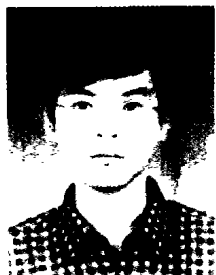


## 混凝土结构实体强度检验的注意事项

王晓锋, 韩素芳, 刘刚, 徐有邻

(中国建筑科学研究院, 北京 100013)



王晓锋

**[摘要]** 本文对混凝土结构实体强度检验中同条件养护强度的各种问题进行了讨论, 包括等效养护龄期的确定及限值; 日平均温度的计算; 不同季节的等效养护龄期; 强度折算系数的调整, 以及尚待解决的各种问题。本文可供施工、监理、质检人员参考。

**[关键词]** 同条件养护强度; 等效养护龄期; 强度折算系数

**[中图分类号]** TU528.07 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1002-3550(2005)03-0013-03

## The caution of the inspection to the solid strength of concrete structure

WANG Xiao-feng, HAN Su-fang, LIU Gang, XU You-lin

(China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

**Abstract:** The problem about the strength of sample maintained under the same curing condition in the inspection to the solid strength of concrete structure is discussed. The limit of the equivalent curing period, the calculation of the average temperature a day, the curing period in the different seasons, the adjustment to the convert strength modulus and the other problem being solved are presented. This paper can be the reference to the construction, the supervision and the management.

**Key words:** curing strength under the same condition; equivalent curing period; convert strength modulus

## 1 前言

为落实强验收的原则,《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2002第一次列入了对结构实体混凝土强度检验的要求,并以同条件养护强度作为验收的依据。规范公布执行两年以来,对加强施工质量控制,保证结构安全起到了积极作用。但是,由于是新列入的检查项目,与传统习惯和概念有较大的差别。因此,在执行过程中往往引起误解,甚至发生错误。现根据两年来的执行情况,针对其中容易发生的问题,提出应该注意的事项和建议。

## 2 等效养护龄期的理解和执行

## 2.1 等效养护龄期的原理

水泥水化和混凝土强度的增长,在很大程度上取决于养护条件的热工效应(热量),表现为时间—温度曲线下的积分面积(累积温度),亦即成熟度,其量纲为 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ (度日积)。标准养护的温度为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,龄期是28d,故成熟度是 $560^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

同条件养护所反映的结构实际环境受到大气温度和养护条件的限制,当然难以保证 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的恒温条件。但从热工效应的角度,如能保证接近 $560^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的成熟度,则热量对强度增长的影响基本可以“等效”。为简化操作并留有一定裕量,修订规范取成熟度为 $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的相应龄期为等效养护龄期。

## 2.2 日平均温度的确定

在为修订规范而进行的试验研究时,同条件养护试件的日平均温度是取当地气象台站公布的日最高温度与最低温度的平均值。目前气象预报已相当准确,而且根据积分中值定理,以最大、最小值的平均值对应的矩形面积来等效积分曲线所围的面积,不会有很大误差。更何况在长达 $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的等效养护龄期内,这种随机误差正负相抵,是不会有很大系统累积偏差的。上述做法的最大好处是简便易操作,在施工现场很容易执行。

有些意见认为必须派专人在现场定时测温,甚至必须用自动仪表连续纪录温度曲线,这种必要性不大。其实,无论定时测温求平均,或对曲线进行数值积分,都属于近似计算的范畴。更何况即使是结构实体,在其不同部位、不同方向上的温度也是不一致的,过分苛求“精确”完全没有必要。

目前,有关的科研正在进行。在我国不同的气候区,连续观察全年的气温变化,寻求气象台站公布数据与建筑工地实测数据的关系:平均温度、正负温差、离差范围、随季节变化的规律等,并由此估计对于混凝土强度增长的影响。系统的观察研究结束后,将以适当形式加以介绍。也希望各地有兴趣的同志进行这项有意义的观察试验。但在目前,可取当地气象台站公布的预报值为准。

## 2.3 等效养护龄期的限值

除控  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  的等效养护龄期外,规范附录第 D.0.2 条还规定:实际的龄期“不应小于 14d,也不宜大于 60d。”这主要是出于以下的考虑:

混凝土的强度增长在早期很快,且趋势不稳定。14d 以内的龄期尚处于强度的早期快速增长阶段,强度值不稳定,离差大而缺乏代表性,故等效养护龄期不得小于 14d。实际只有日平均气温超过  $43^{\circ}\text{C}$  才有可能发生此种情况,在我国的气候条件下实际上是不太可能的。

而另一方面,养护时间过长也可能引起不利于被检验方面的偏差,因此也要加以限制。试验研究表明,由于同条件试件的比表面积(单位混凝土体积与表面积的比值)很大,养护后期失水严重,因而强度不升反降,到 90d 以后更加明显。这种情况在干燥、炎热、多风等气候条件下更为突出。由试验统计分析,确定等效养护龄期不宜超过 60d,也正是为了保护被检验方面不被误判,减少施工单位的风险。

#### 2.4 秋冬季节的等效养护龄期

在我国的北方地区的秋冬季节,由于持续降温,同条件养护试件往往在成熟度未达  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  时就已达到等效养护龄期的限值 60d,因而发生确定试验龄期的困难。对此作出解释如下:

规范中规定的限定词是“宜”而不是“应”。这意味着并不一定要强制执行而有一定的灵活性。也就是说,在保证  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  的条件下,如龄期超出 60d,也是允许的。这里  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  的成熟度是必须保证的,因为成熟度(积温)对强度的发展具有更重要的影响。

为了减少龄期过长干燥失水对于试件强度的不利影响,建议在 60d 以后对同条件养护试件用塑料布覆盖,防止试件在冬季干燥多风条件下继续失水而降低强度,影响验收结果。在这种覆盖条件下继续同条件养护,直到成熟度累计达到  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  时再进行强度试验即可。

#### 2.5 等效养护龄期的误差问题

规范规定达到  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  的等效养护龄期时进行强度试验。这应理解为在未达到  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  时不试验,而一旦达到或超过此值时即进行试验。有的提出意见,规范应规定以成熟度( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ )或以天(d)计的允许误差范围。超过允许偏差范围时试验结果无效。

这种做法执行有难度,因为要恰好达到  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  时试验是很困难的。由于气温变化无规律以及求平均值等原因,成熟度一般总有超出,且数值范围很难控制,对此不必过于苛求。与此类似,标准养护强度也只提出 28d 的养护龄期,而并未严格规定允许的龄期误差。

实际上,龄期或成熟度对混凝土强度增长的影响是先快后慢,先强后弱。到 28d 龄期或  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  的成

熟度时,实际上已进入强度增长停滞期。即使有些误差,对强度值的影响不会太大。因此不必斤斤计较于允许偏差的确定。当然在实际执行中,还是应该遵守规定的龄期或成熟度条件作为进行强度试验的时间。

### 3 强度代表值的修正

#### 3.1 同条件养护强度的代表性问题

同条件养护试件与结构实体的混凝土具有几乎完全一致的原材料质量、配合比组成、搅拌运输工艺以及养护条件。温度差异引起热工效应的影响已由成熟度所反映的等效养护龄期考虑,因此其有很大的代表性而被选定作为检验实体混凝土强度的依据。即使是直接从结构实体中取样而测定的钻芯强度,由于钻芯工艺造成对芯样的累积损伤以及试样端面处理的操作,也会发生偏差。而同条件养护试件则不会有这种影响。

同条件养护试件与结构实体的最大差别在于比表面积,即混凝土体积与其表面积的比值。试件的比表面积大得多,因此炎热、干燥、多风引起表面失水的情况比厚实的结构混凝土要严重得多。因此,同条件养护试件的强度一般均小于其所代表的结构混凝土实际的强度。系统的试验对比和分析研究证实了这种影响。因此,在验收时应考虑这种湿度差别引起的不利影响。

#### 3.2 强度代表值的折算系数

工程中混凝土浇筑后养护初期浇水,中后期则基本处于暴露的自然状态,湿度条件变差,继续水化受到影响。这对体积厚实的结构混凝土不会有多大影响,而比表面积很大的试件就明显不利。系统的试验分析证明,同条件养护试件后期强度增长停滞,甚至因混凝土“粉化”有所下降。此外,同条件养护试件跨越的试验期较长,试件不多,离差可能较大,可能对检验评定带来不利影响。

反映这种差别带来的不利影响,规范作了两条规定:限制同条件养护的等效养护龄期不宜大于 60d;对同条件养护试件的强度代表值进行修正,乘大于 1 的折算系数。对比试验表明,比表面积不同,湿度差异引起的影响大约为 4%~6%,考虑必要的检验裕量,可取为 10%。即折算系数为 1.10。

国外规范对此问题的处理原则类似,但方式不同。如美国规范(ACI 318)规定:“对结构混凝土有怀疑时,可在 56d 时钻芯取样,强度验收界限:均值为 0.85 倍强度标准值;最小值为其 0.75 倍,即验收界限降低了。我国规范为验收方便,取与 GBJ107 标准完全相同的验收界限,而采用对试件试验强度代表值乘折算系数的方式表达,基本效果是相似的。

#### 3.3 折算系数的调整

规范附录 D.0.3 条第 2 款有关折算系数的规定为:“同条件养护试件的强度代表值应根据强度试验结果按 GBJ107 的规定确定后,乘折算系数取用;折算系数宜取为 1.10,也可根据当地的试验统计结果作适当调整。”这里包含了以下三重意思:

(1)试件试验后的强度代表值应乘折算系数;

(2)折算系数宜取 1.10;

(3)允许根据具体情况,由系统的试验统计结果作适当调整。

请注意规范中对折算系数的用词为“宜”而非“应”,即 1.10 仅为“建议”性质的系数。由于修订规范时所进行的试验虽已较多,并有相当的统计依据,但难以全面、准确反应全国不同地域材料及气候的影响,还可能有些出入。因此,应允许并鼓励各地进行相应的系统试验及统计分析,从而对验收时的折算系数加以适当调整。

具体考虑的因素可以是材料,如掺入粉煤灰后强度增长滞后,可能对验收带来不利的试验偏差;试验周期过长带来离差值加大的不利影响;此外不同季节变化时,同样的  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  成熟度可能会得到不同的强度,如秋季先热后冷,春季先冷后热,前者早期温度较高对强度增长有利,强度可能大于后者等。此时,可根据足够数量的试验统计,提出有根据的调整,调整幅度以 5% 为限,即  $\pm 0.05$ 。

## 4 同条件养护强度的应用范围

### 4.1 冬期施工

由于寒冷,冬季施工混凝土强度增长受到影响,且成本太高,一般并不提倡。如有需要必须在冬季浇筑混凝土时,同条件养护试件的养护龄期的累积不考虑  $0^{\circ}\text{C}$  以下的天数,即按 0 计入成熟度。应注意的是,对于低于日平均温度  $0^{\circ}\text{C}$  以下的情况,也不以负成熟度从累积中扣除。这主要考虑  $0^{\circ}\text{C}$  以下的负温时,水化作用基本停滞,混凝土强度增长已经中止。

对于我国严寒地区,持续低温时间很长且温度很低,则当连续 5d 平均温度低于  $5^{\circ}\text{C}$  而进入规定的冬期施工条件时,按专门的冬期施工规范执行。对于冬期施工条件下混凝土同条件养护试件的强度验收则由该规范的修订解决。

### 4.2 人工加热养护

人工加热养护常用于冬期施工或预制混凝土构件的工厂化生产中。由于修订规范时尚未进行这部分科研试验工作,因此未作明确规定。仅在规范第 D.0.4 条中规定“可按结构构件的实际养护条件,由监理(建设)、施工等各方根据本附录第 D.0.2 条的规定共同确定。”即按“与在标准养护条件下 28d 龄期试件强度相等的原则确定”。具体方法由各方协商解决。

经近期补充的试验研究分析表明,人工加热养护混凝土试件的早期强度增长很快,但中后期强度增长减缓。故参考人工加热标准养护试件的方法并简化处理,建议可将人工加热养护温度作为第 1d 的日平均温度计入等效养护龄期,等达到  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  后再进行试验。

### 4.3 保温养护

冬季施工时,也有将原材料预热后搅拌混凝土,并在浇筑后用塑料布和保温材料(棉毡、草帘、塑料布等)覆盖结构构件造成局部的人工小气候环境,以与外界的冬季气温环境隔绝。此时可以通过量测保温养护实际的日平均温度,按  $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  累积成熟度作为等效养护龄期进行试验。其原理是,此时混凝土强度增长只与局部养护小环境的温度有关而并不取决于外界气温了。

## 5 结束语

根据规范执行两年以来提出的问题,作出了以上的解释。希望施工、监理(建设)单位正确理解并执行,以保证工程质量和结构安全。对于一些暂未确定的问题目前正在进行试验研究,将来会通过规范修订的形式加以明确。在正式修订之前,可按以上建议经协商后确定。本文不足之处,敬请批评指正。

### [参考文献]

- [1]国家标准.混凝土结构工程质量验收规范(GB50204-2002)[S].
- [2]徐有邻,程志军.混凝土结构的实体检验[J].工程质量,2003(10).
- [3]徐晓滨,秋冬季节混凝土等效养护龄期的确定[J].工程质量,2005(1).

[作者简介] 王晓锋,1977 年生,男,工学硕士。

[单位地址] 北京市北三环东路 3 号中国建筑科学研究院(100013)

[联系电话] 010-84272233-2263