

地下室人防工程结构检测探讨

刘少情

呼和浩特市四方工程质量检测试验有限公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘要：地下室人防工程作为兼具防护与民用功能的特殊建筑，其结构安全性直接关系到战时防护效能与平时使用安全。本文围绕地下室人防工程结构检测展开探讨，先分析工程结构特点与检测重要性，再系统阐述检测核心内容，涵盖混凝土结构、钢筋工程、防护设施及结构变形检测，最后梳理无损检测、半破损检测与现场荷载试验等常用方法。研究旨在为地下室人防工程结构检测实践提供清晰框架，助力保障工程结构耐久性与安全性，为工程维护及性能评估提供参考。

关键词：地下室；人防工程；结构检测

引言：地下室人防工程是城市防护体系的重要组成部分，承担着战时人员掩蔽、物资储备及防护反击等关键职能，同时在平时常作为地下车库、仓储空间等辅助民用设施，其结构性能需兼顾抗爆、抗震、密闭等多重要求。随着服役时间增长，工程易受环境侵蚀、荷载变化及施工遗留问题影响，出现混凝土劣化、钢筋锈蚀、防护设施失效等隐患，直接威胁结构安全与功能发挥。因此，开展科学、全面的地下室人防工程结构检测，及时发现并评估结构缺陷，对保障工程战时防护能力、延长使用寿命、规避安全风险具有重要现实意义。

1 地下室人防工程结构特点及检测重要性

1.1 结构特点

地下室人防工程结构具有显著特殊性，核心围绕抗爆抗震与密闭防护设计。其墙体、顶板、底板普遍采用大厚度钢筋混凝土浇筑，构件截面尺寸更大，配筋量远超普通地下室，以抵御战时冲击波、弹片冲击等瞬时强荷载。同时，结构设置多重密闭隔墙与防护单元，通过特殊密封构造实现防毒、防核辐射、防生化武器渗透的密闭性要求。此外，工程多位于地下深处，需承受更大土压力、水压力，结构节点（如门框墙、临空墙与主体连接部位）设计更为复杂，整体呈现“强防护、高刚度、高密闭性”特征，且部分构件需兼顾平时使用与战时防护的双重功能转换需求，结构体系较普通地下建筑更具特殊性。

1.2 检测重要性

地下室人防工程检测是保障其功能实现的关键环节。从战时角度看，若结构存在混凝土强度不足、钢筋锈蚀、防护门失效等问题，会直接导致抗爆能力下降，无法抵御敌方袭击，丧失人员掩蔽与物资保护功能，威胁生命财产安全；从平时角度，多数人防工程作为车

库、仓储空间使用，结构变形、构件损坏可能引发坍塌、渗漏等安全事故，影响民用功能正常发挥。此外，工程长期处于地下潮湿环境，易出现混凝土碳化、钢筋锈蚀等劣化问题，且隐蔽工程多，隐患难以及时发现^[1]。

2 地下室人防工程结构检测内容

2.1 混凝土结构检测

2.1.1 强度检测

混凝土强度是衡量结构抗爆、抗冲击能力的核心指标，检测需覆盖墙体、顶板、底板及门框墙等关键构件。常用方法包括回弹法与钻芯法：回弹法通过检测混凝土表面硬度推算强度，操作便捷且无损，适用于大面积初步筛查；钻芯法需钻取混凝土芯样进行实验室抗压试验，结果更精准，多用于回弹法检测结果存疑或重要构件验证。检测需重点关注受力集中部位（如梁端、柱节点），若强度低于设计值，会直接降低结构抗爆承载力，可能导致战时构件开裂、坍塌，需及时采取加固措施。

2.1.2 缺陷检测

混凝土缺陷主要包括裂缝、孔洞、蜂窝麻面等，多由施工振捣不密实、养护不当或后期环境侵蚀引发，需通过超声法、雷达探测法等手段检测。超声法利用声波传播速度与波形变化判断内部缺陷，可精准定位裂缝深度与范围；雷达探测法则适用于检测内部孔洞、疏松区域。裂缝需区分受力裂缝与非受力裂缝：受力裂缝（如横向贯通裂缝）可能导致结构承载力下降，非受力裂缝（如表面干缩裂缝）易加剧钢筋锈蚀，均需记录位置、长度、宽度，评估对结构安全性的影响。

2.1.3 碳化深度检测

混凝土碳化是空气中二氧化碳与水泥水化产物反应的过程，会降低混凝土碱度，破坏钢筋钝化膜，加速钢筋锈蚀，需采用酚酞试剂法检测。检测时在构件表面钻

取直径 15-20mm 的孔洞, 喷酚酞试剂后测量变色界面深度, 即为碳化深度。人防工程长期处于地下潮湿环境, 若碳化深度超过钢筋保护层厚度, 钢筋易锈蚀膨胀, 导致混凝土开裂、剥落, 削弱结构承载能力。检测需重点关注通风不良、湿度较高的区域 (如角落、密闭隔墙), 为判断混凝土耐久性、制定防锈措施提供依据。

2.2 钢筋工程检测

2.2.1 钢筋配置检测

钢筋配置检测需验证钢筋的数量、规格、间距及保护层厚度是否符合设计要求, 重点检测门框墙、临空墙、受力梁等关键部位。常用电磁感应法, 通过仪器发射电磁场, 根据钢筋对磁场的干扰信号, 推算钢筋位置、直径及保护层厚度; 对检测结果存疑处, 可结合局部凿开法验证。若钢筋数量不足、规格偏小或间距过大, 会导致结构抗剪、抗弯能力下降, 战时易出现构件断裂; 保护层厚度不足则加速钢筋锈蚀, 影响结构耐久性, 检测数据为结构安全评估与整改提供关键依据。

2.2.2 钢筋锈蚀检测

钢筋锈蚀会削弱截面面积、降低力学性能, 需通过外观检查与仪器检测结合的方式开展。外观检查观察混凝土表面是否有锈迹、裂缝或剥落, 初步判断锈蚀程度; 仪器检测常用极化电阻法, 通过测量钢筋与混凝土表面的电位差, 评估锈蚀可能性与速率。人防工程地下潮湿环境易导致钢筋锈蚀, 若锈蚀严重, 钢筋会膨胀使混凝土开裂, 形成“锈胀裂缝”, 进一步加剧锈蚀循环。检测需重点关注渗漏区域、碳化深度超标的构件, 根据锈蚀程度制定除锈、补筋或加固方案, 保障结构长期稳定。

2.3 防护设施检测

2.3.1 防护门、密闭门检测

检测需围绕门体结构、启闭性能与密闭性展开, 重点检查门体有无变形、锈蚀、破损, 门框与墙体连接是否牢固, 铰链、闭锁等五金件是否灵活可靠。启闭性能检测通过手动或电动操作, 验证门体开关是否顺畅, 有无卡滞现象; 密闭性检测采用压力测试法, 将门体关闭后向密闭空间充气, 监测气压下降速率, 判断密封胶条是否老化、密封间隙是否超标。若门体变形或密封失效, 会导致冲击波渗入、有毒气体泄漏, 丧失防护功能; 五金件损坏则影响门体正常启闭, 检测后需及时更换老化胶条、修复破损部件, 确保门体达到设计防护等级。

2.3.2 防爆波活门检测

检测聚焦抗爆性能、启闭灵活性与密闭性, 先外观检查活门叶片、门框有无裂纹、变形, 弹簧或液压启闭

机构是否完好。抗爆性能通过模拟冲击试验, 验证叶片在额定冲击波压力下能否正常关闭; 启闭检测需反复操作活门, 观察叶片开启角度是否达标、关闭是否到位; 密闭性检测采用漏光法或压力法, 检查叶片与门框贴合处是否存在缝隙。防爆波活门若失效, 会导致冲击波直接进入工程内部, 破坏结构与设备, 检测需重点关注活门密封面、启闭机构, 及时修复变形部件、更换损坏的弹性元件, 保障其抗爆与密闭功能。

2.4 结构变形检测

2.4.1 沉降观测

沉降观测需监测工程整体或局部垂直方向的位移, 重点关注底板、承重柱及防护单元交接部位。检测前需在工程周边设置稳定的基准点, 在结构关键位置布设观测点, 采用精密水准仪按规范周期 (如每季度 1 次) 测量, 计算观测点与基准点的高程差变化。若出现不均匀沉降, 会导致墙体开裂、防护门启闭困难, 严重时破坏结构受力体系, 降低抗爆能力。通过持续观测, 可分析沉降速率与稳定状态, 及时发现地基不均匀沉降隐患, 为地基加固或结构修复提供数据支撑。

2.4.2 倾斜检测

倾斜检测针对结构整体或构件的水平偏移, 主要检测墙体、立柱等竖向构件。常用方法有全站仪法与吊线锤法: 全站仪法通过测量构件顶部与底部的平面坐标差, 计算倾斜角度与位移量; 吊线锤法适用于小范围检测, 通过悬挂重锤观察锤线与构件表面的偏差。人防工程若出现倾斜, 会改变构件受力状态, 导致节点开裂、钢筋应力集中, 战时易因受力失衡引发坍塌。检测需重点关注临近基坑、地下水位变化区域的构件, 根据倾斜数据评估结构安全性, 制定纠偏或加固方案, 保障结构稳定^[2]。

3 地下室人防工程结构检测方法

3.1 无损检测方法

3.1.1 超声法

超声法利用超声波在材料中传播时遇到缺陷 (如裂缝、空洞) 产生反射、折射或散射的特性, 通过分析回波信号判断缺陷位置和大小。其穿透深度大、灵敏度高, 适用于混凝土内部缺陷检测, 如密实性、裂缝深度及混凝土与钢筋黏结状态评估。检测时需选择合适频率的探头, 确保与混凝土表面耦合良好, 通过分析反射波到达时间、幅度和波形定位缺陷。超声法设备轻便、操作安全, 但对复杂形状构件检测难度较大, 且需耦合剂辅助。实际应用中常结合地质雷达等技术提高准确性, 检测人员经验对结果解读至关重要。

3.1.2 回弹法

回弹法通过弹簧驱动重锤弹击混凝土表面,以回弹值(反弹距离与弹簧初始长度之比)推定混凝土强度。其原理基于混凝土表面硬度与抗压强度的相关性,属表面硬度法。检测时需在光滑原浆面上布置测区,每测区弹击16点,剔除最大最小值后计算平均回弹值,并结合碳化深度修正强度推定值。该方法设备简单、操作便捷、检测迅速,适用于快速筛查混凝土强度,但精度受操作方法、仪器性能、碳化深度等因素影响。根据《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23-2011),其检测龄期为7天1000天,不适用于表层与内部质量差异显著或特种工艺制作的混凝土。

3.1.3 电磁感应法

电磁感应法利用交变电磁场在导电材料中产生涡流,通过检测涡流变化判断缺陷位置和深度。其原理基于电磁感应定律,缺陷会改变涡流分布,形成可测量的信号变化。该方法适用于检测混凝土内部钢筋位置、保护层厚度及预埋件情况,具有非接触、快速、操作简便等优点。检测时需选择合适频率的感应线圈,对复杂结构或多层材料可采用多频率扫描提高准确性。电磁感应法对导电材料灵敏度高,但对非导电材料(如塑料、木材)无效,且受钢筋间距和混凝土骨料铁磁性物质影响,必要时需结合局部破损法(如钻孔)验证结果。

3.2 半破损检测方法

3.2.1 钻芯法

钻芯法是直接从地下室人防工程混凝土结构中钻取圆柱形芯样,通过实验室抗压试验测定混凝土实际强度的方法。其原理基于对实体芯样的力学性能测试,结果直观可靠,被视为混凝土强度检测的“标准方法”。检测时需使用专用钻机在结构表面钻取直径一般为100mm或150mm的芯样,加工后进行抗压试验。该方法能准确反映混凝土内部质量,可同时检测裂缝、离析、密实性等缺陷,但会对结构造成局部损伤,需进行修补。钻芯法适用于对回弹法等无损检测结果有疑问时的验证,或对重要结构部位强度的精确测定。操作中需严格控制钻芯位置、数量和深度,避免对结构安全产生不利影响,检测后应及时对芯孔进行填充修复。

3.2.2 拔出法

拔出法通过在混凝土表面安装预埋件或后装锚固件,施加拉力将其拔出,根据极限拔出力推定混凝土抗压强度。其原理基于混凝土与锚固件间的粘结强度与混

凝土抗压强度的相关性。该方法分为预埋拔出法和后装拔出法,前者需在浇筑混凝土时预埋锚固件,后者可在硬化混凝土上钻孔安装。拔出法兼具无损检测的便捷性和破损检测的准确性,对结构损伤较小,操作相对简单。检测时需选择合适的锚固件类型和尺寸,确保安装质量,均匀施加拔出力并记录极限值。其检测结果受混凝土骨料粒径、含水率等因素影响,需通过试验建立专用测强曲线。拔出法适用于现场快速测定混凝土强度,尤其适用于对结构安全性要求较高且不允许大面积破损的场合。

3.3 现场荷载试验方法

现场荷载试验通过在地下室人防工程结构上施加设计荷载或超载,观测结构变形和应力响应,评估其承载能力和使用性能。该方法直接反映结构在实际工作状态下的力学行为,结果真实可靠,是验证结构安全性的重要手段。试验前需制定详细方案,包括加载方式(如均布荷载、集中荷载)、加载分级、观测点布置等。加载过程中实时监测结构变形(如沉降、裂缝开展)、应变等参数,当结构达到设计荷载或出现明显变形时停止加载。通过分析荷载-变形曲线,判断结构是否满足设计要求。现场荷载试验适用于对重要结构或疑难问题的验证,但试验成本高、周期长,且可能对结构造成一定损伤,需谨慎使用^[1]。

结束语

地下室人防工程结构检测是保障其战时防护效能与平时使用安全的关键环节。本文对检测内容与方法进行了系统探讨,无损检测方法便捷高效,能快速筛查问题;半破损检测方法结果精准,可作关键验证;现场荷载试验则能直观反映结构实际承载能力。在实际检测中,需综合运用多种方法,相互补充印证。同时,检测人员要不断提升专业素养,严格遵循规范标准操作。

参考文献

- [1]吕雯.浅谈地下室建筑设计在人防工程中存在的问题[J].民营科技,2021(09):101.
- [2]黄晓惠.住宅小区地下室人防建筑设计初探[J].河南建材,2021(03):249-250.
- [3]刘飞,王辉明,晏麓晖,李欢秋.炸弹邻近爆炸对浅埋结构人防工程的毁伤效应[J].兵工学报,2021,42(03):625-632.