

膨胀和自应力水泥 及其应用

薛君珩 吴中伟 主编

中国建筑工业出版社

膨胀和自应力水泥 及其应用

薛君珩 吴中伟 主编

中国建筑工业出版社

本书系统地介绍了以硅酸盐、铝酸盐、硫铝酸盐水泥熟料以及高炉矿渣为基础的各种膨胀和自应力水泥的理论研究、生产工艺、技术性能和实际应用。可供水泥工厂、土木工程单位、自应力水泥压力管厂及有关设计、研究单位的科技人员和大专院校师生阅读参考。

责任编辑：程佛根

膨胀和自应力水泥及其应用

薛君珩 吴中伟 主编

*

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：19 字数：509千字

1985年7月 第一版 1985年7月 第一次印刷

印数：1—6,600 定价：5.45元

统一书号：15040·4804

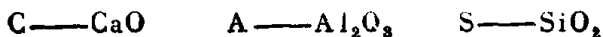
前 言

目前，世界上只有我国及美国、日本、苏联等国生产、使用膨胀和自应力水泥。我国在膨胀和自应力水泥的研制和应用方面取得了一定成绩，到目前为止已制订了12个水泥标准（国家级1个、部级8个、企业级3个），年使用量近二十万吨，成为我国特种水泥的一大门类。现阶段膨胀和自应力水泥主要用以配制自应力和补偿收缩混凝土、制作水泥压力管和用于对抗裂、防渗和锚固等要求高的工程中。

我国在膨胀和自应力水泥方面的理论研究、生产和使用实践是丰富的，几乎包罗了世界上所有研究过的品种。有些品种，如硫铝酸盐膨胀和自应力水泥、低热微膨胀水泥和高自应力铝酸盐水泥等，则是我国最先发展的。这些成果是我国有关研究、设计、生产和使用单位的广大科技人员和职工共同辛勤劳动的结晶，我们有责任加以归纳和提高。本书主要对国内研究、生产和使用膨胀和自应力水泥的经验加以系统总结，以期对生产膨胀和自应力水泥的水泥厂和自应力水泥压力管厂，对使用这些水泥的设计和工程单位的工作有所帮助。在本书中，还总结了关于水泥硬化浆体硫铝酸钙膨胀以及膨胀和自应力混凝土方面的理论研究成果，希望它也能有助于有关单位的研究、教学和设计工作。

在本书编写之初，曾就编写提纲征求了有关单位的意见，蒙浙江大学、南京工学院、国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院、冶金工业部建筑研究院、江苏省南通市建设局等单位提出了宝贵的意见，在编写过程中得到建筑材料科学研究院水泥科学研究所王家治同志的帮助，在此一併致谢。

本书中使用了以下简化的化学符号：





本书由薛君珩、吴中伟主编。各章、节的编写分工如下：第一、七、九章薛君珩；第二章第一节童雪莉，第二节张桂清；第三章第一节张贻玉，第二节王延生，第三节邓慎操、游宝坤，第四节邱文智、侯昭让；第四章第一节游宝坤，第二节陈雯浩；第五章邓君安；苏慕珍；第六章袁明栋、成希弼；第八章第一节吴中伟，第二、三节杨瑞珊。限于编者水平，书中不当之处，恳请读者指正。

编 者

1984年1月于北京

目 录

第一章 概述 (薛君环)	1
〔膨胀和自应力水泥的发展, 用途、分类〕	
第二章 原材料及水泥性能检验	15
第一节 膨胀和自应力水泥的原材料 (童雪莉)	15
〔硅酸盐水泥; 高铝水泥; 石膏〕	
第二节 膨胀和自应力水泥的物理检验方法 (张桂清)	56
〔比表面积标准稠度、凝结时间、安定性、强度的检定; 膨胀率、自应力值的测定〕	
第三章 以硅酸盐水泥熟料为基础的膨胀和自应力水泥	67
第一节 硅酸盐膨胀和自应力水泥 (张贻玉)	67
〔概述; 生产工艺和性能; 水化硬化; 影响性能的因素; 应用〕	
第二节 明矾石膨胀和自应力水泥 (王廷生)	107
〔概述; 明矾石膨胀水泥的配制和性能; 水化和硬化; 应 用实例; 明矾石自应力水泥的研究〕	
第三节 K 型膨胀水泥 (邓慎操、游宝坤)	142
〔概述; 制造工艺; 水化; 性能; 应用〕	
第四节 浇筑水泥 (邱文智、侯昭让)	171
〔概述; 生产工艺; 性能; 应用〕	
第四章 以铝酸盐水泥熟料为基础的膨胀和自应力 水泥	204
第一节 铝酸盐膨胀水泥 (游宝坤)	204
〔概述; 铝酸盐膨胀水泥熟料的研究; 石膏矾土膨胀水泥; 快凝膨胀水泥〕	
第二节 铝酸盐自应力水泥 (陈雯浩)	264
〔概述; 生产工艺和基本性能; 水化硬化; 影响性能的因	

素,使用性能,压力管性能与应用实例,高自应力铝酸盐水泥]

第五章	以硫铝酸盐水泥熟料为基础的膨胀和自应力水泥 (邓君安、苏慕珍)	314
	〔概述,硫铝酸盐水泥熟料,硫铝酸盐膨胀和自应力水泥的水化硬化,生产工艺,基本性能及其影响因素,使用性能,应用〕	
第六章	以高炉矿渣为基础的膨胀水泥(袁明株、成希弼)	377
	〔概述,矿渣膨胀水泥的生产工艺,生产技术性能及其影响因素,水化硬化,建筑性能,应用,低热微膨胀矿渣水泥〕	
第七章	膨胀和自应力的产生及其控制(薛君环)	416
	〔水化硫铝酸钙的形成及其稳定性,硫铝酸钙膨胀的研究,硫铝酸钙膨胀的产生及其控制〕	
第八章	膨胀和自应力混凝土	494
第一节	补偿收缩混凝土(吴中伟)	494
	〔混凝土的变形与裂缝,补偿收缩的原理及其模式,建筑性能及应用实例,使用注意事项,展望〕	
第二节	自应力混凝土压力管的计算(杨瑞珊)	514
	〔地下管道外部荷载,管体内压,管体外压,管体抗折,联合作用,配筋,自应力混凝土压力管设计中应注意的问题〕	
第三节	自应力混凝土压力管制作工艺(杨瑞珊)	565
	〔原材料,离心自应力混凝土,生产工艺〕	
第九章	展望(薛君环)	596
	〔根据我国特点发展水泥品种,统一膨胀和自应力水泥的标准,开展基本性能和应用方面的研究,进一步研究膨胀和自应力产生和控制的理论〕	

第一章 概 述

普通水泥混凝土，由于水分蒸发等原因而收缩、开裂，引起混凝土耐久性下降。人们希望有这样一种水泥，它在凝结硬化时能产生一定量的膨胀，以抵销其收缩，从而消除混凝土因收缩而引起的各种弊病。对钢筋混凝土中的钢筋施加机械预应力，可大量节约钢材，增加钢筋混凝土制品的承载能力，但在某些场合这种工艺是很麻烦的，有时甚至不易达到目的。因此，人们探索能否用水泥水化所产生的膨胀来张拉钢筋，以达到机械预应力的目的。

在水化硬化过程中，以其体积膨胀量来补偿水泥混凝土收缩的一类水泥，统称为膨胀水泥。而在水化硬化过程中，体积膨胀量用以使水泥混凝土产生预应力的一类水泥，则称为自应力水泥。

一、膨胀和自应力水泥的发展

关于膨胀和自应力水泥的发展历史，不少文献^[1~9]已有报导，下面只是择要加以回顾。通过实践和研究，人们逐渐认识到除了有各种因素使水泥混凝土收缩之外，确也存在着一些使水泥混凝土体积发生膨胀的物理化学变化。如海水浸蚀会使水泥混凝土膨胀、开裂以致破坏，水泥中有过高的游离石灰、方镁石，也会使水泥混凝土膨胀、开裂以致破坏。对这些现象的深入研究和解释，孕育了膨胀和自应力水泥的发明。其中最重要的发现是坎德劳特在1890年报导了铝酸三钙和硫酸钙能形成坎德劳特盐，即现在人们熟知的钙矾石相。稍后，在1892年米契阿里斯提出钙矾石是造成波特兰水泥混凝土在含硫酸盐介质中产生膨胀、破坏的原因，即所谓的“水泥杆菌”。法国学者罗塞尔是最早认识到钙

矾石具有消除收缩和产生预应力的人，他从三十年代中期开始，提出了制造膨胀水泥。他提出的膨胀水泥是由波特兰水泥、膨胀剂和矿渣所组成^[2]。膨胀剂是由矾土、石膏和白垩磨成生料，加以煅烧而制得。矿渣的掺入是为了控制膨胀率。其后，一直到1958年美国的克莱恩等在上述基础上发展了K型膨胀水泥，1964年正式投入生产。它是在波特兰水泥熟料中加入适量的膨胀剂而成。膨胀剂的配制和煅烧是使其中有适量的 $C_4A_3\bar{S}$ 、 $CaSO_4$ 和 CaO 。可以据所需的膨胀值来调节膨胀剂的掺入量，以制得收缩补偿或自应力水泥。据报导，1973年美国膨胀水泥的产量是40万吨左右。苏联米哈依洛夫也根据形成钙矾石的原理，在四十年代制得了不透水膨胀水泥，并在抢修工程上例如管道接头、矿井堵漏等方面获得了应用。它是由高铝水泥、石膏和水化铝酸四钙共同粉磨而制得。水化铝酸四钙是由高铝水泥和石灰经过水化、干燥和粉磨而制得。1955年米哈依洛夫又发展了自应力水泥，它是由波特兰水泥、高铝水泥和石膏按一定的配比共同粉磨的混合物，即M型膨胀水泥。

在美国还曾发展了一种由 C_3A 含量较高的波特兰水泥熟料，适当增加石膏参加量的膨胀水泥，称为S型膨胀水泥。也曾发展过M型膨胀水泥，但从1973年起已停止生产M和S型膨胀水泥，据称，因这两种水泥的性能不如K型膨胀水泥。其后，以波特兰水泥为基础的膨胀水泥的膨胀剂得到了迅速的发展，如苏联加巴达柴等^[11]以及保加利亚伏尔柯夫等^[12]用一定温度下煅烧的明矾石和石膏来作膨胀剂。有用煅烧过的粘土作膨胀剂的，也有用过烧石灰和氧化镁来作膨胀剂的，也有人提出用铝粉、硫酸铝、氯化钙及 CCl_4 作膨胀剂的。也有用含 SiO_2 为12~17%的硫铝酸钙熟料配制硅酸盐自应力水泥的。在日本，从六十年代起发展的膨胀水泥，无论是以 $C_4A_3\bar{S}$ 为主或以石灰为主的膨胀剂，均是以膨胀外加剂的形式作为商品出售，具有与其他国家不同的特点。据报导，1971年膨胀剂产量为2万吨，1972年为3万吨，1973年为4万吨，折算为膨胀水泥1973年约为30万吨/年。以高

铝水泥为基础的膨胀水泥，除了上面提到过的不透水膨胀水泥外，布德尼可夫和克拉夫钦卡发展了石膏矾土膨胀水泥，它是由高铝水泥与石膏共同粉磨而制得的。

我国从五十年代起，研究和生产了各种类型的膨胀水泥。1957年建材研究院左万信等^[13]研究成功了回转窑烧结法制造高铝水泥，为各种膨胀水泥的研究、生产奠定了良好的基础。我国最初研制成功的是类似米哈依洛夫的膨胀性不透水水泥。但膨胀剂中的水化铝酸钙不是六方板状的水化铝酸钙(C_4AH_{13})，而是立方型的水化铝酸三钙(C_3AH_6)^[14]。这种水泥具有快硬、早强、微膨胀、不透水性等优点，曾用于抢修、堵漏等工程。但是，由于其制造工艺复杂，以后未继续生产。五十年代末，我国又试制成功了以高铝水泥为基础的石膏矾土膨胀水泥和以普通硅酸盐水泥为基础的类似于M型的硅酸盐膨胀水泥。目前，石膏矾土膨胀水泥每年仍有小批量生产和使用，而硅酸盐膨胀水泥则是由使用单位自行配制的。在六十年代初，我国研究试制了以高炉矿渣为基础的矿渣膨胀水泥，并在某些工程上试用。最近几年又开展了用于混凝土大坝的低热微膨胀矿渣水泥的研究和生产，并在某些小型坝上应用。类似M型膨胀水泥的硅酸盐自应力水泥是目前我国使用量最大的一种膨胀水泥^[15]主要用于制造自应力水泥混凝土管，这些水泥除少数由工厂直接生产外，大部分是制品厂用普通硅酸盐水泥加上高铝水泥和二水石膏自行配制的。但是这种水泥的自应力值较低。由于建材研究院水泥研究所对低碱度条件下钙矾石膨胀特点的认识^[16、17]，制得了自应力值高、抗渗气密性和工艺稳定性好的自应力水泥。自1974年以来，发展了两种基于低碱度条件下形成钙矾石相的膨胀和自应力水泥，即铝酸盐自应力水泥^[18]和硫铝酸盐自应力水泥^[19]。这两种水泥主要用于要求自应力和抗渗气密性都较高的自应力水泥压力管，它们是我国生产和使用量仅次于硅酸盐自应力水泥的两个自应力水泥新品种。

我国从六十年代初至今对以硅酸盐水泥为基础，掺加未经煅

烧明矾石的膨胀水泥进行了大量的研究，由于明矾石不经煅烧，简化了工艺，膨胀稳定期通过外掺矿渣或粉煤灰来控制，这种明矾石膨胀水泥已在油罐、毛主席纪念堂的基础灌缝、地下工程等多处试用，获得了好的效果，成为我国收缩补偿用的膨胀水泥的一个新品种。目前，还研究成功了用未经煅烧的明矾石来配制膨胀剂，由使用单位配制膨胀或自应力水泥。

此外，我国还于六十年代初研究成功了以硅酸盐水泥为基础，外掺少量氧化钙和氧化镁的微膨胀水泥，并在浇筑浆锚接头、油井、固井等方面进行了试用。其中掺加少量氧化钙的浇筑水泥已进行了小批量生产，并为许多使用单位所接受。

目前，我国年产 M 型硅酸盐膨胀和自应力水泥约十余万吨，铝酸盐和硫铝酸盐膨胀自应力水泥各 2 万吨左右，明矾石膨胀剂 3 千吨，浇筑水泥、明矾石膨胀水泥和石膏矾土膨胀水泥各数千吨。

二、膨胀和自应力水泥的用途

膨胀和自应力水泥的用途分为两个方面，一是用于补偿水泥混凝土收缩，即用于配制补偿收缩混凝土；二是利用其膨胀能来产生预应力，即用于配制自应力（或称化学应力）混凝土。经过几十年的研究、实践，现在看来，不管哪一种用途的膨胀水泥混凝土，都要求在一定的限制条件下来发挥其膨胀作用，而其根本作用是使膨胀水泥混凝土的膨胀能，利用各种限制方式（单向、双向或三向等）使得混凝土最终建立它的压应力。不管哪种用途的膨胀混凝土，在一定的限制条件下，其抗渗性均优于普通混凝土，因而亦可用它来作为抗渗混凝土。

由于水泥混凝土的干缩值一般在 0.04% 左右，而其极限变形为 0.02% 左右，要求补偿收缩混凝土在所使用的配筋条件下的膨胀值（即限制膨胀）稍大于 0.04%，并使混凝土最终建立少量的压应力（一般在 10 公斤/厘米² 左右或以下）或者使混凝土所受的拉力低于混凝土的抗拉强度，这样就可以防止混凝土的收缩开裂。目前，美国补偿收缩水泥混凝土的 7 天限制膨胀控制在

0.04%~0.10%，这在目前的技术条件下是可以做到的。因而补偿收缩混凝土在美国、日本等对混凝土建筑工程提出更高要求的国家已得到较大量的采用。目前美国、日本所生产的膨胀水泥大部分用于补偿收缩混凝土。

克莱格、格陵宁、波力夫卡、威尔逊等的工作以及美国混凝土协会223委员会的报告指出，用K型、M型和S型膨胀水泥所制得的补偿收缩混凝土的强度、弹性模量、干缩、蠕变、抗循环冻融、抗冰冻剥落等性能，与普通硅酸盐水泥混凝土相似，只是其需水量和坍落度损失较大，凝结较快。我国用天然明矾石为膨胀剂的明矾石膨胀水泥拌制补偿收缩混凝土时，坍落度损失大及凝结快的缺点得到了克服。由于这种膨胀剂采用天然原料，降低了成本，是一种有发展前途的、作为补偿收缩混凝土用的膨胀水泥。用膨胀水泥来配制补偿收缩混凝土，其一般性能与普通水泥混凝土相似，而其防止开裂及抗渗性能大大提高，从而可以用于防止开裂及抗渗要求高的混凝土建筑物及制品。但是要指出的是，除了它能通过限制使混凝土内部建立一定压应力之外，其他如干缩、温度变化以及结构上的使水泥混凝土产生裂缝的各种因素，对膨胀水泥混凝土仍然同样起作用。在进行工程设计时必须注意到这点。

补偿收缩混凝土主要用于以下几方面：

(1) 建筑物的自防水屋面板、防渗楼板、仓库地下室以及地下建筑物等。

(2) 整体浇筑的水池、油罐或以混凝土预制板拼装水池或油罐时的后浇缝。

(3) 要求接缝少的停车场，如多层汽车停车场、停机坪、高速公路及机场跑道的路面。

(4) 水池、油罐、井壁的防渗层。

(5) 梁柱接头锚固、机器垫脚螺丝的固定。

(6) 矿井、管道抢修堵漏等。

(7) 基础等构筑物的后浇缝。

(8)护坡板、水坝。

由于我国的一些建筑工程还没有对消除混凝土裂缝提出更高的要求，特别是对补偿收缩混凝土的设计和施工研究较少，加之膨胀水泥不能建立正常的生产点，售价较高等问题，我国的膨胀水泥用于补偿收缩混凝土方面发展较慢，只占我国膨胀和自应力水泥产量的百分之十几，主要用于防渗、抢修、锚固、接缝以及某些试验性工程上。目前正常供应的有浇筑水泥、石膏矾土膨胀水泥、具有微膨胀特性的硫铝酸盐早强水泥、明矾石膨胀水泥或明矾石膨胀剂以及低热微膨胀矿渣水泥。后两种水泥由于其成本低及其好的特性，可望成为很有发展前途的补偿收缩类型的水泥。

对于用于产生预应力目的的自应力（或化学应力）膨胀混凝土来说，理论上要求其建立的自应力值最好能达到机械预应力的水平，如达到目前一般使用的 150公斤/厘米^2 ，但是在实际上要达到这一水平还要花费很大的努力。据克莱因报导^[5]，K型膨胀水泥在实验室条件下虽可得到 70公斤/厘米^2 的自应力，但是，由于混凝土制件和工程的限制条件不易解决，特别是外保护层的限制不易很好解决，从而使混凝土的耐久性下降。实际上能生产的预应力构件的自应力值为 35公斤/厘米^2 ，与机械预应力混凝土相比，这是一个较低的数字。据米哈依洛夫^[9]报导，苏联的硅酸盐自应力水泥分20、40、60公斤/厘米²三种级别的自应力值，其1:1砂浆，配筋率为1%时，试件的限制变形分别为0.10、0.15和0.20以上，从这一数值推算其实际自应力值与目前我国正在大量采用的硅酸盐自应力水泥相似。

我国最近发展的铝酸盐和硫铝酸盐自应力水泥，由于其低碱度条件下形成钙矾石膨胀的特点，所制得的自应力混凝土的自由膨胀与限制膨胀的比值小，在外保护层不加特殊限制的条件下已大量使用自应力值为 60公斤/厘米^2 的混凝土，还制得了自应力为 80公斤/厘米^2 的自应力混凝土。因而大大地提高了可以实际使用的自应力值。目前已制成1:2砂浆，自应力值为70~100公斤/

厘米²的高自应力铝酸盐水泥，正用于混凝土高达80公斤/厘米²的高压输水管。

自应力水泥混凝土最适于在三向限制条件下的制品或建筑中应用。最理想的制品为水泥压力管。日本有35%的膨胀水泥用于自应力水泥压力管，主要用于数米直径的大口径下水管道以及离心混凝土管、桩、复合钢管等。其实际使用的自应力值为20~30公斤/厘米²。我国膨胀和自应力水泥使用量的90%左右用于制造各种口径（100~1000毫米）的自应力水泥输水压力管，这是由于用水泥压力管代替铸铁管或部分钢管，从经济上和实用上来说，都是非常合理的。虽然目前自应力水泥的售价是普通硅酸盐水泥的2倍左右（这个售价从实际成本来看不尽合理），但是这种水泥还是在自应力水泥压力管生产上得到了迅速的推广和使用。所用的自应力水泥中硅酸盐自应力水泥约占70%左右，而铝酸盐及硫铝酸盐自应力水泥约占30%左右。一般硅酸盐自应力水泥的1:2混凝土的自应力值为30公斤/厘米²左右，因而用来制造口径较小、承压能力较低的水泥压力输水管，而铝酸盐及硫铝酸盐自应力水泥1:2混凝土的自应力值在60公斤/厘米²左右，用于制造口径较大、承压能力较高的水泥输水管。由于自应力水泥压力管具有较高的抗油渗和气渗能力，特别是用铝酸盐和硫铝酸盐自应力水泥制成的水泥管具有高达12公斤/厘米²以上的抗气渗能力，目前正在用这些水泥较大规模地试铺输油管及输气管。更详细的情况可以分别参阅本书三、四、五各章。

双向或单向限制的自应力混凝土制品或建筑，在不同的方向上混凝土的性能有一定的差异，如从单向限制值对混凝土构件性能影响的试验结果证明，纵向限制过大会引起过大的横向自由膨胀，因而，与三向限制相比，允许采用的自应力值要低些。据报导，目前在试验性建筑和构件上一般导入11~35公斤/厘米²的自应力值，所制造的制品有大型建筑单元、墙板、楼板、薄壳、钢丝网水泥板等。现场浇制的自应力混凝土则用于水槽、隧道、公路路面以及某些小型试验性建筑等。

各种膨胀的自应力水泥的应用实例可参看本书三至六章。

三、膨胀和自应力水泥的分类

膨胀水泥和自应力水泥实质上都是膨胀水泥。只是由于使用目的和膨胀数值上的差别，我们把它分别称为膨胀水泥和自应力水泥。在我国，一般说来，膨胀值较小、用于补偿水泥混凝土收缩的水泥称膨胀水泥；膨胀值较大、用于建立预应力的水泥就称为自应力水泥。在美国，上述水泥统称为膨胀水泥，而在日本则只生产膨胀剂，在配制混凝土时掺加不同数量的膨胀剂便制得了补偿收缩混凝土或自应力混凝土。

膨胀和自应力水泥可按用途、引起膨胀的化学反应和水泥的主要矿物组成或主要组分来分类。

(一)按用途分类

上一节已经提到，无论作补偿收缩混凝土或作预应力混凝土用的膨胀水泥混凝土，一般都需要在一定的限制（如钢筋、钢丝网或与接触面的摩擦力）下工作，以使混凝土在硬化后，由于限制物所贮存的能量使混凝土建立不同程度的受压状态，如对于补偿收缩混凝土来说，要建立 10公斤/厘米^2 左右或以下的压应力，而自应力混凝土则要建立 10公斤/厘米^2 以上的压应力。目前用于单双向自应力混凝土压应力为 $11\sim 35\text{公斤/厘米}^2$ ，而用于三向限制的自应力混凝土压应力为 $20\sim 80\text{公斤/厘米}^2$ 。在这个意义上说来，所有的膨胀水泥混凝土又都是自应力混凝土。因而，从使用的角度上看，目前的膨胀和自应力水泥可以作如下分类。

1. 配制补偿收缩混凝土用的膨胀水泥

这类水泥包括硅酸盐膨胀水泥（M型膨胀水泥），K型、S型膨胀水泥，明矾石膨胀水泥，浇筑水泥，不透水膨胀水泥，石膏矾土膨胀水泥，硫铝酸盐膨胀水泥，石膏矿渣膨胀水泥，低热微膨胀水泥等。

2. 配制自应力混凝土用的自应力水泥

包括硅酸盐自应力水泥，铝酸盐自应力水泥和硫铝酸盐自应力水泥，以及正在研究的明矾石自应力水泥，此外，膨胀值大的

K 型、S 型水泥以及掺加较多 CaO 型膨胀剂的硅酸盐水泥也可作为自应力水泥。

(二)按引起膨胀的化学反应分类

从引起膨胀的化学反应来看，目前的膨胀和自应力水泥可分为三种类型。

1.利用形成钙矾石相的膨胀水泥

它是利用水泥水硬化的一定阶段形成一定数量的钙矾石相，而使水泥混凝土体积产生膨胀的水泥。这类水泥包括了目前正在大量生产使用的绝大部分膨胀和自应力水泥。如 K 型、M 型、S 型硅酸盐膨胀水泥，不透水膨胀水泥，石膏矾土膨胀水泥，铝酸盐自应力水泥，硫铝酸盐膨胀和自应力水泥，石膏矿渣膨胀水泥，低热微膨胀水泥等。

2.利用氧化物水化的膨胀水泥

主要是利用一定温度煅烧的 CaO 和 MgO 水化形成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的膨胀。目前在生产使用的有我国的浇筑水泥，日本的以 CaO 为主的膨胀剂。曾报导用一定温度煅烧的 MgO 作为膨胀剂来生产油井膨胀水泥，但目前尚未投产使用。

3.利用金属氧化的膨胀水泥

如用金属铝与水泥拌制混凝土时产生的氢气或金属铁粉加适量氧化剂形成的氧化铁来产生一定量的膨胀。这种水泥都由施工工地自行配制。国外有商品化的膨胀剂，我国尚无这类膨胀剂作为商品出售。由于这类膨胀水泥混凝土的膨胀只发生在早期，膨胀能小，且要耗用大量金属，在别的水泥能达到同样效果的情况下，有逐渐被淘汰的趋势。只有在各别情况下，如浇注机器垫脚螺丝时，用铁粉做膨胀剂时，其绝对不收缩特性具有一定的意义。

(三)按水泥熟料矿物或水泥主要组分分类

从构成膨胀和自应力水泥的熟料矿物或主要组分可分为以下几类。

1.以硅酸盐水泥为基础的膨胀和自应力水泥

它们都是在硅酸盐水泥熟料（或水泥）中加入适量的氧化铝、三氧化硫组分或氧化钙、氧化镁组分配制而成的。包括 K 型、M 型、S 型水泥，明矾石膨胀水泥和浇筑水泥等。

2. 以高铝水泥为基础的膨胀和自应力水泥

它们都是在高铝水泥中加入适量的石膏，或不同类型石膏和水化铝酸钙或石灰等配制而成。包括不透水膨胀水泥、石膏矾土膨胀水泥、铝酸盐自应力水泥。

3. 以硫铝酸盐水泥熟料为基础的膨胀和自应力水泥

它们是在硫铝酸盐水泥熟料中加入适量石膏配制而成。包括硫铝酸盐膨胀水泥和硫铝酸盐自应力水泥。

4. 以高炉矿渣为基础的膨胀水泥

在高炉矿渣中加入适量的石膏、石灰（硅酸盐水泥熟料）和氧化铝组分配制而成。包括石膏矿渣膨胀水泥和低热微膨胀水泥。

在本书中，将以最后一种分类方法，对形成钙矾石引起膨胀的膨胀和自应力水泥进行系统的介绍。其中一些在历史上研究和生产过但实践证明发展价值不大的水泥，如 S 型硅酸盐膨胀水泥，曾经在美国生产过，现已停止生产；又如苏联和我国曾生产过的不透水膨胀水泥，因其工艺复杂，现已停止生产等就不作介绍了。而 K 型硅酸盐膨胀水泥虽然我国尚未生产，但它是美、日等国现行生产的主要膨胀水泥品种，我国也进行过一定的研究，因而仍作较详细的介绍。浇筑水泥虽不是以形成钙矾石相为基础的膨胀水泥，但在我国膨胀水泥生产实践中证明有其特点，且日本最近亦在发展以 CaO 为基础的膨胀剂，因而亦收入本书作较详细的介绍。由于在低于氢氧化钙饱和浓度条件下形成钙矾石相时的膨胀特性，与在饱和氢氧化钙浓度条件下形成钙矾石相时的特性有很大的差异，把膨胀和自应力水泥形成钙矾石相的液相 CaO 浓度分为饱和 CaO 及低于饱和 CaO 浓度两大类。以硅酸盐水泥为基础的膨胀水泥属饱和 CaO 浓度下形成钙矾石相这一类；以铝酸盐水泥及硫铝酸盐熟料为基础的膨胀和自应力水泥属