

中华人民共和国行业标准

轻骨料混凝土技术规程

Technical specification for lightweight
aggregate concrete

JGJ 51—2002

J 215—2002



2002 北京

中华人民共和国行业标准

轻骨料混凝土技术规程

Technical specification for lightweight
aggregate concrete

JGJ 51—2002

批准部门：中华人民共和国建设部
实施日期：2003年1月1日

2002 北京

建设部关于发布行业标准 《轻骨料混凝土技术规范》的公告

建标 [2002] 68 号

现批准《轻骨料混凝土技术规程》为行业标准，编号为 JGJ 51—2002 年，自 2003 年 1 月 1 日起实施。其中，第 5.1.5、5.3.6、6.2.3 条为强制性条文，必须严格执行；原行业标准《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51—90 同时废止。

本规程由建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国建设部

2002 年 9 月 27 日

前 言

根据建设部建标 [1999] 309 号文的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，对《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51—90 进行了修订。

本规程修订的主要技术内容是：

1. 按新修订的水泥和轻骨料等标准，对轻骨料混凝土原材料提出新的要求，与有关新修标准相一致；
2. 调整了轻骨料混凝土的密度等级和强度等级：密度等级新增了 600 级和 700 级；强度提高到 LC55 和 LC60；
3. 重新标定了结构轻骨料混凝土的弹性模量、收缩和徐变等技术指标；取消了弯曲强度和抗剪强度指标；
4. 新增了 600 级和 700 级保温轻骨料混凝土的热物理系数；
5. 新增了对干湿循环部位轻骨料混凝土的抗冻指标；明确了轻骨料混凝土的抗渗性应满足工程设计的要求；
6. 根据国外有关标准，对轻骨料混凝土耐久性设计的有关指标（最大水灰比和最小水泥用量），按不同环境条件作了调整；
7. 突出了松散体积法设计轻骨料混凝土配合比的实用性和可靠性，并根据实际经验，对混凝土稠度、用水量和粗细骨料总体积等有关设计参数做了相应调整；
8. 根据国内外实际经验，放宽了对轻骨料混凝土中粉煤灰掺量的要求；
9. 根据工程需要，新增了轻骨料混凝土工程验收的条文；
10. 新增了附录 A——大孔轻骨料混凝土和附录 B——泵送轻骨料混凝土。

本规程由建设部负责管理并对强制性条文的解释，主编单位

负责具体技术内容的解释。

本规程主编单位：中国建筑科学研究院。

本规程参加单位：陕西建筑科学研究设计院、黑龙江寒地建筑科学研究院、同济大学材料科学与工程学院、辽宁省建设科学研究院、上海建筑科学研究院、北京市榆树庄构件厂、哈尔滨金鹰建筑节能建材制品有限责任公司、南通大地陶粒有限公司、金坛海发新兴建材有限公司、宜昌宝珠陶粒开发有限责任公司。

本规程主要起草人员：丁威、龚洛书、周运灿、刘巽伯、陈烈芳、沈玄、董金道、陶梦兰、宋淑敏、杨正宏、鞠东岳、尤志杰。

目 次

1	总则	1
2	术语、符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	原材料	5
4	技术性能	6
4.1	一般规定	6
4.2	性能指标	7
5	配合比设计	13
5.1	一般要求	13
5.2	设计参数选择	14
5.3	配合比计算与调整	16
6	施工工艺	22
6.1	一般要求	22
6.2	拌和物拌制	22
6.3	拌和物运输	24
6.4	拌和物浇筑和成型	24
6.5	养护和缺陷修补	25
6.6	质量检验和验收	25
7	试验方法	27
7.1	一般规定	27
7.2	拌和方法	27
7.3	干表观密度	28
7.4	吸水率和软化系数	29
7.5	导热系数	30

4

工程建设标准全文信息系统	
7.6 线膨胀系数	35
附录 A 大孔轻骨料混凝土	37
附录 B 泵送轻骨料混凝土	40
本标准用词说明	43

1 总 则

1.0.1 为促进轻骨料混凝土生产和应用，保证技术先进、安全可靠、经济合理的要求，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于无机轻骨料混凝土及其制品的生产、质量控制和检验。

热工、水工、桥涵和船舶等用途的轻骨料混凝土可按本规程执行，但还应遵守相关的专门技术标准的有关规定。

1.0.3 轻骨料混凝土性能指标的测定和施工工艺，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 轻骨料混凝土 **lightweight aggregate concrete**

用轻粗骨料、轻砂（或普通砂）、水泥和水配制而成的干表观密度不大于 1950kg/m^3 的混凝土。

2.1.2 全轻混凝土 **full lightweight aggregate concrete**

由轻砂做细骨料配制而成的轻骨料混凝土。

2.1.3 砂轻混凝土 **sand lightweight concrete**

由普通砂或部分轻砂做细骨料配制而成的轻骨料混凝土。

2.1.4 大孔轻骨料混凝土 **hollow lightweight aggregate concrete**

用轻粗骨料，水泥和水配制而成的无砂或少砂混凝土。

2.1.5 次轻混凝土 **specified density concret**

在轻粗骨料中掺入适量普通粗骨料，干表观密度大于 1950kg/m^3 、小于或等于 2300kg/m^3 的混凝土。

2.1.6 混凝土干表观密度 **dry apparent density of concrete**

硬化后的轻骨料混凝土单位体积的烘干质量。

2.1.7 混凝土湿表观密度 **apparent density of fresh concrete**

轻骨料混凝土拌和物经捣实后单位体积的质量。

2.1.8 净用水量 **net water content**

不包括轻骨料 1h 吸水量的混凝土拌和用水量。

2.1.9 总用水量 **total water content**

包括轻骨料 1h 吸水量的混凝土拌和用水量。

2.1.10 净水灰比 **net water-cement ratio**

净用水量与水泥用量之比。

2.1.11 总水灰比 **total water-cement ratio**

总用水量与水泥用量之比。

2.1.12 圆球型轻骨料 spherical lightweight aggregate

原材料经造粒、煅烧或非煅烧而成的，呈圆球状的轻骨料。

2.1.13 普通型轻骨料 ordinary lightweight aggregate

原材料经破碎烧胀而成的，呈非圆球状的轻骨料。

2.1.14 碎石型轻骨料 crushed lightweight aggregate

由天然轻骨料、自燃煤矸石或多孔烧结块经破碎加工而成的；或由页岩块烧胀后破碎而成的，呈碎石状的轻骨料。

2.2 符 号

a_c ——轻骨料混凝土在平衡含水率状态下的导温系数计算值；

a_d ——轻骨料混凝土在干燥状态下的导温系数；

c_c ——轻骨料混凝土在平衡含水率状态下的比热容计算值；

c_d ——轻骨料混凝土在干燥状态下的比热容；

E_{LC} ——轻骨料混凝土的弹性模量；

f_{ck} ——轻骨料混凝土轴心抗压强度标准值；

$f_{cu,o}$ ——轻骨料混凝土的试配强度；

$f_{cu,k}$ ——轻骨料混凝土的立方体抗压强度标准值；

f_{tk} ——轻骨料混凝土轴心抗拉强度标准值；

m_c ——每立方米轻骨料混凝土的水泥用量；

m_a ——每立方米轻骨料混凝土的粗集料用量；

m_s ——每立方米轻骨料混凝土的细集料用量；

m_{wa} ——每立方米轻骨料混凝土的附加水量；

m_{wn} ——每立方米轻骨料混凝土的净用水量；

m_{wt} ——每立方米轻骨料混凝土的总用水量；

s_{c24} ——轻骨料混凝土在平衡含水率状态下，周期为 24h 的蓄热系数；

s_{d24} ——轻骨料混凝土在干燥状态下，周期为 24h 的蓄热系数；

s_p ——轻骨料混凝土的砂率，以体积砂率表示；

- V_a ——每立方米轻骨料混凝土的粗骨料体积；
- V_s ——每立方米轻骨料混凝土的细骨料体积；
- V_t ——每立方米轻骨料混凝土的粗细骨料总体积；
- α_T ——轻骨料混凝土的温度线膨胀系数；
- β_c ——粉煤灰取代水泥百分率；
- δ_c ——粉煤灰的超量系数；
- η ——配合比设计的校正系数；
- λ_c ——轻骨料混凝土在平衡含水率状态下的导热系数计算值；
- λ_d ——轻骨料混凝土在干燥状态下导热系数；
- ρ_d ——轻骨料混凝土的干表观密度；
- ρ_t ——轻骨料的堆积密度；
- ρ_p ——轻骨料的颗粒表观密度；
- σ ——轻骨料混凝土强度标准差；
- ψ ——轻骨料混凝土的软化系数；
- ω_a ——轻粗骨料 1h 吸水率；
- ω_s ——轻砂 1h 吸水率；
- ω_{sat} ——轻骨料混凝土的饱和吸水率。

3 原 材 料

3.0.1 轻骨料混凝土所用水泥应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175)和《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)的要求。

当采用其他品种的水泥时,其性能指标必须符合相应标准的要求。

3.0.2 轻骨料混凝土所用轻骨料应符合国家现行标准《轻集料及其试验方法第1部分:轻集料》(GB/T 17431.1)和《膨胀珍珠岩》(JC 209)的要求;膨胀珍珠岩的堆积密度应大于 $80\text{kg}/\text{m}^3$ 。

3.0.3 轻骨料混凝土所用普通砂应符合国家现行标准《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》(JGJ 52)的要求。

3.0.4 混凝土拌和用水应符合国家现行标准《混凝土拌和用水标准》(JGJ 63)的要求。

3.0.5 轻骨料混凝土矿物掺和料应符合国家现行标准《用于水泥和混凝土的粉煤灰》(GB 1596)、《粉煤灰在混凝土和砂浆中应用技术规程》(JGJ 28)、《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146)和《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)的要求。

3.0.6 轻骨料混凝土所用的外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076)的要求。

4 技术性能

4.1 一般规定

4.1.1 轻骨料混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。

4.1.2 轻骨料混凝土的强度等级应划分为：LC5.0；LC7.5；LC10；LC15；LC20；LC25；LC30；LC35；LC40；LC45；LC50；LC55；LC60。

4.1.3 轻骨料混凝土按其干表观密度可分为十四个等级（表4.1.3）。某一密度等级轻骨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。

表 4.1.3 轻骨料混凝土的密度等级

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)
600	560~650	1300	1260~1350
700	660~750	1400	1360~1450
800	760~850	1500	1460~1550
900	860~950	1600	1560~1650
1000	960~1050	1700	1660~1750
1100	1060~1150	1800	1760~1850
1200	1160~1250	1900	1860~1950

4.1.4 轻骨料混凝土根据其用途可按表 4.1.4 分为三大类。

表 4.1.4 轻骨料混凝土按用途分类

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
保温轻骨料混凝土	LC5.0	≤800	主要用于保温的围护结构或热工构筑物

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
结构保温轻骨料混凝土	LC5.0 LC7.5 LC10 LC15	800~1400	主要用于既承重又保温的围护结构
结构轻骨料混凝土	LC15 LC20 LC25 LC30 LC35 LC40 LC45 LC50 LC55 LC60	1400~1900	主要用于承重构件或构筑物

4.2 性能指标

4.2.1 结构轻骨料混凝土的强度标准值应按表 4.2.1 采用。

表 4.2.1 结构轻骨料混凝土的强度标准值 (MPa)

强度种类		轴心抗压	轴心抗拉
符 号		f_{ak}	f_{tk}
混凝土强度等级	LC15	10.0	1.27
	LC20	13.4	1.54
	LC25	16.7	1.78
	LC30	20.1	2.01
	LC35	23.4	2.20
	LC40	26.8	2.39
	LC45	29.6	2.51
	LC50	32.4	2.64
	LC55	35.5	2.74
	LC60	38.5	2.85

注：自燃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；浮石或火山渣混凝土轴心抗拉强度标准值应按表中值乘以系数 0.80。

4.2.2 结构轻骨料混凝土弹性模量应通过试验确定。在缺乏试验资料时，可按表 4.2.2 取值。

表 4.2.2 轻骨料混凝土的弹性模量 E_{LC} ($\times 10^2$ MPa)

强度等级	密 度 等 级							
	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
LC15	94	102	110	117	125	133	141	149
LC20	—	117	126	135	145	154	163	172
LC25	—	—	141	152	162	172	182	192
LC30	—	—	—	166	177	188	199	210
LC35	—	—	—	—	191	203	215	227
LC40	—	—	—	—	—	217	230	243
LC45	—	—	—	—	—	230	244	257
LC50	—	—	—	—	—	243	257	271
LC55	—	—	—	—	—	—	267	285
LC60	—	—	—	—	—	—	280	297

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

4.2.3 结构用砂轻混凝土的收缩值可按下列公式计算，且计算后取值和实测值不应大于表 4.2.3-2 的规定值。

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(t)_0 \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_5 \quad (4.2.3-1)$$

$$\varepsilon(t)_0 = \frac{t}{a + bt} \times 10^{-3} \quad (4.2.3-2)$$

式中 $\varepsilon(t)$ ——结构用砂轻混凝土的收缩值；
 $\varepsilon(t)_0$ ——结构用砂轻混凝土随龄期变化的收缩值；
 t ——龄期 (d)；
 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_5 ——结构用砂轻混凝土的收缩值修正系数，可按表 4.2.3-1 取值；
 a 、 b ——计算参数，当初始测试龄期为 3d 时，取

$a=78.69$, $b=1.20$; 当初始测试龄期为 28d 时, 取 $a=120.23$, $b=2.26$ 。

表 4.2.3-1 收缩值与徐变系数的修正系数

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		1.00		1.00
	≥ 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	标准的蒸养的	β_3		ξ_3	1.00
					0.85
加荷龄期 (d)	7	—	—	ξ_4	1.20
	14		—		1.10
	28		—		1.00
	90		—		0.80
粉煤灰取代水泥率 (%)	0	β_5	1.00	ξ_5	1.00
	10~20		0.95		1.00

表 4.2.3-2 不同龄期的收缩值

龄期 (d)	28	90	180	360	终极值
收缩值 (mm/m)	0.36	0.59	0.72	0.82	0.85

4.2.4 结构用砂轻混凝土的徐变系数可按下列公式计算, 且计算后取值和实测值不应大于表 4.2.4 的规定值。

$$\phi(t) = \phi(t)_0 \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 \cdot \xi_5 \quad (4.2.4-1)$$

$$\phi(t)_0 = \frac{t^a}{a + bt^a} \quad (4.2.4-2)$$

式中 $\phi(t)$ ——结构用砂轻混凝土的徐变系数；
 $\phi(t)_0$ ——结构用砂轻混凝土随龄期变化的徐变系数；
 ξ_1 、 ξ_2 、 ξ_3 、 ξ_4 、 ξ_5 ——结构用砂轻混凝土徐变系数的修正系数，可按表 4.2.3-1 取值；
 n 、 a 、 b ——计算参数，当加荷龄期为 28d 时，取：
 $n=0.6$ ， $a=4.520$ ， $b=0.353$ 。

表 4.2.4 不同龄期的徐变系数

龄期 (d)	28	90	180	360	终极值
徐变系数	1.63	2.11	2.38	2.64	2.65

4.2.5 轻骨料混凝土的泊松比可取 0.2。

4.2.6 轻骨料混凝土温度线膨胀系数，当温度为 0~100℃ 范围时可取 $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \sim 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。低密度等级者可取下限值，高密度等级者可取上限值。

4.2.7 轻骨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应符合表 4.2.7 的要求。

表 4.2.7 轻骨料混凝土的各种热物理系数

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	a_d	a_c	S_{24}	S_{24}
	(W/m·K)		(kJ/kg·K)		(m ² /h)		(W/m ² ·K)	
600	0.18	0.25	0.84	0.92	1.28	1.63	2.56	3.01
700	0.20	0.27	0.84	0.92	1.25	1.50	2.91	3.38
800	0.23	0.30	0.84	0.92	1.23	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

密度等级	导热系数		比热容		导温系数		蓄热系数	
	λ_a	λ_c	c_d	c_c	a_b	a_c	S_{a24}	S_{c24}
	(W/m·K)		(kJ/kg·K)		(m ² /h)		(W/m ² ·K)	
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：1. 轻骨料混凝土的体积平衡含水率取 6%。

2. 用膨胀矿渣珠作粗骨料的混凝土导热系数可按表列数值降低 25% 取用或经试验确定。

4.2.8 轻骨料混凝土不同使用条件的抗冻性应符合表 4.2.8 的要求。

表 4.2.8 不同使用条件的抗冻性

使用条件	抗冻标号
1. 非采暖地区	F15
2. 采暖地区	
相对湿度 ≤ 60%	F25
相对湿度 > 60%	F35
干湿交替部位和水位变化的部位	≥ F50

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。

4.2.9 结构用砂轻混凝土的抗碳化耐久性应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 4.2.9 的要求。

表 4.2.9 砂轻混凝土的碳化深度值

等级	使用条件	碳化深度值 (mm), 不大于
1	正常湿度, 室内	40

等 级	使用条件	碳化深度值 (mm), 不大于
2	正常湿度, 室外	35
3	潮湿, 室外	30
4	干湿交替	25

注: 1. 正常湿度系指相对湿度为 55%~65%;

2. 潮湿系指相对湿度为 65%~80%;

3. 碳化深度值相当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 年时轻骨料混凝土的碳化深度。

4.2.10 结构用砂轻混凝土的抗渗性应满足工程设计抗渗等级和有关要求的要求。

4.2.11 次轻混凝土的强度标准值、弹性模量、收缩、徐变等有关性能, 应通过试验确定。

5 配合比设计

5.1 一般要求

5.1.1 轻骨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。必要时应符合对混凝土性能（如弹性模量、碳化和抗冻性等）的特殊要求。

5.1.2 轻骨料混凝土的配合比应通过计算和试配确定。混凝土试配强度应按下式确定：

$$f_{cu,o} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (5.1.2-1)$$

式中 $f_{cu,o}$ ——轻骨料混凝土的试配强度 (MPa)；

$f_{cu,k}$ ——轻骨料混凝土立方体抗压强度标准值（即强度等级）(MPa)；

σ ——轻骨料混凝土强度标准差 (MPa)。

5.1.3 混凝土强度标准差应根据同品种、同强度等级轻骨料混凝土统计资料计算确定。计算时，强度试件组数不应少于 25 组。当无统计资料时，强度标准差可按表 5.1.3 取值。

表 5.1.3 强度标准差 σ (MPa)

混凝土强度等级	低于 LC20	LC20~LC35	高于 LC35
σ	4.0	5.0	6.0

5.1.4 轻骨料混凝土配合比中的轻粗骨料宜采用同一品种的轻骨料。结构保温轻骨料混凝土及其制品掺入煤（炉）渣轻粗骨料时，其掺量不应大于轻粗骨料总量的 30%，煤（炉）渣含碳量不应大于 10%。为改善某些性能而掺入另一品种粗骨料时，其合理掺量应通过试验确定。

5.1.5 在轻骨料混凝土配合比中加入化学外加剂或矿物掺和料

时，其品种、掺量和对水泥的适应性，必须通过试验确定。

5.1.6 大孔轻骨料混凝土和泵送轻骨料混凝土的配合比设计应符合附录 A 和附录 B 的规定。

5.2 设计参数选择

5.2.1 不同试配强度的轻骨料混凝土的水泥用量可按表 5.2.1 选用。

表 5.2.1 轻骨料混凝土的水泥用量 (kg/m³)

混凝土试配强度 (MPa)	轻骨料密度等级						
	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：1. 表中横线以上为采用 32.5 级水泥时水泥用量值；横线以下为采用 42.5 级水泥时的水泥用量值；

2. 表中下限值适用于圆球型和普通型轻粗骨料，上限值适用于碎石型轻粗骨料和全轻混凝土；

3. 最高水泥用量不宜超过 550kg/m³。

5.2.2 轻骨料混凝土配合比中的水灰比应以净水灰比表示。配制全轻混凝土时，可采用总水灰比表示，但应加以说明。

轻骨料混凝土最大水灰比和最小水泥用量的限值应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 轻骨料混凝土的最大水灰比和最小水泥用量

混凝土所处的环境条件	最大水灰比	最小水泥用量 (kg/m ³)	
		配筋混凝土	素混凝土
不受风雪影响混凝土	不作规定	270	250
受风雪影响的露天混凝土； 位于水中及水位升降范围内的 混凝土和潮湿环境中的混凝土	0.50	325	300
寒冷地区位于水位升降范围 内的混凝土和受水压或除冰盐 作用的混凝土	0.45	375	350
严寒和寒冷地区位于水位升 降范围内和受硫酸盐、除冰盐 等腐蚀的混凝土	0.40	400	375

注：1. 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；

2. 水泥用量不包括掺和料；

3. 寒冷和严寒地区用的轻骨料混凝土应掺入引气剂，其含气量宜为5%~8%。

5.2.3 轻骨料混凝土的净用水量根据稠度（坍落度或维勃稠度）和施工要求，可按表 5.2.3 选用。

表 5.2.3 轻骨料混凝土的净用水量

轻骨料混凝土用途	稠 度		净用水量 (kg/m ³)
	维勃稠度 (s)	坍落度 (mm)	
预制构件及制品： (1) 振动加压成型 (2) 振动台成型 (3) 振捣棒或平板振动器振实	10~20	—	45~140
	5~10	0~10	140~180
	—	30~80	165~215
现浇混凝土： (1) 机械振捣 (2) 人工振捣或钢筋密集	—	50~100	180~225
	—	≥80	200~230

注：1. 表中值适用于圆球型和普通型轻粗骨料，对碎石型轻粗骨料，宜增加 10kg 左右的用水量；

2. 掺加外加剂时，宜按其减水率适当减少用水量，并按施工稠度要求进行调整；

3. 表中值适用于砂轻混凝土；若采用轻砂时，宜取轻砂 1h 吸水率为附加水量；若无轻砂吸水率数据时，可适当增加用水量，并按施工稠度要求进行调整。

5.2.4 轻骨料混凝土的砂率可按表 5.2.4 选用。当采用松散体积法设计配合比时，表中数值为松散体积砂率；当采用绝对体积法设计配合比时，表中数值为绝对体积砂率。

表 5.2.4 轻骨料混凝土的砂率

轻骨料混凝土用途	细骨料品种	砂率 (%)
预制构件	轻 砂	35~50
	普通砂	30~40
现浇混凝土	轻 砂	—
	普通砂	35~45

注：1. 当混合使用普通砂和轻砂作细骨料时，砂率宜取中间值，宜按普通砂和轻砂的混合比例进行插入计算；

2. 当采用圆球型轻粗骨料时，砂率宜取表中值下限；采用碎石型时，则宜取上限。

5.2.5 当采用松散体积法设计配合比时，粗细骨料松散状态的总体积可按表 5.2.5 选用。

表 5.2.5 粗细骨料总体积

轻粗骨料粒型	细骨料品种	粗细骨料总体积 (m ³)
圆球型	轻 砂	1.25~1.50
	普通砂	1.10~1.40
普通型	轻 砂	1.30~1.60
	普通砂	1.10~1.50
碎石型	轻 砂	1.35~1.65
	普通砂	1.10~1.60

5.2.6 当采用粉煤灰作掺和料时，粉煤灰取代水泥百分率和超量系数等参数的选择，应按国家现行标准《粉煤灰在混凝土和砂浆中应用技术规程》(JGJ 28) 的有关规定执行。

5.3 配合比计算与调整

5.3.1 砂轻混凝土和全轻混凝土宜采用松散体积法进行配合比计算，砂轻混凝土也可采用绝对体积法。配合比计算中粗细骨料用量均应以干燥状态为基准。

5.3.2 采用松散体积法计算应按下列步骤进行：

- 1 根据设计要求的轻骨料混凝土的强度等级、混凝土的用途，确定粗细骨料的种类和粗骨料的最大粒径；
- 2 测定粗骨料的堆积密度、筒压强度和 1h 吸水率，并测定细骨料的堆积密度；
- 3 按本规程第 5.1.2 条计算混凝土试配强度；
- 4 按本规程第 5.2.1 条选择水泥用量；
- 5 根据施工稠度的要求，按本规程第 5.2.3 条选择净用水量；
- 6 根据混凝土用途按本规程第 5.2.4 条选取松散体积砂率；
- 7 根据粗细骨料的类型，按本规程第 5.2.5 条选用粗细骨料总体积，并按下列公式计算每立方米混凝土的粗细骨料用量：

$$V_s = V_t \times S_p \quad (5.3.2-1)$$

$$m_s = V_s \times \rho_{1s} \quad (5.3.2-2)$$

$$V_a = V_t - V_s \quad (5.3.2-3)$$

$$m_a = V_a \times \rho_{1a} \quad (5.3.2-4)$$

式中 V_s 、 V_a 、 V_t ——分别为每立方米细骨料、粗骨料和粗细骨料的松散体积 (m^3)；

m_s 、 m_a ——分别为每立方米细骨料和粗骨料的用量 (kg)；

S_p ——砂率 (%)；

ρ_{1s} 、 ρ_{1a} ——分别为细骨料和粗骨料的堆积密度 (kg/m^3)。

- 8 根据净用水量和附加水量的关系按下式计算总用水量：

$$m_{wt} = m_{wn} + m_{va} \quad (5.3.2-5)$$

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)。

附加水量计算应符合本规程第 5.3.4 条的规定。

9 按下式计算混凝土干表观密度，并与设计要求的干表观密度进行对比，如其误差大于 2%，则应按下式重新调整和计算配合比。

$$\rho_{cd}=1.15 m_c + m_a + m_s \quad (5.3.2-6)$$

式中 ρ_{cd} ——轻骨料混凝土的干表观密度 (kg/m³)。

5.3.3 采用绝对体积法计算应按下列步骤进行：

- 1 根据设计要求的轻骨料混凝土的强度等级、密度等级和混凝土的用途，确定粗细骨料的种类和粗骨料的粒径；
- 2 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；
- 3 按本规程第 5.1.2 条计算混凝土试配强度；
- 4 按本规程第 5.2.1 条选择水泥用量；
- 5 根据制品生产工艺和施工条件要求的混凝土稠度指标，按本规程第 5.2.3 条确定净用水量；
- 6 根据轻骨料混凝土的用途，按本规程第 5.2.4 条选用砂率；
- 7 按下列公式计算粗细骨料的用量：

$$V_s = \left[1 - \left(\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_{wa}}{\rho_w} \right) \div 1000 \right] \times s_p \quad (5.3.3-1)$$

$$m_s = V_s \times \rho_s \quad (5.3.3-2)$$

$$V_a = \left[1 - \left(\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_{wa}}{\rho_w} + \frac{m_s}{\rho_s} \right) \div 1000 \right] \quad (5.3.3-3)$$

$$m_a = V_a \times \rho_{ap} \quad (5.3.3-4)$$

式中 V_s ——每立方米混凝土的细骨料绝对体积 (m³)；

m_c ——每立方米混凝土的水泥用量 (kg)；

ρ_c ——水泥的相对密度，可取 $\rho_c=2.9\sim3.1$ ；

ρ_w ——水的密度，可取 $\rho_w=1.0$ ；

V_a ——每立方米混凝土的轻粗骨料绝对体积 (m^3)；

ρ_s ——细骨料密度，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 (g/cm^3)；

ρ_{sp} ——轻粗骨料的颗粒表观密度 (kg/m^3)。

8 根据净用水量和附加水量的关系，按下式计算总用水量：

$$m_{wt} = m_{wn} + m_{wa} \quad (5.3.3-5)$$

附加水量的计算应符合本规程第 5.3.4 条的规定。

9 按下式计算混凝土干表观密度，并与设计要求的干表观密度进行对比，当其误差大于 2%，则应重新调整和计算配合比。

$$\rho_{cd} = 1.15 m_c + m_a + m_s \quad (5.3.3-6)$$

5.3.4 根据粗骨料的预湿处理方法和细骨料的品种，附加水量宜按表 5.3.4 所列公式计算。

表 5.3.4 附加水量的计算

项 目	附加水量 (m_{wa})
粗骨料预湿，细骨料为普砂	$m_{wa}=0$
粗骨料不预湿，细骨料为普砂	$m_{wa} = m_a \cdot \omega_a$
粗骨料预湿，细骨料为轻砂	$m_{wa} = m_s \cdot \omega_s$
粗骨料不预湿，细骨为轻砂	$m_{wa} = m_a \cdot \omega_a + m_s \cdot \omega_s$

注：1. ω_a 、 ω_s 分别为粗、细骨料的 1h 吸水率。

2. 当轻骨料含水时，必须在附加水量中扣除自然含水量。

5.3.5 粉煤灰轻骨料混凝土配合比计算应按下列步骤进行：

- 1 基准轻骨料混凝土的配合比计算应按本规程第 5.3.2 条或第 5.3.3 条的步骤进行；
- 2 粉煤灰取代水泥率应按表 5.3.5 的要求确定；

表 5.3.5 粉煤灰取代水泥率

混凝土强度等级	取代普通硅酸盐水泥率 β_c (%)	取代矿渣硅酸盐水泥率 β_c (%)
\leq LC15	25	20
LC20	15	10
\geq LC25	20	15

- 注：1. 表中值为范围上限，以 32.5 级水泥为基准；
 2. \geq LC20 的混凝土宜采用 I、II 级粉煤灰， \leq LC15 的素混凝土可采用 III 级粉煤灰；
 3. 在有试验根据时，粉煤灰取代水泥百分率可适当放宽。

3 根据基准混凝土水泥用量 (m_{co}) 和选用的粉煤灰取代水泥百分率 (β_c)，按下式计算粉煤灰轻骨料混凝土的水泥用量 (m_c)：

$$m_c = m_{co} (1 - \beta_c) \quad (5.3.5-1)$$

4 根据所用粉煤灰级别和混凝土的强度等级，粉煤灰的超量系数 (δ_c) 可在 1.2~2.0 范围内选取，并按下式计算粉煤灰掺量 (m_f)：

$$m_f = \delta_c (m_{co} - m_c) \quad (5.3.5-2)$$

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

6 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；

7 配合比的调整和校正方法同本规程第 5.3.6 条。

5.3.6 计算出的轻骨料混凝土配合比必须通过试配予以调整。

5.3.7 配合比的调整应按下列步骤进行：

1 以计算的混凝土配合比为基础，再选取与之相差 $\pm 10\%$ 的相邻两个水泥用量，用水量不变，砂率相应适当增减，分别按三个配合比拌制混凝土拌和物。测定拌和物的稠度，调整用水量，以达到要求的稠度为止；

2 按校正后的三个混凝土配合比进行试配，检验混凝土拌和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，每种配合比至少制作一组；

3 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；

4 对选定配合比进行质量校正。其方法是先按公式 (5.3.6-1) 计算出轻骨料混凝土的计算湿表观密度，然后再与拌和物的实测振实湿表观密度相比，按公式 (5.3.6-2) 计算校正系数：

$$\rho_{cc} = m_a + m_s + m_c + m_f + m_{wt} \quad (5.3.6-1)$$

$$\eta = \frac{\rho_{\infty}}{\rho_{cc}} \quad (5.3.6-2)$$

式中

η ——校正系数；

ρ_{cc} ——按配合比各组成材料计算的湿表观密度 (kg/m^3)；

ρ_{∞} ——混凝土拌和物的实测振实湿表观密度 (kg/m^3)；

m_a 、 m_s 、 m_c 、 m_f 、 m_{wt} ——分别为配合比计算所得的粗骨料、细骨料、水泥、粉煤灰用量和总用水量 (kg/m^3)。

5 选定配合比中的各项材料用量均乘以校正系数即为最终的配合比设计值。

6 施工工艺

6.1 一般要求

6.1.1 大孔径骨料混凝土的施工应符合附录 A 的规定，轻骨料混凝土的泵送施工应符合附录 B 的规定。

6.1.2 轻骨料进厂（场）后，应按现行国家标准《轻集料及其试验方法》（GB/T 17431.1—2）的要求进行检验验收，对配制结构用轻骨料混凝土的高强轻骨料，还应检验强度等级。

6.1.3 轻骨料的堆放和运输应符合下列要求：

- 1 轻骨料应按不同品种分批运输和堆放，不得混杂；
- 2 轻粗骨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，堆放高度不宜超过 2m，并应防止树叶、泥土和其他有害物质混入；

3 轻砂在堆放和运输时，宜采取防雨措施，并防止风刮飞扬。

6.1.4 在气温高于或等于 5℃ 的季节施工时，根据工程需要，预湿时间可按外界气温和来料的自然含水状态确定，应提前半天或一天对轻粗骨料进行淋水或泡水预湿，然后滤干水分进行投料。在气温低于 5℃ 时，不宜进行预湿处理。

6.2 拌和物拌制

6.2.1 应对轻粗骨料的含水率及其堆积密度进行测定。测定原则宜为：

- 1 在批量拌制轻骨料混凝土拌和物前进行测定；
- 2 在批量生产过程中抽查测定；
- 3 雨天施工或发现拌和物稠度反常时进行测定。

对预湿处理的轻粗骨料，可不测其含水率，但应测定其湿堆

积密度。

6.2.2 轻骨料混凝土生产时，砂轻混凝土拌和物中的各组分材料应以质量计量；全轻混凝土拌和物中轻骨料组分可采用体积计量，但宜按质量进行校核。

轻粗、细骨料和掺和料的质量计量允许偏差为±3%；水、水泥和外加剂的质量计量允许偏差为±2%。

6.2.3 轻骨料混凝土拌和物必须采用强制式搅拌机搅拌。

6.2.4 在轻骨料混凝土搅拌时，使用预湿处理的轻粗骨料，宜采用图 6.2.4-1 的投料顺序；使用未预湿处理的轻粗骨料，宜采用图 6.2.4-2 的投料顺序。

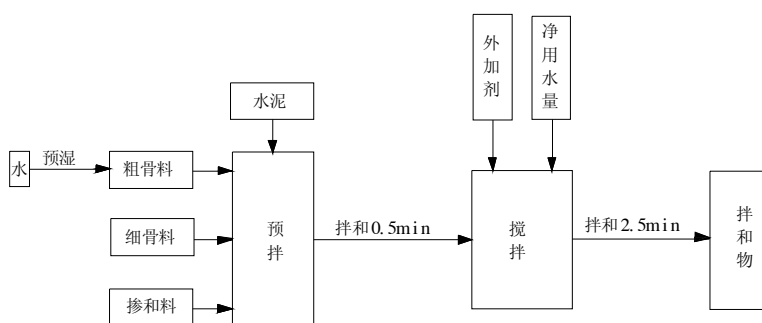


图 6.2.4-1 使用预湿处理的轻粗骨料时的投料顺序

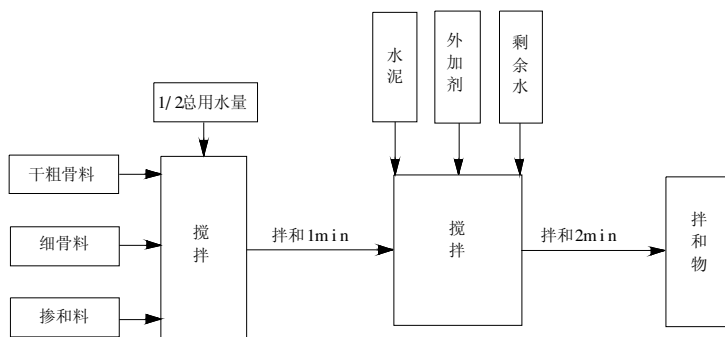


图 6.2.4-2 使用未预湿处理的轻粗骨料时的投料顺序

6.2.5 轻骨料混凝土全部加料完毕后的搅拌时间，在不采用搅拌运输车运送混凝土拌和物时，砂轻混凝土不宜少于 **3min**；全轻或干硬性砂轻混凝土宜为 **3~4min**。对强度低而易破碎的轻骨料，应严格控制混凝土的搅拌时间。

6.2.6 外加剂应在轻骨料吸水后加入。当用预湿处理的轻粗骨料时，液体外加剂可按图 **6.2.4-1** 所示加入；当用未预湿处理的轻粗骨料时，液体外加剂可按图 **6.2.4-2** 所示加入。采用粉状外加剂，可与水泥同时加入。

6.3 拌和物运输

6.3.1 拌和物在运输中应采取措施减少坍落度损失和防止离析。当产生拌和物稠度损失或离析较重时，浇筑前应采用二次拌和，但不得二次加水。

6.3.2 拌和物从搅拌机卸料起到浇入模内止的延续时间不宜超过 **45min**。

6.3.3 当用搅拌运输车运送轻骨料混凝土拌和物，因运距过远或交通问题造成坍落度损失较大时，可采取在卸料前掺入适量减水剂进行搅拌的措施，满足施工所需和易性要求。

6.4 拌和物浇筑和成型

6.4.1 轻骨料混凝土拌和物浇筑倾落的自由高度不应超过 **1.5m**。当倾落高度大于 **1.5m** 时，应加串筒、斜槽或溜管等辅助工具。

6.4.2 轻骨料混凝土拌和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和物以及结构保温类和保温类轻骨料混凝土拌和物，可采用插捣成型。

6.4.3 干硬性轻骨料混凝土拌和物浇筑构件，应采用振动台或表面加压成型。

6.4.4 现场浇筑的大模板或滑模施工的墙体等竖向结构物，应分层浇筑，每层浇筑厚度宜控制在 **300~350mm**。

6.4.5 浇筑上表面积较大的构件，当厚度小于或等于 200mm 时，宜采用表面振动成型；当厚度大于 200mm 时，宜先用插入式振捣器振捣密实后，再表面振捣。

6.4.6 用插入式振捣器振捣时，插入间距不应大于棒的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和物约 50mm。

6.4.7 振捣延续时间应以拌和物捣实和避免轻骨料上浮为原则。振捣时间应根据拌和物稠度和振捣部位确定，宜为 10~30s。

6.4.8 浇筑成型后，宜采用拍板、刮板、辊子或振动抹子等工具，及时将浮在表层的轻粗骨料颗粒压入混凝土内。若颗粒上浮面积较大，可采用表面振动器复振，使砂浆返上，再作抹面。

6.5 养护和缺陷修补

6.5.1 轻骨料混凝土浇筑成型后应及时覆盖和喷水养护。

6.5.2 采用自然养护时，用普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、矿渣水泥拌制的轻骨料混凝土，湿养护时间不应少于 7d；用粉煤灰水泥、火山灰水泥拌制的轻骨料混凝土及在施工中掺缓凝型外加剂的混凝土，湿养护时间不应少于 14d。轻骨料混凝土构件用塑料薄膜覆盖养护时，全部表面应覆盖严密，保持膜内有凝结水。

6.5.3 轻骨料混凝土构件采用蒸汽养护时，成型后静停时间不宜少于 2h，并应控制升温 and 降温速度。

6.5.4 保温和结构保温类轻骨料混凝土构件及构筑物的表面缺陷，宜采用原配合比的砂浆修补。结构轻骨料混凝土构件及构筑物的表面缺陷可采用水泥砂浆修补。

6.6 质量检验和验收

6.6.1 轻骨料混凝土拌和物的检验应按下列规定进行：

1 检验拌和物各组成材料的称量是否与配合比相符。同一配合比每班不得少于一次；

2 检验拌和物的坍落度或维勃稠度以及表观密度，每台班每一配合比不得少于一次。

6.6.2 轻骨料混凝土强度的检验应按下列规定进行，其检验评定方法应按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》（GBJ 107）执行。

1 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；

2 每一工作班拌制的同配合比混凝土不足 100 盘时，取样次数不得少于一次。

6.6.3 混凝土干表观密度的检验应按下列规定进行，其检验结果的平均值不应超过配合比设计值的 $\pm 3\%$ 。

1 连续生产的预制厂及预拌混凝土搅拌站，对同配合比的混凝土，每月不得少于四次；

2 单项工程，每 100m^3 混凝土的抽查不得少于一次，不足者按 100m^3 计。

6.6.4 轻骨料混凝土工程验收应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）的有关规定执行。

7 试验方法

7.1 一般规定

7.1.1 轻骨料混凝土拌合物性能、力学性能、收缩和徐变等长期性能，以及碳化、钢锈和抗冻等耐久性能指标的测定，应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法》(GB 50080)、《普通混凝土力学性能试验方法》(GB 50081)和《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GB 50082)的有关规定。

7.1.2 与轻骨料特性有关的干表观密度、吸水率、软化系数、导热系数和线膨胀系数等混凝土性能指标的测定应符合本章的规定。

7.2 拌和方法

7.2.1 配合比中各组分材料的质量计量允许误差：粗、细骨料和掺和料为±1%；水、水泥和外加剂为±0.5%。

7.2.2 试验室拌制轻骨料混凝土时，拌和量不应小于搅拌机公称搅拌量的三分之一。

7.2.3 轻骨料混凝土应按下列步骤拌和：

1 采用干燥或自然含水的轻粗骨料时，先将轻粗骨料、细骨料和水泥加入搅拌机内，加入二分之一拌和用水，搅拌 1min 后，再加入剩余拌和水量，继续拌 2min 即可；

2 采用经过淋水预湿处理的轻粗骨料时，先将轻粗骨料滤去明水，与细骨料、水泥一起拌和约 1min 后，再加入拌和用水量，继续拌和 2min 即可。

7.2.4 掺和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，宜加入剩余拌和用水中。

7.3 干表观密度

7.3.1 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。

7.3.2 当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，应按公式 (7.3.3-1) 计算干表观密度。

7.3.3 当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：

1 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。应按下式计算：

$$\rho_h = \frac{m}{V} \times 10^3 \quad (7.3.3-1)$$

式中 ρ_h ——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质量 (g)；

V ——自然含水时混凝土试件的体积 (cm³)。

2 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；

3 按下式计算出轻骨料混凝土的含水率：

$$W_c = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (7.3.3-2)$$

式中 W_c ——混凝土的含水率 (%), 计算精确至 0.1%；

m_1 ——所取试样质量 (g)；

m_0 ——烘干后试样质量 (g)。

4 按下式计算出轻骨料混凝土的干表观密度：

$$\rho_d = \frac{\rho_h}{1 + W_c} \quad (7.3.3-3)$$

式中 ρ_d ——轻骨料混凝土的干表观密度 (kg/m³)，精确至

10kg/m^3 ;

ρ_n ——自然含水状态下轻骨料混凝土的表观密度
(kg/m^3)。

7.4 吸水率和软化系数

7.4.1 吸水率和软化系数试验所用设备应符合下列规定：

- 1 托盘天平：称量 5kg ，感量 2g ；
- 2 烘箱： $105\sim 110^\circ\text{C}$ ，可恒温；
- 3 压力试验机：测力精度不低于 $\pm 1\%$ 。

7.4.2 吸水率和软化系数试验应按下列步骤进行：

1 试件的制作和养护按《普通混凝土力学性能试验方法》(GB 50081)的要求进行。采用边长为 100mm 立方体试件时，每组为 12 块；采用边长为 150mm 立方体试件时，每组为 6 块；

2 标准养护 28d 后，取出试件在 $105\sim 110^\circ\text{C}$ 下烘至恒重，取 6 块（或 3 块）试件作抗压强度试验，绝干状态混凝土的抗压强度 (f_0)；

3 取其余 6 块（或 3 块）试件，先称重，确定其质量平均值。然后，将它们浸入温度为 $20\pm 5^\circ\text{C}$ 的水中，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，确定其质量平均值。随后，再浸入水中，直至 48h 时，将试件取出，擦干、称重，确定其质量平均值；

4 在称得浸水时间为 48h 时试件的质量平均值后，即进行抗压强度试验，确定饱水状态混凝土的抗压强度 (f_1)；

5 按下列公式计算轻骨料混凝土的吸水率及软化系数：

$$\omega_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (7.4.2-1)$$

$$\omega_{\text{sat}} = \frac{m_n - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (7.4.2-2)$$

$$\psi = \frac{f_1}{f_0} \quad (7.4.2-3)$$

- 式中 m_0 ——烘至恒重试件的质量平均值 (kg);
 m_t ——浸水时间为 t 时试件的质量平均值 (kg);
 m_n ——浸水时间为 48h 时试件的质量平均值 (kg);
 ω_t ——浸水时间为 t 时的吸水率 (%);
 ω_{sat} ——浸水时间为 48h 时的吸水率 (%);
 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)。

7.5 导热系数

7.5.1 导热系数可采用热脉冲法进行测定,其适用于测定干燥或不同含湿状况下轻骨料混凝土的导热系数、导温系数和比热容。

7.5.2 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(图 7.5.2)。当加热器通以电流后,根据被测试件的温度变化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:

- 1 加热器的厚度不应大于 0.4mm,且应有弹性,其面热容量应小于 0.42kJ/(m²·°C);加热丝应选用电阻温度系数小的镍铜、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,且对试件应为对称传热;加热器不应有吸湿性,其尺寸宜与试件尺寸相同;
- 2 热电偶直径宜选用 0.1mm,电势测量仪表的精度应为 ±1 μV;
- 3 在试验过程中,应保持测量装置电压恒定,稳定度应为 ±0.1%,功率测量误差应小于 0.5%;
- 4 应设有试件夹紧装置,以保证相互间接触紧密。

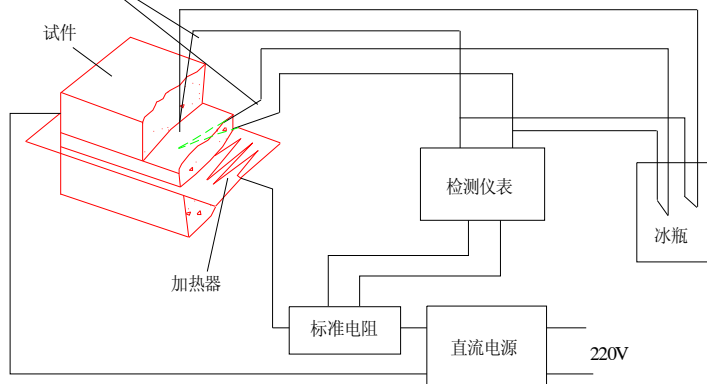


图 7.5.2 用热脉冲法测量导热系数装置示意图

7.5.3 导热系数测定所用试件应符合下列要求：

- 1 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%；
- 2 三块试件分别为：薄试件一块（200mm×200mm×20~30mm），厚试件二块（200mm×200mm×60~100mm）；
- 3 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；
- 4 测量干燥状态的热物理系数时，试件应在 105~110℃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。

7.5.4 导热系数试验应按下列步骤进行：

- 1 称量试件质量，测量试件尺寸，计算混凝土的干表观密度；
- 2 将试件按图 7.5.2 所示安置完毕。当试件的初始温度在 10min 内的变化小于 0.05℃，且薄试件上下表面温度差小于 0.1℃时，可开始测定；
- 3 接通加热器电源，并同时启动秒表，测量加热回路电流；

4 加热时间 (τ') 控制为 4~6min, 当薄试件上表面温度升高 1~2℃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;

5 关闭加热器, 经 4~6min 后, 再测一次热源面上的热电势和相对应的时间。

7.5.5 导热系数试验结果应分别按下列公式计算。

1 试件的干表观密度:

$$\rho_d = \frac{m}{V} \quad (7.5.5-1)$$

式中 m ——试件质量 (kg);

V ——试件体积 (m³)。

2 试件的质量含水率:

$$\omega = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (7.5.5-2)$$

式中 m_1 ——烘干至恒重试件的质量 (kg);

m_2 ——某一含湿状态下试件的质量 (kg)。

表 7.5.5 函数 $B(Y)$ 表

Y^2	0	1	2	3	4
0.0	1.0000	0.8327	0.7693	0.7229	0.6852
0.1	0.5379	0.5203	0.5037	0.4881	0.4736
0.2	0.4010	0.3908	0.3810	0.3716	0.3625
0.3	0.3151	0.3031	0.3014	0.2948	0.2885
0.4	0.2543	0.2492	0.2442	0.2394	0.2347
0.5	0.2089	0.2049	0.2010	0.1973	0.1937
0.6	0.1735	0.1704	0.1674	0.1645	0.1616
0.7	0.1456	0.1431	0.1407	0.1383	0.1360
0.8	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170	0.1151
0.9	0.1044	0.1027	0.1011	0.09949	0.09791
1.0	0.08908	0.08770	0.08634	0.08501	0.08370
1.1	0.07631	0.07516	0.07403	0.07292	0.07181
1.2	0.06562	0.06464	0.06368	0.06274	0.06181
1.3	0.05657	0.05575	0.05494	0.05414	0.05335

续表

y^2	0	1	2	3	4
1.4	0.04890	0.04820	0.04751	0.04684	0.04617
1.5	0.04238	0.04179	0.04120	0.04062	0.04004
1.6	0.03680	0.03629	0.03578	0.03528	0.3479
1.7	0.03201	0.03157	0.03114	0.03072	0.03030
1.8	0.02790	0.02752	0.02715	0.02678	0.02642
1.9	0.02435	0.02402	0.02370	0.02333	0.02307
2.0	0.02128	—	—	—	—
y^2	5	6	7	8	9
0.0	0.6533	0.6253	0.6002	0.5777	0.5570
0.1	0.4599	0.4469	0.4346	0.4229	0.4117
0.2	0.3539	0.3455	0.3375	0.3298	0.3223
0.3	0.2824	0.2764	0.2707	0.2651	0.2596
0.4	0.2301	0.2256	0.2213	0.2170	0.2129
0.5	0.1902	0.1867	0.1833	0.1800	0.1767
0.6	0.1588	0.1561	0.1534	0.1507	0.1481
0.7	0.1337	0.1315	0.1293	0.1271	0.1250
0.8	0.1132	0.1114	0.1096	0.1078	0.1061
0.9	0.09645	0.09491	0.09340	0.09129	0.09048
1.0	0.08241	0.08115	0.07991	0.07869	0.07749
1.1	0.07073	0.06967	0.06863	0.06761	0.06660
1.2	0.06090	0.06000	0.05912	0.05826	0.05741
1.3	0.05258	0.05182	0.05107	0.05033	0.04961
1.4	0.04552	0.04487	0.04423	0.04360	0.04298
1.5	0.03948	0.03893	0.03839	0.03785	0.03732
1.6	0.03431	0.03384	0.03337	0.03291	0.03246
1.7	0.02988	0.02947	0.02907	0.02867	0.02828
1.8	0.02606	0.02570	0.02535	0.02501	0.02468
1.9	0.02276	0.02246	0.02216	0.02186	0.02157
2.0	—	—	—	—	—

注： y^2 值的竖行为其首数，横行为其尾数。

3 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：

$$B(Y) = \frac{\theta'(x, \tau') \sqrt{\tau'}}{\theta(o, \tau'_2) \sqrt{\tau'_2}} \quad (7.5.5-3)$$

式中 $\theta'(x, \tau')$ 、 τ' ——薄试件上表面过余温度 ($^{\circ}\text{C}$)，及相对应的时间 (h)；

$\theta(o, \tau'_2)$ 、 τ'_2 ——升温过程中热源面上的过余温度 ($^{\circ}\text{C}$) 及相对应的时间 (h)。

根据计算所得的 $B(Y)$ 值，查表 7.5.5 求得 Y^2 值；

(2) 导温系数 (a) 的计算：

$$a = \frac{d^2}{4\tau'Y^2} \quad (\text{m}^2/\text{h}) \quad (7.5.5-4)$$

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：

$$\lambda = \frac{Q\sqrt{a}(\sqrt{\tau_2} - \sqrt{\tau_2 - \tau_1})}{A\theta(o, \tau_2)\sqrt{\pi}} \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})] \quad (7.5.5-5)$$

式中 $\theta(o, \tau_2)$ 、 τ_2 ——降温过程中热源面上的过余温度 ($^{\circ}\text{C}$) 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)；

a ——导温系数 (m^2/h)；

Q ——加热器的功率 (W)；

$$Q = I^2 R \quad (7.5.5-6)$$

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：

$$c = \frac{\lambda}{a\rho} \text{ [kJ/ (kg}\cdot\text{K)]} \quad (7.5.5-7)$$

式中 λ ——导热系数 [W/ (m·K)];
 ρ ——三块试件的平均表观密度 (kg/m³)。

(5) 蓄热系数 (s) 的计算:

$$s = 0.51 \cdot \lambda \cdot a \cdot \rho$$

7.5.6 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。

7.6 线膨胀系数

7.6.1 线膨胀系数测定时所用的试件应为 100mm×100mm×300mm 的棱柱体, 每组至少三块; 并应具有下列设备:

- 1 人工气候箱, 如无人工气候箱, 亦可采用稳定性较好的烘箱;
- 2 电阻应变仪;
- 3 测量温度用镍铜—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;
- 4 石英管一根。

7.6.2 线膨胀系数测定应按下列步骤进行:

- 1 试件应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;
- 2 每个试件两侧各贴一个电阻片及一个热电偶。电阻片标距应为 100mm, 其电阻值应相同。贴片可采用 502 胶或其他在试验温度范围内工作可靠的胶粘贴;
- 3 热电偶应事先在恒温器中校核, 求出温度与电位差的关系, 其温度读数应精确在 0.1℃;
- 4 应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, 应同时准备已知线膨胀系数的钢或铜等材料的试件, 与混凝土试件同时进行测试;

5 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）温速度宜缓慢，到达温度后要恒温到试件内外温差小于 0.2℃时才能测数，每次恒温时间宜为 3h；

6 记下所有各点的温度及变形读数后，即可继续升（降）温。整个试验的最低和最高温度差值应大于 60℃。

7.6.3 线膨胀系数值的取用和计算应按下列规定进行：

1 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。温度和变形若呈直线关系，其斜率即为线膨胀系数值；

2 数据不多时，也可用下式计算：

$$a_T = \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_0}{t - t_0} \quad (7.6.3)$$

式中 a_T ——线膨胀系数；

ε_t ——温度为 t 时的变形值 (mm)；

ε_0 ——初始变形值 (mm)，如电阻应变仪在 t_0 时调零，
则 $\varepsilon_0 = 0$ ；

t_0 ——初始温度 (℃)；

t ——测量时的温度 (℃)。

附录 A 大孔轻骨料混凝土

A.1 一般规定

A.1.1 大孔径骨料混凝土按其抗压强度标准值，可划分为 LC2.5、LC3.5、LC5.0、LC7.5 和 LC10.0 五个强度等级。按其干表观密度，可按本规程第 4.1.3 条划分密度等级。

A.2 轻粗骨料技术要求

A.2.1 轻粗骨料级配宜采用 5~10mm 或 10~16mm 单一粒级。

A.2.2 轻粗骨料的密度等级和强度应根据工程需要选用。

A.2.3 轻粗骨料其他技术性能应符合现行国家标准《轻集料及其试验方法第 1 部分：轻集料》(GB/T 17431.1) 的有关规定。

A.3 配合比计算与试配

A.3.1 混凝土的试配强度应按照本规程第 5.1.2 条计算。

A.3.2 根据轻粗骨料的堆积密度，宜按下式 (A.3.2) 计算每立方米混凝土的轻粗骨料用量：

$$m_a = V_a \times \rho_{1a} \quad (\text{A.3.2})$$

按体积计量时，每立方米混凝土的轻粗骨料用量取一立方米松散体积 (V_a)。

A.3.3 根据混凝土要求的强度等级和轻粗骨料品种，水泥用量可在 150~250kg/m³ 范围内选用，并可掺入适量外加剂和掺和料。

A.3.4 混凝土拌和物的用水量宜以水泥浆能均匀附在骨料表面并呈油状光泽而不流淌为度。可在净水灰比 0.30~0.42 的范围内选用一个试配水灰比，并可按下式计算拌和物的净用水量 (kg/m³)：

$$m_{\text{wn}} = m_{\text{c}} \times W/C \quad (\text{A.3.4-1})$$

式中 W/C ——试配水灰比。

当采用干燥骨料时，应根据净用水量加上轻粗骨料 1h 吸水量，按下式计算总用水量：

$$m_{\text{wt}} = m_{\text{wn}} + m_{\text{ya}} \quad (\text{A.3.4-2})$$

A.3.5 振动加压成型的轻骨料混凝土小型空心砌块宜采用干硬性大孔混凝土拌和物，其用水量宜以模底不淌浆和坯体不变形为准，可按本规程表 5.2.3 选用。

A.3.6 配合比应通过试验确定。其试验与调整应按本规程 5.3.6 条进行。

A.3.7 混凝土试件的成型方法，应与实际施工采用的成型工艺相同。

A.4 施工工艺

A.4.1 拌和物各组分材料应按质量计量。轻粗骨料也可采用体积计量。

A.4.2 拌和物应采用强制式搅拌机拌制。

A.4.3 当采用预湿饱和面干骨料时，粗骨料、水泥和净用水量可一次投入搅拌机内，拌和至水泥浆均匀包裹在骨料表面且呈油状光泽时为准，拌和时间宜为 1.5~2.0min。采用干骨料时，先将骨料和 40%~60% 总用水量投入搅拌机内，拌和 1min 后，再加入剩余水量和水泥拌和 1.5~2.0min。拌制少砂大孔轻骨料混凝土时，砂或轻砂和粉煤灰等宜与水泥一起加入搅拌机内。

A.4.4 现场浇筑时，混凝土拌和物直接浇筑入模，依靠自重落料压实。可用捣棒轻轻插捣靠近模壁处的拌和物，不得振捣。

A.4.5 浇筑高度较高时，应水平分层和多点浇筑。每层高度不宜大于 300mm，浇筑捣实后，表面用铁铲拍平。

A.4.6 大孔轻骨料混凝土小型空心砌块应采用振动加压成型。

A.4.7 养护应按本规程第 6.5 节规定的要求进行。

A.5 质量检验与验收

A.5.1 大孔轻骨料混凝土的质量检验与验收应按本规程第 6.6 节的规定执行。

附录 B 泵送轻骨料混凝土

B.1 一般规定

B.1.1 泵送轻骨料混凝土宜采用砂轻混凝土。

B.1.2 泵送轻骨料混凝土采用的轻粗骨料在使用前，宜浸水或洒水进行预湿处理，预湿后的吸水率不应少于 24h 吸水率。

B.2 原材料

B.2.1 泵送轻骨料混凝土采用的水泥应符合本规程第 3.1.1 条的要求。

B.2.2 泵送轻骨料混凝土采用的轻粗骨料的密度等级不宜低于 600 级；当掺入轻细骨料时，轻细骨料的密度等级不宜低于 800 级。

B.2.3 泵送轻骨料混凝土中的轻粗骨料应采用连续级配，公称最大粒径不宜大于 16mm，粒型系数不宜大于 2.0。

B.2.4 泵送砂轻混凝土的细骨料宜采用中砂，细度模数宜在 2.2~2.7 之间，并应符合国家现行标准《普通混凝土用砂质量标准及试验方法》（JGJ 52）的要求，其中，通过 0.315mm 颗粒含量不应少于 15%。

B.2.5 泵送轻骨料混凝土宜掺用泵送剂、减水剂和引气剂等外加剂，且可掺加 I、II 级粉煤灰、矿物微粉或其他矿物掺和料。外加剂和掺和料应符合有关标准的要求。

B.3 配合比设计

B.3.1 泵送轻骨料混凝土配合比的设计除应满足轻骨料混凝土设计强度、耐久性和密度的要求外，其拌和物还应满足混凝土可泵性、粘聚性和保水性的要求。

B.3.2 泵送轻骨料混凝土拌和物入泵时的坍落度值应根据泵送的高度选用，宜为 150~200mm；含气量宜为 5%。

B.3.3 泵送轻骨料混凝土试配时要求的坍落度值应按下列式计算：

$$T_i = T_p + \Delta T \quad (\text{B.3.3})$$

式中 T_i ——试配时要求的坍落度值 (mm)；

T_p ——入泵时要求的坍落度值 (mm)；

ΔT ——试验时测得在预计时间内的坍落度经时损失值 (mm)。

B.3.4 泵送轻骨料混凝土的水泥用量不宜少于 350kg/m³。

B.3.5 泵送轻骨料混凝土的体积砂率宜为 40%~50%。当掺用粉煤灰并采用超量法取代水泥时，砂率可适当降低。

B.3.6 泵送轻骨料混凝土配合比的设计步骤宜按本规程第 5 章进行。其中，轻粗骨料吸水率应采用 24h 吸水率。泵送轻骨料混凝土配合比应根据具体施工条件进行试配和调整，并应进行试泵。

B.4 施工工艺

B.4.1 泵送轻骨料混凝土施工工艺及其设备应符合国家现行标准《混凝土泵送施工技术规程》(JGJ/T 10) 第 4、5、6 章和本规程第 6 章的有关规定。

B.4.2 拌制轻骨料混凝土之前，浸水预湿的轻骨料宜采取表面覆盖、充分沥水等措施以控制轻骨料呈饱和面干状态，也可采用测出预湿后轻骨料含水率的方法，以控制搅拌时的用水量。

B.4.3 泵送轻骨料混凝土的投料顺序和搅拌时间应符合本规程第 6 章的有关规定。

B.4.4 泵送轻骨料混凝土泵送施工时，应采取降低泵送阻力的措施。输送管的管径不宜小于 125mm。所有管道内应清洁，泵送开始前应先采用砂浆润滑管壁。

B.5 质量检验与验收

B.5.1 泵送轻骨料混凝土的质量控制和质量检验与验收应符合国家现行标准《混凝土泵送施工技术规程》(JGJ/T 10) 第7章的要求和本规程第6.6节有关规定。

B.5.2 泵送轻骨料混凝土各项性能的试验方法应按本规程第7章的有关规定进行。

本标准用词说明

1. 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于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”；反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2. 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或应按……执行。