

电磁冶金技术及装备

500 问

韩至成 朱兴发 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

电磁冶金技术及装备 500 问

韩至成 朱兴发 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2010

内 容 简 介

本书分为 19 章, 共 500 问。内容包括: 电磁冶金技术介绍; 感应熔炼技术及装备; 中频无芯感应电炉炉体、水冷系统及运行维护; 中频炉衬与维护; 中频炉基本原理及工艺; 中频炉炉底吹氩技术和应用; 真空感应炉装备; 电磁搅拌技术及装备; 电磁悬浮冶金; 电磁感应加热; 磁控技术及应用; 磁控技术在半导体和太阳能硅材中的应用; 电磁冶金技术与资源利用以及环境保护等。

本书可作为钢铁、有色金属以及材料制备和冶金机械行业生产从业人员自学或培训教材, 也可供科技人员和管理人员以及营销人员参考或大专院校冶金材料、机械-电气化等专业在校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电磁冶金技术及装备 500 问/韩至成, 朱兴发编著. —北京:
冶金工业出版社, 2010. 2

ISBN 978-7-5024-5149-3

I. ①电… II. ①韩… ②朱… III. ①电磁流体力学—应用
—冶金—问答 IV. ①TF19-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 019912 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 程志宏 美术编辑 张媛媛 版式设计 葛新霞

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5149-3

北京印刷一厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 2 月第 1 版, 2010 年 2 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 20.5 印张; 400 千字; 305 页; 1-3000 册

58.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

电磁冶金（EPM）是借助于电流与磁场所形成的电磁力，对材料在加工处理过程中的表面形态、流动和传质等施加影响，以便有效地控制材料变化和反应过程，改善材料的表面质量和组织结构。由于电磁力可以以不直接接触的方式传递到金属材料内部，有利于在冶金过程中避免大气和炉衬对金属材料的污染，而且电磁能量是一种清洁的能源，较少污染环境，电磁冶金（EPM）被认为是 21 世纪冶金技术及材料加工行业发展的重要方向之一。

就 EPM 的功能而言，涉及到的领域非常广泛：如板形控制、流动控制、悬浮控制、雾化、电磁感应热生成、检测、精炼、凝固组织控制及高能密集发生等，EPM 的这些功能已在我国钢铁、有色金属、材料加工及制造行业诸多方面得到广泛应用，并取得了重要成效。

我国冶金行业提出了要坚持“炼钢-炉外处理-连铸”三位一体组合优化的发展原则，而在连铸生产中电磁冶金技术的运用已成为必不可少的重要技术方向，利用电磁场对钢液流体特性进行控制，可以实现很好的冶金效果。对液态钢液施加电磁力可以实现旋转运动，利用这一原理所开发的电磁搅拌技术，离心流动中间包技术已在实际生产中广泛应用。

对钢液施加电磁力还可以限制钢液的运动，如电磁制动技术以及电磁约束等，实现对钢液的控制，延长设备使用寿命，提高产品质量。

电磁搅拌技术不仅在连铸生产中广泛应用，而且在炉外精炼以及铝熔炉中也得到了良好的运用。

我国铸造行业目前有两万多家企业，但相当多的企业仍然沿用传

统的冲天炉化铁，钢的铸造则运用电弧炉或中频炉，如果铸造行业的熔化设备使用中频炉或真空感应炉，则会在节能、降耗、环保及产品质量等方面获得实质性的重大好处。

特殊钢、高温合金、半导体材料以及太阳能级硅材的生产往往也离不开电磁真空冶金技术的应用。

电磁感应加热代替传统的气体、液体、固体燃料加热钢坯和钢管，已经成为当前重要的技术趋势。

鉴于 EPM 对推动钢铁、有色金属及材料加工、制造所发挥的重要作用，作者在 2008 年出版《电磁冶金技术及装备》一书的基础上又编写了《电磁冶金技术及装备 500 问》一书。本书分为 19 章，涵盖了材料电磁处理功能的各个方面，其目的就是为了更好地推广应用 EPM 技术及其装备，使其在我国冶金（钢铁、有色金属）、材料加工、制造等行业中发挥更大的作用，这 500 个问答题以通俗易懂的方式叙述了在使用 EPM 技术及其装备中的各种具体问题，使各相关行业的生产现场从业人员、工程技术人员以及管理人员通过参阅本书而在工作 中得益。

在本书的编写过程中，结合作者在该领域的研究和经验，力求做到理论联系实际，同时也参阅了不少专家的论文和文献，使问题解答得更为精确和具体，在此作者向这些文献作者表示衷心感谢。由于作者水平所限，不当之处恭请读者批评指正。

作 者

2009 年 11 月

目 录

第1章 电磁冶金技术简介

1. 什么是电磁冶金?	1
2. 材料的电磁处理是怎样进行分类的?	1
3. 电磁冶金技术的特点是什么?	1
4. 电磁冶金技术发展前景怎样?	1
5. 电磁冶金技术目前已较成熟地应用在哪些领域?	2
6. 目前正待研发推广的电磁冶金技术主要包括哪些领域?	2
7. 为什么要大力推广电磁冶金技术?	2

第2章 感应熔炼炉的电气系统

8. 感应熔炼炉是怎样分类的?	3
9. 我国近年来中频感应炉技术及装备水平的提高,表现在哪些方面?	3
10. 中频电源的电路是怎样组成的?	3
11. 晶闸管中频电源的主回路有哪几种形式?	4
12. 什么是 IGBT?	4
13. 什么是 SIT?	4
14. 什么是 MCT?	4
15. 串联电路功率调节输出的控制方式是怎样进行的?	4
16. 高功率双供电感应熔炼系统的关键技术是什么?	4
17. 国内首创的“一拖二”串联逆变电路变频炉的特点是什么?	5
18. 什么是谐波?	5
19. 为什么要治理谐波?	5
20. 目前电力部门实际使用的无功补偿及谐波滤波装置有哪几种类型?	5
21. 感应炉对晶闸管中频电源的输出功率有何要求?	5
22. 感应炉对晶闸管中频电源的输出频率有何要求?	6
23. 对整流电路有哪些基本要求?	6
24. 对整流触发电路有哪些基本要求?	7

25. 负载电路具有哪些基本特点?	7
26. 影响主磁通和漏磁通相对大小的因素主要有哪些方面?	7
27. 中频感应炉负载电路中电阻具有哪些特点?	8
28. 感应圈电阻的基本特点是什么?	8
29. 坩埚内金属的电阻其特点是什么?	8
30. 中频电炉中电路的过电流、过电压是怎样保护的?	8
31. 晶闸管的过压保护有哪些基本措施?	9
32. 相序检查是怎样进行的?	9
33. 中频电源的系统保护是怎样进行的?	10
34. 三相桥式整流电路的短路保护是怎样进行的?	10
35. 逆变端过流及过压保护是如何进行的?	10
36. 逆变晶闸管是怎样选定的?	11
37. 高压电缆参数的选择(以8t中频炉为例)是怎样进行的?	11
38. 晶闸管的主要参数有哪些?	11
39. 两种逆变器比较各自有何特点?	13
40. 中频电源装置调试时整流电路是怎样调试的?	13
41. 逆变电路调试的顺序是怎样进行的?	15
42. 系统的保护调试分为哪几个方面?	15
43. 中频电源整流部分发生故障怎样进行排除?	15
44. 中频电源、逆变电路出现故障时怎样排除?	15
45. 中频电源保护部分会产生哪些故障?	17
46. 中频电炉电器部分日常检查的内容都包括哪些方面?	17
47. 中频电炉设备的电器维修和基本维护都包括哪些内容?	18
48. 晶闸管中频电炉电器检修及特殊维护主要有哪些项目?	18
49. 晶闸管中频电炉电气完好标准是什么?	18
50. 晶闸管中频电炉电器检修和使用中注意的事项有哪些?	18
51. 对绝缘电阻有哪些基本要求?	19
52. 开机、冶炼过程中对中频电源的操作要求是什么?	19
53. 停机规范操作(以某厂8t中频炉并联电路“一拖一”为案例) 是什么?	20
54. 开关设备不能正常启动如何处理?(中频电源经常出现的故障与 解决方案,实例之一)	20
55. 重载冷炉启动时各电参数和声音都正常,因过流保护功率升不上去 如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之二)	21
56. 零电压它激无专用信号源启动电路启动困难如何处理?(中频电源	

经常出现的故障与解决方案,实例之三)	21
57. 零电压它激扫频启动电路不好启动如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之四)	21
58. 设备空载启动出现不正常现象如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之五)	21
59. 设备能正常顺利启动,当功率升到某一值时出现过压或过流保护是何原因及如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之六)	22
60. 造成线圈绝缘层绝缘不好形成的原因及其处理办法是什么?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之七)	22
61. 烧毁多支 KP 晶闸管和快熔时如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之八)	23
62. 设备工作正常但功率上不去如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之九)	24
63. 设备运行正常但经常击穿补偿电容如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之十)	24
64. 设备运行正常但频繁过流如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之十一)	24
65. 更换晶闸管后一开机就烧毁晶闸管如何处理?(中频电源经常出现的故障和解决方案,实例之十二)	25
66. 更换新晶闸管后开机正常,但工作一段时间又烧毁晶闸管是何原因,如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之十三)	25
67. 更换新晶闸管后设备仍不能正常工作且晶闸管烧毁如何处理?(中频电源经常出现的故障与解决方案,实例之十四)	25

第3章 中频无芯感应电炉炉体及水冷系统

68. 中频无芯感应炉炉体及其配套系统是由哪些部分组成的?	26
69. 中频无芯感应炉炉壳的组成及结构有何特点?	26
70. 倾炉机构(含炉盖的移动)的组成及其特点是什么?	27
71. 感应圈的结构、材质及其组成的特点是什么?	28
72. 感应圈的主要技术参数包括哪些?	29
73. 感应圈的直径是怎样确定的?	29
74. 感应圈高度是怎样确定的?	29
75. 感应圈铜管长度及截面尺寸是怎样选择的?	29
76. 感应圈绕线空心管的断面形状是怎样的?	30

77. 感应圈的壁厚是怎样确定的？	30
78. 感应圈的匝数及匝间距是怎样确定的？	30
79. 磁轭起什么作用，其结构是什么样的？	31
80. 磁轭的总面积是怎样确定的？	31
81. 磁轭的形状是什么样的？	32
82. 为什么要采用炉衬厚度检测装置？	32
83. 接触式炉衬厚度检测装置的工件原理是什么？	33
84. 接触式炉衬厚度检测装置的优缺点是什么？	33
85. 改进型炉衬测厚装置的原理是什么？	34
86. 改进型炉衬测厚装置与早期使用的接触式装置相比较有哪些优缺点？	34
87. 中频感应炉所使用的水冷电缆其结构有何特点？	35
88. 中频感应炉倾动机构有哪些类型？	35
89. 液压装置由哪些部分组成？	35
90. 炉衬快速顶出机构的结构是怎样的？	36
91. 中频感应炉为什么必须配备完整可靠的水冷系统？	37
92. 为了使水冷系统稳定可靠地工作，设备应如何配备并采取哪些措施？	37
93. 水冷系统的类型及各自的特点是什么？	37
94. 中频电源闭式冷却系统由哪些部分组成？	38
95. 为什么要设置应急水系统，该系统由哪些部分组成？	39
96. 炉体水冷监控系统是由哪些部分组成，其结构的特点是什么？	39
97. 中频电源系统冷却水质要符合哪些要求？	39
98. 国家有关标准对冷却水水质的要求有哪些？	39
99. 中频炉侧排烟装置的结构及其特点是什么？	41
100. 中频炉所使用的 PLC 程序控制器、液晶屏幕显示具有哪些 具体的功能？	41

第4章 中频无芯感应电炉的安装、 运行、维护和安全操作总则

101. 中频无芯感应电炉在安装前应做好哪些方面的准备工作？	43
102. 炉体安装应怎样进行？	43
103. 水冷系统的安装和调试是怎样进行的？	43
104. 液压系统的安装和调试是怎样进行的？	44
105. 电气系统及感应器、磁轭的安装和调试是怎样进行的？	44
106. 中频感应炉试炉及运行过程中应注意的事项有哪些？	

炉衬烧结和烘烤是怎样进行的?	45
107. 中频感应炉熔炼操作过程中应注意哪些问题?	45
108. 中频感应炉日常维护、检修要点都包括哪些方面?	47
109. 中频感应炉的主要保护内容、设置原因及其方法是怎样的?	52
110. 中频感应炉安全操作事项包括哪些内容?	53
111. 对中频炉停电事故处理应注意的问题是什么?	53
112. 中频炉出现漏炉(漏铁或钢液)事故应如何处理?	54
113. 中频炉出现冷却水事故应如何处理?	54

第5章 中频炉炉衬及其使用维护

114. 中频感应炉炉衬结构及其作用是什么?	56
115. 坩埚是怎样进行分类的?	56
116. 什么是碱性坩埚?	56
117. 什么是酸性坩埚?	56
118. 什么是中性坩埚?	56
119. 什么是镁铝尖晶石?	57
120. 感应炉坩埚对耐火材料的要求是什么?	57
121. 感应炉不同部位所使用的耐火材料有何区别?	57
122. 炉衬打结的重要性及其关键环节有哪些?	59
123. 打结炉衬的耐火材料的合理颗粒配比是怎样的?	59
124. 在中频炉炉衬打结时,耐火材料中为什么要有添加剂?	59
125. 怎样做好打结炉衬前的准备工作?	60
126. 打结炉衬时炉衬厚度是怎样确定的?	60
127. 人工打结炉衬是怎样进行的,应注意哪些问题?	61
128. 风动捣打炉衬时应注意的问题是什么?	62
129. 炉衬的烘烤和烧结要注意哪些问题?	62

第6章 中频感应炉熔炼的基本原理及其工艺技术

130. 什么是电磁感应现象?	64
131. 什么是磁性、磁体、磁场?	64
132. 什么是磁感应强度、磁力线、磁通量?	64
133. 怎样判断载流导体的磁力线分布情况和磁场方向?	65
134. 怎样判断磁场对载流导体的作用力方向?	66

135. 法拉第电磁感应定律的含义是什么, 是怎样表达的?	66
136. 焦耳-楞次定律的含义是什么, 是怎样表达的?	67
137. 怎样判断感应电流的方向?	68
138. 什么是涡流、涡电流, 涡流在感应炉熔炼中起什么作用?	68
139. 感应电流在感应炉炉料中的分布特征有哪三种效应?	69
140. 什么是集肤效应?	69
141. 金属圆柱中的感生电流是如何分布的?	70
142. 电流密度分布的计算是怎样进行的?	70
143. 电流透入深度是怎样计算的?	71
144. 几种常用材料的电流透入深度可供参考的数据是什么?	71
145. 炉料最佳尺寸范围与电流透入深度有何关系?	72
146. 什么是邻近效应?	72
147. 什么是圆环效应?	73
148. 感应加热和感应熔炼的电流频率是多少, 感应熔炼中有哪些因素 影响频率的选择?	73
149. 感应熔炼加热圆柱形导体时, 表面与中心的温差是怎样计算的?	74
150. 感应熔炼时选择的频率与炉子容量有何关系?	74
151. 什么是“驼峰”, 应如何控制“驼峰”?	75
152. 感应炉熔炼的基本特点是什么?	76
153. 感应熔炼的理论基础是什么?	77
154. 感应炉熔炼的基本任务是什么?	77
155. 感应炉炼钢需用哪些原材料?	77
156. 感应炉熔炼时所用炼钢生铁的化学成分及其牌号是什么?	78
157. 感应炉熔炼时所用工业纯铁的化学成分及其牌号是什么?	79
158. 感应炉熔炼时常用合金元素及其铁合金的化学成分、牌号是什么?	79
159. 感应熔炼钢时常用哪些造渣材料, 对它们的要求是什么?	86
160. 有色玻璃为什么不能用于造酸性渣的造渣材料?	86
161. 感应炉熔炼时装料应注意的问题是什么?	87
162. 感应炉熔炼炉料熔化开始后应注意哪些问题?	87
163. 感应炉熔炼中精炼和脱氧时应注意哪些问题?	87
164. 中频炉熔炼优质钢、合金钢合理的实际操作案例是如何进行的?	88
165. 中频炉与电弧炉及 LF 炉是怎样相配合生产各类合金钢的?	90
166. 感应熔炉冶炼磁性能差的钢种应注意的问题是什么?	90
167. 感应炉与 AOD 炉配合生产不锈钢的工艺流程是怎样的?	91
168. 用感应炉熔炼铜合金具有什么特点?	91

169. 铜液的氧化具有哪些特性, 为什么要进行脱氧处理?	92
170. 铜液的脱氧方法有哪些种类?	92
171. 铜液脱氧时对脱氧剂的选用应有哪些要求?	93
172. 铜液脱氧时常用的脱氧剂及其使用要点是什么?	93
173. 磷铜脱氧的反应是如何进行的?	94
174. 磷脱氧为什么必须采用 P-Cu 中间合金(含磷 8% ~ 14%) 的形式加入?	94
175. P-Cu 合金加入量是怎样确定的?	94
176. P-Cu 合金的加入方法是怎样进行的?	95
177. 熔炼铜合金为什么必须去气?	96
178. 熔炼铜合金时为什么可用氧化法去气, 氧化法去气的特点是什么?	96
179. 熔炼铜合金时为什么要精炼, 精炼是怎样进行的?	96
180. 在工业生产中都用哪些方法生产铸造铝合金?	97
181. 铸造铝合金是怎样进行分类的?	97
182. 氢在铝液中的溶解度是怎样的?	97
183. 铝液中气体是从哪里来的?	98
184. 为了防止氢溶入炉液应注意哪些问题?	98
185. 熔铝时为什么使用的铝锭必须贮存于干燥的仓库以防铝锈的产生?	99
186. 在采用感应熔炼时, 熔剂法净化的工艺原理是什么?	99
187. 在感应熔炼铝合金时, 对使用的熔剂有何要求?	100
188. 在感应熔炼铝合金时, 对铝液净化用熔剂及其工艺性能有何要求?	100
189. 在感应熔炼铝合金时, 常用熔剂的选择及其要求是什么?	100
190. 在感应熔炼铝合金时, 其工艺要点是什么?	101
191. 在感应熔炼银及其合金时, 应如何掌握银及其合金的特点?	102
192. 在感应熔炼银及其合金时, 其工艺操作要点包括哪些方面?	102

第 7 章 中频感应炉底吹氩技术的应用

193. 底吹氩精炼的原理是什么?	104
194. 底吹氩在中频炉中实际应用会取得哪些效果?	105
195. 哪些实际案例能说明中频炉底吹氩的实际效果?	105
196. 底部吹氩搅拌时供气元件有哪些种类?	105
197. 单管式的结构及存在的问题是什么?	106
198. 双层套管式喷嘴(采用冷却介质)的结构及存在的问题是什么?	106
199. 环缝管的结构及其特点是什么?	106
200. 弥散型砖(透气砖)的结构及其特点是什么?	107

201. 缝隙式组合砖供气元件的结构及其特点是什么?	107
202. 多微管透气塞供气元件 MHP(Multiple Hole Plug)的结构及其特点是什么?	107
203. 现在在中频炉上运用较为成熟的透气砖其结构及特点是什么?	108
204. 米纳克的 GD 在中频炉上安装位置及其结构特点是什么?	108

第 8 章 真空感应炉装备

205. 什么是真空,什么是真空度以及真空度如何衡量?	110
206. 真空度是怎样具体划分的?	110
207. 真空度及主要压力单位的换算是怎样进行的?	110
208. 什么叫真空冶金,真空冶金的特点是什么?	111
209. 国外拥有 10t 以上真空感应炉的代表性企业有哪些?	111
210. 我国真空感应炉建设发展的概况是怎样的?	111
211. 真空感应炉是由哪些部分组成的?	112
212. 真空感应炉是怎样进行分类的?	113
213. 半连续式和周期式真空感应炉有何特点?	113
214. 立式和卧式真空感应炉有何特点?	114
215. 真空感应炉为什么要采用 PLC 技术?	114
216. 什么是真空泵?	115
217. 通过什么方法可以获得真空?	115
218. 在工业生产、科学研究及真空冶金生产中,为什么要由不同的 真空泵组成真空抽气系统?	115
219. 什么是气体传输泵,其类型有几种?	115
220. 什么是容积式真空泵,其类型有哪些?	115
221. 什么是动量传输泵,其类型有哪些?	115
222. 什么是气体捕集泵,捕集泵分为哪几种类型?	116
223. 用哪些主要参数来检验真空泵的性能?	116
224. 真空泵在各种不同工作领域中所起的作用是什么?	117
225. 常用真空泵的工作压强范围及启动压强是怎样确定的?	118
226. 真空系统是由哪些部分组成的?	118
227. 目前工业生产中典型的真空系统是怎样的?	119
228. 真空泵使用中应注意的问题是什么?	120
229. 真空密封是怎样进行分类的?	120
230. 什么是可拆密封?	121

231. 什么是动密封连接?	121
232. 为什么要进行真空系统的检漏?	121
233. 真空容器进行长时间抽气后仍然达不到要求的真空度, 可能是哪些原因造成的?	121
234. 一些重要的真空检漏术语是什么?	121
235. 真空检漏的方法有哪些?	122
236. 什么是压力检漏法?	122
237. 什么是真空检漏法?	122
238. 其他检漏法包括哪些?	122
239. 目前对炼钢脱气系统的低真空范围的检测仪表有哪几种, 一般各自安装在真空系统的什么地方?	122
240. 如何控制真空系统的泄漏?	123

第9章 真空感应炉熔炼原理与工艺技术

241. 真空感应熔炼冶金过程的基本特点是什么?	124
242. 真空脱气的基本原理是什么?	124
243. 真空冶炼中脱氢的效果如何及其影响因素又是什么?	124
244. 真空冶炼时脱氮的效果如何及其特点是什么?	125
245. 真空冶炼时真空脱氧的特点是什么?	126
246. 真空冶炼时真空下脱碳的特点是什么?	127
247. 真空处理时钢液与耐火材料、非金属夹杂物有哪些反应?	128
248. 真空处理时为什么能使钢中非金属夹杂物降低?	128
249. 什么是真空蒸馏?	129
250. 蒸馏的主要过程是怎样进行的?	129
251. 影响真空蒸馏提纯的效果有哪些因素?	129
252. 二元铁合金铁液的蒸气压及挥发系数 α 值是怎样的?	129
253. 真空感应炉熔炼的主要特点是什么?	130
254. 真空感应熔炼中对炉料和装料有哪些要求?	131
255. 真空感应熔炼熔化过程是怎样进行的?	131
256. 真空感应熔炼过程精炼是怎样进行的?	132
257. 真空感应熔炼计算合金元素的加入量时应如何考虑到它们在 真空下的挥发及氧化损失?	132
258. 真空感应熔炼精炼后的钢液是怎样进行浇注的?	133
259. 多功能真空感应炉的主要功能有哪几点?	133

260. 国内外多功能真空感应炉发展的概况是怎样的？	134
----------------------------------	-----

第 10 章 液态金属的电磁处理

261. 什么是液态金属的电磁处理技术？	135
262. 电磁泵有哪些类型？	135
263. 直流电磁泵熔炼时的主要特点是什么？	135
264. 交流传导电磁泵的结构及其特点是什么？	136
265. 旋转电磁泵的结构及其特点是什么？	136
266. 直流传导泵的工作原理是什么？	138
267. 交流传导泵的工作原理是什么？	139
268. 感应式电磁泵的工作原理是什么？	139
269. 选择电磁泵时应注意哪些基本因素？	140
270. 什么是电磁制动，其作用是什么？	140
271. 什么是电磁封闭阀，其作用是什么，有何特点？	140
272. 什么是电磁挡渣法，其特点是什么？	141
273. 什么是双辊薄带连铸电磁的侧封技术？	141
274. 金属液电磁净化技术的特点是什么？	141
275. 电磁净化处理技术的基本原理是什么？	142
276. 电磁净化处理时按加磁场的方法不同可分为哪些类型？	142

第 11 章 电磁搅拌工艺技术及其装备

277. 电磁搅拌的类型有哪几种？	143
278. 连续铸钢的电磁搅拌装置可分为哪些类型？	144
279. 电磁搅拌器（EMS）的型号及其含义是什么？	144
280. 电磁搅拌器的主要参数有哪些？	144
281. 电磁搅拌器都安装在什么位置？	145
282. 二冷区电磁搅拌器的装置是什么样的？	146
283. 凝固末端电磁搅拌器装置是怎样的？	146
284. 内置式的电磁搅拌器有何特点？	146
285. 外置式的电磁搅拌器有何特点？	147
286. 带电磁搅拌器的结晶器有何特别要求？	147
287. 感应旋转磁场型电磁搅拌力如何计算？	148
288. 行波磁场电磁搅拌的电磁力如何计算？	148

289. 电磁搅拌器在各种熔铝的反射炉中是如何应用的?	148
290. 铝熔炉所用电磁搅拌装置都有哪些类型?	150
291. 平板式搅拌器的原理及其应用的特点是什么?	150
292. 中字形电磁泵搅拌器的原理及其运用的特点是什么?	151
293. 电磁搅拌装置在铝熔炉上应用取得哪些实际效果?	153
294. 永久磁体为主要部件的搅拌装置与电磁搅拌装置相比有何特点?	154
295. 永磁搅拌装置结构由哪些部分组成?	154
296. 永磁搅拌装置的永磁体是什么材料做成的, 其特点是什么?	154
297. 中频感应炉中电磁搅拌的基本原理与特点是什么?	155
298. 钢包中的电磁搅拌的结构及其特点是什么?	156
299. ASEA-SKF 钢包精炼炉的结构及其特点是什么?	157
300. 电磁搅拌技术在钢的连铸中是如何应用的?	158
301. 钢的连铸电磁搅拌技术在国外的发展概况是怎样的?	158
302. 钢的连铸电磁搅拌技术在国内发展概况是怎样的?	160
303. 结晶器中电磁搅拌 (M-EMS) 的作用及其特点是什么?	162
304. 二冷区的电磁搅拌 (S-EMS) 的作用及其特点是什么?	164
305. 铸坯凝固末期的电磁搅拌 (F-EMS) 的作用及其特点是什么?	166
306. 组合式电磁搅拌 (KM) 的作用及其特点是什么?	166
307. 钢的连铸中电磁搅拌强度与时间是怎样考虑的?	167
308. 方坯和小方坯连铸电磁搅拌的实用例子都有哪些?	168
309. 举例说明圆铸坯连铸电磁搅拌的实效是怎样的?	169
310. 举例说明板坯连铸机电磁搅拌的实效是怎样的?	169

第 12 章 电磁铸造工艺技术及其装备

311. 什么是电磁铸造, 其特点是什么?	173
312. 铝合金电磁铸造的原理是什么?	173
313. 电磁铸造装置的类型有哪些?	175
314. 电磁铸造装置及其系统是怎样的?	175
315. 电磁铸造对晶闸管中频电源有哪些要求?	175
316. 电磁铸造主要电参数是如何确定的?	177
317. 电磁铸造的结晶器结构类型及其特点是什么?	178
318. 电磁铸造时冷却水套的结构及其要求是什么?	180
319. 电磁铸造时屏蔽罩的结构及其要求是什么?	180
320. 电磁铸造时感应圈的具体结构及其特点是什么?	180

321. 电磁铸造时熔融金属液面及液-固界面的检测系统是怎样的？	182
322. 什么是浮标法，其特点是什么？	182
323. 什么是电极检测法，其特点是什么？	184
324. 什么是光电设备检测法，其特点是什么？	184
325. 什么是光电传感器测量法，其特点是什么？	184
326. 什么是涡流检测法，其特点是什么？	185
327. 什么是耐高温的电感式检测法，其特点是什么？	185
328. 电磁铸造的控制系统是怎样建立的？	186
329. 电磁铸造工艺实施前应做好哪些准备工作？	187
330. 电磁铸造中启动操作是怎样进行的？	188
331. 电磁铸造中的工艺参数是如何选择的？	188
332. 铝合金电磁铸造的铸锭质量是怎样的？	189
333. 电磁铸造铸锭常见缺陷都有哪些？	189
334. 什么是波纹，它是怎样形成的？	190
335. 什么是表面皱褶，它是怎样形成的？	190
336. 什么是裂纹，它是怎样形成的？	190
337. 铜合金电磁铸造发展概况是怎样的？	192
338. 铝、铜、钢电磁铸造时主要性能参数是怎样的？	193
339. 有模电磁铸造与无模电磁连铸的特点是什么？	193
340. 软接触钢的电磁连铸技术的主要冶金效果是怎样的？	194
341. 软接触钢的电磁连铸结晶器其结构有何特点？	195
342. 国外关于开发电磁软接触结晶器的概况是怎样的？	195
343. 国内关于开发电磁软接触结晶器的概况是怎样的？	197
344. 什么是离心铸造，其特点是什么？	198
345. 什么是电磁离心铸造，其特点是什么？	198
346. 电磁离心铸造是怎样发展起来的？	199
347. 电磁离心铸造设备是如何构成的？	199
348. 电磁离心铸造的工作原理是怎样的？	201
349. 电磁离心铸造金属的组织有何特点？	201
350. 电磁离心铸造中铸坯的柱状晶-等轴晶是如何转变的？	202
351. 电磁离心铸造耐热钢管的性能是如何提高的？	203
352. 电磁离心铸造耐热钢管的组织是怎样的？	205
353. 工业电磁离心铸管的力学性能是怎样的？	207