

编号: 7607

内部

科学技术研究报告

鋼筋与混凝土性能研究资料选編

冶金工业部建筑研究院编印

一九七六年二月

编号: 7810

科学技术研究报告

钢筋与混凝土性能研究資料汇编

冶金工业部建筑研究院

国家建委建筑科学研究所

一九七六年四月

毛主席语录

要搞马克思主义，不要搞修正主义；要团结，不要分裂；要光明正大，不要搞阴谋诡计。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

在毛主席的革命路线指引下，经过无产阶级文化大革命和批林批孔运动，基本建设战线广大职工以阶级斗争为纲，认真学习无产阶级专政理论，反修防修，促进了安定团结，抓革命、促生产的形势越来越好。建筑业广大工人、干部和技术人员的革命干劲、智慧和创造能力进一步焕发，群众性的技术革新和科学实验运动蓬勃发展，科学技术的新成果大量涌现，它对提高劳动生产率，保证工程质量，降低成本，加快建设速度，起了显著作用。

为了把广大群众的技术革新和科研成果应用于工程设计和施工中，我们结合钢筋混凝土结构设计规范修订工作的需要，在设计规范主编单位的领导下，会同全国有关设计、施工、科研和高等院校等单位，共同组成一个材料小组，对钢筋混凝土及预应力混凝土结构采用的钢筋、混凝土性能问题，进行了比较广泛的调查研究和必要的科学实验。现将该小组整理出的部分技术报告汇编成册，以供有关单位参考。

本资料选编中的各篇报告，除了编写单位作了大量工作外，全国有许多兄弟单位无保留地提供了有关资料和数据，提出了许多宝贵的建议和意见。因此，这本资料选编是大协作的产物。文中对于直接和间接地参加工作的单位和提供的资料名称未能一一列举，在此，对各单位给予的支持与协助，一并表示衷心感谢！

由于我们水平所限，在这次选编的资料中，难免会有一些缺点和错误，希望给予批评指正。

冶金工业部建筑研究院

国家建委建筑科学研究院

一九七五年八月

目 录

混凝土的几个基本力学指标·····	(1)
关于混凝土设计强度的取值问题·····	(17)
冷拉钢筋的冷拉参数及强度取值·····	(25)
关于冷拉钢筋的时效问题·····	(35)
冷拔低碳钢丝使用情况调查及试验研究·····	(43)
IV级钢筋闪光对焊工艺及质量问题的研究·····	(55)
IV级钢筋闪光对焊接头的疲劳问题·····	(73)
常温下钢筋松弛性能的试验研究·····	(83)
钢筋冷弯问题的探讨·····	(93)
钢筋低温性能的试验研究·····	(105)

应用立方试块的试验来确定混凝土的强度是比较方便的，试验结果一般也比较稳定。因此，目前大都引用混凝土标准立方试块的抗压强度（即标号）作为混凝土力学性能的特征指标。

立方试块的抗压强度是一个在特定条件和复杂应力状态下的强度指标，不仅试块本身的尺寸对试验结果有相当的影响，而且立方试块的抗压强度不能完全反映混凝土在其它应力状态下的破坏实质。因此，在钢筋混凝土结构的设计和施工中，首先必须确定标准立方试块的尺寸，并常常需要用到其它几个力学指标，如轴心抗压强度、轴心抗拉强度和弹性模量等来确定混凝土的强度。

关于试块尺寸对强度的影响，以及标准立方试块抗压强度与其它力学指标的关系，由于各种因素的影响，少量试件的试验常常不能得出正确的结果。因而，在研究和设计工作中，往往是直接引用这方面的专门研究成果，即以标准立方试块抗压强度（混凝土标号值 R ）为基础，换算成其它基本力学指标。国内外多年来在这方面已做了不少试验研究工作，但由于混凝土原材料和试验方法的差异，以及混凝土强度理论的复杂性，因而所得结论还有或多或少的差别。本文以国内近期的试验结果为基础，得出了混凝土强度按试块尺寸的换算系数，以及轴心抗压强度、轴心抗拉强度、弹性模量与标号间的试验关系，现分别叙述于后。

一、混凝土立方强度按试块尺寸的换算系数

长期以来，钢筋混凝土结构设计与施工规范中，都规定混凝土标准试块的规格是边长20厘米的立方体。在钢筋混凝土生产发展的初期，结构截面尺寸一般较大，所用骨料的粒径也较大，因此采用较大尺寸的标准试块，在当时是合理的。随着生产的发展，混凝土强度渐趋提高，结构截面尺寸日益减小，并较多地应用小粒径的骨料，为了方便起见，常常相应地采用小尺寸的非标准试块。同时，因为高强度混凝土的出现，如继续规定采用该标准试块，那么在许多试验室内其试验机的吨位将不能满足要求，所以在规定标准试块尺寸的同时，必须允许应用小尺寸的非标准试块，即边长为15厘米和10厘米两种。最近，在对全国各地一百零三个建筑单位混凝土试块强度的调查过程中，使用边长20厘米标准试块的仅占千分之二，绝大多数单位都采用边长为15厘米和10厘米的非标准立方试块，并按施工规范所规定的换算系数折成标准的试块强度。

试块随着尺寸的缩小而强度有系统地稍有提高的现象，已为长期来的生产实践和科学实验所证实。虽然对此现象有各种不同的物理解释，但仍没有得出明确的结论。目前实际应用时，一般只能根据大量试验资料得出立方试块尺寸对其强度指标影响的统计关系，也就是确定各种尺寸试块的强度相对于标准试块强度的换算系数。我国过去的规范[1]中，这个系数规定为：

边长为10厘米的立方试块	0.85；
边长为15厘米的立方试块	0.90；
边长为30厘米的立方试块	1.10。

同时规定试块边长与骨料最大粒径的关系：

骨料最大粒径 ≤ 30 毫米时，试块边长不小于10厘米；

骨料最大粒径 ≤ 50 毫米时，试块边长不小于15厘米；

骨料最大粒径 ≤ 70 毫米时，试块边长不小于20厘米；

骨料最大粒径 ≤ 150 毫米时，试块边长不小于30厘米。

过去在这方面未曾进行过比较系统的试验研究工作，一般都按该规定执行。但也有个别单位是根据本单位试验室所得的试验结果取用的。例如，1953年官厅水库工程局的混凝土施工规范规定 $R_{20}/R_{15} = 0.94$ ；又如，丰台桥梁工厂等单位发现应用边长15厘米的非标准试块所得的强度值，按上述规定换算后经常不易合格，而直接应用标准试块强度一般都能合格。因此，开始怀疑上述换算系数的正确性，并做了一些对比试验，试验表明原订的系数是不合理的，因而在1968年改用 $R_{20}/R_{15} = 0.95$ 。此外，国内许多单位也先后做过这方面的对比试验，其结果见表1。

混凝土立方试块强度对比试验

表 1

资 料 来 源	试块组(个)数	R_{20}/R_{15}	R_{10}/R_{15}
丰台桥梁工厂1962、1963年统计资料	51	0.96	0.89
丰台桥梁工厂1965年试验	9	0.94	0.90
丰台桥梁工厂1968年试验	6	0.95	0.90
水电部科研院1964年专题试验报告	(36)	0.95	0.92
首都钢铁建筑公司检验室资料	(8)	0.96	0.91
国家建委建研院1966年专题试验报告	20	0.98	0.91
交通部科研院1972年专题试验报告	20	0.98	0.93

现将国际材料结构试验研究协会 (RILEM)混凝土委员会搜集的一些试验资料 [2]和其它一些资料摘列于表2。

国外混凝土立方试块强度对比试验

表 2

资 料 来 源	R_{15}, R_{10}	R_{10}/R_{15}	R_{10}/R_{10}
德 国 Hernandez 1946 年	1.09	1.04	
法 国 L' Hermite 1950~1955 年		1.00	1.09
英 国 Murdock 1948 年			0.96
德 国 Ruseh 1955 年			0.91
美 国 Dutron 1931 年		(0.99)	
苏 联 Квирикадзе		0.98	0.95
苏 联 Писанко		0.97	0.93
英 国 Lyse等 (7天强度)		1.00	0.98
英 国 Lyse等 (28天强度)		0.99	0.98
西班牙 S. Rajendran		0.96	0.92

注：括号中比值为 R_{10}/R_{15} 。

综合上述资料,说明原规定的换算系数是不够合理的。

为了进一步取得比较完整的试验资料,1971年末我们在各地组织了十余个单位共同进行混凝土立方试块对比试验,标号范围为 $R_{20}=65\sim 687$ 公斤/平方厘米,其结果见表3。

混凝土立方试块强度对比试验

表 3

试 验 单 位	R_{20}/R_{15}			R_{20}/R_{10}		
	组 数	波 动 范 围	平均值	组 数	波 动 范 围	平均值
国家建委建研院	86	0.822~1.113	0.969	78	0.741~1.129	0.898
上海市建研所	27	0.820~1.081	0.972	27	0.767~1.064	0.925
北京市第一构件厂	10	0.916~1.093	1.000	9	0.799~0.996	0.902
天津市建研所	19	0.874~1.000	0.928	9	0.793~0.980	0.873
黑龙江省低温建研所	19	0.874~1.102	0.978	8	0.835~1.154	0.983
陕西省建研所	60	0.793~1.174	0.937	60	0.721~1.083	0.900
陕西省建工局二公司	24	0.847~1.070	0.920	24	0.755~1.017	0.858
陕西省建工局三公司	29	0.790~1.148	0.949	26	0.869~1.147	0.993
陕西省建工局四公司	12	0.839~1.179	0.951	12	0.734~1.179	0.916
陕西省建工局八公司	24	0.828~1.011	0.918	24	0.787~1.105	0.927
陕西省建工局十一公司	22	0.950~1.147	1.012			
总 计	332	0.790~1.179	0.956	277	0.721~1.179	0.912

强度比值的频率分布见图1,比值 R_{20}/R_{15} 及 R_{20}/R_{10} 的均方差各为0.072及0.084,由此也可表明边长10厘米的试块强度的离散性略大于边长15厘米的试块。

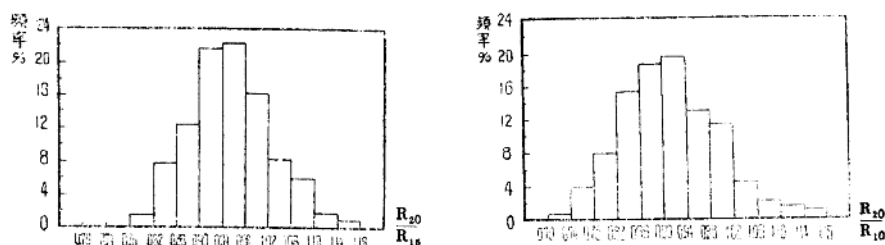


图 1 强度比值的频率分布

根据资料^[3]中所列的主要理论解释及该文的意见,可将立方强度随试块尺寸变化的影响因素归结为两类:

(一) 材料自身的原因

1. 内部缺陷(裂纹)分布的影响;
2. 材料内摩擦角的影响;
3. 表层和内部硬化程度有差异的影响;
4. 混凝土粗骨料粒径的影响。

(二) 試驗方法的原因

1. 試件承压面摩擦力的影响；
2. 試驗机上下承压板刚性的影响。

要从試驗方法的差异来分析现有的数据是困难的，因为很难从各批試驗结果中区分方法上的差异。

从材料自身的差异来分析数据，也只能区分混凝土的标号和骨料粒径的差异。显然混凝土内部的缺陷及其内摩擦角与混凝土的标号有直接关系，如有这种影响，也会从标号的差异中明显地反映出来。至于表层和内部硬化程度的差异，可能仅与混凝土的水泥品种和水灰比有关，而这项因素在我们的资料中也不易区分了。因此，我们根据标号和粗骨料粒径的差异又分别作了下列的统计。

将全部 R_{20} 的数据按大小分成四级，得出各级的平均比值如表4。又将各单位按粗骨料粒径大小不同的对比試驗结果列于表5。

不同标号混凝土立方試块强度比值 表4

R_{10}	R_{20}/R_{10}		R_{20}/R_{10}	
	組 数	平 均 值	組 数	平 均 值
65~200	99	0.963	80	0.932
201~300	72	0.943	60	0.916
301~400	66	0.964	53	0.898
401~687	95	0.952	84	0.897

不同粒径粗骨料混凝土立方試块强度比值 表5

試 驗 单 位	最大粒径 (毫米)	組 数	R_{20}/R_{10}	R_{10}/R_{10}
上 海 市 建 研 所	15	12	0.942	0.900
	25	8	1.051	0.962
	40	7	0.932	0.924
天 津 市 建 研 所	20	9	0.924	0.873
	40	10	0.931	
黑 龙 江 省 低 温 建 研 所	20	9	0.959	0.984
	50	10	0.996	
陕 西 省 建 研 所	15	30	0.937	0.909
	30	30	0.936	0.891

根据表4列出的结果，可以认为混凝土的标号对换算系数没有明显的系统性影响。以粗骨料影响因素为主的理论解释，认为当骨料粒径与試块尺寸相比甚小时，試块强度与試块尺寸无关。当骨料粒径增大后，由于骨料对破裂线发生和发展的阻碍作用，

将提高试块的强度值。因此所取骨料粒径愈小, 比值 R_{20}/R_{15} 或 R_{20}/R_{10} 愈接近于1, 而随粒径的增大, 比值就渐小于1。但从表5所列的结果来看, 陕西省建研所试件组数较多, 其在试件边长尺寸不小于三倍最大粒径的条件下, 平均比值与粒径大小几乎没有关系。其它单位的少量试验数据, 也难证实上述理论分析的结果。这当然有可能是因为试验中所取骨料的粒径还不够大, 所以还不能明显地反映理论分析所提示的规律。

综上所述, 对目前常用的粗骨料(粒径15~50毫米), 并按三倍最大粒径确定试块尺寸时, 我们认为混凝土的标号和粗骨料粒径对试块强度换算系数的影响可不予考虑。

我们分析比值 R_{20}/R_{15} 和 R_{20}/R_{10} 的数据所以分散的原因, 主要是由于下述三个波动因素。

1. 搅拌不匀造成同批混凝土强度的离散 在这次试验中所应用的混凝土有很大一部分是采用人工搅拌, 或小搅拌机搅拌, 因此制成的混凝土试块强度有一定的分散性;

2. 试块制作质量的差异 试块在制作过程中, 由于试模质量、试块的振捣和养护等条件的不同, 也可能造成试块强度的不同;

3. 试块的试验误差 试块试验时的对中情况、加荷速度等因素的不同, 也可能造成试块强度的不同。

这些因素对比值 R_{20}/R_{15} 及 R_{20}/R_{10} 的影响都是随机的。因此可以认为, 比值的平均值代表了不同尺寸试块强度间的比例系数, 但真正的平均值仍可能在一定范围内波动, 由统计推断理论, 取信度为5%, 可得平均值的波动区间为:

$$R_{20}/R_{15} = \bar{x} \pm \frac{2\sigma}{\sqrt{n}} = 0.956 \pm \frac{2 \times 0.072}{\sqrt{332}} = 0.956 \pm 0.008$$

$$R_{20}/R_{10} = 0.912 \pm \frac{2 \times 0.084}{\sqrt{277}} = 0.912 \pm 0.010$$

为了进一步明确试块尺寸的影响, 我们在北京构件厂搅拌站取不同标号的混凝土四批, 每批混凝土取自同一盘制成三种尺寸的立方试块各三十块, 试验结果见表6。

同盘混凝土立方试块强度试验结果

表 6

批 次	边长20厘米的立方强度			边长15厘米的立方强度				边长10厘米的立方强度			
	平均值	均方根差	最小估计值	平均值	均方根差	最大估计值	$R_{15}^{\min}$	平均值	均方根差	最大估计值	$R_{10}^{\min}$
	$\bar{R}_{20}$	σ	$\bar{R}_{20}^{\min}$	$\bar{R}_{15}$	σ	$\bar{R}_{15}^{\max}$	$\bar{R}_{15}^{\max}$	$\bar{R}_{10}$	σ	$\bar{R}_{10}^{\max}$	$\bar{R}_{10}^{\max}$
1	211.7	7.9	208.8	214.8	7	217.4	0.96	228.8	7.4	226.1	0.92
2	319.7	5.8	317.6	338.7	14.8	344.1	0.93	350.1	18.5	356.8	0.89
3	347.9	18.6	341.2	356.4	13.1	361.1	0.94	379.4	23.1	387.7	0.88
4	399.2	19.3	392.2	417.6	18.6	410.9	0.95	422.4	35.2	435.1	0.90

注: 估计区间的信度取5%。

根据上述分析,建议试块强度的换算系数按下列规定取用:

边长为10厘米的立方试块 0.90;

边长为15厘米的立方试块 0.95。

二、混凝土轴心抗压强度

混凝土短柱的轴心抗压强度 R_a 与立方强度 R 的不同,在于短柱试件的强度不受试验机压板与试件承压面间摩擦力的影响。为了充分消除摩擦力的影响,使在试件的中间区段形成纯压状态,就要求试件具有足够的高度,但是过高的试件在破坏前由于产生较大的附加偏心,又会降低混凝土轴心抗压的试验强度。根据国内外资料,一般认为当试件的高宽比为 $h/a = 3 \sim 4$ 时,可以基本上消除上述两种因素的影响。

关于轴压强度 R_a 与立方强度 R 间的关系,早期的试验结果都采用非线性关系式表达。例如,德国格拉夫 (Graff) 的经验公式

$$R_a = \left(0.85 - \frac{R}{1720} \right) R$$

以及后来苏联格沃兹杰夫 (А.А.Гвоздев) 的建议公式

$$R_a = \left(\frac{1300 + R}{1450 + 3R} \right) R$$

这些公式都是在当时主要应用低标号混凝土的历史条件下取得的。

在考虑到应用高标号混凝土的同时,国外近期的试验结果都趋向于采用简单的线性关系,即 R_a 与 R 成正比,但所得的比例系数各资料有所差异。例如,1955年H.吕施 (R_{Luch}) 的试验资料为 0.88^[4], 1959年邦切尔 (J. Bonzel) 为 0.791^[5], 1966年O.Я 别尔格 (Берг) 发表的资料为 0.81^[6], 1971年Г.Н.皮桑柯 (Писанко) 综合了不同作者的16批试验资料为 0.783^[7]。

本文以在国内选取近期的349组 R_a 与 R 的对比试验资料作为分析的依据。短柱试件的尺寸有 $20 \times 20 \times 60$ 厘米、 $15 \times 15 \times 60$ 厘米、 $15 \times 15 \times 55$ 厘米、 $15 \times 15 \times 45$ 厘米、 $10 \times 10 \times 40$ 厘米及 $10 \times 10 \times 30$ 厘米六种,其高宽比 $h/a = 8 \sim 4$; 试件混凝土的立方强度 R 的变化范围为 $86 \sim 665$ 公斤/平方厘米;采用的粗骨料以卵石为主,也包括了一部分碎石混凝土的数据 (交通部科研院的对比试验,说明了碎石与卵石对比值 R_a/R 无影响)。

对349组的 R_a 和 R 的试验值进行了相关分析,其线性相关系数 r 达 0.95,说明在 R_a 和 R 间采用线性函数关系是能满足工程要求的。所得的经验公式为:

$$R_a = 0.83R - 3.5 \text{ 公斤/平方厘米} \quad (1)$$

全部试验数据均绘于图2中,比值 R_a/R 的频数分布见图3。

$R_a (\% \text{cm})$

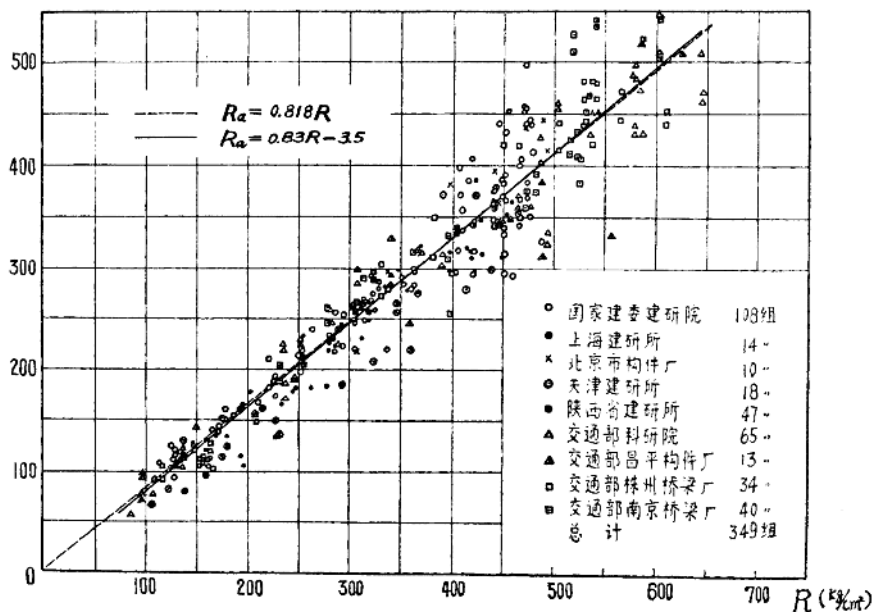


图 2 R_a/R 的试验值

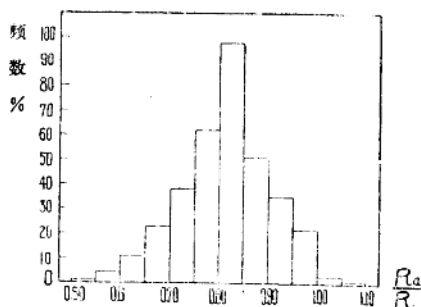


图 3 R_a/R 比值的频数分布 (统计总数 349 组)

如 R_a 和 R 的函数关系近似地取为通过座标原点的直线, 则用最小二乘法可求得该近似直线的经验公式为:

$$R_a = 0.818R \quad (2)$$

从试验分析的结果来看, 所得的比值 R_a/R 的分布仍有相当的离散性, 而且各单位的试验结果也存在差异。离散的主要原因如下:

1. 混凝土材料本身的离散性;
2. 各单位采用的骨料、水泥等原材料的品种不同, 造成试验结果有差异;
3. 各批试验采用的试件截面尺寸和高宽比不同, 也会影响试验的结果;
4. 试验方法上的差异, 例如: 荷载偏心、加荷速度等因素, 以及试模几何尺寸和试验机本身的误差, 都会影响试验的结果。

以上因素中, 有的是随机的, 有的是非随机的, 为了区分出一些主要的非随机的因素, 以便在分析中尽可能地消除试验中的系统误差, 我们将试验所得比值 R_a/R 的平均值, 按试验单位、试件规格的不同, 分别列于表 7、8。

不同单位试件 R_a/R 的平均值

表 7

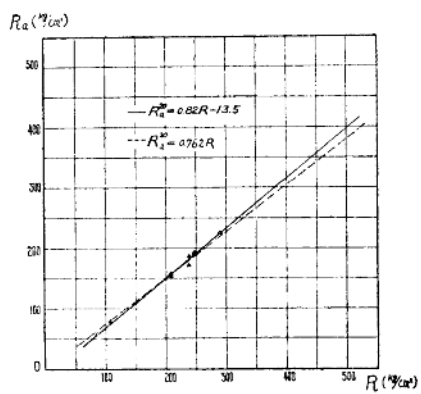
试 验 单 位	试 件 尺 寸 (厘 米)	组 数	R_a/R 平 均 值
国家建委建研院	15×15×60	28	0.807
	10×10×40	2	0.796
	15×15×45	35	0.807
	10×10×30	43	0.861
	小 计	108	0.828
上海市建研所	10×10×30	14	0.702
北京市第一构件厂	10×10×30	10	0.861
天津市建研所	10×10×30	8	0.835
	15×15×45	10	0.741
	小 计	18	0.783
陕西省建研所	15×15×55	47	0.772
交通部科研院	10×10×40	52	0.839
	15×15×55	2	0.817
	20×20×60	11	0.741
	小 计	65	0.821
交通部昌平构件厂	10×10×30	13	0.809
交通部株洲桥梁厂	10×10×40	34	0.819
交通部南京桥梁厂	10×10×30	40	0.859
总 计		349	0.815

不同规格试件的 R_a/R 的平均值

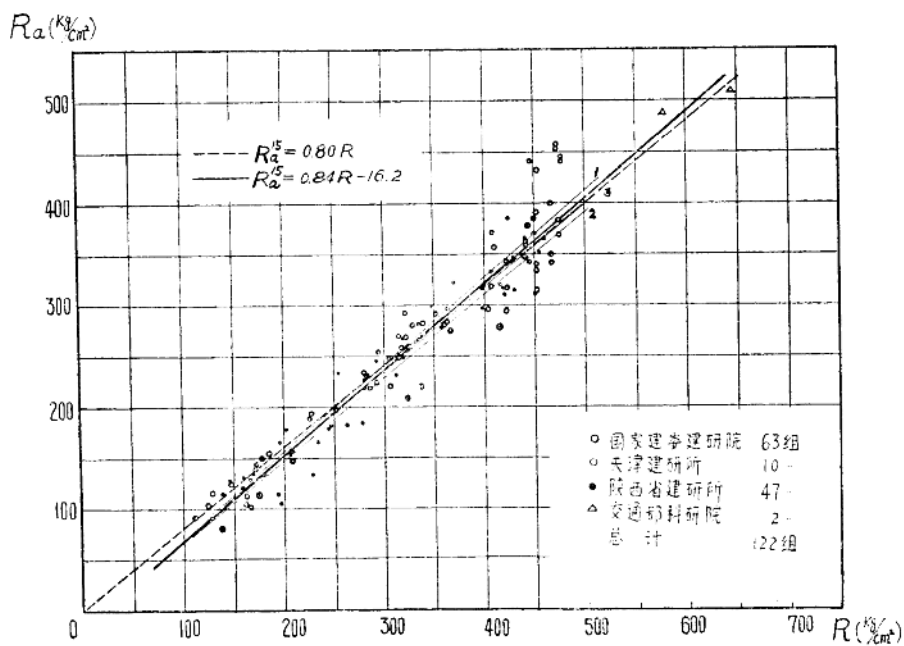
表 8

试 件 规 格		组 数	R_a/R 平 均 值
高 宽 比 h/a	尺 寸 (厘 米)		
3	10×10×30	128	0.835
	15×15×45	45	0.792
	20×20×60	11	0.741
	总 计	184	0.819
3.7~4	10×10×60	88	0.830
	15×15×55	49	0.774
	15×15×60	28	0.807
	总 计	165	0.809

同时,我们将试验数据按截面尺寸的不同,分别用最小二乘法按线性关系求出其经验公式(表9),并将试验数据又分别绘于图4a、4b、4c(其中20×20厘米试件的数据过少),图中虚线为通过坐标原点,且用最小二乘法求得的近似直线。



4a



4b

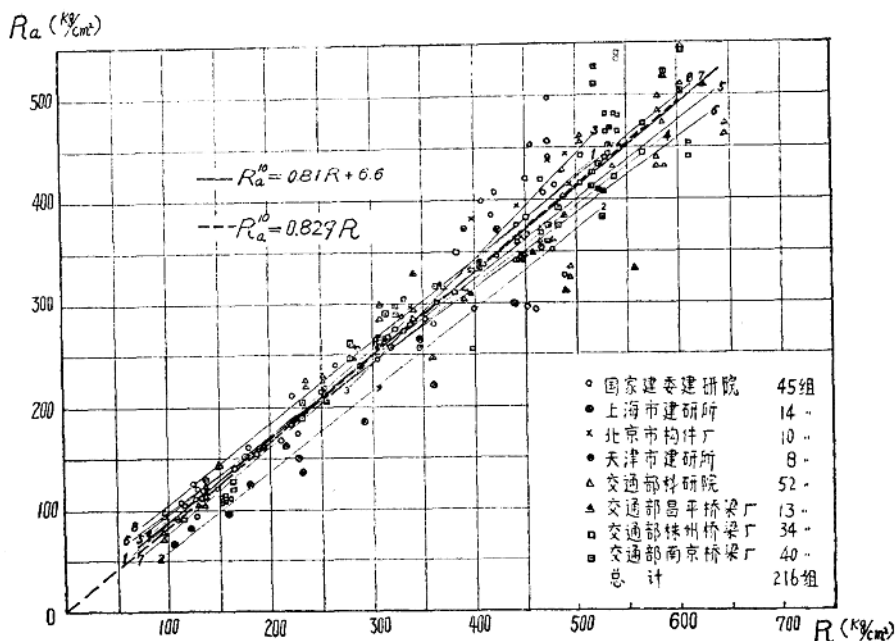


图4 不同截面尺寸 R_a/R 的试验值

不同截面尺寸棱柱体强度试验结果分析

表 9

截面尺寸 (厘米)	试验单位	组数	$K_a = mR + b$		相关系数 r
			m	b	
20 × 20	交通部科研院	11	0.82	-13.5	0.99
15 × 15	国家建委建研院	63	0.85	-13.8	0.96
	天津市建研所	10	0.81	-16.2	0.97
	陕西省建研所	47	0.82	-11.4	0.98
	交通部科研院	2			
	全部	122	0.84	-16.2	0.97
10 × 10	国家建委建研院	45	0.85	1.8	0.93
	上海市建研所	14	0.78	-18	0.95
	天津市建研所	8	0.75	19.2	0.97
	北京市第一构件厂	10	1.02	-64.5	0.92
	交通部科研院	52	0.76	22	0.98
	交通部南京桥梁厂	40	0.79	28	0.86
	交通部昌平构件厂	13	0.72	28.4	0.92
	交通部株洲桥梁厂	34	0.84	-7.5	0.99
	全部	216	0.81	6.6	0.95

经过上述整理分析以后,由表7、8、9和图4a、4b、4c可以大致看出:

1. 当试件的高宽比 b/a 在3~4范围内变化时,一般对比值 R_a/R 没有明显的影响;
2. 截面尺寸为 20×20 厘米与 15×15 厘米的试件, R_a 的经验公式差异很少,而截面尺寸为 10×10 厘米的试件, R_a 值一般偏高,偏高程度随立方强度 R 而异,而且试验结果的离散性也较 15×15 厘米的试件为大。

影响试验结果的另一个主要因素是试件破坏前荷载的实际偏心距。这个道理是显见的,国外有一些试验资料论证了由此而产生的差异。前述吕施的试验结果 $R_a/R = 0.83$,就是在具有专门对中装置的试验条件下取得的;在国家建委建研院进行的同批42组(试件尺寸为 $10 \times 10 \times 30$ 厘米)试验中,其中20组是用一对杠杆引伸仪控制,以使荷载在初始阶段沿截面一个方向上对中。当然,这种控制并不一定保证试件在破坏前也能保持中心受力,然而即使如此,所得 R_a/R 的试验平均值为0.885,与另外22组不加任何控制(即采用一般几何对中)的同批试验平均值0.849相比,还高出4%。因此,以上引用的试验结果中,也可能由于实际偏心距的存在,而使 R_a 的试验值有系统偏低的倾向。

综上所述,对轴心抗压强度 R 进行比较可靠和精确的定量分析是一个比较复杂的问题,还必须进一步搞清影响 R_a 试验值的各项主要因素及其影响的程度,并在此基础上进行系统的试验,以取得更为可靠的结果。目前,轴心抗压强度指标,暂时可按截面尺寸为 15×15 厘米棱柱体试件的试验结果为基础来确定,其统计所得的经验公式为:

$$R_a = 0.84R - 16.2 \quad (3)$$

从图4b中可以看出,用截面尺寸为 15×15 厘米的试件时,各单位所得的试验结果比较接近。

对于截面尺寸为 15×15 厘米的棱柱体, R_a 与 R 的关系亦可近似地取为通过座标原点的直线。用最小二乘法可求得该近似直线的经验公式为:

$$R_a = 0.8R \quad (4)$$

考虑到试验误差等因素,在实际应用时式中系数的取值还可适当降低。目前,结构设计规范中取用 $R_a = 0.7R$ 的关系,应该说是偏安全和可行的。

三、混凝土抗拉强度

混凝土试件在轴心拉伸情况下的极限抗拉强度,在结构设计中是确定混凝土抗裂度的重要指标。有时也通过混凝土的轴心抗拉强度间接地衡量混凝土的其它力学性能指标。例如:混凝土的冲切强度、混凝土与钢筋的粘结强度等。但由于混凝土的轴心拉伸试验比较困难,因而国内外常以混凝土梁试件的抗折试验及圆柱体或立方体试件的劈裂试验来代替。尤其是立方体的劈裂试验,由于其试件与确定标号的试块相同,因而应用比较普遍。

由劈裂试验所得的,并按公式 $R_t^{\text{劈}} = \frac{2P}{\pi a^2}$ 确定的抗拉强度,与同批材料的轴心拉伸试验所得的抗拉强度 R_t ,往往是不相同的。因此,由劈裂试验所得的抗拉强度,还必

须根据试验所得的规律给以换算。

从国外的资料来看，多数人认为劈裂试验所得的抗拉强度 $R_t^{\text{劈}}$ 高于 R_t 。法国伐伍士 (R. Bavs) 的试验结果是 $R_t = 0.81 R_t^{\text{劈}}$ ；第六届国际预应力混凝土会议建议 $R_t = 0.85 R_t^{\text{劈}}$ (均采用圆柱体试件)。

水利部水利水电研究院认为，采用直径为 4 毫米的圆钢丝为垫条，在立方体试件上进行劈裂试验，其结果比轴拉试验低 25%，加大垫条截面尺寸后，可以提高劈裂抗拉强度值。并指出，如取用 5×5 毫米的方钢垫条，在 $15 \times 15 \times 15$ 厘米试件上进行劈裂试验，可得出与轴拉试验基本一致的结果。

国家建委建研院和交通部科研院近期也做了一批混凝土劈裂与轴拉的对比试验。轴拉试件的尺寸为 $10 \times 10 \times 50$ 厘米，两端预埋 $\Phi 16$ 的钢筋，两根钢筋保持对中 (图 5)；劈裂试验采用边长为 10 厘米和 15 厘米的两种立方体试件，垫条采用 4~5 毫米的方钢。

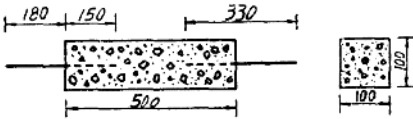


图 5 轴拉试件

试验所得比值 $R_t/R_t^{\text{劈}}$ 的平均值列于表 10 中。试验结果不仅说明了劈拉强度可能低于轴拉强度，而且说明试件尺寸的影响在劈拉试验中同样存在。

劈拉与轴拉强度对比试验结果

表 10

试 验 单 位	$R_t/R_t^{\text{劈}}_{[-10]}$		$R_t/\Gamma^{\text{劈}}_{[-10]}$	
	组 数	平 均 值	数 组	平 均 值
国家建委建研院	29	1.24	32	1.08
交通部科研院	20	1.20	20	1.05

劈裂试验试件尺寸的影响在更多的试验中得到了证实 (表 11)，即小截面试件劈拉强度的平均值要高于大截面试件劈拉强度的平均值，这是符合一般非匀质材料脆性破坏规律的。

我们将国内近期进行的 153 组边长 10 厘米立方体的劈裂强度 $R_t^{\text{劈}}$ 和标准立方强度 R 的对比试验结果 (全部是卵石混凝土) 绘于图 6 中，并采用双对数座标。设 $R_t^{\text{劈}}$ 和 R 两者的对数为线性关系，可得其相关系数为 0.91，用最小二乘法求得的经验公式为：

$$R_t^{\text{劈}} = 0.32 R^{0.785} \quad (5)$$