

多并联回路的计算及应用

高吉国

(哈尔滨锅炉厂)

[提要] 本文给出单相流体的多并联回路的计算方法, 以及这一方法在热水锅炉设计计算中的应用。该方法简单, 但能解决复杂的问题。这是该法的主要特点。

主题词 锅炉 水循环 计算方法

符 号

ΔP —压降

ξ —阻力系数

w —流速 m/s

g —重力加速度 9.81m/s^2

下标

ld —理论值

\bar{r} —水的平均重度 kgf/m^3

G —水的重量流量 kgf/s

F —流交截面 m^2

h —回路中的位高差 m

一、前 言

随着热水锅炉的发展, 热水锅炉水动力计算书已成为设计必须提供的文件。为了设计循环可靠的热水锅炉, 探求新的水循环方式, 我厂提出了多并联回路的水循环计算方法及应用这一方法的新的水循环方式。

多并联回路的水循环计算, 按《电站锅炉水动力计算方法》进行。其计算方法立足于压差法原理, 并加以扩展。计算表明, 容量为 $1506.96 \times 10^4 \text{kJ/h}$ ($360 \times 10^4 \text{kcal/h}$) 以上的热水锅炉的循环水量方能满足要求, 小容量热水锅炉应用这一循环方式, 尚有一定困难。

本文收到日期: 1987年7月9日

采用这一水循环方式的热水瓶，无论是无锅筒，单锅筒，还是双锅筒均可。其运行特点是：当不需停电保护时，可将锅炉设计成多并联回路的直流方式；当需要停电保护时，则将锅炉设计成带有不受热下降管。突然停电时能自动转换成自然循环。同时，尚须满足正常运行时可靠性对强制循环水速的要求；并满足突然停电自动转为自然循环时，并联下降管的布置符合自然循环可靠性的要求。

设计同时满足上述要求的热水瓶，是我们欲予解决的课题。为此，我们提出了新的循环方式和计算方法。该循环方式已在实践中应用，经几千小时的运行，循环可靠。

二、多并联回路的水动力特性计算

在图1的多并联回路中，当 L_2 、 L_3 不存在时，则为单一强制循环回路，当回路中流动的工质是单相连续的热水瓶时，OP间的流动阻力损失按下式计算：

$$\begin{aligned}\Delta P_{ld} &= \Delta P_{ld}^A + \Delta P_{ld}^B + \Delta P_{ld}^C \\ &= \xi^A \frac{\bar{r}}{2g} (w^A)^2 + \xi^B \frac{\bar{r}}{2g} (w^B)^2 + \xi^C \frac{\bar{r}}{2g} (w^C)^2\end{aligned}\quad (1)$$

$$\therefore w = \frac{G}{Fr}$$

$$\therefore \Delta P_{ld} = \frac{1}{2g\bar{r}} \left(\frac{\xi^A}{(F^A)^2} + \frac{\xi^B}{(F^B)^2} + \frac{\xi^C}{(F^C)^2} \right) \cdot G^2 \quad (2)$$

$$\text{令 } C = \frac{1}{2g\bar{r}} \left(\frac{\xi^A}{(F^A)^2} + \frac{\xi^B}{(F^B)^2} + \frac{\xi^C}{(F^C)^2} \right)$$

$$\text{则式(2)为 } \Delta P_{ld} = CG^2 \quad (3)$$

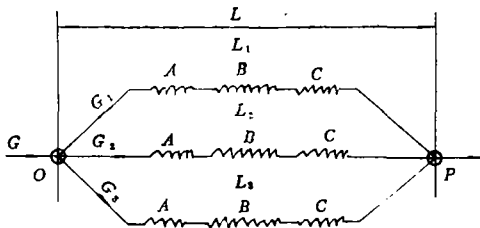


图1 多并联强制循环回路

由式(3)可见，当几何尺寸及介质参数已知， C 是常数组，可用计算的方法解出 $\Delta P_{ld} = CG^2$ 的关系曲线。这一曲线也可用作图法作出。实际上，如常数组 C 各参数已知，便可任设三个流量作出水动力曲线。但为使曲线仅适用工作点范围以减少作图误差，建议按下述方法作图：

1. 若管段 B 是受热上升管，则先设 B 段内受热允许流速 w_2^B ，以 w_2^B 为中值，再设 w_1^B 和 w_3^B ，以此为三点，以 B 段截面 F^B 算出该三点的重量流量 G_1 、 G_2 、 G_3 ；

2. 以流量 G_1 、 G_2 、 G_3 按下式算出 A 、 B 、 C 三段的对应流动阻力：

$$\Delta P_i = \xi^i \frac{G^2}{2gr(F^i)^2} = \frac{\xi^i}{2gr(F^i)^2} \cdot G^2 \quad (4)$$

用式(4)算出的 $\Delta P_{1i}^A, \Delta P_{2i}^A, \dots$ 等点,作 $\Delta P_{1i}^A = f(G^2), \Delta P_{1i}^B = f(G)^2, \Delta P_{1i}^C = f(G^2)$ 等的曲线。

3. 将上述三曲线用串联连接原则:“压差相加,流量相等”的方法,合成 $\Delta P_{1d} = \varepsilon f(G^2)$ 曲线。

至此便完成 L_1 回路的水动力曲线的作图。用作图法和公式法作出的曲线必然吻合。

当图1中同时存在 L_1, L_2, L_3 时,则为多并联回路。其水动力计算及流量分配同样有方程法和作图法两种解法。

1. 方程解法。在图1所示并联回路中,各回路间压差相等,流量相加,故得

$$\Delta P = \Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_3 \quad (5)$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (6)$$

由式(5)、(6)可得联立方程

$$\begin{cases} \Delta P_1 = \Delta P_2 \\ \Delta P_1 = \Delta P_3 \\ G = G_1 + G_2 + G_3 \end{cases}$$

上式中 ΔP_i 由 $\Delta P_i = C_i G_i^2$ 代入得

$$\begin{cases} C_1 G_1^2 = C_2 G_2^2 \\ C_1 G_1^2 = C_3 G_3^2 \\ G = G_1 + G_2 + G_3 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{式中 } C_i = \frac{1}{2gr} \left(\frac{\xi^A}{(F_i^A)^2} + \frac{\xi^B}{(F_i^B)^2} + \frac{\xi^C}{(F_i^C)^2} \right) \quad (18)$$

解联立方程(7),去掉负根,即可得流量 G_1, G_2, G_3 。并可得到在 G 流量下, L 回路的流动压降:

$$\Delta P_{1d} = \Delta P_{11d} = C_1 G_1^2$$

若考虑 OP 间的位差,则 OP 间的压差为:

$$\Delta P_{op} = \Delta P_{1d} + \Delta P_{zw} = \Delta P_{1d} + h_{op} \bar{r}$$

由式(8)可见,将 C 中任意截面改变,都将引起 C 值的变化,使式(7) G_i 的解改变。计算时可利用这一特性,采用逐次渐近法,得到较合理的流量分配。

若将式 $\Delta P = C_i G_i^2$ 变换得

$$G_i = \sqrt{\frac{\Delta P_{1d}}{C_i}}$$

$$\text{即得} \quad G_1 = \frac{\sqrt{\Delta P_{11d}}}{\sqrt{C_1}}; \quad G_2 = \frac{\sqrt{\Delta P_{1d}}}{\sqrt{C_2}}; \quad G_3 = \frac{\sqrt{\Delta P_{31d}}}{\sqrt{C_3}}$$

$$\therefore G = \Sigma G_i$$

$$\therefore G = \sqrt{\Delta P_{1d}} \left(\frac{1}{\sqrt{C_1}} + \frac{1}{\sqrt{C_2}} + \frac{1}{\sqrt{C_3}} \right)$$

$$\text{即:} \quad G = \sqrt{\Delta P_{1d}} \cdot \Sigma \frac{1}{\sqrt{C_i}}$$

$$\Delta P_{1d} = \frac{G^2}{\left(\Sigma \frac{1}{\sqrt{C_i}} \right)^2} \quad (9)$$

按式(9)可用解方程法求出 $\Delta P = f(G^2)$ 曲线,用此曲线即可按某流量查出该回路的流动阻力。

2. 图解法。其步骤如下:

(1) 将图1回路中 L_1 、 L_2 、 L_3 回路的水动力曲线按前述作图法作出;

(2) 将 $\Delta P_{11d} = f_i(G_i^2)$ 各曲线如图2所示画在一个座标上,在同一座标图上按压差相等,流量相加的原则合成 $\Delta P_{1d} = f(G^2)$ 曲线;

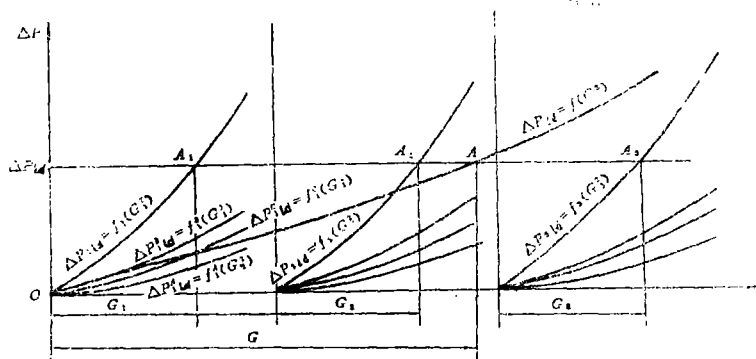


图2 用图解法作出的图解曲线

(3) 按已给出总流量 G ,在 G 轴上取点,作该点与 G 轴的垂线,与 $\Delta P_{1d} = f(G^2)$ 曲线交点 A_1 ,以 A_1 作轴平行线,与 ΔP 轴交点得 ΔP_{1d} ,与 L_1 、 L_2 、 L_3 水动力曲线各交点 A_1 、 A_2 、 A_3 。由 A_1 、 A_2 、 A_3 作 G 轴的垂线,与 G 轴交点得 G_1 、 G_2 、 G_3 ,即为 L_1 、 L_2 、 L_3 回路的流量;

(4) 为减少误差,便于分析,一般将各段水动力特性曲线作在一个坐标系上,如图2所示,可使各段流量和阻力都能一目了然。

图解所得总曲线应与方程法一致。方程法的特点是按式(8)能较早地调整 C 值,

对流量进行分配。而图解法只能在作图之后，分析结果。设计中往往两法同时兼用。

三、简单多并联回路的应用

图3是一简单多并联回路的热水锅炉，可描述为图1所示的回路。因此，可用图1的方法解图3的水动力特性。

图3中1、2、3回路的设计应尽量使水流量和热力分配相适应，使各回路出口水温基本一致。其方法是调整管段的截面和阻力系数，逐次接近所要求的分配水量。但水速应满足可靠性的要求。

简单多并联回路没有考虑停电保护。

四、具有停电保护下降管的多并联回路的设计与计算

图4为具有停电保护下降管的多并联回路热水锅炉示意图。它与图3所示回路的区别是每个回路都多了一条 B_i 支管。 B_i 支管的设计应满足锅炉对不受热下降管的要求。在锅炉正常运行时， B_i 支管按上升管运行。当突然停电，循环水量 $G = 0$ 时， B_i 支管自行转为下降管，形成停电保护的自热循环回路。

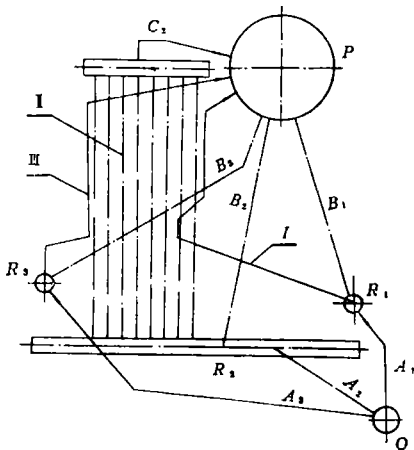


图3 简单多并联回路示意图

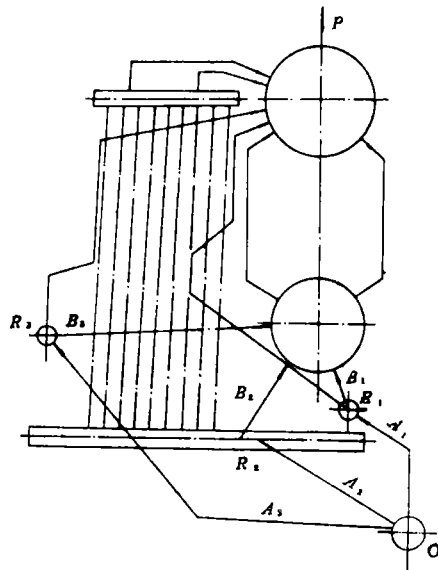


图4 带有停电保护下降管多并联回路热水锅炉示意图

在运行时 B_1 支管的流动方向可能出现下列三种情况：

$$1. \quad h_1 \bar{r}_1 + \xi_1 \frac{r}{2g} w_1^2 < h_1 r_{B1} \quad (10)$$

B_1 支管位差大于上升管压降， B_1 支管内水向下流动。

$$2. \quad h\bar{r} + \xi_1 \frac{\bar{r}}{2g} w_1^2 = h_2 r_{B1} \quad (11)$$

B_1 支管位差等于上升管压降, B_1 支管内水处在停滞状态。

$$3. \quad h_1 \bar{r} + \xi_1 \frac{\bar{r}}{2g} w_1^2 > h_1 r_{B1} \quad (12)$$

B_1 支管位差小于上升管压降, B_1 支管内水向上流动。

当将式(10)、(11)、(12)变为等式时, 可得:

$$h_1 \bar{r} + \xi_1 \frac{\bar{r}}{2g} w^2 = h_1 r_{B1} - \xi_{B1} \frac{r_{B1}}{2g} w_{B1}^2 \quad (13)$$

$$h_1 \bar{r} + \xi_1 \frac{\bar{r}}{2g} w_1^2 = h_1 r_{B1} \quad (14)$$

$$h_1 \bar{r} + \xi_1 \frac{\bar{r}}{2g} w_1^2 = h_1 r_{B1} + \xi_{B1} \frac{r_{B1}}{2g} w_{B1}^2 \quad (15)$$

由式(13)可得 $R_1 P$ 间上升管流动压降:

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P_{11d} &= \xi_1 \frac{\bar{r}_1}{2g} w^2 = \xi_1 \frac{G^2}{2g F_1^2 \bar{r}_1} \end{aligned} \right. \quad (13')$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P_{11d} &= h_1(r_{B1} - \bar{r}_1) - \xi_{B1} \frac{r_{B1}}{2g} w_{B1}^2 = h_1(r_{B1} - \bar{r}_1) - \xi_{B1} \frac{G_{B1}^2}{2g F_{B1}^2 r_{B1}} \end{aligned} \right. \quad (13'')$$

同理得:

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P_{11d} &= \xi_1 \frac{G^2}{2g F_1^2 \bar{r}_1} \end{aligned} \right. \quad (14')$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P_{11d} &= h_1(r_{B1} - \bar{r}_1) \end{aligned} \right. \quad (14'')$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P_{11d} &= \xi_1 \frac{G^2}{2g F_1^2 \bar{r}_1} \end{aligned} \right. \quad (15')$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P_{11d} &= h_1(r_{B1} - \bar{r}_1) + \xi_{B1} \frac{G_{B1}^2}{2g F_{B1}^2 r_{B1}} \end{aligned} \right. \quad (15'')$$

下面作图4中回路1的水动力曲线。若 \bar{r}_1 , r_1 及几何尺寸已知, 则可作出曲线, 如图5所示。作法如下:

1. 根据各管段几何特性, 列出阻力系数 ξ_1 , 根据热力特性列出受热段平均重度 \bar{r}_1 , 进口段水重度 r_{A1} , 并取 $r_{A1} = r_{B1}$ 。在考虑上升管平均重度 \bar{r}_1 时, 应考虑受热上升

管出口水温略高于锅炉出口水温。因为 B_1 支管上升的水温较低，它与受热管出口水混合后，才是锅炉出口水温。先假设受热上升管出口水温，然后用渐近法求出。

2. 当 r_1 已定时，则受热上升管水流量 G_1 （或相对应的水速 w_1 ）也已确定。为了作出曲线，以 G_1 为中点，假设 G_1 三个流量，按式(13')，(14')，(15')作出图5中曲线(2)，即为上升管曲线。这里的 G_1 是假设置。

3. 假设 B_1 支管向上流量 G_{B1} 的三个流量 G_{B1}' ， G_{B1}'' ， G_{B1}''' 。同时假设向下流量，其值可与向上流量相等，但流向相反。用式(13'')，(14'')，(15'')作图5中曲线(1)，即为 B_1 支管曲线。该曲线与 ΔP 轴交点 A 是式(14'')的解，(1) - A 表示式(15'')， A - (1')表示式(13'')。

4. 将曲线(1)与曲线(2)按压差相等，流量相加的原则合成曲线(3)，即为上升管与 B_1 支管的曲线。曲线(3)由 A - (1')曲线与 G 轴交点为起点，向上延申，与 ΔP 轴相交于 B 。

5. 与 G_1 ， G_{B1} 假设相适应，设 G_{A1} 的三个流量 G_{A1}' ， G_{A1}'' ， G_{A1}''' 作曲线(4)，即为 A_1 连接管的曲线。 G_{A1} 的流量应包括 G_1 及 G_{B1} 的流量。

6. 将曲线(4)与(3)按压差相加，流量相等原则合成曲线(5)，即得此回路的水动力特性曲线。

7. 用上述方法对各回路作图，得各回路曲线(5)、再以并联原则合成图6的曲线(6)，该曲线便是全炉的总水动力特性曲线。若流量 G 为一定，则在 G 轴上取 G 段，作 G 轴垂线，与曲线(6)交点 D ，由 D 点作 G 轴平行线与 ΔP 轴交点 ΔP_{1d} ，即为全炉的压降。此平行线与各回路曲线(5)交点分别为 D_1 ， D_2 ， D_3 。此三点与 G 轴的垂线交点 G_{A1} ， G_{A2} ， G_{A3} ，即为各回路流量。

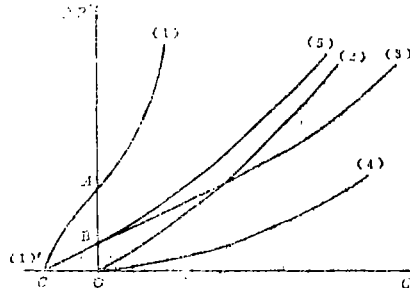


图5 带有 B_1 支管并联回路水动力特性曲线

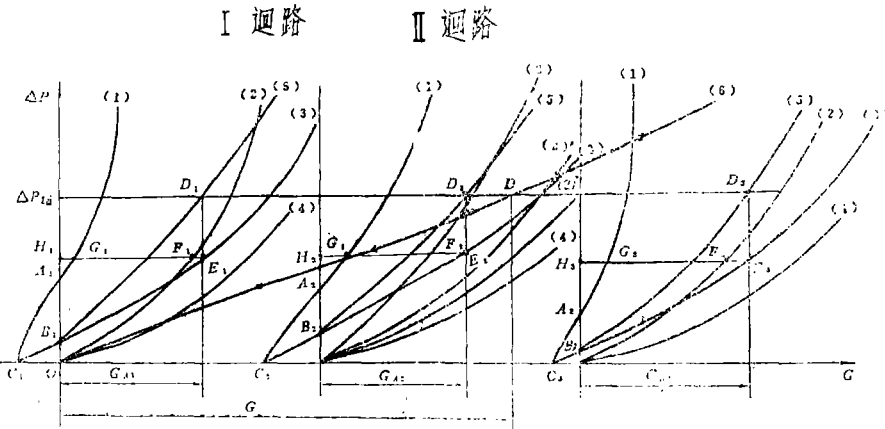


图 6

8. 分析图6 I 回路曲线: D_1 与G轴垂线交曲线(3)于 E_1 , 因曲线(3)由曲线(1)、(2)合成, 故作 E_1 与G轴平行线交曲线(2)于 F_1 , 曲线(1)于 G_1 , 交 ΔP 轴于 H_1 。则 F_1H_1 是I回路受热上升管流量, H_1O 是受热上升管的流动阻力, G_1H_1 是 B_1 支管流量。当 H_1 点在 A_1 点以上时, B_1 支管为向上流动。当 H_1 点在 A_1 点以下时, B_1 支管为向下流动。其他回路各值按此法依次类推。

9. 由图6还可以查出 A_i 供水管流动阻力及回路上部连接管阻力等, 在此不多叙述。

这里, 对图6作如下说明:

1. 前已述及, B_i 支路水的重度 r_{B_i} 取为供水管 A_i 水重度。这是切合实际情况的。因为如出现 B_i 支管向下流动, 则将因锅筒热水流入导致 B_i 支管 r_{B_i} 值减小。因而由下降转为停滞。只有某回路受热上升管流速太低, 并且受热强度太高, 而其他回路出口水温低的条件下, 才会出现 B_i 支管长期下降流动。但这是不正常的, 设计时应予以纠正。故该动力特性曲线只能代表 B_i 支管停滞和上升的流动特性。

2. 由图6可知, 当 $G = 0$ 时, 全炉阻力降 $\Delta P_{id} = 0$, 但各回路中 B_i 支路都有下降流量, 这流量就是供给受热上升管的水量。这一特性代表突然停电瞬间锅炉的水动力状态。

3. 由图6求得的压降仅是流动阻力降。求全压降, 还应考虑位差压降, 即

$$\Delta P = \Delta P_{id} + \sum h_{iri} \tag{16}$$

这里的 $\sum h_{iri}$ 指 n 段位差的压差和。

4. 在实际应用中, 往往布置成图7所示的系统。其特点是在突然停电时, 可调动全炉水量参加循环, 起到停电保护作用。计算时, 须作如下假设: (1) B 支管没有向下流动; (2) 对流管束只考虑位差压降, 不考虑流动阻力损失。

五、结 论

1. 多并联回路的热水锅炉, 以现行的水动力计算方法为基础, 经过简单的数学变换, 用公式法或图解法均可计算, 其误差也在现行计算方法允许范围内。

2. 多并联回路热水锅炉作为一种强制流动的水循环方式, 经过实炉运行证明, 水循环是可靠的。

3. 多并联回路热水锅炉的设计, 还受到循环水量的限制, 在设计时应注意这方面的核算, 必要时, 采用较小的管径做受热面是适宜的。

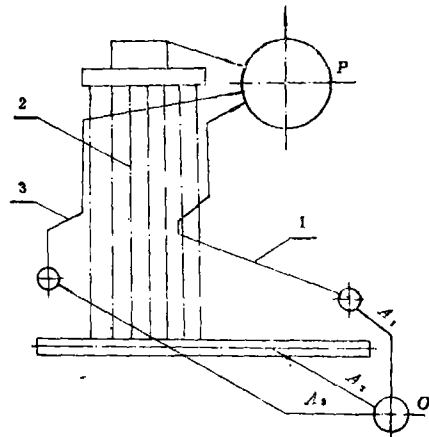


图7

Calculation and Application of Multiple Parallel Loops

Gao Jiguo

(Harbin Boiler Manufacturer)

Synopsis

This paper gives a description of a method for calculating multiple parallel loops of single phase fluid and its application in the design and calculation of hot water boilers. This simple method is characterized by its unique ability to solve complicated problems.

Key words: boiler; water circulation; calculation method

征 稿 启 事

“热能动力工程”期刊将要向国外发行，我们高兴地把这一消息告诉给您。热情地欢迎您积极投稿，本刊愿为您的科研成果和成就的发表提供一方园地，竭诚为您服务！

“热能动力工程”期刊是由哈尔滨船舶炉轮机研究所主办的。它是一本以报道国内外热能动力工程方面的理论和实践经验为主要内容的综合性和技术性的刊物。

“热能动力工程”期刊有广大的读者。它是从事锅炉、蒸汽轮机、燃气轮机、齿轮传动及其主动力系统的研制工作人员的良师益友。它在开阔视野，开发新的研究项目，促进热能动力工程的发展方面起到一定的桥梁作用。

我们衷心地希望您能踊跃投稿，给予本刊关怀和支持并提出您的宝贵建议与要求。

本刊稿件要求：每篇文章一般不超过4000字，文章重点突出、文字简练，图表清晰，要用法定计量单位制。注意执行国家保密守则。

《热能动力工程》编辑部

需要1986年和1987年过刊的单位和个人，请直接与本编辑部联系。