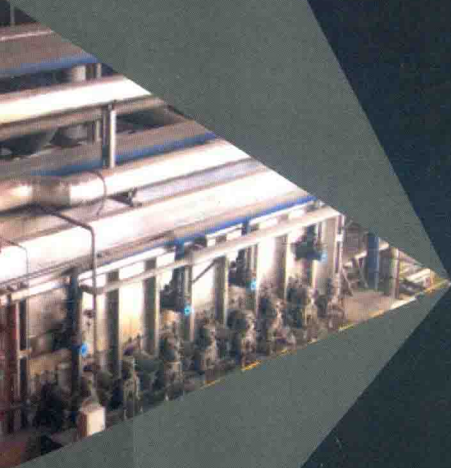


冶金加热炉液压机械可靠性 研究与工程应用

刘雅俊 著



科学出版社

冶金加热 靠性 研究与工程应用

刘雅俊 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者在中国冶金科工集团研究设计院多年从事冶金机械及液压系统工程中关于冶金加热炉项目的设计、制造、安装、调试工作及可靠性研究的基础上写成的。书中的实例主要涉及板坯与钢管热处理步进式加热炉,内容包括机械与液压系统的可靠性设计、降额可靠性设计原理、可靠度计算与预测、可靠性试验、可靠性管理与维修等方面。

本书适合于直接或间接从事冶金机械及液压系统相关工作的工程技术人员,对于从事可靠性工程实践的读者以及从事其他类似的液压驱动大负载机械设备的设计、使用的读者,也具有重要的借鉴意义。

本书获得河北科技师范学院学术著作出版基金、河北科技师范学院博士启动基金、河北科技师范学院研究生案例库建设基金、河北省专业学位研究生教学案例建设项目、秦皇岛市科技支撑计划项目、中冶集团研究设计院技术开发项目的支持。

图书在版编目(CIP)数据

冶金加热炉液压机械可靠性研究与工程应用 / 刘雅俊著. —北京: 科学出版社, 2017.6

ISBN 978-7-03-052969-5

I. ① 冶… II. ① 刘… III. ① 冶金炉—液压机—结构可靠性 IV. ① TF06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 116401 号

责任编辑: 邓 静 / 责任校对: 王 瑞
责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京科印技术咨询服务公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张: 9 1/4 插页: 2

字数: 300 000

定价: 90.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229 010-64034315 13501151303

序 一

本书是作者刘雅俊这些年中冶集团研究设计院关于步进式加热炉方面工作的一次较为系统的提炼和总结。刘雅俊主持、参与大型冶金建设项目数十项，其中热轧步进式加热炉项目也超过 10 项，具有较丰富的工程设计、设备制造、机械安装、生产线调试等相关经验，这些经验对于从事相关领域的研究人员、工程技术人员无疑是具有重要参考价值的。

在这里特别要提到的是，作者提出了一种由于设计不当而导致失败的案例，以便于提高复杂系统可靠性，进而指导工程设计与实践的设计思路。这是符合实践论思想和工程设计规律的，根据实践论，任何事物水平的提高都需要经历“由实践上升为理论，用理论指导实践，然后产生新的理论，并指导新的实践”，这里面失败案例所反映的信息，无疑是最深刻而有效的指导实践的理论信息之一。这些信息的收集、整理、加工和提炼，去伪存真，无疑需要坚实的专业基础和丰富的实践经验，更加需要投入宝贵的时间和精力，只有做到这些，才能实现工程中提出的日益严格的目标。

目前，我国在大力提倡科技创新与经济结构升级，科教界有识之士已经提出“要把论文写在大地上”。相信这本源于实践的书，能够为从事冶金工程设计、建设的专业人士，尤其是直接从事冶金机械及液压系统相关技术的工作者提供一些帮助。

华长春

2016 年 5 月 1 日

序 二

刘雅俊的这本书包含了他从参加工作一直到博士毕业多年以来一直专注于冶金机械及液压系统领域所取得的一些成果。其中包括液压系统的故障改进可靠性设计、液压元件降额可靠性设计、对薄弱环节的可靠性优化、液压系统简化设计、液压系统可靠度预测、可靠性试验和可靠性管理等方面的内容，内容翔实。

该书的一大特色是，详细叙述了将可靠性理论具体运用于实际液压系统的设计、制造、安装与调试的一些技术细节。此外，这些技术细节都取材于作者的工程实践，里面既有国内企业的案例，也有国外企业的案例，既有大型国有钢铁集团的工程，也有私有钢铁公司的工程，既有大型板坯步进式加热炉的设计，也有中小型钢管热处理步进式淬火炉、回火炉的设计。

这些对于直接从事相关工作的技术人员是具有参考价值的宝贵资料，对于从事该类项目设计的人来说，甚至可以直接采用。相信该书会对他们起到借鉴与启发作用。

孔祥东

2016年5月15日

前 言

冶金工业是国民经济的支柱产业。在冶金工业中,尤其是热轧生产流程中广泛地应用加热炉作为工艺装备。无论是在热轧板带生产线、型钢生产线,还是在石油钢管的热处理生产线中,加热炉的装料与出料都是由炉底机械驱动完成的。相对于推钢式炉底、台车式炉底,步进式炉底机械可以改善坯料的加热质量,避免拱钢、粘钢等事故,因此,现代大型热轧加热炉的炉底机械大量采用步进式的炉底机械。也就是说,步进式炉底机械(本书简称为步进炉机或步进梁)是应用于冶金加热炉底部的大型运载装备。步进炉机对整条冶金生产线的产能和设备利用率都起着重要的影响与制约作用。

一方面,随着液压技术的发展与推广,它应用在以步进炉机为代表的冶金机械中的优点日益突出。例如,采用液压技术后,可以使得机构简化且配置灵活,负载驱动能力强,装机功率大,调速方便,等等,因此液压技术在步进式炉底机械的驱动与控制中得到广泛的采用。

另一方面,随着国内冶金企业优胜劣汰,对冶金机械的性能与质量提出了日益严格的要求,落实到炉底机械方面主要有两点:一是希望液压系统的可靠性进一步提高,保证充分的作业有效性,减少因故障而产生昂贵的停机损失;二是要求主机的机械结构能够进一步优化,降低自重,以提高机械的效率,降低承载部件维护与更换所占用的维修资源。

鉴于以上两方面原因,作者结合多项工程实践,应用可靠性工程的原理与方法,对步进炉机的液压系统与关键机械部件展开了可靠性分析与研究,取得了一些成果。将这些研究成果再应用于冶金加热炉的实际工程项目中,取得了较好的经济效益。由于冶金机械普遍存在大型、重载、电液驱动和可靠性要求严格等特点,这些成果对同类与类似工程也具有较高的借鉴价值。现在,将这些研究内容与成果整理为本书。

本书第1章绪论部分介绍研究对象步进炉机,论述可靠性工程发展概况、研究来源与主要研究工作,其他章紧密围绕步进炉机论述以下两个大方面的研究工作。

(1)通过长时间服务、走访生产一线,了解工程实践中炉底机械液压系统存在的缺陷与故障情况,深入研究大量的液压系统可靠性与故障分析的专业文献,对影响系统可靠性的因素进行归纳,并在炉底机械液压系统研发中采用可靠性设计的方法逐一进行解决,目的在于降低研发风险,提高系统的可靠性。实践中综合运用并联冗余可靠性原理、储备冗余可靠性原理、简化系统可靠性设计方法和提升系统薄弱环节可靠度的原则,由此完成多项步进式炉底机械液压系统的工程设计。这部分内

容详见第2章。

在炉机液压系统可靠性管理的研究中,运用流程再造,提出针对总承包工程中步进式炉底机械液压系统可靠性管理流程的方法,并将其运用于工程实践中。通过分析液压设备可靠性管理团队的组成与职责,指出生产一线面向设备的维修人员是保障系统正常工作的关键环节,提出用“培训-实践-考核”相互渗透与结合的方法来提高维修人员可靠性。这部分内容详见第5章。

在液压设备的维修性设计研究中,列举了七项基本的维修性设计原则,将各项原则逐一应用到液压设备维修性设计中,并提出液压设备故障能修性的划分方法和故障可修性的模糊评判方法、标准,阐明针对三个分类区域的设备故障的不同应对策略。

为进一步对步进炉机液压系统的可靠度作出预计,依据概率理论与统计方法,对两种来源的液压主泵,依据失效数据与概率模型来对其可靠度差别进行分析,还进一步分析液压泵组可靠度的变化和控制阀组可靠度的变化。这部分内容详见第2章。

(2)通过对托辊部件进行维修性设计,改变工程中的维修方式,运用托辊部件整体更换的方法,缩短停机维修时间。建立托辊部件支撑系统的可靠性模型,定量计算其可靠度,并确定较为经济与合理的托辊备件数量。这部分内容详见第3章。

运用结构优化设计、有限元分析与液压加载可靠性试验相结合的可靠性设计与分析方法,验证经过设计优化的液压缸支座部件的结构可靠性。该方法有利于优化炉底机械结构,并可以达到降低设备重量、制造成本和更换部件的维修难度,提高整机运行效率,降低整机试验费用、研发风险,以及缩短设计周期等目的。这部分内容详见第4章。

由于实际工程项目的复杂性、建设过程的长期性和艰巨性,以及作者水平、精力和时间等因素所限,书中难免存在不周和疏漏之处,恳请阅读本书的各位专家、读者批评指正,作者不胜感谢。

刘雅俊

2016年3月1日

于河北科技师范学院砺慧园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 加热炉及步进式炉底机械概况	1
1.2.1 应用步进式炉底机械的加热炉	1
1.2.2 步进式炉底机械概述	4
1.3 可靠性的研究历史、重要意义、发展及现状	8
1.3.1 可靠性的研究历史	8
1.3.2 可靠性研究的重要意义	9
1.3.3 液压系统可靠性研究的发展及现状	11
1.3.4 机械部件可靠性研究的发展及现状	12
1.4 研究来源与主要研究内容	14
第 2 章 液压系统的可靠性设计与工程实践	16
2.1 对液压系统以往故障经验的归纳	16
2.1.1 系统能源部分的归纳	16
2.1.2 控制与执行部分的归纳	18
2.2 基于故障改进的可靠性设计	21
2.2.1 系统能源部分的可靠性设计	21
2.2.2 系统控制与执行部分的可靠性设计	25
2.3 液压元件降额可靠性设计与匹配	29
2.3.1 工况模型建立与计算分析	29
2.3.2 液压元件选型的确定	34
2.3.3 系统性价平衡因子的计算	36
2.4 对液压系统薄弱环节可靠性的优化	37
2.4.1 应用普通防爆阀的解决方法	37
2.4.2 并联冗余可靠性分析	38
2.4.3 可靠性优化与实施	39
2.4.4 实施结果的分析	42
2.5 液压系统运行周期与定位精度指标的提高	44
2.5.1 系统性能指标存在的问题	44
2.5.2 提高性能的方案及分析	44

2.6	对热处理线炉底机械液压系统的简化设计	47
2.6.1	系统能源部分的简化	48
2.6.2	控制与执行部分的简化	49
2.7	本章要点回顾	51
第3章	液压系统和炉机承载托辊可靠度的计算与预测	52
3.1	液压系统可靠度数据统计与预测	53
3.1.1	两种油泵的可靠性统计与泵源的可靠度预测	53
3.1.2	控制阀组和液压系统的可靠度计算与预测	57
3.2	承载托辊的维修性设计与可靠度预测	59
3.2.1	承载托辊维修设计与拆卸试验	59
3.2.2	托辊承载系统的可靠度预测	61
3.3	本章要点回顾	65
第4章	液压缸支座部件的结构可靠性试验研究	66
4.1	承载支座部件的结构试验理论与方法	66
4.1.1	部件结构的弹性有限元理论	66
4.1.2	部件结构的应变测试方法	68
4.2	承载支座部件的试验系统	71
4.2.1	数据采集软件的功能与特点	71
4.2.2	电阻应变传感器与应变仪	72
4.2.3	试验对象安装与加载系统	74
4.3	可靠性试验过程与数据处理分析	75
4.3.1	液压加载过程	75
4.3.2	数据采集过程	76
4.3.3	试验数据的处理	79
4.3.4	试验结果的分析	84
4.4	本章要点回顾	86
第5章	炉底机械液压设备的可靠性管理与维修	87
5.1	基于流程再造的液压设备可靠性管理	87
5.1.1	液压设备可靠性管理的流程再造研究	87
5.1.2	用定时截尾试验进行可靠性验收	90
5.1.3	可靠性管理与维修团队的确立	92
5.2	故障与致命度分析、维修性设计与实践	95
5.2.1	液压设备的故障模式分析	95

5.2.2 热轧板坯炉机液压设备的致命度分析	98
5.2.3 液压设备的维修性设计	102
5.2.4 液压设备故障的能修性划分	106
5.2.5 基于实训提高维修人员的可靠性	109
5.2.6 利用预防性大修抑制液压设备失效率	114
5.3 本章要点回顾	119
参考文献	120
附录	127
附录 A 重要参考数据	127
附录 B 炉机与液压系统的工程施工照片	129
附录 C 液压系统关键元件的主参数	131
附录 D 依托本项目的研究作者发表的科技论文	136
附录 E 依托本项目的研究培养专业技术人才	136
附录 F 彩色插图	137

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

国内粗钢产量连年增长, 已经从 2002 年的年产 1.824 亿吨, 达到 2015 年的钢铁产能近 8 亿吨, 在产能第一的位置上保持了 16 年^[1], 这与国内冶金机械技术与装备水平的不断进步是密不可分的。现在, 我国不但能设计和制造大吨位的冶金设备, 设备的技术含量与附加值也与日俱增, 步进式炉底机械就是这一技术进步的产物和典型代表^[2-7]。正因为如此, 本书对冶金行业内广泛采用的两种步进式加热炉的炉底机械液压系统与关键部件进行可靠性研究。它们分别是热轧板坯生产线的大型板坯加热炉和石油套管的淬火、回火等热处理生产线的步进式加热炉。将研究成果应用于工程实践, 完成了近 10 套炉底机械设计工程, 对理论进一步加以验证, 取得了良好的研发设计与工程应用效果。

1.2 加热炉及步进式炉底机械概况

1.2.1 应用步进式炉底机械的加热炉

钢铁冶金加热炉是热能工程中工业炉项目子类别中的一个重要分支。把钢铁冶金加热炉进一步细分, 又可以分出若干个子类别。例如, 按炉底机械的形式可以分为五种, 它们分别是步进式^[8,9](步进加热炉)、推钢式(推钢加热炉)、环形炉底式(环形加热炉)、炉底辊道式(辊底加热炉)等。把目前现役钢铁冶金加热炉的分类组成用图来进行表示, 见图 1-1。

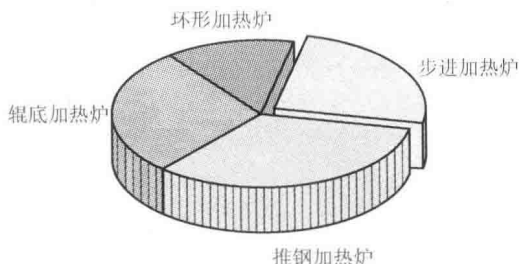


图 1-1 冶金工厂中加热炉应用构成(彩色插图见附录 F)

从炉底传动形式来说,推钢加热炉和辊底加热炉较为低端,而高端加热炉的典型代表包括台车加热炉、环型加热炉和步进加热炉。特别是步进式炉底的加热炉,应用日趋增多,是炉底机械发展的一个主流方向。加热炉典型产品的外观见图 1-2。

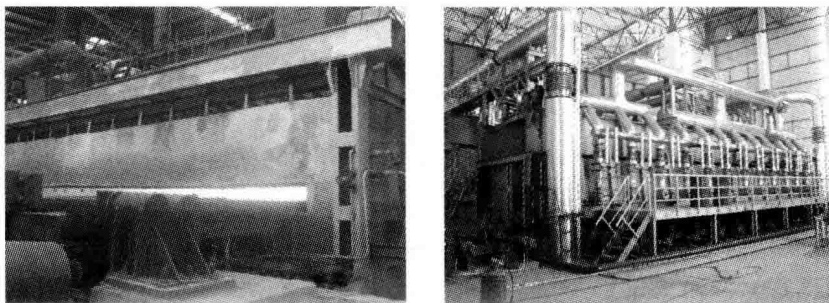


图 1-2 推钢式加热炉、步进式加热炉外观(彩色插图见附录 F)

环形炉、台车炉主要应用在重要的异型结构件加热方面,其外观见图 1-3,因其应用面较窄,本书不对其进行深入研究。目前,国内建设最多的冶金加热炉是步进式炉底机械加热炉。这是由该加热炉特点所决定的,相比于其他炉型,该加热炉具有技术含量高、应用范围广的特点。例如,同推钢式加热炉相比较,它改进了推钢炉容易发生拱钢、粘钢,钢坯底部加热不均匀等缺点^[10]。

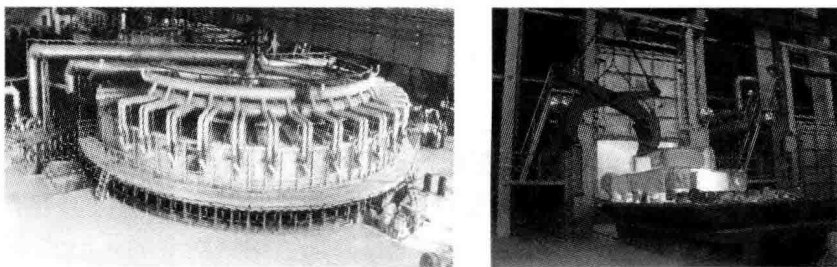


图 1-3 环形加热炉、台车加热炉外观(彩色插图见附录 F)

步进炉于 20 世纪 40 年代开始得到研发和利用。该技术的倡导者是意大利的 DANIELI、德国的 SMS DEMAG 和奥地利的 VOESTALPINE 等著名的钢铁冶金装备制造与技术服务公司^[9,11]。在该技术中集成液压驱动与控制系统的时间却并不是很长。

国内第一次采用液压控制的大型步进炉,是在 1944 年由重庆钢铁研究设计院(目前改名为中冶赛迪)为武汉钢铁集团设计并建造的。这在当时填补了国内该技术的空白^[12]。目前,拥有自主知识产权,具有完整的研发、设计、安装和调试该种类加热炉的单位在国内主要有 5 家,北京有三家,上海有一家,青岛有一家,它们分别是神雾公司、北岛公司、凤凰炉业公司、嘉德公司和中冶东方工程技术有限公司^[13]。

现在,步进炉已经被各种冶金热轧生产线广泛采用。例如,高速线材生产线、螺纹钢生产线、薄板坯连铸连轧生产线、中厚板生产线等。在此,把它的特点与传统的推钢式加热炉和辊底式加热炉进行对比。

(1) 步进式加热炉的炉型结构更加便于用抽钢机出钢。它避免了推钢式加热炉用端部出料对加热钢坯的损伤(这些损伤包括出钢滑道和缓冲器对坯料造成的摩擦伤痕),还可降低因富氧而造成的钢坯氧化损耗和燃料消耗,由此可以达到提高成品率的目的。

(2) 用步进式炉底机械运载与支撑钢坯,可对钢坯双面加热;钢坯与炉底机械的支撑梁是点接触,所以钢坯黑印减少,可得到厚度、宽度及断面尺寸精度高的待轧材料;炉底机械做步进式运动,可有效消除滑轨划伤,提高加热质量^[14]。

(3) 相对于推钢式加热炉而言,步进炉内有效避免了粘钢、拱钢事故发生。由此可以借助提高炉子的加热能力来提升炉容量。现在,大型板坯步进炉加热能力已达450 t/h,炉体有效长度超过60m。

(4) 在轧线停产时,可以用炉底机械设备将炉内钢坯全部搬运出炉。这既有利于检修维护,又避免了坯料长时间停放在炉内所造成的过度烧损。

(5) 同推钢式加热炉相比,步进炉没有端部出料区和均热床,对于同样产能的加热炉,它可以建造得更短,还可以避免定期维修、更换该设备而产生的作业量。

(6) 步进炉更加适宜于频繁更换钢坯品种,或者满足冷坯、热坯混合装料的作业要求。

目前,在大型冶金集团的生产车间,都将连铸和轧钢划分为两个部门管理。步进式加热炉位于轧钢生产线的头部和连铸生产线的尾部,起到承上启下的作用,从生产工艺的角度来说它是至关重要的环节。将热轧工艺流程简化为示意图,如图1-4所示。

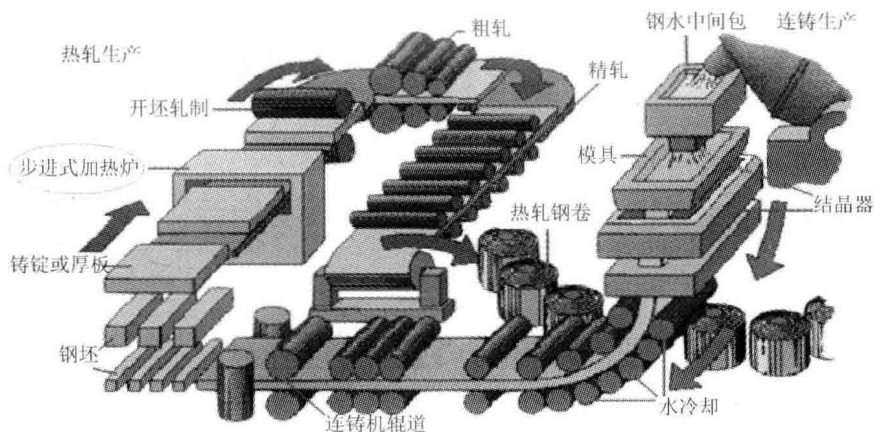


图 1-4 热轧钢板的生产工艺流程图(彩色插图见附录 F)

在热轧钢板工艺流程中,钢水依次通过钢包回转台、中间包、连铸机结晶器、连铸机弧形冷却段、拉矫机,由引锭杆沿着辊道脱出,再由火焰切割机进行定尺切割。紧接着钢坯经由加热炉前辊道、装钢机装入步进炉内。经过加热炉连续均匀的加热后,再由出钢机从炉的另一端用液压出钢机取出,进一步经过炉后辊道、高压水除磷箱、粗轧机组、精轧机组、层流冷却设备和卷取机,形成成品卷材。图 1-5 是热轧板坯出炉瞬间与板坯(冷态存放)。

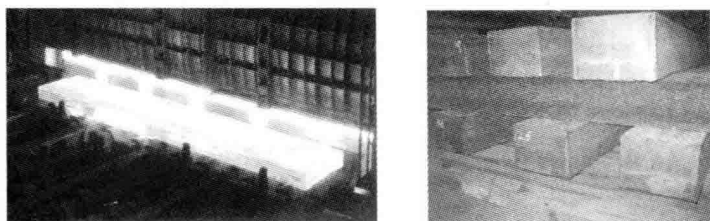


图 1-5 热轧板坯出炉瞬间与板坯(彩色插图见附录 F)

还有一种加热炉主要应用在热处理领域,例如,石油管材为了实现高性能,一般都需要淬火和回火处理。因此,在热轧无缝钢管等管材生产线上,一般都布置热处理步进式加热炉,而且不止一台,经常布置两台。它们分别称为淬火加热炉和回火加热炉。整条生产线上的设备组成还包括淬火机组、磁粉与射线探伤设备、矫直机组、水压力试验机组等。它们与加热炉共同作业,实现对热轧钢管的进一步深化加工。该生产线具体工艺流程有专业文献可供参考^[15],在此不再赘述。图 1-6 是热处理炉钢管的出炉瞬间和经过淬火与回火热处理工艺的无缝钢管成品。

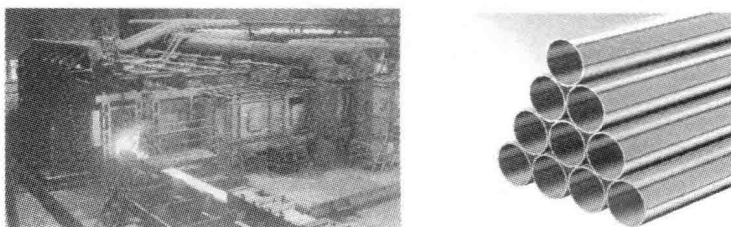


图 1-6 热处理炉钢管出炉瞬间与无缝钢管成品(彩色插图见附录 F)

1.2.2 步进式炉底机械概述

步进式加热炉的炉底机械,称为步进式炉底机械,冶金工程上简称为步进炉机或步进梁、动梁,下述内容对其名称不加区别地采用,含义相同。

步进炉机采用两层框架辅助以斜坡滚轮与托辊等结构,机械组成主要包括底部斜轨座、平移运输框架、平移框架托辊、升降运输框架、升降框架托辊、定心轮组等部件。可用图 1-7 来表示步进式炉底机械及辅助设备的组成。图中,所有设备的数量仅为示意,具体数量可随炉机长度的增加而增多。

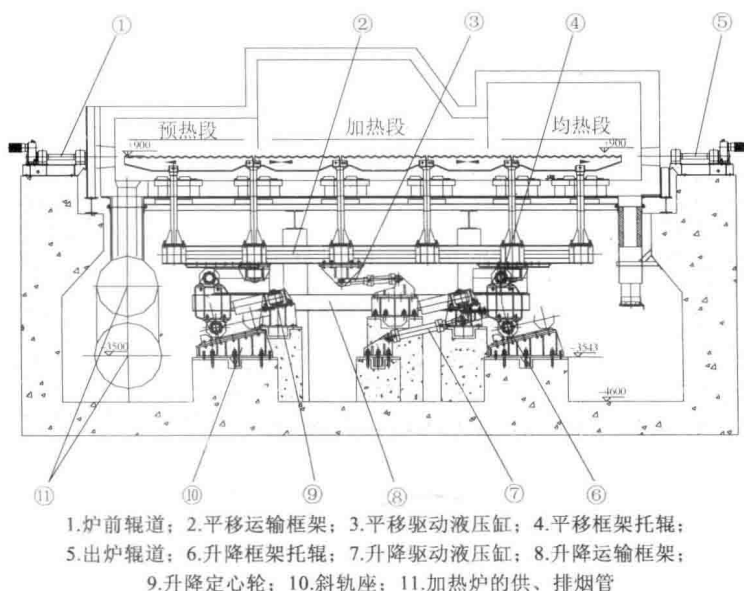


图 1-7 主剖面表达的步进炉

在钢筋混凝土基础上，安装好步进炉机的斜轨座，沿着升降与平移框架两层框架的中心线对称布置。升降框架依靠升降托辊沿着斜轨座向上爬升，而斜轨座直接与升降托辊接触的轨道接触面，用高合金钢垫板经过淬火和磨削加工而成，降低了表面粗糙度，提高了接触刚度与承载强度。在设备安装时，注意保证该轨道接触面倾斜度、位置度和标高要严格满足图纸设计要求。

安装升降运输框架和在其上的升降框架托辊。该托辊与斜轨座紧密接触。由升降驱动液压缸来推动步进梁，沿着轨道接触面匀速提升与下降，而步进梁运载的加热对象（板坯或热处理钢管）也同步得到相应的升降。

用图 1-8 更进一步说明步进式炉底机械的结构组成和工作原理。升降框架和它所连接的运动托辊（升降托辊），直接和斜轨座配合，它安装在斜轨面上。当升降液压缸驱动步进式炉底机械时，升降托辊沿斜轨座的支撑轨道面上下滚动，从而带动上面的平移框架、支撑动梁和被运载的钢坯或钢管得到相应的提升或下落。

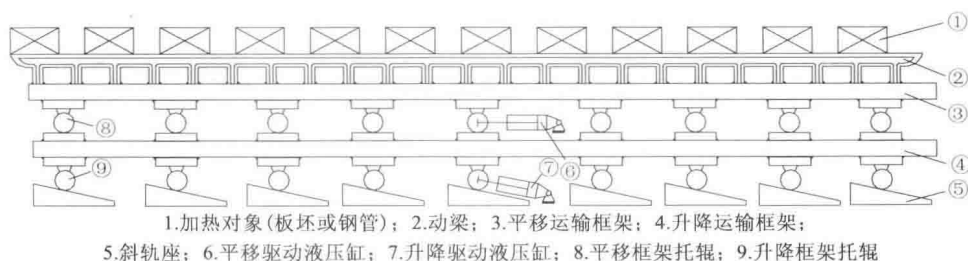
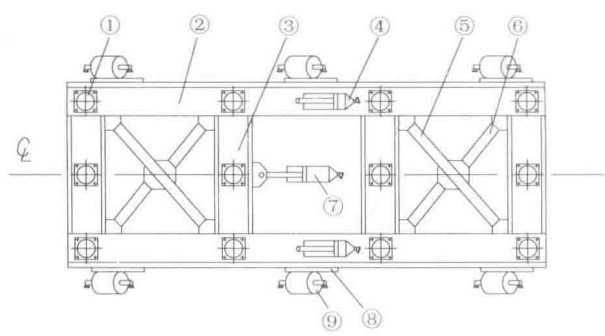


图 1-8 步进炉机组成与工作原理

同升降运输框架一样，平移运输框架正下方也有运动托辊和导轨面。由平移驱动液压缸来推动步进梁做水平方向的前进与后退，步进梁所运载的加热对象也实现同步的进退运动。

两层框架都设有定心轮装置，起到防止步进式炉底机械跑偏的安全作用。例如，从俯视图上看，平移定心装置沿炉底机械送料方向布置在平移框架上下两边，其平行于步进式炉底机械的中心线(Center Line, CL)，用于平移运输框架的对中运行，使其运动方向与加热炉中心线保持平行，使平移运输框架在运动时不偏斜。升降定心装置的安装布置和工作原理与此相同。定心轮工作原理见图 1-9，定心轮轴线由其支座支撑并被水泥土建基础固定，定心轮从动运转，贴合与它靠近的升降或平移运输框架侧导轨面。



1.动梁安装位；2.纵梁；3.横梁；4.升降驱动液压缸；5.长斜撑；
6.短斜撑；7.平移驱动液压缸；8.侧导轨面；9.定心轮组

图 1-9 定心轮工作原理(俯视图位置)

升降和平移两层运输框架在各自液压缸的驱动下交替运动，步进炉机就完成运载钢坯的矩形运动轨迹，轨迹如图 1-10(a)所示。由于梁与所运载的坯料对于液压系统来说都是大惯量负载，因此需要对液压执行元件的运行速度进行控制，目的是保证上升过程中接钢段低速(“轻拿”作用)，下降过程中落钢段低速(“轻放”作用)，还要保证平移过程的平稳和停位精确，速度控制曲线如图 1-10(b)所示。

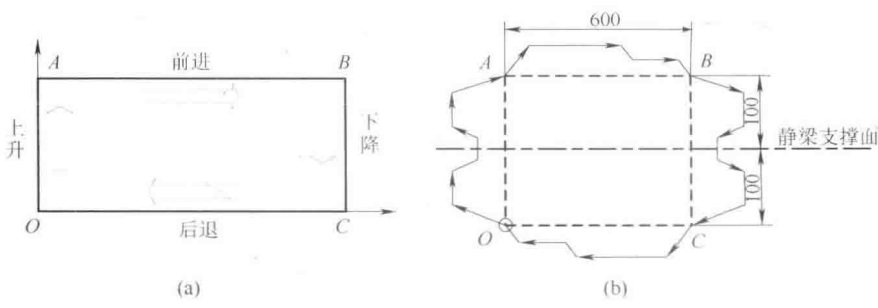


图 1-10 矩形运动轨迹与调速周期曲线

在附录 A 中，列举了依据本书的研究，作者在中冶集团研究设计院所完成的总承包项目，包括 2 台中厚板生产线的步进式炉底机械，还有 10 台钢管热处理线步进式炉底机械。其中，为某钢铁公司 1250 中厚板生产线建设的大型板坯加热炉步进式炉底机械和为某公司建设的钢管热处理回火炉中小型步进式炉底机械是典型代表，本书后面论述的实例也将紧密围绕这两个典型代表展开，现将这两台炉底机械主要技术参数列写为表 1-1。

表 1-1 步进式炉底机械主要技术参数

热轧中厚板生产线步进式炉底机械(某公司板坯加热炉)			
参数名	参数值	参数名	参数值
平移运输框架质量	350000kg	升降运输框架质量	500000kg
整机尺寸(长×宽×高)	35000mm×12000mm×8500mm	支撑动梁加坯料质量	420000kg
托辊轴线总数	9	主泵总功率	5×90kW
运转周期	41.5s	定心轮对数	6
钢管热处理生产线步进式炉底机械(某公司回火炉)			
参数名	参数值	参数名	参数值
升降运输框架质量	28000kg	平移运输框架质量	35000kg
整机尺寸(长×宽×高)	16300mm×13400mm×5400mm	支撑动梁与坯料质量	25000kg
托辊轴线总数	3	主泵总功率	4×55kW
运转周期	26s	定心轮对数	4

步进式加热炉的炉区设备除了包括本书主要论述的最核心的步进炉机设备，也包括液压抽钢机、液压推钢机以及加热炉装料辊道和出料辊道等多套辅助装备，本书依据作者完成的步进炉机工程设计与实践，只对承担坯料运载作用的核心装备——步进炉机的液压系统及炉机关键部件进行可靠性研究。

为了确保工程质量，步进式炉底机械在制造完毕后、出厂之前需要在制造工厂里面进行预先装配与试验，见图 1-11。图 1-11 (a) 是 1250 热连轧钢板生产线加热炉的炉底机械，图 1-11 (b) 是一台淬火加热炉的炉底机械。

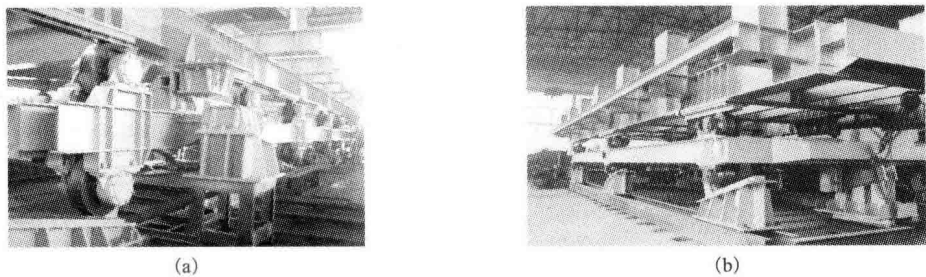


图 1-11 加热炉中应用的步进式炉底机械(彩色插图见附录 F)