

水泥助磨剂技术推广与应用 论文集

中国水泥技术装备网 北京世纪坤龙科技有限公司 主编



<http://www.zhongsenkj.com>

中国建材工业出版社

责任编辑：刘京梁
封面设计：张小庆 胡 泳



环海澳蕾
HUANHAI AOLEI

>>> 复合高效液体水泥助磨剂

网 址：<http://www.hhaol.com>

上架建议：建筑材料

ISBN 978-7-80227-541-6



9 787802 275416 >

本社网址：www.jccbs.com.cn

定价：98.00 元

图书在版编目:(CIP)数据

水泥助磨剂技术推广与应用论文集/中国水泥技术装备网,北京世纪坤龙科技有限公司主编-北京:中国建材工业出版社,2009.1
ISBN 978-7-80227-541-6

I. 水… II. ①中…②北… III. 水泥-助磨剂-文集
IV. TQ172.4-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第004707号

内 容 简 介

随着我国水泥工业的快速发展,节能降耗、改善生态环境、降低水泥生产成本已成为我国水泥工业面临的长期而重要的任务,如何正确引导水泥企业科学、有效地选用新型、高效的水泥助磨剂,实现水泥助磨剂产业规范化、标准化就成了摆在建材行业技术人员面前的热点问题。《水泥助磨剂技术推广与应用论文集》一书收集了内知名专家、学者对水泥助磨剂研究开发、工业应用及经济效益的分析等相关论文论述,供广大读者探究、参考。

水泥助磨剂技术推广与应用论文集

主 编: 中国水泥技术装备网
北京世纪坤龙科技有限公司
出版发行: **中国建材工业出版社**
地 址: 北京市西城区车公庄大街6号
邮 编: 100044
经 销: 全国各地新华书店
印 刷: 廊坊市华玺印务有限公司
开 本: 889mm×1194mm 1/16
印 张: 13.5
字 数: 345千字
版 次: 2009年1月第一版
印 次: 2009年1月第一版
书 号: ISBN 978-7-80227-541-6
定 价: 98.00元

本社网址: www.jccbs.com.cn

京西工商广字第8052

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

声 明: 版权所有, 未经书面同意, 不得部分或全部转载或刊用!

编委会

(排序不分先后)

主 编: 中国水泥技术装备网

北京世纪坤龙科技有限公司

特邀编委: 王文义 张大同 席耀忠 严 生 龙世宗 黄从运

技术顾问: 赵洪义 山东宏艺科技有限公司 董事长

李生钉 福建省三明市新创科技有限公司 董事长

于吉涛 山东众森建材科技有限公司 总经理

冯方波 四川统领建材科技发展有限公司 总经理

张 伟 南京永能建材技术有限公司 博 士

李洪元 唐山冀东水泥外加剂有限公司 总经理

白文利 洛阳万顺建材有限公司 总经理

王 志 长沙市保灵建材助剂有限公司 总经理

刘延生 襄樊安格尔建材科技(集团)有限公司 董事长

徐福明 丹阳同远水泥外加剂有限公司 董事长

张 平 江苏泰兴市同济建材有限公司 博 士

编 辑: 杨 驿 张 毅 白 玉 柳 叶

执行总监: 胡 泳

设计总监: 杨 驿 胡 泳

美术编辑: 张小庆

责任校对: 张 毅 胡 泳

赞助单位: 株洲宏信特种建材有限公司

四川统领建材科技发展有限公司

前言:

随着我国水泥工业的快速发展,节能降耗、改善生态环境、降低水泥生产成本已成为我国水泥工业长期而重要的任务,推广和采用新型、高效的水泥助磨剂是节能降耗的重要途径。目前我国水泥助磨剂平均使用率不到30%。《水泥单位产品能源消耗限额》、《通用硅酸盐水泥》国家新标准2008年6月1日实施以后,单位产品能耗将成为水泥生产企业生存的门槛,这给水泥助磨剂企业带来巨大的市场空间和挑战,因此推广水泥助磨剂新产品、新技术的应用,正确引导水泥企业科学、有效地选用新型、高效的水泥助磨剂,实现水泥助磨剂产业规范化、标准化是当前首要任务,中国水泥技术装备网(www.ccte114.com)研究决定,组织业内知名专家、学者组成编委会编辑《水泥助磨剂技术推广与应用论文集》一书,以满足广大水泥生产单位、水泥助磨剂研发及众多生产单位相互技术交流、合作的需求。

《水泥助磨剂技术推广与应用论文集》内容主要是水泥助磨剂研究开发、工业应用及经济效益的分析等相关论文论述。为了帮助指导水泥生产企业结合自己的实际情况科学、有效地选用新型、高效水泥助磨剂,避免不必要的损失,《水泥助磨剂技术推广与应用论文集》编辑部特邀请中国建筑材料科学研究总院、武汉理工大学、南京工业大学资深专家:王文义、张大同、席耀忠、黄从运、龙世宗、严生出任编委。这些专家既有深厚的理论知识,又有丰富的实践经验,有的已经年事已高,为了国家的繁荣、行业的发展,他们不辞辛苦,甘愿奉献。在此,特向他们致以最诚挚的敬意。

由于学识水平及时间等因素所限,本书难免有漏误不妥之处,恳请广大读者给予批评指正。

本书在编辑过程中,得到了有关部门领导及专家的无私支持,以及株洲宏信特种建材有限公司、四川统领建材科技发展有限公司和福建省三明市新创科技有限公司的大力支持与协助,在此致以最衷心的感谢!

目 录

关于我国使用水泥助磨剂若干问题的思考·····	张大同(1)
助磨剂对水泥粉磨效果的研究·····	王文义 冯方波 窦兆祥 崔文刚(5)
国外水泥添加剂标准·····	席耀忠(11)
水泥厂使用助磨剂的各种效益·····	席耀忠(19)
水泥助磨剂技术的发展及现况·····	席耀忠(23)
水泥助磨剂产业面临的机遇和挑战·····	颜碧兰(26)
水泥助磨剂合成工艺及助磨效果的研究·····	徐正华 张昀 黄世伟 严生(28)
新型高效水泥活化助磨剂对水泥性能影响的试验研究·····	····· 黄从运 张明飞 韩显平 张美香 殷绍忠(34)
助磨剂的研究现状与发展前景·····	黄从运(38)
水泥复合助磨剂研究与应用中的问题·····	陶珍东(45)
水泥助磨剂作用与水泥外加剂相容性问题·····	王子明 兰明章 王建成(48)
助磨剂对水泥粉体状态的影响·····	陈绍龙(56)
如何正确选择与科学使用水泥助磨剂 ·····	邓民慧(59)
谈助磨剂在不同混合材水泥生产中的应用·····	徐福明 张平 卢晓光(61)
XU-ZP系列高效增强型水泥助磨剂配方设计原理及其应用·····	····· 徐福明 张平 孙叶明(64)
水泥助磨剂国内外研究现状与展望 ·····	张 伟(66)
天恒牌TH-3型水泥助磨剂在海螺水泥集团中的应用 ·····	张 伟(69)
利用高效复合水泥助磨剂技术实现水泥工业节能减排 ·····	赵洪义 汪兆先(75)
水泥助磨剂在节能减排中的重要作用 ·····	赵洪义 陈新中(80)
HY-III B型助磨剂在日照中联水泥公司的应用分析 ·····	安宝军 汪兆先(85)
水泥助磨剂为循环经济助力 ·····	李占文 王 玥 胡东杰(89)
科学选用水泥助磨剂的探讨 ·····	胡东杰 王 玥(95)
助磨剂在水泥工业节能减排中发挥的作用 ·····	胡东杰 王 玥(99)
节能降耗 势在必行 ·····	玄云宏(105)
CD-88/ZQ系列高效增强型助磨剂的研究与应用 ·····	白文利(107)
助磨剂在实际使用过程中应该注意的问题 ·····	徐宏道(109)
TX-CMT-A型助磨剂在我公司的应用 ·····	马建军 金光辉 祝尊峰 李 润(111)

目 录

要有信得过的产品质量，才有过得硬的创优品牌	王大启(114)
浅述我国水泥助磨剂的研究及应用	何宏涛 李卫国(116)
节煤增效剂的推广和应用	王 志(121)
科学使用水泥助磨剂为企业添效益	王 志(123)
Φ2.4m×12m带J _s -30的矿渣微粉磨磨内结构和工艺参数的优化	李忠于 王剑波(125)
智恒牌无氯固（粉）体助磨剂母液的应用实践	刘文庆(128)
三乙醇胺质量的测定方法	李金彪(131)
三异丙醇胺在水泥助磨剂中的应用	孔培军(134)
新港公司助磨剂选用	马凤平 刘 爽(137)
使用液体水泥助磨剂的技巧	肖卫新 赵秀利(142)
水泥助磨剂的应用体会	石远福(144)
谈谈水泥助磨剂在水泥生产中的控制	艾 林(147)
HY型高效复合水泥助磨剂助水泥工业节能减排	魏树林(150)
浅谈水泥生产工艺因素对助磨剂效果的影响	李圣先 许延亭(152)
提高球磨机产量的几种有效途径	徐宏道(155)
浅谈水泥企业对助磨剂的选型	侯绪军(159)
水泥助磨剂相关概念解析	胡 泳(160)
高分子合成助磨剂应用浅析	李生钉 林生利(162)
附录一 《通用硅酸盐水泥》标准发布及内容	(166)
附录二 水泥单位产品能源消耗限额	(174)

关于我国使用水泥助磨剂若干问题的思考

张大同

中国建筑材料科学研究总院

最近十年是我国水泥企业认识和开始使用水泥助磨剂的最快时期，也是我国水泥助磨剂产业形成和发展的重要阶段。在这个过程中有关方面对助磨剂的使用效果、发展方向、标准的合理性等方面都展开了有益的讨论，这些问题的深入讨论和解决将有助于我国水泥助磨剂行业的健康发展，并促进水泥行业的技术进步。下面谈谈个人在某些方面的思考，供同行们参考。

1 水泥助磨剂在水泥生产中的效益

水泥助磨剂在水泥生产中的效益大致可归纳为技术、经济和节能环保三个方面。

1.1 技术效益

(1) 增加生产调控手段。水泥粉磨系统是由若干个机械装备组合而成，一旦建成其生产能力和空间基本上是固定的，生产中调控的参数和范围也基本不变，只要开机整个系统的所有装备都要启动。若要改变，需要进行改造，当空间许可改造时还要有投资和时间。如果系统中引入助磨剂或设计时已有使用助磨剂的设施时，则可通过助磨剂的种类、加入量、加入时间等来调整水泥的性能、磨机的产量、辅机的工况来满足生产和市场的季节变化。所以使用助磨剂可以是水泥企业生产中的调控手段。

(2) 为水泥改性提供手段。通用水泥的各个品种都具有一定的自身特点，但不同水泥企业因原材料和工艺的原因，同一品种水泥的性能也存在差别，在同一工程中使用用户会有不同的评价。同时水泥混凝土施工性能和混凝土强度等级的设计也因工程不同，对水泥提出不同的要求，同一水泥会受到不同的评价。如有的需要凝结快、有的要凝结慢、还有的要求早强、有的要求高强度等级，所以企业为了满足市场的需要不得不对自己的水泥进行性能调整。这种改变若从水泥熟料、混合材料品种掺量和粉磨细度上来解决，不仅涉及的面比较广、战线拉的长、而且成本也比较高，而采用不同特点的水泥助磨剂就可以比较方便地实现。

(3) 为水泥生产提供节能、降低成本的途径。水泥熟料生产是耗煤大户、水泥粉磨是耗电大户，使用助磨剂可以节电，当提高熟料粉磨细度时增加混合材料用量可减少熟料消耗，所以是一种比较简便、有效的节能途径。

1.2 经济效益

其实助磨剂应用的任何一项技术效益都包含着一定的经济效益，企业借天时地利灵活运用将为自己获得最大的经济效益，如：

(1) 市场效益。目前我国水泥价格的季节差别已经明显拉大，少的每吨几十元，多的上百元。水泥销售旺季时水泥价格高而且回款快，用助磨剂增加水泥产量就是增加利润，特别是在具有大量冬贮熟料的地区；此外，有的工程要求62.5等级的水泥，还有的要求凝结时间长的水泥等，只要水

泥企业对助磨剂的技术和信息有所贮备，就很容易通过使用水泥助磨剂来满足客户的要求，企业除获得利润外还将提高企业产品的市场份额和地位；

(2) 性能改善效益。62.5等级的水泥与52.5等级的材料成本差别不大，但价格可以有明显的区别，其他有特种要求水泥的供应也具有类似的效果；

(3) 工艺改善效益。大多数情况下使用水泥助磨剂可以提高水泥粉体的分散性和流动性，除了能提高磨机的粉磨效率外还能改善管道的输送能力和散装水泥的装卸速度，在水运的时候这种情况显得非常重要，它将缩短靠岸时间、减少码头费用；在限电的情况下，磨机粉磨效率提高，可以用相同的电力生产更多的水泥，相同的水泥产量可以用比较短的粉磨时间，使得避开高峰用电的可能性增加；电力紧张的时候多是水泥销售的旺季，这时的水泥产量可以左右企业全年的利润。

1.3 节能、环保效益

随着我国经济发展，煤、电、油等能源不仅价格连年攀升，而且供应紧张，水泥企业普遍面临煤、电供应和成本上涨压力。为了减少我国水泥工业产品的能源消耗和对大气污染物的排放，国家制定了GB16780—2007《水泥单位产品能源消耗限额》和GB4915—2004《水泥工业大气污染物排放标准》两个强制标准，水泥企业将面临能耗和排放的限制。我国没有使用助磨剂的水泥中熟料含量按平均比例65%计时，目前在水泥生产中通过使用助磨剂平均可少用10%的熟料（6.5个百分点）是可能的，这样每吨水泥可少用0.065t熟料。2007年我国13.5亿t的水泥就可以少用8775万t熟料，按现有企业日产4000t的熟料的能耗标准要求，可比综合煤耗120kcal/t、综合电耗68kW·h/t计算，一年减少熟料用煤1053万t和用电59亿多度，扣除等量混合材料的烘干用煤耗和电耗，其节能效果还是明显的。同样，若助磨剂不是用来减少水泥中的熟料而是提高粉磨效率，当提高10%时，按水泥综合电耗37kW·h/t计算，全年也可以节电近50亿度。由节煤节电带来的排放减少大家都可以计算。

由上可知，水泥助磨剂的使用效益是多方面的，不只是降低熟料一项，产生的经济效益也不仅仅是熟料与混合材料的差价。但对于一个企业而言不可能在一个时间同时获得上述所有效益，只能是通过企业本身的努力，结合生产、销售形势，能源供应等环境因素加以灵活使用才能使水泥助磨剂的使用效果显现。

2 助磨剂使用效果发挥的关键在水泥企业

水泥企业是水泥助磨剂的用户，为了推销自己的产品，助磨剂企业大多数组建了相关的技术服务队伍，以使自己的产品能在水泥生产中发挥最大的效果，并主动根据用户的要求调整自己的配方进行个性化服务。这是诞生于市场经济环境下的水泥助磨剂行业的生存本能，但他们的努力能否使水泥助磨剂的效果得到应有的发挥呢？助磨剂企业的良好愿望能否变成现实？

在回答这些问题之前，让我们先来看看助磨剂进入水泥粉磨系统后会带来什么影响，其作用的发挥与哪些因素有关。

2.1 助磨剂进入粉磨系统后对系统和产品可能产生的影响

助磨剂进入粉磨系统后一般会消除粉体颗粒间的凝聚，增加颗粒间的分散性、流动性、缩短物料在磨机内的停留时间、降低物料的填隙率、提高选粉机的选粉效率、改变水泥输送时的阻力等等。

如果助磨剂存在化学促强作用或改性作用，它将作为水泥的组分之一在水泥使用时对相关的其他组分产生影响，从而改变水泥性能。

2.2 水泥企业的粉磨系统存在差别

我国现有水泥企业的粉磨系统，无论在规模和先进程度上都存在着很大的差别，大多数老企业

是直径3m以下的开路磨，有的改造为各种高细磨；近年新建的大多是直径大于3m的联合粉磨系统，还有的是立磨。同一助磨剂进入这些系统后产生的影响程度显然是不同的。

2.3 物料的物理特性不同

不同水泥企业的入磨物料组成、颗粒大小、易磨性、含水量等都不尽相同，就是同一企业在不同季节都有所变化。当同一助磨剂进入不同的物料系统时，在物料的各个粉磨阶段产生的影响自然不同，而且我们现在还不具备测试这种变化的技术。

2.4 磨机内的球配不同

同一型号的磨机，在不同企业、不同时段其球配也存在差别，同一助磨剂加入后工况的变化显然也会不同。不同磨机还可能存在隔仓板结构不同，此时使用助磨剂将给磨内工况带来更大的变化。

2.5 辅机能力和可控性差别

由于助磨剂加入后水泥分散性增加，或磨机产量提高，磨机的提升能力、选粉机的参数、收尘器效果、卸料和包装是否适应等可控性和控制水平在不同的企业是不同的。

2.6 细度指标和习惯

水泥粉磨时的细度指标是控制水泥粉磨程度的一个重要依据，但不同的细度参数所代表的真实细度是有明显差别的。如常用的筛余、比表面积所代表的主要颗粒成分有明显差异，他们只有在入磨物料组成、磨机工况基本相同的情况下与水泥性能会有比较稳定的相关性，否则这种关系就会变化。比如，当减少水泥中熟料用量，用等量的粉煤灰来代替，还用同样的比表面积指标来控制水泥粉磨，其强度自然不如原来的高；用80 μm 筛余也会有同样的现象。使用助磨剂的情况下，如果水泥的物料组成发生变化，细度参数和控制指标应该根据助磨剂的特点、水泥组成的变化、性能指标进行适当调整。

综上所述，当一个水泥助磨剂进入水泥粉磨系统后所发生的变化与众多的因素有关，而且不同的企业这些因素的相关性存在差异，助磨剂企业的技术服务人员很难熟悉和掌握这些变化。所以在使用助磨剂时，如果水泥企业只提出要减少多少熟料、强度提高几个MPa，而自己的粉磨系统操作不变、细度控制指标不变，仅由助磨剂企业的服务来实现助磨剂的最佳效果和达到这些目标是十分困难的，或几乎是不可能的。因为只有水泥企业的技术人员最熟悉本企业的粉磨系统和操作性能，在进行助磨剂试验时，助磨剂进入系统后出现的变化和应该采取的调整措施以及新的控制指标制定只有他们有资格和有能力，旁人是无法替代的。所以要发挥水泥助磨剂在某个水泥企业中的最佳作用，关键在水泥企业能否把使用助磨剂当作本企业求得技术进步的机会和任务，取决于能否做到领导重视、计划周到、组织得力。实际上，水泥助磨剂企业的服务在水泥企业使用助磨剂的工作中只是提供助磨剂资源和相关工作的协助，不应该、也不可能是主角。

3 助磨剂发展方向和标准的修订

我国水泥助磨剂行业经过最近五年的发展，经历了原材料的涨价、劳动成本的增加、市场的各种竞争后助磨剂企业开始关心自己的前途，相关方面开始关注他的发展方向，即是否继续沿着水泥助磨剂的方向发展？还是向改变水泥性能的添加剂方向努力？有不少学者主张走水泥添加剂的路，并要求把水泥标准中的助磨剂改为添加剂。当然，这是可以理解的。因为我国水泥行业已经完全进入市场经济状态，很多工程招投标时要求水泥企业按他们的技术要求提供水泥。这些要求除了标准规定的还有用户自行确定的项目，因此水泥改性剂具有一定的市场和生命力；同时在助磨剂发展

的短暂历史中也证明，只有助磨而没有增强作用的水泥助磨剂几乎没有市场，进行销售是非常困难的；不少水泥企业还向助磨剂提出了各种改性的要求。为了助磨剂行业的发展，不少人因此要求水泥标准承认这种现实，并放弃助磨效果的规定。

多数人心目中的添加剂可能是包括助磨剂在内的各种功能外加剂，除助磨剂有助磨要求外，其他的添加剂没有助磨的要求。个人认为，由于历史的原因，我国水泥功能外加剂的研究过去只在比较小的范围内进行，而在混凝土的领域中比较普遍和深入，现在在水泥领域中展开这种研究已是非常必要，它不仅关系到水泥基材料的发展，而且也是充分发挥水泥潜能的途径；但是环顾我们周围现有的水泥添加剂，大多数是从混凝土外加剂中回流的。大家知道，在混凝土中加功能外加剂后它的影响只发生在局部或个别工程，而且大多数在使用前经过设计和试验，其在混凝土中的影响也经过评估；而在水泥生产中使用它，除非是专供某个工程，否则会面对众多的使用对象，只要其中一个环节出了点问题，哪怕不是水泥的原因，水泥企业能乐意面对吗？有人指出欧洲水泥标准中的 additives 就是添加剂，人家都已经用上了还会有问题？不错，欧洲水泥标准中允许使用添加剂，其最大限量为1.0%，若为有机物时以干基计不大于0.50%，如用了符合EN934系列的混凝土、砂浆或灰浆添加剂时，在包装或发货单上应标明该添加剂的标准代号。但我们国家助磨剂行业规模小、技术水平低、企业数量多、产品质量稳定性差、质量监督管理能力弱，而水泥企业长期以来只准用助磨剂，没有使用外加剂的技术积淀，缺少混凝土外加剂的知识 and 检测能力，目前大多不具备执行欧洲标准的基础。所以当前助磨剂行业的任务是回归水泥助磨剂标准，老老实实按助磨剂标准组织生产。

其实，我国水泥助磨剂标准从1996年等同采用美国水泥工艺外加剂标准开始，就已经允许部分改性，如强度只规定了低限。JC/T667---2004只是根据当时助磨剂普遍采用无助磨、于水泥性能有害的增强组分，而水泥标准又允许助磨剂用量比较大的情况下，增加了助磨的要求和某些性能的限制。现在通用硅酸盐水泥标准已经压低了助磨剂的规定用量，并在指标上增加了氯离子的限制，个人认为助磨剂标准的其他一些指标也有放宽的余地。如水泥标准本身已有指标限制的、水泥使用时属于施工性能的某些指标，由于使用时各种工程要求有差别，而且易于测定的性能可以只规定低限；水泥标准中没有规定的，由于助磨剂存在有可能影响水泥长期性能的一些指标应该增加和加强，以防止类似奶粉标准出现的问题。

我時 能歸空而豫也。

助磨剂对水泥粉磨效果的研究

王文义¹冯方波²窦兆祥²崔文刚²

中国建筑材料科学研究总院¹ 四川统领建材科技发展有限公司²

1 前言

水泥的生产从原燃料到产品出厂是一个相当复杂的过程，要想达到优质、高产、低能耗，需要各方的技术支撑。然而水泥生产过程的核心是粉磨和烧成，俗称“两磨一烧”，即生料粉磨、水泥粉磨和熟料烧成。

新型干法窑的诞生和发展，已使能耗有了成倍的降低，正向理论热耗迈进。

生料磨和水泥磨，长期以来主要采用球磨机进行粉磨。球磨机是依靠冲击和研磨作用对物料实现粉碎的，这种作用通过研磨体表面传递给物料颗粒使其粉碎，单一物料颗粒的受力是偶然性的，而大量能量消耗在研磨体之间以及研磨体与衬板之间的碰撞和磨损上，粉磨效率是很低的。据Ansel的测定，球磨机粉碎物料的能耗利用率不足3%，因而粉磨节能是国内外长期以来亟待解决的问题。目前已有能耗利用率较高的立磨、辊压机、细碎机等新型粉磨设备，但对于水泥粉磨而言，球磨机还是不能不用的。

助磨剂是提高水泥粉磨效率的一项重要途径，粉磨节能可达10%~30%，因而早已引起国外高度重视，现在发达国家的水泥粉磨大多都使用助磨剂。我国助磨剂的批量使用源于20世纪90年代末，主要为粉体助磨剂。由于粉体助磨剂带入了较多Cl⁻，损坏了助磨剂声誉，国家及时修订了水泥国家标准，规定水泥中Cl⁻含量不得超过0.06%，引导助磨剂制造企业步入正轨，以液体助磨剂为主导产品，掺量一般在0.02%~0.05%，也有0.10%的。

在水泥中只掺加万分几的液体助磨剂，能否对水泥粉磨产生效果是不少水泥企业的疑问，为此作者结合多年助磨剂的试验研究和实践，撰写了此文，供大家参考。

2 助磨剂机理的探讨

助磨剂能提高粉磨效率是众所周知的，但对提高粉磨效率的机理认识是不一致的，其中主要有两种观点，即强度学说和分散学说，现结合作者的看法简述如下。

(1) 强度学说

这是1931年列宾捷尔首先提出来的。基本观点是，固体表面上的力是不饱和的，存在着游离的表面力即表面张力。固体表面通过吸附液体、蒸汽或气体分子使这种游离的表面张力被饱和，降低了表面能，其结果在断裂过程中起决定作用的分子断裂张力也就降低了，提高了粉磨效率。

(2) 分散学说

随着生产实践和研究的深入，不少学者对列宾捷尔效应提出了疑义，认为他只着眼于表面裂缝上的吸附作用，而没考虑到活性剂分子对固体结构不同的颗粒性质的影响和外力负荷条件（外力作用速度），于是在20世纪60年代形成了分散学说。分散学说的基本观点是：物料的粉碎在于表面吸附活性剂之后改变了分散颗粒之间和研磨介质之间的相互作用。表现为黏附性的减少，降低了颗粒的聚集和研磨介质之间的黏附现象，使物料流动性好。黏附性减少的原因是活性剂降低了材料的介电常数。

(3) 表面吸附现象

强度学说和分散学说是助磨剂能够强化粉磨的两大学派，这两大学派尽管对助磨剂的作用机理有不同见解，但通过表面活性剂在固体表面上吸附而提高粉磨效率的看法是一致的，因此可以用吸附现象将这两者统一起来。

吸附现象是一种物质自动附着在另一种物质表面上的现象，吸附与吸附质和吸附剂的性质有关，吸附的本质来源于表面张力。固体表面层分子与液体表面分子一样，存在剩余力，由于固体不具流动性，所以不能像液体尽量减少表面积的方式降低表面能，它可以利用表面上不平衡力场从周围的介质中捕获气相（或液体）中的分子，来降低表面能，使系统达到稳定。这种吸附是自动进行的，不同的固体物料、吸附剂，其吸附的状况也不同。

固体物料在粉碎过程中，如果不加助磨剂，磨细到几十微米以下时，粒子很小，比表面积很大，系统有很大的表面能处于热力学不稳定状态，这时只能靠表面自动地变小，即颗粒团聚变大来降低表面能。当在粉碎过程中有颗粒离子键断裂，如CaO断裂会产生 Ca^{2+} 和 O^{2-} 的活性点，带正负电荷的粒子也会产生团聚，使小颗粒变成大颗粒。如果在粉碎过程中掺加了助磨剂，助磨剂分子会自动吸附到颗粒表面，降低表面能，屏蔽颗粒上的电荷，阻止小粒子的团聚，增加物料的流动性，强化粉磨效率。

(4) 固体表面吸附量

无论哪种学说，吸附现象是强化粉磨的前提。固体表面必须吸附助磨剂分子才能产生助磨效率。吸附多少助磨剂分子才能产生最佳粉磨效果呢？试验和实践表明，粉碎到一定细度的颗粒表面吸附一层单分子助磨剂就可以，不足时粉磨效果欠佳，超过这个数量，形成多层分子吸附，粉磨效果也不会增加。日本学者按单分子层吸附提出了一个计算公式，并按该公式可以计算助磨剂的掺加数量，如当水泥比表面积 $350\text{m}^2/\text{kg}$ 时，三乙醇胺的掺加量为0.024%，乙二醇的掺加量为0.018%等。

3 粉磨效果试验

助磨剂对固体物料的粉磨效果是由助磨剂和固体物料两个方面决定的，同一种固体物料采用不同的助磨剂其粉磨效果不同，同一助磨剂对不同的固体物料粉磨效果也是不同的。

水泥物料是由熟料、石膏和混合材料（如矿渣、粉煤灰、炉渣、石灰石等）组成的，我们采用同一种助磨剂（三乙醇胺）对不同物料进行了小磨试验，不同粉磨时间下的粉磨效果列于表1。

表1 不同物料、不同粉磨时间的粉磨效果

物料种类	助磨剂 (三乙醇胺)	45 μm 筛余						比表面积 (m^2/kg)					
		10min	20min	30min	40min	50min	60min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
P. I 水泥	空白	42.0	20.4	13.0	10.0	11.8	12.1	190	290	340	416	459	497
	0.03%	37.0	19.3	11.1	6.5	6.2	6.5	208	287	346	378	438	451
P. O 水泥	空白	45.6	21.5	14.4	11.6	11.8	13.3	170	270	381	434	481	529
	0.03%	54.7	21.0	11.0	6.0	6.7	7.2	190	291	384	440	500	543
P. S 水泥	空白	51.2	25.5	17.2	14.9	7.2	6.5	175	270	350	415	470	525
	0.03%	52.8	28.6	12.5	6.1	4.9	4.8	175	276	351	430	485	517
矿渣	空白	62.6	39.0	22.3	13.6	8.8	8.4	130	210	284	350	395	440
	0.03%	68.2	44.7	21.3	12.6	6.7	6.1	117	200	282	345	390	437
炉渣	空白	58.5	19.2	9.4	3.5	2.1	3.0	250	433	575	680	780	850
	0.03%	54.4	33.0	18.0	8.6	3.4	3.	240	420	575	680	750	870
石灰石	空白	24.0	13.3	9.1	6.7	55	4.9	390	560	760	880	935	980
	0.03%	20.0	11.0	7.4	6.1	4.7	4.0	395	630	820	932	978	1110
备注	P. O水泥组成为：熟料85.5%、石膏5%、矿渣9.5% P. S水泥组成为：熟料64%、石膏6%、矿渣30%												

由表1可以看出:

(1) 助磨剂(三乙醇胺0.03%)对水泥有明显的助磨效果

助磨效果主要表现在 $45\mu\text{m}$ 筛筛余明显降低,特别是在粉磨时间30min以后(比表面积大约在 $350\text{m}^2/\text{kg}$ 以上)筛余下降的更突出。

在不掺加助磨剂的水泥(如P·I、P·O)粉磨过程中,随粉磨时间的延长, $45\mu\text{m}$ 筛筛余不但下降,反而增大了。这是一种较普遍的现象,造成的原因是系统中很小的物料粒子表面能很高,有自动降低表面能的趋势,使粒子团聚变大;或者同时存在粒子的正负电荷吸引,也使粒子团聚变大。当掺加助磨剂后,助磨剂分子会自动吸附在粒子表面,降低表面能或中和粒子上的电荷,减少了粒子团聚,增加了分散性和流动性使粉磨效率明显提高。

粉磨水泥时掺加助磨剂后为什么比表面积提高不明显,有时还会降低呢?这也是一个较普遍的现象,造成的原因不是水泥总体没有磨细,而是在一定粉磨工艺条件下,减少了过细粉磨现象,即小粒子(如 $<3\mu\text{m}$)减少了,稍大一些的粒子(如 $3\sim 32\mu\text{m}$)增多了,其结果是比表面积变化不明显,或稍有降低。

(2) 助磨剂(三乙醇胺0.03%)对不同物料的助磨作用有很大差别

助磨剂(三乙醇胺0.03%)对水泥粉磨有明显的助磨效果,而对矿渣、炉渣、石灰石等物料的助磨作用有很大差别。

对矿渣的助磨作用,矿渣是难磨的物料,掺加助磨剂(三乙醇胺0.03%)后有一定的助磨作用,表现在粉磨到40min以后 $45\mu\text{m}$ 筛筛余较空白料下降了。但对于专门生产矿粉的企业而言,只用比表面积来衡量矿粉的细度状况,掺加助磨剂几乎看不出助磨效果。因此研究配制专门用于矿粉生产的助磨剂是十分必要的。

对炉渣的助磨作用。炉渣是易磨的物料,掺加助磨剂(三乙醇胺0.03%)后没有显现出助磨作用。掺加或不掺加助磨剂在炉渣的粉磨过程中都表现出很高的比表面积,这与炉渣是多孔结构性质有关。

对石灰石的助磨作用。石灰石是易磨物料,掺加助磨剂(三乙醇胺0.03%)后仍有一定助磨作用,表现在 $45\mu\text{m}$ 筛筛余下降,比表面积提高。

4 助磨剂对水泥颗粒级配的影响

众所周知,水泥必须磨制到一定细度状态下才具有胶凝性。细度状态可以用不同方式表达:细度(如 $80\mu\text{m}$ 和 $45\mu\text{m}$ 筛筛余)主要反映水泥中粗颗粒含量(%);比表面积(m^2/kg)主要反映水泥中细颗粒含量;颗粒级配可全面反映水泥中粗细颗粒分布状况,是现代水泥企业调控水泥性能的先进手段。

颗粒级配对水泥性能的影响国内外已进行了长期研究,并获得了基本结论,对于纯硅酸盐水泥而言: $3\sim 32\mu\text{m}$ 颗粒对水泥混凝土强度增长起主要作用,含量应大于65%,其中 $16\sim 24\mu\text{m}$ 颗粒尤为重要; $<3\mu\text{m}$ 含量应 $<10\%$; $1\mu\text{m}$ 颗粒易风化,易结团,遇水就水化了,对水泥性能不利; $>65\mu\text{m}$ 颗粒最好为0。

水泥助磨剂配制选择的原料不同、组成不同、生产工艺不同,所以助磨剂的效果也会存在很大差异。四川统领的WT-3助磨剂的效果很好,得到全国许多企业的好评,它是否改善了水泥颗粒级配呢?他们经常进行颗粒级配测定,结果证明是改善水泥颗粒级配。下面介绍他们测定的一个例子:该水泥中混合料(矿渣、炉渣、石灰石)为36%,颗粒级配采用珠海欧美克生产的激光粒度分析测定,在水泥粉磨时掺加和不掺加WT-3助磨剂的水泥颗粒级配见图1。

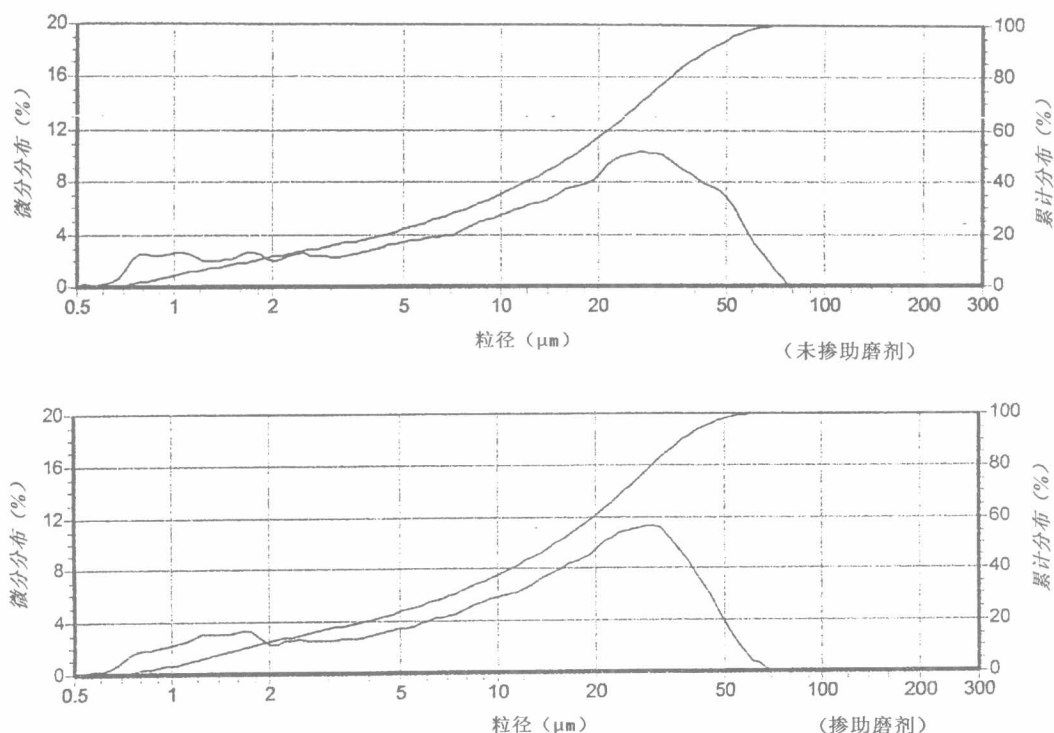


图1 掺加和不掺加助磨剂对水泥颗粒级配的影响

图1是水泥粉磨时掺加与未掺加助磨剂的粒度分布图，上方粒度分布为未掺助磨剂的，下方为掺加助磨剂的。由图1可以看出，两条微分分布曲线都为凸形单峰曲线，且曲线平滑，说明磨机钢球和粉磨工况合理，具有可比性。两条曲线相比，掺加助磨剂后水泥中小颗粒（ $<1\mu\text{m}$ ）和大颗粒（ $>50\mu\text{m}$ ）都减少了，中等颗粒 $16\sim 32\mu\text{m}$ 增多了。

为了定量比较，将主要粒径颗粒和粒度特征参数列于表2中。

表2 掺加与不掺加助磨剂水泥的粒度及特征参数

水泥	中位粒径 D50 (μm)	特征粒径 $\bar{X}$ (μm)	均匀化 系数n	激光比 表面积 (m^2/kg)	3~32 μm 含量 (%)	32~65 μm 含量 (%)	粒度分布 (%)					
							<1 μm	<3 μm	<16 μm	<24 μm	<32 μm	<65 μm
未掺	16.36	21.57	1.01	368	62.5	20.94	4.38	15.68	49.26	66.44	78.18	99.13
掺加	15.07	19.48	1.05	378	66.96	16.09	3.55	16.84	52.19	70.94	83.80	99.89

由表2可以看出：

（1）掺加助磨剂后水泥颗粒总体上偏细了。主要体现在中位粒径由 $16.36\mu\text{m}$ 降至 $15.07\mu\text{m}$ ，特征粒径由 $21.57\mu\text{m}$ 降至 $19.48\mu\text{m}$ ， $32\sim 65\mu\text{m}$ 颗粒含量由20.94%降至16.09%。

（2）掺助磨剂后改善了水泥颗粒级配。主要体现在 $3\sim 32\mu\text{m}$ 含量由62.50%提高到66.96%， $<1\mu\text{m}$ 颗粒含量由4.38%降至3.55%， $<32\mu\text{m}$ 颗粒含量由78.18%提高到83.80%， $<16\mu\text{m}$ 和 $<24\mu\text{m}$ 颗粒含量也有了提高。

5 助磨剂对水泥性能的影响

国内外对液体助磨剂的研究和使用已有几十年历史了，实践证明，水泥粉磨时掺加微量液体助磨剂对水泥一般物理性能如稠度、凝结时间、安定性以及使用性能均无有害影响，对于水泥强度的影响有的助磨剂影响也不大，有的助磨剂有增强效果，有的助磨剂有明显增强效果，差别很大。现

在我国水泥企业对无氯无碱助磨增强的助磨剂助十分感兴趣，这就促使助磨剂制造企业向这个方向努力。

(1) 助磨剂配方的研究

我们根据无氯无碱助磨增强的原则，对液体助磨剂进行了大量试验研究工作，取得了一些成果，见表3。

表3 一些助磨剂配方对水泥助磨增强效果

序号	助磨剂 编号	助磨剂 掺量 (%)	水泥3d 抗压强度 提高值 (MPa)	水泥28d 抗压强度 提高值 (MPa)	序号	助磨剂 编号	助磨剂 掺量 (%)	水泥3d 抗压强度 提高值 (MPa)	水泥28d 抗压强度 提高值 (MPa)
1	A ₁	0.04	+3.7	+9.7	1	B ₁	0.10	+4.5	+4.2
2	A ₂	0.04	+4.0	+11.1	2	B ₂	0.10	+3.1	+4.2
3	A ₃	0.04	+3.9	+10.2	3	B ₃	0.10	+5.3	+2.0
4	A ₄	0.04	+2.9	+8.2	4	B ₄	0.10	+4.5	+7.7
5	A ₅	0.04	+2.6	+8.4	5	B ₅	0.10	+5.5	+3.7
6	A ₆	0.04	+2.6	+7.2	6	B ₆	0.10	+4.5	+6.4
7	A ₇	0.04	+2.9	+10.5	7	B ₇	0.10	+3.6	+9.3
8	A ₈	0.04	+3.1	+6.5	8	B ₈	0.10	+4.3	+6.2
9	A ₉	0.04	+3.0	+6.3	9	B ₉	0.10	+3.2	+10.1

由表3可以看出，水泥粉磨使用助磨剂时在不增加产量、不增加混合材料掺量的情况下，是可以提高水泥3d和28d强度的。

(2) 统领助磨剂（WT-3）生产使用效果

国内许多水泥使用了四川统领生产的液体助磨剂（WT-3），经我们调查了解，大多使用效果很好，现将企业提供的情况简介如下。

四川彭水县茂田能源开发公司使用结果列于表4。

表4 彭水县茂田公司使用WT-3助磨剂结果

水泥 品种	使用 前后	熟料 (%)	混合材 (%)	WF-3 助磨剂 (%)	比表面积 (m ² / kg)	初凝 (min)	终凝 (min)	3d抗压 强度 (MPa)	28d抗压 强度 (MPa)	C1-含量 (%)	磨机台时产 量 (t / h)
P·C 32.5	前	74.4	20.12	0	325	148	205	21.5	34.5	0.027	81.6
	后	71.3	24.23	0.10	361	152	212	22.3	35.9	0.035	105.2

四川绵屏水泥有限公司使用结果列于表5。

表5 绵屏水泥公司使用WT-3助磨剂结果

水泥 品种	使用 前后	熟料 (%)	混合材 (%)	比表面积 (m ² / kg)	稠度 (%)	初凝 (min)	终凝 (min)	3d抗压 强度 (MPa)	28d抗压 强度 (MPa)	助磨剂 WT-3 (%)	磨机台时产 量 (t / h)
P·C 32.5	前	55	40	299	27.7	180	245	13.2	36.1	0%	50
	后	49	45	365	25.1	100	152	21.7	44.2	0.10%	57

云南易门大椿树水泥公司使用结果列于表6。

表6 云南易门大椿树水泥公司使用WT-3助磨剂结果

水泥品种	使用前后	熟料 (%)	矿渣 (%)	助磨剂 WF-3	稠度 (%)	比表面积 (m ² / kg)	初凝 (min)	终凝 (min)	3d抗压强度 (MPa)	28d抗压强度 (MPa)
P·O 42.5	前	84.5	8.0	0	25.0	404	114	180	29.9	56.0
	后	79.4	13.0	0.12	24.9	438	104	170	31.8	57.0
P·S 32.5	前	55.5	37.0	0	26.0	382	140	182	17.7	48.7
	后	47.4	45.0	0.12	26.2	483	85	135	19.9	49.1

由表4、表5、表6可以看出，在水泥粉磨时掺加助磨剂能提高磨机的粉磨效率，增加水泥中混合材料掺加量，从而有利于降低水泥生产成本。

(3) 使用助磨剂为什么能改善水泥性能

为什么使用无氯无碱的液体助磨剂能改善水泥性能，我们分析主要有以下三方面原因。

① 在相同条件下，掺加助磨剂后水泥的整体细度降低了，有利于提高水泥的胶凝性。

② 在相同条件下，掺加助磨剂后能改善水泥颗粒级配，提高3~32 μm颗粒含量，有利于改善水泥性能和提高水泥强度。

③ 水泥粉磨时掺加助磨剂，助磨剂分子会吸附到水泥颗粒表面，一直在水泥中存在。当水泥加水后对水硬化起到一定的促进作用，如三乙醇胺可以络合C₃A和石膏加速钙矾石的形成，带有羟基(OH⁻)的有机物分子能络合Ca²⁺，使液相中Ca(OH)₂浓度降低，加速了C₃S的水化速度。

(4) 助磨剂与水泥的适应性

我们通过小磨试验和大磨生产实践发现，液体助磨剂与水泥有个适应性问题。我们采用同一个助磨剂对不同厂家的水泥进行小磨粉磨效果试验中发现，多数厂家的水泥粉磨效果良好，只有个别厂家的水泥粉磨效果不明显，当我们调整助磨剂组成后，个别厂家的粉磨效果又很好了。在大磨生产使用中也发现了类似现象，不过它的情况更复杂，还有一个粉磨工艺条件的适应性问题（工艺参数适当调整即可解决）。影响物料与助磨剂适应性的因素、机理有待研究。

6 结语

通过助磨剂对水泥粉磨效果的试验研究和实践得出如下意见：

(1) 助磨剂助磨机理的探讨，认为助磨剂对固体物料助磨的前提是固体物料表面对于助磨剂分子的吸附，并发生吸附效应。吸附效应使固体表面能降低，特别是在磨细到几十微米以下粒子时，助磨剂分子吸附在粒子表面，降低了系统很大的表面能，中和粒子电荷，从而提高物料分散性，增加流动性，强化了物料粉碎。

(2) 助磨剂（三乙醇胺0.03%）能明显提高水泥的粉磨效率，对矿渣和石灰石也有一定助磨效果，对炉渣未表现出助磨作用。

(3) 在水泥粉磨时掺加助磨剂（三乙醇胺0.03%）能改善水泥颗粒级配，提高3~32 μm含量，减少细颗粒（<1 μm）含量，减少粗颗粒（32~65 μm）含量，有益于改善水泥性能。

(4) 由不同有机物匹配和加工制作出来的优质助磨剂，不但具有助磨作用，而且还具有较好的水泥增强作用，3d抗压强度可提高3~5MPa，28d抗压强度可提高6~10MPa。