

建筑人防工程结构布局与设计探讨

张磊

广州市人防建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025100023

摘 要： 本研究围绕建筑人防工程结构布局与设计展开系统化研究。研究阶段，结合防护等级标准、城市安全需求，从重要性、原则、结构设计三维度切入，采取参数化设计、功能适配方法，重点研究人防工程整体结构、口部结构、通风滤毒系统与供电系统的结构适配、平战转换的空间结构设计等核心模块，完成合理划分抗爆与防护单元、构建“三级防护”口部结构体系，同时采用“双回路+应急电源”的冗余结构架构及弹性空间结构转换设计。期望本研究成果，可为我国建筑工程、相关部门提供借鉴价值，促进人防工程综合价值的提升，满足平时与战时功能需求。

关 键 词： 人防工程；结构布局；口部布局与设计；平战功能转换

Discussion on The Layout and Design of Civil Air Defense Engineering Structures in Buildings

Zhang Lei

Guangzhou Civil Air Defense Building Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This study focuses on the systematic research of the structural layout and design of building civil air defense engineering. In the research stage, based on the protection level standards and urban safety requirements, starting from the three-dimensional aspects of importance, principles, and structural design, parameterized design and functional adaptation methods are adopted to focus on the overall structure of civil air defense engineering, mouth structure, structural adaptation of ventilation and toxin filtration system and power supply system, spatial structure design for peacetime and wartime conversion, and other core modules. Reasonable division of anti explosion and protection units is completed, and a "three-level protection" mouth structure system is constructed. At the same time, a redundant structure architecture of "dual circuit+emergency power supply" and an elastic spatial structure conversion design are adopted. It is expected that the results of this research can provide reference value for China's construction engineering and related departments, promote the comprehensive value enhancement of civil air defense engineering, and meet the functional needs during peacetime and wartime.

Keywords： civil air defense engineering; structural layout; mouth layout and design; conversion of peacetime and wartime functions

建筑人防工程是兼具使用价值、防护价值的特殊建筑空间，其核心功能涵盖了平时利用与战时防护两大维度，在战争期间能够有效抵御常规武器、核武器以及生化武器袭击，为建筑内与周边人员提供安全隐蔽场所，并保证战备物资安全性^[1]。平日里可作为地下停车场、商业辅助空间以及应急避难场所，实现资源的高效利用。建筑人防工程的合理结构布局与设计，直接决定着工程的战时防护效能、建筑物整体功能发挥效果以及平战功能是否可以有机统一，因此，对建筑人防工程开展结构布局设计研究，对于工程的综合价值而言有重要的积极影响^[2]。

一、建筑人防工程布局与设计的重要性

作为城市安全防护体系及核心模块，建筑人防工程结构布局与设计直接关系到城市应对战争以及突发公共安全事件的能力，其价值可从战时防护、平时利用两个维度分析^[3]。如图1：

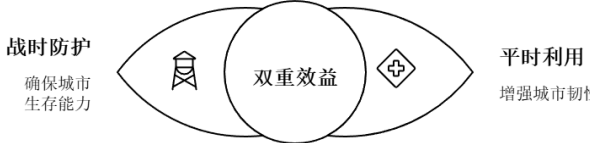


图1 人防工程部布局与设计重要性

作者简介：张磊（1981.07—），男，湖北十堰人，本科，中级工程师，研究方向：防护设计。

其一，战时防护维度下，合理的结构布局与设计是建筑人防工程基本效能发挥的根本前提。若人防工程结构布局未结合城市受袭风险等级、覆盖范围、人口密度等要素开展规划，易出现防护盲区或资源冗余，造成战时部分区域人员无法得到及时掩蔽或是集中区域因承载过载丧失防护功能。同时，若设计未达到防毒、抗爆、防辐射等标准，将直接削弱工程面对常规武器、特殊袭击的抵抗能力，难以保障掩蔽人员的生存安全^[4]。

其二，从平时利用角度分析，科学的结构布局与设计是实现工程资源高效利用、促进城市应急韧性提升的重要途径。如若结构布局脱离城市空间规划、民生需求，容易造成土地浪费、工程闲置。若设计期间忽略屏障结构的适配性，将导致工程平时难以融入城市的生活场景，无法承担应急避难所、地下停车场等角色^[5]。反之，优质的结构布局设计能够让工程在非战时有效服务民生，如发生洪涝、地震期间快速转化为应急保障措施，为城市的安全运行提供双维度保障。

二、建筑人防工程布局与设计原则

（一）合理划分抗爆与防护单元

抗爆与防护单元的结构划分，需要以工程防护的最大效能作为核心原则，充分考量建筑结构承载能力、防护需求，落实差异化科学分区。抗爆单元结构，应以抗爆压力等级为基准，通过合理设置抗爆隔墙、防护密闭门等结构构件将工程划分为独立受力区域，避免某一单元受袭后破坏范围快速扩散，保证工程整体结构稳定性。防护单元结构需要围绕战时的人员生存需求，按照掩蔽人数、功能需求来划分独立空间结构^[6]。每一个单元应配备独立的给排水、通风、滤毒以及应急供电系统的结构接口，保证单一单元功能出现故障期间对其他单元正常运转不会造成影响，实现“局部破坏、整体可用”的效果。

（二）满足战时要求

满足战时要求需要贯彻于人防工程的结构布局与设计全过程，重点聚焦于人员掩蔽、物资存储、应急保障三大核心需求的结构适配。空间结构布局维度，需要以人员疏散出口的结构位置与数量优化为核心，保证出口结构可避开受袭风险较高区域，且同地面疏散通道形成顺畅的结构衔接。功能设计维度，需要按照战时物资储备标准进行存储空间结构规划，确保物资存取的便捷性，同时一并强化通风、滤毒系统的结构抗干扰能力，确保在战争期间核生化、武器袭击等场景下可以为掩蔽人员提供持续性的清洁空气^[7]。

（三）实现平战功能高效转换

平战功能转换的高效性，依赖于结构布局与设计期间的弹性适配，旨在避免平战功能的割裂，造成战时功能失效或是日常资源闲置。空间结构布局，应灵活开展分区结构设计、设置可拆卸隔断结构，同时要高度明确转换操作的流程以及所需结构构件的存储位置，确保战争期间可以在规定时间内实现快速功能转换^[8]。

三、建筑人防工程结构布局与设计研究

（一）整体结构布局与设计

1. 整体结构选型

从整体结构选型分析，需要严格以工程防护等级如核5级、常6级以及场地地质条件来确认，材料优先使用钢筋混凝土剪力墙结构，确保结构整体的抗侧移刚度、抗爆性能，墙体厚度应符合对应防护等级的规范要求（核5级 $\geq 300\text{mm}$ 、常6级 $\geq 250\text{mm}$ ），梁柱截面尺寸需要通过抗爆动力验算来确认，确保抵御能力满足对应防护等级的冲击波压力要求（核5级 $\geq 0.2\text{MPa}$ 、常6级 $\geq 0.05\text{MPa}$ ）避免战争发生期间因结构冲击荷载发生局部坍塌问题。同时，结构布局需要按照规范进行，抗震缝设计应该符合抗震规范要求（通常 $\geq 70\text{mm}$ ），将工程有效划分为多个独立结构单元，避免地震或是爆炸荷载所引发的破坏在各个单元之间扩散，保障工程整体的抗损能力。

2. 抗爆与防护单元划分

对于抗爆单元与防护单元的结构划分，需要遵循“功能独立、局部抗损”原则，二者共同构成整体防护结构体系。其中，抗爆单元应采用符合规范要求厚度的钢筋混凝土墙体进行分隔（通常 $\geq 150\text{mm}$ ），隔墙同主体结构应采用刚性连接形式，且每个单元需要配备符合对应防护等级的防护密闭门（抗爆压力核5级 $\geq 0.15\text{MPa}$ 、常6级 $\geq 0.05\text{MPa}$ ），保证单一单元受袭工况下破坏范围仅控制于本单元内，不会对其他区域防护功能造成影响。防护单元结构布局需要按照掩蔽人数每单元 ≤ 800 人进行独立划分，每一个单元需要预留 ≥ 2 个以上的独立疏散出口结构，出入口间距 $\geq 15\text{m}$ ，避免因单一出口受损造成人员关键时刻无法快速疏散。

（二）口部布局与设计

1. 口部布局

口部作为建筑人防工程同外界衔接的唯一通道结构，往往是爆炸、冲击波、放射性物质、毒剂入侵的主要路径，因此结构布局与设计期间需要围绕抗爆、防毒、便捷疏散三大核心开展工作。布局层面，需优先避开高压管线、城市主干道、易燃易爆场所等易受袭区域，降低战争发生期间口部直接受损风险概率。单个防护单元口部结构数量需符合规范要求（至少2个），由出入口形成双向疏散通道结构，若工程埋深 $\geq 10\text{m}$ ，需要增设垂直升降口结构，同时配备符合对应防护等级的防爆电梯（抗爆压力核5级 $\geq 0.15\text{MPa}$ 、常6级 $\geq 0.05\text{MPa}$ ），设置倾斜式疏散梯结构，梯段宽度 $\geq 1.2\text{m}$ ，坡度 $\leq 30^\circ$ ，地面采用防滑材料，保证老弱群体亦可实现快速撤离，满足战时的人员疏散时效性需求。

2. 口部设计

口部结构设计期间，需要打造“3级防护结构体系”，有效阻隔外部威胁的侵入。第一道防护结构采用防护密闭门，使用符合对应防护等级的钢制双扇防护结构门（抗爆压力核5级 $\geq 0.15\text{MPa}$ 、常6级 $\geq 0.05\text{MPa}$ ），有效抵御冲击波的冲击。第二道防护结构为密闭门，气密性要求达到D级，漏风量 $\leq 5\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ，防止毒剂渗透，两道门之间需要设置防毒通道结构，

通道长度 $\geq 2.5\text{m}$ ，内部配备爆波活门以及洗消结构，人员进入工程前需要在通道内完全洗消，降低毒剂带入的风险。此外，通道口部需要配置扩散室结构，体积按照工程总体的1%~3%设计，内壁应采用多孔混凝土等吸能材料，通过能量反射与吸收来削弱冲击波能量。

（三）通风滤毒与供电系统结构布局与设计

通风滤毒系统的结构布局需适配清洁、滤毒、隔绝3种通风模式的快速切换，兼顾结构空间合理性与操作便捷性。其一，清洁通风模式的结构布局，主要应对外界无污染情况，风机安装位置需结合工程通风管道结构走向合理规划，风机风量按照 $\geq 3\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{h})$ 设计，进风端需要依次设置粗效过滤器、中效过滤器的安装结构，通过科学的结构布局确保送入工程内部的空气足够清洁。其二，滤毒通风模式的结构布局，主要应对外界染毒工况，过滤吸收器需按照“集中安装+就近通风”的结构原则布局，确保对糜烂性毒剂、神经性毒剂吸附效率达到99.9%，同时配套风机风压应符合系统阻力要求（通常 $\geq 1200\text{Pa}$ ）。在此结构布局中，需同步设置余压阀的安装结构，且安装高度与位置需结合工程内部气压平衡需求设计，维持工程内部的正压 $\geq 30\text{Pa}$ ，防止外部染毒空气

出现倒灌。其三，隔绝通风模式的结构布局，主要应对战时外部极端染毒场景，该模式下快速关闭同外界的空气交换结构通道，利用内部空气循环系统结构维持环境，每2小时进行1次换气，保证工程内部的CO₂浓度 $\leq 1.5\%$ ，确保人员基本呼吸需求^[9]。

供电系统的结构布局需采用“双回路+应急单元”的冗余结构架构，兼顾线路敷设安全性与设备安装空间的结构兼容性。常规供电回路从城市电网引电，使用专用电缆接入工程的结构线路，确保平时与战时常规用电需求。备用回路结构布局中，柴油发电机需安装在独立的发电机房结构空间内，发电机房的结构设计需具备隔音、散热功能，发电机功率需要按照总工程负荷的1.2~1.5倍配置（规范通用标准），预留一定的负荷余量。应急电源结构布局，选用铅酸蓄电池组，其安装结构位置需适配设备功耗要求（通常 $\geq 100\text{Ah}$ ），保障通风控制单元、通信设备以及应急照明系统的结构供电衔接。照明系统的结构布局，战时照明灯具需沿疏散通道、操作区域均匀分布安装，照明度应 $\geq 5\text{lx}$ ，满足人员疏散的需求，灯具安装高度 $\leq 2.5\text{m}$ ，保证光线能够充足覆盖疏散通道以及相关操作区域。表1为通风滤毒与供电系统的核心结构适配参数：

表1为通风滤毒与供电系统的核心技术参数

模块	关键参数	核心结构适配要求	战时保障指标
通风滤毒	风量 $\geq 3\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{h})$ ，风压 $\geq 800\text{Pa}$ ，噪声 $\leq 75\text{dB}$	清洁通风风机安装结构适配管道走向	连续运行 $\geq 72\text{h}$ ，故障概率 $\leq 1\%$ ，可手动/自动启停
	毒剂吸附效率 $\geq 99.9\%$ ，阻力 $\leq 800\text{Pa}$ ，外形尺寸 $\leq 800\text{mm}\times 500\text{mm}\times 300\text{mm}$	过滤吸收器集中安装结构布局	使用寿命 $\geq 30\text{天}$ ，耐温范围 $-30^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$ ，湿度适应 $\leq 95\%(\text{RH})$
	内部正压值符合规范要求（ $\geq 30\text{Pa}$ ），换气次数 $\geq 0.5\text{次/h}$ ，CO ₂ 脱除率 $\geq 80\%$	隔绝通风装置结构密封适配	维持时间 $\geq 15\text{天}$ ，室内温度 $\leq 30^\circ\text{C}$ ，氧气浓度 $\geq 19.5\%$
供电	功率=工程总负荷 $\times 1.2$ ，启动时间 $\leq 30\text{s}$ ，输出电压 $380\text{V}/220\text{V}$	柴油发电机房独立结构设计	连续供电 $\geq 72\text{h}$ ，油耗 $\leq 200\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ，过载能力 $120\% (1\text{h})$
	电压 220V ，容量 $\geq 100\text{Ah}$ ，充放电次数 $\geq 500\text{次}$ ，自放电率 $\leq 1\%/月$	应急蓄电池组安装结构适配	保障关键设备工作 $\geq 3\text{h}$ ，放电终止电压 $\geq 198\text{V}$ ，充电时间 $\leq 8\text{h}$
	照度 $\geq 5\text{lx}$ ，防护等级 $\text{IP}65$ ，色温 3000K （暖白光），功率 $\leq 10\text{W}/盏$	应急照明均匀分布结构布局	连续照明 $\geq 90\text{min}$ ，故障率 $\leq 0.5\%$ ，应急启动时间 $\leq 0.5\text{s}$

（四）平战功能转换结构布局与设计

平战功能转换的结构布局与设计，需要打造“弹性空间结构+标准化流程”体系，在确保平时使用便捷性基础上一并保障战时可以在规定时间内完成功能快速切换，实现“高效适配、平战结合”的目标。空间结构布局维度，应采用可拆卸式轻钢龙骨防火隔断结构，防火隔断厚度 $\geq 12\text{mm}$ ，耐火极限 $\geq 1.5\text{h}$ ，重量 $\leq 20\text{kg}/\text{m}^2$ 。平时隔断拆除后空间作为地下停车场或临时仓库、社区活动空间，提升工程平时利用效率。在战争发生期间，确保快速加装防护结构构件，将隔断更换为符合对应防护等级的抗爆隔墙（核5级 $\geq 0.15\text{MPa}$ 、常6级 $\geq 0.05\text{MPa}$ ），隔墙安装需与预设墙体连接件精准对接，配备气密性等级为D级的密闭门结构，将空间划分为多个独立掩蔽单元结构，每个单元人均掩蔽面积 $\geq 1.5\text{m}^2$ 。同时，在结构布局设计阶段预设的物资储备区域结构以及医疗救护角结构同步启用，储备区域需规划货架安装点位、防潮垫铺设空间的结构预留，满足战时人员生存以及应急救护需求。

结构布局与设计阶段，针对设施的转换需要预留结构接口与构件存储结构空间，降低战时转换的难度^[10]。其中，通风系统方面，平时通风风机结构布局需预留滤毒模块安装接口，在战争发生期间快速拆除普通风口，加装滤毒模块，切换为“滤毒通风”模式。照明系统电路结构布局设计期间，需保留应急照明电路结构，平日与普通照明线路共用线路结构。战时，一旦普通电源被切断，应急照明系统快速启动，照度 $\geq 5\text{lx}$ ，让光照覆盖疏散通道与关键操作区域。整个转换流程需要明确准备、安装、调试、验收四个环节的标准。第一，战前72h：准备阶段，安排专人进行结构构件清点，检查构件完好性以及齐全率。48h之内：安装阶段，严格按照图纸进行密闭门、抗爆隔墙、滤毒模块等结构构件安装，保证构件连接牢固。24h之内：调试阶段，严格测试通风供电、给排水系统的战时功能，如滤毒效率等，调试合格率要求 $\geq 95\%$ 。12h内：验收阶段，安排专业团队进行各系统结构指标检查，确认达标后出具验收报告，保证工程具备战时的使用条件^[4]。表2为建筑人防工程平战功能转换核心结构参数：

表2人防工程平战转换功能核心参数

转换类别	转换内容	关键技术要求	转换时间
空间转换	地下停车场→掩蔽单元（含隔墙安装、密闭门调试）	密闭门漏风量 $\leq 5\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ，掩蔽单元人均面积 $\geq 1.5\text{m}^2$ ，抗爆隔墙抗爆压力符合对应防护等级要求（核5级 $\geq 0.15\text{MPa}$ 、常6级 $\geq 0.05\text{MPa}$ ），	$\leq 48\text{h}$
设施转换	平时通风系统→滤毒通风系统（滤毒模块加装）	系统风压符合规范要求（通常 $\geq 1200\text{Pa}$ ），滤毒效率 $\geq 99.9\%$ ，无空气泄漏	$\leq 8\text{h}$
	普通照明系统→应急照明系统（自动切换）	连续照明时间 $\geq 90\text{min}$ ，应急照明照度 $\geq 5\text{lx}$ ，覆盖疏散通道与关键操作区	$\leq 0.5\text{h}$
	平时供水→应急储水（市政管网切断+手摇泵启用）	应急供水压力 $\geq 0.1\text{MPa}$ ，水质符合饮用水标准，无泄漏	$\leq 1\text{h}$
流程控制	平战转换全流程（准备-安装-调试-验收）	转换成功率 $\geq 98\%$ ，衔接误差 $\leq 2\text{h}$ ，验收合格率 $\geq 95\%$	$\leq 72\text{h}$

四、结束语

本研究系统化梳理了建筑人防工程结构布局、设计期间的关键内容，明确其重要性同时，确立了合理划分防护单元结构、满足战时防护结构要求、实现平战高效转换的结构适配三大原则，并提出各核心模块如整体结构、口部结构、通风滤毒与供电系统

的结构适配、平战转换的结构设计等具体结构布局与设计策略。本次研究成果可直接指导工程实践，提升人防工程建设的综合效能。未来研究，相关部门可进一步探索如何实现多场景下的防护结构参数动态优化，同时探究智能监测技术在工程结构运维中的应用，进一步推动人防工程向智慧化、高效化方向演进。

参考文献

[1] 马人杰. 建筑地下室人防结构设计常见问题解析及解决方案 [J]. 建筑与装饰, 2024(15):22-24.

[2] 蒋凤强, 张莹. 研究人防结构与抗震结构设计 [J]. 城市建筑与发展, 2024, 6(8).

[3] 沈冲. 地下室人防结构设计分析 [J]. 房地产导刊, 2023(5):84-86.

[4] 余佩泽. 高层住宅建筑人防工程结构设计及关键施工技术研究 [J]. 散装水泥, 2024(4): 121-123.

[5] 樊超, 黄洋, 李育枢. 基于钢板混凝土结构的装配式人防工程概念设计初探 [J]. 黑龙江科学, 2024, 16(20): 159-161.

[6] 邓鹏, 贺敏, 陈唯. 面向高层建筑的人防工程结构设计分析 [J]. 建筑技术开发, 2024, 51(10): 12-14.

[7] 阴云芳. 高层建筑下人防工程结构设计的探讨 [J]. 建筑·建材·装饰, 2024(24): 124-126.

[8] 杨俊维. 探讨高层建筑人防工程结构设计要点 [J]. 砖瓦世界, 2023(23): 31-33.

[9] 苏磊. 高层建筑人防工程结构设计要点研究 [J]. 建筑与装饰, 2023(11): 25-27.

[10] 刘和平, 杨振坤. 地铁人防工程结构简化设计方法研究 [J]. 工程建设与设计, 2023(17): 67-70.