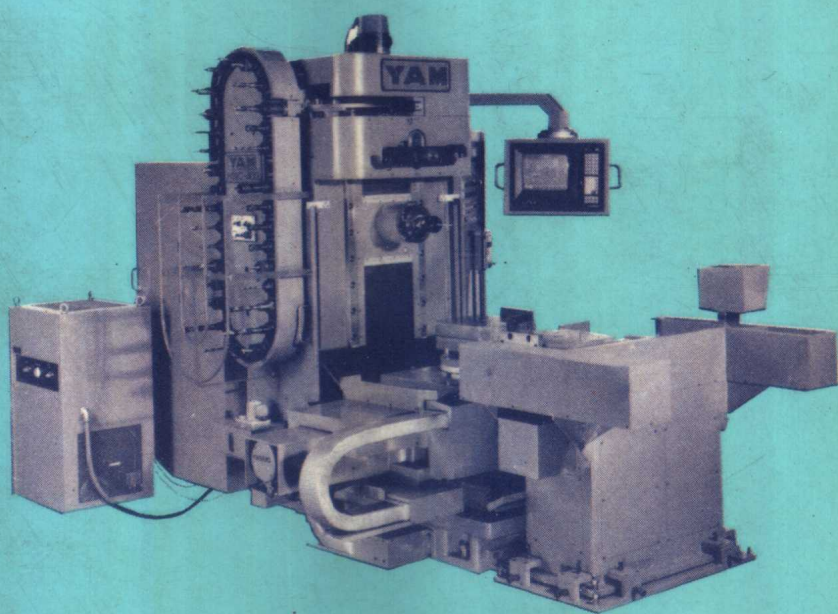


振動基礎

分析與設計

陳煌銘 編著



科技圖書股份有限公司

振動基礎分析與設計

陳 煌 銘 著



科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第 1123 號

書名：振動基礎分析與設計
編著者：陳煌銘
發行人：趙國華
發行者：科技圖書股份有限公司
台北市重慶南路一段49號四樓之一
電話：3118308・3118794
郵政劃撥帳號 0015697-3

七十五年九月初版

特價新台幣 250 元

序

近年來，工業發展突飛猛進，機器愈趨向於大型且較精密。若機器基礎設計不善，不但會影響機器本身的功能，亦會由於振動能量的傳遞，對鄰近結構物、設備或人員有不良的影響，甚或造成停機停工。因此，機器基礎分析與設計的正確與否，影響甚大。

唯查之坊間，有關振動機器基礎分析與設計的外文書籍，尚屬不多；有者，又僅侷限於特定基礎與特定分析方法的介紹。迄未有較為完整及內容應時的論著可供參考，更遑論中文書籍。

有鑒於此，著者乃依據十數年來的工作與教學經驗及廣泛蒐集的資料，編著本書，冀能對振動基礎之分析與設計有所助益。

本書對於振動基礎常用之分析設計方法，與其依據的理論及分析必須之土壤動力參數的推求方法，均有完整的介紹及討論，並附詳細分析設計範例。不僅可作為振動基礎（包括振動機器及承受其他振動力之基礎）之分析設計的工具書，亦可為“土壤動力學”及與土木工程有關之振動學的研習者之參考書籍。

本書之能完成，首先得謝謝中國技術服務社及中鼎工程股份有限公司給予服務的機會，使作者能有機會接觸各種工業設備，啟發作者對振動基礎之特有興趣，實為著者編著此書的原動力。而中鼎工程公司鍾協理善藤及土木設計部諸同仁的激勵與指導，使作者的工作能力與日增進，對本書的完成，助益良多。謹向他們致以衷感謝。

另者，內人於授課之餘，不辭辛苦料理家務，使著者能於工作餘暇專心撰述，完成本書。願獻此成果，以表著者由衷的感激與謝意。

著者才疏識淺，雖戮力編寫本書，不敢怠忽。然疏漏之處，在所難免，尚祈學者專家與工程師，不吝指正幸。

陳 煌 銘 謹誌於中鼎工程股份有限公司
中華民國七十五年八月

著者簡例

國立台灣大學土木工程學士

國立台灣大學土木研究所交通工程碩士

美國紐約州立大學土研所大地工程碩士

美國ACRE公司大地工程師

中國技術服務社土木工程師

淡江大學土木工程系專任講師、副教授

中鼎工程公司土木設計部副組長、組長

現任

中鼎工程公司土木設計部副經理

淡江大學土木工程系兼任副教授

振動基礎之分析與設計

目 錄

序

第一章 導 論

參考文獻.....	5
-----------	---

第二章 基本振動理論

2-1 振動概論.....	7
2-2 單自由度振動系統.....	11
2-2-1 自由振動 — 無阻尼.....	12
2-2-2 自由振動 — 有阻尼.....	16
2-2-3 強迫振動 — 無阻尼.....	20
2-2-4 強迫振動 — 有阻尼.....	22
2-2-5 基座運動引起之反應.....	30
2-3 二自由度振動系統.....	33
2-3-1 自由振動 — 無阻尼.....	33
2-3-2 自由振動 — 有阻尼.....	36
2-3-3 強迫振動 — 無阻尼.....	38
2-3-4 強迫振動 — 有阻尼.....	41
2-4 多自由度振動系統.....	45
2-5 暫態振動系統.....	50

第三章 基礎置於彈性體上之振動理論

3-1 動力地基反力理論.....	59
-------------------	----

2 振動基礎之分析與設計

3-1-1 垂直振動	62
3-1-2 水平振動	64
3-1-3 搖動振動	65
3-1-4 扭旋振動	68
3-1-5 搖動振動、水平振動及垂直振動之結合振動	69
3-2 彈性半空間理論	78
3-2-1 彈性半空間理論之動力分析法演繹	79
3-2-2 垂直振動	82
3-2-3 水平振動	87
3-2-4 搖動振動	88
3-2-5 扭旋振動	91
3-3 討 論	93
參考文獻	93

第四章 振動基礎分析之土壤動力參數

4-1 剪切模數及阻尼比定義	97
4-2 動力參數的試驗方法	100
4-2-1 室內試驗方法	100
4-2-2 現場振動試驗方法	119
4-2-3 剪應變度影響之修正	130
4-3 動力參數之典型值及經驗推算公式	134
4-3-1 土壤動力參數之典型值	134
4-3-2 哈林氏與奚勒氏等建議之經驗公式	134
4-3-3 標準貫入試驗 N 值與剪切模數關係式	145
4-4 討 論	150
參考文獻	151

第五章 機器與機器基礎之分類及動力荷重

5-1 機器與機器基礎之分類	157
----------------	-----

5-2 動力荷重	162
5-2-1 旋轉式機器	162
5-2-2 多質體振動機器	163
5-2-3 單汽缸引擎	165
5-2-4 多汽缸引擎	168
5-2-5 振動輸送機	168
5-2-6 暫態振動力機器	171
5-3 基礎承受之作用力	171
參考文獻	175

第六章 設計基本準則及容許振動

6-1 設計基本準則	177
6-1-1 基礎尺度	177
6-1-2 靜力條件	177
6-1-3 動力條件	179
6-1-4 樁基礎	179
6-2 容許振動	179
6-2-1 人體之容許振動	180
6-2-2 結構物之容許振動	182
6-2-3 機器之容許振動	183
6-2-4 機器、人體及結構物容許振動綜合評估	192
參考文獻	193

第七章 塊狀式基礎

7-1 動力分析模式	197
7-2 “動力地基反力理論”分析法	200
7-2-1 分析步驟	200
7-2-2 分析範例	203
7-3 “彈性半空間理論”分析法	214

4 振動基礎之分析與設計

7-3-1 統括參數之推求	214
7-3-2 土壤動力參數之推求	219
7-3-3 分析步驟	221
7-3-4 分析範例	222
參考文獻	231

第八章 樁基礎

8-1 地基反力模數分析法	238
8-1-1 垂直振動	238
8-1-2 水平振動	242
8-1-3 搖動振動	244
8-1-4 扭旋振動	245
8-2 諾梵克氏分析法	246
8-2-1 垂直振動	246
8-2-2 水平振動	251
8-2-3 搖動振動	253
8-2-4 扭旋振動	256
8-3 相當懸臂樑分析法	258
8-3-1 相當懸臂樑長度的決定	259
8-3-2 群樁彈簧常數的決定	263
8-3-3 相當阻尼係數的決定	268
8-3-4 相當懸臂樑法之應用比較	268
參考文獻	275

第九章 機械錘基礎

9-1 機械錘之種類	281
9-2 基本設計準則	289
9-3 基礎設計必須之資料	293
9-4 基本分析理論	294

9-4-1	基本分析資料	294
9-4-2	決定自然頻率與振幅	296
9-4-3	概估必須之基礎重量與面積	303
9-4-4	振動力之決定	305
9-5	分析步驟	306
9-6	基礎結構設計	313
9-7	基礎施工程序	315
9-8	分析範例	317
9-9	討 論	329
	參考文獻	329

第十章 構架式基礎

10-1	設計資料	335
10-2	設計應考慮事項	335
10-3	設計基本準則	336
10-4	動力分析法	337
10-4-1	共振法	338
10-4-2	振幅法	342
10-4-3	共振與振幅“併用法”	348
10-4-4	討 論	353
10-5	結構設計	353
10-5-1	設計荷重	353
10-5-2	橫構架之設計	355
10-5-3	縱構架之設計	355
10-5-4	基礎版之設計	357
10-5-5	構架配筋	357
10-6	設計範例	357
	參考文獻	423

第十一章 其他類型機器基礎

11-1	軋輥機	427
11-2	壓鍛機	437
11-3	落錘式壓碎機	438
11-4	軋碎機	440
11-5	研磨機	444
11-6	龍門刨床	445
11-7	雷達塔與無線望遠鏡塔	448
11-8	金工機器	449
11-9	裝置於建物樓版之機器	453
11-10	設計範例	455
	參考文獻	476

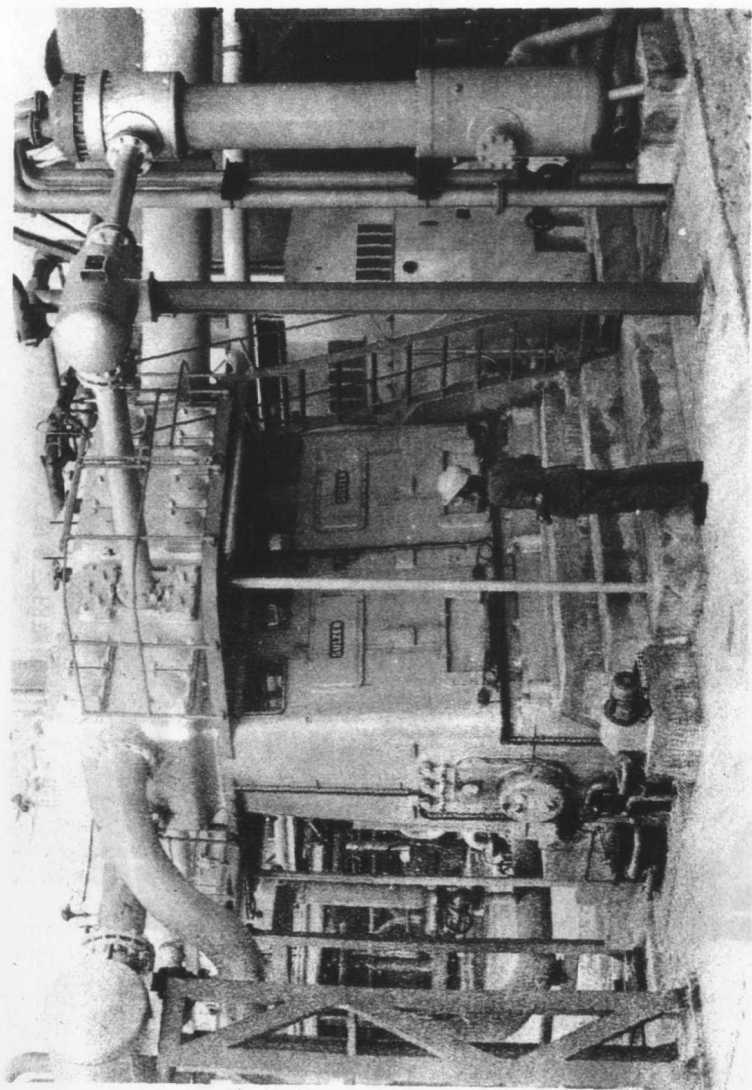
第十二章 機器振動之影響及防治

12-1	振動基礎傳播之振波	479
12-2	一般機器振動之影響範圍	481
12-3	振動防治方法	483
12-4	機器振動影響之防治實例	491
12-5	建築物內之隔音問題	502
12-6	討 論	505
	參考文獻	507

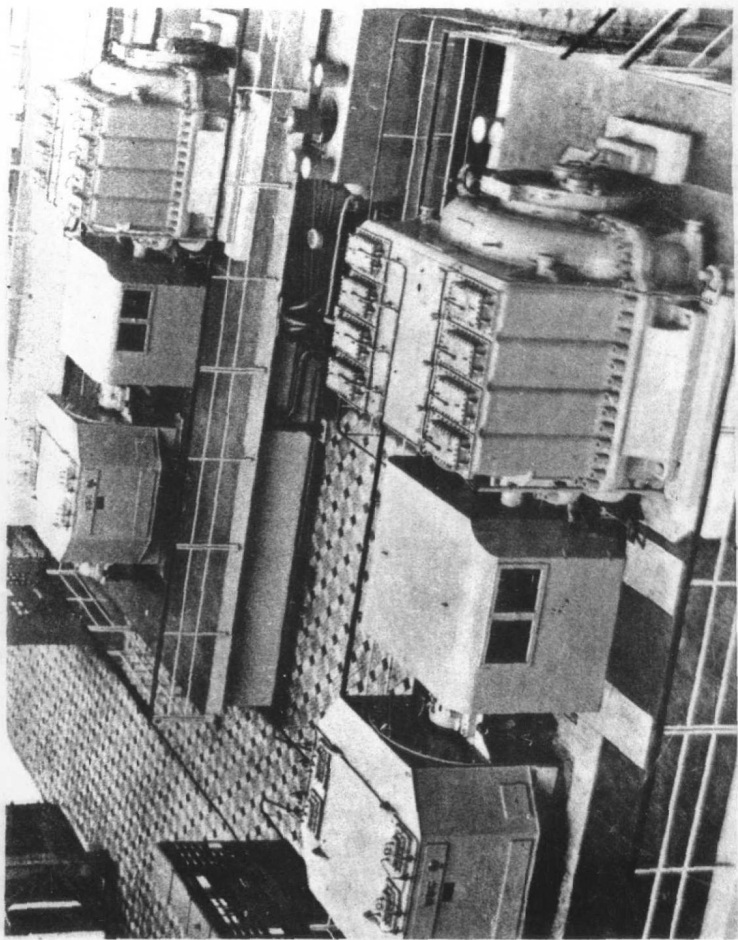
附錄A 各種形狀之面積及質量慣性矩

附錄B 單位換算表

附錄C 羅馬字母音讀表



氮氣複活塞式壓縮機，功率： $9200\text{ m}^3/\text{h}$



鋼廠內之等溫式馬達驅動壓縮機

第一章 導 論

振動機器除了振動能量很小者之外，其基礎均需經審慎的分析與設計。否則機器基礎振動過大，會導致機器功能失常、基座螺栓鬆動、基礎龜裂或破壞，甚或影響鄰近建物與設備之功能及人員之生理狀況。在國內，由於設計參考資料的缺乏，更常有類此情況發生，事後之改善工作，導致停機停工，往往所費不貲。且機器常設在廠房之內，又有各類管線相聯，改善工程施工不易。因此，事前的審慎分析與設計最為重要。

振動機器基礎的一般設計程序包括：

- (1) 獲取基地土壤資料，包括土層斷面圖、土壤之靜力及動力特性及地下水位等。
- (2) 獲取機器設計資料，包括機件配置圖、基礎概略外型、不平衡作用力、其他附件（如螺栓、溝道、留孔等）之大小與位置及特殊要求等。
- (3) 依據設計準則，初步決定基礎型式及尺寸。
- (4) 靜力分析，包括在靜荷重作用下，土壤支承力與沉陷量的檢核。
- (5) 動力分析，分析在機器振動力作用下，基礎的動力反應及穩定性。
- (6) 基礎結構設計。

若基礎靜力與動力分析結果，不能符合規範或設計準則要求，則必須改變基礎型式及尺寸、施行基礎土壤改良或採用樁基礎，再進行靜力與動力分析，直至滿足設計標準，再依分析求得之作用力進行基礎結構設計。

本書目的在使讀者閱後，能有振動機器基礎之分析與設計能力。

4 振動基礎之分析與設計

乃針對上述設計程序依序撰寫。首先於本書第二章及第三章中介紹振動機器基礎設計最重要的步驟——“動力分析”有關的振動學理論；第四章專門討論振動分析必須的土壤動力參數及其試驗推求方法；有關機器設計資料包括機器與機器基礎型式及動力荷重等，主要於第五章中介紹，並另按機器特性，個別於後續章節中進一步討論；第六章詳述振動機器基礎設計必須遵循的各種基本準則（包括靜力及動力）；第七章至第十一章則分別介紹各種常見的機器（包括機械錘、壓縮機、渦輪發電機及其他類型機器）及其常用之基礎（包括塊狀式基礎、樁基礎及構架式基礎等）的分析設計方法與步驟，並附以分析設計範例詳細說明。另考慮機器振動的影響與防治亦為機器基礎設計應特別注意的要項，本書第十二章特別針對此問題詳加討論，並列舉實例說明。

至於有關土壤支承力與沉降量的分析及基礎結構設計，則屬“土壤力學”、“鋼筋混凝土學”、及“基礎工程學”的範疇，非屬本書範圍。因此，本書僅在分析設計範例中偶加提示。

限於篇幅，本書無法將各種理論詳細介紹討論。因此，本書各章之末均附有引用之參考文獻，俾供查引索證。

本書主體係由著者過去發表之論述（參考文獻1～8）彙輯構成。主要取材來源則包括 Arya et al (1975, 1977, 1979), ARAMCO (1976), Barkan (1962), Irish and Walker (1969), Major (1980), Prakash (1981), Richart et al (1970), Singh (1977), Srinivasulu and Vaidyanathan (1978)、大築志夫 (1956)、澤潟作雄 (1978)、石川島播磨重工業株式會社及江島淳 (1979) 等人的論著，特此誌之。

參考文獻

1. 陳煌銘，顧爲明（1977），“應用對等懸臂樑理論設計樁支撐之振動機器基礎之探討”中國工程師學會會刊「工程」第五十二卷第十一期。
2. 陳煌銘（1980），“現場震波探測法與試驗室共振柱法量測之土壤動力模數之比較研究”淡江學報第17期，民國69年7月。
3. 陳煌銘（1985），“振動機器基礎之分析及設計——塊狀淺基礎”地工技術第9期。
4. 陳煌銘（1985），“振動機器基礎之分析及設計——樁基礎”地工技術第9期。
5. 陳煌銘（1985），“機器振動影響之防治”現代營建第62期，民國74年2月。
6. 陳煌銘（1985），“機械錘基礎之分析與設計”現代營建第63、64期，民國74年3月、4月。
7. 陳煌銘（1986），“振動基礎分析有關之土壤動力參數”現代營建第71、72期，民國74年11月、12月。
8. 陳煌銘（1986），“樁支承之振動機器基礎之分析方法”營建世界第58、59期，民國75年7月、8月。
9. 大築志夫（1956），“防振基礎の設計法”オーム社，昭和34年3月。
10. 澤潟作雄著（賴耿陽譯），“重機械及精密機器基礎設計與安裝”，復漢出版社，民國六十七年元月。
11. 石川島播磨重工業株式會社（壓縮機設計部），“往復式壓縮機の基礎設計法”。
12. 江島淳（1979），“地盤振動と對策”古井書店。
13. Arya, S. C., Drewyer, R. P., and Pincus, C. (1975) "Foundation Design for Vibrating Machines", Hydrocarbon Processing, PP 273-278, Nov.
14. Arya, S. C., Drewyer, R. P., and Pincus, G. (1977) "Foundation Design for Reciprocating Compressors", Hydrocarbon Processing, PP 223-235, May.
15. Arya, S. C., O'Neill, M., and Pincus, G. (1979) "Design of Struc-

6 振動基礎之分析與設計

- tures and Foundations for Vibrating Machines", Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
16. ARAMCO Services Company (1976) "Final Report on Machinery Foundation Design Standards", Report Proposed for Arabian American Oil Company.
 17. Barkan, D. D. (1962), "Dynamics of Bases and Foundations", New York, McGraw-Hill.
 18. Irish K. and Walker, W. P. (1969) "Foundations for Reciprocating Machines" Concrete Publications Limited, London.
 19. Major, A. (1980), "Dynamics in Civil Engineering" Collet's Holdings Limited, London.
 20. Prakash, S. (1981) "Soil Dynamics", McGraw-Hill, Inc. New York.
 21. Richart, F. E., Jr., Hall, J. R., Jr. and Woods, R. D. (1970), Vibrations of Soils and Foundations, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 414 pp.
 22. Singh, J. P. Donovan, N. C., and Jobsis, A. C. (1977) "Design of Machine Foundations on Piles", JGED, ASCE, Vol. 103, No. GT8, Proc. Paper 13158 PP 863-877, Aug.
 23. Srinivasulu, P. and Vaidyanathan C. V. (1978), "Handbook of Machine Foundations", Structural Engineering Research Center, Madras, India.