

加 热 炉 汽 化 冷 却 装 置 设 计 参 考 资 料

《加热炉汽化冷却装置设计参考资料》编写组

内 容 简 介

本书扼要叙述了加热炉汽化冷却的原理、优点以及装置系统的设计步骤；介绍了炉底管热负荷的计算公式和汽化冷却装置的系统与布置；分别就人工计算和电子计算机计算的要点，阐述了自然循环的计算方法，并列出了电子计算机源程序。此外，对汽包、管道和辅助设施的设计以及其他方面的要求也作了叙述。最后简单介绍了有关汽化冷却装置施工和运行的一般知识。

本书附录中有人工计算和电子计算机计算的示例。

本书可供加热炉汽化冷却装置设计、施工、操作技术人员和工人参考，也可供热能规划、余热利用工作人员以及大专院校有关专业师生参考。

加热炉汽化冷却装置设计参考资料

《加热炉汽化冷却装置设计参考资料》编写组

(限国内发行)

*

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

*

787×1092 1/16 印张 14 字数 333 千字

1980年4月第一版 1980年4月第一次印刷

印数 00,001~4,000 册

统一书号: 15062·3498 定价 1.60 元

前 言

轧钢加热炉采用汽化冷却装置，在我国已有十几年的历史，实践证明，加热炉采用汽化冷却后，能够回收约占加热炉总耗热量10~30%的热损失，这对于节省燃料有很大的意义。为适应钢铁工业迅速发展的需要，我们编写了《加热炉汽化冷却装置设计参考资料》一书。在编写这本书时，我们曾深入工厂、学校、科研和设计单位，进行调查、研究，收集了这些年来，我国广大工人和科技人员积累的丰富的生产经验和科研成果。同时还召开了有工人、技术人员和领导干部参加的座谈会，对该书内容进行了审查并提出了许多宝贵意见，对此我们表示衷心地感谢。我们希望这本书能有助于汽化冷却技术的进一步推广与提高。

书中如与国家或上级机关颁布的技术规范或标准有矛盾时，应以现行的国家机关的规定为准。

本书由重庆钢铁设计院主编，参加编写的有马鞍山钢铁公司设计院，武汉钢铁设计院，鞍山钢铁公司设计院，湖南省钢铁冶金设计院等单位。

《加热炉汽化冷却装置设计参考资料》编写组

一九七七年十月

目 录

第一章 加热炉汽化冷却装置概述	1
第一节 加热炉及其冷却构件.....	1
第二节 汽化冷却的优点和循环方式.....	5
第三节 汽化冷却装置的流程和设计步骤.....	7
第二章 炉底管的热负荷	9
第一节 影响热负荷的几个因素.....	9
第二节 热负荷计算.....	10
第三章 汽化冷却装置的系统和布置	15
第一节 额定蒸汽参数.....	15
第二节 回路热负荷和工质流向.....	15
第三节 水循环系统.....	17
第四节 汽包和操作室的布置.....	19
第五节 循环管道的布置.....	22
第四章 水循环计算	26
第一节 基本概念.....	26
第二节 汽包水欠焓和重量含汽率计算.....	34
第三节 重位差计算.....	37
第四节 阻力损失计算.....	51
第五节 水循环计算的步骤.....	70
第五章 水循环计算的电子计算机程序	82
第一节 程序的功能.....	82
第二节 数学模型概述.....	83
第三节 源程序.....	88
第四节 标识符说明.....	105
第五节 程序总框图及结构简介.....	111
第六节 使用和操作的注意事项.....	114
第六章 汽包设计	116
第一节 汽包容积的确定.....	116
第二节 汽水分离装置.....	118
第三节 排污管和给水管.....	124
第四节 汽包壳体和接管.....	126
第五节 汽包容积和内部装置计算示例.....	127
第七章 管道和辅助设施	130
第一节 蒸发量和主汽管管径计算.....	130

第二节	给水和排污设施·····	130
第三节	汽化冷却装置的启动措施·····	145
第四节	放汽消音器·····	148
第八章	其他各项要求·····	151
第一节	供电、通讯、照明·····	151
第二节	热工检测、调节仪表和信号·····	151
第三节	供水·····	152
第四节	化验·····	152
第五节	采暖通风和防冻·····	152
第六节	土建·····	153
第九章	汽化冷却装置的施工和运行·····	155
第一节	施工的一般知识·····	155
第二节	运行的一般知识·····	167
附录一	加热炉汽化冷却装置的技术经济指标·····	171
附录二	饱和水蒸气性质·····	172
附录三	水循环的人工计算示例·····	176
附录四	水循环的电子计算机计算示例·····	210

第一章 加热炉汽化冷却装置概述

第一节 加热炉及其冷却构件

一、加热炉

加热炉的种类和形式很多，其中以推钢式连续加热炉的用途为最广。这种炉型是用于轧制钢板、型钢和线材以及中小型钢材开坯的基本炉型。本书主要阐述连续加热炉汽化冷却装置的设计问题，其他型式或其他用途（如锻造炉等）的加热炉也可以参考使用。

推钢式连续加热炉的结构，如图1-1所示。钢锭或钢坯由加热炉装料端（炉尾）送入炉内，在推钢机1的作用下，沿纵炉底管2上的滑道向炉头移动。燃料从钢料下方或上、下两方设置的烧嘴4喷出进行燃烧。当钢锭或钢坯由炉尾缓慢移动至炉头，达到要求的加热温度时，即可出炉，然后经辊道8送往轧钢机。

加热炉的能力以每小时出钢量 G 表示，可按式计算：

$$G = \frac{pf}{1000}, \text{ 吨/时}$$

式中 f ——有效炉底面积，米²；

p ——炉底强度，即每小时单位有效炉底面积的出钢量，公斤/米²·时。

炉底强度与炉型和钢材的品种规格有关，一般为300~850公斤/米²·时。

钢材的加热温度随其品种和规格而异。一般在开坯和轧制型钢时，加热温度要求较低，约为1100~1200℃；轧制板坯时加热温度要求较高，约为1250~1280℃；而对某些特殊钢料，则加热温度要求更高，如硅钢板坯加热温度必须达到1360~1410℃。

加热炉的炉型，一般可按炉温制度分为两段式、三段式和强化加热等。

两段式加热炉，按炉温分为加热段和预热段。加热段的炉温一般比钢料最终加热温度高100~150℃，即为1300~1350℃；预热段末端（即炉尾）温度为700~900℃。

三段式加热炉，按炉内温度分成预热、加热和均热三段，其炉温制度为：均热段炉温一般比钢材加热温度高30~50℃，即约为1250~1320℃；加热段炉温一般比钢料加热温度高150~200℃，即约为1350~1420℃；炉尾温度约为800~950℃。

采用强化加热制度的炉型有：五点和六点供热式加热炉、平炉顶式和顺逆式加热炉等。强化加热的炉温制度不同于一般三段式加热炉，其预热段温度被提高，成为新的加热段，此时进料端的温度高达1100~1250℃。

加热炉的年工作时间等于日历时间减去修炉和停炉（由于清渣、事故或其他原因）的时间。年工作小时与日历小时之比，称为加热炉作业率。从作业时间内扣除待轧、待热等热停时间后，所余部分称为有效作业时间。有效作业时间与年日历时间之比，称为有效作业率。加热炉的有效作业率应能满足轧钢机年产量的需要；它对汽化冷却装置的年产汽量也有直接影响。

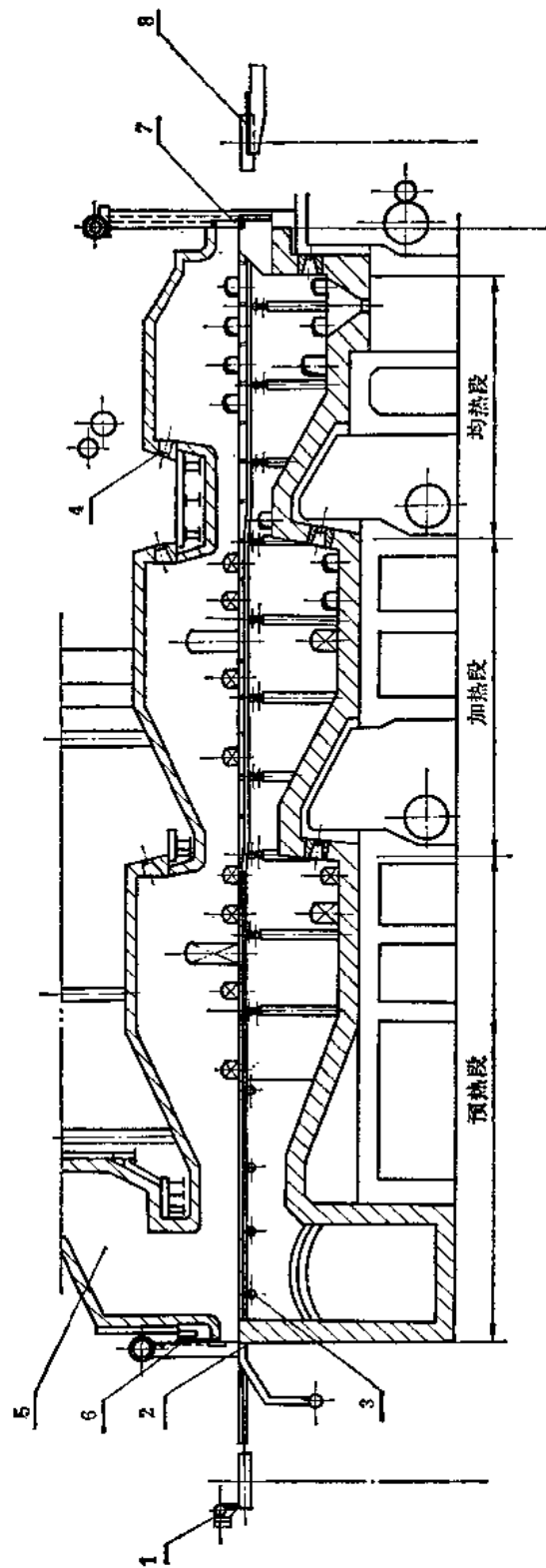


图 1-1 推钢式连续加热炉示意图

1—推钢机；2—纵炉底管；3—横炉底管；4—烧嘴；5—烟道(上排烟)；

6—炉尾托架；7—炉头托架；8—烟道

加热炉的作业率主要与轧制钢材的品种和修炉时间有关，一般为75~85%。加热炉的检修分为大、中、小三类；各类检修的主要内容、时间和周期见表1-1。

表 1-1 加热炉的检修内容

项 目	小 修	中 修	大 修
检 修 内 容	高温段的炉门拱、炉顶、侧墙、均热床、烧嘴砖和燃烧室的部分修理或更换以及炉底管补漏等	高温段的炉顶、侧墙和炉底管的大部分更换；均热段的滑道、炉底管部分绝热层和部分炉底管的更换	除高温段和均热段的检修外还包括：预热段砌体和炉底管以及陶土换热器、部分烟道、钢结构与附属设备的修理和更换
检 修 时 间	1~5天	7~15天	15~30天
检 修 周 期	3~6个月	1~2年	4~5年

检修内容和周期长短（即炉龄长短）主要取决于炉温高低、燃料种类、炉型结构和材料性能以及操作、维修和检修的质量等。

二、冷却构件

推钢式连续加热炉的冷却构件有：支持钢料滑行的纵横炉底管、炉顶吊梁、进料端和出料端的托梁、出钢斜坡滑道和烧嘴等。

1. 炉底管

纵炉底管一般多为偶数，顺炉长方向并列敷设，其长度随炉长而异，一般为10~30米。纵炉底管一般采取 $\phi 76 \sim 121$ 毫米的厚壁无缝钢管制作，顶部焊有 $\phi 30 \sim 40$ 毫米圆钢。有些较大的加热炉，为了增加纵炉底管的刚度和便于采用耐热滑道，已开始采用矩形、三角形及小矩形组合的异型钢管。

纵炉底管大多数用横炉底管支承；对中小型加热炉的预热段，用粘土砖托墙支承的也不少见。横炉底管的间距一般等于或整倍于加热炉钢柱的间距；目前常见的间距为1160毫米和2320毫米。随着纵炉底管刚度的提高，横炉底管的间距有加大的趋势。横炉底管一般采用单管、双管或单管下加龙形或T形支撑管等形式，见图1-2。

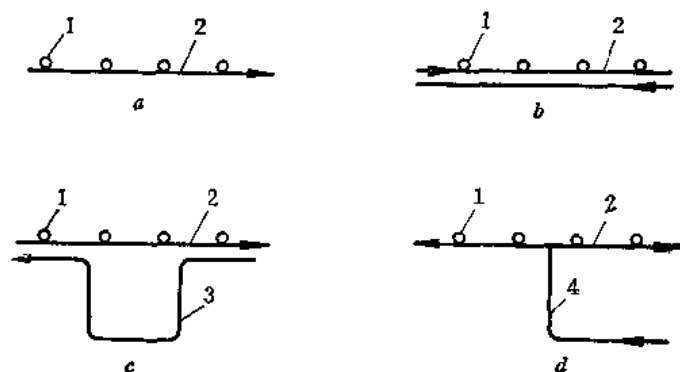


图 1-2 加热炉纵、横炉底管布置形式示意图

a—单横炉底管；b—双横炉底管；c—单横炉底管加龙形支撑管；d—T形支撑管

1—纵炉底管；2—横炉底管；3—龙形支撑管；4—T形支撑管

单横炉底管结构简单，一般采用 $\phi 102 \sim 159$ 毫米的厚壁无缝钢管，但由于强度和刚度的限制，只用于宽度较小的加热炉。

双横炉底管由于两管重叠，具有较大的强度和刚度，一般采用相同的管径。当采用上小下大不同管径组合时，虽然断面经济，但对炉底管的汽化冷却不利。

较宽的加热炉大多数采用带龙形支撑管或T形支撑管的横炉底管。支撑管一般为 $\phi 76 \sim 114$ 毫米的厚壁无缝钢管。

目前连续式加热炉的纵、横炉底管已普遍采用汽化冷却。

2. 其他冷却构件

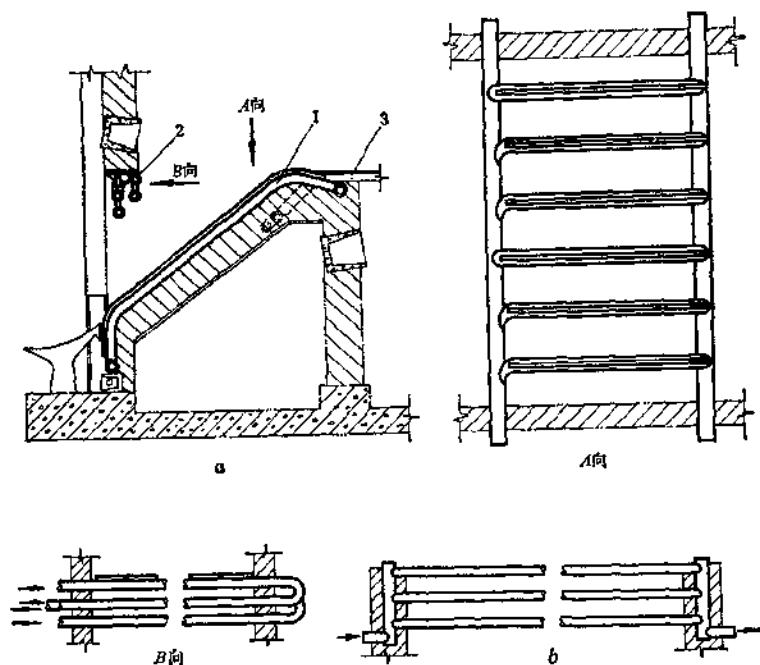


图 1-3 托梁和斜坡滑道汽化冷却示意图

a—斜坡滑道和炉头托梁；b—炉尾托梁

1—斜坡滑道；2—炉头托梁；3—纵炉底管

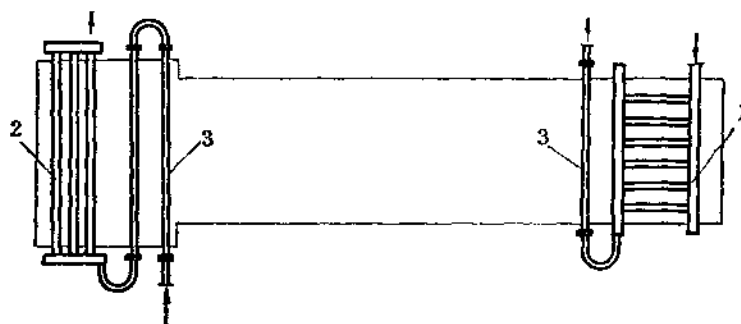


图 1-4 炉尾托梁、斜坡滑道与横炉底管的串联回路示意图

1—斜坡滑道；2—炉尾托梁；3—横炉底管

加热炉的冷却构件除炉底管外，还有炉头托梁、炉尾托梁和斜坡滑道等，它们通常是箱形结构，而一般箱形结构不适用于采用汽化冷却，故这些冷却构件可以用来加热汽化冷却装置的给水。当这些构件采用汽化冷却时，一般须改成管式结构，图 1-3 为炉头和炉尾托梁，斜坡滑道采用汽化冷却的结构形式。这些冷却构件热负荷不大，一般都与横炉底管串联组成一个回路，如图 1-4 所示。

为了简化炉子的冷却系统，提高冷却构件的寿命，应尽可能将加热炉的各种箱形冷却构件改为管式结构，并采用汽化冷却。目前国内有些钢铁厂作了这样的改革，已经取得了良好的效果。

第二节 汽化冷却的优点和循环方式

一、汽化冷却的原理和优点

加热炉冷却构件采用汽化冷却，主要是利用水变成蒸汽时吸收大量的汽化潜热，使冷却构件得到充分的冷却。加热炉的冷却构件采用汽化冷却时，具有以下优点：

1) 汽化冷却的耗水量比水冷却少得多。例如，加热炉采用工业水冷却时，若水的入口和出口的平均温度差为 20°C ，则一公斤水从冷却构件带走的热量仅为 20 千卡。改用汽化冷却后，设工作压力为 5 公斤/厘米²(表压)，给水温度为 20°C ，在该压力下的饱和水焓是 158 千卡/公斤，汽化潜热是 499 千卡/公斤，则一公斤 20°C 的水，通过冷却构件时，能带走的热量应为 $158 + 499 - 20 = 637$ 千卡。由此可见，汽化冷却的耗水量仅相当于水冷却的三十分之一左右，这显然是一种很有价值的节约。

2) 用工业水冷却时，由冷却水带走的热量全部损失，而采用汽化冷却所产生的蒸汽，则可供生产、生活方面使用，甚至可以用来发电。例如，一个大型轧钢厂的四座加热炉，其汽化冷却装置产生的蒸汽为 50~60 吨/时，如用于发电，装机容量可达 8000~10000 千瓦左右。

3) 采用水冷却时，一般使用工业水，其硬度较高，容易结成水垢常使冷却构件发生过热或烧坏。当采用汽化冷却时，一般用软水为工质，以避免结成水垢，从而延长冷却构件的寿命。

4) 纵炉底管采用汽化冷却时，其表面温度比采用水冷却时要高一些，这对于减轻钢料加热时形成的黑印，改善钢料温度的均匀性有一定的好处。

表 1-2 某 630 毫米轧钢车间加热炉各种冷却系统的经济比较 单位：万元

项 目	冷 却 系 统		
	强制循环汽化冷却	自然循环汽化冷却	工业水循环水冷却
基建投资	11.960	12.000	13.000
年折旧费	0.794	0.800	0.867
年运行费	9.544	3.954	7.624
年回收蒸汽价值	21.704	21.704	—
年 收 益	+ 11.365	+ 16.950	- 8.491

注：折旧年限按 15 年计。

总之，加热炉采用汽化冷却，特别是采用自然循环冷却系统时，其经济效果是显著的。因此，我国钢铁厂的加热炉已普遍采用了汽化冷却装置。表1-2是某630毫米轧钢车间采用不同冷却系统的经济比较。

二、强制循环和自然循环

汽化冷却装置的循环方式有两种：一是自然循环，二是强制循环。

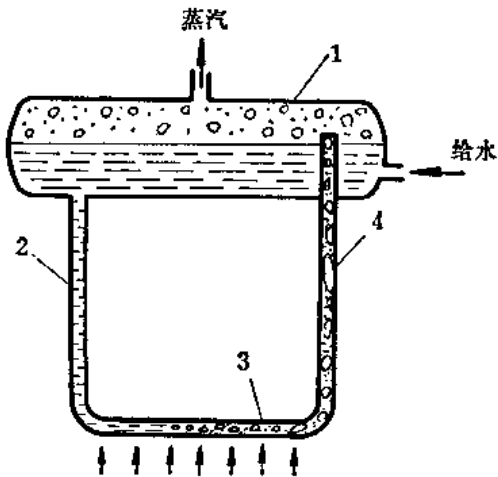


图 1-5 加热炉汽化冷却自然循环原理图
1—汽包；2—下降管；3—炉底管；4—上升管

却，而不至于过热或被烧坏。

如果汽包的高度和位置受到限制或由于其他原因，采用自然循环系统难以获得冷却构件所需要的循环流速时，也可以采用强制循环系统，如图1-6所示。强制循环的动力是由循环水泵产生的。循环水泵迫使工质产生从汽包起经下降管、循环泵、炉底管和上升管，再回到汽包的密闭循环。

自然循环不需要循环水泵，也不要设置备用水冷却装置，不但具有系统简单、维护方便，消耗电能少，工作安全可靠等优点，而且在遇到突然停电时，也比较容易实现安全停炉。

强制循环需要设置循环水泵和备用水冷却装置，由于系统复杂，维护不便，消耗电能多，尤其遇到突然停电时，转换水冷却的操作较为繁杂，容易造成停炉事故。

过去，我国的加热炉汽化冷却装置，大多数采用强制循环系统，随着水平的提高，目前基本上都已采用自然循环系统。因此，本书主要阐述自然循环系统的汽化冷却装置的设计问题。

自然循环是依靠下降管和上升管内工质（水和汽水混合物）的重度差形成的。图1-5所示的自然循环系统，是由汽包、下降管、炉底管和上升管组成的简单回路。在这个回路中，炉底管受热后，一部分水变成蒸汽，于是在上升管中充满着汽水混合物，工质的平均重度减小；而在不受热的下降管内工质仍然是水，其重度较大。因此在炉底管两端产生了不平衡的压力，促使工质能够克服阻力，形成由高压侧向低压侧流动。也就是在上升集中的汽水混合物向上流入汽包内，下降管中的水向下流入炉底管内，这样就形成了定向的自然循环流动。当循环流速达到一定数值时，炉底管就可以获得充分冷

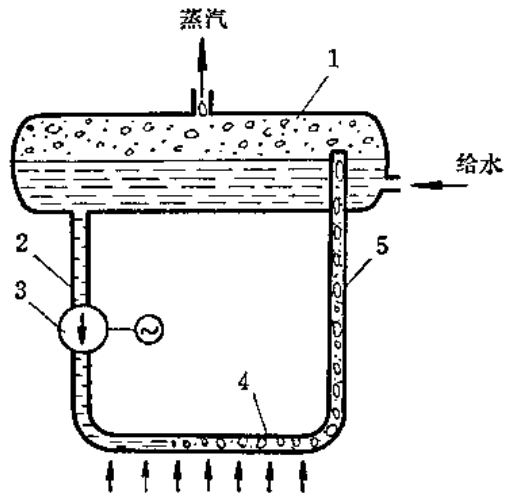


图 1-6 加热炉汽化冷却强制循环原理图
1—汽包；2—下降管；3—水泵；4—炉底管；5—上升管

第三节 汽化冷却装置的流程和设计步骤

一、汽化冷却装置的流程

汽化冷却装置的流程，见图1-7。

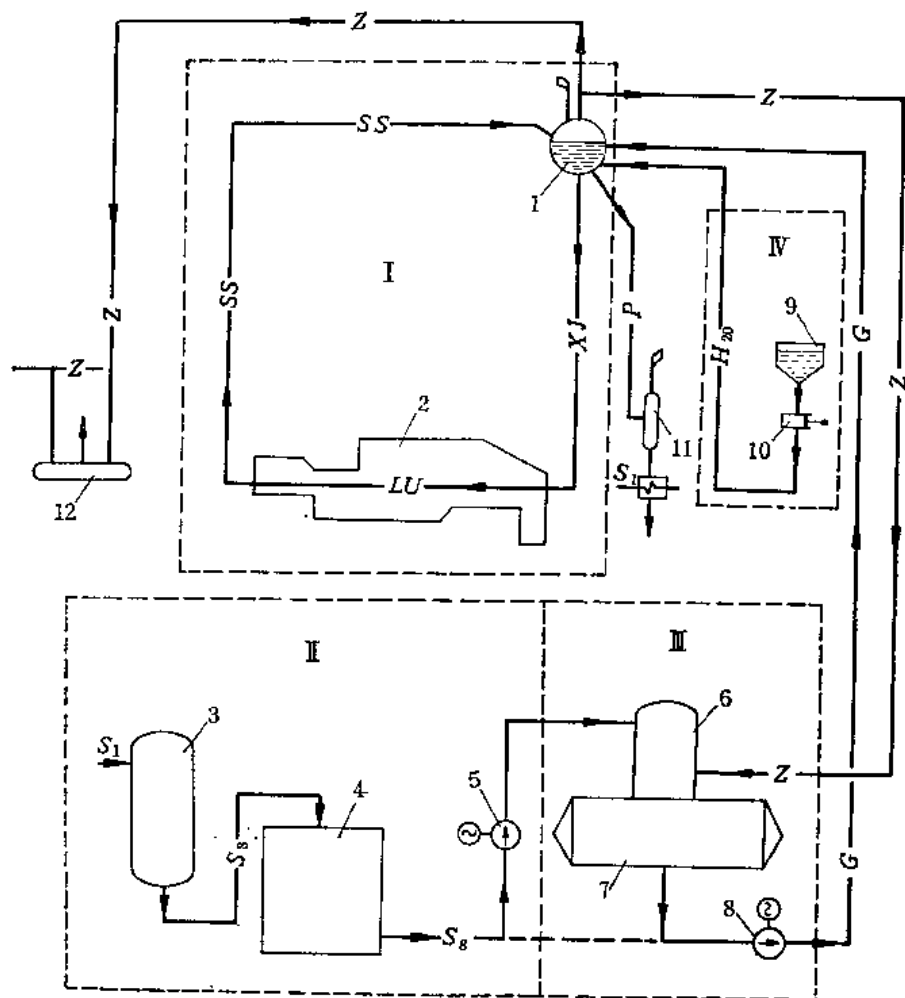


图 1-7 加热炉汽化冷却装置流程图

1—汽包；2—加热炉；3—软水器；4—软水箱；5—软水泵；6—除氧器；7—除氧水箱；8—给水泵；9—药剂溶解槽；10—加药泵；11—排污扩容器；12—分汽缸
 管线 ——Z——蒸汽，——SS——上升管，——XJ——下降管，——LU——炉底管，
 ——G——给水，——P——排污，——S₁——工业水，——S₂——软水，
 ——H₂O——药剂溶液

如图1-7所示，汽化冷却装置由以下几部分组成：

1) 装置本体(循环系统)，如图中I，包括纵、横炉底管（或其他冷却构件）、上升管、下降管和汽包等。

2) 给水及除氧系统，如图中II，包括除氧器、给水箱、给水泵和给水管等，用以供应循环系统所需要的给水。

3) 软化系统, 如图中Ⅱ, 包括软水器、软水箱、软水泵以及其他附属设备和管道等, 用以供给汽化冷却装置所需要的软水。当软水由车间外部供应时, 无须专设软水系统。

4) 加药系统, 如图中Ⅳ, 包括药剂溶解槽、加药泵和加药管道等, 用以进一步改善炉水质量。

5) 其他管道系统, 包括主蒸汽、排污、放汽、工业水等管道。

当给水不要求除氧时, 软水泵 5、除氧器 6 和除氧水箱 7 均可取消。给水泵 8 可直接从软水箱 4 中吸水, 送入汽包。此时软水箱即为给水箱。

二、汽化冷却装置的设计步骤

汽化冷却装置的设计, 一般可按下述步骤进行:

1) 按用户要求确定汽化冷却装置的额定蒸汽参数(蒸汽的压力和温度)。

2) 根据加热炉的加热制度(或炉温曲线)和炉底管的布置情况, 算出各炉底管的热负荷和装置的总热负荷。

3) 根据总热负荷算出的总产汽量, 决定汽包的直径和长度, 然后, 结合厂房结构和车间的布置情况, 确定汽包的安装位置。

4) 根据炉底管的热负荷和汽包位置, 拟定循环回路, 选择循环系统。

5) 绘制汽化冷却装置本体系统图, 包括汽包位置、回路组成以及下降管和上升管的布置和结构(管径大小、管道走向、管段长度和各种管件的配置等)。

6) 按系统图进行水循环计算, 校核系统在各种工况下运行的可靠性。必要时加以适当的修改或调整。

7) 设计汽包, 包括汽包的强度计算和内部分离装置等设计。

8) 根据蒸汽参数确定给水和炉水的水质要求, 然后按水质要求和给水量进行给水除氧系统、加药系统和软化系统的设计。

9) 设计其他汽水管道。

10) 确定热工控制和检测仪表。

11) 确定操作室的位置和布置。

第二章 炉底管的热负荷

炉底管的热负荷是设计加热炉汽化冷却装置的重要原始数据。设计所采用的炉底管热负荷数值是否正确，对于汽化冷却装置的系统和结构的合理性与运行的安全可靠，有很大的影响。

炉底管的热负荷是指冷却工质每小时从炉底管带走的热量。炉底管单位表面积的热负荷称为热强度。

第一节 影响热负荷的几个因素

一、加热炉炉温

炉底管的热负荷与炉温制度有密切关系。加热炉的炉温制度随炉内加热过程而变化。加热过程大致可分为五种：待轧、装热料、正常轧制、待热和保温。按加热炉的实测数据，待轧和装热料时的炉底管热负荷相近，正常轧制和待热时的炉底管热负荷相近，待轧比正常轧制热负荷略高。

加热炉的炉温制度随加热炉的产量而变化。产量大时燃料消耗量大，炉底管的热负荷也较大。

炉底管的最大热负荷是按照加热炉最大产量在正常轧制时的炉温制度（炉温曲线）来计算的。炉底管的最小热负荷是按照加热炉保温过程的炉温制度来计算的。加热炉在保温过程中，炉温一般为 800° 到 1000°C 。

二、炉底管的绝热层

在推钢式连续加热炉中，炉底管冷却水带走的热量在加热炉总耗热量中占有很大的比率，炉底管包扎绝热层后，这项损失即可大大减少。例如，某加热炉的炉底管，在包扎绝热层之前，冷却水带走的热量为 10.3×10^6 千卡/时，占加热炉总耗热量的30.9%；在包扎绝热层后，当绝热层未脱落时，冷却水带走的热量减少至 2.6×10^6 千卡/时，仅占加热炉总耗热量的7.75%。由此可知，炉底管是否绝热，其热负荷是有很大差别的。炉底管在整个生产过程中经受着钢料的强烈震动和冲击（纵炉底管比横炉底管更为严重），绝热层易于破损和脱落。此外，炉温控制不当，致使钢料烧化时，绝热层即遭受严重的浸蚀，其使用寿命将大大缩短。由于冲击情况和炉温不同，同一加热炉内，各部位绝热层的脱落程度是不相同的。脱落程度以脱落系数 K_{H} 来表示。脱落系数即脱落的面积与总面积的比值。脱落系数与炉役的期限有关。在炉役初期，绝热层基本完整，此时可以认为 $K_{\text{H}} \approx 0$ 。在炉役末期，绝热层脱落最甚，此时 K_{H} 达到最大数值。

目前，炉底管的绝热层大多数采用异型粘土砖组成的挂砖式结构。下节中所列的热强度计算公式和采用的系数，就是以这种绝热层的测定数据和使用中的经验为依据的。不同的绝热层，其导热系数和使用寿命是不同的。因此，这些公式和系数对于使用其他材料和结构的绝热层是不适宜的。

三、炉底管的受热偏差

由于传热条件和绝热层脱落程度等情况的差异，各段炉底管即使处于炉温相同的区域，其热强度也是不同的。这是因为计算炉温和脱落系数时所采用的是平均值，与实际情况有出入的缘故。例如，计算时认为沿加热炉的宽度方向炉温是不变的，但实际上不仅炉温有变化，而且传热条件也有变化，因此，热强度也是变化的。又如，脱落系数只能大致列出几个粗略的数值，而实际的变化却很大。当实测炉底管热负荷时，往往发现炉温相同的炉底管（例如两根相同的纵炉底管），它们的热负荷并不相同。为了使设计能反映这一实际情况，在公式中采用了受热偏差系数。受热偏差系数以 K_{ρ} 表示，是实际热强度与计算热强度的比值。在水循环计算中，用热偏差系数来体现回路热负荷的不均匀性。受热偏差系数只用于纵炉底管的回路，其方法是：取一根纵炉底管为最大热负荷，另一根为最小热负荷，其余全部为平均热负荷。对于横炉底管不考虑受热偏差。因为横炉底管大多数是由若干受热管段串联而成，这些受热管段的热负荷，有的偏大，有的偏小，从整个回路来看，热负荷没有变化，所以用不着再考虑受热偏差。

第二节 热 负 荷 计 算

炉底管热负荷的数值，既可由实测决定或按类似加热炉的实测数据推算而得，也可按经验公式计算而得。

当按实测数据推算热负荷时，设计的加热炉在炉型、结构、产量、钢料的品种和规格以及燃料种类、炉底管绝热情况等各方面的条件，应当和实测的加热炉相类似。表 2-1 列出我国一些加热炉热负荷的实测数值。表中所列加热炉的炉底管总热负荷，可供设计参考。

计算炉底管的热负荷，须先算出热强度的数值。目前，国内外已有一些计算热强度和热负荷的经验公式。总结这些公式的使用经验，分析国内一些实测数据，本书推荐下列公式计算炉底管的热强度和热负荷。

一、热强度的计算公式

1. 不绝热炉底管的热强度

对纵炉底管和单横炉底管

$$q_1 = 2.5 \left(\frac{t + 273}{100} \right)^4, \text{ 千卡/时} \cdot \text{米}^2 \quad (2-1)$$

对双横炉底管

$$q_2 = 2.0 \left(\frac{t + 273}{100} \right)^4, \text{ 千卡/时} \cdot \text{米}^2 \quad (2-2)$$

2. 绝热炉底管的热强度

对纵炉底管

$$q_3 = 55t - 18600, \text{ 千卡/时} \cdot \text{米}^2 \quad (2-3)$$

对单横炉底管

$$q_4 = 16.8t, \text{ 千卡/时} \cdot \text{米}^2 \quad (2-4)$$

对双横炉底管

$$q_5 = 13.44t, \text{ 千卡/时} \cdot \text{米}^2 \quad (2-5)$$

式中 t ——加热炉的炉温，按炉底管所在区域的炉膛上部的烟气平均温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

表 2-1 加热炉炉底管的实测热负荷

工厂或车间 名称	加 热 炉 技 术 特 性			炉 底 管	技 术 数 据			炉底管是否绝热， 绝热层完好程度	
	产 量 (吨/时)	有效炉底面积 (米 ²)	燃料种类		加热炉热负荷 (10 ⁵ 千卡/时)	表面积 (米 ²) 或炉底管根数和规格	炉底管热负荷 (10 ⁵ 千卡/时)		炉底管对加热炉热负荷 比率 (%)
中板厂	40	76.0	混合煤气	10.5	40.6	3.52	33	测量炉底 管进出水温	未 绝 热
同 上	40	76.0	同 上	10.5	40.6	1.14	9.45	同 上	绝热层 100% 完好
半连续轧板厂	70~100	187	同 上	33.58	70.08	10.35	30.9	同 上	未 绝 热
同 上	70~100	187	同 上	33.58	70.08	2.6	7.75	同 上	绝热层 100% 完好
小型厂一车间	15	39	焦炉煤气	8.1	10.7	1.55	19.2	同 上	未 绝 热
同 上	15	39	同 上	8.1	10.7	0.31	3.84	同 上	绝热层 100% 完好
小型厂二车间	15	39.2	同 上	10.8	15.9	1.59	14.8	同 上	未 绝 热
同 上	15	39.2	同 上	10.8	15.9	0.5	4.68	同 上	绝热层 100% 完好
中型厂	40	99	同 上	22.5	31.26	3.67	16.8	同 上	未 绝 热
同 上	40	99	同 上	22.5	31.26	0.56	2.5	同 上	绝热层 100% 完好
司 上	40	90	混合煤气	22.5	39.0	4.01	17.8	同 上	未 绝 热
人型厂	70	170	同 上	41.4	67.35	7.21	17.4	同 上	未 绝 热
同 上	70	170	同 上	41.4	67.35	2.79	6.75	同 上	巴绝热，绝热层 70~75%完好
630中型车间	70	121.8(长35米,宽3.48米)	重 油		4根D108×10纵炉底管; 24根D127×20横炉底管	8.0		根据实际产 汽量推算	未 绝 热
同 上	50	101 (长29米,宽3.48米)	同 上		4根D108×10纵炉底管; 18根D159×20横炉底管	6.6		同 上	未 绝 热
同 上	45	98.5(长28米,宽3.48米)	同 上		4根D102×12纵炉底管; 17根D159×18横炉底管	6.62		同 上	未 绝 热
同 上	31	82 (长22米, 宽22.4米)	同 上		4根D114×12纵炉底管; 23根D159×18横炉底管	10.2		同 上	未 绝 热

表 2-2 横炉底管热强度的计算数值

单位: 千卡/米²·时

温 度 (℃)	不 绝 热		绝 热			
	单 管	双 管	绝热层部分脱落		绝热层不脱落	
			单 管	双 管	单 管	双 管
500	8926	7141	8453	6762	8400	6720
525	10138	8110	8952	7161	8820	7056
550	11469	9175	9463	7570	9239	7392
575	12928	10342	9987	7989	9660	7728
600	14521	11617	10524	8419	10080	8064
625	16257	13066	11076	8851	10500	8400
650	18145	14516	11642	9314	10920	8736
675	20192	16153	12225	9780	11340	9072
700	22407	17926	12825	10260	11760	9408
725	24801	19840	13442	10754	12180	9744
750	27381	21904	14078	11262	12600	10080
775	30157	24125	14734	11787	13020	10416
800	33139	26511	15410	12328	13440	10752
825	36337	29070	16108	12886	13860	11088
850	39761	31809	16828	13462	14280	11424
875	43422	34737	17572	14058	14700	11760
900	47330	37864	18341	14673	15120	12096
925	51495	41196	19136	15308	15540	12432
950	55930	44744	19957	15966	15960	12768
975	60645	48516	20807	16646	16380	13104
1000	65653	52522	21685	17348	16800	13440
1025	70964	56771	22594	18076	17220	13776
1050	76591	61273	23535	18828	17640	14112
1075	82547	66037	24509	19607	18060	14448
1100	88843	71074	25516	20413	18480	14784
1125	95492	76394	26418	21375	18900	15120
1150	102508	82007	27358	22766	19320	15456
1175	109904	87923	28373	23718	19740	15792
1200	117693	94154	29667	24733	20160	16128
1225	125889	100711	31042	25813	20580	16464
1250	134505	107604	32701	26961	21000	16800
1275	143557	114845	34587	28178	21420	17136
1300	153058	122446	36084	29467	21840	17472
1325	163022	130418	38013	30830	22260	17808
1350	173466	138773	40287	32270	22680	18144
1375	184403	147523	42861	33789	23100	18480
1400	195850	156680	45796	35389	23520	18816
1425	207822	166257	49116	37073	23940	19152
1450	220334	176267	52555	38844	24360	19488
1475	233403	186722	56505	40704	24780	19824
1500	247044	197635	60569	42655	25200	20160