

# Inspection of Concrete Compressive Strength with *In-Situ* Single-Shearing Core\*

—A Testing Technique Which Has Handy Operation, Wide Applicability, Higher Precision

Yuewu Zhu, Ping Qiu, Qihong You

China Academy of Building Research, Beijing  
Email: bw9817@163.com

Received: Dec. 11<sup>th</sup>, 2012; revised: Jan. 4<sup>th</sup>, 2013; accepted: Jan. 15<sup>th</sup>, 2013

**Abstract:** The technique of *in-situ* single-shearing core for testing concrete compressive strength, drill a core sample with diameter 44 mm, depth 40 mm, and snare the core with shearing-head, which has left and right part. By applying shear force on the core, and cutting off 25 mm depth. According to the core's concrete shear strength, presume the core's concrete compressive strength.

**Keywords:** *In-Situ* Single-Shearing Core; Concrete Shear Strength; Concrete Compressive Strength; Strength Grade; Green Environmental Protection; Energy-Saving

## 原位单剪法检测混凝土抗压强度\*

——一种操作简便、适用范围广、精度较高的检测技术

朱跃武, 邱平, 游启洪

中国建筑科学研究院, 北京  
Email: bw9817@163.com

收稿日期: 2012年12月11日; 修回日期: 2013年1月4日; 录用日期: 2013年1月15日

**摘要:** 原位单剪法检测混凝土抗压强度技术, 是在混凝土结构面上钻成直径 44 mm、深度 40 mm 的芯样, 将装有左右卡头的剪切头套住芯样后, 通过施加剪力将混凝土芯样在深度 25 mm 处剪断。用该处的混凝土抗剪强度推定混凝土抗压强度。

**关键词:** 原位单剪法; 混凝土剪切强度; 混凝土抗压强度; 强度等级; 绿色; 节能

### 1. 引言

混凝土抗压强度是结构计算时最重要参数之一, 它的大小不但影响结构的承载能力, 也影响结构的耐久性。作为一栋建筑物, 从设计、施工、验收、使用、维修各个环节均是围绕混凝土抗压强度这个指标进行工作, 因此在质量控制过程中, 派生了许多检测混凝土抗压强度技术, 这些技术可分为非破损、微破损、

半破损检测技术。非破损检测混凝土抗强度技术主要包括<sup>[1]</sup>: 回弹法、超声回弹综合法、贯入法, 它的特点是不损坏结构, 利用混凝土表面硬度和表面的均匀性来推定混凝土抗压强度, 缺点是不能反映结构内部、及核心区内的混凝土抗压强度; 微破损检测主要包括: 后装拔出法、后锚固法, 它的特点是破损小, 精度高, 可以检测核心区的混凝土抗压强度, 但存在操作工艺复杂, 周期长等缺陷, 比如需要钻孔、扩孔、打磨、粘接等工序; 半破损检测主要是:

\*资助信息: 中国建筑科学研究院 2012 年, 科研基金项目, 标准规范类。

钻芯法，它通过钻取芯样、经切割、打磨、抗压后得到其混凝土抗压强度，该法可以有效反映混凝土核心区的混凝土抗压强度。

由于规范规定钻芯直径为  $\Phi 100$ ，芯样取出后还需要切割、打磨、补平、抗压等工序，过程繁琐，耗时长、稍有不慎会造成强度损失，误差变大。同时还有对结构损伤大，无法满足钢混结构、预应力混凝土结构和钢筋密集构件检测的缺点<sup>[2]</sup>。

而作为广泛使用的回弹法<sup>[3]</sup>，是利用混凝土表面硬度，推定混凝土抗压强度，因此无法反应核心区内的混凝土质量<sup>[4]</sup>。而表面硬度又受碳化深度、成型面、测试方向的诸多因素的影响，因此该技术测试误差较大，同时由于本身回弹仪构造的原因，当被检测构件混凝土抗压强度超过 C60 时，将不能用普通回弹仪检测混凝土抗压强度。

## 2. 原位单剪法检测混凝土抗压强度的提出

在原位直接检测混凝土抗压强度，从技术上很难实现，多数是从结构上取出样品进行试验或者通过混凝土的抗剪强度进行换算<sup>[5]</sup>，而在混凝土构件上进行原位剪切试验，目前还没有文献记载，为了探索原位剪切技术，首先应了解混凝土抗压强度与混凝土抗剪强度之间的关系入手，众所周知混凝土的性能是抗压强度高，抗拉强度和抗剪强度低。

下面以 C15~C60 混凝土抗压强度与混凝土抗剪、抗拉的对比关系为例进行说明，见表 1 和图 1，图 2。

表 1 中抗拉强度约为抗压强度的 1/10~1/20，而抗剪强度约为抗压强度的 1/10，抗剪强度与抗压强度的相关性好于抗拉强度与抗压强度的相关性<sup>[6]</sup>。为此中国建筑科学研究院技术人员首先提出了原位单剪法检测混凝土抗压强度检测技术的研究方案，并获得院科技基金的支持。

原位抗剪法检测混凝土强度技术，是在结构实体上，使用空心钻头，钻成  $\Phi 44$  mm，深度 35 mm~40 mm 的混凝土芯样，对其直接进行剪切，并获得混凝土抗剪强度，再根据混凝土轴心抗压强度与抗剪强度的相关关系，用混凝土的剪切强度推定混凝土抗压强度。原位单剪法工作原理示意，见图 3 所示。

为了实现该技术，经过反复试验和研究，设计发明了可以进行原位单剪的检测装置，该装置可以检测

Table 1. Concrete strength grade, the tensile and shear strength  
表 1. 混凝土强度等级与抗拉、抗剪强度

强度等级 $f_c$	抗拉强度 $f_t$	抗剪强度 $f_j$
C15	1.27	2.25
C20	1.54	2.70
C25	1.78	3.15
C30	2.01	3.55
C35	2.20	3.90
C40	2.39	4.30
C45	2.51	4.65
C50	2.63	5.00
C55	2.74	5.30
C60	2.85	5.60

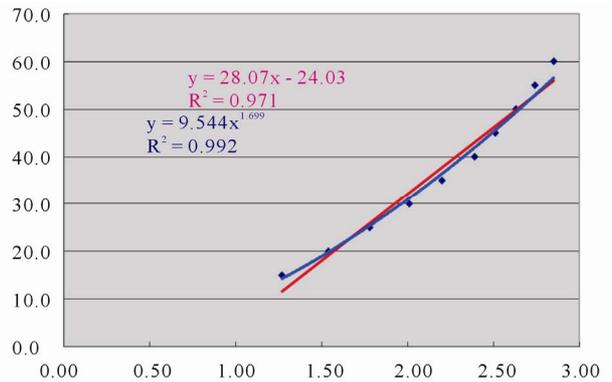


Figure 1. Tensile strength and compressive strength  
图 1. 抗拉强度与抗压强度

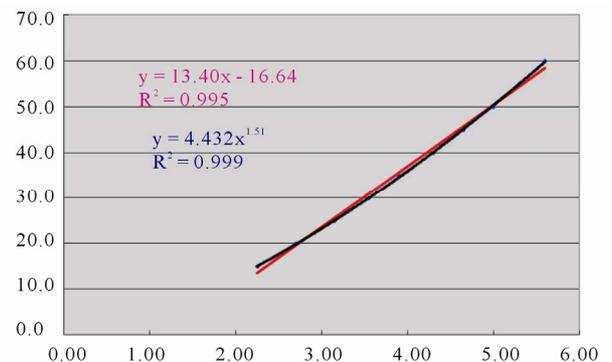


Figure 2. Shear strength and compressive strength  
图 2. 抗剪强度与抗压强度

C15~C80 各等级混凝土剪切强度，它具有轻便、简单、精度较高，适用范围广等优点，该装置可随时更换不同直径、用于剪切混凝土芯样的半圆形剪切头，除直径  $\Phi 44$  外，还配有  $\Phi 49$ 、 $\Phi 38$  两种规格剪切头，以满

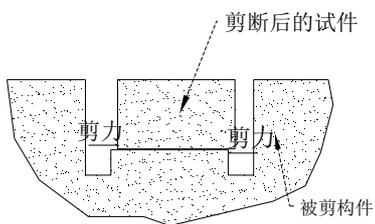


Figure 3. Principle diagram of *in-situ* single-shearing  
图 3. 原位单剪工作原理示意图

足不同规格、尺寸混凝土构件的检测，见图 4 和图 5。

### 3. 原位单剪法试验方法

#### 3.1. 试验方案

为了验证该技术的可靠性和科学性，利用常用配合比，按照 C15~C80 混凝土强度等级，制作 432 块 150 mm × 150 mm × 150 mm 的混凝土标准试块，采用自然养护，按照不同龄期进行剪切和混凝土抗压试验。试验方案见表 2。

#### 3.2. 试验设备

##### 3.2.1. 钻机

试验采用 HZ-100 型混凝土钻机，该钻机的机械技术指标为：

- 1) 最大钻芯直径：Φ100；
- 2) 最大钻孔深度：300 mm；
- 3) 主轴转速：1500 r/min；
- 4) 单相串激电动机功率：1500 W；电压：220 V；
- 5) 重量：12 kg；
- 6) 直径为 44 mm 空心薄壁钻头。

##### 3.2.2. 原位单剪仪

原位单剪仪采用加力杆，通过人工加力作为仪器的动力源。主要技术性能：

- 1) 检测强度范围：15 MPa~80 MPa；
- 2) 压力传感器最大压力：不小于 20 kN；
- 3) 荷载表的精度应大于 10 N(0.01 kN)。

原位单剪仪与荷载表连接见图 6。

#### 3.3. 操作

采用直径为 44 mm 空心薄壁钻头，在混凝土试件上钻出直径 44 mm，深度 40 mm 小芯样<sup>[7]</sup>，不用取出，

Table 2. The number of concrete specimen (piece)  
表 2. 混凝土试件数量(块)

强度等级	龄期(d)			
	1	3	7, 14, 28, 60, 90, 180, 360	小计
C15	-	-	7 × 6 块	42 块
C20	-	-	7 × 6 块	42 块
C30	-	-	7 × 6 块	42 块
C40	-	-	7 × 6 块	42 块
C50	6 块	6 块	7 × 6 块	54 块
C60	6 块	6 块	7 × 6 块	54 块
C70	6 块	6 块	7 × 6 块	54 块
C80	6 块	6 块	7 × 6 块	54 块
合计	24 块	24 块	336 块	384 块

注：每种强度等级，每个龄期，需制作 6 块 150 mm × 150 mm × 150 mm 混凝土试件，任选其中三块(一组)进行抗压试验，另 3 块钻成 Φ44 mm，深度 35 mm~40 mm 各三个抗剪试件，分别进行原位单剪试验。



Figure 4. *In-situ* single-shearing apparatus of the shear test process  
图 4. 原位单剪仪的剪切试验过程



Figure 5. *In-situ* single-shearing apparatus of the shear test process  
图 5. 原位单剪仪的剪切试验过程

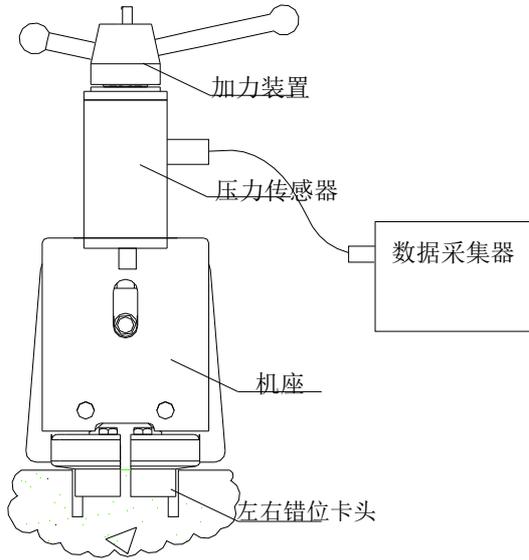


Figure 6. The diagram of *in-situ* single-shearing  
图 6. 原位单剪示意图

将原位单剪仪插入芯样间隙内，通过加力杆对夹在芯样上的错位凸台卡头施加剪力，当剪力大于混凝土的抗剪强度时，芯样被剪断。而最大峰值通过连接到压力传感器上的荷载表保存下来，完成一个芯样的剪切操作，从成孔到剪切，全过程仅需 3 分钟。

### 3.4. 数据分析

表中给出 1 天、3 天、7 天、14 天、28 天，强度等级从 C15~C80 混凝土试块，在自然养护的情况下的原位单剪抗压强度和所对应 150 mm × 150 mm × 150 mm 立方体试块的抗压强度见表 3。

回归数据曲线见图 7，其它各回归曲线的回归参数和平均相对误差、相对标准差见表 4<sup>[8]</sup>。

$$\delta = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f_{cu,i}}{f_{cu,i}^c} - 1 \right| \times 100\% \quad (1)$$

$$e_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_{cu,i}}{f_{cu,i}^c} - 1 \right)^2} \times 100\% \quad (2)$$

式中： $\delta$ ——回归方程式的强度平均相对误差(%), 精确至 0.1%;

$e_r$ ——回归方程式的强度相对标准差(%), 精确至 0.1%;

$f_{cu,i}$ ——由第 1 个试块抗压试验得出的混凝土强

Table 3. Test data  
表 3. 试验数据

序号	剪切 MPa (x)	抗压 MPa (f)	序号	剪切 MPa (x)	抗压 MPa (f)
1	2.96	19.1	14	6.51	46.1
2	3.33	25.5	15	7.01	58.6
3	3.43	22.5	16	7.12	70.4
4	4.47	28.9	17	7.57	62.3
5	4.78	37.6	18	7.72	74
6	4.88	30.5	19	7.96	74.7
7	5.08	36.7	20	8.01	55.9
8	5.09	33.3	21	9.24	84.4
9	5.45	46.9	22	9.39	78.9
10	5.48	46.7	23	9.7	95
11	5.87	48.1	24	10.04	77.2
12	6.21	51.1	25	10.43	104.9
13	2.96	19.1	26	10.71	88.1

Table 4. Parameters of the regression curve  
表 4. 回归曲线参数

曲线形式	回归方程系数			相关系数(r)
	a	b	c	
线性函数	9.843	10.780	-	0.961
幂函数	5.075	1.242	-	0.973
多项式函数	-0.146	11.900	-17.26	0.961
曲线形式	相对标准差(%)	平均相对误差(%)	备注	
线性函数	12.0%	±9.2%	1~28 d 龄期	
幂函数	12.0%	±9.6%	1~28 d 龄期	
多项式函数	13.0%	±9.7%	1~28 d 龄期	

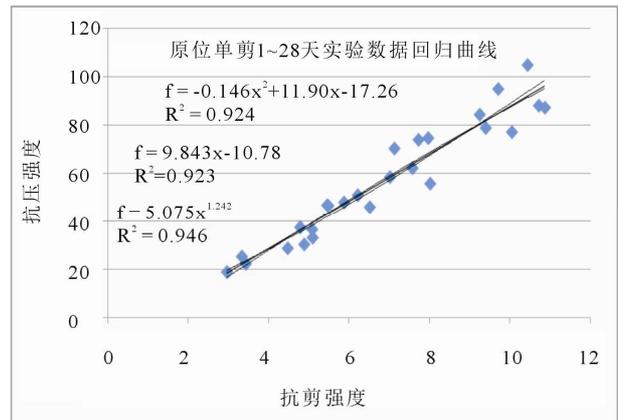


Figure 7. Regression curve  
图 7. 回归曲线

度值(MPa), 精确至 0.1 MPa;

$f_{cu,i}^c$  ——对应用第 1 个试块计算的强度换算值 (MPa), 精确至 0.1 MPa。

$n$  ——制定回归方程式的数据数量。

从图 7 和表 4 可以看出, 该方法相关性较好, 不同的回归方程, 相关系数均为 0.961~0.973, 相对标准差为: 12.0%~13.0%; 平均相对误差为:  $\pm 9.2\%$ ~ $\pm 9.7\%$ 。经回归分析, 综合各条曲线的相关系数、相对标准差、平均相对误差, 本次试验推荐采用线性方程。

## 4. 结论

### 4.1. 适用范围广

原位抗剪法检测混凝土强度技术具有准确、快捷等特点, 完全适应于全国范围内的工程建设中混凝土强度推定的技术要求; 符合工程设计、施工(包括安装)及验收等通用的质量要求; 适用工程建设通用的试验、检验和评定等方法; 可供工业与民用建筑、铁路、公路桥梁、水电、港工等行业使用; 适用于钢筋密集结构, 以及早龄期混凝土强度检测推定。

### 4.2. 可以不受构件表面的影响

原位单剪法是以芯柱轴向母线进行定位, 不受结构表面粗糙度的影响, 因此它也适应检测喷射混凝土, 或曲面结构混凝土的抗压强度<sup>[8]</sup>。

### 4.3. 应用原位单剪法有以下特点

1) 它可以完成 C10~C80 所有混凝土抗压强度的检测。

2) 钻成的混凝土芯样直径小、深度浅, 对结构损

伤小, 可以对钢混结构、预应力结构和钢筋密集构件以及早龄期混凝土的抗压强度进行检测。

3) 由于剪切位置是在构件表面以内 25 mm 处, 可以反应构件核心区内的混凝土抗压强度, 不受表面等因素的影响。

4) 由于该技术操作简单, 工序少, 剪切深度固定, 因此误差较小精度较高。

5) 不需要对芯样进行加工、打磨和抗压试验, 节省了因送检、加工芯样等工作的人力、物力; 节省电力等能源消耗, 提高了工作效率。

说明原位单剪法是一个具有绿色、节能功效的检测技术, 符合国家提倡的发展方向。

因此, 原位单剪法检测混凝土抗压强度的技术开发, 对我国混凝土强度检测技术的进步, 具有十分重要的意义。

## 参考文献 (References)

- [1] R. 琼斯, I. 弗格瓦洛. 混凝土非破损试验法[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982.
- [2] 邱平. 新编混凝土无损检测技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 4.
- [3] 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程 JGJ/T23-2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [4] 国家建委赴罗马尼亚混凝土非破损检验考察组. 罗马尼亚混凝土非破损检验技术[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1977.
- [5] 建筑结构检测技术标准 GB/T50344-2004[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [6] 普通混凝土力学性能试验方法标准 GB/T50081-2002[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [7] 钻芯法检测混凝土强度技术规程 CECS 03:2007[S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
- [8] 邱平. 建筑工程结构检测数据的处理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.