

膨胀水泥译文集

科学技术文献出版社

膨胀水泥译文集

(只限国内发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

开本 $787 \times 1092 \cdot \frac{1}{16}$ 4 印张 100千字

统一书号：15176·84 定价：0.35元

1975年10月出版

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业，干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

前 言

水泥是工程建设中一项不可缺少的材料。但收缩一直是水泥固有的一个缺点，由于水泥有收缩又加之受抗拉强度低等其他因素的影响，因此在使用其制作的混凝土结构中常常会出现大大小小的裂纹。

为了克服这一弱点，人们都研究一种膨胀水泥或叫收缩补偿水泥。也就是说用这种水泥制成的混凝土在受约束条件下能产生膨胀，利用膨胀时产生的压应力来补偿收缩。

一般根据膨胀量大小的不同，又把膨胀水泥分成微膨胀量的（收缩补偿）水泥（其膨胀产生的压应力约为 $2 \sim 7$ 公斤/厘米²）和高膨胀量的自应力水泥（其膨胀产生的压应力为 $7 \sim 70$ 公斤/厘米²）。

近年来，国内外将收缩补偿水泥用作梁柱接头的灌浆材料和用于机器台座与混凝土基础接触的表面、地脚螺栓的锚固、防水、防渗等。而自应力水泥多用于制作水泥管。

我国从1954年开始研究膨胀水泥，近年来发展较快，归纳起来分为两大类，一类是以矾土水泥为主要原料的铝酸盐类；一类是以普通水泥为主要原料的硅酸盐类。

铝酸盐类主要以石膏和矾土为主要原料并加有助磨剂（滑石粉或木炭），郑州503厂已生产这种水泥，用于管道接头及油罐等。

硅酸盐类膨胀水泥，其主要成分为硅酸盐水泥及一定量的膨胀组分，其膨胀组分有石灰加石膏的，如北京琉璃河水泥厂及苏州吴县水泥厂生产的浇筑水泥。另外也有采用一定量的矾土水泥（熟料）和二水石膏作膨胀组分加入硅酸盐水泥中，如南京水泥管厂用这种水泥制作自应力水泥管。

除上述两大类外，国内还有明矾石膨胀水泥，也有加铝粉等外加剂以及使其生成氢氧化镁的膨胀剂等。

国外，法国研究膨胀水泥最早，以后美、日、苏等都有发展。美国常用的膨胀水泥有三种，即K型，S型和M型，都以硅酸盐水泥为主要原料，在市场上有出售。

日本则主要是生产膨胀剂，使用部门在市场上购买这种膨胀剂加入水泥中制成膨胀混凝土。目前在日本有三种膨胀剂，其中两种为硫铝酸钙型，另一种则为氧化钙型。

苏联在膨胀水泥研究方面主要分两个渠道进行，即用于防水、修补等以高铝水泥、石膏和铝酸钙配制的膨胀水泥，另一种则为硅酸盐水泥加上高铝水泥和石膏制得的自应力水泥。

为了适应当前国家建设的需要，我们搜集翻译了一部分膨胀水泥资料（主要侧重微膨胀水泥），供从事水泥研究、生产、使用部门参考。

中国科学技术情报研究所
冶金工业部建筑研究院

1975年7月

目 录

前 言

膨胀水泥简况	(1)
水泥外加剂及其生产方法	(3)
铁粒子系统无收缩灌浆料的性能	(7)
抗缩剂	(20)
如何选择灌浆材料	(31)
快硬膨胀水泥	(35)
膨胀水泥	(35)
收缩补偿混凝土的性能	(45)
收缩补偿水泥在减少混凝土开裂中的作用	(49)
膨胀水泥与水泥膨胀剂文摘	(58)

膨胀水泥简况

膨胀水泥是一种在早期硬化过程中能产生膨胀的水硬性胶凝材料。

用这种水泥作成的混凝土称之为膨胀混凝土。膨胀混凝土分两种：收缩补偿和自应力。根据美国混凝土学会的定义“收缩补偿混凝土”是一种膨胀水泥混凝土，这种混凝土在受限制的情况下，由于膨胀而产生的压应力几乎全部补偿混凝土由于干缩产生的拉应力。

“自应力混凝土”是一种膨胀水泥混凝土，这种混凝土在受限制的条件下，由于膨胀产生足够高的压应力，致使混凝土在干收缩（蠕变）完成以后，混凝土中还会有大的压强。

混凝土中，收缩补偿水泥产生的压应力约为 $2 \sim 7$ 公斤/厘米²，自应力水泥产生的压应力为 $7 \sim 70$ 公斤/厘米²。

所有的膨胀水泥都是以硅酸盐水泥为主要成分，含量在 $70 \sim 94\%$ 之间。除硫酸盐含量（ $4.5 \sim 6.5\%$ ）和氧化铝含量稍高（ $5 \sim 9\%$ ）、氧化硅含量稍低外，其他成分与硅酸盐水泥相似。

美国的克林（Klein）对水泥化学方面进行了研究，证明了无水硫铝酸钙是一种稳定的化合物，并且在1964年11月3日取得了膨胀水泥的第一个专利权。市场上第一次出售膨胀水泥熟料是1963年1月。膨胀水泥至今在市场上都有出售。1964年，美国混凝土学会组织了膨胀水泥混凝土委员会。委员会的任务在于提供混凝土应用膨胀水泥的报告和资料以及制定生产和使用膨胀水泥的建议等。

美国生产的三种收缩补偿水泥有代表性的氧化物成分如下：

水泥品种	K 型	S 型	M-X型
SiO ₂ (%)	21.6	18.3	18.4
Al ₂ O ₃	4.8	8.8	7.7
Fe ₂ O ₃	2.8	1.9	2.1
CaO	62.4	63.7	61.1
MgO	0.7	1.1	3.0
SO ₃	6.2	5.3	4.7
Na ₂ O	0.18	0.04	0.04
K ₂ O	0.18	0.30	0.04
L-O-I	1.06	—	—

三种水泥是以含氧化铝不同而区别。K型含 $C_4A_3\bar{S}$ ，M-X型含 $CA + C_{12}A_7$ ，S型含 C_3A 。

1965年，日本开始用膨胀水泥制作各种混凝土构件，使用量逐渐增加。1968和1969年用量较大。

在日本市场上不出售膨胀水泥，只是出售膨胀剂。用户将这种膨胀剂在混凝土搅拌时作掺合料加入，制成膨胀混凝土。1971年日本膨胀剂的总产量为二万吨，1972年达到三万吨，换算成K型水泥，相应为廿万吨和卅万吨。

日本有一半膨胀剂是用于制作化学预应力混凝土管、钢管的内衬和自应力混凝土，全部为蒸汽养护以加速脱模时间。

在日本出售三种膨胀剂，一种为A型膨胀剂（硫铝酸钙型）。最近又生产另一种硫铝酸钙型的膨胀剂，称之为膨胀剂B。A和B型膨胀剂与美国K型膨胀水泥的成分相同。这两种成分都促成混凝土生成硫铝酸钙而膨胀。

A型中的 Al_2O_3 含量比B型高。A型中无水硫铝酸钙（ 3CaO 、 $3\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 CaSO_3 ）的计算值为19.9%，B型中为14.4%。B型中 SO_3 含量比A型稍高。A型中的 SO_3 与 Al_2O_3 克分子比为3.6，B型为5.3，这两个克分子比值都比形成硫铝酸钙所需的克分子比值高3。A型的 CaO 和 Al_2O_3 的克分子比值是4.6，B型是9.0。B型水泥除了靠形成硫铝酸钙产生膨胀外，还靠游离的氧化钙。

近期开始在市场上出售另一种形式的膨胀剂，它是靠一种特殊加工的氧化钙的作用而使混凝土膨胀（可参见表2）。

表1 膨胀剂A和B的试验结果

	化 学 成 分 (%)								比表面积 (厘米 ² /克)
	无机物 灼失量	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	总计	
A	1.0	4.0	10.0	1.2	52.5	0.6	28.3	99.0	3.280
B	0.6	1.3	7.2	0.4	59.7	0.6	30.2	100.0	2.250

	化合物成分 (计算, %)				克 分 子 比		比 重
	$\text{C}_3\text{A}_3\text{CaSO}_4$	f-CaO	f-CaSO ₄	C_2S	$\text{SO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$	
A	19.9	19.7	43.7	11.5	3.6	4.6	2.93
B	14.4	32.1	48.2	3.7	5.3	9.0	3.04

表2 氧化钙型膨胀剂的试验结果

无机物 灼失量	化 学 成 分 (%)							比表面积 (厘米 ² /克)	比 重
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	总计		
0.4	13.1	2.9	2.0	76.9	1.1	3.0	99.4	2.050	3.21

表3 膨胀剂和水泥掺合料的化学成分

	无机物 灼失量	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	总计
I型硅酸盐水泥	0.5	22.3	4.4	3.1	64.5	1.6	1.9	98.9%
用膨胀剂A代替8%水泥	0.5	20.8	4.9	3.0	63.5	1.5	4.0	98.9%
用膨胀剂B代替7%水泥	0.5	20.8	4.6	3.0	64.2	1.5	3.9	99.1%

刘玺书摘译自 KLEIN Symposium on expansive
cement concrete 1972年

张跃凯校

水泥外加剂及其生产方法

本发明所述的水泥外加剂是以石膏、矾土和石灰作基础，它能使水泥混合物在凝固时产生膨胀。

众所周知，水泥有严重的缺点，即在硬化和干燥时产生收缩，以致在混凝土表面往往出现裂纹。

往水泥中掺外加剂，以阻止其出现有害的收缩。这种有膨胀能力的水泥外加剂有许多种，在美国专利3155526以及第三届国际水泥化学会议文集（伦敦1952年）第584页H. Lafuma的报告中已有介绍。

CaO 、 Al_2O_3 和 CaSO_4 系统的水泥膨胀外加剂在水化作用时产生水泥晶核，它在水泥硬化和干燥时引起膨胀。已知这种水泥外加剂由约55% CaO 、25% Al_2O_3 、20% SO_3 或约50% CaO 、25% Al_2O_3 、26% SO_3 组成，而 CaO 、 Al_2O_3 和 SO_3 之克分子比为3:1:1或2,2:1:1.4。能产生水泥晶核矿物的主要成分大概是几种矿物的混合物，其分子式相当于 $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ 和大量游离 CaO 。而与 $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ 分子式相应的矿物，在水化作用时其本身不形成水泥晶核，因此也不膨胀。

惯用的以石膏、矾土和石灰为基础的水泥掺合料，其 SO_3 含量约为15~26%，因而太低。事实是外加剂中硫酸盐含量太低时只能使水泥稍微膨胀，这似乎是由于形成水泥晶核的主要成分是一种含石膏量低的矿物混合物，例如是由 $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ 和游离 CaO 组成的混合物。实际上，往多数水泥中掺大约2.7%的石膏以控制其硬化，而掺入的石膏同 $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ 和游离 CaO 等材料反应生成硫酸盐含量高的水泥晶核。

而惯用的水泥外加剂的缺点是生成水泥晶核的量太少，速度太低，以致水泥不能达到实际要求的膨胀，但是如果往通常的水泥中加进20%以上这种三成份混合料，就不会出现上述情况。

为此，本发明的任务是制造一种以硫铝酸钙为基础的水泥外加剂，这种外加剂在本身水化时将生成大量硫酸盐含量高的水泥晶核，往水泥中加入少量外加剂就能达到要求的膨胀。

开头所讲的那种水泥外加剂可用以下方法制得：作基础的硫铝酸钙，它由35~60%的 CaO 、30~45%的 SO_3 、10~20%的 Al_2O_3 以及掺杂物，主要是 SiO_2 和 Fe_2O_3 组成；此外还包

表 1

试 块	成 分						烧 损 (%)	总 计 (%)
	CaO (%)	SO_3 (%)	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)		
A	60.1	26.8	8.5	2.0	1.1	微 量	0.9	99.4
B	46.7	25.5	23.0	1.6	1.5	〃	1.3	99.6
C	52.6	30.9	11.8	2.4	1.0	〃	0.6	99.3
D	45.3	35.7	13.4	2.1	0.9	〃	1.7	99.1
E	43.2	42.9	11.0	1.4	0.5	〃	0.4	99.4
F	42.5	46.7	8.1	1.2	0.8	〃	0.5	99.8

含约为硫铝酸钙重量的 0 ~ 20% 的游离CaO和至少20%的CaSO₄。

因此，本发明中的水泥外加剂主要由3CaO · 3Al₂O₃ · CaSO₄ 和 12CaO · 7Al₂O₃ 以及 20% 以上的游离CaSO₄和小于20%的游离CaO等矿物组成。掺入20% 以上的游离 CaSO₄是必需的，以使其同3CaO · 3Al₂O₃ · CaSO₄ 起变化能得到足够量的硫酸盐含量高的水泥晶核。此外，随着游离CaO含量的增加，水泥外加剂的膨胀速度也加快。但是水泥外加剂膨胀太快，事实上也会带来一定的缺点，因此限定游离CaO的含量最多不超过20%。

在表 1 中列出本发明的各种不同水泥外加剂的成分。

表 2 所示为含有15%的本发明水泥外加剂的水泥浆其线膨胀系数。

表 2 水泥浆的线膨胀系数 (· 10⁻⁴)

试 块	成 型 后 的 天 数					
	1	2	4	7	14	28
A	0.5	0.7	2.3	3.0	5.0	4.6
B	6.8	8.5	12.8	15.0	15.5	14.8
C	3.8	15.4	34.8	91.0	131.2	150.6
D	9.3	23.5	75.3	162.9	307.7	302.2
E	4.3	11.3	36.8	54.8	73.0	94.2
F	2.4	6.9	15.2	23.3	31.9	31.3

生产试样时，水泥外加剂的粒度磨至与常用的水泥粒度大致相同，并与标准的波特兰水泥混合，这时外加剂的量为波特兰水泥和外加剂总重量的15%。用此水泥混合料制成标准砂浆，其水泥骨料比为1:2，并在20℃的水中检验砂浆硬化时的线膨胀速度。

从表 1 和 2 中可以看出，SO₃的含量对膨胀速度或膨胀系数影响很大。当SO₃的含量低于30%时，制得的混凝土其线膨胀系数小于 1 %，这在实际使用时太低，所以SO₃含量至少为30%。

相反，在本发明的外加剂中若SO₃含量超过45%时，仅有60%的外加剂用于促使形成水泥晶核而其余的40%在水泥浆水化时生成石膏而消耗掉了，水泥的膨胀也相应地受到破坏。

因此当SO₃含量超过45%时，会使水泥浆的膨胀能力受到很大破坏，最严重时会损失将近一半。

在水泥外加剂中的SO₃最佳含量，即能获得最大膨胀能力时SO₃的含量，为30~45%。

因为Al₂O₃和SO₃其克分子比为1:3，Al₂O₃和CaO适宜的克分子比为1:6，可得出 Al₂O₃和CaO的最佳含量分别为10~20%和35~60%。

在所发明的水泥外加剂中限定SiO₂含量为 5 %或更少些。这是由于 SiO₂ 含量低于 5 % 时能生成2CaO · SiO₂化合物，若SiO₂含量超过 5 %，在制得的混凝土中会生成钙黄长石，从而破坏掺外加剂的水泥的机械强度。

在有大量Fe₂O₃时，很容易形成氧化铁含量高的水泥晶核，它是长时间养护之后混凝土才膨胀的原因。而一般都要求使水泥在早期养护时就出现膨胀，所以限制Fe₂O₃的掺入量为 5 %或更低些，以避免形成氧化铁含量高的水泥晶核。

本发明的水泥外加剂可通过按上述材料成分配制的混合料在1100℃~1350℃的温度下煅烧或熔融而制得。所用石膏、矾土和石灰按这样的比例混合，即使成品中得到上述的含量且其CaO、Al₂O₃、CaSO₄的克分子比尽可能近似保持 3:1:3。通过煅烧或熔融就得到本发明的

水泥外加剂。

与常用的方法，即在1350℃以上煅烧相反，采用较低的煅烧温度就可避免石膏的热分解。另外采用较低的煅烧温度需用的热量比常用的方法要少。

下面用图进一步解释本发明：

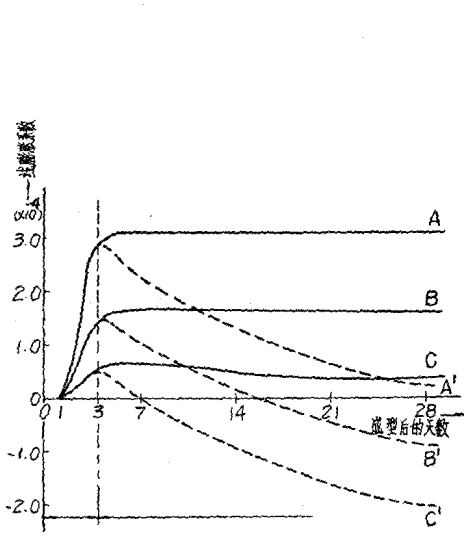


图1 与时间有关的混凝土试块线膨胀系数的关系

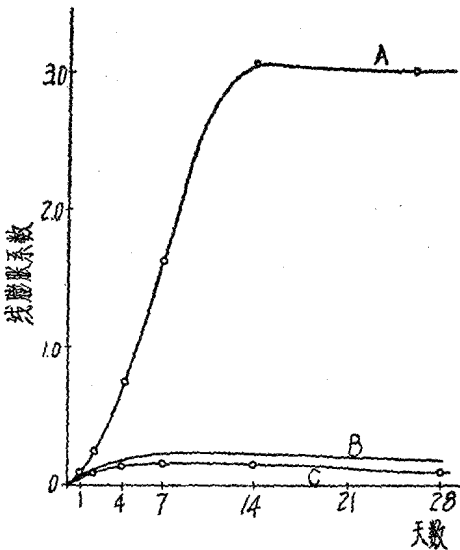


图2 用常用的几种水泥作比较试验的结果

图1：ABC实线表示混凝土试块的线膨胀系数，其中水泥外加剂的掺量为13，10和10%，这些试块在成型后的头3天及以后的时间都在20℃水中进行硬化。虚线A' B' C' 表示用完全相同的混凝土试块得出的线膨胀系数，试块在成型后头3天在20℃的水中养护，其余的时间在空气中硬化。

从图中可以看出，外加剂掺量为波特兰水泥的1%时，已开始膨胀，在外加剂量很小时，水泥混合料的膨胀速度逐渐增加。当外加剂量超过10%时，波特兰水泥的膨胀速度很快增加。

图1还说明，未掺外加剂的水泥的主要缺点是收缩，但只要加入水泥和水泥外加剂总量的1~15%本发明的外加剂就可以完全克服，同时也不破坏水泥和砂浆的机械性能。

当外加剂量超过15%时，膨胀速度很快上升。如果掺有外加剂的混凝土或砂浆被制约住，而不能膨胀，于是由于化学变化在其内部产生一个潜在的压应力，这使其机械强度得到改善。

表 3

试 块	烧 损 (%)	CaO (%)	SO ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	总 和 (%)
A	1.7	45.3	35.7	13.4	2.1	0.9	99.1
B	1.5	54.5	18.5	23.0	1.3	0.5	99.3
C	2.1	44.5	23.7	20.9	4.6	4.0	99.8

图 2 列出采用本发明的外加剂及用常用的水泥外加剂其线膨胀系数的时间变化曲线。其中曲线 A 相应于表 1 中的试块 D，外加剂 B 按美国专利 3155526 的数据加工，而 C 采用 H. Lafuma 报告中给定的成分制得。

曲线 A、B 和 C 明确表示出本发明的外加剂比其他几种外加剂优越。

表 3 给出每种水泥外加剂的成分。

另外还表明，掺有本发明外加剂的水泥，若不使其太剧烈膨胀，在长时间内机械强度与标准水泥的一样。实际上已证实，在外加剂量不超过 10% 时，本发明的外加剂能改善水泥的机械强度。

下面将举几个例子来进一步说明：

例 1：

按重量把 84 份石膏（含 45% 的 SO_3 ），18 份煅烧白矾土（含 85% 的 Al_2O_3 ）和 32 份熟石灰（含 72% 的 CaO ）研成粉末，加入 38% 的水拌成糊状，放在 1100°C — 1250°C 的回转窑中焙烧，并将制成的水泥外加剂也研成如标准波特兰水泥相似细度的粉末。采用这种方法即得出重量为 100 份的本发明的水泥外加剂。

下表 4 列出制得的水泥外加剂成份

表 4

CaO (%)	SO ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)
45.3	35.7	13.4	2.1	0.9	微 量

烧 损 (%)	总 计 (%)	游离CaO* (%)	游离CaSO ₄ ** (%)	真 比 重	按Blaine的比表面 积 (厘米 ² /克)
1.7	99.1	11.8	21.5	2.92	3.250

*游离CaO含量按ASTM C114—58测出

**游离CaSO₄含量按Forsen（美国混凝土研究所志vol.31, 1961年1月）方法测出

得出如表 4 所给成分的硫铝酸钙，按表 5 中的比例同标准波特兰水泥混合。

制得的混凝土其膨胀性能由线图 1 表示。

根据抗压强度和抗弯强度试验得出，混凝土试块的机械性能令人满意。

例 2.

将按重量 87 份石膏（含 43% SO_3 ），18 份煅烧白色矾土（含 85% Al_2O_3 ）和 26 份生石灰（含 95% CaO ）磨成粉末并拌合，在 1150 — 1350°C 的电炉中熔融，制成 100 份本发明的外加剂。

在表 5 中列出这种水泥外加剂的成份。

制得的外加剂与例 1 一样，性能较好。

专利说明

1. 以石膏、矾土和石灰作基础，使水泥混合物在凝固时产生膨胀的水泥外加剂，其特点为：以硫铝酸钙作基础，它由 35—60% 的 CaO ，30—45% 的 SO_3 ，10—20% 的 Al_2O_3 以及其他掺杂物主要为 SiO_2 和 Fe_2O_3 组成，另外还包括约占硫铝酸钙重量的 0—20% 的游离 CaO

表 5

CaO (%)	SO ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)
46.5	34.9	14.7	1.2	1.4	微 量
烧 损 (%)	总 计 (%)	游离CaO* (%)	游离CaSO ₄ ** (%)	真 比 重	按Blaine的比表面积 (厘米 ² /克)
0.9	99.6	12.3	20.8	2.91	3.120

*游离CaO的含量按ASTM C114—58方法确定

**游离CaSO₄的含量按Forsen方法（美国混凝土研究所志vol. 31, 1960年1月）确定

和至少20%的游离CaSO₄。

2. 生产说明 1 中水泥外加剂的方法，其特点为原材料在1100—1350℃温度下焙烧。

叶秀玉译自 西德专利1299246

王生传校

铁粒子系无收缩灌浆料的性能

1. 铁粒子无收缩灌浆料

这种灌浆料使用的拌成料是以颗粒级配好的特殊铁粒子骨料做主要材料，再向这主要材料中配以减水剂、促凝剂、离子性触媒剂等化学成分。用这种拌成料时，一种情况是把它与水泥、细骨料和细卵石（5~10毫米）拌合使用；另一种情况是在工厂把拌成料与水泥、砂子拌好，在现场使用时只是再加入拌合水，制做所需要灌浆料，这种在工厂预拌的混合料称为预拌拌成料。其比重和筛分的分析结果如表1所示。

表 1 各种铁粒子系拌成料的比重和筛分的分析

试 样	比 重	筛 分 的 分 析 (通 过 率%)					
		2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.088
E 社的拌成料	5.30	100	80.2	48.4	31.2	20.6	16.4
		(100)	(76.3)	(38.2)	(17.7)	(5.0)	—
N 社的拌成料	5.17		100	69.3	41.2	20.0	17.2
			(100)	(92.9)	(29.0)	(13.4)	—
	4.85		100	77.7	38.8	16.2	12.2
			(100)	(74.6)	(30.3)	(4.6)	—

() 内的数值是大于0.088毫米的铁粒子的筛分试验值。

这种灌浆料一般不采用压力灌浆法，灌浆时采用漏斗等工具灌入或直接流进间隙中，也

就是利用灌浆料的自重，直接灌入到间隙之中的一种灌浆方法。这种灌浆料与普通砂浆灌浆料比较具有如下特点：

- (1) 施工时流动性好，而且材料离析少；
- (2) 由于铁粒子骨料的化学反应，所以无收缩；
- (3) 早强且长期强度高；
- (4) 硬化后的稳定性好。

因此，这种灌浆料主要使用在重型机械安装时的底座填料，桥墩支座下部垫层，钢结构的基础和混凝土基础灌缝，各种构造物接缝的灌浆，锚固螺栓的灌浆等。

这种灌浆料目前日本市场上出售的有如下几种：

- (1) 岩配可拌成料 (EMBEKO)，日曹大型建筑公司；
- (2) 无收缩拌成料 (NON-SHRINK)，ABC商会公司；
- (3) 埋他昆 (METACON)，日本外加剂工业公司等。

2. 铁粒子系灌浆料的性能

(1) 没有硬化的灌浆料的性能

1) 流动性

灌浆料的流动性关系到灌浆操作的难易，一般来说，流动性大，操作容易，但会导至离析，收缩大。影响流动性的因素如下：

- a) 水灰比；
- b) 砂的级配 (细度模量越大，灌浆料的流动性就越大)；
- c) 水泥质量 (因牌号、种类、质量等不同而流动性不同)；
- d) 拌成料的种类 (因牌号、种类、质量等不同而异)。

一般皆用流动性试验所采用的锥形漏斗来测定灌浆料的流动性，用锥形漏斗中流下来规定数量灌浆料所经的时间 (秒) 表示流动性。但由于这种灌浆料中使用的骨料粒径较大，用

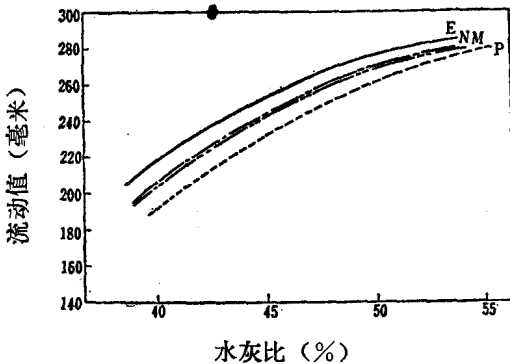


图 1. 灌浆料水灰比与流动值的关系

图 1 中：P 为普通拌成料；E 为 E 社拌成料；
N 为 N 社拌成料；M 为 M 社拌成料。

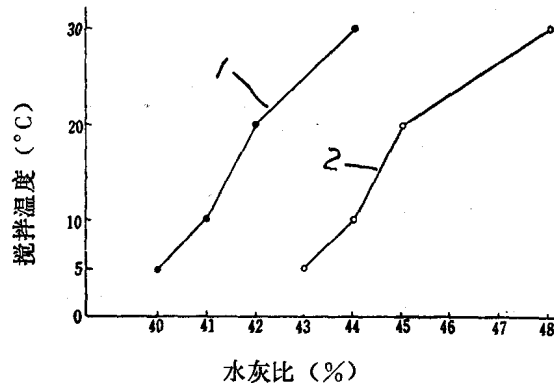


图 2. 搅拌温度与流动值的关系 (流动值 250 毫米时需要的水灰比)

图 2 中：1—E 社拌成料；2—普通拌成料。

这种方法、当漏斗口径太小时测定试验不好做。但现在还没有更好的代替这种试验的方法。一般还是按JISR-520中规定的流动性试验方法进行试验。但这种试验方法只能确定在灌浆施工时的流动性的大概标准，所以还不是一种灌浆料流动性的理想的试验方法。灌浆料是一种粘性流体的塑性变形材料，试验方法中需要考虑时间的因素，为了说明这一点正在研究室进行试验。参考灌浆料水灰比和流动值的关系的测定结果如图1所示。搅拌温度对灌浆料的流动值给予一定的影响的测定例子如图2所示。这种灌浆料灌浆时需要的流动值为240~260毫米。

2) 材料的析水

灌浆料是水泥、骨料（铁粒子、砂）和水的混合物，由于骨料、水泥颗粒沉降，拌合水聚集在上部表面的现象称为析水。这种现象持续到灌浆料中的水泥开始凝结、分散体互相接触为止。影响灌浆料析水的因素如下：

- a) 水泥的性质（粒度越粗则析水越大）；
- b) 骨料的粒度（0.15毫米以下细骨料越少，则析水越大）；
- c) 灌浆料的温度（温度越高，则析水越大）；
- d) 灌浆料的硬化速度（硬化速度越慢，则析水越大）。

析水的测定：在一定的容器中采取灌浆料，测定集聚在容器表面的水量，这个水量与试料的最初拌合水之比值即是析水百分率。

铁粒子灌浆料析水率测定实例如图3所示。养生温度与析水的关系如图4所示。

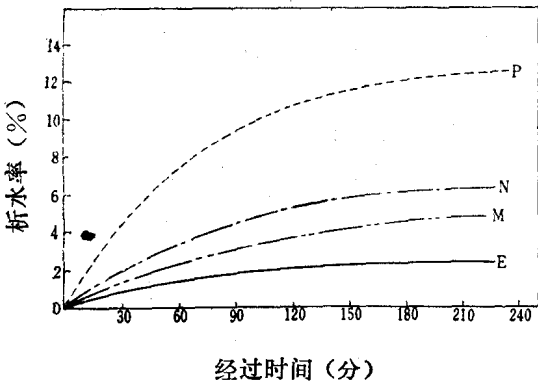


图3. 灌浆料的析水率

图3中：P为普通拌成料；E为E社拌成料；N为N社拌成料；M为M社拌成料。

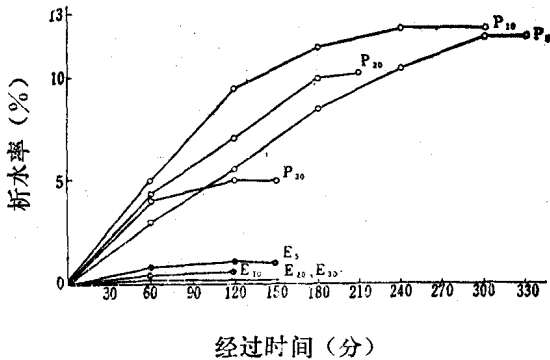


图4. 养生温度与析水的关系

图4中：P为普通拌成料；E为E社拌成料；数字表示养生温度。

一般当增加灌浆料的流动性时，虽然容易操作，但灌入时的流动值超过某种值（240—260毫米）时，引起离析，尤其用漏斗灌浆时在弯头等处较容易析水，使灌浆困难，灌浆后的初期沉降收缩量增大，不可能恢复原来的状态。所以，过分地增加流动性反而事得其反。希望对施工不同的部位进行充分的研究，再决定灌浆时的流动值。

3) 灌浆料的初期硬化速度

灌浆料最好在一定时间内保持有流动性，而当灌浆完了之后希望快速硬化，但达到这样

的性质是相当困难的。要想掌握灌浆料的硬化开始时间，需要知道施工可能用的时间、脱模时间、灌浆后的收尾时间等。另外，灌浆料的硬化速度由于水泥的质量、拌成料的种类、养生温度的不同而有所差别。

通过JIS或其它规程可在某种程度上知道水泥的凝结时间。但需要特别注意的是，在掺入骨料以及拌成料时，就和单一水泥的性质不一样了。

混凝土、砂浆或灌浆料初凝速度的测定方法有好几种，但是一般简单的而且比较好的一种测定硬化过程的试验方法可用美国材料试验协会的葡式贯入阻力试验方法。

这种方法是向砂浆或灌浆料中插入贯入针，根据这个贯入针所受的阻力，测定其硬化的程度。当贯入阻力在500磅/吋²以下时，可以再次振动，把这个值称为振动极限值。当贯入阻力达到4000磅/吋²时，表示混凝土或砂浆已经凝结或硬化完毕。用这种方法测定铁粒子灌浆料的硬化速度的例子如图5所示。养生温度对灌浆料硬化速度的影响的例子如图6所示。从这些例子可以得知，铁粒子灌浆料与普通灌浆料相比，铁粒子灌浆料硬化速度很快。当然这种硬化速度也因拌成料的种类、养生温度的不同而异。

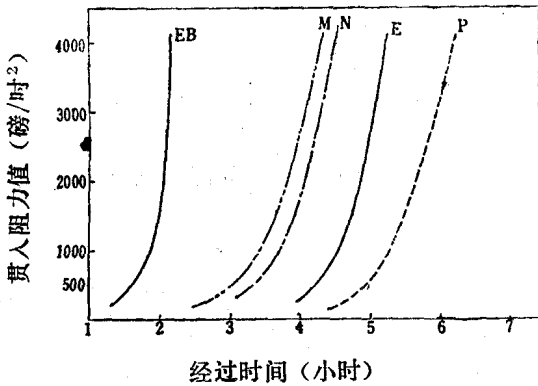


图5. 灌浆料的初始硬化速度

图5中：P为普通拌成料；E为E社拌成料；EB为E社拌成料（早强硅酸盐水泥）；N为N社拌成料；M为M社拌成料。

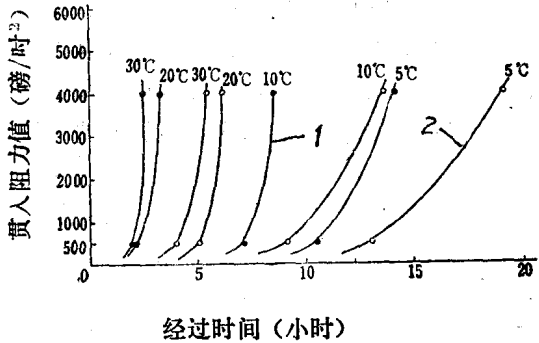


图6. 养生温度与硬化速度的关系

图6中：1—E社拌成料；2—普通拌成料。

4) 灌浆料的容积变化

a) 普通灌浆料的容积变化

伴随着普通灌浆料的硬化，灌浆料的容积变化图形如图7所示。

从图7可见，用普通砂浆的灌浆料并不能防止收缩。随着初期的沉降收缩和硬化的进展，总收缩在逐渐增加时，这样间隙就完全不能灌满。下面为了更简单解释这一点，可只用水泥浆为例来分析。在100克的水泥浆中加入40克的水（水灰比40%），当水泥的比重为3.15、水的比重为1时，水泥浆的容积为：

$$\text{水泥浆容积} = \frac{100}{3.15} + \frac{40}{1.0} = 32 + 40 = 72 \text{ 厘米}^3。$$

此水泥浆经过一定的时间后，开始进行水化反应，假定化合水为水泥重量的10%，则水泥的水化物容积是100克水泥和10克化合水形成的水泥石和30克的游离水。

这110克水泥部分的水化物容积不等于 $(100 \div 31.5) + (10 \div 1) = 42 \text{ 厘米}^3$ (比重2.6), 水化物的平均比重为2.8, 其容积为 $100 \div 2.8 = 39 \text{ 厘米}^3$, 故水泥的水化物容积为 $39 + 30 = 69$

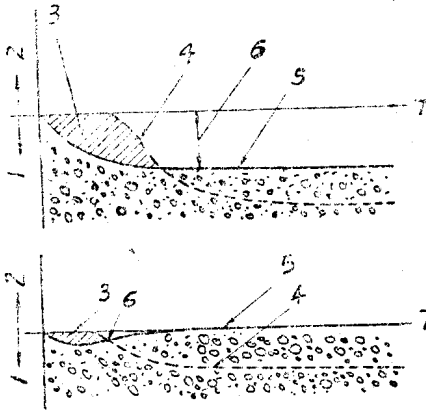


图7. 灌浆料的容积变化图

图7中: 1—收缩; 2—膨胀; 3—浮水; 4—灌浆料中的水面; 5—灌浆料表面; 6—沉降收缩; 7—时间。

面上的特性。

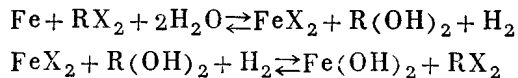
离子性触媒: 有促进铁的离子化作用, 由于这种作用使灌浆料具有无收缩性能。

◆分散剂: 使骨料和水泥粉状物在搅拌水中具有分散的均匀性, 同时减少了用水量; 得到适于施工的和易性, 防止材料析水。

水泥: 增强强度。

这些成分按下述的机理, 引起物理及化学变化, 产生膨胀现象, 即无收缩作用。

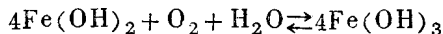
由于离子触媒作用, 按下述的反应, 生成氢氧化亚铁。



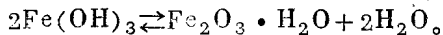
RX: 离子性触媒剂。

即铁首先变成氢氧化亚铁。

其次, 在粒子的表面分离化合的活性炭的吸附氧, 容易作用于氢氧化亚铁, 通过下述反应变成三氢氧化铁。



这种三氢氧化铁保持如下平衡:



如只考虑这些化合物的结晶构造的 α_0 方向性 (这是因为处理简单), Fe 、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 等的 α_0 的晶格常数如下:

$\text{Fe}(\alpha) \dots \dots \dots 2.860 \text{ \AA}$

$(\beta) \dots \dots \dots 3.63 \text{ \AA}$

$(\Delta\delta) \dots \dots \dots 2.93 \text{ \AA}$

$\text{Fe}(\text{OH})_2 \dots \dots \dots 3.24 \text{ \AA}$

$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \dots \dots \dots 4.55 \text{ \AA}$

即铁的晶格常数在3左右, 由于氧化或氢化作用, 在3.24~4.55的范围内产生膨胀。

厘米³。这样, 100克水泥水化物容积减少了 $72 - 69 = 3 \text{ 厘米}^3$ 。而水化以后还要继续, 所以容积可能减少6厘米³。然而实际使用中不只是水泥浆, 还要加入骨料, 所以容积的减少不能那样大, 但无论怎样做用普通水泥砂浆灌浆料一定产生收缩。

b) 铁粒子系灌浆料的膨胀 (无收缩) 理论

铁粒子灌浆料是由下述原料组成的。

铁粒子骨料: 是一种具有特殊粒度的铁粒子, 它是由特殊的烧结过程烧成的, 并且它有与空气吸附的适度的离脱系数, 同时具有触媒作用, 有把水固定在铁粒子表面上的特性。

把铁变成氢氧化亚铁的条件需要有水，这种水有两种形式，即不与铁结合只是共存的物理水，和与铁结合的化合水，化合水与铁结合产生三氢氧化铁。所以只是铁的膨胀。但与此相反，与铁共存的水消失了。当铁产生膨胀的容积与消失水减少的容积相等时，绝对容积没有变化，关于这一点是无收缩作用的关键因素。

5) 灌浆料容积变化的测定

目前日本还没有适当的方法，在国外只有美国81工兵团有这种方法。

在作者的研究室中对这种试验方法进行过研究，如照片1—2（图略）所示的就是这种试验装置，铁粒子灌浆料的容积变化的测定结果如图8所示。照片1是把灌浆料浇灌在直径 5×10 厘米的试件中，把厚度10毫米、并经过精密加工的玻璃板安装在它的表面上，将多余的灌浆料除去。在表面五处贴电阻片，用电桥测定，首先测定原点值，隔24小时取下玻璃板用电桥测定灌浆料表面。减去玻璃板的厚度值后即为灌浆料的容积变化。另外，照片2的方法是根据灌浆料灌入的形状制作金属模板，灌浆料灌入模板中，硬化后取下表面板的螺栓，从这部分测定灌浆料的表面变化（共15点），减去表面板的厚度值，求灌浆料的容积变化。

用这种方法测定结果证明，铁粒子灌浆料看不出有膨胀（无收缩）。

6) 灌浆料硬化时温度的提高

铁粒子灌浆料在凝结和硬化过程中，产生的水化热比普通混凝土大。这是由于这种灌浆料中掺有各种早强剂的原故。

当然灌浆料的水化热温度的高低受使用的拌成料的种类、水泥品种、水灰比、试体大小及表面积、模板种类、灌浆处的状况及存放的位置有关系。当上述条件相同时，越靠近试体的中心温度越高。越外边温度越低。灌浆料的水化热温度与时间的变化关系的测定结果如图9所示。可见拌成料的种类不同水化热温度就不同。

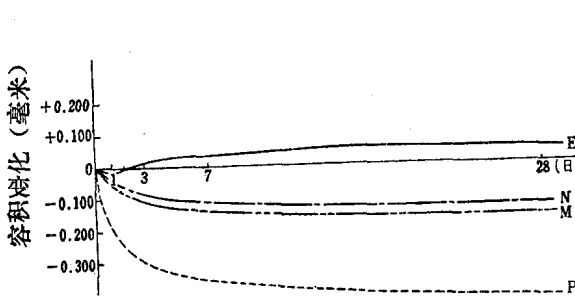


图8. 灌浆料膨胀收缩的试验结果

图8中：P为普通拌成料；E为E社拌成料；
N为N社拌成料；M为M社拌成料

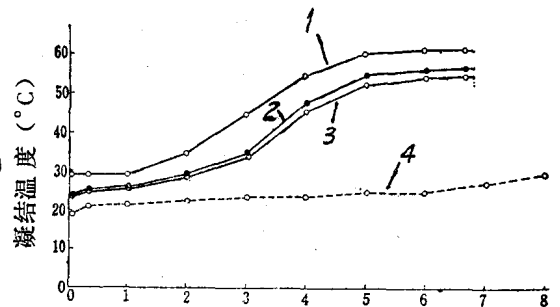


图9. 各种铁粒子灌浆料的水化热温度与时间的关系

图9中：1—E社拌成料；2—N社拌成料；
3—M社拌成料；4—普通拌成料；

(2) 硬化的灌浆料性能

1) 硬化的灌浆料的比重

众所周知，普通的砂浆或混凝土的比重与所使用的骨料的比重、骨料的粒度、粒形、粗骨料的大小、配合比以及湿度有关，所以，使用铁粒子系拌成料的灌浆料的比重比普通混凝土的比重略高，约为2.5左右。铁粒子系的拌成料的比重为5.0，它是灌浆料中的水泥、骨料