{Gk} + \gamma_Q q_{Qk} = 1.2q_{Gk} + 1.4q_{Qk} \quad \text{类型 I (由可变荷载控制)}$$

$$q = \gamma_G q_{Gk} + \gamma_Q \psi_c q_{Qk} = 1.35q_{Gk} + 0.98q_{Qk} \quad \text{类型 II (由永久荷载控制)}$$

地下车库非人防区无梁楼盖顶板荷载设计值 q 表 3.0.3-1

覆土厚	无梁楼盖板厚	荷载控制类型	恒载设计值	活载设计值	车库顶板荷载设计值合计
$H(m)$	$h(mm)$		①(kN/m ²)	②(kN/m ²)	$q=①+②(kN/m^2)$
1.0	400	I	$1.2 \times 32.0 = 38.4$	$1.4 \times 21.0 = 29.4$	67.8
1.5	450	I	$1.2 \times 43.3 = 52.0$	$1.4 \times 20.0 = 28.0$	80.0
2.0		II	$1.35 \times 53.3 = 72.0$	$0.98 \times 18.0 = 17.6$	89.6
2.5	500	II	$1.35 \times 64.5 = 87.1$	$0.98 \times 17.0 = 16.6$	103.7
3.0		II	$1.35 \times 74.5 = 100.6$	$0.98 \times 16.0 = 15.7$	116.3

(2) 6级(6B级)人防区顶板荷载设计值 q

$$q = \gamma_G q_{Gk} + \gamma_Q q_{e1} = 1.2q_{Gk} + 1.0q_{e1}$$

地下车库 6级(6B级)人防区无梁楼盖顶板荷载设计值 q 表 3.0.3-2

覆土厚	无梁楼盖板厚	恒载设计值	等效静载设计值	车库顶板荷载设计值合计
$H(m)$	$h(mm)$	①(kN/m ²)	②(kN/m ²)	$q=①+②(kN/m^2)$
1.0	400	$1.2 \times 32.0 = 38.4$	$1.0 \times 70 = 70.0$ $(1.0 \times 40 = 40.0)$	108.4 (78.4)
1.5	450	$1.2 \times 43.3 = 52.0$		122.0 (92.0)
2.0		$1.2 \times 53.3 = 63.9$		133.9 (103.9)
2.5	500	$1.2 \times 64.5 = 77.4$		147.4 (117.5)
3.0		$1.2 \times 74.5 = 89.4$		159.4 (129.4)

注：按《人民防空地下室设计规范》GB 50038—2005 第 4.9.1 条(强制性条文)、第 4.9.3 条、第 4.10.2 条，人防构件的荷载组合应取核爆等效静载与恒载(永久荷载)同时作用。

提示注意：人防荷载组合时不要将车库顶板上的活荷载组合进去，否则为概念性错误。

3.0.4 非人防区顶板正常使用极限状态的荷载准永久组合值 q_q

$$q_q = q_{Gk} + \psi_4 q_{Qk} = q_{Gk} + 0.6q_{Qk}$$

地下车库非人防区无梁楼盖顶板荷载准永久值 q_q 表 3.0.4

覆土厚	无梁楼盖板厚	顶板恒载标准值	顶板活载准永久值	顶板准永久荷载组合值	荷载准永久组合值 荷载基本组合值
$H(m)$	$h(mm)$	q_{Gk} ①(kN/m ²)	$\psi_4 q_{Qk}$ ②(kN/m ²)	$q_q = ① + ②(kN/m^2)$	$q_q/q(kN/m^2)$
1.0	400	32.0	$0.6 \times 21.0 = 12.6$	44.6	$44.6/67.8 = 0.658$
1.5	450	43.3	$0.6 \times 20.0 = 12.0$	55.3	$55.3/80.0 = 0.691$
2.0		53.3	$0.6 \times 18.0 = 10.8$	64.1	$64.1/89.6 = 0.715$
2.5	500	64.5	$0.6 \times 17.0 = 10.2$	74.7	$74.7/103.7 = 0.720$
3.0		74.5	$0.6 \times 16.0 = 9.6$	84.1	$84.1/116.3 = 0.723$

注：顶板准永久荷载组合值用于非人防区顶板裂缝宽度验算，而人防区不需要验算裂缝。

4 地下车库无梁楼盖内力与配筋计算

4.1 竖向荷载下等代梁经验系数法内力与配筋计算

4.1.1 等代梁柱上板带和跨中板带弯矩设计值分配比例

分析表明,当矩形板区格 $L_x/L_y=0.67\sim 1.5$ 时,无梁楼盖等代梁在竖向荷载下,内支座负弯矩的 75%,跨中正弯矩的 55%,边支座负弯矩的 90%,由柱上板带承受,其余弯矩由跨中板带承受。经验系数法和等代框架法等代梁弯矩设计值都按这个比例分配给柱上板带和跨中板带各截面,见表 4.1.1。

矩形板区格 $L_x/L_y=0.67\sim 1.50$ 时,柱上板带和跨中板带弯矩分配比例 表 4.1.1

截面位置		柱上板带	跨中板带
内跨	支座截面负弯矩	75%	25%
	跨中截面正弯矩	55%	45%
端跨	第一内支座截面负弯矩	75%	25%
	跨中截面正弯矩	55%	45%
	边支座截面负弯矩	90%	10%

注:1. 此表弯矩分配值引自《钢筋混凝土升板结构技术规范》GBJ 130—90 表 3.2.4;

2. 当板区格 $L_x/L_y\neq 0.67\sim 1.50$ 时,表中分配比例将发生改变。

4.1.2 等代梁经验系数法的限制条件

竖向荷载下,为使板带各截面弯矩设计值适应各种活荷载的不利布置,需对板的跨度及荷载加以限制,当符合下列条件时,等代梁可按经验系数法计算。

(1) 每个方向至少有三个连续跨。

据分析,端跨边支座的约束条件比较复杂,若只有两个连续跨,则等代梁两跨均为端跨,采用经验系数法时,中间支座处截面负弯矩过大,与经验系数法给定条件不符,板带弯矩计算值有可能不准确,遇此情况应改用等代框架法计算。

(2) 任一区格的长边与短边之比不大于 1.5。

长边与短边之比超过 1.5 时,等代梁弯矩在柱上板带和跨中板带各截面之间的分配比例将发生改变。车库标准跨为 8.1m 时,则短跨不宜小于 $8.1/1.5=5.4\text{m}$ 。

(3) 同一方向上的相邻跨度的中至中跨长之变化不超过较长跨的 $1/3$ 。

当内跨均为 8.1m 时,等代梁边跨跨度不宜小于 $8.1-8.1/3=5.4\text{m}$ 。因此,在可能的情况下应使端跨跨度小于 8.1m,大于等于 5.4m。

(4) 所有荷载均为竖向均布荷载,活荷载与恒荷载之比 ≤ 3 。

地下车库无梁楼盖恒载很大，可能发生不利分布的活荷载通常均小于恒载。

4.1.3 等代梁经验系数法及其力学概念

(1) 等代梁经验系数法

等代梁经验系数法是以无梁楼盖受力影响因素试验结果为基础，是以符合一定条件的板系理论分析为依据，考虑施工的可行性和已建工程先例，对设计计算方法进行简化而提出并逐步完善的。

取 x 向或 y 向等代梁的内跨和端跨，按单跨等代梁计算总弯矩设计值，见表 4.1.3-1，然后按表 4.1.3-2 的分配比例将总弯矩设计值分配给柱上板带和跨中板带各截面。

单跨等代梁总弯矩 M_0 表 4.1.3-1

位 置	x 向单跨等代梁总弯矩设计值 $M_{0x}(\text{kN} \cdot \text{m})$	y 向单跨等代梁总弯矩设计值 $M_{0y}(\text{kN} \cdot \text{m})$
内 跨	$M_{0x} = \frac{1}{8} q b_x L_{nx}^2 = \frac{1}{8} q L_y \left(L_x - \frac{2}{3} C \right)^2$	$M_{0y} = \frac{1}{8} q b_y L_{ny}^2 = \frac{1}{8} q L_x \left(L_y - \frac{2}{3} C \right)^2$
端跨，边支座有半柱帽	$M_{0x} = \frac{1}{8} q b_x L_{nx}^2 = \frac{1}{8} q L_y \left(L_x - \frac{2}{3} C \right)^2$	$M_{0y} = \frac{1}{8} q b_y L_{ny}^2 = \frac{1}{8} q L_x \left(L_y - \frac{2}{3} C \right)^2$
端跨，边支座无半柱帽	$M_{0x} = \frac{1}{8} q b_x L_{nx}^2 = \frac{1}{8} q L_y \left(L_x - \frac{1}{3} C \right)^2$	$M_{0y} = \frac{1}{8} q b_y L_{ny}^2 = \frac{1}{8} q L_x \left(L_y - \frac{1}{3} C \right)^2$

注： L_x 、 L_y —两个方向的柱距； L_{nx} 、 L_{ny} —两个方向等代梁计算跨度； q —竖向总荷载设计值； C —柱帽有效宽度。

矩形板区格 $L_x/L_y = 0.67 \sim 1.5$ 时板带弯矩分配比例 表 4.1.3-2

截 面 位 置		柱 上 板 带	跨 中 板 带
内 跨	支座截面负弯矩	0.50 M_0	0.17 M_0
	跨中截面正弯矩	0.18 M_0	0.15 M_0
端 跨	第一内支座截面负弯矩	0.50 M_0	0.17 M_0
	跨中截面正弯矩	0.26 M_0	0.22 M_0
	边支座截面负弯矩	0.33 M_0	0.04 M_0

注：1. 此表弯矩分配值引自《钢筋混凝土升板结构技术规范》GBJ 130—90 表 3.3.4；

2. M_0 为 x 向或 y 向单跨简支等代梁跨中弯矩 M_{0x} 、 M_{0y} 。

(2) 等代梁经验系数法的力学概念

无梁楼盖为支承在柱上的等代梁，当忽略支承柱对等代梁的约束作用，则无梁楼盖等代梁可视为铰支承在柱上的多跨连续梁。

取多跨连续等代梁的内跨和端跨分别作为弯矩计算单元，按梁的位置将总弯矩分配给板带各截面，这就是等代梁经验系数法。

依据结构力学原理，均布荷载下任一单跨梁，其两端支座弯矩之和的一半，加跨中弯矩，其总和应等于同跨同荷载简支梁的跨中弯矩 $M_0 = \frac{1}{8} q L_n^2$ ， M_0 即单跨等代梁总弯矩。

1) 将多跨等代梁的内跨视为均布荷载下的两端嵌固梁, 分析对比见表 4.1.3-3。

内跨等代梁弯矩分析对比

表 4.1.3-3

项 目	内跨等代梁	两端嵌固梁
弯矩图		
支座弯矩之和的一半加跨中弯矩之和等于简支梁的跨中弯矩 M_0	$(0.5M_0 + 0.17M_0) + (0.18M_0 + 0.15M_0)$ $= 0.67M_0 + 0.33M_0 = M_0 = \frac{1}{8}qL_n^2$	$\frac{1}{12}qL_n^2 + \frac{1}{24}qL_n^2 = \frac{3}{24}qL_n^2 = \frac{1}{8}qL_n^2 = M_0$
各截面弯矩总和等于简支梁跨中弯矩 M_0 的 1.67 倍	$2(0.5M_0 + 0.17M_0) + (0.18M_0 + 0.15M_0)$ $= 1.34M_0 + 0.33M_0 = 1.67M_0$	$2 \times \frac{1}{12}qL_n^2 + \frac{1}{24}qL_n^2 = \frac{5}{24}qL_n^2$ $= 1.67 \times \frac{1}{8}qL_n^2$ $= 1.67M_0$
$\frac{\text{支座弯矩}}{\text{跨中弯矩}} = \frac{2}{1}$	$\frac{0.5M_0 + 0.17M_0}{0.18M_0 + 0.15M_0} = \frac{0.67}{0.33} = \frac{2}{1}$	$\frac{\frac{1}{12}qL_n^2}{\frac{1}{24}qL_n^2} = \frac{2}{1}$
柱上板带支座负弯矩 跨中板带支座负弯矩	$\frac{0.5M_0}{0.17M_0} = \frac{75\%}{25\%}$	注: 左侧比值表明, 柱上板带与跨中板带之间, 支座弯矩分配比例、跨中弯矩分配比例, 表 4.1.1 与表 4.1.3-2 的一致性。
柱上板带跨中正弯矩 跨中板带跨中正弯矩	$\frac{0.18M_0}{0.15M_0} = \frac{55\%}{45\%}$	

2) 将多跨等代梁的端跨近似地视为均布荷载下第一内支座嵌固，边支座弹性嵌固的单跨梁，分析对比见表 4.1.3-4。

端跨等代梁弯矩分析对比

表 4.1.3-4

项 目	端 跨 等 代 梁	一端嵌固 一端铰支梁
弯 矩 图	<p style="text-align: center;">柱上板带</p> <p style="text-align: center;">跨中板带</p>	
支座弯矩之和的一半加跨中弯矩之和等于简支梁的跨中弯矩 M_0	$\frac{(0.5M_0 + 0.33M_0) + (0.17M_0 + 0.04M_0)}{2} + (0.26M_0 + 0.22M_0) = 0.52M_0 + 0.48M_0 = M_0 = \frac{1}{8} qL_n^2$	$\frac{1}{8} qL_n^2 + \frac{1}{16} qL_n^2 = \frac{1}{8} qL_n^2 = M_0$
支座弯矩之和加跨中最大弯矩之和	$(0.5M_0 + 0.33M_0) + (0.17M_0 + 0.04M_0) + (0.26M_0 + 0.22M_0) = 1.52M_0$	$\frac{1}{8} qL_n^2 + \frac{9}{128} qL_n^2 = \frac{25}{128} qL_n^2 = 1.56 \times \frac{1}{8} qL_n^2 = 1.56M_0$
支座弯矩之和加跨中弯矩之和	$1.52M_0$	$\frac{1}{8} qL_n^2 + \frac{1}{16} qL_n^2 = \frac{3}{16} qL_n^2 = 1.50 \times \frac{1}{8} qL_n^2 = 1.5M_0$
$\frac{\text{支座弯矩}}{\text{跨中弯矩}} = \frac{2}{1}$	$\frac{0.5M_0 + 0.33M_0 + 0.17M_0 + 0.04M_0}{0.26M_0 + 0.22M_0} = \frac{1.04}{0.48} = \frac{2.17}{1}$	$= \frac{\frac{1}{8} qL_n^2}{\frac{1}{16} qL_n^2} = \frac{2}{1}$
第一内支座： 柱上板带支座负弯矩 跨中板带支座负弯矩	$\frac{0.5M_0}{0.17M_0} = \frac{75\%}{25\%}$	注：左侧比值表明，柱上板带与跨中板带之间，支座弯矩分配比例、跨中弯矩分配比例，表 4.1.1 与表 4.1.3-2 的一致性。
跨 中： 柱上板带正弯矩 跨中板带正弯矩	$\frac{0.26M_0}{0.22M_0} = \frac{55\%}{45\%}$	
边 支 座： 柱上板带支座负弯矩 跨中板带支座负弯矩	$\frac{0.33M_0}{0.04M_0} = \frac{90\%}{10\%}$	

4.1.4 地下车库 6 级(6B 级)人防区弯矩分配比例的调整

依据人防结构受力特点,《人民防空地下室设计规范》GB 50038—2005 附录 D.2.1 条要求如下:

在等效静载和静荷载共同作用下,当按弹性受力状态计算无梁楼盖内力时,宜按下列规定对板的内力值进行调整,考虑板的内力重分布,减小支座负弯矩值,增大跨中正弯矩值。

(1)当用经验系数法计算时,对中间区格的板(内跨),宜将支座负弯矩与跨中正弯矩之比从 2.0 调整到 1.3~1.5;对边跨板,宜相应降低负、正弯矩的比值;

(2)当用等代框架法计算时,宜将支座负弯矩下调 10%~15%,按平衡条件将跨中弯矩相应上调;

(3)支座负弯矩在柱上板带和跨中板带的分配可取 3:1 到 2:1;跨中正弯矩在柱上板带与跨中板带的分配可取 1:1 到 1.5:1;

(4)无梁楼盖的板与钢筋混凝土边墙整浇时,端跨板支座负弯矩与跨中正弯矩之比,可按中间区格板进行调整。

6 级(6B 级)人防区经验系数法弯矩分配比例的调整,见表 4.1.4。

6 级(6B 级)人防区板带弯矩分配值调整

表 4.1.4

截面位置		《钢筋混凝土升板结构技术规范》 GBJ 130—90 表 3.3.4 经验系数法 板带弯矩分配值			按《人民防空地下室设计规范》GB 50038—2005 附录 D.2.1 条调整后的板带弯矩分配值			
		柱上 板带	跨中 板带	支座负弯矩 跨中正弯矩	柱上 板带	跨中 板带	支座负弯矩 跨中正弯矩	柱上板带弯矩 跨中板带弯矩
内 跨	支座截面 负弯矩	$0.50M_0$	$0.17M_0$	$\frac{0.50+0.17}{0.18+0.15}$	$0.45M_0$	$0.15M_0$	$\frac{0.45+0.15}{0.22+0.18}$	$\frac{0.45}{0.15} = \frac{0.75}{0.25}$
	跨中截面 正弯矩	$0.18M_0$	$0.15M_0$	$\frac{0.67}{0.33} = \frac{2}{1}$	$0.22M_0$	$0.18M_0$	$\frac{0.60}{0.40} = \frac{1.5}{1}$	$\frac{0.22}{0.18} = \frac{0.55}{0.45}$
端 跨	第一内支 座截面负 弯矩	$0.50M_0$	$0.17M_0$	$\frac{0.5+0.17+0.33+0.04}{0.26+0.22}$ $= \frac{1.04}{0.48} = \frac{2.17}{1}$	$0.45M_0$	$0.15M_0$	$\frac{0.45+0.15+0.3+0.04}{0.35+0.28}$ $\frac{0.94}{0.63} = \frac{1.49}{1}$	$\frac{0.45}{0.15} = \frac{0.75}{0.25}$
	跨中截面 正弯矩	$0.26M_0$	$0.22M_0$		$0.35M_0$	$0.28M_0$		$\frac{0.35}{0.28} = \frac{0.55}{0.45}$
	边支座截 面负弯矩	$0.33M_0$	$0.04M_0$		$0.30M_0$	$0.04M_0$		$\frac{0.30}{0.04} = \frac{0.90}{0.10}$

4.1.5 经验系数法例题[4.1.5]

设计条件:非人防区地下车库无梁楼盖,柱网 8.1m×8.1m,覆土厚 1.5m;

板厚 450mm,托板厚 300mm,托板宽 3.0m×3.0m,45°斜柱帽高 700mm,有效柱帽宽 2.6m;

混凝土强度等级 C35,钢筋 HRB400 级;

顶板荷载组合设计值 $q=80.0\text{kN/m}^2$ 。

计算内容:用经验系数法计算内跨、有半柱帽端跨、无半柱帽端跨的内力和配筋。

(1) 地下车库 8.1m×8.1m 柱网无梁楼盖(内跨)经验系数法配筋计算(覆土 1.5m, 非人防)

地下车库 8.1m×8.1m 柱网无梁楼盖(内跨)经验系数法配筋计算 表 4.1.5-1

覆土厚: 1.5m	非人防	柱网: 8.1m×8.1m	板厚: 450 托板厚: 300	混凝土: C35 钢筋 HRB400 级
恒载: $q_{ck}=43.3(\text{kN}/\text{m}^2)$	活载: $q_{ck}=20(\text{kN}/\text{m}^2)$	荷载组合设计值: $q=1.2\times 43.3+1.4\times 20=80.0(\text{kN}/\text{m}^2)$		
柱帽有效宽度: $C=2.6\text{m}$	总弯矩 $M_0=\frac{1}{8}qL_x\left(L_y-\frac{2}{3}C\right)^2=\frac{1}{8}\times 80.0\times 8.1\left(8.1-\frac{2}{3}\times 2.6\right)^2=3283(\text{kN}\cdot\text{m})$			
总弯矩(kN·m) $M_0=3283$	内跨柱上板带		内跨跨中板带	
	支座负弯矩	跨中正弯矩	支座负弯矩	跨中正弯矩
弯矩系数	$0.5M_0$	$0.18M_0$	$0.17M_0$	$0.15M_0$
弯矩值	kN·m	$1641.7\times 0.8=1313$	$558.2\times 0.8=446.5$	$492.5\times 0.8=394.0$
	kN·m/m	按 T 形截面计算 托板宽 $b=3000$	116.7	97.28
有效高度 $h_0(\text{mm})$	$750-35=715$	$450-35=415$	415	415
钢筋面积 $A_s(\text{cm}^2)$	52.4	7.98	7.53	6.63
配筋	21 $\Phi 16@200$ (通)+8 $\Phi 18@200$ (暗梁通)	$\Phi 16@200$ (通)	$\Phi 16@200$ (通)	$\Phi 16@200$ (通)
	$A_s=62.59$ $\rho=0.23\%$	$A_s=10.06$ $\rho=0.22\%$	$A_s=10.06$ $\rho=0.22\%$	$A_s=10.06$ $\rho=0.22\%$
准永久荷载下最大裂缝宽度 $w_{\max}(\text{mm})$	0.194	0.169	0.146	0.101

- 注: 1. 根据《钢筋混凝土升板结构技术规范》GBJ 130—90 第 3.3.7 条, 除边支座和边跨跨中外, 各板带弯矩均乘以 0.8 系数, 考虑板的拱效应;
2. 非人防区最小配筋率取 0.2%;
3. 柱上板带支座截面按 T 形全截面进行配筋计算, 混凝土受压区宽度取托板宽;
4. 上表用于附建式或单建式 7 度、8 度 I、II 类场地丙类地下车库。当用于单建式 III、IV 类场地时, 柱上板带支座负弯矩截面处, 尚应叠加地震弯矩所需的配筋增量, 增加的配筋可用短筋置于暗梁两侧上部。

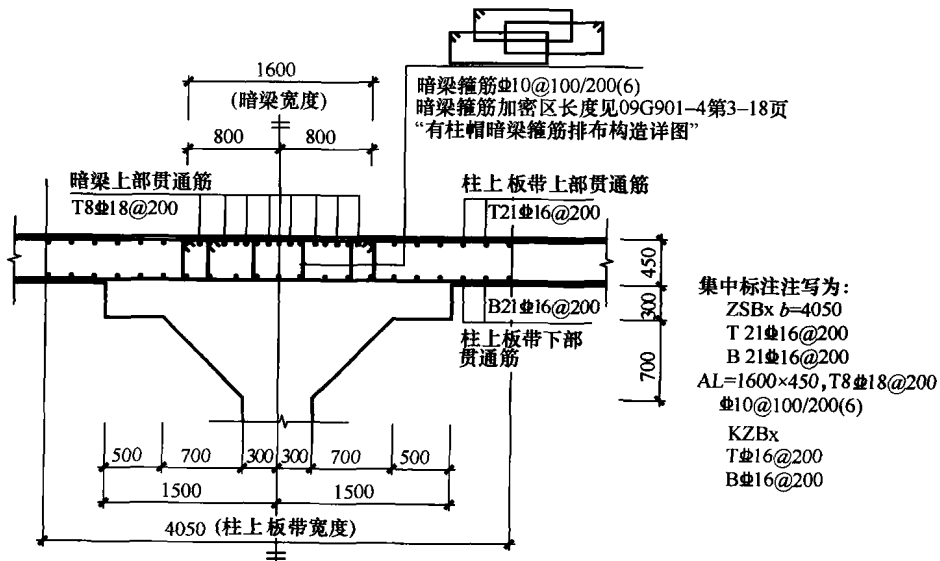


图 4.1.5-1 柱上板带配筋剖面及 ZSB 和 KZB 配筋集中标注

- 注: 1. 此节点大样应纳入施工图, 以充分表达内跨端跨柱上板带和暗梁以及跨中板带基准贯通筋的配筋要求。
2. 此节点是覆土 1.5m 非人防区配筋剖面, 其他覆土厚度的非人防区和 6 级人防区的配筋剖面可从附录 A 中参考调用。