



在役港工混凝土强度时变规律

程 婷^{1,2}, 应宗权¹

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室, 广东 广州 510230;
2. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

摘要: 钢筋混凝土构件是港口码头结构中的主要组成部分, 研究其构件在服役一段时间后混凝土强度的分布特征以及时变规律具有重要的实际意义。对大量混凝土强度的检测数据进行统计分析, 采用 W 检验法对混凝土强度进行了概率分布类型的拟合检验, 验证了采用正态分布的可行性, 并给出了采用不同检测方法混凝土强度的参考值; 通过统计不同年限混凝土强度的实测值, 采用回归分析的方法得到回弹法测得的混凝土强度值与服役年限之间的关系。

关键词: 混凝土强度; 统计数据; 分布类型; 时变规律

中图分类号: TU 755.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0136-04

Statistical analysis and time-dependent law of concrete strength for existing marine structures

CHENG Ting^{1,2}, YING Zong-quan¹

(1. Key Laboratory of Harbor & Marine Structure Durability Technology, Ministry of Communications, CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;
2. River and Ocean Engineering School, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Reinforced concrete members are the main components in the structure of ports. Studying the component in service after a period of time has important practical significance to study the distribution features of the concrete strength and time-changing law in service after a period of time. Based on a large number of concrete strength testing data, we study the concrete strength for the type of probability distribution by W -test, which verifies the feasibility of using normal distribution, and gives the referential values of concrete strength by various test methods. Based on the real-measured data on the concrete strength of different number of years, we get the relationship between the concrete strength values of rebound method and service life by regression analysis method.

Keywords: concrete strength; statistical data; distribution type; time-dependent law

混凝土是运用于港口码头建设以及其他建筑的一种较好的耐久性材料。然而在实际港口码头使用中, 由于使用环境的腐蚀以及长期荷载的作用, 混凝土的结构性能会随着时间的增加而逐渐退化, 导致耐久性降低。对既有码头结构的检测鉴定、维修加固以及耐久性评估, 需要了解结构中的混凝土强度。因此, 建立混凝土强度随时间的变化规律是既有码头建筑物迫切需要解决的问题。

对混凝土强度的时变规律的研究首先要对混

凝土的强度数据进行统计分析。王华琪等^[1]对大量混凝土抗压强度数据进行统计分析, 并采用 Kormoropob 的 D_n 的检验法验证混凝土强度符合正态分布。对于混凝土强度随时间的变化规律, 颜迎迎^[2]归纳总结了不同因素对大气环境下既有建筑物强度的影响; 牛荻涛^[3-4]通过总结分析国内外长期暴露试验和经年建筑物实测的混凝土强度, 分别建立了一般条件下和海洋环境下混凝土强度的平均值与标准差的经时变化模型; 高向玲^[5]收

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 程婷 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为港口海岸及近海工程。

集不同使用年限的建筑物实测混凝土强度, 建立了强度平均值的时变规律。

本文采用数理统计的方法对大量的码头结构现场检测数据进行统计分析。本次统计共收集到该单位检测的码头案例 41 例, 对华南地区码头的主要构件, 包括横梁、纵梁, 统计不同年限混凝土的强度实测值, 采用回归分析的方法得到了回弹法测得的混凝土强度值与服役年限之间的关系。

1 混凝土强度的统计分布

1.1 混凝土强度的概率分布类型

码头结构检测主要包括构件的承载力检测、完整性检测、耐久性检测。其中混凝土强度的检测是构件承载力检测的主要内容。以往的研究表明, 混凝土的强度分布符合正态分布。本文采用 W 检验法^[6] 对检测报告中采取钻芯法获得不同等级的混凝土强度值进行概率分布类型的检验, 验证了混凝土的强度分布符合《港口工程结构可靠度统一设计标准》中的正态分布的概率分布类型。

W 检验法是一种基于相关性的算法, 计算得到的相关系数越接近 1, 表明数据与正态拟合得越好。该方法灵敏性较高、需要的样本容量较少, 可取 3~50 个。计算式为:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_i\right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: 系数 a 可通过查夏皮罗-威尔克检验系数表获得。本次统计的检测报告中, 采用取芯法检测混凝土强度主要有 4 个等级 (表 1)。

表 1 各等级检验计算

强度等级	样本数	平均值	$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	W 值
C25	45	35.8	2 011.6	0.953
C30	47	49.3	2 271.4	0.867
C35	27	46.5	1 574.4	0.972
C40	43	50.2	2 577.4	0.996

查夏皮罗-威尔克检验中检验统计量 W 的概率 $a = 0.01$ 和 $a = 0.05$ 的分位表 $W_{a=0.01} = 0.753$ 、 $W_{a=0.05} = 0.767$ 。表 1 中各等级的 W 值均小于 1、大于 0.767, 表明采用钻芯法获得的混凝土强度的实测值均服从正态分布。取具有代表性的混凝土等级 C30、C40 的强度分布曲线见图 1。

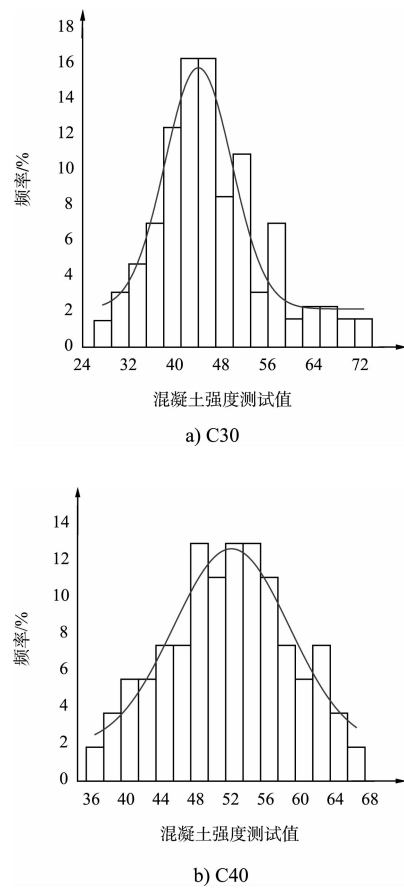


图 1 混凝土强度分布

1.2 混凝土强度的分布参数

在役港口码头构件的混凝土强度服从正态分布, 对于某一强度等级的混凝土, 即使在同一个工程中, 也会因构件部位不同、浇筑时段不同等造成强度差异较大。必须通过统计获得一个具有代表性的均值与标准差, 供结构检测时或者设计时采用。同时对混凝土质量的判定, 均值与标准差也是重要的判断依据。均值反映集中数据的趋势, 而标准差则反映统计数据的离散型。

根据《建筑设计统一标准》规定, 混凝土强度的标准值具有不低于 95% 的保证率, 查正态分布的常用分位数表, 概率分布的 0.95 分位值

为 1.645。即实测混凝土强度的推定值为 $f' = \mu - 1.645\sigma$ 。本次所统计的检测报告中，对混凝土强度的检测方法主要有回弹法和钻芯法两种。对相同等级的混凝土采用不同的方法，所得的结果是不同的。对于两种不同的方法所得混凝土参数进行对比分析，为检测工程中提供参考依据。统计的参数见表 2。

表 2 实测参数统计

等级	回弹法			钻芯法		
	均值	标准差	强度推定值	均值	标准差	强度推定值
C25	31.1	0.90	29.6	35.8	4.54	28.3
C25	35.7	3.41	30.1	49.3	5.77	39.8
C35	43.2	2.32	39.4	46.5	0.45	45.8
C40	43.4	0.67	42.3	50.2	6.65	39.3
C45	49.3	2.54	45.1			
C50	55.7	2.01	52.4			

由表 2 可知，同一等级下，采用钻芯法测得的混凝土强度比回弹法测得的强度要大，且钻芯法标准差较大，采集的数据较分散，说明不同部位、不同服役条件下的混凝土构件对取芯法测得的混凝土强度值的影响较大。表明取芯法对构件有严格的控制要求、准确性较高。采集的回弹法的数据相对于钻芯法较集中，其计算出的推定值能较好地满足混凝土强度的要求。对于采取回弹法与钻芯法测得混凝土强度的项目中，上述值可作为一个参考值。

1.3 回弹法与钻芯法的换算关系

采用钻芯法检测的混凝土强度值能较直接地反映混凝土的退化情况，但该方法成本较高、工时较长、对建筑物有所破损，对钻芯的要求也较高，不利于某些工程的检测与加固。回弹法是应用最广的无损检测，操作方便、测试迅速，但无法检测到混凝土内部的损伤，检测精度不高。王磊^[7]通过对实验室内快速锈蚀的钢筋混凝土梁的回弹与钻芯试验，建立了强度回弹值与钻芯值之间的关系。本文根据两种方法对混凝土强度的实测值，建立码头结构检测中回弹法测试值与钻芯法测试值之间的关系（图 2）。

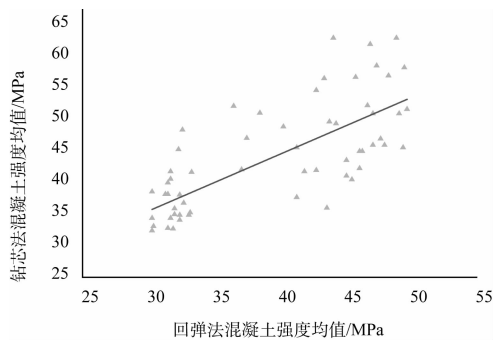


图 2 回弹测试值与钻芯法测试值关系曲线

采用线性表达式拟合两种强度之间的关系：

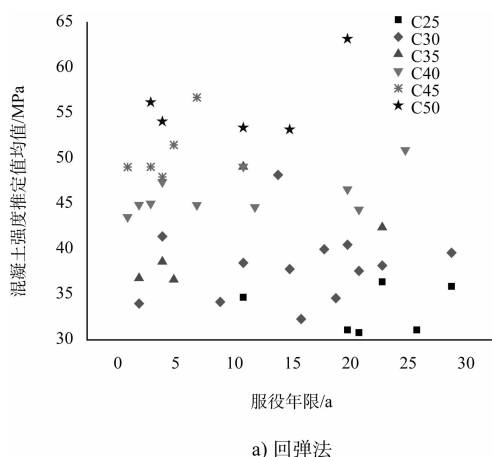
$$f_2 = 0.900 3f_1 + 8.509 \quad (2)$$

式中： f_1 、 f_2 分别表示回弹法与钻芯法强度的推定值。两者之间的相关度达到 0.509 2，具有较好的线性关系。

2 混凝土强度的时变规律

混凝土的强度在建筑物服役的前 10 a 时间内是随时间增长的^[5]，而随着时间的继续推移，混凝土的强度会因各种物理化学作用降低。但其大部分采取的是加速试验模拟大气中的环境，考虑的因素往往不全面，不能真实反映混凝土构件在实际服役中的强度时变规律。

为了更好地了解实际服役结构中混凝土的经时变化规律，本文对广州港湾码头检测报告的混凝土强度的数据进行统计，码头的服役年限在 1 ~ 29 a。采取不同的方法得到的不同混凝土强度等级与服役年限的关系见图 3。



a) 回弹法

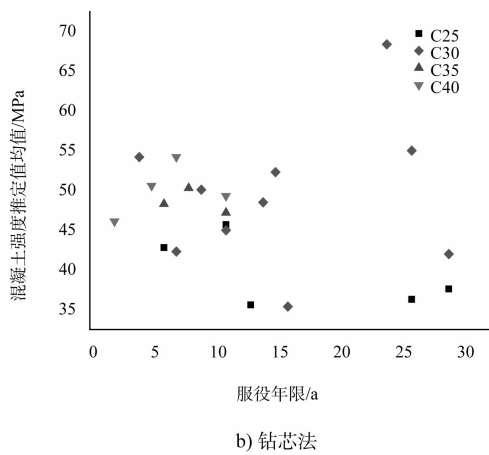


图3 混凝土强度与服役年限之间的关系

由图3可见, 由于钻芯法实测数据较少、时间跨度较大, 不具有代表性, 所以根据回弹法实测数据研究正常服役情况下混凝土强度随时间的变化规律。采用两种方法获得的C30等级的混凝土强度, 其离散性均较大。由于不同等级的混凝土不同年限下, 其数据点较散乱, 为了更好地研究混凝土的经时变化规律, 采取归一化处理的方式。归一化混凝土的强度是采取回弹法得到的混凝土强度推算均值与混凝土的标号, 即推算均值与混凝土立方体抗压强度标准值的比值(图4)。

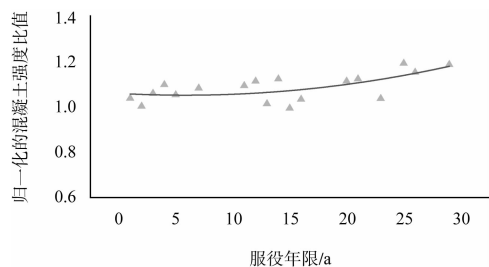


图4 归一化的混凝土强度与时间的关系

根据图4中的数据拟合得到的混凝土强度随时间的变化规律可用下式描述:

$$\frac{f_1}{f_{cu,k}} = 0.0002t^2 - 0.0028t + 1.0661 \quad (3)$$

式中: f_1 为回弹法混凝土强度的推算平均值; $f_{cu,k}$ 为混凝土的立方体抗压强度标准值; t 为服役年限。两者之间的相关度达到0.4953, 说明拟合的

关系较为合适。通过上式, 可大概评估混凝土多年后的强度值, 为以后工程建设以及对码头的安全性及耐久性评估可做一定的参考。

3 结语

对在役港口码头混凝土强度数据的统计分析, 可深入了解服役多年后混凝土强度的变化程度。

本文对采取回弹法与钻芯法所统计的参数值, 以及两者之间的关系在为服役结构的抗力评定和可靠度鉴定提供了一定的依据。

通过统计不同年限混凝土强度的实测值, 采用回归分析的方法得到了回弹法测得的混凝土强度值与服役年限之间的关系, 可供既有码头的检测加固以及可靠度设计提供依据。但由于该统计的时间年限较短, 只有29a, 因此需要进一步的研究, 以更好地描述混凝土强度的时变规律。

参考文献:

- [1] 王华琪, 赵鸣, 李杰, 等. 混凝土强度统计数据的应用[J]. 同济大学学报, 2007(7): 861-865.
- [2] 颜迎迎, 高向玲. 大气环境下混凝土强度经时变化规律研究进展[J]. 结构工程师, 2011(6): 134-140.
- [3] 牛荻涛. 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): 36-38.
- [4] 牛荻涛. 海洋环境下混凝土强度的经时变化模型[J]. 西安建筑科技大学学报, 1995(3): 49-52.
- [5] 高向玲, 李杰, 赵丽萍, 等. 一般大气环境下混凝土强度的经时变化规律[C]//既有建筑改造技术交流研讨会论文集. 北京: 中国建筑科学研究院, 2010: 414-420.
- [6] 庄楚强, 吴亚森. 应用数理统计基础[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2003.
- [7] 王磊, 张建仁, 张克波, 等. 回弹法和取芯法检测劣化桥梁混凝土强度相关性研究[J]. 中外公路, 2010(2): 101-104.