

《汽轮机原理》习题

1. 已知：渐缩喷嘴进口蒸汽压力 $p_0 = 8.4\text{MPa}$ ，温度 $t_0 = 490^\circ\text{C}$ ，初速 $c_0 = 50\text{m/s}$ ；
喷嘴后蒸汽压力 $p_1 = 5.8\text{MPa}$ ，喷嘴速度系数 $\phi = 0.97$ 。求
 - (1) 喷嘴前蒸汽滞止焓、滞止压力；
 - (2) 喷嘴出口的实际速度；
 - (3) 当喷嘴后蒸汽压力由 $p_1 = 5.8\text{MPa}$ 下降到临界压力时的临界速度。
2. 已知：某汽轮机级的进汽压力 $p_0 = 1.96\text{MPa}$ ，温度 $t_0 = 350^\circ\text{C}$ ；级后蒸汽压力 $p_2 = 1.47\text{MPa}$ 。速度比 $x_1 = u/c_1 = 0.53$ ，级的平均反动度 $\Omega_m = 0.15$ ，又知喷嘴和动叶栅的速度系数分别为 $\phi = 0.97$ ， $\psi = 0.90$ ，喷嘴和动叶的出口汽流角为 $\alpha_1 = 18^\circ$ ， $\beta_2^* = \beta_1 - 6^\circ$ 。
 - (1) 求解并作出该级的速度三角形；
 - (2) 若余速利用系数 $\mu_0 = 0$ ， $\mu_1 = 1$ ，流量 $D = 960\text{t/h}$ ，求级的轮周效率 η_u 和轮周功率 P_u ；
 - (3) 定性绘制级的热力过程曲线。
3. 某机组冲动级级前蒸汽压力 $p_0 = 1.96\text{MPa}$ ，温度 $t_0 = 350^\circ\text{C}$ ；级后蒸汽压力 $p_2 = 1.47\text{MPa}$ 。该级速度比 $x_1 = 0.45$ ，喷嘴出口汽流角为 $\alpha_1 = 13^\circ$ ，动叶的进口汽流角与出口汽流角相等（ $\beta_1 = \beta_2^*$ ），喷嘴和动叶栅的速度系数分别为 $\phi = 0.95$ ， $\psi = 0.87$ ；该级的平均反动度 $\Omega_m = 0$ 。试求解：同题 2（1）、（2）、（3）。
4. 国产某机组第三级设计工况下级前蒸汽压力 $p_0 = 5.13\text{MPa}$ ，温度 $t_0 = 467.5^\circ\text{C}$ ；级后蒸汽压力 $p_2 = 4.37\text{MPa}$ ，进口汽流的初速动能 $\Delta h_{c_0} = 1.214\text{kJ/kg}$ 全部被利用。设计中选定该级的平均直径 $d_m = 998.5\text{mm}$ ，级的平均反动度 $\Omega_m = 7.94\%$ ，喷嘴出口汽流角为 $\alpha_1 = 10^\circ 47'$ ，动叶的出口汽流角相等 $\beta_2^* = 17^\circ 54'$ 。又知喷嘴和动叶栅的速度系数分别为 $\phi = 0.97$ ， $\psi = 0.935$ ，汽轮机的转速 $n = 3000\text{r/min}$ ， $\mu_1 = 1$ 。试作出该级的速度三角形，求级的轮周效率 η_u ，定性绘制级的热力过程曲线。

5. 已知：单级冲动式汽轮机的动叶为对称叶片，即动叶进出口汽流角相等。喷嘴出口汽流角 $\alpha_1 = 20^\circ$ ，喷嘴出口汽流速度 $c_1 = 650 \text{ m/s}$ ，喷嘴速度系数 $\phi = 0.96$ 。动叶圆周速 $u = 300 \text{ m/s}$ ，动叶速度系数 $\psi = 0.70$ ，另取 $\Omega_m = 0$ ， $\mu_1 = 0$ 。试计算：
- (1) 动叶的进出口汽流角 β_1 和 β_2^* ；
 - (2) 单位流量蒸汽作用于动叶片上的作用力 F_{u1} 和 F_{z1} ；
 - (3) 单位流量蒸汽所作的轮周功 P_{u1} ，以及轮周效率 η_u 。
6. 已知机组某纯冲动级喷嘴出口汽流速度 $c_1 = 766.8 \text{ m/s}$ ，喷嘴出口汽流角 $\alpha_1 = 20^\circ$ ，动叶圆周速 $u = 365.76 \text{ m/s}$ 。若动叶进出口汽流角相同，喷嘴速度系数 $\phi = 0.96$ ，动叶速度系数 $\psi = 0.80$ ，通过该级的蒸汽流量 $G = 1.2 \text{ kg/s}$ ， $\mu_1 = 0$ ，试求：
- (1) 蒸汽进入动叶的角度 β_1 和相对速度 w_1 ；
 - (2) 蒸汽作用在动叶上的切向力 F_u ；
 - (3) 级的轮周功率 P_u 和轮周效率 η_u 。
7. 试估算某机组低压缸的级数 z 。已知该级组的理想焓降为 $\Delta H_t = 260 \text{ kJ/kg}$ ，级组的第一级和最末级的平均直径分别为 $d_1 = 0.956 \text{ m}$ ， $d_z = 0.997 \text{ m}$ 。速度比 $x_a = 0.50$ ，且对于各级均为定数。转速 $n = 3000 \text{ r/min}$ ，重热系数 $\alpha = 0.05$ 。
8. 某中压汽轮机的前轴封是由若干段迷宫式轴封组成。其第一段轴封的有关数据如下：轴封片数 $z = 17$ ，轴封段直径 $d_l = 400 \text{ mm}$ ，轴封径向间隙 $\delta = 0.5 \text{ mm}$ ，轴封进汽压力 $p_0 = 1.18 \text{ MPa}$ ，温度 $t_0 = 300^\circ \text{C}$ 。试求：
- (1) 轴封段后汽压 $p_{z1} = 0.294 \text{ MPa}$ 时，该轴封段的漏汽量 ΔG_{l1} ；
 - (2) 当轴封段后汽压 $p_{z2} = 0.196 \text{ MPa}$ 时的漏汽量 ΔG_{l2} 。
9. 已知当喷嘴初压 $p_0 = 1.96 \text{ MPa}$ ，背压 $p_1 = 1.61 \text{ MPa}$ 时，通过喷嘴的流量 $G = 4 \text{ kg/s}$ 。试求当初压维持不变，而喷嘴流量增至 $G_1 = 5 \text{ kg/s}$ 时的喷嘴背压 p_{11} 。

10. 已知渐缩喷嘴前蒸汽压力 $p_0 = 12.8 \text{ MPa}$ ，喷嘴后压力 $p_1 = 9.81 \text{ MPa}$ ，且保持不变。

当忽略蒸汽初温的变化，问喷嘴前蒸汽必须节流到什么压力 p_{01} ，才能使通过喷嘴的蒸汽流量减少至三分之一？

11. 已知某高压凝汽式汽轮机的设计流量 $G = 165.75 \text{ kg/s}$ ，设计工况下调节级后蒸汽压力

$p_1 = 9.71 \text{ MPa}$ ，温度 $t_1 = 502.5^\circ\text{C}$ ，第一段回热抽汽点蒸汽压力 $p_2 = 3.73 \text{ MPa}$ 。若

工况变动后，调节级后蒸汽压力变化为 $p_{11} = 10.69 \text{ MPa}$ ，温度 $t_{11} = 513^\circ\text{C}$ ，第一段

回热抽汽点蒸汽压力 $p_{21} = 4.12 \text{ MPa}$ 。试计算此工况下，通过调节级后至第一段回热

抽汽点级组的流量是多少？

12. 已知在设计工况下通过某汽轮机的流量 $G_0 = 132.6 \text{ t/h}$ ，调节级汽室压力

$p_1 = 1.67 \text{ MPa}$ 。当机组流量变为 $G_1 = 90 \text{ t/h}$ ，试问在正常情况下调节级汽室压力应

为多大？若由于压力级组结垢，使通道面积较原来减少 5%，则调节级汽室压力又应是多少？

13. 下图为具有一次调整抽汽式汽轮机的实际工况图。

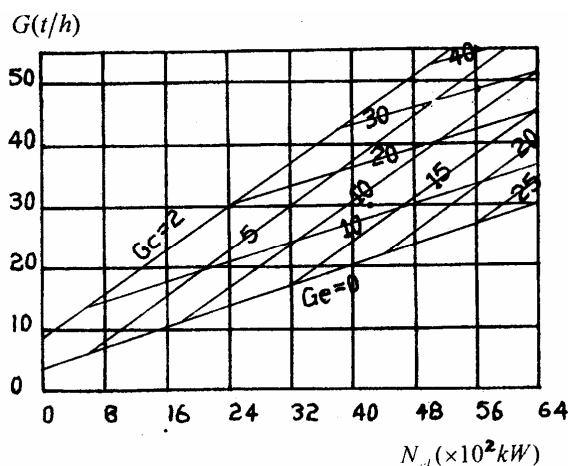
(1) 已知电功率 $N_{el} = 5600 \text{ kW}$ ，抽汽量 $G_e = 30 \text{ t/h}$ ，求新汽流量 G_0 为多少？

(2) 已知新汽量 $G_0 = 50 \text{ t/h}$ ，抽汽量 $G_e = 36 \text{ t/h}$ ，求电功率 N_{el} 为多少？

(3) 已知电功率 $N_{el} = 4000 \text{ kW}$ ，低压缸流量 $G_c = 8 \text{ t/h}$ ，求抽汽量 G_e 为多少？

(4) 已知抽汽量 $G_e = 20 \text{ t/h}$ ，低压缸流量 $G_c = 15 \text{ t/h}$ ，求电功率 N_{el} 及新汽量 G_0 为多少？

(5) 已知新汽量 $G_0 = 30 \text{ t/h}$ ，低压缸流量 $G_c = 12 \text{ t/h}$ ，求电功率 N_{el} 为多少？



14. 某单压凝汽器的冷却水进口温度 $t_{w1} = 20^\circ\text{C}$ ，冷却水温升 $\Delta t = 8^\circ\text{C}$ ，凝汽器传热端差 $\delta t = 5^\circ\text{C}$ ，试确定该凝汽器内压力。（不考虑过冷因素）

15. 根据下列条件，计算等截面叶片的根部截面上，由于离心力拉应力 σ_c 和汽流弯应力 σ_u 。

已知：级的平均直径 $d_m = 1.10\text{m}$ ，动叶高度 $l_b = 0.05\text{m}$ ，轮周功率 $P_u = 600\text{kW}$ ，

该级为全周进汽，叶片数 $Z_b = 152$ ，叶型根部抗弯断面系数 $W = 0.09\text{cm}^3$ ，转速

$n = 3000\text{r/min}$ ，密度 $\rho = 7.85 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 。忽略动叶前后压差轴向分力的变化。

16. 试求等截面叶片的最大弯应力和最大拉应力。

已知：通过该级的蒸汽流量 $G = 16.6\text{kg/s}$ ，级的平均直径 $d_m = 1.252\text{m}$ ，叶片高度

$l_b = 0.191\text{m}$ ，动叶前压力 $p_1 = 0.03903\text{MPa}$ ，级后压力 $p_2 = 0.03766\text{MPa}$ ，喷嘴

出口汽流速度 $c_1 = 386\text{m/s}$ ，汽流角 $\alpha_1 = 15^\circ$ ， $\alpha_2^* = 100^\circ$ ，余速 $c_2 = 97\text{m/s}$ 。级的

轮周速度 $u = 196.5\text{m/s}$ ，动叶片数 $Z_b = 144$ ，叶片最小截面系数 $W_{\min} = 0.508\text{cm}^3$ ，

部分进汽度 $e = 1$ ，叶片材料密度 $\rho = 7.85 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 。

17. 试求根部夹紧而顶端自由的等截面单个叶片的切向 A 型振动的一、二阶频率。

已知：叶高 $l_b = 0.191\text{m}$ ，叶片截面积 $A_b = 3.4 \times 10^{-4}\text{m}^2$ ，最小惯性矩

$I_{\min} = 0.742 \times 10^{-8}\text{m}^4$ ，叶片材料的弹性模量 $E = 20.59 \times 10^{10}\text{N/m}^2$ ，材料密度

$\rho = 7.85 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 。

18. 某级动叶片为调频的自由叶片，已知： A_0 型静频率 $f_{\min} = 160\text{Hz}$ ， $f_{\max} = 170\text{Hz}$ ，

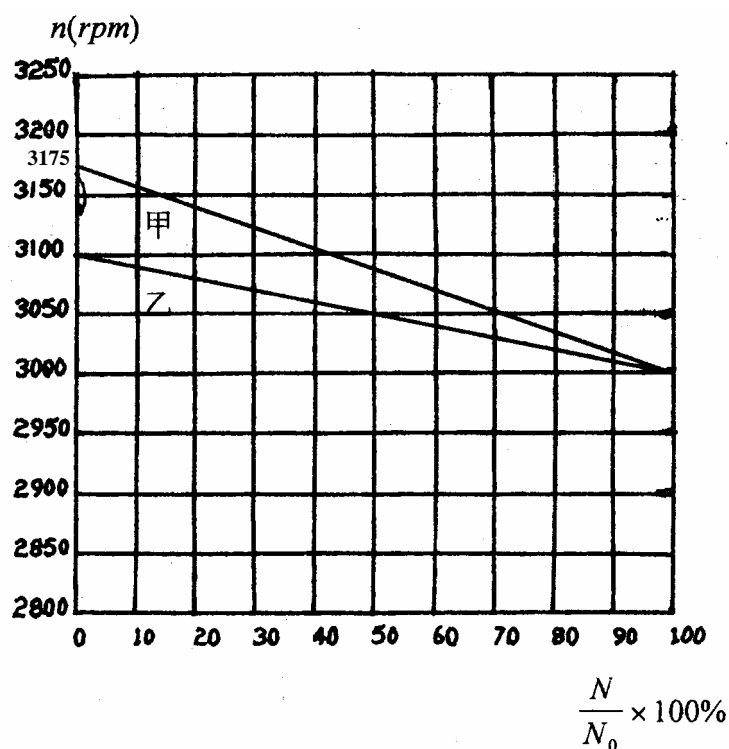
动频系数 $B = 3$ ，振动强度安全倍率 $A_b = 4.06$ ，电网周波允许波动范围

$48.5 \sim 50.5\text{Hz}$ ，各频位下的安全倍率限额见下表。试问：

- (1) 叶片的频率分散度是否合格？
- (2) 叶片振动安全倍率是否合格？
- (3) 正常运行时能否避开危险共振？

K	2~3	3~4	4~5	5~6
$[A_b]$	4.5	3.7	3.5	3.5

19. 某厂在低周波运行期间，曾将同步器的工作范围调至 $4\% \sim -6\%$ ，该调速系统的速度变动率 $\delta = 5\%$ ，试问：
- (1) 当电网周波恢复至 50Hz 时，机组最多能带多少负荷？
 - (2) 当电网周波在何值时才能带上满负荷？
 - (3) 如果调节系统的迟缓率 $\varepsilon = 0.5\%$ ，机组甩负荷后转速升高的最大静态稳定值是多少？
20. 甲、乙两机的静态特性如下图所示，当电网周波为 50Hz 时，甲、乙两机的负荷为 100% 额定值，试求：
- (1) 甲、乙两机的转速变动率各为多少？
 - (2) 若电网周波对应于转速升高到 3050rpm ，则两机的负荷各为多少？
 - (3) 若电网周波对应于转速升高到 3050rpm ，甲机仍需担负 100% 额定负荷，则其静态特性线应移到什么位置？
 - (4) 在甲机静态特性移动后，若该机组甩负荷，试问超调量为 90rpm 时是否引起超速保安器动作？（假定超速保安器的动作转速为 $112\%n_0$ ）



《汽轮机原理》补充习题

补充习题 1. 完成某冲动级的热力计算。

某多级汽轮机转速 $n = 3000 \text{rpm}$ ，其某级的动叶平均直径 $d_m = 1300 \text{mm}$ ，该级的平均反动度 $\Omega_m = 0.20$ ，级的理想焓降 $\Delta h_t = 90 \text{kJ/kg}$ ，进口初速 $C_0 = 80 \text{m/s}$ ，全部被利用，汽流角 $\alpha_1 = 15^\circ$ ， $\beta_2^* = \beta_1 - 6^\circ$ ，离开本级的余速全部被下一级利用；已知蒸汽流量 $D = 1700 \text{t/h}$ ，喷管速度系数 $\varphi = 0.97$ ，动叶速度系数 $\psi = 0.95$ ，除喷管损失、动叶损失和余速损失外的其它级内损失为 2.10kJ/kg 。

- (1) 按比例绘制级的速度三角形。
- (2) 计算级的轮周效率、轮周功率。
- (3) 计算级的相对内效率、内功率。
- (4) 定性绘制级的热力过程线。

补充习题 2. 完成某反动级的热力计算。

某多级汽轮机转速 $n = 3000 \text{rpm}$ ，其某级的动叶平均直径 $d_m = 1250 \text{mm}$ ，该级为反动级，级的理想焓降 $\Delta h_t = 48 \text{kJ/kg}$ ，进口初速 $C_0 = 50 \text{m/s}$ ，全部被利用，汽流角 $\alpha_1 = 15^\circ$ ， $\beta_2^* = \alpha_1$ ，离开本级的余速全部被下一级利用；已知蒸汽流量 $D = 2500 \text{t/h}$ ，喷管速度系数 $\varphi = 0.97$ ，动叶速度系数 $\psi = 0.96$ ，除喷管损失、动叶损失和余速损失外的其它级内损失为 2.10kJ/kg 。

- (1) 按比例绘制级的速度三角形。
- (2) 计算级的轮周效率、轮周功率。
- (3) 计算级的相对内效率、内功率。
- (4) 定性绘制级的热力过程线。

补充习题 3.

某小型凝汽式汽轮机，额定工况下，主蒸汽流量 $D_0 = 100(t/h)$ ，调节级后蒸汽压力 $p_2 = 2.80(MPa)$ ，排汽压力 $p_c = 5(KPa)$ 且保持不变，机组仅有一个不调整给水回热抽汽，抽汽压力为 $p_e = 1.00(MPa)$ ，给水回热用抽汽量 D_e 为主蒸汽流量的 12%（保持固定比例不变），试作以下变工况分析计算：

- (1) 当 $D_{01} = 80(t/h)$ 时，求 p_{21} 、 p_{e1} ；
- (2) 在原额定工况流量下，若抽汽停运，求 p_{21} 、 p_{e1} ；
- (3) 在原额定工况流量下，若从抽汽点引额外蒸汽对外界供热， $D_{gr} = 40(t/h)$ ，求 p_{21} 、 p_{e1} ；
- (4) 在原额定工况流量下，若从抽汽点引额外蒸汽对外界供热，为保证对外供汽品质，要求抽汽压力 $p_{e1} \geq 0.588(MPa)$ ，求最大可用于供热的蒸汽量 D_{gr} ；
- (5) 当对锅炉进行改造，主蒸汽流量为 $D_0 = 120(t/h)$ ，试求解满足（4）中供热压力的最大供热抽汽量 D_{gr} ；
- (6) 分析（1）~（5）中各种情况下汽轮机的调节级、各级组的焓降和功率相对于额定工况时的变化。

补充习题 4. 参照教材 P93 图 3-13 调节级变工况曲线以及相关叙述，考虑在以下三种条件下，调节级在喷嘴依次逐个开启的过程中，各喷嘴组的工作状况，并在图上画出对应的压力、流量变化特性曲线。

- (1) 额定流量下（三阀全开，流量比达到 1.0 时），调节级汽室压力 $\frac{p_2}{p_0} = 0.40$ ；
- (2) 额定流量下（三阀全开，流量比达到 1.0 时），调节级汽室压力 $\frac{p_2}{p_0} = 0.60$ ；
- (3) 额定流量下（三阀全开，流量比达到 1.0 时），调节级汽室压力 $\frac{p_2}{p_0} = 0.80$ 。