

高层建筑人防防护结构工程设计的分析

余立权

广东中人工程设计有限公司 广东 广州 510000

摘 要：在都市化高速推进的当下，高层建筑如雨后春笋般拔地而起，成为城市空间拓展的主要方式。本文聚焦高层建筑人防防护结构工程设计。先阐述其设计基础，接着详细分析设计要点，包括防护单元与抗爆单元在划分原则、面积标准及隔墙挡墙设置等方面，结构构件的顶板、侧墙、底板、门框墙与楼梯的设计要点，以及孔口防护的出入口、通风口与管道防护。还探讨了设计中常见的荷载取值失误、构造不合理、人防门设计安装问题等，并提出加强设计管理、借助先进技术软件及强化施工质量控制等解决策略，旨在提升高层建筑人防防护结构工程设计水平。

关键词：高层建筑；人防防护结构；工程设计；分析

引言：随着都市化进程加速，高层建筑日益增多。高层建筑不仅要满足日常使用功能，还需具备人防防护功能，以应对战争、灾害等突发情况。人防防护结构工程设计作为高层建筑安全保障的关键部分，其合理性和可靠性至关重要。然而，当前在设计过程中存在诸多问题影响着防护效果。深入研究高层建筑人防防护结构工程设计基础、要点，剖析常见问题并寻找解决策略，对提高建筑的安全性和防护能力，保障人民生命财产安全意义重大。

1 高层建筑人防防护结构工程设计基础

在高层建筑人防防护结构工程设计中，坚实的设计基础是确保防护功能得以有效实现的关键。（1）需对建筑结构知识有深入且全面的理解。高层建筑自身结构复杂，而人防防护结构需与之紧密结合，既要满足日常建筑的承载需求，又要在战时发挥防护作用。例如，要依据建筑的整体布局、高度、层数等因素，合理规划人防防护结构的位置与形式，使其不影响建筑主体结构稳定性，同时能抵御特定的外部冲击。（2）掌握人防防护原理是设计的核心要点。了解核武器、常规武器爆炸产生的冲击波、动荷载等对建筑结构的破坏机制，明确不同防护等级对应的防护要求。通过合理选用建筑材料，如具有高强度、良好抗冲击性能的混凝土和钢材等，来构建能有效吸收和分散能量的防护体系。（3）熟悉相关规范与标准不可或缺。国家针对人防工程制定了一系列严格规范，从防护等级划分到结构设计的具体参数，都有明确规定。设计人员必须严格遵循这些规范，确保设计方案符合安全性、可靠性要求，使高层建筑人防防护结构在关键时刻能够切实发挥应有的防护效能，为人员和物资提供可靠的安全保障^[1]。

2 高层建筑人防防护结构工程设计要点分析

2.1 防护单元与抗爆单元设计

2.1.1 划分原则与面积标准

防护单元与抗爆单元划分遵循严谨原则。功能独立性是核心，各防护单元需配备独立的通风、供电及给排水等系统。这意味着在战时，即便部分区域因遭受攻击受损，其他防护单元仍能维持基本运转，保障人员生存与设备运行。例如，人员掩蔽工程的防护单元，要确保内部人员生活与安全防护不受其他单元影响。防护等级也左右着划分，不同等级对应不同的防护强度需求，需据此调整单元规模与布局。面积标准有明确规定，对于人员掩蔽工程，防护单元建筑面积通常不宜超过2000平方米。若建筑内存在多个防护单元，必须用防护密闭隔墙相互隔开，以防止爆炸冲击在单元间蔓延。抗爆单元则针对防护单元内可能遭受局部爆炸冲击的情况设置，其面积一般不大于500平方米。

2.1.2 隔墙与挡墙设置要求

防护单元间的隔墙采用防护密闭隔墙，这是保障防护效果的关键。此类隔墙要满足对应防护等级的抗爆、密闭要求，多选用钢筋混凝土材质。其厚度依据防护等级确定，常见范围在200-300毫米，通过合理配置钢筋，增强墙体强度与抗裂性能。同时，墙体与周边结构的连接至关重要，需可靠锚固，避免冲击波从墙体缝隙侵入，破坏防护单元完整性。抗爆单元间设置抗爆隔墙，材料可选用厚度不小于120毫米的钢筋混凝土，或厚度不小于250毫米的砖砌体。这些材料具备一定抗冲击能力，能有效阻挡爆炸冲击在抗爆单元间传播。挡墙一般设置在出入口等关键位置，主要作用是抵御爆炸产生的飞散物及冲击波的侧向作用。挡墙高度与长度根据实际防护需求精确设计，材料同样要具备良好抗冲击性能，如采用高强度混凝土浇筑。

2.2 结构构件设计

2.2.1 顶板设计要点

高层建筑人防防护结构的顶板设计至关重要。首先,在材料选用上,多采用钢筋混凝土,因其具备良好的抗压与抗弯性能,能有效抵御冲击波与爆炸荷载。顶板厚度需依据防护等级、建筑跨度等因素精确计算确定,一般来说,对于常见防护等级,厚度在250-400毫米范围。在结构设计方面,要合理布置钢筋,保证顶板具备足够的承载能力与抗裂性能,通过增加构造钢筋等措施,防止在冲击作用下出现裂缝,影响防护效果。同时,顶板与梁、柱的连接构造必须牢固,确保力的有效传递,避免在战时因连接薄弱而导致结构破坏。

2.2.2 侧墙与底板设计

侧墙作为抵御侧向冲击波的关键构件,设计时要考虑其侧向承载能力。同样采用钢筋混凝土结构,墙厚根据防护等级有所不同,通常在200-350毫米。侧墙的配筋除满足静力计算要求外,还需重点考虑动荷载作用,合理配置水平与竖向钢筋,增强墙体抗剪与抗弯能力。底板设计除承受上部结构传来的荷载,还要应对地基反力及爆炸产生的向上作用力。底板厚度一般在300-500毫米,通过设置足够的受力钢筋与构造钢筋,保证底板在复杂受力状态下的稳定性,同时要做好底板与侧墙的连接节点设计,确保整体结构协同工作。

2.2.3 门框墙与楼梯设计

门框墙直接关系到人防门的安装与使用性能。其设计需满足抗爆、密闭及安装要求,多采用钢筋混凝土浇筑,厚度不小于300毫米。门框墙的配筋要针对门扇传来的集中力进行加强设计,保证门框墙在承受爆炸冲击时不发生破坏,确保人防门正常开启与关闭。楼梯作为战时人员疏散的重要通道,设计时要保证足够的宽度与疏散能力,楼梯踏步与栏杆应具备足够强度与稳定性,能承受人员紧急疏散时的冲击力。同时,楼梯间的墙体也要按照防护要求进行设计,防止冲击波与有毒气体进入,保障人员疏散安全。

2.3 孔口防护设计

2.3.1 出入口防护

出入口是人防工程的关键孔口部位,防护设计极为重要。首要措施是合理设置防护门,根据防护等级选用相应规格的防护密闭门与密闭门。防护密闭门需具备强大的抗爆能力,能有效阻挡冲击波与弹片,其门框与门扇的材质和制作工艺都有严格标准,安装时务必保证与门框墙紧密贴合,确保密闭性。在通道结构设计上,应设置缓冲段,长度与尺寸依据工程规模和防护要求确定,缓冲段可削弱冲击波的初始能量,减少对内部的冲

击。对通道的墙体和顶部进行加强设计,采用钢筋混凝土浇筑,增加配筋率,提高结构强度,防止在爆炸冲击下坍塌,为人员进出提供安全可靠的通道。

2.3.2 通风口与管道防护

通风口与管道是保障人防工程内部空气流通和设备运行的必要设施,但也是防护的薄弱环节。对于通风口,需安装防护设备,如防爆波活门,其能在爆炸瞬间自动关闭,阻挡冲击波进入通风系统。通风管应采用坚固的金属材质,壁厚满足抗冲击要求,且在穿越防护密闭墙处设置密闭翼环,确保管道与墙体之间的密封性,防止毒剂、生物战剂等通过缝隙进入。管道防护方面,各类管道在穿越不同防护区域时,都要做好密闭处理,对于给排水管道,设置防爆波阀门,在战时紧急关闭,防止管道因爆炸受损导致泄漏,影响工程内的正常使用和人员安全,通过全面且细致的防护设计,确保通风口与管道在战时既能维持基本功能,又能有效抵御外部冲击^[2]。

3 人防防护结构工程设计中常见问题与解决策略

3.1 设计中易出现的问题

3.1.1 荷载取值与计算失误

在人防防护结构工程设计里,荷载取值与计算的准确性直接关乎结构安全性。部分设计人员对核武器、常规武器爆炸产生的动荷载特性理解不透彻,取值时未能充分考虑实际防护等级下的最不利工况。比如,在确定冲击波超压时,未精准结合工程所在地区的设防要求及周边环境因素,导致取值偏差。计算过程中,一些复杂结构的力学模型建立不合理,忽略了结构构件间的协同工作效应,像框架结构中梁、板、柱在爆炸荷载下的相互影响。

3.1.2 构造设计不合理

构造设计是保障人防防护结构整体性能的重要环节,然而常出现不合理之处。在节点连接设计上,钢筋锚固长度不足,导致构件间传力不畅,在爆炸冲击下易发生节点破坏,影响结构整体性。防护密闭墙的构造筋配置不规范,数量或间距不符合规范要求,削弱了墙体的抗裂与抗剪能力。部分工程中,变形缝设置位置不当,未充分考虑结构在动荷载作用下的变形需求,引发结构裂缝甚至破坏。对于一些特殊部位,如通风竖井与主体结构连接部位,构造措施缺失或不完善,无法有效抵御冲击波沿竖井传播对主体结构的影响,降低了防护结构的防护效能。

3.1.3 人防门设计与安装问题

人防门作为重要防护设备,其设计与安装问题频发。设计时,所选人防门型号与防护等级不匹配,无法

满足实际抗爆、密闭要求。门扇尺寸与门框尺寸偏差较大,导致安装后密封不严,战时无法有效阻挡冲击波与毒剂。一些设计对人防门的开启方式和开启空间考虑不周,影响人员疏散效率。安装环节同样存在诸多问题,门框安装不垂直,致使门扇关闭困难,长期使用还可能损坏门框与门扇。密封胶条安装质量差,老化快,无法保证密闭性能。此外,人防门的调试工作不到位,门锁、铰页等配件运转不灵活,关键时刻无法正常开启与关闭,严重威胁人防工程的防护功能。

3.2 解决策略

3.2.1 加强设计过程管理

建立完善的设计流程规范是首要任务。在项目启动初期,组织设计团队深入学习人防工程相关规范及工程所在地设防要求,针对不同防护等级制定详细的荷载取值清单,确保取值准确无误。在设计过程中,推行多轮次内部审核制度,每完成一阶段设计,安排不同专业设计师交叉审核。例如,结构设计师审核荷载取值与计算,建筑设计师把关构造设计合理性,针对发现的问题及时整改。同时,加强设计人员培训,定期邀请行业专家开展讲座,分享最新人防设计理念与实际工程案例,提升设计人员对动荷载特性及结构协同工作原理的理解。另外,设立设计进度跟踪机制,对关键设计节点进行监控,防止因赶工导致设计失误,通过全方位、全过程的管理,提升设计质量。

3.2.2 采用先进技术与软件辅助设计

积极引入先进的结构分析技术,如有限元分析方法,可对复杂人防防护结构进行精确模拟。在模拟核武器或常规武器爆炸场景时,能清晰呈现结构各部位的应力应变分布,帮助设计师优化力学模型,充分考虑构件间协同工作。选用专业的人防设计软件,这类软件内置丰富的荷载数据库,能依据工程实际自动匹配准确的荷载参数,减少人工取值误差。软件还具备智能检查功能,可对构造设计进行规范性检查,及时提醒设计师纠正构造筋配置不当等问题。利用BIM技术构建三维模型,

直观展示人防门等关键部件的安装位置与开启空间,提前发现设计冲突,优化设计方案。通过这些先进技术与软件的协同应用,提高设计效率与准确性,保障人防防护结构设计的科学性。

3.2.3 强化施工阶段质量控制

在施工前,组织施工人员进行技术交底,详细讲解人防防护结构施工要点与质量标准,特别是针对人防门安装、防护密闭墙浇筑等关键环节。对施工材料严格把控,每批钢筋、混凝土、人防门等材料进场时,进行全面质量检测,确保符合设计要求。在施工过程中,安排专业监理人员旁站监督,重点检查钢筋锚固长度、门框安装垂直度等构造与安装细节。对于隐蔽工程,如防护密闭墙钢筋绑扎、管道预埋等,在覆盖前进行专项验收,合格后方可进入下一工序。定期开展质量检查活动,对已完成部分进行抽检,发现质量问题立即整改,并对相关责任人进行处罚。施工完成后,对人防门等设备进行全面调试,确保门锁、铰页运转灵活,密封胶条密闭性良好,通过严格的施工质量控制,保证人防防护结构工程质量达标^[3]。

结束语

综上所述,高层建筑人防防护结构工程设计是一项复杂且关键的任务。从防护单元与抗爆单元的合理划分,到结构构件及孔口防护的精心设计,每个环节都紧密关联着建筑在战时的防护能力。尽管当前设计中存在荷载取值失误、构造不合理等问题,但通过加强设计管理、借助先进技术与软件,以及严格把控施工质量,可有效提升设计水平。

参考文献

- [1]樊洁.高层建筑人防工程结构设计要点分析[J].四川水泥,2022(04):175-177.
- [2]吴荣先.高层建筑的人防工程结构设计策略探究[J].中国建筑装饰装修,2022(06):106-108.
- [3]徐飞元.高层建筑的人防工程结构设计研究[J].智能城市,2021,7(12):153-154.