

现代洗选煤

新工艺新技术标准与机械化操作 运行检修管理实务全书



XIAN DAI XI XUAN MEI XIN GONG YI XIN JI SHU BIAO ZHUN YU JI
XIE HUA CAO ZUO YUN XING JIAN XIU GUAN LI SHI WU QUAN SHU

现代洗选煤新工艺新技术标准 与机械化操作运行检修 管理实务全书

李明光 主编

第三册

天津电子出版社

目 录

第一篇 洗选煤总论

第一章 煤矿地质	(3)
第一节 地壳及其运动	(3)
第二节 煤与煤系地层	(34)
第二章 井田开拓技术	(55)
第一节 井田及其划分	(55)
第二节 井田开拓方式	(75)
第三章 井巷工程	(97)
第一节 钻眼爆破	(97)
第二节 巷道断面设计与支护	(121)
第三节 井巷掘进	(137)
第四章 采煤方法	(173)
第一节 采煤方法概述	(173)
第二节 缓斜、倾斜煤层走向长壁采煤法采煤系统	(179)
第三节 盘区及分带式采煤系统	(211)

第二篇 洗选煤生产厂工艺设计

第一章 工艺流程的制定与计算	(227)
第一节 工艺流程的制定	(227)
第二节 工艺流程的计算	(254)
第二章 工艺设备的选型与计算	(304)
第一节 工艺设备选型的原则	(304)
第二节 筛分设备的选型与计算	(306)
第三节 破碎设备的选型与计算	(312)
第四节 分选设备的选型与计算	(316)

第五节 脱水设备的选型与计算	(321)
第六节 煤泥水沉淀和浓缩设备的选型与计算	(325)
第七节 辅助设备的选型与计算	(329)
第三章 车间工艺设计	(340)
第一节 车间工艺设计布置的一般原则	(340)
第二节 原煤受贮车间的工艺布置	(343)
第三节 筛分破碎车间的工艺布置	(355)
第四节 跳汰车间的工艺布置	(361)
第五节 浮选车间的工艺布置	(380)
第六节 沉淀浓缩车间的工艺布置	(392)
第七节 产品装车仓工艺布置	(396)
第四章 总平面布置	(397)
第一节 总平面布置的任务原则和步骤	(397)
第二节 总平面布置的实例	(400)

第三篇 洗选煤工艺技术概论

第一章 洗选煤工艺技术概述	(407)
第一节 煤的形成、性质、分类和用途	(407)
第二节 选煤工艺流程	(416)
第二章 筛分工艺技术	(421)
第一节 碎散物料的粒度特性与筛分分析	(421)
第二节 筛分过程	(433)
第三节 惯性振动筛工艺技术	(442)
第四节 惯性振动筛的设计计算	(478)
第五节 概率筛工艺技术	(510)
第六节 旋转概率筛	(529)
第七节 无振动离心筛工艺技术	(556)
第八节 湿法细筛工艺技术	(570)
第三章 破碎工艺技术	(592)
第一节 破碎工艺技术概述	(592)
第二节 破碎理论基础	(594)

目 录

第二节 破碎机械	(611)
第四节 碎矿和磨矿流程	(629)
第五节 破碎机工作效果和影响因素	(641)
第四章 脱水工艺技术	(643)
第一节 概述	(643)
第二节 筛分脱水	(645)
第三节 离心脱水	(647)
第四节 过滤脱水	(663)
第五节 压滤脱水	(674)
第六节 浮选精煤的脱水	(679)
第五章 干燥工艺技术	(689)
第一节 滚筒式干燥机	(689)
第二节 沸腾床层干燥机	(693)
第三节 干燥机工作的主要指标	(694)
第六章 煤泥水处理工艺技术	(696)
第一节 煤泥水性质及其对生产过程的影响	(696)
第二节 煤泥水处理系统	(700)
第三节 煤泥水系统的管理	(708)
第四节 浓缩澄清	(715)
第五节 煤泥絮凝	(721)

第四篇 跳汰选煤工艺技术

第一章 跳汰选煤工艺技术概述	(727)
第一节 跳汰选煤发展简述	(727)
第二节 跳汰选煤的应用	(728)
第二章 跳汰选煤原理	(729)
第一节 跳汰选煤概述	(729)
第二节 跳汰选煤基本原理	(731)
第三节 物料在跳汰机中的分层规律	(733)
第三章 跳汰机	(747)
第一节 筛侧空气室式跳汰机	(747)

第二节 筛下空气室式跳汰机	(759)
第三节 跳汰机的应用	(763)
第四节 跳汰机分选效果的评定	(776)
第五节 影响跳汰机分选效果的因素	(777)
第四章 跳汰选煤工艺流程	(783)
第一节 跳汰选煤工艺流程概述	(783)
第二节 跳汰机的调整与操作简介	(785)
第三节 跳汰分选技术	(793)
第五章 跳汰选煤工艺参数自动测控系统	(797)
第一节 跳汰机床层自动测控系统	(797)
第二节 闸板式跳汰机自动排料系统	(799)
第三节 滚轮式跳汰机自动排料系统	(803)
第六章 跳汰洗选煤分选效果的评定与分析	(810)
第一节 跳汰机分选效果的评定	(810)
第二节 影响跳汰机分选效果的因素	(812)

第五篇 重介质洗选煤工艺技术

第一章 重介质洗选煤工艺技术概述	(821)
第一节 重介质选煤原理	(821)
第二节 影响分选效果的主要因素	(823)
第三节 重介质选煤的操作方法	(826)
第四节 重介质分选机	(830)
第二章 重悬浮液	(835)
第一节 重悬浮液的性质	(835)
第二节 悬浮液密度自动控制	(844)
第三节 悬浮液的回收净化	(849)
第三章 重介质洗选设备	(857)
第一节 立轮重介质分选机	(857)
第二节 无压给料两产品重介质旋流器	(860)
第三节 有压给料两产品重介质旋流器	(863)
第四节 无压给料三产品重介质旋流器	(866)

第五节 有压给料三产品重介质旋流器	(872)
第四章 重介质洗选煤工艺参数自动测控	(875)
第一节 重介质工艺参数自动测控系统	(875)
第二节 主、再选轮式双系统工艺参数自动测控系统	(877)
第三节 三产品重介质旋流器工艺参数自动测控系统	(882)
第五章 重介质洗选煤工艺流程	(884)
第六章 悬浮液密度控制	(887)
第一节 双管压差密度计	(887)
第二节 水柱平衡密度计	(889)
第三节 同位素密度计	(890)
第四节 悬浮液密度自动控制系统	(891)
第七章 悬浮液的回收净化	(893)
第一节 悬浮液回收净化系统	(893)
第二节 悬浮液回收净化的主要设备	(895)
第三节 降低加重质损失的措施	(906)
第八章 重介质旋流器洗选煤工艺技术	(909)
第一节 概 述	(909)
第二节 重介质旋流器选煤工艺流程	(911)
第三节 重介质旋流器选煤自动化	(924)
第九章 影响分选效果的主要因素	(943)

第六篇 浮游洗选煤工艺技术

第一章 浮游洗选煤工艺技术	(949)
第二章 浮选的基本原理	(950)
第一节 浮选的依据	(950)
第二节 浮选的过程	(956)
第三节 煤泥性质对浮选的影响	(959)
第三章 浮选药剂及其作用	(965)
第一节 概 述	(965)
第二节 浮选过程的吸附	(966)
第三节 捕收剂、起泡剂和调整剂	(967)

第四节 浮选药剂的选择和使用·····	(979)
第四章 浮游洗选煤机械设备·····	(984)
第一节 浮选机的基本要求·····	(984)
第二节 矿浆准备器·····	(985)
第三节 XJM-S型系列浮选机·····	(986)
第四节 XJX型系列浮选机·····	(996)
第五节 浮选工艺参数自动测控系统·····	(999)
第六节 浮选机性能的评价·····	(1007)
第七节 浮选机的维护和检修·····	(1012)
第八节 浮选用辅助设备·····	(1014)
第五章 浮游洗选工艺流程·····	(1019)
第一节 影响浮选的主要因素·····	(1019)
第二节 矿浆浓度对浮选的影响·····	(1021)
第三节 粒度和形状对浮选的影响·····	(1023)
第四节 温度和酸碱度对浮选的影响·····	(1029)
第五节 矿浆液相组成对浮选的影响·····	(1030)
第六节 搅拌和刮泡对浮选的影响·····	(1033)
第七节 浮选流程·····	(1034)
第六章 浮选指标计算及浮选效果评价·····	(1037)
第一节 浮选指标的计算·····	(1037)
第二节 煤泥的可浮性及评价方法·····	(1042)
第三节 浮选效果的评定·····	(1044)

第七篇 洗选煤生产的其他工艺技术

第一章 摇床洗选煤生产工艺技术·····	(1053)
第一节 摇床的构造·····	(1053)
第二节 分选原理·····	(1055)
第三节 操作因素·····	(1056)
第二章 水介质旋流器洗选煤生产工艺技术·····	(1058)
第一节 水介质旋流器的构造·····	(1058)
第二节 分选原理·····	(1058)

目 录

第三节 影响分选效果的因素	(1060)
第三章 斜槽洗选煤生产工艺技术	(1062)
第一节 槽体结构	(1062)
第三节 操作原则	(1064)
第四章 螺旋槽洗选煤生产工艺技术	(1065)
第一节 螺旋分选机的结构	(1065)
第二节 分选原理	(1066)
第三节 操作因素	(1067)
第五章 复合式干法选煤	(1069)
第一节 复合式干选机的构造	(1069)
第二节 分选原理	(1070)
第三节 工艺设备流程和操作因素	(1071)
第六章 流化床洗选煤生产工艺技术	(1073)
第一节 流化床连续分选设备	(1073)
第二节 流化床选煤工艺系统及计算方法	(1079)
第三节 空气重介质流化床	(1084)
第四节 振动流化床	(1101)
第五节 磁场流化床分选技术	(1111)
第七章 超纯煤的制造工艺	(1120)
第一节 化学深度脱灰法	(1120)
第二节 物理化学深度脱灰法	(1132)
第八章 其他洗选煤生产工艺技术	(1140)
第一节 选煤生产工艺技术	(1140)
第二节 动筛跳汰机	(1144)
第三节 螺旋滚筒选煤机	(1147)

第八篇 筛分与破碎设备机械化操作运行与维修管理

第一章 筛分与破碎设备应用	(1153)
第一节 概 述	(1153)
第二节 圆振动筛及其应用	(1154)
第三节 ZK 系列直线振动筛应用	(1157)

第四节	ZSZ 直线振动筛应用	(1160)
第五节	ZKS 水平双轴振动筛应用	(1164)
第六节	QZK1233 曲面振动筛应用	(1167)
第七节	CPS1025 高频振动筛应用	(1171)
第八节	CXS 系列琴弦筛的应用	(1175)
第九节	移动筛分站的应用	(1179)
第十节	2PLP 新齿型分级破碎机应用	(1181)
第十一节	2PC 系列双齿辊破碎机应用	(1185)
第二章	筛分设备机械化操作运行与维修管理	(1186)
第一节	概 述	(1186)
第二节	圆振动筛	(1195)
第三节	直线振动筛	(1202)
第四节	共振筛	(1216)
第三章	破碎设备操作运行与维修管理	(1226)
第一节	齿辊破碎机	(1226)
第二节	锤式破碎机	(1230)
第三节	反击式破碎机	(1233)
第四节	颚式破碎机	(1235)

第九篇 动力洗选设备机械化操作运行与维修管理

第一章	跳汰机操作运行与维修管理	(1243)
第一节	概 述	(1243)
第二节	BM 式跳汰机操作与维修	(1244)
第三节	SKT 式跳汰机操作与维修	(1246)
第四节	动筛式跳汰机操作与维修	(1254)
第五节	跳汰机自动排料装置操作与运行	(1257)
第二章	重介质分选机操作运行与维修管理	(1264)
第一节	概 述	(1264)
第二节	立轮重介质分选机操作进行与维修管理	(1265)
第三节	无压给料两产品重介质旋流器操作与维修	(1269)
第四节	有压给料两产品重介质	(1272)

目 录

第五节 无压给料三产品重介质旋流器操作与维修	(1276)
第六节 有压给料三产品重介质旋流器操作与维修	(1284)
第七节 磁选机操作与维修	(1287)
第三章 浮选工艺设备操作运行与维修管理	(1303)
第一节 概 述	(1303)
第二节 矿浆准备器操作与维修	(1304)
第三节 XJM-S型系列浮选机操作与维修	(1305)
第四节 XJX型系列浮选机操作与维修	(1317)
第五节 浮选工艺参数自动测控装置操作与维修	(1322)

第十篇 脱水干燥及辅助设备机械化操作运行与维修管理

第一章 脱水与干燥设备操作与维修	(1337)
第一节 概 述	(1337)
第二节 立式离心脱水机操作与维修	(1338)
第三节 沉降过滤式离心脱水机操作与维修	(1345)
第四节 加压过滤机操作与维修	(1351)
第五节 滚筒式干燥机操作与维修	(1354)
第六节 煤泥滤饼碎干机操作与维修	(1357)
第二章 选煤厂辅助设备机械化操作与维修管理	(1362)
第一节 胶带输送机	(1362)
第二节 斗式提升机操作与维修	(1373)
第三节 刮板输送机操作与维修	(1379)
第四节 离心式水泵和渣浆泵操作与维护	(1384)
第五节 离心式鼓风机操作与维修	(1396)
第七节 水环式真空泵及压风机操作与维修	(1402)

第十一篇 选煤厂微机信息管理

第一章 微型计算机系统	(1413)
第一节 微型计算机组成	(1413)
第二节 微型计算机软件	(1435)

第三节	微型计算机的外部设备	(1442)
第四节	微型计算机局部网络	(1457)

第十二篇 洗选煤安全管理质量检测验收

第一章	洗选安全管理	(1467)
第一节	矿山安全工程	(1467)
第二节	矿山通风	(1538)
第二章	洗选煤煤质分析	(1630)
第一节	煤样的采取与制备	(1630)
第二节	煤质分析与化验	(1686)
第三章	洗选煤试验与测定	(1721)
第一节	煤炭的筛分试验	(1721)
第二节	筛分试验结果的整理与分析	(1728)
第三节	煤的浮沉试验	(1733)
第四节	浮沉试验结果的整理与分析	(1745)
第五节	煤泥实验室浮选试验	(1757)
第六节	磁性物含量测定	(1773)
第七节	煤泥水参数的测定	(1775)
第八节	煤炭计量及生产过程产品数量的测定	(1779)
第九节	可选性曲线的绘制及可选性的评定	(1782)
第四章	洗选煤综合检查技术	(1789)
第一节	日常生产检查	(1789)
第二节	商品煤的数、质量检查及其指标	(1794)
第三节	月综合检查	(1797)
第四节	设备工作效果的检查(单机检查)及设备工艺效果评定	(1806)
第五节	选煤厂工艺流程检查	(1836)
第六节	选煤厂技术检查计划的制定	(1837)
第七节	技术检查资料的整理与计算	(1847)
第八节	技术检查的日、月报表及月总结	(1855)

第十三篇 典型案例分析

案例 1 山西离柳矿区煤质浅析	(1859)
案例 2 宁夏鸳鸯湖矿区煤炭洗选加工原则之浅见	(1866)
案例 3 乌达矿区苏海图选煤厂煤质及选煤工艺的剖析	(1870)
案例 4 关于重介旋流器分选工艺的几个原则问题的思考	(1877)
案例 6 屯兰选煤厂采用加盖均质化混煤场与其他储、配煤方式的 比较论证	(1908)
案例 7 澳大利亚模块式重介选煤厂的工艺特点及其在中国应用的 局限性的评析	(1912)
案例 8 济北矿区唐口矿选煤厂设计咨询建议	(1918)
案例 9 海勃湾矿区骆驼山矿选煤厂设计咨询建议	(1924)
案例 10 准格尔矿区黑岱沟露天矿选煤厂设计咨询建议	(1929)
案例 11 云南省老厂矿区白龙山选煤厂设计咨询建议	(1933)
案例 12 乡宁矿区王家岭选煤厂设计咨询建议	(1937)

第十四篇 相关标准规范

工业型煤样品采取方法	(1947)
工业型煤样品制备方法	(1953)
顺槽用破碎机	(1962)
X型筛下空气室跳汰机	(1970)
煤炭实验室测试质量控制导则	(1977)
煤炭筛分试验方法	(1990)
煤炭浮沉试验方法	(1996)
选煤实验室单元浮选试验方法	(2009)
《煤矿安全规程》	(2025)

第四节 振动流化床

一、振动流化床的形成

(一) 振动能量的传递规律

1. 流化床与振动床现象

振动流化床试验系统由振动源及其调节装置、流化床模型装置、压力测试仪器及供风装置等五部分组成。流化床模型为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 220\text{mm}$ 的有机玻璃筒体，它由布风室、布风板、床体、测压探头等构成。

首先来观察分析一下单一机制流化时的床层特性，先看普通流化床。以微细磁铁矿粉作为加重质，试验条件为：静床高 $H_0 = 55\text{mm}$ ，风压 $p = 0.018\text{MPa}$ 。试验结果见表 7-6-4。

表 7-6-4 普通流化床观测结果

操作条件 (振动强度 K , 气流速度 u cm/s)	现 象
$K = 0$ $u < 1.22$	处于固定床阶段,颗粒间无相对运动,床面子稳
$K = 0$ $u = 1.22 \sim 1.39$	床面基本平齐,个别点有小泡鼓出,且该点床面凸出,床层基本不膨胀,各测试点压力差存在差值
$K = 0$ $u = 1.39 \sim 1.91$	床面凹凸不平,少数地区气泡上冲,其他为死区,各测量点压力差的差值进一步增大
$K = 0$ $u > 1.91$	床层少数地区气泡上冲严重,死区更明显,附壁严重,床面形成一个稀相区,各点压力波动大,床层有一定的膨胀

结果表明：这样的加重质的流化性能较差，采用普通流化床很难达到适合于细粒煤

分选的流化状态,究其原因主要是颗粒细,粒间粘附力大,气固无法充分接触。

下面再来分析一下振动床(即 $u = 0$, $K \neq 0$)的床层特性,将振动电机水平安装,使得床层只受到垂直方向激振力的作用。试验结果见表 7-6-5。

表 7-6-5 振动床观测结果

操作条件 (振动强度 K , 气流速度 u cm/s)	现象
$u = 0$ $K < 1.8$	床层空隙率减小,整体强度增大,出现负膨胀,颗粒间比静止固定床更紧密,是振实期
$u = 0$ $K = 1.8 \sim 2$	床层逐步松散,并比振实期略有膨胀,颗粒间有一定的相对运动,床层略具活性,返混小,无附壁现象
$u = 0$ $K = 2 \sim 3$	床层进一步松散和膨胀,粒间相对运动更大,床面基本处于流化状态,出现了相当程度的返混,加重质流形为多循环流
$u = 0$ $K > 3$	颗粒运动更剧烈,床面出现喷射现象,返混更严重,但床面比较平齐,具有良好的流动性

结果表明,当 $K < 1.8$ 时,床层密度增大,处于振实期,这一现象与 W.A.Gray 等(1972)对振动床中粉体的振实期间的能量转换及原理的分析结果一致,只是操作条件不一,这是我们把流化床应用于选煤时应避免的状态区域,应充分发挥振动的助流及流化的作用效应。当 $K = 1.8 \sim 3$ 时,振动床内的加重质具有较好的流动性,基本处于流动状态,这个时期振动起到了助流及流态化作用效应,对此, D.Nicklin 等(1977)也给予了证实。当 $K > 3$ 时,床内颗粒流动剧烈,出现脉冲喷射现象,导致流化状态的恶化。下面就振动能量的传递机理作一分析。

2. 振动能量的传递机理

对于固体细颗粒床,当给床体逐步由小到大施加具有一定振幅和频率的垂直振动时,显然振动首先作用于紧贴床底的颗粒层上,由于颗粒间是相互堆积接触的,这些颗粒便会有将具有的振动能量传递给周围紧贴的颗粒,引起颗粒间相互的摩擦碰撞及自身振动的趋势,但由于颗粒床自身的重量、颗粒间相互紧贴的制约以及颗粒间的粘附力(尤其对比表面积大的细颗粒床),使得当振动强度 $K < K_0$ 时,其振动传递的能量不足以克服上述因素的影响与制约,致使激振力每向上冲击一次就使得床体与床层碰撞压缩一次,导致床层的压实,床层密度增大;随着振动强度 K 的增大,振动传递的能量效

应逐步超过颗粒床自身及颗粒间的相互制约力，并逐步克服上述因素的影响，使得振动有足够的能量向上进一步传递，并引起该点周围颗粒的摩擦碰撞且伴有自振，这种振动效应逐步向上扩散以至波及整个床层，但由于振动能量的扩散传递过程中，颗粒间的相互摩擦碰撞需消耗一定的能量（如克服粒间粘附力），这就导致振动效应变得越来越弱。

另外，不妨将床层看做一个粘弹性体，则在振动过程中，在床体与床层之间的空隙，空气将产生压缩，这种压缩空气穿透粒隙并作用于颗粒上，便产生了空气的压缩效应，这种效应也非常有利于床层的流化。在此期间颗粒床的整体强度减小，流动性增加，当 K 达到一定值时，床层便具有了相当的活性，可以认为是处于流态化状态。当 K 进一步增大时，振动传递的能量更大，空气的压缩效应也更明显。由于粒间在传递振动能量时并非都均匀同向地作用，就导致颗粒的剧烈的不规则振动，进而逐步引起颗粒群绕床体边壁周围的多循环流返混翻滚，直至喷射。

基于以上振动能量传递机理，在适当的操作条件下，振动流化床宜用浅床型，以保证床层具有足够的松散流动性，充分发挥振动的作用。

（二）振动抑制气泡生成的机理

1. 振动与气流的交互作用

在细颗粒床中引入振动或气流都可以使其流态化，但单流化机制（指振动或气流作用）是难以达到形成密度均匀稳定且加重质颗粒返混小的流化状态的，不适合于细粒煤的分选。对于普通气固流化床（振动强度 $K=0$ ，气流速度 $u \neq 0$ ），由于加重质颗粒彼此间粘附力大，气流难以均匀作用于颗粒上，易导致沟流、死区、附壁等异常流化现象，床层密度不均匀；而对于振动床（ $K \neq 0$ ， $u=0$ ），当床层进入流化状态时，加重质颗粒的宏观返混严重，由此而产生的作用于入选物料的介质曳力显著，难以实现对细粒煤的有效分选（按床层密度）。振动流化床（ $K \neq 0$ ， $u \neq 0$ ）将振动床与普通流化床叠加，振动与气流的交互作用使得颗粒床层能够形成床层密度均匀、加重质宏观返混小的床层。

下面就振动与气流的交互作用机理作一分析。在普通细颗粒气固流化床中，初始流化阶段床层的流化质量较差，那么引入振动后，当振动强度达到一定值后，由于振动的作用，颗粒间开始不断发生摩擦与碰撞以传递振动能量，从而引起松散效应，这为气流克服粒间的阻力并均匀地穿过粒间缝隙创造了条件，随着振动与气流交互作用的增加，床层进一步松散，以至完全进入流化状态，此时整个床层被气流及激振力托起，几乎每个颗粒都处于随机游动状态，并伴有自振，床层不仅稳定性好，而且具有足够的活性，这种状态非常适合于细粒煤的分选。图 7-6-10 是普通气固流化床与振动流化床的流

化特性曲线对比,从图中可以看出,普通流化床($K=0$)进入流化状态时要经过一个压降转折点,而振动流化床则无明显压降转折点,过渡较平滑。此后若进一步加大振动强度或提高气速,则就振动作用而言,颗粒间的摩擦碰撞愈来愈剧烈,引起的加重质颗粒返混随之加剧;另一方面,就气流作用而言,随着气流的不断提高,由于流化床中乳化相内气体达到临界流化状态后已处于饱和状态,过剩的气流将以气泡形式流经床层,致使床层中的气泡愈来愈大,也造成加重质因气泡作用而引起的返混加剧。可见,振动与气流的交互作用有利于细颗粒床的流化,当 K 及 u 控制在一定范围内时,床层处于良好的流化状态; K 及 u 太大,则颗粒返混严重,不利于细粒煤有效分选; K 及 u 太小,则床层活性太弱,粘度太大,也不利于细粒煤的分选。

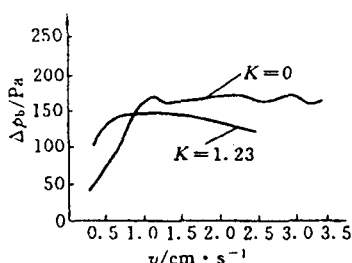


图 7-6-10 流化特性曲线对比

2. 振动对气泡的破碎机理

普通气固流化床中,气体离开气体分布板到形成一个完整的气泡是具有一个过程的。在低气速固定床阶段,气体穿过颗粒缝隙外逸,粒间无相对运动,疏密均匀。随着气速的增加,床层膨胀,且气速愈大,膨胀愈明显,以至最后浮化相内气体饱和。进一步增大气速,当气流通过分布板小孔上方颗粒层缝隙而产生的摩擦曳力大于周围颗粒所受重力及粒间的作用力时,小孔上方的颗粒层被推动,直至出现一个气体孔穴。随着孔穴的长大,穿过孔穴界面的气流产生的摩擦曳力逐步地难以克服孔穴周围颗粒层所受重力及周围压力,以至颗粒层从孔穴边壁塌倒,切割气体孔穴而形成一个完整的气泡,直至离开气体分布板进入床层。气泡的生成与气速有着密切的关系,每个气泡的形成时间很短,在给出气泡生成所需时间的计算关联式之前,先作如下假设:

(1) 在气泡形成的初期,将它视为球体。

(2) 气固流化床中气泡生成的时间很短(约 $1/10s$),忽略气流在气泡生成过程中向床层的扩散。

气泡向上运动与它所受浮力及惯性力有关,惯性力按经典的势能流动理论计算,则