

使用微计算机分析冷凝器振动

[美] S.S.米勒

美国热交换器学会1978年第七版“表面式蒸汽冷凝器标准”第6.2.4.5节中介绍了一种计算两支持板之间允许跨距的方法。在1982年5月第NP2371号电力研究学会(EPRI)报告“冷凝器管子更换准则手册”中,给出了使用这种方法的一种精确求解。此方法需要用试差法选择使管子受到最大动载荷的冷凝器压力与比容积。这里给出的程序是按照电力研究学会报告附件C的方法编制的。

程序的使用

该程序的开始假设运行条件为1英寸汞柱绝对压力与79°F相应温度,这是大多数工作冷凝器的运行条件。然后,以0.05°F的增量提高饱和温度,直至排汽管的速度等于在选定温度下声速的1/3而达到平衡。该程序直接计算出背压,不必使用蒸汽表。在此点产生的平衡代表了在管子上的最佳动载荷条件,这动载荷就是管子上的阻力:

$$W_D = C_D A \frac{\rho V^2}{2g}$$

止对外供热,迅速切换为由经过减温、减压装置的旁路管系来保证对热网连续供热),只有低压缸继续排汽做功。这将使机组转速继续上升,随着低压缸内蒸汽的排放、减少,转速开始下降($\frac{\Delta n}{n_0}$ 最大不得超过8%)。

在此过程中作用在蝶阀控制机构上的保安信号首先撤除,调节信号在额定转速的104.5~108%范围内控制蝶阀动作。因而随着转速的降低,蝶阀逐步开大。当转速降低至104.5%额定转速以下时,调节信号失去作用,蝶阀全开。当转速降低至接近空负荷转速或厂用电负荷转速时,作用在高压调节汽门和调整抽汽汽门上的保安信号也撤除。此时,调整抽汽门全开(汽机仍不对外供热),调节信号通过执行机构控制高压调节汽门维持机组空转或带厂用电运行。事故排除后,迅速并网,供电、供热。

为了防止甩电负荷后机组超速,还必须

尽量减少蝶阀的关闭时间,国外已可达0.1秒。为此,本方案为蝶阀油动机专门设置了快速放油油路。

由于本方案设计在我国还是首次进行,不足之处在所难免,许多问题还有待深入研究。但这必竟是一次相当有益的探索,并且有了一个好的开端。我们相信,经过继续努力,完全有希望主要依靠自己的力量,研制成功这种调节系统,为我国核热电事业的发展,做出贡献。

参 考 文 献

1. 抽汽式汽轮机译文集,上海汽轮机厂研究所技术情报室,1981年。
2. 哈尔滨汽轮机厂,汽轮机调节系统的设计,电力工业出版社,1980年。
3. [苏]B.M特罗扬诺夫斯基著,韩维奋等译,原子能电站汽轮机,原子能出版社1976年。

王岱祥 王洁如校对

然后，该程序得出在管子上的均匀载荷如下：

1. 蒸汽流过管子时的动力或阻力；
2. 管子重量；
3. 管子内的水的重量与蒸汽冷凝在管子外侧的冷凝水的重量。假设冷凝层为1/32英寸厚。

跨距的实际长度是以有中间支持件的及一端钉住而另一端简支的简支梁公式为基础而计算（图1与2）。其允许挠曲值限制在两管标称间距的一半以下）。

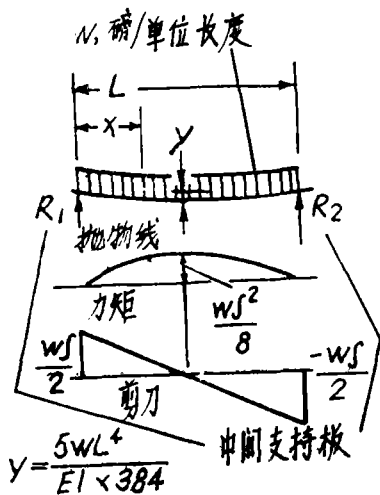


图1 有均匀载荷的简支

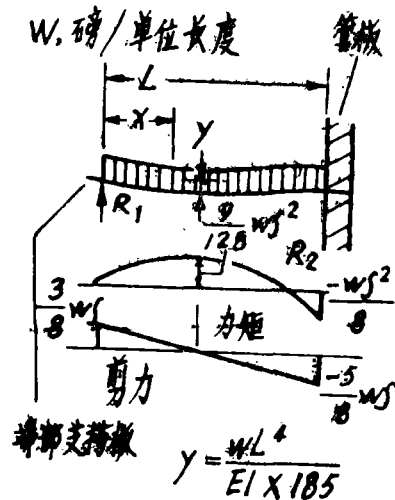


图2 一端简支另一端钉住（均匀载荷）

因为需要用迭代循环来计算最大动载荷下的蒸汽参数，计算机约用7秒时间完成此程序。然后，把结果打印出来。这些结果包括蒸汽参数、速度、各个管子载荷分量以及对中间支持件与端部支板的允许跨距（表1）。

使用长岛照明公司方法与电力研究学会方法所得结果的比较

表 1

运行

表面式冷凝器管子振动计算

存储单元#与管子材料? 电力研究学会例子，钛

蒸汽流量（磅/小时）=? 2300000

透平排汽口尺寸—长（英尺）=? 24

透平排汽口尺寸—宽（英尺）=? 30

管子外径（英寸）=? 0.875

管子内径（英寸）=? 0.819

管子材料密度（磅/立方英寸）=? 0.163

管子材料弹性模数（磅/平方英寸）=? 16900000

管心距（英寸）=? 1.125

续表
结果

	长岛照明公司	电力研究学会 NP-2371
比容 (立方英尺磅) =	525.8	528
背压 (英寸汞柱) =	1.26	1.25
饱和温度 (°F) =	86.19	85.93
排汽速度 (英尺/秒) =	466.6	468.5
临界速度 (英尺/秒) =	1399.7	1406
管子载荷—蒸汽 (磅/英寸) =	0.7033	0.713
管子载荷—管子重量 (磅/英寸) =	0.0121	0.012
管子载荷—循环水与冷凝水 (磅/英寸) =	0.0222	0.022
管子总载荷 (磅/英寸) =	0.7377	0.747
支持板之间的允许跨距 (英寸) =	31.5	31.4
管板与第一支持板之间的允许跨距 (英寸) =	39.2	N/A

完

中间支持件的使用

如果从上述分析,求得所选用材料的两支持板之间的跨距太长时,对此问题有两种解决办法。第一种办法是在更换管子之前制作一些中间支持板,然后把它们装进冷凝器里。这种办法一般避免使用,因为这种办法会带来一些难解决的困难。在中间支持板上必须钻制与管板上开孔完全一致的开孔,而且必须在停机开始时就已经制备完毕。中间支持板还必须在冷凝器内精确对准,且焊接在冷凝器壳体上。若不满足上述各点,且存在对准偏差,新管子便无法安装。停机时间的延长大大增加了燃料的消耗。

第二种办法是沿着管子之间的间隙插入一些通常是J形或发夹形的TP304SS插条。这些插条从顶部插入,由J弯头或U弯头固定在管束的最顶管子上并与其紧贴接触。有很多公用事业单位(包括长岛照明公司)已成功地采用了这种办法。

已经判明,振动破坏大多数发生在蒸汽进入冷凝器所经由的管束周边。管间插条通常制成深入到管束的第8—12排管子。若有迹象表明在管束的更深处也会发生振动破坏,则增加插条的长度。通常管束整个顶部与管束两侧向下80%的部分都装设管间插条。插条的宽度通常约为 $1\frac{1}{2}$ 英寸,厚度约为管板孔桥(管子表面之间的径向距离)的 $\frac{1}{2}$ 。参见表3与图4。它们位于两支持板的中间。若支持板的距离不均等(这是常有的情况),则只在其距离超过了允许值的支持板之间安装插条。

典型合金管子的特性

表2

	钛	90/10 铜镍	70/30 铜镍	铝黄铜	25%镍 20%铬 6%钼不锈钢	29%铬 4%钼不锈钢	TP304 不锈钢
弹性模数 $\times 10^{-6}$ 磅/英寸 ²	15.5	18	22	16	27	30.6	29
密度, 磅/英尺 ³	0.163	0.323	0.323	0.301	0.293	0.28	0.29

管子径规当量 表3

伯明翰径规	英寸
22	0.028
20	0.035
19	0.042
18	0.049

计算结果表明,使用钛管代替铜合金管后,其允许跨距大大缩短,这时钛管一定要装设中间支持件。但是,各种不锈钢管子的允许跨距一般比铜镍合金管子或铝黄铜合金管子只短几英寸,可以不增设支持件。是否需要增设,这取决于冷凝器的构形,并依据被代替管子过去的经验而定。参见表4。

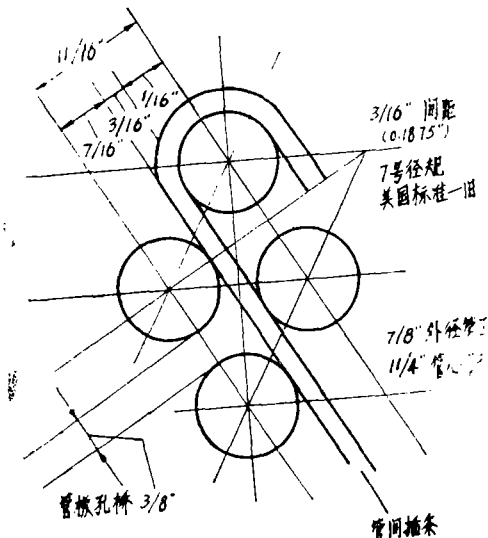


图3 管间插条细图

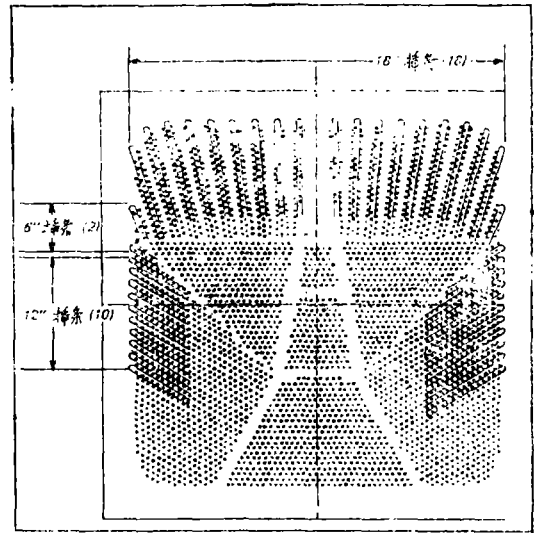


图4 管间插条布置

典型振动分析结果

表4

(7/8" 外径管子, 1.25" 间距, 200兆瓦电功率, 39" 平均间距)

* 原来材料	钛	90/10 铜镍*	70/30 铜镍	铝黄铜	25% 镍 20% 铬 6% 钼不锈钢	29% 铬 4% 钼不锈钢
允许跨距	33.1"	38.4"	40.4"	37.3"	37.8"	39"

冷凝器管子振动分析中使用的计算机程序

- 5 打印“表面式冷凝器管子振动计算”
- 10 输入“存储单元#与管子材料”, $FL\$$
- 15 输入“蒸汽流量, 磅/小时 =”, Q
- 20 输入“透平排汽口尺寸—长, 英尺 =”, L
- 25 输入“透平排汽口尺寸—宽, 英尺 =”, W
- 30 输入“管子外径, 英寸 =”, OD

35 输入“管子内径,英寸=” ; ID
 40 输入“管子材料密度,磅/立方英寸=” ; TD
 45 输入“管子材料弹性模数,磅/平方英寸=” ; E
 50 输入“管心距,英寸=” ; TP
 55 打印
 60 对 $T = 79 - 100$, 增量为 0.05
 65 $BP = 0.0724129 * T^9.119678E - 04 * T^2 + 5.607097E - 06 * T^3 - 1.796015$
 70 $VS = 59.9 * \text{SQR}(T + 460)$
 75 $VOL = 1.21357 * (T + 460) / BP$
 80 $VEL = Q * VOL / (3600 * L * W)$
 85 $VCRIT = 3 * VEL$
 90 $Z = VCRIT - VS$
 95 若 $ABS(Z) < 1$, 则105
 100 下步
 105 $SW = (VS^2) * OD / (4636.8 * VOL)$
 110 $TW = 0.7853982 * TD * ((OD^2) - (ID^2))$
 115 $WW = 0.0283615 * (ID^2 + (OD + 0.0625)^2 - OD^2)$
 120 $W = SW + TW + WW$
 125 $I = 0.0490874 * ((OD^4) * (ID^4))$
 130 $L1 = 2.25 * ((TP * OD) * E * I / W, \wedge 0.25$
 135 $L2 = (2.8 / 2.25) * L1$
 140 打印“结果”
 145 打印
 150 打印“比容,立方英尺/磅=” ; $TAB(69)$; 使用“###.#” ; VOL
 155 打印“背压,英寸汞柱=” ; $TAB(69)$; 使用“#.##” ; BP
 160 打印“饱和温度, $F =$ ” ; $TAB(69)$; 使用“###.###” ; T
 165 打印“排汽速度,英尺/秒=” ; $TAB(69)$; 使用####.# ; VEL
 170 打印“临界速度,英尺/秒=” ; $TAB(69)$; 使用“####.#” ; $VCRIT$
 175 打印“管子载荷—蒸汽,磅/英寸=” ; $TAB(69)$; 使用“#.#####” ; SW
 180 打印“管子载荷—管子重量,磅/英寸” ; $TAB(69)$; 使用“#.#####” ; TM
 185 打印“管子载荷—循环水与冷凝水,磅/英寸=” ; $TAB(69)$; 使用“#.#####” ; WW
 190 打印“管子总载荷,磅/英寸=” ; $TAB(69)$; 使用“#.#####” ; W
 195 打印“支持板之间的允许跨距,英寸=” ; $TAB(69)$; 使用“###.#” ; $L1$
 200 打印“管板与第一支持板之间的允许跨距,英寸=” ; $TAB(69)$; 使用###.# ; $L2$
 205 结束

庞维金译自《Power Engineering》1985年第11期 余永清校