

现代连续加热炉

何用梅 编著

现代连续加热炉

何用梅 编著

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 16 7/8 字数 448 千字

1981年12月第一版 1981年12月第一次印刷

印数 00,001~2,600 册

统一书号: 15062·3768 定价2.10元

序 言

世界上主要工业国家的钢产量中，有四分之三要经过轧制。其中板、带钢产量占钢材总产量的一半以上。钢料轧制前的加热，广泛应用各种不同炉型结构的连续加热炉。

加热是轧制作业线的初始工序，加热炉又是轧钢生产中的关键设备。

二十年来，随着轧钢技术向连续化、自动化、高速化、大型化、多品种、高精度的发展以及近年来能源和公害问题的突出，连续加热炉朝着大容量、高产、优质、低耗、无公害和操作自动化的方向，经历了一系列巨大的变革和发展。

现代连续加热炉发展之初，我国先于国外，1960年于武钢建成世界上第一座全炉长架空六段式连续加热炉。其后十余年，我国连续加热炉技术的发展濒于停顿，比世界先进水平大约落后了十五年。

为了填补这一段的空白，迅速赶超世界先进水平，为现代化大型轧钢厂设计、建设七十年代最新水平的连续加热炉，亟需对近二十年世界各国连续加热炉炉型、各部结构的发展过程、现状和动向作一全面、系统和详细的考察了解。本着这一目的，本书主要介绍美国，兼顾日本、西欧、苏联等国的情况，以资比较。

由于时间、条件和编者水平的限制，不一定能满足上述要求。资料收集不全，论述不当之处，欢迎指正。

本书的许多资料、数据来源于大量的书刊文献，谨在此对这些书刊文献的作、译者致以谢意。

1980.5

目 录

第一篇 炉型通论	1
第一章 炉型发展概论	1
第二章 两类炉型比较	16
第三章 热工制度和性能指标	24
第四章 热能节约	38
第五章 用电子计算机进行炉子设计	51
第六章 用电子计算机进行金属加热计算	59
第七章 钢的无氧化加热	64
第八章 典型的五段推送式炉〔美国、日本，六十年代〕	74
第九章 211米 ² 五段推送式炉〔苏联〕	77
第十章 无氧化加热的104米 ² 推送式炉〔苏联〕	82
第十一章 423米 ² 五段推送式炉〔苏联，1969〕	101
第十二章 热滑轨推送式炉〔日本等，1970、1974〕	104
第十三章 全炉顶烧嘴的410米 ² 推送式 炉〔西德，1971、1976〕	112
第十四章 全炉顶烧嘴的390米 ² 推送式炉〔英国，1971〕	123
第十五章 两头供热、中部排烟的247米 ² 推送式炉〔英国，1972〕	128
第十六章 步进底式炉〔加拿大，1967〕	139
第十七章 平直炉膛的369米 ² 步进梁式炉〔美国，1967〕	143
第十八章 平直炉膛的375米 ² 步进梁式炉〔比利时，1968、1971〕	149
第十九章 平直炉膛的360米 ² 步进梁式炉〔西德〕	159
第二十章 平直炉膛、上下全为侧烧嘴 的146米 ² 步进梁式炉〔美国，1970(设计)〕	170
第二十一章 上部设炉顶烧嘴和端烧嘴、下部设 侧烧嘴的353米 ² 步进梁式炉〔美国，1970〕	173
第二十二章 上部设端烧嘴、下部设侧烧嘴的282米 ² 步进梁式炉〔日本，1972〕	176

第二十三章	上部设端烧嘴、下部设侧烧嘴的540米 ² 步进梁式炉〔苏联, 1972(设计)〕	185
第二十四章	上部设炉顶烧嘴和端烧嘴、下部设侧烧嘴的540米 ² 步进梁式炉〔法国, 1973〕	188
第二十五章	上部设炉顶烧嘴和端烧嘴、下部设侧烧嘴的540米 ² 步进梁式炉〔日本, 1974〕	194
第二十六章	下部设端烧嘴的步进梁式炉〔日本, 1972~1976〕	200
第二十七章	炉型结构发展动向	202
第二篇	炉体各部结构与材料	223
第一章	热交换装置概论	223
第二章	金属换热器	238
第三章	陶质热交换装置	289
第四章	燃烧装置	309
第五章	步进机构和步进梁	337
第六章	滑轨和托轨	343
第七章	炉底管隔热层	352
第八章	水冷构件的热损失	362
第九章	炉底管冷却	368
第十章	炉用耐火材料	375
第十一章	炉子寿命和维修	404
第三篇	加热过程自动化	406
第一章	连续加热炉采用计算机控制的意义	407
第二章	炉子热工参数同工艺参数之间的基本关系及控制系统的功用	410
第三章	各国连续加热炉计算机控制理论研究和数学模型发展概况	416
第四章	板坯热含计算控制系统〔美国〕	429
第五章	板坯表面温度计算控制系统〔荷兰〕	454
第六章	出料温度偏差极小化的最佳控制系统〔苏联〕	474
第七章	推送式炉最佳控制系统〔西德〕	496
第八章	经济准数最佳控制系统〔苏联〕	503
第九章	仪表系统	510
参考文献		524

第一篇 炉型通论

近二十年，特别是十五年来，连续加热炉（包括推送式炉和步进式炉）向着大容量、高产、优质、低耗、无公害和操作自动化的方向迅速发展，新炉型新结构不断涌现。

本篇论述现代连续加热炉的炉型发展，比较推送式和步进式两类炉型，介绍美、日、英、法、苏、加、比等国的代表炉型和现代炉型设计方法。

第一章 炉型发展概论

连续加热炉诞生于本世纪一十年代^[1-1]。大半个世纪以来，世界各国连续炉的炉型演变过程如下：

1) 室式炉加一截不供热的炉膛，以提高炉子的燃料利用系数，成为半连续推送式炉（图 I-1a）。

2) 半连续炉的预热段延长，成为一段推送式炉（图 I-1b）。

3) 一段式炉的实炉底架空一段长度，加设下加热；或者，一段式炉加一段上加热，成为两段推送式炉（图 I-1c、d）。

4) 具有均热段和上、下加热段的三段推送式炉（图 I-1e）。

5) 四段推送式炉（图 I-1f）。

6) 五段推送式炉（图 I-1g、h、i、j）。

7) 热滑轨全架空的推送式炉（图 I-1k）。

8) 第一代步进梁式炉（图 I-1n）。

9) 第二代步进梁式炉（图 I-1o、p、q）。

10) 全炉顶烧嘴的推送式炉（图 I-1l、m）。

11) 第三代步进梁式炉（图 I-1r、s）。

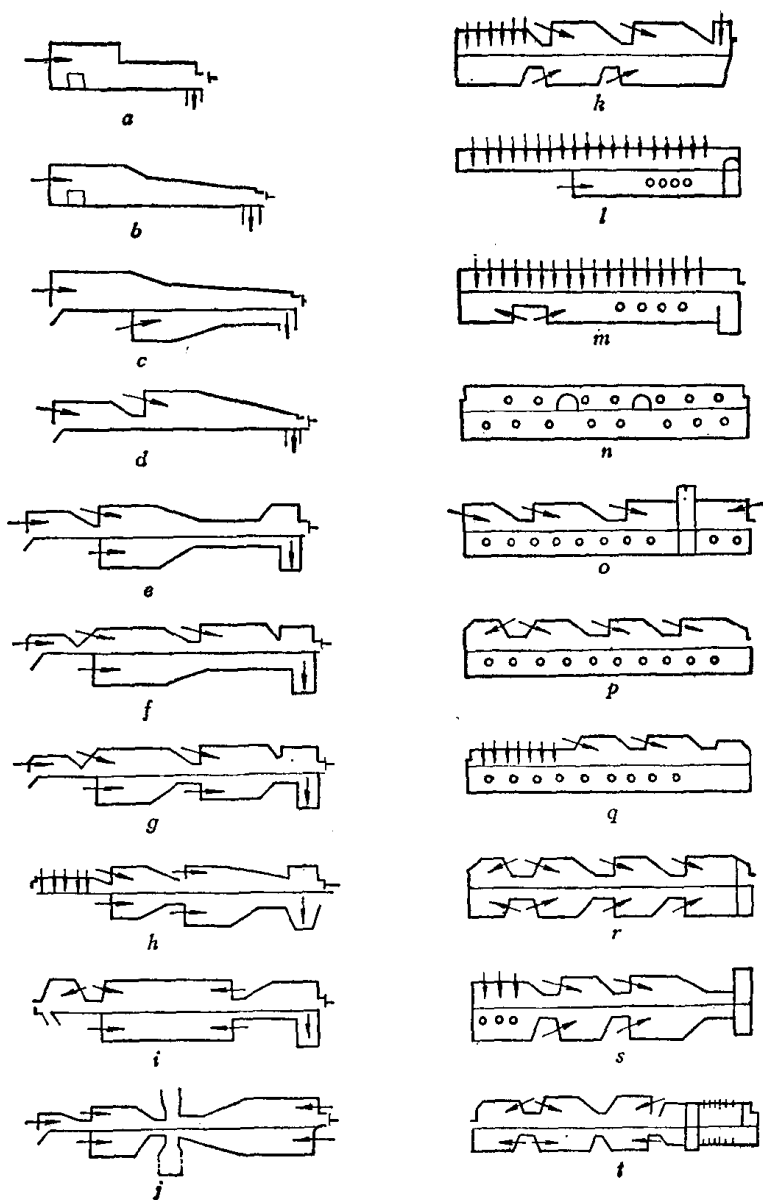


图 1-1 连续加热炉炉型发展示意图

12) 长预热段的步进梁式炉 (图 I-1 t)。

上述炉型的演变,是同轧钢生产和炉子技术的发展分不开的。总括起来,从原始到现代炉型的演变和发展可划分为五个阶段:

一、原始炉型阶段

(本世纪一十年代至三十年代初)

这个时期,轧钢生产和炉子技术的水平都很低。炉型由原始的半连续炉演变为一段式和二段式炉。

二、三段式炉型阶段

(三十年代中期至五十年代中期)

这个时期,轧钢生产和炉子技术水平有较大的发展。到五十年代中期,轧机年产量已达到50~200万吨。但炉子的产量问题仍不是主要矛盾。着重注意于提高燃料利用系数和循序渐进的加热。

三十年代出现的三段式炉,在使用中不断改善结构。一直到五十年代,它仍是各国广泛采用的传统炉型。这种炉型的特征是,不供热的预热段长,炉尾温度低。单位炉底面积产量处于500~600公斤/米²·时。单炉产量不超过100吨/时,最大不超过150吨/时。

三、现代炉型发展的第一阶段

(五十年代末至六十年代前半期)

这个时期,轧机生产能力大幅度增长,年产量达到200~350万吨。另一方面,炉型结构的理论和经验不断发展,出现了能耐高烟温的换热设施。这时,就有必要与可能转到“炉内求高产,炉外利用废热”的方向上。利用碳素钢低温阶段导热率高的特点,在炉子装料端增设上、下供热段,将炉尾烟气温度提高到1000~1200°C,使钢料一进炉就受到强化加热,以提高加热速

度。同时扩大炉底面积和装炉量。大幅度提高每座炉子的产量。出炉烟气用来预热空气（预热至 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ ），或其后再设余热锅炉。因此，这一发展阶段的标志，是五段推送式炉的出现和推广。

1957~1959年，美国伯利恒钢铁公司雀点厂首先进行了三段式炉到五段式炉的演进。该厂1957年建一座装料端设上、下加热的三段式炉（三段烧嘴均与料行方向相同），后又建一座四段式炉（普通三段式炉型在靠装料端区段加设侧烧嘴）。在此基础上，于1959年作出第一座五段式炉的设计（在上述四段式炉的基础上，再加一端烧嘴的上加热段）〔I-4〕。

1961年，美国国家钢铁公司大湖分公司埃科斯厂建设了4座五段式炉〔I-6〕。同年，杨斯顿薄板和钢管公司坎贝尔厂建设了3座五段式炉〔I-7〕。

在日本，1961年第一座五段式炉在富士钢铁公司投产之后，在东海、新日铁、川崎等公司相继建设了五段式炉〔I-8〕。

在西德，1961年克勒克纳公司和赫施公司都建设了五段式炉〔I-10〕。

在英国，1962年斯潘塞厂建设了3座当时称之为欧洲最大的五段式炉。

在法国，1963年于齐诺尔公司敦刻尔克厂建设了2座五段式炉。

在苏联，1957年扎波罗什厂中薄板车间建成四段式炉（三个上加热段和一个下加热段）。1959年钢设计院开始设计五段式炉，1964年和1967年分别作出1700毫米轧机和2000毫米轧机的五段式炉设计，1969年于新利别茨克厂建成五段式炉〔I-21〕。

此期间，五段式炉在各地得到推广。据不完全统计，1961~1965年间建设五段推送式炉的约有：美国和日本各18座，西德5座，法国4座，英国3座，比利时2座。

单炉产量提高到 $150\sim 250$ 吨/时，单位炉底面积产量达到 $700\sim 800$ 公斤/米²·时。

四、现代炉型发展的第二阶段

(六十年代后半期至七十年代初)

这个时期，轧机生产能力继续大幅度增长，年产量已提高到350~450万吨，有的高达600万吨。轧机用的坯料规格也日益加大：板坯厚度达到350毫米，坯长达到14.5米，板坯的单重达到45吨。这些都对炉子提出了新的要求。同时，为了在高速轧制的情况下严格控制带钢尺寸公差和提高产品的表面质量，在板坯加热温度控制和保护板坯表面等方面，也对炉子提出了严格的要求。总之，要求连续加热炉向着高产优质和操作自动化的方向发展。在改革五段推送式炉的同时，创建新的炉型。

大型步进梁式炉的出现和推广，是这一发展阶段的标志之一。

1967年4月美国国家钢铁公司格兰尼特钢铁分公司2030毫米热连轧厂投产了世界上第一座大型步进梁式炉。同月，新日本钢铁公司名古屋厂热连轧机投产了同样类型的步进梁式炉〔I-12〕。1968年9月，比利时埃佩朗斯—隆多冶金公司谢塔尔厂热连轧机投产了欧洲第一座步进梁式炉。初期出现的这种上、下全为侧烧嘴、平直炉膛的炉型，称为第一代步进梁式炉。

1968年，日本新日本钢铁公司君津厂和住友金属公司鹿岛厂出现第二代步进梁式炉（上部各段均采用端烧嘴，有的用炉顶烧嘴，下部仍用侧烧嘴）。接着，美国阿姆柯钢铁公司米德尔顿厂（1970年）、西德克勒克纳公司不莱梅厂（1972年）和苏联切列波维茨厂（1973年）也先后投产了第二代步进梁式炉。

热滑轨、全架空推送式炉的出现，是这一发展阶段的标志之二。

1968年，西德首次建成热滑轨、全架空的大型推送式炉〔I-13〕。1970、1972年，日本川崎公司水岛厂和千叶厂先后建成热滑轨、全架空的炉型（仅均热段设炉顶烧嘴）〔I-23〕。

全炉顶烧嘴的推送式炉，是这一发展阶段的标志之三。

1971年1月，西德萨尔茨吉特厂热连轧机投产了世界上第一座全炉顶烧嘴的大型推送式炉。1971年10月，西德赫施公司多特蒙德厂又投产两座〔I-41〕。1974年，日本川崎公司水岛厂建设了热滑轨全架空的全炉顶烧嘴推送式炉。

这期间，最大的推送式炉，炉底面积达422米²，有效炉长达37.57米（苏联新利别茨克厂）。最大的步进梁式炉，炉底面积达540米²（日本新日本钢铁公司大分厂，苏联切列波维茨厂和西德不莱梅厂）。炉膛内宽最大达15.3米。有效炉长最大达48米〔I-48〕。

单炉产量进一步提高到250~300吨/时。有的炉子额定产量达420吨/时，最高产量达465吨/时。单位炉底面积产量高达800~1000公斤/米²·时，有的更高。

五、现代炉型发展的第三阶段

（七十年代中期以来）

自1973年主要工业国家出现石油危机以来，降低燃料消耗、节省能源，开始成为炉型设计的中心问题。六十年代那种不惜加大热耗、以换取高产的概念，开始改变为扩大炉容、提高产量、降低热耗的新概念。

1975年日本川崎公司水岛厂投产的长预热段步进梁式炉和1976年新日本钢铁公司大分厂新建带有板坯预热装置的长预热段步进梁式炉，虽然刚出现不久，尚需经过时间的检验，但却反映了这一阶段连续加热炉发展的另一种动向。

第三代步进梁式炉（下加热由侧烧嘴演变为端烧嘴）是这一时期具有重大意义的新炉型。

继1972年10月日本神户制钢公司加古川厂厚板轧机首次建成240吨/时的下部设端烧嘴步进梁式炉之后，1975年2月该厂连轧机建成360吨/时的此种新炉型。嗣后，日本多厂的轨梁、厚板、中小型等轧机相继建设此炉型。

这一时期炉型结构的发展动向还有：整体组合梁的步进式

炉；桁架梁的步进式炉；全炉顶烧嘴的步进式炉；低 NO_x 等环境保护措施；富氧燃烧；无氧化加热，等等。

纵观连续加热炉的发展史，可看出以下规律：

1) “连续加热炉”，本因“预热段”的出现而得名，其炉型发展也以预热段的辩证发展过程来表征。即：无预热段（室式炉）→短预热段（半连续炉）→长预热段（五十年代以前）→无预热段（六十年代至七十年代初）→长预热段（七十年代中期）。

2) 连续加热炉发展的另一特征，反映在下加热的变革上：实炉底→沟道炉底→局部架空→下加热段数增多→全炉长彻底架空。

3) 烧嘴的布置方式，也经历一个辩证的发展过程：端烧嘴（推送式炉）→侧烧嘴（第一代步进梁式炉）→上部设端烧嘴和炉顶烧嘴，下部设侧烧嘴（第二代步进梁式炉）→上、下多为端烧嘴（第三代步进梁式炉）。

4) 炉膛尺寸（包括炉宽和炉长）则朝着大容量的方向不断发展。

总之，连续加热炉诞生六十多年以来，经历了五个发展阶段。这五个阶段又可综合为三个时期：头二十多年为原始炉型时期，第二个二十多年为传统炉型（三段式炉）时期，近二十年为现代炉型时期（包括现代炉型发展的三个阶段）。而现代炉型总的发展结果，是导向大容量、高产、优质、低消耗、无公害和操作自动化。

兹将六十年代以来，美、日、法、德、英、比、意、苏、罗等国建造的推送式炉和步进梁式炉主要性能，选例于表 I-1、2〔I-22、27、28〕。

表 I-1 各国推送式炉主要性能表

序号	项 目	一	二	三	四
1	国 别 和 厂 名	苏联伊里奇冶金工厂日丹诺夫厂	美国共和钢铁公司沃伦厂	美国国家钢铁公司大湖-埃科斯厂	日本住友金属公司和歌山厂
2	轧机规格	1700毫米全连轧	1470毫米半连轧	2030毫米全连轧	2030毫米半连轧
3	投产年度	1960	1961	1961	1962
4	年产量, 万吨/年	350	183	330	240
5	炉子座数, 座		3	5	4
6	单炉产量, 吨/时	110	163	227	200
7	炉底尺寸, 毫米	炉子内宽	9150	9750	
		有效炉长	26000	30925	
8	均热床长度, 毫米		5800	8240	
9	坯料尺寸, 毫米	厚 度	230	124~254	158~267
		宽 度	700~1550	356~1350	610~1880
		长 度		4100~8540	4260~8840
10	坯料单重, 吨	8.5	5.0~16.3	9.1~32	18.2
11	燃料种类		天然气、焦炉煤气或油	天然气、焦炉煤气或油	
12	空气换热器形式和预热温度, °C	陶质换热器, 500	金属换热器, 400	金属换热器, 450	
13	出料方式	滑下	滑下	滑下	滑下
14	炉子中心距, 米		20.574	19.812	
15	备注	四段供热	三段供热	五段供热	五段供热

续表 I-1

序号	五	六	七	八	九	十
1	日本新日本 钢铁公司名 古屋厂	日本川崎 公司千叶 厂	法国于齐诺 尔钢铁公司 敦刻尔克厂	美国琼斯- 劳林钢铁公司 克里夫兰厂	西德奥古 斯特公司 蒂森厂	意大利钢 铁公司塔 兰托厂
2	1730毫米 全连轧	2030毫米 全连轧	2030毫米 全连轧	2030毫米 半连轧	2250毫米 半连轧	1730毫米 全连轧
3	1963	1963	1963	1964	1964	1964
4	450	360	300	220	420	350
5	2 (另有步进 炉三座)	4	4	3	4	
6	250	250	250	227	305	
7			10000	10380		
			32000	31000	31500	
8				8550		
9	180~255		125~250	140~254	150~250	
	550~1600		500~1890	460~1930	680~2050	
	3200~9230		4250~9150	3700~9900	3100~9600	
10	28	20	31.5	13.25~27.2	32	27
11	混合煤气		焦炉煤气, 重油	天 然 气	混合煤气, 重油	
12	辐射换热器, 500			金属换热器, 425		
13	滑下	滑下	滑下	滑下	出钢机	滑下
14				20.574		
15	五段供热	五段供热	五段供热	五段供热	热滑轨	五段供热

续表 I-1

序号	十一	十二	十三	十四	十五	十六
1	美国惠林-匹兹堡公司斯托本维尔厂	美国内陆钢铁公司东芝加哥厂	日本新制钢公司吴厂	西德克虏伯公司波鸿厂	美国伯利恒钢铁公司伯恩斯港厂	日本钢管公司福山厂
2	2030毫米全连轧	2030毫米全连轧	1520毫米3/4连轧	1800毫米半连轧	2030毫米全连轧	2060毫米全连轧
3	1965	1965	1965	1965	1966	1966
4	215 (一期) 330 (最终)	272 (一期) 330 (二期)	260	216~360	300~380	480
5	3	4	3	1 (另有步进炉一座)	3 (另预留二座)	4
6	227	227	180	150	249	275
7	9750	10380			10380	9800
	30800	32000			32000	32000
8	8850	8550			8850	
9	115~254	152~254		225	178~305	170~250
	460~1930	508~1930		1600	508~1930	670~1900
	3040~9150	3960~9900		9000	3040~9750	3300~9200
10	33.5	37.7		29	39.5	30
11	天然气或油	天然气和油		焦炉煤气	天然气和油	混合煤气, 重油
12	金属换热器, 480	金属换热器, 425			金属换热器, 470	辐射换热器, 450
13	滑下	出钢机	滑下	滑下	滑下	滑下
14	19.812	22.098			20.574	
15	五段供热	五段供热	五段供热		五段供热	五段供热

续表 I-1

序号	十七	十八	十九	二十	二十一	二十二
1	美国钢铁公司格里厂	苏联卡尔干达钢铁厂	美国阿姆柯钢铁公司米德尔顿厂	比利时马里蒂姆钢铁公司根特厂	扬斯顿薄板和钢管公司东芝加哥厂	苏联新利别茨克钢铁厂
2	2132毫米全连轧	1700毫米全连轧	2180毫米全连轧	2030毫米半连轧	2132毫米全连轧	2000毫米全连轧
3	1967	1967	1968	1968	1968~1969	1969
4	317~363	450	360	300	350~400	600
5	4		3 另有步进炉 2 座	2	3 (预留一座)	3 (预留二座)
6	305	210	227	226	286	300
7	12800	10090	11000		11900	11250
	32000	35800	34600		32400	37570
8	8850		12500		8550	
9	254	150~230	175~275	230	152~254	150~300
	457~1940	750~1550	870~2150	600~1850	610~1980	900~1850
	12200	3800~9500	3900~10100	10000	4160~11000	8000~10500
10	42.6	23	5~33	27	45.5	40
11	天然气, 焦炉煤气及油		天然气和油		天然气和油	天然气和高炉煤气混合气
12	余热锅炉和金属换热器 450/480	陶质换热器 ~500	余热锅炉和金属换热器 330		金属换热器 470	陶质换热器 400
13	出钢机	滑下	出钢机	出钢机	出钢机	出钢机
14	25.603				24.384	
15	五段供热	五段供热	五段供热	五段供热	五段供热	五段供热

续表 I-1

序号	二十三	二十四	二十五	二十六	二十七
1	美国共和钢铁 公司克利夫兰厂	日本川崎钢铁 公司水岛厂	罗马尼亚加 拉茨厂	西德赫施公 司多特蒙德厂	英国钢铁公 司拉肯比厂
2	2132毫米 全连轧	2300毫米 全连轧	1700毫米 全连轧	1800毫米 3/4连轧	带钢轧机
3	1969~1970	1970	1971	1957/1972	1972
4	240 (一期)	500	200~350(最终)	335~540	
5	3 (另预留二座)	4	3 (另预留二座)	4	3
6	227	325	250	325	220~240
7	10380	12900	10400	13300	8400
	32000	32700	32000	30800	29400
8	9150				3650
9	127~305	127~305	130~250	153~300	305
	710~1980	600~2200	700~1550	~1600	
	4560~9750	4000~12200	3500~9500	12400	7320
10	6.4~41	45	26.5	32	
11	天然气和焦 炉煤气	混合煤气重油	天 然 气 混合煤气	焦炉煤气 和天然气	焦炉煤气 重油
12	金属换热器 450	管状换热器 500	冷空气	辐射换热器 450	辐射换热器 450
13	出钢机	出钢机	出钢机	出钢机	滑下
14	22.860	25			
15	五段供热	热滑轨		全辐射炉顶 热滑轨	两头供热 中间排烟