

1

E JISHU ZAI

GUOCHENGZHONG

YINGYONG DE YANJIU

电化学技术在选煤过程中应用的研究

董宪姝 编著

煤炭工业出版社

“863”计划(2007AA05Z316)

拔尖创新人才计划

资助

电化学技术在选煤过程中 应用的研究

董宪姝 编著

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

电化学技术在选煤过程中应用的研究/董宪姝编著. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2010

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3743 - 7

I. ①电… II. ①董… III. ①电化学 - 应用 - 选煤 - 研究
IV. ①TD94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 199228 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 880mm × 1230mm¹/₃₂ 印张 11¹/₈
字数 283 千字
2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷
社内编号 6553 定价 30.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

本书着重研究了电化学技术在选煤过程中的应用。细粒煤是带有电荷的，而这些电荷又基本上集中在胶体部分，虽然电荷量很小，但正是这些电荷决定了细粒煤的一系列电化学特性。这些电化学特性对解决高硫煤的脱硫、难沉煤泥水的沉降及细粒煤的脱水问题有着非常重要的作用，尤其是在选煤过程中运用电化学方法解决相应的问题，既方便又有效。电化学与选煤中的浮选方法相结合脱除高硫煤中的硫，既能克服物理方法对细粒级煤和黄铁矿呈细粒嵌布的高硫煤难选困难，又能解决化学脱硫方法对煤质本身结构损坏的缺点。难沉降煤泥水在电化学的作用下，可发生电极反应形成絮团而达到固液分离的目的。脱水是在电场作用下液体靠电力推动与固体分离的过程，在该过程中液流对滤饼毛细管的变化不十分敏感，即流动速率不会因空隙度的减小而明显减弱，因而电化学方法适合于微细粒物料的脱水。

本书主要包括以下内容：①电化学强化浮选脱硫过程的研究。主要介绍了在不同的酸、碱、中性盐和有机酸电解质溶液中电化学强化浮选脱硫过程及效果的变化规律，以及在电化学强化浮选过程中加入超声和助剂，对电化学强化高硫煤浮选脱硫效果的影响规律，同时利

用激光粒度分析和表面润湿性试验研究电化学处理前后煤表面性质的变化,并对电化学强化浮选的机理进行探讨。②电化学预处理对煤泥水絮凝沉降过程的影响研究。主要介绍了在不同的条件下,电化学方法对煤泥水进行预处理,考察煤泥水的絮凝沉降规律,深化对其絮凝机理的认识,从而得到最优工艺条件,为煤泥水处理新方法的进一步开发及实现工业化提供理论依据。③细粒煤电化学脱水规律及机理的探讨。利用煤带微电荷的基本特性,通过分析细粒煤性质、电化学各因素对脱水效果和能耗的影响以及各个因素之间的相互关系,进一步研究细粒煤电化学脱水机理,探索一种可以在实际生产中应用的电化学脱水方法。

本书既有基础理论深入浅出的介绍,又有翔实可靠的数据和图表说明。

本书得到国家高技术研究发展“863”计划(2007AA05Z316)和山西省中青年拔尖创新人才计划资助,在此表示感谢。

本书可作为高等院校相关专业的教学参考书,也可以供从事煤的脱硫、煤泥水处理和细粒煤脱水等工作的科技人员、教师及研究生参考。

由于作者水平有限,书中还有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2010年6月

目 次

1 绪论	1
1.1 选煤在国民经济中的作用	1
1.2 选煤过程中存在的问题	2
1.3 电化学基础	17
1.4 电化学技术在煤加工中的应用	25
2 电化学强化浮选脱硫过程的研究	35
2.1 酸、碱、盐电解质中强化浮选脱硫的研究	35
2.2 浮选最佳条件的确定	40
2.3 碱性电解质中煤电化学强化浮选脱硫过程的研究	47
2.4 酸性电解质中煤电化学强化浮选脱硫过程的研究	55
2.5 中性电解质条件下电化学强化浮选脱硫过程的研究	60
2.6 有机酸电解质条件下电化学强化浮选脱硫过程的研究	66
2.7 电化学浮选脱硫机理的推测	68
3 添加助剂对煤电化学强化浮选脱硫过程的影响	73
3.1 助剂对煤电化学强化浮选脱硫的研究	73
3.2 氧化性助剂对电化学脱硫效果的影响研究	74
3.3 还原性助剂对电化学脱硫效果的影响	81
3.4 其他助剂对电化学脱硫效果的影响	86
4 施加超声波对煤电化学强化浮选脱硫过程的影响	96
4.1 概述	96

4.2	超声波对煤电化学强化浮选脱硫的研究	106
4.3	施加超声波对煤浮选脱硫的影响	109
4.4	同时施加超声波和电化学强化对煤浮选速度的影响	113
4.5	同时施加超声波和对电化学强化对煤浮选脱硫的影响	114
5	电化学预处理对煤泥水絮凝沉降过程的影响	121
5.1	电化学强化对煤泥水沉降的研究	121
5.2	煤泥水温度的影响	123
5.3	煤泥水 pH 值的影响	125
5.4	电解质种类的影响	127
5.5	电化学预处理对煤泥水 pH 值的影响	134
5.6	机理分析	137
6	用真空抽滤—电渗联合工艺进行细粒煤脱水过程的研究	147
6.1	理论基础	147
6.2	真空抽滤—电渗联合脱除细粒煤水分的研究	156
6.3	电渗过程中工艺条件对细粒煤脱水效果的影响	159
6.4	煤浆系统性质与电渗过程的相互影响	164
6.5	电渗脱水数学模型的研究	174
7	不同电解质对细粒煤电化学脱水效果影响的研究	197
7.1	试验装置和方法	197
7.2	细粒煤电化学脱水探索性试验	200
7.3	不同电解质对细粒煤电化学脱水效果的影响	209
7.4	电动电位对细粒煤电化学脱水效果的影响	259
8	表面活性剂对细粒煤电化学脱水性能影响的研究	273

8.1	试验部分	273
8.2	表面活性剂对电化学脱水效果的影响	274
8.3	正交试验及细粒煤粒度对电化学脱水 效果的影响	319
8.4	脱水效果表征及机理探讨	330
参考文献.....		346

1 绪 论

1.1 选煤在国民经济中的作用

选煤是煤炭生产中提高煤炭质量和经济效益的重要环节。原煤经过洗选加工，清除一部分杂质，降低原煤灰分、硫分，为用户提供质量稳定、品种对路的商品煤，有利于合理利用资源，节约能源，减少无效运输，减少燃烧对环境的污染，提高企业经济效益、社会效益和环境效益。

选煤是煤炭工业的重要组成部分，它在国民经济中有着非常重要的作用：

(1) 保证煤炭质量。现代煤炭工业的特征之一是采掘高度机械化，在这种条件下，煤层夹石和顶底板岩石经常混入煤中，因而要靠选煤来改善和保证产品质量。对于赋存条件较差的低质煤层，更要通过分选使之得到利用，以扩大资源回收。对水力化采煤矿井，选煤更是不可缺少的生产环节，因为水采原煤的脱水、煤泥处理及生产用水的净化复用，都要靠选煤作业来完成。

(2) 适应用户的不同需求，经济有效地利用煤炭资源。不同的煤炭用户对煤炭质量规格有特定要求，通过选煤生产多种煤炭产品，才能保证煤炭的合理使用，提高能源利用效率，减少资源浪费。例如，炼焦的精煤灰分每增减 1%，焦炭灰分随之升降 1.33%，它能影响高炉的产铁能力下降或提高 3% ~ 4%。煤中含硫量的影响 8 倍于灰分的影响，而且严重危及钢铁质量，因此冶金工业必须使用洗选后的低灰、低硫优质炼焦精煤。选煤还有助于开拓新的用煤领域，生产超低灰分煤炭，满足各种特殊用途（如制造水煤浆）的需要，代替日渐枯竭的石油资源。

(3) 避免无效运输, 减少运力浪费。煤炭是大宗货物, 在铁路货运量中占 40%。由于中国的产煤矿区多远离耗煤多的工业发达地区, 因而运量大, 里程长。通过选煤就地排弃矸石和其他杂质后可大幅度减轻运输的负担, 显著地增加经济效益。

(4) 提供优质燃料, 减轻环境污染。中国的一次能源约 3/4 取自煤炭。燃用煤炭产生的大量 SO_x 、 CO_x 、 NO_x 和烟尘等是城市大气环境的主要污染源。使用加工后的优质煤炭, 是减轻燃煤污染、减少有害气体和烟尘排放量的重要途径。对于高硫原煤, 更需要通过选煤排除硫化矿物, 减轻燃煤的 SO_2 污染, 避免引起酸雨。

(5) 增强煤炭市场竞争能力, 提高企业经济效益。煤矿拥有选煤加工能力, 优化产品结构, 才能对市场需求变化作出快速反应, 增强在国内外煤炭市场中的竞争能力, 利于煤矿的生存和发展。

1.2 选煤过程中存在的问题

由于选煤在国民经济中有着非常重要的作用, 针对选煤工业实施过程的科学研究和技术开发, 一直是煤炭工业应用领域非常活跃的课题。到目前为止, 煤炭洗选过程中仍存在许多亟待解决的问题。

1.2.1 提高煤炭洗选过程中硫的脱除率的问题

煤中硫根据其存在形态, 通常分为有机硫和无机硫两大类。有机硫是指与煤的有机结构相结合的硫; 而无机硫则是以无机物形态存在的硫, 通常以晶粒状态夹杂在煤中, 如黄铁矿等。

由于煤的有机质化学结构十分复杂, 因此煤中有机硫的组成也极为复杂, 至今对煤中有机硫的认识还不够充分, 但大体上测定出煤中有机硫以如下 5 种结构的官能团存在于煤中:

(1) 硫醇类 $\text{R}-\text{SH}$ ($-\text{SH}$ 叫做巯基)。

(2) 硫化物或硫醚类 $\text{R}-\text{S}-\text{R}'$ 。

(3) 含噻吩环的芳香体系, 如噻吩、苯并噻吩、二苯并噻吩、萘并苯并噻吩等。

(4) 硫醌类, 如对硫醌。

(5) 二硫化物和物 RSSR' 或硫蒽。

其中, R 和 R' 表示烷基或芳基。含有上述结构的硫有机物从干馏煤所得的焦油产品中都能检测到, 但不同的含硫有机物的组分与煤的煤化程度深浅有关。通常在低煤化程度的高硫煤中含有低分子量的有机硫化物较多, 而在煤化程度较高的高硫煤中则高分子量的有机硫化物比例较大。在这些含硫官能团中, 硫醇基团和二硫化物可能是次生产不稳定的, 在煤化过程中不可能保留下来; 相反, 噻吩类硫结构是非常稳定的, 即使在高温炭化时也能与有机质缩聚成高分子硫化化合物。另外, 在噻吩类有机硫中, 二苯并噻吩脱硫最困难, 其次是噻吩、苯并噻吩、萘并苯并噻吩等。

煤中的无机硫来自矿物质中各种含硫化物, 主要以硫化物硫的形式存在, 还有少量的硫酸盐硫。无机含硫矿物质以黄铁矿 (FeS_2) 为主, 有时有少量白铁矿 (FeS_2)、砷黄铁矿 (FeAsS)、黄铜矿 (CuFeS_2)、石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、绿矾 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、方铅矿 (PbS)、闪锌矿 (ZnS) 等。

煤中黄铁矿和白铁矿从组成上来说都是 FeS_2 , 以结核、晶粒分散在煤中或煤裂隙表面, 所不同的是在晶格结构上。黄铁矿为等轴晶系, 相对密度 5.0, 温度超过 700°C 时会很快分解; 而白铁矿为斜方晶系, 相对密度为 4.87。相比较而言, 黄铁矿非常稳定, 而反应性比白铁矿差。白铁矿加热到 450°C 就能缓慢地转化成化学反应性较小的黄铁矿, 而且在任何温度下, 这种变化都是不可逆的, 但这两种硫化铁矿的化学性质是相似的。

煤中硫酸盐硫以钙、铁、镁和钡的硫酸盐类形式出现, 它们存在于煤中的比例与煤接触空气的时间有关。例如, 硫酸铁溶于水, 其浓度随煤在空气中暴露时间的增加而增大。通常, 硫酸盐

硫主要以 CaSO_4 形式存在, 分布在煤层风化带, 还含有 FeSO_4 。

根据煤中存在的不同形态硫能否在空气中燃烧, 煤中硫又可分为可燃硫和不可燃硫。前述有机硫、硫铁矿硫和单质硫都能在空气中燃烧, 都是可燃硫。在煤炭燃烧过程中不可燃硫仍旧残留在煤灰硫中, 所以又叫固定硫, 如硫酸盐硫就属于固定硫。

煤中各种形态硫的总和叫全硫 (记作 S_t)。也就是说, 全硫通常就是煤中的硫酸盐硫 (记作 S_s)、硫铁矿硫 (记作 S_p)、单质硫 (记作 S_{cl}) 和有机硫 (记作 S_o) 的总和, 即

$$S_t = S_s + S_p + S_{cl} + S_o$$

我国煤中全硫的含量很不一致。有的很低, 小于 0.2%, 如我国东北、华北地区煤田的含硫量较低。有的地区较高, 如我国中南、西南地区煤田, 有些高达 10% 左右。

煤炭未经洗脱硫直接燃烧所产生的 SO_2 是造成酸雨的主要成分, 酸雨对水质造成了极大的危害。酸雨造成农作物和森林大面积死亡, 产量降低, 品质变差。在美国, 因酸雨的危害每年所造成的经济损失在 5 亿美元以上。在日本, 由于大气污染造成的“煤叶枯病”也是相当严重的。在我国, 酸雨的危害已经波及 24 个省、市、自治区。1995 年, 我国因酸雨造成的农作物、森林和人体健康等方面的经济损失为 1100 多亿元, 已接近我国国民生产总值的 2%, 成为制约我国经济和社会可持续发展的重要因素。根据初步统计结果, 2005 年, 我国 SO_2 排放量比 2000 年增加了 27%, SO_2 排放总量和工业 SO_2 排放量两项指标不但没有下降, 反而有所反弹。大气污染已经成为一个国际性的严重问题。解决此问题的根本途径是减少矿物燃料的利用, 但这不仅对于经济欠发达国家, 就是对于发达国家都需要较漫长的时间。据估计, 矿物燃料, 特别是煤炭, 在 2050 年以前仍将是我国的主要能源, 而且煤的利用量随能源的利用总量增加也进一步增加。特别是近年来我国所出现过的严重电力短缺现象, 势必会增加火电在能源结构中的比重。与此同时, SO_2 的排放也随之加剧, 而世

界各国对 SO_2 的检测指标控制得更加严格。所以,如何解决煤炭带来的环境影响,使现有的能源系统向环境无害化转化是非常重要的,对煤中硫的控制就是其中一个重要的选择。

另外煤中的硫不仅污染环境,而且在煤炭的某些加工(炼焦和炼钢)利用中也是相当不利的因素。炼焦是煤化工中工艺比较成熟、规模较大的工业,炼焦用煤对煤中硫含量就有严格的要求,一般要求煤中的全硫含量小于 1%,焦炭的硫含量取决于焦炉装炉煤的硫含量。焦炭中硫分每增加 1%,助溶剂消耗量将增加 12%,焦炭消耗量将增加 10%,高炉生产能力相应降低。装炉煤的硫分约有 60%~70% 进入成品中,炼钢时又转入生铁中,增加了铁的热脆性,对钢铁的生产造成连锁性的影响。

以上各种情况长此以往将会给人民的生活以及工农业的生产带来更大的损害。可见,寻求一种高效、温和、低廉的煤的脱硫方法,已经成为世界各国煤炭加工利用迫在眉睫的问题。

鉴于低灰、低硫优质洁净煤的潜在市场及对环境保护的意义,国内外选煤工作者把对煤炭的深度脱灰、脱硫(尤其是硫铁矿硫)作为今后一个时期的选煤重点之一。要用物理或物理化学方法实现深度脱灰、脱硫,必须将煤炭磨细使之与矿物质呈单体解离状态。因此,必须解决细粒或极细粒煤的分选和脱水问题,这是世界选煤研究的热点。国外有希望产业化的技术有使用微细磁铁矿粉的小直径重介旋流器选煤、微泡浮选柱和选择性絮凝浮选(或油团法)。在脱水方法上,美国趋向于采用超高速离心机,欧洲则趋向于采用加压过滤机或隔膜挤压压滤机。

物理脱硫法是依据煤炭颗粒与含硫化合物的密度、磁性、导电性及其悬浮性差异而除去煤中无机硫的方法,目前已有成熟工艺和设备。物理法具有工艺简单,投资少、操作成本低的优点,但不能脱除煤中有机硫,对黄铁矿硫的脱除率一般在 50% 左右。该法包括重力选脱硫、磁电选脱硫、浮选脱硫等。

重力选脱硫是根据矿粒间存在的密度差异,在运动介质中分

选时所受重力流体动力和其他机械力的不同,从而实现按密度分选的过程。煤脱硫方法中属于重力选矿的方法有重介分选脱硫、螺旋分选脱硫、水解质分选和摇床分选脱硫等,相应分选设备的脱硫率见表 1-1。煤中黄铁矿的密度在 $3.2 \sim 3.4 \text{ g/cm}^3$ 之间,虽低于纯矿物黄铁矿的密度 (5.0 g/cm^3),但由于煤中有机质的密度均在 1.8 g/cm^3 以下,所以煤中黄铁矿和煤中有机质的密度差别相当显著,可通过重力选煤方法脱除单体解离等部分连生体状态的黄铁矿。

重力选煤是最经济的选煤方法之一,其有效分选的粒度下限为 0.2 mm 。因此当分选 0.2 mm 以上的矿物时,对脱除煤中黄铁矿来说总是首选重力选煤方法。

表 1-1 重力分选设备及其脱硫率

设 备	入料粒度/mm	脱硫率/%	使用规模
摇床	6.0 ~ 0	37.18	工业生产
离心摇床	13.0 ~ 0	70.00	工业生产
螺旋分选机	2.0 ~ 0	50.00 ~ 60.00	工业生产
水介旋流器	0.5 ~ 0	67.06	工业生产
重介旋流器	45.0 ~ 0	53.74 ~ 72.12	工业生产

在重力选煤中,重介质法前景最被看好,该法的主要优点:
 ①可以严格地按密度分选,分选效率高;②能有效地分选难选煤和极难选煤;③对原煤的适应性强,生产中受给煤量和原煤质量波动的影响较小;④入选粒度范围宽,入料上限大,其上限可达 $500 \sim 1000 \text{ mm}$,因此可代替人工手选,使选煤过程全部机械化;⑤重介质分选设备构造简单,生产操作和工艺过程的调整比较方便等。但该法的缺点也很明显,分选前需预先筛分出细小的矿粒;受加重质自身密度的限制,悬浮液不能得到高品位的最终精矿。

浮选即泡沫浮选,浮选过程从宏观看是一个物理过程,其本质是实现物料分离;从微观看,浮选的发生过程是一系列物理的、化学的及物理化学过程。这种方法所分离的物质与其密度无关,主要取决于其表面性质的差异。能浮出液面的物质对空气的表面亲和力比对水的表面亲和力大。

浮选技术目前发展较慢,但由于广大科技工作者近几年来在这一领域仍然进行着不懈的努力和探索,在浮选技术理论及应用方面取得了许多研究进展。首先是浮选前的调浆技术越来越受重视。浮选前的矿浆预处理是获得高效浮选的基本前提。在强化矿物浮选的方法中,有化学调节法和物理调法两种:通过在矿浆中添加化学药剂或通过诸如磁、电、声、温度调节等物理手段以达到改变矿物表面性质的目的。目前在物理调浆方面取得了一些进展。在关于细粒浮选若干问题的解决方案的研究中发现,高剪切调浆去除了颗粒表面的亲水氧化层,促进了颗粒与溶气浮选气泡的黏附。A. S. Murphy 对超细难浮煤的浮选研究结果表明,高剪切调浆可以在不增加额外浮选药剂用量的情形下获得更好的浮选效果,并证明这一过程产生的微絮团和微细煤粒粒度增大效应是导致后续浮选产率提高的重要因素,报道了高剪切调浆对 Jameson Cell 浮选槽分选效果与处理能力影响的实验室研究结果。康文泽等从超声波对矿物表面电位、矿物粒度以及超声波对矿浆 pH 值和温度等方面的影响进行了研究,研究结果表明,超声波处理是矿物浮选调节的一种有效手段。其次,在浮选理论上取得了一些进展,最重要的是 Paul A Harvey 等,通过煤在 NaCl 和 $MgCl_2$ 溶液中的可浮性研究,考察了气泡/颗粒间双电层的作用,发现煤的浮选高度依赖于溶液 pH、电解质种类及浓度的变化,似乎并不完全受控于双电层的相互作用,提出控制煤在电解质溶液中的浮选行为的可能机理是:电解质离子对疏水煤表面增生的荷电亚微观尺度气泡的稳定作用。该法具有工艺简单、投资少、操作成本低的特点,已经大规模地应用于生产且是选煤方法中分

选下限最大的方法，但其下限也只能达到 $20\ \mu\text{m}$ 左右；另外，在入料煤泥细粒级（如 $50\ \mu\text{m}$ 颗粒）含量过高的情况下，常规浮选的分选效果很差；再者，常规浮选也无法脱除有机硫。

磁选是在不均匀磁场中利用矿物之间的磁性差异而使不同矿物实现分离的一种矿物分选法。煤中的有机质基本上都是抗磁性的或逆磁性的，而煤中的大部分矿物如黏土、黄铁矿、页岩等含铁矿物质则为顺磁性的，因此，可利用煤中矿物质的磁性不同进行磁法分选。该方法主要有两种，一种叫 Magnex 磁性分离法，另一种叫高梯度磁选法（HGMS）。前者是通过煤的预处理使矿物质磁性增强，而后者是通过利用分离设备本身的磁性特性如强磁场和高梯度，来去除弱顺磁性物质。磁分离法在脱除黄铁矿（包括微细粒黄铁矿）方面很有效，得到的精煤回收率较高，适宜于对低灰低硫煤进行深度脱硫且分选；但不能脱除有机硫，也不适用于高硫煤的脱硫。

煤电选的目的是脱除无机硫和降低灰分，提高煤的含碳量。煤的电选，既可以用常规的电选法处理，也可以采用接触摩擦电选法。目前许多国家都在研究煤的电选，取得了较好的效果。各种资料表明，应用电选的范围更加扩大，处理的各种矿石量日益增加。中国矿业大学在国内开展摩擦静电分选技术的研究，并通过省级科委组织的中试鉴定，目前正在进行工业性试验，它能有效处理小于 $0.04\ \text{mm}$ 的物料，粉煤灰分小于 2% ，在微粉煤燃前脱硫、超低灰洁净煤等方面有良好的应用前景。该法在脱无机硫和脱灰方面效果理想，但该法目前仍在进行工业性试验。另外，影响电选的因素也比较多，一方面是电选机本身的各种因素，另一方面是物料的各种性质。

油团聚是采用与水不互溶的油，通过选择性润湿和团聚从悬浮液中分选固体颗粒。通常煤颗粒本身是疏水的，在高剪切力下不断搅拌的水煤浆中，添加非极性油使其润湿疏水性的煤粒；覆盖油的煤粒很容易互相黏附并形成球团，而亲水性的矿物颗粒则

不受影响，仍悬浮在水中，最后可用物理方法将球团与分散性的亲水性的矿物颗粒分开。有效的油团聚过程，取决于固—油、固—水和油—水界面的性质。通常使用燃料油作桥连液体，并加入一定 Na_2CO_3 (0.2% ~ 0.5%) 以增加煤浆的 pH 值，并用作黄铁矿的抑制剂和黏土颗粒的分散剂。

中国矿业大学（北京校区）已成功开发出一套脱除煤中细粒嵌布黄铁矿硫的新工艺——高剪切疏水聚团浮选脱硫新工艺。其方法是先用新型搅拌磨机对煤进行磨细，以使煤中微细粒黄铁矿充分解离，然后用调整剂调整适合浮选的矿浆 pH 值，加入拥有自主知识产权的煤黄铁矿无机抑制剂对黄铁矿进行抑制，实现浮煤脱硫。使用该法黄铁矿的脱除率为 75% ~ 90%，脱硫成本为吨原煤 15 ~ 40 元。该法具有高效、低能耗、工艺简单、成本低和灰分降低明显的优点；但作为一种物理方法，对煤中的有机硫没有脱除作用。

煤的微生物脱硫也是针对性强的脱硫方法。它是通过培育出针对含硫化合物的菌种，利用煤中含硫化合物的生物化学反应，使含硫化合物氧化后，用酸洗、沥滤的方法实现脱硫。微生物浸出用于煤脱硫，具有只需室温、低压的温和条件，对煤有机质破坏小的优点，在美、德、日、加、中国等均取得了许多煤微生物脱硫研究成果。欧共体在意大利建成了处理能力 50 kg/h 煤微生物脱硫的示范厂，以期为该工艺商业化提供必要的经济、技术数据。目前煤的微生物脱硫主要有生物浸出法和微生物表面处理法两种。生物浸出法就是利用微生物的氧化作用将黄铁矿氧化分解成铁离子和硫酸，硫酸溶于水后将其从煤炭中排除的脱硫方法。该法的优点是装置简单，只需在煤堆上面撒上含有微生物的水，通过水浸透在煤中实现微生物脱硫。生成的硫酸在煤堆的底部收集，从而达到从煤中去除硫的目的。这种方法技术上比较成熟，脱硫效率也令人满意。由于是将煤中的硫直接代谢转化，当采用合适的微生物时，还能同时处理煤中的无机硫和有机硫，理论上