

文章编号:1671-6833(2002)02-0079-04

# 商品混凝土后装拔出法地方测强曲线的研究

李珂<sup>1</sup>, 刘立新<sup>1</sup>, 王仁义<sup>1</sup>, 徐博<sup>2</sup>

(1. 郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 北京城建四建设工程有限公司, 北京 100083)

**摘要:**通过对强度范围在 20~70 MPa 的商品混凝土构件进行 4 个龄期的拔出和取芯试验, 测得混凝土抗拔力和抗压强度. 根据 38 组试验结果, 确定了数学相关模型, 并建立了混凝土抗拔力与混凝土抗压强度的数学关系式, 所得曲线相关性及其误差范围符合规范中规定的制定曲线要求. 试验结果表明, 采用后装拔出法检测商品混凝土及高强混凝土效果很好, 建议该曲线作为郑州市商品混凝土(包括 C50 以上混凝土)后装拔出法的地方测强曲线.

**关键词:**后装拔出法; 抗拔力; 混凝土强度; 检测

**中图分类号:** U 415.12

**文献标识码:** A

后装拔出法是用专用机具检测硬化混凝土的抗拔力, 根据抗拔力与抗压强度的相关关系确定混凝土强度的一种方法. 它比回弹法、超声法、超声一回弹综合法检测精度高、速度快; 比钻芯法破损小, 其拔出破损深度在 25 mm 以内, 不超过混凝土保护层厚度, 不影响结构的稳定. 它不仅适用于新、老建筑物的混凝土强度检测, 而且适用于道路、桥梁和地下工程等混凝土强度检测, 并且机具轻便、操作简单、省人力、费用少, 是一种理想的实物检测方法. 依照国家《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》CECS 69:94<sup>[1]</sup>, 这一方法在实际工程检测中得到广泛应用. 随着工程结构的日趋复杂和混凝土的商品化发展, 混凝土掺和料、外加剂及高强混凝土在实际工程中得到普遍使用, 混凝土组分、施工工艺与以往相比都发生了巨大变化, 其各物理量与混凝土抗压强度的相关关系也与原来产生差异. 目前, 后装拔出法检测混凝土强度主要存在以下两个问题: 一是混凝土强度范围发生变化. 原曲线仅适用于强度 50 MPa 以下普通混凝土, 而规范已修订至强度在 80 MPa 的混凝土, 很明显不能应用于高强混凝土; 二是商品混凝土与普通混凝土的差异使混凝土抗拔力与抗压强度所遵循的规律发生变化. 因此, 急需研究建立商品混凝土(包括 C50 以上高强混凝土)的后装拔出法的测强曲线. 考虑地域差别, 本文通过研究郑州市商品混凝土构件的抗拔力与混凝土抗压强度的关

系, 建立郑州市商品混凝土(包括 C50 以上高强混凝土)的后装拔出法的地方测强曲线.

## 1 试验方案

### 1.1 实验准备

(1) 混凝土材料: 强度范围为 26.2~71.1 MPa, 由 A、B 两个大型商品混凝土厂家提供; 组分为水、水泥(普硅)、砂(中砂)、石子(5~20 mm 碎石)、掺和料(粉煤灰)、外加剂(高效减水剂 FN-2, FDN, FYH-2).

(2) 试件制作: 结构实体素混凝土试件 1500 mm×600 mm×1200 mm, 5×2=10 个; 养护条件为自然养护——室外, 露天, 试验室北墙树荫下, 无阳光曝晒, 浇水养护 14 天; 测试龄期分别为 14 天、28 天、60 天、90 天.

(3) 气温状况: 3 月 15 日开始浇注, 6 月 13 日龄期结束, 平均气温 20℃左右.

### 1.2 试验方法

采用铜陵长江电器有限公司生产的 ZZH1-160 型钻芯机, 根据国家《钻芯法检测混凝土技术规程》CECS 03:88 进行试验和计算<sup>[2]</sup>; 采用冶金部建筑研究总院研制的 YJ-PI 型拔出仪, 按照国家《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》CECS 69:94 进行试验和强度计算<sup>[1]</sup>. 其原有的测强曲线为

$$R = K(7.24P' - 13.71).$$

收稿日期: 2002-01-11; 修订日期: 2002-03-20

基金项目: 国家混凝土结构验收规范资助项目

作者简介: 李珂(1977-), 女, 河南省驻马店市人, 郑州大学硕士研究生.

式中: $R$  为混凝土强度,MPa; $P'$  为混凝土抗拔力,kN; $K$  为不同种类粒径的修正系数,本试验取 0.91;该式适合强度 50 MPa 以下的普通混凝土.

考虑实际构件与试块之间的强度差异,本次试验均在试件上进行.依照不同龄期,在试件上测出混凝土抗拔力,并在拔出位置钻取芯样获得试件混凝土的真实强度;然后根据抗拔力与构件混

凝土的抗压强度的一一对应关系,回归出后装拔出法的测强曲线<sup>[3]</sup>.

## 2 试验数据与分析

### 2.1 试验结果

不同龄期试件混凝土抗拔力和对应的试件强度试验结果如表 1 所示.

表 1 混凝土抗拔力和对应的构件强度试验结果

Tab. 1 Experimental results of concrete pulling resistance and compressive strength											
编号	$F/\text{kN}$	$f_{\text{cu}}/\text{MPa}$	$\sqrt{f_{\text{cu}}}/\text{MPa}^{1/2}$	编号	$F/\text{kN}$	$f_{\text{cu}}/\text{MPa}$	$\sqrt{f_{\text{cu}}}/\text{MPa}^{1/2}$	编号	$F/\text{kN}$	$f_{\text{cu}}/\text{MPa}$	$\sqrt{f_{\text{cu}}}/\text{MPa}^{1/2}$
1	6.33	26.6	5.16	14	15.38	55.1	7.42	27	19.95	61.0	7.81
2	10.05	32.0	5.66	15	15.5	66.2	8.14	28	13.89	47.0	6.86
3	12.20	45.1	6.72	16	18.13	61.6	7.85	29	14.11	54.9	7.41
4	14.38	45.4	6.74	17	14.85	45.6	6.75	30	14.76	60.3	7.77
5	7.88	26.2	5.12	18	15.76	56.4	7.51	31	21.55	64.0	8.00
6	11.21	38.9	6.24	19	16.13	71.1	8.43	32	13.03	60.2	7.76
7	12.70	49.7	7.05	20	20.3	69.6	8.34	33	14.27	58.2	7.63
8	17.88	55.3	7.44	21	10.0	39.9	6.32	34	19.88	67.2	8.20
9	11.70	42.2	6.50	22	11.45	40.1	6.33	35	12.29	45.3	6.73
10	14.88	48.8	6.99	23	12.07	42.3	6.50	36	12.84	48.3	6.95
11	14.04	54.7	7.40	24	11.66	41.3	6.43	37	14.27	49.1	7.00
12	16.30	58.6	7.66	25	13.41	55.1	7.42	38	19.13	63.9	7.99
13	12.79	42.0	6.48	26	13.96	54.9	7.41				

说明: $F$  为混凝土构件的抗拔力; $f_{cu}$  为混凝土抗压强度.

### 2.2 试验分析

#### 2.2.1 测强曲线回归

应用回归分析原理<sup>[4]</sup>,将表 1 中试验数据汇总,进行回归分析如表 2 所示.根据国家《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》CECS 69:94 推荐采用直线方程模式: $f_{cu}^e=A \cdot F+B$ ,得回归曲线

表 2 回归曲线与原有曲线的分析对比

Tab. 2 Index compare of three curves					
模式	回归方程式	相关系数 $r$	$\mu$	$\sigma$	$\delta$
①	$f_{cu}^e=2.916F+9.656$	0.867	0.998	0.110	0.110
②	$f_{cu}^e=(0.2115F+4.098)^2$	0.868	1.002	0.116	0.115
③	$f_{cu}^e=0.91(7.24F-13.71)$	0.980	0.643	0.372	0.578

说明: $\mu$  为强度换算值与实际强度比值的均值; $\sigma$  为相对标准差; $\delta$  为变异系数.

#### 2.2.2 结果分析

将试验回归出来的后装拔出法测强曲线 1,2,原规范<sup>[1]</sup>给定测强曲线 3 及试验结果在直角坐标系中表示出来,如图 1 所示;将试验结果分别代入 3 条曲线,进行误差分析,如表 2 所示.由图 1 和表 2 可以得出以下结论:

(1) 原规范推荐使用测强曲线很明显已不适用商品混凝土及高强混凝土.根据该曲线推定混凝土强度,其相对标准差为 37.2%,试验值与计算值之比的平均值为 0.643,变异系数为 0.578,

①.式中 $f_{cu}^e$  为混凝土强度换算值; $F$  为混凝土抗拔力; $A$  和  $B$  分别为测强公式回归系数.从混凝土试件拔出试验受力机理考虑,混凝土抗拔力  $F$  应与混凝土抗拉强度 $f_t$  有关,而 $f_t$  与 $f_{cu}$  的相关关系是已知的,故可考虑对  $\sqrt{f_{cu}}$ (即 $f_t$  的相关量)和  $F$  进行回归分析,得出曲线 2.

准确度很低,不足以反映混凝土实际强度<sup>[4]</sup>.  
(2) 回归得到的曲线 1 和 2,从回归模式总体效果看,二者相对标准差分别为 11%,11.6%,均值分别为 0.998,1.002,变异系数分别为 0.110,0.115,回归精度均较高,表明混凝土抗拔力与混凝土抗压强度之间存在很好的相关性.曲线 2 与曲线 1 线性相关系数相近,在 30~65 MPa 混凝土强度范围内,两条曲线也非常接近.根据国家 CECS 69:94 附录 A<sup>[1]</sup> 建立测强曲线的基本要求,回归方程的相对标准差不应超过 12%,曲线

1,2 均满足要求;考虑直线方程方便、简洁,是国际上普遍使用的方程形式,且在 95% 的保证率下最大相对误差为 18.1%,如图 2 所示<sup>[4]</sup>.推定混凝土强度精度较高,故建议采用曲线 1 作为郑州市商品混凝土后装拔出法的地方测强曲线.即

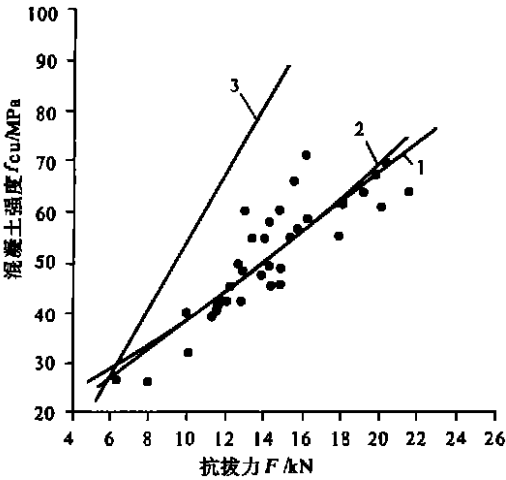


图 1  $f_{cu}$  与  $F$  的关系

Fig. 1 Relationship of  $f_{cu}$  and  $F$

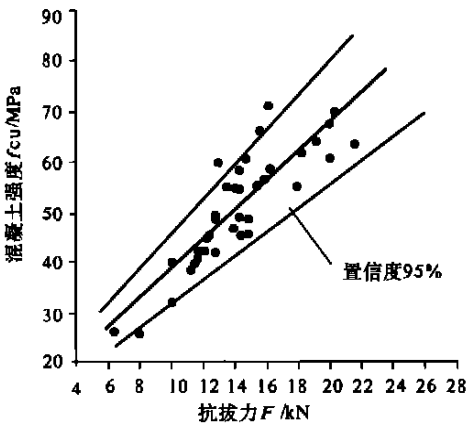


图 2 回归曲线误差界限

Fig. 2 Error limit of proposed curve

$$f_{cu}=2.916F+9.656. \tag{1}$$

依照统计原理,由混凝土强度换算值 $f_{cu}^c$ 来推定混凝土构件强度 $f_{cu,e}$ <sup>[4]</sup>.

单个构件混凝土强度推定:

$$f_{cu,e}=f_{cu}^c; \tag{2}$$

批抽检构件的混凝土强度推定:

$$f_{cu,e1}=m_1-1.64S_1; \tag{3}$$

$$f_{cu,e2}=m_2=\frac{1}{m_j}\sum_{j=1}^{m_j}f_{cu,\min j}^c. \tag{4}$$

式中: $m_1$ 为批抽检构件的混凝土强度换算值的平均值,MPa; $m_1=\frac{1}{n_i}\sum_{i=1}^{n_i}f_{cu,i}^c$ ; $S_1$ 为批抽检构件的混凝土强度换算值的标准差,MPa, $S_1=$

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_i}(f_{cu,i}^c)^2-n(m_1)^2}{n_i-1}}$$
; $m_2$ 为批抽检每个构件混

凝土强度换算值中最小值的平均值,MPa; $f_{cu,\min j}^c$ 为第 $j$ 个构件混凝土强度换算值中最小值,MPa; $n$ 为批抽检构件的测点总数; $m$ 为批抽检构件数;取式(3)和式(4)中的较大值作为该批构件的混凝土强度推定值.

2.2.3 测强曲线的影响因素

(1) 骨料种类:由于骨料种类的不同,利用拔出法推定混凝土强度也有所不同<sup>[3]</sup>.对于卵石来讲,其表面光滑与胶凝材料粘结不紧密,粘结力较低;而碎石的不规则形状则增强了与胶凝材料的粘结,粘结力较高.对于同强度混凝土,采用碎石材料的混凝土抗拔力要高于卵石材料的混凝土,根据测强曲线计算的混凝土强度就会产生差异.因此,对于不同的骨料种类,测强曲线应进行一定的修正.调查郑州市混凝土搅拌站,均采用碎石作原材料,故本试验得出的测强曲线仅适用以碎石作为主要骨料的商品混凝土.

(2) 碳化深度:混凝土的碳化是混凝土中碱骨料Ca(OH)<sub>2</sub>与空气中CO<sub>2</sub>的发生反应,生成CaCO<sub>3</sub>.随着时间的增长,结构表层混凝土逐渐碳化,构件表面硬度增大,在进行拔出试验时,混凝土抗拔力偏大,根据曲线计算的混凝土强度随之偏大.本试验共进行90天,只有部分低强度的试件发生了较小的碳化,在曲线回归中未考虑碳化深度的影响.因此,对于时间较长的结构应采用其他检测手段进行强度修正<sup>[3]</sup>.

3 结束语

综合考虑曲线回归分析参数、相对标准差和建立后装拔出法测强曲线的要求及商品混凝土的特点,建议如下:在郑州地区,对于检测以碎石为主要骨料、强度在70 MPa 以下的商品混凝土构件可采用式(1)来换算混凝土强度,且其精度较高,然后依照统计原理利用式(2)、(3)、(4)来推定构件混凝土强度;对于强度在70 MPa 以上的混凝土结构,由于混凝土弹性模量,拉、剪强度与抗压强度的非同步增长,随着抗拔力的增大,混凝土强度增长趋势较缓,有待于进一步研究.

参考文献

[1] CECS 69:94, 后装拔出法检测混凝土强度技术规程[S].  
[2] CECS 03:88, 钻芯法检测混凝土强度技术规程[S].  
[3] 吴慧敏. 结构混凝土无损检测技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1996.

[ 4 ] 蔡正咏,王足献.数理统计在混凝土试验中的应用 [ M ] .北京:中国铁道出版社,1987.

[ 5 ] 余红发.混凝土非破损测强技术研究 [ M ] .北京:中国建材工业出版社,1999.

Research on Building Local Curve of Pulling —out Method for Inspecting Commercial Concrete Strength

LI Ke<sup>1</sup>, LIU Li —xin<sup>1</sup>, WANG Ren —yi<sup>1</sup>, XU Bo<sup>2</sup>

( 1.College of Civil Engineering of Zhengzhou University , Zhengzhou 450002,China ; 2.The Fourth Company of Beijing Urban Construction Group , Beijing 100083,China )

**Abstract :** In this paper , a new local curve of pulling —out method used to inspect commercial concrete strength is proposed . Base on the test result of 38 commercial concrete samples , the relationship between pulling —out resistance and compressive strength of commercial concrete has been discussed in detail , and the formula used for calculating the concrete strength is given out . The formula shows a good agreement with test results . By the reliability analysis , the local curve for practical use is available .

**Key words :** pulling —out method ; pull —out resistance ; concrete strength ; inspect

( 上接第 56 页 )

参考文献:

[ 1 ] Bentley Systems Ry Ltd . HantSPACE Design Series Administrator Guide [ R ] . Philadelphia : Bentley Systems Ry Ltd , 1999 . 43—70.

[ 2 ] Bentley Systems Ry Ltd . HantSPACE Design Series Administrator Reference [ R ] . Philadelphia : Bentley Systems Ry Ltd , 1999 . 19—30.

[ 3 ] 付继彬,范群波,刘晓亮. ORACLE 8 入门与提高 [ M ] .北京:清华大学出版社,2000 . 17—150.

Application of ORACLE Database in PLANTSPACE 3D Plant Design Software

PAN Cheng<sup>1</sup>, ZHANG Jian<sup>2</sup>

( 1.Henan Electric Power Design & Survey Institute , Zhengzhou 450007, China ; 2.Fourth Managing Substation of Zhengzhou National Revenue , Zhengzhou 450007, China )

**Abstract :** 3D power plant design software PLANTSPACE needs high quality database system to store project and management data , and ORACLE Database System is very suitable for that . When ORACLE database is used in PLANTSPACE , you must create new instance , table —space , user and service , and create the connection between ORACLE Database and PLANTSPACE through ODBC data source , and create new project database table in ORACLE Database , and load standard project specification .

**Key words :** ORACLE ; Database ; 3D plant design system ; plantSPACE