

编 译 序 言

混凝土是一种料源丰富、价格低廉、耗能较少的建筑材料，它可以根据工程需要塑造成各种形状，具有各种强度以及防渗、保温、耐火、耐蚀、防射线等各种性能；混凝土与钢材配合使用，又具备优越的结构性能，因此成为今天广泛应用的工程材料。

混凝土与钢材不同。钢材是在严格控制的条件下生产的，只要根据产品说明书就可以使用。然而混凝土则由于原材料的品种、规格、配合比以及搅拌、运输、成型、养护工艺等多种因素与环节的变化都对其性能有不可忽视的影响。特别在现代工程对混凝土的各种性能要求日益严格的情况下，如对上述影响混凝土性能的某些因素或环节在技术上稍有疏忽或对其相互关系处置不当，就会出现混凝土质量问题，使工程过早地失去使用功能，造成经济上的损失。因此日本混凝土工程学会（JCI）每年都举办混凝土工程技术讲习会培训全面掌握混凝土工程技术要点的人员，并举行混凝土工程师考试，只有考试合格者，才有资格承担混凝土技术工作。

本书即为该讲习会1985年教材，并为混凝土工程师考试必读资料。

本书除了从原材料的品种、性能、试验方法和混凝土配合比设计、生产工艺、设备、质量管理等方面，对普通混凝土工程技术要点作了比较系统全面的阐述外，并对各种不同要求及用途的混凝土工程技术，如水下混凝土、防渗混凝土、大体积混凝土、海洋混凝土、加气混凝土、道路混凝土、压力灌浆混凝土、流态混凝土、防射线混凝土等作了扼要的介绍。特别对现代混凝土工程界普遍关心的质量和耐久性问题作了全面系统的分析。碳化寿命学说是关于钢筋混凝土结构寿命的新学说，本书从试验数据及大量工程实例的调查资料（包括世界许多国家的调查资料）出发，对碳化寿命学说作了较详细的论述，并对土木建筑工程中不同类型不同部位的钢筋混凝土结构物的损坏及修复技术作了介绍。本书不仅对从事混凝土工程技术的人员具有实际指导作用、同时对科研、教学、设计人员都有参考价值。

限于水平，不妥之处，请读者批评指正。

译 者

1985年10月于北京

本书为日本混凝土工程学会(JCI)1985年技术讲习会教材和日本混凝土工程师考试必读资料。译者翻译时对部分内容作了调整和改动。

书中除了从原材料、配合比、施工养护工艺等各个环节对普通混凝土的技术要点作全面系统的阐述外,并对防渗混凝土、水下混凝土、海洋混凝土、大体积混凝土、加气混凝土、压力灌浆混凝土、流态混凝土以及防射线混凝土等技术作了扼要的介绍。特别对当代工程界普遍关心的混凝土质量和耐久性问题,通过阐述钢筋混凝土结构物碳化寿命学说和大量工程实例的调查资料,对各种不同类型不同部位的土建工程混凝土结构物的质量下降、损坏和修复技术做了介绍。这对从事混凝土工程技术的人员具有实际指导作用,同时对研究、设计和教学人员也有参考价值。

本书第二、三、六章及附录由蔡光汀执笔,第四、五、七章由傅沛兴执笔,第一章由两人合作编译,并由傅沛兴负责全书的总校。

コンクリート技術の要点'84

日本コンクリート工学協会

印刷所 技報堂

昭和59年9月20日

第1版第1刷発行

* * *

混凝土工程技术要点

傅沛兴 蔡光汀 编译

*

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 1/16 印张: 15¼ 字数: 370 千字

1987年8月第一版 1987年8月第一次印刷

印数: 1—15,700册 定价: 3.20元

统一书号: 15040·5247

编 译 说 明

1. 目前我国正处于推行法定计量单位的过渡阶段, 为便于混凝土、钢筋混凝土预制及施工技术人员阅读, 对本书所采用计量单位符号与名称说明如下:

(1) 时间: d(日)、h(小时)、min(分)、s或sec(秒)。

(2) 长度: m(米)、cm(厘米)、mm(毫米)、 μ (微米 = 10^{-3} mm)、km(公里)。

(3) 面积: m^2 (平方米)、 cm^2 (平方厘米)、 mm^2 (平方毫米)。

(4) 重量: g(克)、kg(千克)、t(吨)。

(5) 面分布力: kgf/m^2 (千克力每平方米) = $9.8N/m^2$ (牛顿每平方米) = $9.8Pa$ (帕斯卡)

$$kgf/cm^2(\text{千克力每平方厘米}) = 9.8 \times 10^4 N/m^2 = 98kPa(\text{千帕}) = 0.098MPa(\text{兆帕}) \approx 0.1MPa$$

$$kgf/mm^2(\text{千克力每平方毫米}) = 9.8MPa$$

$$1MPa = 10.2kgf/cm^2$$

2. 本书所列举的水泥及混凝土标号, 在我国读者看来似乎偏低。因日本标准规定水泥标号用1:2软练砂浆, 水灰比为0.65, 我国标准规定水泥标号用1:2.5软练砂浆, 水灰比为0.44, 水灰比相差较多; 因而日本的300号水泥强度即略高于我国625号水泥。日本测定混凝土强度的标准试体为 $\phi 15 \times 30cm$, 与我国 $15 \times 15 \times 15cm$ 立方试体相比, 同样的混凝土用我国方法测出的强度约比日本高20~40%; 因此日本的150号混凝土约相当于我国的200号。

3. 原书是由日本混凝土工程学会的14人委员会分章撰写的, 难免有重复之处。译者采取调整章节、删繁就简, 并在计算中改用中国习用的符号, 以及尽量援引我国规范、标准(译者加注处用六号宋体排字)与日本规范、标准进行对照, 对原书进行编译, 以利于我国读者阅读。

目 录

编译说明

编译序言

第一章 混凝土原材料	1
第一节 水泥	1
第二节 骨料	10
第三节 混合材和外加剂	23
第四节 水	29
第五节 钢材	30
第二章 混凝土性能	35
第一节 新拌混凝土	35
第二节 硬化混凝土	39
第三章 混凝土的配合比设计	57
第一节 土木工程用混凝土	57
第二节 建筑工程用混凝土	63
第三节 中国有关混凝土配合比设计的规定	71
第四章 混凝土的生产、质量管理及质量检查	78
第一节 混凝土的生产管理	78
第二节 混凝土的质量管理	81
第三节 商品混凝土	87
第五章 混凝土的施工	91
第一节 混凝土的运输	91
第二节 混凝土的浇注、接槎、振捣工艺	98
第三节 混凝土的养护及抹面	100
第四节 模型及支架	103
第五节 钢筋工程	107
第六节 路面混凝土	115
第七节 寒期混凝土施工	116
第八节 暑期混凝土施工	120
第九节 大体积混凝土	122
第十节 防渗混凝土	125
第十一节 水下混凝土施工	126
第十二节 海洋混凝土	127
第十三节 压力灌浆混凝土	129
第十四节 加气混凝土（泡沫混凝土）	130

第十五节 防射线混凝土132

第十六节 流态混凝土133

第六章 混凝土制品137

第七章 当代混凝土结构质量下降问题143

第一节 原材料配合比与混凝土质量下降的关系144

第二节 环境与混凝土质量下降的关系152

第三节 荷重、外力与混凝土质量下降的关系168

第四节 土木工程钢筋混凝土质量下降情况170

第五节 建筑工程钢筋混凝土质量下降情况177

第六节 解决土木工程结构质量问题的方针和措施187

第七节 解决建筑工程结构质量问题的方针和措施199

附录 习题选辑及答案216

第一章 混凝土原材料

第一节 水 泥

日本自 1875 年开始生产水泥，至今已有一百余年的历史。现有水泥公司 24 家，工厂 48 家，年生产能力 1.26 亿 t，开工率 64%。1983 年生产水泥 8000 万 t，最高年产量为 8800 万 t（1979 年），年输出水泥约 1000 万 t（主要输往中、近东及东南亚）。国内现制混凝土约占水泥用量 67%，预制构件约占水泥用量 15%。品种以硅酸盐水泥为主，近年来矿渣水泥有增加的趋势，1983 年约占总产量的 10%（见表 1-1）。

1983 年日本水泥生产情况(单位: t) 表 1-1

硅 酸 盐 水 泥			其 它 水 泥		
普 通	65585944	占 82.6 %	矿 渣	7952237	占 10 %
快硬、特快硬	1745940	占 2.2 %	硅 矿 粉	54997	占 0.1 %
低 热	211193	占 0.3 %	粉 煤 灰	1442423	占 1.8 %
耐 硫 酸 盐	2228403	占 2.8 %	其 它	180818	占 0.2 %
小 计	69771480	占 87.9 %	小 计	9630475	12.1 %
合 计 79401955吨			百 分 数: 100 %		

1. 日本水泥品种

(1) 硅酸盐水泥

日本 JIS 制订有普通、快硬、快凝快硬、低热、耐硫酸盐等五种硅酸盐水泥标准。

(2) 掺混合材的硅酸盐水泥

日本 JIS 制订有掺矿渣、硅矿粉、粉煤灰三种混合材的硅酸盐水泥标准，依混合材加入量不同分为 A、B、C 三类（见表 1-2，表 1-3）。

(3) 特种水泥

有白水泥、铝酸盐水泥、特快硬矾土水泥、注浆水泥、油井水泥等。

日本掺混合材硅酸盐水泥分类(掺量%) 表 1-2

掺混合材硅酸盐水泥种类	A 类	B 类	C 类
矿 渣 水 泥	5~30	30~60	60~70
硅 矿 粉 水 泥	5~10	10~20	20~30
粉 煤 灰 水 泥			

表 1-3

日本JIS标准关于硅酸盐水泥和掺混合材水泥的指标

规范号	JIS R5210-1979				JIS R5211-1977			JIS-5212-1977		
	硅酸盐水泥				矿渣水泥			硅矿粉水泥		
水泥类别										
	普通	快硬	超快硬	低热	耐硫酸盐	A类	B类	C类	A类	B类
水泥品种										
	普通	快硬	超快硬	低热	耐硫酸盐	A类	B类	C类	A类	B类
比表面积(cm^2/g)	>2500	>3300	>4000	>2500	>2500	>3000	>3000	>3000	>2500	>2500
初凝时间(min)	>60	>45	>45	>60	>60	>60	>60	>60	>60	>60
终凝时间(h)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
不得出现膨胀性裂纹及翘曲										
安定性										
抗压强度 (kgf/cm^2)	1天	>65	>130	>50	>70	>70	>60	>50	>70	>60
	3天	>70	>130	>200	>140	>150	>120	>100	>150	>120
	7天	>150	>230	>280	>280	>300	>290	>260	>300	>260
	28天	>300	>330	>350	>230	>280	>290	>260	>300	>260
水化热 (cal/g)	7天	<70								
	28天	<83								
化学成分	MgO(%)	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<6.0	<5.0	<5.0	<5.0
	SO ₃ (%)	<3.0	<3.5	<4.5	<3.0	<3.0	<4.0	<3.0	<3.0	<3.0
	烧失量(%)	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0
组成矿物	硅酸三钙(%)			<50						
	铝酸三钙(%)			<8	<4					
混合材掺量 ($\text{Wt}\%$)						5~30	30~60	60~70	5~10	10~20

注：1973年日本对水泥工业标准做了大规模的修改，主要是增设了快硬快硬水泥品种，增加了抗压强度值，调整了比表面积、初凝时间、水化热和化学成分的规定，取消了比重、88 μ 筛余、抗弯强度。1978年修订时增加了耐硫酸盐水泥品种。1979年修订时又允许普通硅酸盐水泥掺5%以下的混合材。

2.水泥生产工艺

生产每吨硅酸盐水泥需要原材料数量约为：石灰石1200kg、粘土250kg、硅矿石40kg、铁矿石30kg、调凝用的石膏30kg及燃料重油85L、电力125kWh。原材料经初步粉碎，在1450~1500℃高温烧成半熔融状态，急速冷却即成水泥熟料，再加适量石膏磨细即成水泥，加一部分混合材及石膏共同磨细即成各种掺混合材硅酸盐水泥。

石油提价以来，燃料逐渐由烧石油向烧煤方向转变。同时生产设备进一步向大型化、现代化、集中生产和运输合理化方向发展。热效率高的SP、NSP窑在日本已普遍采用。

3.水泥的物理性能、化学成分和矿物组成

详见表1-4，表1-5。

各种水泥物理性能试验结果（1984年）（日本水泥协会资料）表 1-4

水 泥 品 种		硅 酸 盐 水 泥				矿 渣 水 泥			硅 矿 粉 水 泥	粉 煤 灰 水 泥
		普 通	快 硬	低 热	耐 硫 酸 盐	A 类	B 类	C 类	A 类	B 类
比 重		3.15	3.13	3.19	3.20	3.08	3.04	2.96	3.12	2.97
细 度	比表面积(cm ² /g)	3320	4420	3160	3220	3840	3820	3740	3660	3300
	88μ筛余(%)	0.8	0.3	0.6	0.7	0.7	0.7	0.9	2.0	1.1
凝 结	标准稠度加水量(%)	27.6	28.9	27.1	26.1	28.7	28.8	31.3	25.4	27.6
	初凝(h-min)	2-36	2-16	3-55	3-46	2-30	3-24	3-54	2-33	3-07
	终凝(h-min)	3-35	3-25	5-23	5-16	3-46	4-46	5-32	3-34	4-22
流 动 度mm		263	256	268	273	265	265	265	264	274
强 度	抗折强度 (kg·f/cm ²)	1 天	—	36	—	—	—	—	—	—
		3 天	34	52	29	31	32	30	23	30
		7 天	49	65	39	41	46	41	37	44
		28 天	70	80	63	61	74	70	61	65
	抗压强度 (kg·f/cm ²)	1 天	—	139	—	—	—	—	—	—
		3 天	150	262	113	136	137	122	97	128
		7 天	254	360	172	196	223	199	178	210
		28 天	418	474	336	315	447	421	370	364
水 化 热 (Cal/g)	7 天	—	—	62.4	—	—	—	—	—	—
	28 天	—	—	74.7	—	—	—	—	—	—

4.水泥质量及有关标准

日本水泥标准见表1-3，最近生产质量见表1-4、表1-5。

(1) 化学成分

a. 烧失量

经950±50℃高温灼烧减少的重量是衡量水泥新鲜度的标志。

各种水泥化学分析资料（1983年度）（日本水泥协会资料） 表 1-5

水泥品种		硅酸盐水泥				矿渣水泥			硅矿粉水泥	粉煤灰水泥
		普通	快硬	低热	耐硫酸盐	A类	B类	C类	A类	B类
化学成分 (%)	烧失量ig·loss	0.7	1.0	1.0	0.7	1.0	0.9	2.0	0.6	0.9
	不溶物msol	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	6.7	12.6
	SiO ₂	22.0	20.8	23.2	22.3	24.1	25.9	27.3	20.8	19.7
	Al ₂ O ₃	5.1	4.4	4.0	3.3	7.3	8.5	10.0	4.2	4.8
	Fe ₂ O ₃	2.9	2.6	3.8	4.4	2.3	2.0	1.3	2.8	2.7
	CaO	63.7	65.1	63.1	64.8	58.1	54.6	51.0	60.1	54.6
	MgO	1.5	1.4	1.2	1.1	2.8	3.4	3.9	1.2	1.5
	SO ₃	2.0	3.0	2.0	1.8	2.0	2.2	2.1	1.8	1.8
诸率值	水硬率HM	—	2.27	1.99	2.12	—	—	—	—	—
	硅率SM	—	3.0	3.0	2.9	—	—	—	—	—
	活性率AI	—	4.8	5.9	6.8	—	—	—	—	—
	铁率I·M	—	1.7	1.0	0.8	—	—	—	—	—
	石灰饱和系数KH	—	0.97	0.86	0.92	—	—	—	—	—

b.氧化镁含量

主要由石灰中氧化镁含量而来，含量过多对后期安定性不利。日本规定不得超过5%。

我国标准GB175—85规定：水泥熟料氧化镁的含量不得超过5%。如水泥经压蒸安定性合格，则熟料中氧化镁含量允许放宽到6%。

——译者注

c.三氧化硫含量

主要来自石膏，随水泥的品种与细度有不同的适用量。过少则凝结时间不正常，过多则会产生膨胀。

(2) 矿物组成

a.低热水泥

要求水化热不宜太高，因而规定硅酸三钙不超过50%，铝酸三钙不超过8%。

b.耐硫酸盐水泥

由于硫酸盐和氢氧化钙反应生成的石膏与铝酸三钙反应生成硫铝酸钙产生体积膨胀，因而规定铝酸三钙含量不得超过4%。

熟料矿物性能及组成见表1-6和表1-7。

水泥熟料的组成矿物及其性能 表 1-6

矿物名称		硅酸三钙	硅酸二钙	铝酸三钙	铁铝酸四钙
分子式		3CaO·SiO ₂	2CaO·SiO ₂	3CaO·Al ₂ O ₃	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃
符号		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
性能	水化速度	较 快	最 慢	最 快	较 快
	强度	28天以内强度高	后期强度高	1天以内强度高	低
	水化热	较 高	最 低	最 高	低
	收缩	中	中	大	小
耐化学腐蚀性		—	—	差	—

硅酸盐水泥矿物组成(%)实例

表 1-7

水 泥 品 种	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
普 通	51	25	9	9
快 硬	64	11	9	8
特 快 硬	67	6	8	8
低 热	43	35	5	12
耐 硫 酸 盐	54	27	2	12

(3) 对混合材的要求

a.水淬高炉矿渣

碱度要求 大于1.4。碱度 = $\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$

b.硅质混合材

SiO₂含量要求在60%以上。

c.粉煤灰

要求符合日本JIS A 6201《粉煤灰》标准。

5.水泥物理性能及试验方法

(1) 比重

一般含硅、铁的成分多则比重大，加混合材多则比重小；熟料发生粉化则比重变小，同时伴随出现烧失量增加、凝结时间不正常及出现裂缝等现象。比重试验用比重瓶和无水的煤油在一定温度下进行。

(2) 细度

用比表面积表示，即1g水泥的全部表面积c m²数。比表面积愈大，水泥愈细，早期强度愈高，水化热也高，但干燥收缩也愈大。比表面积用美国勃莱恩式透气型比表面积仪测定，将水泥试样装在测试圆筒中，先用捣器在支持环上压实，抽出捣器，用空气透过试样的速度求比表面积。

我国现已不用比表面积做水泥细度指标，以前曾有GB207—63《水泥比表面积测定方法》与日本类似。

——译者注

(3) 凝结

对水泥拌水后硬化初期 状态规定的一些指标。先求出标准 稠度加水量（每种水 泥不同），再用维卡仪测水泥的初凝、终凝时间。如水泥凝结时间过 快或过慢，超出规定指标，可能由于水泥熟料粉化或混入有机物、金属盐类等造成，有时还出现假凝现象。对于这些不正常凝结，日本JASS 5T-101《水泥异常凝结性判断标准》中有规定。

(4) 安定性

为检验水泥凝结硬化过程是否发生异常膨胀而设。现在日本生产的水泥安定性全部合格。测试方法是 将水泥净浆做成规定的试饼，用煮沸法测试。

我国因立窑水泥较多，有些立窑水泥的生产工艺不够稳定， 往往出现安定 性不良的产品，因此在使用立窑水泥时，一定要做安定性试验。

——译者注

(5) 强度

是水泥作为胶结材料的主要指标, 日本用丰泽标准砂按重量比配成1:2水泥砂浆, 水灰比0.65, 拌和后分两层捣实成型, 20h后脱模, 放在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 水中养护。试体为 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 方柱体, 先作抗折试验, 再用折断的六块做抗压试验。

我国国家标准GB177—85《水泥胶砂强度试验方法》规定:标准砂应符合《水泥强度试验用标准砂》GB178—77的质量要求。水泥与标准砂的重量比为1:2.5。水灰比固定为硅酸盐水泥、普通水泥和矿渣水泥为0.44, 火山灰水泥和粉煤灰水泥为0.46。

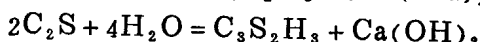
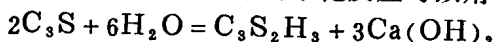
—译者注

(6) 水化热

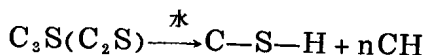
水泥水化反应发生的热量, 日本JIS标准用溶解热法测定。将已水化与未水化水泥完全溶于酸中, 从其溶解热的差值中间接求出。

6. 水泥水化反应

水泥矿物组成中 C_3S 与 C_2S 浆体常温下的水化反应可以用下式表示:

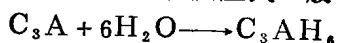


这个反应式只表明 C_3S 和 C_2S 在常温下水化生成物为水化硅酸钙及 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 而在常温下水化硅酸钙呈胶凝状, 其化学组成也是不固定的。当温度提高时, 水化物类型和结晶程度都要发生变化。因此其比较确切的反应式为:



式中 $\text{C}-\text{S}-\text{H}$ 表示不固定的水化硅酸钙, CH 为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的简写。

C_3A 在常温下的可能水化物是 C_4AH_{13} 、 C_4AH_{13} 、 C_2AH_8 、 C_3AH_6 , 在高碱性环境中的水化物主要是水化铝酸四钙, 在低碱性环境中的水化物主要是水化铝酸二钙, 在温度高于 30°C 时 C_3A 的主要水化物为 C_3AH_6 。但水化铝酸二钙和水化铝酸四钙不稳定, 它有转化为 C_3AH_6 的趋势, 所以 C_3A 的水化反应式一般写为:



C_4AF 水化时生成一系列由 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 和 $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 组成的固溶体。另外, C_4AF 水化时还可生成 $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 的凝胶体, 它会在 C_4AF 周围形成薄膜, 这样就减慢了其水化速度。

另外, 由于水泥生产时为调节凝结时间加入少量石膏。 C_3A 与石膏反应生成水化硫

- A - 粒子间结合
- X - 层间水化水
- B - 托贝膜表面层
- O - 吸附水

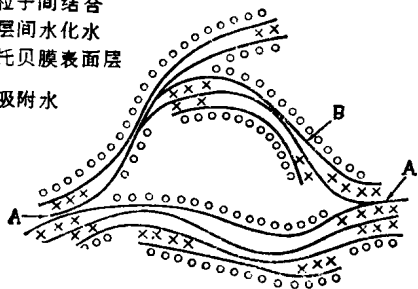


图 1-1 水泥水化模型

铝酸钙, 首先在饱和的石膏溶液中生成高硫型水化硫铝酸钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$), 呈柱状或针状结晶, 成为水泥石早期强度的结构。当水泥中石膏、 C_4AH_{13} 消耗完后, C_3A 又与高硫型硫铝酸钙作用并转化为低硫型水化硫铝酸钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), 与 C_4AH_{13} 形成固溶体。

水泥水化模型如图 1-1 所示。在水泥水化过程中, 未水化颗粒逐渐水化, 毛细管及各孔

隙间游离水逐渐与水泥矿物水化转化为凝胶及结晶形成水泥石，因而产生强度。一般在毛细管水及凝胶水逸失时，由于毛细管张力的作用，水泥石略有收缩。

7. 我国水泥生产情况及国家标准
我国常用五种水泥品质指标列于表1-8。

我国常用五种水泥品质指标 表 1-8

标准编号	水 泥 名 称	标 号	抗压强度(kgf/cm ²)			抗折强度(kgf/cm ²)		
			3 天	7 天	28天	3 天	7 天	28天
GB175—85	硅 酸 盐 水 泥	425	180(17.7)	270(26.5)	425(41.7)	34(3.3)	46(4.5)	64(6.3)
		425R	224(22.0)	—	425(41.7)	42(4.1)	—	64(6.3)
		525	230(22.6)	340(33.3)	525(51.5)	42(4.1)	54(5.3)	72(7.1)
		525R	275(27.0)	—	525(51.5)	50(4.9)	—	72(7.1)
		625	290(28.4)	430(42.2)	625(61.3)	50(4.9)	62(6.1)	80(7.8)
		625R	326(32.0)	—	625(61.3)	56(5.5)	—	80(7.8)
		725R	377(37.0)	—	725(71.1)	63(6.2)	—	88(8.6)
	普通硅酸盐水泥	275	—	160(15.7)	275(27.0)	—	33(3.2)	50(4.9)
		325	120(11.8)	190(18.6)	325(31.9)	25(2.5)	37(3.6)	55(5.4)
		425	160(15.7)	250(24.5)	425(41.7)	34(3.3)	46(4.5)	64(6.3)
		425R	214(21.0)	—	425(41.7)	42(4.1)	—	64(6.3)
		525	210(20.6)	320(31.4)	525(51.5)	42(4.1)	54(5.3)	72(7.1)
		525R	265(26.0)	—	525(51.5)	50(4.9)	—	72(7.1)
		625	270(26.5)	410(40.2)	625(61.3)	50(4.9)	62(6.1)	80(7.8)
		625R	316(31.0)	—	625(61.3)	56(5.5)	—	80(7.8)
		725R	367(36.0)	—	725(71.1)	63(6.2)	—	83(8.6)
GB1344—85	矿渣硅酸盐水泥	275	—	130(12.8)	275(27.0)	—	28(2.7)	50(4.9)
		325	—	150(14.7)	325(31.9)	—	33(3.2)	55(5.4)
	火山灰质，硅酸盐水泥	425	—	210(20.6)	425(41.7)	—	42(4.1)	64(6.3)
		425R	193(19.0)	—	425(41.7)	41(4.0)	—	64(6.3)
	粉煤灰硅酸盐水泥	525	—	290(28.4)	525(51.5)	—	50(4.9)	72(7.1)
		525R	234(23.0)	—	525(51.5)	47(4.6)	—	72(7.1)
		625R	285(28.0)	—	625(61.3)	53(5.2)	—	80(7.8)

- 注：(1)氧化镁
熟料中MgO的含量不得超过5.0%，如水泥经压蒸安定性试验合格，则熟料中氧化镁的含量允许放宽到6.0%。熟料中MgO含量5.0~6.0%时，如矿渣水泥中混合材总掺加量大于40%或火山灰水泥和粉煤灰水泥中混合材总掺加量大于30%，制成的水泥可不作压蒸试验。
- (2)三氧化硫
硅酸盐水泥、普通水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥中三氧化硫的含量不得超过3.5%。
矿渣水泥中三氧化硫的含量不得超过4.0%。
- (3)烧失量
普通水泥和矿渣水泥中的烧失量、旋窑厂的不得大于5.0%，立窑厂的不得大于7.0%。
- (4)细度
0.080mm方孔筛筛余量不得超过12%。
- (5)凝结时间
初凝不得早于45min，终凝不得迟于12h。
- (6)安定性
用沸煮法检验必须合格。
- (7)强度表中括弧里的数值单位为MPa。

除上表所列外，我国还生产多种其它水泥，主要的有：

(1)高铝水泥

凡以铝酸钙为主，氧化铝含量约50%磨制的水硬性胶凝材料为高铝水泥。GB201—81标准中规定以3天的抗压强度表示高铝水泥的标号，分为425、525、625和725四个标号，并规定其28天抗压强度不得低于3天的数值。高铝水泥凝结时间要求初凝不早于40min，终凝不迟于10h，高铝水泥的化学成分规定 $SiO_2 \leq 10\%$ ， $F_2O_3 \leq 3\%$ 。

高铝水泥主要用于浇注不定形耐火材料，配制石膏矾土膨胀水泥、自应力水泥等，也可利用其早强和高水化热的特点用于快速抢修、和低温施工等特殊需要的工程。但高铝水泥后期强度下降太大，应按最低稳定强度设计。最低稳定强度值以试体脱模(成型6h)后放入 $50 \pm 2^\circ C$ 水中养护，取7天、14天强度值之低者来确定。采用标号525以上的高铝水泥、水灰比小于0.4，单方水泥用量大于400kg，即可配出最低稳定强度为200号的混凝土。

使用高铝水泥还须注意切不可与硅酸盐水泥混合使用，不可与未硬化硅酸盐水泥混凝土接触，并且不能用高于 $50^\circ C$ 的条件进行养护。

(2)高铝水泥—65

高铝水泥熟料中氧化铝含量为65%的称高铝水泥—65。JC236—81标准中规定有525、625两个标号，其凝结时间要求初凝不早于1h，终凝不超过10h。对净水泥耐火度试锥规定525号不低于 $1610^\circ C$ ，625号不低于 $1580^\circ C$ 。

高铝水泥—65主要用于配制浇注型耐火材料——耐火砂浆、耐火混凝土。

(3)特快硬矾土水泥

其熟料以弱铝酸钙盐为主，JC86—65标准中规定以12h强度确定其标号，分为400、500、600三个标号。并规定28天强度不得低于12h强度。其凝结时间，初凝不得早于30min，终凝不得迟于7h30min。

特快硬矾土水泥主要用于需要早强的特种工程、低温施工以及配制耐火混凝土等。

(4)白色硅酸盐水泥

硅酸盐水泥熟料中尽量减少氧化铁的含量，在磨细工艺中避开铁制球磨机和铁球，即可制成白色硅酸盐水泥，GB2015—80标准中规定325、425两个标号，除细度稍细外，其它技术指标均与普通硅酸盐水泥相同。另外按白度分为四级：一级白度不低于84%，二级80%，三级75%，四级70%。白色水泥主要用于建筑装饰和制造水磨石等。

(5)膨胀水泥

我国有两种膨胀水泥，都是由硅酸盐水泥熟料、膨胀剂、石膏及稳定剂组成。主要用于防渗混凝土、砂浆、补偿收缩混凝土和浇筑机器底座、地脚螺栓及梁、柱、管接头等。其技术性能摘要列于表1-9。

我国膨胀水泥主要技术指标 表 1-9

标准编号	水泥名称	标号	凝结时间		抗压强度 (kgf/cm ²)			抗折强度 (kgf/cm ²)			膨胀率(%)		
			初凝 (min)	终凝 (h)	3天	7天	28天	3天	7天	28天	1天	28天	天
建标55-61	硅酸盐 膨胀水泥	400	>20	<10	160	260	400	12	17	23	>0.3	<1.0	≥3天的 0.70
		500			220	350	500	15	20	26			
		600			250	420	600	17	23	29			
JC311-81	明矾石 膨胀水泥	525	>45	<6	250	350	525	42	54	80	>0.15	<0.35	≥1.0
		625			300	400	625	50	62	90			

(6)自应力水泥

我国有两种自应力水泥。铝酸盐膨胀水泥即石膏矾土膨胀水泥，系矾土水泥(即高铝水泥)加一定量石膏配制而成，硅酸盐自应力水泥则是硅酸盐水泥、高铝水泥与石膏混合配成。我国JC219—79《硅酸盐自应力水泥》规定凝结时间初凝不早于30min，终凝不迟于8h。其混凝土、砂浆自由膨胀率≥3%，膨胀稳定期不迟于28天，按自应力值分为20、30、40kgf/cm²三级。JC214—78《铝酸盐自应力水泥》规定凝结时间初凝不早于30min，终凝不迟于3h，自由膨胀率7天≥1.2%、28天≥1.5%，自应力值7天≤35kgf/cm²、28天≤45kgf/cm²。

(7)抗硫酸盐水泥

为了能抵抗硫酸盐类的侵蚀，GB748—65《抗硫酸盐硅酸盐水泥》规定水泥熟料中的矿物成分 $C_3S \leq 50\%$ 、 $C_2A \leq 5\%$ 、 $C_3A + C_4AF \leq 22\%$ ，烧失量<1.5%，游离石灰<1%， SO_3 含量<2.5%。水泥细度稍细于普通水泥，凝结时间、安定性等都与普通水泥相同。标号分400、500两种，其3天、7天、28天抗压、抗折强度与表1-9中硅酸盐膨胀水泥的400号、500号指标相同。

(8)大坝水泥与低热微膨胀水泥

大坝水泥是用大坝水泥熟料加不同混合材配制而成，低热微膨胀水泥则是以粒化高炉矿渣为主要成分加适量硅酸盐水泥熟料及石膏混磨而成。两者都是以早期强度与水化热低为特点。故GB 200—80《硅酸盐大坝水泥、普通硅酸盐大坝水泥、矿渣大坝水泥》标准中规定大坝水泥熟料中C₃A含量不得超过6%，C₃S含量为40~55%，含碱量以Na₂O(Na₂O+0.658K₂O)表示不得超过0.6%，游离氢氧化钙含量不得超过0.8%，在生产矿渣大坝水泥时可适当放宽。GB 2938—82《低热微膨胀水泥》标准中则规定水泥熟料中游离氧化钙含量不得超过3%，1天、3天水泥石浆线膨胀率分别不小于0.05%、0.10%，28天不大于0.50%。两种水泥的其它性能指标见表1-10。

大坝水泥与低热微膨胀水泥主要技术指标 表 1-10

标准 编号	水泥名称	标 号	细 度	凝 结 时 间		抗压强度 (kgf/cm ²)			抗折强度 (kgf/cm ²)			水化热上限值 (Cal/g)			MgO 含 量 (%)	SO ₃ 含 量 (%)
				初 凝 (min)	终 凝 (h)	3 天	7 天	28天	3 天	7 天	28天	3 天	7 天	28天		
GB200—80	硅 酸 盐	425	4900孔筛 余不得超过 15%	>60	<12	160	250	425	34	46	64	60	70		<5	<3.5
	大坝水泥	525				210	320	525	42	54	72	60	70			
	普 通	425				145	235	425	34	46	64	55	65			
	大坝水泥	525				195	305	525	42	54	72	55	65			
	矿 渣	325				—	140	325	—	33	55	45	55			
	大坝水泥	425				—	190	425	—	42	64	45	55			
GB2938—82	低 热 微	325	比表面积 不得小于 3500cm ² /g	>45	<12	—	180	325	—	45	70	—	37	42	<5	4~6
	膨胀水泥	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		425				—	280	425	—	70	85	—	42	47		

(9)油井水泥

为符合油、气井固井需要而配制烧成的硅酸盐水泥熟料加适量石膏和高温固井用的石英质材料混磨而成的水泥为油井水泥。我国JC—237—78《高温油井水泥》、GB 202—78《油井水泥》和JC 241—78《45℃油井水泥》标准中规定：各油井水泥熟料中的MgO含量不得超过5%，水泥中MgO含量不得超过3.5%，水泥细度经0.080mm方孔筛筛余不得超过15%，水泥浆比重不得小于1.80，三种油井水泥的其他指标如表1-11。

各种油井水泥技术指标及用途 表 1-11

标准符号	水 泥 名 称		流动度 mm	试 验 条 件		初凝时间 (h)	48 小 时 抗折强度 (kgf/cm ²)	用 途
				温 度 (°C)	压 力 (kgf/cm ²)			
JC237—78	高温油井水泥		>200	150~180±3		>0.5	>45	用于井深5000~
				95±3	常 压	3~4.5	>40	7000m油气井固井
GB202—78	油井水泥	75°C	>195	75±3	常 压	1.75~3.5	>55	用于井深1500~ 2500m油、气井固井
		95°C	>220	95±3	常 压	3~4.5	>55	用于井深2500~ 3500m油气井固井
JC241—78	45℃油井水泥		>185	45±2	常 压	1.5~3.5	>55	用于井深1500m 以内油气井固井

注：油井水泥要求终凝时间不迟于初凝后1.5h。

——译者注

8.日本生产的水泥要点说明

(1)硅矿粉水泥

以硅矿粉为原料，利用火山灰反应产生强度的一种水泥，现在产量很少，宜用压蒸工

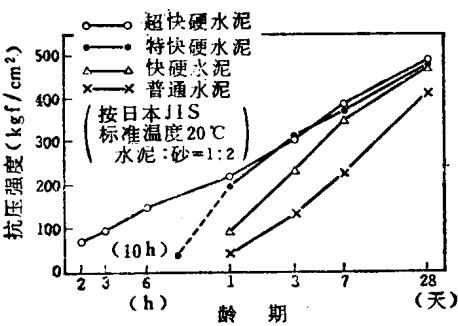


图 1-2 各种水泥强度发展情况

硅矿粉是日本产的一种含 SiO_2 很高的天然矿物，在日本也称为白土矿。为避免误解，翻译时采用硅矿粉，而未用白土矿一词。

——译者注

第二节 骨 料

骨料用量约占混凝土原材料的70%左右，骨料的质量对混凝土质量的影响很大。配制高质量混凝土必须用高质量、高强度、物理化学性能稳定、不含有机杂质及盐类的粗细骨料。然而骨料不适于长途运输，有些地方当地砂石质量低劣，或只有细砂、特细砂、在配制混凝土时就必须因地制宜地采取必要的技术措施，以求配制符合要求的混凝土。

1. 日本近年骨料供求情况

如图1-3所示，1973年和1979年是高峰，目前每年混凝土用骨料约5亿t，加上道路及其它方面共计约7.5亿t，约为水泥产量的10倍。

由于河卵石及河砂产量日益不足，目前粗骨料主要向碎石，细骨料主要向山砂、地下砂及海砂方向发展，细骨料也使用少量的矿渣砂。

2. 骨料的比重

(1) 真比重

是不含孔隙的比重，将骨料磨成细粉后进行测试，在混凝土工程上一般不用这项指标。

(2) 颗粒容重

骨料颗粒在自然容积状态的容重，包括骨料内部的孔隙。分面干容重和绝干容重，计算配合比时使用。普通骨料一般用面干容重，JASS 5 规定要注明面干或绝干，并规定轻骨料要用绝干容重。一般表示骨料质量要用绝干容重。

艺生产混凝土制品。

(2) 超快硬水泥

成分介于硅酸盐水泥与铝酸盐水泥之间，几小时即可达到某些使用要求的强度，后期强度也不降低（参照图1-2）。可用于补修混凝土路面，补修机器底座等。

(3) 注浆水泥

将水泥磨得非常细，适合于注浆使用，强度高、耐久性好，而且无公害，可用于加固地基和岩石地盘。

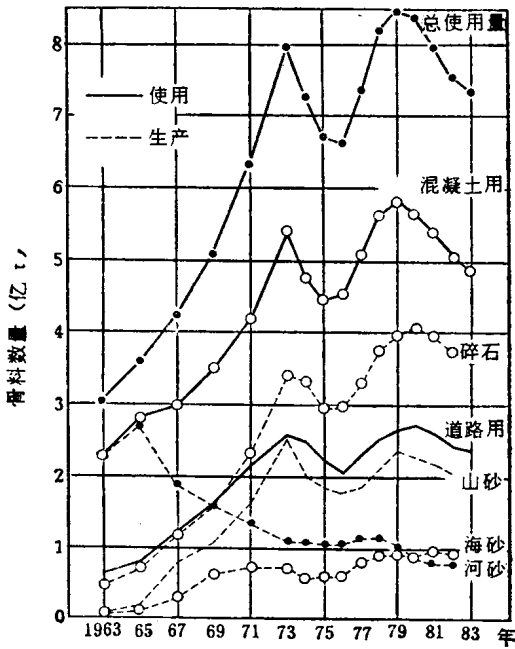


图 1-3 日本骨料生产情况

我国标准JGJ55—81《普通混凝土配合比设计》第3.0.1条规定：试配混凝土时粗细骨料均应以干燥状态为基准，如不用干料配制，给料时应在用水量中扣除骨料中超过的含水量值。

$$\text{绝干容重}(D_D)=\frac{\text{绝干状态重量}}{\text{面干状态容积}}$$
$$\text{面干容重}(D_S)=\frac{\text{面干状态重量}}{\text{面干状态容积}}$$

若骨料的吸水率为Q，则

$$D_S=D_D\left(1+\frac{Q}{100}\right)$$

——译者注

关于各种骨料的容重情况，参阅表1-13~表1-17。

各种石料物理性能 表 1-12

种 类	比重	强度(kg·f/cm²)			弹 性 系 数		吸水率 (%)	耐热度 (°C)	导 热 系 数 Kcal/m·h·°C	线膨胀系数 10 ⁻⁶ /°C
		抗压	抗折	抗拉	弹性模量 (kg/cm²)	泊桑比				
花 岗 岩	2.65	1500	140	55	5.2×10 ⁵	0.20	0.35	570	1.8	7.0
安 山 岩	2.50	1000	85	45	—	—	2.50	1000	1.5	8.0
凝灰岩(软)	1.50	90	35	8	—	—	17.20	1000	0.7	8.0
砂岩(软)	2.00	450	70	25	1.7×10 ⁵	0.19	11.00	1000	0.7	8.0
粘 板 岩	2.70	700	700	—	6.8×10 ⁵	—	—	1000	—	—
大 理 石	2.70	1200	110	55	7.7×10 ⁵	0.27	0.30	600	2.0	7.0
石 灰 石	2.70	500	—	—	3.1×10 ⁵	0.25	0.5~5.00	600	1.8	5.0
轻石(软)	0.70	30	—	—	7.0×10 ⁴	—	—	—	0.8	—

普通骨料质量要求[JASS 5] 表 1-13

品 种		绝干容重	吸 水 率 (%)	由碎石形状 判断实积率 (%)	粘土含量 (%)	水洗失重 (%)①	有 机 物 含 量	含 盐 量 (%)
卵石、碎石	I 级	>2.5	<2.0	>57	<0.25	<1.0	—	—
	II 级	>2.5	<3.0	>55	<0.25	<1.0	—	—
	III 级	>2.4	<4.0	>53	<0.5	—	—	—
砂	I 级	>2.5	<3.0		<1.0	<2.0	试验溶液的颜 色不得深于标准 色	<0.04
	II 级	>2.5	<3.5		<1.0	<3.0		<0.1
	III 级	>2.4	<4.0		<2.0	<5.0		<0.1

① 碎石如因含石粉而造成水洗失重，含量可允许到1.5%以下。

轻骨料质量要求[JASS 5] 表 1-14

等级	生产类别 ①	按混凝土抗 压强度分类 ①	按骨料实 积率分类 ①	坚 固 性 (%)①	按 绝 干 容重分类 ①	(粗)细度模数 允许变动范围		浮 粒 率 (%)
						粗 骨 料	细 骨 料	
I 级	陶 粒	400	A	—	重	±0.30	±0.15	<10
		300		—	中			
II 级	陶粒、天 然轻骨料及 工业副产品	400	A	<12②	重	±0.30	±0.15②	<10
		300						
III 级	陶粒、天 然轻骨料及 工业副产品	200	B	(不包括陶粒)	轻	±0.30	±0.15	—
		400	A	<20	重	陶 粒	陶 粒	
		300			中			
		200	B	(不包括陶粒)	轻	±0.30	±0.15	

① 依据JISA5002《结构用轻混凝土骨料》。
② 天然轻骨料、工业副产品轻骨料设计标准强度低于180kgf/cm²时坚固性在20%以下，细骨料的细度模数允许变动范围为±0.25。

轻骨料按绝干颗粒容重分类JIS A 5002 表 1-15

类 别		细 骨 料	粗 骨 料
L	(轻)	<1.3	<1.0
M	(中)	1.3~1.8	1.0~1.5
H	(重)	1.8~2.3	1.5~2.0

骨料颗粒容重要求值 表 1-16

种 类	要 求 值	备 注
碎 石	>2.5	面干容重JIS A 5005
碎 砂	>2.5	绝干容重JIS A 5004
道路用碎石	>2.45	面干容重JIS A 5001
高炉矿渣粗骨 料	A>2.2 B>2.4	绝干容重JIS A 5011
高炉矿渣细骨 料	>2.5	绝干容重JIS A 5012
普通骨料Ⅰ、Ⅱ 级	>2.5	绝干容重JASS 5
普通骨料Ⅲ 级	>2.4	绝干容重JASS 5
粗 骨 料	>2.5	面干容重RC规范说明

骨料颗粒容重实例 表 1-17

种 类	容重范围	备 注
河沙、河卵石	2.5~2.65	面干容重
山砂、山碎石	2.3~2.5	较河砂稍轻
矿渣粗骨料	2.2~2.7	由于生产方法不同而异
人造轻骨料	粗 1.25~1.30	5 种商品牌号
	细 1.6~1.75	5 种商品牌号
大岛产浮石	1.6~1.9	
浅间产浮石	0.9~1.0	

3.吸水率、内部含水率与表面含水率

骨料的含水状态如图1-4所示,骨料的有效吸水量为颗粒由气干状态到面干状态所吸的水量,配合比的单方用水量是以面干状态为基础的,所以用水量必须随骨料的有效吸水量及表面含水量情况进行调整。

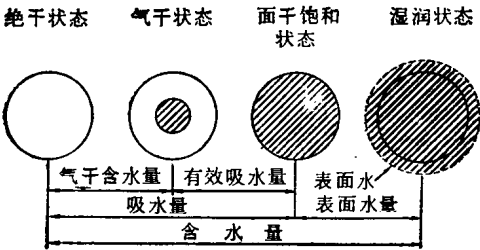


图 1-4 骨料含水状态

吸水率 = $\frac{\text{吸水量}}{\text{绝干重量}} \times 100(\%)$

内部含水率 = $\frac{\text{内部含水量}}{\text{绝干重量}} \times 100(\%)$

有效吸水率 = $\frac{\text{有效吸水量}}{\text{绝干重量}} \times 100(\%)$

表面含水率 = $\frac{\text{附着水量}}{\text{面干重量}} \times 100(\%)$