

聚合物絮凝与助滤作用机理

郭玲香 / 编著

JU HE WU XU NING
YU ZHU LV ZUO YONG JI LI

16.2
2

东南大学出版社
Southeast University Press

图书在版编目(CIP)数据

聚合物絮凝与助滤作用机理/郭玲香编著. —南京:
东南大学出版社, 2007. 6

ISBN 978—7—5641—0715—4

I. 高... II. 郭... III. ①高聚物—絮凝 ②高聚
物—过滤 IV. TQ316. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 044991 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人: 江 汉

新华书店经销 扬州鑫华印刷有限公司印刷

开本: 880mm×1230mm 1/32 印张: 6.5 字数: 160 千字

2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978—7—5641—0715—4/TU·114

定价: 15.00 元

(凡因印装质量问题, 可直接向读者服务部调换。电话: 025—83792328)

内 容 简 介

本书着重研究了高分子聚合物絮凝和助滤作用机理。主要分4部分:

首先,合成了一种新型的阳离子絮凝剂型助滤剂——PQAAM接枝共聚物。

其次,研究了阴离子、阳离子、非离子型絮凝剂对细粒煤的絮凝沉降作用和助滤脱水作用,并应用扩展的DLVO理论解释了高分子聚合物对细粒煤的絮凝和助滤作用。

再次,借助透射电子显微镜拍摄了细粒煤“架桥”絮凝过程中絮团动态形成图像,应用数学形态学理论,实现了高分子聚合物絮凝作用机理的定量化研究。

最后,借助扫描电子显微镜拍摄了滤饼微观结构图像,应用数学形态学理论实现了高分子絮凝助滤剂作用机理的定量化研究。并应用分形理论研究了高分子絮凝剂对滤饼微观结构的影响,完善了过滤理论。

各章既有基础理论深入浅出的介绍,又有翔实可靠的数据和清晰的图表说明。

本书可做为高等院校相关专业的教学参考书,也可以供从事高分子絮凝剂、助滤剂合成和应用工作的科技人员、教师及研究生参考。

前 言

随着高分子合成技术的不断发展,高分子絮凝剂被广泛地用于界面分选、固液分离和水处理等领域。高分子聚合物絮凝助滤作用机理的研究具有跨学科、跨工程性质。它不仅在矿物加工工程领域获得广泛应用,在环境工程(尤其是水处理)、轻工业、食品工业及化学工程等领域也已经或正在获得富有成效的实际应用。高分子聚合物在煤炭工业中也具有广阔的用武之地,特别是细粒煤添加絮凝剂型助滤剂,能够强化细粒煤脱水,对煤炭加工与洁净煤技术发展具有深远的意义。因此深入地量化研究聚合物絮凝和助滤作用机理具有十分重要的理论意义和实践价值。

本书突破以往高分子聚合物絮凝作用机理定性研究的局限性,利用电子显微镜技术分别获得煤泥絮团动态形成图像和滤饼图像,应用数学形态学理论,提取了与絮凝过程、滤饼孔隙有关的特征结构参数,深入细粒煤泥絮凝过程的微观领域和滤饼微观结构,不仅实现了高分子聚合物的絮凝作用机理和助滤作用机理的量化研究,进一步完善了过滤理论,而且还丰富与发展了数学形态学理论和分形理论的应用领域。

本书以笔者长期从事科研工作所取得的成果为基础,并引用国内外最新相关文献内容,经修改、整理和扩充,汇集而成。在笔者进行本书主要内容研究过程中,得到了中国矿业大学欧泽深教授的精心指导和郑文华高级工程师的无私帮助,在此表示衷心的感谢。笔者期望此书的出版将有助于广大工程界及科学界对

有机高分子聚合物的絮凝和助滤作用机理加深认识,引起兴趣,从而促进絮凝和助滤技术在不同工程领域的广泛应用。

限于笔者的学识水平,本书虽涉及较多学科,但仍不能对高分子聚合物的絮凝和助滤作用机理研究做完整的概括。因时间较仓促,书中谬误之处在所难免,敬请各位专家学者不吝赐教。

感谢东南大学科技出版基金的资助,同时谨致深深的谢意给所有为本书出版辛勤工作的东南大学出版社的编辑同志。

编 者
2007 年 1 月

目 录

1 绪论	1
1.1 强化细粒煤脱水技术的研究进展	2
1.2 高分子絮凝剂的研究进展	7
1.2.1 絮凝剂型助滤剂的应用开发及助滤机理研究现状	7
1.2.2 高分子聚合物絮凝作用机理研究现状	10
1.3 本书的主要研究内容及研究宗旨	23
1.3.1 主要研究内容	23
1.3.2 研究宗旨	24
2 聚季铵盐丙烯酰胺接枝共聚物的合成实验研究	25
2.1 聚季铵盐丙烯酰胺接枝共聚物的研制	25
2.1.1 合成方法的选择	25
2.1.2 实验内容	26
2.2 自由基聚合反应机理及微观动力学	32
2.2.1 自由基聚合反应机理	32
2.2.2 自由基聚合微观动力学	36
2.3 PQAAM 接枝共聚物合成实验结果及讨论	38
2.3.1 反应温度的影响	38
2.3.2 反应时间的影响	39
2.3.3 异丙醇浓度的影响	40
2.3.4 聚季铵盐浓度的影响	43

2.3.5	原料配比的影响	45
2.3.6	接枝共聚物浓度的影响	47
2.4	PQAAM 接枝共聚物主要性能研究	48
2.4.1	PQAAM 接枝共聚物对煤的疏水作用	49
2.4.2	PQAAM 接枝共聚物在煤粒表面的吸附作用 ...	49
2.4.3	PQAAM 接枝共聚物对煤粒表面电位的降低作用	51
2.4.4	PQAAM 接枝共聚物对细粒煤的絮凝作用	52
2.4.5	PQAAM 接枝共聚物对细粒煤的脱水作用	53
	本章小结	59
3	高分子聚合物对细粒煤絮凝及助滤作用的研究	60
3.1	高分子聚合物对细粒煤的絮凝作用研究	60
3.1.1	高分子聚合物对细粒煤的絮凝作用基本原理 ...	60
3.1.2	煤泥水性质及絮凝剂	62
3.1.3	实验内容	62
3.1.4	实验结果及分析	63
3.2	高分子聚合物对细粒煤的助滤作用研究	73
3.2.1	实验内容	73
3.2.2	PQAAM 接枝共聚物对细粒煤的助滤作用 ^[73] ...	74
3.2.3	非离子型聚丙烯酰胺 PAM 对细粒煤的助滤作用	77
3.2.4	阴离子型聚丙烯酰胺 HPAM 对细粒煤的助滤作用	80
3.2.5	PQAAM 与 PAM、HPAM 联合使用对细粒煤的助滤作用	85
3.3	细粒煤泥水悬浮液体系中扩展的 DLVO 理论及其应用	87
3.3.1	扩展的 DLVO 理论(EDLVO)	87

3.3.2	颗粒间相互作用能的理论计算	88
3.3.3	扩展的 DLVO 理论在煤泥水悬浮液体系中的应 用	91
	本章小结	97
4	基于数学形态学理论的絮凝剂作用机理研究	99
4.1	数学形态学理论及应用的研究现状	99
4.1.1	数学形态学的历史及特点	99
4.1.2	数学形态学的理论及应用模型研究现状	101
4.2	数学形态学理论中的几个重要概念	102
4.2.1	数字图像	102
4.2.2	二值图像	102
4.2.3	结构元素	103
4.2.4	形态变换	104
4.2.5	距离	104
4.2.6	邻点、邻域、邻接和路径	105
4.2.7	连接成分和欧拉数	106
4.3	二值图像的形态变换基本原则及其性质	107
4.3.1	图像的反射和图像的平移	107
4.3.2	二值图像形态变换的基本原则	108
4.3.3	二值图像的形态变换	110
4.4	数字图像增强处理与二值化处理	113
4.4.1	图像增强	113
4.4.2	数字图像的二值化处理	115
4.5	二值图像处理中数学形态学的应用模型	116
4.5.1	图像形态滤波	116
4.5.2	图像面积与周长的形态学模型	117
4.5.3	图像中子目标分布函数	119
4.6	图像形态骨架和形态细化算法	121
4.6.1	图像形态骨架的定义	121

4.6.2 形态细化算法	123
4.7 基于数学形态学理论的絮凝剂作用机理研究	126
4.7.1 基于数学形态学理论的絮凝剂作用机理研究	126
4.7.2 PQAAM 接枝共聚物溶液形态电镜观察	131
4.7.3 煤泥水电子显微镜实验及其分析	133
4.7.4 煤泥水悬浮液体系“架桥”絮凝电镜实验及分析	134
4.7.5 高分子聚合物对细粒煤的“架桥”絮凝模式	140
本章小结	142
5 滤饼微观结构的研究	144
5.1 过滤理论研究现状	144
5.1.1 过滤理论的研究	145
5.1.2 滤饼结构的研究	153
5.2 基于数学形态学理论的滤饼微观结构研究	154
5.2.1 滤饼微观结构测试	154
5.2.2 滤饼微观结构的主要形式及表征参数	155
5.2.3 基于数学形态学理论的滤饼微观结构研究	156
5.2.4 滤饼微观结构分析	158
5.3 基于分形理论的滤饼微观结构研究	165
5.3.1 分形理论简介	166
5.3.2 分维的定义及测算	169
5.3.3 滤饼孔隙的分形模型	176
5.3.4 滤饼孔隙边界分维数的计算	177
5.3.5 滤饼微观结构与分维数	178
本章小结	181
参考文献	183

1 绪 论

我国煤炭可采储量为 1 145 亿 t, 占世界探明可采储量的 11.1%, 排在前苏联、美国之后, 居第三位。2004 年我国煤炭产量为 19.56 亿 t, 居世界第一, 而美国煤炭产量仅为 12 亿 t。煤炭在我国化石能源资源中所占比例高达 95.5%^[1]。煤炭在一次能源生产和消费中所占比重一直保持在 70% 以上。我国电力燃料的 76%、钢铁能源的 70%、民用燃料的 80%、化工燃料的 60% 均来自于煤炭。可见, 我国是世界煤炭第一生产大国, 煤炭在我国能源消费中具有不可替代的地位^[2]。

随着国民经济的不断发展, 对煤炭产品提出了越来越高的要求, 因此, 必须发展选煤业, 合理利用煤炭资源。然而, 随着采煤机械化程度的不断提高, 加之薄煤层的开采, 从采煤工作面到选煤厂之间煤炭的机械化运输, 使原煤中的细粒物料, 特别是超细粒物料日趋增加, 入选原煤中细粒煤含量多在 20% 以上, 甚至在一些选煤厂, 细粒煤($<0.5\text{ mm}$) 占入厂原煤量的 30%, 其中 <200 目的含量占浮选入料的 60% 以上。目前选煤厂浮选精煤脱水设备普遍采用圆盘过滤机, 而且现有的过滤设备效率低, 工艺流程不完善。当过滤入料中微细粒的含量增加时, 因细粒煤粒度较小、比表面积较大、吸附水的能力较强, 过滤脱水时所形成的滤饼致密、透气性差, 易堵塞过滤介质的孔眼, 使过滤阻力增大, 导致细粒煤脱水速度降低、滤饼水分增高、过滤机处理能力下降等一系列严重问题。因此, 如何提高过滤机的处理能力, 降低滤饼水分, 研究和解决细粒煤的脱水问题迫在眉睫。

目前,我国平均浮选精煤滤饼水分约 28.74%,其中 35%的选煤厂精煤滤饼水分超过 30%^[3]。随着原煤入选比例的提高,特别是当原煤全部入选后,浮选精煤的含水量约占全部产品水分的 60%,导致精煤总水分在 11%~13%,全国平均 12.5%,靠传统的真空过滤机很难达到总精煤水分 $\leq 10\%$ 的要求^[4]。细粒煤水分偏高是造成精煤水分超标的主要原因。细粒煤水分偏高,造成多余水分的无效运输,增加运输成本,浪费运输资源;在贮存过程中,它能加速风化、破裂,甚至自燃;在高寒地区的冬季,使煤冻结,严重影响卸车与铁路运输。对炼焦煤而言,炼焦时增加热能消耗,降低炉温,延长炼焦时间,降低焦炉产量,缩短焦炉寿命,而且不便装卸和运输,燃烧时,降低有效发热量。据统计,煤的水分增加 1%,炼焦时间将延长 20~30 min,煤的水分降低 1%所付出的代价相当于使灰分降低 4.5%的费用,炼焦成本明显增加;而且炼焦过程中由于水分蒸发带走大量热量,损失了煤的热值,增加燃烧消耗,降低焦炭产量 3%~4%。另外,细粒煤水分偏高时,其堆放场地四周煤泥水积聚,精煤随水分流失,既浪费煤炭资源又污染环境,直接给选煤厂与用户带来经济损失。随着煤炭市场竞争的日趋激烈,用户对煤炭产品的质量要求越来越严格,精煤产品水分是煤炭的重要质量指标之一。因此,如何降低细粒煤水分已成为我国选煤厂亟待解决的问题之一。

总之,强化细粒煤脱水已成为煤炭工业中一个非常重要而又亟待解决的难题。研究高效的细粒煤脱水技术和设备,强化细粒煤脱水,不仅能够降低滤饼水分,有利于煤泥回收、环境保护、节约能耗,而且对煤炭洗选加工与洁净煤技术的发展具有深远意义。

1.1 强化细粒煤脱水技术的研究进展

脱水即实现固液分离,是选煤厂煤炭洗选加工的重要工序之

一。细粒煤如浮选精煤和浮选尾煤,主要采用真空过滤机、压滤机和高速沉降离心机等进行脱水。虽然常规的真空过滤在选煤厂仍占主导地位,但随着对煤炭产品质量要求的不断提高,而且从技术经济角度考虑,已难以满足生产需求。世界各国选煤工作者正在寻求更有效的细粒煤脱水方法,包括工艺、设备和各种类型助滤剂的开发。强化细粒煤脱水技术的研究主要有以下几个方面:

(1) 机械脱水是当前最经济,而且有巨大改进潜力的脱水方法,应进一步加强机械脱水技术的研究,如改进过滤设备,采用加压过滤^[5]、高效压滤机^[6]、离心过滤等^[7,8]。

(2) 加强机械与热力吹风相结合的新型脱水方法的研制,如高压吹风技术强化细粒煤脱水^[9]。

(3) 采用各种复合力场联合作用来强化细粒煤脱水,如电渗法^[10],或采用离心力场、磁力场、超声波、高频振动等^[11]。

(4) 掺入粗粒物料,改变悬浮液固相粒度组成,提高给矿中固体含量;采用新的过滤介质,增大过滤面积,强化细粒煤脱水^[12]。

(5) 加入化学助滤剂强化细粒煤脱水。

选矿工艺中所说的助滤剂(filtration aids)是指能够提高过滤效率、减少介质阻塞、促进滤饼疏松、降低滤饼水分的药剂,也被称为滤饼脱水助剂(filtration cake dewatering aids)。按照其作用特征分为无机型助滤剂和有机型助滤剂两大类。有机型助滤剂又可分为表面活性剂型助滤剂和絮凝剂型助滤剂两种。

1. 无机型助滤剂

无机凝聚剂加入滤液后,通过电荷中和作用,降低颗粒表面电位,压缩扩散层,使颗粒双电层重叠产生排斥力的颗粒间距离减小,部分动能较大的颗粒冲破势垒,产生凝聚。其凝聚作用慢,凝聚强度大,絮团小,含水率低。由于在凝聚过程中固体颗粒的水化外壳较薄,其凝聚物不牢固,表面疏水化不完全,用量大。研究发现,无机凝聚剂与絮凝剂或表面活性剂混合使用时,将大大

改善其助滤效果^[13]。

2. 表面活性剂型助滤剂

表面活性剂是一种具有亲水基团和疏水基团的两性化合物,可分为非离子型、阴离子型、阳离子型三类。非离子型表面活性剂不仅能降低滤液的表面张力,还能增大固体颗粒的疏水性。英、美、加、澳、法和前苏联等国在表面活性剂型助滤剂的研究领域较为领先。例如:澳大利亚 Nicol 公司 1976 年就开始研究表面活性剂对细粒煤的助滤脱水作用,并且研制出一系列阴、阳离子表面活性剂;英国 Bradford 联合公司于 20 世纪 80 年代合成的 Drimax 系列被广泛地应用于各种难滤物料过滤的工业实践中,结果表明既能大幅度降低滤饼水分又能提高滤饼产率。钟宏等将非离子表面活性剂 HG-12 与阳离子聚丙烯酰胺 DA-1 适当复合使用,可有效降低硫精矿滤饼含水量 3.1%(质量分数),并提高了过滤速率;又采用具有较高表面活性和絮凝作用的高分子表面活性剂聚氧乙烯 UC-309,其用量为 100 g/t 时,可将滤饼含水量降低 3.9%,使滤饼比阻降低,过滤速率加快^[14]。夏畅斌等应用十二烷基磺酸钠(SDS)和十二烷基溴化胺(DAB)对株州选煤厂的细粒煤进行脱水研究,结果表明:阴、阳离子表面活性剂能够明显地提高细粒煤过滤脱水技术指标^[15]。但因其价格昂贵,在选煤厂未能得到广泛应用。

表面活性剂的助滤机理尚无定论,目前人们普遍认为表面活性剂是通过降低表面张力、增大固液界面的接触角、提高细粒物料的疏水性来强化物料脱水的。Pearse 从固液界面黏着功角度解释了表面活性剂的助滤机理,认为在滤饼脱水的最后阶段,滤饼毛细管中固、液、气三相接触作用力的平衡与固液接触角相关^[16]。流动的空气要排挤水,取代水的位置就必须克服固液界面的黏着功:

$$W_{SL} = \sigma(1 + \cos \theta) \quad (1.1)$$

式中: W_{SL} ——黏着功;

σ ——固液界面表面张力;

θ ——接触角。

式(1.1)表明: 固体表面吸附表面活性剂后, 表面变得疏水, 接触角 θ 增大, 黏着功减小, 空气取代水变得容易, 故有利于物料脱水。

Wakeman 将滤饼中曲折无规则的孔隙视为一束束大小不一的垂直于表面的毛细管, 提出了作用于弯曲的两相界面上的拉普拉斯“附加压强”公式为^[17]:

$$\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1.2)$$

式中: σ ——固液表面张力;

R_1, R_2 ——通过曲面上某一点作曲面的法线, 通过该法线的任一一对应相互垂直的平面和曲面相交所得曲线的曲率半径。

式(1.2)表明: 固体表面吸附表面活性剂后, 固液表面张力 σ 降低, 附加压强 ΔP 随之降低, 从而达到强化物料脱水的目的。其中 R_1, R_2 与接触角有关, 当弯曲面为球面时, 上式可变为:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r} \cos \theta \quad (1.3)$$

式中: r ——毛细管半径;

θ ——接触角。

式(1.3)表明: 当接触角 θ 增大时, 附加压强 ΔP 降低, 有利于物料脱水。

美国瓦罗克等人指出, 添加表面活性剂可提高细粒煤的表面疏水性, 并认为颗粒表面吸附表面活性剂可改变表面能, 从而影响颗粒团聚, 改变滤饼结构, 降低颗粒间的水分^[18]。B. C. 加敏斯基认为表面活性剂强化物料脱水的作用在于: 被疏水化的固体表

面所形成的疏水性毛细管比亲水性毛细管的摩擦阻力小,液体在疏水性毛细管中流速更快^[19]。英国的 Brookes G F 和 Bethell P J 认为,添加药剂能使煤粒的接触角增加并降低 Zeta 电位,从而提高过滤效果。国内钱押林认为表面活性剂的助滤机理是降低滤液表面张力、增强矿粒的疏水性、促进其团聚,从而达到降低比阻、加快过滤速度和降低滤饼水分的目的^[20]。

综观国内外有关表面活性剂助滤机理的研究远非成熟,尚有待于进一步完善。

3. 絮凝剂型助滤剂

絮凝剂一般都是水溶性的聚合长链高分子,具有强烈的天然亲水性,絮凝剂的助滤机理尚无系统性研究。目前普遍认为絮凝剂主要依靠高分子链吸附桥联作用使细粒煤形成絮团,改变物料粒度组成,有效地防止微细粒堵塞过滤介质,形成透气性好、有利于快速脱水的滤饼,从而提高滤饼产率,并得到澄清的滤液。不同相对分子质量的絮凝剂用途各异。一般而言,较高相对分子质量的絮凝剂形成的絮团较大,滤饼中含水量较高,常用于澄清作业,可防止细粒有用成分损失;较低相对分子质量的絮凝剂所形成的絮团较小,滤饼具有均匀的孔状结构,有利于细粒物料脱水,常用于过滤作业^[21]。当絮凝剂种类与用量选择得当时,它既能提高处理能力,又能强化固液分离效果,被广泛地用于煤浆沉降与过滤,在选煤厂具有广阔的用武之地。

4. 化学助滤剂研究发展趋势

添加化学助滤剂具有不改变现有生产规模和设备、见效快、易实施的优点,对于厂家具有更大的使用价值。国内外助滤剂的研究现状及应用开发,充分证明助滤剂的使用为细粒物料的固液分离及节约热能消耗提供了一种经济、有效、易行的方法。化学助滤剂研究的发展趋势为:

(1) 深入系统地研究助滤剂作用机理;研制新型的复合型高效助滤剂,并实现助滤剂试验室研究向工业生产的进一步转化;

(2) 探索助滤剂之间的协同作用机理,进一步完善助滤剂作用机理研究,强化细粒物料的脱水效果;

(3) 采用微生物作化学药剂对细粒煤进行改性,强化脱水效果。

1.2 高分子絮凝剂的研究进展

随着高分子合成工业技术和高分子溶液理论不断发展,人们对高分子聚合物的絮凝作用及助滤机理的认识逐渐深入,又因为高分子絮凝剂是水溶性的线型大分子聚合物,其主要特点是用量少、效果好、适用范围广,且易于脱水处理,在选煤厂被广泛地用作絮凝剂或脱水助滤剂,分别用于煤泥水治理与强化细粒煤脱水。

1.2.1 絮凝剂型助滤剂的应用开发及助滤机理研究现状

1. 高分子絮凝剂型助滤剂的应用开发

早期高分子絮凝剂型助滤剂的研究主要集中于实验室中。20 世纪 50 年代末美国矿山局格尔等人研究了当时可利用的各种天然的与人工合成的高分子助滤剂。1964 年,托马斯等人研究了煤浆过滤中高聚物的作用,并提出了高聚物在颗粒表面的吸附模型,从理论上解释了高分子聚合物的助滤作用^[22]。

近年来,高分子助滤剂的研究多为工业性试验。英国 Bradford 联合公司选矿部进行了高分子聚合物助滤剂的基础研究,并合成了一系列絮凝剂型助滤剂,如合成的 Percol、Magnaflow 等可大幅度降低滤饼水分,同时使矿浆的可过滤性提高一个数量级以上^[23]。前苏联学者利用高相对分子质量的聚氧乙烯作为絮凝剂型助滤

剂,分别进行了铁、煤、非金属矿的过滤试验,证明聚氧乙烯具有絮凝和降低表面张力的双重功能^[24]。美国学者研究了聚氧乙烯的絮凝作用,认为 PEO 是靠分子链的 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 链段有效地吸附于颗粒的疏水部分^[25]。日本的渡道伸一等发现用丙烯酰胺/苯乙烯共聚物(含 5% 丙烯酰胺,平均相对分子质量 1×10^4),以 2% 的剂量加入细粒煤浆中,可以大大提高过滤速度,与硫酸铝相比,过滤时间由 93 min 降至 3 min^[26]。前苏联学者 V. E. Shulyak 等分别研究了聚丙烯酰胺及其与醚类共聚物对细粒煤(灰分 7.9%)的助滤作用,结果表明:聚丙烯酰胺对细粒煤的絮凝和过滤效果最好^[27]。1989 年美国 A. F. Sorki 等人过滤精煤时,应用 VPK-402 絮凝剂,低压下滤饼水分从 35.9% 降低到 30.5%^[28]。

国内研究工作者在高分子絮凝剂作助滤剂方面也取得了一定成果。煤炭科学院唐山分院成功地研制出用于精煤过滤的 1[#] 助滤剂,该助滤剂是两种化合物的共聚物,相对分子质量为 $8 \times 10^5 \sim 10^6$,水解度为 30%~40%,浓度为 6%,其特点是絮凝作用强,形成的絮团小且均匀,抗剪切能力强,形成的滤饼渗透性好,有利于滤饼脱除水分,该药剂在望峰岗选煤厂进行的工业试验表明,可使浮选精煤滤饼水分降低 2%~3%^[29]。北京矿冶研究总院研究出 AF 系列助滤剂,其中 AF_2 平均相对分子质量为 10 万~900 万,用于包钢铁精矿过滤时,可以明显提高过滤速度,降低滤饼水分 2%^[30]。罗茜等提出用疏水性絮凝剂强化浓缩过滤过程的工艺,处理东鞍山浮选铁精矿时,加入非离子型聚丙烯酰胺(PAM),铁精矿滤饼水分下降 1%~2%,处理量提高 5 倍以上;若加入阴离子型聚丙烯酰胺(HPAM),效果更好^[31]。中国矿业大学北京研究生部张晨光博士对天然物田菁胶进行改性,将 $-\text{OH}$ 转化为 $-\text{CH}_2\text{COONa}$,在碱性介质中缩合而成的 MS 型助滤剂,可将老虎台选煤厂及西露天选煤厂浮选精煤水分降低 7% 以上,且降低生产成本^[32]。MFT—助滤剂可使七台河桃山选煤厂滤饼水分平均下降 1.6%,节约干燥所需费用达 3.9 万元/年^[33]。有关文