

全民節約用電 全民興辦電站

測量蒸汽和水的流量仪表

遼吉電業管理局沈陽中心試驗所熱工室

趙俊鐸編

遼寧人民出版社

前 言

自从全民办电以来，土鍋爐、土汽輪机和蒸汽机等动力設備，發揮了显著的作用，有了很大的发展。但是土鍋爐的蒸发量和土汽輪机、蒸汽机的汽耗数值，由于缺乏測量仪表，因而无法进行測定，同时也难于从耗汽量的大小上发现汽輪机結構上的問題，进行技术鑑定。本書介紹了一种适合土鍋爐、土汽輪机和蒸汽机使用的測量蒸汽和水的流量仪表，这种仪表制造起来比較簡易，成本只有百元左右，对于提高土鍋爐、土汽輪机和蒸汽机的运行效率却有很大的意义，值得各地办电人員参考。

中共辽宁省委电力指挥部办电組

目 录

一 测量流量的简单原理.....	1
二 节流板孔径的计算.....	3
(一) 计算节流板孔径所需的数据.....	3
(二) 节流板孔径的计算.....	4
三 节流装置和测量用压差计的构造与安装上的注意事项.....	8
(一) 节流装置的构造.....	8
(二) 在制造节流装置时的要求标准.....	11
(三) 压差计的构造.....	11
(四) 压差计的刻度.....	14
(五) 安装上的技术要求.....	17
四 使用方法.....	19
(一) 起动前的准备工作.....	19
(二) 起动.....	19
(三) 读数和流量的换算.....	20
(四) 压力温度修正方法.....	20
五 附图和附表.....	20

一 測量流量的簡單原理

在各工業部門的熱力過程中，測量液體、汽體等流量的方法，一般都利用節流裝置變壓降的方法，其基本原理是在輸送管道上設有節流裝置（縮孔），當流體通過節流縮孔時，由於截面積縮小，使流體的流速加快，隨之位能減少，動能增加。因而在節流縮孔前後就產生了壓力差 H （圖 1）。在截面 I、II 處的能量變化情況由伯努力方程式表示。

即：

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{\omega_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{\omega_2^2}{2g} + \lambda \frac{\omega_2^2}{2g}$$

式中：

$\frac{P_1}{\rho_1}$ 及 $\frac{P_2}{\rho_2}$ —— 在截面 I

及 II 中心處流體的位能（壓力能）；

$\frac{\omega_1^2}{2g}$ 及 $\frac{\omega_2^2}{2g}$ —— 在截面 I

及 II 處流體的動能；

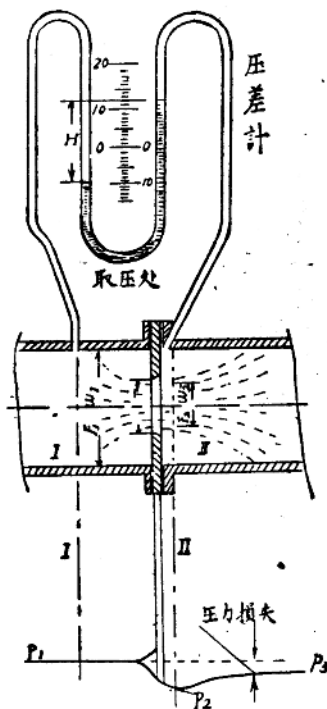


圖 1 節流孔前後流束特性及壓力變化情況

$\lambda \frac{\omega_1^2}{2g}$ ——流体在节流装置中的摩擦损失;

P_1 及 P_2 ——在截面 I 及 II 处的压力;

τ_1 ——流体的比重;

ω_1 及 ω_2 ——在截面 I 及 II 处的平均流速。

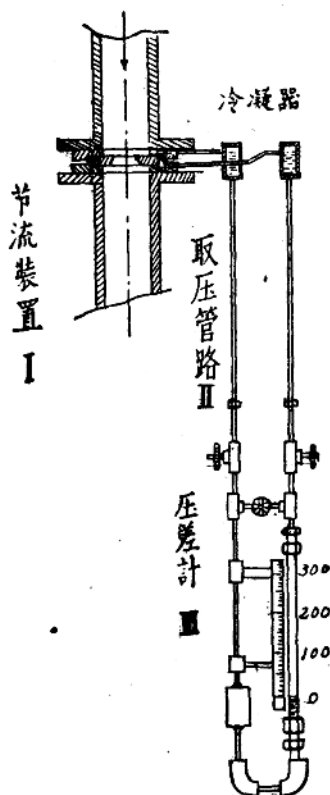


图 2 整套流量表系统图

由上式说明：流体通过有缩孔的管道时，在截面 I 和 II 处位能和动能起了变化，但总的能量是不变的。由于节流装置和管道不可能绝对光滑而产生微小的压力损失 $\lambda \frac{\omega_1^2}{2g}$ 。当

流量发生变化时，流速随之而增减，压力差也相应的发生变化，故测得其压力差 H 即可推算出通过管道的流量值。

根据伯努力方程式和有关的基本定理的推导，确定了计算流量的实用公式。

$$G = 0.04436 \alpha \cdot \varepsilon \cdot K_r \cdot d^2 \sqrt{H \tau}$$

式中：

G ——设计流量 公斤/小时或吨/小时;

α ——流量系数;

ε ——被测流体的膨胀修正系数，水的 $\varepsilon = 1$;

K ——节流板材料的热膨胀修正系数；

d ——节流板的孔径，以公厘表示；

H ——设计压差，以公厘水银柱减水柱表示；

r ——被测流体的比重，以公斤/立方公尺表示。

利用压力降法测流量的全套设备由以下的三部分組成（图 2）：

1. 节流装置：为发生压力差的部分，也就是发出讯号的机构。其本身由节流板、法兰盘、取压管和冷凝器等元件組成，如图 2 中 I 所示。

2. 取压管路：为将压力差傳送到压差計的连接管路，如图 2 中 II 所示。

3. 压差計：为测量节流装置产生压差用的仪表，該压差計的标尺上也可以刻上流量，以便于取讀数，如图 2 中 III 所示。

二 节流板孔径的計算

测量流量的整套设备由节流装置、取压管路和压差計（流量表）等部分組成。其中节流装置的节流板孔径計算的是否正确，是決定整套测量设备是否准确的关键，故在計算节流板孔径时应精确可靠。現在介紹較简单的求节流板孔径的方法如下。

（一）計算节流板孔径所需的数据

主管內徑 (D) 单位以公厘表示；

設計压力 (P) 单位以 公斤/平方公分表示；

設計溫度 (t) 单位以 $^{\circ}\text{C}$ 表示；

設計压差 (H) 单位以公厘水銀柱減水柱表示；

設計流量 (G) 单位以公斤/小时或吨/小时表示。

在确定計算数据时，压差要取的适当，不可过大。若过大时，压力损失会增加，太小时，使测量的精确度降低。一般在测量小流量低压力的流体时，压差在 300 公厘（水銀柱減水柱）以下为宜。設計压力取绝对压力，即绝对压力 = 表压力 + 1 大气压。

(二) 节流板孔徑的計算

为了計算简单，在对計算孔徑的精确度影响不大的情况下，略去了一些計算步骤和修正系数。

求液体和汽体节流板孔徑的公式：

$$m \cdot \alpha = \frac{G}{0.04436 \epsilon \cdot K_t \cdot D^2 \sqrt{H \cdot r}}$$

式中： G ——設計流量公斤/小时；

D ——主管內徑公厘；

H ——設計压差公厘（水銀柱減水柱）；

r ——被测流体的比重公斤/立方公尺；

m ——节流板孔徑和主管內徑的直徑比的平方，

$$m = \frac{d^2}{D^2}；$$

α ——流量系数；

ϵ ——被测汽体的膨脹修正系数，水 $\epsilon=1$ ，汽 $\epsilon<1$ ；

K_t ——节流板材料的热膨脹修正系数；

$m \cdot \alpha$ ——直徑平方比和流量系数的乘积；

d ——节流板孔徑，公厘。

驗算液体和汽体流量用的公式：

$$G = 0.04436 \alpha \cdot \epsilon \cdot K_t \cdot d^2 \sqrt{H \cdot r}$$

各系数的求法:

流量系数 (α) 根据计算出的 $m \cdot \alpha$ 值由附图中查出。

汽体的膨胀修正系数 (ε) 利用下式求得:

$$\varepsilon = [0.40 + 0.46(m)^2] \times 6.386 \times 10^{-4} \frac{H}{P}$$

节流板材料的热膨胀修正系数 (K_t) 由下式求出:

$$K_t = 1 + 2\alpha_t(t - 20)$$

式中: K_t ——材料的热膨胀修正系数;

α_t ——材料的线膨胀系数;

t ——节流板工作条件下的温度 $^{\circ}\text{C}$;

在 $200-300^{\circ}\text{C}$ 时的 α_t 值为:

鋼 $\alpha_t = 0.0000124$

青銅 $\alpha_t = 0.000018$

黃銅 $\alpha_t = 0.00002$

节流板孔徑的计算步骤:

1. 在计算节流板孔徑以前, 首先确定有关参数, 即节流板工作条件下流体的性质、压力、温度、主管內徑、最大流量和压差等计算数据:

P ——公斤/平方公分; t —— $^{\circ}\text{C}$; G ——公斤/小时;

D ——公厘; H ——公厘 (水銀柱減水柱)。

2. 求节流板材料的温度修正系数:

$$K_t = 1 + 2\alpha_t(t - 20)$$

3. 利用公式求 $m \cdot \alpha$ 值, 在计算中設 $\varepsilon = 1$ 。

$$m \cdot \alpha = \frac{G}{0.04436 \varepsilon \cdot K_t \cdot D^2 \sqrt{H \cdot r}}$$

4. 根据求出的 $m \cdot \omega$ 值由附图中查得 α 值和求出 m 值。
5. 根据 m , H 和 P 利用公式求出 ε 值:

$$\varepsilon = 1 - [0.40 + 0.46m^2] \times 6.386 \times 10^{-4} \frac{H}{P}$$

6. 根据 ε 值求出精确的 $(m \cdot \omega)'$ 值:

$$(m \cdot \omega)' = \frac{m \cdot \alpha}{\varepsilon}$$

7. 用 $(m \cdot \omega)'$ 值从附图中查得精确的 α' 和求出 m' 值。
8. 故精确的节流板孔径 (d)。

$$d = D \sqrt{m'}$$

9. 最后用流量公式校验节流板孔径。

$$G' = 0.04436 \omega' \cdot \varepsilon \cdot K_t \cdot d^2 \sqrt{H \cdot r}$$

10. 求误差。

$$G\% = \frac{G - G'}{G} \times 100$$

举例:

已知数据: 测蒸汽流量, 节流板材料用铜 $\alpha_t = 0.0000124$;

$G = 5$ 吨/小时 = 5000 公斤/小时;

$P = 5.5$ 公斤/平方公分绝对压力;

$t = 213^\circ\text{C}$;

$D = 150$ 公厘;

$H = 120$ 公厘 (水银柱减水柱);

$r = 2,470$ 公斤/立方公尺由附表 2 查得:

$$K_t = 1 + 2\alpha_t(t - 20)$$

$$= 1 + 2 \times 0.0000124(213 - 20)$$

$$= 1.005$$

$$\begin{aligned}
 m \cdot \alpha &= \frac{G}{0.04436 \cdot \varepsilon \times K_t \times D^2 \sqrt{H \cdot r}} \\
 &= \frac{5000}{0.04436 \times 1 \times 1.005 \times (150)^2 \sqrt{120 \times 2.47}} \\
 &= 0.2895
 \end{aligned}$$

根据 $m \cdot \alpha = 0.2895$ 由附图查得:

$$\alpha = 0.6781$$

$$m = \frac{0.2895}{0.6781} = 0.427$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= 1 - [0.40 + 0.46 \times 0.427^2] \times 6.386 \times 10^{-4} \frac{120}{5.5} \\
 &= 0.993
 \end{aligned}$$

精确的 $(m \cdot \alpha)'$

$$\begin{aligned}
 (m \cdot \alpha)' &= \frac{m \cdot \alpha}{\varepsilon} = \frac{0.2895}{0.993} \\
 &= 0.2915
 \end{aligned}$$

根据 $(m \cdot \alpha)'$ 由附图中查得:

$$\alpha' = 0.6789$$

$$m' = \frac{0.2915}{0.6789} = 0.4298$$

故节流板孔径:

$$\begin{aligned}
 d &= D \sqrt{m'} = 150 \sqrt{0.4298} \\
 &= 98.33 \text{ 公厘}
 \end{aligned}$$

流量验算:

$$\begin{aligned}
 G' &= 0.04436 \cdot \varepsilon \cdot K_t \cdot \alpha' \cdot d^2 \sqrt{H \cdot r} \\
 &= 0.04436 \times 0.993 \times 1.005 \times 0.6789 \\
 &\quad \times (98.33)^2 \sqrt{120 \times 2.47} \\
 &= 4998 \text{ 公斤/小时} = 4.998 \text{ 吨/小时}。
 \end{aligned}$$

誤差:

$$G\% = \frac{G' - G}{G} = \frac{5000 - 4998}{5000} \times 100 = 0.04\%$$

誤差應小於 0.02%

根據計算節流板的孔徑 $d = 98.33$ 公厘。

三 節流裝置和測量用壓差計的構造與安裝上的注意事項

(一) 節流裝置的構造

節流裝置由節流板、夾環、法蘭盤和前後取壓管以及冷凝器等部分組成(圖3)。節流板是由不銹鋼、碳素鋼或銅等材

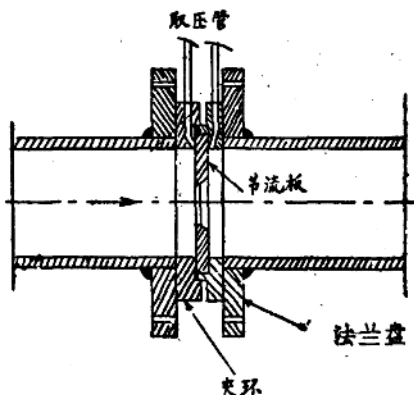


圖 3 節流裝置的構造

料制成。它本身就是一個圓板，根據計算的尺寸，中間車成孔，入口成圓柱形，出口成圓錐形擴散(圖4)。

夹环的构造如图 5 所示，在制造时注意 $D_1 - D \geq 60$ ， $D_1 - D_2 \leq 10$ 公厘。夹环的内径要等于主管的内径。为了制造和使用方便，可以将节流板和夹环制在一起，如图 6 所示。制造时 $D_1 - D \geq 60$ ， D 为主管内径。

冷凝器是一个密封的圆筒，其上设有进汽管（与节流装置的取压管相接）和到压差计的水管（图 7）。其作用是将汽凝结为水引入压差计，以便把节流装置产生的压差传送给压差计。另外也起水柱的平衡作用。

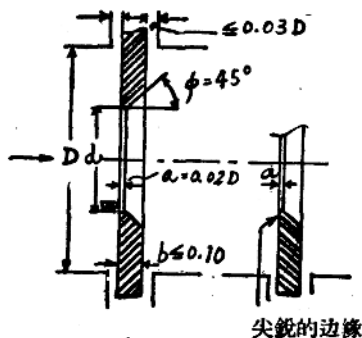


图 4 节流板

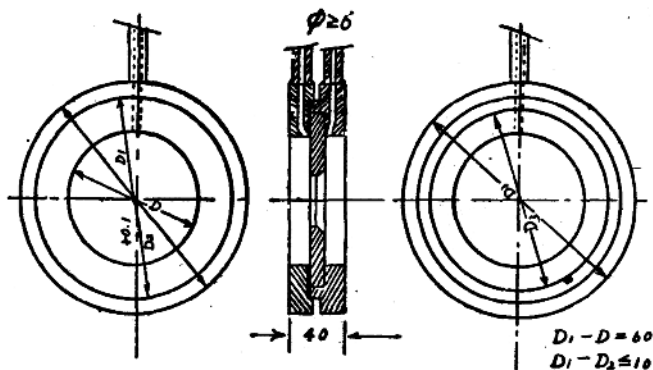


图 5 夹环的构造图

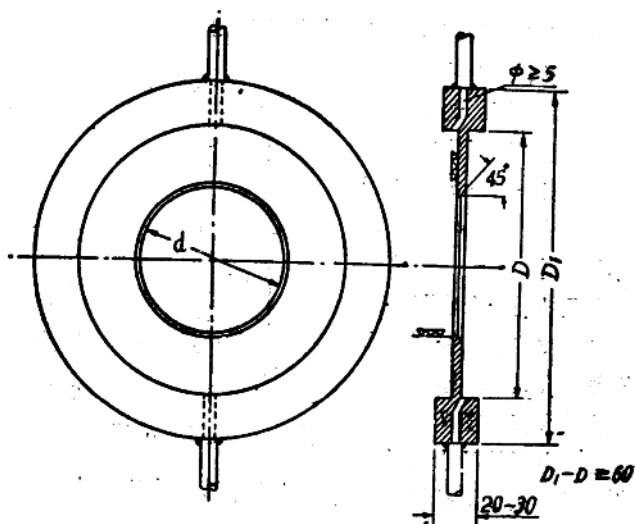


图 6 帶取压孔的节流板構造图

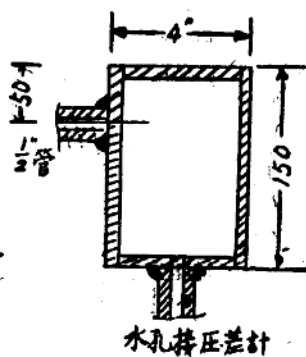


图 7

(二) 在制造节流装置时的要求标准

1. 节流板的厚度一般在3公厘以上，10公厘以下。
2. 节流板孔徑入口的圆柱部分的长度，根据 $a \leq 0.02 D$ 的条件来确定。但节流板孔徑的圆柱部分的长度和节流板厚度的比应等于 $\frac{a}{b} = 0.2$ 。
3. 节流板孔徑的出口部分成圆锥形扩散，其扩散角度应在 35° — 45° 之間，一般都作成 45° 角。当 $b \leq 0.02 D$ 时，則不需要作成圆锥形扩散部分。
4. 节流板表面按6級和7級的精确度加工，尤其入口的圆柱部分必須精細加工。入口邊緣应当作得很尖銳成 90° 角，且不許有毛刺、滑痕、凹坑和圓角等。
5. 节流板孔徑加工的精确度：
当 $m \leq 0.45$ 时，孔徑准确度到 $\pm 0.001 d$ 。
当 $m > 0.45$ 时，孔徑准确度到 $\pm 0.0005 d$ 。
6. 取压孔的直徑 ≥ 5 公厘。
7. 在焊接法兰盘时或取压管时不許将焊水流入管内。法兰盘与主管內徑，几何中心一定要一致。

(三) 压差計的构造

压差計是用来测量节流板前后压力差的仪器。根据其压差可以推算出流量的数值，也可以在标尺上刻上流量的刻度，以便于取讀数。其构造很简单，是由两个玻璃管連成的U形管，管内充一半水銀（图8）。

压差計主要有双管式和单管式两种，这两种压差計，在測量上以单管式为最好，因为它讀数方便。在准确度方面这两种压差計是差不多的。

双管式压差计如图7所示，其构造相当简单。该表的组成元件，是由两个弯头①，和一段水管及活接头②，将两根玻璃管③连接在一起组成一个U形管。为了使用方便并安上了平衡门④和闭路门⑤。为了使用方便也安上了刻有压差刻度的标尺⑥，

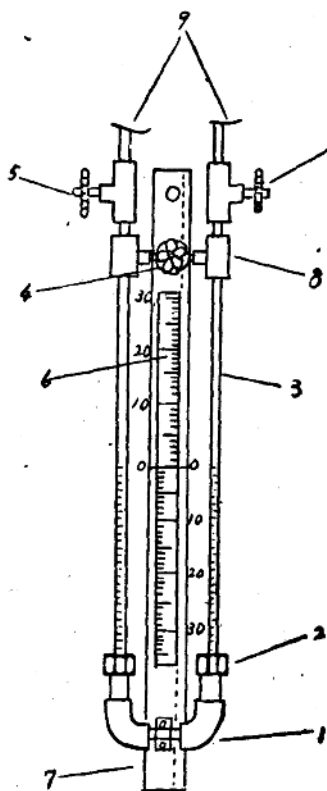


图 8 双管式压差计

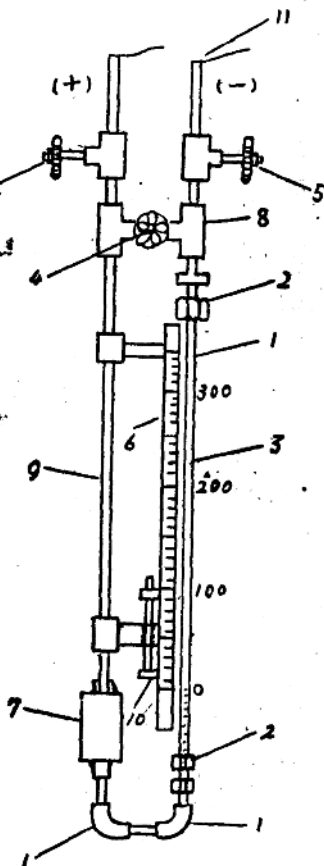


图 9 单管式压差计

(刻度以公厘計算)。怕玻璃管的强度不够，所以用三角鉄⑦固定起来。使用时将压差計灌上水銀，調好零位后，即可将取压管接在⑨上。当輸送管有流量时，压差計內即产生压力差，水銀柱一个上升一个下降，由刻度上可以看出压差的指示值。根据压差即可以算出流量值。

单管式压差計的构造如图 9 所示。

- ①——弯头 $\frac{1''}{2}$ ；②——活接头，其构造如图 10 所示；
 ③——玻璃管，內徑 5 公厘，外徑 12 公厘；④——平衡門；
 ⑤——正负压閉路門；⑥——刻度尺（公厘）；⑦——正压容器，內充有水銀，其构造如图 11 所示；⑧—— $\frac{1''}{2}$ 三通；

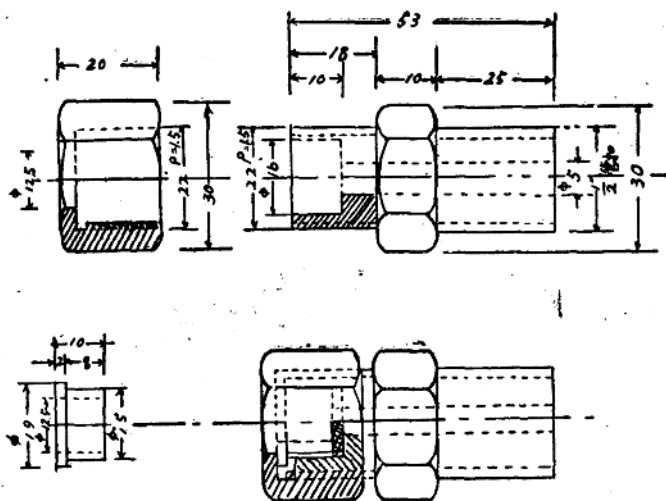


图 10 活 接 头

⑨—— $\frac{1}{2}$ " 水管；⑩——調零螺絲；⑪——（+）号接节流板前取压管，（-）号接节流板后取压管。

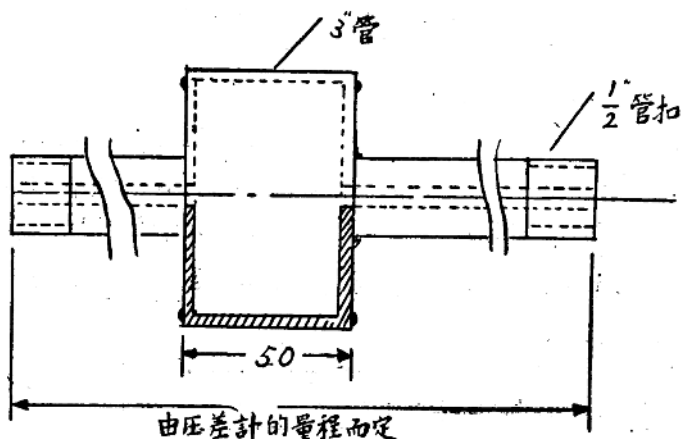


图 11 正 压 容 器

（四）压差計的刻度

1. 双管式压差計的刻度：双管式压差計的刻度很简单，取标尺的一半作零点，由此往上和往下用公厘分刻度即为压差計的刻度。在测量时用压差的讀数换算为流量。

根据流量公式可知压差与流量成平方关系，其换算方法如下：在换算时首先确定最大流量（設計） G 和相应的最大压差 H ，后用下式算出压差与流量的相应值。

$$H_x = H \frac{G_x^2}{G^2}$$

式中： H ——最大压差以公厘表示（水銀柱減水柱）；