

中华人民共和国行业标准

轻 集 料 混 凝 土 技 术 规 程

JGJ 51-90

主编部门：中国建筑科学研究院

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：1990 年 10 月 1 日

关于发布行业标准《轻集料混凝土技术规程》的通知

(90)建标字第 28 号

根据原城乡建设环境保护部(86)城科字第 263 号文下达的建设部标准编、修订计划，由中国建筑科学研究院负责主编的《轻集料混凝土技术规程》业经我部审查，现批准为行业标准，编号 JGJ 51-90，自 1990 年 10 月 1 日起实施。原部标准《轻骨料及轻骨料混凝土技术规定和试验方法》JGJ 51-78 同时停止执行。

本规程在实施过程中如有问题和意见，请函告中国建筑科学研究院。

中华人民共和国建设部

1990 年 1 月 22 日

主 要 符 号

- α_c ——轻集料混凝土在平衡含水率状态下的导温系数计算值；
 α_d ——轻集料混凝土在干燥状态下的导温系数；
 C_c ——轻集料混凝土在平衡含水率状态下的比热容计算值；
 C_d ——轻集料混凝土在干燥状态下的比热容；
 $d_{\max}$ ——最大筛孔尺寸或轻集料的最大粒径；
 $d_{\min}$ ——最小筛孔尺寸；
 E_c ——轻集料混凝土的弹性模量；
 f_{ck} ——轻集料混凝土轴心抗压强度标准值；
 $f_{cm, k}$ ——轻集料混凝土弯曲抗压强度标准值；
 f_{cu}' ——轻集料混凝土的配制强度；
 $f_{cu, k}$ ——轻集料混凝土的立方体抗压强度标准值；
 f_a ——轻粗集料的筒压强度；
 f_{ak} ——轻粗集料的强度标号；
 f_{tk} ——轻集料混凝土轴心抗拉强度标准值；
 f_{VK} ——轻集料混凝土的抗剪强度标准值；
 m_e ——每立方米轻集料混凝土的水泥用量；
 m_a ——每立方米轻集料混凝土的粗集料用量；
 m_s ——每立方米轻集料混凝土的砂子用量；

m_{wa} ——每立方米轻集料混凝土的附加水量；
 m_{wn} ——每立方米轻集料混凝土的净用水量；
 m_{wt} ——每立方米轻集料混凝土的总水量；
 s ——轻集料混凝土强度样本标准差；
 s_{c24} ——轻集料混凝土在平衡含水率状态下周期为 24h 的蓄热系数计算值；
 s_{d24} ——轻集料混凝土在干燥状态下周期为 24h 的蓄热系数；
 s_p ——每立方米轻集料混凝土的砂率；
 V_a ——每立方米轻集料混凝土的粗集料体积；
 V_s ——每立方米轻集料混凝土的细集料体积；
 V_t ——每立方米轻集料混凝土的粗细集料总体积；
 α ——轻集料混凝土的温度线膨胀系数；
 β_c ——粉煤灰取代水泥率；
 δ_c ——粉煤灰的超量系数；
 ε_{sk} ——轻集料混凝土的收缩变形标准值；
 η ——配合比设计的校正系数；
 λ_c ——轻集料混凝土在平衡含水率状态下的导热系数计算值；
 λ_d ——轻集料混凝土在干燥状态下导热系数；
 ρ_d ——轻集料混凝土的干表观密度；
 ρ_1 ——轻集料的堆积密度；
 ρ_p ——轻集料的颗粒表观密度；
 σ ——轻集料混凝土强度总体标准差；
 ϕ ——轻集料混凝土的软化系数；
 ϕ_{ck} ——轻集料混凝土的徐变系数标准值；
 ω_a ——轻粗集料 1h 吸水率；
 ω_s ——轻砂 1h 吸水率；
 ω_{sat} ——轻集料混凝土的饱和吸水率。

第一章 总 则

第 1.0.1 条 为促进轻集料及轻集料混凝土生产和应用的发展，保证轻集料混凝土的质量，特制定本规程。

第 1.0.2 条 本规程适用于无机轻集料混凝土的生产质量控制和检验，有关指标可供轻集料混凝土结构设计和施工时采用。

本规程不适用于无砂或少砂的大孔轻集料混凝土。

热工、水工、桥涵和船舶等用途的轻集料混凝土可参照本规程执行，但还应遵守相应的专门技术标准或规程的有关规定。

第 1.0.3 条 用轻粗集料、轻砂(或普通砂)、水泥和水配制而成的混凝土，其干表观密度不大于 1950kg/m^3 者，称为轻集料混凝土。

第 1.0.4 条 轻集料混凝土的常规性能指标的测定，应按普通混凝土的如下标准执行：

- 一、《普通混凝土拌合物性能试验方法》(GBJ 80-85)；
- 二、《普通混凝土力学性能试验方法》(GBJ 81-85)；
- 三、《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GBJ 82-85)。

与轻集料特性有关的混凝土性能指标的测定则按本规程第六章执行。

第二章 原 材 料

第一节 一 般 规 定

第 2.1.1 条 制作轻集料混凝土所用水泥应符合下列标准的要求：

- 一、硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥(GB 175-85)；
- 二、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥(GB 1344-85)。

如采用其他品种的水泥，其性能指标必须符合相应标准的要求。

第 2.1.2 条 制作轻集料混凝土所用轻集料应符合下列相应标准的要求：

- 一、《粉煤灰陶粒和陶砂》(GB 2838-81)；
- 二、《粘土陶粒和陶砂》(GB 2839-81)；
- 三、《页岩陶粒和陶砂》(GB 2840-81)；
- 四、《天然轻骨料》(GB 2841-81)；
- 五、《膨胀珍珠岩》(JC 209-77)。

其他品种轻集料应符合本章第二节的要求。

第 2.1.3 条 制作轻集料混凝土所用普通砂应符合《普通混凝土用砂质量标准及试验方法》(JGJ 52-79)的要求。

第 2.1.4 条 制作轻集料混凝土所用的粉煤灰应符合《粉煤灰在混凝土和砂浆中应用技术规程》(JGJ 28-86)的要求。

第 2.1.5 条 制作轻集料混凝土所用的外加剂应符合《混凝土外加剂应用技术规范》(GBJ 119-88)的要求。

第 2.1.6 条 轻集料可分为轻粗集料和轻细集料。凡粒径大于 5mm，堆积密度小于 1000kg/m^3 的轻质集料，称为轻粗集料；凡粒径不大于 5mm，堆积密度小于 1200kg/m^3 的轻质集料，称为轻细集料(或轻砂)。

第 2.1.7 条 轻集料按其来源可分为三类：

- 一、工业废料轻集料——以工业废料为原料，经加工而成的轻集料，如粉煤灰陶粒、自燃煤矸石、膨胀矿渣珠、煤渣及其轻砂。
- 二、天然轻集料——天然形成的多孔岩石，经加工而成的轻集料，如浮石、火山渣及其轻砂。
- 三、人造轻集料——以地方材料为原料，经加工而成的轻集料。如页岩陶粒、粘土陶粒、膨胀珍珠岩集料及其轻砂。

第 2.1.8 条 轻粗集料按其粒型可分为三类：

- 一、圆球型的——原材料经造粒工艺加工而成的、呈圆球状的轻集料(如粉煤灰陶粒和磨细成球的页岩陶粒等)；
- 二、普通型的——原材料经破碎加工而成的、呈非圆球状的轻集料(如页岩陶粒、膨胀珍珠岩等)；
- 三、碎石型的——由天然轻集料或多孔烧结块经破碎加工而成的、呈碎石状的轻集料(如浮石、自燃煤矸石和煤渣等)。

第二节 轻集料技术要求

第 2.2.1 条 保温及结构保温轻集料混凝土用的轻粗集料，其最大粒径不宜大于 40mm。

结构轻集料混凝土用的轻粗集料，其最大粒径不宜大于 20mm。

第 2.2.2 条 轻粗集料的级配应符合表 2.2.2 的要求，其自然级配的空隙率不应大于 50%。

轻 粗 集 料 的 级 配

表 2.2.2

筛 孔 尺 寸		$d_{\min}$	$\frac{1}{2}d_{\max}$	$d_{\max}$	$2d_{\max}$
圆球型的及单一粒级	累计筛余(按重量计, %)	≥ 90	不规定	≤ 10	0
普通型的混合级配		≥ 90	30 ~ 70	≤ 10	0
碎石型的混合级配		≥ 90	40 ~ 60	≤ 10	0

第 2.2.3 条 轻砂的细度模数不宜大于 4.0 ；其大于 5mm 的累计筛余量不宜大于 10%(按重量计)。

第 2.2.4 条 轻集料的堆积密度等级按表 2.2.4 划分。其实际堆积密度的变异系数：对圆球型的和普通型的轻粗集料不应大于 0.10 ；碎石型的轻集料不应大于 0.15 。

轻集料的密度等级

表 2.2.4

密 度 等 级		堆积密度范围(kg/m ³)
轻粗集料	轻 砂	
300	—	210 ~ 300
400	—	310 ~ 400
500	500	410 ~ 500
600	600	510 ~ 600
700	700	610 ~ 700
800	800	710 ~ 800
900	900	810 ~ 900
1000	1000	910 ~ 1000
—	1100	1010 ~ 1100
—	1200	1110 ~ 1200

第 2.2.5 条 轻粗集料的筒压强度和强度标号应不小于表 2.2.5 的规定值。

轻粗集料的筒压强度及强度标号 表 2.2.5

密度等级	筒压强度 f_a (MPa)		强度标号 f_{ak} (MPa)	
	碎石型	普通和圆球型	普通型	圆球型
300	0.2/0.3	0.3	3.5	3.5
400	0.4/0.5	0.5	5.0	5.0
500	0.6/1.0	1.0	7.5	7.5
600	0.8/1.5	2.0	10	15
700	1.0/2.0	3.0	15	20
800	1.2/2.5	4.0	20	25
900	1.5/3.0	5.0	25	30
1000	1.8/4.0	6.5	30	40

注：碎石型天然轻集料取斜线以左值；其他碎石型轻集料取斜线以右值。

第 2.2.6 条 轻砂和天然轻粗集料的吸水率不作规定；其他轻粗集料的吸水率不应大于 22%。

第 2.2.7 条 轻集料中严禁混入煅烧过的石灰石、白云石和硫化铁等体积不稳定的物质。轻集料的有害物质含量和其他性能指标不应大于表 2.2.7 的规定值。

轻集料性能指标的要求 表 2.2.7

项 目 名 称	指 标
抗冻性(D_{15} ，重量损失，%)	5
安定性(煮沸法，重量损失，%)	5
烧失量，轻粗集料(重量损失，%)	4
轻砂(重量损失，%)	5
硫酸盐含量(按 SO_3 ，计，%)	1
氯盐含量(按 Cl^- 计，%)	0.02
含泥量 (重量%)	3
有机杂质(用比色法检验)	不深于标准色

注：煤渣烧失量可放宽至 15%；
不宜含有粘土块。

第三节 轻集料检验规则

第 2.3.1 条 轻集料应按品种、密度等级分批堆放验收。每 $300m^3$ 为一批，不足 $300m^3$ 者亦以一批论。

第 2.3.2 条 每批轻集料必须检验下列项目：

轻粗集料：

- 一、堆积密度；
- 二、颗粒级配；
- 三、筒压强度；
- 四、吸水率。

轻砂：

- 一、堆积密度；
- 二、细度模数。

天然轻粗集料尚需检验含泥量，自燃煤矸石和煤渣尚需检验硫酸盐含量、安定性和烧失量。

第 2.3.3 条 轻集料性能指标的测定按《轻骨料试验方法》(GB 2842 — 81)的有关规定执行。

第 2.3.4 条 检验后，符合本规程要求者为合格品。当其中任一项不符合要求时，则应重新从同一批中加倍取样，对该项进行复验。复验后仍不符合本规程要求时，则该批产品为等外品。

第 2.3.5 条 生产厂应保证轻集料的质量符合相应轻集料品种国家标准或本规程的要求，并按批签发出厂合格证。合格证内容包括：

- 一、厂名；
- 二、编号及日期；
- 三、商品名称和级别；
- 四、性能检验结果；
- 五、供货数量(按体积计)。

第三章 技 术 性 能

第一节 一 般 规 定

第 3.1.1 条 轻集料混凝土的强度等级按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值系指按标准方法制作和养护的边长为 150mm 的立方体试件，在 28d 龄期用标准试验方法测得的具有 95%保证率的抗压强度值。

第 3.1.2 条 轻集料混凝土的强度等级划分为：CL5.0；CL7.5；CL10；CL15；CL20；CL25；CL30；CL35；CL40；CL45；CL50。

第 3.1.3 条 轻集料混凝土按其干表观密度分为十二个等级(见表 3.1.3)。某一密度等级轻集料混凝土的密度标准值，可取该密度等级干表观密度变化范围的上限值。

轻集料混凝土的密度等级 表 3.1.3

密度等级	干表观密度的变化范围 (kg/m ³)	密度等级	干表观密度的变化范围 (kg/m ³)
800	760 ~ 850	1400	1360 ~ 1450
900	860 ~ 950	1500	1460 ~ 1550
1000	960 ~ 1050	1600	1560 ~ 1650
1100	1060 ~ 1150	1700	1660 ~ 1750
1200	1160 ~ 1250	1800	1760 ~ 1850
1300	1260 ~ 1350	1900	1860 ~ 1950

第 3.1.4 条 轻集料混凝土按其用途可分为三大类(见表 3.1.4)。

轻集料混凝土按用途分类

表 3.1.4

类别名称	混凝土强度等级的合理范围	混凝土密度等级的合理范围	用 途
保温轻集料混凝土	CL5.0	800	主要用于保温的围护结构或热工构筑物
结构保温轻集料混凝土	CL5.0 CL7.5 CL10 CL15	800 ~ 1400	主要用于既承重又保温的围护结构
结构轻集料混凝土	CL15 CL20 CL25 CL30 CL35 CL40 CL45 CL50	1400 ~ 1900	主要用于承重构件或构筑物

第 3.1.5 条 轻集料混凝土按粗集料种类可划分为：

一、工业废料轻集料混凝土 由工业废料轻粗集料配制而成的。如粉煤灰陶粒混凝土，自燃煤矸石混凝土等；

二、天然轻集料混凝土 由天然轻粗集料配制而成的，如浮石混凝土，火山渣混凝土等；

三、人造轻集料混凝土 由人造轻粗集料配制而成的，如粘土陶粒混凝土，页岩陶粒混凝土等。

第 3.1.6 条 轻集料混凝土按细集料品种可划分为：

一、全轻混凝土——由轻砂作细集料配制而成的轻集料混凝土，如浮石全轻混凝土，陶粒陶砂全轻混凝土等；

二、砂轻混凝土 由普通砂，或部分普通砂和部分轻砂作细集料配制而成的轻集料混凝土，如粉煤灰陶粒砂轻混凝土，粘土陶粒砂轻混凝土等。

第二节 性 能 指 标

第 3.2.1 条 各强度等级的轻集料混凝土的强度标准值应按表 3.2.1 采用。

轻集料混凝土的强度标准值 (MPa) 表 3.2.1

强度种类		轴心抗压	弯曲抗压	轴心抗拉	拉 剪
符 号		f_{ck}	f_{cmk}	f_{tk}	f_{vk}
混凝土 强度 等级	CL5.0	3.4	3.7	0.55	0.68
	CL7.0	5.0	5.5	0.75	0.88
	CL10	6.7	7.5	0.9	1.08
	CL15	10.0	11.0	1.2	1.47
	CL20	13.5	15.0	1.5	1.82
	CL25	17.0	18.5	1.75	2.14
	CL30	20.0	22.0	2.0	2.44
	CL35	23.5	26.0	2.25	2.74
	CL40	27.0	29.5	2.45	2.83
	CL45	29.5	32.5	2.6	3.06
	CL50	32.0	35.0	2.75	3.31

注： 自然煤矸石混凝土轴心抗拉强度标准值应按表中值乘以系数 0.85 ；对浮石或火山渣混凝土应按表中值乘以系数 0.80 。

表中抗剪强度系按本规程第六章第五节规定的试验方法测定的。

第 3.2.2 条 轻集料混凝土的弹性模量与其强度和干表观密度有关 ,可按表 3.2.2 取值。

轻集料混凝土的弹性模量 $E_c(\times 10^2\text{MPa})$ 表 3.2.2

强度等级	密 度 等 级											
	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
CL5.0	34	38	42	46	50	54	58	62	—	—	—	—
CL7.5	42	47	52	57	62	67	72	77	82	—	—	—
CL10	—	—	60	66	72	78	84	90	96	102	—	—
CL15	—	—	—	—	88	95	102	109	116	123	130	—
CL20	—	—	—	—	—	—	119	127	135	143	151	159
CL25	—	—	—	—	—	—	—	142	151	160	169	178
CL30	—	—	—	—	—	—	—	—	165	175	185	195
CL35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	180	190	200
CL40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	185	195	205
CL45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200	210
CL50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	205	215

注：用膨胀矿渣珠或自燃煤矸石作粗集料的混凝土，其弹性模量值可比表列数值提高 20%。

第 3.2.3 条 按标准试验方法(GBJ 82 — 85)测得的龄期为 365d、强度等级为 CL20 ~ CL30 的轻集料混凝土的收缩变形标准值、徐变系数标准值不宜大于下列数值：

收缩变形标准值：

砂轻混凝土 0.850×10^{-3} ；

全轻混凝土 1.000×10^{-3} 。

徐变系数标准值：

砂轻混凝土 2.650。

第 3.2.4 条 在缺乏试验资料时，CL20 ~ CL30 的砂轻混凝土的收缩值和徐变系数随龄期的变化，可按下列公式计算：

砂轻混凝土的收缩值：

$$\epsilon_{sk} = \frac{t}{78.69 + 1.2t} \times 10^{-3} \tag{3.2.4-1}$$

砂轻混凝土的徐变系数：

$$\varphi_{ck} = \frac{t^{0.6}}{4.52 + 0.36t^{0.6}} \tag{3.2.4-2}$$

式中 ϵ_{sk} 、 φ_{ck} ——在龄期为 t 时的收缩值和徐变系数；

t ——收缩测试龄期或徐变持荷龄期(d)。

各种因素对砂轻混凝土的收缩与徐变的影响，在结构计算中可按下列公式修正：

$$\epsilon_s = \epsilon'_{sk} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_5 \tag{3.2.4-3}$$

$$\varphi_c = \varphi_{ck} \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 \cdot \xi_5 \tag{3.2.4-4}$$

式中 ϵ_0 、 φ_c ——修正后砂轻混凝土的收缩值与徐变系数；

β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_5 和 ξ_1 、 ξ_2 、 ξ_3 、 ξ_4 、 ξ_5 ——各种因素的修正系数(见表 3.2.4)

收缩值与徐变系数的修正系数 表 3.2.4

影响因素	变化条件	收 缩 值		徐变系数	
		符号	系数	符号	系数
相对湿度 (%)	≤ 40	β_1	1.30	ξ_1	1.30
	≈ 60		1.0		1.0
	≥ 80		0.75		0.75
截面尺寸 (体积/表面积， cm)	2.00	β_2	1.20	ξ_2	1.15
	2.50		1.00		1.00
	3.75		0.95		0.92
	5.00		0.90		0.85
	10.00		0.80		0.70
	15.00		0.65		0.60
	>20.00		0.40		0.55
养护方法	标准的	β_3	1.0	ξ_3	1.0
	蒸养的		0.80		0.85
加荷龄期 (d)	7	—	—	ξ_4	1.20
	14		—		1.10
	28		—		1.00
	90		—		0.88
粉煤灰取代水泥 量(%)	0	β_5	1.0	ξ_5	1.0
	10 ~ 20		0.95		1.0

对碎石型轻集料混凝土取 0.85。

第 3.2.5 条 轻集料混凝土的泊桑比可按 0.2 取用。

第 3.2.6 条 轻集料混凝土的温度线膨胀系数，在温度为 100 以下时可取 $7 \sim 10 \times$

10⁻⁶K⁻¹。低密度等级者可取下限，高密度等级者可取上限。

第 3.2.7 条 轻集料混凝土在干燥条件下和在平衡含水率条件下的各种热物理系数计算值应满足表 3.2.7 的要求。

轻集料混凝土的热物理系数 表 3.2.7

密度等级	导热系数		比热容		导温系数		蓄热系数	
	λ_d	λ_c	C_d	C_c	α_d	α_c	S_{d24}	S_{c24}
	(W/m · K)		(kJ/kg · K)		(m ² /h)		(W/m ² · K)	
800	0.23	0.30	0.84	0.92	1.25	1.38	3.37	4.17
900	0.26	0.33	0.84	0.92	1.22	1.33	3.73	4.55
1000	0.28	0.36	0.84	0.92	1.20	1.37	4.10	5.13
1100	0.31	0.41	0.84	0.92	1.23	1.36	4.57	5.62
1200	0.36	0.47	0.84	0.92	1.29	1.43	5.12	6.28
1300	0.42	0.52	0.84	0.92	1.38	1.48	5.73	6.93
1400	0.49	0.59	0.84	0.92	1.50	1.56	6.43	7.65
1500	0.57	0.67	0.84	0.92	1.63	1.66	7.19	8.44
1600	0.66	0.77	0.84	0.92	1.78	1.77	8.01	9.30
1700	0.76	0.87	0.84	0.92	1.91	1.89	8.81	10.20
1800	0.87	1.01	0.84	0.92	2.08	2.07	9.74	11.30
1900	1.01	1.15	0.84	0.92	2.26	2.23	10.70	12.40

注： 轻集料混凝土的体积平衡含水率取 6%。

膨胀矿渣珠混凝土的导热系数可按此表列数值降低 25%取用或通过试验确定。

第 3.2.8 条 轻集料混凝土的抗冻性应满足表 3.2.8 要求。

不同使用条件的抗冻性要求 表 3.2.8

使用条件	抗冻标号
1.非采暖地区	D ₁₅
2.采暖地区	
干燥或相对湿度<60%	D ₂₅
潮湿或相对湿度>60%	D ₃₅
水位变化的部位	D ₅₀

注：非采暖地区系指最冷月份的平均气温高于-5 的地区；

采暖地区系指最冷月份的平均气温低于或等于-5 的地区

第 3.2.9 条 轻集料混凝土的抗碳化耐久性按快速碳化标准试验方法检验，其 28d 的碳化深度值应符合表 3.2.9 的要求。

轻集料混凝土的抗碳化耐久性要求 表 3.2.9

等 级	使 用 条 件	碳化深度值(mm)，不大于
1	正常湿度，室内	40
2	正常湿度，室外	35
3	潮湿，室外	30
4	干湿交替	25

注： 正常湿度系指相对湿度为 55 ~ 65%；

潮湿系指相对湿度为 65 ~ 80%；

碳化深度值相对于在正常大气条件下，即 CO₂ 的体积浓度为 0.03%、温度为 20 ± 3 环境条件下，自然碳化 50 年轻集料混凝土的碳化深度。

第四章 配 合 比 设 计

第一节 一 般 要 求

第 4.1.1 条 轻集料混凝土的配合比设计主要应满足抗压强度、密度和稠度的要求，并以合理使用材料和节约水泥为原则。必要时尚应符合对混凝土性能(如弹性模量、抗冻性等)的特殊要求。

第 4.1.2 条 轻集料混凝土的配合比应通过计算和试配确定。为了使所配制的混凝土具有必要的强度保证率，混凝土试配强度应按下列公式确定：

$$f'_{cu}=f_{cu \cdot k}+1.645 \sigma \quad (4.1.2-1)$$

式中 f'_{cu} ——轻集料混凝土的试配抗压强度(MPa)；

$f_{cu \cdot k}$ ——轻集料混凝土强度标准值(即强度等级) (MPa)；

σ ——轻集料混凝土强度的总体标准差(MPa)。

注： 1.生产单位如有 25 组以上的轻集料混凝土抗压强度资料时，总体标准差可用样本标准差($s_{f_{cu}}$)代替，计算公式如下：

$$S_{f_{cu}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cui}^2 - nm_{f_{cu}}^2}{n-1}} \quad (4.1.2-2)$$

式中 $f_{cu \cdot i}$ ——第 i 组混凝土试件的抗压强度(MPa)；

$m_{f_{cu}}$ —— n 组混凝土试件抗压强度的平均值(MPa)；

2. 生产单位如无强度资料时， σ 可按表 4.1.2 取用。

σ 取 值 表 表 4.1.2

强度等级	CL5.0 ~ CL7.5	CL10 ~ CL20	CL25 ~ CL40	CL45 ~ CL50
σ (MPa)	2.0	4.0	5.0	6.0

第 4.1.3 条 轻集料混凝土配合比的设计方法，砂轻混凝土宜采用绝对体积法；全轻混凝土宜采用松散体积法。配合比计算中粗细集料用量的计算以干燥状态为准。

第二节 设计参数选择

第 4.2.1 条 配制轻集料混凝土用的水泥品种和标号可参照表 4.2.1 选用。当配制低强度等级混凝土采用高标号水泥时，其掺量可通过试验确定加入火山灰质的掺合料，以保证其稠度符合要求。

轻集料混凝土合理水泥品种和标号的选择 表 4.2.1

混凝土强度等级	水泥标号	水泥品种
CL5.0 CL7.5	275	火山灰质硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥
CL10 CL15 CL20	325	
CL20 CL25 CL30	425	
CL30 CL35 CL40 CL45 CL50	525(或 625)	

第 4.2.2 条 不同试配强度的轻集料混凝土的水泥用量可参照表 4.2.2-1 选用。

轻集料混凝土的水泥用量(kg/m³) 表 4.2.2-1

混凝土 试配强度(MPa)	轻 集 料 密 度 等 级						
	400	500	600	700	800	900	1000
<5.0	260~320	250~300	230~280				
5.0~7.5	280~360	260~340	240~320	220~300			
7.5~10		280~370	260~350	240~320			
10~15			280~350	260~340	240~330		
15~20			300~400	280~380	270~370	260~360	250~350
20~25				330~400	320~390	310~380	300~370
25~30				380~450	370~440	360~430	350~420
30~40				420~500	390~490	380~480	370~470
40~50					430~530	420~520	410~510
50~60					450~550	440~540	430~530

注：表中横线以上为采用 425 号水泥时的水泥用量值；横线以下为采用 525 号水泥时的水泥用量值；采用其他标号水泥时可乘以表 4.2.2-2 中规定的调整系数。
表中下限值适用圆球型和普通型轻粗集料；上限适用于碎石型轻粗集料及全轻混凝土。

最高水泥用量不宜超过 550kg/m³。

水 泥 用 量 调 整 系 数 表 4.2.2-2

水泥标号	混凝土试配强度(MPa)			
	5.0 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 60
325	1.10	1.15	—	—
425	1.00	1.00	1.10	1.15
525	—	0.85	1.0	1.0
625	—	—	0.85	0.90

第 4.2.3 条 轻集料混凝土配合比中的水灰比以净水灰比表示。配制全轻混凝土时，允许以总水灰比表示，但必须加以说明。

净水灰比系指不包括轻集料 1h 吸水量在内的净用水量与水泥用量之比。

总水灰比系指包括轻集料 1h 吸水量在内的总用水量与水泥用量之比。

轻集料混凝土最大水灰比和最小水泥用量的限制应符合表 4.2.3 的规定。

轻集料混凝土的最大水灰比和最小水泥用量 表 4.2.3

混凝土所处的环境条件	最大水灰比	最小水泥用量(kg/m ³)	
		配筋的	无筋的
不受风雪影响的混凝土	不作规定	250	225
受风雪影响的露天混凝土；位于水中及水位升降范围内的混凝土和在潮湿环境中的混凝土	0.7	275	250
寒冷地区位于水位升降范围内的混凝土和受水压作用的混凝土	0.65	300	275
严寒地区位于水位升降范围内的混凝土	0.60	325	300

注：严寒地区指最寒冷月份的月平均温度低于-15 者，寒冷地区指最寒冷月份的月平均温度处于-5 ~ -15 者。

水泥用量不包括掺合料。

第 4.2.4 条 轻集料混凝土的净用水量可根据施工要求和稠度(坍落度或维勃稠度)参照表 4.2.4 选用。

轻 集 料 混 凝 土 用 水 量 表 4.2.4

轻集料混凝土用途	稠 度		净用水量(kg/m ³)
	维勃稠度(s)	坍落度(mm)	
预制混凝土构件	5 ~ 10	0 ~ 10	155 ~ 180
(1)振动台成型		30 ~ 50	165 ~ 200
(2)振捣棒或平板震动机振实	—	—	—
现浇混凝土(大模、滑模)	—	50 ~ 70	180 ~ 210
(1)机械振捣		60 ~ 80	200 ~ 220
(2)人工振捣或钢筋较密的	—	—	—

注： 表中值适用于圆球型和普通型轻粗集料，对于碎石型轻粗集料需按表中值增加 10kg 左右的用水量；
表中值适用于砂轻混凝土，若采用轻砂时，需取轻砂 1h 吸水量为附加水量；
若无轻砂吸水率数据时，也可适当增加用水量，最后按施工稠度的要求进行调整。

第 4.2.5 条 轻集料混凝土的砂率应以体积砂率表示，即细集料体积与粗细集料总体积之比。体积可用密实体积或松散体积表示。其对应的砂率即密实体积砂率或松散体积砂率。
轻集料混凝土的砂率可按表 4.2.5 选用。

轻 集 料 混 凝 土 的 砂 率 表 4.2.5

轻集料混凝土用途	细集料品种	砂 率 (%)
预制构件用	轻 砂	35 ~ 50
	普通砂	30 ~ 40
现浇混凝土用	轻 砂	—
	普通砂	35 ~ 45

注： 当细集料采用普通砂和轻砂混合使用时，宜取中间值，并按普通砂和轻砂的混合比例进行插入计算。
采用圆球型轻粗集料时，宜取表中值下限；采用碎石型时，则取上限。
第 4.2.6 条 当采用松散体积法设计配合比时，粗细集料松散状态的总体积可按表 4.2.6 选用。

粗细集料总体积 表 4.2.6

轻粗集料粒型	细集料品种	粗细集料总体积(m ³)
圆 球	轻 砂	1.25 ~ 1.50
	普 通 砂	1.20 ~ 1.40
普 通 型	轻 砂	1.30 ~ 1.60
	普 通 砂	1.25 ~ 1.50
碎 石 型	轻 砂	1.35 ~ 1.65
	普 通 砂	1.30 ~ 1.60

注： 当采用膨胀珍珠岩砂时，宜取表中上限值；
混凝土强度等级较高时，宜取表中下限值。

第 4.2.7 条 当采用粉煤灰作掺合料时，粉煤灰取代水泥百分率，超量系数等参数的选择，应参照《粉煤灰在混凝土和砂浆中应用技术规程》(JGJ 28 — 86)第五章的有关规定执行。
第 4.2.8 条 轻集料混凝土允许采用各种化学外加剂，外加剂质量应符合有关标准的要求，其合理掺量须通过试验确定。

第三节 配合比计算与调整

第 4.3.1 条 砂轻混凝土宜采用绝对体积法进行配合比计算，即按每立方米混凝土的绝对体积为各组成材料的绝对体积之和进行计算。

第 4.3.2 条 绝对体积法计算配合比应按以下步骤进行：

一、根据设计要求的轻集料混凝土的强度等级、密度等级和混凝土的用途，确定粗细集料的种类和粗集料的最大粒径；

二、测定粗骨料的堆积密度、颗粒表观密度、筒压强度和 1h 吸水率，并测定细骨料的堆积密度和相对密度；

三、按第 4.1.2 条计算混凝土试配强度；

四、按第 4.2.1 条确定水泥品种和水泥标号；

五、按第 4.2.2 条选择水泥用量；

六、根据制品生产工艺和施工条件要求的混凝土稠度指标，按第 4.2.4 条确定净用水量；

七、根据轻集料混凝土的用途。按第 4.2.5 条选用密实体积砂率；

八、按公式(4.3.2-1)、(4.3.2-2)、(4.3.2-3)及(4.3.2-4)计算粗细集料的用量，

$$V_s = \left[1 - \left(\frac{m_c}{d_c} + \frac{m_{wn}}{\rho_w} \right) \div 1000 \right] \times S_p \quad (4.3.2-1)$$

$$m_s = V_s \times \rho_s \times 1000 \quad (4.3.2-2)$$

$$V_a = \left[1 - \left(\frac{m_c}{d_c} + \frac{m_{won}}{\rho_w} + \frac{m_s}{\rho_s} \right) \div 1000 \right] \quad (4.3.2-3)$$

$$m_a = V_a \times \rho_{ap} \quad (4.3.2-4)$$

式中 V_s ——每立方米混凝土的细集料体积(m^3)；

m_s ——每立方米混凝土的细集料用量(kg)；

m_c ——每立方米混凝土的水泥用量(kg)；

m_{wn} ——每立方米混凝土的净用水量(kg)；

S_p ——密实体积砂率(%)；

V_a ——每立方米混凝土的轻粗集料体积(m^3)；

m_a ——每立方米混凝土的轻粗集料用量，(kg)；

ρ_c ——水泥的相对密度，可取 $\rho_c = 2.9 \sim 3.1$ ；

ρ_w ——水的密度，可取 $\rho_w = 1.0$ ；

ρ_s ——细骨料的密度，采用普通砂时，为砂的相对密度，可取 $\rho_s = 2.6$ ；采用轻砂时，为轻砂的颗粒表观密度(ρ_{sp} 单位为： g/cm^3)；

ρ_{ap} ——轻粗骨料的颗粒表观密度(kg/m^3)。

九、根据净用水量和附加水量的关系，按下式计算总用水量：

$$m_{wt} = m_{wn} + m_{wa} \quad (4.3.2-5)$$

式中 m_{wt} ——每立方米混凝土的总用水量(kg)；

m_{wn} ——每立方米混凝土的净用水量(kg)；

m_{wa} ——每立方米混凝土的附加水量(kg)；

附加水量的计算参见第 4.3.5 条。

十、按公式(4.3.2-6)计算混凝土干表观密度(ρ_{cd})并与设计要求的干表观密度进行对比，如其误差大于 3%，则应重新调整和计算配合比。

$$\rho_{dc}=1.15m_c+m_a+m_s \tag{4.3.2-6}$$

第 4.3.3 条 全轻混凝土宜采用松散体积法进行配合比计算，即以给定每立方米，混凝土的粗细骨料松散总体积为基础进行计算，然后按设计要求的混凝土干表观密度为依据进行校核，最后通过试验调整得出配合比。

第 4.3.4 条 松散体积法计算配合比应按以下步骤进行：

一、根据设计要求的轻集料混凝土的强度等级、密度等级和混凝土的用途，确定粗细集料的种类和细集料的最大粒径；

二、测定粗集料的堆积密度、筒压强度和 1h 吸水率，并测定细集料的堆积密度；

三、按第 4.1.2 条计算混凝土试配强度；

四、按第 4.2.1 条确定水泥品种和水泥标号；

五、按第 4.2.2 条选择水泥用量；

六、根据施工稠度的要求，按第 4.2.4 条选择净用水量；

七、根据混凝土用途按第 4.2.5 条选取松散体积砂率；

八、根据粗细集料的类型，按第 4.2.6 条选用粗细集料总体积，并按公式(4.3.4-1)、(4.3.4-2)、(4.3.4-3)及(4.3.4-4)计算每立方米混凝土的粗细集料用量。

$$V_s=V_t \times S_p \tag{4.3.4-1}$$

$$m_s=V_s \times \rho_{is} \tag{4.3.4-2}$$

$$V_a=V_t - V_s \tag{4.3.4-3}$$

$$m_a=V_a \times \rho_{is} \tag{4.3.4-4}$$

式中 V_s 、 V_a 、 V_t ——分别为细集料，粗集料和粗细集料的松散体积(m^3)

m_s 、 m_a ——为细集料和粗集料的用量 (kg)；

S_p ——松散体积砂率(%)；

ρ_{is} 、 ρ_{ic} ——分别为细集料和粗集料的堆积密度(kg/m^3)。

九、根据净用水量和附加水量的关系按公式(4.3.4-5)，计算总用水量：

$$m_{wt}=m_{wn}+m_{wa} \tag{4.3.4-5}$$

式中符号意义同前。

附加水量计算参见第 4.3.5 条。

十、按下列公式计算混凝土干表观密度(ρ_{cd})，并与设计要求的干表观密度进行对比，如其误差大于 3%，则应重新调整和计算配合比。

$$\rho_{cd}=1.15m_c+m_a+m_s \tag{4.3.4-6}$$

第 4.3.5 条 根据粗集料的预湿处理方法和细集料的品种，附加水量按表 4.3.5 所列公式计算。

附加水量的计算方法 表 4.3.5

项 目	附 加 水 量 ($m_{w,a}$)
粗集料预湿，细集料为普砂	$m_{w,a}=0$
粗集料不预湿，细集料为普砂	$m_{w,a}=m_a \cdot \omega_a$
粗集料预湿，细集料为轻砂	$m_{w,a}=m_s \cdot \omega_s$
粗集料不预湿，细集料为轻砂	$m_{w,a}=m_a \cdot \omega_a + m_s \cdot \omega_s$

注： ω_a 、 ω_s 分别为粗、细集料的 1h 吸水率。

当轻集料含水时，必须在附加水量中扣除自然含水量。

- 第 4.3.6 条 粉煤灰轻集料混凝土的配合比计算步骤如下：
- 一、基准轻集料混凝土的配合比计算按本节的有关步骤进行；
 - 二、粉煤灰取代水泥率按表 4.3.6 的要求确定；

粉煤灰取代水泥百分率(β_c)

表 4.3.6

混凝土强度等级	取代普通硅酸盐水泥率(%)	取代矿渣硅酸盐水泥率(%)
CL15 以下	15 ~ 25	10 ~ 20
CL20	10 ~ 15	10
CL25 ~ CL30	15 ~ 20	10 ~ 15

注：以 425 号水泥配制成的混凝土取表中下限值；以 525 号水泥配制成的混凝土取上限值。
 CL20 以上的混凝土宜采用 Ⅱ 级粉煤灰，CL15 以下的素混凝土可采用 Ⅰ 级粉煤灰。
 在预应力混凝土中的取代水泥率，普通硅酸盐水泥不大于 15%；矿渣硅酸盐水泥不大于 10%。
 钢筋轻集料混凝土的粉煤灰取代水泥率不宜大于 15%。

三、根据基准混凝土的水泥用量(m_{co})和选用的粉煤灰取代水泥率(β_c)，按下列公式计算粉煤灰轻集料混凝土的水泥用量(m_c)；

$$m_c=m_{co}(1-\beta_c) \tag{4.3.6-1}$$

四、根据所用粉煤灰级别和混凝土的强度等级，选取粉煤灰的超量系数(δ_c 在 1.2 ~ 2.0 范围内选取，并按 4.3.6-2 式计算粉煤灰掺量(m_f)；

$$m_f=\delta_c(m_{co}-m_c) \tag{4.3.6-2}$$

五、分别计算每立方米粉煤灰轻集料混凝土中水泥、粉煤灰和细集料的绝对体积。按粉煤灰超出水泥的体积，扣除同体积的细集料用量。

六、用水量保持与基准混凝土相同，通过试配，以符合稠度要求来调整用水量。

七、配合比的调整和校正方法同第 4.3.7 条。

第 4.3.7 条 计算得出的轻集料混凝土配合比必须通过试配予以调整。配合比的调整应按下列步骤进行：

一、以计算的混凝土配合比为基础，再选取两个相邻的水泥用量(用水量不变)，分别按三个配合比控制混凝土拌合物。测定拌合物的稠度，调整用水量，以达到要求的稠度为止。

二、按校正后的三个混凝土配合比进行试配，检验混凝土拌合物的稠度和振实湿表观密度，制作确定混凝土抗压强度标准值的试块，每种配合比至少应制作一组。

三、标准养护 28d 后，测定混凝土抗压强度和干表观密度。最后，以既能达到设计要求的混凝土配制强度和干表观密度又具有最小水泥用量的配合比作为选定的配合比。

四、对选定的配合比进行重量校正。其方法是先按下列公式计算出轻集料混凝土的计算湿表观密度(ρ_{cc})，然后再与拌合物的实测振实湿表观密度(ρ_{co})相比，按公式(4.3.7-2)计算校正系数(η)。

$$\rho_{cc}=m_a+m_s+m_c+m_{wt} \tag{4.3.7-1}$$

$$\eta=\frac{\rho_{co}}{\rho_{cc}} \tag{4.3.7-2}$$

式中 ρ_{cc} ——按配合比各组成材料的计算湿表观密度(kg/m³)；
 ρ_{co} ——混凝土拌合物的实测振实湿表观密度 (kg/m³)；
 m_a 、 m_s 、 m_c 、 m_{wt} ——分别为配合比计算所得的粗集料、细集料、水泥用量和总用水

量(kg/m^3)。

五、对选定配合比中的各项材料用量均乘以校正系数 η 即为最终的配合比设计值。

第五章 施 工 工 艺

第一节 一 般 要 求

第 5.1.1 条 本章适用于一般工业与民用建筑的轻集料混凝土及钢筋轻集料混凝土工程，不适用于特种轻集料混凝土或有特殊要求的钢筋轻集料混凝土工程。凡本章未作出规定的，应按现行《混凝土工程施工及验收规范》的规定执行。

第 5.1.2 条 轻集料的堆放和运输应符合下列要求：

一、轻集料应按不同品种分批运输和堆放，避免混杂。

二、轻粗集料运输和堆放应保持颗粒混合均匀，减少离析。采用自然级配时，其堆放高度不宜超过 2m，并应防止树叶、泥土和其它有害物质混入。

三、轻砂在堆放和运输时，宜采取防雨措施。

第 5.1.3 条 在气温 5℃ 以上的季节施工时，可根据工程需要，对轻粗集料进行预湿处理。预湿时间可根据外界气温和来料的自然含水状态确定，一般应提前半天或一天对集料进行淋水、预湿，然后滤干水分进行投料。在气温 5℃ 以下时，不宜进行预湿处理。

第二节 拌合物的拌制

第 5.2.1 条 为调整用水量在确定施工用混凝土配合比，应对轻集料的含水率进行测定。其原则是：

一、在批量拌制轻集料混凝土拌合物前进行测定；

二、在批量生产过程中经常抽查测定；

三、雨天施工或发现拌合物稠度反常时进行测定。

第 5.2.2 条 轻集料混凝土生产时，砂轻混凝土拌合物中的各组分材料应采用重量计量；全轻混凝土拌合物中的轻集料组分可采用体积计量，但宜按重量进行校核。

粗、细集料、掺合料的重量计量允许偏差为 $\pm 3\%$ ，水、水泥和外加剂的重量计量允许偏差为 $\pm 2\%$ 。

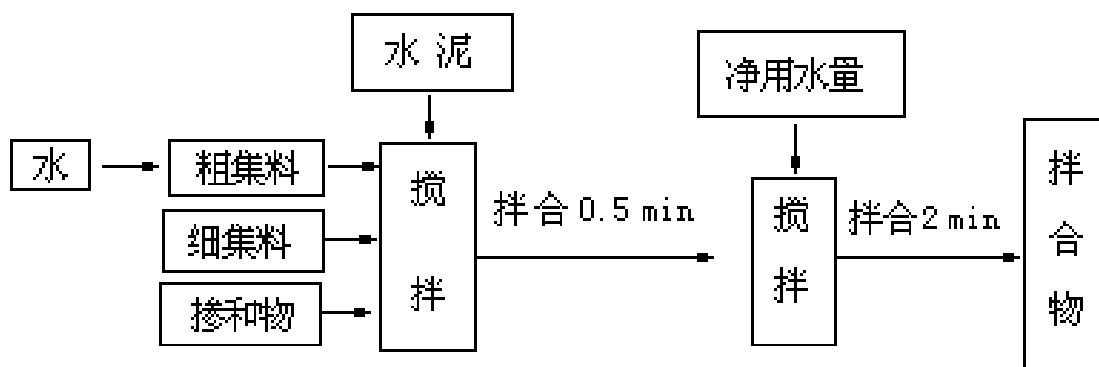
第 5.2.3 条 搅拌轻集料混凝土拌合物用的搅拌机类型要求如下：

一、全轻混凝土宜采用强制式搅拌机；

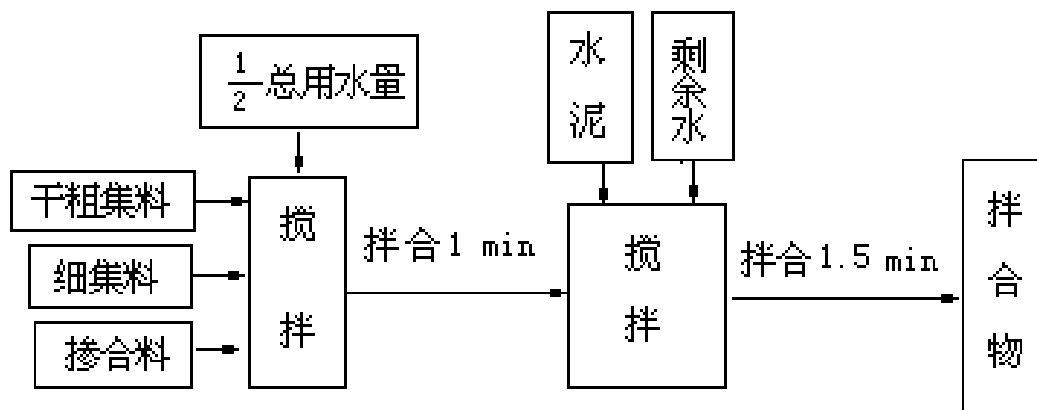
二、干硬性的砂轻混凝土和采用堆积密度在 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 以下的轻粗集料配制的干硬性或塑性的砂轻混凝土，宜采用强制式搅拌机；

三、采用堆积密度在 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 以上的轻粗集料配制的塑性砂轻混凝土可采用自落式搅拌机。

第 5.2.4 条 轻集料混凝土拌合物宜按图 5-2-4 所示的顺序进行投料和拌制。



a



b

图 5-2-4 轻集料混凝土搅拌工艺流程

a) 粗集料预湿处理时； b) 粗集料未经预湿处理时

- 注：1.用自落式搅拌机时，全部加料完毕后的拌和时间宜增加 1 分钟；
 2.当拌制全轻或干硬性砂轻混凝土时，全部加料完毕后的拌和时间应适当增加 1.0~1.5min，但总拌和时间不宜大于 5min；
 3.粗集料不采用预湿处理时，粉状外加剂加入后，适当延长搅拌时间 0.5~1.0min；
 4.采用卧轴强制式搅拌机，拌和时间可适当减少。

第 5.2.5 条 对强度低而易破碎的轻集料，搅拌时尤要严格控制混凝土的搅拌时间。

第 5.2.6 条 外加剂应在轻集料吸水后加入。当用预湿粗集料时，液状外加剂可与净用水量同时加入；当用于粗集料时，液状外加剂应与剩余水同时加入。粉状外加剂可制成溶液并采用与上述液状外加剂相同的方法加入，也可与水泥相混合同时加入。

第三节 拌合物的运输

第 5.3.1 条 为防止拌合物离析，运输距离应尽量缩短。在停放或运输过程中，若产生拌合物稠度损失或离析较重者，浇筑前宜采用人工二次拌合。

第 5.3.2 条 拌合物从搅拌机卸料起到浇筑入模止的延续时间不宜超过 45min。

第四节 拌合物的浇筑和成型

第 5.4.1 条 轻集料混凝土拌合物应采用机械振捣成型。对流动性大、能满足强度要求的塑性拌合物以及结构保温类和保温类轻集料混凝土拌合物，可采用人工插捣成型。

第 5.4.2 条 用干硬性拌合物浇筑的配筋预制构件，宜采用振动台和表面加压(加压重力约 $0.2\text{N}/\text{cm}^2$)成型。

第 5.4.3 条 现场浇筑的竖向结构物(如大模板或滑模施工的墙体)，每层浇筑高度宜控制在 $30 \sim 50\text{cm}$ 。拌合物浇筑倾落高度大于 2m 时，应加串筒、斜槽、溜管等辅助工具，避免拌合物离析。

第 5.4.4 条 浇筑上表面积较大的构件，若厚度在 20cm 以下，可采用表面振动成型；厚度大于 20cm ，宜先用插入式振捣器振捣密实后，再采用表面振捣。

第 5.4.5 条 用插入式振捣器振捣时，其插入间距不应大于振动作用半径的一倍。连续多层浇筑时，插入式振捣器应插入下层拌合物约 5cm 。

第 5.4.6 条 振捣延续时间以拌合物捣实为准，振捣时间不宜过长，以防集料上浮。振捣时间随拌合物稠度、振捣部位等不同，宜在 $10 \sim 30\text{s}$ 内选用。

第五节 混凝土的养护和缺陷修补

第 5.5.1 条 采用自然养护，浇筑成型后应防止表面失水太快，避免由于湿差太大而出现表面网状裂纹。脱模后应及时覆盖，或喷水养护。

第 5.5.2 条 采用加热养护时，成型后静停时间不应少于 2h ，以避免混凝土表面产生起皮、酥松等现象。

第 5.5.3 条 采用一般加热养护(非密闭或加压养护)时，升温速度不宜太快。但采用热拌混凝土时，则允许快速升温。

第 5.5.4 条 采用自然养护时，湿养护时间应遵守下列规定：用普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、矿渣水泥拌制的混凝土，养护时间不少于 7d ；用粉煤灰水泥、火山灰水泥拌制的及在施工中掺缓凝型外加剂的混凝土，养护时间不少于 14d 。构件用塑料薄膜覆盖养护时，要保持密封。

第 5.5.5 条 结构保温类和保温类轻集料混凝土构件、构筑物的缺陷。当其深度在 2cm 以上且面积较大时，宜用原配比的砂浆修补。

第六节 质量检验

第 5.6.1 条 对轻集料应定期检验其堆积密度、含水率、吸水率、颗粒级配、筒压强度或强度标号等技术性能，必要时尚应检验其它项目。

第 5.6.2 条 对拌合物的检验。应按下列规定进行：

- 一、检查拌合物各组成材料的重量是否与配合比相符。每台班至少一次；
- 二、检验拌合物的坍落度或维勃稠度以及密度，每台班至少一次。

第 5.6.3 条 混凝土强度的检验应按下列规定进行：

- 一、每 100 盘，且不超过 100m^3 的同配合比的混凝土，取样次数不得少于一次；
- 二、每一工作班拌制的同配合比的混凝土不足 100 盘时，其取样次数不得少于一次。

轻集料混凝土强度的检验评定方法可按《混凝土强度检验评定标准》(GBJ 107-87)执行。

第 5.6.4 条 混凝土干表观密度的检验应按下列规定进行：

- 一、连续生产的预制厂及商品混凝土搅拌站，对同配合比的混凝土，每月不少于四次；
- 二、单项工程，每 100m^3 混凝土至少一次，不足 100m^3 者亦按 100m^3 计算。

混凝土干表观密度检验结果的平均值应在设计值的 103% 以内。

第 5.6.5 条 保温类和结构保温类的轻集料混凝土，当原材料、配合比、混凝土表观

密度发生变化时，应及时测定混凝土的导热系数及其它要求的物理力学性能指标。

第六章 试 验 方 法

第一节 拌 合 方 法

第 6.1.1 条 试验室内拌制轻集料混凝土，宜采用强制式搅拌机，塑性的砂轻混凝土也可采用自落式搅拌机。

第 6.1.2 条 配合比中各组分材料的重量计量允许误差为：粗、细集料和掺合料：± 1%；水、水泥和外加剂：± 0.5%。

第 6.1.3 条 试验室拌制轻集料混凝土时，拌合量应不小于搅拌机公称搅拌量的 $\frac{1}{3}$ 。

第 6.1.4 条 轻集料混凝土应按下列步骤拌合：

一、采用干燥或自然含水的粗集料 粗、细集料和水泥先加入搅拌机内，加入 $\frac{1}{2}$ 拌合用水，搅拌 1min，然后再加入剩余拌合水量，继续拌 2min 即可；

二、采用经过淋水预湿处理的粗集料 待集料滤干水分后，可与细集料、水泥一起拌合约 1min，然后加入拌合用水量，继续拌合 2min 即可。

第 6.1.5 条 掺合料或粉状外加剂可与水泥同时加入。液状外加剂或预制成溶液的粉状外加剂，宜加入剩余拌合用水中。

第二节 干表观密度

第 6.2.1 条 干表观密度可采用整体试件烘干法或破碎试件烘干法测定。

第 6.2.2 条 采用整体试件烘干法测定干表观密度时，可把试件置于 105 ~ 110 的烘箱中烘至恒重，称重，并测定试件的体积，参照公式(6.2.3-1)计算干表观密度。

第 6.2.3 条 采用破碎试件烘干法测定干表观密度时应按下列试验步骤进行：

一、在做抗压试验前，先将立方体试件表面水分擦干。用称量为 5kg(感量 2g)的托盘天平称重。求出该组试件自然含水时混凝土的表观密度。按下列公式计算：

$$\rho_n = \frac{m}{V} \times 10^3 \quad (6.2.3-1)$$

式中 ρ_n ——自然含水时混凝土的表观密度(kg/m³)；

m ——自然含水时混凝土的重量(g)；

V ——自然含水时混凝土试件的体积(cm³)。

二、将做完抗压强度的试件破碎成粒径为 20 ~ 30mm 以下的小块。把 3 块试件的破碎试料混匀，取样 1kg，然后将试样放在 105 ~ 110 烘箱中烘干至恒重。

三、按下列公式计算出轻集料混凝土的含水率：

$$W_c = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (6.2.3-2)$$

式中 W_c ——混凝土的含水率(%)，计算精确至 0.1%；

m_1 ——所取试样重量(g)；

m_0 ——烘干后试样重量(g)。

四、按下列公式计算出轻集料混凝土的干表观密度，精确至 10kg/m³；

$$\rho_d = \frac{\rho_n}{1 + W_c} \quad (6.2.3-3)$$

式中 ρ_d ——轻集料混凝土的干表观密度(kg/m³)；

ρ_n ——自然含水状态下轻集料混凝土的表观密度 (kg/m³)。

第三节 吸水率和软化系数

第 6.3.1 条 本方法用于测定轻集料混凝土随时间变化的吸水性能及吸水饱和后的强度变化情况，以评定其耐水性能。

第 6.3.2 条 吸水率和软化系数试验所用设备应符合下列规定：

- 一、托盘天平：最大称量 5kg(感量 2g)；
- 二、烘箱(在 105 ~ 110 °C 时可恒温)；
- 三、压力试验机：测力精度不低于 $\pm 2\%$ 。

第 6.3.3 条 吸水率和软化系数试验应按下列步骤进行：

一、试件的制作和养护按《普通混凝土力学性能试验方法》(GBJ 81-85)的要求进行。试件采用边长为 100mm，或 150mm 的立方体，每组 12 块(或 6 块)。

二、标准养护 28d 后，取出试件在 105 ~ 110 °C 下烘至恒重，取 6 块(或 3 块)试件作抗压强度试验。确定其平均值(f_0)。

三、取其余 6 块(或 3 块)试件。先称重，确定其重量平均值(m_0)，然后，将它们浸入水中，(水温为 20 ± 5 °C)，浸水时间分别为：0.5h、1h、3h、6h、12h、24h、48h。

每到上述各时间，将试件取出，擦干、称重。确定其重量平均值(m_t)随之再浸入水中，直至浸水 48h 时，将试件取出，擦干、称重。确定其重量平均值(m_n)。

四、在称得 m_n 后，即进行抗压强度试验，确定其强度平均值(f_1)。

五、按公式(6.3.3-1)、(6.3.3-2)及(6.3.3-3)分别计算轻集料混凝土的吸水率及软化系数：

$$\omega_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (6.3.3-1)$$

$$\omega_{\text{sat}} = \frac{m_n - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (6.3.3-2)$$

式中 ω_t ——吸水时间为 t 时的吸水率(%)；

ω_{sat} ——浸水 48h 时的饱和吸水率(%)。

$$\psi = \frac{f_1}{f_0} \quad (6.3.3-3)$$

式中 ψ ——软化系数；

f_0 ——绝干状态混凝土的抗压强度(MPa)；

f_1 ——饱水状态混凝土的抗压强度(MPa)。

第四节 导热系数

第 6.4.1 条 本方法以非稳定导热原理为基础的热脉冲法进行导热系数的快速测定，适用于测定干燥或不同含湿状况下轻集料混凝土的导热系数、导温系数和比热容。

第 6.4.2 条 热脉冲法测定导热系数的装置由一个加热器和放置在加热器两侧材料相同的三块试件以及测温热电偶组成(见图 6.4.2)。当加热器通以电流后，根据被测试件的温度变化即可测出试件的导热系数、导温系数和比热容装置的各个部分应满足下列要求：

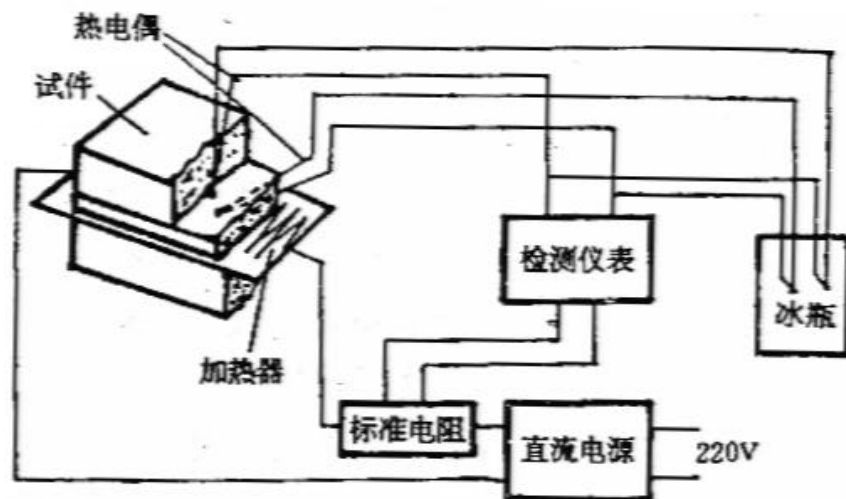


图 6-4-2 用热脉冲法测量导热系数装置示意图

一、加热器

- (1) 加热器厚度不应大于 0.4mm ，且具有弹性，其面热容量应小于 $0.42\text{kJ/m}^2 \cdot \text{s}$ ；
 - (2) 加热丝应选用电阻温度系数小的材料，如镍铜、锰铜等材料。加热丝之间的间距宜小于 2mm ，整个面积发出的热量应是均匀的，且对于试件应为对称传热；
 - (3) 加热器不应有吸湿性，其尺寸宜与试件尺寸相同。
- 二、热电偶直径宜选用 0.1mm ，电势测量仪表的精度应为 $\pm 1 \mu\text{V}$ ；
- 三、在试验过程中测量装置，应使电压保持恒定，其稳定度应为 $\pm 0.1\%$ ，功率测量误差应小于 0.5% ；

四、应设有试件夹紧装置，以保证相互间接触紧密。

第 6.4.3 条 导热系数测定所用试件应满足下列要求：

- 一、试件以三块为一组，取自相同配合比的混凝土，各试件间的表观密度差应小于 5% ；
- 二、试件为：薄试件一块($200 \times 200 \times 20 \sim 30\text{mm}$)，厚试件二块($200 \times 200 \times 60 \sim 100\text{mm}$)；
- 三、试件两表面应平行，厚度应均匀。薄试件不平行度应小于试件厚度的 1% 。各试件的接触面应结合紧密；
- 四、测量干燥状态的热物理系数时，试件应在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重。测量不同含湿状况的热物理性能时，应将干燥试件培养至所需湿度后再进行测定。一组试件之间的湿度差应小于 1% ，在同一试件内湿度分布宜均匀。

第 6.4.4 条 导热系数试验应按下列步骤进行：

- 一、称量试件重量，测量试件尺寸，计算混凝土的干密度；
- 二、将试件按图 6.4.2 所示安置完毕。当试件的初始温度在 10min 内的变化小于 0.05°C ，且薄试件上下表面温度差小于 0.1°C 时，可开始测定；
- 三、接通加热器电源，并同时启动秒表，测量加热回路电流；
- 四、加热时间(τ')控制为 $4 \sim 6\text{min}$ ，当薄试件上表面温度升高 $1 \sim 2^\circ\text{C}$ 时，记录上表面热电势及相对应的时间。接着测量热源面上的热电势及相对应的时间，其间隔不宜超过 1min ；

五、关闭加热器，经 $4 \sim 6\text{min}$ 后，再测量一次热源面上的热电势和相对应的时间。

第 6.4.5 条 导热系数试验结果应分别按下列公式计算。

一、试件的干表观密度

$$\rho_d = \frac{m}{V} \quad (6.4.5-1)$$

式中 m ——试件重量(kg) ;
 V ——试件体积(m³)。

二、试件的重量含水率

$$\omega = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (6.4.5-2)$$

式中 m_1 ——烘干至恒重试件的重量(kg) ;
 m_2 ——某一含湿状态下试件的重量(kg)。

三、试件的导温系数、导热系数及比热容应分别按下列公式计算：

1. 函数 B(Y)值的计算

$$B(Y) = \frac{\theta(X \cdot \tau) \sqrt{\tau_2}}{\theta(O \cdot \tau_2) \sqrt{\tau}} \quad (6.4.5-3)$$

式中 $\theta(X \cdot \tau) \sqrt{\tau}$ ——薄试件上表面过余温度() , 及相对应的时间(h) ;
 $\theta(O \cdot \tau_2) \sqrt{\tau_2}$ ——升温过程中热源面上的过余温度 () , 及相对应的时间(h) ;

根据计算所得的 B(Y)值 , 查表 6.4.5 求得 Y^2 值。

函数 B (Y) 表 6.4.5

Y^2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	1.0000	0.8327	0.7693	0.7229	0.6852	0.6533	0.6253	0.6002	0.5777	0.5570
0.1	0.5379	0.5203	0.5037	0.4881	0.4736	0.4599	0.4469	0.04346	0.4229	0.4117
0.2	0.4010	0.3908	0.3810	0.3716	0.3625	0.3539	0.3455	0.3375	0.3298	0.3223
0.3	0.3151	0.3031	0.3014	0.2948	0.2885	0.2824	0.2764	0.2707	0.2651	0.2596
0.4	0.2543	0.2492	0.2442	0.2394	0.2347	0.2301	0.2256	0.2213	0.2170	0.2129
0.5	0.2089	0.2049	0.2010	0.1973	0.1937	0.1902	0.1867	0.1833	0.1800	0.1767
0.6	0.1735	0.1704	0.1674	0.1645	0.1616	0.1588	0.1561	0.1534	0.1507	0.1481
0.7	0.1456	0.1431	0.1407	0.1383	0.1360	0.1337	0.1315	0.1293	0.1271	0.1250
0.8	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170	0.1151	0.1132	0.1114	0.1096	0.1078	0.1061
0.9	0.1044	0.1027	0.1011	0.09949	0.09791	0.09645	0.09491	0.09340	0.09129	0.09048
1.0	0.08908	0.08770	0.08634	0.08501	0.08370	0.08241	0.08115	0.07991	0.07869	0.07749
1.1	0.07631	0.07516	0.07403	0.07292	0.07181	0.07073	0.06967	0.06863	0.06761	0.06660
1.2	0.06562	0.06464	0.06368	0.06274	0.06181	0.06090	0.06000	0.05912	0.05826	0.05741
1.3	0.05657	0.05575	0.05494	0.05414	0.05335	0.05258	0.05182	0.05107	0.05033	0.04961
1.4	0.04890	0.04820	0.04751	0.04684	0.04617	0.04552	0.04487	0.04423	0.04360	0.04298
1.5	0.04238	0.04179	0.04120	0.04062	0.04004	0.03948	0.03893	0.03839	0.03785	0.03732
1.6	0.03680	0.03629	0.03578	0.03528	0.03479	0.03431	0.03384	0.03337	0.03291	0.03246
1.7	0.03201	0.03157	0.03114	0.03072	0.03030	0.02988	0.02947	0.02907	0.02867	0.02828
1.8	0.02790	0.02752	0.02715	0.02678	0.02642	0.02606	0.02570	0.02535	0.02501	0.02468
1.9	0.02435	0.02402	0.2370	0.02333	0.02307	0.02276	0.02246	0.02216	0.02186	0.02157
2.0	0.02128	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注： Y^2 值的竖行为其首数 , 横行为其尾数。

2.导温系数(a)的计算

$$a = \frac{d^2}{4\tau Y^2} (m^2 / h) \quad (6.4.5-4)$$

式中 d ——薄试件的厚度(m)

τ ——薄试件上表面温度为 $\theta(x, \tau)$ 时的时间(h)；
 Y^2 ——函数 $B(Y)$ 的自变量。

3. 导热系数(λ)的计算

$$\lambda = \frac{Q\sqrt{\alpha}(\sqrt{\tau_2} - \sqrt{\tau_2 - \tau_1})}{A\theta(O \cdot \tau_2)\sqrt{\pi}} \quad (\text{W/m} \cdot \text{K}) \quad (6.4.5-5)$$

式中 $\theta(O \cdot \tau_2)$ 、 τ_2 ——降温过程中热源面上的过剩温度()及相对应的时间(h)；

τ_1 ——关闭热源相对应的时间(h)；

A ——加热器的面积(m^2)；

α ——导温系数(m^2/h)；

Q ——加热器的功率(W)，按下列公式计算

$$Q = I^2 R \quad (6.4.5-6)$$

式中 I ——通过加热器的电流(A)；

R ——加热器的电阻(Ω)。

4. 比热容(c)的计算

$$c = \frac{\lambda}{\alpha \cdot \rho} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K}) \quad (6.4.5-7)$$

式中 λ ——导热系数($\text{W/m} \cdot \text{K}$)；

α ——导温系数(m^2/h)；

ρ ——三块试件的平均表观密度(kg/m^3)。

第 6.4.6 条 每组试件应测量三次，当相对误差小于 5% 时，取三次试验平均值作为该组试件的热物理系数值。

第五节 抗 剪 强 度

第 6.5.1 条 本方法采用单剪法测定轻集料混凝土立方体试件的抗剪强度。

第 6.5.2 条 抗剪试验所用试验设备应符合下列规定：

- 一、压力试验机或万能材料试验机 200 ~ 300kN；精度不低于 2%；
- 二、剪力夹具(见图 6.5.1)。

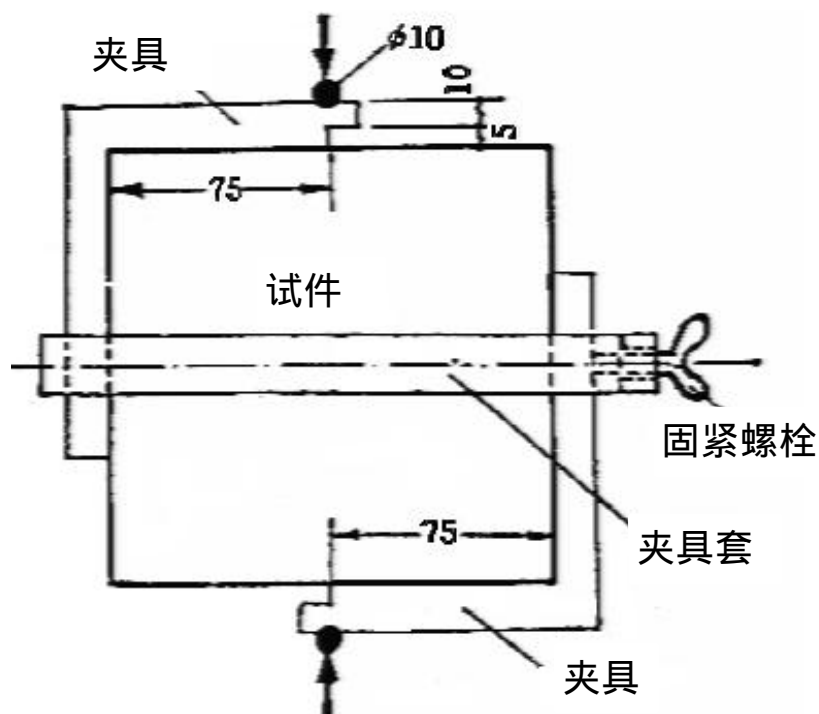


图 6-5-1 剪力试验示意图

抗剪试验应采用边长为 150mm 的立方体试件，集料的最大粒径不应大于 40mm。

第 6.5.3 条 抗剪强度试验应按下列步骤进行：

一、试件经标准养护 28d 取出，测定试件尺寸和检查外观，并尽快进行试验以保持原有的干湿状态；

二、将剪力夹具套在试件两个相对的非成型面上，夹具应与试件靠紧。将夹具套摆成水平位置，并用固紧螺丝固定；

三、加荷前，夹具上下支座必须对中。在试验进行过程中，如发生偏斜现象，则应立即停止试验，重新对中；

四、加荷应连续匀速进行，速度控制为 2 ~ 4kN/s，直至试件剪断为止。试件剪断后，应立即卸荷，以防损坏夹具。

第 6.5.4 条 轻集料混凝土的抗剪强度应按下列公式计算：

$$f_v = \frac{F}{A} \quad (6.5.4)$$

式中 f_v ——混凝土抗剪强度(MPa)；

F ——破坏荷载(N)；

A ——试件受剪面积(mm²)。

以三个试件测值的算术平均值作为该组试件的抗剪强度值。三个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的 15%，则把最大及最小值一并舍除，取中间值作为该组试件的抗剪强度。如两个测值与中间值相差均超过 15%，则此组试验结果无效。

第六节 线膨胀系数

第 6.6.1 条 本方法用于测定轻集料混凝土的温度线膨胀系数；以评定其温度变形性能。

第 6.6.2 条 线膨胀系数测定时所用的试件和设备应符合下列规定：

一、试件为 100 × 100 × 300mm 的棱柱体，每组至少三块；

二、人工气候箱，如无人工气候箱，亦可在稳定性较好的烘箱内进行；

三、电阻应变仪；

四、测量温度用钨铍铜—铜热电偶(试件成型时埋入混凝土内)及符合精度要求(精确至 0.1)的电位差计；

五、石英管一根。

第 6.6.3 条 线膨胀系数应按下列步骤进行测定：

一、试件在恒温恒湿养护室养护到 28d 龄期后 ,放入 105 ~ 110 的烘箱中加热 24h ，再在室内放置 5 ~ 7d 以使其湿度达到平衡；

二、每个试件两侧各贴一个电阻片及一个热电偶。电阻片标距为 100mm ，其电阻值应基本相同。贴片可用 502 胶或其它在试验温度范围内工作可靠的胶；

三、热电偶应事先在恒温器中校核，求出温度与电位差的关系，其温度读数应精确至 0.1 ；

四、在石英管上贴同样规格的电阻片，作电阻应变仪的补偿之用。为检查试验工作是否正常，最好同时准备线膨胀系数已知的钢或铜等材料的试件，并与混凝土试件同时进行测试；

五、所有测量温度和变形的引出导线与仪器接通，经检验待工作正常后，调零，记下初读数。随即开始升(降)温，每次升(降)温的幅度控制在 10 左右，升(降)温尽可能缓慢，到达温度后要恒温到试件内外温差小于 0.2 时才能测数，一般每次恒温时间须 3h 左右；

六、记下所有各点的温度及变形读数后即可继续升(降)温。为了确保试验有足够精度，整个试验的最低和最高温度差值应大于 60 。

第 6.6.4 条 线膨胀系数值的取用和计算应按下列规定进行：

一、按测得的温度和变形的数据用回归分析法求得两者的关系。温度和变形一般呈直线关系，其斜率即为线膨胀系数 α 值；

二、若数据不多，也可用下列公式计算：

$$\alpha = \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_0}{t - t_0}$$

(6.6.4)

式中 ε_t——温度为 t 时的变形值(mm)；

ε_o——初始变形值(mm)，如电阻应变仪在 t_o时调零，则 ε_o=0 ；

t_o——初始温度()

t——测量时的温度()。

附录一 常用轻集料混凝土的强度和表观密度范围

轻粗集料			细集料		轻集料混凝土	
品种	密度等级	筒压强度(MPa)不小于	品种	堆积密度(kg/m³)	表观密度(kg/m³)	强度等级
浮石或火山渣	400	0.4	轻砂	<250	800~1000	CL3.5~CL5.0
	400	0.4	普砂	1450	1200~1400	CL5.0~CL7.5
	600	0.8	轻砂	<900	1400~1600	CL7.5~CL10
	600	0.8	普砂	1450	1600~1800	CL10~CL15
	800	2.0	轻砂	<250	1000~1200	CL7.5~CL10
	800	2.0	普砂	1450	1600~1800	CL10~CL25
页岩陶粒	500	1.0	轻砂	<250	<1000	CL5.0~CL7.5
	500	1.0	轻砂	<900	1000~1200	CL7.5~CL10
	500	1.0	普砂	1450	1400~1600	CL10~CL15
	800	4.0	轻砂	<250	1000~1200	CL7.5~CL10
	800	4.0	轻砂	<900	1400~1600	CL10~CL20
	800	4.0	普砂	1450	1600~1800	CL20~CL25
粘土陶粒	500	1.0	轻砂	<250	800~1000	CL5.0~CL7.5
	500	1.0	轻砂	<900	1000~1200	CL7.5~CL10
	500	1.0	普砂	1450	1400~1600	CL10~CL15
	600	2.0	轻砂	<250	1000~1200	CL7.5~CL10
	600	2.0	轻砂	<900	1200~1400	CL10~CL15
	600	2.0	普砂	1450	1400 ~ 1600	CL10~CL20
粘土陶粒	800	4.0	轻砂	<250	1200~1400	CL10
	800	4.0	轻砂	<900	1400~1600	CL10~CL20
	800	4.0	普砂	1450	1600~1900	CL20~CL40
粉煤灰陶粒	700	3.0	轻砂	<250	1000~1200	CL7.5~CL10
	700	3.0	轻砂	<900	1400~1600	CL10~CL20
	700	3.0	普砂	1450	1600~1800	CL20~CL25
	900	5.0	轻砂	<250	1200~1400	CL10
	900	5.0	轻砂	<900	1600~1800	CL10~CL20
	900	5.0	普砂	1450	1700~1900	CL20~CL50
自然煤矸石	1000	4.0	轻砂	<250	1200~1400	CL7.5~CL10
	1000	4.0	轻砂	<1200	1400~1600	CL10~CL15
	1000	4.0	普砂	1450	1800~1900	CL15~CL30
膨胀珍珠岩	400	0.5	轻砂	<250	800~1000	CL5.0~CL7.5
	400	0.5	普砂	1450	1200~1400	CL10~CL20

附录二 关于密度的名词解释

堆积密度——轻集料在松散自然堆积状态下单位体积的烘干质量(原称松散容重)；

颗粒表观密度——轻集料颗粒单位体积(包括颗粒内的孔隙)的烘干质量(原称颗粒容重)；

相对表观密度——轻集料单位体积(不包括颗粒内的孔隙)的烘干质量与4℃时同体积的水的质量相比而得(原称比重)；

干表观密度——硬化后的轻集料混凝土单位体积的烘干质量(原称干容重)；

湿表观密度——轻集料混凝土拌合物经振实后单位体积的质量(原称湿容重)。

附录三 本规程用词说明

(一)为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1. 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2. 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

(二)条文中必须按指定的标准、规范或其他有关规定执行的写法为“应按……执行”或“应符合……要求(或规定)”。非必须按所指定的标准、规范执行的写法为“可参照……执行”。

附加说明

本规程主编单位、参加单位和主要起草人名单

主编单位：中国建筑科学研究院

参加单位：陕西省建筑科学研究所、

上海市建筑科学研究所、

黑龙江省建筑低温科学研究所、

辽宁省建筑科学研究所、

大庆油田建设设计研究院、

同济大学、

北京市第二建筑构件厂

主要起草人：龚洛书、苏曼青、陈烈芳、董金道、周运灿、

郭佩玲、党涛、刘冀伯、杨克偕等。