

水泥物理检验

(第三版)

建筑材料科学研究院 编

中国建筑工业出版社

本书汇集了通用水泥和特种水泥的品质标准, 主要性能及检验方法, 以及水泥混合材料的基本知识和质量要求; 分别叙述了水泥的各种物理和力学性能如需水性、安定性、凝结和流变性、细度、抗蚀性、水化热、收缩膨胀、耐久性等, 同时介绍了各种测试方法。此外, 还介绍了一些物理检验测试仪器的使用和维护, 以及数据统计方面的知识, 可供水泥生产和使用单位的工程技术人员、管理人员和工人参考。

*

*

*

责任编辑: 汪瑞芬

水泥物理检验

(第三版)

建筑材料科学研究院 编著

*

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: 850×1168毫米 1/32 印张: 13⁷/₈ 字数: 371 千字

1985年7月第三版 1985年7月第一次印刷

印数: 1—8,800册 定价: 4.20元

统一书号: 15040·4801(精)

第三版序言

水泥物理性能及其检验方法是评定和控制水泥质量的依据和必要手段，也是贯彻执行水泥标准、控制水泥生产、保证工程质量的重要措施。

近年来，我国水泥工业有了很大发展。除了大中型厂不断新建和扩建外，地方水泥厂发展很快。水泥产量持续增长，水泥品种也越来越多。提高水泥质量，加强质量监督是当前非常重要的任务。

随着水泥工业和科技的发展，水泥物理检验技术也取得了一些新的成就。特别是1979年开始在全国范围内全面实施水泥新标准。水泥标号的检验由硬练法改为软练法，其他物理性能检验也有较大变动。同时，国家陆续颁布了一些新标准。这对水泥质量和性能检验工作提出了新的要求。

为了满足水泥物理检验工作的需要，我们对1973年的增订版作了修订和补充，对各章节内容作了较大的变动。第一、二章汇集了通用水泥和特种水泥的品质标准、主要性能及其检验方法。第三章介绍了水泥混合材料的基本知识和质量要求。第四章至第十一章按水泥基本性能分章介绍水泥的需水性和安定性、凝结和流变性、细度、抗蚀性、水化热、收缩膨胀、耐久性等，同时介绍各种测试方法。第十二、十三章则介绍一些常用的快速和非破损检验水泥物理力学性能的测定方法。根据加强质量控制和监督检验的要求。第十四、十五章我们概述了一些物理检验测试仪器和数据统计方面的知识。

水泥物理性能和检验内容较多，涉及面广。这次修订仅限于目前的条件和水平，不很全面，疏漏和错误在所难免，请广大读

者提出宝贵意见，以便今后作进一步修改，使之不断完善。

参加本书修订编写工作的有：王幼云、王文义、童三多、施娟英、方德瑞、张大同、谢尧生、汤耀林、赵福欣、曾重庆、徐志学、徐东学，全书由童三多、王文义审校。

建筑材料科学研究院

1984年9月

目 录

第一章 通用水泥的性能和品质标准	1
1-1 硅酸盐水泥	1
1-2 普通硅酸盐水泥	4
1-3 矿渣硅酸盐水泥	7
1-4 火山灰质硅酸盐水泥	13
1-5 粉煤灰硅酸盐水泥	16
1-6 混合硅酸盐水泥	19
第二章 特种水泥及其物理试验方法	21
2-1 快硬硅酸盐水泥	21
2-2 中热和低热水泥	23
2-3 抗硫酸盐水泥	26
2-4 膨胀水泥	27
2-4-1 浇筑水泥	28
2-4-2 明矾石膨胀水泥	29
2-4-3 硅酸盐自应力水泥	32
2-4-4 铝酸盐自应力水泥	36
2-4-5 硫铝酸盐膨胀水泥	39
2-4-6 低热微膨胀水泥	40
2-5 高铝水泥	42
2-5-1 高铝水泥	42
2-5-2 高铝水泥—65	45
2-6 白水泥	46
2-7 油井水泥	49
2-7-1 45°C油井水泥	50
2-7-2 75°C油井水泥和95°C油井水泥	50

2-7-3 高温油井水泥	51
2-8 双快型砂水泥	60
2-9 双快抢修水泥	63
2-10 砌筑水泥	66
第三章 水泥混合材料	69
3-1 使用混合材料的意义	69
3-2 混合材料的分类	69
3-3 粒化高炉矿渣	70
3-3-1 概述	70
3-3-2 质量要求	71
3-4 火山灰质混合材料	77
3-4-1 概述	77
3-4-2 火山灰材料的技术指标	79
3-5 粉煤灰	84
3-5-1 概述	84
3-5-2 技术指标	87
3-6 非活性混合材料	92
3-7 其它材料	95
3-7-1 窑灰	95
3-7-2 钢渣	98
3-7-3 赤泥	100
3-7-4 磷渣	101
第四章 水泥的需水性和安定性检验	104
4-1 水泥的需水性	104
4-1-1 需水性的表示方法	104
4-1-2 水泥标准稠度用水量测定	106
4-1-3 水泥胶砂流动度测定	108
4-1-4 混凝土坍落度和工作性测定	109
4-2 水泥的安定性	110
4-2-1 安定性的意义	110
4-2-2 压蒸安定性	111
4-2-3 三氧化硫指标	112

4-2-4	试饼沸煮安定性	113
4-2-5	改善安定性的措施	114
第五章 水泥凝结和流变特性的检测		116
5-1	水泥的凝结	116
5-1-1	石膏的作用	116
5-1-2	假凝和瞬凝	117
5-1-3	水泥凝结时间的测定	118
5-2	水泥浆体凝结过程中粘、塑、弹性 的演变	120
5-2-1	凝结过程中结构特征	120
5-2-2	测试仪器	122
5-2-3	试验结果	124
5-3	新拌水泥浆体的流变模型	126
5-3-1	基本模型	126
5-3-2	组合模型和流变参数	128
5-3-3	毛细管粘度计	130
5-3-4	旋转粘度计	132
5-3-5	影响浆体流变参数的因素	135
5-4	水泥浆体的触变性	137
5-5	水泥凝结过程的粘聚性和可压缩性	142
5-6	水泥凝结过程中的其它特性	144
第六章 水泥强度检验		147
6-1	水泥强度的意义	147
6-2	抗拉强度	148
6-3	劈裂抗拉强度	150
6-4	抗折强度	153
6-5	抗压强度	155
6-6	水泥强度标准检验方法	156
6-7	国内外水泥强度软练法的比较	158
6-8	检验水泥强度的误差分析	164
6-9	影响水泥强度的生产工艺因素	168

6-10	水泥软硬练强度的关系	171
6-11	水泥强度的生产控制	176
第七章	水泥细度测定	181
7-1	概述	181
7-2	筛分析法	183
7-3	透气法测定比表面积	184
7-3-1	透气法的基本原理及计算公式	185
7-3-2	T-3型透气仪和勃氏透气仪测定比表面积	188
7-3-3	费氏平均粒度仪测定比表面积	196
7-3-4	透气法评价	200
7-4	动态吸附法测定比表面积	200
7-5	沉降分析法	207
7-5-1	基本原理	208
7-5-2	移液管沉降分析法	209
7-5-3	光透沉降分析法	212
7-5-4	沉积天平法	218
7-5-5	空气离析法	225
7-6	库尔特计数法	226
7-7	激光衍射法	231
第八章	水泥抗蚀性试验	236
8-1	环境水对水泥侵蚀的分类及其特征	236
8-2	环境水侵蚀标准	241
8-3	抗蚀性试验方法分类	249
8-4	碎水泥块与侵蚀溶液的混合搅拌法	249
8-5	侵蚀溶液滤过已硬化试体的方法	251
8-6	根据强度变化测定水泥抗硫酸盐 侵蚀的方法	253
8-6-1	1:3.5胶砂小试体方法	253
8-6-2	1:2.5胶砂小试体快速方法	256
8-7	用声学方法测定水泥抗硫酸盐 侵蚀性能	260

第九章 水泥水化热测定	264
9-1 概述	264
9-2 水泥水化反应与放热量	265
9-3 水泥水化热方法分类	266
9-4 直接测定法	267
9-4-1 测试原理	267
9-4-2 仪器设备	267
9-4-3 试验方法	269
9-4-4 影响结果准确性的因素及注意事项	274
9-5 间接测定法	275
9-5-1 测试原理	275
9-5-2 仪器设备及试剂	275
9-5-3 试验步骤	277
9-5-4 影响结果准确性的因素及注意事项	283
9-6 混凝土绝热温升试验	285
9-6-1 试验目的	285
9-6-2 测定原理	285
9-6-3 试验设备	285
9-6-4 试验步骤	286
9-6-5 试验结果处理	287
9-6-6 影响试验准确性的因素	288
9-7 方法评价	288
第十章 水泥收缩膨胀试验	290
10-1 概述	290
10-2 水泥胶砂干缩试验方法	292
10-2-1 仪器设备	292
10-2-2 试验操作	294
10-2-3 结果计算	295
10-2-4 影响试验结果的因素	295
10-3 水泥开裂性试验方法	296
10-3-1 仪器设备	296
10-3-2 试验操作	297

10-3-3 影响试验结果的因素	297
10-4 水泥膨胀率的测定	297
10-4-1 雷氏夹法	299
10-4-2 线膨胀法(自由膨胀)	300
第十一章 水泥耐久性试验	301
11-1 抗渗性	301
11-2 抗冻性	303
11-3 耐磨性	306
11-4 碱骨料反应	308
11-5 碳化与钢筋锈蚀	313
11-6 耐热性	318
第十二章 水泥快速强度测定	321
12-1 概述	321
12-2 统计法	322
12-3 矿物组成估算法	323
12-4 化学法	326
12-5 高温养护法	329
12-6 小试体法	332
第十三章 非破损检验	334
13-1 概述	334
13-2 回弹仪表面硬度法	335
13-3 音频共振法	342
13-4 超声脉冲法	348
13-5 音频共振法的应用	351
13-6 超声脉冲法的应用	354
第十四章 水泥物理性能检验的仪器设备	357
14-1 压力试验机	357
14-1-1 压力试验机的分类	357
14-1-2 液压式压力机工作原理	358
14-1-3 压力试验机的油泵	360
14-1-4 压力试验机的测力机构	367

14-1-5	压力试验机的油阀	370
14-1-6	压力试验机的检定	372
14-1-7	压力试验机的安装及使用	374
14-1-8	压力试验机的故障与调修	376
14-2	水泥胶砂搅拌机	379
14-3	水泥胶砂振动台	385
14-4	抗折试验机	389
14-5	抗压夹具	394
14-6	试模、净浆标准稠度与凝结时间测定仪、 标准筛	396
14-7	水泥胶砂流动度测定仪	399
14-8	水泥净浆搅拌机	401
第十五章	实验数据统计基本知识	403
15-1	求平均值的方法	403
15-2	数字修约规则	405
15-3	误差计算	406
15-4	高斯正态分布定律及保证率	409
15-5	直线关系式的建立	412
附录		419
附录一	各国标准筛规格	419
附录二	计量单位及换算	423
附录三	水泥物理检验仪器及温度换算表	426

第一章 通用水泥的性能 和品质标准

适用于大多数工业民用建筑工程的通用水泥，主要有硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和混合硅酸盐水泥。它们同属于硅酸盐水泥系列，都是以硅酸盐水泥熟料为其主要成份，都用石膏作调凝剂。不同品种之间的差别主要在于掺合料的种类和掺量有区别。由于所有的硅酸盐水泥系列的水泥，其胶凝性主要来自水化硅酸钙，因此要把该系列中的不同品种水泥的性能作截然的区分（特别是常用的这六种水泥）实际上是不可能的。因而，在实际使用时可能会遇到这样的情况，即同一品种水泥的性能差别甚至会超过不同品种之间的差别。所以本章只就这几种通用水泥的主要特点和总的轮廓作一简要地介绍。

1-1 硅 酸 盐 水 泥

泛指以硅酸钙为主要成分的水泥。按我国现行水泥标准系指由硅酸盐水泥熟料和适量石膏，磨细制成的水硬性胶凝材料，习称纯熟料水泥，国际上称为波特兰水泥。它是当前世界上用量最多，使用范围最广的水泥品种。它具有硅酸盐水泥系列的各种特点是硅酸盐水泥系列的代表。

硅酸盐水泥的特性主要取决于硅酸盐水泥熟料中的矿物组成和它的粉磨细度。美国材料试验协会标准（ASTM）C150 将波特兰水泥分成性能不同的五大类，主要是对每类水泥规定熟料不同的矿物组成。我国幅员广大，各地原、燃料差别很大，各厂的

熟料矿物组成可有较大差别，加上标准中没有加以分类，因此同是硅酸盐水泥，在个别性能上不同厂的水泥可能差别很大。但总的说来硅酸盐水泥一般具有以下特点：

(1) 比重：一般为 $3.10 \sim 3.20$ 克/厘米³；

容重：大约为 $1300 \sim 1600$ 公斤/米³。

(2) 凝结时间较短，水化时放热集中。

(3) 标号高。硅酸盐水泥的标号实际上与水泥熟料的标号一致。我国大中型水泥厂的熟料平均标号在 600 号左右，因此硅酸盐水泥的标号一般都要达到 525 号，比普通水泥、矿渣水泥都要高。

(4) 快硬、早强。硅酸盐水泥的水化、硬化速度可因熟料的矿物组成和形态不同有所差异。但与掺混合材料的水泥相比，由于水化产物的数量占优势，其硬化速度和早期强度仍然是比较高的，一般 3 天的抗压强度可达到 28 天的 50~57%，7 天可达到 73~78%。表 1-1 是我国部份水泥厂生产的硅酸盐水泥早期抗压强度增进情况。

1980 年我国部分厂的硅酸盐水泥

早期抗压强度平均增进率

表 1-1

厂 家	3 天	7 天	28 天 (抗压强度, 公斤/厘米 ²)
广 州	57	78	100 (654)
湘 乡	57	78	100 (614)
柳 州	52	74	100 (622)
华 新	49	74	100 (680)
大 连	52	75	100 (623)
中 国	54	75	100 (589)
江 南	56	78	100 (652)

(5) 抗冻性好、耐磨能力强。

(6) 抗硫酸盐侵蚀能力视熟料中 C_3A 和 C_3S 矿物的含量不同有所差异。这是由于侵入的 SO_4^{2-} 与水泥硬化体中的 $Ca(OH)_2$

作用生成 CaSO_4 ，然后与水化铝酸盐作用生成钙矾石是硫酸盐破坏的主要过程。 C_3A 和 C_3S 含量低的水泥可减少形成钙矾石的条件，因此将减少它所造成的危害。

(7) 水化热较大。硅酸盐水泥的水化热是硅酸盐系列水泥中最大的。但不同矿物组成的硅酸盐水泥其水化热也不一样，熟料中游离氧化钙、 C_3S 、 C_3A 的含量不同，水泥水化热可有明显差别。

(8) 对外加剂的作用比较敏感。实践表明，在使用表面活性外加剂助磨或减水时，硅酸盐水泥较其它掺有混合材的水泥具有较好的效果。其中尤以熟料中 C_3A 含量较低， C_3S 含量较高和细度较细的水泥更能较充分地发挥减水剂的分散、塑化和减水效应。

(9) 耐热性仅次于矿渣水泥。

由上可见硅酸盐水泥一般适用于配制高标号混凝土，先张预应力制品，石棉制品，道路，低温下施工的工程和一般受热（ 250°C 以下）的工程。不经过专门的检验，一般不宜用于大体积混凝土和地下工程，特别是有环境水侵蚀的工程。

硅酸盐水泥的品质指标必须符合GB175—77《硅酸盐水泥普通硅酸盐水泥》的要求：

(1) 熟料氧化镁的含量不得超过5%。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%。

(2) 水泥中三氧化硫的含量不得超过3.5%。

(3) 细度按GB1345—77筛析法检定，0.080毫米方孔筛筛余不得超过15%。

(4) 初凝时间不得早于45分钟，终凝时间不得迟于12小时。

(5) 安定性用沸煮法检验必须合格。

(6) 硅酸盐水泥分425, 525, 625三个标号，各龄期强度均不得低于表1-2数值：

应当指出，与我国硅酸盐水泥标准不同，近年来一些国家允

许在波特兰水泥中掺加少量的混合材料。以求改善性能和节约能源（表1-3）。

表 1-2

水泥标号	抗压强度(公斤/厘米 ²)			抗折强度(公斤/厘米 ²)		
	3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
425	180	270	425	34	46	64
525	230	340	525	42	54	72
625	290	430	625	50	62	80

某些国家波特兰水泥中允许掺加外加物情况 表 1-3

国 家	外 加 物 种 类	外加物占水泥重量, %	标 准 编 号
日 本	矿渣、石灰石、火山灰、粉煤灰等	≤ 5	JIS R5210—1979
比 利 时		≤ 5	NBNB12—101—1969
奥 地 利	无机矿物材料	≤ 5	onormB3310—1980
捷 克		≤ 2	CNS722121—1972
荷 兰	为影响颜色和流变的物质	≤ 5	NEN3550—1979
法 国	填充性物质	≤ 3	NFP—
联邦德国	无机矿物材料如矿渣、凝灰岩、未煅烧或部分煅烧的水泥原材料	≤ 5	DIN1164—1978
希 腊	填充物	≤ 3	总统令No244—1980

1-2 普通硅酸盐水泥

普通硅酸盐水泥简称普通水泥。它是由硅酸盐水泥熟料、少量混合材料、适量石膏磨细制成的。其中混合材料掺量按水泥重量百分比计，活性的不得超过15%，非活性的不超过10%；同时

掺用活性与非活性混合材的总量不得超过15%，其中非活性的仍不得超过10%。但近年来对水泥回转窑窑灰利用的研究结果认为，在普通水泥中用不超过5%的窑灰代替其中的等量混合材是可行的，并建议在标准中列入这一内容。

普通水泥分列225、275、325、425、525、625六个标号，实际大量生产的主要为425、525二个。目前我国生产的普通水泥，其中混合材料的掺量绝大多数都接近于15%，很少有10%以下的，与硅酸盐水泥相比仅在于熟料组分稍有减少。因此它的性能与硅酸盐水泥无根本区别，但有所改变。这种改变与所掺用的混合材料种类有关，如掺用火山灰质混合材料，则需水性有增大趋势；掺用石灰石则会使早期强度增进得快些；若掺用矿渣则将提高后期强

1980年我国生产的普通水泥抗压强度增进率(%) 表 1-4

厂 家	标 号	3 天	7 天	28 天 (抗压强度公斤/厘米 ²)	备 注
上 海	525	46	54	100 (668)	混合材为煤矸石
渡 口	525	63	82	100 (578)	
启 新	525	57	79	100 (612)	
胜 利	525	55	78	100 (619)	
江 山	525	49	69	100 (650)	
大 同	525	59	80	100 (592)	
永 登	525	44	73	100 (602)	
新 疆	525	46	72	100 (648)	
开 远	525	56	77	100 (633)	
永 安	525	43	68	100 (669)	
柳 州	525	48	71	100 (648)	混合材为火山灰
牡 丹 江	425	40	65	100 (508)	
邯 郸	425	39	64	100 (650)	
渡 口	425	57	81	100 (495)	
耀 县	425	59	78	100 (545)	
洛 阳	425	49	72	100 (535)	
中 国	425	46	71	100 (509)	
大 连	425	40	71	100 (614)	
峨 嵋	425	53	74	100 (472)	
本 溪	425	35	58	100 (638)	

度的增进率等等。一般说来普通水泥与硅酸盐水泥相比：比重略有降低，达到3.10克/厘米³左右；早期强度增进率稍有减小，而且各厂水泥间早期强度增进率的差别也增大（表1-4）；抗冻性、耐磨性稍有下降（表1-5）；低温凝结时间有所延长；抗硫酸盐侵蚀能力有所增强。从整个性能来看，这种水泥适应性较好，无特殊要求的工程都可以使用，是当前我国用于重要工程的主要水泥品种。

试体磨损重量损失(%)

表 1-5

矿渣掺量 (%)	江南熟料 武钢矿渣	江南熟料 鞍钢矿渣	抚顺熟料 鞍钢矿渣	重庆熟料 重钢矿渣	广州熟料 韶钢矿渣	北京熟料 大同矿渣
0	6.06	6.06	3.99	2.99	2.08	3.17
15	7.06	6.19	3.41	2.10	2.87	3.89

普通硅酸盐水泥的品质指标必须符合GB175—77的要求：

(1) 熟料氧化镁的含量不得超过5%。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%。

(2) 水泥中三氧化硫的含量不得超过3.5%。

(3) 细度按GB1345—77筛析法检定，0.080毫米方孔筛筛余不得超过15%。

(4) 初凝时间不得早于45分钟，终凝时间不得迟于12小时。

表 1-6

水泥标号	抗压强度(公斤/厘米 ²)			抗折强度(公斤/厘米 ²)		
	3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
225	—	130	225	—	28	45
275	—	160	275	—	33	50
325	120	190	325	25	37	55
425	160	250	425	34	46	64
525	210	320	525	42	54	72
625	270	410	625	50	62	80