

文章编号:1671-2579(2010)02-0101-04

回弹法和钻芯法检测劣化桥梁混凝土强度相关性研究

王磊, 张建仁, 张克波

(长沙理工大学 土木与建筑学院, 湖南 长沙 410004)

摘 要: 针对 JGJ/T 23-2001《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》未给出钢筋锈蚀后和多年服役两种情况下混凝土测强曲线, 基于试验室内快速锈蚀钢筋混凝土梁和实桥中钢筋混凝土构件中混凝土强度回弹法和钻芯法试验, 分别得到了两种情况下混凝土强度回弹值和钻芯值之间的关系, 对比了回弹法在两种情况下混凝土强度检测的适用性, 进一步研究了两种情况下回弹法和钻芯法检测混凝土强度的相关性, 为钢筋锈蚀后混凝土及长期服役混凝土强度检测提供了依据。

关键词: 桥梁工程; 混凝土强度; 回弹法; 钻芯法; 相关性

1 引言

混凝土强度的推测是服役桥梁评估的基础。环境条件和自身因素都可以引起混凝土性能劣化, 其中多数混凝土劣化是环境条件引起的, 如混凝土碳化、冻融破坏、化学侵蚀、表面磨损、钢筋锈蚀等; 另外, 混凝土的自身材料也可能导致其性能劣化, 如碱集料反应等。混凝土的腐蚀与老化是一个复杂过程, 其材料性能在腐蚀和老化过程中发生劣化。尽管混凝土在各种环境下的老化与腐蚀机理已经比较清楚, 但复杂环境下腐蚀及老化混凝土的力学性能的定量研究尚少。

腐蚀混凝土本构关系将发生改变。梁咏宁等测定了硫酸盐侵蚀混凝土在不同腐蚀时期的应力-应变全曲线。研究表明: 腐蚀混凝土应力-应变全曲线方程仍可采用现行设计规范中建议的方程进行拟合, 仅其中的系数和特征点数值有所不同。陈元素研究了 10%、20% 两种浓度的 NaCl 和 Na₂SO₄ 和 pH 为 2 和 3 两种浓度盐酸腐蚀介质作用下混凝土抗压强度, 表明混凝土强度在腐蚀作用初期有所增加, 随着腐蚀时间的增加, 混凝土强度逐渐下降, 提出了计算腐蚀混凝土强度的数学模型。翟运琼制作了尺寸为 100 mm×100 mm×300 mm 的混凝土棱柱体试件, 研究了有机物、微生物、强酸和无机盐的腐蚀下混凝土单轴受压应

力-应变关系的变化规律。

钢筋锈蚀产物引起体积的膨胀, 当膨胀受到周围混凝土的约束时内应力增大。混凝土结构中受压区钢筋的锈蚀将使受压区混凝土同时承受轴向压应力和钢筋锈胀拉应力的双向作用, 使受压区混凝土的抗压强度受到影响。张喜德等制作了 30 个中央埋置钢筋的边长为 100 mm 的立方体试块, 对锈蚀后混凝土抗压强度研究表明: 钢筋在开始锈蚀至混凝土开裂的一段时间内对混凝土的抗压强度的影响是不可忽视的, 在混凝土开裂后因钢筋膨胀内应力的释放, 混凝土的抗压强度有所提高。曹双寅等通过试验室加速锈蚀的方法测试了受锈蚀混凝土试块的强度和应力-应变的变化规律, 研究表明: 锈蚀引起混凝土强度损失占未锈蚀混凝土强度的比例与锈蚀时间呈线性关系, 介质的腐蚀不改变应力-应变关系的基本形式, 对应应力峰值处的应变值基本保持不变, 同时, 回归得到受锈蚀混凝土的本构关系。另外, 针对不同地区的特殊地理和环境条件影响, 一些学者也针对冻融循环、混凝土碱骨料反应做了相应的研究工作。目前, 老化与腐蚀混凝土强度性能研究多是在试验室条件下通过快速腐蚀开展的, 但由于试验室快速腐蚀环境与实际环境存在较大差异, 针对快速腐蚀和自然环境老化与腐蚀的相关性研究并不多见, 这给上述结论的应用带来了局限性。

自然环境下差异性很大, 这使得混凝土强度随时

收稿日期: 2009-07-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 50878031); 交通部西部交通建设科技项目(编号: 200631800019); 湖南省应用基础重点项目(编号: 06FJ2008)

作者简介: 王磊, 男, 博士, 讲师. E-mail: leiwei@hotmail.com

间劣化离散性很大,具有不确定性。牛荻涛等在总结国内外暴露试验和实测结果的基础上,分析了一般大气环境下房屋建筑混凝土强度的经时变化规律,利用统计回归了混凝土强度平均值和标准差经时变化。张建仁等在 10 多座旧桥上采用回弹仪、超声波法和钻芯取样法进行了混凝土强度测试,分别求出各桥梁检测时刻混凝土强度平均值及标准差,考虑到小样本子样的影响,给出了桥梁中混凝土强度的均值和标准差经时变化模型。Stewart 等给出了波特兰水泥混凝土抗压强度是 28 d 抗压强度的时间函数。Kima 等研究了温度和老化后混凝土抗压强度和抗剪强度,分别建立了预测模型。目前,混凝土强度退化模型缺少大量不同时间段的现场测试数据,以致各模型实桥应用存在很大的局限性。

服役多年混凝土桥梁检测过程中,受时间和空间限制,钻芯取样检测混凝土强度将可能影响桥梁性能,因此,通过无损检测推断混凝土强度是目前采用的主要方法。但 JGJ/T 23—2001《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》仅给出了混凝土龄期在 14~1 000 d、抗压强度在 10~60 MPa 范围内的测强曲线。这限制了回弹法在服役多年桥梁混凝土强度检测中的应用。为此,笔者结合试验室快速锈蚀钢筋混凝土构件和服役若干年实桥钢筋混凝土构件中混凝土强度的回弹法和钻芯法比较试验,开展锈后和服役多年混凝土回弹法和钻芯法测强的相关性研究。

2 回弹测区的选择和芯样抗压试验

按照 JGJ/T 23—2001《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》规定,在构件(包括快速锈蚀和服役多年桥梁钢筋混凝土梁,如图 1 所示)上选择及布置测区进行测试,采用回弹仪进行回弹试验。每一测区测量 16 个回弹值,从 16 个回弹值中剔除其中 3 个最大值和 3 个最小值,取余下 10 个回弹值的平均值作为该区取得的平均回弹值,精确到 0.1 MPa;测过回弹值后,在测区进行钻芯,取芯位置选在具有代表性的非破损测区内,如图 2 所示。

取芯前先采用钢筋保护层测厚仪测定钢筋位置,避免切断钢筋和由于芯样中存在钢筋影响混凝土抗压强度。采用 HILTI DD200 钻芯机在对构件混凝土影响部位较小处取芯样,如图 2 所示,经加工处理,如图 3 所示,获得直径为 100 mm、高 150 mm 的芯样 89 个。

万方数据

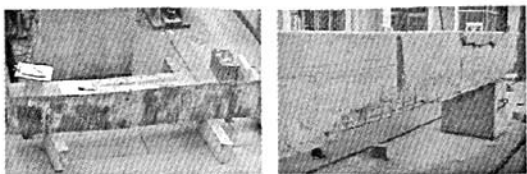


图 1 回弹取样的构件

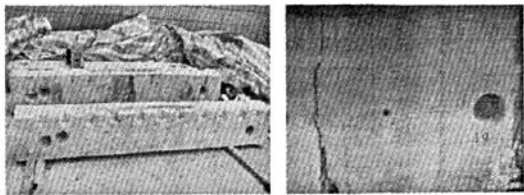


图 2 钻芯取样

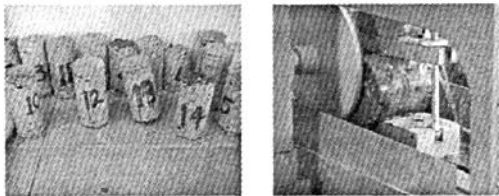


图 3 芯样加工

对加工好的芯样编号,按 CECS 03:88《钻芯法检测混凝土强度技术规程》的规定测定抗压强度,如图 4 所示。对采用的非标准尺寸试件实际测得的轴心抗压强度值应乘以尺寸换算系数来进行修正,测得混凝土的抗压强度值精确到 0.1 MPa。

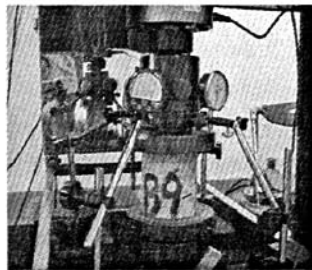


图 4 芯样抗压强度试验

3 回弹法和钻芯法相关性研究

既有钢筋混凝土桥梁中混凝土强度主要通过无损检测和钻芯法两种方法来评定。目前,无损测强方法具有简便、易行、测试效率高、成本低等优点。钻芯法测强是以混凝土的局部破坏为基础,其测值较为直观

可靠,已得到国际上的普遍认可。但由于钻芯法会造成结构或构件的局部破坏,其测点的数量受到严格的限制,不可能在整个结构上普遍使用,且成本相对较高,限制了其广泛应用。

混凝土抗压强度与无损回弹值之间存在着正相关关系。国内外习惯采用绘制等强曲线的方式来表示强度一回弹的相关曲线方程。但 JGJ/T 23-2001《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》并未给出钢筋锈蚀后和多年服役混凝土测强曲线。无损回弹测强是以混凝土抗压强度与某些物理量的相关性为基础的,这些相关性又往往受众多因素的影响。因此,无损测强结果的精度往往受到质疑。

对于锈后钢筋混凝土构件和多年服役构件,如果把其回弹法和钻芯法结合起来,利用芯样试验值的可靠性和准确性来校正无损检测的推定值,建立无损强度与芯样实测强度之间的关系来推定整个工程混凝土强度是十分必要的。

该文针对试验室内自制快速锈蚀钢筋混凝土梁和实桥旧梁的回弹及钻芯取样测强试验,共获得有效样本 89 个。对于快速锈蚀钢筋混凝土构件(图 5)样本回弹平均值为 30.49 MPa,标准差为 2.48 MPa;在置信概率为 95% 的情况下,置信下限和上限分别为 29.88 和 31.10 MPa。钻心抗压强度平均值为 35.27 MPa,标准差为 4.13 MPa。在置信概率为 95% 的情况下,置信下限和上限分别为 34.23 和 36.27 MPa。回弹法测混凝土强度平均相对误差为 15.75%,相对标准差为 18.68%。

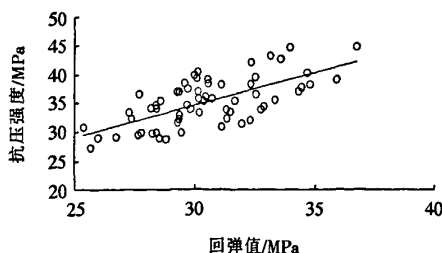


图 5 快速锈蚀梁回弹值和钻芯抗压强度

对于服役多年实桥构件(图 6)样本回弹平均值为 15.85 MPa,标准差为 3.98 MPa;在置信概率为 95% 的情况下,置信下限和上限分别为 14.32 MPa 和 17.38 MPa。钻心抗压强度平均值为 21.17 MPa,标准差为 4.87 MPa;在置信概率为 95% 的情况下,置信下限和上限分别为 19.30 MPa 和 23.04 MPa。回弹法测混凝土强度平均相对误差为 34.38%,相对标准差

为 39.42%。

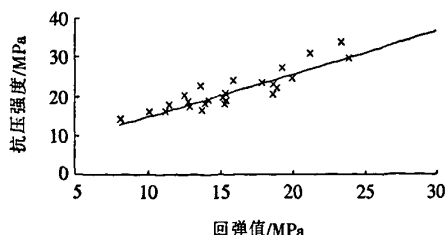


图 6 旧梁回弹值和钻芯抗压强度

以上结果表明:在新建结构或构件和服役若干年的既有混凝土桥梁结构中,回弹法测新建结构快速锈蚀后混凝土强度值更接近于钻芯取样强度;以上回弹法测混凝土强度值普遍小于实际混凝土强度,因此必须加以修正。钢筋快速锈蚀后混凝土和实桥服役多年混凝土的回弹值和芯样强度散点图分别如图 5 和图 6 所示。

考虑到工程测量精度、计算简化的要求,分别对图 5 和图 6 芯样混凝土强度及相应测区回弹强度散点图进行线性回归,函数关系分别如下:

$$f'_{cu} = 1.120R' + 1.120 \quad (1)$$

$$f'_{cu} = 1.083R'' + 4.012 \quad (2)$$

式中: f'_{cu} 为快速锈蚀钢筋混凝土梁混凝土芯样抗压强度值(MPa); R' 为快速锈蚀钢筋混凝土梁相应测区混凝土强度回弹值(MPa); f'_{cu} 为实桥旧梁混凝土芯样抗压强度值(MPa); R'' 为实桥旧梁相应测区混凝土强度回弹值(MPa)。

图 5 和图 6 及回归结果表明:回弹测混凝土强度与钻芯取样测混凝土强度存在较好的正相关性。鉴于回弹法对新建快速腐蚀构件和服役若干年实桥构件混凝土测强值差异不大,为扩大样本数量,减小误差使上述结果更接近工程实际,综合图 5 和图 6 结果,其散点图如图 7 所示。

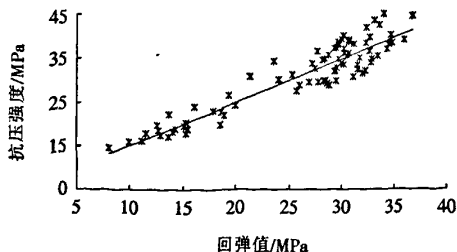


图 7 回弹值和钻芯抗压强度

由于图 7 中样本来自不同初始混凝土强度构件,样本回弹平均值为 26.22 MPa,标准差为 7.33 MPa;

在置信概率为 95% 的情况下,置信下限和上限分别为 24.70 MPa 和 27.74 MPa。钻芯取样强度平均值为 31.15 MPa,标准差为 7.77 MPa;在置信概率为 95% 的情况下,置信下限和上限分别为 29.54 MPa 和 32.76 MPa。回弹法测混凝土强度平均相对误差为 21.58%,相对标准差为 26.55%。

对图 7 线性回归得钻芯取样混凝土强度实际值与回弹法测得混凝土强度值关系如下:

$$f_{cu} = 0.985R + 5.316 \quad (3)$$

式中: f_{cu} 为修正后芯样混凝土抗压强度(MPa); R 为回弹值(MPa)。

实际对混凝土桥梁检测采用回弹法检测混凝土强度时,其前提是混凝土的内外质量基本一致,尚可使用该结论对回弹值进行修正。若内外质量不一致,混凝土测试将产生较大的误差,应采用回弹法、钻芯法进行综合,检测现场混凝土真实强度,吸取这两种方法的长处,尽量消除不利因素的影响,使得质量检验测试与工程质量提高有机结合,及时准确地发现问题,消除工程质量隐患。

4 结语

基于快速锈蚀钢筋混凝土梁及服役若干年实桥构件混凝土强度回弹法及钻芯取样对比试验,研究了钻芯取样测混凝土强度及回弹法测混凝土强度之间的相关性,结论如下:

(1) 对于钢筋锈后和长期服役混凝土回弹测强与钻芯取样测强存在正相关性,回弹测强稍小于钻芯取样获得的实际混凝土强度。

(2) 在新建快速锈蚀结构或构件和服役若干年的既有混凝土桥梁结构中,回弹法测新建快速锈蚀桥梁结构混凝土强度值更接近于钻芯取样强度,但两者差异并不大。

(3) 该文研究涉及的钢筋快速锈蚀后混凝土强度以及服役多年桥梁混凝土强度的回弹检测和钻芯法检测的样本数量有限,还很难考虑温度、湿度、骨料类型等参数对回弹法的影响,这方面有待于进一步通过大量试验开展深入研究。

参考文献:

- [1] 梁咏宁,袁迎曙. 硫酸盐腐蚀后混凝土单轴受压应力应变全曲线[J]. 混凝土,2005(7).
- [2] 陈元素. 受腐蚀混凝土力学性能试验研究[D]. 大连理工大学硕士学位论文,2006.
- [3] 翟运琼. 腐蚀混凝土单轴受压本构模型及其在混凝土构件力学性能分析中的应用[D]. 重庆大学硕士学位论文,2005.
- [4] 牛获涛,王庆霖. 一般大气环境下混凝土强度经时变化模型[J]. 工业建筑,1995(6).
- [5] 张健仁,刘扬. 混凝土桥梁构件服役期的抗力概率模型[J]. 长沙理工大学学报:自然科学版,2004(1).
- [6] Stewart MG, Rosowsky DV. Time-Dependent Reliability of Deteriorating Reinforced Concrete Bridge Decks[J]. Structural Safety,1998,20:91-109.
- [7] Kim J K, Han SH, Song YC. Effect of Temperature and Aging on the Mechanical Properties of Concrete Part I. Experimental Results[J]. Cement and Concrete Research, 2002, 32(7):1 087-1 094.
- [8] Kim J-K, Han SH, Park SK. Effect of Temperature and Aging on the Mechanical Properties of Concrete Part II. Prediction Model[J]. Cement and Concrete Research, 2002,32(7):1 095-1 100.
- [9] 张喜德,韦树英,彭修宁. 钢筋锈蚀对混凝土抗压强度影响的试验研究[J]. 工业建筑,2003(3).
- [10] 曹双寅,朱伯龙. 受腐蚀混凝土和钢筋混凝土的性能[J]. 同济大学学报:自然科学版,1990(2).
- [11] Alexander S, Kefei L, Olivier C. Aging Approach to Water Effect on Alkali-Silica Degradation of Structures [J]. ASCE,Journal of Engineering Mechanics,2003,129 (1):50-59.
- [12] Basheer L, Kropp J, Cleland DJ. Assessment of the Durability of Concrete from Its Permeation Properties; A Review [J]. Construction and Building Materials,2001, 15:93-103.
- [13] JGJ/T 23-2001 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S].
- [14] CECS 03:88 钻芯法检测混凝土强度技术规程[S].
- [15] 张青松. 回弹法结合钻芯修正法在混凝土强度检测中的应用[J]. 治淮,2009(2).

作者: [王磊](#), [张建仁](#), [张克波](#)
作者单位: [长沙理工大学土木与建筑学院, 湖南, 长沙, 410004](#)
刊名: [中外公路](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF CHINA & FOREIGN HIGHWAY](#)
年, 卷(期): 2010, 30(2)

参考文献(15条)

1. [Stewart MG;Rosowsky DV](#) [Time-Dependent Reliability of Deteriorating Reinforced Concrete Bridge Decks](#) 1998
2. [张建仁;刘扬](#) [混凝土桥梁构件服役期的抗力概率模型](#)[期刊论文]-[长沙理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2004(01)
3. [牛荻涛;王庆霖](#) [一般大气环境下混凝土强度经时变化模型](#)[期刊论文]-[工业建筑](#) 1995(06)
4. [翟运琼](#) [腐蚀混凝土单轴受压本构模型及其在混凝土构件力学性能分析中的应用](#)[学位论文] 2005
5. [陈元素](#) [受腐蚀混凝土力学性能试验研究](#)[学位论文] 2006
6. [曹双寅;朱伯龙](#) [受腐蚀混凝土和钢筋混凝土的性能](#) 1990(02)
7. [梁咏宁;袁迎曙](#) [硫酸盐腐蚀后混凝土单轴受压应力应变全曲线](#)[期刊论文]-[混凝土](#) 2005(07)
8. [张喜德;韦树英;彭修宁](#) [钢筋锈蚀对混凝土抗压强度影响的试验研究](#)[期刊论文]-[工业建筑](#) 2003(03)
9. [Kim J-K;Han SH;Park SK](#) [Effect of Temperature and Aging on the Mechanical Properties of Concrete Part II. Prediction Model](#)[外文期刊] 2002(07)
10. [Kim J K;Han SH;Song YC](#) [Effect of Temperature and Aging on the Mechanical Properties of Concrete Part I. Experimental Results](#)[外文期刊] 2002(07)
11. [张青松](#) [回弹法结合钻芯修正法在混凝土强度检测中的应用](#)[期刊论文]-[治淮](#) 2009(02)
12. [CECS 03:88](#). [钻芯法检测混凝土强度技术规程](#)
13. [JGJ/T 23-2001](#). [回弹法检测混凝土抗压强度技术规程](#)
14. [Basheer L;Kropp J;Clelandc DJ](#) [Assessment of the Durability of Concrete from Its Permeation Properties:A Review](#)[外文期刊] 2001
15. [Alexander S;Kefei L;Olivier C](#) [Aging Approach to Water Effect on Alkali-Silica Degradation of Structures](#) 2003(01)

本文读者也读过(9条)

1. [阎继红. 胡云昌. 林志仲](#) [回弹法和超声回弹综合法判定高温后混凝土抗压强度的试验研究](#)[期刊论文]-[工业建筑](#) 2001, 31(12)
2. [石铁鹰. 龚爱民. 彭玉林. 李丽生. 周辉](#) [回弹法检测再生混凝土抗压强度的试验研究](#)[期刊论文]-[云南农业大学学报](#)2009, 24(6)
3. [郭臻. 张峰. 王娜娜. Guo Zhen. Zhang Feng. Wang Nana](#) [基于回弹法混凝土强度测定研究](#)[期刊论文]-[价值工程](#) 2011, 30(8)
4. [王玮. 柴伟杰. Wang Wei. Chai Weijie](#) [浅谈回弹法检测混凝土抗压强度](#)[期刊论文]-[价值工程](#)2011, 30(20)
5. [陈培德. CHEN Pei-de](#) [回弹法专用测强曲线在集美大桥预制箱梁检验中的应用](#)[期刊论文]-[交通标准化](#)2010(3)
6. [何俊翔. 赵明华. 陈大川](#) [回弹仪测定混凝土抗压强度的计算机处理方法](#)[期刊论文]-[中南公路工程](#)2001, 26(4)
7. [韩春雷. Han Chunlei](#) [回弹法检测构件底面混凝土抗压强度曲线研究](#)[期刊论文]-[施工技术](#)2009, 38(11)
8. [张亦飞. 徐德明. 周启国. 王龙国. 程传国. ZHANG Yi-fei. XU De-ming. ZHOU Qi-guo. WANG Long-guo. CHENG Chuan-](#)

guo 超声回弹法检测混凝土强度的Shepard插值模型[期刊论文]-建筑材料学报2008, 11 (6)

9. 杨国胜 超声一回弹综合测强法在桥梁结构物中的应用研究[学位论文]2008

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gwgl201002025.aspx