文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4651 /（中图刊号）：860GL005

# 基于超声回弹综合法的既有建筑结构混凝土强度检测与可靠性评估

尚于勇
山西科汇工程质量检测有限公司
DOI:10.12238/btr.v8i4.4739

[摘　要] 既有建筑结构的安全和持久性关乎人民生命财产的安全和社会的稳定发展,而混凝土强度作为评判建筑结构性能的核心指标,对其开展精确检测并加以可靠性判断的重要性自不用多言。本论文着重以超声回弹综合法为研究重心,全面探析该种方式在针对既有建筑结构展开混凝土强度检测时存在的应用思维逻辑以及技术方面的要点。分析既有建筑结构混凝土强度检测与可靠性评估的工程意义和现实价值；梳理目前国内外该领域研究现状和技术壁垒,为既有建筑结构的可靠评估提供客观、精准的判定依据,进而为推动结构安全鉴定、加固改造等工作产生重要的参考价值。
[关键词] 超声回弹综合法；既有建筑结构混凝土；强度检测；可靠性
**中图分类号**：TV331　**文献标识码**：A

## Strength testing and reliability evaluation of existing building structure concrete based on ultrasonic rebound comprehensive method

Yuyong Shang
Shanxi Kehui Engineering Quality Inspection Co., Ltd.

[Abstract] The safety and durability of existing building structures are related to the safety of people's lives and property, as well as the stable development of society. As the core indicator for evaluating the performance of building structures, the importance of precise testing and reliable judgment of concrete strength cannot be overstated. This paper focuses on the ultrasonic rebound comprehensive method as the research focus, comprehensively exploring the application thinking logic and important technical points of this method in conducting concrete strength testing for existing building structures. Analyzing the engineering significance and practical value of concrete strength testing and reliability assessment in existing building structures; By reviewing the current research status and technical barriers in this field both domestically and internationally, we aim to provide objective and accurate criteria for the reliable evaluation of existing building structures. This will provide important reference value for promoting structural safety identification, reinforcement and renovation work.
[Key words] Ultrasonic rebound comprehensive method; Existing building structure concrete; Intensity testing; reliability

随着我国城镇化进程的不断发展,大量的既有建筑已处于使用中后期阶段,在长期运行过程中,存在环境侵蚀、荷载变化、材料老化、施工缺陷等问题。超声回弹综合法是在超声法或者回弹法基础上发展起来的非破损检测技术,其利用超声波在混凝土中的传播速度以及回弹仪测得的混凝土表面硬度来创建与混凝土抗压强度之间的关联模型,从而有效规避单一检测方法因混凝土碳化深度、骨料粒径、含水率等因素造成的影响,大大增强了检测的精确度与适用范围。当前该方法已在既有工业厂房、民用建筑、桥梁隧道等结构的混凝土强度检测当中得到广泛应用,但其检测过程中也存在着检测数据离散性控制困难、现场干扰因素排除不易、可靠性评价指标体系不完整等现实问题有待改善,本文依托既有建筑结构工程特性,对超声回弹综合法检测流程及技术要点展开系统梳理,创建起合理的可靠性评价体系,为工程实践给予理论支撑和技术指引。

## 1 既有建筑结构混凝土强度检测与可靠性评估的意义

1.1保障建筑结构安全使用

既有建筑结构经过长期使用之后,混凝土强度衰减现象出现,这会导致结构承载能力降低,进而引发梁、柱等重要构件开裂、变形乃至坍塌等事故,而利用超声回弹综合法对混凝土强度展开定期检测工作,则可以尽早了解结构内部性能变化情况,从而找出潜藏的安全隐患,就拿老旧住宅改造项目来说,在此期间通过检测得知某些混凝土强度不够的构件,就可以有针对性地采取加固措施,防止因为结构失效而造成安全事故,从而保障居民的生命财产安全。

1.2支撑建筑结构改造与扩建

社会经济不断发展,已有建筑的功能需求也经常改变,像工业厂房改造升级,民用建筑加层扩建等等,这些工程都要靠准确的混凝土强度数据来决定原结构能否承受新的荷载,超声回弹综合法可以在不影响原结构的情况下,很快得到混凝土强度的信息,为改造方案设计提供重要参数,如果检测到混凝土强度达不到改造需求,就可以提前规划加固计划,保证改造工程的安全和经济[1]。

1.3推动建筑遗产保护工作

我国存在很多具有历史价值的既有建筑,如古建筑、近代工业遗产等,这些建筑的混凝土结构既承担着使用功能,又有文化遗产的价值,传统的破损检测手段,钻芯法之类,会损坏建筑结构,超声回弹综合法属于非破损检测技术,可以在保护建筑完整的前提下,精确检测混凝土强度,为建筑遗产的维修、保护提供科学依据,推动文化遗产的传承。

1.4优化建筑维护管理策略

对既有建筑混凝土强度展开长久监测并实施可靠性评估之后,就可以形成结构性能衰退模型,预估结构剩下的使用寿命,从而为建筑的维护管理提供决策支持,比如对那些混凝土强度衰减速度较快的地方制订出更为频繁的检测计划,对于强度性能稳定的地方,则可以将检测周期延长一些,这样不但可以缩减维持费用,而且可以提升维持效率,实现既有建筑全生命周期的精细化管理。

## 2 基于超声回弹综合法的混凝土强度检测

2.1检测原理

超声回弹综合法检测原理是利用混凝土的物理力学性能与超声波传播时间及表面硬度之间存在一定的相关性。混凝土的抗压强度越大,其内部结构越致密,超声波在混凝土中传播速度就越快,同时,混凝土的表面硬度也与抗压强度成正比关系,回弹仪弹击杆弹击混凝土表面,弹击次数越多,回弹值越大,混凝土表面硬度就越高,抗压强度也越高[2]。

单一超声法受混凝土含水率、骨料粒径的影响大,单一回弹法受碳化深度、表面平整度的影响大,超声回弹综合法采用建立回弹值(R)、超声波传播速度(v)与混凝土抗压强度(fcu)的多元回归模型(如fcu=aRbvc,a、b、c为回归系数)的方式,综合了两个参数的优点,抵消了单一因素的影响,提高检测精度[3]。

2.2检测前准备

2.2.1技术资料收集

检测前要搜集既有建筑的设计图纸,施工资料,竣工报告以及以往的检测记录,弄清楚混凝土的设计强度等级、骨料种类、水泥品种、施工时间和服役环境等情况,为检测方案制订和数据解读提供依据,如果建筑有改造或者加固的历史,还要搜集改造的设计图纸和施工记录,知晓检测区域是原结构还是加固结构。

2.2.2检测设备校准

所使用的回弹仪、超声波检测仪等要按规范要求进行校准。回弹仪半年或弹击次数大于2000次时要进行校准,校准在标准钢砧上进行,回弹值误差不大于±2；超声波检测仪每年校准一次,主要校准超声波传播时间测量准确度和换能器灵敏度,保证检测数据准确。

2.2.3检测区域划分

按照建筑结构特点和检测目的划分检测区域,框架结构要选梁、柱等受力构件,剪力墙结构选剪力墙中间部分,避开边缘和孔洞,每个检测区域分几个检测面,检测面要平整干净,表面有浮浆、油污或者涂层,要用砂轮打磨到露出新鲜混凝土面,检测面符合要求。

2.3现场检测流程

2.3.1回弹值检测

在检测面上划分回弹测区,每个测区面积不应低于200㎜×200㎜,测区内弹击点数目不少于16个,弹击点间距不小于30㎜,也不靠近构件边缘或者外露钢筋,检测时,回弹仪应当垂直于检测面,缓慢施压,等到弹击杆稳定之后再读取回弹值,剔除掉3个最大的回弹值和3个最小的回弹值,剩下的10个回弹值的平均数值便是这个测区的回弹值(R),如果检测面不是水平面,比如垂直面或者顶面,就按照回弹仪角度修正表来修正回弹值;要是混凝土的碳化深度超过0.5㎜,还要执行碳化深度修正,修正办法是在测区表面钻取直径为15㎜的孔洞,清除掉孔洞内部的粉末,然后用酚酞试剂喷洒孔洞内壁,测量碳化深度,依照规范公式来修正回弹值。

2.3.2超声波传播速度检测

在回弹测区附近划定超声波检测区,每个检测区放置一对发射和接收换能器,换能器间距(声程)宜为300-500㎜,并避开钢筋(用钢筋探测仪找出钢筋位置),检测前,换能器与混凝土表面之间涂上耦合剂(凡士林、黄油),保证声波能传过去,打开超声波检测仪,记录超声波在混凝土中传播的时间(t),根据声程(L)算出传播速度(v=L/t),每个检测区测3次,取平均值当作这个检测区的超声波传播速度。

2.3.3数据记录与核对

现场检测时,要详尽记录每个测区的回弹数值,超声波传递速度,检测之处,周围环境温度,混凝土表面状况等信息,还要画出检测之处的图示,检测结束以后,尽快核对所得到的数据,如果发觉有异常情况,比如回弹数值忽然大幅度下降,超声波传递

速度特别低,就应当重新检测,把操作失误或者现场干扰因素(像构件内部空洞,钢筋密集区域)剔除掉。

2.4数据处理与强度计算

2.4.1数据筛选

先针对现场采集到的回弹值和超声波传递速度数据执行筛选操作,把异常数据剔掉,异常值判断能用格拉布斯准则来实施,如果某个数据同平均数之差超过三倍标准差,就被当作异常值处理掉,要是发现异常值较多,就分析原因,必要时重新选定检测区再做检测。

2.4.2强度换算

按照《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(T/CECS 02:2024)或者地方标准中的强度换算公式,把修正过的回弹值(R)和超声波传播速度(v)代入多元回归模型,算出每一个测区的混凝土抗压强度换算值(fcu,i),针对不同的混凝土强度等级,要用对应的换算公式,像对C15-C50的普通混凝土,可以使用$fcu=0.0286R^{1.155}v^{1.999}$这样的公式。

2.4.3强度评定

按照被检测构件的种类和数目,评定混凝土强度,针对单个构件而言,选取各个测区强度换算值中的最小值当作该构件的混凝土强度代表值,针对成批构件,即同一批次施工的梁或者柱子,算出全部测区强度换算值的均值,标准差以及变异系数,依照规范的要求,判定该批构件的混凝土强度等级是否符合设计标准,如果强度代表值小于设计值,就要借助钻芯法加以验证检测,保证检测结果可信度。

2.5检测精度控制措施

要提升超声回弹综合法的检测精确度,就须要执行以下控制手段：第一,检测面的平整度与清洁度必须被严格把控,打磨后的检测面表面粗糙度要符合规范需求,防止因表面不平整造成回弹值出现偏差或者超声波无法顺利传递;第二,检测位置的选择要恰当,避开钢筋密集区域,预埋件以及构件边缘,削减钢筋对超声波传播速度产生的影响;第三,检测人员的培训要加强,保证检测人员熟悉设备操作流程及规范要求,缩减人为操作产生的误差；第四,运用本地修正模型,由于不同地区的混凝土骨料和水泥有着各自的特性,所以应依照当地大量的试验数据来创建强度换算修正模型,从而改善强度换算的准确度。

## 3 既有建筑结构混凝土可靠性评估

3.1可靠性评估指标体系构建

既有建筑结构混凝土可靠性评估应从强度、耐久性与适用性三个维度构建指标体系,具体指标如下：

3.1.1强度性能指标

以超声回弹综合法检测的混凝土抗压强度代表值作为核心指标,结合构件设计强度等级,计算强度达标率(达标测区数量/总测区数量)、强度富裕系数(实际强度代表值/设计强度等级),强度达标率反映构件混凝土强度整体达标情况,强度富裕系数反映强度超出设计要求的程度,二者共同构成强度性能评价依据。

3.1.2耐久性指标

耐久性指标主要包含混凝土碳化深度,钢筋锈蚀程度和裂缝宽度,混凝土碳化深度借助酚酞试剂法检测,依照碳化深度同构件保护层厚度的比例,判定碳化对钢筋造成的影响程度,钢筋锈蚀程度可以采用钢筋锈蚀仪检测,凭借检测钢筋的电位改变来判定锈蚀等级(无锈蚀,轻微锈蚀,中度锈蚀,严重锈蚀),裂缝宽度用裂缝宽度观测仪检测,记录裂缝的最大宽度和分布状况,判定裂缝是否超越规范容许范围。

3.1.3适用性指标

适用性指标主要包含构件变形与位移,利用水准仪,全站仪等仪器检测梁挠度,柱垂直度,判定构件变形是否致使建筑无法正常应用,混凝土梁挠度限值需契合《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)要求,挠度超出限值,表明构件刚度不够,也许会干扰结构应用。

3.2评估权重分配

采用层次分析法(AHP)来确定各评估指标的权重,首先建立层次结构模型,把可靠性评估的目标作为目标层,强度性能、耐久性、适用性作为准则层,各个具体的指标作为指标层；其次构建判断矩阵,选取5-8名土木工程领域的专家,对同一层次的指标重要性进行两两比较,采用1-9标度法赋予权重值；最后进行一致性检验,如果检验通过,则计算出各个指标的权重值；如果检验不通过,则重新调整判断矩阵,直到满足一致性要求。根据工程实践情况,强度性能指标对结构可靠性影响最大,权重一般为0.5;耐久性指标权重一般为0.3;适用性指标权重分配为0.2。在具体指标中,强度达标率、钢筋锈蚀等级、最大挠度的权重较大,应予以重视。

## 4 结束语

综上所述,既有建筑结构混凝土强度检测及可靠性评价属于保障建筑安全,延长建筑使用寿命的重要环节,超声回弹综合法由于具有非破损性,精确度高,适用范围广的优点,在该领域起着不可替代的作用。本文通过对检测原理,流程以及数据处理的梳理,并联系工程实际情况创建起可靠性评价体系,给工程实际赋予了明确的技术路线,日后要加大对于高性能混凝土,轻骨料混凝土等特殊材料的检测研究力度,充实地域化修正模型,而且促使检测技术同BIM,人工智能等技术紧密结合,做到结构可靠性的动态监测并达成可视化评判,从而提升既有建筑的智能化管理水平。

## [参考文献]

[1]薛婉婷.土木工程建筑中混凝土结构的施工技术分析[J].产品可靠性报告,2023,(05):139-140.

[2]王惊华.结构健康监测国内外规范编制研究现状及展望[J].建筑安全,2021,36(04):41-45.

[3]宋传余,林秉柯.关于工民建结构设计中的安全性探讨[J].房地产世界,2020,(15):49-51.

## 作者简介：

尚于勇(1988--),男,汉族,山东省济宁市嘉祥县人,大学本科,职称：中级工程师,从事的研究方向：建筑材料检测及性能研究、工程质量检测。