



# 汽轮机原理课程设计

题目	汽轮机课程设计
学院	能源科学与工程学院
专业	热能与动力工程
班级	0804
学号	
姓名	丁川
指导老师	涂福炳
日期	2023年9月20日

## 课程设计任务书

### 一. 设计题目

多级凝汽式汽轮机组热力设计

### 二. 设计内容

- 1、按所给参数分析并确定热力设计的基本参数；
- 2、确定汽轮机近似热力过程曲线和原则性热力系统，进行汽耗量、回热系统热平衡及热经济性的初步计算；
- 3、确定调整级的形式、比焓降、叶型及尺寸，速比选用 0.23/0.26；
- 4、确定压力级的级数和排气口数，并进行各级比焓降分派；
- 5、对压力级进行热力计算，求出各级通流部分的几何尺寸、相对内效率和内功率，确定汽轮机实际的热力过程曲线；
- 6、整顿说明书，并给出热力计算成果汇总表。

### 三. 设计规定

- 1、运行时有较高经济性；
- 2、不一样工况下工作时均有较高可靠性；
- 3、在满足经济性和可靠性的同步，还应考虑到汽轮机的构造紧凑，系统简朴，布置合理，成本低廉，安装与维修以便，以及零件的通用化和系列等原因。

### 四. 重要参数

汽轮机额定功率 ( $P_r, \text{kW}$ )

50000

汽轮机波及功率 ( $P_e, \text{kW}$ )	40000
汽轮机初压 ( $P_0, \text{MPa}$ )	8.5
汽轮机初温 ( $t_0, ^\circ\text{C}$ )	535
汽轮机工作转速 ( $n, \text{r/min}$ )	3000
汽轮机排气压力 ( $P_c', \text{MPa}$ )	0.0045
给水温度 ( $t_{fw}, ^\circ\text{C}$ )	158
冷却水温度 ( $t_{cl}, ^\circ\text{C}$ )	20
凝汽器出口水温 ( $t_c, ^\circ\text{C}$ )	31.5
给水泵压头 ( $P_{fp}, \text{MPa}$ )	0.28
凝结水泵压头 ( $P_{cp}, \text{MPa}$ )	1.18
射汽抽气器汽耗量 ( $\Delta D_{ej}, \text{t/h}$ )	1.2
射汽抽气器出口水温 ( $t_{ej}, ^\circ\text{C}$ )	38.68
射汽抽气器比焓降 ( $h_{ej}, \text{kJ/kg}$ )	558.3
回热级数 ( $Z, \text{级}$ )	5

## 目录

序言.....	4
1.近似热力过程曲线的确定.....	5
2.估算汽轮机进汽量 $D_0$ .....	6

3.确定抽汽压力.....	7
4. 各级加热器抽汽量计算.....	8
4-1 H <sub>1</sub> 高压加热器.....	8
4-2 H <sub>2</sub> 高压加热器.....	9
4-3 H <sub>d</sub> --除氧器.....	11
4-4 H <sub>3</sub> 低压加热器.....	12
4-5 H <sub>4</sub> 低压加热器.....	12
5.流经汽轮机各级组的蒸汽流量及其内功率计算调整级.....	14
6.计算汽轮机装置的经济性.....	16
7.通流部分选型.....	20
7-1 配气方式和调整型选型.....	20
7-2 调整级几何参数的选择.....	20
7-3 各级平均直径确实定.....	21
7-3-1 第一压力级平均直径的估取.....	21
7-3-2 本机末级直径的估取.....	21
7-3-3 确定压力级平均直径的变化.....	21
7-4 级数确实定及比焓的分派.....	22
7-4-1 级数确实定.....	22
7-4-2 比焓降分派.....	23
8. 汽轮机双列调整级的热力计算.....	24

8-1 叶型及其选择.....	24
8-1-1 叶片型线图.....	24
8-1-2 叶型及有关参数的选择.....	25
8-2 调整级的热力计算.....	26
总结.....	35
参考文献.....	36

## 序言

汽轮机是以蒸汽为工质的旋转式热能动力机械，与其他原动机相比，它具有单机功率大、效率高、运转平稳和使用寿命长等长处。

汽轮机的重要用途是作为发动机的原动机。在使用化石燃料的现代常规火力发电厂、核电站及地热发电站中，都采用蒸汽轮机为动力的汽轮发电机组。汽轮机能变速运行，可用来直接驱动多种泵、风机、压缩机和船舶螺旋桨等。汽轮机的排气或中间抽气还可以用来满足

生产和生活上的供热需要。在生产过程中有余能、余热的工厂企业中，还可以用多种类型的工业汽轮机（包括发电、热电联供、驱动动力用），使用不一样品位的热能得以合理有效地运用。

汽轮机必须与锅炉（或其他蒸汽发生装置）、发电机（或其他被驱动机械）、以及凝汽器、加热器、泵等机械设备构成成套装置，共同工作。具有一定温度和压力的蒸汽可来自锅炉或其他气源，经主汽阀和调整汽阀进入汽轮机内，依次流过一系列环形安装的喷嘴栅（或静叶栅）和动叶栅而膨胀做功，将其热能转换成推进汽轮机转子旋转的机械功，通过联轴器驱动其他机械，如发电机。膨胀做功后的蒸汽由汽轮机的排气部分排出。在火电厂中，其排气一般被引入凝汽器，向冷却水放热而凝结，凝结水再经泵输送至加热器中加热后作为锅炉给水，循环工作。

### 1.近似热力过程曲线的确定

在  $h-s$  图上，由  $P_c=8.5$ ， $t_0=535$  可确定汽轮机进气状态点 0，并查得初焓  $h_0=3480.09\text{kJ/kg}$ 。

设进气机构的节流压力损失 $\Delta P_0=0.04P_0$ ，得调整级前压力  $P_0' = P_0 - \Delta$

$P_0=8.5-0.04 \times 8.5=8.16\text{MPa}$ 。并由此可确定调整级前蒸汽状态点 1，过 1 点作等熵线向下交  $P_2=0.0048\text{MPa}$  线于 2 点，查得  $h_{2i}=2061.86\text{kJ/kg}$ 。因此，整机的理想比焓降  $h_i^{\text{mac}}=h_0-h_{2i}=3480.09-2061.86=1418.23\text{kJ/kg}$ 。

估取汽轮机相对内效率  $\eta_{ri}=85.5\%$ 。

整机的有效比焓降  $\Delta h_i^{\text{mac}}=\Delta h_i^{\text{mac}} \times \eta_{ri} =1418.23 \times 0.85=1212.59\text{kJ/kg}$ ，汽轮机排汽比焓  $h_z=h_0-h_i^{\text{mac}}=3480.09-1212.59=2267.5\text{kJ/kg}$ 。用直线连接 1、Z 两点，在中间点 3' 处沿等压线下移 20-25kJ/kg 得到点 3。用平滑的曲线连接 1、3、Z 三点，得到该机在设计工况下的近似热力过程曲线，如图 1 所示。

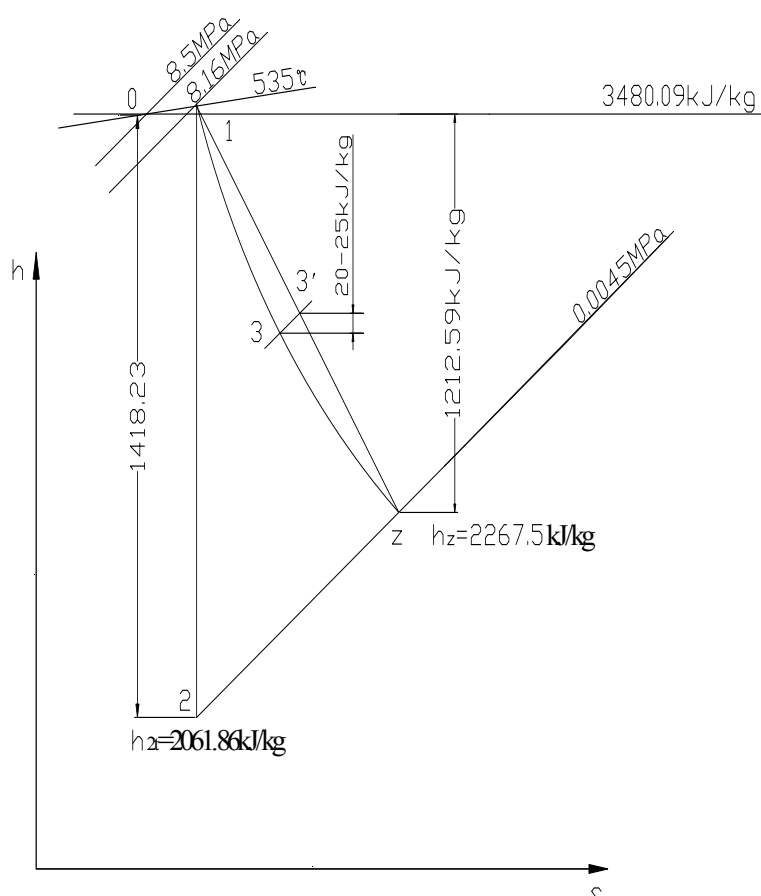
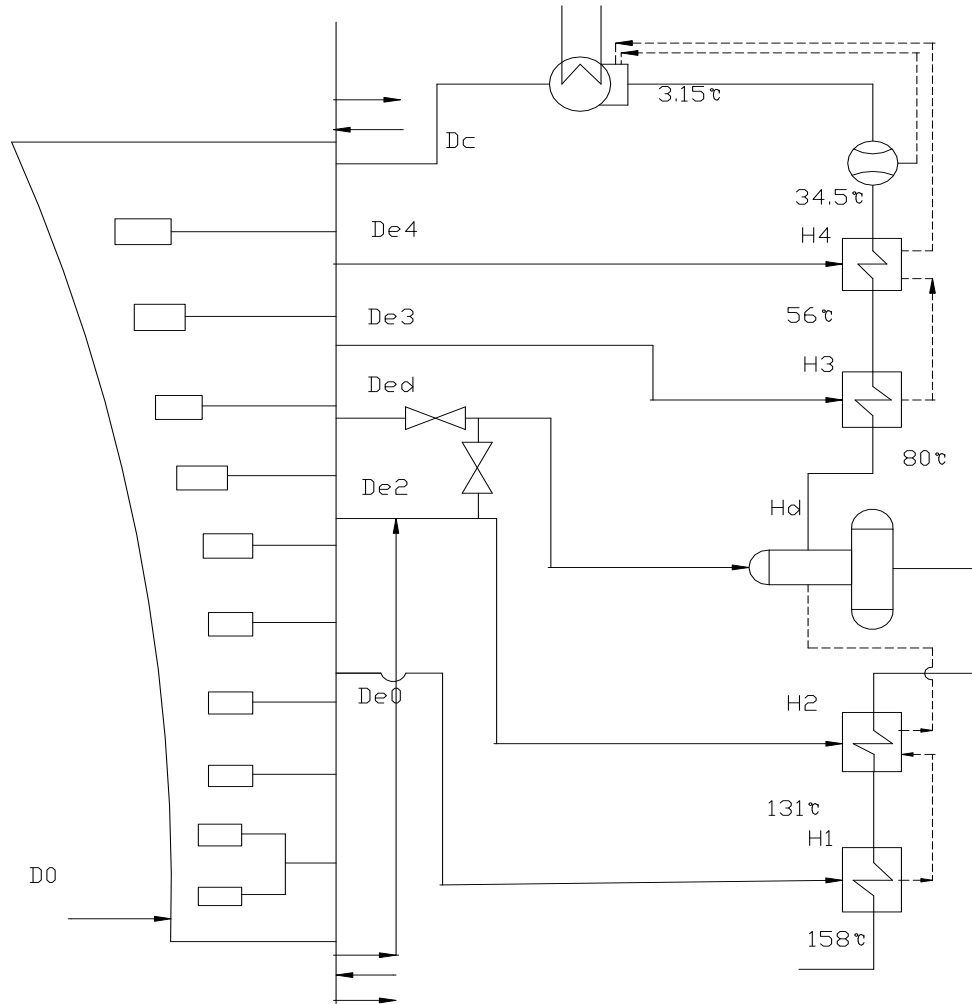


图 1 50MW 凝汽式汽轮机近似热力过程曲线



本汽轮机回热系统如图 2 所示，图中  $H_1, H_2$  为高压加热器， $H_3, H_4$  为低压加热器， $H_d$  为除氧器，共五级回热抽汽。



## 2. 估算汽轮机进汽量 $D_0$

设  $m=1.12$ ，机械效率  $\eta_m=0.97$ ，发电机效率  $\eta_g=0.97$ ，汽轮机漏汽量  $\Delta D=3\%De$ ，且有：

$$\begin{aligned}
 D_0 &= \frac{3.6P_e}{\Delta h_i^{mac} \cdot \eta_m \cdot \eta_g} \cdot m \cdot \frac{1}{0.97} \\
 &= \frac{3.6 \times 40000}{1212.59 \times 0.99 \times 0.97} \times 1.12 \times \frac{1}{0.97} \\
 &= 142.79
 \end{aligned}$$

(上式中没有考虑汽轮机轴封漏气)

### 3.确定抽汽压力

该汽轮机采用大气压力式除氧器，除氧器压力为 0.118MPa，对应的饱和水温度  $t_{ed}' = 104.25^\circ\text{C}$  MPa。本机采用 70%负荷如下时除氧器与 H2 高压加热器共汽源的运行方式，因此，除氧器的回热抽汽压力仅比除氧器工作压力高出 0.024 MPa。

根据给水温度  $t_{fw} = 158^\circ\text{C}$  可得 H1 高压加热器给谁出口温度  $t_{w2} = 158^\circ\text{C}$ ，且除氧器出口水温  $t_{wd} = 104.3^\circ\text{C}$ ，根据温升（等比焓升）分派原则，的 H2 高压加热器给谁出口温度：  
 $t_{w2} = 104.3 + \left( \frac{158 - 104.3}{2} \pm 5 \right) = 131.15 \pm 5 \quad ^\circ\text{C}$

取  $t_{w2} = 131^\circ\text{C}$ 。

用同样措施选用各低压加热器的出口水温  $t_{w2}$ （见表 1）。

根各加热器的出口水温  $t_{w2}$  及出口端差  $\delta_t$ ，可得加热器疏水温度  $t_e' = t_{w2} + \delta_t$ ，查得  $t_e'$  对应的饱和压力  $P_e$ （见表 1）。在确定近似热力曲线上求出各回热抽汽比焓值  $h_e$ ，如图 3 所示。



#### 4. 各级加热器抽汽量计算

##### 4-1 H<sub>1</sub> 高压加热器

其给水量为

$$\begin{aligned}D_{fw} &= D_0 + \Delta D_{ej} \\ &= 142.79 + 1.2 \\ &= 143.99(\text{t/h})\end{aligned}$$

该加热器平衡方程式为

$$\Delta D_{e1}(h_{e1} - h'_{e1})\eta_h = D_{fw}(h_{w2} - h_{w1})$$

式中， $\eta_h$  --加热器效率，一般取 $\eta_h = 0.98$ （下同）。该级回热抽气量为：

$$\begin{aligned} \Delta D_{e1} &= \frac{D_{fw}(h_{w2} - h_{w1})}{h_{e1} - h'_{e1}} \cdot \eta_h \\ &= \frac{143.99 \times (666.89 - 550.66)}{(2938 - 688.63) \times 0.98} \\ &= 7.592(\text{t/h}) \end{aligned}$$

上式中有关符号的意义及数值见表 1 和表 2。

$H_1$  高压加热器热平衡图如图 4 (a) 所示。

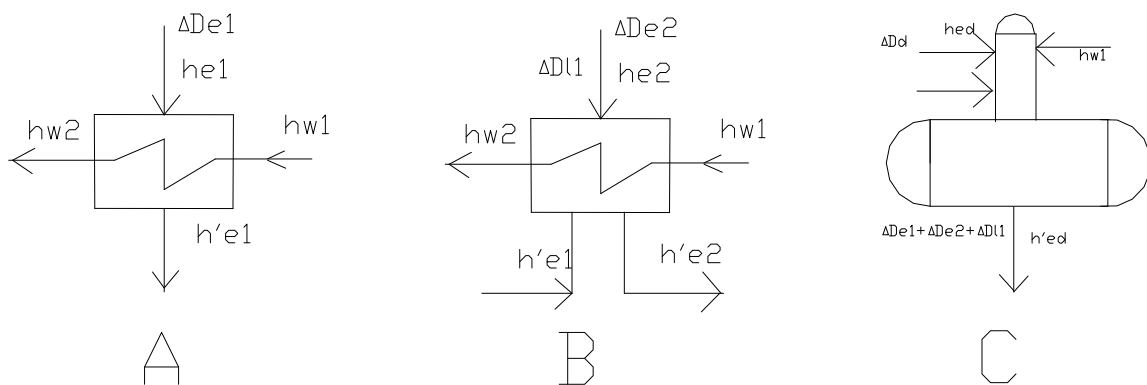


图 4 加热器平衡图

(a)  $H_1$  加热器

(b)  $H_2$  加热器

(c) 除氧器

#### 4-2 $H_2$ 高压加热器

该加热器热平衡图如图 4 (b) 所示, 先不考虑漏入  $H_2$  高压加热器的那部分轴封漏气量  $\Delta D_{f1}$  以及上级加热器  $H_1$  流入本级加热器的疏水量  $\Delta D_{e1}$ , 则该级加热器的计算抽气量为:

$$\begin{aligned}\Delta D'_{e2} &= \frac{D_{fw}(h_{w2} - h_{w1})}{h_{e2} - h'_{e2}} \cdot \eta_h \\ &= \frac{143.99 \times (550.66 - 437.04)}{(2805 - 572.05) \times 0.98} \\ &= 7.476(\text{t/h})\end{aligned}$$

表 1 50MW 凝汽式汽轮机加热器汽水参数

加热器号	抽气压力 $P_e$ ( $MP_a$ )	抽气比焓 $h_e$ (kJ/kg)	抽气管压损 $\Delta P_e / P_e$ (%)	加热器工作 压力 $P_e'$ ( $MP_a$ )	饱和水温 $t_e'$ ( $^{\circ}C$ )	饱和水比焓 $h_e'$ (kJ/kg)	出口端差 $\delta_t$ ( $^{\circ}C$ )	给水出口水 温 $t_{w2}$ ( $^{\circ}C$ )	给水出口比 焓 $h_{w2}$ (kJ/kg)
$H_1$	0.7248	2938.0	8	0.6668	163	688.63	5	158	666.89
$H_2$	0.3504	2805.0	8	0.3224	136	572.05	5	131	550.66
$H_d$	0.1419	2672.0	17	0.1178	104.25	437.04	0	104.25	437.04
$H_3$	0.0582	2556.0	8	0.0535	83	347.54	3	80	334.95
$H_4$	0.0207	2437.0	8	0.0190	59	246.97	3	56	234.42

考虑上一级加热器疏水流入  $H_2$  高压加热器并放热可使本级抽气量减少的相称量

为:

$$\begin{aligned}\Delta D_{e1e} &= \Delta D_{e1} \times \frac{h'_{e1} - h'_{e2}}{h_{e2} - h'_{e2}} \\ &= 7.592 \times \frac{688.63 - 572.05}{2805.0 - 572.05} \\ &= 0.396(\text{t/h})\end{aligned}$$

考虑前轴封一部分漏气量  $D_{l1}$ ，漏入本级加热器并放热可使本级会热抽气量减少

的相称量为:

$$\begin{aligned}D_{l1e} &= \Delta D_{l1} \times \frac{h_l - h'_{e2}}{h_{e2} - h'_{e2}} \\ &= 0.80 \times \frac{3181 - 572.05}{2805 - 572.05} \\ &= 0.934(\text{t/h})\end{aligned}$$

式中  $h_l$  --轴封漏气比焓值，相称于调级后气室中蒸汽的比焓，

$$h_l = 3181.0\text{kJ/kg}, \quad \Delta D_{l1} \approx 0.80\text{t/h}$$

本级高压加热器  $H_2$  实际所需回热抽气量为:

$$\begin{aligned}\Delta D_{e2} &= \Delta D'_{e2} - \Delta D_{e1e} - \Delta D_{l1e} \\ &= 7.476 - 0.396 - 0.934 \\ &= 6.146(\text{t/h})\end{aligned}$$

#### 4-3 $H_d$ --除氧器

除氧器为混合式加热器，其热平衡图如图 4 (c) 所示。分别列出除氧器的

热平衡方程和质量平衡方程式如下:

$$\Delta D_{ed} h'_{ed} + (\Delta D_{e1} + \Delta D_{e2} + \Delta D_{l1}) h'_{e2} + D_{cw} h_{w1} = D_{fw} h'_{ed}$$

$$D_{cw} + \Delta D_{l1} + \Delta D_{ed} + \Delta D_{e1} + \Delta D_{e2} = D_{fw}$$

将已知数据代入上述两式中，整顿后得：

$$2672\Delta D_{ed} + 334.95D_{cw} = 54612.9267$$

$$D_{cw} + \Delta D_{ed} = 129.452$$

联立上式求解可得：

$$\text{除氧器抽气量} \quad \Delta D_{ed} = 4.815 \quad (\text{t/h})$$

$$\text{凝结水量} \quad D_{cw} = 124.637 \quad (\text{t/h})$$

#### 4-4 $H_3$ 低压加热器

该级加热器热平衡图与  $H_1$  高压加热器的热平衡图相似，其回热抽气量  $\Delta D_{e3}$

为

$$\begin{aligned} \Delta D_{e3} &= \frac{D_{cw}(h_{w2} - h_{w1})}{(h_{e3} - h'_{e3})\eta_h} \\ &= \frac{124.637 \times (334.95 - 234.42)}{(2556 - 347.54) \times 0.98} \\ &= 5.789(\text{t/h}) \end{aligned}$$

#### 4-5 $H_4$ 低压加热器

该级加热器凝结水进口水温  $t_{w1}$  与凝汽器压力及流经抽气冷却器的温升有关。

当  $P'_c = P_z = 0.0045\text{MPa}$ ，凝汽器压力  $P'_c = 0.0043\text{MPa}$  时，对应的凝结水饱和温度

$t_c = 31.5^\circ\text{C}$ ，比焓值  $h'_c = 2558.43\text{kJ/kg}$ 。



凝结水流经抽气冷却器的温升  $\Delta t_{ej}$  可根据冷却器的热平衡公式求得其比焓升  $\delta h_{ej}$  为

$$\begin{aligned}\delta h_{ej} &= \frac{\Delta D_{ej} \Delta h_{ej}}{D_{cw}} \\ &= \frac{1.2 \times 558.3}{124.637} \\ &= 5.375 (\text{kJ/kg})\end{aligned}$$

式中  $\Delta h_{ej} = 558.3 \text{kJ/kg}$  为抽气冷却器中蒸汽的比焓降。  $\Delta D_{ej} = 1.2 (\text{t/h})$

为抽气汽耗量，两者为已知数据

考虑传热效率等原因，凝结水泵压头  $P_{cp} = 1.18 \text{MPa}$ ，该压力下水在  $30 \sim 40^\circ\text{C}$  之间

比焓升对应的温升  $\Delta t_{ej} = 3 \sim 5^\circ\text{C}$ ，取  $\Delta t_{ej} = 3^\circ\text{C}$ 。

$H_4$  低压加热器凝结水进口水温  $t_{w1} = 31.5 + 3 = 34.5^\circ\text{C}$

对应的比焓值  $h_{w1} = 145.61 \text{kJ/kg}$

$H_4$  的计算抽气量为：

$$\begin{aligned}\Delta D'_{e4} &= D_{cw} \times \frac{h_{w2} - h_{w1}}{(h_{e4} - h'_{e4}) \eta_h} \\ &= 124.637 \times \frac{234.42 - 145.61}{(2437 - 246.97) \times 0.98} \\ &= 5.157 (\text{t/h})\end{aligned}$$

$H_3$  的疏水流入  $H_4$  引起末级回热抽气量减少的相称量为：

$$\begin{aligned}\Delta D_{e3e} &= \Delta D_{e3} \times \frac{h'_{e3} - h'_{e4}}{h_{e4} - h'_{e4}} \\ &= 5.789 \times \frac{347.54 - 246.97}{2437 - 246.97} \\ &= 0.266 (\text{t/h})\end{aligned}$$

$H_4$  的实际回热抽气量为

$$\Delta D_{e4} = \Delta D'_{e4} - \Delta D_{e3e}$$

$$= 5.157 - 0.266$$

$$= 4.891(\text{t/h})$$

### 5. 流经汽轮机各级组的蒸汽流量及其内功率计算调整级

$$D_o = 142.79(\text{t/h})$$

$$P_{iD} = \frac{D_o(h_o - h_2)}{3.6}$$

$$= \frac{142.79 \times (3480.09 - 3181)}{3.6}$$

$$= 11863.1(\text{kW})$$

(调整级后压力为 3.11MPa, 比焓值  $h_2=3181\text{kJ/kg}$ 。待调整级型式选定及热力计算后求得, 第一次估算时, 可估取调整级理想比焓降及级效率后在  $h-s$  图的近似热力过程曲线上查得)

第一级组

$$D_1 = D_o - \Delta D_l$$

$$= 142.79 - 1 = 141.79(\text{t/h})$$

$$P_{i1} = D_1 \times \frac{h_1 - h_{e1}}{3.6}$$

$$= 141.79 \times \frac{3181 - 2938}{3.6}$$

$$= 9570.8(\text{kW})$$

第二级组

$$D_2 = D_1 - \Delta D_{e1}$$

$$= 141.79 - 7.592 = 134.198(\text{t/h})$$

$$\begin{aligned}
 P_{i2} &= D_2 \times \frac{h_{e1} - h_{e2}}{3.6} \\
 &= 134.198 \times \frac{2938 - 2805}{3.6} \\
 &= 4957.9(\text{kW})
 \end{aligned}$$

第三级组

$$\begin{aligned}
 D_3 &= D_2 - \Delta D_{e2} \\
 &= 134.198 - 6.146 = 128.052(\text{t/h})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{i3} &= D_3 \times \frac{h_{e2} - h_{ed}}{3.6} \\
 &= 128.052 \times \frac{2805 - 2672}{3.6} \\
 &= 4730.8(\text{kW})
 \end{aligned}$$

第四级组

$$\begin{aligned}
 D_4 &= D_3 - \Delta D_{ed} \\
 &= 128.052 - 4.815 = 123.237(\text{t/h})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{i4} &= D_4 \times \frac{h_{ed} - h_{e3}}{3.6} \\
 &= 123.237 \times \frac{2672 - 2556}{3.6} \\
 &= 3971.0(\text{kW})
 \end{aligned}$$

第五级组

$$\begin{aligned}
 D_5 &= D_4 - \Delta D_{e3} \\
 &= 123.237 - 5.789 = 117.448(\text{t/h})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{i5} &= D_5 \times \frac{h_{e3} - h_{e4}}{3.6} \\
 &= 117.448 \times \frac{2556 - 2437}{3.6} \\
 &= 3882.3(\text{kW})
 \end{aligned}$$

第六级组

$$\begin{aligned}
 D_6 &= D_5 - \Delta D_{e4} \\
 &= 117.448 - 4.891 = 112.557(\text{t/h})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{i6} &= D_6 \times \frac{h_{e4} - h_z}{3.6} \\
 &= 112.557 \times \frac{2438 - 2267.5}{3.9} \\
 &= 5330.8(\text{kW})
 \end{aligned}$$

整机内功率

$$\begin{aligned}
 P_i &= \sum_{j=0}^6 P_{ij} \\
 &= 11863.1 + 9570.8 + 4957.9 + 4730.8 + 3971.0 + 3882.3 + 5330.8 \\
 &= 44306.7(\text{kW})
 \end{aligned}$$

## 6. 计算汽轮机装置的经济性

机械损失

$$\begin{aligned}
 \Delta P_m &= P_i(1 - \eta_m) \\
 &= 44306.7 \times (1 - 0.99) \\
 &= 443.1(\text{kW})
 \end{aligned}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/658112125036006104>