

地下人防工程结构设计要点分析

吴天龙

广西南宁人防可研设计院有限公司 广西 南宁 530000

摘 要：地下人防工程结构设计至关重要，关乎工程防护效能、安全稳定、平战转换及经济性。设计需考虑防护性能、结构安全稳定、平战功能转换等核心要素，把握荷载与内力分析、构件设计、节点与构造设计等要点。保障设计质量，要严格遵循规范标准，加强地质勘察与方案论证，注重与建筑、通风、给排水等多专业协同设计，利用BIM技术提升精准度，确保设计意图精准落实。

关键词：地下人防工程；结构设计；要点分析

引言：地下人防工程作为战时保障人员生命安全与物资储备的关键设施，其结构设计意义重大，不仅关乎工程自身防护效能、安全稳定与耐久性，还影响平战功能转换及经济性。在设计中，需综合考量防护性能、结构安全稳定、平战功能转换等核心要素，精准把握荷载与内力分析、构件设计、节点与构造设计等具体要点。为保障设计质量，需严格遵循设计规范与标准，加强地质勘察与方案论证，并注重与其他专业协同设计。本文将围绕这些方面展开深入探讨，为地下人防工程结构设计提供专业参考。

1 地下人防工程结构设计的重要性

地下人防工程结构设计在工程建设领域占据着举足轻重的地位，其重要性体现在多个关键方面。（1）从防护效能来看，结构设计是地下人防工程抵御战时极端破坏的核心要素。战时，核武器与常规武器爆炸产生的冲击波和碎片冲击，会形成巨大且复杂的荷载。结构设计的合理性直接决定了工程能否在这类极端荷载下保持完整，是保障内部人员生命安全和物资安全的核心防线。一旦结构设计存在缺陷，工程在爆炸冲击下极有可能出现坍塌、过度变形等严重问题，进而丧失防护功能，造成不可挽回的损失。（2）在保障工程安全稳定与耐久性方面，结构设计同样至关重要。地下人防工程多处于地质条件复杂的环境中，需承受土压力、水压力、结构自重以及使用过程中的各类荷载。合理的结构设计能够通过科学的力学分析和计算，精准分配和传递这些荷载，确保工程在长期使用过程中保持稳定，避免出现裂缝、渗漏等影响结构安全的病害。同时，精心设计的结构还能提高工程的抗腐蚀、抗渗性能，增强其对恶劣环境的适应能力，从而延长工程的使用寿命，满足长期战备和平时使用的双重需求。（3）结构设计还深刻影响着平战功能的有效转换。如今，许多地下人防工程采用平战

结合的设计模式，平时作为地下车库、商场、仓库等民用设施，战时则迅速转换为人员掩蔽所或物资储备库。这就要求结构设计在满足战时严格防护要求的前提下，充分考虑平时使用的便利性和舒适性，合理规划空间布局、保证足够的净空高度等，同时确保战时转换过程简便、快速，且不影响防护效能。（4）优化的结构设计还能在保证防护性能和安全的基础上，合理选用材料、优化构件尺寸，有效减少工程投资和后期维护成本，实现战备效益与经济效益的有机统一^[1]。

2 地下人防工程结构设计需考虑的核心要素

2.1 防护性能

防护性能是地下人防工程结构设计的首要核心要素，包括对爆炸冲击波、常规武器碎片、核辐射、生化武器等的防护能力。针对不同防护等级的工程，需根据相应的设计规范确定抵御爆炸荷载的强度和范围。（1）对于爆炸冲击波，结构设计需考虑其超压、动压和作用时间，确保结构构件能承受冲击荷载产生的内力，避免出现脆性破坏。同时，需设置防爆门、密闭门等防护设备，防止冲击波和有毒气体进入工程内部。对于常规武器碎片，结构的顶板、墙板等需具备足够的厚度和强度，抵御碎片的穿透作用。（2）防护性能还包括工程的密闭性和抗渗性，通过合理的构造设计（如防水套管、密闭肋等），防止雨水、地下水及有毒气体渗入，保障内部环境安全。

2.2 结构安全与稳定

结构安全与稳定是地下人防工程正常发挥作用的基础，需考虑各种荷载作用下结构的承载能力、变形控制和整体稳定性。（1）荷载类型包括恒荷载（结构自重、覆土重量等）、活荷载（战时人员和物资荷载、平时使用荷载等）、偶然荷载（爆炸荷载、地震荷载等）及水土压力等。（2）结构设计需通过合理的结构形式（如箱

形结构、框架结构等)和构件布置,将荷载安全传递至地基,确保结构在各种荷载组合作用下不发生失稳、倒塌等破坏。同时,需控制结构的变形,避免因变形过大导致防护设备失效、管线断裂等问题,影响工程的使用功能。(3)地基处理也是保障结构安全的重要环节,需根据地质条件选择合适的基础形式(如筏板基础、桩基等),确保地基承载力满足要求,减少不均匀沉降对结构的影响^[2]。

2.3 平战功能转换

平战功能转换是现代地下人防工程结构设计的重要考量,旨在提高工程的综合利用率。设计需在满足战时防护要求的前提下,为平时使用功能创造条件,同时确保战时能快速转换为防护状态。(1)在空间布局设计上,战时的掩蔽单元、通道与平时的车位、商铺等功能区域需统筹规划,避免冲突。例如,平时作为车库的区域,战时通过增设隔断、防护设备等转换为掩蔽所,结构设计需预留设备安装位置和荷载条件。(2)结构构件设计需兼顾平战荷载差异,如平时使用的活荷载较小,而战时人员和物资荷载较大,设计时需按战时荷载控制构件强度,同时在构造上适应平时使用的灵活性。此外,需设计简便的转换措施,如可拆卸的隔墙、临时封堵的洞口等,确保转换过程高效、可靠。

3 地下人防工程结构设计的具体要点

3.1 荷载与内力分析

荷载与内力分析作为结构设计的基石,其精准性直接关系到工程的安全性与可靠性,因此必须对各类荷载进行详尽计算与合理组合。(1)在地下人防工程中,爆炸荷载作为其特有的关键性荷载,其计算过程尤为复杂。需依据工程的防护等级、预期武器类型及爆炸距离等核心参数,精确确定冲击波的超压峰值、正压作用时间等关键指标,并采用动力分析方法,如等效静荷载法或动力时程分析法,对结构构件的内力进行深入剖析。(2)针对常规武器爆炸荷载,需特别考虑直接命中及近距离爆炸的极端情况,细致评估碎片冲击荷载对结构造成的局部破坏效应。同时,水土压力的计算亦不容忽视,需紧密结合工程的埋深、地质条件及地下水状况,选用朗肯土压力理论或库仑土压力理论等适宜的计算模型,以准确测定侧向压力值。(3)在荷载组合方面,必须严格遵循相关规范要求,明确区分战时与平时的荷载组合情形。战时荷载组合以爆炸荷载为主导,辅以恒荷载、活荷载等;而平时荷载组合则主要考虑常规恒荷载、活荷载及水土压力。通过科学合理的荷载组合,确保结构在各种极端与常规工况下均能满足安全要求。

3.2 构件设计

构件设计作为地下人防工程结构安全的关键环节,必须严格依据内力分析结果,确保顶板、墙板、底板、柱等核心构件具备足够的强度、刚度及延性,以抵御各类荷载作用。(1)在材料选用上,混凝土强度等级应不低于C30,以保证结构的抗压性能;钢筋则宜采用HRB400级及以上强度等级,以满足抗爆及耐久性要求。(2)顶板设计需综合考虑覆土重量、爆炸荷载及日常使用荷载,根据具体工况选用单向板或双向板结构,板厚依据跨度和荷载大小确定,一般不应小于250mm。同时,受力钢筋的配置需确保足够的配筋率,且分布均匀,防止塑性铰集中形成,影响结构整体性能。(3)墙板设计需重点承受侧向爆炸荷载及水土压力,采用双面配筋方式,钢筋间距需合理控制,以有效限制裂缝宽度。对于防爆墙、密闭墙等特殊墙体,还需通过提高抗剪强度、增强整体性等措施,必要时增设扶壁柱或暗梁,以提升其抗爆能力。(4)底板设计需满足抗压、抗浮双重要求,当地下水位较高时,必须进行抗浮验算,并采取增加配重、设置抗浮桩等有效措施。柱的设计则需确保在轴向力和弯矩共同作用下的承载能力,采用对称配筋,提高延性,以适应爆炸荷载的动力效应^[3]。

3.3 节点与构造设计

节点与构造设计作为保障结构整体性与防护效能的核心环节,必须对构件连接部位、防护设备安装部位以及管线穿越部位等关键区域的构造处理予以高度重视。(1)在构件连接节点方面,诸如墙板与顶板、墙板与底板的连接处,需确保实现刚性连接。可采用钢筋锚固、预埋件连接等可靠方式,保障力的有效传递。节点处钢筋的锚固长度必须严格满足规范要求,且不宜少于30d(d为钢筋直径),在必要时还应设置附加钢筋进行加强,以增强节点承载能力。(2)防爆门、密闭门的门框墙设计要与门的型号精准匹配,其厚度和配筋需依据门的尺寸及爆炸荷载计算结果合理确定,确保门框与墙体连接稳固,防止在爆炸荷载作用下出现变形或破坏。同时,门框周边应设置密闭肋,有效提升气密性。(3)当管线穿越人防墙体时,要设置刚性防水套管或密闭套管,套管与管线间的间隙用防火密封材料填充密实,保证不影响墙体的防护与密闭性能。对于通风、给排水等专业预留的孔洞,需在设计中明确其位置与尺寸,并采取针对性防护措施。此外,通过合理设置伸缩缝、沉降缝,优化混凝土配合比,加强养护等手段,有效控制结构裂缝,确保结构的抗渗性与耐久性。

4 保障地下人防工程结构设计质量的措施

4.1 严格遵循设计规范与标准

地下人防工程结构设计专业性强、规范性要求高，是保障工程防护效能与人员安全的关键所在。因此，必须严格依照国家和地方颁布的相关设计规范、标准开展设计工作，如严格遵循《人民防空工程设计规范》GB 50225等权威文件，确保设计成果精准契合工程的防护等级要求以及严格的安全标准。设计人员要深入研读并熟练掌握规范中的强制性条文，涵盖防护等级的精准划分、荷载的科学计算方法、构件的最小尺寸规定以及材料的性能要求等关键内容，严禁随意降低设计标准。在设计过程中，应开展多方案比选，综合考量技术可行性、施工便捷性与经济合理性，选定最优方案。设计完成后，还需通过专业的人防工程施工图审查，对设计的合规性与安全性进行全面审核，只有审查通过的设计文件方可投入施工，从设计源头筑牢工程质量防线^[4]。

4.2 加强地质勘察与方案论证

地质勘察作为地下人防工程结构设计的基石，其精准性与全面性直接关乎后续设计的合理性与安全性。

(1) 需运用先进勘察技术，详细查明工程场地的地质构造特征、土层空间分布规律、地下水埋深状况及水质情况，同时摸清不良地质现象的分布与危害程度，为结构设计提供准确可靠的地质参数。(2) 勘察报告务必涵盖土的物理力学性质指标、地基承载力特征值、水土压力计算参数等核心信息。设计人员应以此为依据，审慎合理地选择基础形式与结构方案。针对复杂地质条件，如软土地基、岩溶地层等，需开展专项勘察与深入分析，制定切实有效的针对性处理措施。(3) 在设计初期阶段，要组织结构、岩土、防护等多领域专业人员开展方案论证。邀请权威专家对设计方案的可行性、安全性、经济性进行全面评估，着重论证结构形式、防护措施、抗浮方案等关键内容，确保最终方案科学合理、切实可行。

4.3 注重与其他专业的协同设计

地下人防工程结构设计是一个复杂的系统工程，需与建筑、通风、给排水、电气等多个专业紧密协同，以

保障各专业设计无缝衔接、协调统一，杜绝出现冲突与遗漏问题。(1) 在方案设计阶段，结构专业应主动与建筑专业密切配合，依据工程的防护等级和使用功能要求，共同确定科学合理的平面布局与空间尺寸，为通风、给排水、电气等专业的设备布置预留充足且适宜的空间。同时，与通风专业协同确定防爆波活门、扩散室等关键部件的位置和尺寸，保障通风系统具备可靠的防护性能；和给排水专业配合明确管线穿越墙体的位置，并制定有效的防护措施，防止影响结构的密闭性。(2) 采用先进的BIM技术开展协同设计，构建三维模型整合各专业信息，借助碰撞检测功能及时发现设计中的矛盾与问题，并迅速进行调整优化，提升设计的精准度与工作效率。此外，施工过程中设计人员要与施工单位保持密切沟通，及时解决现场与设计相关的问题，确保设计意图得以精准落实。

结束语

地下人防工程结构设计意义重大，关乎工程防护效能、安全稳定、平战功能转换及经济性等多方面。设计过程中，需精准把握防护性能、结构安全与稳定、平战功能转换等核心要素，落实荷载与内力分析、构件设计、节点与构造设计等具体要点。同时，要严格遵循设计规范与标准，加强地质勘察与方案论证，注重与其他专业协同设计，借助先进技术手段，提升设计质量与效率。唯有如此，才能确保地下人防工程结构设计科学合理，满足战时防护与平时使用需求，为保障人民生命财产安全、提升城市综合防护能力发挥关键作用。

参考文献

- [1]徐梦俊.地下室人防结构设计中的若干问题思考[J].居舍,2023(08):109-112.
- [2]杨烈生.地下室结构设计中关键技术问题探讨[J].中华建设,2020,(09):156-160.
- [3]徐梦俊.地下室人防结构设计中的若干问题思考[J].居舍,2023(08):109-112.
- [4]路承坤.人民防空结构设计中的常见问题与措施[J].工程技术研究,2021(4):207-208.