

人防地下室顶板结构方案对比

刘仕卿

同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司 上海 200082

摘要: 随着“俄乌战争”“巴以冲突”持续升级,国际局势日趋紧张,这也说明战争的根源并未消除,核威胁依旧存在,在和平时期修建人防地下室,是人民防空的需要。随着经济高速发展,城市建设对地下空间的要求越来越高,地下室设计更加注重空间和实用性。人防地下室顶板竖向荷载较大,受力复杂,在人防工程土建成本中占比约30%~50%,因此合理的顶板楼盖选型影响着地下室的总体成本控制。本文对普通梁板式楼盖、大板加腋、无梁楼盖三种主要结构形式从造价、施工因素等方面介绍了优缺点;同时结合实际工程,对地下室顶板从钢筋混凝土用量、模板用量等方面进行比较分析,最终认为人防地下室顶板采用大板结构最为合适,在工程中应用广泛。

关键词: 人防地下室;梁板式楼盖;无梁楼盖

1 前言

随着经济高速发展,城市建设对地下空间的要求越来越高。在住宅项目开发中,地下室建设成本往往占有很大比重,而人防地下室顶板由于所受荷载大,包含覆土、消防车荷载、人防荷载等不利工况,配筋和构件截面较平时结构有所增大。针对较为常见的核6级常6级人防工程,每平方米造价比非人防区高出1200~1500元,因此,地下室结构选型往往是业主关注的重点。随着近些年房地产市场呈下行态势,房地产市场市场竞争日趋白热化,地产公司针对成本控制对设计单位提出了更高要求,在设计阶段聘请咨询单位对设计成本进行把控和优化,并针对各部位截面及结构选型要求设计单位作对比分析,这对结构设计师提出了更大挑战。在保证结构安全前提下选择合理的楼盖结构形式,合理降低建设成本、节省无效投资,已成为工程设计中的重要环节。地下车库楼盖作为混凝土柱、剪力墙等竖向构件的水平支撑,使整个地库结构形成了较好的抗侧力体系,从而加强结构承重构件的整体稳定和水平抗侧移刚度。因此,对于设计人员来说针对具体工程选择合理的楼盖结构形式是处理好结构设计安全性、适用性、经济性之间关系的关键。本文以8.4m×8.4m柱网为例,结合实际工程对核6级常6级附建式人防顶板按照大板、十字梁、单向双次梁三种方案,从混凝土、用钢量、模板三方面进行分析,选择最优方案。

2 水平楼盖优劣势分析

2.1 普通梁板式楼盖

人防工程结构顶板最常见的做法就是梁板结构,当地下车库作为上部结构嵌固部位时,应采用现浇楼盖结构,其中可分为大板和加次梁两种。

大板楼盖优势:(1)梁腔可以作为机电管线安装空间;(2)适用范围广,设备机房处均可采用;(3)适用于大跨度及不规则柱网;(4)梁格范围内板下净高较高,机电布置灵活;(5)模板工程量少,无加腋构造,施工快,节约模板。其劣势为:梁高对室内净高有一定影响,尤其在单根主管很大的位置;同时由于顶板荷载较大,且不易受裂缝控制,导致顶板较厚。

次梁楼盖优势相较于大板楼盖,同样荷载作用下,可以减小板厚,同时减小板配筋,应用范围广,施工作业简单,另外具有良好的抗震性能。劣势是模板工程量大,模板工程施工复杂,导致施工周期延长,并且不利于设备装置如烟感、喷淋装置的设置。

2.2 大板加腋楼盖

加腋大板是在大板方案的基础上,通过在板边缘增加腋板进行改进的一种方案。腋板能够提升板面的整体性和刚度,减小板面变形。大板加腋相较于大板楼盖,同样具有其优势中(1)~(4)项。顶板加腋主要是增大板支座截面计算高度,减小支座附加钢筋,其加腋原理及优势为:按静力手册计算,板支座弯矩一般是跨中弯矩的两倍以上,为满足支座处弯矩计算要求,而整板加厚,既不经济也影响地下室的使用净高,只增大支座处截面的做法比整体加大楼板厚度更合适,同时也达到了减小板支座附加钢筋的做法。其劣势为:(1)施工工艺相对复杂,对施工人员的技术要求较高;(2)楼板加腋处支模较困难,不利于工期把控;(3)大板加腋虽在平时地库中应用广泛,经济效益明显,由于尚缺乏简洁准确的计算软件,人防工况下,顶板无法按塑性计算,导致板支座钢筋并未减小,因此人防工程不推荐采用大板加腋楼盖。

2.3 无梁楼盖

无梁楼盖是一种不设置梁，楼板直接支承在柱上，楼面荷载直接通过柱子传至基础的板柱结构体系^[2]。针对柱网规则、顶板标高单一、板长短跨度之比小于1.5、且不作为上部嵌固的地下车库，可采用无梁楼盖形式。该结构形式最大优势是结构简单，施工方便，提高了空间利用率，增大了楼层净空，便于后期设备管线铺设；同时层高受限时采用该形式可满足设备等需求，便于布置管线和施工，由于基础埋深减小，可减少土方开挖、基坑围护费等，对抗浮有利。其劣势为：（1）楼板厚度较大，对混凝土的需求量增加；（2）结构延性差，容易造成脆性冲切破坏；（3）人防区若位于地下二层，中楼板上的集水井对结构净高有影响，此时板柱结构优势易丧失；（4）施工周期长，现浇无梁楼盖施工需要逐层进行，每一层浇筑都需要一定的时间，因此施工周期较长；（5）根据《人民防空地下室设计规范》^[1]附录D3.1、3.2规定，无梁楼盖的板内纵向受力钢筋的配筋率不应小于0.3%和 $0.45f_{td}/f_{yd}$ 中的较大值，且支座被截断的钢筋截面面积不应超过顶层受力钢筋总截面面积的1/3，即

附加筋不超通常筋的一半，从而导致顶层通常筋配筋率大于0.3%，含钢量较大。因此在层高满足使用要求前提下，人防工程不推荐采用无梁楼盖^[4]形式。

同时，近些年国内多地发生地库无梁楼盖坍塌事故，从事故产生的原因分析，主要是设计时板柱冲切强度不足、不平衡弯矩考虑不足，施工和使用中存在超载等原因造成的。各地对无梁楼盖结构项目审批也加强了监管，如邯郸市建设局规定：如采用无梁楼盖结构，除满足相关规范和住建部有关规定外，设计方案须经三人以上省级专家进行论证后方可实施。

3 工程实例分析

3.1 工程概况

该项目位于上海市浦东新区临港新城，为甲类附建式人防工程，抗力级别为核6级常6级。工程为大底盘地下车库+高层住宅形式，单层地下室，人防建筑面积为2.4万m²，框架结构，设计使用年限50年，结构层高为4.0m，车库顶板覆土1.5m，根据建筑功能，地下车库采用8.4m×8.4m柱网，柱截面为600mm×600mm。该项目抗震基本参数、工程材料及荷载见以下列表：

表1 工程抗震基本参数^[2]

抗震设防烈度	设计基本地震加速度	设计地震分组	场地类别	特征周期	抗震等级
7度	0.10g	第二组	Ⅳ类	0.90s	三级

表2 工程材料和荷载

混凝土等级	纵筋、箍筋	恒载 (kN/m ²)	活载 (kN/m ²)	人防等效静载 (kN/m ²)
C35	HRB400	27	5.0	70.0

3.2 各方案主要构件参数

由于是全埋式地下室，地震力与风荷载对结构顶板影响较小，故不作考虑，仅考虑竖向荷载^[3]；甲类核6级常6级人防地下室，消防车荷载和人防荷载工况同为塑性计算且不同时组合，人防等效静载取

值远大于消防车荷载，在中大跨板块中人防工况依然起控制作用，所以本文竖向荷载暂不考虑消防车荷载。

采用YJK6.1.0按长、宽方向各取5跨进行计算，虽与小区车库真实情况略有出入，但仅从方案的合理性比较，其结果是一致的。本文采用三种方案进行对比，其构件截面尺寸见表3：

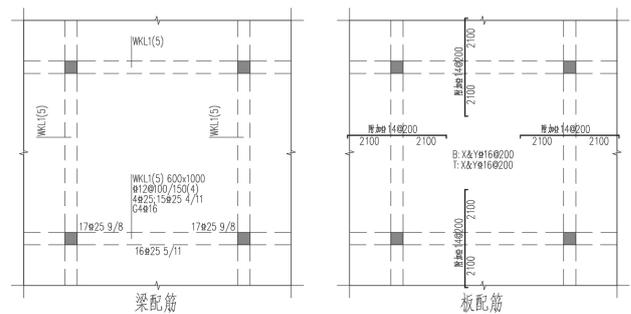
表3 构件截面尺寸(mm)

编号	板厚	主梁截面	次梁截面	柱截面
方案A	350	600×1000	--	600×600
方案B	250	600×1050	400×800	600×600
方案C	250	600×1300 (Y向) 400×900 (X向)	400×900	600×600

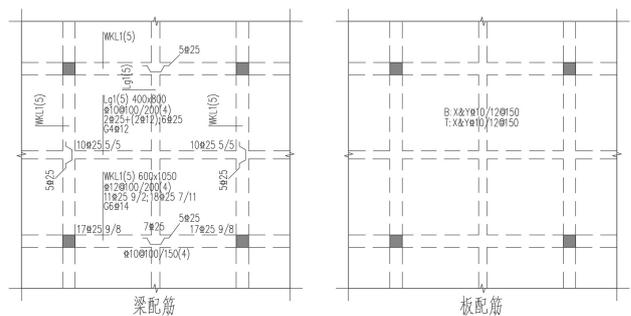
注：上海市审查要求人防结构顶部最小厚度为250mm。

3.3 各方案顶板配筋对比

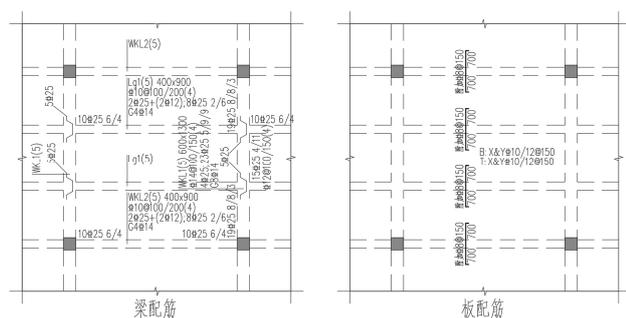
经计算分析，各方案顶板构件配筋如图1，各方案的梁板构件混凝土用量、钢筋用量、模板用量，详见表4。



(a) 方案A



(b) 方案B



(c) 方案C

图1 人防顶板梁、板配筋图

表4 各方案工程量指标

编号	混凝土 (m ³ /m ²)	用钢量 (kg/m ²)	模板 (m ² /m ²)
方案A	0.446	83.78	1.287
方案B	0.419	91.86	1.566
方案C	0.415	86.40	1.639

注：以上数据均不考虑材料损耗因素。

综上对比分析,人防地库顶板采用方案A大板结构最为合理,模板周转便捷,能够有效缩短施工工期,同时梁下净高占优,便于设备管线布置。方案B、方案C带次梁楼盖,综合性相对较差,施工周期长,其中方案C中Y向主梁梁高达到1300mm,如基础埋深受限,则需要该方

向主梁上翻,不仅影响结构受力,对顶板防水施工也造成不便。

4 结束语

随着我国人民防空事业的不断发展,人防工程的建设将越来越多,其结构形式也更加多样化。在进行人防顶板楼盖选型时,需从多方面、多角度进行分析,不仅考虑楼盖本身的合理性,还需对地下室层高变化引起的工期变化等因素进行综合分析。同时,人防结构和平时结构区别较大,在平时结构中应用广泛的大板加腋和无梁楼盖项目,则不建议人防工程采用该选型。大板无次梁方案有着受力明确,支模量最小,施工速度快,人工成本低,管线布置方便等优点,同时厚板方案有利于地下室抗浮设计,目前工程中应用较为广泛。

参考文献

- [1]人民防空地下室设计规范 GB 50038-2005 (2023年版) [S].北京:中国计划出版社,2023.
- [2]建筑抗震设计规范 GB50011-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [3]混凝土结构设计规范 GB50010-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [4]防空地下室结构设计(2007年合订本) FG01~05[S].