

电炉炼钢技术

中国金属学会 冶金继续工程教育丛书

科学出版社

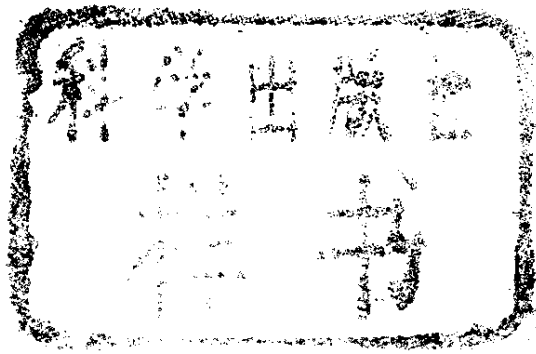
关玉龙 等 编译

TB741.1
3

冶金继续工程教育丛书

电炉炼钢技术

关玉龙 等 编译



科学出版社

1990



B

12020

内 容 简 介

本书是“冶金继续工程教育丛书”之一。它是以美国1985年版“Electric Furnace Steel Making(电炉炼钢学)”一书为基础，结合我国实际情况编译而成的。全书以电弧炉和感应电炉炼钢为基本内容，较为详尽地论述了设备结构及设计、主要原材料、冶炼工艺及有关的理论。书中还对电炉炼钢的环保、直接还原铁在电弧炉中的应用等内容进行了讨论。

本书为钢铁冶金专业的继续工程教育用书，也可供从事电炉炼钢科研、设计、教学和生产管理等专业人员使用，对本科生和研究生亦有参考价值。

冶金继续工程教育丛书

电炉炼钢技术

关玉龙 等 编译

责任编辑 岳满堂 何舒民

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

北京昌平百善印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1990年10月第 一 版 * 开本：787×1092 1/32

1990年10月第一次印刷 印张：13

印数：0001—5 000 字数：293 000

ISBN 7-03-002067-7/TF·4

定价：7.50元

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化、振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事
冶金工业部副部长

徐方铨

一九八八年十二月

前 言

电炉炼钢技术在国际上发展很快。近20年来，超高功率、水冷炉壁炉顶、偏心炉底出钢、高效除尘防噪音、过程自动化以及炉外精炼等新技术先后用于电炉生产，使电炉炼钢在钢铁生产中的比例日益增大。我国自建国以来，特别是80年代，电炉钢生产在产量、质量和品种方面都有了很大的发展。

长期以来，国内缺乏反映电炉炼钢技术发展的教科书和参考书，已有的编著本和译本大多停留在60年代水平。为了跟上时代的发展，我们分析了欧美80年代出版的有关书籍，认为美国1985年出版的“Electric Furnace Steel Making（电炉炼钢学）”一书包括了电炉设备及设计、电炉钢冶炼工艺及原理等，内容比较丰富而且实用。因此，我们以该书为基础，结合我国实际情况，编译了本书。我们认为本书有以下几个特点：

1. 重视了电炉的机械、电气设备、设计及应用。
2. 重视了电炉炼钢生产用的原料和辅助材料的制造、选择和应用。在废钢供应日益紧张的今天，书中专列章节论述了直接还原铁的制备和在电炉中的应用，同时，对生产用的耐火材料和电极也作了专题讨论。
3. 炼钢生产对环境有一定污染，近年来，国内外对此十分重视，做了大量的工作。本书对此进行了介绍，这在已有的同类书中是不多见的。
4. 在技术不断发展的新形势下，电炉炼钢工艺亦应做

相应的改革。本书结合几个典型钢种的冶炼工艺对此予以论述。

5. 感应炉炼钢在炼钢生产中所占比例虽然不大，但在特种合金的冶炼、合金的铸造生产以及小型实验和生产中仍起着很重要的作用。本书不仅讨论了感应炉炼钢工艺，而且对感应炉设计也作了必要的介绍。

总之，这是一本基本上反映了80年代电炉炼钢的理论和实践水平的书籍。由于时间所限，本书在结合国内实际方面还感不够，有待今后补充。

本书前言和第1章由关玉龙编写，第2，3，6，11章由孔祥茂编译，第4，5，12，14章由李伟立编译，第7，8，9章由屠宝洪编译，第10章由李士琦编译，第13章由姜钧普编译。全书经关玉龙、杨昌乐和知水审阅。林慧国、岳满堂负责编辑工作。参加编辑工作的还有朱文佳、张之香、赵承平、于亚丽。杨文曦、罗金德负责插图加工。限于编译者水平，书中不当之处敬希广大读者给以批评和指正。

编译者

1989年12月于北京

目 录

序

前言

1 电炉炼钢的发展	(1)
2 炼钢电弧炉的机械结构	(10)
2.1 炉壳	(12)
2.2 分段炉壳	(15)
2.3 可替换炉壳	(16)
2.4 水冷炉衬	(16)
2.5 锥形炉壳	(17)
2.6 炉顶圈	(18)
2.7 炉壳和炉顶间的密封	(19)
2.8 旋转炉壳	(19)
2.9 炉门和门框架	(19)
2.10 炉门提升机构	(21)
2.11 倾动形式	(21)
2.12 倾动机构	(24)
2.13 主(倾动)平台	(25)
2.14 炉顶移开装置	(26)
2.15 稳定装置	(28)
2.16 电极升降机构	(29)
2.17 电极立柱	(29)
2.18 电极夹头	(31)
2.19 电极夹紧机构	(32)
2.20 电极升降传动	(33)
2.21 电极(分布)圆	(34)

2.22	大电流导体	(35)
2.23	电极密封圈和炉顶冷却器	(36)
2.24	维修平台	(37)
2.25	装料罐	(37)
2.26	安全问题	(40)
3	电器设备和运行功率特性	(42)
3.1	简介	(42)
3.2	电弧炉变压器	(48)
3.3	控制和仪表	(64)
3.4	功率计算	(70)
3.5	电弧炉中最大功率	(74)
3.6	功率和电流平衡	(82)
3.7	电炉运行	(83)
3.8	炼钢工的助手	(85)
3.9	直流电弧炉	(90)
4	电弧炉的排放控制	(95)
4.1	排放物的来源和性质	(95)
4.2	治理问题	(97)
4.3	捕集烟尘的方法	(102)
4.4	特殊的设计考虑	(115)
4.5	烟尘治理设备	(123)
5	电弧炉用耐火材料	(128)
5.1	原材料	(128)
5.2	术语	(129)
5.3	镁砖	(129)
5.4	铬镁砖	(132)
5.5	白云石砖	(132)
5.6	高铝砖	(133)
5.7	粘土砖	(133)
5.8	颗粒料	(134)

5.9	结构	(134)
5.10	浇铸跨用耐火材料	(143)
5.11	AOD炉用耐火材料	(145)
5.12	工作条件和发展前景	(147)
6	石墨电极的制造、测试和应用	(149)
6.1	石墨电极的制造	(149)
6.2	石墨电极的测试	(155)
6.3	石墨电极的应用	(160)
7	直接还原铁在电弧炉中的应用	(172)
7.1	直接还原铁(DRI)的特性	(172)
7.2	新冶炼工艺	(176)
7.3	DRI对钢的性能的影响	(196)
7.4	工艺自动控制的可能性	(197)
8	普碳钢和低合金钢冶炼工艺	(199)
8.1	前言	(199)
8.2	炉料的选择和准备	(200)
8.3	熔化	(205)
8.4	精炼	(206)
8.5	渣-钢反应	(209)
8.6	磷的控制	(210)
8.7	硫的控制	(211)
8.8	锰的控制	(215)
8.9	铬的控制	(215)
8.10	氮的控制	(216)
8.11	还原期	(217)
8.12	还原渣造渣工艺	(220)
8.13	温度控制	(224)
8.14	出钢	(224)
8.15	出钢后操作	(225)
9	工具钢冶炼工艺	(227)

9.1	工具钢定义	(227)
9.2	工具钢成分	(227)
9.3	质量要求	(228)
9.4	原材料	(228)
9.5	熔炼	(229)
9.6	炉渣控制	(229)
9.7	熔化	(230)
9.8	氧化期	(230)
9.9	精炼期	(231)
9.10	熔化和温度控制	(232)
9.11	吸氢	(232)
9.12	铝和硫的加入	(233)
9.13	盛钢桶和铸口	(233)
9.14	锭模操作	(234)
9.15	保温帽	(234)
9.16	脱模操作	(234)
9.17	特殊冶炼工艺	(235)
10	不锈钢冶炼工艺	(237)
10.1	工艺	(238)
10.2	原理	(251)
10.3	超低碳不锈钢的冶炼	(279)
10.4	酸性法冶炼不锈钢	(281)
11	感应炉设计	(282)
11.1	感应熔炼原理	(284)
11.2	感应熔炼	(288)
11.3	真空感应熔炼	(290)
11.4	原材料的准备及装运	(291)
12	普通感应炉炼钢	(294)
12.1	基本情况	(294)
12.2	耐火材料	(299)

12.3	制备炉衬	(301)
12.4	熔炼过程	(305)
12.5	感应炉冶炼与电弧炉冶炼的比较	(311)
12.6	感应炉冶炼的特点	(314)
13	钢中夹杂物	(316)
13.1	夹杂物的分类	(316)
13.2	夹杂物的变形性	(319)
13.3	内在夹杂物	(323)
13.4	外来夹杂物	(345)
14	电弧炉熔渣	(354)
14.1	高熔点氧化物的熔解	(354)
14.2	熔渣离子特性的某些模型	(358)
14.3	熔渣的物理性能	(365)
14.4	熔渣的化学性能	(374)
	参考文献	(388)

电炉炼钢的发展

自1800年世界上第一座坩埚炉炼出钢水以来，多种炼钢方法相继出现，如平炉、贝士麦转炉、氧气顶吹转炉、电弧炼钢炉等。这些炼钢方法各自有其发生、发展乃至消失的客观规律和条件。就其发展过程而言，坩埚炼钢法从其发展的顶峰到消亡共经历了40年；贝士麦转炉炼钢法则达80年；曾占世界上总钢产量很大比重的平炉炼钢法，到本世纪末亦有消亡的可能。然而在50年代中期出现的氧气顶吹转炉炼钢，近30年来其钢产量则以直线速度上升，到目前为止，它所生产的钢已占全世界总钢产量的60%左右。电炉炼钢自1905年问世以来，也是以不断增长的趋势在发展，迄今为止在国际上它所生产的钢已占世界总钢产量的25%左右，而且还在保持着继续上升的趋势。从美国提供的资料所得到的各种炼钢法的发展变化如图1-1所示。在我国，电炉钢的发展也和世界的发展趋势相同，产量在逐年提高，到80年代其钢产量已占全国总钢产量的20%，见图1-2。我国电炉钢产量的发展是很快的，从1949年年产 3.2×10^4 t发展到1988年年产 1206×10^4 t，在40年过程中电炉钢产量增加了近370多倍。

早期电炉用于生产合金钢，主要是工具钢。随着电力工业的发展，与其它能源相比，电能在价格上逐渐具有更大的优势，从而电炉钢的品种扩大到生产普通碳素钢。进入80年代，

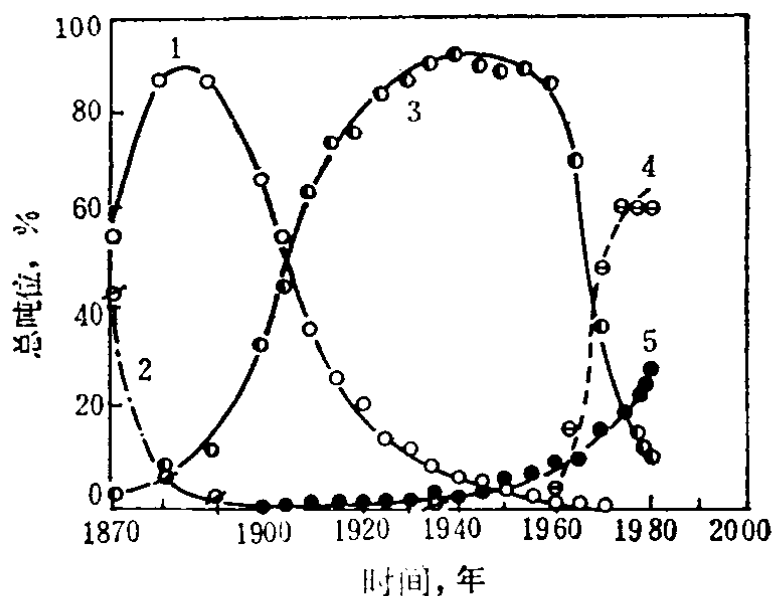


图1-1 美国各种炼钢法钢产量的变化
 1——贝士麦转炉法；2——坩埚炉法3；——平炉法；
 4——氧气顶吹转炉法；5——电炉法

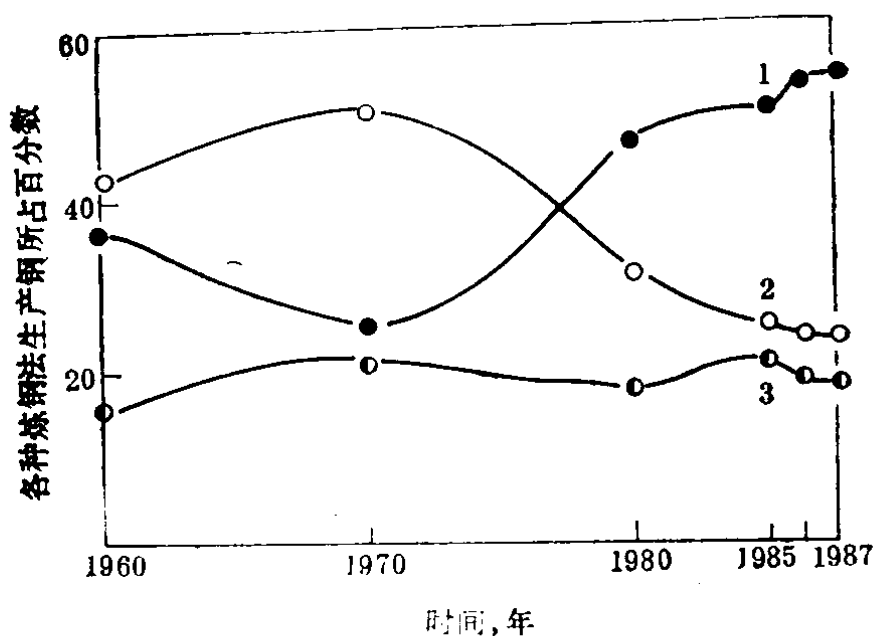


图1-2 我国各种炼钢炉产量百分比的变化
 1——顶吹转炉；2——平炉；3——电炉

美国电炉钢总量的70%以上是碳素钢，而合金钢只占20%，余下的是不锈钢。我国的情况有所不同，电炉钢中的50%左右是优质碳素钢，余下的为合金钢。国内电炉生产的合金钢

包括：高速钢、轴承钢、不锈钢、合金工具钢、合金结构钢、电工钢、弹簧钢以及高温合金和耐热钢等近600个钢种，其中常用的钢种约300多种。

世界上第一个用电炉成功地炼出钢水的是 William Von Siemens，于1878—1879年用单相间接电弧炉完成的。这种电炉是用两根电极穿过炉子边壁，在炉料上方产生电弧，靠电弧辐射加热炉料。Siemens于1878年获间接电弧炉专利，一年以后他又获得直接电弧炉专利。直接电弧炉是用一根电极穿过炉顶，另一根电极装在炉底上。

几年以后各种型式的电炉相继出现，其示意图见图1-3至图1-7。这5种电炉迄今只有直接电弧炉和无芯感应电炉得

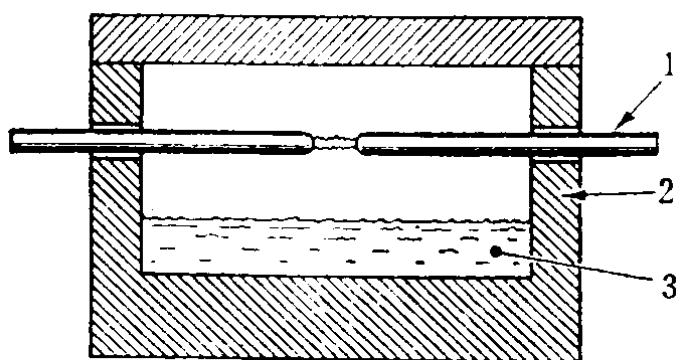


图1-3 间接电弧炉

1——电极；2——炉衬；3——钢水

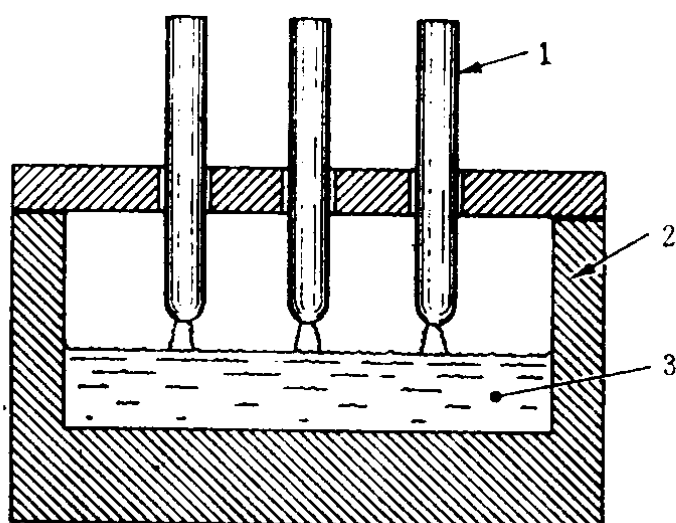


图1-4 直接电弧炉

1——电极；2——炉衬；3——钢水

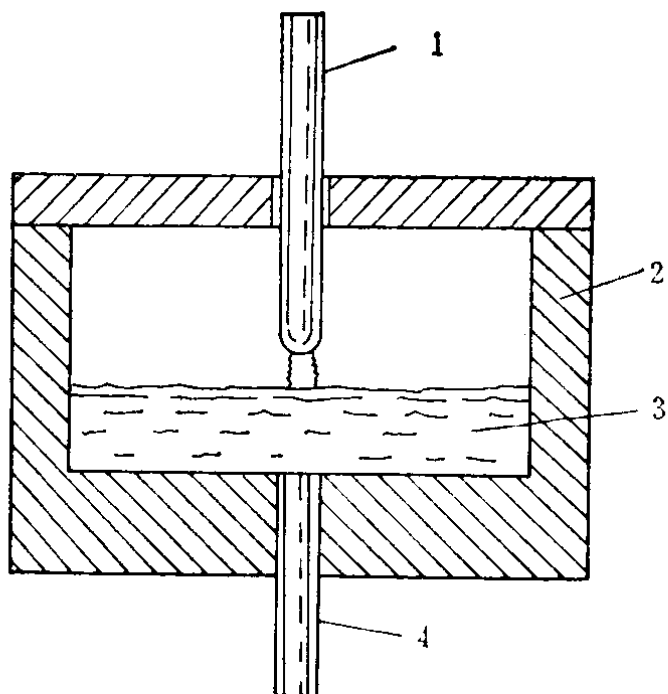


图1-5 炉底导电式直接电弧炉

1——电极；2——炉衬；3——钢水；4——炉底导电电极

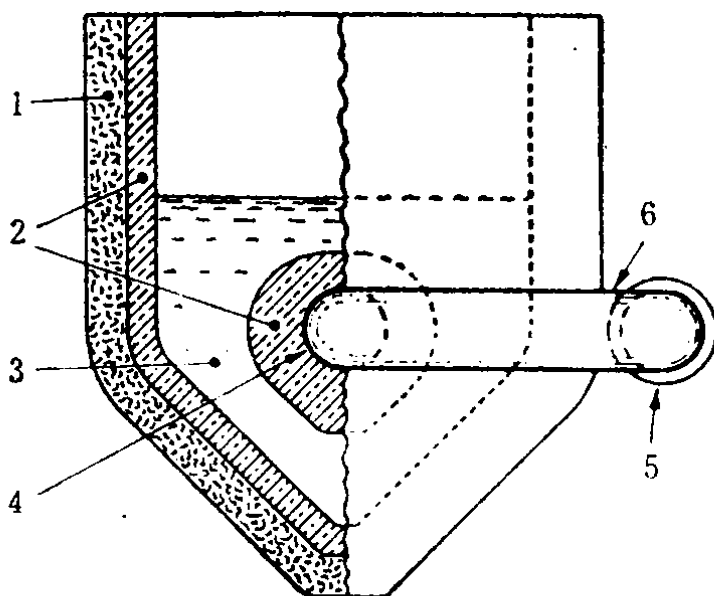


图1-6 低频有芯感应炉

1——隔热层；2——耐火层；3——钢水；4——变压器；
5——铁心；6——初级绕组

到了广泛应用。

继单相直接电弧炉后，出现了三相直接电弧炉，这种电弧炉很快地得到发展，到现在已成为炼钢电炉的主要型式。

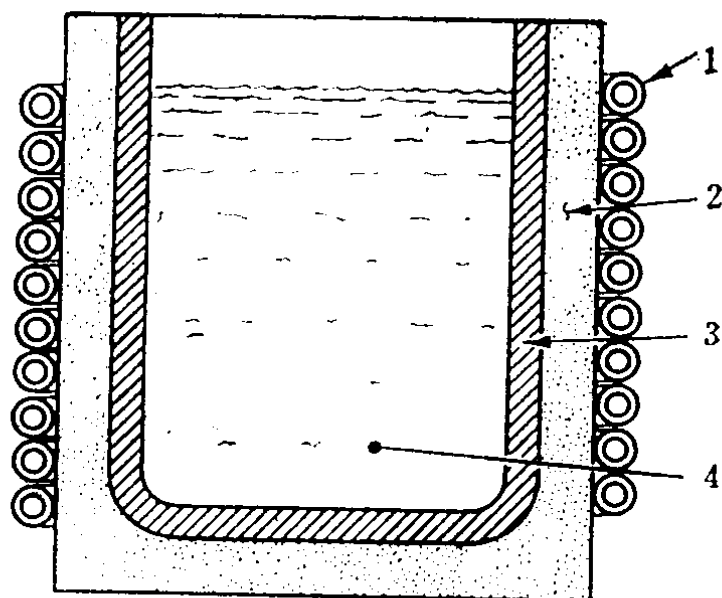


图1-7 高频无芯感应炉

1——感应圈；2——隔热层；3——耐火层；4——钢水

本世纪初，第一次世界大战期间，电炉炼钢得到较快的发展。当时电弧炉的炉壳直径平均在 3.35m，容量为5.5t，配用变压器功率为 1500kVA，采用432mm 的碳素电极，炉子为可倾式，便于出钢和出渣，装料则用人工从炉门装入。

自第一座炼钢电炉建立以来，电炉容量在不断的增大，到本世纪30年代初美国建了一座容量为91t（100美吨）的电炉。炉壳为椭圆形，长轴/短轴为8.84/6.1m，由两台变压器，6根电极从两边供电，每台变压器功率为7500kVA，电极采用457mm（18英寸）的石墨电极。随后电炉的发展趋向于高功率，1952年美国西北钢与线材公司建立了 145t 直径为6.7m 的电炉，配用 50000kVA的变压器，进而又扩大变压器功率到 80000kVA，成为高功率电炉的先驱。1971年该公司又投产一座 364t（400美吨）的电炉，配有162000kVA的大功率变压器，电极直径为 711mm（28英寸）。1976年又建成一座直径为11.6m，变压器功率为162000kVA的电炉。至此，电炉吨钢的变压器功率达到了445kVA。为

了进一步提高电炉的生产率，电炉变压器的功率仍在不断地增大，从大功率电炉发展到近年来的超高功率电炉，乃至出现了超超高功率电炉，即电炉每吨钢的变压器功率增大到800至1000kVA。

70年代初由于炉外精炼技术用于炼钢生产，电炉冶炼工艺发生了很大的变化，主要精炼任务转移到炉外进行，而电炉炉内只承担熔化、升温、脱磷等冶金任务，致使电炉的冶炼时间大大缩短，采用超高功率的大型电炉，其炉内冶炼时间缩短到60至70min。从而，大型超高功率电炉的生产率可与氧气顶吹转炉相竞争，为电炉炼钢的发展开辟了新纪元。

我国电炉数量自解放以来发展很快，目前总数在1500座以上，唯平均容量较小，按实际出钢量计算，仍在15t左右，吨钢变压器功率也在300kVA以下。80年代初国内开始引进大功率电炉，容量在50至80t，原有小型电炉正在逐步改造，多数先扩大容量至30t左右。毫无疑问，国内电炉的大型化、高功率化是必然发展趋势。

电炉装料，过去一直采用人工从炉门装料，为了实现电炉操作机械化，装料方式改为用料篮或料罐从炉顶机械装料。为此，需将炉顶打开，其打开方式有炉身开出式和炉顶旋转式两种，从结构紧凑和节省占地角度考虑，后者更为优越，同时也是目前采用最多的形式。随之对辅助料和合金料的加入也都改进为机械装入。通过料仓下面的自动称量系统和输送系统以及自动给料系统，实现了自动称量加料，从而改善了炉前工人的劳动条件。

电炉炉衬长期以来一直采用不同类型的耐火材料。炉底采用镁砂打结或铬镁砖砌筑，到目前为止，仍以镁砂打结者居多数。而炉壁一般用镁砂预打结的大块炉壁，即将整个炉壁分成4块或6块预先打结成大块，用时吊入炉中砌成炉壁。