

# 选矿机械设备安装、调试、运行、 操作与维修保养实务全书



T1143 12  
J-984

4

# 选矿机械设备安装、调试、 运行、操作与维修保养 实务全书

---

江仲明 主编

---

第四册

当代中国音像出版社

## 目 录

<b>第一篇 筛分机械</b> .....	( 1 )
<b>第一章 筛分机械原理</b> .....	( 3 )
第一节 筛分原理 .....	( 3 )
第二节 筛分效率 .....	( 6 )
第三节 筛分动力学及其应用 .....	( 8 )
第四节 影响筛分效率的因素 .....	( 13 )
<b>第二章 固定筛性能结构、运行管理与操作控制</b> .....	( 20 )
第一节 概述 .....	( 20 )
第二节 固定筛 .....	( 22 )
第一节 振动筛及其工作原理 .....	( 24 )
第二节 振动筛结构及特点 .....	( 28 )
第三节 振动筛筛箱和筛面 .....	( 38 )
第四节 振动筛安装与维护 .....	( 41 )
第一节 弧形筛 .....	( 45 )
第二节 细筛 .....	( 47 )
<b>第二篇 矿石破碎机械</b> .....	( 51 )
<b>第一章 破碎机械原理</b> .....	( 53 )
第一节 岩矿的机械强度、可碎性和可磨性 .....	( 53 )
第二节 破碎机械的施力情况 .....	( 55 )
第三节 破碎耗功学说及其应用 .....	( 57 )
第四节 破碎矿石的新方法简介 .....	( 65 )

## 目 录

<b>第二章 颚式碎矿机工作原理、技术参数、安装操作及维护检修</b> .....	(68)
第一节 颚式碎矿机的类型和构造 .....	(68)
第二节 颚式碎矿机的工作原理和性能 .....	(76)
第三节 颚式碎矿机的主要参数 .....	(78)
第四节 颚式碎矿机的生产能力和功率 .....	(82)
第五节 颚式碎矿机的安装操作与维护检修 .....	(86)
第六节 颚式碎矿机的发展简况 .....	(89)
<b>第三章 圆锥碎矿机工作原理、技术参数、安装调试及维护检修</b> .....	(93)
第一节 圆锥碎矿机的类型和构造 .....	(93)
第二节 圆锥碎矿机的工作原理 .....	(104)
第三节 圆锥碎矿机的性能和用途 .....	(105)
第四节 圆锥碎矿机的主要参数 .....	(108)
第五节 圆锥碎矿机的生产能力和功率 .....	(113)
第六节 圆锥碎矿机的安装操作与维护检修 .....	(117)
第七节 圆锥碎矿机的发展简况 .....	(122)
<b>第四章 反击式碎矿机构造性能、工作原理及技术参数</b> .....	(124)
第一节 反击式碎矿机的类型和构造 .....	(124)
第二节 反击式碎矿机的工作原理性能和用途 .....	(128)
第三节 反击式碎矿机的工作参数 .....	(130)
第四节 反击式碎矿机的发展简况 .....	(133)
<b>第五章 辊式碎矿机构造性能、技术参数及使用</b> .....	(136)
第一节 辊式碎矿机的简述 .....	(136)
第二节 辊式碎矿机的构造 .....	(138)
第三节 辊式碎矿机的主要参数 .....	(139)
第四节 辊式碎矿机的使用 .....	(143)
<b>第六章 强力分级破碎机安装调试与维护检修</b> .....	(145)
第一节 工作原理 .....	(146)
第二节 机械结构 .....	(146)
第三节 检测与控制装置 .....	(148)
第四节 安装与调试 .....	(149)
第五节 操作要点 .....	(150)
第六节 润滑与维护检修 .....	(151)
第七节 常见故障处理 .....	(153)

第七章 锤式破碎机的结构、安装与使用维护 .....	(154)
第一节 工作原理与结构 .....	(154)
第二节 安装、使用与维护 .....	(156)
第八章 选择性破碎机结构、安装与使用维护 .....	(157)
第一节 工作原理 .....	(157)
第二节 结构特点 .....	(158)
第三节 安装、使用与维护 .....	(160)
第三篇 磨矿机械 .....	(161)
第一章 磨矿机类型和构造 .....	(163)
第一节 格子型球磨机 .....	(163)
第二节 溢流型球磨机 .....	(169)
第三节 棒磨机 .....	(169)
第二章 磨矿机性能与用途 .....	(173)
第一节 球磨机与棒磨机的性能和用途比较 .....	(173)
第二节 格子型球磨和溢流型球磨的性能和用途比较 .....	(174)
第三章 磨矿机安装、调试、维护和检修 .....	(175)
第一节 磨矿机的安装、操作与维护 .....	(175)
第二节 检修 .....	(177)
第四章 磨矿机生产操作 .....	(178)
第一节 磨矿介质的运动学 .....	(178)
第二节 磨矿机的有用功率、装球率和转速率 .....	(202)
第三节 磨矿循环 .....	(211)
第五章 磨矿机生产率及影响因素 .....	(228)
第一节 磨矿机的生产率和磨矿效率 .....	(228)
第二节 影响磨矿机生产率的因素 .....	(231)
第三节 磨矿机生产率计算法 .....	(241)
第四节 最初装球及合理补加钢球法 .....	(246)
第六章 自磨和砾磨机工作原理与运行操作 .....	(254)
第一节 干式自磨 .....	(254)
第二节 湿式自磨 .....	(261)
第三节 自磨工艺参数与生产率的计算 .....	(266)
第四节 砾磨 .....	(274)

<b>第四篇 拣选设备</b> .....	(279)
<b>第一章 拣选设备组成及工作原理</b> .....	(281)
第一节 概述 .....	(281)
第二节 矿石特性对拣选的影响 .....	(282)
第三节 各种拣选法的理论基础 .....	(286)
第四节 影响拣选的因素 .....	(296)
第五节 拣选作业的特点 .....	(296)
第六节 拣选的应用 .....	(299)
第七节 拣选设备的组成部分 .....	(305)
<b>第二章 拣选机的处理量</b> .....	(311)
<b>第三章 手选设备结构性能与运行操作</b> .....	(313)
<b>第四章 光电分选机结构性能与运行操作</b> .....	(314)
第一节 1011M 型光电分选机 .....	(314)
第二节 磁 - 光分选机 .....	(316)
第三节 M16 型激光光电分选机 .....	(318)
<b>第五章 放射性分选机结构性能与运行操作</b> .....	(321)
第一节 皮带型放射性分选机 .....	(321)
第二节 201 型放射性分选机 .....	(322)
第三节 M17 型放射性分选机 .....	(323)
<b>第六章 X - 射线分选机结构性能与运行操作</b> .....	(325)
第一节 国产金刚石 X 光分选机 .....	(325)
第二节 XR 系列金刚石 X 光分选机 .....	(326)
<b>第七章 无线电波(电导 - 磁性)分选机结构性能与运行操作</b> .....	(328)
第一节 GFJ—3 型分选机 .....	(328)
第二节 自然铜矿石分选机 .....	(329)
第三节 M19 型及 M27 型电导 - 磁性分选机 .....	(330)
<b>第八章 <math>\gamma</math> 散射与吸收法分选机结构性能与运行操作</b> .....	(333)
第一节 $\gamma$ 散射法分选机 .....	(333)
第二节 $\gamma$ 吸收法分选机 .....	(334)
<b>第五篇 重选设备</b> .....	(337)
<b>第一章 重选机工作原理</b> .....	(339)
第一节 概述 .....	(339)

第二节 粒群按密度分层理论 .....	(340)
第三节 斜面流分选理论 .....	(348)
第四节 重力选矿流程 .....	(359)
<b>第二章 重介质选矿机安装调试、操作维护与故障检修 .....</b>	<b>(371)</b>
第一节 概述 .....	(371)
第二节 重悬浮液的性质 .....	(373)
第三节 重介质选矿机 .....	(378)
第四节 重介质选矿工艺流程 .....	(390)
第五节 重介质选矿效率的评定 .....	(395)
第六节 重介质分选设备安装调试与维护检修 .....	(398)
<b>第三章 跳汰机安装调试、操作维护与故障检修 .....</b>	<b>(408)</b>
第一节 概述 .....	(408)
第二节 跳汰选矿原理 .....	(410)
第三节 跳汰机 .....	(424)
第四节 跳汰机的操作工艺与制度 .....	(459)
第五节 跳汰机安装调试、操作维护与故障处理 .....	(463)
<b>第四章 摇床选矿原理及操作工艺 .....</b>	<b>(481)</b>
第一节 概述 .....	(481)
第二节 摇床分选原理 .....	(483)
第三节 摇床的差动性运动特性 .....	(485)
第四节 摇床 .....	(495)
第五节 摇床的工艺操作参数 .....	(507)
<b>第五章 溜槽选矿机工作原理及操作工艺 .....</b>	<b>(509)</b>
第一节 概述 .....	(509)
第二节 粗粒溜槽 .....	(510)
第三节 矿砂溜槽 .....	(518)
第四节 矿泥溜槽 .....	(526)
<b>第六章 螺旋选矿机性能规格与操作应用 .....</b>	<b>(537)</b>
第一节 螺旋选矿机 .....	(537)
第二节 螺旋溜槽 .....	(544)
第三节 来复条螺旋溜槽 .....	(549)
第四节 旋转螺旋溜槽 .....	(551)
<b>第七章 离心选矿机性能规格与操作应用 .....</b>	<b>(553)</b>

## 目 录

第一节 概述 .....	(553)
第二节 卧式离心选矿机 .....	(554)
第三节 立式离心选矿机 .....	(571)
第四节 有压给矿回转流选矿装置 .....	(574)
第五节 复合运动的离心选矿设备 .....	(578)
<b>第八章 风力选矿设备性能规格与操作应用 .....</b>	<b>(581)</b>
第一节 概述 .....	(581)
第二节 风力选矿设备 .....	(582)
第三节 风力选矿供风系统 .....	(592)
<b>第六篇 浮选机械设备 .....</b>	<b>(595)</b>
<b>第一章 浮选工艺原理 .....</b>	<b>(597)</b>
第一节 粒度 .....	(597)
第二节 矿浆浓度及调浆 .....	(601)
第三节 药剂工艺 .....	(603)
第四节 矿浆温度 .....	(606)
第五节 水质 .....	(609)
第六节 浮选流程 .....	(610)
<b>第二章 浮选机分类 .....</b>	<b>(617)</b>
第一节 浮选机的基本作用及评价 .....	(617)
第三节 浮选机的分类 .....	(624)
<b>第三章 机械搅拌式浮选机安装调试、应用操作与故障排除 .....</b>	<b>(626)</b>
第一节 机械搅拌式浮选机的特点与结构 .....	(626)
第二节 常用机械搅拌式浮选机 .....	(629)
第三节 机械搅拌式浮选机的安装调试与维护 .....	(640)
<b>第四章 喷射旋流式浮选机安装调试与操作维护 .....</b>	<b>(643)</b>
第一节 工作原理与结构 .....	(643)
第二节 安装与调试 .....	(645)
第三节 操作与维护 .....	(645)
<b>第五章 浮选柱安装调试与操作维护 .....</b>	<b>(647)</b>
第一节 工作原理与结构 .....	(647)
第二节 安装调试与操作维护 .....	(648)
<b>第六章 浮选机的选择与计算 .....</b>	<b>(650)</b>



第一节	浮选机的选择 .....	(650)
第二节	浮选机的计算 .....	(650)
第三节	浮选机操作的调节 .....	(652)
第四节	浮选机的测定 .....	(652)
<b>第七章</b>	<b>浮选机工作流程计算 .....</b>	<b>(654)</b>
第一节	物料平衡程序包的数学原理 .....	(655)
第二节	CSIMMBAL 应用实例 .....	(658)
<b>第八章</b>	<b>特种浮选机工作原理及操作应用 .....</b>	<b>(662)</b>
第一节	特种浮选的定义和分类 .....	(663)
第二节	特种浮选的基本原理 .....	(665)
第三节	特种浮选工艺和设备 .....	(675)
第四节	特种浮选的应用 .....	(688)
<b>第七篇</b>	<b>磁选机械设备 .....</b>	<b>(691)</b>
<b>第一章</b>	<b>弱磁场磁选设备技术参数与应用操作 .....</b>	<b>(693)</b>
第一节	干式弱磁场磁选机 .....	(694)
第二节	湿式弱磁场磁选机 .....	(698)
第三节	预磁和脱磁设备 .....	(710)
第四节	除铁器 .....	(714)
<b>第二章</b>	<b>强磁场磁选设备技术参数与应用操作 .....</b>	<b>(715)</b>
第一节	干式强磁场磁选机 .....	(716)
第二节	湿式强磁场磁选机 .....	(724)
第三节	高梯度磁选机(HGMS) .....	(735)
<b>第三章</b>	<b>磁选设备用的磁性材料及其特性 .....</b>	<b>(742)</b>
第一节	铁磁性材料的磁特性及其分类 .....	(742)
第二节	软磁材料 .....	(745)
第三节	硬磁材料 .....	(747)
第四节	非磁性材料 .....	(759)
<b>第四章</b>	<b>弱磁场磁选设备磁系结构参数设定计算 .....</b>	<b>(761)</b>
第一节	概述 .....	(761)
第二节	开放型磁系磁选机的磁场 .....	(764)
第三节	开放型磁系磁选机的旋转磁场 .....	(769)
第四节	磁选机磁系的极面宽和极隙宽的比值 .....	(770)

第五节	磁选机磁系的极距 .....	(773)
第六节	磁选机磁系的高度、宽度、半径和极数 .....	(777)
第七节	磁力脱泥槽磁系的形状、位置和尺寸 .....	(780)
第八节	磁化(或脱磁)设备的磁化(或脱磁)时间 .....	(782)
<b>第五章</b>	<b>强磁场磁选设备磁系结构参数设定计算 .....</b>	<b>(784)</b>
第一节	平面-单齿磁极对的参数 .....	(784)
第二节	双曲线形磁极对的参数 .....	(788)
第三节	平面或槽形-多齿磁极对的参数 .....	(790)
第四节	等磁力磁极对的参数 .....	(797)
第五节	多层尖齿极的参数 .....	(798)
第六节	多层球极的参数 .....	(805)
第七节	多层丝极的参数 .....	(809)
第八节	多层网极的参数 .....	(817)
<b>第六章</b>	<b>回收磁力计算 .....</b>	<b>(827)</b>
第一节	在磁选机圆筒(或圆辊)上吸住磁性矿粒需要的磁力 .....	(827)
第二节	从磁选机的矿流中吸出磁性矿粒需要的磁力 .....	(834)
第三节	在磁力脱泥槽中吸引磁性矿粒需要的磁力 .....	(843)
第四节	磁路计算 .....	(844)
<b>第七章</b>	<b>超导磁选机及其应用 .....</b>	<b>(883)</b>
第一节	超导电的基本理论 .....	(884)
第二节	超导材料 .....	(890)
第三节	低温的获得和保持 .....	(893)
第四节	超导磁选机及其应用 .....	(896)
<b>第八章</b>	<b>磁流体分选设备结构参数与操作应用 .....</b>	<b>(904)</b>
第一节	磁流体动力分选(MHDS)法 .....	(904)
第二节	磁流体静力分选(MHSS)法 .....	(905)
第三节	磁流体静力分选的应用 .....	(918)
<b>第九章</b>	<b>磁力分析和磁测量仪器 .....</b>	<b>(921)</b>
第一节	磁力分析仪器 .....	(921)
第二节	磁场强度和磁通量的测量仪器 .....	(932)
第三节	永磁材料磁性能的测定 .....	(939)
<b>第八篇</b>	<b>电选机械设备 .....</b>	<b>(945)</b>
第一章	电选机工作原理 .....	(947)

第一节	概述 .....	(947)
第二节	矿物的电性质 .....	(949)
第三节	电选机的电场 .....	(954)
第四节	电选的基本理论 .....	(959)
<b>第二章</b>	<b>鼓筒式电选机技术参数与应用操作 .....</b>	<b>(973)</b>
第一节	$\phi 120 \times 1500\text{mm}$ 双辊电选机 .....	(973)
第二节	DXJ $\phi 320 \times 900\text{mm}$ 高压电选机 .....	(977)
第三节	三鼓筒式高压电选机 .....	(980)
第四节	美国卡普科高压电选机(Carpco High Tension Separator) .....	(981)
<b>第三章</b>	<b>其他类型电选机技术参数与应用操作 .....</b>	<b>(983)</b>
第一节	自由落下式电选机(Free Fall Separator) .....	(983)
第二节	电场摇床 .....	(984)
第三节	回旋电选机 .....	(986)
第四节	板式电选机 .....	(988)
第五节	XDF 型 $\phi 250 \times 200\text{mm}$ 实验室型电选机 .....	(989)
<b>第四章</b>	<b>电选机高压电源及安全操作 .....</b>	<b>(991)</b>
第一节	电选机的高压电源 .....	(991)
第二节	电选机的安全问题 .....	(993)
<b>第五章</b>	<b>电选机实际操作应用 .....</b>	<b>(995)</b>
第一节	有色金属矿石中白钨锡石的电选 .....	(995)
第二节	稀有金属矿石的电选 .....	(998)
第三节	黑色金属铁矿石的电选 .....	(1003)
第四节	其他矿石的电选 .....	(1004)
第五节	影响电选的因素 .....	(1006)
第六节	电选的发展方向 .....	(1010)
<b>第九篇</b>	<b>物料脱水机械设备 .....</b>	<b>(1025)</b>
<b>第一章</b>	<b>浓缩机选择计算、安装调试与维护检修 .....</b>	<b>(1027)</b>
第一节	浓缩的基本原理 .....	(1027)
第二节	耙式浓缩机 .....	(1040)
第三节	高效浓缩机 .....	(1056)
第四节	倾斜板浓缩箱 .....	(1061)
第五节	浓缩斗 .....	(1066)

## 目 录

第六节	磁力脱水槽及磁选机 .....	(1069)
第七节	安装调试与故障处理 .....	(1071)
<b>第二章</b>	<b>过滤机选择计算、安装调试与维护检修 .....</b>	<b>(1078)</b>
第一节	过滤的基本原理和计算 .....	(1078)
第二节	筒型真空过滤机 .....	(1090)
第三节	折带式及绳带式真空过滤机 .....	(1095)
第四节	无格真空过滤机 .....	(1098)
第五节	磁性过滤机和磁选过滤机 .....	(1100)
第六节	盘式真空过滤机 .....	(1102)
第七节	水平带式真空过滤机 .....	(1108)
第八节	压滤机 .....	(1111)
第九节	过滤系统的辅助设备 .....	(1124)
第十节	助滤剂 .....	(1140)
第十一节	安装调试与维护检修 .....	(1144)
<b>第三章</b>	<b>干燥设备选择计算、安装调试与维护检修 .....</b>	<b>(1157)</b>
第一节	干燥原理 .....	(1157)
第二节	热工计算 .....	(1162)
第三节	回转式干燥机 .....	(1176)
第四节	沸腾干燥机 .....	(1183)
第五节	气流干燥机(器) .....	(1186)
第六节	带式干燥机 .....	(1187)
第七节	膛式干燥机 .....	(1188)
第八节	干燥机的辅助设备 .....	(1189)
第九节	干燥设备的选型及热工计算实例 .....	(1192)
第十节	滚筒式干燥机安装与试车要求 .....	(1197)
第十一节	操作与养护检修 .....	(1197)
<b>第四章</b>	<b>离心脱水机安装调试与维护检修 .....</b>	<b>(1199)</b>
第一节	卧式振动离心脱水机 .....	(1199)
第二节	螺旋卸料离心脱水机 .....	(1209)
第三节	沉降过滤式离心脱水机 .....	(1214)
<b>第五章</b>	<b>磁化焙烧设备选用、计算与操作 .....</b>	<b>(1219)</b>
第一节	磁化焙烧炉的选用 .....	(1219)
第二节	磁化焙烧热耗的分析和计算 .....	(1231)

第三节	焙烧炉的辅助设备 .....	(1236)
第四节	焙烧用燃料 .....	(1238)
第六章	其他脱水设备及设施结构性能、选择计算与操作 .....	(1242)
第一节	脱水筛 .....	(1242)
第二节	螺旋分级机 .....	(1247)
第三节	脱水斗提升机 .....	(1248)
第四节	脱水仓 .....	(1249)
第五节	沉淀池 .....	(1251)
第十篇	物料输送机械设备 .....	(1255)
第一章	带式输送机安装调试、操作维护与故障检修 .....	(1257)
第一节	工作原理和结构 .....	(1257)
第二节	安装与调试 .....	(1272)
第三节	操作要点 .....	(1280)
第四节	日常保养及维护 .....	(1282)
第五节	常见故障处理 .....	(1284)
第二章	刮板输送机安装调试、操作维护与故障检修 .....	(1288)
第一节	工作原理和结构 .....	(1288)
第二节	安装与试车要求 .....	(1290)
第三节	操作要点 .....	(1292)
第四节	日常保养及维护 .....	(1293)
第五节	常见故障处理 .....	(1295)
第三章	斗式提升机安装调试、操作维护与故障检修 .....	(1296)
第一节	工作原理和结构 .....	(1296)
第二节	安装与调试 .....	(1299)
第三节	操作要点 .....	(1303)
第四节	日常保养及维护 .....	(1304)
第五节	常见故障处理 .....	(1307)
第四章	螺旋输送机安装调试、操作维护与故障检修 .....	(1307)
第一节	工作原理及结构 .....	(1307)
第二节	安装与调试 .....	(1310)
第三节	操作要点 .....	(1311)
第四节	日常保养及维护 .....	(1312)

## 目 录

第五节 常见故障处理 .....	(1313)
第五章 振动输送机性能结构与操作控制 .....	(1315)
第一节 概述 .....	(1315)
第二节 电磁振动输送机 .....	(1315)
第三节 惯性与偏心连杆振动输送机 .....	(1316)
第六章 给料机安装调试、操作维护与故障检修 .....	(1319)
第一节 GZ 系列电磁振动给料机 .....	(1319)
第二节 GZG/GZM 系列自同步惯性振动给料机 .....	(1322)
第三节 圆盘给料机 .....	(1324)
第四节 叶轮式给料机 .....	(1324)
第五节 往复式给料机 .....	(1327)
第十一篇 物料贮存机械设备 .....	(1329)
第一章 贮矿仓管理与设施维护 .....	(1331)
第一节 贮矿仓的种类和结构型式 .....	(1331)
第二节 贮矿时间的确定 .....	(1337)
第三节 矿石性质和矿仓形状 .....	(1339)
第四节 矿仓的活化 .....	(1352)
第五节 装车方法与装车速度 .....	(1354)
第二章 尾矿堆存场选择计算与设施维护管理 .....	(1356)
第一节 尾矿堆存方法及其设施 .....	(1356)
第二节 尾矿场的选择与计算 .....	(1358)
第三节 尾矿坝及其他设施 .....	(1366)
第四节 尾矿场的维护管理 .....	(1381)
第十二篇 选矿机械设备相关标准 .....	(1387)

## 第七章 超导磁选机及其应用

超导磁选是将超导技术引用到磁选领域而发展起来的一种新的磁分离方法。

近二十年来,为了解决贫矿和细粒选矿的问题,世界各国设计和研制了不少新型的强磁选机,如琼斯型磁选机、高梯度磁选机,等等,使磁选得到很大的发展,其技术、经济效果也得到很大的提高,并在细粒贫矿和其他很多领域中占有重要地位。但由于目前强磁选机大都是采用电磁铁或螺线管作为磁体,其激磁功率与磁场强度的平方成正比,因此强磁选机运转时耗电量及费用很大,同时常规磁体所产生的磁场强度受到铁芯磁饱和以及线圈发热而需强制冷却的限制,其最大磁场强度通常不超过 $1600\text{kA/m}$  ( $20000\text{Oe}$ )。为保证达到最大场强,则要求小的磁力间隙,从而限制了选别空间和处理量。超导技术为突破上述强磁选机存在的问题提供了技术的可能性。

自1961年第一个超导磁体诞生以来,它已被广泛应用在许多领域,超导磁分离的应用就是其中之一。目前,小型或半工业型超导磁选机已研制成功,并正在进行选别试验。

初步实践证明,超导磁选机和一般强磁选机相比已显示其优越性:易于在很大的分选空间获得很高的磁场强度( $4000\text{kA/m}$ 以上),体积小、重量轻,大大提高了单位机重的处理能力;稳定性好,选矿费用低等,为细粒弱磁性贫矿的选矿(如赤铁矿、褐铁矿和菱铁矿的选矿)开辟了新的前景。随着新的超导材料的研制成功和制冷技术的进展,超导电技术在磁选中的应用必将逐步得到推广,并将引起磁选的巨大变革。

## 第一节 超导电的基本理论

### 一、超导电性的基本概念

某些物质在极低的温度〔如(零点几~几十)K〕下,电阻突然消失,这种现象称为超导电性。具有超导电性的材料称为超导体。现在已发现锡、铅等几十种金属元素、许多合金和化合物只要温度降到低于某个临界数值就会出现超导电性。温度的这个临界数值叫做该材料的临界温度(以 $T_c$ 表示)。在临界温度以下,材料处于超导电状态,简称超导态;温度升到临界温度以上,超导电性不复存在,材料恢复正常导电状态,简称正常态。

处于临界温度以下的超导体,当外加磁场高于某一临界值时,超导体便从超导态转变为正常态。这个使超导体从超导态转变为正常态的磁场称临界磁场。

早在1911年荷兰物理学家卡默林·翁纳斯(H.K. Onnes)在测量低温下水银的电阻率时就发现超导电性的存在,但直到1957年人们才搞清楚超导电性的本质。近十年来超导电性在技术上的应用得到迅速发展。在高能物理、天体物理、国防、交通等许多领域得到应用并显示了很大的优越性,特别是超导磁体的应用是大量而有效的。

### 二、超导体的基本性质

理想导电性和完全逆磁性是超导体的两个基本特性。

#### 1. 理想导电性(或零电阻性)

翁纳斯在测量低温下的水银电阻率时发现,当温度降到4.2K附近时,水银的电阻“消失”了。人们把电阻的消失叫做理想导电性或零电阻性。根据超导重力仪的观测表明,超导体即使有电阻,其电阻率也小于 $10^{23}\Omega\cdot m$ ,而纯铜在4.2K时的剩余电阻率为 $10^{-7}\Omega\cdot m$ ,即超导体的剩余电阻率为纯铜剩余电阻率的百万亿分之一。显然,可以认为超导体的电阻为零。

在常温下,电阻率 $\rho$ 与温度 $t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )之间的关系可用下式表示

$$\rho = \rho_0 + \alpha t \quad (7-1)$$

式中  $\rho$ ——常温下的电阻率;

$\rho_0$ —— $0^{\circ}\text{C}$ 时的电阻率;



$\alpha$ ——电阻率的温度系数，(常数)；

$t$ ——温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

在低温下，电阻率  $\rho$  与绝对温度  $T$  之间的关系可用公式 (7-2) 表示

$$\rho = \rho_0 + AT^5 \quad (7-2)$$

式中  $\rho$ ——低温下电阻率；

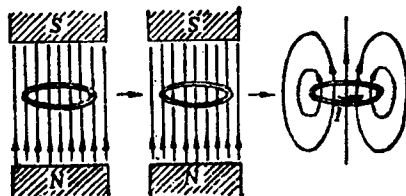
$\rho_0$ —— $0^{\circ}\text{C}$  时的电阻率；

$T$ ——绝对温度 ( $T = t + 273.15$ )；

$A$ ——与材料有关的常数。

由公式可知，在常温下，导体的电阻随着温度的升高而增大，因为温度越高，晶格的热振动就越剧烈，从而增加了对价电子运动的阻碍，即电阻加大。当温度超过绝对温标的零点 ( $T = 0$ ) 时，热振动消失， $AT^5$  项为零，常数项  $\rho_0$  与晶格热振动无关，主要决定于晶格缺陷和杂质，即  $T = 0$  时， $\rho_0$  也不消失，此时的电阻率叫做剩余电阻率。剩余电阻率通常极小，当电阻率小于  $10^{-21} \Omega \cdot m$  时就可以认为“电阻消失”了。

导体组成的回路电阻为零，一旦在回路中激励起电流后，由于没有电能消耗，电流可以保持不变，永不衰减，这种在超导体上所感生的持续流动的电流叫做持久电流。图 7-7-1 描画了外磁场撤消前后超导体回路的情形。超导体在高频交流情况下，不再具有理想导电性。



$T > T_c$ ，在超导体  $T < T_c$ ，环转 撤消外磁场，环  
圆环上施加磁场 变为超导态 内流过一持久电流

图 7-7-1 持久电流试验

## 2. 完全逆磁性 (又称迈斯纳效应)

完全逆磁性是超导体的另一重要特性。所谓完全逆磁性就是当给处于超导态的某一物质加一磁场时，磁力线无法穿透样品，而保持超导体内的磁通为零。这一特性是荷兰物理学家迈斯纳 (Meissner) 和奥森菲尔德 (Ocsenfeld) 在 1933 年首先发现的，所以又叫迈斯纳效应。完全逆磁性可用图 10-2 来描绘。用超导材料做成一个球，使它进入超导态，加上磁场 (见图 7-7-2 (a))，由于电磁感应，球中激励起沿球面流动