

选煤新技术

郭德
张秀梅
编著

XUANMEI XINJISHU

 煤炭工业出版社

选煤新技术

郭 德 张秀梅 编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

选煤新技术 / 郭德, 张秀梅编著. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2018

ISBN 978 - 7 - 5020 - 6582 - 9

I. ①选… II. ①郭… ②张… III. ①选煤 IV. ①TD94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 078823 号

选煤新技术

编 著 郭 德 张秀梅
责任编辑 袁 筠 郭玉娟
责任校对 邢蕾严
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010 - 84657898 (总编室) 010 - 84657880 (读者服务部)
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京玥实印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 13¹/₄ 字数 310 千字
版 次 2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷
社内编号 9462 定价 38.00 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, 电话: 010 - 84657880

内 容 提 要

本书较为全面系统地阐述了近年来我国选煤领域的主要实用性技术成果，重点介绍当今选煤实用新技术的发展应用状况，对现有教科书中的内容不作过多涉及，避免重复。全书分为7章，包括煤质资料分析及产品数质量预测、筛分与破碎、重力选煤、浮选技术、其他选煤方法及煤炭脱硫、煤的化学结构物理研究方法以及煤质分析仪、选煤厂生产管道和渣浆泵等。全书轻理论阐述，重实用性，着重培养读者的工程实践应用能力。

本书可作为高等学校矿物加工工程本科专业的教学参考书，也可供相关领域的工程技术人员、管理人员、研究生和一线生产人员学习参考。

前 言

我国的能源和大量化工原材料都依赖于煤炭，煤炭工业是关系国家经济命脉和能源安全的重要基础产业，在未来相当长时期内以煤为主的能源结构不会发生根本改变。2016 年我国煤炭产量约 34×10^8 t，原煤入选量 23.45×10^8 t（炼焦煤 9.85×10^8 t，动力煤 13.6×10^8 t），入选比 68.97%。2020 年我国原煤入选比将达到 70% 以上。

煤炭清洁高效利用是煤炭企业转型升级的大趋势，选煤作为煤炭清洁高效利用的基础性产业，其作用日益凸显。选煤是提高煤炭质量的最重要手段，是煤炭工业的重要生产环节。原煤经过分选加工，可生产出高质量、品种适合各部门需要的商品煤，能大大减少燃煤对大气的污染，具有巨大的经济效益和社会效益。据统计，原煤经过分选加工，可降低灰分 60% ~ 70%，降低硫分 50% ~ 70%，排除 18% ~ 20% 的煤矸石，提高燃煤效率 10% ~ 15%。

近几年来，我国选煤工业发展很快，涌现出了许多新技术、新工艺，选煤装备的性能和可靠性也有很大提高，从选煤大国迈向选煤强国的步伐加快。总结近年来我国选煤技术的发展成就和实用经验，对促进选煤工业的发展具有十分重要的意义。

本书可作为高等学校矿物加工工程专业相关课程教学参考书，同时可供选煤工程技术人员、管理人员、研究生和一线生产人员学习参考。本书突出当今选煤新技术的发展状况，对现有教科书中的内容一般不作过多涉及，较为全面系统介绍了近年来我国选煤领域的主要实用性技术成果，轻理论阐述，重实用性。

全书内容包括原煤资料分析及产品数质量预测、筛分与破碎、重力选煤、浮选技术、其他选煤方法及煤炭脱硫、煤的化学结构物理研究方法及煤质分析仪、选煤厂生产管道和渣浆泵等。内容简明扼要，重点突出，实用性强。

本书由华北科技学院郭德、张秀梅共同编写。第 2 章、第 3 章的 3.1 节、第 5 章和第 6 章由张秀梅编写，其余章节由郭德编写。

本书的编写得到了很多选煤厂、设计单位、科研单位的大力支持，在此深表感谢。郭久传、王国伟、李雅涛、卢娇、王艳珣、刁慧敏、王湛玉等参

与了本书的校正工作。感谢华北科技学院环境工程学院领导以及矿物加工工程系各位老师对本书的支持和帮助。

由于作者水平有限，不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编著者

2018 年 4 月

目 次

1 煤质资料分析及产品数质量预测	1
1.1 煤质资料分析及调整	1
1.2 浮沉资料数学模型的建立与应用	8
1.3 重选产品数质量的预测	12
2 筛分与破碎	15
2.1 大颗粒分级设备	15
2.2 煤泥分级设备	22
2.3 破碎设备	28
3 重力选煤	32
3.1 跳汰选煤技术	32
3.2 重介质选煤	45
3.3 粗煤泥分选	89
3.4 井下排矸技术	97
4 浮选技术	103
4.1 浮选机	103
4.2 离心浮选技术	112
4.3 浮选调浆设备与技术	118
4.4 浮选药剂	126
4.5 选择性絮凝	134
4.6 浮选流程	135
5 其他选煤方法及煤炭脱硫	145
5.1 煤炭干法分选技术	145
5.2 中煤再选	154
5.3 超纯煤的制备	158
5.4 煤炭脱硫技术	161
6 煤的化学结构物理研究方法及其煤质分析仪	170
6.1 煤的化学结构研究	170

6.2 煤质分析仪 183

7 选煤厂生产管道和渣浆泵 189

7.1 选煤厂生产管道 189

7.2 渣浆泵 192

参考文献..... 201

1 煤质资料分析及产品数质量预测

在选煤厂设计和生产技术管理工作中，煤质资料的正确分析十分重要，是产品定位、创新选煤工艺流程、设备选型、工艺布置的主要依据，也是关系到选煤厂投产后产品质量能否得到保证和选煤厂经济效益的重大问题。

《煤炭洗选工程设计规范》(GB 50359—2016) 第 5.1.6 条明确要求“可行性研究和初步设计应对筛分、浮沉试验资料的代表性进行评述。当筛分、浮沉试验资料代表性不足时，应按规定进行调整，使其接近生产实际”。选煤厂设计和技术管理必须要保证煤质资料的代表性。应根据具有代表性的可选性资料，统筹考虑与分选工艺相关的各种因素，通过技术经济量化比较，综合论证，确定分选工艺，合理考虑不均衡系数，减少设备选型失误。选煤方法的确定，除体现最大产率原则外，还要体现经济效益最大化原则。

做好选煤工艺主要环节的合理预测也是十分重要的工作。精煤数质量和煤泥水处理能力的预测是选煤工艺预测的重点。

1.1 煤质资料分析及调整

1.1.1 煤质资料分析

准确掌握原煤煤质特性是做好选煤工艺设计及选煤厂生产管理的前提。动力煤一般采用分级分选，原煤筛分资料的代表性和准确性更为重要。

1.1.1.1 筛分资料分析

煤炭筛分的目的是测定煤的粒度组成和各粒级产物的质量特征。

1. 煤炭大筛分资料

从煤炭大筛分资料中可得到以下信息：①各粒级的数质量。②可见矸石含量、各粒级硫分。③煤质脆、硬情况。如果灰分随粒度减小而减小，包括 $<0.5\text{ mm}$ 粒级灰分也降低，表明煤质脆且易碎，而矸石较硬不易破碎；原生煤泥含量较大，表明煤质脆、易碎；如果大粒级含量高且灰分较低，说明煤质较硬；如果随粒度减小而灰分增加，说明矸石易碎而煤较硬；如果 $<0.5\text{ mm}$ 粒级灰分比原煤或相邻近粗粒级灰分均高，说明矸石易泥化。④主导粒级含量的分析。主导粒级含量对生产操作和分选设备选择有一定的指导作用。如 $<13\text{ mm}$ 粒级含量高（主导粒级），选择分选设备和生产操作时要充分考虑该部分物料的影响。

2. 小筛分资料

对煤泥（粉）的小筛分资料可进行以下分析：①煤泥（粉）的粒度组成，各粒级的数质量。初步判定粗煤泥分选（回收）、细煤泥分选的方法。②各粒级对煤泥浮选的影响程度。③由重选产品中的煤泥小筛分资料可初步判定重选环节的有效分选下限。

1.1.1.2 浮沉资料分析

1. 大浮沉资料

对煤炭大浮沉资料可进行以下分析：①绘制原煤可选性曲线或进行原煤浮沉资料的建模，获取理论分选指标，并进行原煤可选性分析。②煤泥含量及灰分分析。如果煤泥含量较高，灰分高于原生煤泥，说明矸石有泥化现象。具体泥化程度可根据煤泥量和灰分初步判定。③各密度级数质量分析，初步判断产品数质量情况、内灰等。

2. 小浮沉资料

对煤泥（粉）小浮沉资料可进行以下分析：①煤泥（粉）的可选性分析，可选性曲线的绘制；②初步判断煤泥（粉）的可浮性；③预测浮选产品的数质量。

1.1.1.3 中煤是否再选的分析

中煤再选能够提高精煤产率，特别是对稀缺煤种中煤的再选应予以重视。但增加中煤再选会使整个选煤流程复杂，生产管理难度加大，生产成本增加。所以应通过技术经济方案比较确定是否增设中煤再选环节。对筛分资料主要分析夹矸煤的含量及煤质脆硬情况，以判断能解离出多少精煤及需要解离的粒度，确定分选方法和设备；对浮沉资料主要是分析中煤的含量。必要时应进行中煤破碎解离试验。

1.1.2 选煤厂设计时煤质资料的选取和调整

对已经投产的矿井，设计用生产煤样资料容易获得，其代表性和准确性也较高。但对未投产的矿井，只能采用邻近矿井的生产煤样资料代替。

采煤过程中特别是综合机械化开采和掘进的大型矿井会有相当数量的顶底板和夹矸混入原煤中。生产原煤灰分预测的准确性，直接关系到工艺流程的制定和计算、设备选型计算和获取产品数质量的准确性。调整设计资料时，要预测出生产原煤灰分值并切合本矿井生产实际。

1.1.2.1 生产原煤灰分的预测

若借用煤质资料系同矿区邻近矿井同一煤层的生产煤样，且煤层结构特征、采煤方法皆与本矿井相近或相同，则可结合本井田地质报告中钻孔平均灰分对借用资料进行调灰处理，无须另行预测生产原煤灰分。调灰的办法是用本井田与借用资料井田钻孔平均灰分的差值作为灰分系数，来调整（增减）邻近矿井生产煤样的原煤灰分。如果本矿井首采区服务年限较长，则以首采区的钻孔煤芯灰分统计平均值为准，同时兼顾全井田的煤质变化趋势。

如果本矿井采煤方法为综采，而借用的煤质资料来自于邻近的小窑或系本矿建井期所采的煤层煤样，可用一种比较简便的近似计算方法直接预测生产原煤灰分。具体的做法是将矿井综采过程中可能混入毛煤中的顶底板、夹矸层的灰分与该煤层的钻孔煤芯煤样灰分的加权平均值作为该煤层预测的生产原煤灰分。①矿井为综合机械化开采时，顶底板进入总量一般按 100 ~ 150 mm 考虑（根据顶底板岩性进行适当调整），夹矸进入原煤的量根据地质报告中提供的夹矸厚度考虑，放顶煤开采时还有 4% ~ 8% 的窜矸量（占原煤百分数）。现在放顶煤技术日臻成熟，窜矸量多能控制在 4% 以下。除此之外，还要根据矿井开采计划安排，确定是否有掘进煤（具体数量由采矿专业提供）混入原煤一起升井。综合上述因素后，才能合理、准确地预测出生产原煤灰分。用混入原煤中的顶板（含放顶带入的窜矸量）、底板、夹矸层的灰分的加权平均值作为预测灰分，同时还要注意地质报告中提供的煤的抗碎强度。随着矿井机械化程度的提高，井下煤的回采率也越来越高，随之混入原煤的矸石也越来越多。生产矿井的原煤灰分比“地质报告”煤层煤芯煤样灰分

一般要高出 6% ~10%。②当井田煤层与直接顶板或底板之间存在泥质岩类的伪顶或伪底时，应按伪顶和伪底全部进入原煤考虑。③当井田煤层厚度偏薄或岩巷较多时，则还需考虑掘进煤对生产原煤灰分的影响。特别是当井田煤层存在厚度不大于 1.30 m 的薄煤层时，采煤工作面因采高大于煤层厚度，在综采过程中混入原煤的顶板厚度也会明显增加，远大于一一般综采按 50 mm 厚度考虑的顶板混入量。另外薄煤层巷道掘进煤多为半煤岩，矸石量多、灰分高，矸石混入原煤后对生产原煤灰分同样会造成一定的影响。所以，在预测计算生产原煤灰分时，掘进煤对原煤灰分的影响应予以适度考虑。

生产矿井补建选煤厂时，入选原煤灰分应根据生产矿井最近 6 个月（最少 3 个月）的日生产报表或月综合资料等经综合分析后确定，一般不需要根据顶底板、夹矸、窜矸以及掘进煤混入量来确定生产原煤灰分。在条件允许的情况下，可进行预测后与实际生产原煤灰分对比，分析将来入选原煤灰分的变化趋势，使选择的选煤工艺能够较好地适应将来煤质的变化。

1.1.2.2 筛分资料的调整

筛分资料调整分以下两种情况：

（1）当预测生产原煤灰分与借用的筛分资料的原煤灰分相差不大时，可按灰分系数法调整。因矸石硬度大不易碎，大部分进入大粒级，进入小粒级中的少，并非平均加到每一粒级物料里去，所以须将原煤筛分资料中> 50 mm 粒级的物料按浮沉资料的校正方法进行调整。具体方法为把煤和夹矸当作< 1.80 kg/L 密度级，把矸石当作> 1.80 kg/L 密度级，采用调整各密度级的数量、各密度级灰分不变的方法，使调整后的小计灰分等于校正后粒度组成中的该粒级灰分；对于< 50 mm 各粒级则按灰分系数法进行灰分调整。

例如，乡宁煤田×××大型煤矿（6.0 Mt/a）配套选煤厂的工艺设计，借用地方小煤矿的筛分、浮沉资料作为设计的原始资料。地方小煤矿的采煤方法为炮采，借用筛分资料原煤灰分偏低，仅为 14.74%。该矿采用综采放顶煤开采，设计预测生产原煤灰分未考虑放顶煤过程中的窜矸因素，一般放顶煤综采窜矸率为 4% ~8%，生产原煤灰分会大幅度增加。预测生产原煤灰分为 22.16%，并以预测灰分为准，对借用筛分资料采用“灰分系数法”进行调整（注：该调整方法不正确）。调整前、后的原煤筛分资料见表 1-1。

表 1-1 调整前、后的原煤筛分资料

粒级/mm	产物名称	调 整 前		调 整 后	
		产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
> 100	煤	18.936	12.80	18.936	20.22
	夹矸	1.630	29.69	1.630	37.11
	矸石	0.650	75.71	0.650	83.13
	小计	21.216	15.68	21.216	23.10
100 ~ 50	煤	13.928	13.08	13.928	20.50
	夹矸	0.039	38.88	0.039	46.30
	矸石	0.585	73.30	0.585	80.72
	小计	14.552	15.57	14.552	22.99

表 1-1 (续)

粒级/mm	产物名称	调 整 前		调 整 后	
		产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
50 ~ 25	煤	10. 502	13. 72	10. 502	21. 14
25 ~ 13	煤	12. 914	15. 13	12. 914	22. 55
13 ~ 6	煤	7. 802	16. 68	7. 802	24. 10
6 ~ 3	煤	6. 749	15. 92	6. 749	23. 34
3 ~ 0. 5	煤	9. 924	12. 08	9. 924	19. 50
0. 5 ~ 0	煤	16. 340	13. 36	16. 340	20. 78
原 煤 总 计		100. 00	14. 74	100. 00	22. 16

注：表中黑体字表示调整后改变了的灰分数值。

设计预测的生产原煤灰分（22. 16%）与借用资料原煤灰分（14. 74%）相差了 7. 42 个百分点，差值较大，若把放顶煤综采窜矸量考虑进去，差值更大，在此条件下不宜直接采用“灰分系数法”调整筛分资料各粒级的灰分。设计借用“灰分系数法”调整筛分资料，人为抬高了末煤各粒级的灰分，造成“失真”，故上述调整方法不正确。调整筛分资料时，> 50 mm 块原煤粒级的分项（煤、夹矸煤、矸石）的灰分是不能改变的。正确的做法是通过相应增减各分项的产率，使各分项加权平均灰分正好等于调整后的该粒级小计灰分。按正确做法调整后的> 50 mm 块原煤粒级的结果见表 1-2。

表 1-2 调整前、后 > 50 mm 块原煤的粒度组成

粒级/mm	产物名称	调 整 前		调 整 后	
		产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
> 100	煤	18. 936	12. 80	16. 695	12. 80
	夹矸	1. 630	29. 69	1. 431	29. 69
	矸石	0. 650	75. 71	3. 090	75. 71
	小计	21. 216	15. 68	21. 216	23. 10
100 ~ 50	煤	13. 928	13. 08	12. 138	13. 08
	夹矸	0. 039	38. 88	0. 034	38. 88
	矸石	0. 585	73. 30	2. 380	73. 30
	小计	14. 552	15. 57	14. 552	22. 99

注：表中黑体字表示调整后改变了的产率、灰分数值。

需要说明的是，地方小煤矿的采煤方法为短壁式爆破落煤，故块煤量偏多，粉末煤量偏少。该矿井在综采放顶煤加上连续采煤机开采条件下块煤量将减少，粉末煤量将会明显增加；在放顶煤过程中因窜矸的影响，块矸量也会增加。因而两原煤粒度组成会有很大差异。设计还应该结合采煤方法对借用的地方小煤矿筛分资料进行粒度组成调整。

（2）当预测生产原煤灰分与借用的筛分资料的原煤灰分相差较大时，须先进行调矸处理。具体方法为：①对于综采工作面大采高采煤法，根据顶底板及夹矸岩性来决定矸石

调入筛分资料的粒度范围。一般当井田矸石岩性较硬时，可只考虑进入 $>50\text{ mm}$ 的可见矸中；如果矸石岩性较脆，则必须按进入全部粒级进行调整。具体各粒级的分配方法是：先计算出混入原煤中外来矸石的灰分量（称为“外来灰分量”：预测出的生产原煤灰分与原资料灰分之差乘以 100% ），将原资料 $>50\text{ mm}$ 的全部可见矸含量（占全样）与 $<50\text{ mm}$ 各粒度级浮沉资料中 $>1.80\text{ kg/L}$ 密度级的沉矸含量（占全样）相加作为 100% ，换算出矸石进入各粒级的比例。用换算出的比例，将外来灰分量分配到各粒级中去，并与各粒级原灰分量相加，除以各粒级原来的产率，得出各粒级“调灰”后的灰分。②对于综采放顶煤开采法，还要考虑窜矸量，在调灰与调矸时，将这部分窜矸量一并加入原煤，一般是在上述综采条件计算结果的基础上，将窜矸量分配到 $>50\text{ mm}$ 的各粒级中。

1.1.2.3 筛分资料调整时应注意的问题

（1）如果借用筛分资料的加权平均灰分与煤层灰分相差不大，说明此筛分资料混入的顶底板矸石及夹矸少，应首先按灰分系数法把借用的筛分资料调整为井田的煤层资料，然后再进行调矸处理；如果借用筛分资料的加权平均灰分与煤层灰分和预测的生产原煤灰分均有一定差别，说明此煤样混入了一定量的顶底板矸石和夹矸，此时不应该先进行调矸（加入顶底板矸石、夹矸等）处理，而首先应对煤样进行具体分析，计算出借用煤样的混矸率（混入的顶底板矸石及夹矸量），与预测的混矸率进行比较，相应增加或减去各粒级的矸石量，使之与预测生产原煤灰分相同。

（2）在调整灰分前，应结合采煤方法、煤的抗碎程度、顶底板岩性等因素，首先进行粒度组成的整体性把握与调整，使最终调整的筛分资料更符合生产实际。

（3）当借用资料为各粒度级浮沉资料时的调矸方法。由于每个粒度级别中都存在纯煤和一定的矸石，其纯煤灰分与矸石灰分的加权平均值即为当前粒级的灰分值。其中纯煤灰分可取筛分资料中 $>50\text{ mm}$ 粒级的纯煤平均灰分，矸石灰分可取顶底板矸石和夹矸的平均灰分。利用当前粒级的灰分值求出各粒级的矸石产率和原煤的含矸率，进而计算出各粒度级矸石的分配比例。然后再计算出预测原煤的含矸率，根据矸石分配比例求出各粒度级矸石的分配情况。

（4）有一定量的掘进煤混入生产原煤中时筛分资料调整方法。每年混入生产原煤的掘进煤量由采矿专业根据开采计划安排确定，其灰分的确定应与采矿专业沟通，了解掘进情况，进而确定掘进煤灰分或者参照邻近其他矿井的生产情况（一般而言掘进煤的灰分多在 45% 左右），然后根据公式 $\gamma \times A_d = \gamma_c \times A_{dc} + \gamma_t A_{dt}$ （其中纯煤灰分 A_{dc} 取煤层平均灰分，矸石灰分 A_{dt} 取顶底板矸石灰分），求出掘进煤中煤和矸石的各自产率。矸石产率按顶底板矸石的分配比例相应加入筛分资料中，煤的产率按未调矸处理前煤的筛分资料的各粒度级分配比例将掘进煤中含煤量相应加入即可。

1.1.3 浮沉资料校正

1.1.3.1 通常情况下浮沉资料的校正

浮沉资料的校正有常规的调整各密度级产率法和最优校正法，这里只介绍最优校正法。

浮沉试验灰分的最优校正法，是以所有密度级产率校正值的平方和最小为目标函数，确定各个产率校正值。产率校正的计算公式为

$$X_i = \frac{Yk \left(\sum_{i=1}^n A_i - nA_i \right)}{\left(\sum_{i=1}^n A_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n A_i^2} \quad (1-1)$$

式中, Y 为小计产率即 100%; n 为密度级个数; A_i 为各密度级灰分, %; k 为灰分校正值, %。

现举例说明。校正前煤炭的密度组成见表 1-3, 要求将灰分从 16.86% 校正到 17.83%。

表 1-3 浮沉试验校正

密度级/(kg·L ⁻¹)	校 正 前		产率校正值/%	校 正 后	
	产率/%	灰分/%		产率/%	灰分/%
< 1.30	4.14	3.87	-0.65	3.49	3.87
1.30 ~ 1.40	55.72	7.63	-0.55	55.17	7.63
1.40 ~ 1.50	21.32	14.93	-0.34	20.98	14.93
1.50 ~ 1.60	6.23	24.40	-0.07	6.16	24.40
1.60 ~ 1.80	4.34	36.38	0.26	4.60	36.38
> 1.80	8.25	74.75	1.35	9.60	74.75
小计	100.00	16.86		100.00	17.83

浮沉试验的小计产率: $Y=100\%$;

灰分校正值: $k=17.83-16.86=0.97$;

密度级个数: $n=6$;

各密度级灰分之和: $\sum_{i=1}^n A_i = 3.87 + 7.63 + 14.93 + 24.40 + 36.38 + 74.75 = 161.96$;

各密度级灰分的平方和:

$$\sum_{i=1}^n A_i^2 = 3.87^2 + 7.63^2 + 14.93^2 + 24.40^2 + 36.38^2 + 74.75^2 = 7802.5256$$

将以上数值代入式 (1-1) 得: $X_i = \frac{100 \times 0.97 \times (161.96 - 6A_i)}{161.96^2 - 6 \times 7802.5256}$ 。

计算不同密度级产率的校正值。例如 < 1.30 kg/L 密度级, 将 $A_i = 3.87\%$ 代入上式计算出 $X_i = -0.65\%$ 。其余密度级产率校正值的计算方法相同。将校正前的产率加相应的校正值, 即得校正后的产率。经一次计算就可使校正后的小计灰分与要求的相同。

浮沉试验灰分的最优校正法, 理论上比较完善科学, 计算简单, 结果精确。

需要注意的是, 最优校正法应先进行占本级的产率校正, 然后再换占全样的产率。

1.1.3.2 特殊情况时浮沉资料的调整

(1) 当块煤分选, 借用的浮沉资料仅有 50 ~ 0.5 mm 破碎级和自然级密度组成时, 以 50 ~ 0.5 mm 破碎级的浮沉综合级作为 > 50 mm 块煤的浮沉资料。

(2) 当借用的筛分浮沉资料的原煤灰分与预测的生产原煤灰分相差较大时, 在调整

浮沉资料时，应根据本矿的矸石泥化情况对浮沉煤泥灰分进行调整。

(3) 借用的浮沉资料某一粒级的浮沉资料失真时的处理。由于筛分、浮沉资料中缺少> 50 mm 块煤的浮沉资料，设计以 50 ~0.5 mm 破碎级的浮沉综合作为> 50 mm 块煤的浮沉资料。

例如原煤粒度组成见表 1 - 4，50 ~0.5 mm 破碎级浮沉资料见表 1 - 5。

表 1-4 原煤粒度组成

粒级/mm	产 品	产率/%	灰分/%
200 ~100 (手选)	煤	7.36	10.69
	夹矸煤		
	矸石	1.65	76.12
	硫铁矿		
	小计	9.01	22.67
100 ~50 (手选)	煤	11.57	11.37
	夹矸煤		
	矸石	1.58	76.12
	硫铁矿	0.00	
	小计	13.15	19.17
> 50-合计		22.16	20.59
50 ~25	煤	17.26	17.81
25 ~13	煤	10.82	17.68
13 ~6	煤	15.39	17.79
6 ~3	煤	16.57	17.16
3 ~0.5	煤	14.99	17.62
0 ~0.5	煤	2.81	23.74
50 ~0 合计		77.84	17.83
毛煤合计		100.00	18.44

表 1-5 50 ~0.5 mm 破碎级浮沉资料

密度级/(kg · L ⁻¹)	占本级/%	占全级/%	灰分/%
<1.30	55.93	12.30	6.68
1.30 ~1.40	35.35	7.78	11.74
1.40 ~1.50	1.88	0.41	18.44
1.50 ~1.60	2.98	0.65	24.84
1.60 ~1.70	1.25	0.28	32.45
1.70 ~1.80	0.90	0.20	37.24
1.80 ~2.00	1.05	0.23	43.33
>2.00	0.65	0.14	60.86
合计	100.00	22.00	10.56
带煤泥计	99.27	22.00	10.56
煤泥	0.73	0.16	17.66
总计	100.00	22.16	10.62

由表 1-4 可以看出, 粒度组成中 > 50 mm 级块煤产率为 22. 16% , 灰分为 20. 59% , 而表 1-5 中 50 ~ 0. 5 mm 破碎级浮沉资料灰分仅为 10. 62% , 与提供的筛分浮沉资料灰分相差较大。浮沉资料的灰分与 > 50 mm 块煤中煤的灰分相当, 故可认为在做破碎级筛分浮沉试验时人为将矸石拣出。为使调整后浮沉资料更具代表性, 将 > 50 mm 级粒度组成中矸石和夹矸的产率按 50 ~ 25 mm 级粒度组成中 > 1. 80 kg/L 各密度级的比例分配至表 1-5 中 > 1. 80 k/L 各密度级。

1.2 浮沉资料数学模型的建立与应用

作为分析煤炭可选性及获得理论分选指标的一种手段, 可选性曲线在选煤生产和设计工作中非常重要。可选性曲线是原煤密度组成性质的反应图示, 表示了被选原煤质和量的关系, 用来判断原煤的可选性, 解决选煤工艺中的理论工艺指标和分选条件等问题。煤炭可选性曲线有两种, 即 H-R 曲线和 M 曲线, 最常用的为 H-R 曲线。但是, 可选性曲线在运用过程中存在许多缺点, 根据原煤浮沉试验资料绘制可选性曲线比较烦琐且不准确, 不易实现计算机计算。现已有原煤可选性曲线的数学模型主要有: 反正切模型、双曲正切模型、复合双曲正切模型但是这些模型中各参数的物理意义不明确, 获取曲线参数和直接计算各种工艺指标也比较烦琐。在此, 介绍由浮沉资料直接建立数学模型及其应用方法, 不再需要通过绘制可选性曲线获得理论分选指标。

为准确计算重选的各项理论分选指标, 使用数学软件 MATLAB 建立起浮物累计产率与浮物累计灰分以及密度与浮物累计灰分的函数关系, 直接求取重选各项理论分选指标。以表 1-6 资料为例说明建模方法。

表 1-6 0. 5 ~ 50 mm 粒级原煤浮沉试验综合表

密度级/ (kg · L ⁻¹)	产率/ %	灰分/ %	累 计				分选密度级 ±0.1 含量	
			浮 物		沉 物			
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	分选密度/(kg · L ⁻¹)	产率/%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
< 1.30	10.69	3.46	10.69	3.46	100.00	20.50	1.30	56.84
1.30 ~ 1.40	46.15	8.23	56.84	7.33	89.31	22.54	1.40	66.29
1.40 ~ 1.50	20.14	15.50	76.98	9.47	43.16	37.85	1.50	25.31
1.50 ~ 1.60	5.17	25.50	82.15	10.48	23.02	57.40	1.60	7.72
1.60 ~ 1.70	2.55	34.28	84.70	11.19	17.85	66.64	1.70	4.17
1.70 ~ 1.80	1.62	42.94	86.32	11.79	15.30	72.04	1.80	2.69
1.80 ~ 2.00	2.13	52.91	88.45	12.78	13.68	75.48	1.90	2.13
> 2.00	11.55	79.64	100.00	20.50	11.55	79.64		
合计	100.00	20.50						
煤泥	1.01	18.16						
总计	100.00	20.48						

1.2.1 建立浮物累计产率和浮物累计灰分的函数关系

使用表 1-6 中第 4、5 栏的数据建立浮物累计产率和累计灰分的函数关系。打开

MATLAB 软件, 建立新文件, 将产率 γ 和灰分 A 对应数据输入, 命令如下:

$$A = [3.46 \quad 7.33 \quad 9.47 \quad 10.48 \quad 11.19 \quad 11.79 \quad 12.78 \quad 20.50]$$
$$\gamma = [10.69 \quad 56.84 \quad 76.98 \quad 82.15 \quad 84.70 \quad 86.32 \quad 88.45 \quad 100]$$

接着打开 cftool 工具箱 (输入命令 cftool), 建立新数据 (第一步), 选择 x 轴、 y 轴的数据, x 轴数据取灰分 A 值, y 轴取产率 γ 值。确认后即可在坐标轴上标出各点。然后对各点进行曲线拟合 (第二步)。经过多种函数拟合试验对比, 取拟合误差最小者即为建立的数学模型。对本例采用 Linear model poly3 拟合方式下得到的产率 γ 和灰分 A 函数关系式:

$$\gamma = 0.02413A^3 - 1.311A^2 + 24.52A - 59.83 \quad (1-2)$$

1.2.2 建立浮物累计灰分 A 与密度 δ 的函数关系

采用表 1-6 中的第 1、5 栏数据建立浮物累计灰分 A 与密度 δ 的函数关系。取第 1 栏数据密度 δ 范围上限作为 x 值, 第 5 栏数据作为 y 值。打开 MATLAB, 将横纵坐标作为命令输入:

$$x = [1.3 \quad 1.4 \quad 1.5 \quad 1.6 \quad 1.7 \quad 1.8 \quad 1.9]$$
$$y = [3.16 \quad 7.33 \quad 9.47 \quad 10.48 \quad 11.19 \quad 11.79 \quad 12.78]$$

接下来的过程与 1.2.1 中的方法相同, 最终得到灰分与密度的函数关系式:

$$A = 4.51e^{0.5441\delta} - 1.18 \times 10^6 e^{-9.414\delta} \quad (1-3)$$

1.2.3 数学模型的应用

1.2.3.1 已知精煤灰分求理论分选指标

在已知要求的精煤灰分情况下, 可以用式 (1-2)、式 (1-3) 求出精煤理论产率、理论分选密度、分选密度 ± 0.1 含量和分界灰分。下面以要求的精煤灰分 $A \leq 10\%$ 为例, 说明计算方法。

1. 求精煤理论产率

用式 (1-2) 即可求出精煤理论产率, 仍用 MATLAB 软件计算。

建立新文件, 输入命令:

```
syms x;  
y = 0.02413 * x^3 - 1.311 * x^2 + 24.52 * x - 59.83;  
subs (y,10);
```

执行后得到 $y = 78.40$, 即精煤理论产率 γ 为 78.40%。

2. 求理论分选密度

用式 (1-3) 即可求出理论分选密度。为方便计算, 仍运用 MATLAB 计算。

建立新文件, 输入命令:

```
x = fsolve (@ (x) 4.51 * exp(0.5441 * x) + (-1.18e+006) * exp(-9.414 * x) - 10,0);  
执行后得到  $x = 1.5557$ , 即理论分选密度  $\delta$  为 1.5557 g/cm3。
```

3. 求分选密度 ± 0.1 含量

由理论分选密度为 1.5557 g/cm³, 求出 $\delta \pm 0.1$ 即密度 1.6557 g/cm³ 和密度 1.4557 g/cm³ 所对应的产率 γ_1 和 γ_2 , $\gamma_1 - \gamma_2$ 即为分选密度 ± 0.1 含量。运用 MATLAB 来计算。

当 $\delta = 1.6557$ 时, 由式 (1-3) 求出对应的灰分 A_1 , 由 A_1 通过式 (1-2) 求出对应的 γ_1 。过程如下: