

水泥混合材料的 性能与利用

黄大能 編著

建筑材料工業出版社

水泥混合材料的 性能与利用

黃大能 編著

建筑材料工業出版社

內 容 提 要

本書彙編了苏联关于水泥混合材料的理論与經驗并結合作者本人多年参加这方面研究工作的心得写成。內容主要包括火山灰質混合材料、粒狀高爐矿渣和填充性混合材料的各种性能和鑑定方法，并突出地介紹了目前我国正大量生产的火山灰質矽酸鹽水泥和矿渣矽酸鹽水泥的各种性能和它們的使用范围。

大力推广混合材料的利用是我国提高水泥产量，節約水泥消耗的有效方法之一，本書可供广大水泥使用單位、建筑工地、研究所及水泥工厂、專業学校等工作人員参考之用。

水泥混合材料的性能与利用

黃大能編著

1957年2月第一版

1957年2月北京第一次印刷 6,055册

850×1168·吉·78,000字

• 印張52

定价(10) 0.60元

北京市印刷一厂印

新华書店發行

書号 0057

建筑材料工業出版社出版(地址:北京市西單区什八半截中沈篋子胡同3号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第094号

序

水泥混合材料的掺用，在我国虽然已有三年多的历史，但是它的研究工作还在展开中。我国大部分水泥厂虽然已经掺用混合材料，但品种还不多，尤其是优良的水硬性混合材料犹待广泛寻觅，工业副产品，如矿渣、煤渣等，犹待大量利用。对于混合材料的性能、鉴别、使用方法等知识，还没有广泛地被生产和使用者所掌握。工地直接掺用混合材料，更待普遍展开。在我国第一个五年计划要超额完成，第二个五年计划即待开始的客观情况下，广泛宣传和介绍混合材料的知识，推广采用，以节约水泥，提高产量，降低成本，实属十分需要。因此本小册子将个人从事这一研究工作几年来的些微心得，结合参考几本苏联有关书籍，作了比较浅近的综合性介绍，希望在工业建设中能起一些作用。

作者1956年10月

目 录

第一章 緒言	5
第二章 火山灰質混合材料	9
定义——按地質生成分类——按化学与矿物成份分类——火山生成的火山灰質混合材料——沉积生成的火山灰質混合材料——人工的火山灰質混合材料——性能——品質要求——品質鑑定法——五种方法的評比——主要用途	
第三章 粒狀高爐矿渣	37
定义——生产——化学成份——分类——性能——驟冷成粒法——三种成粒法的比較——品質要求——品質鑑定法——主要用途	
第四章 填充性混合材料	54
定义——分类——性能——品質要求——用途	
第五章 火山灰質矽酸鹽水泥	58
定义——制造——建筑性能——使用範圍	
第六章 矿渣矽酸鹽水泥	81
定义——制造——建筑性能——使用範圍	
第七章 工地摻加混合材料	94
概述——建筑砂漿水泥——多成分水泥	

第一章

緒言

學習苏联先进經驗，清算了水泥工業中的資本主义技术思想。

我国水泥工業，自 1876 年唐山开平矿務局建立立窯生产水泥以来，已有約 80 年历史。由于国家長期处在半封建半殖民地社会，因此水泥工業，在技术上，也長期受到了資本主义思想的支配。其中最显著的一种情况，就是在波特蘭水泥（現称矽酸鹽水泥）的定义中，从未允許在水泥熟料中，除石膏和水外，摻入任何其他材料。这种情况，在很大程度上限制了水泥工業的發展。由于这一限制，使我国長期生产着單一品种和單一强度标号的水泥，因此远不能滿足国家建設多方面的需要。

全国解放以后，这种情况再不能讓它繼續存在下去了。当我们掀起學習苏联先进科学技术的高潮时，1951 年首先在东北地区，在苏联專家帮助下，打破了这一限制，允許在水泥熟料粉碎的同时，摻入經過質量鑑定的各种混合材料。如果摻加佔水泥总重量 15% 以下的水硬性混合材料，或 10% 以下的填充性混合材料，水泥名称不变，仍称矽酸鹽水泥。

这是我国水泥工業發展中的历史轉折点。由于水泥中允許摻入多样的混合材料，就打开了生产和使用多品种多标号水泥的大門，使我国水泥工業的面貌为之一新。当时在东北地区，由于党和政府的創导，多品种多标号水泥获得很快的发展。1951 年年底，前东北工業部頒佈了「关于生产和使用混合水泥的决定」，拟定了「多标号水泥暫行标准草案」，进一步允許生产摻加較多混合材料的混合水泥。同时，前东北建筑材料工業管理局制定了摻加混合材料水泥的研究計劃，一方面着手調查勘探水硬性和填

充性混合材料，一方面重点开始研究掺加混合材料水泥的建筑性能。这样，在1952年一年中，东北各水泥厂，由于掺加混合材料，增加了水泥产量约25%，对当时东北水泥的供求平衡起了很大作用。

1952年年底，前中央重工业部建筑材料工业管理局在北京召开了全国性的水泥专业会议。会上，苏联专家米哈依留达介绍了苏联水泥工业发展的途径，指出苏联水泥工业的发展是由帝俄时代的三种水泥——波特兰水泥、罗马水泥及石灰粘土水泥，到苏维埃政权建立约三十年后扩大到五十多种。由于品种的扩充和标号的增多，大大地满足了国民经济建设发展中不断增长的需要。专家的报告，使我们认识到苏联水泥工业发展的途径也就是我国发展的途径，而在水泥中掺加混合材料，正是我国当前的努力目标。因此，会上由水泥生产者、使用者、研究者三方面的代表，共同研究讨论，提出了「中华人民共和国矽酸盐水泥、矿渣矽酸盐水泥、火山灰质矽酸盐水泥、混合矽酸盐水泥暂行标准草案」。1953年4月由前重工业部颁布试行。1953年冬，并由国家计划委员会会同前重工业部和建筑工程部在北京召开了全国性的推广使用多品种多标号水泥大会。从此，我国水泥工业的历史展开了崭新的一页，不仅史无前例地在全国范围内统一了水泥分类、名称、定义、品质标准和检验方法，并且促使掺加混合材料的水泥在全国范围内推广开来。到1954年年底时，全国大部分水泥厂都已生产了掺加混合材料的水泥，而各种品种各种标号的水泥已开始广泛地为广大的建筑工程部门服务。

水泥中掺加混合材料的经济意义

1. 满足某些工程对水泥特殊的技术要求

水泥使用范围是十分广泛的。在国家各方面的建设中，很难找到不采用水泥的工程。随着建筑技术的不断发展，对水泥提出了更广泛的技术要求。例如水工混凝土建筑物对水泥提出了抗渗性和耐蚀性等的技术要求；大体积的混凝土工程对水泥提出了發

热量低和硬化时体积变化不大的技术要求；寒冷地帶的工程提出了耐冻性的要求；热車間工程提出了耐热性的要求，而砌磚、勾縫、抹牆又需要合乎經濟原則的低标号水泥。此外，在装配式混凝土構件中，由于采取蒸汽养护法，因此要求采用在蒸汽中硬化效果較大的水泥。凡此种种，都說明單一品种和單一标号的水泥再也滿足不了这些要求了。

掺加混合材料的水泥，只要混合材料在質量上符合規定的要求，是能够在一定程度上改变水泥建筑特性的，因此在一定程度上也能够滿足某些工程对水泥的特殊要求。这样就使水泥的使用范围大为扩充，而更重要的是使建筑物的質量，由于合理选用了水泥而获得改善。因此，水泥中掺入混合材料可使某些建筑物的寿命得以延長，这在整个国民經济建設中所創造的价值是无法估算的。

2. 提高水泥产量，降低生产成本

一般混合材料，在掺入水泥或水泥熟料前是不需要經過高温煅燒的（部分火山灰質混合材料需要經過一定温度烤燒以提高活性）。因此，水泥厂或建筑工地只需准备若干烘干及粉碎设备，就能大大地增加水泥产量。例如一个日产1000吨熟料的水泥厂，在熟料粉碎时掺加30%粒狀高爐矿渣，产量就一下子提高了30%。这对我国大規模經济建設中水泥供不应求的情况是具有極大意义的。国家从小量的投資額，能取得很大的收获。事实上，在1953年一年內，虽然混合材料尚未普遍采用，但全国由于掺加混合材料而提高的水泥产量达到总产量的22.49%，即相当于增設了三个中型的新厂，而我們知道，建設一个新厂是需要几千万元的投資額，需要集中大量設計技術人員和施工人員，并且非2—3年時間是不能完成的。另一方面，由于水泥生产成本中，煅燒部分比重最大，而混合材料一般不需煅燒，因此使生产成本可以大为降低。据粗糙計算，水泥掺加混合材料后，生产成本一般可降低10%以上。混合材料掺加量多些的話，甚至可降低达25%。

3. 节约水泥使用，降低工程造价

在沒有生产掺加混合材料的水泥以前，我国各种工程中使用水泥存在着很大浪费现象。最突出的是一般不需要高强度的次要工程部分，無例外地使用高强度水泥。例如砌磚砂漿，一般只要200号水泥就行，但由于沒有低标号水泥，就不得不用强度相当于400号或500号的水泥。这不仅浪费了国家物资，而且还增高了工程造价。掺加混合材料以后，水泥标号得到了調节，200号与300号的水泥开始生产了，使用部門就能根据不同要求选择不同标号的水泥使用。这样，一方面做到了物尽其用的节约原则，另一方面，也由于掺加混合材料的低标号水泥售价較低，因此降低了工程造价。

混合材料的分类

掺入水泥中的或直接掺入混凝土中的混合材料，包括天然矿物质和人工制造的两种。它們通常分成下列三大类：

甲、火山灰質混合材料——天然的和人工的；

乙、粒狀高爐矿渣——人工的；

丙、填充性混合材料——天然的和人工的。

火山灰質混合材料和粒狀高爐矿渣都具有水硬性，所以通称为水硬性混合材料。填充性混合材料不具水硬性，所以也可称为非水硬性混合材料。

第二章

火山灰質混合材料

定 义

凡天然或人工礦物質原料，磨成細粉，注水后，本身虽不硬化，但如与气硬性石灰混拌成膠泥状态后，能在空气中硬化，并能在水中繼續硬化的，称为火山灰質混合材料。

按地質生成分类

天然的火山灰質混合材料

A. 火山生成的

1. 火山灰 (Вулканические пеплы)
2. 白榴火山灰 (Пуццоланы)
3. 火山凝灰岩 (Вулканические туфы)
4. 粗面凝灰岩 (Трасы)
5. 浮石 (Пемзы)

Б. 沉积生成的

1. 矽藻土 (Диатомиты)
2. 矽藻石 (Трепелы)
3. 蛋白石 (Опоки)
4. 天然燒粘土 (Глиежы)

人工的火山灰質混合材料

- A. 燒粘土質材料 (Обожженные глинистые материалы) 如燒粘土、碎磚、瓦片等。

- Б. 活性矽質渣 (Активные кремнеземистые отходы)
- В. 煅燒岩 (Горелые породы)
- Г. 酸性灰与燃料渣 (Кислые золы и топливные шлаки)

按化学与矿物成份分类

А. 含多量含水矽酸的混合材料

- 1. 矽藻土
- 2. 矽藻石
- 3. 蛋白石
- 4. 活性矽質渣

Б. 熔岩急冷, 含多量矽酸鋁的混合

材料, 有时成分解物, 常呈玻璃質。

- 1. 火山灰
- 2. 火山凝灰岩
- 3. 浮石
- 4. 粗面凝灰岩

В. 含多量燒粘土物質的混合材料

- 1. 燒粘土
- 2. 天然燒粘土
- 3. 煅燒岩
- 4. 碎磚瓦片
- 5. 酸性灰与燃料渣

火山生成的火山灰質混合材料

作为天然火山灰質混合材料的火山生成物質, 通常属于火成岩一类。当地壳內的熔漿噴出地表, 因地表温度低, 压力小以及气体散失等原因, 使这种噴出岩常具显著特性。由于熔漿到达地表后驟然冷却, 使構成玻璃質的表皮, 在一定程度內阻止了內含

气体的散失，因此成为質地細緻的細小結晶及多孔狀態。

火山噴發時，隨同融岩一起往往雜有大量細渣，有時可被氣流吹颺到數十百里外，沉積在地面上或水中，在自然界成為松散、粉末狀的稱為火山灰。如果沉積後成為松軟土壤狀態的稱為白堊火山灰（或稱普查蘭）。如果火山噴出物含有乾燥而不穩定的物質，遇水後起化學變化，成為多孔塊岩狀態的稱為火山凝灰岩。成為較堅實的岩石結構的稱為粗面凝灰岩（或稱火山岩）。至於浮石的形成，是一種火山噴出的融岩，在冷卻過程中，排出大量氣體，強烈起泡，成為多孔狀，能浮於水面的大小不一的塊岩。

所有這些火山生成的火山灰質混合材料，都含有大量氧化矽與氧化鋁。它們的化學成份見表 1。它們多屬酸性的，並具有結晶水。由於經過驟冷，它們大多含有不同程度的玻璃質。從它們的化學成份（主要是氧化矽）和冷卻速度，決定了它們的化學活性。

沉積生成的火山灰質混合材料

沉積岩的生成，與火成岩不同。火成岩的物質是直接由地殼內部得來，沉積岩是由其他岩類（火成岩、變質岩或沉積岩本身）經過物理和化學作用破壞而成碎屑，再經水、冰或風的作用，搬移到適當處所，自行沉積而成。按照沉積方式，可分成：機械沉積，如砂岩、頁岩、礫岩等；化學沉積，是溶在水中的物質，經蒸發及化學作用沉澱而成，如石膏、岩鹽、石灰石等；有機沉積，是生物遺體堆積而成，如砂藻土等。

屬於火山灰質混合材料的沉積物質，主要是砂藻土和砂藻石。它們生長在湖泊或淺海中，常可從古代湖或淺海中發現。湖海的水中有屬於植物類的微生物：砂藻蟲或放射蟲，能在水中游泳，分泌矽質介殼，繁殖力很強，死後介殼沉積湖底成為砂藻土。沉積過程中可能夾雜部分粘土。

砂藻土與砂藻石在外貌上很少差別，多呈淺灰色或黃色，常沾一層深灰色的有機物質，硬岩很少，多為松軟、多孔、粉狀物

体，極易磨成粉末，在空气中暴露时吸收潮湿很快。矽藻土在干燥状态下的容重一般約为0.75克/立方公分，矽藻石約为0.85克/立方公分。

蛋白石是較坚实的矽藻土或矽藻石，切开面呈貝壳狀，稜角尖銳而無光彩。蛋白石干燥状态下的容重約为1.40克/立方公分。

矽藻土的組成，主要包括一种矽藻介壳或其碎屑，非常細小，1立方公分中可含有150万~3000万粒，含粒越多，容重越小，則活性越大。矽藻石并無介壳，即使有含量也極少，从显微镜下观察，几乎全部是細圓的蛋白石微粒，尺寸小至几千分之一公厘。一般說來，矽藻石較矽藻土活性为大。蛋白石的形成，是由細圓的無定形矽酸的蛋白微粒压实而成。

以上三种火山灰質混合材料，都称为矽質沉积岩，或称蛋白岩，主要都含有無定形游离矽酸。

人工的火山灰質混合材料

活性矽質渣或称**矾土渣**，含有多量含水矽酸，是由粘土制造硫酸鋁所得的副产品。制造硫酸鋁时，常用成份近似高嶺土的耐火粘土，先在严格控制的溫度中煅燒脫水，然后在硫酸中溶解成为 $Al_2(SO_4)_3$ 溶液，同时得到不溶解的殘渣，即为活性矽質渣。这类渣，氧化矽为其主要成份，并含有若干不溶解的粘土顆粒，或少量未完全洗去的 $Al_2(SO_4)_3$ ，具有高度活性，是很好的水硬性混合材料。在用氯化高嶺土制取 $AlCl_3$ 的方法中，可得到类似的渣。

粘土屬於沉积岩中的碎屑岩类，是由岩石風化后，随流水移动而沉积于海底或湖沼中所形成的。粘土种类很多，化学成份随生成地点而变。生成地点一般可分为：**海沉粘土**，是从大陆上剝蚀下来的物質，在沿海一帶沉积，深度在十公尺以下，包括高嶺土、球粘土、耐火粘土、頁岩等，化学成份較均匀；**湖沉粘土**，物質在湖澤沿岸沉积而成，包括耐火粘土、頁岩、紅粘土及雜質粘土等，深度較淺，大多含有矽質；**河口沉粘土**，是河流入海或

入湖口沉积而成, 杂质多且复杂; 洪水沉粘土, 经过洪水沉积而成, 常含砂质, 极不纯粹。用作火山灰质混合材料的烧粘土原料, 最好含有多量高岭土质, 化学成份是含水矽酸铝 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 由长石类岩石 (如花岗岩) 分解而成。将粘土烧到 $600 \sim 800^\circ\text{C}$ 时最为适宜, 超过或低于这一温度范围都将降低活性 (见图 1)。

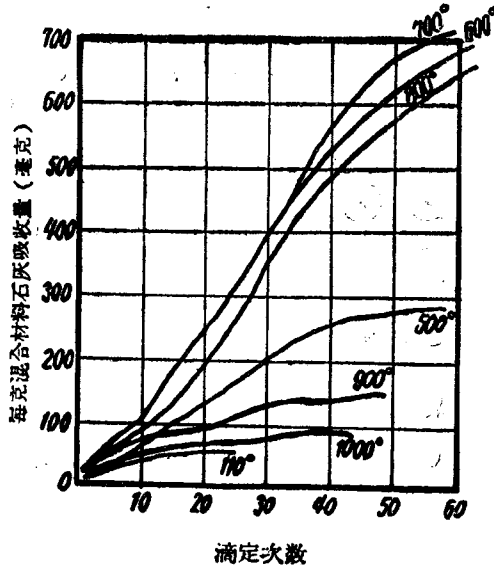


图 1 粘土煅烧温度对活性的影响

粘土在一定温度范围内煅烧时 (即火山灰化时), 化学上不活性的高岭土转变成成为脱水高岭土 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, 就具有显著的活性, 容易与石灰互相作用。但由于纯高岭土类粘土是制造耐火材料的可贵原料, 因此作为火山灰质混合材料的烧粘土, 一般就用含氧化铝较低的粘土, 氧化铝成份常在 $15 \sim 20\%$ 间, 即使低至 $12 \sim 14\%$, 也可得到很好的烧粘土混合材料。

煅烧岩分成两类: 一类是地下煤层自燃而成, 称为天然烧粘土, 归类于沉积生成的天然火山灰质混合材料; 另一类是煤矿废石场自燃而成, 称为烧煤岩。煅烧岩中主要的组成部份是烧粘土, 它们的质量取决于化学成份与烧成情况, 根据主要夹杂物的

种类，分成白、紅与淡黄色的純粘土質岩，暗紅和鮮紅色的鉄矾土質岩及磚色的砂質岩。我国唐山开灤煤矿發見的所謂矸子土，帶紅色的即屬於燒煤岩的一种，可以作为火山灰質混合材料。

一般灰份多的燃料，如褐煤、可燃頁岩等，它們矿物部份的化学成份与粘土相似，它們經過燃燒后的灰燼，具有水硬性，能作水硬性混合材料。但燃燒溫度須低（例如爐底渣）才有較高活性。如果溫度太高（例如爐頂灰），活性將大为降低，只能作非水硬性混合材料。大多数可燃頁岩含有較高碳酸鈣成份，因此頁岩灰的化学成份与一般燃料渣不同，將它磨細后本身具有独立的水硬性。我国东北撫順产大量可燃頁岩，它的灰燼已供东北某些水泥厂作水硬性混合材料，但其化学成份中并不含有多量氧化鈣（見表 1），因此并不具有独立的水硬性。

火山灰質混合材料化学成份(%)

表 1

混 合 材 料 名 称	燒失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO+ MgO	碱 类
火山生成的混合材料 苏联納尔奇克火山灰 (Нальчикский)	6.9	70.4	12.1	1.7	5.3	3.2
奴赫伊斯克火山灰 (Нухинский)	8.8- 11.6	61.7- 77.4	6.9- 17.8	1.3- 2.1	1.2- 1.4	1.8- 8.1
沃罗涅日火山灰 (Воронежский)	6.8	73.2	13.7	2.1	1.5	2.7
阿尼斯克浮石 (Анийская)	2.8	66.5	15.0	2.7	2.3	8.7
卡拉达格粗面凝灰岩 (Карадагский)	10.6- 11.8	69.6- 71.4	10.2- 11.1	0.9- 1.1	2.1- 2.8	3.2- 3.9
阿尔齐克火山凝灰岩 (Артыкский)	0.5	64.9	15.8	5.7	4.8	7.9

續表 1

混 合 材 料 名 称	燒失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO+ MgO	碱 类
梯突柴姆斯克火山凝灰岩 (Тедзамский)	6.8	63.7	15.6	4.1	5.3	3.9
我国江南水泥厂用棲霞山 凝灰岩	7.15	60.57	15.84	4.08	8.99	0.31 (SO ₃)
宣化粗面凝灰岩	10.53	67.68	12.83	0.50	6.20	3.58
沉积生成的混合材料 苏联沃尔斯克砂藻土 (Вольский)	2.9	81.5	9.1	3.4	2.2	—
卡麦什洛夫砂藻土 (Камышловский)	8.0	76.5	8.3	4.0	2.9	—
基砂梯勃砂藻土 (Кисатибский)	0.6	93.6	1.9	0.4	2.9	—
日茲德宁砂藻石 (Жиздринский)	7.9	76.5	7.7	3.2	1.9	—
道梁日斯克砂藻石 (Добужский)	1.8	86.8	6.9	2.8	0.9	—
布良斯克砂藻石 (Брянский)	2.2	83.1	8.2	2.7	2.5	—
苏赫洛日砂藻石 (Сухоложский)	7.9	81.3	3.7	5.5	1.7	—
我国吉林省桦甸砂藻土	5.13	77.93	11.28	2.63	1.79	—
人工的混合材料 苏联活性砂質渣	13.8	79.1	4.7		0.3	(SO ₃) —
煅燒粘土	2.3	63.4	12.4	7.9	12.5	1.3

續表 1

混 合 材 料 名 称	燒失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO+ MgO	碱 类
莫斯科附近煤渣	—	33-55	24-47	2.4-24	1.0-6.7	0.12-2.6
烏拉尔煤渣 (Уральская)	—	37- 49	22- 33	14- 20	4.8- 8.8	0.3- 5.5
可燃頁岩灰	—	28-43	11-22		CaO 20-50 MgO 0.6-2.4	4.12
我国撫順油頁岩灰	2.29	61.77	20.53	11.71	3.03	0.59
唐山矸子土	6.42	53.97	28.52	5.70	4.50	0.31
北京紅磚粉	0.24	61.89	16.05	5.79	12.63	0.17

性 能

火山灰質混合材料在它的定义中已闡明：与水拌和后，本身并不产生水硬性，但如与气硬性石灰混合，加水成膠泥状态后，就能在空气中硬化，并能在水中繼續硬化。

火山灰質混合材料之所以具有上述性能，是因为它含有較多的酸性氧化物，如SiO₂、Al₂O₃。这些酸性氧化物具有一定程度的活性，能与氫氧化鈣 Ca(OH)₂ 在常温与常压下起化学反应，生成不溶于水，并且化学性很穩固的含水 矽酸鈣 $x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 或含水鋁酸鈣 $y\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。这种矽酸鈣并且具有一定程度的强度。

下文要說明火山灰質混合材料加入矽酸鹽水泥后，对水泥質量所起的主要变化。

矽酸鹽水泥中含有若干种矿物成份，其中最主要的是矽酸鈣。水泥遇水后要發生水化作用，其中矽酸三鈣在水化中生成矽酸二鈣水化物的同时，不可避免地要离析出大量氫氧化鈣。它的