

◆ 肖忠明 王 昕 主编

工业废渣在水泥

Gongye Feizha Zai
Shuini Shengchan Zhong De Yingyong

生产中的应用

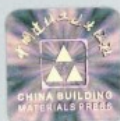
中国建材工业出版社

责任编辑 马学春 王文欣

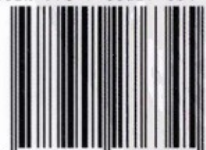
封面设计  祝扬图书
QQ407814337

工业废渣在 **水泥** Gongye Feizha Zai Shuini Shengchan Zhong De Yingyong 生产中的应用

上架建议：建筑材料/水泥



ISBN 978-7-80227-634-5



9 787802 276345 >

本社网址: www.jccbs.com.cn

定价: 35.00元

工业废渣 在水泥生产中的应用

肖忠明 王 昕 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工业废渣在水泥生产中的应用/肖忠明, 王昕主编.

北京: 中国建材工业出版社, 2009. 11

ISBN 978-7-80227-634-5

I. 工… II. ①肖…②王… III. 工业废物: 废渣—应用—
水泥—生产工艺 IV. TQ172. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 195196 号

内 容 简 介

本书综合文献资料和试验研究结果, 对我国工业废渣资源情况、水泥行业利用工业废渣概况、混合材料的分类、混合材料对水泥性能作用机理进行了综述; 就已在水泥行业利用和可能在水泥行业利用的工业废渣的概况以及这些废渣对水泥性能的影响规律进行了分别介绍; 综述了建材行业利用工业废渣的技术状况和途径; 同时以附录的形式介绍了我国工业废渣综合利用目录、资源综合利用企业所得税优惠目录、部分工业废渣利用技术专利以及水泥混合材料测定的相关问题及检测方法。

本书可供从事水泥、混凝土生产、研究的工程技术人员参考。

工业废渣在水泥生产中的应用

肖忠明 王 昕 主编

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: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 13. 25

字 数: 324 千字

版 次: 2009 年 11 月第 1 版

印 次: 2009 年 11 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-634-5

定 价: 35. 00 元

本社网址: www.jcbs.com.cn

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

编委会名单

主 编：肖忠明 王 昕

参编人员：霍春明 宋立春 席劲松 郭俊萍

顾 问：王文义 颜碧兰

审 校：王文义

序

随着现代科学技术的发展和人们物质文化水平的提高，自然资源已经远远不能满足需要。同时，人类的生活环境面临巨大的挑战：温室气体的大量排放和臭氧层的损坏引起的气候异常变化；天然资源的大量开采造成环境破坏和资源短缺；工业废弃物的大量排放造成大气、河流和陆地的污染，这一系列的问题已经威胁到人类文明生活的可持续发展。

节能减排，发展循环经济，也是我国国民经济发展的基本指导方针。各工业部门都应遵循这个方针，解决可持续发展的问题。水泥和混凝土是各种建筑物的基本材料，是国家建设美好家园不可缺少的材料之一。水泥工业的可持续发展也必须符合节能减排的基本方针。

水泥是由熟料、混合材料和少量石膏组成的。生产 1t 熟料需要开采约 1t 石灰石资源，消耗煤炭约 0.14t，向大气排出 CO_2 约 1t。混合材料主要使用的是各种工业废渣，如矿渣、磷渣、钢渣、粉煤灰、炉渣等。2008 年我国水泥产量达 13.5 亿吨以上，熟料用量约为 8.9 亿吨，混合材料用量约 4 亿吨。依此我们可以大体上算出，2008 年水泥生产消耗了石灰石 8.9 亿吨，消耗了煤炭 1.25 亿吨，向天空排出了 CO_2 8.9 亿吨，给环境造成了巨大的负担。但同时，水泥生产消纳了 4 亿吨工业废渣，给环境又减轻了巨大压力。由此可以表明，水泥工业可持续发展战略是，少用熟料，多用工业废渣，生产优质水泥。

少用熟料，多用工业废渣，能否生产出优质水泥呢？

这个问题的答案是肯定的，但是也是有条件的。大量科学研究和水泥生产、使用实践证明，采用 30% 左右的熟料和 70% 左右的混合材料与石膏，能够稳定生产高质量水泥（即高性能水泥）。为此，水泥生产至少应具备两个条件：一是熟料和混合材料分别粉磨，使熟料粒度分布和混合材料粒度分布合理，实现水泥颗粒级配的优化；二是混合材料的复掺，实现不同物理化学性质的混合材料优缺点互补。

我国现行六大通用硅酸盐水泥允许使用的混合材料是矿渣（或矿粉）、粉煤灰、火山灰质混合材料（如炉渣、煤矸石等）、石灰石、砂岩和窑灰。钢渣硅酸盐水泥允许使用的混合材料主要是钢渣，磷渣硅酸盐水泥允许使用的混合材料主要是磷渣。除现行水泥标准允许使用的工业废渣外，我国冶金、化工等行业还排出许多废渣，如铬渣、钛渣、铁合金渣、镍渣、镁渣、赤泥等，这些废渣能否用作水泥混合材料，使用这些废渣对水泥性能有什么影响，如何限制某些有害因素等，本书作了详细分析和论述。

各种工业废渣用作水泥混合材料是消纳工业废渣的最有效途径，因此在节能减排、发展循环经济的新形势下，出版此书具有重大意义。



2009 年 10 月

前 言

我国是一个能源、资源大国，随着经济的发展，在充分利用资源、能源的同时也留下了大量的工业废渣，占用土地、污染环境。

水泥行业是一个消纳工业废渣的大户。水泥行业充分利用工业废渣，不但能降低水泥生产成本，提高水泥产量，而且能减少工业废渣对环境的负荷，同时能改善水泥的性能，调节水泥强度，具有巨大的社会和经济效益。

为了了解、掌握我国工业废渣资源以及其对水泥性能的影响，2007 年国家质量监督检验检疫总局下达了质检公益性行业科研专项项目《可用于水泥中的重要工业废渣技术标准的研究》，对我国的工业废渣资源及其对水泥性能的影响进行全面、系统的研究。在此基础上，编者汇集了中国建筑材料科学研究总院及国内对各种工业废渣用作水泥混合材料的大量试验研究数据，对我国水泥行业利用工业废渣的概况、水泥混合材料分类、混合材料的作用机理以及对已用于、可能用于和不能用于水泥混合材料的工业废渣作了一一论述和介绍，望在水泥行业对工业废渣的利用有所裨益。

由于水平有限，文中有不妥之处请指正。文中各种工业废渣对水泥性能的影响，由于样品数量少，以及试验误差等原因，仅代表试验用样品。各种工业废渣对水泥性能影响结果，仅供参考。

在质检公益性行业科研专项项目《可用于水泥中的重要工业废渣技术标准的研究》开展过程中，得到了抚顺水泥股份有限公司、广西柳州鱼峰水泥股份有限公司、河北天塔山建材有限责任公司、河南红旗渠建设集团有限公司、河南焦作坚固水泥有限公司、锦州铁合金工商实业公司、南京云海特种金属股份有限公司、唐山冀东水泥股份有限公司、新疆天山水泥股份有限公司、云南省建材科学研究设计院以及有关领导、专家的大力支持和协助，特此鸣谢。

编 者

2009 年 10 月

目 录

第一章 水泥混合材料利用是工业废渣资源化的有效途径	1
第一节 我国水泥行业利用工业废渣的概况	1
第二节 混合材料在水泥生产中的作用	3
第三节 我国工业废渣资源	4
第四节 工业废渣在水泥行业利用中的瓶颈	7
参考文献	8
第二章 混合材料的分类	9
第一节 概述	9
第二节 具有潜在水硬性的混合材料	10
第三节 具有火山灰性的混合材料	10
第四节 具有水硬性的混合材料	12
第五节 非活性混合材料	12
第六节 其他混合材料	12
参考文献	14
第三章 混合材料对水泥性能影响的机理	15
第一节 概述	15
第二节 物理作用机理	15
第三节 化学作用机理	16
第四节 物理化学作用机理	17
第五节 表面物理和结构物理作用机理	18
参考文献	20
第四章 具有潜在水硬性的废渣	22
第一节 粒化高炉矿渣	22
第二节 铁合金渣	32
第三节 铅锌渣	44
第四节 增钙液态渣	49
第五节 化铁炉渣	50
第六节 粒化电炉磷渣	52
参考文献	64

第五章 具有火山灰活性的工业废渣	65
第一节 概述	65
第二节 粉煤灰	66
第三节 煤矸石	72
第四节 锂渣	77
第五节 硫酸渣	83
第六节 流化床煤灰	90
第七节 硫酸铝渣	98
第八节 煤渣	100
第九节 液态渣	100
第十节 硅灰、稻壳灰	100
参考文献	103
第六章 具有水硬性的工业废渣——钢渣	104
第一节 概述	104
第二节 钢渣的化学及矿物组成	104
第三节 钢渣在水泥行业中的利用	104
第四节 钢渣在水泥行业利用的瓶颈	105
第五节 钢渣在混凝土材料上的发展	106
第六节 用于水泥中的钢渣技术要求	107
参考文献	108
第七章 其他工业废渣	109
第一节 赤泥	109
第二节 镁渣	116
第三节 镍渣	123
第四节 窑灰	132
第五节 铬渣	133
参考文献	135
第八章 低活性工业废渣	136
第一节 铜渣	136
第二节 钛矿渣	138
参考文献	139
第九章 特殊工业废渣——电解锰渣	140
第一节 概述	140
第二节 电解锰渣对水泥性能的影响	142

参考文献	146
第十章 混合材料的应用技术	147
第一节 混合材料粉磨技术的发展	147
第二节 水泥的配制技术	156
第三节 混合材料的活化技术	160
第四节 利用混合材料特性生产特性水泥技术	163
第五节 混合材料在混凝土中的应用及技术	164
参考文献	168
附录 A 资源综合利用目录 (2003 年修订)	169
附录 B 资源综合利用企业所得税优惠目录 (2008 年版)	173
附录 C 水泥混合材料相关技术标准目录	175
附录 D 相关水泥产品标准目录	176
附录 E 部分工业废渣利用技术专利摘录	177
E. 1 一种钢渣性能优化处理方法	177
E. 2 钢渣综合利用方法	177
E. 3 钢渣改质及钢渣水泥	178
E. 4 一种钢渣砂干粉砂浆及其生产工艺	179
E. 5 钢渣硫酸盐水泥	179
E. 6 钢渣复合道路水泥及生产工艺	180
E. 7 由矿渣和钢渣复合而成的胶结材	181
E. 8 一种利用钢渣集料制成的 GRC 制品	181
E. 9 钢渣—偏高岭土复合胶凝材料及其制备方法	182
E. 10 钢渣白水泥	183
E. 11 磷渣钢渣白水泥及其制备方法	183
E. 12 钢渣导电混凝土	184
E. 13 新型早强钢渣、矿渣等工业废渣的活性激发剂	184
E. 14 复合硅酸盐水泥	185
E. 15 一种硫酸渣高铁水泥	185
E. 16 一种赤泥制备硫铝酸盐水泥的方法	186
E. 17 镁渣灰砌筑砂浆粉及其制品	186
E. 18 一种添加煤渣的镁渣砖及其制备方法	187
E. 19 复合增钙液态渣粉混凝土掺合料	188
E. 20 用于水泥、混凝土、砂浆中的高炉钛矿渣复合微粉	188

E. 21	用硫酸铝渣作水泥生料原料和混合材的水泥生产工艺	189
E. 22	新型复合硅酸盐水泥	189
E. 23	沸腾炉渣的综合利用方法	190
E. 24	流化床煤矸石沸腾炉渣代替传统工程细集料配制建筑砂浆的应用	191
E. 25	煤矸石全面无废利用法	191
E. 26	煤矸石工业废渣用激发剂及其制备方法	192
E. 27	用作混凝土细掺料的煅烧煤矸石微粉生产工艺技术	192
E. 28	煅烧煤矸石的色变与活化技术	193
E. 29	煤矸石混合水泥	194
E. 30	煅烧煤矸石制取活性水泥混合材的方法	194
E. 31	锂渣硅酸盐水泥	195
E. 32	一种锂渣混凝土	195
 F	水泥混合材料测定的相关问题及检测方法	196

第一章 水泥混合材料利用是工业废渣资源化的有效途径

第一节 我国水泥行业利用工业废渣的情况

按照目前的技术水平和水泥需求发展，我国的水泥行业必然面临资源、能源和环境问题的严峻挑战，将给整个社会的可持续发展带来极不利的影响。

水泥是以 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 为主要化学组成的原材料煅烧而成的人工材料，同时是以活性 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的水化反应实现其胶凝作用。因此，从理论上讲，凡是可以提供水泥组分所需 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 等氧化物的物料均可用于水泥生产。

水泥工业可以消纳大量的工业废渣，既可用作水泥熟料的原燃料，也可用作水泥混合材，同时其固体废弃物排放量为负值，这是水泥生产对环境改善的最突出特点。因此，利用工业固体废渣作为代用原料、替代燃料及混合材生产水泥，既处置了废料，又节约了资源和能源，对水泥工业的可持续发展具有深远意义。

由于环保和循环利用工业废渣的双重目的，工业废渣的利用得到了各国政府的高度重视。利用工业废渣的新技术、新设备、新方法、新政策相继问世，特别是水泥工业烘干、均化、粉磨装备、粉磨工艺和基础理论的发展，为大量利用工业废渣奠定了基础。

水泥行业利用工业废渣的主要途径为：

(1) 水泥混合材料：工业废渣用作水泥混合材料是最有效利用的途径。

(2) 水泥调凝剂：用作水泥调凝剂的工业废渣主要是由气硬性的石膏系列工业废渣组成，如磷石膏、氟石膏、盐田石膏、环保石膏等。这些石膏通过改性后，可全部或部分代替天然石膏。

(3) 水泥混凝土矿物掺合料：可以用作水泥混合材料的工业废渣，都可做水泥混凝土矿物掺合料，以改善水泥混凝土的使用性能和耐久性能，这已成为当代商品混凝土、大体积混凝土、高性能混凝土不可或缺的组分之一。

(4) 水泥原燃料：可燃性的工业废渣，如汽车轮胎、废油、废有机物等可以用作水泥熟料烧成的燃料。含有硅、铝、铁、钙等元素的城市建筑垃圾等可用作水泥的部分原料。同时，由于某些工业废渣中存在的有色金属、稀土元素等是水泥熟料烧成的矿化剂和 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 的稳定剂，已广泛用于水泥熟料烧成的校正原料。

我国水泥行业利用工业废渣的情况以及与国际先进国家的比较见表 1-1。

我国一直进行工业废渣生产水泥的研究和实践，在开发利用工业废渣方面取得了很大成就。

表 1-1 我国水泥行业利用工业废渣的情况以及与国际先进国家的比较

国别	年份	水泥 产量 (万 t)	废渣 产量 (万 t)	利用量 (万 t)	水泥工业综合利用量					
					二次原料		混合材		二次燃料	
					总量 (万 t)	吨水泥 用量 (kg/t)	总量 (万 t)	吨水泥 用量 (kg/t)	总量 (万 t)	吨水泥 用量 (kg/t)
中国	2003	86300	100428	56040	6000	70	23500	275	10	0.01
德国	2001	3000	18000	6000	420	140	480	160	127	43
日本	2001	7910	45000	17000	2056	260	712	90	48	6
美国	2003	8650	62000	9700	430	50	520	60	96	11

对于工业废渣用作水泥混合材料方面，我国一直处于世界领先水平。1949 年新中国成立后，我国面临着百业待兴的局面，需要进行大量的基础建设工作。而当时的水泥行业却技术落后，产量低下，不能满足我国基础建设的需要。为了解决此矛盾，我国着手研究和使用的混合材料。我国于 1952 年提出了以原苏联水泥产品标准为蓝本的三大水泥标准——普通硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥标准，它们都是掺加部分或大量混合材料的水泥，开创了我国水泥掺加混合材料的历史，大大促进了我国水泥生产的发展和产量的提高，有效地满足了建国初期基本建设的急需，到 1955 年我国水泥产量增加到 450 万 t，1960 年达到 1565 万 t。水泥中掺加不同品种、不同数量的混合材料，奠定了我国通用水泥多品种、多“标号”的基本结构，从增产、节约两个方面缓解了我国水泥的长期供需矛盾，为我国的社会主义建设作出了重大的贡献，同时实践也证明在水泥中掺用混合材是水泥行业发展的方向。

五十多年来我国通用水泥品种中的标号（现强度等级）、混合材品种掺量、技术要求和验收规则都随着国家的需要和新的研究成果进行了不同程度的调整。如矿渣硅酸盐水泥中的混合材品种和掺量，1952 年标准规定为矿渣 15% ~ 85%；1962 年标准改为混合材掺量 20% ~ 85%，并允许用不超过混合材总量 15% 的火山灰质混合材料代替；1977 年为保持矿渣水泥性能的一致性，将混合材掺量修订为 20% ~ 70%；1985 年修订时，基于我国小水泥大量发展、在生产中要用矿渣来改善安定性，造成矿渣供应非常紧张的状况和中国建筑材料科学研究总院当时对石灰石、窑灰的研究新成果，标准中允许用不超过 10% 的石灰石或 8% 的回转窑窑灰代替矿渣。现行标准为 GB 175—2008，规定矿渣水泥的混合材用量与 1985 年版相同，但将矿渣水泥分为 A、B 两型。矿渣水泥 A 的矿渣掺量为 20% ~ 50%，B 的矿渣掺量为 50% ~ 70%。另允许用不超过 8% 的石灰石或不超过 5% 的窑灰代替矿渣。同时，为了保证水泥的质量和人民生命财产的安全，我国相继研究、制定了《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣》、《用于水泥和混凝土中的火山灰质材料》、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉钛矿渣》、《用于水泥和混凝土中的粒化电炉磷渣》等国家和行业标准，形成了较为完善的原材料标准体系。

现作为水泥混合材料的主要工业废渣有高炉粒化矿渣、粉煤灰、煤矸石、钢渣等，全国的利用水平占水泥产量的 30% 左右。

第二节 混合材料在水泥生产中的作用

水泥工业利用工业废渣作混合材料,具有巨大的经济、环保、技术效益。

硅酸盐水泥主要由硅酸盐水泥熟料组成。而硅酸盐水泥熟料的生产是一个高资源、能源消耗,同时又产生大量有害气体的工艺过程。

在水泥熟料生产过程中,每生产 1t 水泥熟料,约消耗标准煤 120kg,约消耗石灰石 1t,约消耗黏土 0.3t;而同时排出二氧化碳 1t、二氧化硫 2kg、氮氧化合物 4kg。按我国目前的水泥熟料产量 8.9 亿 t 计,需要消耗标准煤 1.07 亿 t,约消耗石灰石 8.9 亿 t,约消耗黏土 2.67 亿 t,排出二氧化碳 8.9 亿 t、二氧化硫 178 万 t、氮氧化合物 0.356 万 t,对资源、能源和环境造成巨大压力。二氧化碳过多,将使地球产生温室效应,二氧化硫、氮氧化合物是有害人体健康的气体,也是酸雨形成的重要原因。

水泥生产过程就是通过高温煅烧,使惰性的 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 变为活性物质,能够进行水化,形成具有胶结能力的水化产物。而多数的工业废渣经过高温处理,经历了脱水过程,其中的高岭土脱水转变为高活性的无定形偏高岭土(如人工火山灰质材料中的烧煤矸石、烧黏土、流化床煤灰等);经历 1200℃ 以上的高温作用,在工业废渣中形成了与水泥熟料矿物相似的铝硅酸盐相(如粉煤灰、大部分冶金渣),甚至有的出现了 C_2S 矿相(如矿渣、赤泥、镁渣等),而钢渣中甚至有少量的 C_3S 存在。工业废渣的这些性质,决定了其在水泥中利用的可能和巨大潜力。

硅酸盐水泥作为传统材料存在了 100 多年还方兴未艾,是由于硅酸盐水化产物的稳定性。但由于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、钙矾石等水化产物的存在,硅酸盐水泥的抗侵蚀性能、干缩性能等都需要采取措施进行调节或改善。同时在商品混凝土发展的今天,由于对施工性能要求的提高,还需要对水泥施工性能进行调节。根据历来的研究表明,在水泥性能调节措施中最经济、最有效的方法就是使用混合材来调节水泥的性能,如使用火山灰质混合材可提高水泥的抗渗性和抗淡水溶析性能,使用矿渣可提高水泥的耐热性、抗冻性、与减水剂的适应性等,利用材料的易磨性不同调节水泥的颗粒组成,改善水泥的工作性。

根据现代的高性能混凝土的研究结果表明,细磨混合材料(矿物掺合料)是制备、生产高性能混凝土的最有效措施之一。

我国从 20 世纪 50 年代就开始利用工业废渣作为水泥的混合材料,无论在生产实践还是在科学研究方面均处于世界领先地位。根据多年的研究和实践,在水泥中使用工业废渣作为混合材料,概括起来可以取得如下的作用和效果:

(1) 大量利用工业废渣,可大量节约资源和能源,降低有害气体和粉尘的排放,实现水泥工业的节能、减排。如果水泥不使用混合材料,随之而来的是自然资源能源的耗竭,环境污染的加重。

2008 年,我国水泥产量 13.5 亿 t,其中水泥熟料的生产量约 8.9 亿 t,混合材料用量约 4 亿 t,石膏约为 0.67 亿 t,水泥中混合材料代替熟料量约 30%。若提高水泥中的混合材料(工业废渣)使用量 10%,则我国每年消纳的工业废渣就可以多 0.89 亿 t,占我国每年排放工业废渣的 7% 左右。而节约石灰石资源 0.89 亿 t,节约煤炭 0.15 多亿吨,少向大气排放有害气体 0.89 多亿吨。可见,大量利用工业废渣对节能降耗,降低有害气体和粉尘排放,潜力巨大、效益显著。同时,水泥工业所消纳掉的工业废渣减少了对环境的污染、以及占地的费用。

(2) 增加水泥产量,降低水泥生产成本。众所周知,使用混合材料能增加水泥产量,降低水泥生产成本。这是目前我国普通硅酸盐水泥生产量少,而其他掺加混合材料水泥生产量多的主要原因。按目前的熟料销售价格(约 250 元/t)和工业废渣到厂的成本(平均约 70 元/t)计算,每用 1% 的混合材料,可以降低水泥生产成本 1.8 元。按目前我国水泥混合材料的平均水平 30% 计算,每吨水泥降低的成本在 54 元左右。

(3) 改善水泥性能,生产不同品种水泥。根据混合材料对水泥性能的影响,生产不同品种的水泥,用于各种工程建设。我国水泥的分类就是通过性能来划分的。这种性能的区分主要通过混合材料的品种和掺量来实现。也就是说,混合材料品种和掺量是界定水泥品种的前提。由于各品种水泥性能上的差异,也为工程设计选择不同水泥品种提供了依据。

(4) 调节水泥强度等级,合理使用水泥。由于混凝土用途的不同,其强度要求不同。如果生产低强度等级混凝土使用高强度等级的水泥,则造成能源、资源的浪费。量体裁衣,合理使用水泥,是水泥强度等级设立的最终目的。而实现水泥强度等级的调节,使用混合材料是最经济、环保的方式。

第三节 我国工业废渣资源

据中国环境公报统计,1995 年固体工业废渣累计堆积达 66.41 亿 t,占地 5.5 万公顷,每年固体工业废渣的排放量达 6 亿 t 以上。1995 年固体工业废渣产生 64474 万 t,排前五位的分别是尾矿 18957 万 t,煤矸石 11786 万 t,粉煤灰 11677 万 t,炉渣 7893 万 t,冶炼废渣 7091 万 t,5 种合计 57404 万 t,占总量的 89.03%。

在我国经济发展、技术进步的同时,我国在矿山开采、金属冶炼、燃煤发电、化工生产上取得了巨大进步和发展,但同时在工业发展过程中也排出了大量的工业废渣。并呈逐年递增的趋势,如图 1-1 所示,2004 年已达 12 亿 t^[1]。

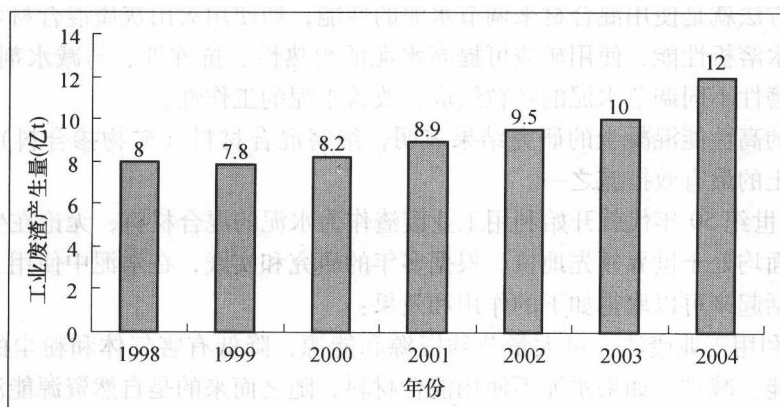


图 1-1 我国工业废渣产生量^[1]

根据工业废渣产生行业,可以将工业废渣分为燃烧废渣、冶金废渣(包括钢铁废渣、有色金属渣、合金废渣等)、采矿废渣和化工废渣。

- (1) 燃烧废渣以粉煤灰为主,还有部分炉渣;
- (2) 冶金废渣包括高炉粒化矿渣、钢渣、铁合金渣、硅灰和有色冶金废渣等;
- (3) 采矿废渣以煤矸石、尾矿为主;

(4) 化工渣包括工业副产石膏、电石渣、铬渣、硫酸铝渣等。

我国近年 GDP、火力装机容量、火力发电量、供热量、煤炭消耗量及粉煤灰排放量统计和
未来粉煤灰排放量预测见表 1-2^[2] 和表 1-3^[2]。我国典型化工废渣的组成与产量见表 1-4^[3]。

表 1-2 中国近年 GDP、火力装机容量、火力发电量、供热量、
煤炭消耗量及粉煤灰排放量统计^[2]

年份	GDP (亿元)	装机容量 ($\times 10^4 \text{ kW}$)	发电量 ($\times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$)	供热量 ($\times 10^6 \text{ kJ}$)	煤炭消耗量 ($\times 10^4 \text{ t}$)		粉煤灰 排放量 ($\times 10^4 \text{ t}$)	粉煤灰 利用率 (%)	粉煤灰 堆存量 ($\times 10^4 \text{ t}$)
					发电耗煤	供热耗煤			
1994	46759	14873	7470	80978	39291	4226	12094	44.30	
1995	58478	16241	8074	86422	43000	4660	18179	47.89	
1996	67884	17886	8778	94759	47046	5162	12558	43.45	25343
1997	74772	19241	9252	95067	48123	5219	12520	59.10	
1998	79553	20988	9388	103599	47089	5563	11502	59.10	36126
1999	82054	11343	10047	108907	48186	5689	11536	65.64	400901
2000	89404	23754	11079	120434	52810	6382	12653	66.28	44356
2001	95933	25301	12045	128744	57637	6924	14121	67.81	48901
2002	102398	26555	13522	13522	65595	7690	15722	68.31	53883
2003	116694	29000	15800	17529		59208		69.62	

注：GDP 数值来自有关部门统计；装机容量和发电量、供热量、煤炭消耗量数值来自《电力年鉴》；粉煤灰排放量
数值来自国家环保局；粉煤灰堆存量是从 1993 年开始计算。

表 1-3 未来粉煤灰排放量预测^[2]

年份	根据装机容量 预测粉煤灰排放量		根据发电量 预测粉煤灰排放量		根据 GDP ^③ 预测粉煤灰排放量		
	总装机 容量 ^① (10^4 kW)	粉煤灰 排放量 (万 t)	总发电量 ^② ($\times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$)	粉煤灰 排放量 (万 t)	GDP (亿元)	预测火力 发电量 ($\times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$)	粉煤灰 排放量 (万 t)
2005	45000	20250	21000	20328	137372	21514	
2010	65000	29250	30500	29524	178808	22207	27729
2020	95000	42750	45000	43560	357616	43664	54550

- ①火力装机容量以总装机容量的 75% 计；
②火力发电量以总发电量的 80% 计；
③GDP 由 2020 年国内生产总值比 2000 年翻两番计算所得。

表 1-4 典型化工废渣的组成与产量^[3]

化工废渣	主价元素含量	次价元素含量	数量 ($\text{kt} \cdot \text{a}^{-1}$)	废渣产生率
硫铁矿渣	Fe 40% ~ 45%	Al_2O_3 8.89%	22330 ^①	— ^②
硫酸渣	Fe_2O_3 75.42% Fe 29.39% ~ 49.09%	Al_2O_3 3.49% S 0.52% ~ 1.11%	—	—
硫石膏	Fe_2O_3 8.13%	Al_2O_3 2.16%	—	—