

SHUINI ZHUMOJI
YINGYONG JISHU

水泥助磨剂 应用技术

赵洪义 陈新中 宋南京 编著



化学工业出版社

SHUINI ZHUMOJI
YINGYONG JISHU

水泥助磨剂 应用技术

赵洪义 陈新中 宋南京 编著

TQ172.4

Z308



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥助磨剂应用技术/赵洪义, 陈新中, 宋南京编
著. —北京: 化学工业出版社, 2010. 1
ISBN 978-7-122-07010-4

I. 水… II. ①赵… ②陈… ③宋… III. 水泥-
助磨剂 IV. TQ172. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 200026 号

责任编辑: 常 青
责任校对: 周梦华

文字编辑: 冯国庆
装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
720mm×1000mm 1/16 印张 15 $\frac{1}{2}$ 字数 268 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

前 言

水泥助磨剂在国际上已有 70 多年的应用历史，其简单、高效的特点已被越来越多的水泥生产企业所认可。与水泥工业其他“节能减排”途径相比，应用水泥助磨剂几乎不需要增加任何的固定资产投资，直接掺入后，经济效益相当可观。一方面，使用水泥助磨剂能够提高水泥磨机的台时产量，从而直接降低了粉磨电耗；另一方面，因水泥助磨剂还可以激发工业废渣的活性，减少水泥中的熟料使用量，从而节省了因生产熟料而造成的煤、电消耗，并降低了大气污染物的排放，在实现“节能”效果的同时，也达到了“减排”的目的。

为满足广大水泥生产厂、混凝土企业及助磨剂行业员工对水泥助磨剂应用技术的了解，在各自的生产过程中进一步实现优质高产、节能降耗、安全环保和清洁生产，加快走“资源节约型、环境友好型”的新型工业化道路，我们认真总结了本公司成立十年来从事水泥助磨剂研发与推广应用的经验，在国内首次全面、系统地介绍水泥助磨剂在水泥工业中的应用技术。

本书的主要内容包括：水泥粉磨工艺基本知识，粉体状态与助磨机理，水泥助磨剂的应用技术、应用领域和应用效果评价方法，掺助磨剂的水泥与混凝土外加剂的相容性问题，并列举了大量水泥企业应用助磨剂的实际案例等，以利于读者在结合本企业水泥生产现状、解决助磨剂应用的具体技术问题时借鉴与参考，同时对于水泥助磨剂行业研发新产品、规范生产与服务提供指导性的帮助。本书以大量翔实的资料和试验数据为依托，力求原理明确、通俗易懂、具有可操作性。

本书在编写过程中，得到了席耀忠教授、陈绍龙教授等水泥界资深专家的关心和指导，得到了同仁们及相关企业的鼎力支持和资料帮助，在此一并表示诚挚的感谢！

由于笔者水平所限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评和指正。

编著者

2009 年 9 月于山东宏艺科技

目 录

第一章 概论	1
第一节 助磨剂在水泥工业中的作用	1
一、水泥工业的发展现状.....	1
二、水泥工业的可持续发展.....	2
三、助磨剂在水泥工业可持续发展战略中的作用.....	3
四、助磨剂在水泥工业节能减排中的作用.....	5
第二节 水泥助磨剂发展简史	6
一、原生态水泥助磨剂.....	6
二、国外水泥助磨剂的发展.....	7
三、我国助磨剂技术的发展.....	8
四、我国助磨剂的市场前景	10
第二章 水泥粉磨工艺知识	16
第一节 水泥工业粉磨技术	16
一、物料粉磨在水泥工业中作用	16
二、水泥粉磨工艺	18
三、矿渣微粉生产工艺	23
第二节 水泥粉磨工艺流程	27
一、开路粉磨系统	27
二、闭路粉磨系统	29
三、立磨粉磨系统	30
四、几种粉磨系统的综合比较	32
第三章 粉体状态与助磨机理	36
第一节 物料的粉体状态	36
一、物料细度的表示方法	36
二、物料的粉体状态	37
三、物料的粉磨平衡	39
四、水泥颗粒组成对水化反应的影响	40

五、水泥堆积密度对混凝土质量的影响	44
六、水泥颗粒组成的合理控制	46
第二节 水泥助磨剂的助磨机理	48
一、水泥助磨剂动态及其理论研究	48
二、强度学说——强度削弱理论	50
三、粉体流变学说——颗粒分散理论	51
第四章 助磨剂的应用技术	53
第一节 工业试验技术	53
一、小磨试验	53
二、大磨试验	58
三、试验数据分析及结论	64
第二节 工业生产技术	68
一、助磨剂计量技术	68
二、助磨剂检测及试验技术	76
三、生产控制技术	79
第三节 工艺调试改进技术	82
一、助磨剂掺量的调整	82
二、磨机系统工艺参数的调整	87
第五章 助磨剂的应用领域	90
第一节 在通用水泥生产中的应用	90
一、助磨剂对粉磨节能高产的作用	90
二、助磨剂对提高水泥质量的作用	93
三、助磨剂对改善水泥性能的作用	100
第二节 在粉磨矿渣微粉中的应用	111
一、生产中的节能减排	111
二、矿渣活性的激发技术	117
第三节 其他工业废渣综合利用	123
一、再生资源的开发前景	123
二、助磨剂的多功能拓展	131
第四节 助磨剂在合成特种水泥中的应用	133
一、我国特种水泥生产现状	133
二、在合成低热矿渣水泥中的应用	135
三、在合成抗硫酸盐水泥中的应用	138
四、在粉磨膨胀水泥中的应用	141

五、在粉磨白水泥中的应用·····	143
第六章 助磨剂应用效果检验 ·····	145
第一节 助磨剂应用的经济效益分析 ·····	145
一、助磨剂应用效果评价的主要内容·····	145
二、助磨剂应用的经济效益分析·····	147
第二节 水泥粉磨系统技术标定 ·····	155
一、标定前的准备工作·····	155
二、生料粉磨系统技术标定报告·····	159
三、水泥粉磨系统技术标定报告·····	173
第三节 环境负荷评价 ·····	191
一、环境负荷评价方法·····	191
二、生命周期评价法的主要内容·····	193
三、水泥助磨剂与低环境负荷·····	197
四、生命周期评价法评价实例·····	199
第七章 助磨剂与混凝土外加剂的相容性 ·····	207
第一节 水泥与混凝土外加剂的相容性 ·····	207
一、水泥与混凝土外加剂的相容性由来·····	207
二、影响相容性的诸因素分析·····	208
三、水泥影响因素的调整·····	210
四、混凝土外加剂影响因素的调整·····	211
第二节 混凝土外加剂对水泥及混合材的适应性 ·····	214
一、水泥助磨剂与混凝土外加剂双掺对混凝土性能的影响·····	214
二、混凝土外加剂品种对适应性的影响·····	225
三、其他因素对适应性的影响·····	226
附录 ·····	228
附录一 水泥助磨剂 (JC/T 667—2004)(摘录)·····	228
附录二 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉 (GB/T 18046—2000) (摘录)·····	235
参考文献 ·····	239

第一章 概 论

第一节 助磨剂在水泥工业中的作用

一、水泥工业的发展现状

2008年,我国水泥产量接近14亿吨,占世界水泥产量的1/2以上;水泥工业对石灰石、煤炭、电力等资源、能源的消耗,以及形成的工业粉尘、CO₂、SO₂、NO_x等大气污染物,给自然界带来巨大的环境负荷。我国水泥生产单位产品能耗比世界先进水平高出50%,水泥行业每年总电耗超过1000亿千瓦·时,耗费了全国总发电量的9%。同时,在水泥生产过程中消耗的不可再生资源、排放的大量有害气体,对人类生存的环境造成严重影响。因此,“节约资源、能源,保护环境”势在必行。

改革开放以来,我国能源工业取得了长足发展,能源生产规模已居世界第二位,节能降耗工作也取得了较大成效,但能源制约我国经济社会发展的局面,并没有得到根本的扭转。粗放型经济增长方式尚未发生重大转变;以节约能源为中心、努力减少经济发展对能源的依赖性,依然是我国面临的一项紧迫任务。

建设节约型社会的重点,首先是节能。我国在《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中,明确提出了2010年单位GDP能耗比“十五”末期降低20%左右的约束性节能指标。水泥工业属于年耗能一亿吨标准煤以上的能源消耗大户,历来是政府节能管理工作的重点。充分挖掘水泥企业节能潜力,促进节能工作上水平、上台阶,提高能源利用率,增强市场竞争力,确保实现国家“十一五”节能目标,都具有十分重要的意义。

在水泥生产过程的总电耗中,用于生料制备和水泥粉磨的电耗约占70%,从近百年水泥工业粉磨技术的发展来看,每一种工艺和设备上的改进,都对整个粉磨作业技术进步起到了一定的推动作用。立式磨、辊压机和筒辊磨等先进设备的推广,使水泥工业的粉磨效率提高了一大步。虽然球磨

机能量利用率很低（约3%），但由于使用球磨机粉磨水泥，能够得到比较理想的球形颗粒、较好的水泥使用性能及较高的强度增进率；加上国内各地设备制造水平差异，耐磨材质选择不一，以及经济实力的不同，管理控制能力与要求不相适应等，球磨机在水泥粉磨工艺环节仍然占据主要地位。

二、水泥工业的可持续发展

波特兰水泥自1824年诞生至今，由于其具有丰富的原料资源、相对较低的生产成本和良好的胶凝性能，成为当前人类社会最主要的、不可替代的建筑材料。但必须清楚地认识到，在为人类社会进步与经济发展做出巨大贡献的同时，也越来越显著地暴露出它在生产和应用方面存在的一系列问题。在水泥生产过程中，能源、资源消耗大，环境污染严重；在水泥应用过程中，力学性能、耐久性能有待进一步改善和提高。目前，许多发达国家已进入环境材料型发展阶段，而我国材料工业生产还处于粗放型、质量效益型并存，并向环境材料型过渡的阶段。保护地球环境，寻求与自然的和谐，走可持续发展之路成为全世界最关注的焦点。

水泥工业可持续发展是建立在可持续发展理念上的工业发展新模式，它要求水泥工业生产尽可能地减少自然资源和能源的消耗，以及对生态环境有害的废弃物排放，尽可能消纳本行业和其他行业难以处理的废弃物和城市垃圾，设计并制造有益于人类健康且与环境友好的水泥产品，不断满足当代人对工业品的需求的同时，注重现代和将来获取资源和分享产品的公平性、持续性和协调性。

“先污染、后治理”是20世纪我国水泥工业环境治理的主要特征。当生态环境危机全面爆发并严重影响各国经济、社会、政治发展时，环境治理思路才开始向“源头和过程控制”转变，即从末端治理变为源头预防为主。在此时期，“清洁生产”应时而生。20世纪80年代出现了“环境无害化技术”，被通称为“环境友好技术”。在1992年里约热内卢召开的联合国环发大会通过的《21世纪议程》中，正式提出了“环境友好”概念。“环境友好”提倡经济和环境双赢，实现社会经济活动对环境的负荷最小化，将这种负荷和影响控制在资源供给能力和环境自净容量之内，形成良性循环。20世纪90年代中后期，“环境友好技术”、“低环境负荷材料”等研究工作在世界各国蓬勃展开。

水泥工业如何降低环境负荷，其思路应在节约资源、能源和降低污染气体排放等方面寻找相应的突破点，这也引起了国内外水泥工作者的极大关注。1990年日本东京大学山本良一教授提出了“环境材料”的材料学新概念

念。“环境材料”是指那些“对资源、能源消耗少，对生态环境影响小，可以再生利用或降解，并且具有优异使用性能的材料”。针对水泥工业资源、能源消耗大，同时有大量污染气体排放的特点，对于降低其环境负荷，发展环境材料方面，国内外做了大量的研究工作，主要集中在采用新型干法水泥生产技术，改变传统的生产工艺和利用先进的生产设备，以期降低水泥工业的环境负荷，制备生态环境材料。

20世纪，为解决回转窑传热效率低、热耗高、产量低等问题，50年代出现了预热器窑，在回转窑尾部安置一个旋风式预热器，使粉状物料悬浮式预热，热交换效率大大高于干法中空窑和湿法回转窑，熟料热耗降至3640kJ/kg。20世纪70年代发展的窑外分解技术在预热器和回转窑之间增加一个分解炉，突破传统的仅在窑头加燃料燃烧的局限，将部分燃料直接加入分解炉，使燃料燃烧的放热过程与生料分解的吸热过程同时在悬浮态下高效率、迅速地进行，使入窑生料的分解率达85%以上，提高燃烧效率，降低SO₂、NO_x的排放。

生料制备和水泥粉磨系统，逐步改变以单颗粒粉碎原理为主的传统球磨机粉磨工艺模式，自20世纪80年代以来，迅速发展了辊压机、立磨、筒辊磨等以料床粉磨原理为主粉磨设备，并实现了装备大型化。目前，国内外大中型干法生产线，生料制备已广泛采用大型立磨或辊压机与高效选粉机配合实现“终粉磨”；水泥制备采用辊压机与球磨机、高效选粉机配套进行“预粉磨”、“联合粉磨”。同时，生料及水泥等粉状物料输送过程，淘汰了仓式泵、螺旋泵及气力提升泵等耗电量大的输送设备，采用胶带输送机、拉链机、链斗机、空气斜槽等低能耗输送设备，使水泥综合电耗由约125kW·h/t，降低到约90kW·h/t；与此同时，大力推广纯低温余热发电、窑磨一体机等废热利用技术，实现了新型干法水泥生产热耗和电耗的大幅度降低。

采用新型干法水泥生产技术，虽然在一定程度上降低了水泥生产的环境负荷，但需要更换新型设备，一次性投资较大。针对我国中小型水泥企业众多的现状，在降低环境负荷的同时，使水泥生产成本维持不变或略有降低，提出了一条新的途径，即利用多功能复合助磨剂技术生产“低环境负荷材料”，从而实现降低环境负荷，并生产“环境材料”。这不仅具有实际意义，而且对水泥工业的可持续发展具有深远的意义。

三、助磨剂在水泥工业可持续发展战略中的作用

目前，水泥工业对环境负荷影响最大的因素有两点：一是燃料、电力、石灰石等能源、资源负荷；二是CO₂、粉尘、SO₂、NO_x排放及噪声污染

源负荷。生产低环境负荷型高性能水泥是水泥工业发展的必然趋势，除大力发展节能减排技术及其装备之外，还应改变传统水泥的生产工艺模式，从适应社会对材料使用性能越来越高的要求出发，通过采用合成工艺和生产绿色材料来有效地解决当前我国“水泥工业环境负荷较大”的问题。简言之，就是要充分发挥多功能复合助磨剂在水泥工业可持续发展战略中的积极作用。

1. 生产方法的优化

在传统的水泥生产过程中，要获得不同性能的品种水泥，首先需要获得不同的水泥熟料；而水泥熟料又要通过不同的配料方案、不同的烧成工艺而获得，包括熟料的矿物组成、反应条件、热工制度、冷却速率等在内的煅烧过程，十分复杂且操作技术要求高。例如，许多满足高性能要求的特种水泥生产，需用不同的原料（有的需要特殊原料）、使用不同的生产设备（有的需要特殊设备如电炉）和不同的能源（有的需用电能、天然气、重油等）经过复杂的操作，生产出不同的相应熟料。这就使得水泥生产不仅过程复杂，同时会使资源和能源的消耗量增大。

为此，笔者提出了一种改变传统水泥生产工艺的全新模式，即采用多功能复合助磨剂的生产技术，只需要使用最少的不可再生资源、最简单的生产方法，生产出一种通用型硅酸盐水泥熟料（又称标准熟料），然后进行分别粉磨；根据不同品种水泥的性能要求，通过加入相应的多功能复合助磨剂和不同细度、活化后的混合材料，采用合成工艺技术，制备不同性能、不同品种的水泥或特种水泥。通过对水泥生产方法的优化，实现了水泥生产的低环境负荷。

2. 利用水泥助磨剂制备低环境负荷水泥

多功能复合水泥助磨剂采用助磨成分、激发成分、增强成分等复合而成，除助磨作用外，还可进一步激发混合材的潜在活性，提高混合材的掺加量，减少熟料的用量 10% 左右，从而降低熟料煅烧过程中对环境的资源、能源负荷。

根据水泥水化理论和堆积密度的要求，水泥中的各组分颗粒应具有不同细度和颗粒组成；根据不同物料易磨性的差异，采用分别粉磨、再合成水泥的生产方法，可以满足不同品种水泥对其性能的不同要求。分别粉磨工艺是将各种物料进行单独粉磨，避免了混合粉磨造成的过粉磨现象，从而降低粉磨电耗，提高磨机能量利用率。

水泥中的不同组分，应具有不同的颗粒组成，使熟料与功能调节组分（矿渣、磷渣、粉煤灰、煤矸石、磷石膏等工业废弃物）发生超叠效应，同时遵循紧密堆积原理，使水泥颗粒堆积成密实结构。根据“次递水化”调控

和颗粒设计技术，使水泥熟料矿物提供早期强度并趋于完全水化。功能调节组分保证中后期强度的稳定增长和耐久性的改善，并消耗水泥熟料产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，基本解决废渣大掺量、细磨情况下水泥石收缩、碳化等问题，从而实现水泥水化速度、结构形成和强度增长的协调发展。通过上述技术措施，使硬化水泥石中 C-S-H、水化铝酸钙、水化硫铝酸钙、胶体、晶体物质合理匹配。稳定生产具有低钙、低水化热的低环境负荷高性能水泥。在保证各品种水泥质量的前提下，多用工业废渣为主的再造资源，减少不可再生资源的使用，促进水泥工业的可持续发展。

四、助磨剂在水泥工业节能减排中的作用

根据有关资料报道，我国矿产人均资源量仅为世界水平的 58%，终端资源支出占 GDP 的 13%，高出美国的一倍；每万元 GDP 资源消耗是日本的 9.7 倍；我国创造的 GDP 不到世界总量的 4%。因此，我国政府提出：“珍惜资源、节约能源和保护环境是刻不容缓的头等大事。”随着国民经济的发展，煤、电、油等能源供应越来越紧张。为了减少水泥工业的能源消耗及其对大气环境的污染，近年来出台了两个强制性国家标准：《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915—2004) 和《水泥单位产品能源消耗定额》(GB 16780—2007)。在市场激烈竞争中的水泥企业，都应该积极地投入到“节能减排”的工作中去。

多功能复合水泥助磨剂可以将原来不具备水化活性的物质或混合物，经适当的物理化学方法处理后，转变为具有胶凝性质的材料，以逐步减轻经济增长对环境、资源、能源的供给压力；同时，它还能够在水泥生产的主要工序中，为主机设备的节能高产起到积极的促进作用。它是符合科学发展观、有利于水泥工业可持续发展、促进传统水泥生产工艺进行节能环保改造的适用技术和产品更新的有效办法。

在水泥粉磨工艺中，掺加助磨剂与不掺助磨剂大不一样。如果应用好助磨剂技术，不仅可以降低水泥生产中的电耗，而且还可以多用混合材料或工业废渣，减少熟料的使用量，因此，对水泥生产的“节能减排”工作可以起到积极的促进作用。以 2008 年为例，全国水泥产量约十四亿吨，其中熟料平均用量为 60%，如果全面采用水泥助磨剂技术，水泥中的熟料用量可以减少 10%。仅此一项就可以节省熟料 1.4 亿吨。按平均可比煤耗 120kg 标准煤/t，可比电耗 $70\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$ 计算，全年可节省标准煤 1680 万吨，节电 98 亿千瓦·时，扣去其中等量混合材料烘干煤耗和电耗，这个数值也是十分惊人的。按国家标准达标排放计算，节省 1.4 亿吨熟料，可以减排有害气体

NO_x 33.6 万吨、SO₂ 16.8 万吨。

第二节 水泥助磨剂发展简史

一、原生态水泥助磨剂

1796 年，英国的詹姆斯·帕克（James Parker）用含有黏土的不纯石灰石球，烧制成天然水硬性胶结材料。1813 年，法国的维卡（Vicat）用石灰石和黏土的合成物，经煅烧制成了人造水硬性胶结材料；他还发明了沿用至今的维卡针，用以测定水泥的凝结时间。1824 年，英国的约瑟夫·阿斯普丁（Joseph Aspdin）申请了“波特兰”水泥的一个专利，它是由煅烧某些磨细的石灰石（粉状或浆状），掺入磨细的黏土，再将混合物在窑内煅烧至 CO₂ 被分解逸出，最后将烧成物磨细制成水泥应用。因为硬化后的水泥酷似英国波特兰石场的天然石料，故而命名为“波特兰水泥”。尽管他并未达到真正水泥的烧成温度，但因为它在市场上取得了很大的成功，而被后人确定为水泥的发明人。阿斯普丁本人曾经使用了包括水和煤在内的一些天然物质来提高磨机的粉磨效率，这可以看作是最早的水泥助磨剂。

20 世纪 20 年代，英国人高达得（J. F. Goddard）应用树脂作为水泥粉磨的助剂，取得了英国的专利，随后在欧美、日本得到了普及与应用。当时的专利记载：为提高水泥系列产品的抗水性、早强性和水泥的加工性（早期的助磨概念），而试验和使用了矿物油、动物油以及石油裂化残渣制成的粉末状混合物，并配合盐酸、氯化钙、石灰质含钙物质，以具有惰性和吸附性的矿物质作载体。这些外加的助剂，大大地提高了水泥系列产品生产中的防水性和加工性。20 世纪 30 年代开发了“溶解油”，40 年代开发了“石油烃乳化剂”，专利中相继介绍了矿化油、皂化物、谷物油和皂化钠作为水化乳化剂，用于喷雾、分散和润滑。其中已经含有部分醇醚，如二乙二醇单醚、二乙二醇及两种以上溶剂作为混合溶剂。

20 世纪 50 年代水乳剂发展成为由游离脂肪酸、苛性碱金属、醇及烃（闪点 > 40.6℃）等构成的复合物。进入 20 世纪 60 年代，水泥减水剂得到较大发展，这时已扩展到非离子表面活性剂的各种类别。不仅改善了水泥的使用性能，也在水泥生产中起到了较好的助磨作用。

进入 20 世纪 80 年代后，在水泥外加剂增补水泥系列产品性能中，才明确提出要改善水泥加工过程中的助磨性能。

二、国外水泥助磨剂的发展

部分业内专家提到：水泥助磨剂的确切出现时间，应该是在 20 世纪 30 年代，如 1930 年英国人高达得（Goddard）以树脂为助剂的专利，1935 年美国肯尼迪（Kennedy）和马克（Mark）申请的以木质素衍生物和羟基烷基胺的复合助剂专利，后两人为杜依阿尔密化工厂的雇员，专利权属公司。

仔细阅读肯尼迪和马克的专利说明书，有以下特点。

① 首次明确提出水泥添加剂（cement addition agents）与水泥助磨剂（cement grinding aids）的术语和概念。

② 有别于以前使用的牛油、树脂和煤助磨剂。该发明所述助磨剂不但可以克服包球糊磨，即使在包球糊磨的条件下，也能提高粉磨效率，突破“自由粉磨极限”（limit of free grind），提高选粉机效率，从而提高产量，降低电耗。牛油、树脂和煤对水泥性能有不利影响，由肯尼迪和马克发明的助磨剂生产出的水泥不但早期强度高，而且能克服混凝土浮浆过多和泌水的问题。

③ 提出吸附层理论。大部分水泥助磨剂能被牢固地吸附在水泥颗粒表面，满足被粉磨颗粒对表面和表面能的要求，从而避免水泥颗粒的团聚。助磨剂也能被吸附在磨机和选粉机的内壁和部件上，使这些设备内部保持光洁。

④ 清楚地阐述了水剂中水的作用。以水作为载体配制的真溶液、胶体溶液、悬浮液助磨剂中的水，同样可以被吸附在水泥颗粒和粉磨设备部件的表面，消除水泥颗粒的集聚黏附现象。由于磨机内温度较高，水逐渐被蒸发而使磨温下降。经测定，磨机内的蒸汽分压是很低的，水不会影响水泥颗粒对助磨剂的吸附，也不会增加成品水泥的含水量。

⑤ 用水分散的助磨剂，通过机械泵连续地从磨头或选粉机回粉管掺入磨机内物料中，克服了当时掺少量粉状助磨剂不够均匀的难题。

⑥ 助磨剂在大磨的使用效果要较试验小磨好得多。

肯尼迪和马克发明的助磨剂到今天仍然在被使用，他们对助磨剂的作用机理、水的作用的解释、水剂的使用和添加方法的认识与实践，对助磨剂的发展起了极大地推动作用，在助磨剂技术发展史上具有里程碑的意义。

由于第二次世界大战爆发，助磨剂的生产和使用停顿了。战后才逐渐恢

复，到 20 世纪 60 年代，在美国、日本、前联邦德国和前苏联出现了多种品牌助磨剂，在水泥厂的使用也逐步扩大。如 1969 年前联邦德国生产的水泥中有 10% 掺用了助磨剂。美国于 1961 年制定了 ASTM C465-61T 《用于制造水硬性水泥的工艺外加剂标准》，1971 年制定了 ASTM C688-71T 《用于水硬性水泥的功能外加剂标准》，规定了助磨型水泥助磨剂和功能型水泥助磨剂的品质指标和测试方法。

目前全球使用助磨剂的情况大致如下：北美和西欧国家所生产的水泥中 80% 以上使用了助磨剂，中欧与亚太地区的使用者超过 30%，中南美洲和非洲的使用者超过 10%。国外水泥助磨剂专利绝大部分为液体产品。因为液体产品使用方便，仅仅需要增加一个贮料罐和一个液体计量泵，就可以顺利加入，不需要复杂笨重的设备。其中，美国的水泥助磨剂专利最多，有 10 余个，涉及了高分子合成技术。国外水泥助磨剂产品，各企业生产的品种、型号数量有限，技术相对成熟，其配方也基本固定，不需要经常变动配方。配方组成主要是胺类、多元醇类、醋酸盐等单一或复合品。由于这些产品掺量少，液体计量添加方便，提高磨机粉磨效率 10%~20%，节省单位时间电耗，提高水泥粉体的流动性，有利于散装运输和贮存，故在国外水泥厂使用很普遍。这些公司由于其产品国际化，所以也都符合美国 ASTM C465 标准。现在水泥助磨剂研究的重点已经走向高分子合成技术。这也是核心技术，美国 2007 年最新的专利中已经有了三乙醇胺的部分或全部替代品。

三、我国助磨剂技术的发展

我国对助磨剂的研究和应用起步较晚，20 世纪 50 年代后期，一些水泥厂曾利用煤、纸浆废液、肥皂废液等作为水泥助磨剂，效果不甚明显。20 世纪 70 年代，不少水泥企业和研究部门对助磨剂开展广泛的研究和应用工作，原四川水泥研究所从 1971 年开始，对几十种有机表面活性物质进行了小磨试验，发现大部分非离子型表面活性剂有良好的助磨作用。随后在柳州、大同水泥厂完成了工业性试验。与此同时，中国建材科学研究院、天津轻工业应用化学研究所、同济大学、华南工学院、南京化工学院、武汉建材学院、山东建材学院等研究部门 and 大专院校，以及抚顺、首都、大连、哈尔滨、松江、唐山、中国、上海、吴淞、光华、四川资中、华新、广州等水泥厂，先后对水泥磨及生料磨使用助磨剂进行了实验室试验、工业性试验和生产上的应用研究；所采用的助磨剂一般是化工厂的副产品或下脚料以及废液、废渣等，均收到较好的效果。但由于当时是计划经济时代，生产助磨剂

的原材料价格较贵、来源不充足或质量不稳定，加上水泥供不应求，工业用电价格较低，水泥企业对节能增效要求不高、意识不强，致使推广应用进程缓慢。跨世纪以来，国家大力提倡“节能减排”，走资源节约型的新型工业化道路。因此，助磨剂的研究得到有关高等院校、科研院所和科技开发公司的高度重视，并取得多项最新成果。

1978年党的十一届三中全会后，改革开放政策的实施及计划经济向市场经济的转化，给助磨剂的发展带来前所未有的机遇。由于水泥粉磨能耗高，能量利用率不到3%，1983年国家计委下达《水泥研磨助剂研究》项目，由原建筑材料科学研究院水泥所和天津轻工业应用化学研究所承担。经过3年研究，研制出3个系列10种助磨剂，并在耀县、昆明、启新等多家水泥厂进行了工业试验。值得一提的是，从1995年开始，我国水泥市场从供不应求进入供大于求的时期，激烈的竞争开始迫使水泥厂千方百计降低成本，对助磨剂的需求逐年增加。1997年我国首次颁布实施了JC/T 667《水泥粉磨用工艺外加剂》（等效采用ASTM C465），2004年修订为JC/T 667《水泥助磨剂》。

目前，国内研究及应用的水泥助磨剂有液体助磨剂和固体助磨剂，其基本成分大都属于有机表面活性物质。助磨剂产品的种类较多，除纯化合物产品外，还研究及开发了多种复合助磨剂。

国内助磨剂生产目前存在的问题是：除本行业管理亟待规范化之外，大多数采用工业纯聚合有机盐和无机盐为助磨剂的主要成分，成本较高，技术经济指标不适应实际生产情况。采用经验方式确定配方，配合的原理研究较少，因此所取得的产品一般适应面较窄。特别对于温度较高的物料还没有合适的产品。即使对于不同生产厂家的同种产品应用于不同厂家，也存在效果差异较大的情况。偶极-偶极有机化合物作为表面助磨剂研究较少，没能充分发挥该系列产品改善粉磨物料的黏附效果。对工业废料激发表面活性的高效助磨剂研究较少，且未能将多种有效助磨成分配合在一起，从而发挥最佳粉磨效果。

近10年来，随着国外水泥助磨剂产品的进入，行业内人士对水泥助磨剂产品的认可程度不断提高，国内水泥助磨剂使用的普及率前景可观。我国已经成为世界水泥助磨剂产品应用的主要市场，新型水泥助磨剂产品研发的技术水平逐年提升，特别是合成高分子复合助磨剂的研究。可以预见，随着国家对水泥工业产业机构调整的力度加大，水泥企业逐步走向大型化和集团化，水泥助磨剂的使用率将很快达到一个较高的层次。预计到2020年，我国大中型水泥企业使用水泥助磨剂的比例将达到90%左右。如果以年产20

亿吨水泥计，助磨剂市场需求可达 300 万吨/年，产值达 130 多亿元。

四、我国助磨剂的市场前景

1. 我国助磨剂市场发展的四个阶段

我国水泥助磨剂的市场发展可以划分为四个阶段：发展初期、发展成长期、快速发展期和稳定发展期。

(1) 发展初期（1950~1970 年）

1950 年全国的水泥年产量只有 151 万吨，根本谈不上使用助磨剂的问题。1958 年前后有极少数水泥厂使用煤、造纸废液和肥皂废液试验提高磨机产量的报道，但效果不十分理想。

(2) 发展成长期（1971~1994 年）

1971 年原四川水泥研究所对几十种有机表面活性剂进行了助磨效果的小磨试验，发现大部分非离子型表面活性剂，有良好的助磨作用。并选择了集中效果较好、原料易得的表面活性剂，在资中、柳州和大同水泥厂进行了大磨试验，尽管取得了一定的效果，由于助磨剂成本较高，未能得到大面积推广。

1983 年国家计委下达了《水泥研磨助剂研究》的研究课题，承担单位在三年内研制成功三个系列十种助磨剂，并在多家大型水泥厂工业性试验成功，为我国助磨剂的研发奠定了良好的基础。但由于当时是计划经济时代，水泥属“统配物质”，不存在销路问题。而生产助磨剂的原材料价格较贵、来源不充足或质量不稳定，加上国民经济建设高速发展，水泥产品供不应求，工业用电价格较低，水泥企业对节能增效意识不强、要求不高，致使助磨剂市场很难形成规模。

(3) 快速发展期（1995~2007 年）

1995 年我国已经进入市场经济，而水泥市场由“供不应求”变成了“供大于求”，“降低水泥生产成本”成为广大水泥企业“在竞争中求生存”的头等大事。因此，水泥助磨剂的需求量逐年增加，许多“手工作坊”式的水泥助磨剂生产厂应运而生。

从国家知识产权局数据库能检索到的水泥助磨剂专利 40 个，其中颗粒状和粉状助磨剂专利 17 个，液体助磨剂专利 23 个。最早的一份水泥助磨剂专利是 1986 年申报的。在这 40 个水泥助磨剂专利中，绝大多数是在 2007 年之前申报的，这充分说明在 2007 年前，我国水泥助磨剂技术和助磨剂市场已经进入了快速成长期。

(4) 稳定发展期（2007 年之后）