

混凝土配制强度确定方法研究*

徐选臣,刘正华

(盐城工学院 建筑工程系,江苏 盐城 224003)

摘 要:假定混凝土总体强度呈正态分布,通过概率统计基本知识和抽样检验理论建立了混凝土施工配制强度与抽样检验方案及混凝土验收强度之间关系的不等式方程组,由此找到了一种确定混凝土配制强度的更合理的方法。

关键词:配制强度;验收强度;抽样检验

中图分类号: TU528.06

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2005)04-0053-04

混凝土强度按照工程建设中各相关标准的规定有设计强度、施工配制强度和验收强度之分,其中设计强度是基础,施工配制强度和验收强度都是由设计强度衍生出来的。就混凝土生产而言,混凝土设计强度由设计要求提出,验收强度由设计强度和抽检方案确定,均是相对固定的,而混凝土施工配制强度确是个变量,它与混凝土生产过程中所用原材料质量、生产方混凝土质量控制水平及混凝土强度抽检方案等均有关,需由生产方自行确定。

1 混凝土验收强度的确定方法及其特点

根据《混凝土强度检验评定标准》的要求,混凝土强度应分批进行检验评定。混凝土强度的检验评定采用混凝土立方体抗压强度标准值。依据验收批混凝土立方体试件组数的不同,检验评定可分别采用统计方法和非统计方法两种,见表1:

表1 混凝土强度检验评定方法有如下特点:

(1)统计法检验评定混凝土强度的验收条文是在假定混凝土总体强度呈正态分布的基础上依据概率统计基本知识和抽样检验理论得到的,其中平均值验收公式由一次计量检验方案得出,最小值验收公式由计数一次抽检方案得到。非统计法将验收界限设为定值,不能反映验收批混凝土的分散程度,正常情况下验收界限严于统计方法,生产

方风险较大。

(2)混凝土强度检验评定方法和验收条文与混凝土抽样检验方案及取样数量密切相关。随着样本数量的增加,估计的置信度提高,验收界限降低,验收条文逐步宽松,生产方风险逐步减小。

2 目前混凝土施工配制强度的确定方法

根据《普通混凝土配合比设计规程》^[2]的规定,混凝土配制强度($f_{cu,0}$)应按下式计算:

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (1)$$

式中 $f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度(MPa)

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa)

σ ——混凝土强度标准差(MPa)

分析公式(1)可发现如下特点:

(1)式(1)以混凝土强度服从正态分布为前提建立了混凝土配制强度与混凝土立方体抗压强度标准值(混凝土设计强度)及强度标准差(强度离散性指标)之间的关系。

(2)由式(1)计算得到的混凝土配制强度其下限固定,上限根据试配情况确定,仍是经验值。计算过程没有完全摆脱强度是定值观念的束缚,是半概率法的计算式。

(3)由式(1)得到的混凝土配制强度没有系统考虑样本检验与整批产品质量情况之间的关系,没有考虑抽样检验方案对混凝土验收强度的

* 收稿日期 2005-08-22

作者简介:徐选臣(1978-),男,江苏盐城人,盐城工学院助教,主要研究方向为建筑工程管理。

表 1 砼强度检验评定方法

Table 1 The method to fix conected intensity of concrete

评定方法	已知方差	统计方法	未知方差	非统计方法
适用条件	混凝土的生产条件较长时间一致，混凝土强度变异性能保持稳定	混凝土的生产条件较长时间不能保持一致，混凝土强度变异性能保持稳定		
组数	$n=3$		$n \geq 10$	$n < 10$
验收	$m_{f_{cu}} \geq f_{cu,k} + 0.7\sigma_0$ $f_{cu,min} \geq f_{cu,k} - 0.7\sigma_0$ $f_{cu,min} \geq 0.85f_{cu,k}$ ($f_{cu,k} \leq 20.0 \text{ MPa}$) $f_{cu,min} \geq 0.9f_{cu,k}$ ($f_{cu,k} > 20.0 \text{ MPa}$)		$m_{f_{cu}} - \lambda_1 s_{f_{cu}} \geq 0.9 f_{cu,k}$ $f_{cu,min} \geq \lambda_2 f_{cu,k}$	$m_{f_{cu}} \geq 1.15 f_{cu,k}$ $f_{cu,min} \geq 0.95 f_{cu,k}$
条文				
λ_1	1.7、1.65、1.6			
λ_2	0.9、0.85			
验收函数	(验收统计量)		$m_{f_{cu}} \sqrt{f_{cu,min}}$	
验收	$[m_{f_{cu}}] = f_{cu,k} + 0.7\sigma_0$		$[m_{f_{cu}}] = 0.9 f_{cu,k} + \lambda_1 s_{f_{cu}}$	$[m_{f_{cu}}] = 1.15 f_{cu,k}$
界限	$[f_{cu,min}] = f_{cu,k} - 0.7\sigma_0$		$[f_{cu,min}] = \lambda_2 f_{cu,k}$	$[f_{cu,min}] = 0.95 f_{cu,k}$

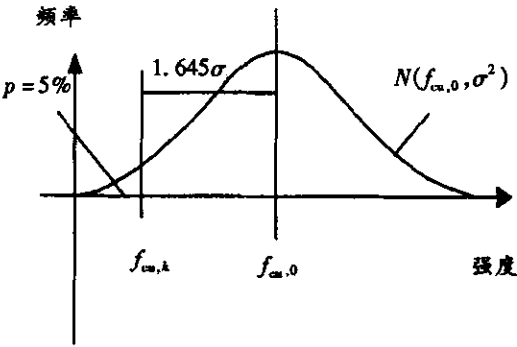


图 1 混凝土强度等级定义

Fig. 1 The difinition of the intensity of concrete rank
影响。实际应用中很容易产生一些不合理现象，见表 2 示例：

由表 2 示例可知，若确定混凝土配制强度时不系统考虑抽检方案的影响，对预拌混凝土而言，由于出厂检验与施工现场的交货检验取样频率不同，导致试块留置组数和混凝土强度评定方法不同，评定结果产生矛盾。

3 混凝土施工配制强度与抽样检验方案及混凝土验收强度之间的关系

由表 1 知，若已知混凝土的设计强度($f_{cu,k}$)和验收批检验方案[设混凝土组数为 n ($n \geq 10$)]，则按未知方差统计法评定混凝土强度时其验收强度界限值的计算公式如下(见表 1)：

$[m_{f_{cu}}] = 0.9 f_{cu,k} + \lambda_1 s_{f_{cu}}$ (2)

$[f_{cu,min}] = \lambda_2 f_{cu,k}$ (3)

取该验收批混凝土的配制强度为 f_{cu} ，根据概率统计基本原理，所得混凝土预期的强度总体分布为

$N(f_m, \sigma^2)$ ，如图 2 所示。其中预期的混凝土实际强度平均值 f_m 等于混凝土配制强度 f_{cu} 。

由概率统计基本原理可知，从混凝土预期的强度总体分布中抽取的 n 组试件的强度平均值 $m_{f_{cu}}$ 呈正态分布 $N(f_m, \sigma^2/n)$ (标准差 σ 已知)或 t 分布 $t(n-1)$ (标准差 σ 未知)。要使从预期的混凝土强度总体分布中抽取的 n 组试件的强度标准值满足混凝土强度检验评定的要求，其平均值验收强度界限 $[m_{f_{cu}}]$ 与正态分布图 $N(f_m, \sigma^2/n)$ 或 $t(n-1)$ 之间的关系如图 2 所示，其中 α 为验收批的生产方风险，根据《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2001 的要求，对应于合格质量水平的 α 不宜超过 5%，取 $\alpha \leq 5\%$ ，混凝土平均值验收强度界限 $[m_{f_{cu}}]$ 和混凝土配制强度(f_{cu})之间可建立如下关系(取 $n \geq 10$)：

$f_m - [m_{f_{cu}}] = f_{cu} - [m_{f_{cu}}] \geq t_{\alpha} s_{f_{cu}} / \sqrt{n}$

设少量试件的强度标准差测得准确(实际不定性很大)，则 $s_{f_{cu}} = \sigma$

可得： $f_{cu} - [m_{f_{cu}}] \geq t_{\alpha} \sigma / \sqrt{n}$ 或 $f_{cu} \geq t_{\alpha} \sigma / \sqrt{n} + [m_{f_{cu}}]$
将式(2)代入上式可得：

$f_{cu} \geq t_{\alpha} \sigma / \sqrt{n} + [m_{f_{cu}}] = t_{\alpha} \sigma / \sqrt{n} + 0.9 f_{cu,k} + \lambda_1 s_{f_{cu}} = t_{\alpha} \sigma / \sqrt{n} + 0.9 f_{cu,k} + \lambda_1 \sigma$ (4)

最小值验收强度界限 $[f_{cu,min}]$ 由计数一次抽样验收方案确定，根据抽样检验理论，无限总体的计数一次抽检可按二项分布进行计算。设验收批混凝土的总体强度不合格率为 p (强度低于要求强度界限的百分率)，合格率为 q ($q = 1 - p$)，验收批的抽样方案为 (n, d) 。其中 d 为不合格数， c

表 2 混凝土强度检验评定实例

Table 2 The example of fix confected intensity of concrete

检验形式	出厂检验		交货检验
检验部位	同配合比混凝土		基础分部
试块组数	12		2
试块 28 天 抗压强度 代表值 (MPa)	68.2 64.3 65.2 66.8 60.8 64.8 66.9 70.2 68.6 66.7 71.4 65.3		66.1 66.4 65.8
强度评定 过程	$m_{f_{cu}} = 66.6$ $s_{f_{cu}} = 2.84$ $m_{f_{cu}} - \lambda_1 s_{f_{cu}} = 61.8 \geq 0.9 f_{cu,k} = 54.0$		$m_{f_{cu}} = 66.1 < 1.15 f_{cu,k} = 69.0$ $m_{f_{cu}} = 66.6 < 1.15 f_{cu,k} = 69.0$
评定结果	$f_{cu,min} = 60.0 \geq \lambda_2 f_{cu,k} = 54.0$ 合格		$f_{cu,min} = 65.8 > \lambda_2 f_{cu,k} = 57.0$ 不合格

注 混凝土强度等级 C60 混凝土试配强度 (MPa) $f_{cu,p} = f_{cu,k} + 1.645\sigma = 69.9$ 混凝土强度标准差 (MPa) $\sigma = 6.0$ 。

为接收数,如 $d \leq c$ 认为该批混凝土符合要求,予以接收. 则其接收概率为: $I(p) = \sum_{d=0}^c C_n^d p^d q^{n-d}$

将用于检验混凝土强度最小值的计数一次抽检方案 (n, p, c) 混凝土强度总体为正态分布,根据连续随机变量的特点,取混凝土强度值刚好等于 $f_{cu,min}$ 的概率为零,可确定 $d \leq A = 0$ ($n \geq 10$) 代入上式求得其接收概率 $I(p)$ 为:

将用于检验混凝土强度最小值的计数一次抽检方案 (n, p, c) 混凝土强度总体为正态分布,根据

$$I(p) = \sum_{d=0}^c C_n^d p^d q^{n-d} = \sum_{d=0}^c C_n^d p^d q^{n-d} = q^n = (1 - p)^n$$

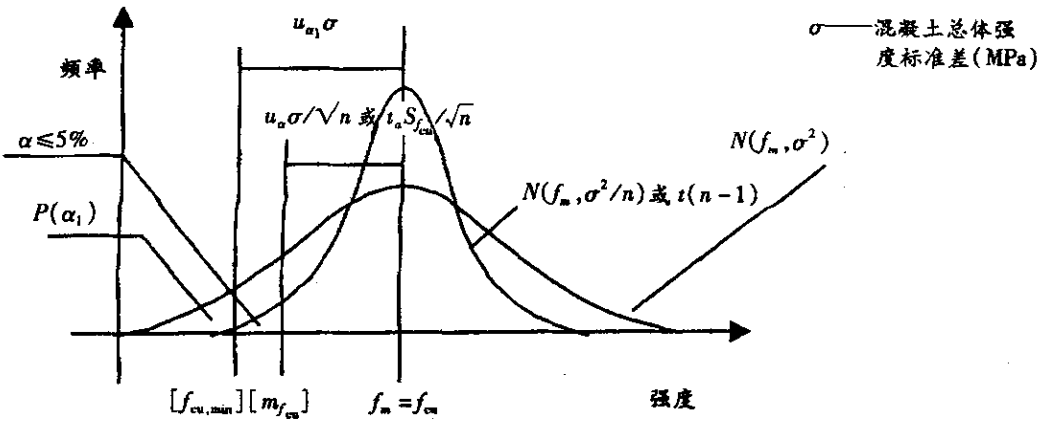


图 2 混凝土配制强度总体分布图

Fig 2 The overall distribution of intensity of concrete

根据《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2001 的要求,对应于合格质量水平的生产方风险不宜超过 5%,由此得混凝土的总体强度满足混凝土强度最小值抽检方案的接收概率 $I(p)$ 必须不小于 95%,即有:

$$I(p) = (1 - p)^n \geq 95\% \quad (5)$$

由式 (5) 求得 p 为预期的混凝土强度总体分布中强度低于最小值验收界限 $[f_{cu,min}]$ 的百分率 (或以 $[f_{cu,min}]$ 为界的生产方风险 α_1 ,见图 2),通过正态分布函数 $N(f_m, \sigma^2)$ 可求得对应的 u_{α_1} (见表 3)。

混凝土最小值验收强度界限 $[f_{cu,min}]$ 和混凝土配制强度 (f_{cu}) 之间可建立如下关系:

$$f_m - [f_{cu,min}] = f_{cu} - [f_{cu,min}] \geq u_{\alpha_1} \sigma$$

$$\text{将式 (3) 代入上式得 } f_{cu} - \lambda_2 f_{cu,k} \geq u_{\alpha_1} \sigma$$

万方数据

$$f_{cu} \geq u_{\alpha_1} \sigma + \lambda_2 f_{cu,k} \quad (6)$$

将式 (1)、(4)、(6) 联立可得不等式方程组 (A) 如下:

$$\begin{cases} f_{cu} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \\ f_{cu} \geq t_{\alpha} \sigma / \sqrt{n} + 0.9 f_{cu,k} + \lambda_1 \sigma \\ f_{cu} \geq u_{\alpha_1} \sigma + \lambda_2 f_{cu,k} \end{cases} \quad (A)$$

同理可求得验收批的混凝土组数 $n \geq 10$,需采用非统计方法评定混凝土强度时对应的不等式方程组 (B) 如下:

$$\begin{cases} f_{cu} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \\ f_{cu} \geq t_{\alpha} \sigma / \sqrt{n} + 1.15 f_{cu,k} \\ f_{cu} \geq u_{\alpha_1} \sigma + 0.95 f_{cu,k} \end{cases} \quad (B)$$

方程组 (A) 和 (B) 建立了混凝土施工配制强度与抽样检验方案及混凝土验收强度之间的关系。

表 3 混凝土强度总体分布图中 $n, I(p), P$ 或 α_1 与 u_{α_1} 之间的关系

Table 3 The relationship of $n, I(p), P$ or α_1 and u_{α_1} in the overall distribution of intensity of concrete

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I(p)$	$I(p) \geq 95\%$									
$P(\alpha_1)(\%)$	$\leq$	5	2.53	1.70	1.27	1.02	0.85	0.73	0.64	0.5
$u_{\alpha_1} \geq$		1.64	1.95	2.12	2.24	2.32	2.39	2.44	2.49	2.53
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$I(p)$	$I(p) \geq 95\%$									
$P(\alpha_1)(\%)$	$\leq$	0.47	0.43	0.39	0.37	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27
$u_{\alpha_1} \geq$		2.60	2.63	2.66	2.68	2.71	2.73	2.75	2.77	2.78

取最大值得 $f_{cu} = 78.3 \text{ MPa}$

4 实例分析

仍以表 2 所举实例进行计算,已知混凝土强度等级 C60,用于基础和主体,抽样检验方案为基础抽取 3 组试件,主体抽取 10 组(实际为 9 组,一组无效)试件。根据以往的资料 6.0MPa,确定其施工配制强混凝土强度标准值。

解:因基础和主体砼试块数量均小于 10 组,确定配制强度时用方程组(B)进行计算,计算结果如下:基础砼强度为:

$$\begin{cases} f_{cu} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma = 69.9 \text{ MPa} \\ f_{cu} \geq t_{\alpha}\sigma/\sqrt{n} + 1.15 f_{cu,k} = 77.2 \text{ MPa} \\ f_{cu} \geq u_{\alpha_1}\sigma + 0.95f_{cu,k} = 69.7 \text{ MPa} \end{cases}$$

其中 $n=3, t_{\alpha}=2.353, \mu_{\alpha_1}=2.12$

取最大值得 $f_{cu}=77.2 \text{ MPa}$

主体砼强度为:

$$\begin{cases} f_{cu} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma = 69.9 \text{ MPa} \\ f_{cu} \geq t_{\alpha}\sigma/\sqrt{n} + 1.15 f_{cu,k} = 72.7 \text{ MPa} \\ f_{cu} \geq u_{\alpha_1}\sigma + 0.95f_{cu,k} = 78.3 \text{ MPa} \end{cases}$$

其中 $n=9, t_{\alpha}=1.833, \mu_{\alpha_1}=2.53$

若抽样方案为主体砼抽取试件 12 组,则主体确定配制强度时用方程组(A)进行计算,计算过程如下:

$$\begin{cases} f_{cu} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma = 69.9 \text{ MPa} \\ f_{cu} \geq t_{\alpha}\sigma/\sqrt{n} + 0.9 f_{cu,k} + \lambda_1\sigma = 67.3 \text{ MPa} \\ f_{cu} \geq u_{\alpha_1}\sigma + \lambda_2 f_{cu,k} = 69.8 \text{ MPa} \end{cases}$$

其中 $n=12, t_{\alpha}=1.782, \mu_{\alpha_1}=2.63$

取最大值得 $f_{cu}=69. \text{ MPa}$

由以上计算可知,在本例条件下基础部分混凝土配制强度至少取 77.2 MPa,主体部分混凝土配制强度与抽样方案有关,若抽样数量为 9 组,其混凝土配制强度至少取 78.3MPa,若抽样方案为 10 组以上,其混凝土配制强度至少取 69.9MPa。

5 结语

在混凝土总体强度呈正态分布的前提下,通过概率统计基本知识和抽样检验理论可建立混凝土施工配制强度与抽样检验方案及混凝土验收强度之间关系的不等式方程组,由此找到了一种确定混凝土配制强度的更合理的方法。

参考文献:

[1] JGJ55-2000. 普通混凝土配合比设计规程[S].
[2] 于善奇. 抽样检验与质量控制[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991.

The Research on How to Fix Confected Intensity of Concrete

XU Xuan - chen , LIU Zheng - hua

(Yancheng Institute of Technology ,Jiangsu Yancheng 224003 ,China)

Abstract Based on the assumption that the overall intensity of concrete has been distributed in normal state ,the inequality equation group shows the relationship among confected intensity ,the sample test and the check and accept intensity of concrete. This eassy provides a more reasonable method to fix confected intensity of concrete.

Keywords confected intensity ;check and accept intensity ;sample test

万方数据