

工业炉改造节能技术

汪杰年 编著



机械工业出版社

17

内 容 提 要

本书以实际例子介绍了对热处理炉、小型低压工业锅炉、锻造炉、铸造熔化炉、烘干炉等老式旧炉型的技术改造,以达到节能目的。全书从八个方面详细叙述了对旧炉型的具体改造方法和节能效果。本书对于从事此项工作的工程技术人员、动能管理人员、维修和操作工人均有较大的实用价值。

工业炉改造节能技术

汪杰年 编著

王秉铨 审校


*
机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*
开本 $787 \times 1092^{1/8}$ ·印张 $6^{3/8}$ ·字数138千字
1987年5月北京第一版·1987年5月北京第一次印刷
印数 0,001—7,580·定价1.40元

*
统一书号: 15033·6553



前 言

地球上能源有限，而能源却无时无刻地大量消耗着。因此，节能工作不仅与实现四个现代化有关，而且是关系人类生存的大问题，世界科学家们都在呼吁各国节省能源，并努力发展与寻求新的能源。

能源是工业生产的重要环节，特别是燃料和电能，各行各业都是不可缺少的。

据统计，全国能源总耗量（不包括农村非商品能源）约为6亿吨标准煤，其构成为：石油22.4%，天然气3%，水电3.6%，煤炭71%，由此可见煤炭是我国目前的主要能源。再从各部门能源消耗百分比（工业占65.1%；交通占7.9%；农业占4.8%；民用占11.5%；损耗占10.7%）来看，大部分能源主要是用于工业生产的。而在生产和生活全部活动过程中能源有效利用率仅为20~30%，而工业发达国家为50~60%，相比之下，我国每年要多消耗1亿多吨标准煤。因此，目前摆在我们面前的首要任务是努力降低能耗，进一步提高能源利用率。

由于我国能源利用率比较低，因而能耗高，浪费大，产值低。党中央和国务院确定了我国能源建设的总方针是：

“能源的开发和节约并重，要把节能放在优先地位，大力开展以节能为中心的技术改造和结构改革”。这是符合我国实际情况的，也是解决我国能源问题的基本方针。

目前，以节能为中心的技术改造工作，不仅是解决能源

问题的重大决策，而且也是实现社会主义现代化的重要途径。

近年来，各地在改炉节能技术改造方面做了不少工作，收效显著。本书着重介绍热处理炉、小型低压工业锅炉、锻造加热炉、烘干炉等方面的改炉节能技术，并结合目前改炉实际需要，列举了一些实例供读者参考。

本书在编写过程中得到了第一汽车制造厂机械动力处、第二汽车制造厂黄炳仁、张云山、邱贤雄等工程师以及西安交通大学程秀良老师等给予了大力帮助，完稿后又经机械工业部设计研究总院王秉铨高级工程师的仔细审校，提出了许多宝贵的修改意见，在此一并表示感谢。

由于本人水平所限，错误和不足之处敬请读者批评指正。

编 者

目 次

前言	
一、热处理炉的基本知识	1
(一) 热处理炉分类	1
(二) 热处理炉的作用	3
(三) 热处理炉与热处理工艺参数的关系	3
二、井式电阻炉的技术改造	11
(一) 井式电阻炉的结构和特点	11
(二) 井式电阻炉的改炉节能实例	12
(三) 井式气体渗碳电阻炉改炉节能实例	29
三、箱式电阻炉的技术改造	36
(一) 箱式电阻炉的结构和特点	36
(二) 箱式电阻炉的改炉节能实例	37
(三) 回转电阻炉的改炉节能实例	56
(四) 节能新炉型实例	64
四、盐浴炉的技术改造	69
(一) 盐浴炉的结构和特点	69
(二) 中、高温盐浴炉的改炉节能实例	72
(三) 坩埚式电阻浴炉的改炉节能实例	87
五、小型低压工业锅炉的工作原理及节能基本 知识	91
(一) 热水采暖代替蒸汽采暖的优点	91
(二) 热水锅炉基本结构形式	92
(三) 集中供热对热水锅炉的要求	94
(四) 锅炉燃烧基础知识	94
(五) 燃烧过程	97
(六) 燃烧的三种传热形式	102

六、小型低压工业锅炉的技术改造	110
(一) 对小型低压工业锅炉技术改造的要求	110
(二) K2锅炉改造节能实例	122
(三) 采用耐火混凝土取代异形砖的改造实例	130
(四) 采用腐植酸钠对低压锅炉防垢去垢节能实例	135
(五) 0.5t/h立式锅炉改造节能实例	141
七、中小型锻造加热炉和熔炼炉的技术改造	147
(一) 中小型燃煤锻造加热炉节能改造实例	147
(二) 燃煤锻造加热炉改造成半煤气炉节能实例	158
(三) 中小型冲天炉的改造节能实例	170
(四) 在电弧炉上应用硅酸铝耐火纤维毡改炉节能 实例	174
(五) GPL0.5t工频熔化炉改炉节能实例	176
八、烘干炉技术改造	178
(一) 电加热烘干炉的特点和技术改造途径	178
(二) 200kW电阻炉改为远红外线自动烘干炉实例	181
(三) 红外线灯泡低温烘干炉的技术改造	186
(四) 电加热烘干炉改为蒸汽加热自动烘干炉实例	186
(五) 快速烘干与高效节能元件的选用	193
参考文献	196

一、热处理炉的基本知识

热处理炉是通过炉内燃烧装置将燃料燃烧产生的热量或通过炉内电热元件将电能转化的热量对金属工件进行加热的设备。

大家知道，热处理生产也和其他部门生产一样，需要一定的设备来实现既定的工艺过程以便得到合乎要求的产品，而热处理工艺所用的主要加热设备是热处理炉，它的性能好坏直接影响到工件热处理的质量，因此是一个不可忽视的重要因素。

(一) 热处理炉分类

热处理技术在各个工业部门得到了非常广泛的应用，根据热源，以及热处理生产的不同特点和不同的工艺要求，热处理炉大概可分为以下几类：

1. 按热源分

- (1) 电阻炉：采用电能作为热源。
- (2) 燃料炉：采用燃料作为热源，如：燃油炉、燃煤炉和燃煤气炉等。

2. 按炉型结构分

- (1) 箱式炉：炉体构造类似箱体或称室式炉。
- (2) 井式炉：炉体构造呈深井状。

3. 按工作温度分

- (1) 高温炉：工作温度为 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 中温炉：工作温度为650~900℃。

(3) 低温炉：工作温度小于650℃。

4. 按加热介质分

(1) 空气炉：加热介质为空气。

(2) 控制气氛炉：加热介质为特制的具有一定成分的还原性气体。

(3) 浴炉

1) 盐浴炉：加热介质为盐液；

2) 碱浴炉：加热介质为碱液；

3) 油浴炉：加热介质为油液；

4) 铅浴炉：加热介质为铅液。

应当指出的是：采用电能（电阻炉）比采用其它燃料炉要优越，这是因为：

(1) 电阻炉能适应各种热处理工艺；

(2) 电阻炉的炉温均匀且易于控制，炉内温差可维持 $\pm 3\sim 5^{\circ}\text{C}$ ；

(3) 电阻炉易于保持炉内所需要的气氛，从而减少工件在加热过程中的氧化；

(4) 电阻炉结构紧凑，占地面积小，热效率高；

(5) 电阻炉不需要建筑高温的燃烧室，因此，耐火炉衬的寿命较长；

(6) 电阻炉操作方便，易于实现机械化和自动化；

(7) 电阻炉没有燃烧产物，因此劳动条件较好。

当然，燃料炉也有其优点，例如：燃料炉的能源费用低；以油或煤气为燃料的热处理炉，也能很好地调整和控制炉温，并可适当地控制炉内气氛，因此大型热处理炉一般多采用气体或液体燃料为热源。

(二) 热处理炉的作用

工件热处理质量的好坏，主要决定于炉子能否达到热处理工艺所规定的温度参数值。例如：化学热处理时，炉内温差必须控制在 $5 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 范围内，而对于某些模具钢加热时，炉内温度的均匀性程度将严重影响到机械性能的好坏，如表 1-1 所列是 Cr12MoV 冷冲模钢在不同淬火温度下其机械性能的变化情况。

表 1-1 Cr12MoV 钢从不同温度淬火及回火后的机械性能

淬火温度 ($^{\circ}\text{C}$)	回火温度 ($^{\circ}\text{C}$)	硬 度 (HRC)	变 形 量 $\left(\frac{4L}{L_0} \times 100\%\right)$	冲 击 值 ($\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$)
980	170	57.5	+0.022	10.25
1000	170	59.0	-0.000	16.75
1020	170	60.5	-0.000	15.25
1040	170	61.5	-0.020	9.25
1050	170	62.0	-0.037	3.50
1060	170	62.0	-0.036	0.75
1080	170	62.5	-0.045	0.75
1100	170	62.0	-0.014	0.75

工件加热时，由于炉内温度不均匀，或工件表面与中心存在较大的温度差淬火时将引起工件变形或造成开裂。为此，热处理炉应当保证炉内温度均匀，一般炉内温差不允许超过 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

(三) 热处理炉与热处理工艺参数的关系

目前，我国热处理工艺仍属传统老工艺，加热速度慢，保温时间长。例如：直径为 100mm 的工件在加热时，其炉内

温差和工件表面与中心温差不应超过 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ ，为此必须减少炉膛温度与工件表面温度之间的温度差，差值应小些，降低加热速度，同时保温时间作相应增长，以此方法来减少工件表面与中心间的温差，形成了传统性工艺参数。一些厂对传统工艺的加热时间 τ 是按下列各式进行计算的：

$$\tau = aD' + b \quad (1)$$

式中 a 、 b ——加热系数 (min/mm)，一般在空气电阻炉中加热时，取 $a = 1$ ， $b = 3$ ；

D' ——有效厚度 (mm)。

$$\tau = aKD \quad (2)$$

式中 a ——加热系数 (min/mm)，在空气电阻炉中加热时，取 $a = 1$ ；在盐浴炉中加热时，取 $a = 0.3\sim 0.4$ ；

D ——有效厚度 (mm)；

K ——变量。单件加热时 $K = 1$ ；三件紧靠加热时 $K = 3$ 。

1. 某些厂加热时间 τ 的经验计算公式

(1) 盐浴炉

碳素结构钢： $\tau = 0.3D$ (min/mm)；

碳素工具钢和合金结构钢： $\tau = 0.5D$ (min/mm)；

合金工具钢： $\tau = 1D$ (min/mm)。

(2) 空气电阻炉

碳素钢： $\tau = 1D$ (min/mm)；

合金工具钢： $\tau = 1.2D$ (min/mm)。

又根据工件装炉量的不同，实际保温时间为 $K\tau$ ，其中 K 为装炉系数 $= 1\sim 2$ 。

目前，淬火加热多采用传统工艺，加热温度规定在很小

范围内，加热时间长，大件保温时间更长。装炉量愈大，加热保温时间就愈长。

升温加热和保温是两个性质不同的问题。升温过程是一个传热学的问题，它受到加热炉内的介质、钢材的化学成分，工件外形尺寸，加热方法等因素的影响，最终将工件由冷态升温至规定的加热温度。

保温时间，都认为是基于相变热力学和动力学的理论确定的。尽管都有着不同的看法，但总的来说都强调了要保证工件透烧、组织转变、碳化物溶解、奥氏体均匀化等问题。

所谓“透烧”，就是工件在加热时其表面温度和中心温度达到基本一致。透烧时间长、短与工件材质、炉温均匀程度、工件在炉内的布置方式等因素有关。

对于奥氏体的转变，当然需要时间，即使在等温形成奥氏体的场合，这个时间只是在数秒钟内的事情。实际上加热温度又是在相变点以上数十度，一般热处理炉在加热升高这几十度所需的时间对于补偿奥氏体形成的时间是足够的了。

碳化物的溶解需要时间这是肯定的，人们对其认识尚未统一，有的认为要几百秒，有的认为要10~15min，还有的认为过剩碳化物溶解完毕即使1h也是不够的。问题在于，在实际热处理时，碳化物只需要溶解20~30%就足够了，多余的碳化物保留下来是有益无害的。因此碳化物溶解所需时间是不长的。

奥氏体均匀化的问题，按照扩散理论，奥氏体均匀化需要3h以上的时间。在奥氏体化开始时，奥氏体成分的均匀化就开始了。开始时由于浓度梯度大，扩散就进行得非常迅速，以后就愈来愈慢了，在实际生产过程中要达到需要均匀化程度并不需要很长时间，只不过是一分钟内的事情。

正确的加热温度参数是靠先进的热处理炉来完成的，不论在设计新炉型或改造旧炉型时，炉内温度均匀性和平均升温速度同热处理参数有着直接的关系，在有介质的炉内加热时，炉内温差应在 $\pm 5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 范围内，平均升温速度为 $430^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 左右。

例1：某厂在热处理4根滚轮小轴时，在不同热处理炉内对保温时间所进行的实验。

实验一：试样1~2，材料均为45号钢，形状尺寸如图1-1所示。在中温盐浴炉内进行加热，淬火加热温度为 860°C 。试样1： $\tau_{\text{保}}=0$ （即到温淬火法）；试样2： $\tau_{\text{保}}=5\text{min}$ ，即到温后保温5min水淬。从试样结果来看，到温淬火法和保温5min后再淬火结果其硬度和淬硬层深度几乎无区别，如表1-2所示。

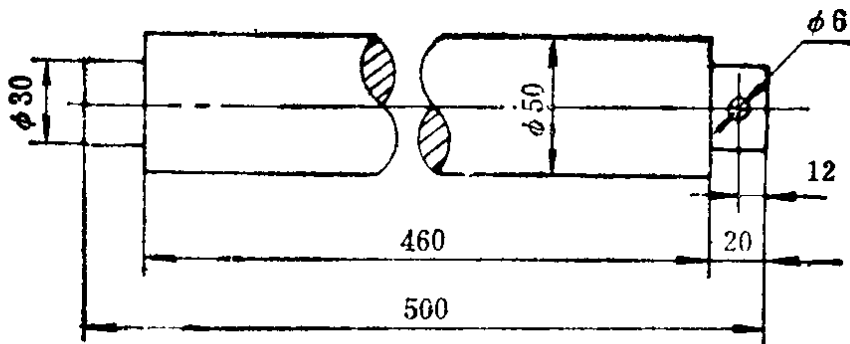


图 1-1 滚轮小轴

表 1-2 45钢加热保温时间不同淬火后技术数据表

试样号	加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	保温时间 (min)	硬度 (HRC)	淬硬层深度 (mm)	脱碳层 (mm)	加热设备
1	870	0	57~59	3.5~3.85	—	45kW中温盐浴炉
2	870	5	57~58	3.5~3.1	—	45kW箱式电阻炉
3	860	0	50~52	4.1~4.95	0.15	
4	860	50	41~44	脱碳无法测	0.35	

实验二，试样3~4：材料均为45号钢，形状尺寸如图1-1所示。加热设备在45kW箱式电阻炉内加热，试样3： $\tau_{保}=0$ （即到温淬火法）；试样4： $\tau_{保}=50\text{min}$ ，即到温后再经保温50min水淬（传统工艺），淬火加热温度均为 860°C ，结果试样4由于加热保温时间太长，表面氧化脱碳层深，淬火后的硬度只有HRC41~44；试样3表面氧化脱碳层浅，两种实验结果如表1-2所示。其金相组织并无什么差别。

例2：可锻铸铁低温石墨化退火的节能。

在热处理过程中，节能取决于不同热处理工艺和所采用的热处理炉型。

为提高球墨铸铁的韧性，可进行石墨化退火。其传统工艺是采用高温退火，方法是加热至 $920\sim 980^{\circ}\text{C}$ 并经保温，再随炉缓冷至 600°C （或在 $700\sim 750^{\circ}\text{C}$ 保温3~6h），然后出炉空冷如图1-2所示。

研究冶金条件有助于掌握白口铸铁石墨化退火中渗碳体

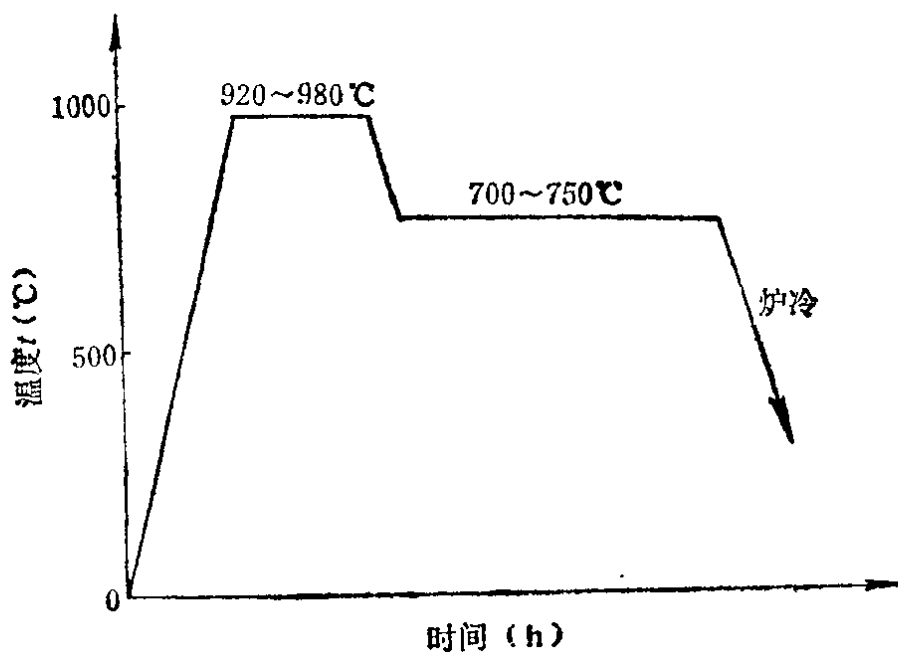


图 1-2 球墨铸铁高温退火曲线

热分解反应。在硅含量适当的条件下，加入铝-铋复合孕育剂，可避免出现初生游离石墨的不利情况。同时，在800℃以下的十多个小时中，不管是否经过约4h430℃的保温过程，几乎都会使共晶碳化物完全石墨化，代替了过去传统的高温退火处理，其低温退火曲线如图1-3所示，而且，在不降低铁素体或珠光体抗拉强度的条件下，可节省将近20%的能量，这一成果已在实际生产中得到了验证。

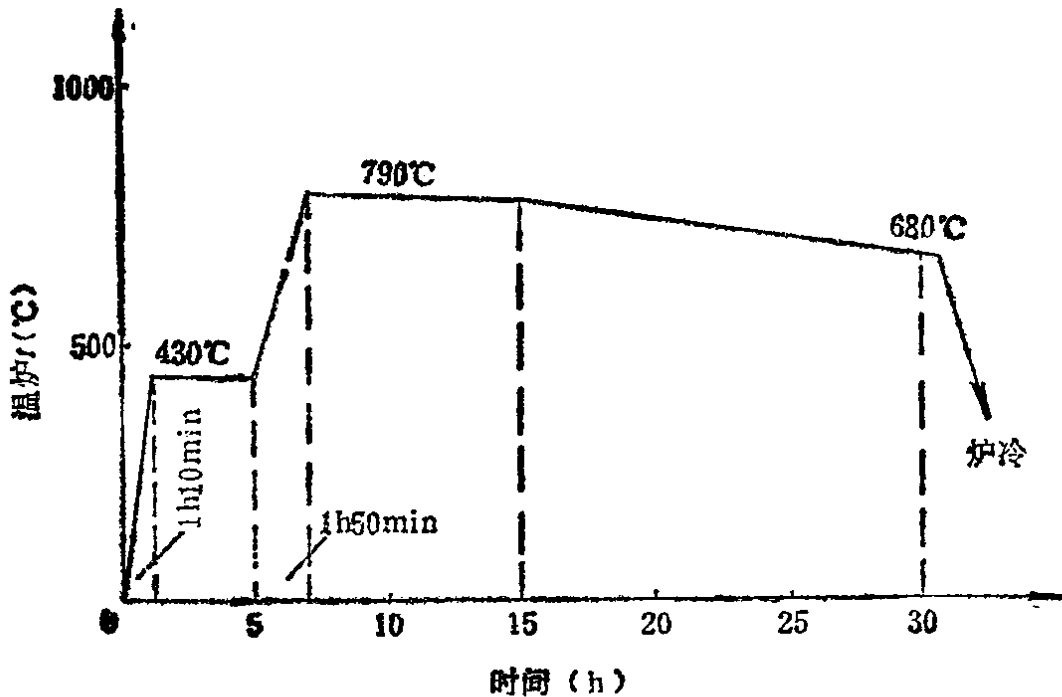


图 1-3 球墨铸铁低温退火曲线

2. 节能取决于不同热处理的工艺曲线和选用的炉型

(1) 高温退火和低温退火能源消耗对比

从图1-2和图1-3两种退火热处理工艺曲线来看，低温热处理的加热周期同高温热处理的加热周期相同，并可通过取消在430℃的保温过程，节省约4h的加热时间。在必要的情况下，这段时间可以用于延长石墨化过程，石墨化取决于缓冷时间，而并不影响能源消耗。

(2) 影响能源消耗的因素

影响热处理能源消耗的因素有：

- 1) 初始有效热量与温度有关，而与时间无关。同时与装工件的辅助工具（如托盘、料筐、底座等）有关；
- 2) 持续热损失与温度和时间成正比；
- 3) 瞬时热损失，主要指装卸工件引起的热损失，如果操作条件好，这种热损失就比较小；
- 4) 热源的效率，随热源种类的不同而异，电炉的热效率最高；
- 5) 保护炉内气氛所需要的热能。

上述 1)、2)、3) 项热量之和构成了炉子所提供的内热 Q_1 ，为得到总消耗量 Q ，既要考虑到热源的效率，又要把控制气氛所消耗的热量计算在内。

(3) 不使用控制气氛炉子的节能

1) 电阻炉

假设电阻炉的热效率等于 100%，不使用控制气氛时，那么估计可以减少能源消耗 11~16%，平均约 14%。

2) 煤气炉

辐射管煤气炉有两种型式，两者效率不同，不带换热器的可节能 21% 左右；带换热器的节能 18% 左右。

3) 非连续炉

对于取消带控制气氛的非连续炉：电阻炉节能 27%；辐射管式煤气炉节能 18~21%。

4) 连续炉

对于取消控制气氛的连续炉：电阻炉节能 27%；辐射管式煤气炉节能 26~29%。

此外，低温石墨化退火对热处理炉和料筐的寿命明显延

长，虽然这项节约难以定量，但这些因素均可以间接地提高企业的生产能力。

在热处理过程中，要特别强调指出：如果炉子密封性好，氧化现象并不严重，但是对于旧的热处理炉，由于炉子热损失大，温差也大，炉子密封性不好，出现氧化脱碳和不能获得理想的石墨化组织，给退火造成困难，机械性能下降，机加工困难，特别是延伸率降低。为此，一定要对旧的热处理炉进行技术改造，提高加热炉的密封性等，在连续式退火炉中应保持中性气氛。

二、井式电阻炉的技术改造

目前，我国的热处理电阻炉大部分是40年代的老设备，耗电量大、热效率低、升温速度慢、炉内控温精度低，已不能满足热处理新工艺和节能的要求，必须尽快加以改造。

(一) 井式电阻炉的结构和特点

井式电阻炉是由金属或非金属作为电热元件，空气作为加热介质，貌似圆井形的一种炉型。井式电阻炉的工作是使电流通过电阻体发出热能，而后以辐射方式将热量传给被加热的工件。

辐射传热与对流传热有很大区别。对流传热必须通过中间介质才能进行，而辐射传热可不通过任何中间介质也能进行。

井式电阻炉的结构是由壳体、砌砖体、电热元件、炉盖和炉盖开、闭机构、循环通风装置、控温装置等组成，如图2-1所示。壳体由钢板和型钢焊接而成。砌砖体是用重质耐火砖砌成耐火层，用硅藻土砖和硅藻土粉或蛭石粉作保温层。电热元件采用Fe-Cr-Al合金电热丝或电阻带，经盘绕成螺旋形或波纹形后安放在炉内圆周炉壁上，或托板砖上，并用Fe-Cr-Al合金做成小钩子，钩住电热元件，防止加热膨胀时电热元件离位碰上工件造成事故。炉盖用角钢和钢板焊成圆形，中间设一个窥视孔，炉盖升降为手动油压泵，在井式回火电阻炉炉盖上装有电风扇，强制循环通风，使炉内温度均