

核6级常6级人防地下室结构设计分析

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:现代住宅小区及公共建筑工程中一般会设有人防地下室,平时可作为车库或商业的往来场所,战时可作为有效保护人民生命财产安全的地下防护建筑物,因此地下室的人防结构设计显得非常关键。人防结构设计涉及顶板、外墙、门框墙以及底板设计等多方面的内容。常见问题有:顶板最小厚度取值、顶板有无采用抗渗混凝土、防护密闭门上挡梁的设置、外墙水平施工缝留置高度不满足要求、底板人防荷载取值、墙体最小配筋率、后浇带穿越人防口部等问题。对上述问题了解清楚后,才能不断提高人防结构设计水平。

关键词:人防地下室;防护密闭门;后浇带;结构设计

Structural Design Analysis of Nuclear Level 6 and Normal Level 6 Civil Air Defense Basement

Liu Shiqing

Tongji University Architectural Design and Research Institute (Group) Co., LTD. Shanghai 200082

Abstract: Modern residential areas and public building projects generally have civil air defense basements, which can be used as garages or commercial places in peacetime, and can be used as underground protective buildings to effectively protect the safety of people's lives and property in wartime, so the design of the civil air defense structure of the basement is very critical. Civil air defense structure design involves roof, exterior wall, door frame wall and floor design. Common problems include: the minimum thickness of the roof plate, whether the roof plate is made of impermeable concrete, the setting of the upper retaining beam of the protective closed door, the retention height of the horizontal construction joint of the outer wall does not meet the requirements, the value of the civil air defense load of the floor plate, the minimum reinforcement rate of the wall, and the post-pouring belt passing through the human air defense port. After a clear understanding of the above problems, we can continuously improve the level of civil air defense structure design.

Key words: civil air defense basement; airtight blast door; post-cast tape; structural design

1 前言

近几年俄乌冲突爆发、台海局势紧张都表明当前国际形势复杂多变,和平时随可能受到战争威胁。在此情形下,人民防空地下室作为人防工程的重要组成部分,是战时供人员、车辆物资等掩蔽的重要场所,搞好人防工程建设具有重要战略意义。高水平设计是人防工程高质量建设的保证,但由于人防工程及其行业管理体制的特殊性,对于刚接触人防设计的从业人员,对规范和人防图集存在很多理解不到位的地方。本文结合作者多年人防地下室结构设计工作经验,对人防地下室的结构设计注意事项从顶板、墙体、底板等多方面进行概括性总结。

2 地下室结构设计主要内容

人防地下室结构设计包含战时与平时两种工况,其中战时工况须进行承载力极限状态下的计算,平时工况须进行

承载力极限状态下的计算和正常使用极限状态下的验算,其结构设计取包络。与普通地下室相比,人防地下室最重要特征就是具有承受爆炸动荷载的功能,需注意材料系数的提高和荷载组合分项系数的不同。设计过程中主要关注顶板、墙体、底板三方面的内容。

2.1 人防顶板设计

2.1.1 顶板最小板厚:

根据《人民防空地下室设计规范》^[1]第4.11.3条顶板结构构件最小厚度为200mm;另根据该规范第3.2.2条,战时室内有人员停留的防空地下室,其钢筋混凝土顶板最小防护厚度为250mm(顶板的防护厚度可计入顶板结构层上面的混凝土地面厚度),不满足最小防护厚度要求的顶板,应在其上面覆土,覆土的厚度不应小于防护厚度与顶板防护厚度之差的1.4倍,按此要求,即顶板结构板厚为200mm时,其顶板覆土

最少为70mm^[2]。因此,在以往工程中,当人防地下室位于地下二层及以下,或人防区域上部结构为剪力墙住宅(板跨较小),人防结构顶板厚度经常会取200mm。

根据住房和城乡建设部于2022年10月24日发布了一份公告,宣布《建筑与市政工程防水通用规范》成为国家标准,编号为GB55030-2022,并自2023年4月1日起开始实施,意味着该通用规范将成为强制性工程建设规范,所有相关条文必须严格执行。根据该规范第4.1.5条,防水混凝土结构厚度不应小于250mm,以及《人民防空地下室设计规范》^[1]第3.8.3条规定的上部建筑范围内的防空地下室顶板应采用防水混凝土。因此,附建式民防工程顶板混凝土虽然可能不直接和土体接触,为保证防空地下室的整体密闭性能,也应采用防水混凝土。

综上所述,人防地下室顶板结构厚度最小取250mm。以上只针对核6级常6级甲类人防工程分析,若为更高等级的人防工程,则需考虑有无上部建筑、城市海拔、剂量限值等因素综合分析。

2.1.2 顶板荷载

对于核6级常6级人防工程,顶板等效静荷载标准值通常由核武器爆炸动荷载控制。在确定顶板战时荷载时,首先要判断是否考虑上部建筑影响,当符合下列条件之一时,可考虑上部建筑对地面空气冲击波超压作用的影响:(1)当上部建筑层数不少于两层,其底层外墙为钢筋混凝土或砌体承重墙,且任何一面外墙墙面开孔面积不大于该墙面面积的50%;(2)上部为单层建筑,其承重外墙使用的材料和开孔比例符合相关规定,且屋顶为钢筋混凝土结构。举例说明,顶板覆土厚度 $h \leq 0.5\text{m}$ 时,考虑上部建筑影响的顶板荷载取 55kN/m^2 ,反之取 60kN/m^2 ;覆土厚度 $h > 0.5\text{m}$ 时,除上部建筑影响因素,还需结合顶板区格最大短边净跨因素根据人防规范^[1]表4.8.2进行取值。地下室顶板活荷载按通用规范通常取 5kN/m^2 ,若为广东项目,根据地方规定,首层楼面施工荷载不宜小于 10kN/m^2 。主要出入口若采用汽车坡道,人防地下室至坡道出入口所经疏散区域顶板则需进行加固设计。

2.1.3 梁体系布置

根据以往工程经济性对比分析,针对常见的纯地库区域人防工程,人防地下室顶板建议采用大板体系,仅结合人防墙布置少量次梁,战时工况下,人防楼板可按塑性计算,这样可以充分发挥顶板厚度的优势,同时施工便捷,模板工程量少,梁格范围内板下净高较高,机电布置灵活。框架梁截面高度可取柱跨的 $1/8 \sim 1/10$,梁受拉钢筋配筋率宜控制在1.5%左右,当大于1.5%时,受弯构件的延性比 $[\beta]$ 应满足下列公式:

$$[\beta] \leq 0.5 / (x / h_0) \quad (1)$$

$$x / h_0 = (\rho - \rho') f_{yd} / (\alpha_c f_{cd}) \quad (2)$$

式中:

x —混凝土受压区高度(mm);

h_0 —截面的有效高度(mm);

ρ 、 ρ' —纵向受拉钢筋及纵向受压钢筋配筋率;

f_{yd} —钢筋抗拉动力强度设计值(N/mm^2);

f_{cd} —混凝土轴心抗压动力强度设计值(N/mm^2);

α_c —系数,按人防规范表4.10.3取值。

针对地下室高低跨处梁,如图1,当高差 $\geq 500\text{mm}$ 时,梁侧需考虑冲击波影响,梁宽需满足人防顶板厚度要求,梁侧腰筋按扭筋进行设计,腰筋及箍筋配筋率均需满足人防规范^[1]4.11.7条最小配筋率要求。

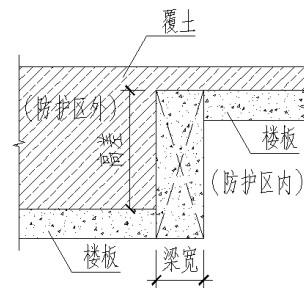


图1

2.2 外墙和门框墙设计:

地下室外墙一般按单向板设计,上部简支,下部固接,对顶板开洞较大区域导致墙顶形成的自由端需特别注意,例如楼梯间、坡道敞开端等,应按上部悬臂,下部固接设计。针对《防空地下室结构设计》^[3]P58页中外墙与底板连接大样(图2),笔者认为有待完善,外墙外侧纵筋锚入底板的长度 $\geq 1.5L_{aF}$,某些情况下不能满足外墙底部固接的要求。当底板厚度远大于外墙厚度时,该做法没有问题,此时底板可以平衡墙底负弯矩。当底板厚度接近外墙厚度时,建议外墙外侧钢筋在底板内的锚入长度应该更长,用来平衡底部弯矩,见图3做法。

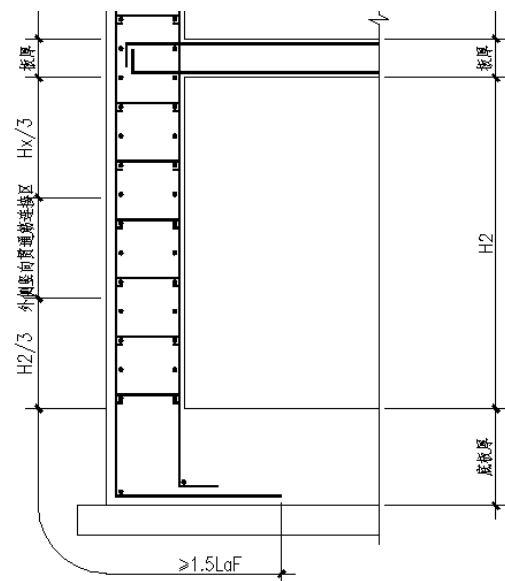


图2 人防外墙与底板连接大样

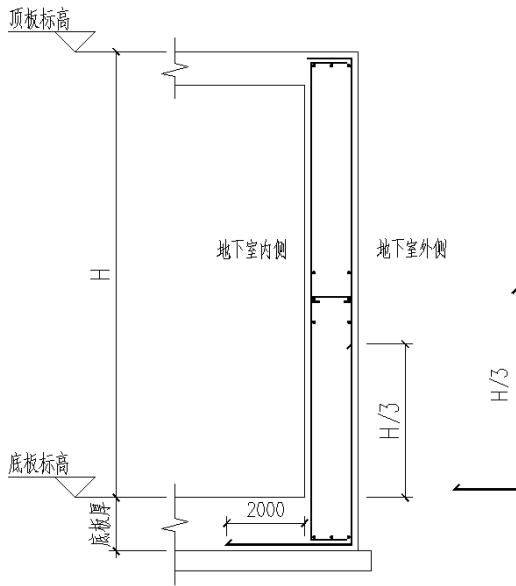


图3

2.2.1 外墙荷载

多数情况下外墙等效静荷载标准值由核武器爆炸动荷载控制,但有一种情况,顶板底面高出室外地面(上部建筑为砌体结构)的常6级防空地下室,其外墙在弹塑性工作阶段时,其等效静载标准值较核爆动大。除此之外,可根据《人民防空地下室设计规范》^[1]第4.8.3条是否考虑上部建筑影响、是否为饱和土进行查表取值。

2.2.2 外墙水平施工缝留设高度

根据《人民防空工程施工及验收规范》^[4]第6.4.16条:侧墙的水平施工缝应高出底板表面不小于500mm;当侧墙上有孔洞时,施工缝距孔洞边缘不宜小于300mm。这与普通地下室外墙水平施工缝设置在底板面上300mm不一致,而这条规定易被忽略,从而导致不满足人防验收要求。在结构施工中,完全不设缝是不可能的,而施工缝又易成为结构上的薄弱部位,因此施工缝应设在结构受剪力较小且便于施工的部位。为保证止水钢板在一个高度围合,建议外墙四周水平施工缝高度统一取底板面上500mm。

2.2.3 门框墙设计

根据《人民防空地下室设计规范》^[1]第4.10.12条:支承钢筋混凝土平板防护密闭门的门框墙,当门洞边墙体悬挑长度小于或等于1/2倍该边边长时,门框墙可按悬臂构件计算,当门洞边墙体悬挑长度大于1/2倍该边边长时,宜在门洞边设梁或柱,按四边支承的双向板进行计算。设计上挡梁或边柱时需注意以下问题:

- (1) 上挡梁位于通道外时,需确保上挡梁纵向钢筋在两侧墙体外的锚固要求,必要时可采取设置端柱等措施;
- (2) 上挡梁设置在通道内并凸出墙面时,应注意是否影响对应密闭门的正常开启;
- (3) 上挡梁设置在通道外并凸出墙面时,为保证防护密闭门顺利安装,上挡梁底距门框上边缘需预留250~300mm

的高度^[5];

(4) 上挡梁设计时,应尽量避开门框墙上方预埋的4~6根电气备用管或其它设备管线;

(5) 如将框架柱作为防护密闭门边柱时,需验算水平荷载下的框架柱纵筋及箍筋。

2.2.4 墙体配筋率

人防墙体混凝土等级通常为C35,单侧钢筋配筋率按0.25%考虑,塔楼剪力墙若兼作人防墙体,混凝土等级通常为高标号混凝土,这时应根据《人民防空地下室设计规范》^[1]第4.11.7条要求,人防墙体配筋率取0.3%或0.35%。

2.3 底板设计:

根据《人民防空地下室设计规范》^[1]第4.1.6条,人防工程在核武器爆炸动荷载作用下,应验算基础本身的强度(受弯、受剪、受冲切承载力等),可不验算地基承载力与地基变形。基础平面尺寸根据平时荷载组合作用计算确定,在核武器爆炸动荷载作用下可不进行验算。

2.3.1 底板荷载

(1) 带桩基防空地下室结构设计时,在非饱和土中,基础为端承型桩基时底板不考虑战时荷载,基础为摩擦性桩基时底板承担一部分地基反力,底板取值按《人民防空地下室设计规范》^[1]表4.8.15;在饱和土中,由于土中压缩波绕射效应客观存在,在端承型桩基和摩擦性桩基两种基础情况下,底板战时等效静荷载取值相同,且战时工况组合中应计入水压力。

(2) 基础为条形基础或独立柱基加防水板时,对核6级,底板上的战时等效静荷载标准值可取25kN/m²。

(3) 带桩基防空地下室结构设计中,桩本身强度应计入上部竖向荷载,也就是说,桩承担爆炸动荷载产生的竖向力;为抵抗水浮力设置的抗拔桩不属于基础受力构件,其底板等效静荷载标准值应按无桩基底板取值。

(4) 无桩基防空地下室底板,底板是结构基础构件的一部分,承担地基反力,在战时工况下需考虑剪切破坏和柱下冲切破坏,且需考虑上部建筑影响,底板等效静荷载标准值按《人民防空地下室设计规范》^[1]表4.8.5取值。进行荷载组合需注意当底板位于地下水位以下时,对于整体抗浮情况,当建筑物自重抗浮可以满足时,底板战时工况下的计算可不计入水压力;当建筑自重不足以抗浮,需要采取抗拔桩、抗拔锚杆等抗浮措施时,底板战时工况下的计算需要计入水压力。

(5) 针对常见的“CFG桩+筏板”基础,名称虽然是桩,但其实是一种地基基础处理方式,CFG桩本身不是一种可以完全独立承载的桩基基础形式,实际是在复合地基上的筏板基础,所以人防工程基础底板的荷载应按无桩基底板取值。

2.3.2 底板配筋率

底板混凝土等级通常为C35,通长筋最小配筋率可按0.25%考虑,如为无梁楼盖,根据《防空地下室结构设计》^[3]P69页无梁楼盖构造,底板反柱帽底层钢筋最小配筋率及底

板最小配筋率不应小于0.3%。另根据《人民防空地下室设计规范》^[1]第4.11.7条注5要求,对卧置于地基上的核6级甲类防空地下室结构底板,当其内力由平时荷载控制时,板中受拉钢筋最小配筋率可适当降低,但不应小于0.15%,注意此处结构底板仅为筏板基础(或箱型基础),对桩基(或独基)加防水板不适用。

2.3.3 拉结筋布置

根据《人民防空地下室设计规范》^[1]第4.11.11条要求,除截面内力由平时设计荷载控制,且受拉主筋配筋率小于表4.11.7规定的卧置于地基上的核6级甲类防空地下室,双面配筋的人防墙、板中应设置梅花形拉结筋,拉结筋长度应能拉住最外层受力钢筋且间距不大于500mm,如图4。

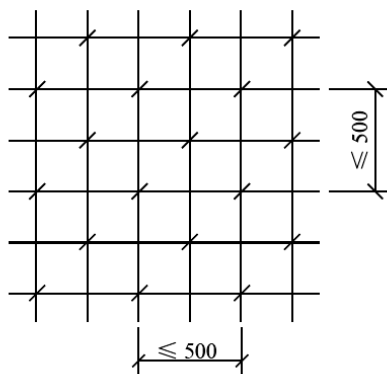


图4 拉结筋配置形式

2.3.4 后浇带布置

根据《人民防空工程施工及验收规范》^[4]第6.4.11条要求,工程口部、防护密闭段、采光井、水库、水封井、防毒井、防爆井等有防护密闭要求的部位,应一次整体浇筑混凝土,其目的是为保证人防工程的防护密闭性能。对于超长地下室结构,难免会设置后浇带,因此后浇带位置应避开上述部位,同时也不能穿越人防门框。另外,因塔吊、出料口需在人防顶板预留结构洞口时,预留洞应避开人防口部密闭段,按后浇带做法设加强筋,做好施工缝处理,以微膨胀混凝土浇筑,并宜增加一至两道外包防水层。

结束语:人防地下室因其功能特殊性,其结构设计与普通地下室有较大区别。如要做好人防结构设计,设计人员须对人防概念、相关规范、图集以及地方法规等有较深刻了解,并在以往工程中不断总结经验,方能提高设计水平,进而保证人防工程设计质量。

参考文献

- [1]人民防空地下室设计规范 GB 50038-2005[S].
- [2]林勇.人防地下室结构设计内容及常见问题之对策研究[J].四川水泥, 2022(12): 111-113.
- [3]防空地下室结构设计(2007年合订本) FG01~05[S].
- [4]人民防空工程施工及验收规范 GB 50134-2004[S].
- [5]张学深.人防地下室结构设计常见问题及应对措施探析[J].安徽建筑, 2021(10):81-82.