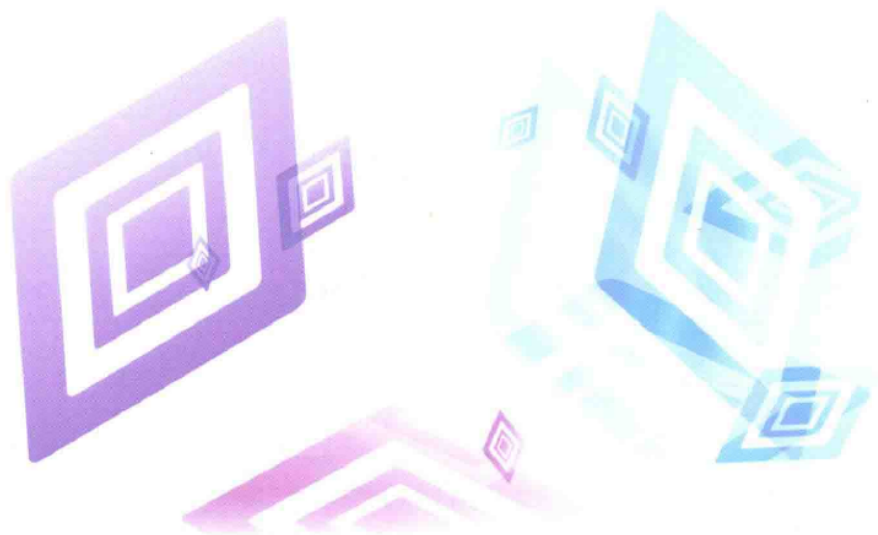




高职高专“十二五”规划教材

国家骨干高职院校建设“冶金技术”项目成果



粉煤灰利用分析技术

FENMEIHUI LIYONG FENXI JISHU

主编 胡小龙



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高职高专“十二五”规划教材

国家骨干高职院校建设“冶金技术”项目成果

粉煤灰利用分析技术

主编 胡小龙

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2013

内 容 提 要

本书详细阐述了在粉煤灰利用过程中涉及的原料、成品及半成品的分析技术, 主要内容包括4个部分, 分别是粉煤灰成分分析、煤炭成分分析、铝硅铁合金成分分析及铝电解质成分分析。本书内容精炼, 重点突出, 应用性强。

本书适合作为高职院校冶金工程、材料工程专业的教学用书, 也可供企业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

粉煤灰利用分析技术/胡小龙主编. —北京: 冶金工业出版社, 2013. 12

高职高专“十二五”规划教材. 国家骨干高职院校建设“冶金技术”项目成果

ISBN 978-7-5024-6549-0

I. ①粉… II. ①胡… III. ①粉煤灰—炼铝—高等职业教育—教材 IV. ①TF821

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第030760号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号, 邮编100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 杨 帆 版式设计 葛新霞

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6549-0

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京百善印刷厂印刷

2013年12月第1版, 2013年12月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 8.25印张; 189千字; 114页

20.00元

冶金工业出版社投稿电话: (010) 64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街46号(100010) 电话: (010) 65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

内蒙古机电职业技术学院

国家骨干高职院校建设“冶金技术”项目成果

教材编辑委员会

- 主 任** 白培珠 内蒙古自治区经济和信息化委员会 副主任
内蒙古机电职业技术学院校企合作发展理事会 理事长
张美清 内蒙古机电职业技术学院 院长
内蒙古机电职业技术学院校企合作发展理事会 常务副理事长
- 副主任** 任玉祥 内蒙古自治区经济和信息化委员会原材料工业处 处长
校企合作发展理事会冶金分会 理事长
王文儒 内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司 常务副总经理
孙振斌 内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司 副总经理
侯永旺 鄂尔多斯电力冶金股份有限公司 党委书记 副总经理
贾振国 包头钢铁集团公司 纪委书记
修世敏 内蒙古霍林河煤业集团有限责任公司 副总经理
孙喜平 内蒙古机电职业技术学院 副院长
内蒙古机电职业技术学院校企合作发展理事会 秘书长
- 委 员** 邓忠贵 戴英飞 周立平 内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司
闫学良 吴彦宁 大唐内蒙古鄂尔多斯铝硅科技有限公司
夏长林 于 鹏 包头钢铁集团稀土高科股份有限公司
赵占峰 张俊龙 包头钢铁集团华美稀土高科有限公司
贾佼成 鲍永强 中铝集团包头铝业集团公司
马海疆 高 琪 鄂尔多斯集团化工集团公司
刘国征 武 斌 包钢稀土研究院
史晓光 张 敬 内蒙古方圆科技有限公司
曹新胜 张建军 内蒙古光泰铝业有限公司
陈 强 董拥军 包头亚新隆顺特钢有限公司
石 富 刘敏丽 张秀玲 内蒙古机电职业技术学院
- 秘 书** 王 优 (010-64046165, wangy82@aliyun.com) 冶金工业出版社

序

2010年11月30日我院被国家教育部、财政部确定为“国家示范性高等职业院校”骨干高职院校立项建设单位。在骨干院校建设工作中,学院以校企合作体制机制创新为突破口,建立与市场需求联动的专业优化调整机制,形成了适应自治区能源、冶金产业结构升级需要的专业结构体系,构建了以职业素质和职业能力培养为核心的课程体系,校企合作完成专业核心课程的开发和建设任务。

学院冶金技术专业是骨干院校建设项目之一,是中央财政支持的重点建设专业。学院与内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司共建“高铝资源学院”,合作培养利用高铝粉煤灰的“铝冶金及加工”方向的高素质高级技能型专门人才;同时逐步形成了“校企共育,分向培养”的人才培养模式,带动了钢铁冶金、稀土冶金、材料成型等专业及其方向的建设。

冶金工业出版社集中出版的这套教材,是国家骨干高职院校建设“冶金技术”项目的成果之一。书目包括校企共同开发的“铝冶金及加工”方向的核心课程和改革课程,以及各专业方向的部分核心课程的工学结合教材。在教材编写过程中,面向职业岗位群任职要求,参照国家职业标准,引入相关企业生产案例,校企人员共同合作完成了课程开发和教材编写任务。我们希望这套教材的出版发行,对探索我国冶金职业教育改革的成功之路,对冶金行业高技能人才的培养,能够起到积极的推动作用。

这套教材的出版得到了国家骨干高职院校建设项目经费的资助,在此我们对教育部、财政部和内蒙古自治区教育厅、财政厅给予的资助和支持,对校企双方参与课程开发和教材编写的所有人员表示衷心的感谢!

内蒙古机电职业技术学院 院长 张立清

2013年10月

前言

近年来,随着我国铝工业的高速发展,铝土矿和氧化铝供应短缺的矛盾日益突出。目前,我国铝土矿的保有储量仅为20亿吨左右,优质铝土矿资源比较匮乏,主要分布在山西、贵州、河南、广西等地区,人均占有量仅为世界平均水平的1.5%,不能满足我国铝工业的发展需求。2012年,我国消费氧化铝4237万吨,国内生产氧化铝3768万吨,进口氧化铝约469万吨,进口铝土矿约4000万吨。随着我国对氧化铝需求的增加,60%~70%的铝土矿和氧化铝将依赖进口,尤其是能源丰富且适宜发展电解铝工业的内蒙古、宁夏、青海、新疆等西部地区,因缺乏天然铝土矿资源,氧化铝全部依赖外购。

随着粉煤灰提取氧化铝技术大规模产业化及大唐国际内蒙古再生资源开发公司粉煤灰提取氧化铝项目成功投产,国家发改委把粉煤灰提取氧化铝问题纳入国家煤炭工业“十二五”发展规划,并作为国家煤炭开发中资源综合利用的战略重点;将支持在内蒙古准格尔、托克托两地建设大型粉煤灰提取氧化铝循环经济示范区,构建煤-电-粉煤灰提取氧化铝、活性硅酸钙、分子筛、水泥-电解铝-铝后加工产业链,建成示范基地。

本书是根据职业技术学院铝冶金专业教学的基础要求编写的。全书力求体现职业技术教育培养技术应用型人才的特点,结合生产实际,以学生必须掌握的粉煤灰利用过程中涉及的原料、成品及半成品成分检测知识及手段为依据,精选粉煤灰、煤炭、铝硅铁合金及铝电解质四个典型产品进行成分分析,并使其融会贯通。

本书由内蒙古机电职业技术学院胡小龙主编。编者所在单位的领导和同行以及内蒙古大唐再生资源开发有限公司的技术人员为本书的编写提供了大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者学识水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2013年10月

目 录

学习情境 1 粉煤灰成分分析	1
学习任务 1 粉煤灰基础知识	1
学习活动 1 粉煤灰及其排放现状	1
学习活动 2 粉煤灰的来源	3
学习活动 3 粉煤灰的形成	3
学习活动 4 粉煤灰的组成	3
学习活动 5 粉煤灰的结构	4
学习活动 6 粉煤灰的性质	5
学习活动 7 存在形态	5
学习活动 8 粉煤灰的用途	6
学习任务 2 粉煤灰的综合利用	7
学习活动 1 粉煤灰综合利用概况	7
学习活动 2 粉煤灰烧结砖	8
学习活动 3 粉煤灰陶粒	9
学习活动 4 粉煤灰造纸	12
学习活动 5 粉煤灰用于污水处理	12
学习活动 6 粉煤灰用于噪声防治	14
学习活动 7 从粉煤灰中提取氧化铝	15
学习活动 8 粉煤灰综合利用途径	15
学习活动 9 粉煤灰利用技术和层次	17
学习活动 10 内蒙古粉煤灰综合利用情况	18
学习任务 3 二次盐酸脱水重量法测定 SiO_2 含量	19
学习活动 1 试验准备	19
学习活动 2 分析步骤	19
学习活动 3 结果分析	20
学习任务 4 氟硅酸钾容量法测定 SiO_2 含量	20
学习活动 1 试验准备	21
学习活动 2 分析步骤	21
学习活动 3 结果分析	22
学习任务 5 比色法测定 Fe_2O_3 含量	22
学习活动 1 试验准备	22
学习活动 2 分析步骤	23

学习活动 3 结果分析	23
学习任务 6 络合滴定法测定 Fe_2O_3 含量	23
学习活动 1 试验准备	23
学习活动 2 分析步骤	24
学习活动 3 结果分析	24
学习任务 7 TiO_2 含量的测定	25
学习活动 1 试验准备	25
学习活动 2 分析步骤	25
学习活动 3 结果分析	26
学习任务 8 Al_2O_3 含量的测定	26
学习活动 1 试验准备	26
学习活动 2 分析步骤	27
学习活动 3 结果分析	27
学习任务 9 CaO 、 MgO 含量的测定	28
学习活动 1 试验准备	28
学习活动 2 分析步骤	29
学习活动 3 结果分析	29
学习任务 10 K_2O 、 Na_2O 含量的测定	30
学习活动 1 试验准备	30
学习活动 2 分析步骤	30
学习活动 3 结果分析	31
学习任务 11 SO_3 含量的测定	31
学习活动 1 试验准备	32
学习活动 2 分析步骤	33
学习活动 3 结果分析	33
学习任务 12 分光光度法测定 MnO_2 的含量	33
学习活动 1 试验准备	33
学习活动 2 分析步骤	34
学习活动 3 结果分析	34
学习任务 13 原子吸收光谱法测定 MnO_2 的含量	35
学习活动 1 试验准备	35
学习活动 2 分析步骤	35
学习活动 3 结果分析	35
学习任务 14 烧失量的测定	36
学习活动 1 试验准备	36
学习活动 2 分析步骤	36
学习活动 3 结果分析	36
学习任务 15 Cu 含量的测定	37
学习活动 1 试验准备	37

学习活动 2 分析步骤	37
学习活动 3 结果分析	37
学习情境 2 煤炭成分分析	39
学习任务 1 煤炭基础知识	39
学习活动 1 煤炭的形成	39
学习活动 2 煤炭的物理化学性质	40
学习活动 3 煤炭的分类	43
学习活动 4 煤的工业用途及质量指标	46
学习活动 5 煤炭资源分布	48
学习任务 2 煤的水分及其测定	50
学习活动 1 任务分析	50
学习活动 2 试验准备	51
学习活动 3 分析步骤	52
学习活动 4 结果分析	53
学习任务 3 缓慢灰分法测定煤中灰分	54
学习活动 1 灰分测定概述	54
学习活动 2 仪器设备	54
学习活动 3 分析步骤	55
学习活动 4 结果分析	55
学习任务 4 快速灰分法测定煤中灰分	55
学习活动 1 仪器设备	56
学习活动 2 分析步骤	56
学习活动 3 结果分析	57
学习活动 4 注意事项	57
学习任务 5 煤的挥发分的测定	58
学习活动 1 挥发分测定概述	58
学习活动 2 仪器设备	58
学习活动 3 分析步骤	59
学习活动 4 结果分析	60
学习活动 5 注意事项	60
学习任务 6 煤中固定碳测定	61
学习活动 1 固定碳测定概述	61
学习活动 2 固定碳计算	61
学习任务 7 煤中硫分分析	61
学习活动 1 煤中硫分概述	62
学习活动 2 库仑自动滴定法定硫	63
学习活动 3 艾士卡法	64
学习活动 4 高温燃烧中和法	66

学习任务 8 煤的发热量的测定	69
学习活动 1 发热量概述	69
学习活动 2 试验准备	70
学习活动 3 分析步骤	71
学习活动 4 结果分析	71
学习活动 5 注意事项	71
学习任务 9 碳氢元素的测定	72
学习活动 1 试验准备	72
学习活动 2 分析步骤	76
学习活动 3 结果分析	77
学习情境 3 铝硅合金成分分析	78
学习任务 1 铝及铝合金概述	78
学习活动 1 铝的基本特性与应用范围	78
学习活动 2 铝合金的分类	79
学习活动 3 铝合金中各种主要元素起的作用	80
学习任务 2 粉煤灰提取铝硅合金	83
学习活动 1 粉煤灰提取铝硅合金的必要性	83
学习活动 2 铝硅合金市场需求	83
学习活动 3 粉煤灰提取铝硅合金工艺	84
学习任务 3 钼蓝光度法测定铝硅铁合金中硅的含量	84
学习活动 1 试验准备	85
学习活动 2 分析步骤	85
学习活动 3 结果分析	85
学习任务 4 重量法测定铝硅铁合金中硅的含量	86
学习活动 1 试验准备	86
学习活动 2 分析步骤	87
学习活动 3 结果分析	88
学习任务 5 EDTA 滴定法测定铝硅铁合金中铝的含量	89
学习活动 1 试验准备	89
学习活动 2 分析步骤	90
学习活动 3 结果分析	90
学习任务 6 重铬酸钾滴定法测定铝硅铁合金中铁的含量	91
学习活动 1 试验准备	91
学习活动 2 分析步骤	91
学习活动 3 结果分析	92
学习情境 4 铝电解质分子比测定	93
学习任务 1 铝电解基本知识	93

学习活动 1 铝电解基本原理	93
学习活动 2 铝电解质及其性质	94
学习活动 3 铝电解生产原辅材料	98
学习任务 2 分子比及其测定方法	101
学习活动 1 分子比基本知识	101
学习活动 2 分子比测定方法	104
学习任务 3 氯化铝滴定法测定电解质分子比	108
学习活动 1 试验准备	108
学习活动 2 分析步骤	109
学习活动 3 结果分析	109
学习任务 4 硝酸钪滴定法分析铝电解质分子比	109
学习活动 1 试验准备	109
学习活动 2 分析步骤	110
学习活动 3 结果分析	110
学习任务 5 重量法测定电解质中氧化铝含量	110
学习活动 1 试验准备	111
学习活动 2 分析步骤	111
学习活动 3 结果分析	111
学习任务 6 电解质中氟化钙镁含量的测定	111
学习活动 1 试验准备	111
学习活动 2 分析步骤	112
参考文献	114

学习情境 1 粉煤灰成分分析

学习任务 1 粉煤灰基础知识

- 学习目标：(1) 掌握粉煤灰来源；
(2) 了解我国粉煤灰分布地区及各地区粉煤灰成分；
(3) 掌握粉煤灰物理化学性质及用途。

学习活动 1 粉煤灰及其排放现状

粉煤灰是从煤燃烧后的烟气中收捕下来的细灰，是燃煤电厂排出的主要固体废物。粉煤灰是我国当前排量较大的工业废渣之一，随着电力工业的发展，燃煤电厂的粉煤灰排放量逐年增加。大量的粉煤灰不加处理，就会产生扬尘，污染大气；若排入水系会造成河流淤塞，而其中的有毒化学物质还会对人体和生物造成危害，如图 1-1 和图 1-2 所示。



图 1-1 粉煤灰对河流的污染

煤粉在炉膛中呈悬浮状态燃烧，燃煤中的绝大部分可燃物都能在炉内烧尽，而煤粉中的不燃物（主要为灰分）大量混杂在高温烟气中。这些不燃物因受到高温作用而部分熔融，同时由于其表面张力的作用，形成大量细小的球形颗粒。在锅炉尾部引风机的抽气作用下，含有大量灰分的烟气流向炉尾。随着烟气温度的降低，一部分熔融的细粒因受到一定程度的急冷呈玻璃体状态，从而具有较高的潜在活性。在引风机将烟气排入大气之前，上述这些细小的球形颗粒，经过除尘器时被分离、收集，即为粉煤灰。

粉煤灰是我国当前排量较大的工业废渣之一（图 1-3），现阶段我国年排渣量已达



图 1-2 粉煤灰对环境的污染

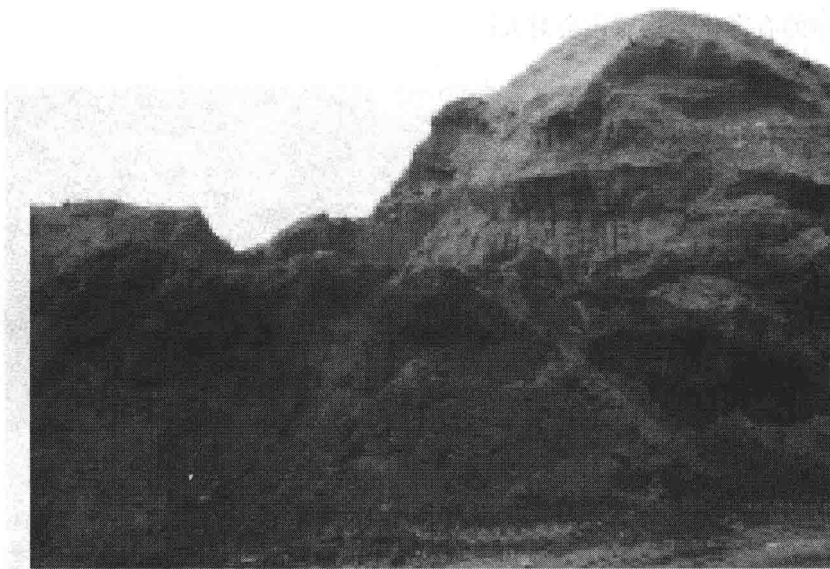


图 1-3 粉煤灰

3000 万吨。随着电力工业的发展，燃煤电厂的粉煤灰排放量逐年增加，粉煤灰的处理和利用问题引起人们广泛的注意。

我国是个产煤大国，电力生产以煤炭为基本燃料。近年来，我国的能源工业稳步发展，发电能力年增长率为 7.3%，电力工业的迅速发展，带来了粉煤灰排放量的急剧增加。燃煤热电厂每年所排放的粉煤灰总量逐年增加。1995 年粉煤灰排放量达 1.25 亿吨，2000 年约为 1.5 亿吨，到 2010 年将达到 3 亿吨，给我国的国民经济建设及生态环境造成巨大的压力。另外，我国又是一个人均占有资源储量有限的国家，而粉煤灰的综合利用可以变

废为宝，变害为利，已成为我国经济建设中一项重要的技术经济政策，是解决我国电力生产环境污染与资源缺乏之间矛盾的重要手段，也是电力生产所面临解决的任务之一。经过开发，粉煤灰在建工、建材、水利等各部门得到广泛的应用。

20 世纪 70 年代，世界性能源危机、环境污染以及矿物资源的枯竭等强烈地激发了粉煤灰利用的研究和开发，多次召开国际性粉煤灰会议，研究工作日趋深入，应用方面也有了长足的进步。粉煤灰成为国际市场上引人注目的资源丰富、价格低廉、兴利除害的新兴建材原料和化工产品的原料，受到人们的青睐。目前，对粉煤灰的研究工作大都由理论研究转向应用研究，利用粉煤灰生产的产品在不断增加，技术在不断更新。国内外粉煤灰综合利用工作与过去相比较，发生了重大的变化，主要表现为：粉煤灰治理的指导思想已从过去的单纯环境角度转变为综合治理、资源化利用；粉煤灰综合利用的途径已从过去的路基、填方、混凝土掺合料、土壤改造等方面的应用，发展到目前的在水泥原料、水泥混合材、大型水利枢纽工程、泵送混凝土、大体积混凝土制品、高级填料等方面的高级化利用。

学习活动 2 粉煤灰的来源

粉煤灰的主要来源是以煤粉为燃料的火电厂和城市集中供热锅炉，其中 90% 以上为湿排灰，活性较干灰低，且费水费电，污染环境，也不利于综合利用。为了更好地保护环境并有利于粉煤灰的综合利用，考虑到除尘和干灰输送技术的成熟，干灰收集已成为今后粉煤灰收集的发展趋势。

学习活动 3 粉煤灰的形成

粉煤灰的形成分为三个阶段：

第一阶段：粉煤在开始燃烧时，其中气化温度低的挥发分，首先自矿物质与固体炭连接的缝隙间不断逸出，使粉煤灰变成多孔型炭粒。此时的煤灰，颗粒状态基本保持原煤粉的不规则碎屑状，但因多孔性，使其表面积更大。

第二阶段：伴随着多孔性炭粒中的有机质完全燃烧和温度的升高，其中的矿物质也将脱水、分解、氧化变成无机氧化物，此时的煤灰颗粒变成多孔玻璃体，尽管其形态大体上仍维持与多孔炭粒相同，但比表面积明显地小于多孔炭粒。

第三阶段：随着燃烧的进行，多孔玻璃体逐渐融收缩而形成颗粒，其孔隙率不断降低，圆度不断提高，粒径不断变小，最终由多孔玻璃转变为密度较高、粒径较小的密实球体，颗粒比表面积下降为最小。不同粒度和密度的灰粒具有显著的化学和矿物学方面的特征差别，小颗粒一般比大颗粒更具玻璃性和化学活性。

最后形成的粉煤灰（其中 80%~90% 为飞灰，10%~20% 为炉底灰）是外观相似、颗粒较细而不均匀的复杂多变的多相物质。飞灰是进入烟道气灰尘中最细的部分，炉底灰是分离出来的比较粗的颗粒，或是炉渣。这些东西有足够的重量，燃烧带跑到炉子的底部。

学习活动 4 粉煤灰的组成

1. 化学组成

我国火电厂粉煤灰的主要氧化物组成为： SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 TiO_2 、

MgO、K₂O、Na₂O、SO₃、MnO₂等，此外还有 P₂O₅等。其中氧化硅、氧化钛来自黏土、页岩；氧化铁主要来自黄铁矿；氧化镁和氧化钙来自与其相应的碳酸盐和硫酸盐。

粉煤灰的元素组成（质量分数）为：O 47.83%，Si 11.48% ~ 31.14%，Al 6.40% ~ 22.91%，Fe 1.90% ~ 18.51%，Ca 0.30% ~ 25.10%，K 0.22% ~ 3.10%，Mg 0.05% ~ 1.92%，Ti 0.40% ~ 1.80%，S 0.03% ~ 4.75%，Na 0.05% ~ 1.40%，P 0.00% ~ 0.90%，Cl 0.00% ~ 0.12%，其他 0.50% ~ 29.12%。

由于煤的灰量变化范围很大，而且这一变化不仅存在于世界各地或同一地区不同煤层的煤中，甚至也发生在同一煤矿不同部分的煤中，因此，构成粉煤灰的具体化学成分含量，也就因煤的产地、煤的燃烧方式和程度等不同而有所不同。其主要化学组成见表 1-1。

表 1-1 我国电厂粉煤灰化学组成（质量分数）（%）

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	烧失量
范围	34.30~ 65.76	14.59~ 40.12	1.50~ 6.22	0.44~ 16.80	0.20~ 3.72	0.00~ 6.00	0.10~ 4.23	0.02~ 2.14	0.63~ 29.97
均值	50.8	28.1	6.2	3.7	1.2	0.8	1.2	0.6	7.9

粉煤灰的活性主要来自其成分中的活性 SiO₂（玻璃体 SiO₂）和活性 Al₂O₃（玻璃体 Al₂O₃）在一定碱性条件下的水化作用。因此，粉煤灰中活性 SiO₂、活性 Al₂O₃ 和 f-CaO（游离氧化钙）都是活性的有利成分。硫在粉煤灰中一部分以可溶性石膏（CaSO₄）的形式存在，它对粉煤灰早期强度的发挥有一定作用，因此，粉煤灰中的硫对粉煤灰的活性也是有利组成。粉煤灰中的钙含量在 3% 左右，它对胶凝体的形成是有利的。国外把 CaO 含量超过 10% 的粉煤灰称为 C 类灰，而低于 10% 的粉煤灰称为 F 类灰。C 类灰其本身具有一定的水硬性，可作水泥混合材，F 类灰常作混凝土掺合料，它比 C 类灰使用时的水化热要低。

粉煤灰中少量的 MgO、Na₂O、K₂O 等生成较多玻璃体，在水化反应中会促进碱硅反应。但 MgO 含量过高时，对安定性带来不利影响。

粉煤灰中的未燃炭粒疏松多孔，是一种惰性物质，不仅对粉煤灰的活性有害，而且对粉煤灰的压实也不利。过量的 Fe₂O₃ 对粉煤灰的活性也不利。

2. 粉煤灰的矿物组成

由于煤粉各颗粒间的化学成分并不完全一致，所以燃烧过程中形成的粉煤灰在排出的冷却过程中，形成了不同的物相。另外，粉煤灰中晶体矿物的含量与粉煤灰冷却速度有关。一般来说，冷却速度较快时，玻璃体含量较多；反之，玻璃体容易析晶。可见，从物相上讲，粉煤灰是晶体矿物和非晶体矿物的混合物。其矿物组成的波动范围较大。一般晶体矿物为石英、莫来石、氧化铁、氧化镁、生石灰及无水石膏等，非晶体矿物为玻璃体、无定形碳和次生褐铁矿，其中玻璃体含量占 50% 以上。

学习活动 5 粉煤灰的结构

粉煤灰的结构是在煤粉燃烧和排出过程中形成的，比较复杂。在显微镜下观察，粉煤灰是晶体、玻璃体及少量未燃炭组成的一个复合结构的混合体。混合体中这三者的比例随

着煤燃烧所选用的技术及操作手法不同而不同。其中结晶体包括石英、莫来石、磁铁矿等；玻璃体包括光滑的球形玻璃体粒子、形状不规则孔隙少的小颗粒、疏松多孔且形状不规则的玻璃体球等；未燃炭多呈疏松多孔形式。

学习活动 6 粉煤灰的性质

1. 物理性质

粉煤灰的物理性质包括密度、堆积密度、细度、比表面积、需水量等，这些性质是化学成分及矿物组成的宏观反映。由于粉煤灰的组成波动范围很大，这就决定了其物理性质的差异也很大。

粉煤灰的基本物理性质见表 1-2。

表 1-2 粉煤灰的基本物理性质

项 目		范 围	均 值
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		1.9~2.9	2.1
堆积密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		0.531~1.261	0.780
比表面积/ $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	氮吸附法	800~19500	3400
	透气法	1180~6530	3300
原灰标准稠度/%		27.3~66.7	48.0
需水量/%		89~130	106
28d 抗压强度比/%		37~85	66

粉煤灰的物理性质中，细度和粒度是比较重要的项目。它直接影响着粉煤灰的其他性质，粉煤灰越细，细粉占的比重越大，其活性也越大。粉煤灰的细度影响早期水化反应，而化学成分影响后期的反应。

2. 化学性质

粉煤灰是一种人工火山灰质混合材料，它本身略有或没有水硬胶凝性能，但当以粉状及水存在时，能在常温，特别是在水热处理（蒸汽养护）条件下，与氢氧化钙或其他碱土金属氢氧化物发生化学反应，生成具有水硬胶凝性能的化合物，成为一种增加强度和耐久性的材料。

学习活动 7 存在形态

粉煤灰是以颗粒形态存在的，且这些颗粒的矿物组成、粒径大小、形态各不相同。人们通常将其形状分为珠状颗粒和渣状颗粒两大类。北京科技大学宋存义等用扫描式电子显微镜的观察表明，粉煤灰由多种粒子构成，其中珠状颗粒包括空心玻珠（漂珠）、厚壁及实心微珠（沉珠）、铁珠（磁珠）、炭粒、不规则玻璃体和多孔玻璃体五大品种。其中不规则玻璃体是粉煤灰中较多的颗粒之一，大多是由似球和非球形的各种浑圆度不同的粘连体颗粒组成。有的粘连体断开后，其外观和性质与各种玻璃球形体相同，其化学成分则略有不同。多孔玻璃体形似蜂窝，具有较大的表面积，易黏附其他碎屑，密度较小，熔点比

其他微珠偏低,其颜色由乳白至灰色不等。在扫描式电子显微镜下可以比较容易地观察到不规则玻璃体的存在。渣状颗粒包括海绵状玻璃渣粒、炭粒、钝角颗粒、碎屑和黏聚颗粒五大品种。正是由于这些颗粒各自组成上的变化以及组合上的比例不同,才直接影响到粉煤灰质量的优劣。

学习活动 8 粉煤灰的用途

粉煤灰是煤粉经高温燃烧后形成的一种似火山灰质混合材料。它是燃烧煤的发电厂将煤磨成 $100\mu\text{m}$ 以下的煤粉,用预热空气喷入炉膛成悬浮状态燃烧,产生混杂有大量不燃物的高温烟气,经集尘装置捕集就得到了粉煤灰。粉煤灰的化学组成与黏土质相似,主要成分为二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁、氧化钙和未燃尽炭。目前,粉煤灰主要用来生产粉煤灰水泥、粉煤灰砖、粉煤灰硅酸盐砌块、粉煤灰加气混凝土及其他建筑材料,还可用作农业肥料和土壤改良剂,回收工业原料和作环境材料。

粉煤灰在水泥工业和混凝土工程中的应用:粉煤灰代替黏土原料生产水泥(由硅酸盐水泥熟料和粉煤灰加入适量石膏磨细制成的水硬胶凝材料),水泥工业采用粉煤灰配料可利用其中的未燃尽炭;粉煤灰作水泥混合材;粉煤灰生产低温合成水泥,生产原理是将配料先蒸汽养护生成水化物,然后经脱水和低温固相反应形成水泥矿物;粉煤灰制作无熟料水泥,包括石灰粉煤灰水泥(将干燥的粉煤灰掺入 10%~30% 的生石灰或消石灰和少量石膏混合粉磨,或分别磨细后再混合均匀制成的水硬性胶凝材料)和纯粉煤灰水泥;粉煤灰作砂浆或混凝土的掺合料,在混凝土中掺加粉煤灰代替部分水泥或细骨料,不仅能降低成本,而且能提高混凝土的和易性,提高不透水、气性,抗硫酸盐性能和耐化学侵蚀性能,降低水化热,改善混凝土的耐高温性能,减轻颗粒分离和析水现象,减少混凝土的收缩和开裂以及抑制杂散电流对混凝土中钢筋的腐蚀。

粉煤灰在建筑制品中的应用:蒸制粉煤灰砖,以电厂粉煤灰和生石灰或其他碱性激发剂为主要原料,也可掺入适量的石膏,并加入一定量的煤渣或水淬矿渣等骨料,经过加工、搅拌、消化、轮碾、压制成型、常压或高压蒸汽养护后而形成的一种墙体材料;烧结粉煤灰砖,以粉煤灰、黏土及其他工业废料为原料,经原料加工、搅拌、成型、干燥、焙烧制成砖;蒸压生产泡沫粉煤灰保温砖,以粉煤灰为主要原料,加入一定量的石灰和泡沫剂,经过配料、搅拌、浇注成型和蒸压而成的一种新型保温砖;粉煤灰硅酸盐砌块,以粉煤灰、石灰、石膏为胶凝材料,煤渣、高炉矿渣等为骨料,经加水搅拌、振动成型、蒸汽养护而成的墙体材料;粉煤灰加气混凝土,以粉煤灰为原料,适量加入生石灰、水泥、石膏及铝粉,加水搅拌呈浆,注入模具蒸养而成的一种多孔轻质建筑材料;粉煤灰陶粒,以粉煤灰为主要原料,掺入少量黏结剂和固体燃料,经混合、成球、高温焙烧而成的一种人造轻质骨料;粉煤灰轻质耐热保温砖,是用粉煤灰、烧石、软质土及木屑进行配料而成,具有保温效率高、耐火度高、热导率小等优点,能减轻炉墙厚度,缩短烧成时间,降低燃料消耗,提高热效率,降低成本。

粉煤灰作农业肥料和土壤改良剂:粉煤灰具有良好的物理化学性质,能广泛应用于改造重黏土、生土、酸性土和盐碱土,弥补其酸瘦板粘的缺陷,粉煤灰中含有大量枸溶性硅钙镁磷等农作物所必需的营养元素,故可作农业肥料用。

回收工业原料:回收煤炭资源,利用浮选法在含煤炭粉煤灰的灰浆水中加入浮选药