

Design Principle and Detection Technology of Intelligent Tester for Strength of Concrete

Wenming Wang^{1,2}

¹Xinjiang Bazhou Construction Engineering Quality Inspection Center, Korla Xinjiang

²Xinjiang Institute of Building Engineering Science and Technology, Urumqi Xinjiang

Email: 18909960203@126.com, wwm88888888@126.com

Received: Mar. 8th, 2017; accepted: Mar. 26th, 2017; published: Mar. 29th, 2017

Abstract

This article from the intelligent instrument for testing the strength of concrete to the design principle is introduced, by reducing or avoiding damage to the concrete structure, reducing the influence of various factors, so as to improve the accuracy of detection. According to the comparison of the core technology of each invention patent in the intelligent tester of concrete strength, the specific detection technology and method are described. Because of its environmental protection, economic and other advantages, it can be widely used in construction, railway, transportation, water transportation, port industry and other industries of the structural concrete strength of the field testing.

Keywords

Concrete Strength, Intelligent Tester, Design Principle, Detection Technology

混凝土强度智能检测仪设计原理及其检测技术

王文明^{1,2}

¹新疆巴州建设工程质量检测中心, 新疆 库尔勒

²新疆兵团建筑工程科学技术研究院, 新疆 乌鲁木齐

Email: 18909960203@126.com, wwm88888888@126.com

收稿日期: 2017年3月8日; 录用日期: 2017年3月26日; 发布日期: 2017年3月29日

摘要

本文从混凝土强度智能检测仪研制目的着手, 对其设计原理进行了介绍, 通过减少或避免对混凝土结构

的损伤,降低各种影响因素,从而提高检测精度。结合混凝土强度智能检测仪中每项发明专利的核心技术进行横向技术比较,阐述了具体的检测技术和方法。由于其具有环保、经济等优点,可广泛应用于建筑、铁路、交通、水运、港工等行业的结构实体混凝土强度的现场检测。

关键词

混凝土强度,智能检测仪,设计原理,检测技术

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

混凝土强度包括抗压强度、抗折强度、抗剪强度、抗拉强度等等。其中,抗压强度为混凝土最为重要的性能参数。现有技术中,对混凝土抗压强度的检测方法主要包括两大类。

一类是通过制作试件法[1] [2] [3] [4]。

通过制作边长为 150 mm (标准试件)、100 mm 或 200 mm (非标准试件)立方体试件,待达到相应龄期后,采用万能试验机或压力试验机对混凝土标准件进行抗压试验,从而得到极限破坏荷载,再根据极限破坏荷载与混凝土标准试件的受压面积,计算混凝土的抗压强度。若为非标准试件,尚应进行相应的换算方可得到抗压强度。

所谓相应龄期,对于不同行业不同技术标准有着不同的定义。譬如,在建筑行业相应龄期通常为 28 d。当特指 600℃·d 混凝土时,相应龄期通常指 10~60 d。制作试件法检测混凝土强度存在的缺陷为:检测设备大,不便于随身携带;检测建筑垃圾多,不环保;检测精度受试件尺寸、养护方式、相应龄期、加载速率和人员设备等多种因素影响。

二类是通过间接技术法[1] [2] [3] [4]。

通过回弹法、钻芯法、抗折法、抗剪法、超声回弹综合法、后锚固法和剪压法等多种间接检测技术进行检测推定得到混凝土抗压强度。

回弹法是无损检测方法中最为常用的方法之一,方法检测便捷,可直接通过回弹仪弹击杆弹击混凝土表面,通过混凝土表面的回弹值和混凝土的碳化深度,进而推定混凝土的抗压强度。该方法人为因素影响大,且受混凝土表面平整度和干湿度及其温度影响大,检测精度难以把握。

钻芯法是在结构或构件中钻取不同直径的混凝土试样,并将试样切割、加工、养护后,在传统试验机上通过抗压试验得到混凝土抗压强度。现行规范规定的标准芯样为高度和直径均为 100 mm。对于钻芯法的检测精度,行业内专家意见不一。有认为钻芯法精度较高甚至认为是最高的,也有认为离散较大,精度较差的。笔者通过大量实践证明:钻芯法检测方法直观,但结果未必精确。其操作过程繁琐,需要现场有水有电,对混凝土构件或混凝土结构存在较大的破坏,且受人员、设备、钻芯方向、补平方式等多种影响,若要做到较好的精度,需要有丰富的检测经验。

其他的检测方法也各有利弊,在此不再赘述。

以下从混凝土强度智能检测仪的研制目的、设计原理着手,对矩形或环形状类混凝土强度智能检测仪、抗剪(抗折)类混凝土强度智能检测仪、扭矩类智能检测仪的检测技术进行综述。

2. 设计原理

2.1. 研制目的

混凝土强度智能检测仪研制目的旨在解决现有技术中的混凝土抗压强度的检测方法有些检测精度难以把握、有些操作繁琐、有些设备较大不便携带、有些对工程或结构具有较大破坏，以及检测过程带来较多建筑垃圾等诸多缺陷。拟设计仪器体积小可满足携带方便、可自动采集测试精度高、检测过程建筑垃圾少等显著优势的检测仪器。

2.2. 设计原理

混凝土强度智能检测仪的设计原理是通过减小受测混凝土试件的尺寸来降低荷载的力值，从而实现减小仪器的体积和减少检测垃圾。通过加载机构对受测试件进行加载，并将加载数据通过压力传感器上传到电性连接的数据处理系统即可得到混凝土强度测试结果。减小受测混凝土试件的尺寸所进行的数据通过与正常标准试件大量比对，找到其相关性最好的函数形式作为仪器数据处理系统的可靠模式。

数据处理系统是利用现代电子技术，通过设置数据处理机构，输入实现建立的相关性最好的函数形式以达到自动采集，提高检测精度。为便于观测和数据传递，数据处理机构专门设置了数据的显示屏和 USB 接口、串口等数据连接口。

因此，设计的智能检测仪结构简单，体积小，便于携带，检测过程实现自动化，检测垃圾少，检测精度高。可广泛适用于建筑、铁路、交通、水运、港工等行业混凝土强度的检测。

3. 检测技术

对混凝土强度的检测，通过制作试件法虽然精度相对较高，但检测建筑垃圾多，不环保，且仪器笨重不便于现场检测，通过间接技术法也各有利弊。结合上述制作试件法、回弹法、钻芯法检测方法，为提高检测精度，我们采取了超声回弹综合法、后锚固法、剪压法等等各种方法，但收效甚微，精测精度难以满足检测实际需要。

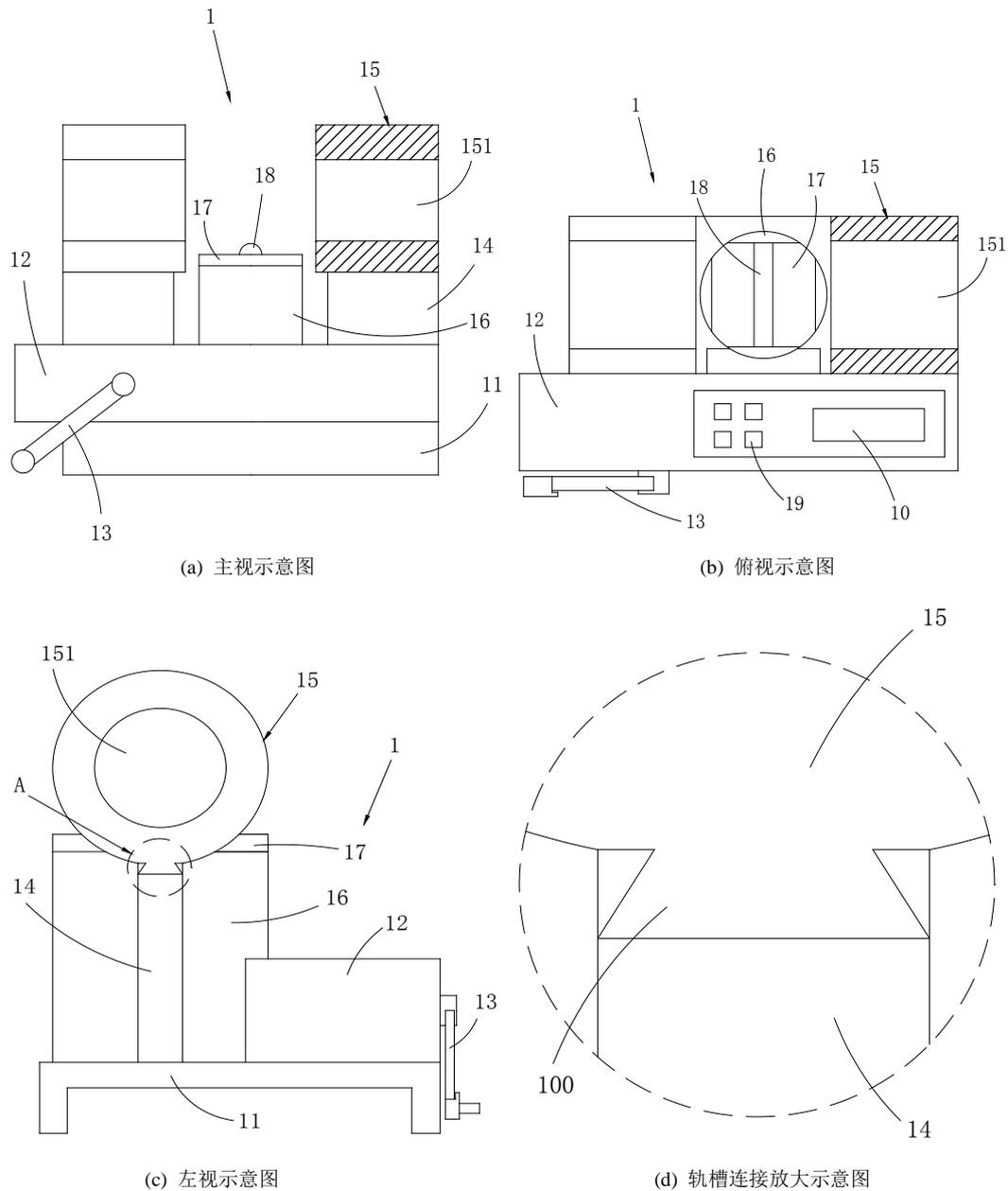
近年来，笔者发明了一系列新的检测仪器和检测技术，并从全国范围进行了大量实验研究，取得了一系列有价值的成果。笔者主要从矩形状或环形状类混凝土强度智能检测仪、抗剪(抗折)类混凝土强度智能检测仪、扭矩类智能检测仪及其检测技术等三方面对混凝土强度智能检测仪设计原理及其检测技术进行综述。

3.1. 矩形状或环形状类混凝土强度智能检测仪及其检测技术[5]

矩形状或环形状混凝土强度智能检测仪由底座、支撑柱、试件夹、摇杆、连接平板、导轨结构、加载机构、加压支条、连接平板、操作键、显示屏、压力传感器、数据处理系统及其相应的 USB 口或串口等构成，如图 1 所示。检测仪的支撑柱呈竖状设于底座上，相间布置，其上设有试件夹。压力传感器位于两支撑柱的中间位置，电性连接数据处理系统和加载机构，其上端覆盖有呈水平放置的连接平板，连接平板上凸设有加压支条，位于两试件夹的中间位置。

设计的矩形状或环形状试件智能检测仪(授权专利号: ZL201310303529.6)，用于对混凝土试件直径范围为 30~50 mm、长度不小于 60 mm 的混凝土试件进行抗压强度检测。对于此类智能检测仪，其最佳函数形式随着矩形状或环形状等不同形状以及不同尺寸及其不同受力点的变化而变化，因此申报专利时未选取了特定的函数形式。其相关性良好均在 0.95 以上，较传统的试件法和间接技术法有显著提高，尤其是其完全实现智能自动化，保障数据的真实可靠以及检测垃圾少具有较好的环保效益。

设计的矩形状或环形状试件智能检测仪的具体检测技术如下：



10. 显示屏; 11. 底座; 12. 加载机构; 13. 摇杆; 14. 支撑柱; 15. 试件夹; 16. 压力传感器; 17. 连接平板; 18. 加压支条; 19. 操作键; 100. 导轨结构; 151. 通孔; A. 轨槽连接处

Figure 1. Intelligent detection instrument for compressive strength of concrete and schematic diagram of connection and enlargement of rail tank

图 1. 矩形或环形状混凝土强度智能检测仪及轨槽连接放大示意图

- 1) 将直径范围为 30~50 mm、长度不小于 60 mm 的混凝土试件放置在两试件夹之间进行有效固定;
- 2) 启动加载机构, 使压力传感器上的连接平板及加压支条抵接于混凝土试件的中间位置, 通过不断加大加载力值, 使压力传感器不断上移, 加压支条逐渐抵接混凝土试件的中间位置。通过加载机构不断加载, 直至被测混凝土试件被破坏, 智能检测仪自动得到混凝土试件破坏瞬间的强度;

3) 通过对多个被测混凝土试件的强度的检测, 经仪器数据处理机构的处理, 得到混凝土试件强度的最终结果。

3.2. 抗剪(抗折)类混凝土强度智能检测仪及其检测技术[6] [7] [9]

抗剪(抗折)类又称混凝土抗压强度智能剪切仪(抗折仪),如图2,系采用抗剪(抗折)试件抗剪(抗折)强度与边长为150 mm的立方体标准试件抗压强度建立相关关系,推定结构或构件混凝土的抗压强度。笔者发明的“检测混凝土抗压强度的剪切仪”和“抗折法检测混凝土抗压强度的方法及装置”,授权专利号分别为:ZL201320506591.0和ZL201110282390.2。对于抗剪法采用直线、幂函数、指数、对数、多项式等函数形式分别计算得出的 R^2 开方得到其相关系数分别为0.9317、0.9018、0.8351、0.9628、0.9699。从上述计算结果来看,多项式剪切强度值与试件抗压强度值相关性最好。因此申报专利时初步选取了这种函数形式。而对于纯抗折时,其相关系数达到0.9899,最佳转换公式为 $f_{kz,i}^c = ae^{bf_{kz,i}}$,详见(4)。

从图2可见,剪切仪包括架体、传感器、固定座、板体以及动力元件等,两固定座相向设置,连接于架体之上,并具有一定间隔,中间设有安装孔,供混凝土试样插设安放,便于检测。检测仪的样式可以有不同形式,也可以是图3所示的另一种形式。

设计的抗剪(抗折)类混凝土强度智能检测仪的具体检测技术如下:

- 1)将直径为44 mm的小芯样插设于两固定座间的安装孔;
- 2)对仪器的驱动元件施加驱动力,使抵接件与混凝土试样的剪切(抗折)段产生剪切作用,直至剪切(抗折)破坏;
- 3)混凝土试样从插设段上被剪切(抗折)破坏瞬间,通过传感器将驱动力数据传递至控制元件,控制元件通过事先设定的剪切(抗折)强度与抗压强度的转换公式(见式(1))自动计算得到混凝土试样的强度。

$$f_{kji}^c = a + b \times f_{kji} + c \times f_{kji}^2 \quad (1)$$

其中, f_{kji}^c 为混凝土的抗压强度换算值(MPa); f_{kji} 为多个混凝土的平均剪切(抗折)强度(MPa); a 、 b 、 c 为回归方程的回归系数。

- 4) 当为纯抗折时,其最佳转换公式为 $f_{kz,i}^c = ae^{bf_{kz,i}}$,取上述确定出的三个抗折试件的抗折强度的平均

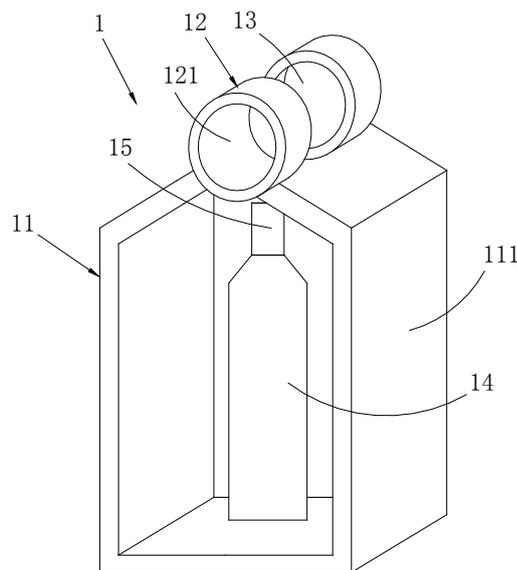
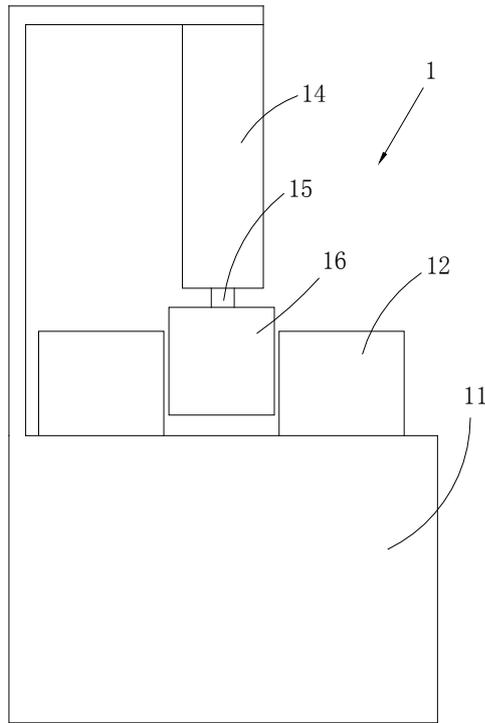


Figure 2. Anti shear (flexural) concrete strength intelligent tester

图2. 抗剪(抗折)类混凝土强度智能检测仪



1. 剪切仪; 14. 动力元件; 15. 传感器; 16. 抵接环;
12. 固定座; 11. 架体

Figure 3. Another form of anti shear (flexural strength) concrete strength intelligent tester main visual sketch map

图 3. 另一形式抗剪(抗折)类混凝土强度智能检测仪主视示意图

值 $f_{kz,i}$ 作为本组抗折试件的抗折强度代表值，与对应的 150 mm 立方体试件抗压强度建立相关关系，从而确定回归方程回归系数 a 、 b 的具体数值；

其中： $f_{kz,i}^c$ 即为第 i 个混凝土构件抗压强度换算值(MPa)；

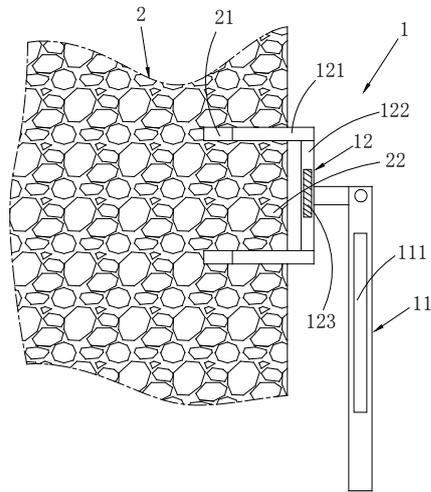
$f_{kz,i}$ 即为第 i 个混凝土构件抗折强度(MPa)；

a 和 b 即为回归方程回归系数。

3.3. 扭矩类混凝土强度智能检测仪及其检测技术[8]

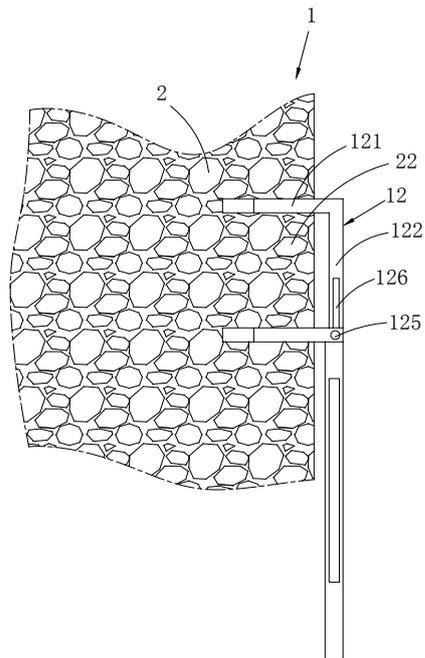
扭矩类混凝土强度智能检测仪又称混凝土抗压强度扭矩法检测仪，由夹座、扭矩杆、座体、夹板、显示屏、螺杆、销轴、滑槽等构成，扭矩法检测仪夹板的内表面上设有凹凸结构，使得夹板可以更加稳固的夹住混凝土试样。如图 4 和图 5 所示。

扭矩类混凝土强度智能检测仪系采用抗扭试件扭矩强度与边长为 150 mm 的立方体标准试件抗压强度建立相关关系，推定结构或构件混凝土的抗压强度。笔者发明的“混凝土抗压强度扭矩法检测仪”和“混凝土抗压强度扭矩法检测仪及其检测方法”，其专利授权号分别为：ZL201320516708.3 和 ZL201310370542.3。检测仪的样式可以有不同形式，也可以是图 5 所示的另一种形式。对于扭矩类混凝土强度智能检测仪，采用直线、幂函数、指数、对数、多项式等函数形式分别计算得出的 R^2 开方得到其相关系数分别为 0.9415、0.8918、0.9352、0.9816、0.9499。从上述计算结果来看，对数函数形式的扭矩



1. 扭矩法检测仪; 2. 混凝土结构实体; 21. 环槽;
22. 用于检测的混凝土试样; 12. 夹座; 11. 扭矩杆;
122. 座体; 121. 夹板; 111. 显示屏; 123. 螺杆; 125.
销轴; 126. 滑槽

Figure 4. The schematic diagram of the main view of the measuring instrument in the working condition
图 4. 扭矩类混凝土强度智能检测仪处于工作状态的主视示意图



1. 扭矩法检测仪; 2. 混凝土结构实体; 21. 环槽;
22. 用于检测的混凝土试样; 12. 夹座; 11. 扭矩杆;
122. 座体; 121. 夹板; 111. 显示屏; 123. 螺杆; 125.
销轴; 126. 滑槽

Figure 5. Another case of torque detection instrument in the working state of the main vision
图 5. 另一情形扭矩类混凝土强度智能检测仪处于工作状态的主视示意图

强度值与试件抗压强度值相关性最好，因此申报专利时初步选取了 $f_{nj,i}^c = aLn(f_{nj,i}) + b$ 这种函数形式。

设计的扭矩类混凝土强度智能检测仪的具体检测技术如下：

- 1) 在待测混凝土构件或混凝土结构实体上钻制贯穿于混凝土构件或混凝土结构实体的外表面的检测环槽；
- 2) 将扭矩类混凝土强度智能检测仪其套设在混凝土试样外，夹紧后逐步施加扭力，直至将混凝土试样扭断；
- 3) 在混凝土试样被扭断的瞬间，得到扭矩法检测仪施加的扭力峰值；根据事先确定的的扭力峰值代入扭力与抗压强度的转换公式，得到混凝土试样的强度。转换公式如式(2)。

$$f_{nj,i}^c = aLn(f_{nj,i}) + b \quad (2)$$

其中： $f_{nj,i}^c$ 即为采用的扭矩法检测仪检测时第 i 个混凝土构件或混凝土结构实体 2 的抗压强度换算值 (MPa)； $f_{nj,i}$ 即为采用的扭矩法检测仪检测时施加于第 i 个混凝土构件或混凝土结构实体 2 混凝土扭力峰值 (kN)； a 、 b 即为回归方程的回归系数。

3.4. 混凝土强度智能检测仪技术间横向对比[9]

上述介绍的三类混凝土强度智能检测仪均有授权的发明专利，说明其技术均具备新颖性、创造性和实用性。同时，均完全实现智能化，保障数据的真实可靠以及检测垃圾少具有较好的环保效益。对其进行技术间横向对比，主要存在以下不同。

1) 矩形状或环形状类混凝土强度智能检测仪(授权专利号：ZL201310303529.6)，对于检测试件尺寸的要求为直径范围 30~50 mm、长度不小于 60 mm。其相关性良好均在 0.95 以上，但最佳函数形式随着矩形状或环形状等不同形状以及不同尺寸及其不同受力点的变化而变化，因此没有特定的最佳函数形式。

2) 抗剪(抗折)类混凝土强度智能检测仪(“检测混凝土抗压强度的剪切仪”和“抗折法检测混凝土抗压强度的方法及装置”，授权专利号分别为：ZL201320506591.0 和 ZL201110282390.2。)，系采用抗剪(抗折)试件抗剪(抗折)强度与边长为 150 mm 的立方体标准试件抗压强度建立相关关系，推定结构或构件混凝土的抗压强度。最佳函数形式为多项式，相关系数达到 0.9699。而对于纯抗折时，其最佳转换公式为 $f_{kz,i}^c = ae^{bf_{kz,i}}$ ，相关系数达到 0.9899。

3) 扭矩类混凝土强度智能检测仪(“混凝土抗压强度扭矩法检测仪”和“混凝土抗压强度扭矩法检测仪及其检测方法”，其专利授权号分别为：ZL201320516708.3 和 ZL201310370542.3。)，系采用抗扭试件扭矩强度与边长为 150 mm 的立方体标准试件抗压强度建立相关关系，推定结构或构件混凝土的抗压强度。最佳函数形式为对数函数 $f_{nj,i}^c = aLn(f_{nj,i}) + b$ ，相关系数达到 0.9816。

从以上技术间横向对比，精度最高的是抗剪(抗折)类混凝土强度智能检测仪中的纯抗折模式，最佳转换公式为 $f_{kz,i}^c = ae^{bf_{kz,i}}$ ，相关系数达到 0.9899。

4. 结论

混凝土强度智能检测仪具有以下特点：

- 1) 可用于混凝土抗压强度、抗折强度、抗剪强度、抗拉强度等不同形式来测得，也可通过以上不同形式最终统一推定混凝土抗压强度等重要技术指标，确保混凝土强度检测结果的可靠性；
- 2) 可用于混凝土现场检测或对预留混凝土试件直接检测，对混凝土破坏较小甚至不会对混凝土构件产生破坏，确保工程结构安全；
- 3) 仪器设计结构简单，体积较小，质量较轻，便于携带，检测过程完全自动化，减少检测过程人为

因素的影响,从而提高检测精度。三类混凝土强度智能检测仪优势各有千秋,其相关性良好均在 0.95 以上,较传统的试件法和间接技术法有显著提高,大大提高检测结果的公正性、准确性;

4) 广泛适用于建筑、铁路、交通、水运、港工等行业的不同龄期不同强度等级的混凝土强度的检测。

参考文献 (References)

- [1] 王文明. 建设工程检测鉴定实例及检测鉴定技术应用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 王文明. 混凝土检测标准解析与检测鉴定技术应用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [3] 王文明. 新编建设工程无损检测技术发展与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [4] 王文明, 张荣成. 《高强混凝土强度检测技术规程》实施指南及检测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [5] 王文明. 混凝土抗压强度智能检测仪及其检测方法[J]. 计量技术, 2015(4): 55-58.
- [6] 王文明. 抗剪法检测混凝土抗压强度技术研究[J]. 混凝土世界, 2012(12): 76-79.
- [7] 王文明. 抗折法检测混凝土抗压强度技术研究[J]. 混凝土世界, 2013(8): 74-77.
- [8] 王文明. 混凝土抗压强度扭矩法检测仪及其检测方法[J]. 仪器与设备, 2015(9): 4.
- [9] 王文明. 基于混凝土抗压强度检测的剪切仪设计方案及其检测方法[J]. 混凝土世界, 2016(9): 84-91.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: iae@hanspub.org