

汽輪機組的基座

苏联 B. B. 馬卡利切夫著

電力工業出版社

內容提要

本書所研究的是組成普通稱為汽輪機組的各類機器的基座，如汽輪發電機、汽輪送風機、汽輪壓縮機及電動發電機的基座。

本書搜集了機器製造工廠在設計汽輪發電機時製定基座尺寸、設計部門在計算和設計基座時和發電廠在建造基座時所必需的資料。這些資料包括蘇聯電站部各機構所積累的設計和運行的廣泛經驗，以及最近在這方面的研究成果；這樣就使我們有可能在保證必要的運行質量條件下來簡化汽輪機基座並降低其造價。

本書可供汽輪機製造工程師、技師、運行人員、建築設計師及施工人員之用，也可供汽輪機製造專業的大學生參考。

В. В. МАКАРИЧЕВ

ФУНДАМЕНТЫ ПОД ТУРБОАГРЕГАТЫ

根據蘇聯國立動力出版社1951年莫斯科版譯

汽輪機組的基座

劉瑞葵等譯

302R67

電力工業出版社出版（北京府右街26號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：汪汝源 校對：趙桂芬 匡文因

850×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 8 $\frac{1}{2}$ 印張 * 183千字 * 印1—5.100冊

1956年4月北京第1版第1次印刷

定價（第10類）1.50元

序 言

汽輪發電機基座是一項巨大而重要的建築物，它屬於每個火力發電廠中最主要和最複雜的結構之一。

這個建築物有着特殊的重要性，因為在它上面安置的和操作的是複雜的和價值昂貴的機器——汽輪發電機，它以電力供給巨大的企業和整個工業區。基座若有缺陷，不僅會使機器在運行中發生故障，而且會使許多用電的企業中斷生產。因此，全面地研究汽輪發電機基座的受力情況，保證基座工作的安全，對我們的動力工程和工業就具有重大的意義。

基座的重要性，除因其上具有貴重的機器之外，其本身亦是一個巨大的建築物。它的大小可用以下數字說明：中等容量（25 000 瓩）的汽輪發電機基座的建築，需要有 500—700 立方公尺的鋼筋混凝土結構。這樣巨大的鋼筋混凝土數量，相當於中等工業車間，或者相當於大跨鐵路拱橋（50—60 公尺）所需要的鋼筋混凝土數量。

因此盡量簡化汽輪發電機基座的結構，減縮建築基座所需要的材料和勞動力，從而使建築期限縮短和使機器提早運行——這就整個國民經濟的意義來說，是一個重大的任務。

除此以外，汽輪發電機基座還承受着巨大的靜荷重和動荷重，因而是一種很複雜的工程結構，它需要相當複雜的動力學的和靜力學的計算，以及特別精密的設計。

汽輪發電機基座的計算與設計的問題，在很早以前就為大家所注意。論述汽輪機基座的著作，散見於不同的雜誌論文中，Д. Д. 巴爾康（Баркан）的著作（1938 和 1948 年）的一些章節中，“工業

建築設計手冊”(第Ⅳ卷，1934年)中，以及一些設計規程和指示中。

這些著作主要是研究計算方面的問題，而且大多數已經陳舊了。近幾年來關於汽輪機基座設計的許多問題，在蘇聯已有了很大的進展。當在外國還是用過時的、理論根據極薄弱的原始設計方法來設計汽輪機基座的時候，在蘇聯由於積累了汽輪機基座設計和運行的經驗，以及由於進行了科學研究工作，已經開始有可能更為完善的解決幾乎全部有關汽輪機基座設計的主要問題。這些主要問題，包括確定汽輪機運行時所發生的擾動力和製定汽輪機基座振動(振幅)的計算方法。

但是，現有的文件还是非常陳舊，並具有如下的缺點：這些著作很少考慮到汽輪機基座的設計與結構的問題，以及一般的組成問題。而這些問題在用於汽輪機基座時，又具有頗大的特殊性，並常常提出很多的困難，因為對這些問題的解決，至今還沒有統一的見解。

本書的目的是要彌補這些著作中的上述缺點，對汽輪發電機基座的設計、建築和運行提供出最完善的而且全面的實際指導，同時也闡明這方面最新的研究成果，並以這些研究成果作為編寫本書的基礎。

寫作本書時曾考慮了電站部熱電廠設計院所積累的汽輪發電機基座的設計材料和豐富的設計經驗、作者在此院及電站部工業動力設計院的理論研究和實驗研究，也考慮了中央工業建築科學研究院(ЦНИПС)的研究成果，以及在蘇聯電站部的許多機構中所得到的汽輪機運行的資料。

本書各章的次序係參照作者在莫斯科動力學院機械動力建築系所講授的課程“基礎與支座”的主要章節編排而成。

作者對寫成本書給予重大幫助的熱電廠設計院(ТЭП)工程師 Н. С. 巴夫羅娃姬(Павлова)，為本書寫書評的熱電廠設計院

總建築師 П. М. 斯維尔德罗夫 (Свердлов)，對本書提出意見的
А. А. 塞多夫 (Седов) 及 К. Д. 斯列巴克 (Слепак) 工程師，以及
擔任本書校閱工作的科學技術碩士 Г. И. 蘇瓦洛夫 (Шувалов) 致
以謝意。

作 者

目 錄

序 言

所採用的符号	6
--------------	---

第一章 汽輪机設備概述	7
-------------------	---

1. 汽輪机組種類	7
-----------------	---

2. 構 成	8
--------------	---

3. 汽輪發电机	11
----------------	----

第二章 基座類型	17
----------------	----

4. 基座分類	17
---------------	----

5. 大塊式基座	19
----------------	----

6. 牆式基座	22
---------------	----

7. 架構式基座	28
----------------	----

8. 磚基座	46
--------------	----

9. 金屬基座	50
---------------	----

10. 其他汽輪机組的基座	56
---------------------	----

11. 材料的比較及耗費	64
--------------------	----

第三章 基座在荷重下的工作	68
---------------------	----

12. 作用力	68
---------------	----

13. 离心力的動力作用	72
--------------------	----

14. 計算方式	81
----------------	----

15. 擾動力	88
---------------	----

第四章 振動計算	100
----------------	-----

16. 基座振動的意義	100
-------------------	-----

17. 關於共振檢查	102
------------------	-----

18. 振動計算	105
----------------	-----

19. 阻尼減衰值	110
20. 自身振動數	118
21. 容許振幅	150
22. 剛性和質量的影响	157
第五章 強度計算	167
23. 荷重種類	167
24. 与汽輪机組動力作用相適應的荷重	174
25. 計算应力及選擇断面	184
26. 地基計算	186
第六章 設計及構造	189
27. 一般指示	189
28. 構造	195
29. 構件	208
30. 硬性鋼筋	217
第七章 施 工	219
31. 建 造	219
32. 灌 漿	222
附 錄 計算例題	224
参考文献	246

所採用的符号

- φ ——轉動角速度(單位時間內的弧度);
 n ——每分鐘的轉數;
 n_p ——每分鐘的工作轉數;
 ω ——每分鐘的自身振動數;
 Δ ——對數阻尼減衰值;
 ψ ——材料單位內抗力;
 g ——重力加速度, 公尺/秒²;
 f_{cm} ——結構的靜力撓度, 公尺;
 α ——結構的動力撓度(振幅);
 A ——双倍振幅;
 e ——轉動質量(轉子)的偏心距, 公厘;
 C ——在任何中間瞬時內的擾動離心力, 噸;
 C_{max} ——與工作轉數相適應的最大擾動離心力, 噸;
 R ——轉動部分(轉子)的重量, 噸;
 Z ——在任何轉數時的擾動離心力的動力作用;
 Z_{pab} ——在工作轉數時的擾動離心力的動力作用;
 Z_{max} ——擾動離心力動力作用的最大可能數值;
 P ——與運行的汽輪機組動力作用相適應的計算力, 噸;
 P_g ——與運行的汽輪機組動力作用相適應的垂直計算力, 噸;
 P_t ——與運行的汽輪機組動力作用相適應的橫向水平計算力, 噸;
 E ——基座材料的彈性模數, 噸/公尺²;
 G ——基座材料的剪切模數, 噸/公尺²;
 J ——構件橫斷面的慣性矩, 公尺⁴;
 F ——構件橫斷面積, 公尺²。

第一章 汽輪機設備概述

1. 汽輪機組種類

在本書中所考慮的汽輪機組及其基座包括：

1. 產生電能的汽輪發電機；
2. 供給用戶壓縮空氣或其他氣體的汽輪送風機及汽輪壓縮機；
3. 各種汽動泵。

汽輪機組是由作為原動機用的、產生機械能量的汽輪機和利用它的能量來完成上述生產之一的機組所構成。

通常這些汽輪機與轉動機組有一條共同的轉動軸及同樣的轉數。某些汽輪機（主要是小容量的）並沒有共同轉動軸與機組相連，因而其轉數亦不相同。在這些設備內，汽輪機的轉動通過由每分鐘 4000—8000 轉降低到 1000—1500 轉的減速裝置帶動機組。

在蘇聯及歐洲國家都已製造了無減速裝置的汽輪機組，通常其銘牌轉數為每分鐘 3000 轉。不久以前也製造了轉數為每分鐘 1500 轉的汽輪發電機。美國製造了轉數為每分鐘 3600 及 1800 轉的汽輪機組。這些轉數，在汽輪發電機運行時，是固定不變的。

與汽輪發電機相反的是其他的汽輪機組，這些機組在工作時根據用戶的要求（供給空氣的數量及壓力等等）而改變轉數；其工作轉數的變動範圍很大。例如汽輪送風機，其轉數由 2000 轉/分變到 4000 轉/分。

各種不同的汽輪機組之間的最大和最主要的差別是轉數，它

是計算和設計基座的依據。汽輪機組的轉數，如在下面將要說到的，是和基座的全部計算資料，甚至和計算方法，都有關係的。

根據汽輪機組的轉數，可分為以下幾類：

第一類高頻率汽輪機組，汽輪發電機主要部分的轉數每分鐘為 3000 轉或較高，汽輪送風機的轉數每分鐘為 2000 轉或較高均屬此類。

第二類低頻率汽輪機組，汽輪發電機的轉數每分鐘為 1500 轉及 1800 轉，而其餘汽輪機組的轉數則為每分鐘 1000 轉到 2000 轉均屬此類。

第三類慢速汽輪機組，每分鐘轉數低於 1000 轉的一切機組均屬此類。

具有減速裝置的汽輪機組，可同時屬於兩類，此種汽輪機的基座應當同時滿足這兩類的要求。

如果根據已定的轉數來計算基座，最好在以後不應該僅考慮汽輪機組的基座，這就是說還應考慮這些設備，如電動發電機、具有電力驅動的壓縮機、同步壓縮機等。

在電動發電機內，電動機與發電機通常有一個共用的轉動軸，有時一個電動機會帶動兩個發電機，這兩個發電機佈置在電動機軸的兩端。因此，所有設備均有縱向及橫向的對稱軸。電動發電機的轉數是比較小的，一般是 800—500 轉/分，甚至也有 300 轉/分的。

電力驅動的壓縮機，通常具有升高轉速的變速裝置。

2. 構 成

汽輪機組在汽機房內的佈置，可以是縱向的，即是機組的軸沿汽機房佈置；也可以是橫向的，即是機組的軸橫着汽機房佈置。這些佈置的圖形見圖 1。

汽輪機組基座的上部稱為運行平台（司機平台），此平台距第

一層地板常有一定的高度。此時，就獲得了所謂地下室式或兩層式的結構。通常第一層地板在地面上，它称为凝汽器室地板，在其地面上，佈置了各种不同的主要附屬設備：汽動和電動給水泵，汽動和電動凝結水泵，汽動和電動油泵，冷油器，電纜溝，排水溝及溝道等等(圖2)。

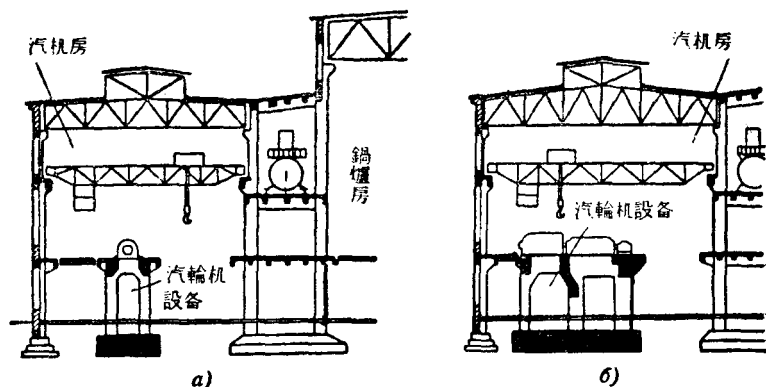


圖 1 汽輪機設備的位置

“a—縱向；b—橫向。

凝汽器室(地下室)一層的高度，通常为6公尺及8公尺。

在佈置時，汽輪機組的基座应与廠房的主要結構及基礎分開，而廠房樓板与基座上平台之間，用小的懸臂走道及个别小的懸臂平台連接，这种佈置称为“島式”佈置。

有時，因为某种原因不可能將汽輪機的佈置做成島式時，這時汽輪機組基座的上部或是与基座周圍的廠房樓板剛性整體連接，或是汽輪機組設備不放在自己的基座上，而放在用適當方法加強了的樓板上。这样安裝的汽輪機組，在革命前的某些小容量電廠內，或是外國的電廠內可以遇到。

汽輪機組佈置在廠房樓板上，或是佈置在与汽輪機基座剛性連接的樓板上，是一种不好的办法。因为在汽輪機組運行時所發生的不可避免的振動，會傳達到廠房其他結構上去。有時甚至連汽

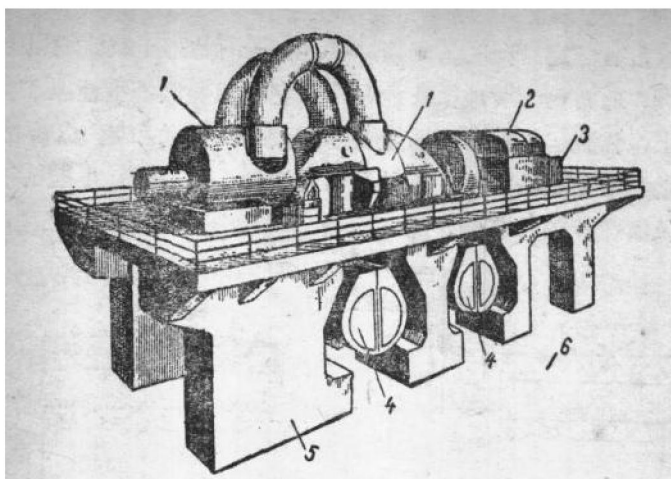


圖 2 地下室式汽輪機設備

1—汽輪機；2—發電機；3—勵磁機；4—凝汽器；5—基座；
6—凝汽器室地板。

輪機設備的最小的振動，也可能会因此而增大，以致使廠房樓板及其他構件有非常大的振動。

汽輪機基座的島式佈置，可以免除這些主要的缺點。考慮到這種“島式”佈置，就從通風及照明的觀點上來看也是較好的，所以這種佈置，應當認為是最合適和最理想的一種佈置。

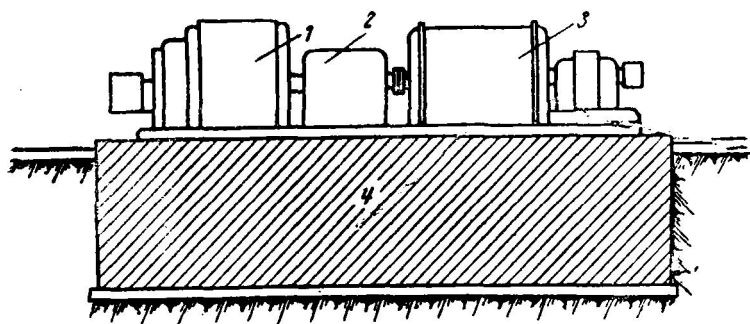


圖 3 無地下室設備

1—汽輪機；2—減速器；3—發電機；4—基座。

除了有地下室式的佈置外,还有一种所謂無地下室式的佈置。它的主要运行平台(司机工作台)佈置在凝汽器室的地面上(圖3),或是佈置在距凝汽器室地面不高的平面上。此時,基座的全部主要部分都安置在地下,只有很小一部分露在地面上。

無地下室的佈置,只在汽輪机容量不大時才採用。

3. 汽輪發電机

汽輪發電机是全部汽輪机組中最大的和最常見的机器。因此,在本書中對於汽輪發電机將給与最大的注意。下面就对这种机器作一簡要說明,这對於基座設計人員及施工人員來說,是很有用处的。

汽輪發電机最主要的部分是汽輪机、發電机及凝汽器(圖4),在某些汽輪發電机中是沒有凝汽器的(見下)。

由鍋爐進入汽輪机的蒸汽因膨脹而轉動汽輪机轉子及与其相連的發電机轉子。由於在發電机內有磁場存在,因此就產生了电流。簡單的說,这就是汽輪發電机的全部技術过程。

在凝汽器內,將已經在汽輪机內工作过的蒸汽凝結起來,把它自己的熱量送給冷却水。凝結水送回到鍋爐內。在鍋爐內这些水由於吸收燃料燃燒所放出的熱量,

变为蒸汽,接着这些蒸汽又重新進入汽輪机內。

汽輪机和發電机的轉動部分(轉子),支持在用支座部分与基

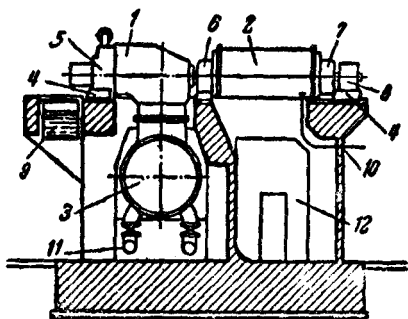


圖4 汽輪發電机之主要構件

1—汽輪机; 2—發電机; 3—凝汽器;
4—支座部分; 5—前軸承; 6—中軸承;
7—後軸承; 8—勵磁机; 9—油箱; 10—
發電机出綫; 11—循环水管; 12—空气
冷却器室。

座相連的軸承上。為了冷卻軸承，就把油引到軸承處。為此，就需要有把油冷卻器、油箱，油泵及與每個軸承相連的全部油管系統。

為了使在運行時發熱的發電機繞圈得到冷卻，在基座內裝設有空氣冷卻器室。在空氣冷卻器室內，由發電機排出的空氣在特殊的空氣冷卻器內冷卻，並借助於安設在其軸上的通風機，重新送入發電機內。空氣冷卻器室是密閉的，因為在發電機內只需要一定量的清除灰塵的空氣來循環。現在已經開始廣泛採用效率更高的氬氣冷卻來代替空氣冷卻了。

為了引出發電機所發出的電流，就需用一些大的、通常是銅的板狀導體(母綫)，這就是所謂的發電機的出綫。這些導體被引到安置在基座內的出綫室內，又由出綫室引到配電裝置。有時，為了代替在配電裝置與基座中間的出綫室，就建造了一個母綫橋，用它來懸掛母綫及避免偶然的接觸。

將在汽輪機內工作過的全部蒸汽引入凝汽器的汽輪機，稱為凝汽式汽輪機。

此外，還有一種稱為供熱式的汽輪機，它也分為兩種：

a)背壓式汽輪機；

б)中間抽汽式汽輪機。

在第一種汽輪機內，用過的蒸汽不是送入凝汽器去，而是去供給生產或者供給壓力較低的汽輪機再使用一次。使用這種工作過一次的蒸汽的汽輪機，稱為前置式汽輪機。

在第二種汽輪機內，將一部分在汽輪機中工作過的蒸汽送到凝汽器去，其他一部分蒸汽則從汽輪機的某一中間段抽出，送給熱能用戶。有時，這種中間抽汽是自汽輪機的兩個抽汽處抽出，因而其壓力是各不相同的，這種汽輪機稱為兩段抽汽式汽輪機。

也有中間抽汽的背壓式汽輪機。

有時，在工業設備中的乏汽，還有一定的剩餘壓力(與大氣比較)，這種蒸汽可以供給壓力很低的特殊汽輪機使用，這種使用

乏汽(廢汽)來工作的汽輪機，稱為廢汽汽輪機。

現在，汽輪機正向提高蒸汽的初壓(100 大氣壓以上)與初溫(500°C 以上)的方向發展。這種汽輪機，稱為高壓汽輪機。製造這種高壓汽輪機，是一個複雜的技術問題，這只有在高度發展的現代工業中才有可能。

在高壓汽輪機的製造方面，蘇聯現在已經獲得了很大的成就。雖然自己製造汽輪機只是在革命以後才開始，但是蘇聯現時在汽輪機製造方面已佔據了主導地位。今天，蘇聯已經能夠大批製造高壓汽輪機了。蘇聯所生產的汽輪機，均載於蘇聯國家標準(ГОСТ) 3618-47 及 3678-47 上。

為了便於命名上述各組各型的汽輪機，採用下列符號(編號)。每一汽輪機的特性用兩個字母(標號)及兩個數字來表示，這兩個數字寫在字母後短劃後面(例如，AK-25-1)。

第一個數字表示汽輪機的類別，它按蒸汽壓力的 高低來區分。高壓汽輪機類用標號“B”表示，中壓汽輪機用標號“A”表示，以廢汽工作的低壓汽輪機，用字母“M”來表示。並列的第二個字母表示汽輪機的效用(型式)。例如，凝汽式汽輪機，用字母“K”表示；中間抽汽供暖氣用的汽輪機，用字母“T”表示；中間抽汽供生產用的汽輪機，用字母“П”表示；背壓式汽輪機，用字母“P”來表示。

在字母後面短劃後所寫的數字表示汽輪機的容量為多少千瓦，最後一個數字表示工廠型號。

一些機器所用的符號引述如下，並加以解釋：

AK-25-2——中壓凝汽式汽輪機，容量為 25 000 瓩，第二型(舊指標為 ДК-184)；

AK-50-2——同上，容量為 50 000 瓩，第二型；

AT-25-1——中間抽汽供暖氣用的標準壓力汽輪機，容量為 25 000 瓩，第一型(舊指標為 ДКО-185)；

АП-25-1——中間抽汽供生產用的標準壓力汽輪機，容量為 25 000 瓩，第一型(舊標號為 ДКО-195)；

БК-50-1——高壓凝汽式汽輪機，容量為 50 000 瓩，第一型；

БТ-25-1——高壓供熱汽輪機，容量為 25 000 瓩，第一型；

БІТТ-25-1——供取暖及生產用的兩段中間抽汽式高壓供熱汽輪機，容量為 25 000 瓩，第一型；

БР-25-1——高壓背壓式汽輪機(前置汽輪機)，容量為 25 000 瓩，第一型。

汽輪機的主要部分為：轉子，汽缸(外殼)及軸承。

轉子通過軸承將壓力傳於基座上，軸承或是直接支持在基座上，或是通過汽輪機外殼而支持在基座上。

由汽輪機汽缸傳於基座上的荷重為主要靜荷重，轉子除了靜荷重外，還給基座以動荷重。在計算時必須把巨大的動力作用列入到這個荷重中去。因此，關於壓力由軸承傳於基座的方式問題，對於計算基座是具有最重要的意義的。當轉子及軸承的荷重通過汽輪機外殼而傳於基座上時，應當在圖上加以特殊說明，並應讓設計基座的工程師知道。

通過汽輪機外殼的支持，常常以佈置在汽輪機與發電機間的中間軸承來實現。所謂汽輪機的前軸承，就是佈置在發電機對面汽輪機末端的軸承，它通常是直接支持在基座上的。

由軸承及汽輪機外殼傳達壓力給基座並在基座上固定，是需要用特殊零件來完成的，即是用名為基座底板、基座架構或支座部分來完成。它的最正確的稱呼是支座部分，因為現在這些零件的結構通常與底板或架構並沒有什麼相似之處。

因為這些零件與基座直接緊密結合，並緊密地嵌入基座內，所以對基座是會有影響的。這樣，這些零件的結構就必須很仔細的考慮。

在安裝汽輪機和發電機時，支座部分應當緊緊的固定在基座

上，通常在檢修時是不把它从基座上移開的。机器的其他部分（軸承及外殼），应当用錨栓連接，固定在支座部分上，以便这些部分在熱膨脹時有可能沿特殊金屬板移動，同時在大檢修時也可能卸開。

汽輪机部分溫度位移的破坏，可能是嚴重故障的原因，甚至可能是汽輪机运行事故的原因。因此，正確地設計、製造及安裝支座部分，是有非常重要的意义的。

在不大的和簡單的汽輪机設備內，汽輪机与發电机所用的支座部分是相同的，有時甚至汽輪机与發电机共用一个支座部分。在这种情况下，支座部分是具有一定外形的閉合形架構（圖 5）。

在現代的大型汽輪机設備中，其支座部分是單獨構造的，安置在基座上一定位置的支座，其相互之間並沒有什麼關係（圖 6）。

这种支座部分的單獨結構，可以使製造大为簡化，但是使安裝增加了一定的複雜性，因为需要保證能够準確地校正这些單獨支座在基座上的相互位置。但在巨大複雜的設備中，唯一可用的，还是这种單獨支座部分。

小容量簡單机器的支座，是一个实腹断面的簡單鑄件。但是当支座部分須製成可变的和足够富裕的高度時，它可以鑄成空心的。

圖 7 所示，即为这种支座部分的圖形，它由具有縱向及幾個为了增加其剛性而加的橫向腹板所構成。

因此，支座部分必須在下边、兩旁以及内部灌滿混凝土，在支座部分的腹板內，应当預先製有孔洞，以便供給内部混凝土及控制澆灌混凝土。

支座部分的底面有時具有深入下面的突出部分，供將支座安

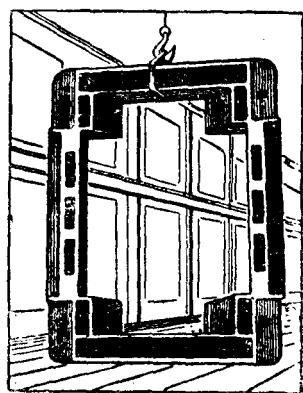


圖 5 閉合架構式的
支座部分