

水泥工业 大气污染源控制手册

大气污染源控制手册编写组 编

中国环境科学出版社



水泥工业大气污染源控制手册

大气污染源控制手册编写组

中国环境科学出版社

·北京·

大气污染源控制手册编写名单

日本方

主 编:日本环境厅大气保全局大气规制课

副 主 编:海外环境协力中心

财团法人北九州国际协力协会

编写组成员:日本水泥株式会社

三菱材料株式会社

宇部兴产株式会社

北九州市环境局

中国方

主 编:洪少贤

副 主 编:樊元生 赵维钧 焦志延

编写组成员:李 蕾 刘 孜 黄慧娟 吕文艳 周水华

汤大钢 陈 岩 杜 渐 张 杰 罗宜平

董景春 杨建军 郝彦伟 黄树林 夏昌建

薛延清 鄂保良 黄四领 徐建池 卢子文

张德发 崔 强

前 言

发展中国家的大气污染问题正随着快速的城市化和工业化而加剧,探讨大气污染防治对策是一个急迫的课题。然而,在发展中国家,与大气污染防治对策密切相关的排烟削减技术和监测技术等尚处于起步阶段。

日本在克服高度经济增长过程中所产生的严重大气污染问题方面曾做过不懈努力,取得了显著的成果,在大气污染控制方面所取得的成功经验和成熟技术,很值得发展中国家借鉴和应用,对发展中国家开展大气污染控制工作会有不少益处。

因此,日本环境厅为援助发展中国家防治大气污染所采取的措施,从1995年开始,按照不同的制造业,遵从各地的要求,编写了一系列工业行业大气污染固定排放源控制对策手册,实施了普及推广工作。首先,在1995年至1996年的两年中,日本针对火力发电厂和钢铁工业,以在中国的现场实际调查和召开现场工作会议为基础,广泛听取了行政和企业有关人员的有益意见,编写了火力发电厂和钢铁工业大气污染固定源对策手册。同样,1997年度至1998年度,编写了有色金属(铝、铜制造业)和水泥制造业的手册。

本手册是以发展中国家的环境保护行政管理人员、科研工作者、以及工厂、企业环保工作人员等为对象而编写的,殷切希望该手册能在有关领域得到广泛应用,以达到改善发展中国家的大气污染状况的目的。

在这本手册出版工作中,得到了有关部门的大力支持,承蒙许多有识人士的指导,陈岩博士和杜渐先生在翻译和译文校对方面付出了辛勤劳动,在此一并表示衷心的感谢。由于水平有限,出版时间仓促,有错误之处,敬请读者和专家指正。

大气污染源控制手册编写组

2000年11月18

目 录

1 绪论	(1)
1. 1 什么是水泥	(1)
1. 1. 1 水泥的定义	(1)
1. 1. 2 水泥的规格	(6)
2 水泥制造行业	(9)
2. 1 水泥制造原料	(9)
2. 1. 1 石灰质原料	(10)
2. 1. 2 黏土质原料	(10)
2. 1. 3 硅酸质原料	(10)
2. 1. 4 铁原料	(10)
2. 1. 5 其他原料	(11)
2. 1. 6 石膏	(11)
2. 2 水泥制造方法概要	(11)
2. 3 水泥制造工艺	(14)
2. 3. 1 原料工艺	(14)
2. 3. 2 烧成工艺	(19)
2. 3. 3 制成工艺	(35)
2. 4 水泥工厂的清洁生产技术	(36)
3 水泥制造行业的大气污染防治技术	(41)
3. 1 水泥制造行业产生的大气污染物及其污染源	(41)
3. 1. 1 大气污染物的定义	(41)
3. 1. 2 与水泥制造行业有关的大气污染物及其污染源	(41)
3. 2 大气污染防治技术	(42)
3. 2. 1 烟尘防治技术	(42)
3. 2. 2 硫化物防治技术	(45)
3. 2. 3 氮氧化物防治技术	(48)
3. 2. 4 防止粉尘产生对策	(50)
3. 3 大气污染防治设备相关机械的管理要点	(53)
3. 3. 1 集尘设备的管理要点	(53)

3. 3. 2 运行管理的要点	(56)
3. 3. 3 大气污染监测装置的管理要点	(57)
3. 4 大气污染的监测	(58)
3. 4. 1 环境监测	(58)
3. 4. 2 分析技术	(68)
3. 5 水泥制造工厂的环境管理	(89)
3. 5. 1 环境管理体制	(89)
3. 5. 2 教育研修制度	(94)
3. 5. 3 环境影响评价	(99)
4 日本水泥制造行业大气污染治理的经验	(102)
4. 1 日本水泥制造行业的历史	(102)
4. 2 大气污染控制	(105)
4. 3 大气污染对策的原委	(106)
4. 3. 1 烟尘、粉尘对策	(106)
4. 3. 2 SO _x 对策	(108)
4. 3. 3 NO _x 对策	(108)
4. 4 大气污染对策的成果和教训	(108)
5 发展中国家的水泥制造行业和大气污染治理的现状	(111)
5. 1 水泥制造行业的现状	(111)
5. 2 大气污染现状	(111)
5. 3 事例研究	(112)
5. 3. 1 中国的水泥制造行业现状	(112)
5. 3. 2 中国大气污染现状	(113)
5. 3. 3 中国水泥制造行业的环境污染	(114)
5. 3. 4 主要水泥工厂的概况及其环境管理状况	(115)
5. 3. 5 水泥工厂大气污染的解决方案	(121)
5. 4 今后中国水泥制造行业的展望	(127)
6 针对发展中国家水泥制造业大气污染进行技术协作的事例	(129)
6. 1 NEDO 的协作事例	(129)
6. 1. 1 水泥排热发电设备示范工程 (中国: 宁国)	(129)
6. 1. 2 设备示范工程	(129)
6. 2 JICA 的协作事例	(129)

7 补充说明	(130)
7.1 有关环境对策的经济性分析	(130)
7.2 有关中小企业的大气污染防治对策	(130)
7.3 有关大气污染防治设备的管理	(131)
7.4 有关废弃物的再利用	(131)
7.5 成果及教训	(132)
7.6 有关来自日本的人力、财力援助	(135)
7.7 有关水泥工厂内的粉尘防治对策	(135)
7.8 有关静电除尘器与布袋除尘器的比较	(135)
7.9 有关 SO_x 的防治对策	(136)
7.10 有关 NO_x 的防治对策	(137)
7.11 有关烟尘的综合利用	(139)
7.12 有关立窑的大气污染防治对策	(140)
7.13 有关 CO 的连续在线分析测试	(141)
7.14 有关余热发电的经济性评价	(141)

1 绪 论

1.1 什么是水泥

1.1.1 水泥的定义

(1) 水泥的定义

水泥 (Cement) 的英语语源是拉丁语的 Caedere (即碎石的意思), 现已转化为结合材料的意思。

一般来说, “以石灰为主要成分的用于土木建筑的无机材料, 具有与水反应后固化性质的物质”被称作水泥, 就制造方法而言, 水泥被看作“主要以石灰质原料和粘土质原料按适当比例混合而成的粉末状物质被烧制成烧结渣, 与石膏等物质混合后被粉碎的物质”。

水泥具有与水反应后固化的性质, 当水泥仅与水混合生成的糊状物称作“水泥膏”, 这种水泥膏可以看作像浆糊一样的物质。与水泥相比, 加入较多的水时称作“薄浆”, 粘接力较弱; 加入的水较少时称作“厚浆”, 具有较强的粘接力。

通常, 几乎不使用这种水泥膏, 因为如果在填充一定深度时直接使用, 会出现水泥与水分分离并沉降的现象, 另外, 从经济性的角度而言也不可能大量直接使用。所以便出现了在水泥膏中混入沙子来充当涂壁材料, 此时的状态就是“灰浆”。但遗憾的是这种“灰浆”的用途也仅适用于较薄层涂装, 使用于较厚构造时无论是性质上还是经济上都毕竟难以令人接受。因此, 在灰浆中进一步加入砾石类小型石材作为骨材, 使水泥膏仍履行“粘接剂”的使命, 将砾石等小块石头坚固地粘接在一起, 这便是“混凝土”, 作为最经济的建筑材料被广泛地应用于建筑物的建设和土木构造。

(2) 水泥的硬化原理

在水泥中加入水并不断搅拌后静置, 最初会变成粘土状, 但随着时间的延长渐渐变硬, 进一步延长静置时间, 就变成纯粹的固体。这是因为水泥中的化合物与水发生反应形成“新化合物”。这种和水发生的化学反应叫做“水合反应”。严格地说, 逐渐变硬而无法变形的过程称作“凝结”, 变成更为坚固的物质的过程称作“硬化”。

图 1-2 说明了水和水泥反应生成“水合物”的过程。水泥颗粒随着和水发生的反

应的进行，被水合生成物覆盖，水合生成物之间逐渐结合并最终变成固体。

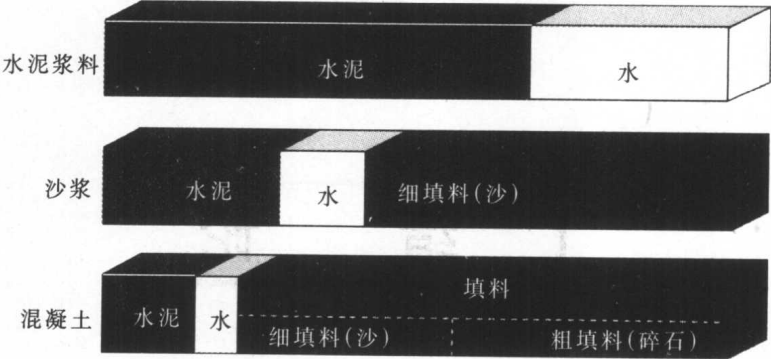


图 1-1 水泥的使用方法

注：比例为质量比，大致比例

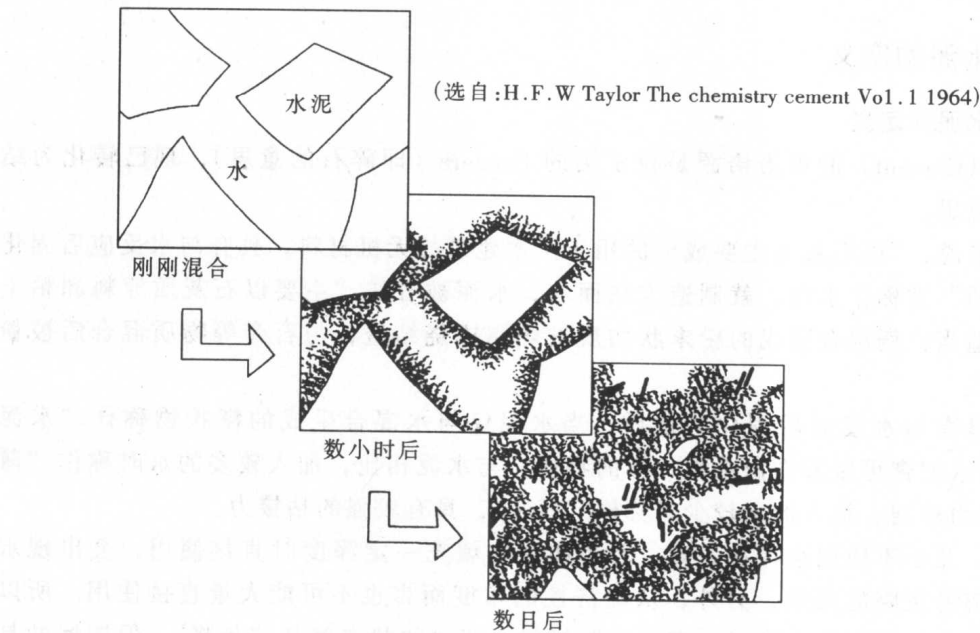


图 1-2 波特兰水泥的水调和过程

〔资料来源：水泥的常识（社）水泥协会〕

水泥中的这些化合物与水反应形成新的化合物（水合生成物）的这种反应，与一般化学反应同样，在很大程度上受着温度的影响，即温度低时反应较慢，温度高时反应较快。另外，因为是与水发生反应，所以在极度干燥的条件下会出现无法变硬的情况，相反，只要在水不流动的条件下，即使在水中也可硬化。

构成水泥的主要化合物是被称作“硅酸三钙”、“二钙硅酸盐”、“铝酸盐相”、“铁酸盐相”等 4 种物质。其中，“硅酸三钙”和“二钙硅酸盐”是“硅酸钙”化合物，占整体的 70%~80%；而“铝酸盐相”、“铁酸盐相”只是一种填补间隙的存在，也被称作“间隙相”，占整体的 15%~18%。

表 1-1 构成水泥熟料的材料

水泥熟料的构成化合物		化学组成	备 考
硅酸钙	A	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S)	含有微量的铝、铁、镁、钠、钾、钛、锰等
	B	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S)	
间隙相	阿尔米耐特相	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)	含有少量的二氧化硅、镁、钠、钾等
	福艾拉依特相	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF)	

注：各化合物通常包含备考栏所列的成分。 [资料来源：水泥常识、(社)水泥协会]

将这些化合物用化学式表达如表 1-1 所示，表中括号内的符号是仅限于水泥化工领域使用的独特的省略符号，“C”代表 CaO 、“S”代表 SiO_2 、“A”代表 Al_2O_3 、“F”代表 Fe_2O_3 。例如， C_3S 是指由 3 个 CaO 和 1 个 SiO_2 构成，化学式上是表达“ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ”的意思。

这 4 种化合物与水接触后马上开始反应，其中，“硅酸三硅石 C_3S ”和“铝酸盐相 C_3A ”的反应速度较快，“铝酸盐相”的反应速度尤其急速，具有立即硬化的特性。所以，在施工作业过程中会出现灰浆或混凝土硬化而无法使用的情况。

因此，“石膏”便开始大显身手，石膏被水溶解后最初与铝酸盐相反应并生成叫做“钙矾石”的化合物，钙矾石生成于铝酸盐相的表面，从而抑制铝酸盐相和水发生进一步的反应，起到适度延缓水合反应速度的作用。换句话说，石膏具有调节水合反应速度的功能。

另外，硅酸三硅石通过加入水后的分解反应，在颗粒表面生成薄膜，同样起到延缓水合反应的作用。

(3) 水泥的分类

一般情况下，“水泥”是指“硅酸盐水泥”，尤其泛指普通硅酸盐水泥。这是因为普通硅酸盐水泥的用途非常广泛，甚至被称作“万能水泥”。但是，现在日本工业规格(JIS)中规定的水泥有许多种类，根据其用途进行分类见表 1-2。其中的 6 种硅酸盐水泥利用铁酸盐相等各种化合物的不同特性，如图 1-3 所示，在制造时调整了其构成比例。

1) 硅酸盐水泥

① 普通硅酸盐水泥

用于土木工程、建筑物建设，在全国任何地方均可见到的适用范围极广。具有在市场上袋装销售，易于购入等特点，即使是在小规模建筑时也经常被使用。现在，在日本国内被使用的水泥的 73% 是这种水泥。

② 早强硅酸盐水泥

提高硅酸三硅石 C_3S 的含量，可使其成为短时间内达到高强度的水泥。例如，使用普通硅酸盐水泥需 3 天达到的强度早强硅酸盐水泥只需 1 天便可达到，而普通硅酸盐水泥需 7 天达到的强度只需 3 天就能达到。利用这个特性，早强硅酸盐水泥被经常地使用于紧急施工、冬期施工、混凝土制品。

表 1-2 JIS 中规定的水泥种类

波兰特水泥	普通波兰特水泥	同、低碱性
	快速固化波兰特水泥	同、低碱性
	超快速固化波兰特水泥	同、低碱性
	中熟波兰特水泥	同、低碱性
	低熟波兰特水泥	同、低碱性
	耐硫酸盐波兰特水泥	同、低碱性
混合水泥	矿渣水泥 (A、B、C 种类)	
	煤灰水泥 (A、B、C 种类)	
	硅酸盐水泥 (A、B、C 种类)	

资料来源：水泥常识、(社)水泥协会

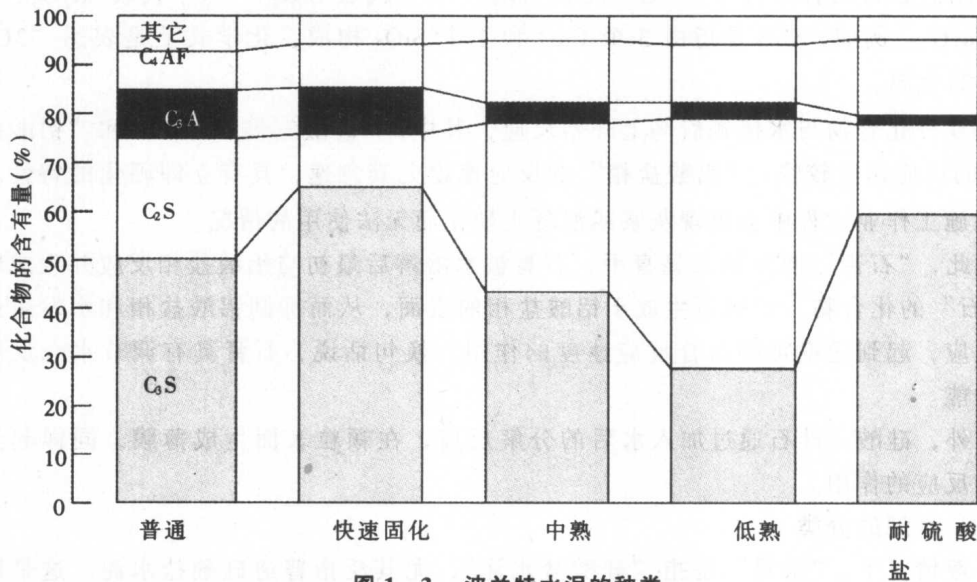


图 1-3 波兰特水泥的种类

[资料来源：水泥常识、(社)水泥协会]

③超早强硅酸盐水泥

比早强硅酸盐水泥具有在更短的时间内达到某一强度的特点。例如，普通硅酸盐水泥需 7 天达到的强度只需 1 天便可实现。常使用于紧急补修。

④中热硅酸盐水泥

用于体积巨大的建筑物的施工，为降低水合热，减少了硅酸三钙 C_3S 和铝酸盐相 C_3A 的含量，其结果，变成二钙硅酸盐 C_2S 含量较高的水泥。除水合热较低外，还有干燥收缩小、对硫酸盐抵抗性强等特点。经常被使用于水库和大型桥墩的施工。

⑤低热硅酸盐水泥

比中热硅酸盐水泥的水合热更低的水泥。1997 年 4 月 20 日对 JIS R 5210 进行修订，将其编入硅酸盐水泥系列，二钙硅酸盐 C_2S 的含量被规定应高于 40%。这种水泥具有初期压缩强低，较长时间后达到需要强度的特点，可满足混凝土的低热性、高强度和较强流动性的要求，属高二钙硅酸盐型水泥的一种。

⑥耐硫酸盐硅酸盐水泥

由于水泥中铝酸盐相 C_3A 对硫酸盐的抵抗性较弱，极度减少其含量即制造成这种

水泥。硫酸盐存在于海水、地下水、温泉附近的土壤以及使用明矾的工厂的废水中，在这样的场所施工时往往使用这种耐硫酸盐硅酸盐水泥。

主要种类的水泥的灰浆压缩强如图 1-4 所示。

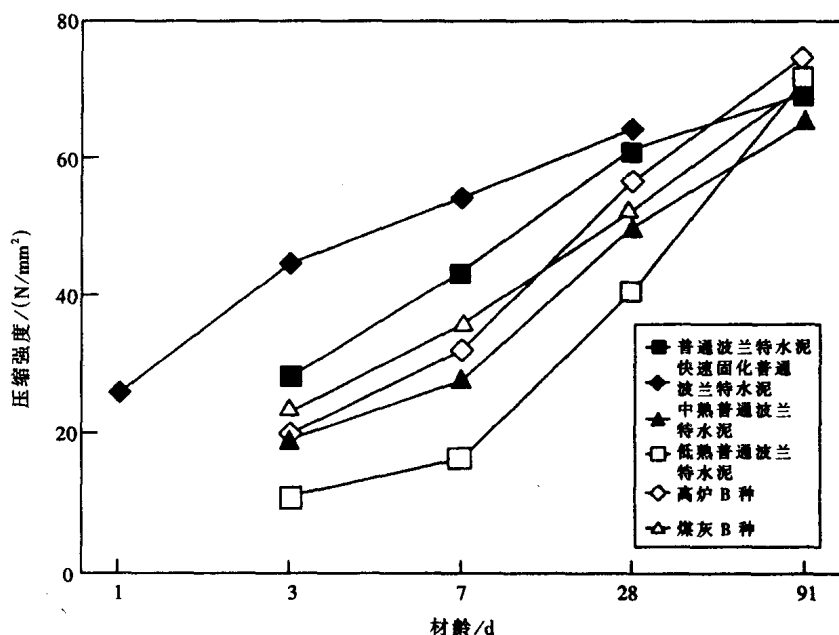


图 1-4 水泥灰浆的压缩强度(JIS R 5201-97)

[资料来源:水泥常识、(社)水泥协会]

注: $N/mm^2 = (100/9.8)kgf/cm^2$

2) 混合水泥

除硅酸盐水泥外还有各种混合材料混合而成的水泥。在 JIS 规格中规定的混合材料有高炉水渣、煤灰、硅质混合材料等 3 种，分别以混合材料的名称来命名各种混合水泥。

混合水泥根据其用途单独混入某种一定量的混合材料，在 JIS 规格中没有规定使用复数混合材料。

① 矿渣水泥

以熔融状态下排出的高炉水渣经冷水急速冷却后粉碎制成的混合材料加工而成的水泥叫做高炉水渣水泥。经这种方法制成的高炉水渣（水碎炉渣）具有在水泥发生水合反应时被氢氧化钙 ($Ca(OH)_2$) 所刺激，逐渐发生水合反应的性质（潜在水硬性）。

根据混入的高炉水渣的量的变化，规定将矿渣水泥分为 A 种（5% ~ 30%）、B 种（30% ~ 60%）和 C 种（60% ~ 70%）共 3 种。

一般情况下矿渣水泥的特性是，比普通硅酸盐水泥的初期强度小，4 周后其强度达到甚至超过普通硅酸盐水泥，这是因为高炉水渣受水泥的水合反应的影响而发生两次水合反应。除此以外还具有对海水有较强的抵抗性、特殊的水合反应使其结构致密等特点。利用这些特性，主要将矿渣水泥使用于土木施工。

但从另一面来看，矿渣水泥属于“慢慢硬化”的水泥，所以在初期要特别注意保养。

②煤灰水泥

是指以火力发电厂的锅炉排气中含有的煤灰为混合材料制成的水泥。煤灰是极细小的球状物，而其中经完全燃烧后不含碳的煤灰是更为优质的材料。

虽然煤灰本身不发生水合反应，但煤灰中含有的二氧化硅 (SiO_2) 与水泥在水合反应时生成的氢氧化钙 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 反应并生成水合物（这个反应称作“火山灰水泥反应”）。形成的水合物结构致密、耐久性强。

根据混入煤灰的量的变化，可将煤灰水泥分为 A 种 (5% ~ 10%)、B 种 (10% ~ 20%) 和 C 种 (20% ~ 30%) 共 3 种。

混入优质煤灰的煤灰水泥可制出加入搅拌水较少、流动性好、易于灌注的混凝土。又由于其水合热与干燥收缩小的特点，极适用于水库或对水密性有要求的建筑物的建设。

③硅质水泥

是以天然硅质混合材料制成的水泥。根据混入硅质混合材料的量的变化，JIS 规定将矿渣水泥分为 A 种 (5% ~ 10%)、B 种 (10% ~ 20%) 和 C 种 (20% ~ 30%) 共 3 种，但实际上生产的量极少。硅质混合材料是指二氧化硅含量 60% 以上时容易发生火山灰水泥反应（有“活性”）的物质。这种硅质水泥虽然有耐药剂性强的优点，但其初期强度低且达到要求强度所需时间过长的缺点。

1.1.2 水泥的规格

在 JIS 规格中，水泥被规定为实验方法 3 种、品质规定 4 种共 7 种规格如下。

【实验方法的规格】

JIS R 5201	水泥的物理实验方法
JIS R 5202	硅酸盐水泥的化学分析方法
JIS R 5203	水泥的水合热测定方法

【产品的品质规格】

JIS R 5210	硅酸盐水泥
JIS R 5210	矿渣水泥
JIS R 5210	硅质水泥
JIS R 5210	煤灰水泥

将这些品质规格整理后如表 1-3 所示。另外，水泥的品质代表实例如表 1-4 和 1-5 所示。

参考文献

1. [社团法人] 水泥协会. 水泥的常识. 1997

表 1-3 JIS 水泥的质量规格

水泥的种类	混合剂(质量%)	化学成分(%)				C ₃ S (%)	C ₃ A (%)	水和水热(U/g)		密度 [●] (g/cm ³)	比表面积 (cm ² /g)	凝结		安定性		压缩强度/(N/mm ²)				
		强热减量	三氧化硫	氧化镁	全碱	氟化离子						开始 (min)	结束 (h)	扁饼法	鲁下态里或法 (min)	1天	3天	7天	28天	91天
波特兰水泥 (JIS R 5210-1997)	普通	<3.0	<3.0	<5.0	<0.75	<0.02	-	-	-	-	>2500	>60	<10	良好	<10	-	>12.5	>22.5	>42.5	-
	速硬	<3.0	<3.5	<5.0	<0.75	<0.02	-	-	-	-	>3300	>45	<10	良好	<10	>10.0	>20.0	>32.5	>47.5	-
	超速硬	<3.0	<4.5	<5.0	<0.75	<0.02	-	-	-	-	>4000	>45	<10	良好	<10	>20.0	>30.0	>40.0	>50	-
	中熟	<3.0	<3.0	<5.0	<0.75	<0.02	<50	<290	<340	-	>2500	>60	<10	良好	<10	-	>7.5	>15.0	>32.5	-
	低熟	<3.0	<3.5	<5.0	<0.75	<0.02	<6	<250	<290	-	>2500	>60	<10	良好	<10	-	-	>7.5	>22.5	>42.5
耐硫酸盐 A种 B种 C种	普通	<3.0	<3.0	<5.0	<0.75	<0.02	-	-	-	-	>2500	>60	<10	良好	<10	-	>10.0	>20.0	>40.0	-
	A种	<3.0	<3.5	<5.0	-	-	-	-	-	-	>3000	>60	<10	良好	<10	-	>12.5	>22.5	>42.5	-
	B种	<3.0	<4.0	<6.0	-	-	-	-	-	-	>3000	>60	<10	良好	<10	-	>10.0	>17.5	>42.5	-
	C种	<3.0	<4.5	<6.0	-	-	-	-	-	-	>3300	>60	<10	良好	<10	-	>7.5	>15.0	>40.0	-
硅酸盐水泥 (JIS R 5212-1997)	A种	<3.0	<3.0	<5.0	-	-	-	-	-	-	>3000	>60	<10	良好	<10	-	>12.5	>22.5	>42.5	-
	B种	-	<3.0	<5.0	-	-	-	-	-	-	>3000	>60	<10	良好	<10	-	>10.5	>17.5	>42.5	-
	C种	-	<3.0	<5.0	-	-	-	-	-	-	>3000	>60	<10	良好	<10	-	>7.5	>15.0	>40.0	-
煤灰水泥 (JIS R 5213-1997)	A种	<3.0	<3.0	<5.0	-	-	-	-	-	-	>2500	>60	<10	良好	<10	-	>12.5	>22.5	>42.5	-
	B种	-	<3.0	<5.0	-	-	-	-	-	-	>2500	>60	<10	良好	<10	-	>10.5	>17.5	>37.5	-
	C种	-	<3.0	<5.0	-	-	-	-	-	-	>2500	>60	<10	良好	<10	-	>7.5	>15.0	>32.5	-

注:●报告测定值。

●报告测定值。

资料来源:水泥常识、(社)水泥协会

表 1-4 各种水泥的化学分析结果[JIS R 5202-95]

单位: %

水泥的种类	Ig.loss	Insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Mg O	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl
波特兰水泥	普通	1.1	0.2	21.3	5.1	2.9	64.2	1.5	2.0	0.30	0.30	0.13	0.11	0.006
	速硬	1.1	0.1	20.4	4.7	2.7	65.2	1.4	3.0	0.27	0.26	0.11	0.09	0.005
	中热	0.6	0.1	23.8	3.7	3.9	63.8	1.1	1.9	0.26	0.18	0.06	0.08	0.002
	低热	0.7	0.1	25.4	3.5	3.5	62.5	1.1	2.2	0.22	-	-	-	0.004
矿渣水泥	B种	1.2	0.2	25.9	8.5	8.5	54.8	3.7	1.9	0.26	0.58	0.08	0.19	0.005
煤灰水泥	B种	1.0	11.6	19.6	5.0	5.0	55.1	1.7	1.9	0.26	0.33	0.11	0.09	0.005

[资料来源:水泥常识、(社)水泥协会]

表 1-5 各种水泥的物理实验结果 (JIS R 5201-97)
以及水和热实验结果[JIS R 5203-95]

水泥种类	密度 (g/cm ³)	粉末度		凝结			压缩强度/(N/mm ²)					水和热/(J/g)	
		比表面积 (cm ² /g)	90μm 残分 (%)	水量 (%)	开始 (h-min)	结束 (h-min)	1天	3天	7天	28天	91天	7天	28天
波特兰水泥	普通	3.15	3380	28.1	2-21	3-11	-	28.7	43.5	60.8	68.6	-	-
	速硬	3.13	4580	30.5	2-05	2-52	26.8	45.1	54.3	64.3	-	-	-
	中热	3.22	3200	28.1	4-07	5-22	-	20.0	28.9	50.6	65.8	257	313
	低热	3.22	3248	26.6	3-28	5-05	-	11.6	17.0	40.5	71.8	196	258
矿渣水泥	B种	3.04	3990	29.5	2-54	3-51	-	19.8	32.5	57.1	74.1	-	-
煤灰水泥	B种	2.97	3430	28.1	3-09	4-04	-	23.5	36.4	53.1	69.9	-	-

(资料来源:水泥常识、(社)水泥协会)

2 水泥制造行业

2.1 水泥制造原料

硅酸盐水泥的主要成分是 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 SO_3 ，其原料是含有这些化学成分的天然矿物及其副产物，近年来，从废物再利用的角度出发，已逐渐形成以各种工业废弃物为原料进行再利用生产水泥的趋势。

烧结渣是水泥的中间制品，其烧成反应在 $1250 \sim 1600^\circ\text{C}$ 之间进行，所以原料应具有良好的反应性，此外，在原料中除主要原料外还有一些少量及微量成分，而所有这些成分在烧成反应或烧成水泥时不应产生负影响。因此，在选取上述主要成分作为水泥原料的同时，应避免对水泥烧结渣的制成或水泥的品质造成障碍和负面影响。

在制造硅酸盐水泥时所需主要原料是石灰质原料、黏土质原料、硅酸质原料、铁原料和在粉碎水泥时添加的石膏。石灰质原料和黏土质原料的大致配比是 4:1。制造 1t 水泥所需的各种原料随石灰石的纯度的变化而发生一定变化，但平均使用量大约是石灰石 1160kg、黏土 242kg、硅石 58kg、铁原料 33kg、其他原料 7kg。有代表性的原料化学成分见表 2-1。

表 2-1 水泥原料的化学成分

原 料	氧化钙 CaO (%)	二氧化硅 SiO_2 (%)	三氧化二铝 Al_2O_3 (%)	三氧化二铁 Fe_2O_3 (%)	三氧化硫 SO_3 (%)	二氧化碳 CO_2 (%)	备 考
石灰石	47 ~ 55					37 ~ 43	二氧化碳 不作为使 用的原料
黏土*		45 ~ 78 (30 ~ 57)	10 ~ 26 (12 ~ 32)	3 ~ 9			
硅石		77 ~ 96					
氧化铁原料				40 ~ 90			
石膏**	26 ~ 41				37 ~ 59		

注：* 作为黏土原料除使用天然的原料外也使用钢铁炉渣和煤炭灰等等，其成分列在 () 内。

** 最近制造水泥使用的石膏，主要来自于排烟脱硫、磷酸制造或钛精炼等的副产品。而以前主要是从泰国、澳大利亚进口。

[资料来源：水泥常识、(社)水泥协会]

2.1.1 石灰质原料

石灰质原料中被最广泛使用的是石灰石，在欧洲经常使用的是泥灰岩（Marl）、粘土质石灰岩、天然水泥岩、贝壳等。构成石灰石的矿物是方解石（Calcite），化学式表达为 CaCO_3 。石灰石主要有两个来源，一个是来源于有孔虫类、珊瑚类的壳或骨骼等堆积物的生物起源物质；另一个是来源于海水中的钙与二氧化碳反应后沉淀形成的无机起源物质。日本的石灰石来源于太平洋中部的珊瑚堆积物，经大洋板块漂移搬运至日本列岛。因此，日本的石灰石有别于欧洲或美洲的石灰石，混入的来自大陆的泥沙较少，从而形成了纯度很高的石灰石矿床。所以，不仅仅局限于水泥制造，在化工、钢铁工业等领域也得到广泛利用。

石灰石被加热到 850°C 以上时发生 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ 的分解反应，生成极富反应性的生石灰（CaO），这种生石灰中含有少量不纯物质。理论上讲，因为烧结渣中所含 CaO 最高可达 67%，如果使其中的不纯物充当黏土的一部分，那么石灰石的纯度达到 85% 左右即可，而在日本，大都使用平均纯度 90% 以上的石灰石。

石灰石的原料消耗如前面所述高达 1200kg/t 水泥，即使化学成分的变化较小对制造工艺和产品质量也会造成巨大影响，因此，在事先准确把握矿床的状态的同时，还应在储藏场所建立尽可能使其化学成分均一的各种均齐化管理系统。

2.1.2 黏土质原料

黏土中必然含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 ，而其中尤以含 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 较多的黏土在水泥原料的选用上倍受青睐。作为水泥原料，当 SiO_2 的含量不足时以硅酸质原料代替，当 Fe_2O_3 的含量不足时则使用铁原料。除此以外，高炉水渣、煤灰等原料也可充当黏土替代品，还有页岩（Shale）也常被使用。

作为黏土质原料经过风化的黏板岩和页岩是最佳选择。黏土中含有碱性物质（ Na_2O 及 K_2O ），但含量越低越好，第 4 纪时期形成的堆积表土、红土等便属此类，经充分风化的黏土含 SiO_2 及碱性物质较少。作为原料最不希望的是含有大粒石英结晶，而在未风化至母岩结构时，其反应性良好，被粉碎性也十分良好。

2.1.3 硅酸质原料

软硅石、硅石、硅质粘板岩的风化物最适于充当硅酸质原料，其中所含石英质较多，从被粉碎性和反应性的角度来说，其结晶粒径越小越少越好。这种硅石与粘土相比，其反应性、被粉碎性均较差，所以应尽可能减少其用量。

作为水泥的原料，硅石中的 SiO_2 含量在 80% ~ 90% 的软硅石和硅质页岩的被粉碎性较好，而石英质的硬质硅岩、硅沙类的反应性及被粉碎性较差。另外，根据具体情况也使用废硅沙和铸件沙，如果只少量使用的话不成问题，如大量使用，因其结晶较大，在反应性及被粉碎性方面将有不利影响。

2.1.4 铁原料

以前使用非铁金属冶炼厂的废渣、铜渣，现在则多使用钢铁厂的冶炼残渣。 Fe_2O_3 不仅很大程度上影响到水泥的配色，而且在烧结反应中通过液相生成起到促进反应的作用，在制造过程中是重要的组成成分。