



技工学校教材

适用于初中程度

水泥工业化学分析

全国技工学校教材编审委员会建筑工程部教材编审小组审定

中国工业出版社

技 工 学 校 教 材

适用于初中程度

水泥工业化学分析

全国技工学校教材编审委员会建筑工程部教材编审小组审定

中 国 工 业 出 版 社

本书主要叙述定量分析的基本理论与水泥及水泥原料、燃料的化学全分析方法。具体地介绍定量分析的分类、原理、实例及硅酸盐水泥生产过程中所需要的简易分析及化学全分析的应用。

内容包括：水泥生产基本知识、定量分析的概述、化学分析室必须的仪器设备及使用方法、化学分析室的试剂、试样的采取与制备、重量分析、容量分析、水泥及水泥原料、燃料化学全分析、工业分析及比色分析介绍等十章。

本书适用于二年制初中毕业程度的学生学习，适当增删后也可供三年制技工学校高小毕业程度学生使用，并可供水泥化学分析人员工作上参考。

水泥工业化学分析

(适用于初中程度)

全国技工学校教材编审委员会建筑工程部教材编审小组审定
建筑工程部琉璃河水泥工业学校等编

*

中国工业出版社建筑图书编辑室编辑(北京佟麟阁路丙10号)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张10·字数218,000

1963年5月北京第一版·1963年5月北京第一次印刷

印数0001—1,590·定价(8-3)0.93元

*

统一书号：K 15165·1506(建工-198)

前 言

在社会主义建設总路綫的光輝照耀下，在党的教育为无产階級政治服务、教育与生产劳动相結合的方針指导下，我部系統的技工学校工作也有了很大的进展，并已初步取得了一些成績。为了进一步改进技工学校的教学工作，提高教学质量，目前极需一套比較定型的、符合教学計劃和教学大綱要求的統一教材，为此，我部技工学校教材編审小組在全国技工学校教材編审委员会的統一领导下，組織本部系統內办校历史較久、基础較好的技工学校，編写了一批专业教材。这些教材是按照培养全面发展的中級技术工人的要求进行編写的；同时也照顧到了学生毕业后进一步提高的需要。

这本教材适用于二年制初中毕业程度的学生学习。适当增删后也可供三年制技工学校高小毕业程度的学生使用，但必須經過一年文化学习，使他們基本上具备初中文化的水平。且文化学习中的化学課程对于“水溶液和溶液性质”、“化学反应速度和化学平衡”、“氧化还原反应”、“电离理論”等几章的內容应作适当的增加，以便进一步接受本課程的內容；同时在講授前，学生对水泥工业化学分析仪器与操作方面也需要有初步的感性認識，以便帮助学生对本課程的理解。各校选用时可根据主管部門批准的教育計劃与教学大綱，作必要的删减或增添。

由于時間短促和缺乏經驗，編审工作定會存在不少缺点，希望使用单位和有关同志提出意見，以便今后作进一步

修改。

这本书是由建筑工程部水泥局組織以琉璃河水泥工业学校为主，会同琉璃河、大同和小屯水泥厂技术人员与有經驗的生产工人共同編写的。由于学校党組織的大力支持，以及参与編审工作的同志們的努力，因而能在极短的时间內順利地完成了編审工作。本书由魏玉兰同志主編。在此一併表示謝忱。

全国技工学校教材編审委员会
建筑工程部教材編审小组

1961年8月

目 录

第一章 水泥生产的基本知識	7
第一节 概述	7
第二节 硅酸盐水泥的原料	11
第三节 硅酸盐水泥的生产方法	16
第二章 定量分析概述	23
第一节 定量分析的任务	23
第二节 定量分析的分类	24
第三节 定量分析誤差的产生和处理	25
第四节 化学分析工作人員应注意事項	28
第三章 化学分析室必須的仪器設備及其使用方法	36
第一节 分析天平	36
第二节 加热設備	56
第三节 玻璃仪器	58
第四节 磁、鉑及其他器皿	67
第四章 水泥化学分析常用的試剂	69
第一节 試剂的品种	69
第二节 試剂的类别	70
第三节 試剂的保藏	71
第四节 水泥化学分析常用試剂的物理性质	71
第五章 試样的采取与制备	77
第一节 平均試样的采取	78
第二节 試样的粉碎、縮分及制备	81
第六章 重量分析	83
第一节 重量分析概述	83
第二节 重量分析的操作	85
第三节 重量分析的計算	106

第四节	重量分析示例	108
习题	115
第七章	容量分析	116
第一节	容量分析概述	116
一、	容量分析的实质	116
二、	容量分析法的分类	118
三、	标准溶液的浓度	120
四、	标准溶液的制备	125
五、	容量分析的計算	129
六、	容量分析的誤差	133
第二节	中和法	135
一、	滴定过程中溶液中酸度(pH 值)的变化	136
二、	中和法指示剂	143
三、	指示剂的选择	146
四、	滴定誤差	147
五、	中和法示例	148
第三节	氧化还原法	165
一、	氧化还原法概述	165
二、	氧化还原反应速度	166
三、	氧化还原指示剂	168
四、	氧化还原法示例	169
第四节	碘量法	186
一、	碘量法概述	186
二、	碘量法示例	188
习题	192
第八章	水泥及水泥原、燃料化学全分析	194
第一节	水泥熟料的化学分析	194
第二节	水泥熟料快速分析法	218
第三节	水泥生料的化学分析	229
第四节	石灰石的化学分析	236

第五节	矿渣的化学分析	237
第六节	矿渣水泥的化学分析	244
第七节	粘土的化学分析	248
第八节	煤灰的化学分析	257
第九节	铁矿的化学分析	259
第十节	石膏的化学分析	263
第十一节	混合材料的测定	267
	习题	278
第九章	工业分析	279
第一节	润滑油的试验	279
第二节	窑尾废气分析	285
第十章	比色分析介绍	295
第一节	基本原理	295
第二节	光电比色计的构造与使用	297
第三节	标准曲线的绘制	300
第四节	比色误差的来源	301
第五节	比色法示例	301
附录 I.	对数表	304
附录 II.	重量换算因数表	306
附录 III.	容量分析中的当量	310
附录 IV.	门捷列夫元素周期表	313
附录 V.	由氢氧化钠溶液的耗用量换算生料中碳酸钙滴定值	314
附录 VI.	化学分析结果允许误差	315
附录 VII.	矿物组成计算常用系数表	316

第一章 水泥生产的基本知識

第一节 概 述

建筑工程中常用的建筑材料有鋼材、木材、砖瓦、石块、石膏、石灰和水泥等。这些材料因性质不同，在用途和使用方法上也不同。如木材、石块将外形加工后，即可用于建筑工程中，而石膏、石灰和水泥系矿物质粉末。此种粉末加水調成灰浆状态时，具有可塑性和粘結性，置于空气中或水中逐漸硬化变成石状，过一时期其机械强度增加，这些建筑材料叫做胶凝物质。胶凝物质有共同点也有不同点，如石膏、石灰粉末加水后，只能在空气中硬化而水泥不但在空气中硬化并且能在水中繼續硬化。凡具有前一特性的称为气硬性胶凝物质，具有后一特性的称为水硬性胶凝物质。

水泥是水硬性胶凝物质之一，是一种重要的建筑材料，它的机械强度高，硬化时体积变化小而均匀，并具有良好的可塑性与粘結性，能在空气中硬化又能在水中硬化，可用于鋼筋混凝土建筑等。这些性能使水泥能够广泛地用在极重要的建筑工程上。

一、硅酸盐水泥的矿物組成和标号

硅酸盐水泥系粉状物料是由熟料（主要由石灰石、粘土及鉄矿按适当成分配制成生料，經過磨碎煅烧所得之半成品）粉磨而成。熟料系在 $1400\sim 1450^{\circ}\text{C}$ 溫度下进行煅烧而成。熟料的主要組成为硅酸三鈣 ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)，硅酸二鈣 ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)，鋁酸三鈣 ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)，鉄鋁酸四鈣

($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)。这四种成分常简写为： C_3S ， C_2S ， C_3A ， C_4AF 。熟料在粉磨时掺加2~3%石膏的目的是为了调整其凝结时间。

根据国家标准，硅酸盐水泥的定义是：凡以适当成分的生料，烧至部分熔融，所得以硅酸钙为主要成分的熟料，加入适当的石膏磨成细粉而制成的水硬性胶凝材料称为硅酸盐水泥，又称普通水泥。在熟料粉碎时，允许按水泥成品重量均匀地加入不超过15%的活性混合材料（火山灰质物质或粒状高炉矿渣），或不超过10%的填充性（即非活性）混合材料（石英砂、石灰岩等）；或同时加入不超过总数15%的活性与填充性混合材料，但填充性混合材料不得超过10%；成品名称不变，仍称硅酸盐水泥。至于火山灰质水泥与矿渣水泥是由掺入的混合材料而得名；火山灰质水泥掺入火山灰质混合材料为20~50%，矿渣水泥掺入粒状的高炉矿渣为20~85%。

由于工程上对水泥强度要求不同，现在生产的水泥有多种标号，如普通水泥有六个标号（即200号、250号、300号、400号、500号和600号）；而矿渣水泥与火山灰质水泥各有五个标号（即200号、250号、300号、400号和500号）。标号越高，强度越大，质量也越好。

二、硅酸盐水泥的化学成份和率值

水泥化学成分见表1。

为了使水泥的性能适合国家标准要求，首先就必须保证水泥成分中化合物或氧化物的一定比例。硅酸盐水泥成分中化合物（氧化物）重量的比叫做“率值”。

水硬率是表示氧化钙数量与氧化硅、氧化铝和氧化铁总和之比。

表 1 硅酸盐水泥平均化学成份

名 称	化 学 分 子 式	合 量 %
氧化钙	CaO	64~68
二氧化硅	SiO ₂	20~24
三氧化二铝	Al ₂ O ₃	4~7
三氧化二铁	Fe ₂ O ₃	3~5
氧化镁	MgO	小于4.5
三氧化硫	SO ₃	小于3

$$m = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

硅酸率是表示氧化硅数量与氧化铝和氧化铁总和之比。

$$n = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

铝氧率是表示氧化铝数量与氧化铁数量之比。

$$p = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

石灰饱和系数是表示物料所含氧化钙的总量中，扣除满足所含氧化铝及氧化铁所需要的氧化钙后，所剩下的氧化钙量被所含氧化硅形成硅酸三钙所需的氧化钙量去除的数值，它能够反映水泥熟料的煅烧程度，及水泥熟料的质量。

$$KH = \frac{\text{CaO} - (1.65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.7\text{SO}_3)}{2.8\text{SiO}_2}$$

一般硅酸盐水泥的各率值和石灰饱和系数的范围如表2。

表 2 硅酸盐水泥各率值和石灰飽和系数的范围

名 称	符 号	范 围
水硬率	m	1.9~2.4
硅酸率	n	1.7~2.8
鋁氧率	p	1.0~1.8
石灰飽和系数	KH	0.80~0.90

在配料計算中如采用石灰飽和系数时，可不用測定水硬率。

上述各率值和石灰飽和系数的大小，对水泥的产质量与煅烧的难易有很大的影响。如石灰飽和系数高时，煅烧时易形成較多的硅酸三鈣，水泥的早期强度高。但当石灰飽和系数过高时，則熟料不易烧熟，游离石灰增多，此时会影响水泥的安定性；反之石灰飽和系数过低，熟料中的硅酸三鈣含量就少而硅酸二鈣增多，使水泥早期强度降低，硬化緩慢。

水硬率如大于实际所規定的范围，不但煅烧困难而且水泥硬化时可能体积变化不正常。若水硬率低于最小限度时，則水泥硬化緩慢，强度也較低。

硅酸率过高时，即是氧化硅含量多，熟料煅烧困难，硅酸率高的水泥虽然初期硬化緩慢，但是經過一定长的时期却具有較高的机械强度。硅酸率过低时，熟料易于煅烧，窑內容易結圈，使煅烧发生困难。这是由于易煅烧的原料和所用煤的易熔灰渣相化合的結果。

鋁氧率高时，即是熟料的氧化鉄含量低，可能使水泥速凝。鋁氧率低时，使水泥凝結和硬化緩慢，可是最終的机械强度却很高，并能很好地应用在海水和矿物质的水中。应当

指出，当氧化鉄含量增加时，铝氧率降低，而氧化鉄成为熔剂仍使熟料易于煅烧。从上述情况，可以看出在水泥生产过程中正确的掌握生料、熟料的各种率值与石灰饱和系数对增产更多质量好的水泥将起着决定性的意义。

由化学成分计算矿物组成的公式如下：

$$C_3S = 3.8SiO_2(3KH - 2)$$

$$C_2S = 2.87SiO_2(3 - 3KH) = 8.6SiO_2(1 - KH)$$

$$C_3A = 2.65(Al_2O_3 - 0.64Fe_2O_3)$$

$$C_4AF = 3.04Fe_2O_3$$

第二节 硅酸盐水泥的原料

制造硅酸盐水泥时多采取来源丰富、价格低廉的几种原料进行配合，以满足水泥的化学成分。最常用的原料有石灰石和粘土，另外根据成份的要求可加入部分含氧化鉄較高的原料或含氧化铝較高的原料。

一、石灰质原料

石灰质原料是水泥中氧化鈣的主要来源，其主要成份是碳酸鈣，一般采用石灰石，但也有用白堊土和泥灰岩等。

(一) 石灰石：我国石灰石的矿藏很丰富，但采用时要求选择氧化鈣含量高（一般氧化鈣含量应在47%以上）杂质少的石灰石。石灰石一般含的杂质有硅石、粘土、碳酸鎂、氧化鉄、氧化铝和硫的氧化物等。制造水泥的石灰石一般要求二氧化硅不超过10%，氧化鎂、三氧化硫都不超过2.5%为宜。除此以外还要求石灰石的矿藏量能供使用15~30年（大型厂要求在30年以上）。

(二) 白堊土：白堊土的主要成份与石灰石相似，且质軟易碎、杂质含量少是制造水泥的理想原料。但我国的蕴藏

量沒有石灰石那么丰富。

(三) 泥灰岩：石灰石质和粘土质的微粒紧密混杂結合起来的天然混合物叫泥灰岩。泥灰岩的颜色决定于粘土成份的含量(有黄色、紅色、綠色和褐色等)。制造水泥所采用的泥灰岩一般要求碳酸鈣的含量較高。当碳酸鈣含量在75~80%，而其它成份的含量也較适合时，可直接煅烧成熟料，这种原料又称天然水泥岩。

二、粘土质原料

粘土或代替粘土的原料，是水泥中酸性成分(二氧化硅、三氧化二鋁和三氧化二鉄等)的主要来源，一般有粘土、黄土、粘土頁岩和高爐矿渣等。

1. 粘土：

制造水泥最广泛采用的是粘土。粘土的主要化学成份为氧化硅(含量約在55~75%)，氧化鋁(含量約在12~18%)和氧化鉄(含量約在3~6%)。除此以外还含有少量的氧化鈣和氧化鎂。

2. 高爐矿渣：

制造硅酸盐水泥时也有采用高爐矿渣来代替生料中的粘土质部分。它的主要化学成分有氧化鈣、氧化硅、氧化鋁另外尚有部分氧化鎂和少量的氧化亚鉄。用高爐矿渣代替粘土质原料时，可以不經過水淬处理。由于高爐矿渣氧化鈣的含量較高，且已經煅烧，因此在配料时可以降低生料中石灰石的用量及降低煅烧用煤，对提高产量降低成本具有很大意义。

三、辅助原料

(一) 調整水泥生料化学成份的物料

采用石灰石、粘土二种原料配制生料时，由于原料的化

学成份的限制往往不能获得化学成分适当的生料。为了满足生、熟料化学成分的要求与改善烧成条件，在配制生料时可加入第三种或第四种原料。这些原料有氧化铁原料、氧化硅原料及氧化铝原料等。

1. 氧化铁原料：当石灰石与粘土中氧化铁含量不足时，需加入主要含氧化铁的原料补充，常用的有各种铁矿石与黄铁矿渣等。

2. 氧化硅原料：如粘土中氧化硅含量不足，常加含氧化硅较多的原料。如软硅石、硅砂或砂岩等。但它们所含氧化硅多成结晶体。不易粉碎，煅烧较困难，因此在生产过程中最好少采用。

3. 氧化铝原料：为了增加硅酸盐水泥生料中氧化铝的含量，在原料中加入含氧化铝高的粘土，一般用矾土或含氧化铝较多的耐火材料碎块等。

(二) 磨制硅酸盐水泥掺入的物料

1. 石膏：石膏是制造多品种水泥的主要原料，它分天然石膏与工业副产品石膏二种。水泥工业一般都使用天然石膏。其主要化学成份为硫酸钙($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。石膏对水泥的性质能有很大作用，硅酸盐水泥掺加石膏的主要目的是调整凝结时间。硅酸盐矿渣水泥掺加石膏的主要目的，除了调整凝结时间以外，还有活化剂的作用。石膏的掺加量一般为3~5%，但三氧化硫的含量应控制在3%以下。另外在磨制水泥时应注意控制磨机温度。因入磨前的天然石膏为二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，在粉磨过程中由于磨机温度升高，二水石膏失去一部分结晶水变为半水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)。

如磨机温度继续升高达 160°C 以上，二水石膏的水份可能全部

失去，变为无水石膏(CaSO_4)。无水石膏由于溶解度小在水泥中的缓凝作用不大。所以在操作时，应改善磨机通风，进行磨机筒体淋水，以降低磨机温度。

2. 混合材料：在磨制水泥时，掺加部分混合材料不但能提高产量、降低成本，而且能改进水泥的某些性能，满足工程上对水泥的特殊要求*。

混合材料包括天然矿物质和人工制造的两类。按其性质又可分为三种，即火山灰混合材料、粒状高炉矿渣与填充性混合材料。火山灰混合材料和粒状高炉矿渣都具有水硬性，通称为水硬性（或活性）混合材料。填充性混合材料是非水硬性的，所以又称非水硬性（或非活性）混合材料。

1) 火山灰质混合材料：火山灰质混合材料有天然的与人工制造的两种。属于天然的有火山岩——火山灰、浮石、凝灰岩等；沉积岩——硅藻石等。属于人工制造的有烧粘土、頁岩灰、酸性煤渣等。

2) 粒状高炉矿渣：粒状高炉矿渣是在炼铁高炉熔炼生铁时所得的硅酸盐、硅铝酸盐熔融物以水快速冷却方法使之成为颗粒状态。单独存在时具有微弱的水硬性，但与水泥、石膏或石灰在一起水化时却具有很大的水硬性。各种高炉矿渣的主要化学成分为氧化钙（含量30~40%）氧化铝（含量8~20%），氧化镁、氧化亚铁和一些硫化物（如硫化钙、硫

* 硅酸盐水泥最主要的矿物组成之一是硅酸三钙。水泥遇水水化时，硅酸三钙水化，析出氢氧化钙。氢氧化钙在水中溶解度较高，当它在水利工程上的混凝土建筑物中存在时，便容易受水的冲刷以及酸与盐类溶液的侵蚀而逐渐被破坏。为了防止混凝土被水、酸和盐类侵蚀，可用掺水硬性混合材料的水泥代替硅酸盐水泥。水硬性混合材料中的活性氧化硅和氧化铝能与氧化钙化合生成不溶于水的硅酸钙或铝酸钙的水化物，以避免混凝土的破坏，同时又能增进混凝土的后期强度。