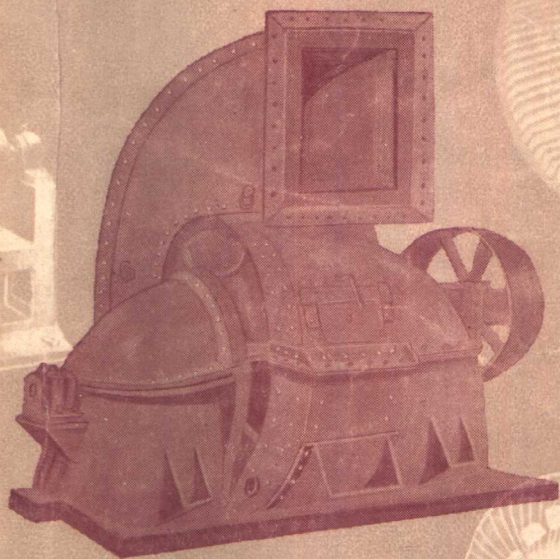


礦井扇風機裝置

苏联 佛·納·伏龍寧著



煤炭工業出版社

礦井扇風機裝置

（第二版）

（第二版）

礦井扇風機裝置

苏联工學博士 佛·納·伏龍寧著
科學院院士 阿·阿·施康欽斯基校

黃 錫 橋 譯

煤炭工業出版社

內 容 提 要

本書研究有关使用扇風机作为礦井通風的一些实际与理論問題，分析有关選擇和运轉扇風机的各种合理方法，並制定出新的金屬礦井和礦井扇風机的選擇标准。

本書供設計工程師和科学工作者参考用，也可供生產工程師在实际工作中参考用。

ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

苏联 В. Н. ВОРОНИН 著
А. А. СКОЧИНСКОГО 校

根据苏联國立煤礦技術書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)
1953年莫斯科第一版翻譯

326

礦井扇風机裝置

黃 錫 桥譯

*

煤炭工業出版社出版 (地址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可證出字第084号

北京市印刷一厂排印 新華書店發行

*

开本78.7×109.2公厘 * 印張5張 * 字数104,000

1956年5月北京第1版第1次印刷

統一書号：15035·203 印数：1—4,100册 定价：(10)0.95元

目 錄

原 序	2
第一章 礦井通風網路特性曲綫	4
第二章 扇風机特性曲綫	8
第三章 苏联科学院採礦研究所(ИГД АН)無因次运轉特性曲綫	14
*第四章 裝有擴散器的扇風机的工作	19
第五章 礦井風量和礦井通風網路阻力随時間变迁而發生的变动	45
第六章 用單台扇風机工作时扇風机的選擇	57
第七章 並联扇風机的選擇和运轉	88
第八章 串联扇風机的選擇和运轉	112
第九章 井下扇風机的選擇和运轉	129
結 語	143

原 序

联共第十九次代表大会的指示中規定，1955年的採煤量要比1950年的採煤量約增加43%左右。

与实现这一任务有密切关系的，是解决有关創造礦井工作安全条件、保护礦工生命和健康的一連串实际問題。

到目前为止，礦井通風仍然是消除生產毒害物(瓦斯、礦塵、高温)的最有效方法。要使通風的效果良好，必須正确地設計和有效地進行通風。

礦井通風是否可靠和是否經濟，主要是決定於能否正确地選擇和合理地運轉礦井扇風機。

有关扇風機的選擇和運轉問題，是礦井通風在理論上和实际上的基本問題之一。如果沒有關於決定通風網路基本参数(通風網路阻力和礦井風量)随時間变化而發生变动的条件和定律方面的知識，就不可能解决这些問題。

有关礦井扇風機的選擇和運轉問題已經在許多書籍中研究过，研究这些問題有以下三方面：

1. 把扇風機当作一种透平机來研究其空气动力学特性和運轉特性。

2. 研究通風網路的基本参数——阻力和風量、阻力和風量随時間变迁而發生的变动程度、以及風量分配定律。

3. 研究接入礦井通風網路內的單台扇風機或數台扇風機的工作。

本書的研究目的，是要說明一些有关選擇和運轉接入礦井通風網路內的扇風機的理論和实际問題。

到目前为止，許多有关礦井扇風機的選擇和運轉的主要問

題還沒有得到解決，或者只是利用許多假定來把它們很近似地解決，這些假定有時會使最終結果發生極大偏差。這些尚未得到充分解決的主要問題有下列幾個：

- a) 裝有擴散器的扇風機工作；
- б) 扇風機葉輪的最適宜直徑(根據所用的風量調整方法而定)；
- в) 當有通風力作用時單台扇風機的工作穩定性及穩定准則；
- г) 並聯扇風機和串聯扇風機的工作穩定性及穩定准則；
- д) 並聯扇風機和串聯扇風機工作的合理分析方法，以及其他許多從扇風機的運轉和選擇觀點來看也是相當重要的問題。

分析有關扇風機的选择和運轉的各種合理方法，是根據由作者所研究得出的 ИГД АН^① 無因次運轉特性曲綫來進行的。這種特性曲綫雖然有某些缺點，但同時也有許多能夠簡化扇風機特性曲綫計算的優點。

本書決不是奢望要解決一切有關扇風机的选择和運轉問題，可是，本書却研究了一些最重要的實際情況，而且還給予這些情況適當的數學和物理分析方法。

① ИГД АН 是蘇聯科學院探礦研究所的簡寫。——譯者

第一章 礦井通風網路特性曲綫

礦井主要通風網路

礦井通風網路的阻力隨着巷道尺寸(橫斷面積 S 和長度 L)、空氣流動速度、空氣粘度和巷道的粗糙程度的不同而發生變化。空氣粘度和其流動速度僅在雷諾數 Re (число Рейнольдса)很小時才對阻力有影響。在粗糙管道內液體流動情況的詳細研究中指出,穩定的亂流二次方定律是在下列條件下開始的,即

$$Re > \frac{191.2 \times d}{l \times \sqrt{\lambda}}, \quad (1,1)$$

式中 d ——粗糙管道直徑;

l ——粗糙表面的凸出部分高度;

λ ——阻力系數。

為了更便利於礦井條件,可把上式改寫成下列形式:

$$Re > 3100 \frac{R_{\pi}}{\sqrt{\alpha_x}}, \quad (1,2)$$

$$R_{\pi} = \frac{4S}{P \times d_{ок}}, \quad (1,3)$$

式中 R_{π} ——支柱的橫徑比例;

S ——巷道的橫斷面積(平方公尺);

P ——巷道周緣(公尺);

$d_{ок}$ ——棚子尺寸(公尺);

α_x ——空氣動力阻力系數,以萬分率表示。

根據公式(1,2)中得出結論,在礦井條件下, $Re > 10\,000$ — $30\,000$ 時,空氣應按亂流二次方定律在巷道內流動。

在阿·阿·斯康欽斯基院士領導下,曾在以約·維·斯大

林命名的莫斯科礦業學院礦井通風實驗室內所進行的實驗証明，由公式(1,2)計算得出的 Re 值是接近实际的，虽然在作这些实验时的表面粗糙狀況(用圓木搭的不完全式木棚和完全式木棚)与求得公式(1,1)时所用的管道表面粗糙狀況有所不同。很明顯， Re 与風流的几何参数和空气动力参数間的关系是很复杂的。

由於空气在井下巷道內的流动速度，其 Re 的平均值要远远超过上述数值，所以在礦井內，大部分空气是按照乱流二次方定律流动的。

对礦井空气动力状态所作的研究指出，通風網路負压与所輸送風量間的关系，可用下式表示：

$$h = RQ^2 + BQ + C, \quad (1,4)$$

式中 R 、 B 和 C 在这一段較短时期內为常数。这些常数不但随礦井不同的开采时期而異，而且也随着季度的变化而不同。

在穩定的純乱流状态下，礦井主要通風網路的負压为：

$$h = RQ^2, \quad (1,5)$$

式中 R ——通風網路內由摩擦而引起的空气动力阻力。

由实验得出的 h 和 Q 的关系式(1,4)与公式(1,5)的区别，是公式(1,5)內多一項

$$BQ + C. \quad (1,6)$$

如採空的充填区或崩落区不漏風或漏風量很小时，(1,6)这项就表示在不同季節的自然通風影响 He 。这是因为：虽然關於空气沿各單獨巷道的單純層狀流动(此时 h 与 Q 成比例)的假設無可否認，但是由於在層狀流动状态时空气的流动阻力很小，它在整个礦井負压公式中未必是一个重大的数值。因此，公式(1,4)可以改寫成下列形式：

$$h = RQ^2 + He, \quad (1,7)$$

式中

$$He = BQ + C. \quad (1,8)$$

由上述論斷得出結論，礦井的自然通風是隨 Q 不同而按一次方定律變動的。如 Q 的變動範圍較小時，則在井下條件下通風狀態的自然通風可以當作常數。

因此，礦井主要通風網路的特性曲綫可用下式表示：

$$H = RQ^2 + He, \quad (1,9)$$

式中 He ——在一般情況下為一隨輸入礦井風量的不同而變化的數值。

如果從主要平巷經過採空區漏入通風巷道中的漏風量很大時，則採空區的空氣動力特性曲綫對於全礦井的主要通風網路特性曲綫是有影響的。

透過的採空充填區的空氣流動定律是很複雜的，因為其空氣動力阻力是隨時間、地點以及對 Q 的指數有影響的空氣動力學狀態不同而有很大變化的。

但有時透過採空的充填區或崩落區的空氣流動定律近似於二次方定律，使問題可以達到某種程度上的簡化。因此，整個礦井通風網路的特性曲綫可以與沒有漏風時的形式相同。在這種情況下，通風網路的阻力 R 不但隨巷道空氣動力參數（表面相對粗糙度、橫斷面積、長度）的不同而變化，而且還隨採空區空氣動力參數（多孔率、橫斷面積、長度）的各異而不同。用現代通風設計法時，是引用漏風係數 p 來計算採空區空氣動力參數的；同時，還假定空氣透過採空的充填區或崩落區時是按照阻力二次方定律流動的。

局部通風網路

局部通風網路主要是由風管構成。當空氣在平滑的風管內流動時， h 與 Q 之間的关系要用比較複雜的方程式來表示。在礦井的條件下，實際上按空氣動力學來講是沒有平滑風管的；

因为礦井內的風管会迅速生鏽，而生了鏽的管子，表面就很粗糙了。因此，如 Re 的值大於由公式(1,2)所求得的 Re 时，則空气动力阻力 R 的系数由於空气的粘度不同而發生的变动很小，而主要是随風管的表面相对粗糙度不同而变化的。这样，在实际計算中，就可以認為空气在風管內是按照二次方定律流动的，也就是說，風管負压与所流过的風量間的关系是：

$$h = RQ^2, \quad (1,10)$$

式中 R ——風管的空气动力阻力。

在分析風管工作时，由於各段風管之間联接得不緊密以及管壁透風而引起的漏風有着很大意义。關於这一个问题，在我們的一部著作^①里曾作了詳細的研究，这里我們僅僅引述有关風管特性曲綫的主要結果。从上述研究得出結論，由於各段風管之間联接不緊密或由於風管制作材料透風而有漏風的管道，其負压系根据下式計算：

$$h = R \cdot p Q_0^2, \quad (1,11)$$

式中 R ——風管的空气动力阻力；

p ——漏風或風量損失系数，等於

$$p = \frac{Q_B}{Q_0},$$

式中 Q_B ——扇風机所輸送的風量；

Q_0 ——到达工作面的風量。

公式(1,11)可以改寫成下列形式：

$$h = R \cdot Q_{cr}^2, \quad (1,12)$$

並且，

$$Q_{cr} = \sqrt{p Q_0^2} = \sqrt{Q_B Q_0}, \quad (1,13)$$

式中 Q_{cr} ——到达工作面風量 Q_0 与扇風机所輸送風量 Q_B 兩者的几何平均数。

①佛·納·伏龍寧著“礦井大气-瓦斯动力学原理”，苏联國立煤礦技術書籍出版社，莫斯科，1951年版。

第二章 扇風機特性曲綫

現時，扇風機的特性曲綫可分下列三種主要形式：

a) 以 Q 和 H 為坐標的扇風機特性曲綫 (Q ——扇風機所輸送的風量， H ——負壓)。

б) 無因次特性曲綫。

в) 統一特性曲綫。

1. 以 Q 和 H 為坐標的扇風機特性曲綫，是最通用的特性曲綫。圖 1 表示這種特性曲綫的一般形狀。

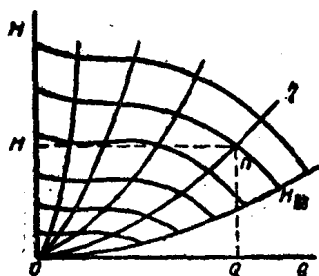


圖 1 以 Q 及 H 為坐標的各種不同轉數時的扇風機特性曲綫

由坐標 (Q 和 H) 的原點出發的各拋物綫是等效率綫；而曲綫 n_1 、 n_2 、 n_3 等則是扇風機葉輪的等轉數綫。試驗扇風機時，用這些特性曲綫來分析扇風機的基本性能是很方便的。

2. 無因次特性曲綫有四種主要型式。

a) 在採礦工業中最通用的無因次特性曲綫，是以下列三種無因次參數為基礎的：

風量係數

$$\delta = \frac{Q}{U \left[\frac{D}{2} \right]^2} \quad (2,1)$$

壓力係數

$$\mu = \frac{H}{\rho U^2} \quad (2,2)$$

相应等積孔系数

$$\varphi = \frac{\delta}{\sqrt{\mu}}; \quad (2,3)$$

式中 Q ——扇風机的風量(立方公尺/秒);

U ——扇風机叶輪周速;

D ——扇風机叶輪直徑;

H ——扇風机所發揮的壓力;

ρ ——空气密度。

圖 2 表示以这些参数为坐标的扇風机無因次特性曲綫的一般形狀。

6) ЦАГИ^① 無因次特性曲綫。現時，在这些特性曲綫內，已表示出中央流体动力学研究所獲得的有关扇風机的全部实验材料。

这些特性曲綫是以下列各种無因次参数为基础的:

$$\overline{Q} = \frac{Q \text{ 秒}}{\pi R^2 U}; \quad (2,4)$$

$$\overline{H} = \frac{H}{\rho U^2}; \quad (2,5)$$

$$\overline{N} = \frac{\overline{Q} \overline{H}}{75 \eta}, \quad (2,6)$$

式中 $\overline{Q}$ 、 $\overline{H}$ 和 $\overline{N}$ ——分別为風量、压力和功率的無因次参数;

η ——扇風机效率。

其他各字母的意义与前述相同。

圖 3 是以 ЦАГИ 参数为坐标的扇風机無因次特性曲綫的一般

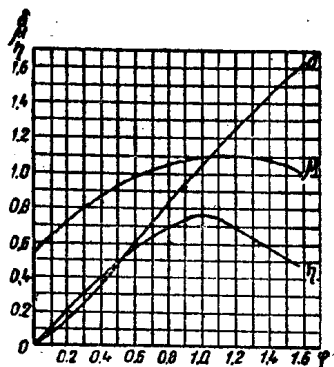


圖 2 离心式扇風机的無因次特性曲綫

① ЦАГИ 中央流体动力学研究所的簡寫。——譯者

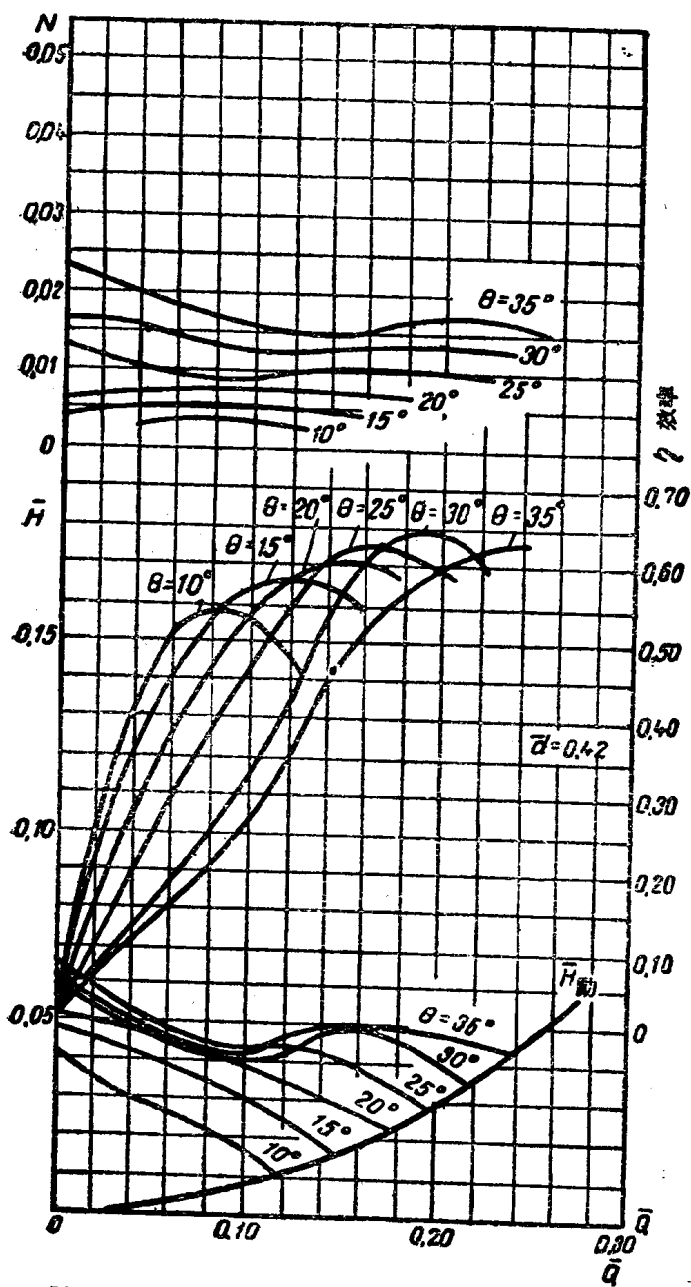


圖 3 以 ЦАГИ 参数为坐标的扇風机总無因次特性曲綫

形狀。

Б)百分率無因次特性曲綫。對於這種特性曲綫，是採取某種任意工作制度下的風量、壓力、功率和效率與符合最高效率的最有利工作制度下的風量、壓力、功率和效率的比例百分率來作為基本參數的。

在這種情況下，各種無因次參數的值如下：

風量系數

$$Q\% = \frac{Q}{Q_0} \cdot 100; \quad (2,7)$$

壓力系數

$$H\% = \frac{H}{H_0} \cdot 100; \quad (2,8)$$

功率系數

$$N\% = \frac{N}{N_0} \cdot 100; \quad (2,9)$$

相應的效率

$$\eta\% = \frac{\eta}{\eta_0} \cdot 100. \quad (2,10)$$

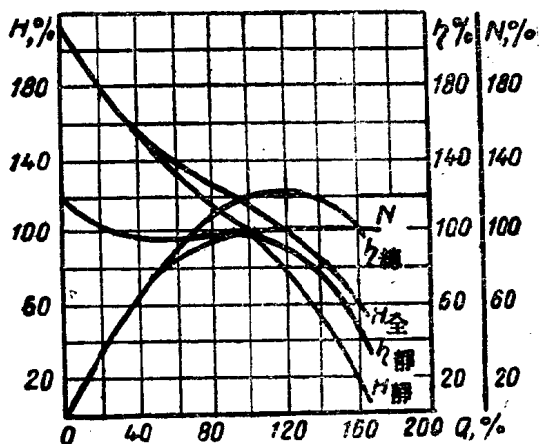


圖 4 軸流式扇風機的百分率無因次特性曲綫

式中 Q, H, N 和 η ——在某种任意工作制度下的扇風机風量、
压力、功率和效率；

Q_0, H_0, N_0 和 η_0 ——在最大靜效率时的扇風机風量、压力、
功率和效率。

圖 4 是以上述参数为坐标的百分率無因次特性曲綫的一般
形狀。

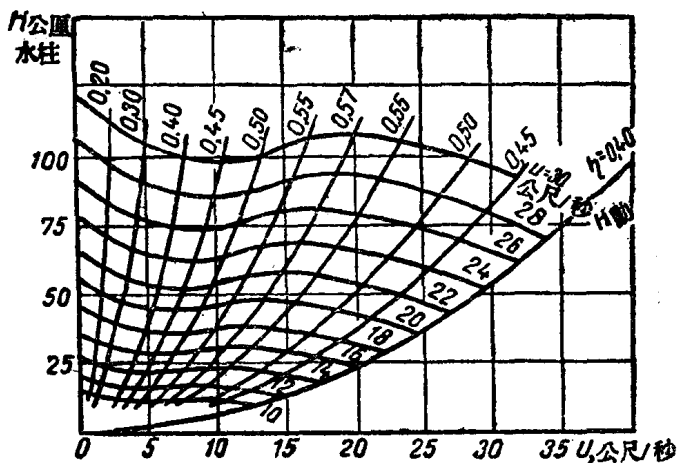


圖 5 一組离心式扇風机的統一特性曲綫

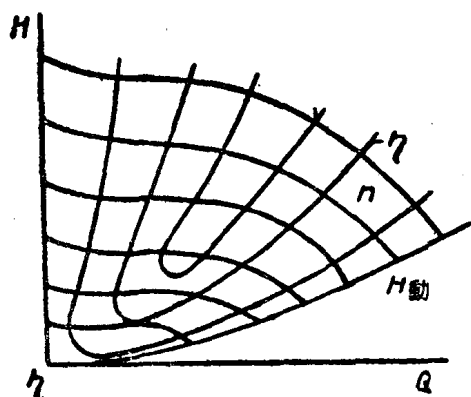


圖 6 当有机械損失时，扇風机在各种
不同轉数时的 Q, H 坐标特性曲綫

г) 扇風机的統一特
性曲綫，是繪制於 H 和
 V_1 坐标內的 (V_1 ——扇
風机出風口的風速)，
並且

$$V_1 = \frac{Q}{F_1},$$

式中 F_1 ——扇風机出
風口断面積。

这种特性曲綫居於
 Q, H 坐标特性曲綫与

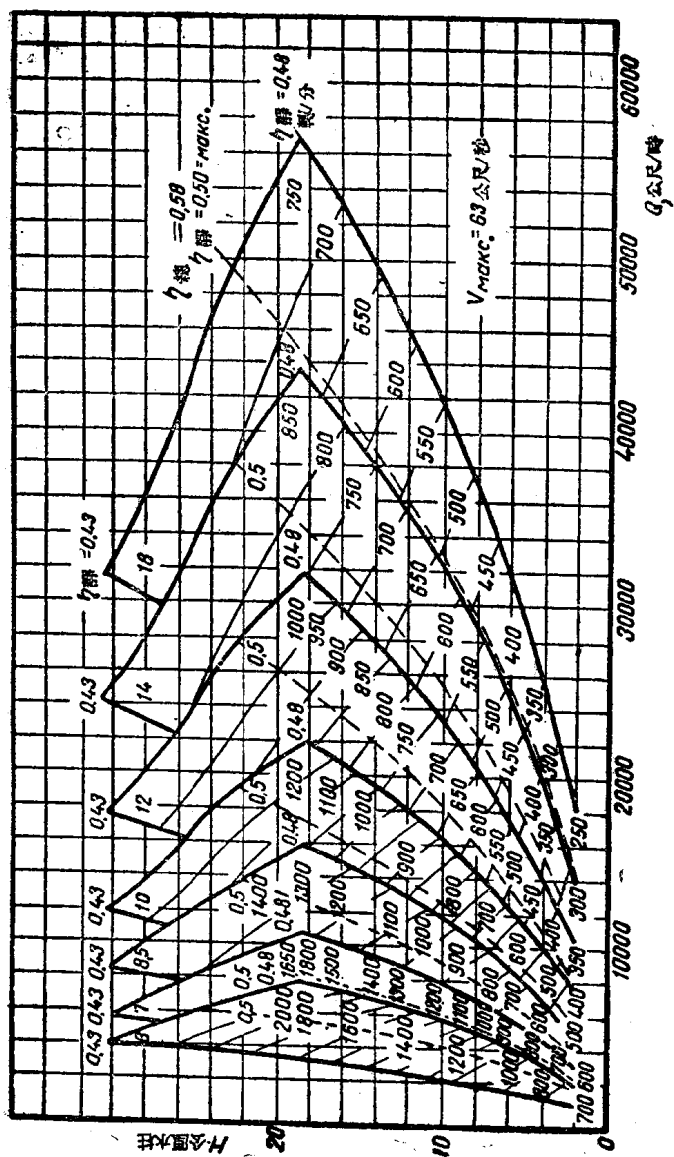


圖 7 一組扇風機的 Q 、 H 坐標特性曲綫