

掺活性火成岩混合材的 水泥的抗硫酸盐性

工学碩士

C. M. 洛雅克副教授

B. B. 茂斯略也娃 合著

K. B. 湯琪洛娃

建筑工程出版社

掺活性火成岩混合材的
水泥的抗硫酸盐性

江苏工业学院图书馆
藏书章

建筑工程出版社出版

• 1959 •

內容提要 本小冊子系摘譯自蘇聯水泥科學研究院論文集第9集中的一篇論文“Сульфатостойкость цементов с активными добавками вулканического происхождения”。這篇文章主要是為了進一步擴大抗硫酸鹽火山灰質水泥的生產，對火成岩混合材及摻有這種混合材的水泥所進行的系統而詳細的研究報告。其具體內容包括混合材的特性，活性礦物質混合材與石膏的結合過程的研究，抗硫酸鹽性的研究和水泥在硫酸鹽溶液中硬化時侵蝕過程的研究，並對這些問題作了結論性的闡述。對我國的水泥工業工作者有很大參考價值。

原本說明

書 名 “НИИЦЕМТ” ТРУДЫ В ПУСК ●9
著 者 С.М.Рояк, В.В.Мышляева, К.Б.Таядилова
出 版 者 Промстройиздат
出版地點及年份 Москва—1956

摻活性火成岩混合材的
水泥的抗硫酸鹽性
閔益榮 譯

*

1959年7月第1版 1959年7月第1次印刷 2,545冊
787×1092 1/32 • 22千字 • 印張1 • 定價(10)0.16元
建築工程出版社印刷廠印刷 • 新華書店發行 • 書號: 1328

建築工程出版社出版(北京市西郊百萬莊)
(北京市書刊出版業營業許可證出字第052號)

目 录

引 言.....	(1)
混合材的特性.....	(4)
活性矿物質混合材与石膏的結合过程的研究.....	(11)
水泥的抗硫酸盐性的研究.....	(13)
水泥在硫酸盐溶液中硬化时侵蝕过程的研究.....	(16)
结 論.....	(27)
参考文献.....	(29)

为了实现苏联水利工程建設方面的极其偉大的綱領，就必须进一步扩大抗硫酸盐水泥的生产及其品种。

由于苏联学者 Е.И.特魯日宁；А.А.巴依科夫，В.А.金德，В.Н.容克，П.П.布特尼可夫等的努力，在苏联首先創造了火山灰質水泥，同时，亦解决了制得抗硫酸盐水泥的問題。

为了进一步扩大抗硫酸盐火山灰質水泥的生产，就需要寻找活性矿物質混合材料的新矿床，同时須更广泛地应用已知的混合材料。

由于上述要求，利用火成岩混合材料就有特別重要的意义，尤其是对于缺乏沉积岩混合材料的地区。

有这样的意見認為，抗硫酸盐火山灰質水泥中掺有含多量活性氧化鋁的混合材（天然的及人工的煅燒粘土——人工煅燒粘土 Глинит、天然煅燒粘土 Глинеж、浮石 Пемза、火山凝灰岩 Туф 及酸性高爐矿渣）时，不仅應該限制水泥熟料中氧化鋁的含量，并且應該限制混合材中氧化鋁的含量。

最近，烏茲別克共和国科学院化学研究所的研究工作〔1,2,3〕解决了利用人工煅燒粘土及天然煅燒粘土生产抗硫酸盐火山灰質水泥的可能性問題，同时肯定了人工燒粘土及天然燒粘土中的氧化鋁参与形成硫鋁酸鈣不会使这种水泥的抗硫酸盐性降低。

應該注意到，关于生产抗硫酸盐水泥时必须限制火成岩質混合材料中氧化鋁的含量的見解，是没有足够的实验数据可以依据的。

С.Д.奥克罗科夫〔4〕研究了火山灰質水泥的抗硫酸盐性与熟

料的矿物組成及活性矿物質混合材料的性質这三者之間的关系。在研究时，采用了下列混合材，按 1 克混合材所能吸收 CaO 的毫克数来表示的活性如下：

安尼依浮石	46
吉扎姆火山凝灰岩	138
巴郎諾夫火山凝灰岩	57—105

按奥克罗科夫的数据，巴郎諾夫及吉扎姆火山凝灰岩水泥的抗硫酸盐性較安尼依浮石水泥的抗硫酸盐性为低。作者以前两种混合材含多量的氧化铝来解释这个，然而并没有指出这氧化铝的含量，是指的混合材料中可溶性的 Al_2O_3 ，还是指的在腐蝕过程中由实验确定的 Al_2O_3 。

B.B. 金德〔5〕以及 C.Д. 奥克罗科夫〔6〕在另一著作中指出，掺入少量的高氧化铝混合材料（20—25%）的某些火山灰質水泥在熟料成分不合宜的情况下，其抗硫酸盐性往往比正常的波特兰水泥为低。

C.Д. 奥克罗科夫〔4〕及 Л.С. 柯岡〔7〕认为活性火成岩混合材料中不希望含有可溶性氧化铝，故其含量应该加以限制。这种规定的依据是认为混合材料中可溶性氧化铝与水泥硬化时的氢氧化钙及介质中的硫酸盐发生化学作用而生成硫铝酸钙，这种化合物的生成是在固相中进行的（并且体积增加），因此，可能引起混凝土的破坏。

Л.С. 柯岡在同一著作中指出，火成岩質混合材料中可溶性氧化铝的含量应该是有限制的，同时指出，到目前为止，氧化铝起不良作用的原因究竟何在？它以何种化合物形态存在时对波特兰水泥的抗硫酸盐性起不良的作用及在活性矿物質混合材中容許氧化铝的含量是多少？这些问题还没有正确可靠的数据来确定。

C.M. 洛雅克及 З.Л. 达紐息夫斯卡雅〔8〕研究了含有某新矿产

地火山凝灰岩的火山灰質波特兰水泥的抗硫酸盐性。作者研究了这种火山凝灰岩的几种試制品后确定了这样一个事实，即在火山凝灰岩的燒失量、可溶性氧化鋁的含量、活性及含这种火山凝灰岩的水泥的抗硫酸盐性之間，存在着一定的关系。随燒失量及可溶性氧化鋁的增加，火山凝灰岩的活性及水泥的抗硫酸盐性也就提高。

假使火山凝灰岩的活性（按吸收CaO的量）超过80—90毫克/克，为了制得抗硫酸盐火山灰質水泥，作者建議可掺入这种火山凝灰岩30%。

因此，对所研究的火山凝灰岩來說，当其活性相当高时，其中含多量的可溶性氧化鋁，对火山灰質波特兰水泥并不表示出不良的作用。

众所周知，活性火成岩混合材料，其組成及結構是多种多样的。

根据許多作者的資料，火成岩質混合材料基本上是由含有不同矿物雜質的火山灰玻璃及失去透明性的玻璃質所組成。矿物雜質通常是長石、不同的斜長石以及云母、綠泥石类的矿物、偶而亦含有角閃石及輝石。在某些矿石中亦遇到沸石类的矿物。有时在矿石中含有氧化矽，可能存在玉髓，偶而亦有石英。火成岩質混合材料的特点是含有多量的碱，有时达到10%。

到目前为止，火成岩混合材料与波特兰水泥熟料矿物水化后的产物——首先是氧化鈣的水化物——互相作用的物理化学过程还没有最后地被闡明，其原因之一是这些矿物組成的复杂性。与由不同类型的胶状水化氧化矽所組成的沉积岩混合材料相反，在火成岩混合材中未必存在活性氧化矽。在这些混合材中，少量的游离氧化矽以石英、方石英及玉髓存在。

本研究工作的目的在于确定火山灰質波特兰水泥的抗硫酸盐性与火成岩混合材的性質及其氧化鋁含量的关系。与此同时，当

然應該考慮到熟料中 C_3A 的含量，因為它在很大程度上決定着水泥的抗硫酸鹽性。

同時亦必須闡明在何種條件下應該限制混合材中可溶性氧化鋁的含量，亦須確定火成岩混合材的可溶性氧化鋁的含量、吸收 CaO 的活性及水泥抗硫酸鹽性之間的關係。

混合材的特性

進行研究時，採用了几種典型的火成岩質混合材：阿尼依浮石、依邁、雅特林、吉扎姆及阿巴斯塔賓火山凝灰岩以及火山凝灰岩“B”。為了比較，除火成岩質混合材料之外，還採用了經過詳細研究的沉積岩質混合材料——沃爾斯克蛋白石及粘土類的混合材料——克壽爾克依天然燒粘土。應該指出，所採用的天然燒粘土是不符合標準的，因為按可溶性氧化鋁而言，它不符合烏茲別克共和國科學院化學研究所規定的要求（不超過3.5%）。所用試樣在吸收 CaO 的活性不高的條件下，可溶性氧化鋁的含量超過6%。

所有混合材料的化學成分列入表1。

為了確定混合材的礦物成分，對所用活性混合材曾進行了顯微鏡研究。混合材的岩相分析是由C.Д. 契特維里科夫副教授所完成的。

下面對所有的混合材料進行簡單的描述。

阿尼依浮石——礦石基本上是折光係數為1.50—1.51的火山玻璃體。

依邁火山凝灰岩——礦石是多孔性的礫性玄武岩，有斑狀結構及泡沫狀組織，雜質是不同的橄欖石。基本組成是含多量輝石及鈦輝石小長方體結晶的玻璃體。礦石的化學成分與礫性似玄武

表 1
混 合 材 的 化 学 成 分 (%)

混 合 材 名 称	烧失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	SO ₃	碱		总 和
									Na ₂ O	K ₂ O	
阿尼依浮石	3.64	65.39	17.14	2.53	3.42	1.71	—	0.32	—	5.99	100.1
雅特林 1 号火山凝灰岩	1.76	75.36	14.55	1.32	0.83	0.40	—	0.21	2.23	3.64	100.0
雅特林 2 号火山凝灰岩	6.34	70.39	13.50	1.69	1.78	0.16	—	0.16	1.38	4.30	99.70
吉扎姆火山凝灰岩	8.11	61.90	16.85	4.09	1.85	1.74	—	0.30	2.87	1.73	99.45
阿巴斯塔 1 号火山凝灰岩	8.04	66.74	14.67	1.42	2.18	0.20	—	0.48	3.09	4.72	99.24
阿巴斯塔 2 号火山凝灰岩	6.67	64.80	16.18	2.33	3.11	1.31	—	0.72	—	4.93	100.05
火山凝灰岩 “Б”	8.90	62.66	12.70	0.72	9.49	0.58	—	0.15	1.76	2.81	99.77
卡拉达克浮石凝灰岩	6.56	69.97	11.09	4.56	1.79	0.52	—	0.34	2.87	2.00	99.70
依近 1 号火山凝灰岩	1.61	43.51	19.24	12.35	9.47	6.56	0.44	0.08	3.50	2.82	99.77
依近 2 号火山凝灰岩	1.33	43.27	19.17	12.02	9.26	5.97	0.15	0.36	5.66	1.36	98.58
克寒尔克依天然凝粘土	3.51	72.83	15.04	4.82	0.53	0.44	—	0.64	—	2.01	99.82
沃尔斯克蛋白石	4.41	73.79	12.88	3.24	2.39	1.31	—	0.31	—	—	98.33

岩（外表似玄武岩的黑色火山岩）及碧玄岩（Базанит）相近。

雅特林火山凝灰岩——矿石是流紋凝灰岩，有十分不同的結構；一部分是由珍珠形結構的玻璃體組成，一部分是由透長石組成的球形發光體，可能是方石英以及沸石和玉髓碎片的摻合物。部分矿石有碎屑斑狀結構，是由石英的玻璃體和通常為碎屑性并有时与基質相混合的結晶体所組成。后者是極多的，是流體的火山質玻璃所組成，部分地遭受到晶出作用。條紋結構的方向因在矿石不同的部位而異，這是火山岩矿石的特性。按化學成分与董青流紋岩——含董青石的火山噴出物相近（粘結在矽土質圍岩上）。

吉扎姆火山凝灰岩——系接觸岩，大概是火山爆發噴入沉積岩而形成的。

由岩相分析的結果知道，矿石基本上是由火山玻璃質所組成的物質，此外還含有長石類的個別雜質及沉積岩雜質。沉積岩雜質是由圓柱形的蛋白石，放射蟲類的介殼及蛋白石的非晶形顆粒所組成。而長石，石英及海綠石的顆粒只是以個別的顆粒出現。

阿巴斯塔賓火山凝灰岩——該矿石是火山灰凝灰岩，有碎屑狀的結構并由斜長石的多角碎屑強烈的多色性黑雲母的極小碎片及大量的火山玻璃質所組成（這種玻璃質受二級過程后——綠泥石化及高齡化——成分有很大的變化）。斜長石有環形結構。在比較大的斜長石晶體內，往往含有玻璃質。這說明了結晶過程是在非常迅速的條件下進行的。除此之外，亦可以遇到少量的磁性氧化鐵（ Fe_3O_4 ）的顆粒及鈦的氧化物。

按化學分析的結果，矿石有英安流紋岩的成分，這完全符合顯微鏡下觀察的結果。

火山凝灰岩“Б”——岩石是流紋凝灰岩，有斑狀結構，是由多角形斑狀的碎屑及玻璃質的主要部分所組成。玻璃質是由部分地經晶出作用而成不很圓的圓球狀的角形折曲狀的屑片所組成。

按碎屑的外形，可以看到絹云母的薄片。摻杂物具有多角性碎片的特性，它們可能是石英，№30 环带状的斜長石及透長石。有时主要部分是流紋狀的組織，其中可以看到沒有完成反結晶的部分。在空隙部分，有时可以看到各向光性相同的結晶体，这种晶体与方石英非常相似。这种矿物在所有的玻璃态物質中可以完全确定地分辨出来。除此之外，可能遇到个别磷灰石及榍石的顆粒，亦可能遇到透長石的球形碎屑。

因此，按岩相研究結果，所有選擇的活性矿物質混合材料基本上是由不同結構及成分的火山玻璃体結晶后的产物及不同晶狀矿石所組成。

为了闡明所研究的矿石的特性和把它們列入某种岩浆岩类，依科学院院士 A.H. 扎瓦列次基的方法对混合材料的分析数据进行了岩石化学的整理工作。

依扎瓦列次基的岩石化学計算法，矿石可以用被氧化矽和氧化铝所飽和的程度来表示其特性。用这种計算法的結果，可以把所研究的混合材料分成二組：

(1) 被氧化矽和氧化铝过飽和的酸性矿石：阿尼依浮石，阿巴斯塔宾，雅特林及吉扎姆火山凝灰岩；

(2) 未被氧化矽飽和及氧化铝含量正常的矿石：依迈火山凝灰岩。

被氧化矽所飽和的矿石中，往往含有石英的晶体，偶而亦有方石英或磷石英的晶体。在二級过程发生后的情况下，亦可能生成玉髓。在物質的晶出作用不完全时，过剩的氧化矽集中在矿石的玻璃状物質中，氧化矽以石英、方石英及玉髓的晶形分离出来，在雅特林及阿巴斯塔宾火山凝灰岩和火山凝灰岩“Б”中可以特別明显地看到。

属于被氧化铝过飽和的矿石，其特点是含有六配位的鋁所組

成的矿物，鋁的六配位在矽酸盐的晶格中是其最基本的作用。

根据文献资料，六配位鋁的联系与在剛玉中的联系相同，而其活性較四配位时小得很多。

在綠泥石类的矿物中，部分的鋁成六配位状与氧化合，正如在剛玉中一样，而部分鋁成六配位状与 OH 化合。鋁与 OH 化合时，活性較大，易溶于酸中。

因此，矿石被氧化鋁所过饱和还不能作为較火山灰玻璃質中的氧化鋁及鋁矽酸盐掺杂物中的氧化鋁活性更大的指标。在火成岩質的混合材料中，含有一系列的綠泥石，云母及高岭石类的矿物，这証明了氧化鋁有較高的活性。氧化鋁以这种形式存在的，可以在雅特林、阿巴斯塔宾火山凝灰岩及火山凝灰岩“B”中观察到。

用不同的方法研究了混合材料的水硬活性。按苏联标准 ГСОТ 6269—52 测定了从石灰水中吸收 CaO 的量，按烏茲別克共和国科学院化学研究所的方法测定了混合材料中可溶性氧化鋁的含量。除此之外，研究了混合材料与波特兰水泥混合后混合物的物理机械强度，試驗时采用了軟練砂浆，試件尺寸为 $4 \times 4 \times 16$ 厘米。

测定可溶性氧化鋁的方法如下：称取已干燥至恒量及已經磨細至完全通过 0085 号篩的試样 0.5 克倒入容积为 150 至 200 毫升的白金或磁蒸发皿中，加入 100 毫升 6% 的盐酸，盖上表面玻璃，放在水浴上加热三小时，然后进行过滤。在滤液中用普通的分析法测定氧化鋁的含量（ R_2O_3 与 Fe_2O_3 的差数）。

混合材料的活性及可溶性氧化鋁的数值列入表 2。

从表 2 可以看出，不論按混合材料的活性（ CaO 的吸收量）及可溶性氧化鋁的含量來說，所选用的混合材料相互間有很大的差別。除此之外，其矿物組成亦異。

阿尼依浮石基本上是稍有变質的酸性火山質玻璃，吸收 CaO 的活性及可溶性氧化鋁都較低。

混合材料的特性

表 2

混合材料名称	烧失量 %	活性 毫克CaO/克	可溶性 Al ₂ O ₃ %	按分析所得 Al ₂ O ₃ %
阿尼依浮石	3.64	43.3	1.41	17.14
雅特林 1 号火山凝灰岩	1.76	70.0	1.87	14.55
雅特林 2 号火山凝灰岩	6.34	142.0	5.08	13.50
吉扎姆火山凝灰岩	8.11	256.2	7.78	16.85
阿巴斯塔宾 1 号火山凝灰岩	8.04	227.1	8.76	14.67
阿巴斯塔宾 2 号火山凝灰岩	6.67	151.0	6.06	16.18
火山凝灰岩“Б”	8.90	267.7	6.46	12.70
卡拉达克浮石凝灰岩	6.56	119.0	6.72	11.09
依迈 1 号火山凝灰岩	1.61	50.0	9.70	19.24
依迈 2 号火山凝灰岩	1.33	62.3	11.70	19.17
克寿尔克依天然烧粘土	3.51	31.4	6.26	15.04
沃尔斯克蛋白石	4.41	334.0	3.57	12.88

依迈火山凝灰岩基本上是氧化矽不飽和及含有正常含量氧化鋁的礦物，其按吸收CaO的活性為50—60毫克，可溶性Al₂O₃的含量很高，因此，依迈火山凝灰岩未被氧化矽所飽和，而在玻璃質中含有多量的Al₂O₃，它極易為鹽酸所分解。

雅特林 2 号火山凝灰岩，阿巴斯塔宾火山凝灰岩及火山凝灰岩“Б”是被氧化矽強烈地過飽和的礦物，在礦石中可能遇到游離態的方石英和玉髓的結晶體。

這些火山凝灰岩的火山質玻璃是屬於變質體，其特點是含有綠泥石、雲母及部分高嶺土類的二級性礦物。這一事實，可能是說明了這些混合材料的活性之高及含多量的可溶性Al₂O₃。

雅特林 1 号火山凝灰岩與 2 号相比較，其活性較低，可溶性Al₂O₃的含量亦低，這是由於這礦物變質的程度較小所致。

吉扎姆火山凝灰岩是沉積岩摻入于火成岩所得的變質岩，其活性很高，可溶性Al₂O₃的含量亦高。

應該注意，在沃尔斯克蛋白石中，含有可溶性 Al_2O_3 ，3.57%。

為了表示出混合材的水硬活性，並且用快速法測定了所謂“活性”氧化矽的含量，測定的方法與用5%的碳酸鈉溶液進行5次浸出的方法相當。

採用的方法如下：稱取試樣0.5克，然後加入10%的碳酸鈉溶液100毫升（于蒸發皿中），于熱水浴上蒸發二小時，最後測定溶液中氧化矽的含量。

然而，用以上方法所測得的數值，不能完全顯出火成岩質混合材料的活性。這是因為火成岩質混合材料中不含有極易溶于碳酸鈉溶液中的膠狀水化氧化矽的緣故，而是極其複雜的多礦物岩。

為了顯示出混合材對熟料礦物水化時所析出的氧化鈣的吸收能力，用“十月”工廠的熟料（ C_3S —53.4%， C_3A —8.37%）加入30%及50%的混合材料制得水泥，對其水化過程進行了研究。在研究時，採用了烏茲別克共和國科學院化學研究所測定人工燒粘土及天然燒粘土的水硬活性的巴依科夫的方法。其方法如下：

稱取水泥10克置于燒瓶中，加入剛煮沸過的蒸餾水200毫升，所得的水泥與水之比为1:20，燒瓶用橡皮塞蓋上，然後周期性地加以振蕩。在開始七天內，每天振蕩數次，七天以後，每天振蕩一次。對每一試驗期限，有單獨的試樣，試驗齡期為14天、28天、3個月及6個月，然後把水泥漿過濾，在濾液中，測定 CaO 的含量（草酸鈣的沉淀）。

測定結果列入表3。

從所得數值可以看出，對28天齡期來說，由純水泥及含有30%活性低的依邁2號火山凝灰岩、雅特林1號火山凝灰岩和克壽爾克依天然燒粘土水泥所得的溶液中含 CaO 的量最多。

如吉扎姆及阿巴斯塔賓火山凝灰岩這樣的高活性火成岩質混合材料以30%加入于水泥中時，其溶液中 CaO 的含量甚至較加入

丁沃尔斯克蛋白石者为低。

经过3个月及6个月后，溶液中氧化钙的含量进一步地降低，尤其当加入50%活性较高的混合材料时。

按巴依科夫方法测得的水泥水化程度的数据 表 3

所掺混合材料的名称	活性 CaO/克	可溶性 Al ₂ O ₃ %	混合物組成, %		溶液中CaO的含量, 克/公升			
			水泥	混合材料	14天	28天	3个月	6个月
“十月”工厂的純水泥	—	—	100	—	1.415	1.264	1.289	1.081
阿尼依浮石	43.3	1.41	70	30	1.390	1.179	0.791	0.637
阿尼依浮石	—	—	50	50	1.327	0.927	0.656	0.425
雅特林 1 号火山凝灰岩	70.0	1.87	70	30	1.432	1.285	0.994	0.907
雅特林 1 号火山凝灰岩	—	—	50	50	1.390	1.241	0.907	0.772
雅特林 2 号火山凝灰岩	141.9	5.00	70	30	1.390	1.011	0.849	0.791
雅特林 2 号火山凝灰岩	—	—	50	50	0.990	0.906	0.521	0.405
古扎姆火山凝灰岩	226	7.78	70	30	1.222	0.864	0.791	0.749
古扎姆火山凝灰岩	—	—	50	50	0.842	0.358	0.154	0.087
阿巴斯塔宾 1 号火山凝灰岩	227.1	8.76	70	30	1.327	0.843	0.753	0.733
阿巴斯塔宾 1 号火山凝灰岩	—	—	50	50	0.967	0.210	0.080	0.052
依迈 2 号火山凝灰岩	62.3	11.6	70	30	1.369	1.264	0.846	0.714
依迈 2 号火山凝灰岩	—	—	50	50	1.316	1.200	1.743	0.726
克寿尔克依天然燒粘土	31.4	6.26	70	30	1.306	1.220	1.003	0.752
克寿尔克依天然燒粘土	—	—	50	50	1.369	1.169	0.811	0.724
沃尔斯克蛋白石	334	3.57	70	30	1.306	0.904	0.849	0.791

活性礦物質混合材与石膏的 結合过程的研究

从水泥的抗硫酸盐性的观点来看，研究一下混合材料中氧化鋁与硫酸鈣結合能力的問題是很有意义的。为了这一目的，用測定活性的同一方法（按ГОСТ 6269—52）测定了混合材料从石灰-石膏溶液中吸收CaO及CaSO₄的量。从量筒中取出50毫升溶液，

用盐酸滴定以测定CaO的含量，然后利用这溶液测定CaSO₄的含量(用BaCl₂在盐酸溶液中进行沉淀)。在研究时，采用了每立升含有1.265克CaO及1.585克CaSO₄的溶液。

混合材从石灰-石膏溶液中吸收CaO及CaSO₄的数值列入表4。

由表4中的数值可以看出，在石灰-石膏溶液中，CaSO₄与混合材料进行结合作用，并且混合材料吸收CaO的数值较用石灰溶液时为大。

按与CaO及CaSO₄相结合而言，沃尔斯克蛋白石与其他混合材料有极大的不同，虽然从石灰-石膏溶液中所吸收的CaO的量较从石灰溶液中所吸收CaO的量有显著的增加(以416克代替334克)，然而结合CaSO₄的量十分微小—27.2克，从石灰-石膏溶液中吸收大量的CaO的事实可以作如下的解释，即SO₄²⁻离子夺取蛋白石水化氧化矽的水份，因此而活化了氧化矽。

混合材从石灰-石膏溶液中所吸收的CaO及CaSO₄的数值 表4

混 合 材 名 称	烧失量 %	可溶性 Al ₂ O ₃ %	活 性 毫 克 CaO/克	經石灰-石 膏溶液处理	
				CaO毫克	CaSO ₄ 毫 克
阿尼依浮石	3.64	1.41	43.3	78.5	50.3
雅特林1号火山凝灰岩	1.76	1.87	70.0	88.6	50.0
雅特林2号火山凝灰岩	6.34	5.00	42.0	184.0	76.3
阿巴斯塔宾1号火山凝灰岩	8.04	8.76	227.1	326.0	150.3
阿巴斯塔宾2号火山凝灰岩	6.67	6.06	151.0	211.0	100.8
古扎姆火山凝灰岩	8.11	7.78	256.0	337.0	141.0
火凝灰岩“B”	8.90	6.46	268.0	300.0	106.0
卡拉达克浮石凝灰岩	6.56	7.20	119.0	179.0	92.0
依迈1号火山凝灰岩	1.60	9.70	50.0	88.2	77.8
依迈2号火山凝灰岩	1.33	11.60	62.3	85.0	74.4
克寿尔克依天然烧粘土	3.51	6.26	31.4	124.0	99.3
沃尔斯克蛋白石	4.41	3.57	334.0	416.0	27.2

为了使石膏与混合材相互作用的情况与混合材实际应用时的

情况相接近,进行了在硬化試品中 CaSO_4 与混合材料結合过程的研究,試品由65%混合材料20%氧化鈣及15%石膏所組成。

石膏的化合量按П.А.古达維琪的方法測定。

与混合材結合的石膏量

表 5

混合材料名称	燒失量 %	可溶性 Al_2O_3 %	活性 克 $\text{CaO}/$ 克	生成 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ 条件下所結合的 CaSO_4 量(換算成 Al_2O_3 来表示)							
				3天	7天	14天	28天	3个月	6个月		
阿尼依浮石	3.64	1.41	43.3	0.66	0.69	1.15	1.52	2.66	2.82		
雅特林1号火山凝灰岩	1.76	1.87	70.0	0.54	0.53	0.89	1.19	1.54	2.08		
雅特林2号火山凝灰岩	6.34	5.00	142.0	1.18	1.91	2.08	2.69	3.38	3.49		
阿巴斯塔宾1号火山凝灰岩	8.04	8.76	227.1	1.75	2.36	3.26	3.52	4.21	4.49		
阿巴斯塔宾2号火山凝灰岩	6.67	6.06	150.1	1.56	1.28	2.68	3.21	4.03	4.81		
吉扎姆火山凝灰岩	8.11	7.78	256.6	2.46	2.56	3.43	3.71	4.28	4.58		
依迈1号火山凝灰岩	1.6	9.70	50.0	0.20	0.95	2.17	1.85	4.02	4.93		
依迈2号火山凝灰岩	1.38	11.60	62.3	0.99	1.43	1.30	2.04	3.90	4.76		
克寿尔克依天然燒粘土	3.51	6.26	31.4	2.61	2.97	4.06	4.01	4.97	5.87		
沃尔斯克蛋白石	4.41	3.57	334.0	1.41	1.46	1.14	1.22	1.05	1.67		

生成硫鋁酸鈣时,由混合材石灰及石膏所組成的試品中所結合的 CaSO_4 的量(換算成 Al_2O_3)列入表5。

由所得数据可以看出,到6个月为止,混合材繼續与石膏进行結合作用。應該注意到,酸性混合材——雅特林2号火山凝灰岩、阿巴斯塔宾及吉扎姆火山凝灰岩——所結合的 CaSO_4 的量几乎与硷性混合材——依迈火山凝灰岩——所能結合的 CaSO_4 的量相等。不过依迈火山凝灰岩在硬化后期(3个月至6个月)繼續强烈地与石膏相化合。

水泥的抗硫酸盐性的研究

为了研究上述混合材对含有不同量 C_3A 水泥的抗硫酸盐性的影响,采用了成份不同的三种熟料,熟料的化学矿物組成列入表6。