

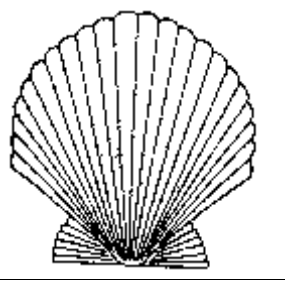
FLYCAD

透热用感应器设计计算软件 应用实例



EII 系列应用实战

二〇〇七年四月修订本



目录

EII1 文件应用举例

例一.	碳钢小直径工件锻造加热项目（小功率中频感应电炉）	-----3
例二.	碳钢大直径工件锻造加热项目（大功率中频感应电炉）	-----4
例三.	三种不同直径工件共用一台感应加热炉的锻造加热项目	-----5
例四.	碳钢园棒料一端局部加热项目	-----6
例五.	碳钢园棒料连续进料绕簧加热生产线项目	-----7
例六.	碳钢正方料锻造加热项目	-----8

EII2 文件应用举例

例一.	铝青铜锻造加热项目	-----9
例二.	铝锭热挤压项目（感应器采用电容器串并联升压供电）	-----10

EII3 文件应用说明-----11

EII4 文件应用举例

例一.	钢丝低温回火项目	-----11
例二.	钢丝低温回火项目	-----11
例三.	园钢蓝脆下料项目（四种不同直径工件共同一台感应加热炉）	-----12

EII5 文件应用举例

例一.	45#钢扁坯料锻造加热项目	-----13
例二.	45#钢细长园棒料用扁坯感应器加热淬火项目	-----14

附表 1: 电热电容器规格型号-----15

附表 2: GYG 碳化硅陶瓷炉衬套规格表-----15

EIII 文件应用举例：

例一. 碳钢小直径工件锻造加热项目（小功率中频感应电炉）

1. 已知条件：工件尺寸 $\phi 25 \times 50$ 节拍 6 秒，加热表面终温 $T=1150^{\circ}\text{C}$ ，芯表温差 $\leq 100^{\circ}\text{C}$
2. 简单计算：工件每件重量 $g=0.192$ 公斤 / 件，
3. 生产率 $c = \frac{g}{3600} \times 0.192 = 115.2 \text{kg} / \text{H}$
4. 计算机输入，输出主要参数：

选用步进式 $N_6=1$ ，材料按低碳钢 $N_1=1$ （如 $N_1=2$ 为高碳钢，计算结果相差不大）

$D_2=2.5, G=115.2, N=1, T=1150, F_0=8503_{\text{HZ}}$

输入 $F=7600_{\text{HZ}}$ （即选用 8000_{HZ} 中频电源），屏幕显示 $T_6=100^{\circ}\text{C}$ 时，工件总加热长度仅需 17cm，但 L_2 值太小时，线圈肯定放不进去，所以 L_2 取值必须加长，先取 $L_2=70\text{cm}$ ，考虑 $L_1=75\text{cm}$ ，感应器总长 $L_0=80\text{cm}$ ，紫铜管取最小规格为 $8 \times 12 \times 2\text{mm}$ ，故输入 $L_2=70\text{cm}, B_2=0.2\text{cm}, A_0=0.85$ ，

$$B_3 = \frac{8 \times 12 - 4 \times 8}{8} = 8\text{mm} = 0.8\text{cm}.$$

$H_0=1.2\text{cm}, N_5=1, N_3=1$ 或 2 任选。

屏幕显示此时实际芯表温差为 $T_6=26^{\circ}\text{C}$

取 GYG- $\phi 35 / \phi 50$ 炉衬套，有 3mm 凸槽，可不用水冷导轨。

输入线圈内径 $D_1=6\text{cm}, L_1=75\text{cm}$ 。

计算结果 $P=44.11\text{kW}, P_2=8.62\text{kW}, P_3=9.86\text{kW}, \cos \phi = 0.15, Y=0.581$

$U_0=8.13\text{v} / \text{w}$ ，因线圈长度为 750mm 铜管宽为 8mm，加绝缘间隙每匝平均 10mm 左右，

因此最多放入 75 匝，则 $U=75 \times 8.13=609.75$ （取整数输入 610 伏）

610 伏 75 匝 470.4A, $H(X)=8.5\text{mm}$ （若实际使用铜管宽度与此值相差较大时应精确

计算 A_0 值，按此 A_0 值再重新计算一次）， $C_2=17.51 \mu\text{F}, \text{RWF}0.75-320-8\text{S}=1.55$ 台

输入 $S_9=4 \times 8=32\text{mm}^2, V=0.7\text{M}^3 / \text{H}, S_8=5.6$ 路（取 6 路）

$B_7=3\text{cm}$ 时， $W_0=1$ 匝，修正后 $W=74$ 匝。

5. 选用设备：

电源	KGPS-50 / 8 或 KGPS-100 / 8	1 台
感应电炉	GTR-35 \times 800	1 台
中频电容器	RWF0.75-320-8S	2 台

感应炉主要参数：

总长	800mm
线圈长	750mm
线圈内径	60mm, 75 匝（6 个水路）
紫铜管	$8 \times 12 \times 2\text{mm}$
炉衬套	GYG- $\phi 35 / \phi 50$
调试参数	$\phi 25 \times 50$ ，节拍 6 秒，610 伏， 7600HZ, 44KW（空载 10KW），电容器 1.5 台。 中频电流（感应炉）470A。

6. 此例若欲缩短感应炉的长度，可采用中频变压器二次侧供电方式，工件总加热长度可取 20cm（计算机算得 $T_6=100^{\circ}\text{C}$ 时， $L_2=17\text{cm}$ ），故取 $L_2=20\text{cm}, L_1=25\text{cm}, L_0=30\text{cm}$ （感应器长度），其他输入参数不变，则得 $T_6=85^{\circ}\text{C}$ （仍小于 100°C ） $D_1=6\text{cm}, L_1=25\text{cm}, P=41.67\text{KW}, P_2=2.93\text{KW}, P_3=13.11\text{KW}, \cos \phi = 0.11, Y=0.615, U_0=14.84\text{v} / \text{w}$ 取 $U_2=5 \times 14.84=74.2$ 伏。

输入 $U_2=75\text{v}$ ，则 $W=5$ 匝 $I=4704\text{A}, H(X)=42.5\text{mm}, C_2=1387.37 \mu\text{F}$ 。

按 $H(X)$ 数值取 2（ $20 \times 14 \times 2$ ）铜管，即两根并绕。 $S_9=(20-4) \times (14-4) = 160\text{mm}^2$ ，

$$V=0.6M^3 / H, S_8=1.6 \text{ 路 (取 2 路)}。$$

20×14×2 铜管的 $H_0=1.4\text{cm}$, $B_3=0.6\text{cm}$ (如按此 H_0, B_3 重新计算一次, 所得结果基本相同), 感应器与中频变压器二次测 100V 额定电压接线板连接 (即二次 2 匝串联供电), 采用匝比为 16 / 1, 此时中频变压器一次测电压

$$U_1 = \frac{75}{2} \times 16 = 600 \text{ 伏}$$

选用 500KVA 中频变压器时, 二次测 100 伏时的

额定电流为 5000A, 此例中感应器电流为 4704A, 即小于额定电流。

中频变压器二次侧补偿电容量 C_2 应折算到一次侧, 其详细说明见“计算软件用户手册“第 14 条 C)项:

$$C_1=(U_2 / U_1)^2 \times C_2=(75 / 600)^2 \times 1387.37=21.68 \mu\text{F} \text{ (即 RWF0.75-320-8S=2.25 台)}$$

$$C_0 = \frac{S_H \cdot 10^8}{\pi \cdot F \cdot U_H^2} = \frac{500 \times 10^8}{\pi \cdot 7600 \times 750^2} = \frac{5 \times 10^{10}}{1.343 \times 10^{10}} = 3.73 \mu\text{F}, \quad C = C_1 + C_0 = 25.41 \mu\text{F}$$

选用设备:

电源	KGPS-50 / 8 或 KGPS-100 / 8	1 台
感应电炉	GRT-35×300	1 台
中频电容器	RWF0.75-320-8S	3 台
中频变压器	500 KVA, 8KHZ	1 台

感应炉主要参数:

总长	300mm
线圈长	250mm
线圈内径	60mm, 5 匝 (2 个水路)
紫铜管	2 (20×14×2mm)
炉衬套	GYG-φ35 / φ50
调试参数	(感应炉由中频变压器二次供电) φ25×50, 节拍 6 秒, 600 伏 (匝比 16: 1), 7600HZ, 45 KW (计入中频变压器损耗约 3.5KW, 空载功率约 16~17KW), 电容器 2.25 台, 感应炉中频电流 4704A.

例二. 碳钢大直径工件锻造加热项目 (大功率中频感应电炉)

- 已知条件: 工件尺寸 φ130×200 节拍 36 秒, 工件表面终温 $T=1250^\circ\text{C}$, 芯表温差 $\leq 100^\circ\text{C}$
- 简单计算: 工件每件重量 $g=20.7$ 公斤 / 件, 生产率

$$G = \frac{3600}{36} \times 20.7 = 2070 \text{ Kg} / \text{H}$$

- 先计算最佳频率, 以确定选用的计算频率 F , 并求出给定芯表温差时工件最小加热总长度。

步进方式: 输入 $N_6=1$; 按低碳钢计算: 输入 $N_1=1$

输入 $D_2=13$, $G=2070$, $N=1$, $T=1250$

计算得最佳频率 $F_0=317\text{HZ}$ (211~421), 按最佳频率上限选取计算频率 $F=420\text{HZ}$

(因 400HZ 中频电源可使用于 500HZ 以下, 且配用补偿电容器的额定频率均为 1000HZ.

按单位电容量计算其价格并不比 400HZ 的中频电容器贵, 故选用 400HZ 中频电源时, 其频率使用范围可超出额定频率, 如可用于 500HZ).

$T_6=100^\circ\text{C}$ 时 L_2 屏幕显示为 338cm, 这样至少需 3.6 米以上的感应电炉, 为延长感应电炉使用寿命及便于维修, 大直径工件的步进式感应炉不宜大于 2.4 米。按以上计算应选用 2 台 2 米长感应电炉并联工作, 交替出料。此时将计算机计算程序中断, 重新开始按 $G=2070/2=1035\text{Kg}/\text{H}$ 来计算其中一台感应电炉的参数。

- 按 $G=1035\text{kg}/\text{H}$ 来计算一台感应电炉

$N_6=1, N_1=1, D_2=13, G=1035, N=1, T=1250, F=420$, 屏幕显示 $T_6=100^\circ\text{C}$ 时

$L_2=169\text{cm}$, 故选用 2 米长感应炉为宜。

输入 $L_2=185, B_2=0.3, A=0.85, H_0=1.8, B_3=1.13$ (22×18×3 紫铜管), $N_5=2, N_3$ 任选。

得 $T_6=91^\circ\text{C}$ (为实际芯表温差值), 耐火衬套选用 GYG-φ160/φ190 (凹炉衬), 安装二条水冷导轨。

输入 $D_1=20.5, L_1=195$, 得 $P=362.56\text{kw}, P_2=46.3\text{kw}, P_3=65\text{kw}, \cos \phi=0.25, Y=0.693, U_0=8.81\text{v}/\text{w}$

输入 $U=650$ 伏得 73 匝 2226A, $H(X)=22.7\text{mm}$ $C_2(X)=1448 \mu\text{F}$, RWF0.75-180-1S=28.43 台

$S_9=(22-2 \times 3) \times (18-2 \times 3) = 16 \times 12 = 192\text{mm}^2$ $V=4.2\text{M}^3/\text{H}, S_8=5.6$ 路 (取 6 路)

$B_7=4\text{cm}$ 时 $W_0=0$, 故 W 无需修正。

工件在出料口停留 2×36 秒=72 秒，高温下工件出料口处必然降温较大，因此最好在出料口处的 3-4 匝加强磁场强度，可选用较小尺寸的紫铜管宽度，此例中选用 $14 \times 16 \times 2$ 紫铜管（单独增设一条水路）。

5. 选用设备:

电源	KGPS-750/0.4	1 台
感应电炉	GTR-160×2000	2 台
中频电容器	RWF0.75-360-1S	28 台（每台感应炉配 14 台）

每台感应炉主要参数如下:

总长	2000mm
线圈长	1950mm
线圈内径	$\phi 205$ mm
紫铜管	2 ($20 \times 14 \times 2$ mm)
炉衬套	GYG- $\phi 160/\phi 190$ (凹炉衬) $\phi 16$ 不锈钢导轨 1 副, 喷涂耐磨材料
进料口	$\underbrace{12+12+12+11+11+11}_{1882\text{mm均匀分布}} + \underbrace{4}_{68\text{mm均匀分布}} = 73$ 匝 (共7个水路) $\underbrace{22 \times 18 \times 3}_{1882\text{mm均匀分布}} \text{紫铜管} \quad \underbrace{14 \times 16 \times 2}_{68\text{mm均匀分布}} \text{紫铜管}$
调试参数	工件 $\phi 130 \times 200$ 总节拍 36 秒 (每台节拍 72 秒), 650 伏, 420 HZ 362.5 $\times 2=725$ KW (空载功率 $\approx 2 \times P_3=130$ kw), 中频电容器 $2 \times 14=28$ 台 (360 千乏) 感应炉中频电流: $2 \times 2226=4452$ A.

注: (1) 如中频电源的单台功率大于 750kW 时, 应选用额定中频输出电压为 1200 伏的中频电源, 设计感应电炉时, 中频电压可选取 1150 伏, 否则设计感应炉的阻抗太低, 中频电源起动困难。

(2) 本设计软件当电压大于 750 伏时, 未曾列出中频电容器之型号, 设计者可按电容量 C_2 值 (微法) 自行计算其台数。

例三. 三种不同直径工件共用一台感应加热炉的锻造加热项目。

1. 已知条件:

工件尺寸	单位重量 g(公斤)	节拍 (秒)	生产率 G (kg/H)	T(°C)	T ₆ (°C)
$\phi 60 \times 167$	3.7	14	952	1250	≤ 100
$\phi 55 \times 134$	2.49	*11.1	*952 $\times [1 - (60-55) \times 0.03]=809.2$	1250	≤ 100
$\phi 50 \times 168$	2.58	*13.94	*952 $\times [1 - (60-50) \times 0.03]=666.4$	1250	≤ 100

*此数值由计算求得, 计算方法见第 2 条中 A,B,C 三项。

2. 本项目设计特点:

本例中先按最大直径的工件来设计感应电炉, 较小直径的几种工件用降低生产率 G 的方法来满足加热要求, 设计者可自行试验调整生产率 G 值的计算方法, 常规可参考以下计算公式。

A. 较小直径工件的生产率 G=最大直径工件的生产率 G $\cdot [1 - (\text{工件直径差值 mm}) \cdot 0.03]$ kg/H

B. 节拍 $S=(3600/G) \cdot g$ 秒 (g—单件重量。公斤)

C. 几种工件使用同一台感应加热炉时, 工件直径愈小, 总效率愈低。故此种方法在锻造加热时, 一般应用于工件直径不大于 10mm (最大不超过 15mm)。

3. 按第 1 条中已知条件, 用调整生产率 G 的方法来设计这三种工件共用一套感应炉。

A. 先按最大直径工件来设计感应电炉。工件中 $\phi 60 \times 167$: $N_6=1, N_1=1, D_2=6, G=952, N=1, T=1250$
 $F_0=1488(992-1979), F=2000$ HZ(取频率上限),

$T_6=100^\circ\text{C}$ 时 $L_2=155$ cm 输入 $L_2=145$ cm(一般应大于或等于 $T_6=100^\circ\text{C}$ 时屏幕给出的 L_2 值),

$B_2=0.2, A_0=0.85$ 初次选择紫铜管为 2 ($16 \times 14 \times 2$), 两根并联绕制。 $H_0=1.4, B_3=0.65, N_5=2, N_3$ 任选, 屏幕显示 $T_6 > 100^\circ\text{C}$, 因为实际 L_2 取值只小 10cm, 芯表温差估计为 105°C 左右。

炉衬套选用 GYG- $\phi 80/\phi 110$ 。 $D_1=12, L_1=155, P=327.81$ kw, $P_2=25.14$ kw, $P_3=71.56$ kw, $\cos \phi =0.16, Y=0.705, U_0=15.08$ v/w, 635v 42 匝 3216A $H(X)=32.37$ mm $C_2(X)=437.42$ μ F, RWF 0.75-250-2.5S=15.5 台, 若 $H(X)$ 值与初选铜管宽度 $2 \times 16=32$ mm 相差较大, 则可再次选择铜管, 使宽度接近 $H(X)$ 值, 然后再重新计算一次。 $B_7=4$ cm, $W_0=1$ 匝, $W=41$ 匝, $S_9=120$ mm²。

- B. 工件 $\phi 55 \times 134$ (炉子结构与 A 项相同)
 $D_2=5.5, G=809.2, F=2000, T=1250$
 $D_1=12, P=288.88, P_2=22.98, P_3=69.46$
 $\cos \phi = 0.14, Y=0.68, U_0=15.09\text{v/w}, U=42 \text{ 匝} \times 15.09=633.78\text{v}$
 输入 $U=635\text{v} \quad W=42 \text{ 匝} \quad 3171\text{A} \quad H(X)=31.37 \quad C_2(X)=428.51 \mu\text{F}$
 $S_9=120\text{mm}^2, V=3.5\text{M}^3/\text{H}, S_8=7.2 \text{ 路 (取 8 路)} \quad \text{RWF0.75-250-2.5s}=15.2 \text{ 台}$
- C. 工件 $\phi 50 \times 168$ (炉子结构与 A 项相同)
 $D_2=5.0, G=666.4, F=2000, T=1250$
 $D_1=12, P=250.03, P_2=21.12, P_3=67.14$
 $\cos \phi = 0.12, Y=0.647, U_0=15.01\text{v/w}, U=42 \text{ 匝} \times 15.01=630.42\text{v}$
 输入 $U=635\text{v} \quad W=42 \text{ 匝} \quad 3122\text{A} \quad H(X)=31.37 \quad C_2(X)=416.24 \mu\text{F}$
 $S_9=120\text{mm}^2, V=3.3\text{M}^3/\text{H}, S_8=7.2 \text{ 路 (取 8 路)} \quad \text{RWF0.75-250-2.5s}=14.7 \text{ 台}$

4. 选用设备。

电源	KGPS-350/2.5	1 台
感应电炉	GTR-80×1600	1 台
中频电容器	RWF0.75-500-2.5S	8 台

感应炉主要参数:

总长	1600mm
线圈长	1550mm,
线圈内径	120mm, 42 匝 (8 个水路)
紫铜管	2 (16×14×2) 双管并绕
炉衬套	GYG- $\phi 80/\phi 110$, 凹炉衬, 水冷导轨

调试参数:

$\phi 60 \times 167$	14 秒	635V	2000HZ	328kw (空载 67~72kw)	电容器 7.75 台	3216A
$\phi 55 \times 134$	11 秒	635V	2000HZ	289kw (空载 67~72kw)	电容器 7.5 台,	3171A
$\phi 50 \times 168$	14 秒	635V	2000HZ	250kw (空载 67~72kw)	电容器 7.5 台	3122A

工件表面终温均为 1250℃。

例四. 碳钢园棒料一端局部加热项目。

- 已知条件: 工厂尺寸 $\phi 55 \times 500$, 一端加热长度 130mm, 节拍 40 秒, 加热表面终温 $T=1200^\circ\text{C}$, 芯表温差 $\leq 100^\circ\text{C}$
- 简单计算: 因局部加热时一端有热传导损耗, 故加热计算长度 L_2 =用户要求加热长度 (CM)+工件直径 D_2 (CM)×系数 0.35= $13+5.5 \times 0.35=14.925 \approx 15\text{cm}$
 此时工件每件加热部分重量 $g = \pi/4 \times (5.5)^2 \times 15 \times 7.8=2780 \text{ 克}=2.78 \text{ 公斤}$
 生产率 $G=3600/40 \times 2.78=250.2\text{kg/H}$
- 本项目设计特点:
 此类中频感应电炉, 一般设计采用多孔位炉, 常用 3-4 孔位, 步进式方法计算, 进出料时为使中频电源参数波动小一些, 一般至少要采用 3 孔位, 若屏幕显示在芯表温差 $T_6=100^\circ\text{C}$ 时, 显示 L_2 值, 如本例中采用 3 孔位加热工件总长为 $15 \times 3=45\text{cm}$ 时, 若屏幕显示 L_2 值 $\leq 45\text{cm}$, 则芯表温差 $\leq 100^\circ\text{C}$, 反之则应增加孔位数或降低生产率 G 值。
 按步进式考虑端部效应, 每孔位绕线圈部分长度 L_1 =每孔位加热计算长度 $L_2(\text{cm})+0.75 \times D_1(\text{cm})$
 本例中 $L_2=15\text{cm}$, 线圈内径 $D_1=11\text{cm}$ (选用 GYG- $\phi 70/\phi 100$ 衬套) 则 $L_1=15+0.75 \times 11=23.25 \approx 23\text{cm}$ 。
 本例三孔位的 $L_1=23 \times 3=69\text{cm}$, $L_2=15 \times 3=45\text{cm}$, 三孔位之间中心距应 $\geq 20\text{cm}+D_1\text{cm}$
- 计算机输入, 输出主要参数。
 $N_6=1, N_1=1, D_2=5.5, G=250.2, N=1, T=1200 \quad F_0=1764(1176-2346)$ 取 $F=2300\text{HZ}$
 屏幕显示 $T_6=100^\circ\text{C}$ 时 $L_2=39\text{cm}$, 本例中三孔位的总 $L_2(45\text{cm}) \geq 39\text{cm}$, 故不需再增加孔位或降低生产率 G 。
 输入 $L_2=45\text{cm}, B_2=0.2, A_0=0.85$ 取 $H_0=1.2, B_3=0.6667$ (取 $12 \times 12 \times 2$ 紫铜管)
 $N_5=2, N_3$ 任意 (1 或 2), $T_6=86^\circ\text{C}$ (即本例中实际芯表温差), $D_1=11\text{cm}$
 输入 $L_1=69\text{cm}$ (见第 3 条) $P=94.63\text{kw}, P_2=10.58\text{kw}, P_3=25.85\text{kw}$
 $\cos \phi = 0.13, Y=0.615, U_0=12.93\text{v/w} \quad 650\text{v} \quad 50 \text{ 匝} \quad 1093\text{A} \quad H(X)=11.73\text{mm} \quad C_2(X)=124.56 \mu\text{F}$
 $\text{RWF0.75-250-2.5s}=4.4 \text{ 台} \quad \text{每孔位 } 16 \text{ 匝 (总匝数取 } 48 \text{ 匝)}$

线圈匝间中心距=230/(16匝+1匝)=13.53mm(可取12×12×2紫铜管)。

$S_9=64\text{mm}^2$, $V=1.3\text{M}^3/\text{H}$, $S^8=5.6$ 路(取6路)。即每孔位2个水路。B7=4cm时W0=0,故W无需修正。

5. 选用设备

电源	KGPS-100/2.5	1台
感应电炉	GTR-70×300 三孔位 (感应炉长度=230+50=280≈300mm)	1台
中频电容器	RWF0.75-250-2.5S (或500千乏2台+250千乏1台)	5台

感应电炉主要参数:

总长	300mm
线圈长	230mm 共三孔位,二孔位中心距为20(cm)+D1(cm)=31cm 取30cm
线圈内径	D1=11cm。每孔位16匝(2个水路),总共48匝(6个水路)
紫铜管	12×12×2
炉衬套	GYG-φ70/φ100
调试参数	(3孔位串联) 工件加热长度φ55×130,1200℃40秒(每孔位节拍为120秒)650V 2300HZ 95KW(空截26KW)电容器4.5台,中频电流1093A

例五. 碳钢园棒料连续进料绕簧加热生产线项目

1. 已知条件: 工件尺寸φ40×4680 走速32mm/s 加热终温1050℃ 芯表温差≤100℃

2. 简单计算: φ40 工件 9.8kg/M, $G=3600 \times (32/1000) \times 9.8=1130\text{kg}/\text{H}$

3. 本项目设计特点:

此工件连续进料,机械设计要求单台炉长≤600mm,在此选用炉长400mm,炉子分两大部分,即升温炉及保温炉,升温炉可较短,从常温直接升至1050℃,此时计算芯表温差虽大于100℃,而实际小于100℃(因工件加热总长度中要考虑炉子间的空隙及石棉板等厚度的总和,故实际芯表温差接近或小于100℃),保温炉总长4720mm(此值必须大于料长)=N台炉长+(N-1)个空隙。 $400 \times N + 140 \times (N-1) = 4720$, $N = (4720 + 140) / (400 + 140) = 9$ 台。升温炉选用一种规格的中频电源,保温炉选用另一种规格的中频电源。保温炉每3台串联后为一组,9台3串3并组成,共三组,每组1根中频电缆引至中频电源,每组工件温度设为由1000℃升至1050℃,由于进料、出料均在居里点以上1000℃左右高温,所以必须使用EIII文件的周期式工作方式计算。若同一台感应炉中要考虑加热直径接近的几种工件时,先按直径最大的工件生产率G设计感应器,然后较小直径的几种工件要按以下规格降低生产率G,直径每减小1mm时,生产率G必须降低3%--3.5%。

4. 升温炉输入,输出参数:

$N_6=1, N_1=1, D_2=4, G=1130, N=1, T=1050$

$F_0=3293(2196-4379)$ 取 $F=3600\text{HZ}$ (即选用4KHZ中频电源)

$T_6=100^\circ\text{C}$ 时 $L_2=153\text{cm}$ (每台 $L_1=35\text{cm}, L_2=30\text{cm}$),选择由4台感应炉串联组成,详见第3条(GTR-70×400,打结炉衬,内孔φ7cm, $D_1=9\text{cm}$)从升温炉进料至出料总长度= $4 \times 400 + (4-1) \times 140 = 2020\text{mm} = 202\text{cm} > 153\text{cm}$,则实际芯表温差 $T_6 < 100^\circ\text{C}$ (若选用3台感应炉串联,则此总长度=148cm<153cm, T_6 稍大于100℃,也可采用此作设计方案对此,选取总效率较高者)。

输入 $L_2=120\text{cm}(4 \text{台} \times 30\text{cm}), B_2=0.2, A_0=0.85$,初选16×14×2铜管, $H_0=1.4\text{cm}, B_3=0.65$

$N_5=2, N_3$ 任选(1或2), 屏幕显示 $T_6 > 100^\circ\text{C}$ (上面已说明实际 $T_6 < 100^\circ\text{C}$), $D_1=9$,

$L_1=35 \times 4 = 140\text{cm}, P=323.62, P_2=14.33, P_3=80.16, \cos \phi = 0.13, Y=0.708, U_0=17.42\text{V}/\text{W}$,
630V,36匝,3768A, $H(\times)=33\text{cm}, C_2(\times)=283.5 \mu\text{F}, S_9=120\text{mm}^2, V=3.5\text{M}^3/\text{H}, S_8=7.2$ 路

(取8路)RWF0.75-280-4S=14.3台。B7=3cm时W0=2,故W应取34匝。

5. 保温炉输入,输出参数。(以下为3台保温炉串联后的计算数据)

$N_6=2$ (采用周期式计算), $N_1=1, D_2=4, G=1130, N=1, T=1050, T_3=1000, F_0=3374(2250-4487)$, (此项目中如仅一种φ40工件,则应选 $F=3600\text{HZ}$,即选用4000HZ中频电源),现假定本项目中还要考虑一种φ20工件,则在此选用8000HZ中频电源,故取 $F=7200\text{HZ}$, $L_2=30 \times 3 = 90\text{cm}, B_2=0.2, A_0=0.85$,选18×16×2铜管, $H_0=1.6, B_3=0.667$
 $N_5=2, N_3$ 任选(1或2), $D_1=9, L_1=35 \times 3 = 105, P=38.39, P_2=10.97, P_3=16.44, \cos \phi = 0.06, Y=0.286, U_0=13.92\text{V}/\text{W}$ 。

输入 $U=630\text{V}$ 45匝992A $H(x)=19.8$ (若与预选铜管宽度相差较大时,可重选铜管规格,并计算此时的 A_0 值,再重算一次)。 $C_2(x)=35.96\mu\text{F}$ RWF0.75-320-8S=3.2台。 $S_9=168\text{mm}^2$ $V=1\text{M}^3/\text{H}$ $S_8=1.6$ 路(取3路,即每台一个水路)。

6. 选用设备

电源	KGPS-350/4 (升温炉用)	1台
	KGPS-160/8 (保温炉用, 如不考虑 $\phi 20$ 工件, 应选用4KHZ)	1台
感应电炉	升温炉 GTR-70 \times 400 1 [#] -4 [#] 炉 (串联)	4台
	保温炉 GTR-70 \times 400 5 [#] -13 [#] 炉 (3串3并)	9台
中频电容器	RWF0.75-560-4S (升温炉用)	7台
	RWF0.75-640-8S (共三组, 每组安装2台, 保温炉用)	6台

总长 (mm) 线圈长(mm) 线圈内径(mm) 匝数 打结炉衬内孔 (mm) 铜管

每台升温炉参数: 400 350 90 9 (2路水) $\phi 70$ 2 (16 \times 14 \times 2)

每台保温炉参数: 400 350 90 15 (1路水) $\phi 70$ 18 \times 16 \times 2

调试参数	工件尺寸	走速 mm/s	中频电压 V	频率 HZ	中频功率 (空载功率)	电容器	电流
升温炉 (4台串联)	$\phi 40 \times 4680$	32	630	3600	324KW(80KW)	7台	3768A
保温炉 (3串3并)	$\phi 40 \times 4680$	32	630	7200	38.4 \times 3= 115.2KW(49.5KW)	3 \times 1.5台	992 \times 3A

例六. 碳钢正方料锻造加热项目

1. 已知条件:

工件尺寸: 125 \times 125 \times 760 节拍 140秒, $T=1250^{\circ}\text{C}$, T_6 (芯表温差) $\leq 100^{\circ}\text{C}$

2. 简单计算:

工件单件重量 $g=92\text{kg}$ 生产率 $G=3600/140 \times 92=2366\text{kg/H}$

3. 本例设计特点:

正方形截面工件仍可使用 EIII 文件, 使用前应先将正方形工件等效为园柱形工件, 等效原则如下:

(A). 将工件正方形四边边长之总和与园柱形直径 D_2 之圆周长度相等, 即可求出工件等效直径 D_2 。本例中 $125 \times 4 = \pi \times D_2$, $D_2=159\text{mm}=15.9\text{cm}$

(B). 按正方形工件之重量与生产节拍计算出生产率 G 。本例中 $G=2366\text{kg/H}$

(C). 线圈等效内径 D_1 等于 D_2 加两倍正方形工件与正方形线圈之间的间隙。本例中耐火套规为 155 \times 155 (内角 $R=10$) /195 \times 195 (外角 $R=30$), 方线圈内尺寸为 210 \times 210, 方线圈的工件与线圈之间的单边间隙 $b=(210-125)/2=42.5\text{mm}=4.25\text{cm}$ 等效园线圈内径 $D_1=D_2+2b=15.9+8.5=24.4\text{cm}$

4. 计算机输入, 输出主要参数

(A). 输入 $N_6=1, N_1=1, D_2=15.9, G=2366, N=1, T=1250^{\circ}\text{C}$ $F_0=211\text{HZ}(140-280)$ 取 $F=400(400\text{HZ}$ 中频电源一般可使用到 500HZ, 其电容器一般选用频率为 1KHZ, 故频率尽量选用高一些, 可减少电容器用量) 此时屏幕显示芯表温差 $T_6=100^{\circ}\text{C}$ 时, $L_2=444\text{cm}$, 由此看出若选用 1 台感应炉炉体太长, 对运行, 维修都有困难, 改用 2 台炉体并联供电, 交替进出料, 此时每台生产率 $G=1183\text{kg/H}$ (即每台感应炉的节拍为 280 秒)。

(B). 按 2 台感应炉并联运行时, 求取每台设计参数:

输入 $N_6=1, N_1=1, D_2=15.9, G=1183, N=1, T=1250$ (用第 3 条 A 求出 D_2) 最佳频率 $F_0=211\text{HZ}(140-280)$, 选取 $F=400\text{HZ}$ (见第 4 条 A 中说明) 屏幕显示 $T_6=100$ 时 $L_2=222\text{cm}$ 输入 $L_2=76$ (每件长) $\times 3$ 件 = 228cm (此值应 ≥ 222), $B_2=0.25, A_0=0.85$, 预选铜管 20 \times 16 \times 2.5, $H_0=1.6, B_3=0.775$.

$N_5=2, N_3$ 任选 (1 或 2), 得 $T_6=97^{\circ}\text{C}$ 输入 $D_1=24.4\text{cm}$ (见第 3 条 C), $L_1=260\text{cm}$, $P=418.64\text{KW}$, $P_2=65.32\text{KW}$, $P_3=66.13\text{KW}$, $\cos \phi =0.24$, $Y=0.686$, $U_0=9.46\text{V/W}$, $U=1045\text{V}$, 110 匝 1623A, $H(\times)=20.1\text{mm}$, $C_2=691 \mu\text{F}$, $RWF1.0-180-1S=24.1$ 台 (或选 $RFM1.2-1000-1S=6.25$ 台, 每台 110.5 μF) $S_9=(20-5) \times (16-5)=165\text{mm}^2$, $V=4.9\text{M}^3/\text{H}$, $S_8=7.2$ 路取 8 路

5. 选用设备:

电源	KGPS-1000/0.4 (中频输出额定电压 1200V)	1 台
感应电炉	GTR-(155×155)×2800	2 台
中频电容器	RFM1.2-1000-1S	13 台

每台感应炉主要参数:

总长	2800cm
线圈长	2600mm(进料端空 150mm),在进料端第 6 匝处可设抽头 1 个
线圈内尺寸	210×210mm, 110 匝 (8 个水路)
紫铜管	20×16×2.5
炉衬套	GYG-155×155(内角 R=10)/195×195(外角 R=30), 每节长 460mm(每台 6 节), 水冷导管每边 2 根 $\phi 14$ 并联, 每台 4 根, 炉衬套内侧下边 1/3 处有凸边 10mm, 可安放水冷导轨
调试参数	(2 台炉子并联, 同时工作, 交替进出料) 1045V, 400HZ, 838KW(空载 132KW), 电容器 RFM1.2-1000-1S=12.5 台 感应器中频电流 3246A.

EII2 文件应用举例

例一. 铝青铜(90%cu, 10%Al) 锻造加热项目

1. 已知条件: 工件尺寸 $\phi 25 \times 130$, 节拍 15 秒, $T=900^\circ\text{C}$, 芯表温差 $T_6 \leq 50^\circ\text{C}$
2. 简单计算: 工件每件重量 $g=0.53$ 公斤/件 (比重 $J=8.3$), 生产率 $G=3600/15 \times 0.53=127.2\text{kg}/\text{H}$
3. 计算机输入, 输出主要参数

(A).

输入 $N_6=1$ (步进式), $N_1=8$ (铝青铜), 若为屏幕显示以外的材料则输入 $N_1=9$, 此时需得该加热材料的有关性能参数 (共六项) 全部输入后方可进行计算。输入 $D_2=2.5$, $G=127.2$, $N=1$, $T=900$, $T_6=50$, $N_3=1$ 或 2 (任选) 屏幕显示最佳频率 $F_0=561\text{HZ}$ (374—746), 因该工件直径较小, 匝数必然较多, 为使感应炉长度减短, 需取用较高频率, 在次 $F=7200\text{HZ}$ 。屏幕给出 $T_6=50^\circ\text{C}$ 时的加热工件总长度 L_2 只需 4.5cm (所以不需考虑芯表温差值)。

输入 $L_2=105\text{cm}$ (选用 1.2 米标准炉长), $B_2=0.2$, $A_0=0.85$, 预选铜管 $14 \times 16 \times 2$, $H_0=1.6$, $B_3=0.74$, $N_5=2$, 选用耐火套为 GYG- $\phi 35/\phi 50$ (内有二条筋), 不安装水冷导轨。

输入 $D_1=6$, $L_1=115$, G_1 (铜管重量)=16.9kg, $P=44.08$, $P_2=4.12$, $P_3=24.75$, $\cos \phi =0.05$, $Y=0.345$, $U_0=9.16$, $I=91448$, 650V, 70 匝 1306.4A, $H(x)=13.96$ (可选用 $14 \times 16 \times 2$ 铜管, 此值若与预选铜管宽度 14mm 相差太大时, 应重新选择铜管宽度后再计算一次) $C_2=45.27 \mu\text{F}$, RWF0.75-320-8S=4 台 $S_9=120\text{mm}^2$, $V=1.0\text{M}^3/\text{H}$, $S_8=2.4$ 路 (取 3 路)

以上接 GTR-35×1200 设计感应电炉。 $B_7=3\text{cm}$ 时, $W_0=4$ 匝, W 应取 66 匝。

(B). 现按 GTR-35×800 设计此感应炉 (芯表温差仍然很小) $N_6=1$, $N_1=8$, $D_2=2.5$, $G=127.2$, $N=1$, $T=900$, $T_6=50$ N_3 任选 $F=7200\text{HZ}$ (选择较高频率理由同上) $L_2=65\text{cm}$ (选用 0.8 米标准炉长), $B_2=0.2$, $A_0=0.8$, 预选 $10 \times 12 \times 2$ 铜管 $H_0=1.2$, $B_3=0.72$, $N_5=2$, $D_1=6$, $L_1=75$, $P=43.33$, $P_2=2.68$, $P_3=25.44$, $\cos \phi =0.05$, $Y=0.351$, $U_0=10.32$, $I=72558$, $V=620\text{V}$, 60 匝, 1209A, $H(x)=10\text{mm}$, $C_2(x)=44.7 \mu\text{F}$ RWF0.75-320-8S=4 台 $S_9=6 \times 8=48\text{mm}^2$, $V=1\text{M}^3/\text{H}$, $S_8=5.6$ 路 (此管孔较小, 绕制时易变形, 管孔截面积减小, 故应取 8 路较好)。

$B_7=3\text{cm}$ 时, $W_0=2$ 匝, W 应取 58 匝。

4. 方案对比与选择:

方案 (B) 的总效率高于方案 (A), 感应炉长度由方案 (A) 中的 1.2 米减为方案 (B) 中的 0.8 米, 故方案 (B) 的制造成本及运行维修费用都低于方案 (A), 因此决定选择方案 (B)。

5. 选用设备:

电源	KGPS-50/8(或 100/8)	1 台
感应电炉	GTR-35×800	1 台
中频电容器	RWF0.75-320-8S	4 台

每台感应炉主要参数:

总长	800mm
线圈长	750mm
线圈内径	60mm 60 匝 (8 个水路)

紫铜管	10×12×2mm
炉衬套	GYG-φ35/φ50(内有二条筋, 不安装水冷导轨)
调试参数	φ25×130 工件, 节拍 15 秒, 620V, 7200HZ, 43.5KW (空截 25.5KW), 电容器 4 台 感应炉中频电流 1209A

例二. 铝锭热挤压项目 (感应器采用电容器串并联升压供电)

1. 已知条件: 加热工件尺寸 φ450×1600, 热挤压加热温度要求有梯度, 低端 420℃, 另一端为 500℃, 平均加热温度 $T=(420+500)/2=460℃$, 芯表温差 $T_6=50℃$, 节拍 660 秒。感应电炉中频电压 2000V, 频率 400Hz, 感应电炉采用电容器串并联升压供电。

耐热衬套为打结, φ480/φ540, 内装有耐热合金内衬, 感应器两端应加水冷线圈。

2. 简单计算: 工件每件重量 $g=687$ 公斤/件, 生产率 $G=(3600/660) \times 687=3750\text{kg/H}$

3. 本项目设计特点:

- a) 感应器上中频电压高于中频电源输出中频电压系采用电容串并联升压供电, 此时感应器上中频电压一般选用 2000~2400 伏, 而串并联电容器的额定电压一般选用中频电源的额定输出中频电压 1000~1200 伏, 此时总电容量为计算机算得电容量的 4 倍, 其 1/2 用于串联电容, 另 1/2 用于并联电容。在本例中, 见第 4 条 $U=2011$ 伏时, $C_2=809.54 \mu\text{F}$, $4 \times C_2=3238 \mu\text{F}$, 选用 RFM1.2-1000-1S=29.4 台 (每台电容量 110.5 μF), 其中电容 14.7 台用于串联, 另 14.7 台用于并联。
- b) 本例中工件加热梯度系采用调整感应线圈中心匝距来实现, 见第 5 条。

4. 计算机输入, 输出主要参数

步进式, $D_2=45$, $G=3750$, $N=1$, $T=460$, $T_6=50$, $F_0=1$ 取 $F=400\text{HZ}$ 。

屏幕显示 $L_2=297.6\text{cm}$, 取 $L_2=320\text{cm}$ (即炉内放二根料), $B_2=0.3$, $A_0=0.8$,

$H_0=1.6$, $B_3=0.975$, 取 2 (16×16×3) 紫铜管并绕。

$D_1=54\text{cm}$, L_1 屏幕显示 384cm, 取 $L_1=380\text{cm}$,

$P=913.7\text{kW}$, $P_2=14.89\text{kW}$, $P_3=433.73\text{kW}$, $\cos \phi=0.11$, $Y=0.509$, $U_0=20.94\text{V/W}$, $U=2011\text{V}$, 96 匝, 3830A,

$H(x)=31.7\text{mm}$, $C_2(x)=809.54 \mu\text{F}$, 实际电容的选取见本例中 3a 项。 $S_9=100\text{mm}^2$, $V=17.05\text{M}^3/\text{H}$, $S_8=40$ 路, $B7=3\text{cm}$ 时, $W_0=0$ 匝。

5. 感应线圈各段中心匝距分布如下表: (线圈内径 $D_1=54\text{cm}$)

进料端 →	匝数	51	5	5	5	5	5	5	5	5	5	总 96 匝
	匝间中心距	36.5	50	48	46	44	42	40	38	36	36	
	分段长度		250	240	230	220	210	200	190	180	180	
			1900	1900								
	铜管规格	2(16×16×3)	2(16×16×3)									
水路数	20	18										

炉内工件加热到 660 秒时, 工件均温达 275℃ (工件位于进料口端)

加热到 1320 秒时, 工件低温端达 420℃左右, 高温端达 500℃左右 (出料口端)

6. 选用设备:

电源	KGPS-1000/0.3-0.7kHz 交流输入三相 660V, 中频输出额定电压 1200V
感应电炉	电容串并联升压供电, 感应电炉中频电压 2011V, 线圈参数见第 5 条
串联供电电容	RFM1.2-1000-1S 15 台 (或 RFM1.2-1000-0.5S 8 台)
并联供电电容	RFM1.2-1000-1S 15 台 (或 RFM1.2-1000-0.5S 8 台)

EIII3 文件应用说明

1. 输入 D₂ (钢管外径), V₂ (管材厚度), G (生产率), T (工件表面终温)。
2. 屏幕显示 F₀ (最佳频率) 及其上, 下限频率, 设计者可按此来选定计算频率 F 值。
3. 按第 2 条选定的频率, 感应器线圈的长度可能较长, 即设计者认为频率偏低, 此时可按铜管的壁厚值 V₂ 来选取
计算频率 F, 在屏幕上列出选择范围, 以供参考。
4. 选取 F 值后的用户界面与 EIII1 基本相同。

EIII4 文件应用举例**例一. 钢丝低温回火项目:**

1. 已知条件: 工件直径 $\phi 6\text{mm}$, 进给速度 80 米/分, 回火温度 400°C, 芯表温差 30°C
2. 简单计算: 工件单位长度重量为 0.22 公斤/米, 生产率=60 分/时 $\times 80$ 米/分 $\times 0.22$ 公斤/米=1056 公斤/时
3. 输入计算机参数:
N₁=1 (如选用 N₁=2 为高碳钢, 计算结果相差不大) D₂=0.6, G=1056, N=1, T=400, T₆=30, N₀ 为任选 (1 或 2)
F=7600 (屏幕显示 F₀=1892, 因工件直径很小, 尽量提高频率, 以减小感应器之长度)
L₂=L₁=200 (屏幕显示 L₂ 为 173.3cm, 输入 L₂ 应大于或等于此值), B₂=0.2, A₀=0.85, H₀=1.2, B₃=0.72, (10 \times 12 \times 2 铜管, 屏幕给出 B₃=0.72), N₅=2 计算一组数据。 D₁=3.5 (选用碳化硅耐火套管 GYG- $\phi 29/\phi 18$, 故线圈内径取 35mm, 因加热温度低, 可纸包玻璃丝即可) U(x)=600 伏 (因选用频率较高, 分布电感引起的电压降较大, 故取值略低) S₉=(10-2 \times 2)(12-2 \times 2)=6 \times 8=48mm²
4. 计算结果主要参数:
P(总功率)=83.1KW, P₂(热损耗功率)=1.17KW, P₃(铜损功率)=21.68KW, cos ϕ =0.19, Y=0.725, U₀=3.78V/W, μ_2 =35.16(相对导磁率)。600V, 158 匝, 705A, H(x)=10.76 (如实际选用的铜管宽度与此值相差较大, 则应重新计算 A₀ 值, 以此 A₀ 值输入, 再重复计算一次即可) C₂(x)=27.06 μ F, RWF0.75-320-8S, 2.4 台, V=0.86M³/H, S₈=4.8 路 (每台 3 路供水, 共取 6 路)。B₇=3cm 时, W₀=13 匝, W 应取 145 匝。
5. 选用设备:
电源为 KGPS-100/8, 感应炉由 2 台 GTR-18 \times 1050 串联而成, 每台绕 79 匝, 中频电容器 RWF0.75-640-8S 2 台。
6. 调试参数:
中频电压 600 V, 7600HZ, 83KW(空载功率 22KW), 电容 RWF0.75-640-8S, 1.25 台, 感应炉中频电流 705A。
注: 空载功率近似于 P₃ 值。

例二. 钢丝低温回火项目:

1. 已知条件: 工件直径 $\phi 9\text{mm}$, 进给速度 80 米/分, 回火温度 400°C, 芯表温差 50°C
2. 简单计算: 工件单位长度重量为 0.497 公斤/米, 生产率 G=60 分/时 $\times 80$ 米/分 $\times 0.497$ 公斤/米=2385.6 公斤/时
3. 输入计算机参数:
N₁=1, D₂=0.9, G=2385.6, N=1, T=400, T₆=50, N₀ 为任选 (1 或 2)
F=3800 (屏幕显示 F₀=1127, 因工件直径很小, 尽量提高频率, 以减小感应器长度)
L₂=L₁=75 \times 3=225 (屏幕显示 L₂ 为 227cm, 在此考虑用 3 台串联而成), B₂=0.2, A₀=0.85
H₀=1.4, B₃=0.65, (取 16 \times 14 \times 2 紫铜管, 屏幕给出 B₃=0.65) N₅=2, 计算一组数据 D₁=4.5(选用碳化硅耐火套管 GYG- $\phi 36/\phi 25$)
U(x)=600V, S₉=(16-2 \times 2)(14-2 \times 2)=12 \times 10=120mm²
4. 计算结果主要参数:
P=190.91KW, P₂=1.38KW, P₃=53.41KW cos ϕ =0.2, Y=0.713, U₀=4.85V/W, μ_2 =23.04
600V, 123 匝, 1582A, H(x)=15.55 (取铜管宽度 16mm)
C₂=121.54 μ F, RWF0.75-280-4S, 6.14 台 V=2.08M³/H, S₈=5 路(取 6 路, 每台 2 条水路)

$B_7=3\text{cm}$ 时, $W_0=11$ 匝, W 应取 112 匝。

5. 选用设备:

电源为 KGPS-250/4, 感应炉由 3 台 GTR-25×800 串联而成, 每台绕 40 匝, 中频电容器 RWF-0.75-560-4S 3 台 (留一台空位)

6. 调试参数:

中频电压 600V, 3800HZ, 191KW (空载功率 54KW), 电容 RWF0.75-560-4S 3 台
感应炉中频电流 1582A

例三. 园钢蓝脆下料项目: (四种不同直径工件共用一台感应加热炉)

1. 已知条件

剪切棒料规格	节拍 (秒)	单件重量 (公斤)	生产率 G (kg/H)	剪切温度	感应器加 热温度 T	剪切时芯表温差 (T ₆)
φ 100×115	7.3	7.05	3477	450	500	100
φ 90×135	6.6	6.7	3655	450	500	100
φ 80×115	4.6	4.5	3522	450	500	100
φ 70×240	7.3	7.2	3551	450	500	100

注: 在此感应器加热温度 $T=\text{剪切温度}+50^\circ\text{C}$ (若剪切棒料直径较小时, 如为 φ 30-φ 40, 此值可取 100°C)

2. 本项目设计特点:

加热温度在居里点 (760°C) 以内, D_1/D_2 等于 3 左右时, 总效率任然很高, 因此本例可考虑只设计一套感应电炉, 这样用户更换工件时, 不需要更换感应电炉, 且可降低制造成本。(如本例的四种工件, 加热温度在居里点以上时, 至少要设计二套感应电炉)。

A). 用调整生产率 G 的方法来设计几种工件共用一套感应电炉

先按最大工件 φ 100×115, $G=3477$, $F=800\text{HZ}$ (计算机屏幕上建议 F 值为 600-700HZ), 屏幕给出 $L_2=339.2\text{cm}$, 考虑感应炉出口至 剪切处还有 1 米多距离可用于均温, 故 L_2 可取较小值, 取 $L_2=L_1=85\times 3=255\text{cm}$. $D_1=15\text{cm}$, 铜管取 $18\times 12\times 2.5\text{mm}$, 640V 时 117 匝

$C_2=275.46\ \mu\text{F}$, 节拍 7.3 秒, 用 GTR-125×900 三台串联组成 (详细参见下面第 3 条), 每台 39 匝,

工件为 φ 90×135 时 $G=3477\times 0.95=3303\text{kg}/\text{H}$, 644V 时 117 匝, $C_2=284\ \mu\text{F}$, 节拍 7.3 秒

工件为 φ 80×115 时 $G=3477\times 0.9=3129\text{kg}/\text{H}$, 652V 时 117 匝, $C_2=291\ \mu\text{F}$, 节拍 5.2 秒

工件为 φ 70×240 时 $G=3477\times 0.85=2955.5\text{kg}/\text{H}$, 665V 时 117 匝, $C_2=299.8\ \mu\text{F}$, 节拍 8.8 秒

读者可自行用计算机验证, 设 F 均为 800HZ, 将每种工件的生产率 G 递减 5%, 10%, 15% 相应输入计算机, 中频电压变化不大 (640V-665V), 电容在 275-300 μF 之间变化, 可不再调整电容量, 运行时频率 $F\approx 800\text{HZ}$ 左右即可。

B). 用调整补偿电容器 (即调整频率) 的方法来设计几种工件共用一套感应电炉, 详见第 3 条中四种工件的计算数据对比。

3. 按第 1 条中已知条件, 用调整频率 (即调整电容器) 的方法来设计这四种工件共用一套感应电炉。

炉子内径取 φ 125mm, 用不锈钢管开槽作炉衬套 (1Cr18Ni9Ti, φ 133/φ 127, 即壁厚 3mm), 取线圈内径 $D_1=15\text{cm}$, F 及 L_2 取值见第 2 条 A 项。

A). φ 100×115 工件: 输入 $D_2=10\text{cm}$, $G=3477$, $N=1$, $T=500$, $T_6=100$, $F=800\text{Hz}$, $L_2=255\text{cm}(85\times 3)$, $B_2=0.25$, $A_0=0.85$, 预选铜管 $18\times 12\times 2.5$, $H_0=1.2$, $B_3=0.69$, 输入 $D_1=15$, $L_1=L_2=255$ (居里点以下时, $L_1=L_2$), $N_1=1$, N_0 任意 (1 或 2), $N_5=2$, $P=278\text{kW}$, P_2 (热损)=5.86kW, P_3 (铜损)=14.99kW, $\cos\phi=0.57$, $Y=0.925$, $U_0=5.47$, $I=88206$, $\mu_2=45.15$, 640V, 117 匝 754A, $H(\times)=18.5$, $C_2=275.46\ \mu\text{F}$, RWF0.75-180-1S=5.4 台 $S_9=(18-2\times 2.5)\cdot(12-2\times 2.5)=13\times 7=91\text{mm}^2$, $V=0.79\text{M}^3/\text{H}$, $S_8=2.4$ 路 (取 3 路)。 $B_7=4\text{cm}$ 时, $W_0=1$ 匝, W 应取 116 匝。以下三种较小直径工件均以上面所列感应器数据来计算, 只变更频率 F, D_2 减小时, F 减小 (指生产率 G 相等时)。

B). φ 90×135 工件: 输入 $D_2=9\text{cm}$, $G=3655$, $N=1$, $T=500$, $T_6=100$, $F=700\text{Hz}$, 输入 $D_1=15$, $P=293.49\text{kW}$, P_2 (热损)=4.82kW, P_3 (铜损)=18.36kW, $\cos\phi=0.53$, $Y=0.921$, $U_0=5.43\text{V}/\text{W}$ (在此中频电压 $U=5.43\times 117=635.31$ 伏), $I=101720\text{AW}$, $\mu_2=40.19$, 636V, 117 匝 869.4A, $H(\times)=18.5$, $C_2=366\ \mu\text{F}$, RWF0.75-180-1S=7.2 台

C). φ 80×115 工件: 输入 $D_2=8\text{cm}$, $G=3522$, $N=1$, $T=500$, $T_6=100$, $F=700\text{Hz}$, 输入 $D_1=15$, $P=285\text{kW}$, $P_2=4.08\text{kW}$, $P_3=20.42\text{kW}$, $\cos\phi=0.47$, $Y=0.914$, $U_0=5.54\text{V}/\text{W}$ ($U=5.54\times 117=648.18$ 伏), $I=107398\text{AW}$, $\mu_2=38.39$, 650V, 117 匝 918A, $H(\times)=18.5$, $C_2=376.6\ \mu\text{F}$, RWF0.75-180-1S=7.4 台

D). φ 70×240 工件: 输入 $D_2=7\text{cm}$, $G=3551$, $N=1$, $T=500$, $T_6=100$, $F=650\text{Hz}$, 输入 $D_1=15$, $P=290.83\text{kW}$, P_2 (热损)=3.53kW, P_3 (铜损)=24.68kW, $\cos\phi=0.43$, $Y=0.903$, $U_0=5.62\text{V}/\text{W}$ (在此中频电压 $U=5.62\times 117=657.54$ 伏), $I=119907\text{AW}$, $\mu_2=36.01$, $S_9=91\text{mm}^2$, $V=1.07\text{M}^3/\text{H}$, $S_8=3.2$ 路 (取 6 路, 即每台 2 路) 660V, 117 匝, 1025A,

$H(x)=18.5, C_2=443.7 \mu F, RWF0.75-180-1S=8.7$ 台

E). 选用设备:

电源	KGPS-350/1	1 台
感应电炉	GTR-125×900	3 台(串联工作)
中频电容器	RWF0.75-360-1S	5 台

每台感应炉数据如下:

总长 900mm,线圈长 850mm,线圈内径 150mm,炉衬 1Cr18Ni9Ti($\phi 133/\phi 127$ 开槽), 39 匝 (2 个水路), 紫铜管 $18 \times 12 \times 2.5$

F). 调试参数:

工件尺寸	下料节拍 (秒)	中频电压 (伏)	中频频率 (HZ)	总功率(空载 功率 KW)	电容器 RWF0.75-360-1S
$\phi 100 \times 115$	7.3	640	800	278(15)	2.75
$\phi 90 \times 135$	6.6	636	700	294(19)	3.5
$\phi 80 \times 115$	4.6	650	700	285(21)	3.75
$\phi 70 \times 240$	7.3	660	650	291(25)	4.25

中频电流(感应炉)分别为 754A,869.4A,918A,1025A

EII5 文件应用举例

例一. 45#钢扁坯料锻造加热项目

- 已知条件:工件尺寸 长 160×宽 100×高 32mm,节拍 20 秒(对应软件中 $A_2=10\text{cm}, B_2=3.2\text{cm}$),加热表面终温 $T=1200^\circ\text{C}$,芯表温差 $T_6 \leq 50^\circ\text{C}$
- 简单计算:单件重量 $g=4\text{kg}$,生产率 $G=(3600/20) \times 4=720\text{kg/H}$,采用打结炉衬,其内尺寸为宽 120mm,高 50mm.线圈内尺寸为宽 140mm,高 70mm(对应软件中 $A_1=14, B_1=7\text{cm}$)
- 计算机输入输出主要参数:
输入 $N_6=1$ (步进式), $A_2=10\text{cm}, B_2=3.2, A_1=14, B_1=7, G=720, T=1200, T_6=50$, 得最佳频率 $F_0=3619\text{HZ}(1158--7238)$, 取 $F=3600\text{HZ}$ (即 4KHZ 中频电源). 屏幕显示 T_1 (最短加热时间)=117.9 秒,即 $L_2 \geq 117.9 \text{秒}/20 \text{秒} \times 16\text{cm}=94.32\text{cm}$. 故输入 $L_2=105$ (即 1.2 米标准炉长),
 $B_4=0.2$ (取铜管壁厚), $A_0=0.85$, 预选 $12 \times 12 \times 2$ 铜管, 输入 $H_0=1.2, B_3=0.6667, N_3$ 任选(1 或 2), 取 $L_1=115$ (炉子总长度为 120cm) $P=280.1, P_2=29.87$ (热损), $P_3=82.73$ (铜损) $\cos \phi=0.13, Y=0.598, U_0=17.41\text{V/W}, I=109579\text{AW}$
输入 $U=662\text{V}, 38$ 匝, 2884A, $H=25.724\text{mm}$ [取 2($12 \times 12 \times 2$)铜管并联]
 $C_2=229.84 \mu F, RWF0.75-280-4S=11.6$ 台, $S_9=64\text{mm}^2, V=4.2\text{M}^3/\text{H}, S_8=16$ 路

4. 选用设备:

电源	KGPS-350/4	1 台
感应电炉	GTR-(120×50)×1200	1 台
中频电容器	RWF0.75-560-4S	6 台

感应电炉主要参数:

总长	1200mm
线圈长	1150mm
线圈内尺寸	140×70mm,38 匝(16 个水路)
紫铜管	2(12×12×2),
打结炉衬套	120×50mm,安装 $\phi 10$ 水冷导轨.
调试参数	662V 3600HZ 280KW(空载 83KW) 电容器 5.75 台, 感应器中频电流 2884A

例二. 45号钢细长园棒料用扁坯感应器加热淬火项目.

1 已知条件:工件尺寸 $\phi 32 \times 816\text{mm}$, 节拍 60 秒, 淬火温度 $T=950^\circ\text{C}$, 芯表温差 $T_6 \leq 50^\circ\text{C}$

2. 简单计算: 单件重量 $g=5.12\text{kg}$, 生产率 $G=3600/60 \times 5.12=307.2\text{kg/H}$

$$\text{工件宽度}(A_2)=81.6\text{cm}, \text{工件平均厚度}(B_2) = \frac{\pi}{4} \cdot (3.2)^2 \cdot \frac{1}{3.2} = 2.51\text{cm}$$

采用打结炉衬, 其内尺寸为宽 85.6cm, 高 5.0cm

线圈内尺寸为宽 88.6cm, 高 9.0cm(对应软件中 $A_1=88.6, B_1=9\text{cm}$)

3. 计算机输入输出主要参数:

输入 $N_6=1, A_2=81.6, B_2=2.51, A_1=88.6, B_1=9, G=307.2, T=950, T_6=50$ (注意: 在此 $A_2 > B_2, A_1 > B_1$)

得最佳频率 $F_0=5669\text{HZ}$ (1814-11338), 该最佳频率是按 $B_2=2.51$ 的平均厚度求得的, 实际应按工件直径 $\phi 3.2\text{cm}$ 求取的最佳频率 $F_0=5022\text{HZ}$ 为准, 故取 $F=3600\text{HZ}$ (即 4.0KHZ 中频电源); 屏幕显示 T_1 (最短加热时间)=56.9 秒, 肯定能满足温差要求, 因每根料的节拍为 60 秒, 此时工件加热总长度 L_2 及线圈长度 L_1 的选取主要考虑计算机算得的匝数能够放入 L_1 尺寸内, 且炉内的工件数不能太少, 否则进出料时电源波动较大. 现设 $L_2=6$ 根料 $\times 3.2$ (每根料的直径)=19.2cm, $L_1=27\text{cm}$ (炉子总长为 32cm). 故输入 $L_2=19.2, B_4=0.2, A_0=0.85$

预选 $12 \times 12 \times 2$ 铜管, 输入 $H_0=1.2, B_3=0.6667, N_3$ 任选(1 或 2), 取 $L_1=27, P=97.79, P_2=12.01, P_3=29.45, \cos \phi = 0.08, Y=0.576, U_0=67.85, I=14740, U_0 \times 9 \text{匝}=611.25\text{V}, U_0 \times 10 \text{匝}=678.5\text{V}$

取 9 匝的中频电压较为合适. 故输入 $U=612\text{V}$ 9 匝 1638A $H=25.5\text{mm}$ [取 $2(12 \times 12 \times 2)$ 二根铜管并联] $C_2=138.14 \mu\text{F}, \text{RWF}0.75-560-4\text{S}=3.5$ 台 $S_9=8 \times 8=64\text{mm}^2, V=1.5\text{M}^3/\text{H}, S_8=6.4$ 路(取 9 路).

5. 选用设备:

电源	KGPS-160/4 (也可考虑选用 100KW, 4KHZ 电源)	1 台
感应电炉	GTR-(856×50)×320	1 台
中频电容器	RWF0.75-560-4S	4 台

感应电炉主要参数:

总长	320mm
线圈长	270mm
线圈内尺寸	886×90mm, 9 匝(9 个水路)
紫铜管	紫铜管 $2(12 \times 12 \times 2)$ 两根并绕
打结炉衬内尺寸	856×50mm, 安装 3 根 $\phi 10$ 水冷导轨(直径方向的 1/2 埋入打结炉衬中)
调试参数	612V 3600HZ 98KW(空载 30KW) 电容器 3.5 台(560KVar) 感应器中频电流 1638A.

附表 1:电热电容器规格型号

序号	规格	型号	总电容量 (微法)	序号	规格	型号	总电容量 (微法)
1	RW	0.5-90-1S	57.3	25	RWF	0.75-360-1S	101.9
2		0.75-90-1S	25.46	26		1.0-360-1S	57.3
3		1.0-90-1S	14.32	27		0.5-500-2.5S	127.3
4		0.375-125-2.5S	56.59	28		0.75-500-2.5S	56.59
5		0.5-125-2.5S	31.83	29		1.0-500-2.5S	31.83
6		0.75-125-2.5S	14.15	30		0.5-560-4S	89.13
7		0.375-140-4S	39.61	31		0.75-560-4S	39.61
8		0.5-140-4S	22.28	32		0.5-640-8S	50.93
9		0.75-140-4S	9.903	33		0.75-640-8S	22.64
10		0.375-160-8S	22.64	34		0.75-90-0.25S	101.9
11		0.5-160-8S	12.73	35		1.0-90-0.25S	57.3
12		0.75-160-8S	5.659	36		0.75-140-0.4S	99.03
13	RWF	0.5-180-1S	114.6	37		1.0-140-0.4S	55.7
14		0.75-180-1S	50.93	38		0.75-180-0.5S	101.9
15		1.0-180-1S	28.65	39		1.0-180-0.5S	57.3
16		0.375-250-2.5S	113.2	40	RFM	0.75-750-1S	212.2
17		0.5-250-2.5S	63.66	41		1.0-1000-1S	159.2
18		0.75-250-2.5S	28.29	42		1.0-750-1S	119.4
19		0.375-280-4S	79.22	43		0.75-1000-1S	282.9
20		0.5-280-4S	44.56	44		1.5-1000-1S	70.74
21		0.75-280-4S	19.81	45		1.5-360-1S	25.47
22		0.375-320-8S	45.27	46		1.5-850-1S	60.13
23		0.5-320-8S	25.46	47		1.2-1000-1S	110.5
24		0.75-320-8S	11.32				

附表 2 GYG 碳化硅陶瓷炉衬套规格表 单位:mm

规格 内径/外径×长度	两根陶瓷导轨 凸沿高度	备注
φ 18/ φ 25×300	无	
φ 18/ φ 29×250	无	
φ 25/ φ 36×300	无	
φ 30/ φ 45×400	3mm	
φ 35/ φ 50×400	3mm	
φ 40/ φ 60×400	4mm	
φ 45/ φ 65×400	4mm	
φ 50/ φ 80×400	4mm	
φ 60/ φ 90×400	4mm	
φ 70/ φ 100×400	4mm	
φ 80/ φ 110×400	4mm	
φ 90/ φ 120×400	4mm	
φ 100/ φ 130×400	4mm	
φ 115/ φ 145×400	4mm	
φ 130/ φ 160×400	6mm	
φ 140/ φ 170×400	6mm	
φ 150/ φ 180×400	6mm	
φ 160/ φ 190×400	6mm	
φ 170/ φ 200×400	6mm	
φ 180/ φ 210×400	6mm	
φ 190/ φ 220×400	6mm	

注: 1) 炉衬厚度在 15mm 时, 可制造成安放水冷导轨的凹槽。
2) 每节炉衬套联结处, 两端均有凹凸止扣。