

## 名詞解說

# 振動機器基礎 ( Vibrating Machine Foundation )

高景盛

## 一、名詞說明

### 1.1 振動機器基礎

工業工廠內常有幫浦、空氣壓縮機及大型發電機等機器，這些機器具有往復或週期性(Periodic)運動的特性，因此基礎之分析及設計除了需滿足一般靜力條件外，尚需滿足動力分析的需求，亦即避免機器運轉頻率與基礎自然頻率發生共振現象並檢核振幅是否在容許範圍內，且基礎之強度設計需滿足機器產生之動力。一般泛稱此類機器為振動機器，而支撐該機器之基礎稱為振動機器基礎 (Vibrating Machine Foundation)。

### 1.2 機器種類及不平衡力 (Unbalance Force)

振動機器依其振動所產生之不平衡力主要可區分為離心式(Centrifugal)、往復式(Reciprocating)及衝擊式(Shock)等 [ Srinivasulu, 1978 ]。離心式機器之不平衡力為由偏心轉動之轉子(Rotor)造成之離心力，渦輪發電機及風扇屬於此類；往復式機器之不平衡力由數組氣缸(Piston)往復運動造成，其不平衡力與氣缸配置有關，大型往復式壓縮機屬於此類；衝擊式機器之衝擊力與錘擊之重量及速度有關，其衝擊力甚大且為瞬間載重，夯錘機(Hammer)即屬此類。不平衡力作用之大小、位置及頻率對振動機

器基礎分析及設計非常重要，讀者可參考Brown(1997)及Major(1980)所著之書籍，以對不平衡力有較深的認識。以上三種機器外型如圖一所示。

### 1.3 振動機器基礎種類

振動機器基礎依其構造主要可分為塊狀式(Block)、構架式(Elevated)及隔振式(Isolator)等，各基礎外型如圖一所示。茲將各種不同基礎定義簡述如下：

#### 1. 塊狀基礎

塊狀基礎顧名思義即基礎之體積及質量可視為一整塊者。依DIN 4024 Part 2 (1991)的定義，該基礎具有甚大的撓曲(Flexural)及旋轉(Torsional)勁度，因此可將基礎視為剛性(Rigid)。其動力分析模式常以6個不同方向之單自由度(One-Degree of Freedom)模擬 [ 陳煌銘, 1985 ]，而其土壤(基樁)之彈性係數及阻尼比可參考Richart (1970)，Novak (1987, 1974, 1972)。一般座落於地表上之離心式機器及往復式機器採用此類基礎型式。

#### 2. 構架式基礎

構架式基礎由支撐機器之樑(或版)、柱及底版所組成。依DIN 4024 Part 1 (1988)定義，該基礎撓曲及旋轉勁度較低，可視為柔性(Flexible)，故其結構系統理論上有無數個振態(Natural Modes of Vibration)。初步動力分析可假設柱底固接而以單自由度系統模擬 [ Sohre,

1976〕〔洪思閔, 1986〕, 完整動力分析應利用功能完善之軟體進行三度空間多自由度系統模擬〔GT-Strudl, 1996〕〔Arya, 1979〕〔ASCE, 1987〕。一般對於放置高程較高或需配合設備要求之大型離心力機器常採用此類基礎型式。

### 3. 隔振式基礎

隔振式基礎之隔振材料一般由數組彈簧及阻尼器所組成。隔振基礎的優點在避免機器將過大的不平衡力或動力傳遞至周圍環境〔Gerb, 1994〕, 但使用時應注意隔振基礎會產生較大振幅且其彈簧材料較易疲勞的缺點。其動力分析模擬方式與塊狀式基礎相同, 一般衝擊式機器及對振動敏感的環境常採用該基礎型式。

## 二、振動機器基礎分析及設計流程

目前國內尚無針對振動機器基礎設計而訂定之規範, 若欲獲得較完善資料, 可參考國外規範, 例如DIN 4024 (1988, 1991)、BSI (1974)等, 或參考國外大型工程公司發行之準則, 例如美國 Exxon International Practice (1994)、Fluor Design Guide (1976)、日本Chiyoda Standard (1990)等。綜合以上設計規範及標準, 建議振動機器基礎分析及設計流程如圖二所示。

### 參考文獻

洪思閔, 鄭美淑 (1986), “高速機器構架式基礎之結構分析及設計 (上)、(中)、(下)”, 現化營建雜誌, 七十五年八~十月。

陳煌銘 (1985), “振動基礎之分析及設計”, 地工技術雜誌第9期, 民國74年1月, 第20~36頁。

Arya, S. C. , O'Neill, M. W. , and Pincus, G. (1979), “Design of Structures and

Foundations for Vibrating Machines”, Gulf Publishing Co. , Houston.

ASCE (1987), “Design of Large Turbine-Generator Foundations”, Task Committee on Turbine Foundations, TK2458.F68D47.

Brown, R. N. (1997), “Compressor – Selection and Sizing” 2nd Edition, Gulf Publishing Company, Ch9 Dynamic, pp.368~402.

BSI (1974), “Code of Practice for Foundations for Machinery – Part 1 : Foundations for Reciprocating Machines”, CP 2012, Part 1, 1974.

Chiyoda Standard Specification (1990), “Design of Foundations for Heavy Machinery”, CSS A 3303 E R4, Chiyoda Corp. , Yokohama, Japan.

DIN 4024 Part 1 (1988), “Machine Foundations – Flexible Structures that Support Machines with Rotating Elements”

DIN 4024 Part 2 (1991), “Machine Foundations – Rigid Foundations for Machinery Subject to Periodic Vibration”

Exxon International Practice (1994), “Supporting Structures and Foundations for Heavy Machinery”, IP 4-6-2, Exxon Research and Engineering Company.

Fluor Design Guide (1976), “Rotating Machinery on Elevated Structures”, Structural Engineering Sample Computations, No. DC-14, Fluor Corporation.

Fluor Design Guide (1976), “Vibrating Machinery Foundations on Pile”, Structural Engineering Sample Computations, No. DC-13, Fluor Corporation.

Fluor Design Guide (1976), “Vibrating Machinery Foundations on Soil”, Structural Engineering Sample Computations, No. DC-12, Fluor Corporation.

Gerb (1994), “Vibration Isolation Systems”, 9th edition, Gerb Schwingungsisolierungen GmbH & Co KG.

GT-STRUDL User Reference Manual (1996), “Vol. 3 – Dynamic Analysis”, Rev. P, Georgia Institute of Technology.

Major, A. (1980), "Dynamics in Civil Engineering - Analysis and Design, Vol. I ~ IV", Collet's Holdings Limited, London.

Novak, M. (1987), "State-of-the-art in Analysis and Design of Machine Foundations", Soil-Structure Interaction, Cakmak, A. S. (editor), Elsevier Computational Mechanics Publications, pp.171-192.

Novak, M. (1974), "Dynamic Stiffness and Damping of Piles", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, No. 4, Nov. 1974.

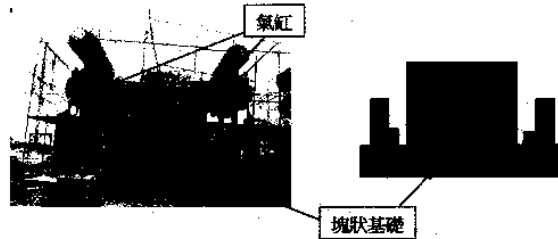
Novak, M., and Beredugo, Y. O., (1972) "Vertical Vibration of Embedded Footings

" Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, No. SM12, Dec. 1972.

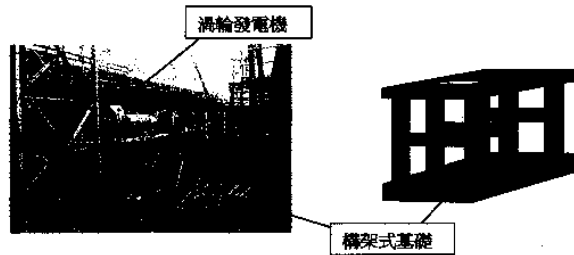
Richart, F. E., Hall, J. R., and Woods, R. D. (1970), "Vibrations of Soils and Foundations", Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Sohre, J. S. (1976), "Foundations for High-Speed Machinery", 5th rev. edition, ASME Publication, Paper No. 62-WA-250.

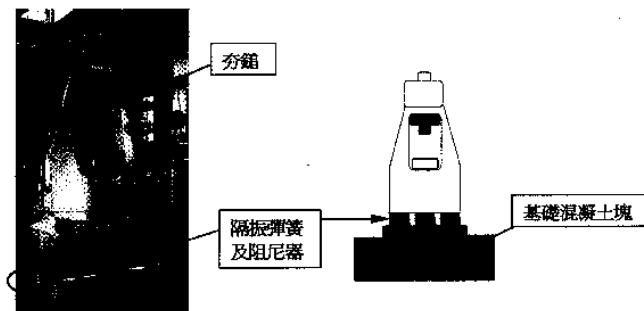
Srinivasulu, P., and Vaidyanathan, C. V. (1978) "Handbook of Machine Foundations", 2nd edition, Structural Engineering Research Center, Madras, India.



(1) 往復式壓縮機及塊狀式基礎

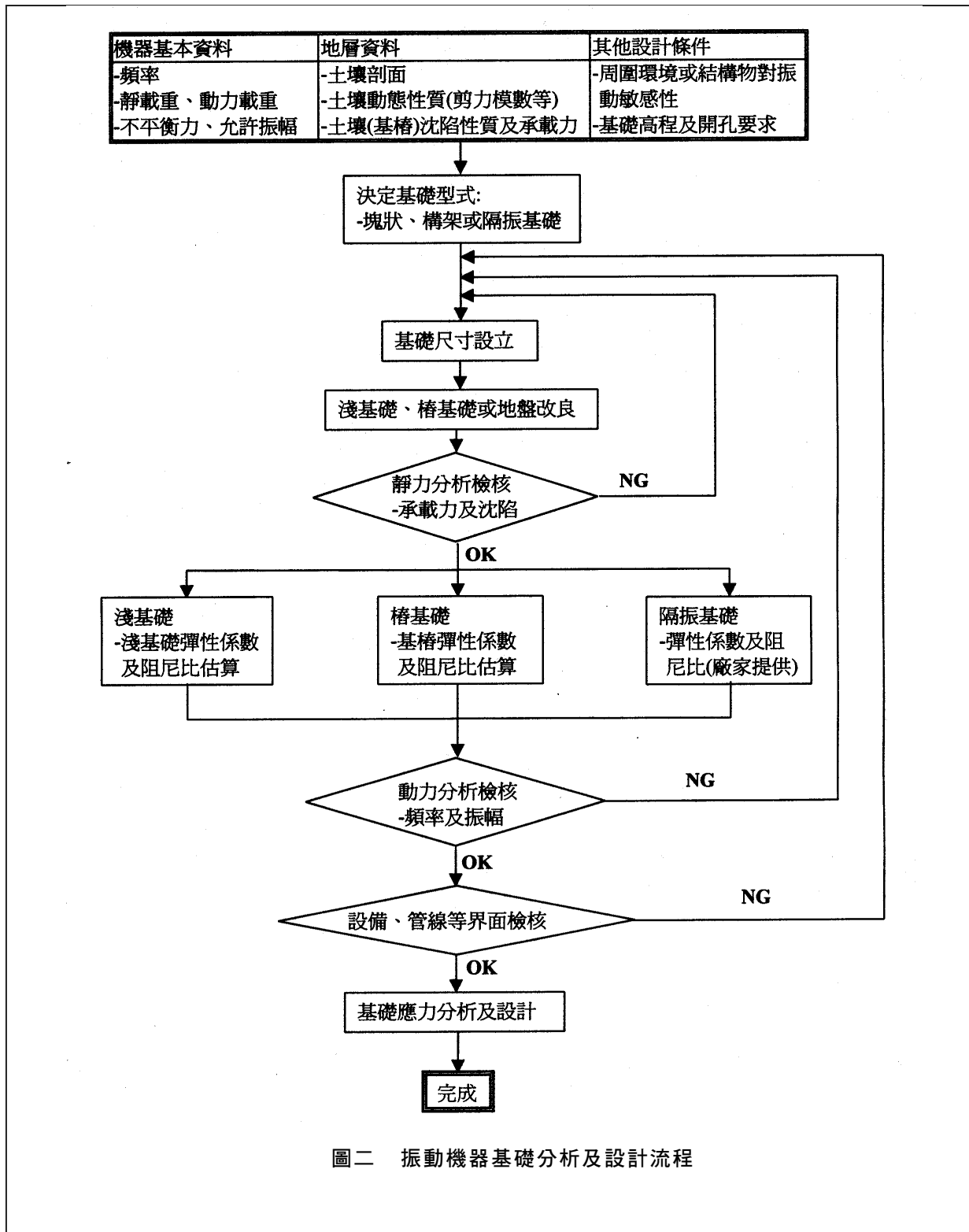


(2) 渦輪發電機及構架式基礎



(3) 汽輪機及隔振式基礎

圖一 振動機器及基礎種類



圖二 振動機器基礎分析及設計流程