

A comparative application of the rebound Method and core drilling Method in the safety inspection of early civil air defense engineering structures

Hongqing Li

Yantai Civil Air Defense Command and Support Center, Yantai, Shandong, 264003, China

Abstract

This paper further compares the application of the rebound method and the core drilling method, with a focus on the safety inspection of early civil air defense engineering structures. This paper expounds the basic principles, operation procedures and data processing methods of the two approaches, and analyzes their advantages and disadvantages as well as application scenarios in the detection of civil air defense projects with examples. Studies show that the rebound method is simple to operate and highly efficient, but it is easily affected by various factors, resulting in limited accuracy. The core drilling method provides accurate and reliable detection results, which can directly reflect the internal condition of concrete. However, it causes damage to the structure and is relatively costly. In actual inspection, two methods should be reasonably selected or used in combination based on the specific circumstances of the civil air defense project to achieve an accurate assessment of the structural safety.

Keywords

Early civil air defense projects Structural safety inspection Rebound method; Core drilling method

早期人防工程结构安全性检测中回弹法与钻芯法的对比应用

李洪庆

烟台市人防指挥保障中心, 中国 · 山东 烟台 264003

摘 要

本文对回弹法与钻芯法的应用作进一步的对比, 本文重点放在早期人防工程结构安全性检测。阐述两种方法的基本原理、操作流程、数据处理方式, 并结合实例分析其在水防工程检测中的优缺点及应用场景。研究表明, 回弹法操作简便、效率高, 但易受多种因素影响导致精度受限; 钻芯法检测结果准确可靠, 能直观反映混凝土内部状况, 但对结构有损伤, 且成本较高。在实际检测中, 应根据人防工程的具体情况, 合理选用或联合使用两种方法, 实现对结构安全性的准确评估。

关键词

早期人防工程; 结构安全性检测; 回弹法; 钻芯法

1 引言

早期人防工程作为国防建设和城市防护体系的重要组成部分, 在使用了多年之后, 其结构安全性面临着许多挑战。混凝土是人防工程的主要建筑材料, 混凝土的强度决定结构承载力与结构稳定性。混凝土强度的准确检测, 对早期人防工程结构安全性的评价, 制定科学合理的维护加固方案具有重要意义。回弹法与钻芯法是混凝土强度检测的常用方法, 早期人防工程检测普遍应用。本文对这两种方法在早期人防工程结构安全性检测中的应用作以深入对比分析, 以期对检测工作提供参考依据^[1]。

2 回弹法与钻芯法基本原理

2.1 回弹法原理

回弹法就是在混凝土表面硬度与强度之间相关的基础上, 利用回弹仪弹击混凝土表面, 测出回弹仪弹击锤反弹的距离, 以回弹值作为与强度相关的指标, 推定混凝土强度的方法。回弹仪的弹击拉簧工作长度为 $61.5 \pm 0.3\text{mm}$, 弹击锤脱钩瞬间回弹仪的冲击能量应为 $2.207 \pm 0.100\text{J}$ ^[2]。当弹击锤撞击混凝土表面时, 混凝土表面产生塑性变形, 消耗部分能量, 剩余能量使弹击锤回弹, 回弹值的大小与混凝土表面硬度成正比, 而混凝土表面硬度又与混凝土强度存在一定的对应关系。测强曲线是通过大量的试验数据建立的, 可将回弹值换算为混凝土强度推定值。普通混凝土在常温、常态下回弹值与强度的关系近似可以用下面的经验公式表示:

$$f_{cu,i}^c = A e^{B \cdot R_m}$$

【作者简介】李洪庆 (1982-), 男, 中国山东聊城人, 本科, 工程师, 从事人防工程维护管理研究。

其中 $f_{cu,i}$ 为第 i 个测区混凝土强度推定值 (MPa), R_m 为测区平均回弹值, A、B 为与混凝土原材料、成型工艺等因素有关的系数, 通过试验确定。

2.2 钻芯法原理

钻芯法是利用专用混凝土钻芯机, 从混凝土结构或构件上钻取芯样, 按有关规定加工处理后, 在压力试验机上对芯样进行抗压试验, 根据芯样的抗压强度锚定结构混凝土强度的一种局部无损检测方法。芯样的抗压强度能直接反映所取部位混凝土的实际强度, 包括内部密实性等情况。芯样在压力作用下的破坏过程, 反映了混凝土内部骨料、水泥浆体及它们之间界面的力学性能。根据《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03:2007), 芯样混凝土抗压强度代表值

$f_{cu,c}$ 按下列公式计算:

$$f_{cu,c} = \frac{F}{A}$$

式中 F 为芯样抗压试验测得的破坏荷载 (N), A 为芯样的受压面积 (mm^2)。当同一构件内的芯样数量不少于 3 个时, 取其抗压强度代表值的平均值作为该构件混凝土强度推定值; 当芯样数量少于 3 个时, 其抗压强度代表值即为该构件混凝土强度推定值^[3]。

3 早期人防工程结构安全性检测中回弹法的应用

3.1 检测流程

在早期人防工程的混凝土结构表面, 均匀布置测区。每个构件的测区数量不宜少于 10 个, 对于某一方向尺寸小于 4.5m 且另一方向尺寸小于 0.3m 的构件, 其测区数量可适当减少, 但不应少于 5 个。测区应避免钢筋、预埋件等部位, 相邻两测区的净距不宜大于 2m, 测区面积不宜大于 0.04 m^2 。使用符合标准的回弹仪, 在每个测区的 16 个不同位置进行弹击, 弹击应垂直于混凝土测试面, 缓慢施压, 准确读数, 快速复位^[4]。剔除 3 个最大值和 3 个最小值, 取剩余 10 个回弹值的平均值作为该测区的平均回弹值。在每个测区回弹值测量完毕后, 在测区表面钻取直径约 15mm 的孔洞, 深度略大于混凝土碳化深度。清除孔洞中的粉末和碎屑, 不得用水冲洗。采用浓度为 1% 的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处, 当已碳化与未碳化界线清晰时, 用碳化深度测量仪测量已碳化与未碳化混凝土交界面到混凝土表面的垂直距离, 测量不应少于 3 次, 取其平均值作为该测区的碳化深度值。当碳化深度值极差大于 2.0mm 时, 应在每一测区分别测量碳化深度值^[5]。

3.2 数据处理与强度推定

根据测量得到的各测区平均回弹值 R_m 和碳化深度值 dm , 查专用测强曲线或地区测强曲线, 得到各测区混凝土强度换算值 $f_{cu,ic}$ 。当无专用测强曲线或地区测强曲线时, 可采用全国统一测强曲线, 但需进行修正。全国统一测强曲线的混凝土强度换算值 $f_{cu,t}$ 按下列公式计算: 当碳化深度值

$dm \leq 2.0\text{mm}$ 时,

$$f_{cu,i} = 0.025R_m^{1.952}e^{0.010dm}$$

当碳化深度值 $dm > 2.0\text{mm}$ 时,

$$f_{cu,i} = 0.010R_m^{2.579}$$

当该批构件的测区数 $n \geq 10$ 时, 该批构件混凝土强度推定值 $f_{cu,e}$ 按下列公式计算:

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}} - 1.645s_{f_{cu}}$$

其中 $m_{f_{cu}}$ 为该批构件测区混凝土强度换算值的平均值 (MPa), $s_{f_{cu}}$ 为该批构件测区混凝土强度换算值的标准差 (MPa)。当该批构件的测区数 $n < 10$ 时, 该批构件混凝土强度推定值 $f_{cu,e}$

按下列公式计算:

$$f_{cu,e} = \min \{f_{cu,t}\}$$

即取该批构件中最小的测区混凝土强度换算值作为强度推定值。

3.3 回弹法在早期人防工程检测中的优缺点

3.3.1 优点

检测过程无需复杂设备和专业技能, 检测人员可快速在现场完成大量测区的回弹值测量。仅在混凝土表面进行弹击, 对结构整体性能无影响, 适用于对既有结构进行大面积普查。所需设备简单, 检测费用相对较少, 能在一定程度上节约检测成本。

3.3.2 缺点

混凝土原材料的构成 (如水泥品种、骨料种类和粒径等)、成型工艺 (如振捣方式、模板材质等)、养护方法 (如养护温度、湿度等)、外加剂的种类和数量以及表面碳化深度、湿度、平整度、骨料分布等都会对检测结果造成影响, 导致检测精度受限。回弹法只能测量混凝土表面浅层 (约 3 ~ 5mm) 的强度, 无法判断混凝土内部缺陷 (如蜂窝、孔洞、裂缝等) 或深层强度, 对于内部质量存在问题的混凝土结构, 检测结果可能存在偏差。

4 早期人防工程结构安全性检测中钻芯法的应用

4.1 检测流程

根据早期人防工程结构特点和检测目的, 在混凝土结构或构件上选取有代表性的部位钻取芯样。优先选择受力较小的部位, 如梁的跨中、板的中部等, 同时应避免主筋、预埋件和管线等位置。每个构件的钻芯数量不少于 3 个, 对于较小构件, 钻芯数量可减少至 2 个。采用专用钻机, 配备合适的钻头 (一般为金刚石钻头), 在选定位置垂直于混凝土表面钻孔。钻孔过程中, 应控制好钻进速度和压力, 避免芯样受损。及时向钻孔内注水, 冷却钻头并排出碎屑。钻取的芯样长度应满足试验要求, 一般不宜小于芯样直径且不宜大于直径的 2 倍。取出芯样后, 对芯样进行切割、打磨, 使

其两端平整，与轴线垂直。芯样端面的平整度偏差不得大于0.1mm/100mm，芯样的垂直度偏差不得大于2°。当芯样高度与直径之比不符合1:1的要求时，应对芯样强度进行尺寸修正。将加工好的芯样放在压力试验机上，以规定的加载速度进行抗压试验。在试验过程中，密切观察芯样的变形情况，当芯样出现明显的破坏迹象时，记录下破坏荷载。

4.2 数据处理与强度推定

根据芯样抗压试验结果，计算芯样混凝土抗压强度代表值 $f_{cu,c}$ ，如前文公式

$$f_{cu,c} = \frac{F}{A}$$

所示。当同一构件内的芯样数量不少于3个时，取其抗压强度代表值的平均值作为该构件混凝土强度推定值；当芯样数量少于3个时，其抗压强度代表值即为该构件混凝土强度推定值。在进行强度推定值计算时，还需考虑芯样的尺寸修正系数。例如，对于直径为75mm的芯样，其尺寸修正系数一般取0.95。

4.3 应用案例分析

对上述同一早期人防工程地下室的混凝土墙体，采用钻芯法进行验证检测。在墙体不同位置钻取3个芯样，芯样编号分别为C1、C2、C3。芯样加工后，进行抗压试验，试验数据如表2所示。

表2 试验数据

芯样编号	芯样直径	芯样高度	破坏荷载	抗压强度代表值
	D (mm)	h (mm)	F (kN)	$f_{cu,c}$ (MPa)
C1	100	102	350	44.6
C2	100	100	330	41.9
C3	100	101	340	43.3

该构件混凝土强度推定值取3个芯样抗压强度代表值的平均值，即

$$f_{cu,e} = \frac{44.6+41.9+43.3}{3} = 43.3 \text{ MPa}$$

4.4 钻芯法在早期人防工程检测中的优缺点

4.4.1 优点

直接从混凝土结构中钻取芯样进行抗压试验，能真实反映所取部位混凝土的实际强度和内部质量情况，包括骨料分布、孔隙率、裂缝等，是混凝土强度检测的“金标准”，误差通常小于±10%。通过对芯样的观察，能直接发现混凝土内部存在的缺陷，为结构安全性评估提供直观依据。

4.4.2 缺点

钻芯过程会在混凝土结构上留下孔洞，对结构造成局部损伤，尤其是对重要构件或薄壁结构，可能影响结构的承载能力和耐久性，需进行修补处理。钻芯设备价格昂贵，检测过程中需要消耗钻头等材料，且芯样加工、运输和试验等环节也会增加成本。钻芯操作过程复杂，每个芯样的钻取、加工和试验都需要一定时间，不适用于大面积检测。

5 回弹法与钻芯法的对比分析

5.1 检测结果对比

通过上述同一早期人防工程地下室混凝土墙体的检测案例，回弹法得到的混凝土强度推定值为34.49MPa，钻芯法得到的混凝土强度推定值为43.3MPa。两者结果存在一定差异，主要原因是回弹法受混凝土表面状况等多种因素影响，且仅反映表面浅层强度；而钻芯法直接检测混凝土内部强度，更能真实反映混凝土的实际质量。

5.2 适用场景对比

适用于早期人防工程混凝土强度的初步筛查和大面积检测，对工程结构进行普查，快速了解混凝土强度的大致情况。对于表面质量较好、内部质量相对均匀且对检测精度要求不是特别高的结构，回弹法能发挥其操作简便、效率高的优势。适用于对回弹法检测结果有怀疑、结构处于复杂环境（如潮湿、高温、冻融等）、需对单个构件或局部区域的强度进行精确判定以及对混凝土内部质量有疑问时的验证检测。例如，当发现混凝土表面存在明显缺陷或怀疑内部有裂缝等情况时，钻芯法能提供准确的强度和内部质量信息。

6 结论

回弹法与钻芯法在早期人防工程结构安全性检测中各具特色。回弹法凭借操作简便、效率高、成本低且非破坏性的优势，适用于大面积初步筛查，能快速掌握混凝土强度的整体分布趋势，但受混凝土表面状况、碳化深度等多种因素影响，精度有限，仅能反映表面浅层强度。钻芯法虽对结构有一定损伤、成本较高且效率低，但其检测结果准确可靠，可直观呈现混凝土内部质量，是验证回弹法结果或精准判定局部区域强度的理想方法。两种方法的检测结果存在差异，如同一人防工程墙体检测中，回弹法推定强度为34.49MPa，钻芯法为43.3MPa，这源于两者检测原理和反映的混凝土强度层面不同。在早期人防工程结构安全性检测中，应科学选用检测方法。进行大面积普查时，优先采用回弹法快速获取整体强度信息；对回弹法结果存疑或需精准评估关键部位时，结合钻芯法验证。同时，注重两种方法的协同应用，建立数据关联模型，提升检测结果的可靠性。此外，检测过程中要严格遵循相关规范，确保操作规范，以保障检测数据的准确性，为早期人防工程的安全评估和维护加固提供有力支撑。

参考文献

- [1] 李健全,涂世云,吕瑾.某早期坑道式人防工程结构安全性评估[J].山西建筑,2022,48(16):56-59.
- [2] 吕程伟,吴立,李为,赵德军.早期人防工程普查及结构安全鉴定研究[J].建筑结构,2022,52(S1):2229-2232.
- [3] 孙海朋,刘乐.早期人防工程结构安全隐患治理技术研究[J].城市住宅,2017,24(05):125-128.
- [4] 张晓莉,徐立成,郎洪衣,李纪成,葛鹏,王凯峰.人防工程结构设计应注意的几个问题[J].辽宁建材,2008,(06):41-42.
- [5] 丛东.早期人防工程板系结构加固方法初探[J].国外建材科技,2004,(06):96-97.