



混凝土的混合材料



沈旦申編著



建 筑 工 程 出 版 社

混凝土的混合材料

沈旦申 編著

內 容 提 要

这是一本系统地介绍在混凝土中掺用混合材料以節省水泥的書。

本書包括混合材料的历史和种类,掺用混合材料的方法,混合材料引起混凝土性質的变化,混合材料的技术条件,混合材料的試驗方法,国内外經驗介绍,并附录了苏联的有关資料。

可供土建工程人員、混凝土試驗室工作人員、鋼筋混凝土構件工廠工作人員参考。

混凝土的混合材料

沈 旦 申 編 著

*

建筑工程出版社出版 (北京市阜成門外南國士路)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第052号)

建筑工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書号033 字數70千字 787×1092 1/32 印張 2¹¹/16

1957年7月第1版 1957年7月第1次印刷

印數11-2,300册 定價(11) 0.55元

目 录

引 言	5
一、对于混合材料的認識	6
二、粉狀矿物質混合材料的历史和种类	8
(一) 独立膠凝的活性混合材料	11
(二) 活性混合材料	12
(三) 非活性混合材料	14
三、混合材料引起混凝土性質的变化	16
四、混合材料的标准	20
五、混凝土中掺混合材料的方法	25
(一) 試驗室的工作	25
(二) 备制混合材料	31
六、国内外經驗	34
(一) 苏联的經驗	34
(二) 美国的經驗	37
(三) 国内的經驗	38
七、討論問題	42
(一) 使用已掺混合材料的水泥,可否再掺混合材料	42
(二) 掺粘土混合材料	44
(三) 干硬性混凝土中掺混合材料	46
(四) 掺活性混合材料提高混凝土耐水性	48
八、試驗方法	50
(一) 試驗的准备	50
(二) 比重的試驗	50

(三) 需水量(标准稠度)的試驗	51
(四) 細度的試驗	52
(五) 湿度(含水率)的測定	52
(六) 有机物的測定	53
(七) 可溶鹽类的測定	54
(八) 硫化物的測定	54
(九) 燒失量的試驗	56
(十) 粘土、黃土分散性的試驗	57
(十一) 強度的試驗	57
(十二) 火山灰質混合材料活性的試驗	58
1. 石灰吸收法	60
2. 摻消石灰試驗法	69
3. 5% Na_2CO_3 溶液五次浸出法	71
4. 摻砂鹽酸水泥試驗法	73
5. 快速強度試驗法	75
九、結 語	77
參考資料	79

引 言

混凝土中掺粉狀礦物質混合材料(簡称混合材料),是節約水泥的有效措施之一。在一定的条件下掺用混合材料还能收到改善混凝土技術性質的效果。因此,近年來混合材料成为混凝土技術中一个突出的問題。苏联的科学家和技术人員在这方面积累和創造了世界上最先进、最丰富的知識和經驗。我国許多科学研究机构与基本建設單位学习了这一先进經驗,在短短的几年中取得了显著的成績。特別是1953年中央召开推广使用多品种多标号水泥會議以后,使用混合材料的工程已日見增多。1956年5月国家建設委员会提出“关于在基本建設工程中節約水泥的几項措施”中的一項,便是在混凝土中掺混合材料。同年,中央建筑工程部等八个工业部联合或分別提出了節約鋼材、木材和水泥的規定或指示,也把掺用混合材料列为重要的措施。目前这一技術措施正在全面推广。为了学习方便,我把去年土木工程学会上海分会学术报告會上的講稿,和另外几次專題报告中有关混合材料的部分加以整理,編成本書,獻給从事混凝土工作的同志們。

一、對於混合材料的認識

目前在我国,混合材料还屬於新的土建材料,我們对混合材料的理論知識和实际經驗还不十分丰富,因此有必要先就混合材料的来源和用途討論一番。

除水泥、水和砂、石而外,混凝土中不論加入何种物質,都称为“掺加物”或“外加物”。混合材料也是掺加物的一个类别。由于这一类掺加物是和水泥、石灰、石膏等膠凝物質混合成二种或二种以上成分的膠凝物質,而不单独地用作膠凝物質;还由于这一类掺加物的掺量常达膠凝物質用量的百分之几十,所以也可以把它看作混凝土的組成材料之一,称为混合材料。顧名思义,就可以知道它是与膠凝物質混合起来使用的材料。別类掺加物加入混凝土中的数量往往很少,一般只有水泥重量的百分之几或千分之几,甚至万分之几,少得象用葯剂一样,习惯上称为掺加剂。比如“早强剂”“塑化剂”、“加气剂”等。塑化剂,加气剂一类的掺加剂与混合材料比較,不但掺量的多寡不同,并且前者都由有机物質制成,而後者的原料都是无机物質,在性質上有显著的区别。然而外国常用同一名詞,例如俄文是 ДОБАВКА,英文称ADMIXTURE,这样容易混淆,現在把後者命名为混合材料就比較明确一些。

几年以来,“混合材料”已經逐漸成为一个統一的名詞,其它意义相同的名詞如“掺合料”、“附加料”、“添料”、“混合材”等已少用了。

建筑材料学中，完整一些 的混合材料的名称，应当是“粉狀礦物質混合材料”，因为它是天然的矿物原料，或矿物原料經過人工处理的半成品、成品或副产品，再加工粉碎而成的細小顆粒。加工的方法有磨細、篩分和浸入水中，使結合的顆粒分散成懸濁物。

混凝土中掺加混合材料的主要目的是节约水泥；说得具体一些，是节约水泥熟料。普通水泥主要是由熟料磨成，虽然水泥的原料是不很值钱的石灰石，粘土一类的矿物质，可是从水泥原料制成熟料需要大规模的设备，大量的劳动和燃料；水泥又是笨重的物质，从工厂运到工地，又需要相当大的运费；如果利用当地出产的、廉价的矿石或工业废料作为混合材料，代替一部分水泥，在我国水泥供不应求的情况下，有巨大的意义。但是有些人认为：混凝土中掺加混合材料之后，水泥固然是节省了，而混凝土的质量则降低了。于是把掺加混合材料看作“掺假”、“掺杂”。几年来推广使用混合材料的经验证明，这样的看法不是毫无根据的。有些同志看到把廉价的混合材料掺加到高价的水泥中，使水泥的标号降低，以及因为不善于应用混合材料而引起的质量上的缺点，因而大力反对。但是，掺加混合材料是完全可能同时达到“节约水泥”与“保证质量”这两个目的的。这些将在后面详细讨论，现在先提一下降低混凝土强度问题。实际上混凝土中掺加混合材料以后强度降低的现象不是在每一种情况下都是正确的，例如贫混凝土（水泥用量较少的混凝土）或蒸气养护的混凝土，掺加混合材料反能提高和加速混凝土的强度。由此可见：掺加混合材料决不等于掺假、掺杂，而是除了得到经济上的效果以外，还能够得到技术上的效果。

对于土建工程人员来说，掺加混合材料当然比使用现成

的混合好的水泥要复什得多：从混合材料的原料选择开始，需要一系列的技术措施；同时，还必须考虑到利用地方资源，降低工程成本，保证工程质量。我们必须学会这一系列陌生的技术措施。只有这样才会正确地使用混合材料，收到节省原料和提高质量的效果。

二、粉状矿物质混合材料的历史和种类

混合材料虽为混凝土技术中的新事物，可是在水泥史上，混合材料老早就出现了，而且占有显著的地位。

约 2000 年前，希腊人民利用圣吐灵岛上的火山灰磨细与石灰和砂拌制砂浆，结硬后在水里也不会松散。罗马人民继承了希腊文化，利用那不勒斯湾附近维苏威火山灰与石灰合成水硬性的胶凝物质。罗马品质最好的火山灰产在巴茶里镇附近，被称为“巴茶兰”，这名称至今还用作各种火山灰物质的总称。后来罗马人又利用砖、瓦磨成的细粉代替天然的火山灰，也能得到相似的效果。印度人民在这类人工火山灰的应用上，也积有丰富的经验。在孟加拉生产的砖粉叫做苏尔基。由于罗马文化的传播，火山灰物质与石灰合成的胶凝物质的应用，普及全欧。其中较著名的有莱茵河畔的火山凝灰岩——特拉斯土，法国的火山灰——阿里纳斯土，日本的九州唐津火山灰也很著名。我国台湾省火山灰的产量相当丰富，主要产地为大屯火山汇、台北七星及淡水附近，品质不下于世界著名的火山灰。

罗马时代用火山灰和石灰拌制的混凝土建筑物的遗迹，有些至今依然屹立着。例如宏伟的万神殿，圆型角斗场，会议

厅等，在混凝土的表面上甚至还可以分辨木横板的痕迹；又如意大利海岸上遺留着大块的羅馬混凝土建築物，經歷了約二十個世紀，表面已被海水冲得很光滑，但是并無損壞。

在抗日戰爭時期，西南地區的水工建築物中，也曾用過磚粉和石灰拌制的混凝土。目前我國水泥工業已有石灰與火山灰物質混合的地方性水泥生產，并已推廣在工地上製造這一類水泥。

多少世紀以來，火山灰等混合材料只同石灰摻合使用。19世紀普通水泥問世以後，學者們進行了長時間的研究，开辟了混合材料摻合水泥使用的新途徑。

水泥砂漿中加混合材料的目的是，起初只為提高和易性。混凝土中摻混合材料的起初也只為提高耐水性，歐洲各國多用於海港、碼頭、下水道等工程中。近年蘇聯的學者從經濟地合理地使用水泥出發，着手研究混凝土中摻混合材料的新技術，已有新的成就。

現代混合材料的種類，當然不止火山灰、磚粉這几种，隨着工業的發展，可以用作混合材料的工業廢料的種類和數量也愈來愈多。應用這些材料，不但是廢物利用，而且也解決了廢料的積存問題。

混合材料按照性能與用途分為活性混合材料和非活性混合材料兩類。

活性混合材料是化學性質活潑的混合材料，具有在水中硬化的性質，因而也叫水硬性混合材料。活性混合材料又分為兩類，一類是獨立膠凝的混合材料，它不依靠其它物質的共同作用，單獨與水拌和後就能凝結硬化；另一類是不能獨立膠凝的混合材料，它必須与其它物質化合，才能成為膠凝性的化合物。

非活性混合材料是化学性質不活潑或活性非常低弱的物質，在常溫常压下不能和其它物質起化学反应，或者只能起低弱的化学反应。这样的性質称“惰性”或“鈍性”。这类混合材料主要是起填充的作用，所以又 称为填充性混合材料。但是它并不是完全沒有独立的膠凝性能的，比如粘土 也能在空气中膠結其它物質，只是不能在水中硬化；又如粘土結成的硬块浸入水中就会松散，因此非活性混合材料又 叫作非水硬性混合材料。

根据苏联工业結構物中央科学研究院編的“关于混凝土中掺加磨細的礦物質混合材料的規定（ $\frac{\text{И-88-53}}{\text{МСПТИ}}$ ）”，常用的活性和非活性混合材料的原料，共有二十多个品种，我国已經采用的只占其中一小部分。为了便利讀者发掘和選擇当地的混合材料，除將各种混合材料按上述規定的第一表列为下表外，另加簡單說明。其中容易混淆的品种，附註俄、英文名称。

山狀礦物質混合材料的种类

混 合 材 料 分 类	原 料 种 类	原料来源
1. 活性(水硬性)混合材料，具有輕微的独立膠凝性質	1. 鹼性粒狀高爐矿渣及爐渣	工业廢品
	2. 可煅頁岩灰	工业廢品
2. 活性(水硬性)混合材料	1. 砂質廢渣(乳土渣等)	工业廢品
	2. 酸性粒狀高爐矿渣	工业廢品
	3. 高爐廢渣	工业廢品
	4. 燒岩渣	工业廢品

	5. 燒粘土	天然原料
	6. 磚瓦及陶器碎片	工業廢品
	7. 燃料燄	工業廢品
	8. 熱電站及其它鍋爐粉狀燃料灰燄	工業廢品
	9. 高爐粉	工業廢品
	10. 火山凝灰岩	天然原料
	11. 火山灰	天然原料
	12. 浮石	天然原料
	13. 特拉斯土	天然原料
	14. 底里泊土	天然原料
	15. 矽藻土	天然原料
	16. 蛋白土	天然原料
3. 非活性混合材料 (填充料)	1. 爐頂灰	工業廢品
	2. 粘土及砂質粘土	天然原料
	3. 黃土	天然原料
	4. 粉石英	天然原料
	5. 砂	天然原料
	6. 石灰岩	天然原料
	7. 白雲岩	天然原料
	8. 石灰凝灰岩	天然原料
	9. 砂岩	天然原料
	10. 花崗岩	天然原料
	11. 輝綠岩	天然原料

(一) 獨立膠凝的活性混合材料

這類混合材料像矽酸鹽水泥一樣，能夠單獨在水中硬化。但膠凝力和強度都很低弱的，有兩種：

1. 礆性高爐礦渣。煉鐵時，高爐內礦石中的粘土質成分、

燃料中的不燃礦物質和作為熔劑的石灰石，經高溫而成的熔融廢渣是**高爐礦渣**。高爐礦渣根據**礆度**(M)確定化學性質，

是：

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

礆度大於1的高爐礦渣稱為**礆性高爐礦渣**。從高爐瀉出熔融的礦渣，以水淬之，結成塊狀而多孔的粒狀礦渣，即是**礆性粒狀礦渣**。這種礦渣因為來不及散放全部的热量又來不及結晶，而保持無定形狀態，並儲有大量化學能，因而具有水硬性性質。礆性高爐礦渣雖有獨立膠凝能力，但是一般都不單獨地用作膠凝物質，因為它與其它材料混合成的膠凝物質的品質要比單獨使用好得多。

2. 可燃頁岩灰(Золы Горючих сланцев, *spont oilshale* s)。被瀝青等有機物浸潤的粘土岩或石灰粘土岩分裂成的薄層，稱為可燃頁岩或油母頁岩。可燃頁岩燃燒後的灰渣是可燃頁岩灰。另一種可燃頁岩灰，是油母頁岩煉油的廢渣自燃後的產物，如撫順油母頁岩煉油後的殘渣是黑色的，在堆積中自燃，燒去殘留的油質，變成紅色的廢渣，俗稱赤頁岩，但其中氧化鈣含量很少，與蘇聯可燃頁灰的成分不同，應屬於活性混合材料一類。

(二) 活性混合材料

活性混合材料，通常是指本身無單獨膠凝性質，而能與氣硬石灰結合成水硬性的膠凝材料的酸性混合材料：

1. 矽質廢渣(Кремнеземистые отходы或Сиштоф, —SI-SOTgg)，又稱礬土渣，是制鋁工業的副產品。製造硫酸鋁時，將純粘土煅燒和用硫酸處理，抽出鋁後剩下的含有各種雜質的氧化矽，是矽質廢渣。這是一種活性很高的混合材料。

2. 酸性粒狀高爐礦渣，是矽度小於1的高爐礦渣，經過驟冷處理而成粒狀的酸性礦渣。與鹼性高爐礦渣的區別，在於氧化鈣較少和本身無顯立的膠凝能力，而必須與石灰或其它活化劑混合使用，才能成為膠凝材料。

3. 高爐廢渣是未經成粒的塊狀高爐礦渣。

4. 燒岩渣是天然的燒粘土，由地底煤层自燃而成，或由廢礦井中煤的自燃而成。

5. 燒粘土是用人工煅燒粘土到適當的溫度（600—800°C）產生的最大活性。

6. 窯業中的廢品磚、瓦和陶器的碎片，加工磨細成混合材料。蘇聯文獻中提到的“水泥土”（Цементки），就是這種混合材料。

7. 各種固體礦物燃料燃燒後的灰渣，根據燃料的種類，可分為無煙煤渣、煙煤渣（石煤渣）、褐煤渣、泥炭渣，總稱燃料渣。

8. 熱電站和其它工業鍋爐燃燒粉狀煤所得灰渣，稱為“粉煤灰”或“粉煤渣”。粉煤灰又叫做“飛灰”。

9. 高爐粉是高爐礦渣積存過程中體積發生崩解而成的細粉，也稱礦渣粉。

10 火山凝灰岩是火山噴發時噴出的細粒物質承受上層復蓋物的壓力及其岩層中天然膠合劑的作用結成的大塊岩石，或被風或流水帶到較遠的地方硬化而成。

11. 火山灰是火山噴發的碎屑中細小的灰燼狀的顆粒，隨空氣飄到幾十里或幾百里外的地面或水中形成的疏松的泥土狀物質。

12. 火山噴發時噴出的熔漿稱為熔岩。其中常含有大量蒸氣或氣體，冷卻過程中氣體逸散後成為多孔泡沫狀的火山

玻璃，是浮石。火山噴發物中較粗的多孔顆粒，也是浮石。

13. 特拉斯土 (Трассы Трасс), 或譯火山土，也有譯粗面凝灰岩的，富有无定形矽酸的變態，結構比較細密。有人稱它為“浮石凝灰岩”是不恰當的，因為它並非由浮石生成，外觀也不像浮石。

14. 底里泊土 (Трепелы, Tripoli earth) 是由細球形的蛋白石組成，含有少量矽藻殘骸及粘土。在化學和礦物組成上，物理性質上，很接近矽藻土，只是底里泊土中的矽藻殘骸的含量比較少，而且較軟，因此有人叫它軟質矽藻土。

15. 矽藻土 (Диатомиты, Diatomaceous earth) 在淡水或海水中，是矽藻的殘骸沉澱而成。矽藻土呈粉末狀，外觀像白堊或高嶺土。有人譯為硬質矽藻土。

16. 蛋白土主要是由含水矽石組成的較堅硬的石狀沉澱岩。自然界中有底里泊土和矽藻土礦床的地方都有蛋白土，但也有單獨埋藏着它的岩層。

(三) 非活性混合材料

非活性混合材料有下列幾種：

1. 高爐廢氣中收回的粉狀礦渣，稱為高爐爐頂灰。

2. 土狀的碎屑岩稱為粘土，在自然界呈疏松的，膏狀的固結形狀，主要成分是高嶺岩。含數量較多的機械混合石英砂的粘土，稱為砂質粘土。

3. 黃土是不分層的多孔的細土狀風成岩。我國華北、西北素稱黃土區域。

4. 粉石英是石英銳角顆粒構成的粉狀岩石，含有少量碳酸鹽，矽酸鋁和氧化鐵等雜質。

5. 砂主要由石英顆粒構成，含有少量長石，云母等雜質。天然砂按形成的條件可分為河沙、湖沙、海沙、山谷沙等。

6. 石灰岩主要成分為碳酸鈣的沉積岩，自然界中藏有大礦床。

7. 白云岩是碳酸鈣和碳酸鎂的重鹽。

8. 石灰凝灰岩是由噴泉或流水中的碳酸鈣沉積而成，有較大的空隙。

9. 任何天然膠凝物質和砂粒膠結成的碎屑岩，都稱為砂岩。

10. 花崗岩是岩漿的深成岩，主要成分是石英顆粒，正長石和少量的鹼性斜長石及有色混合物。

11. 輝綠岩是由斜長石和輝石構成，容易破碎。

除照上列活性與非活性分類而外，活性混合材料還有下列兩種分法：

1. 按照化學成分分類：

(甲)鹼度(M)大於1的都稱為鹼性混合材料，如鹼性高爐礦渣。

(乙)鹼度(M)小於1的都稱為酸性混合材料。酸性混合材料又分三類：

第一類主要成分為無定形矽酸(SiO_2)，含有化合水，形成 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，如底里泊土、矽藻土、蛋白土、矽質廢渣等。

第二類是驟冷的火山噴發物，成分除 SiO_2 以外，還比第一類混合材料多含 Al_2O_3 ，如火山灰、凝灰岩、浮石、特拉斯土等。

第三類含有大量燒粘土成分的混合材料， Al_2O_3 的成分更多。如燒粘土、燒岩渣、磚瓦及陶器碎片、燃料渣、粉狀燃料灰渣等。

酸性混合材料也常稱為火山灰質混合材料或巴茶蘭

物質。

2. 按照来源分类:

甲、天然的混合材料包括火山灰、矽藻土等。

乙、人工混合材料包括工业成品和副产品:磚瓦、陶器碎片、高爐矿渣、燃料渣、矽質廢渣等。有些天然混合材料加热处理,也应属于人工混合材料。

按 1954年苏联規定 (ГОСТ6268-54), 活性混合材料以天然和人工区分,已不再用鹼性和酸性的分类。

三、混合材料引起混凝土性質的變化

混凝土中加混合材料能发生复什的物理、化学作用,也能改变普通混凝土的性質。非活性或活性混合材料的作用,大致如下:

(一)非活性混合材料起冲淡水泥活性,降低水泥标号,填充混凝土的空隙,增加混凝土的紧密度,增加围在集料外层膠凝材料漿体的厚度和濃度,从而改善混凝土的可塑性、持水性和粘性的作用。非活性混合材料在常温与大气压力下,对氫氧化鈣不发生化学作用,或仅发生微弱的化学作用。但是含 SO_2 成分的非活性混合材料,如石英砂,在高温高压下能与氫氧化鈣起化学反应。

(二) 活性混合材料除发生上述非活性混合材料的作用外,还和水泥水化或水解过程中析出的氫氧化鈣相互作用。就氫氧化鈣而言,它在混凝土中无助于强度,但却是混凝土侵蝕和破坏的根源。因为氫氧化鈣能够被水溶解,它的化学性質又不稳定,容易与其它化合物发生化学反应,如果侵入混凝土的水中含有矿物鹽,則能和氫氧化鈣化合,形成更容易溶解