

矿井排水設備
工業試驗

内 容 提 要

書中介紹了水泵各種特性的測定方法及其改進意見，還講述了排水設備工作特性曲線的繪制。

本書可供從事水泵試驗的工作人員及研究人員參考。

10
3
13

1421

矿井排水設備工業試驗

何 經 華 編 著

•

煤炭工業出版社出版(社址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可証出字第084號

煤炭工業出版社印刷廠排印 新華書店發行

•

開本 787×1092 公厘 $\frac{1}{32}$ 印張 $2\frac{7}{16}$ 插頁 2 字數 48,000

1960年2月北京第1版 1960年2月北京第1次印刷

統一書號：15335·1068 印數：0,001—4,000冊 定價：0.36元

252.33

906

目 录

第一章 概述	3
第二章 水泵特性测定	5
§1. 流量测定(一)——机翼法	6
§2. 流量测定(二)——负压法	16
§3. 流量测定(三)——其他	25
§4. 扬程测定	48
§5. 水泵效率	50
§6. 汽蚀特性的测定	51
第三章 管系特性测定	54
第四章 电动机特性测定	57
§1. 固定損和轉子銅損	57
§2. 靜子輸入功率及 $\cos \varphi$	60
§3. 轉差率的測定	65
§4. 轉子輸出功率和电动机效率	67
第五章 排水設備工作特性曲綫的繪制	69
§1. 水泵单独運轉特性曲綫	69
§2. 并聯運轉的特性曲綫	69
§3. 串聯運轉的特性曲綫	77

252.33

906

目 录

第一章 概述	3
第二章 水泵特性测定	5
§1. 流量测定(一)——机翼法	6
§2. 流量测定(二)——负压法	16
§3. 流量测定(三)——其他	25
§4. 扬程测定	48
§5. 水泵效率	50
§6. 汽蚀特性的测定	51
第三章 管系特性测定	54
第四章 电动机特性测定	57
§1. 固定损耗和转子铜损	57
§2. 定子输入功率及 $\cos \varphi$	60
§3. 转差率的测定	65
§4. 转子输出功率和电动机效率	67
第五章 排水设备工作特性曲线的绘制	69
§1. 水泵单独运转特性曲线	69
§2. 并联运转的特性曲线	69
§3. 串联运转的特性曲线	77

第一章 概 述

在提高排水效率、节约煤矿排水用费的工作中，矿井排水设备的工业试验具有重要意义。首先，当新排水系统投入“生产”时，必须经过全面性的测定试验，以鑑定其排水系统的布置和设备容量的配备等是否合理，如有不合理处，以便及时调整和修改；同时也为正式运转后在选择经济工作范围上作出可靠的根据。对已有的排水设备，在每次大修前后，也应全面性的试验，以鑑定大修质量，总结检修经验，为进一步改进检修工作建立有力的基础。此外在日常运转中，为了掌握排水设备工作性能的变化情况（如水轮磨损、水管积泥……等等）；以便及时提出处理措施，阻止效率下降，更必须对主要排水设备进行经常监督性的试验。监督性的试验可在日常工作点上进行，鑑定性的试验则必须进行全部工作点的测定，作出排水设备的以下基本特性曲线：

1. 流量—扬程曲线($Q-H$)；
2. 流量—功率曲线($Q-N$)；
3. 流量—水泵效率曲线($Q-\eta_a$)；
4. 流量—管道阻力曲线($Q-\phi(Q^2)$)；
5. 流量—汽蚀特性曲线($Q-H_{an}$)；
6. 电动机效率曲线（对应于流量或功率）；
7. $\cos \varphi$ 曲线（对应于流量或功率）。

其中汽蚀特性曲线在安装前测一次即可，以后一般可以不

再測。但运行中对水輪等水泵的主要部件經過設計修改后仍应重測，据此以確定吸水管高度是否应調整。

測定試驗时应注意以下几方面的工作，以減少和避免測定操作时可能导致的誤差。

首先，每一排水系統的全部排水設備——电机、水泵管路必須同时一起試驗，每一測定点所有讀数均应代表同一时刻的运转情况。为了避免瞬时誤差，每一測定点試驗的时间至少应有水流流經管路三倍所需的时间，即 $T = 3t$ ， t 为水流流經全部管路所需的时间， T 为每点測定时间。讀数取該时间内最稳定的数值除汽蝕特性曲綫外。測时排水設備运转环境必須和实际工作环境完全相同。一部分矿井为了便于在泵房內或泵房附近測流量，往往临时断开大部分管路，另走特定試驗管測定，这样所測結果会得出与事实不符的結論，故应避免。

其次，对水泵軸功率即电机(轉子)輸出功率一般均以电机輸入功率与电机銘牌效率直接算得，即：

$$N = \eta_n P$$

式中 N ——电机輸出功率；

η_n ——电机銘牌效率；

P ——电机輸入功率。

这样算法是不正确的，因为电机效率在不同負荷时各有变化，而且銘牌效率对使用較久和經過大修的电机即使在額定負荷时也不一定还有代表意义，为此应按第四章所述另詳細測定。

一般矿水在井下温度变化較少，测时对水温的影响可

不考慮。但對泥漿、“礦雜”含量較多的礦水應先測知比重，不能以普通清水比重代之計算礦水比重。根據我國礦井條件一般約在 1010~1030 公斤/立方米之間，故其影響不宜忽略。

測時採用關閉排水閘門調節流量。流量調節由大而小，即水門由全開而漸漸關閉，這樣在操作上比由關而開較為方便，在精確度上也比後者為高。每一水泵在鑑定性試驗時至少應有 5~8 個測點，即調節流量 5~8 次。

轉數最好不要用轉數表測，轉數表指示中差四、五圈時，根本反映不出來，何況經使用後它本身又常常容易損壞，使指示轉數與實際轉數會有不少誤差，為此建議採用第四章 §3 所述方法精確測得。

第二章 水泵特性測定

水泵測定中，流量測定的改進是當前簡化礦井排水設備試驗和提高試驗精確度的主要關鍵，對此我們的要求是：

(一)在泵房內測流量，以減少目前測時需人較多、各處一方，彼此聯繫不方便。並將日常監督性試驗工作交由司機去執行，作為日常運行的重要數據之一，逐日填記。

(二)測知并聯運轉的每台水泵的排水量，以便比較并聯運轉的經濟意義。

(三)盡量減少和避免測定儀表對管路所增加的額外阻力，使測得結果能完全反映實際工作情況。

(四) 保证工业需要上最高的精确度。

为此我们在水泵特性测定中对流量的测定作了较多的探讨。不少文献中多推荐用水池测流量，根据我们实际使用后的体会，觉得水池法不是我们发展的方向。因为，这种方法除了对上述所提要求大部分不能满足外，更主要的是水池一般多为固定建筑，建设费用大，维护困难，利用率低。鉴于用水池测流量无需作较多的中间理论计算，故本书对此不再详细讨论。

§ 1. 流量测定(一)——机翼法

用机翼测流量可以较完善地满足矿井排水设备测定中几个特殊的要求：

1. 在并联运转中测知每台工作水泵实际流量，以比较并联运转的经济意义；

2. 能装在泵房内测流量，以简化水泵测定手续，并可长期经常装用，使司机能经常检查水泵实际排水量以及及时掌握水泵效率变化情况提出水泵检修意见。

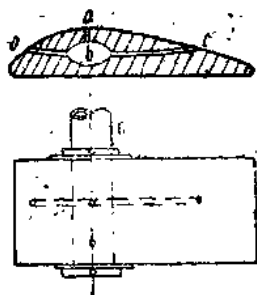


图 1 测流机翼

a—测压孔；b—孔道；
c—翼柄。

测流机翼如图 1，翼面有测压孔，以细管经由机翼内部孔道和空心翼柄外接压力指示器，如图 2，测压孔数可根据实际情况自 4 至 9 内任意取定，翼面孔口直径不宜大于 4 毫米。压力指示

器“a”(图2)分别指示翼面相应测压孔口之静压,“b”指示水管内流速未受机翼影响处之静压。机翼在水管内与水管中心线(即来流方向)所成攻角可在 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 内调整,大角测量流速较小之水流,小角测流速较大之水流,由此可以灵敏地测得水泵流量曲线上全部工作点。

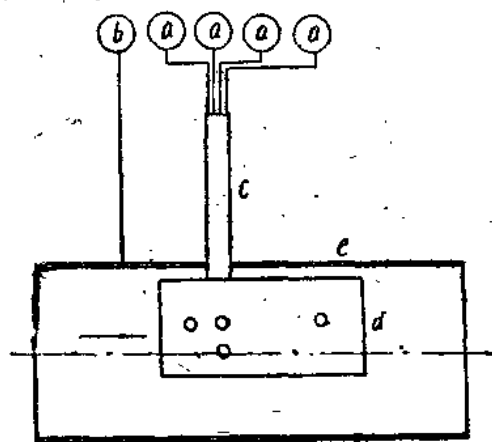


图2 测流机翼装置原则系统图

a、b—压力指示器；c—翼柄；d—机翼；e—水管。

水管内装上机翼后水头损失很少，经用节流孔口模板，文特利管和机翼分别在 $\phi 380$ 毫米同一水管内测定流量均为9.5立方米/分的同一水流，所生水头损失为：

节流板	43毫米水银柱
文特利管	9.3毫米水银柱
机翼	0.1毫米水银柱

在一般矿井排水设备中装置机翼后所生阻力损失实际

很小，可以忽略不計，故可长期装在水管中使用。机翼可以装在管路上任何地段，无论前后水管有无弯曲，有无阻力装置（如閘門等）几乎平均不影响其测定效果，而装在90°弯管后指示尤为灵敏。

图3为开滦煤矿最新設計之KL-I型机翼测水仪本体构造图，图中：

机翼形状可用多种构图函数繪制，其中适于矿用水泵测流的可取：

$$\xi + i\eta = \frac{1.9a \left[1 + \left(\frac{Re^{i\theta} + a}{Re^{i\theta} - a} \right)^{1.9} \right]}{\left(\frac{Re^{i\theta} + a}{Re^{i\theta} - a} \right)^{1.9} - 1} \quad (1)$$

式中 $\xi + i\eta$ —— 为图4 $\xi + i\eta$ 坐标面上翼緣点 $z(\xi, \eta)$ 。

$Re^{i\theta}$ —— 为图4极坐标上极角为 θ 在C圆上之任意点（如图中之 s ），它按构造图函数投射至 $\xi - \eta$ 坐标面上，即为翼緣点 $z(\xi, \eta)$ 。 R 为C圆上各点至K圆圆心“O”的距离。

a —— 为图4 K圆半径。

从式(1)解之得：

$$\xi = f(R, \theta) \quad (2)$$

$$\eta = g(R, \theta) \quad (3)$$

据此即可进行設計計算：取 $a = \frac{D}{4}$ ， D 为水管直径，以 a 为半径，在极坐标面上作圆K（图4）。再在同一坐标面上作 $\xi - \eta$ 直角坐标系， ξ 軸与极坐标之始动綫合一，在 ξ 軸上取綫段

$OA = 1.9a$; A点即为机翼翼弦的终点, 在 $i\eta$ 轴上取 l 点使

$ol = \frac{a}{6.9}$, 连 $K'l$ 交 K 圆于 K' 点, 延长 $K'l$ 至 m 使 $lm = \frac{a}{7.6}$ 。

然后以 m 点为圆心, $K'm$ 为半径, 在极坐标面上作圆 C, 最后将 C 圆圆周各点分别按其极角 θ 与至 O 点距离 R 代入式 (2)(3), 得相应的 $\xi, i\eta$ 值, 画在 $\xi-\eta$ 坐标面上, 连之即得所求机翼。机翼上之测孔应布置在上翼缘孔口直径以 3 毫米左右为宜。

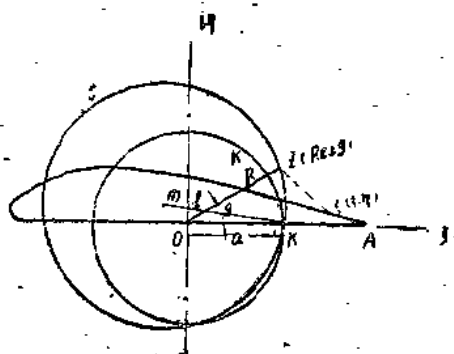


图 4

绘制机翼时上述 $ol, K'l, lm$ 各值可根据需要另予适当变动, 不必拘于上述比值, 但不宜按此作过大的变动。

KL-I 型机翼测水仪所用机翼如图 5。机翼上螺塔如图 6、7。

流量计算, 设:

V, P ——分别为流速(米/秒)和静压(公斤/平方米)。

註号“O”和 (ξ, η) 分别表示管内常态和测

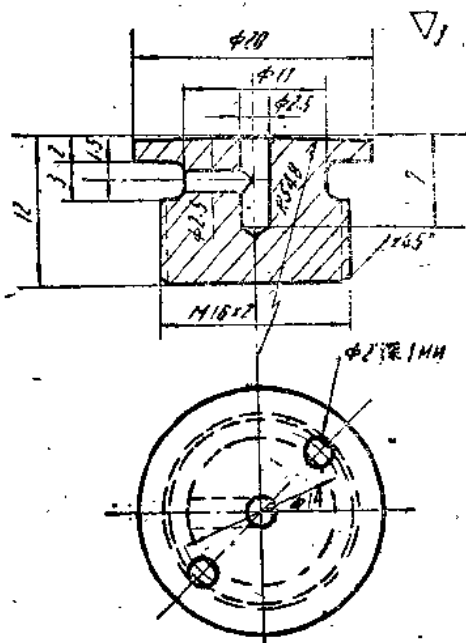


图 6 KL-I 型机头堵头

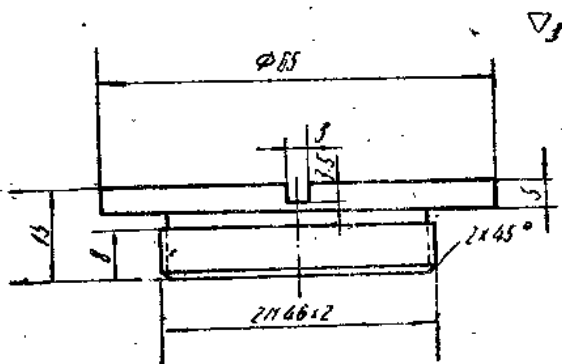


图 7 KL-I 型机头螺堵

孔点 $\zeta(\xi, \eta)$ 处之情况如图8。

z ——为图4孔口 $\zeta(\xi, \eta)$ 在 C 圆上之相应点其坐标为 $zCR_0\theta$ 。

$V(R, \theta)$ ——为图4 z 点之切向流速，

则由流动复势，可得：

$$V(\zeta, \eta) = \frac{V(R, \theta)}{\frac{d\zeta}{dz}}$$



因：

图8

$$\zeta = \frac{1.9a \left[1 + \left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} \right]}{\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1}$$

故：

$$\begin{aligned} \frac{d\zeta}{dz} &= \frac{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right] \cdot 1.9a \left[\frac{d}{dz} \left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} \right]}{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right]^2} \\ &= \frac{-1.9a \left[1 + \left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} \right] \times \frac{d}{dz} \left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9}}{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right]^2} \\ &= 1.9a \left\{ \frac{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right] \cdot 1.9 \cdot \left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{0.9}}{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right]^2} \right. \\ &\quad \left. - \frac{(z-a) - (z+a)}{(z-a)^2} \cdot \left[1 + \left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} \right] \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left. \cdot 1.9 \left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{0.9} \cdot \frac{(z-a) - (z+a)}{(z-a)^2} \right\} \\
& = 1.9a \left\{ \frac{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right] \cdot \frac{-2 \times 1.9a(z+a)^{0.9}}{(z-a)^{2.9}}}{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right]^2} + \right. \\
& \quad \left. + \left[1 + \left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} \right] \frac{2 \times 1.9a(z+a)^{0.9}}{(z-a)^{2.9}} \right\} \\
& = 2 \times 1.9^2 a^2 \left[\frac{(z+a)^{0.9}}{(z-a)^{2.9}} \right] \cdot \frac{2}{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right]^2} \\
& = \frac{14.4a^2 \left[\frac{(z+a)^{0.9}}{(z-a)^{2.9}} \right]}{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right]^2}
\end{aligned}$$

从流动复势又可求得:

$$\begin{aligned}
\Gamma &= 4\pi V_0 \sin(\beta - \delta) \\
V(R, \theta) &= 2V_0 \sin \theta + \frac{\Gamma}{2\pi a_1} \\
&= 2V_0 \sin \theta + \frac{2V_0 \sin(\beta - \delta)}{a_1}
\end{aligned}$$

式中符号如图9

故:

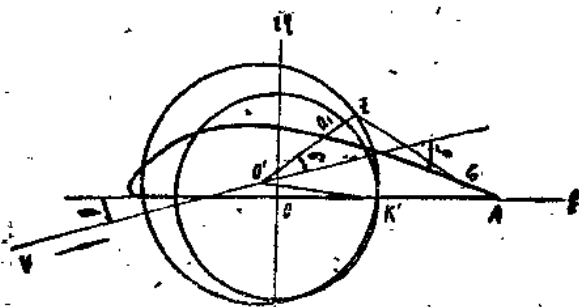


图 9

$$V(\xi, \eta) = \frac{V(R, \delta)}{\frac{d\xi}{dz}}$$

$$= \frac{2V_0 \sin \theta + \frac{2V_0 \sin(\beta - \delta)}{a_1}}{\frac{14.4a^2 \left[\frac{(z+a)^{0.9}}{(z-a)^{2.9}} \right]}{\left[\left(\frac{z+a}{z-a} \right)^{1.9} - 1 \right]^2}} \quad (4)$$

按能量定律得:

$$V_0 = \sqrt{C_v V^2(\xi, \eta) + \frac{(P(\xi, \eta) - P_0)2g}{\gamma}}$$

$$= \sqrt{C_v \left(\frac{2V_0 \sin \theta + \frac{2V_0 \sin(\beta - \delta)}{a_1}}{\frac{d\xi}{dz}} \right)^2 + \frac{(P(\xi, \eta) - P_0)2g}{\gamma}}$$

$$V_0^2 = 4V_0^2 C_v \left[\frac{\sin \theta + \frac{\sin(\beta - \delta)}{a_1}}{\frac{d\zeta}{dz}} \right]^2 + \frac{(P(\xi, \eta) - P_0) 2g}{\gamma}$$

$$V_0^2 \left\{ 1 - 4 C_v \left[\frac{\sin \theta + \frac{\sin(\beta - \delta)}{a_1}}{\frac{d\zeta}{dz}} \right]^2 \right\} = \frac{(P(\xi, \eta) - P_0) 2g}{\gamma}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{(P(\xi, \eta) - P_0) 2g \times \frac{1}{\gamma}}{1 - 4 C_v \left[\frac{\sin \theta + \frac{\sin(\beta - \delta)}{a_1}}{\frac{d\zeta}{dz}} \right]^2}}$$

从而流量:

$$Q = 208 D^2 \sqrt{\frac{(P(\xi, \eta) - P_0) \frac{1}{\gamma}}{1 - 4 C_v \left[\frac{\sin \theta + \frac{\sin(\beta - \delta)}{a_1}}{\frac{d\zeta}{dz}} \right]^2}} \quad (5)$$

式中 Q ——流量($\text{CM}^3/\text{分}$);

D ——水管直径(M);

γ ——矿水比重(kg/M^3);

C_v ——阻力改正系数, 其值可从 $\beta - C_v$ 曲线图上查得(图10)。

$\beta - C_v$ 曲线图可按下列法制取: