

混凝土强度试验

[苏]M.Ю.列申斯基 Б.Г.斯科拉姆达耶夫

许如源 郭永良 译

中国建筑工程出版社

混凝土强度试验

[苏] М. Ю. 列申斯基
Б. Г. 斯克拉姆达耶夫

许如源 郭永良 译

中国建筑工业出版社

本书介绍了混凝土强度试验问题的现状,研究了确定混凝土强度的基本方法,并进行了分类。书中叙述了用试体和
在建筑及结构物上直接检验普通混凝土和轻混凝土强度的各种方法,还提出了根据苏联新标准和其它标准文件选择和使用各种检验方法及仪器的建议,同时介绍了使用非破损检验法的经验。

本书可供建筑材料专业和建筑施工专业的有关科研、设计人员,以及工程技术人员阅读。

ИСПЫТАНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

М. Ю. Лецинский Б. Г. Скрамтаев

Стройиздат МОСКВА—1973

* * *

混凝土强度试验

许如源 郭永良 译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 9 字数: 200 千字

1980年8月第一版 1980年8月第一次印刷

印数: 1—16,610册 定价: 0.72元

统一书号: 15040·3760

序 言

《混凝土强度试验》一书的第一版发表于1964年。经过这段时间，在混凝土试验的理论和实践方面又获得了很大成就。研究了更为完善的非破损检验混凝土强度的方法，积累了很多在建筑施工及房屋和建筑物维护过程中使用这些方法的经验。现在，在评定轻混凝土结构物的质量时，已广泛应用非破损方法。试验混凝土强度用的一些新型仪器已被制成。所有这些，在本书的再版中都已反映出来。书中引用了新标准和其它标准文件。

B. H. 符拉先柯、C. A. 纳特戈尔娜娅和Э. M. 兰茨曼对试验工作给予很大的帮助，本书引用了这些试验的结果。评阅者P. A. 马卡罗夫和И. C. 怀恩施托克对出版前的原稿提出了有益的意见。

目 录

概论	1
----------	---

第一篇 用试体检验混凝土的强度

第一章 用与结构物分开成型的标准试体试验

混凝土	6
1. 混凝土的抗压试验	6
2. 混凝土的抗拉和抗弯试验	13
3. 轻混凝土强度的测定	25
4. 混凝土强度的检验方法	32
5. 用标准试体检验混凝土质量的缺点	42

第二章 用非标准试体试验混凝土

1. 用浇灌混凝土时埋设在结构物中的模型成型的试体试验	47
2. 从硬化的混凝土中取出试体测定强度	51
3. 用非标准试体试验混凝土的特点	65

第二篇 直接在制品和建筑物上测定混凝土的强度

第一章 试验混凝土的力学方法

1. 用冲锤在砂浆（混凝土）表面产生凹痕	68
2. 用冲锤在砂浆（混凝土）表面和标准样件上产生凹痕	91
3. 用射击和爆破法测定强度	97
4. 拉拔和剪切试验	100
5. 用捣碎混凝土的方法检验强度	112
6. 弹性回弹测定	113
7. 按测定变形来确定静弹性模量的方法	121

8. 试验混凝土强度的力学方法的特点	123
第二章 试验混凝土的物理方法	135
1. 谐振(振动)法	136
2. 超声脉冲法	147
3. 敲击波法	170
4. 放射测试法	173
5. 检验混凝土质量的物理方法的特点	178

第三篇 用非破损法检验混凝土的强度

第一章 混凝土强度试验和评定方法的选择	182
1. 用非破损法检验混凝土的特点	182
2. 对比关系的建立	186
3. 关于选择混凝土强度试验方法的建议	194
4. 用非破损法检验时对混凝土状态的考虑	200
5. 用非破损法试验时评定混凝土强度的方法	207
第二章 评定混凝土强度的综合方法	218
1. 进行综合试验时方法的选择	218
2. 综合试验时混凝土强度的确定	220
3. 应用综合法确定混凝土的强度	228
第三章 用非破损法检验轻混凝土的强度	233
1. 多孔集料轻混凝土的试验特性	233
2. 多孔混凝土的检验	241
第四章 试验工作的安全技术	245
第五章 非破损法使用经验	249
附录	258
参考文献	260
人名对照表	274
主要符号对照表	278

概 论

在检验装配式及现浇钢筋混凝土制品、建筑和结构物的质量过程中，混凝土强度评定方法的可靠性和效率具有首要意义。目前使用得最普遍的方法是用试验标准混凝土试体来确定混凝土强度，然而这种方法在生产条件下却经常不能可靠地检验混凝土质量。标准试体的混凝土强度与建筑和结构物中的实际强度可相差很大，因为所制作的试体体积只是建筑或结构物体积微不足道的一小部分；试体的捣实和硬化条件也与结构物中混凝土的真实捣实和硬化条件有很大区别。

直接在制品、建筑和结构物上非破损地确定混凝土的强度是一种行之有效的混凝土质量检验方法。这就是所谓非破损检验法（也称无损检验）。在这些方法中有很多是建立在现代物理成就的基础上的。使用这些方法可以探测结构物内部各种类型的损伤、钢筋的状态和分布、保护层的厚度、钢筋的拉力值、混凝土的容重、含水量和捣实程度、存在的裂缝等等。混凝土的强度也属于被检验参数之列。

混凝土强度的非破损检验法在苏联和国外都获得了广泛的应用。近年来，在莫斯科、列宁格勒、基辅和其它城市召开了一系列有关改进非破损检验的各种会议。这个问题也反映在莫斯科、莱比锡、布达佩斯、伦敦和其它城市举行的许多国际学术会议的文件中。国际建筑材料与结构试验研究所联合会专门成立了非破损试验方法工作组进行工作。在混凝

土强度的非破损试验理论和实践方面，苏联学者进行了很多工作。

现有的混凝土试验方法是多种多样的。为了评定混凝土的强度，应用了复杂性不同的仪器：从简单的机械锤到电子仪器。因为每一种方法和仪器都有其本身的特点，在每一具体情况下选择最佳的试验方案是很重要的。对非破损检验进行科学的分类将有助于最佳方案的选择。可惜，在文献内叙述的一些分类中，没有充分反映出目前所用的方法，而另一些文献，则仅叙述仪器的工作原理图、仪器的构造特点等等。

根据试验中测量的混凝土物理力学特性来划分强度试验方法，以此作为分类方案的依据。作者在以前的著作中^[172]曾经使用过这个原则，在本书中仍将遵循这个原则(表1)。有些方法(超声相位法、放热法、特高频法等等)还没有获得足够的根据，所以没有列入分类中，以后可以单独成为一类或综合在别的方法之中。

在方法分类时作了很多假定。例如，划分力学和物理两类方法是相对的，因为并不是由这些分类方法来确定混凝土的物理-力学特性。在这些特性中的某些特性(例如硬度)既可以用力学法，又可以用物理法来测量。甚至在试体试验中标准和非标准方法的名称也是相对的，因为“标准的”概念不是对被测量的特性而言，它只说明方法已列入标准中。但是有了这些假定就可便于按照已建立的术语来划分方法。

本书除引用书后参考文献外，还参考了以B. E. 维杰涅叶夫命名的全苏水利工程科学研究所编写的下列文献综述资料：《**水工建筑中材料和结构的超声脉冲检验法**》(1969年)、《**混凝土的力学特性**》(1970年)、《**混凝土与天然**

混凝土强度试验方法的分类

表 1

类别	组	型式	此类型方法的代表符号	方 法 的 特 征
用试体检验混凝土强度的方法				
C	—	—	—	与结构物分开成型的试体试验(标准方法)
C	I	—	—	抗压强度的确定
C	I	1	C-I-1	立方体试验
C	I	2	C-I-2	圆柱体试验
C	I	3	C-I-3	棱柱体试验
C	II	—	—	抗拉强度的确定
C	II	1	C-II-1	8字试体轴心抗拉试验
C	II	2	C-II-2	弯曲试验
C	II	3	C-II-3	劈裂试验
		3a	C-II-3a	沿圆柱体的母线
		3b	C-II-3b	沿立方体的面
		3B	C-II-3B	在立方体的棱边位置
C	III	—	—	受弯时抗拉强度的确定
C	III	1	C-III-1	弯曲试验
H	—	—	—	与结构物混凝土一起捣实的试体试验(非标准方法)
H	I	—	—	浇灌混凝土时模型安放在结构物上制作的试体试验
H	I	1	H-I-1	与结构物混凝土分开硬化的试体试验
H	II	—	—	从混凝土硬化后的结构物中取出的试体试验
H	II	1	H-II-1	规则形状的试体试验
		1a	H-II-1a	矩形试体
		1b	H-II-1b	钻芯试体
H	II	2	H-II-2	不规则形状的试体试验
		2a	H-II-2a	圆柱形压头加压法
		2b	H-II-2b	劈裂法
在结构和建筑物上试验强度的方法				
M	—	—	—	力学法
M	I	—	—	塑性变形法:

续表

类别	组	型式	此类型方法的代表符号	方 法 的 特 征
M	I	1	M-I-1	建立在冲锤产生凹痕基础上的方法
		1a	M-I-1a	在砂浆表面
		1б	M-I-1б	在砂浆和标准样件表面
M	I	2	M-I-2	建立在加压头压入基础上的方法
		2a	M-I-2a	在混凝土表面
		2б	M-I-2б	在混凝土和标准样件表面
M	I	3	M-I-3	建立在射击或爆炸基础上的方法
		3a	M-I-3a	射击法
		3б	M-I-3б	打入钢棒的方法
		3B	M-I-3B	爆炸法
M	II	—	—	建立在试验拉拔剪切基础上的方法
M	II	1	M-II-1	建立在试验从混凝土中拉拔预埋钢筋基础上的方法
M	II	2	M-II-2	建立在使混凝土之间分离基础上的方法
		2a	M-II-2a	拉拔剪切法
		2б	M-II-2б	拉脱法
M	II	2B	M-II-2B	劈裂法
M	III	—	—	建立在粉碎混凝土基础上的方法
M	III	1	M-III-1	破碎混凝土试样
M	III	2	M-III-2	在混凝土上钻孔
M	IV	1	M-IV-1	测量回弹值的方法
M	V	1	M-V-1	建立在以测量结构物(制品)变形来确定静力弹性模量基础上的方法
Φ	—	—	—	物理法 ^①
Φ	I	—	—	谐振法
Φ	I	1	Φ-I-1	测定固有振动频率
		1a	Φ-I-1a	弯曲振动
		1б	Φ-I-1б	纵向振动
		1B	Φ-I-1B	扭曲振动
Φ	I	2	Φ-I-2	测定对数阻尼衰减率和固有振动频率
		2a	Φ-I-2a	弯曲振动

类别	组	型式	此类型方法的代表符号	方 法 的 特 征
		2б	Φ-I-2б	纵向振动
		2в	Φ-I-2в	扭曲振动
Φ	II	—	—	脉冲法
Φ	II	1	Φ-II-1	测定弹性波传播速度:
		1а	Φ-II-1а	纵波
		1б	Φ-II-1б	横波
		1в	Φ-II-1в	敲击脉冲(冲击波)
Φ	II	2	Φ-II-2	测定超声波阻尼系数②
Φ	II	3	Φ-II-3	测定混凝土频率特征(超声波分谱法)②
Φ	III	—	—	放射法
Φ	III	1	Φ-III-1	以γ放射强度的变化来确定容重:
		1а	Φ-III-1а	狭束和宽束透射法
		1б	Φ-III-1б	散射法
Φ	IV	—	—	电测法
Φ	IV	1	Φ-IV-1	测量相对电阻的方法③

① 目前还没有表示此方法的通用术语, 也有称为无线电工程法, 电声学法等等。在本书中采用杂志《工厂试验室》所用的名称。

② 这些方法与测量超声波传播速度方法配合使用。

③ 在热处理期间也可用以测定强度。

石的机械加工》(1970年)、《建筑用混合物的试验》(1970年), 以及《混凝土的力学试验》(1971年)。

在本书中, 介绍了国内外的主要科学成果, 以及用试体及在建筑和结构物上试验重混凝土和轻混凝土方面的生产经验。书中概括和系统化了大量评定混凝土强度的方法。可以期待, 熟悉了所介绍的内容将有助于改善建筑施工质量, 以及建造结构和建筑物的质量。

第一篇 用试体检验混凝土的强度

第一章 用与结构物分开成型的标准试体试验混凝土

通过破型测定检验用试体的强度是确定混凝土强度最普遍的方法。这样的方法已列入国内外相应的标准中，因此，称为标准方法。根据欲检验的混凝土极限强度，对试体进行抗压、抗拉，以及弯曲抗拉试验。受压时的极限强度用立方体、圆柱体或者棱柱体的试验来确定。而受拉则用 8 字形试体中心受拉，小梁受弯和沿圆柱体的母线或者在立方体的棱边位置劈裂试验来确定。在很多国家中，混凝土的抗拉强度直接用张拉圆柱体，或者利用放在立方体（棱柱体）面上的垫条进行劈裂来确定。

在设计混凝土配合比时，校核这种配合比是否符合设计要求，以及在研究混凝土的某些强度特性时，用标准试体进行试验最为合适。重混凝土的强度按照标准 ГОСТ 10180—67 确定，此标准是根据经济互助委员会（СЭВ）的建议，按照标准化 PC279—65《普通混凝土试验法》编制的。水工混凝土的强度按照标准 ГОСТ 4800—59 确定，多孔集料轻混凝土按照标准 ГОСТ 11050—64 确定。

1. 混凝土的抗压试验

混凝土受压时的极限强度是混凝土的主要特性之一。根据标准要求，混凝土的抗压强度按照其立方体或圆柱体的试

验结果来确定。ГОСТ10180—67规定，用边长为30、20、15^①、10和7.07厘米的立方试体来评定立方强度；而用直径为19.5、15和7.14厘米，高度相应为39、30和14.3厘米的圆柱试体来评定圆柱强度。试体的尺寸按以下原则选择：集料最大粒径不大于1/4(ГОСТ4800—59规定为不大于1/3)试体的最小尺寸。如果混凝土混合物中带有尺寸不符合规定条件的集料颗粒，采用湿筛使混合物在浇灌入模之前，剔除其中最大粒级的集料。但是，这会使混凝土的试验结果略为提高。

采用边长20厘米立方体的试验结果作为立方体强度的标准（混凝土抗压强度标号）；而以直径15厘米、高30厘米圆柱体的试验结果作为圆柱强度的标准。试验其它尺寸的试体时，建议采用换算成标准试体的换算系数。对于各种标号的混凝土和试验机械，这些系数通过实验的方法来求得。混凝土的强度按下式计算：

$$R_{c\text{ш}}^{K\text{ш}\beta} = \alpha \frac{P}{F}; \quad R_{c\text{ш}}^{K\text{ш}\beta} = \beta \frac{P}{F} \quad (1)$$

式中 P ——破坏压力，公斤^②；

F ——试体的平均工作面积，厘米²；

α ——对标准立方体强度的换算系数；

β ——对标准圆柱体强度的换算系数。

($R_{c\text{ш}}^{K\text{ш}\beta}$ 、 $R_{c\text{ш}}^{K\text{ш}\beta}$ ——标准立方体和圆柱体的抗压强度公斤/厘米²——译者注)

① 在ГОСТ10180-67第1-1-1条中，错误地遗漏了边长15厘米的立方体，但在以后的条文（第2-4、2-5条）中又引用到它。

② 1公斤力在国际单位制中等于9.80665牛顿。

如果没有试验资料, α 和 β 值可按表 2 选用。对于水工混凝土, 标准中没有规定换算系数与混凝土强度的关系。此时, 当立方体的边长分别为 10、15 和 30 厘米时, 系数 α 相应可采用 0.85、0.90 和 1.10; 对于 $D=15$ 厘米, $H=30$ 厘米的圆柱体, 系数 α 可取 1.20。

对标准立方体强度的换算系数值

表 2

试 体 尺 寸 (厘米)	混凝土的抗压极限强度①, 公斤/厘米 ²							
	140		200		300		400	
	α	β	α	β	α	β	α	β
立方体								
30×30×30	1.06	0.89	1.05	0.87	1.05	0.85	1.04	0.83
20×20×20	1	0.84	1	0.83	1	0.81	1	0.80
15×15×15	0.96	0.81	0.94	0.78	0.92	0.75	0.90	0.72
10×10×10	0.87	0.73	0.85	0.71	0.83	0.67	0.81	0.65
7.07×7.07×7.07	0.91	0.76	0.88	0.73	0.86	0.70	0.84	0.67
圆柱体								
$D=19.5$; $H=39$	1.24	1.04	1.24	1.03	1.26	1.02	1.23	1.02
$D=15$; $H=30$	1.19	1	1.20	1	1.24	1	1.25	1

注: 1. 对于强度为 500、600、800 公斤/厘米²的混凝土, 系数建议用试验方法来确定。

2. 对于强度没在表内和注 1 中列出的混凝土, 换算系数用插值法确定。

① 1 公斤/厘米²的力在国际单位制中等于 98066.5 牛顿/米²或 0.980665 十牛顿/厘米²。

制作试体时, 混凝土混合物按照标准的要求捣实。混合物拌制后至浇灌入模, 不得超过 15 分钟。试体的硬化制度规定如下:

1. 在温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 条件下, 用湿布覆盖在模中养护不少于 20 小时, 然后脱模移至标准养护室中 (温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 相

对湿度不低于90%)，或者按照试验目的进行热处理。这种制度在校核混凝土的配合比和检验商品混凝土质量时采用。

2. 放在浇灌混凝土结构物附近覆盖在模中养护；试体脱模和结构物脱模同时进行（或者与结构物终止养护时间相同），以后试体按照结构物所处的条件养护。按照这种制度养护的试体，可供检验现浇结构物的混凝土质量之用。

3. 用湿布覆盖在模中养护，经过两昼夜以后脱模，保存在标准养护室或湿砂（锯木屑）中。这种制度建议在水工混凝土试验中采用。

4. 在试验（确定出厂强度）之前，与制品一起或者在相类似的条件下硬化。然后留出确定混凝土设计标号的试体，保存在标准养护室中。在检验装配式混凝土和钢筋混凝土制品时，必须采用这种制度。

试体脱模之后，应该仔细检查。按照ГОСТ 4800—59要求，试体不应该有蜂窝麻面和其它缺陷；即使在一个立方体中发现了这些缺陷，该组试体全部报废。按照ГОСТ 10180—67规定，试体的制作质量是用称量确定其容重进行检验的，并且容重值按精确度10公斤/米³计算。假如有部分试体的数值与全组的平均值偏差大于3%，则全部试体作废，不能用于试验。

试验时紧贴在压力机压板上的试体两面，必须是严格地平行。稍微不平之处（沉积物）应用磨光来消除。因为使用的模型质量对表面状态有很大影响，所以ГОСТ 10180—67提出以下要求：模型的内表面（加压面）必须磨光（光洁度为▽6）；非加压表面的光洁度为▽3。内表面的平面误差允许不大于0.01毫米，尺寸误差不大于±1%。面与面之间夹角与直角的误差，允许其正切值不大于0.005。据参考文献

献[278]介绍，当表面的平面误差达0.25毫米时，抗压强度降低15%。

圆柱试体要获得质量好的加压表面比立方体复杂得多。因此，成型完毕之后，用磨光的盖板盖于圆柱体模型两侧，并直立放置。至脱模之前，模型都处于这种状态。必要时，圆柱体的加压面可以用高强快硬砂浆修平，砂浆层厚不应超过2毫米。美国采用加热的玛瑙脂来达到这个目的，其组分为3份重树脂和1份重填充料。

试体从养护的环境中取出到试验之前经过的时间，标准中未作规定。但当这一时间变动很大时，试验结果的分散性增大，从而降低了它的精确度。因此，从标准养护室中取出的试体，到开始试验之前停留的时间建议不超过1小时；经过热处理的试体，热处理结束后到开始试验前应不少于4小时。

作混凝土试体的抗压试验时，最常用的是压力为50~250吨的液压机^[79, 81]，但在某些情况下，也采用500吨的压力机（取决于混凝土的标号和试体的尺寸）。选择压力机时，应当考虑最好使试验的破坏荷载接近于压力机测量标尺的上限。如果破坏荷载位于标尺的初始刻度范围内，压力机读数的相对误差会增大。在这种情况下，建议使用小功率的压力机。破坏荷载值应当位于测量标尺最大压力的30~80%范围内。并且不允许在相当于最大压力0~20%的标尺区段内读取读数，也即不允许用低于压力机承载能力10%的力进行试验。

压力机的允许误差必须不大于 $\pm 2\%$ 。由国家度量衡监督机关至少每二年一次对压力机进行标定。除此之外，国家标定之后一年（对于具有单测力器的和扭力作用测力器的压

力机, 则每过半年) 应根据《关于建筑材料抗压和抗弯试验压力机的标定规程239—61》的要求进行本部门的标定。压力机的各种损伤(压板的磨损、球形支座间的摩擦)、油垢、校准的误差, 以及试体不精确对中等等都是造成指标很分散和结果不可靠的原因。

压力机压板的厚度影响到试体的试验结果。当支承在压力机球座上的压板厚度过薄时, 会发生弯曲, 导致混凝土试体的强度降低。据参考文献[267、106]介绍, 压力机压板的厚度最好是试体边长的0.8倍。按照O.Π. 克维利卡德捷、H.B. 斯维钦和Γ.B. 西佐夫的意见, 当压板的弯曲影响完全消除后, 各种尺寸的立方体将获得同一的结果^① [177、213]。

立方体试验时, 试体安放在压力机压板上应使加压方向与混凝土浇灌入模的层次相平行。试体应当准确地对中, 它的垂直几何轴应通过压力机压板的铰座中心^②。为了便于达到这个条件, 在下压板上可适当的描绘出每种尺寸试体的外形轮廓线; 试验圆柱体时, 则使用专门的样板。安放上压力机之前, 试体的加压面和压板用干布仔细擦干净。在其上不应有破坏试体留下的残渣及油污。

试验时, 荷载应当平稳地逐渐增加, 加荷速度为2~10公斤/厘米²·秒; 试验水工混凝土时, 加荷速度为2~3公斤/厘米²·秒。加荷速度的变化对破坏荷载有影响。当加荷速度远远地小于标准值时, 破坏荷载可以降低5~15%。

试体的抗压极限强度按公式计算, 精确度到1公斤/厘

-
- ① 有人认为他们没有充分注意到尺度因素对 $R_{c,x}$ 的影响。对边长30和40厘米的立方体试验表明, 随着试体尺寸增大, 棱柱强度系数增加, 且立方体沿着垂直平面破坏⁽¹¹⁰⁾。
 - ② 在确定棱柱强度和弹性模量时, 试体按物理轴对中⁽³⁰⁾。