

公路桥梁混凝土强度检测方法对比与应用研究

鲁振星

新疆北新科技创新咨询有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 混凝土强度是衡量公路桥梁结构质量和安全的重要标准, 而采用何种检验方式对于判定工程质量具有至关重要的影响作用。文章全面概述了回弹法、超声法、钻芯法以及超声回弹综合法几种常用的检测手段及其基本的概念和技术特点, 在此基础上根据检测理论依据、检测精度、费用开支、应用场合以及总体优点缺点等方面的差异进行比较分析的基础上, 针对具体的公路桥梁工程项目提出了检测策略的设计思路、质量控制流程、结果评定方式以及提升测试精准度的具体途径, 希望对从事相关工作的工程师们在选择检验方法及制定检验计划时有所助益。

[关键词] 公路桥梁; 混凝土强度; 检测方法; 对比分析

DOI: 10.33142/aem.v8i4.19616

中图分类号: U415.1

文献标识码: A

Comparison and Application Research of Concrete Strength Testing Methods for Highway Bridges

LU Zhenxing

Xinjiang Beixin Science and Technology Innovation Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Concrete strength is an important standard for measuring the quality and safety of highway bridge structures, and the type of inspection method used has a crucial impact on determining the quality of the project. The article provides a comprehensive overview of several commonly used testing methods, including rebound method, ultrasonic method, core drilling method, and ultrasonic rebound comprehensive method, as well as their basic concepts and technical characteristics. Based on the differences in testing theoretical basis, testing accuracy, cost, application scenarios, and overall advantages and disadvantages, the article proposes design ideas, quality control processes, result evaluation methods, and specific ways to improve testing accuracy for specific highway and bridge engineering projects, which will be helpful for engineers engaged in related work in selecting inspection methods and developing inspection plans.

Keywords: highway bridges; concrete strength; testing methods; comparative analysis

引言

对于公路桥梁建设以及营运管理而言, 混凝土结构的安全问题以及使用年限关乎着道路通行安全和社会财产安全, 而混凝土抗压强度则是判断混凝土质量好坏的重要标准之一, 因此其检测结果的有效程度显得尤为重要。现阶段工程项目中最常采用的混凝土强度检测手段主要有回弹法、超声测量法、钻取芯样法、超声波回弹综合法等, 在原理上、精确度上、适用场合和费用开销方面各不相同, 《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310-2019) 针对混凝土强度检测方式应用于耐久性评估过程中作出了相关规定。怎样根据工程实际情况科学选择检测手段以保证检测结果真实可靠已经成为工程建设人

员关心的一个问题。

1 公路桥梁混凝土强度检测方法

1.1 回弹法检测

回弹法是现在使用最普遍的一种非破损检测方法, 它的工作原理是由弹簧带动一个重锤经弹击杆对混凝土表面产生撞击, 然后测量重锤反弹回的距离, 再用回弹值的大小代表与强度有关的一个数值, 用来推测混凝土强度。回弹法方便快捷, 仪器小巧轻便, 可即时对大面积进行普查性检测, 根据《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23-2011) 的规定本方法适用于普通混凝土抗压强度 10.0MPa~60.0MPa 之间强度的测定工作, 采用的是中型回弹仪, 标准能量为 2.207 焦耳, 不适用于表层和内部

质量相差很大的或者内部有空洞的混凝土强度检测。此法只能得出混凝土表面强度,对混凝土的内部状况一无所知;测定值与混凝土的碳化深度、龄期、含水率等有关,精确度较低,适用于大范围抽样检测而不是精确定量检测。

1.2 超声法检测

超声法是根据超声波在介质中的传播特性来进行的一种无损检测方式。其原理为:超声波穿过混凝土的过程中纵波波速的平方与混凝土的弹性模量呈正相关性,而与密度呈负相关性,同时混凝土强度也跟密度有关联,所以可以通过声速来推测出混凝土强度大小。此方法可以体现内部材料是否均一紧密,适用于现浇结构施工过程中的质量监督以及已建结构项目的验收工作^[1];但是由于混凝土是各向异性的混合物,因而超声波在其内部传播的路径往往会受到其中的集料排列情况、钢筋分布状况及含水量等复杂影响,在实际工程应用中超声法单独测定强度的情况很少,一般会结合其他手段一起运用进行测试。

1.3 钻芯法检测

钻芯法是混凝土强度检验中最快捷、最有效的现场检测手段,在 JGJ/T 384-2016 中规定标准芯样的直径应为 100mm,最小不得低于 70mm,钻芯采样前应采用钢筋探测仪检测钢筋位置,抽芯时应避开受力主筋。这种方法是在现场随机钻取得来的混凝土芯样,经过切割、磨光和养护,再在压力试验机上做芯样的抗压试验,从而推定芯样的抗压强度。钻芯法的结果明显可见、精确可靠,常用作修正回弹法及超声回弹综合法等间接推定的方法。但是此法为局部破损检测,在检测过程中会对混凝土造成一定程度上的破坏,并且要对钻出来的芯样进行后期修复,无法应用于大面积大数量的强度抽查工作,存在比较繁琐及较高费用的问题。

1.4 超声回弹综合法检测

超声回弹综合法是在超声波传播速度以及回弹值与混凝土抗压强度之间存在一定关系的基础上发展起来的一个无损检测技术,用声速和回弹值来共同表示混凝土的抗压强度,超声回弹综合法于 1988 年被编入我国《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS02: 88)。现阶段我国使用的版本是 CECS02: 2005,由于回弹法只能测定混凝土表面的质量情况,再加上超声波的波速还受到混凝土水含量等的影响,而超声回弹综合法则可以将两者结合起来,可以降低龄期和含水率带来的影响,并相互补充,使其比单独使用一个方法的准确性要高得多。适用条件和回弹法一致,主要用于一般混凝土,但不能用于受到冻融破坏、化学腐蚀、火灾、高温作用而导致出现表

面酥松剥落的混凝土。

1.5 其他检测方法

除了这四个主要的方法之外,在工程当中还有利用后锚固法、拔出法、拉脱法、冲击回波法、地质雷达法等多种辅助检测措施。《拔出法检测混凝土强度技术规程》(CECS 69-2011)规定了强度低于 10.0MPa 的普通混凝土检测适用范围,拔出法的优点是简单易行,准确率较高,对结构损伤小,后锚固法属于微破损检测手段,采用在混凝土内部预先设置或者后来设置锚固装置进行拉拔试验来确定强度大小。实际的工程检测一般都会采取多种方式相结合的方法,彼此相互配合以求得更佳的效果。

2 不同检测方法的对比分析

2.1 检测原理对比

回弹法建立在混凝土表面硬度同其抗压强度之间的关系基础上,用回弹值间接推测混凝土强度;超声法依据超声波在混凝土介质内传播的速度同密度、弹性模量的关系,用声速来推测强度;钻芯法直接钻取芯样试件进行抗压试验,为唯一的可以得到强度实测值的方法;超声回弹综合法则把表面硬度参数(回弹值)、内部质量参数(声速值)结合起来,用二元回归方程综合推测强度。这四种方法中,仅钻芯法为直接检测,其余为间接推定,超声回弹综合法由多个参数综合起来使推定更加可靠。

2.2 检测精度对比

就测试精度而言,钻芯法最精确,可以作为判断其他方法是否准确的标准方法。有研究显示,在长期使用的混凝土结构现场测试中,使用回弹法(国家曲线)和钻芯法的平均误差值为-6.69%,超声回弹综合法(国家曲线)的平均误差大约为+10.65%,其准确性高于单独的回弹法,但是由于混凝土内部钢筋的位置影响到超声波传递的方向,在角测或者斜测情况下会产生较大误差。实践中利用钻芯法修正回弹法则是一种相对较为准确而且经济的一种检测手段,既能确保检测精度又能降低对结构物的损伤。

2.3 检测成本对比

就检测费用而言,回弹法设备投入最小(中型回弹仪几千克朗),检测效率高,人员投入最少,是最便宜的方式;超声法必须有超声波检测仪配套装置,仪器价格较回弹法则稍贵一些,测值计算过程比较麻烦,时间及劳动力耗费适中;超声-回弹联用法必须配有以上两种装置,检测方法最为复杂,而且两个参数都要在同一个测量区域内进行,所以花费最大;钻芯取样法花费最多,要钻孔机,锯切机,磨平机等一系列专用设备并配合相应的芯样

处理工艺与抗压实验, 还要支付修补费用^[2]。所以尽管钻芯取样法准确率最好但是却不适合大面积推广应用, 主要用于复查、校验等工作。

2.4 检测适用范围对比

回弹法适合大范围普查普通混凝土结构用, 强度适应用于 10~60MPa 之间, 而对于超高强度混凝土要用重型回弹仪并且按照 JGJ/T 294-2013 标准来进行; 超声波方法适合对混凝土内部均匀性和施工过程中的监测; 钻孔取芯方法适用于现有的结构实体强度检验、有疑问构件或有争议的地方进行检验; 超声波与回弹综合法适合进行精确度较高的常规普查, 适用范围可以达到 10~70MPa 之间, 但是会受到混凝土中钢筋分布的影响比较大。除此之外, 还可以通过钻孔的方法检测出混凝土的劈裂抗拉强度和抗折强度, 应用更加广泛。

2.5 检测优缺点分析

通过对上述各方面比较可看出, 四种检测手段都有各自的特点及适合的对象, 在大面积普查中, 回弹法由于它简单易行、经济实惠被广为采用, 但是由于受其碳化深度以及表面质量的影响较大, 检测精确度较低; 而超声法可以反映混凝土内部均匀性及密实情况, 但是单靠它来检测的话很容易受到钢筋排列情况及含水量等外界因素的影响, 在实际工程中很少单独进行。钻芯法是唯一可以直接得到混凝土强度实测值的一种方法, 其检测精度最高, 一般都会以钻芯结果为准来校正其他三种间接方法的数据, 但是它具有一定的破坏性同时检测费用也很高。超声回弹综合法就是把回弹值以及声速值这两个因素联合起来使用, 可以大大降低单一因素导致的测量误差影响程度, 其测量结果高于单一的回弹法, 同时保留了无损检测的方法优点, 在实际工程建设中应用较为广泛。为了方便对比分析, 将四种检测方法对检测原理、检测精度、检测成本、适用范围、主要优点及主要缺点等进行了总结归纳, 如表 1 所示。

3 公路桥梁混凝土强度检测应用与质量控制

3.1 检测方案设计

科学合理的检测试验方案是保证检验结果质量的基础。试验方案的设计要符合工程实际情况及结构受力特征的要求, 在对新桥验收检测时应以回弹法为主对大规模进行全面调查, 然后选取代表性试件和部位使用钻芯法加以校正核对, 在对旧桥运营状态下的检测时应当按照不同的检测目的来确定不同的试验手段组合方式, 在对一些长龄期或者有表面质量问题的构件可采用超声回弹综合法得到较为可靠的强度推算值后再确定重点进行钻孔取芯复核^[3]。试验检测方案应该包含抽样计划、测区划分、测试技术以及数据分析的方法等内容。针对桥梁施工期及运营期不同的要求有针对性的研究场景化的检测方案, 如对大体积高强度混凝土结构, 可先行采取重型回弹仪加专用曲线的回弹法初检。

3.2 检测过程质量控制

检测环节的正确操作是检验结果准确可靠的保障。回弹法检测必须做到弹击测区表面平整、干净、干燥, 每一个测区的弹击点至少需要有 16 个点, 检测碳化的深度需要在代表性位置进行钻孔取洞, 再用酚酞酒精滴定液进行测试并记录下碳化层的深度大小; 而超声法的测量, 必须结合钢筋探测仪来寻找被测区域内部的钢筋分布情况, 优先采取对测的方式以避开钢筋的影响, 在使用时要采用耦合剂使探头与被测物紧密结合。钻芯法检测, 在钻芯之前先用电磁感应钢筋探测仪对混凝土构件进行扫描来排除掉内部受力的主要钢筋; 在钻芯时要保证钻孔垂直, 要求芯样直径至少大于最大骨料粒径的两倍; 芯样制作的时候要将表面的混凝土碳化层以及扰动层去除掉; 使得它的高径比达到 1:1 的要求。采用超声回弹综合法在检测的时候, 要保证回弹值和超声速度值在同一测区分别量测, 超声波检测点尽量避开钢筋的位置, 得到的声速值、回弹值都应当根据规程来进行修正之后再输入到综合测强曲线上面去。

表 1 不同混凝土强度检测方法综合对比

检测方法	检测原理	检测精度	检测成本	适用范围	主要优点	主要缺点
回弹法	表面硬度推定强度	一般 (误差约 ±15%)	最低	10~60MPa 普通混凝土普查	无损、快速、简便、设备便宜	精度有限, 仅反映表层, 受碳化影响大
超声法	声速与密实度相关性	中等	中等	在建工程内部质量监测	无损、反映内部质量, 可测缺陷	受钢筋、含水率干扰大, 单独使用少
钻芯法	芯样抗压试验	最高 (基准方法)	最高	既有结构精确检测与验证	结果直观、准确可靠, 可作校准基准	局部破损, 成本高, 效率低, 需修补
超声回弹综合法	回弹值+声速综合推定	较高 (优于单一回弹)	中等偏高	10~70MPa 普通混凝土普查	无损、精度高于回弹法, 互补性强	检测过程烦琐, 受钢筋位置干扰

3.3 检测结果分析与评价

检验数据分析与评估须依照相应技术水平要求。回弹法估算强度时,在测区数量超过10个的情况下,则需要对各个测区强度换算值求算术平均以及标准偏差,取其推定值为算术平均减去1.645倍的标准偏差结果,而在测区小于10个的情形下,采用各个测区强度换算值的最小值作为推定值;而钻芯取样的抗压试验必须严格按照国家标准《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344)的相关规定来进行,并且对单个构件的强度采取芯样试件强度均值得到,检测批构件的强度也要按照相应的标准来进行统计评定^[4]。在使用钻芯修正法的情况下,使用钻取芯样试验结果来对回弹法或者其他间接测试方法所获取的数据做出调整可以使得检测结果更加准确可靠,并且避免了对结构物造成影响。

3.4 提高检测准确性的措施

为了保证对水泥混凝土强度测定的结果准确无误,在仪器标定、环境因素考虑、多种手段联合运用以及人员素质培养上,要综合施策,首先,每一个测试仪器都要按时标定,回弹仪率定值必须保持在 80 ± 2 内,超声仪标定要采用标准试块对声速进行校正。再者,回弹法测定时要读取碳化深度并加以修正、超声法检测时要注意除去温度、湿度的变化对声速的影响;碳化深度修正、环境干扰控制和回弹-钻芯联测的方法是提高实测混凝土强度结果可靠性的重要手段。运用回弹-钻芯联合检验,就是先用回弹法进行大面积普查后,在一定区域选择有代表性的地方钻芯验证确定出地区或者专用测强曲线的方法可以很好地提高回弹法在特殊工程环境下的适用度及精确度。另外要注重对检测员进行岗前教育、考核管理,保证标准操作的

一致性与结果计算的准确性以达到从根源上保证检验结果的真实性的目的。

4 结语

混凝土强度测试是对公路桥梁工程的质量保证以及安全保障的重要措施之一,本文分别从回弹法、超声波法、钻孔取芯法、超声-回弹综合测定法四个方面对其进行了详细阐述并与之比较,在此基础上得出结论如下所述:回弹法方便快捷、经济实惠,适用于大面积普测;钻孔取芯法测量精确可信,可作为其他方法的校准标准但它造价高昂并具有破坏性;超声-回弹综合测定法既有二者特点又没有损失,最经济有效;实际项目上要选择符合相应要求的方式进行检测并且注意仪器校准和规范化作业。使用回弹法进行大面积普测再用钻孔取芯法进行校正是一种目前较为合理成熟的技术手段。基于无损检测技术的不断进步,多种技术融合及智能化的发展,一定会使检测更加精准可靠。

[参考文献]

- [1]孙建波.公路桥梁工程中混凝土强度常用检测方法与应用研究[J].汽车周刊,2026(3):101-103.
- [2]葛欢欢,乐瑶琪.提高公路桥梁混凝土强度试验检测准确性的策略[J].中华建设,2025(10):159-161.
- [3]邓俊明.公路桥梁检测中声波检测技术的应用[J].黑龙江交通科技,2025,48(8):51-54.
- [4]冯瑞兵.无损检测在混凝土检测技术运用分析[J].运输经理世界,2020(9):27-28.

作者简介:鲁振星(1974—),毕业于西南大学土木工程专业,中级工程师,现就职于新疆北新科技创新咨询有限公司。