

第六届国际水泥化学会议论文集 第二卷

水泥水化与硬化

(二)

DIJIUJIEGUOJISHUINHUAXUEHUIYILUNWENJI

572

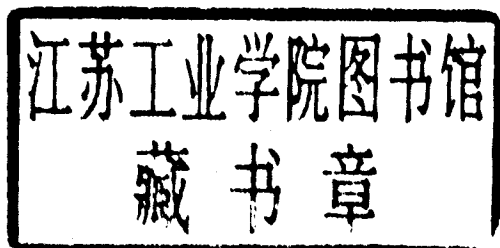
中国建筑工业出版社

第六届国际水泥化学会议论文集

第 二 卷

水泥水化与硬化 (二)

沈 威 等译



中国建筑工程出版社

21266/5

《第六届国际水泥化学会议论文集》于1976年在莫斯科出版。全集分三卷：第一卷《水泥熟料化学》，第二卷《水泥水化与硬化》（分一、二册），第三卷《水泥及其性能》。

本书为第二卷第二册，译出了五篇主要报告，选译了二十八篇补充报告。主要论述各种外加剂和养护条件对水泥水化、硬化过程的影响，以及硬化初期的水泥水化理论。并介绍了研究水化过程的新方法和近代物理力学试验的进展等有关内容。

本书除供水泥工艺、水泥化学、混凝土制品等专业技术人员阅读外，也可作其它有关领域的科研人员和大专院校师生参考。

参加本书翻译工作的有：沈威、陈志源、潘守芹、冯铭芬、袁莹、沈文花、谢克宽。全书由沈威总校，金容容协助整理。

ШЕСТОЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС
ПО ХИМИИ ЦЕМЕНТА

Том II

ГИДРАТАЦИЯ

И ТВЕРДЕНИЕ ЦЕМЕНТА

Книга 2

МОСКВА·СТРОЙИЗДАТ·1976

* * *

第六届国际水泥化学会议论文集

第 二 卷

水泥水化与硬化（二）

沈 威 等译

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：10¹/₂ 字数：282 千字

1981年10月第一版 1981年10月第一次印刷

印数：1—3,900册 定价：1.95元

统一书号：15040·4027

序 言

第六届国际水泥化学会议第二组“水泥水化与硬化”的有关论文，共分两册出版。在第二册中包括：主要报告5篇，补充报告36篇及讨论发言27篇。

本书综述近几年来，在研究化学外加剂对水泥水化硬化过程影响方面，取得显著进展的成果；指明了各种外加剂对水化动力学、水化产物的物相和晶形的转变、水泥的凝结和硬化、水泥石和混凝土的耐久性、抗冻性、不透水性等影响的作用机理的主要研究进展，并指出研究和应用复合多组分化学外加剂的新趋向；还介绍了不同要求所用的化学外加剂，以及外加剂按其在水泥和混凝土作用特性进行分类的原则。

本书综述了水泥硬化初期的水化过程、熟料矿物和浆体的水化机理以及水化产物的物理化学性质与其分布等研究成果。分析了引起假凝和过早凝结的原因和某些外加剂对它的影响。对于用预先水化的方法以控制凝结硬化的可能性，也作了一定的介绍。

在提高养护温度和压力对水泥水化硬化的影响的综述报告和讨论发言中，反映了改进水泥和混凝土在温度和压力下加速硬化方法的研究进展。还介绍了高温、高压条件下的水化机理和水化动力学、水化产物的组成和形态以及混凝土建筑技术性质的变化。对后期强度降低的原因也作了分析，并提出了若干改进措施。

在关于水泥浆体和混凝土蒸压处理的研究报告中，论证了水化产物的本质、结构、孔隙度等决定力学强度、耐久性的特征，与水泥的组成，掺合料的种类、数量、细度以及硬化时的养护温度、时间等各种条件的关系。对于上述因素以及其它方面的情况对混凝土建筑技术性质的影响，也作了阐述。

还特别注意到研究波特兰水泥水化过程的新方法。近几年来研究成功的测试方法，对于硅酸钙和波特兰水泥的水化，已经提供一系列新的资料。

本书最后综述近代的水泥力学试验，分析了各国最常用的强度测定方法，并作了一定的评论。还阐明了各种强度快速测定法所依据的基本原理。

本书所发表的系统性资料，反映了水泥水化硬化方面一系列基本问题的研究的新成果，对于本领域理论科学的发展，与水泥、混凝土等材料、制品或结构等建筑技术性质的改善，都具有重要的科学实践意义。

目 录

序 言

主 要 报 告

一、化学外加剂对水泥水化、硬化过程的影响	1
----------------------------	---

补 充 报 告

(一) 水泥促硬剂的作用理论和分类	13
(二) C_3A 在掺有石膏和氯化钙时的浆体强度	18
(三) 熟料-木质素磺酸盐-碳酸盐系统的性质	30
(四) $4CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot SO_3$ 浆体在含有 $Ca(OH)_2$ 、 $CaSO_4 \cdot$ $2H_2O$ 和某些有机物时的水化	35
(五) 三乙醇胺在水泥水化中的作用	44
(六) 磷对水泥石性质的影响	51
(七) 磷酸盐对波特兰水泥水化的影响	59
(八) 硅酸钙-水-电解质系统	66

主 要 报 告

二、水泥硬化初期的水化过程	72
---------------------	----

补 充 报 告

(一) 硫酸钙、铝酸钙和硅酸钙的初始水化作用	103
(二) 早期硬化过程的调节	109
(三) C_3A 对水泥石某些性能的影响	115
(四) 磁性对水化过程影响的研究	119

主 要 报 告

三、提高温度和压力对水泥水化、硬化的影响	130
----------------------------	-----

补 充 报 告

(一) 水泥浆体在高温下水化时的相组成和显微结构	167
(二) 短暂热处理时石膏对水泥砂浆和水泥浆体 性能的影响	180
(三) 高温下水泥的水化	187
(四) 水热硬化后水泥相组成的性能	194
(五) 高温下养护水泥浆结构的研究	201
(六) 温度与外加剂对初期硬化的影响	212
(七) 蒸压条件下硬化的体系组成和晶体结构对若干 硅酸钙和铁铝酸钙水化性能的影响	218
(八) 水泥-石英蒸压制品中水化硅酸钙的力学性质	227

主 要 报 告

四、研究硅酸盐水泥水化过程的新方法	232
五、近代的水泥力学试验方法	255

补 充 报 告

(一) 用穆斯鲍尔谱研究铁铝酸四钙(褐针 镍矿)的水化	271
(二) 水泥浆体相组成的红外光谱鉴定	276
(三) 水泥水化产物结构非均匀性的研究	279
(四) 矿物胶凝系统分散结构的形成	291
(五) 水泥石的动电性质	297
(六) 水泥及其组成的显微镜研究	303
(七) 从水泥组成估算强度的研究	319
(八) 水泥活性的理论计算	325

一、化学外加剂对水泥水化、 硬化过程的影响

Φ·瓦 夫 林[●]

在制备混凝土时采用化学外加剂，并不能看作是一种新的方法。外加剂中某种组分的作用往往为其它效应所掩盖，其后，这些组分又被一些专利加以保密，因此用科学观点来研究外加剂中有效组分的作用机理，却还是不久以前的事情[1]。

按照捷克专家们的观点，外加剂可作如下分类：

- 1) 加速或延缓混凝土凝结和硬化的外加剂；
- 2) 改善混凝土混合物和易性的加气剂和塑化剂；
- 3) 引气剂和泡沫剂；
- 4) 提高混凝土抗冻性的外加剂；
- 5) 降低混凝土渗透性的外加剂；
- 6) 改善混凝土粘结力的外加剂；
- 7) 提高混凝土，包括塑料混凝土和聚合物混凝土，化学稳定性

的外加剂；

- 8) 对生物有作用的制剂（杀菌、防霉、杀虫）。

同时，外加剂还可按其它特征进行分类：

- 1) 影响新拌混凝土混合物的流变性和其它特性的外加剂；
- 2) 调节混凝土凝结与硬化的外加剂；
- 3) 提高混凝土耐久性、改善抗化学或生物作用性能的外加剂。

● 捷克 布尔诺技术大学。

加速混凝土硬化的外加剂

氯化钙 加速波特兰水泥混凝土凝结和硬化的外加剂，大约90%是各种氯化物，首先是 CaCl_2 。几乎从水泥砂浆开始应用的时候起，就已经了解这种氯化物对波特兰水泥有着良好的作用。米拉尔（Миллар）和尼柯利斯（Никольс）在1885年取得了用 CaCl_2 加速混凝土结硬的第一个专利。1886年，坎特罗（Kantro D.L.）比较详细地论述了混凝土的强度增长与 CaCl_2 掺量之间的关系。此后，发表了阐述这个问题的许多著作[2~22]。

氟化钠 萨塔尔金（Саталкин А.В.）推荐掺用1~3%的 NaF ，可使混凝土和喷射混凝土加速硬化（1~3分钟），并认为所用水泥的 C_3A 含量应大于7%，而 C_3S 要在45~50%之间。但由于 NaF 价格昂贵，广泛应用受到限制，一般是将其与 Na_2CO_3 或 K_2CO_3 混合使用。

氯化钠 一般不推荐用 NaCl 作为混凝土的早强剂，这是因为当湿度增加时，会引起混凝土强度大大降低的缘故。此外，氯化钠还会加速混凝土中钢筋的腐蚀，并有起霜现象。因此，只有在冬季施工时才与 CaCl_2 混合使用。

氯化钡、氯化铝和氯化铁 通常认为， BaCl_2 、 AlCl_3 和 FeCl_3 ，并不象 CaCl_2 那样有效。

按巴巴切夫（Бабачев Т.Н.）的意见， AlCl_3 同 CaCl_2 （5~6%）混合，可作为喷射混凝土的外加剂。并认为所用水泥含9~15% C_3A 和56~21% C_3S 时，采用这类外加剂最为有效。但这与詹姆博尔（Jambor J.）和其他研究者所获得的结果是有矛盾的。巴巴切夫还认为， FeCl_3 、 NH_4Cl 、 NaOH 和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 等化合物，不宜用作喷射混凝土的外加剂。

然而，这些外加剂所形成的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，将有助于提高混凝土的抗渗性，并且还能改善其抗磨性。

碳酸钠和碳酸钾 已经确定[23]，这些弱酸强碱盐所起的作用，由于浓度的变化而有不同的形式。这一类盐在浓度不大时，

能起促凝剂的作用；而在较高浓度时，却又可成为缓凝剂。福尔生 (Forse'n L.) 认为，这种现象是由于从铝酸盐所析出的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的溶解并又重新形成铝酸盐所造成的，布特尼可夫 (Бутныков П.П.) 和尼基京娜 (Никитина Н.В.) 进行了关于水泥熟料矿物与碳酸盐之间反应的研究[24]。他们发现。碳酸盐外加剂对于熟料单矿物的作用，与对于熟料内所含同一矿物的作用相比，两者是不相同的。碳酸盐和某些防水材料的复合外加剂，效果特别优良。

硫酸钠和硫酸钾 布特 (Бутт Ю.М.) 和罗雅克 (Рояк Г.С.) [25] 曾经研究过 Na_2SO_4 对水泥的凝结、硬化以及改善抗硫酸盐性等方面的影响。他们特别指出， Na_2SO_4 能与水泥水化时析出的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 产生反应。

目前，由于用洪堡窑生产波特兰水泥的缘故，对于 K_2SO_4 的作用已有了更多的了解。这种方法所生产的水泥，含有高达 2% 的 K_2SO_4 或其它形式的钾盐，从而使水泥的早期硬度更快增长。但其缺点是钾盐可能与混凝土集料中的活性 SiO_2 产生碱性膨胀。

氢氧化钠和氢氧化钾 这些化合物的缺点是会使混凝土体积安定性不良。同时，我们都知道，这类外加剂虽能提高混凝土早期强度，但经过 7~14 昼夜之后，强度的增长就减弱[26]。

硫酸铝 根据奥捷曼 (Оттеман) 的资料，掺加 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ，可使液相的 pH 值保持不变，否则 pH 值要从 13.4 降低到 12.5。并且， $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 可能会转化成钙矾石 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ，但这是不希望形成的。

硅酸钠 硅酸钠曾经广泛用作促硬剂，但由于它在相当程度上降低混凝土的强度，并且使体积安定性不良，所以目前已不再应用。

密胺树脂 为了加速混凝土的凝结和硬化，现在不仅采用无

机盐，而且也建议使用有机化合物。

例如，埃格涅斯别格(Эйгнесбергер)和克里格尔(Кригер)指出了应用活性阴离子密胺树脂的广阔前景。其使用效果可解释为：这些高度分散的物质吸附在集料的表面，提高了集料与水泥中胶凝组分的粘结性。但是已经确定，这种效果只是暂时性的，在混凝土硬化两个月后，作用已经不很明显。

三乙醇胺 三乙醇胺是可以用作外加剂的另外一种有机物，它能持久地加速混凝土的结硬过程。

这种外加剂的优点在于：它不仅可起促硬剂的作用，而且也是混凝土混合物的塑化剂以及粉磨时的助磨剂。它不象 CaCl_2 那样会加速钢筋的锈蚀。

拉马昌德兰(Ramchandran V.S.) 详尽地研究过三乙醇胺的作用[27]。他确定，三乙醇胺加速 C_3A 的水化（开始形成六方晶相，而后转变为立方晶相的铝酸盐水化物），并能在 C_3A —石膏— H_2O 体系中加快钙矾石的产生，同时却延缓了 C_3S 和 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 的水化。

利贝尔(Lieber W.) 和里夏茨(Richartz W.) 还发现，三乙醇胺可加速石膏和熟料中铝酸盐之间的反应，并大量发热[28]。但同时又在一定程度上延缓了混凝土强度的增长。糖和硼酸外加剂能起类似的作用。而在矿渣波特兰水泥中这些效果都显得弱得多。

延缓混凝土凝结的外加剂

现在，在混凝土的生产实践中，常常需要延缓混凝土的凝结。特别是在用堵塞水泥固井时更加会产生这类问题。这类水泥浆体在规定的温度和压力范围内，必须具有一定的流动度，并应在规定的时间内凝结；而且在凝结之后，在一定的介质中其强度要能非常迅速地增长。必须指出，这类水泥应含有45~50% C_3S ，23~30% $\beta\text{-C}_2\text{S}$ ，10~13% C_3A 和 10~12% C_4AF 。在上述条件下，其初凝不应早于3小时，但也不宜迟于7小时。为此，可将

具有上述矿物组成的波特兰水泥熟料粉磨较粗，并适当增加石膏或磷石膏的掺量。

对于较深的所谓“热井”，井底温度可达90°C以上，则应采用 Al_2O_3 含量比 Fe_2O_3 少的水泥，以保证 Al_2O_3 在熟料中只是以 C_4AF 而不是以 C_3A 的形式存在。这种水泥应粉磨到勃氏比表面积1100~1900厘米²/克。而且在这样的条件下，通常还不应提高石膏掺量。因此，对这类水泥应该选择其他最合适的缓凝剂；甚至对同一水泥厂的每一批水泥，也应根据温度和压力的不同，选择适当的缓凝剂。它们有：木质素磺酸盐类、糖类、酪朊、糊精、甘油、羧基甲基纤维素、酒石酸及其盐类、硼砂、单宁、葡萄糖酸和葡萄糖庚烷酸及其盐类，以及适当浓度的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$ 、 CaBr_2 、 AlCl_3 、 Na_2CO_3 、 Na_3PO_4 、 ZnO 、 PbO 、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的溶液，硅氟酸盐和其它化合物等。

在捷克采用木质素磺酸盐、各种多羟基脂肪酸和人造的单宁酸盐类。这类外加剂的效果，在很大程度上与所用水泥的类型有关。而且，各批木质素磺酸盐也具有不同的性质，有时甚至会使水泥浆发生假凝现象。捷克生产的“Кортан”或“Керкортан”缓凝剂，则是多元酚的单宁酸，具有比较稳定而均匀的效果，并且易溶于水。由上述单宁酸所制成的弱碱性缓凝剂，其商标名称为“Ралентол”，已经在混凝土工业中使用。所具优点如下：

其效果在10~35°C温度范围内不变；

当掺量为水泥重的0.4~0.5%时，塑化效果最好；但当混凝土混合物的拌和时间较长时，还须增加掺量，特别是凝结较快的水泥更应如此；

这种外加剂可使凝结过程延长到所需的时间，但却能在较长时间内大大加速水泥的硬化；

这种外加剂不会使体积变化加剧而造成损害，而其它缓凝剂则时常会有这种现象产生[29]；

“Ралентол”有一定的加气作用，它既不改变混凝土的弹性模数，也不使其化学稳定性发生任何变化。

提高混凝土混合物和易性的外加剂

从混凝土的生产实践可知，在其它组成相同的条件下，用水量过多的混凝土，比用水量较少的塑性混凝土强度低，收缩大。因此，应该尽量减少混凝土混合物的用水量，但仍要保证充分的捣实程度。所以，高效能的振动器正日益发展。此外，还有将振捣与真空或离心作业联合使用的方法等。

然而，目前常常用管道输送混凝土混合物，为此就必须制备流动性良好的混合物，并且在运输以及浇捣过程中不应有分层、析水等现象。为了满足这些要求，集料的级配应该适当，或者掺用某些混合材，并且水泥的粒度组成也须合理。还可采用一些化学外加剂或其混合物，以改善混凝土混合物的稠度。显然，将上述各种措施联合使用可能最为合理。不过，还须考虑水泥的价格以及外加剂的价格，其最佳掺量当由实验确定。普拉托（Platau A.S.）认为[30]，对于水泥用量高的混凝土混合物，木质素磺酸盐一类减水剂最为适宜；而对于水泥用量低的混合物，则可用多羟基酸盐一类的塑化剂。

目前，混凝土混合物的塑化剂一般分成表面活性物质和加气剂两类。最常用的表面活性物质为：铵、钠、钙的木质素磺酸盐或羟基酸的络合物[31]。

拉马昌德兰研究了木质素磺酸钙对水泥起塑化效应的原理[32、33]，特别详细地探讨它对 C_3A 及其水化物以及对 C_3S 的影响，并试图阐明这种物质能延缓水泥凝结的原因。他发现，其效果不但与介质的温度而且与外加剂本身的纯度有关。而且，这种外加剂并不阻碍 C_3A 的水化作用，只是在立方晶相和六方晶相的水化铝酸钙与木质素磺酸盐的接触界面，发生不可逆的吸附现象，而各晶相的吸附程度又不尽相同。但是，木质素磺酸钙对于 C_3S 的作用就不一样，它要阻碍 C_3S 的水化，特别在其浓度较高时更是如此。不过，如果同时还有 C_3A 存在， C_3S 又会重新水化，同时还会发生不可逆的吸附。

实际上，并不用纯粹的木质素磺酸钙，而通常采用的是亚硫酸盐废液（即捷克的塑化剂S或苏联的CCB）。其作用可概括归纳如下：

塑化效应决定于水泥的矿物组成以及所掺外加剂的种类；

这些外加剂对水化过程与水化放热都有延缓作用，因此预制构件厂一般均不采用。

布鲁坦斯（Bruthans Z.）详细地研究了应用木质素磺酸盐配制热拌混凝土的可能性[34]。他所得结论为：木质素磺酸盐类制剂，其中包括塑化剂S、Raymix、Plastiment PHC和其它阴离子活性制剂等，都不但不能改善热拌混凝土的稠度，而且相反要使其变坏。非离子型表面活性制剂，例如：Vusaplast（乙氧基化的丙醛烯基或芳基）和Arkopal №040，虽能改善热拌混凝土混合物的塑性，但只在一定的时间内（不大于20分钟）有效。

提高混凝土抗冻性的外加剂

为了保证混凝土结构具有足够的抗冻性，采用加气和引气^①的表面活性剂特别适宜。最初，使用这类外加剂是将空气引入混凝土中，但不久便发现，引气剂会产生一些尺寸过大的气孔，且对其形成过程又未能有效地控制。有些表面活性物质只是良好的塑化剂，并不能保证必要的起泡效应；或者即使能产生优良的气泡，但在混凝土混合物中却不够稳定，所以都不能满足作为加气的性能要求。其部分原因是由于加气的分子不能象塑化剂分子那样在固—液相的界面上起作用，而是要在气—液相的界面形成弹性单分子膜的缘故。

目前使用的加气剂，可按不同的特征进行分类。例如可分成：阴离子表面活性剂（松香酸钠、木质素磺酸钠、十二烷基硫酸钠），阳离子表面活性剂（十六烷基三甲基溴化铵），非离子型表面活性剂以及各类外加剂的混合物。但更普遍的是根据生产

① 在我国习称加气剂。——译注

加气剂的原料来进行分类:

以天然树脂为基础的加气剂, 其有效成分主要为不溶于水的松香酸。在 NaOH 的作用下, 松香酸能转变成水溶性的松香酸钠;

以亚硫酸盐废液为基础的加气剂, 其有效成分主要为木质素磺酸钙或木质素磺酸钠;

以皂类为基础的加气剂, 主要的有效成分通常为各种脂肪酸的钠盐;

以乳酪和肉类加工工业的废料为基础的加气剂;

以石油加工产品为基础的加气剂;

羟基乙胺的盐类。

实际应用的加气剂常是多种活性物质的混合物, 通过试验选定, 根据经验配制, 其组成通常保密, 并为专利所垄断。

提高混凝土抗渗性的外加剂

既然任何化学外加剂均不可能改善劣质混凝土的性能, 那么提高混凝土抗渗性的外加剂更不例外。作者研究了各种商品试剂对实验室试样所产生的抗渗效应, 从而证实了上述情况。实验证明, 试样制备方法的影响, 比外加剂的作用更为重要。因此, 在制备抗渗混凝土时, 必须满足下列条件:

采用磨得很细的水泥以配制混凝土混合物, 并应妥善确定水泥用量;

集料种类及其相应的颗粒级配必须稳定, 而细颗粒含量也应保持一致;

选定的用水量应该保证在现有设备条件下能使混凝土获得必要的捣实程度, 而且捣实应该十分均匀。正象链条有一环断了即会全部报废一样, 捣实不好的部位将降低整个工程质量;

甚至连捣实进行的方向, 对于制备抗渗混凝土也是有关系的。这一类混凝土, 特别是在捣实之后, 应该立即按合理的制度进行养护。过早干燥的混凝土比长期在潮湿空气或水中硬化的,

易于漏水。

由上述明显可知，化学外加剂对于混凝土的抗渗性只能起辅助的改善作用，同时它们还需满足如下要求：

应该有足够效力，以便用很小掺量就能显著降低混凝土中毛细管的数量，从而提高抗渗性；

在给定的条件下，外加剂的效果应该长期稳定；

为了提高混凝土密实性而掺入的外加剂，不应对其性质产生有害影响，特别是强度与体积安定性不能降低。最好还能同时发挥塑化剂和加气剂的作用。

符合上述要求的材料，可以推荐如下：具有水硬性或胶体性质的磨细材料（例如粗面凝灰岩、粘土、膨润土、藻酸盐、氢氧化钙、防水水泥）；强碱性皂类和各种脂肪类、油类、石蜡和树脂中可皂化组分的乳浊液；高度分散的不溶性皂类（硬脂酸钙和其它）。

工厂生产的制剂，通常是上述物料的混合物，例如：游离脂肪酸、分散钙皂以及活性硅酸在水中的乳液；皂化油酸和酪胺溶于NaOH的混合物；强碱性皂类和硅酸钠的乳液以及其它等等。

因为所有这些外加剂不能完全满足上列要求，所以建筑方面的专家们着手对硬化混凝土进行加压或不加压的浸渍处理。起先采用某些沥青以及各种油类、脂肪类、石蜡或者不溶性脂肪酸钙、脂肪酸锌和脂肪酸铝的溶液或分散体（乳液）以及其它成分。以后，有机硅化合物（例如甲基硅烷钠）和某些聚合物溶液的应用又获得了推广。

近年来，全面推广以混凝土与塑料相复合的方法，从而提高混凝土的抗渗性、抗磨性和化学稳定性。除聚醋酸乙烯的分散体或某些树脂的乳液外，也可采用单体使其在混凝土中聚合。这种方法的理论根据是单体分子尺寸较小，更易渗透进混凝土的微孔，同时比聚合物的巨大高分子更易将这些微孔填满。

必须指出，在以上列举的任何情况下，硬化混凝土的组成与聚合物之间都没有发生明显的化学反应。因此，这类混凝土必须

按照一定的制度进行养护,以保证水泥胶凝成分的硬化以及聚合物的聚合或者分散体的干燥所必须的条件。

参 考 文 献

1. Venuat M. Zusammensetzung und Wirkungsweise von Betonzusatzmitteln, Betonwerk — Fertigteil — Technik, 38: Wiesbaden, 1972, S. 571—580.
2. Миронов С. А., Лагойда А. К., Ухов Е. Н. Твердение бетона с химическими добавками на морозе. «Бетон и железобетон», 1968, № 3, с. 1, 2, 42.
3. Vavřin F. Hydratační teplo cementu a možnosti jeho využití v technologii betonu. «Stavivo», Praha 45, 1967, № 6, S. 193—195.
4. Vavřin F., Krčma R. Chemické přípravy ve stavebnictví. SNTL. Praha, 1962.
5. Kühn H. Zement — Chemie, III. Teil. Berlin, 1961.
6. Thuilleaux M. Quelques précisions nouvelles sur l'emploi du chlorure de calcium en bétonnage. Rév. Matér., 1951, № 435, 436, S. 29.
7. Андреева Е. П. К вопросу о химической природе новообразований в водных суспензиях трехкальциевого алюмината с добавками хлористого кальция. «Журнал прикладной химии», т. 33, 1960, № 5, с. 1042.
8. Roberts M. H. Effect of admixtures on the composition of the liquid phase and the early hydration reactions in Portland cement pastes. RILEM — Symposium for Mortar and Concrete, Brussels, vol. II, 1967. № 5.
9. Taylor H. F. W. The chemistry of cements. London, 1964.
10. Ramachandran V. S. Kinetic of hydration of tricalcium silicate in presence of calcium chloride by thermal methods. Thermochemica acta, 1971, № 1, p. 41—55.
11. Ramachandran V. S. Possible states of chloride in the hydration of tricalcium silicate in the presence of calcium chloride. «Matériaux et Constructions», 1971, № 19, p. 3—12.
12. Аяпов У. С. Катализ и ускорение твердения бетона. Конференция РИЛЕМ по проблемам ускорения твердения бетона. М., Стройиздат, 1964.
13. Kurzyk H. G., Schwiete H. E. Elektronenmikroskopische und thermochemische Untersuchungen über die Hydratation der Calciumsilikate $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ und $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ und den Einfluss von Calciumchlorid und Gips auf den Hydratationsvorgang. «Tonindustrie Zeitung und Keram. Rundschau», 84, 1960, № 24, S. 585.