

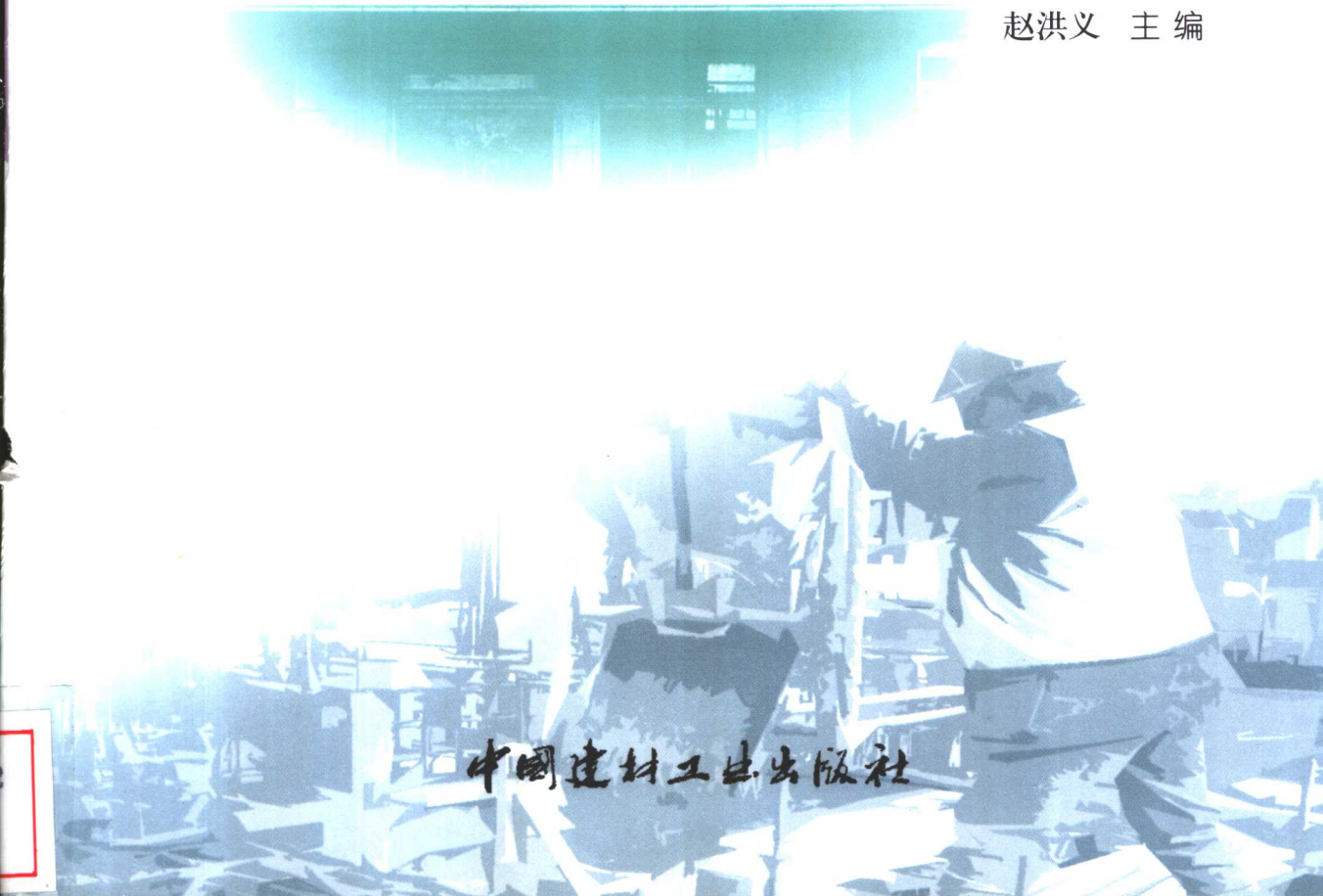


全国水泥及混凝土外加剂 应用技术文集

中国建材工业经济研究会水泥专业委员会 编

HONG YI TECHNOLOGY

赵洪义 主编



中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

全国水泥及混凝土外加剂应用技术文集/赵洪义主
编. 北京: 中国建材工业出版社, 2003.10
ISBN 7-80159-526-2

I. 全... II. 赵... III. 水泥外加剂-研究-文集
IV. TQ172.4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 086963 号

书 名: 全国水泥及混凝土外加剂应用技术文集

主 编: 赵洪义

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 11 号

邮 编: 100831

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 32.75

字 数: 811 千字

版 次: 2003 年 10 月第 1 版

印 次: 2003 年 10 月第 1 次

印 数: 1 ~ 3000 册

书 号: ISBN 7-80159-526-2/TU·265

定 价: 68.00 元

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) 68345931

《全国水泥及混凝土外加剂应用技术文集》

编 辑 委 员 会

高级顾问：李俭之

主任委员：赵介山

副主任委员：顾惠元 赵洪义

委 员：(排名不分先后)

严 生	陈绍龙	陈宗武	赵慰慈	李贺林	王复生
仲伟兴	史兆宪	朱化雨	薛 铸	张文厚	魏宝清
韩丽利	李 岳	刘怀平	王志强	刘善厚	石效吉
李跃宏	郑德田	李西键	王 平		

主 编：赵洪义

副 主 编：陈绍龙 仲伟兴

前 言

社会发展离不开水泥，而水泥消耗亦随人口及经济快速增长而急剧攀升。我国是世界水泥生产、消费大国，水泥产量占世界的五分之二。作为当代最主要建筑材料的水泥及其混凝土，已成为国民经济发展中被社会各界共同关注的焦点之一。为水泥工业节能高产和建筑工程优质、高效作贡献的各种外加剂，其研制生产及其应用技术，在 21 世纪产生了重大的飞跃。中国建材工业经济研究会水泥专业委员会，以该课题为切入点，积极参与国际交流，奋力与世界高峰论坛接轨，将行业领导、广大学者、专家的精辟见解、以及成熟的科技成果，汇编成《全国水泥及混凝土外加剂技术文集》，意在从一个侧面，为我国水泥工业和建筑工程的技术进步，贡献微薄之力。

20 世纪 80 年代中期，我国研制成功了三个系列十多种助磨剂，分别适用于不同品种的水泥研磨。在比表面积不变的情况下，磨机台时产量提高 10%~20%；矿化剂对熟料煅烧的产、质量提高；缓凝剂对水泥品质、性能的改善等等，已成为水泥生产中不可缺少的得力助手。随着建筑工程技术水平的提高，一般混凝土已不能满足不同施工技术条件的需要，人们已研究出能够改变混凝土各种性能的外加剂。如：配制优质高强度的混凝土、缩短施工工期加快建筑速度、满足特殊条件下的施工要求、实现混凝土水平和垂直方向的泵管输送、发展集中工业化大规模生产的商品混凝土等等；外加剂使混凝土的使用性能变得随心所欲，外加剂已成为除水泥、砂、石和水之外的第五种必不可少的组成材料。本书荟萃的水泥和混凝土外加剂专项研究成果及其技术经济意义、工厂与工地的实施经验写真，执行水泥新标准后水泥企业的生产技术实践，部分国家标准和行业标准选登等等，必将对我国水泥企业、水泥制品及建筑施工部门正确、规范地了解和使用外加剂，起到积极的促进作用。

本书适宜于水泥企业及建筑施工管理部门、生产技术部门及员工培训之用，也可供高等、中等院校材料专业、建筑工程专业作参考教材。由于经验不足、编者水平有限，书中难免存在沧海遗珠或不当之处，恳请广大读者、业内专家、学者和企业界朋友，提出宝贵意见和建议，赐教斧正。以便再版时，日臻完善（由于本书文稿完成时间不一，一些数据和水泥标号表示法，仍沿用过去的表示法，为尊重原稿，未作改动，请予谅解）。

在该书的编辑过程中，得到了中国水泥协会、中国建材报、中国建材工业出版社、国家建材行业生产力促进中心、南京工业大学、济南大学等单位专家的大力支持和帮助，山东宏艺科技有限公司承担该书书稿整理工作尽心尽力、成绩显著，在此一并表示感谢！同时也再一次地感谢为本书提供高质量科技论文的专家、学者和朋友们！您的佳作，必将成为“科技转化为生产力”的先锋，我们愿再一次地收集、整理、汇编成册，以飨读者。

编 者

2003 年 10 月 18 日

目 录

(排名不分先后)

水泥外加剂

应用新技术建设“环境材料型”水泥工业	陈全德 (1)
水泥工艺外加剂技术对我国水泥工业发展的重要作用	赵洪义等 (9)
水泥工艺外加剂技术及应用	赵洪义等 (13)
利用水泥工艺外加剂技术提高立窑水泥产、质量,降低水泥成本	赵洪义等 (19)
浅析助磨剂在水泥生产中的应用前景	顾惠元 赵慰慈 (25)
浅谈水泥生料添加剂	曾首山 (29)
添加晶种对水泥熟料显微结构的影响	嵇 琳等 (31)
掺复合矿化剂熟料的“高温”“低温”煅烧及其节能	王善拔 (36)
硫铁矿萤石矿化剂的研究和应用	龚关田 (40)
重晶石—萤石复合矿化剂技术的应用	郭俊才等 (45)
用铬渣作水泥矿化剂	欧阳峰等 (48)
用炼锑废渣作复合矿化剂低温煅烧水泥熟料的实践	龙德利 (51)
用锰矿渣试制硫铝酸盐快硬水泥	谢建国等 (55)
利用铅锌尾矿萤石复合矿化剂烧制硅酸盐水泥熟料的研究	陈政元 (61)
炼铅废渣作水泥助磨剂试产技术报告	裴满景等 (69)
水泥熟料矿化剂的环保问题	苏达根等 (73)
矿化剂对立窑熟料强度不良影响的探讨	方修珊 (75)
助磨剂在水泥粉磨中的作用及对产品性能的影响	郑少华等 (79)
高效复合水泥助磨剂研究	邵洪江等 (83)
高性能水泥助磨剂的研究	江朝华等 (88)
复合助磨剂试验研究	王玉平等 (94)
水泥熟料复合助磨剂的研究	许日昌等 (98)
复合助磨剂改善水泥性能的实验研究	蔡安生 (104)
用乙二醇作助磨剂在 625 [#] P·O 水泥粉磨中的运用探讨	刘定桂 (107)
助磨剂在矿渣微细粉制备中的应用与研究	马保国等 (111)
减水剂对水泥粉磨的助磨作用	郑少华等 (116)
高效减水剂对水泥熟料的助磨作用及与水泥熟料相容性问题的探讨	姚丕强 (118)
水泥与减水剂相容性的研究	丁 铸等 (123)
水泥助磨剂最佳添加比率确定	赵 凯等 (128)
高性能助磨剂在工业生产中的应用	陈华全 (133)

水泥助磨剂在我厂的应用	张吉平等 (136)
磷石膏作水泥缓凝剂对水泥性能的影响	薄 蕾 (139)
电解锰渣替代石膏作水泥调凝剂的试验	高松林等 (142)
浅谈用氟石膏作水泥缓凝剂的体会	何登双 (146)
用乳酸渣作水泥缓凝剂的试验研究	刘先桃等 (150)
硫渣作调凝剂的试验研究	曹铭勋等 (153)
水泥无碱速凝剂的研究	潘志华等 (156)
水泥速凝剂及其机理研究综述	丁庆军等 (160)
HY - I 型高效复合水泥添加剂在我公司的应用	苗秀珍等 (164)
复合外加剂对少熟料矿渣胶凝材料性能的影响	李东旭等 (166)
利用外加剂生产高掺量矿渣沸石复合水泥	芦令超等 (172)
一种水泥增强剂的试制	任素梅等 (177)
一种水泥添加剂的应用试验报告	陈文胜等 (183)
利用外加组分提高水泥强度	管宗甫等 (187)
硫酸铝渣对水泥物理性能的影响	边明祥等 (191)
利用添加剂技术生产特种水泥	闵祥芝等 (194)
混凝土外加剂	
国内混凝土技术的现状与发展	吴晓泉 (203)
混凝土化学外加剂的最新发展与动态	王栋民等 (208)
混凝土外加剂的技术经济意义及发展趋势	陈鑫基等 (212)
混凝土外加剂及其应用	赵洪义等 (222)
美国混凝土化学外加剂标准及应用现状	王 耶 (239)
对日本混凝土外加剂发展现状的思考	雷道斌 (242)
高性能混凝土外加剂主导官能团理论	蔡希高 (252)
论水泥与化学外加剂的相容性	王栋民等 (257)
混凝土外加剂与水泥适应性	杨 勇等 (265)
外加剂对混凝土早期水化温升影响	曹晨光等 (271)
外加剂对混凝土性能影响的研究	钱大行等 (275)
混凝土外加剂基准掺量的估算	孙南屏 (280)
聚合物基外加剂	王冬梅等译 (283)
国内减水剂新品种的研究与发展	熊大玉 (293)
21 世纪的高性能减水剂	李崇智等 (299)
各类减水剂性能和经济性评述	辛世海等 (304)
硫酸钠对萘系高效减水剂的分散性能影响的研究	宋仁义等 (310)
三聚氰胺系高效减水剂的合成工艺研究	李永德等 (314)
减水剂掺量与胶砂试体空隙率、强度的关系	王震昔等 (318)
掺粉煤灰和高效减水剂对水泥水化热的影响	杨华全等 (323)
水泥对高效减水剂适应性问题的分析及解决措施	刘子恒 (329)
减水剂、防水剂、膨胀剂在应用上的区别	周玉华 (333)

糖钙在混凝土中掺量的技术探讨	郑红高等 (336)
蜜胺树脂系混凝土高效泵送剂	葛兆明等 (339)
商品混凝土及泵送剂技术探讨	谢开嫣等 (344)
泵送剂与水泥适应性的研究	王 义等 (349)
混凝土减水剂和泵送剂临界掺量	李爱国等 (356)
三峡工程混凝土外加剂技术性能及应用	伏文勇等 (359)
关于混凝土防冻剂的作用机理	石海山等 (364)
外加剂防冻组分对混凝土质量的影响	冯 浩 (367)
几种有机外加剂对低温下水泥混凝土性能的影响	刘宗国等 (371)
新型低碱早强膨胀剂对混凝土性能的影响	马保国等 (376)
新型铝酸钙膨胀剂研制与性能研究	蒋正武等 (380)
AEA 在现浇混凝土楼面中的应用	陈 矿 (385)
道路混凝土复合外加剂及其作用机理研究	刘晓波等 (388)
新型防水堵漏剂和膨胀止水条在地下室防水工程中的应用	徐宏峰 (391)
混凝土及多功能高效防水剂的研究	凌世胜等 (394)
FS 混凝土防水剂在大体积混凝土中的应用	吴尤东等 (398)
脂肪酸类砂浆防水剂的开发及应用	姜 哲等 (401)
墙面勾缝剂的研制	倪群 (406)
引气剂在高性能混凝土中的作用	邬长森 (409)
Q-1 型混凝土砂浆引气剂研制和应用	岳海燕等 (413)
固体醇胺混凝土早强剂研制	王宗廷等 (416)
新型混凝土养护剂的研究与应用	徐汉丰等 (419)
低回弹喷射混凝土复合外加剂的研究与应用	唐 明等 (423)
混凝土外加剂在建筑砌块中的应用技术	蒋亚清 (428)
用于未硬化废弃混凝土循环利用的外加剂	王栋民等 (432)
高性能混凝土外加剂的选择原则	陈嫣兮等 (436)
“按性能设计”高性能混凝土要点	蒋亚清 (439)
水泥工业大量利用固体工业废渣的有效途径	郑德田等 (450)
附 录	
水泥粉磨用工艺外加剂 (JC/T 667—1997)	(454)
混凝土外加剂 (GB 8076—1997)	(458)
混凝土外加剂匀质性试验方法 (GB/T 8077—2000)	(474)
混凝土泵送剂 (JC 473—2001)	(491)
砂浆、混凝土防水剂 (JC 474—1999)	(497)
混凝土膨胀剂 (JC 476—2001)	(505)

应用新技术建设“环境材料型”水泥工业

国家建材局科教委，北京管庄 100024 陈全德

1 前言

世界水泥工业发展已有 176 年历史，其发展可分为索取型、粗放型、质量效益型、环境材料型等 4 个阶段。目前，发达国家已进入环境材料型发展阶段，并向纵深发展；我国则处于粗放型、质量效益型并存，同时向环境材料型过渡的阶段。

索取型是指为了获得有用的水泥产品，无节制地向大自然索取和废弃。这是水泥工业诞生初期，亦即 19 世纪中叶第一次技术革命前后的状况。

粗放型指水泥工业生产技术获得一定进展后，用改进提高后的初级技术生产产品，对环境污染采用被动的末端治理措施。这是 1887 年回转窑诞生后，亦即 19 世纪末第二次工业革命后的状况。

质量效益型始于 20 世纪中期，以原子能、电子计算机和空间技术的发展为标志的第三次工业革命以后，水泥工业也于 20 世纪 50 年代初期及 70 年代初期成功地开发了悬浮预热和预分解技术，随后广泛吸收当代科学技术及工业生产最新成果，应用于水泥生产全过程。

环境材料型是指在“质量效益型”生产不断发展的同时，注入了保护人类生存环境的新内容。这就要求“环境材料型”水泥工业不仅保证产品具有优越的性能；同时要尽最大可能降低自然资源、能源消耗；利用二次资源、能源和工业及生活垃圾甚至可燃性危险废弃物。新世纪中，努力把水泥工业建设成生态环境材料型产业，已成为国际水泥工业可持续发展的必由之路。

2 我国水泥工业“环境负荷”现状与分析

“环境材料”（Ecomaterials）是日本东京大学山本良一教授于 1990 年提出的材料学新概念。Ecomaterials 是由 Environmentally Conscious Materials（环境意识材料）或 Ecological Materials（生态原材料）缩写而成。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。要保证社会文明的可持续发展，必须重视“环境材料”的生产和使用。因此，科学工作者一方面必须积极开展环境材料科学的基础研究工作，不断研制开发“生态环境材料化”的新材料；另一方面必须在传统材料的生产和使用中更多地考虑到环境保护措施，努力减小材料的环境负荷，重视环境协调性，通过对传统工艺的技术改造，逐渐实现传统材料的“生态环境材料化”。

由于水泥主要成分是由硅酸盐矿物组成，具有同地球环境和大气圈亲和共融的属性，其本身是一种生态产品。但是，传统水泥工业由于工艺、设备、管理落后，对天然资源和能源

消耗量大,利用效率低,排放粉尘及有害气体污染环境。特别是我国水泥工业中立窑产品占78%左右,老式干湿法回转窑产品占13%左右,而代表当代先进工艺的新型干法窑产品仅占不足10%的情况下,必然同“环境材料”概念的要求相差甚远,亟待大力进行产业结构调整,采用当代高新技术改造和建设我国水泥工业。

国家统计局1999年8月出版了《'98中国环境统计》,对我国1997年全国能源生产、消费及“三废”排放治理状况进行了统计、分析。国家建材局1999年12月颁发了1998年中国建材工业统计资料,根据有关数据,对影响水泥工业“环境负荷值”的有关因素分析如下:

(1) 1997年全国水泥工业燃料(标准煤)消耗量为5940万t,占全国能源生产总量131989万t标准煤的4.50%;占全国标准煤生产总量98068万t(131989×0.743)的6.05%。而全国大中型水泥企业熟料的标准煤耗161.32kg/t(4720kJ/kg),比国外平均先进水平114.28kg/t(3344kJ/kg)约高41%。由此可见,降低燃料消耗(或称降低水泥工业燃料负荷)潜力巨大。

(2) 1997年全国水泥工业电力消耗量为550亿kWh,占全国工业用电量8402亿kWh的6.54%。而大中型水泥企业水泥综合电耗为107.14kWh/t,同国外先进水平(使用五级预分解窑、生料立磨、水泥辊压机半终粉磨)90kWh/t~95kWh/t相比约高13%~19%。同时,水泥综合电耗107.14kWh/t虽较1995年114kWh/t有较大降低,但统计中包括了一部分立窑企业(立窑企业由于机械化、自动化水平低,故电耗较低)。如果按700t/d~4000t/d以上级新型干法企业对比,其水泥综合电耗一般在115kWh/t~120kWh/t之间,比国际先进水平约高20%~30%。由此可见,水泥工业节电潜力亦大。

(3) 1997年全国水泥工业石灰石耗用量为4.8亿t。每t熟料耗用1.3t石灰石;在我国目前水泥平均熟料消耗量1997年为71.8%,1998年为74%情况下,吨水泥耗用石灰石0.95t~0.98t。石灰石是水泥工业的重要资源,至1996年底,全国已发现石灰岩矿点7000~8000处,其中已探明储量的矿点1233处,B+C+D级储量543.5亿t;可利用矿点604处,保有水泥石灰岩储量286亿t。我国石灰岩产量仅次于美国,1996年产量21.08亿t,其中水泥石灰岩6.5亿。由上可见,我国石灰岩储量丰富。但是,我国石灰岩资源分布也存在不平衡问题,渤海湾、江苏沿海、浙闽粤琼东南、内蒙中部、吉林东部、赣西、陕北等地资源短缺,况且石灰岩又属不可再生资源,因此亦应珍惜和综合利用。

(4) 1997年全国水泥工业CO₂排放量为3.6亿t,1998年为3.9亿t。水泥工业CO₂的产生,主要由水泥熟料烧成过程中燃料燃烧及碳酸盐分解所致。由于C₃S是决定熟料品质的主要矿物,因此采用减少熟料中C₃S措施以减少石灰石用量及CO₂生成量甚不可取,采用高效除尘装备减少生料消耗量以及采用高新技术降低熟料耗热量才是正确途径,一般而言,水泥生料CO₂生成量约为0.346kg/kg;煤粉燃烧CO₂生成量约为2.42kg/kg。由此可见,降低熟料烧成煤耗是减少水泥工业CO₂生成量及排放量的关键。同时,提高熟料质量以便增加水泥或混凝土中工业废渣的掺入量,减少熟料或水泥用量,亦是减少水泥工业CO₂排放量的重要措施。

(5) 1997年全国水泥工业SO₂排放量为86万t,占全国工业SO₂排放量1772万t的4.85%。水泥工业废气中SO₂的生成来源于原、燃料中所含硫化物的化合物组分。水泥熟料煅烧过程中,虽有一部分硫被吸收进入熟料,但仍有一部分进入废气中排出。如选用低硫燃料或废气排出前采取脱硫措施,可以降低SO₂排放量。

(6) 1997 年全国水泥工业 NO_x 排放量约 44 万 t~62 万 t。在水泥工业熟料燃烧过程中, NO_x 的形成分“高温 NO_x ”及“燃料 NO_x ”两部分。前者是空气中的 N_2 在高温状态下与 O_2 化合形成, 因此, 同温度高低密切相关; 后者是燃料中 N_2 与空气中的 O_2 在挥发分燃烧的低温状态下化合形成, 因此同燃料发火喷射流中 O_2 的浓度关联。新型干法水泥生产由于大部分燃料从分解炉加入, 低温燃烧, 同时有的窑型(如: PR-LOW 型、DD 型窑等)在分解炉下部设置 LOW 喷嘴使部分燃烧在还原气氛中燃烧, 有利于还原窑内废气中的 NO_x ; 同时, 新型多通道燃烧器(如: Pyro-Jet 燃烧器等)的应用, 亦有利于降低 NO_x 的生成量。

(7) 1997 年全国水泥工业烟尘加粉尘总排放量约 690 万 t~750 万 t, 占全国工业烟尘加粉尘总排放量 2 770 万 t 的 24.9%~27.1%; 如按县以上工业企业统计, 水泥工业为 627 万 t, 占全国县以上工业企业总排尘量 1 233 万 t 的 50.85%。再按县以上企业烟尘总工艺粉尘排放量分别分析, 水泥工业烟尘排放量 42 万 t, 占全国县以上企业烟尘排放量 685 万 t 的 6.1%, 而粉尘排放量水泥工业为 585 万 t, 全国县以上工业企业为 548 万 t (均摘自'98 中国环境分析, 资料显然有误, 可能水泥工业县以上企业中, 含有部分乡镇水泥企业)。由此可见, 水泥工业企业燃料产生的烟尘排放量较少; 而由于除尘装备不够完善, 特别是乡镇小型立窑企业除尘装备更差, 有的甚至没有除尘装备, 所以工艺粉尘排放量大。这从全国工业企业粉尘排放总量 1 505 万 t 中, 县以上企业 548 万 t 占 36.4%, 乡镇企业 957 万 t 占 63.6% 的数据中, 亦清晰可见。

(8) 1997 年全国县以上工业企业固体废物产生量及排放量分别为 65 749 万 t 及 1 549 万 t; 县以上水泥工业企业分别为 491 万 t 及 20 万 t, 分别占县以上工业的 0.75% 及 1.29%。由此可见, 水泥工业固体废物产生量及排放量是较小的。此外, 从工业固体废物累计储存量来看, 全国工业固体废物累计储存量已高达 65.83 亿 t, 而水泥工业仅 126 万 t, 占总储存量 0.019%。而从行业分析, 产生固体废弃物最多的是采掘、黑色冶金、化学工业、有色金属冶炼及电力等行业。水泥工业不但产生和排放固体废物量少, 同时还有条件利用煤炭、冶金、电力等行业的矸石、矿渣、粉煤灰等废渣、废料作为功能性调节材料, 缓解这些行业对环境的污染。

(9) 1997 年全国县以上工业企业危险废物产生量及排放量分别为 1 010 万 t 及 46 万 t。危险废物产生量最多的为化工、采掘、冶炼、石油等行业; 排放量最多的是采掘、化工、有色金属冶炼等行业。水泥工业不但行业本身不会产生和排放危险废物, 还有可能将一些可燃性危险废物作为可燃物在水泥回转窑内加以降解。

(10) 1997 年全国工业废水排放量 227 亿 t, 其中: 县以上工业 188 亿 t。县以上水泥工业 3 亿 t, 占全国工业及县以上工业的 1.32% 及 1.6%。由此可见, 水泥工业废水排放量较少。同时, 工业废水中污染物主要是硫化物、氰化物、铝、砷、汞、镉、石油类等。这些污染物在水泥工业废水中含量极少, 而在化工、石油、造纸等行业较多。

从以上十个方面可见, 影响水泥工业“环境负荷值”最大的因素首先是燃料、电力、石灰石等资源、能源负荷; 其次是 CO_2 、粉尘、 SO_2 、 NO_x 排放等污染源负荷; 至于工业固体废物、危险废物及废水排放负荷, 其比重则是很小的。同时, 水泥工业还有充分利用工业废渣、废料作为功能调节材料, 以及降解工业、生活垃圾及可燃性危险废物的有利条件。新世纪中, 水泥工业有可能利用当代高新技术, 建设成为“环境材料型”产业。

3 水泥材料的环境协调性评价方法研究

3.1 环境材料的特性

环境材料的优越性能主要表现在使用性能与环境协调性能两个方面。由于这两种性能随着科学技术的进步而发生变化,因此其评判指标是动态的。环境材料也不仅指那些高新技术材料,由于许多传统材料本身就具有环境材料特征,可以赋予其高新技术内涵,使之发展成为环境材料。

判断某种材料是否属于环境材料的范畴,一般有5个判据:即质量判据、经济判据、资料判据、能源判据和环境判据。其中,前两者为一般材料均要求的共同判据;后三者则属环境材料特别强调的判据,亦可通称为环境判据。传统材料科学与工程主要研究材料成分、结构、工艺和性能四大要素;而环境材料科学与工程研究内容除上面四大要素外,特别增加了环境要素。其目的在于探寻在加工、制造、使用和废弃再生过程中,具有较低环境负荷的新工艺、新材料。这样,一方面可以有效地改造落后的传统生产工艺,使之“环境材料化”;另一方面,可以在新材料、新工艺研制开发过程中,科学地预测其可能对环境产生的影响,力求同环境协调。

3.2 环境材料协调性评价方法——LCA 法

目前,国际上比较广泛应用的环境协调性评价方法是生命周期评价法(Life Cycle Assessments简称LCA)。它起始于20世纪60年代末期的能源危机时期。美国中西(Midwest)研究所于1969年用LCA思想对饮料容器的能耗进行评价;1990年国际环境毒理学和化学学会(Society of Environmental Toxicology and Chemistry简称SETAC)正式提出了“生命周期评价”(LCA)术语,并将对产品或材料全过程的评估能耗思路推广到对其全过程能耗、资源消耗、废弃物排放等各个方面,即可对它们进行单项因素评估又可进行综合评价。1993年6月成立的国际标准化组织环境管理标准化委员会(ISO/TC207)由六个分委会组成,其中:SC5为“生命周期评定”分委员会,它的任务就是研究产品的整个生命周期,即从开发、设计、制造、流通、报废到再利用的全过程中对环境的影响进行评价。

LCA方法包含目标和范围确定、编目分析、影响解析、综合评估等四个方面内容,分述如下。

(1) 目标和范围确定:是指评价的产品(或材料)目标的确定;评价目标范围及其系统边界的确定。对水泥工业来讲,由于生产方式差异较大,为了具有可比性,评价目标可确定为熟料或分品种的水泥成品;起始边界可从原料矿山或原料入厂开始;终了边界可定为熟料入库或分品种水泥入库或出厂为止。由于水泥成品对建筑业或混凝土及其制品工业来讲仅系原料或半成品,因此建筑物或构筑物的寿命,难于包括在水泥工业LCA研究范围之内。

(2) 编目分析:关键在于数据的收集与计算。例如资源、能源、大气影响、水质影响、固体废弃物等都要在原料获取、加工,半成品与成品制备、运输、消费、回收再生、处理处置等子过程中分别采集、计算,然后再汇总综合处理。因此对各个子过程的数据都要详细研究,且需非常仔细、认真工作方可保证LCA全过程的准确完善。对水泥工业来讲,编目分析中的子过程有:矿山开采、运输、破碎;原、燃料运输、破碎、堆存或预均化;生料制备、输送、气力均化;煤粉制备、输送;熟料煅烧全过程直至入库;水泥粉磨及输送入库;水泥储存、输送及袋装或散装出厂等。编目分析收取数据要包括:各项原料、半成品及产品

产值；资源消耗量；能源消耗量；各种废气、废水、废物排放量；“三废”中有害物排出量（如：烟尘、粉尘、CO₂、SO₂、NO_x及其他重要污染物等）。以上数据，需包含日、月、年总量、单位产品或单位废气、废水、粉尘或固体废弃物有害成分含量，以及处理和再利用状况等。同时，包括年、月、日平均值和最高、最低值等。

(3) 影响解析：在编目分析中已取得大量数据，用这些数据在同行业或本企业历史数据中，进行单项环境负荷分析评价是可行的。它可以检验本企业在同行业中某单项环境负荷（如：能源、资源消耗或“三废”排放的环境负荷等）地位或采用某些技术或管理改进后的效果等。但是，这些单项“环境负荷”如做到“指标归一化”，采用某一数学模型进行叠加以获得一个综合环境负荷指标，在不同行业之间对比，或研究它对全球或某地区环境影响则是十分困难的。同时“三废”排出对环境的影响如：温室效应、酸沉降、生态破坏尚无统一评判标准。因此，我国“863”计划所列的由北京工业大学等单位承担的《材料的环境协调性评价研究》(MLCA)项目，建立了材料生产、设计“双指标评价体系”，并建议采用“标准流程对照法”对LCA结果进行对比和检验。由于该方法是将有关实际生产线的各种环境负荷值与“标准流程”的相关数值进行比较，避开了“环境负荷绝对值”难以确定的难题，又可正确反映LCA研究对象与标准流程相比所具有的水平及存在的问题，有利于采用高新技术进行技术改造，赶超先进水平。对水泥工业来讲“标准流程”可选取国际新型干法生产线实线生产中各项环境负荷分项及综合指标已具有当代国际先进水平的流程，以便接受评估单位以此作为目标加以追赶（LCA具体计算将另文专述）。

(4) 综合评估：综合评估是根据被评估生产工艺线各项环境负荷测定和计算结果，进行分项和综合评估。与标准工艺线或同类工艺线、同类产品进行对比，以研究本工艺线或产品环境负荷达到的水平，寻求改进提高的途径。对本工艺线或本产品采取某种技术、管理改进措施前后，环境负荷值变化状况进行对比分析，对研究技术或管理改进措施的效果。为达到某种标准或目标值进行的工艺技术、管理或产品检查。为达到某种目标而对现有工艺或产品进行检查，对工艺及产品现状进行环境协调性分析。作为综合利用各种废弃物（如：废渣、废料、工业及生活垃圾、再生能源及危险废弃物等）的指南。

美国在20世纪80年代曾对使用一次性婴儿尿布问题进行辩论，以后通过LCA研究，决定在一个最干旱的州（水源紧张、人口稀少、荒地辽阔）推广使用一次性尿布（用后填埋）；1994年美国伊利诺州还对回收碎玻璃瓶熔化和使用石英原料生产玻璃问题进行LCA研究，其结论是：当使用碎玻璃瓶作为再生原料，节能可达13%左右，但当玻璃瓶回收点与熔化厂的距离超过100英里时，由于运输能耗的增加，则无节约能源可能。此外，1995年德国还就多次重复利用的牛奶玻璃瓶包装及一次性无菌纸盒包装问题进行LCA研究等等。因此，LCA研究还需结合各国、各地区的具体环境状况与法律、标准等规定进行，以便对方案选择和改进的必要性、可能性以及可行性进行综合评估，以取得最佳效果及效益。

如上所述，水泥产品同许多低值易耗产品的生命周期是有很大不同的，同时水泥对建筑工业或混凝土工业来讲只是原料或半成品，因此在LCA研究中的目标及范围（系统边界）划分亦需根据水泥工业具体情况确定。同时，水泥工业进行LCA研究并不可能摒弃原来传统的“技术测定”或“热工标定”以及“热工系统工程研究”等内容，而是要与它们更好的结合，以它们为基础才能更好地进行LCA研究。

4 应用高新技术、加强科学管理，建设“环境材料型”水泥工业

建设我国“环境材料型”水泥产业，必须做到加强科学管理与采用高新技术相结合。一方面，加速产业结构调整，大力发展新型干法水泥生产，改变技术、产品结构落后状况；另一方面，建立现代企业制度，加强现代化科学管理，提高全员素质水平。当前，经济全球化趋势给各国经济发展带来深刻影响，人口膨胀、资源短缺、环境恶化已成为当代可持续发展面临的三大问题。因此，1992年联合国在巴西召开了“环境与发展大会”，发表了《关于环境与发展宣言》，国际标准化组织（ISO）也于1993年6月成立了“环境管理标准化委员会”ISO/TC207，正式开展了全球环境管理领域的标准化工作，预计将要颁布100多个标准，代号为ISO14000系列。第一批有关环境管理标准中最基础、最重要的五个标准（ISO14001、ISO14004、ISO14010、ISO14011、ISO14012）已于1996年颁布。我国也于1995年10月成立了与ISO/TC207相对应的“全国环境管理标准化委员会（CSBTS/TC207）”，并于1996年12月正式颁布了等同于ISO14001等的五个国家标准（即GB/T24001、GB/T24004、GB/T24010、GB/T24011、GB/T24012），以推动我国环境标准化管理工作。ISO14001（或GB/T24001）等五个标准的内容是：环境管理体系——规范及使用指南；环境管理体系——原则、体系和支持技术通用指南；环境审核指南——通用原则；环境审核指南——审核程序——环境管理体系审核；环境审核指南——环境审核员资格要求。同时，在ISO14000标准系列中还对“生命周期评估”（LCA）预留了ISO14040~14049十个标准号，其中：ISO14040（原则和框架）已于1997年6月颁布，ISO14041（存量分析），ISO14042（影响评估），ISO14043（评价和改进）已起草，不久即可颁布。

环境管理认证标准ISO14001是关于企业环境影响的管理的，它要求认证单位建立环境管理体系，制定环境方针和目标，对环境进行承诺、控制和持续改进等。而ISO14040等LCA标准，则是对环境改进的一种技术支撑，其本身并不能改善环境，它必须通过一种机制（如技术、管理、操作等改进）方可达到改善环境的目的。因此，在工业企业实际生产活动中，第一，必须贯彻ISO14001等五个标准，并进行认证；第二，要通过贯彻ISO14040等标准，进行LCA研究；第三，则需在LCA基础上，采用当代高新技术，加强科学管理等手段进行工艺改进，达到降低环境负荷、保护环境的目的。

对我国水泥工业来讲，淘汰落后生产工艺，发展具有当代技术水平的新型干法生产工艺，是降低环境负荷，建设“环境材料型”产业的必由之路。同时，发展新型干法水泥生产中，必须重视采用高新技术和不断进行技术创新，决不能“因陋就简”，认为只要加“窑尾一把火”，就是新型干法工艺了，这样只能事与愿违，得不偿失。

20世纪80年代以来，国际水泥工业在新型干法水泥生产全过程，不断吸取现代科学最新理论及高新技术成果，在降低环境负荷、保护环境方面取得了丰硕成果，使水泥工业迅速向“环境材料型”产业转变，不但得到了持续发展，并且增强了国际市场竞争能力。在我国加入“WTO”后的今天，其经验十分值得吸取。这些理论与成果是：

（1）采用现代计算机产品，地质学、矿物学理论与技术，在探明原料矿山地质构成及矿物成分之后，编制矿体三维模型软件，指导矿石搭配开采，矿山开采、运输过程中预先均化，既保持入厂矿石成分尽可能的均匀，又可以有效地利用在传统开采方式下必须丢弃的废石，有效地利用资源。

(2) 采用自控及机电一体化堆、取料技术，在原、燃料进厂后进一步均化，彻底改变了传统工艺中原、燃料储库仅可用于储存物料的原始功能。使原、燃料预均化堆场具有预均化及储存物料的双重功能，不仅可以减少物料储期，更重要是为原料配料、生料制备和熟料煅烧创造了均衡稳定的生产条件。

(3) 采用现代数学最优化理论成果以及 X 荧光分析仪和物料成分连续测试、计量仪表、仪器系统，并同计算机联网，编制原料配料软件程序，实现生料自动配料，解决熟料成分均匀稳定“均化链”中长期难以解决的课题。

(4) 采用粉体工程学理论成果，将传统工艺中的生料储存库，优化为具有生料粉连续式气力均化装置，保证生料入窑煅烧前得到了充分均化。

(5) 利用现代流体力学，燃烧动力学，气固两相流稀相输送、热量—质量—动量传递机理，硅酸盐物理化学，胶体化学等化学工程以及热工学、热力学等现代科学理论，指导新型悬浮预热、分解炉系统的研制开发和优化工程，目前已开发出许多不同形式的高效低压损预热器和新型分解炉，以满足不同原、燃料特性和工艺特殊要求。不仅有利于提高燃料燃烧效率和燃尽率，并保证物料在其中充分分散、均匀分布，从而提高了气固换热效率，入窑物料分解率以及全窑系统的热效率，为回转窑优质、高效、低耗提供了充分的保证条件。同时，亦可降低系统废气排放量、温度和还原窑气中产生的 NO_x 含量，减少了对环境的污染。

(6) 根据矿物晶体化学、硅酸盐物理化学固相反应机理及相图，进一步缩短回转窑长度，研制“两支点超短窑”，以便在预热分解系统中使耗热量最大的生料碳酸盐分解过程基本完成，而由于充分分散未能实现固相反应的新生态 CaO 、 SiO_2 等微晶矿物成分，在入窑紧密接触后，快速进行固相反应，使固相反应的放热过程直接用于物料升温，实现“快速烧成”，促使熟料矿物结构微晶化，提高熟料品质。同时亦可减少窑体过大造成的胴体散热损失。

(7) 同样根据上述流体力学、结晶化学及自控技术研究成功第三代带有“空气梁”、“控制流篦板”的篦式冷却机，既可保证出窑高温熟料骤冷，以防熟料中 C_3S 晶体长大、 C_2S 晶体变型，又可使铝酸盐 (C_3A 等)、铁铝酸盐 (C_4AF 等) 固溶体等熔媒矿物形成玻璃体，提高熟料活性。同时，也优化了熟料冷却机作为热回收装备的功能。使炽热熟料进入篦冷机后实现急冷的同时又提高了热回收速率，从而可将入窑二次风温由原来 $850^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ 提高到 1100°C 以上，入炉三次风温由原来 $600^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ 提高到 $850^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ 。这对入窑及入炉燃料燃烧，优化全窑系统热工制度，降低热耗亦起到巨大作用。

(8) 研制开发新型多通道燃料燃烧器，进一步减少低温一次风量，更便于窑内火焰及温度的合理控制，有利于低质燃料及二次燃料利用，亦可减少 NO_x 生成量。

(9) 研制开发成功“中、低温余热发电”系统，以充分利用预热器、篦冷机排出的温度在 $250^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$ 废气中的热焓，实现能源充分回收，提高了系统效率。

(10) 根据硅酸盐化学原理及现代化水泥工业采用的具有高科技特征的新型干法水泥生产技术，国际水泥工业在硅酸盐水泥熟料设计上，普遍采用了“高硅酸盐矿物 ($\text{C}_3\text{S} + \text{C}_2\text{S}$ 总量达 78% 以上) 及高 C_2S (达 65% 以上) 及根据需要选择适宜的 C_3S 的矿物含量优化设计方案，以便尽可能地生产出优质熟料，为生产各种不同需要的优质水泥打下基础。这样，不仅可以在混凝土工程中节约水泥用量，延长使用寿命，亦可满足日益发展的高性能混凝土 (HPC) 需求。

(11) 根据系统工程学原理, 将预分解窑系统中的旋风筒、换热管道、分解炉、回转窑、冷却机(简称: 筒—管—炉—窑—机)五位一体全面优化, 并且力求采用高级合金材料, 耐热、耐磨、耐火、隔热、保温材料, 电子计算自控信息系统, 高效除尘装备及精密的装备制造技术, 将全窑系统优化成为一个完整的热工系统工程体系。再辅以现代化管理, 确保水泥生产中最重要熟料煅烧热工过程实现优质、高效、节能、环保和均衡稳定生产。

(12) 根据破碎力学、三大粉碎原理及物料层间挤压粉碎学说, 研制开发了新型辊式磨及辊压机终粉磨制备生料, 采用辊压机—钢球磨或辊式磨—钢球磨等半终粉磨系统制备水泥; 辊筒磨系统也正在优化攻关。这样, 不仅改变了效率低下的管式钢球磨机在水泥工业中长期一统天下的局面, 实现高效节能化生产, 亦可保留钢球磨机对粉状物料所具有的球形化及颗粒级配合理化的功能, 提高产品质量。

(13) 进一步优化水泥生产过程及管理计算机控制系统。目前分散控制、集中管理系统成为主流。同时, 对工况十分复杂的预分解窑系统在原有表格控制、模糊逻辑控制程序基础上, 开发出专家系统软件, 更有利于水泥生产过程的稳定生产和节能降耗。

(14) 采用“超细粉磨”技术与装备, 将同硅酸盐水泥成分近似的高炉矿渣、电厂粉煤灰、煤矸石等激活改性成为“功能调节型材料”。这样, 不仅彻底改变了原来仅将这些废渣、废料作为代替和减少熟料用量的单纯混合材性质, 亦可进一步增加废渣用量。20 世纪 80 年代出现的 DSP (Densified with Small Particles) 材料所含有的超细颗粒的微密体系, 一般使用硅灰, 成本过高, 目前已可以被以上废渣所替代。

(15) 利用回转窑具有温度高(火焰与物料温度可分别达 1 850℃及 1 450℃以上), 热量大, 工况稳定, 气、料流在窑内滞留时间长(气体在 1 100℃以上高温区达 4s 以上, 物料达 30min 左右), 以及窑内高温气体湍流强烈, 碱性气氛等优点, 可消解可燃性废料及化工、医药行业排出的危险性废弃物。同时, 可将废料、废渣、危险废弃物中的绝大部分重金属元素固定在熟料中, 生成稳定的盐类矿物, 由于没有二次废渣排出, 避免了再次对环境的污染。传统上, 即使发达国家对危险废弃物的处理也仅有填埋及建设废料焚烧炉两种方法, 不仅容易造成二次污染, 投资亦相当可观。目前, 美、英、法、德、加等国家已转向采用水泥回转窑处理法。利用二次燃料及危险废弃物, 连同水泥工业对废渣、废料以及其他工业及生活垃圾的应用, 已赋予现代化水泥工业新内涵, 正逐渐改变其在一些发达国家的“夕阳工业”地位。

20 世纪 80 年代以来, 我国水泥工业在发展新型干法水泥生产, 推动科技进步等各个方面已取得显著成效。新世纪中, 我们要进一步总结吸取国内外已有的经验和成果, 大力开展科技创新, 建立具有我国自主知识产权高新技术和装备体系, 尽快地把我国水泥工业建设成“环境材料型”产业。

水泥工艺外加剂技术对我国水泥工业发展的重要作用

山东宏艺科技有限公司 赵洪义
南京工业大学 严 生
长春理工大学 李 岳

2003年1月号《中国水泥》发表了中国水泥协会会长雷前治同志《在国家经贸委（水泥工业整顿与发展规划）讨论会上的发言（摘要）》，《发言》指出：中国水泥工业要“走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥”的“新型工业化之路”。《发言》将德国柏林水泥厂等世界最先进的水泥企业与我国水泥企业进行比较，找出了三个特点：“一是向生产的原料延伸，提倡最大限度利用低品位的矿产资源、燃料和工业废弃的可燃物；二是大力推进新型干法窑的技术进步，研究和开发大型化设备和能消纳人类生活垃圾和工业废弃物的技术和装备；三是向应用领域延伸，把分别粉磨、超细粉、外加剂，混合装置等最先进的技术运用到水泥生产和深加工领域来，提高建筑物的耐久性、推广散装水泥和商品混凝土。”并指出2020年战略目标要涵盖“产量和质量、降低二氧化碳和粉尘的排放、加强土地、文物和生物多样性的保护、提高资源利用效率”等方面。

笔者认为，水泥工业实现“新型工业化”战略目标，离不开工艺外加剂技术的迅猛发展和广泛应用。

根据我们的长期研究，水泥工艺外加剂技术对我国水泥工业的发展有如下重要作用：

一、提升水泥工业技术水平

1 应用水泥工艺外加剂可以在不增加固定资产投资，不改变生产工艺的情况下提高水泥产量、提高水泥质量、降低生产成本，提高产品档次

以山东宏艺科技有限公司承担国家科技创新基金项目研制成功并被中国水泥协会立窑水泥研究会列为20项重点推广新技术之一的HY族高效复合水泥助磨剂为例，应用该外加剂技术，水泥企业可以在不增加任何固定资产投资，不改变任何生产工艺的基础上，（1）生产出比熟料强度更高的水泥，其方法是熟料加30%~50%混合材，加入高效复合水泥助磨剂，加适量石膏，经高细粉磨使比表面积达到 $380\text{m}^2/\text{kg}$ ，生产水泥28d强度可超过其熟料强度；（2）可以提高一个标号生产水泥，其方法是保持水泥混合材掺加量不变，加入高效复合水泥助磨剂，生产水泥28强度可提高一个强度等级；（3）可以生产低碱水泥，其方法是在熟料碱含量一定时，应用高效复合水泥助磨剂技术，提高低碱矿渣和低碱粉煤灰掺加量，控制最终水泥含碱量，可以生产低碱矿渣水泥、低碱粉煤灰水泥和低碱复合水泥；同样可生产低热系列水泥；（4）可以大量利用工业废渣，其方法是在保持水泥强度不变的情况下，应用高效

复合水泥助磨剂技术（加入 0.8s%），可使水泥配比中熟料减少 15% 以上，混合材掺加量增加 15% 以上，节约资源，减少污染，生产绿色环保型水泥；（5）可以改善水泥性能，方法是应用高效复合水泥助磨剂技术，使水泥产品凝结水化能力以及抗侵蚀能力显著改善，并可调节水泥颜色。

另据我国著名混凝土科学家、清华大学土木工程系冯乃谦教授的研究资料，（1）把有机肥外加剂与天然矿石及矿渣同时粉磨，使外加剂吸附于磨细矿物颗粒的表面，得到活化填料。当水泥混凝土中，以这种活化填料取代一部分水泥时，可以降低减水剂的用量并能提高水泥混凝土的强度。（2）将粉状超塑化剂与熟料混磨即能制得的活化水泥（FFC - 100）。或者把粉状超塑化剂与矿物质材料混磨制成活化填料，取代部分水泥，可以制得需水量低的胶结材料。（3）在熟料烧成过程中掺入的复合矿化剂、生料催化剂等，对提高熟料产、质量、降低煤耗实践证明具有重要作用。

2 应用水泥工艺外加剂是水泥工业可持续发展的必由之路

2000 年 Lafarge 等十大跨国水泥集团公司委托美国 Battelle 研究院就全球水泥可持续发展课题开展研究。该研究报告认为，水泥是全球基本建设使用最普遍和关键的材料，直至今今天或今后很长一段时间都难有新的凝胶材料可以替代。

可以说，水泥工业可持续发展的瓶颈不在市场方面，而在原材料方面。

依据目前的技术经济条件测算，生产 1t 水泥熟料，需要消耗 0.15t 标准煤、1.13t 石灰石、0.18t 黏土。2002 年我国水泥产量达到 7 亿 t，熟料产量约 5 亿 t；预计 2010 年我国水泥产量将达到 10 亿 t，熟料产量约 7 亿 t，需要消耗标准煤 1.05 亿 t、石灰石 7.9 亿 t、黏土 1.26 亿 t。而我国石灰石矿物储量现有约 450 亿 t，可开采利用的约 250 亿 t，依据目前的情况，每年生产水泥就要消耗大约 7 亿 t 石灰石，假定石灰石只用于生产水泥，35 年之后中国水泥生产也将难以为继。这还是依据全国总的储采比来计算的，如果考虑地区间储采比的不平衡性，许多地区在不远的将来，就会面临石灰石资源枯竭的危机。2000 年水泥工业煤炭消耗量为 9 360 万 t，占全年原煤生产总量的 8.5%，而我国煤炭储采比已经不足百年。

根据应用 HY 族高效复合水泥助磨剂技术指标推算，每生产 1t 水泥平均减少熟料用量 150kg，按全国水泥年产 7 亿 t 计，全面应用该技术每年可节约熟料 1.05 亿 t。相当于节约石灰石 1.19 亿 t/年；可使我国石灰石资源使用时间延长 6 年；每年减少标准煤用量 1 575 万 t。随着水泥工艺外加剂技术的不断进步，最终实现把水泥熟料作“外加剂”的理想，水泥工业可持续发展才真正有希望。

二、促进水泥工业“绿化”进程

水泥工业企业是造成温室效应的 CO₂ 和形成酸雨的 SO₂ 的排放大户。依据目前的技术经济条件，生产 1t 水泥熟料，要排放粉尘 20kg，排放二氧化碳 1 000kg，排放二氧化硫 0.74kg，排放氮氧化合物 1.15kg。每年水泥熟料生产污染物排放情况见表 1。

表 1 我国水泥熟料生产污染物排放情况表（单位：万 t）

排放物	1 995	1 997	2 010	氮氧化合物	92	100	160
粉 尘	1 050	1 150	2 010	三氧化硫	45	49	78.4
二氧化碳	36 000	39 000	61 000				

从表中可以看出，在很大程度上，目前我国水泥工业的发展是以环境污染为代价实现的。