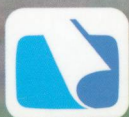




噪音控制與防制

盧博堅 劉嘉俊 編著



滄海書局

Tsang Hai Book Publishing Co.

噪音控制與防制

盧博堅 劉嘉俊 編著



滄海書局

Tsang Hai Book Publishing Co.

國家圖書館出版品預行編目資料

噪音控制與防制 / 盧博堅, 劉嘉俊編著. -- 初版.

-- 臺中市：滄海, 民 100. 01

面；公分

ISBN 978-986-6184-37-6(平裝)

1.噪音 2.噪音防制

445.95

99025380

版權所有



翻印必究

滄海書碼 EN0067

噪音控制與防制

編著者 / 盧博堅、劉嘉俊

發行人 / 張麗紅

出版者 / 滄海書局

總經銷 / 滄海書局

地 址：40757 台中市西屯區台中港路二段 122-19 號 11 樓

網 址：<http://www.tsanghai.com.tw>

電 話：(04) 2708-8787

傳 真：(04) 2708-7799

E-mail：thbook@tsanghai.com.tw

中華民國 100 年 2 月初版一刷

本書所有內容，未經編著者及本公司事前書面授權，不得以任何方式作全部或局部之

翻印、複印、仿製或轉載。

ISBN 978-986-6184-37-6

序 錄

20世紀50年代以來，日趨嚴重的環境問題引起了民衆的廣泛關注，各國都採取各種手段和措施進行環境保護與污染防治工作。隨著現代工業、科學技術、交通運輸和都市建設的發展，雖帶給人類進步和方便，但同時也帶來了環境污染的負面影響，噪音污染已成為國內外影響最大的物理性公害之一，因此，需要不斷地去研究和探討噪音控制技術，為人們創造一個安靜舒適的音環境。撰寫本書的出發點是以工程實務為主，並解釋清楚必要的理論基礎知識，使讀者透過本書之學習，具有一定的實際工作能力與知識。噪音沒有必要完全消失，只要控制在可接受的範圍內即可，噪音控制技術的研究首先需要弄清楚噪音污染的原理，具有一定的聲學基礎理論知識。「噪音控制」已成為聲學技術中發展最為活躍的領域之一，它所涉及的專業範圍以及技術相當廣泛，本書《噪音控制與防制》正是全面性的介紹環境噪音及其控制技術的有關理論和方法，反映這個領域的最新發展的一部著作，以滿足教學與工程需要、環境科學的發展和人類治理環境、保護環境的實務而編寫了本書，提供環境科學與工程專業的讀者學習「噪音控制工程」的好教材，也可做為其他專業師生和相關科技與工程工作者的參考書。

本書是在本人與劉嘉俊博士累積了多年來教學的經驗，並結合工程實務及近年來國外最新發展的技術共同編寫成此書，博採衆長，精益求精，使本書更具特色，本書的出版必將對環境聲學和噪音控制工程的教學和實務上發揮一定的功效。由於編寫過程繁瑣，在內容安排和取材等方面難免有不妥和錯誤之處，誠摯地歡迎讀者提出寶貴的意見與批評指正。

1.1.7	加權與修正	38
1.2.8	白色及粉紅色噪音	39
1.3	室內音傳播	40
1.3.1	室內統計聲學	40
1.3.2	室內波動聲學	45
1.4	室外音傳播	50
1.4.1	幾何衰减	52

盧博堅 謹序

2011年2月

淡江大學，台北淡水

目錄

Chapter 1

噪音控制基本知識

1

1.1 聲音的基本特性 2

- 1.1.1 噪音的定義與危害 2
- 1.1.2 音波的產生 4
- 1.1.3 頻率、波長與音速 6
- 1.1.4 音波方程式 10
- 1.1.5 平面波 13
- 1.1.6 球面波 15
- 1.1.7 柱面波 18
- 1.1.8 音波的相加 18
- 1.1.9 音波的反射、透射及折射 20

1.2 聲音的物理量 23

- 1.2.1 音能量與音能量密度 23
- 1.2.2 音功率與音強 24
- 1.2.3 聲級與分貝 25
- 1.2.4 頻譜 32
- 1.2.5 聲像 34
- 1.2.6 響度 36
- 1.2.7 加權與修正 38
- 1.2.8 白色及粉紅色噪音 39

1.3 室內音傳播 40

- 1.3.1 室內統計聲學 40
- 1.3.2 室內波動聲學 45

1.4 室外音傳播 50

- 1.4.1 幾何衰減 52

1.4.2	指向性因數	52
1.4.3	隔音牆衰減	52
1.4.4	氣象條件的影響	53
1.4.5	其他附加衰減	54

習題 56

Chapter 2

道路噪音

59

2.1 噪音特性 60

2.1.1	噪音源	60
2.1.2	車輛噪音特性	62
2.1.3	道路噪音特性	65
2.1.4	車外加速噪音標準	69
2.1.5	高速公路兩側高層建築物噪音影響	72
2.1.6	隧道口噪音	73
2.1.7	有無隔音牆比較	75

2.2 噪音預測和評估 76

2.2.1	道路噪音預測	76
2.2.2	道路噪音評估	77

2.3 噪音控制 79

2.3.1	車輛噪音的控制	79
2.3.2	低噪音路面	81
2.3.3	隔音牆	85
2.3.4	隔音綠化帶	103
2.3.5	高架道路裡吸音設施	107
2.3.6	隔音罩	109
2.3.7	伸縮縫	110

習題 113

3.1 噪音特性 117

- 3.1.1 鐵路噪音的組成 117
- 3.1.2 鐵路噪音的特性 120
- 3.1.3 高架鐵路噪音的特性 126

3.2 噪音預測和評估 127

- 3.2.1 噪音陳情案件 127
- 3.2.2 軌道系統交通噪音量測 128
- 3.2.3 鐵路噪音的預測 131
- 3.2.4 高速鐵路噪音預測 132
- 3.2.5 噪音的評估 132
- 3.2.6 複合性噪音 140

3.3 噪音控制 141

- 3.3.1 降低噪音源音量 142
- 3.3.2 控制傳播途徑降低噪音 148
- 3.3.3 控制敏感點 148

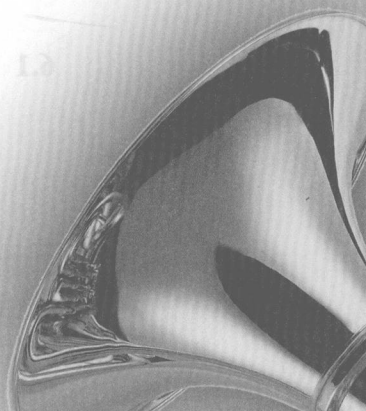
習題 150

4.1 噪音特性 152

- 4.1.1 飛機噪音 152
- 4.1.2 機場噪音 156
- 4.1.3 航空噪音評估指標 160

4.2 噪音預測和評估 182

- 4.2.1 航空噪音的預測 182



4.2.2 航空噪音的預測模式 183

4.2.3 航空噪音的評估 186

4.3 噪音控制 189

4.3.1 機場噪音控制 189

4.3.2 航空噪音管理 191

習題 193

Chapter 5

都市噪音

195

5.1 噪音特性 196

5.1.1 噪音源 196

5.1.2 都市噪音特性 204

5.2 噪音預測和評估 226

5.2.1 都市噪音預測 226

5.2.2 都市噪音的評估 227

5.3 噪音的控制 230

5.3.1 概述 230

5.3.2 隔音 235

5.3.3 吸音 241

習題 246

Chapter 6

營建與工廠噪音

247

6.1 噪音特性 248

6.1.1 機械性噪音 248

6.1.2 空氣動力性噪音 252

6.1.3 噪音源特性 254

6.2 噪音預測和評估 256

6.2.1 營建噪音預測和評估 256

6.2.2 工廠噪音預測和評估 262

6.3 噪音控制 264

6.3.1 噪音控制概述 264

6.3.2 各國勞安方式 267

6.3.3 吸音及其應用 271

6.3.4 隔音及其應用 272

6.3.5 消音器及其應用 273

6.3.6 噪音源控制 274

習題 282

Chapter 7

隔振原理及其應用

285

7.1 振動危害與容許標準 286

7.1.1 振動的危害 286

7.1.2 振動控制的基本方法及隔振措施 288

7.1.3 振動的容許標準 289

7.2 隔振原理與隔振設計 293

7.2.1 單自由度系統隔振 294

7.2.2 隔振方式與設計原則 296

7.3 隔振器材和隔振器 297

7.3.1 要求與分類 297

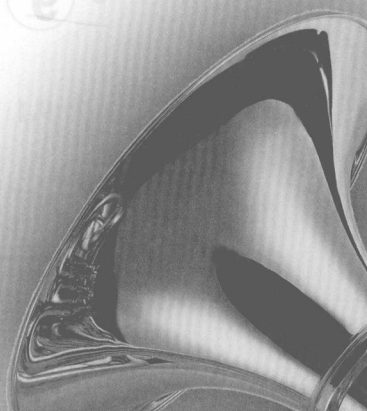
7.3.2 鋼圓柱螺旋彈簧隔振器 298

7.3.3 橡膠隔振器和橡膠隔振墊 298

7.3.4 機床隔振器 300

7.3.5 全金屬鋼絲繩隔振器 301

7.3.6 空氣彈簧 301



7.3.7 軟木板 302

習題 303

Chapter 8

吸音原理及其應用

305

8.1 共振吸音結構吸音原理 306

8.1.1 吸音係數 306

8.1.2 亥姆霍茲共鳴器 308

8.1.3 穿孔板共振吸音結構 312

8.1.4 微穿孔板吸音結構 314

8.1.5 薄板共振吸音結構 317

8.2 多孔吸音材料吸音原理 318

8.2.1 吸音材料分類 318

8.2.2 多孔材料吸音原理 320

8.2.3 影響多孔吸音材料吸音性能的因素 320

8.3 吸音原理應用 323

8.3.1 吸音降低噪音 323

8.3.2 消音室中吸音契應用 327

8.3.3 微穿孔板吸音結構的應用 330

8.4 吸音設計 331

習題 333

Chapter 9

隔音原理及其應用

335

9.1 單層牆的隔音原理 336

9.1.1 音波的反射和透射 336

9.1.2 整體振動的單層均勻柔性薄板的隔音 337

9.1.3	彎曲振動的單層均勻薄板的隔音	341
9.1.4	有限大小單層均勻薄板的總體隔音	345
9.2	雙層牆的隔音原理	347
9.2.1	多層介質平面波傳播的阻抗轉換定理	347
9.2.2	無限大雙層牆的隔音量理論計算方法	349
9.3	其他隔音結構的隔音原理	352
9.3.1	組合結構的隔音原理	352
9.3.2	隔音罩原理	353
9.4	隔音的工程設計方法	355
9.4.1	單層均勻薄牆的隔音量計算方法	356
9.4.2	實際雙層牆的隔音量計算方法	357
9.4.3	建築隔音設計	359
9.5	隔音性能的測量	360
9.5.1	隔音效果的測量	360
9.5.2	建築構件空氣音隔音的實驗室測量方法	362
習題	366	

Chapter 10

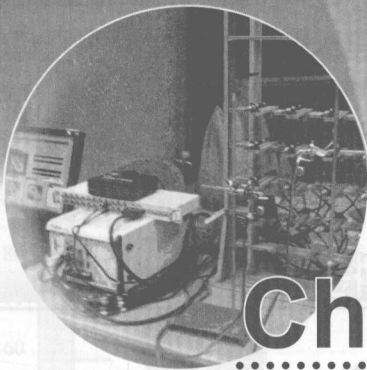
消音原理及應用

367

10.1	阻性消音器	368
10.1.1	管式消音器	368
10.1.2	多通道式阻性消音器	371
10.1.3	其他形式的阻性消音器	374
10.2	抗性消音器	375
10.2.1	擴張室消音器	376
10.2.2	共振腔消音器	380
10.3	複合式及其他類型消音器	382

10.3.1	阻抗複合式消音器	382
10.3.2	微穿孔板消音器	384
10.3.3	小孔噴注消音器	386
10.3.4	主動控制消音器	388
10.3.5	干涉型消音器	389
10.3.6	結構消音器	390
10.4	消音性能的評估與測量	391
10.4.1	消音器的性能評估	391
10.4.2	氣流對各種消音器性能的影響	397
10.4.3	消音器性能的測量	400
10.5	消音器的選用	403
	習題	406
	中文文獻	407
	英文文獻	415
	日文文獻	434
	網路文獻	436





Chapter

1

噪音控制基本知識



1.1 聲音的基本特性

- 1.1.1 噪音的定義與危害
- 1.1.2 音波的產生
- 1.1.3 頻率、波長與音速
- 1.1.4 音波方程式
- 1.1.5 平面波
- 1.1.6 球面波
- 1.1.7 柱面波
- 1.1.8 音波的相加
- 1.1.9 音波的反射、透射及折射

1.2 聲音的物理量

- 1.2.1 音能量與音能量密度
- 1.2.2 音功率與音強
- 1.2.3 聲級與分貝
- 1.2.4 頻譜

1.2.5 聲像

1.2.6 響度

1.2.7 加權與修正

1.2.8 白色及粉紅色噪音

1.3 室內音傳播

1.3.1 室內統計聲學

1.3.2 室內波動聲學

1.4 室外音傳播

1.4.1 幾何衰减

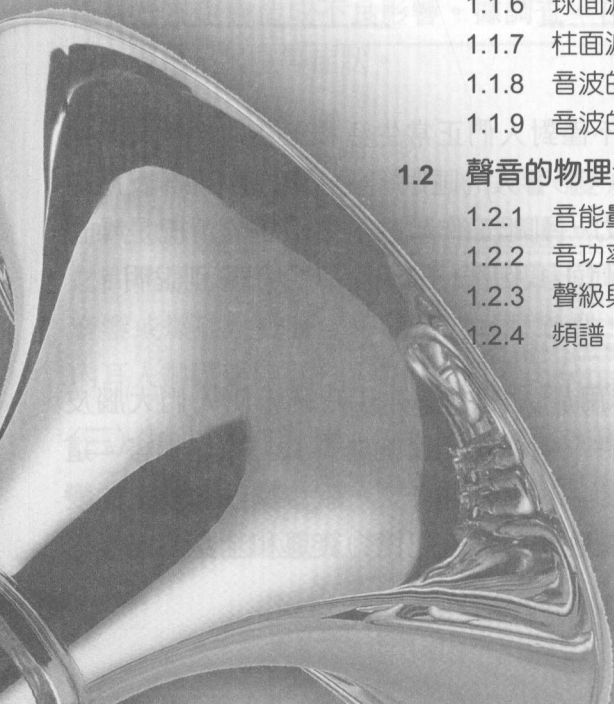
1.4.2 指向性因數

1.4.3 隔音牆衰减

1.4.4 氣象條件的影響

1.4.5 其他附加衰减

習題



隨著社會現代化的發展，噪音已成為繼水污染、空氣污染、固體廢物污染的第四大環境公害。噪音對人類健康的危害一直存在，要合理控制噪音污染，就必須瞭解噪音的基本特性。本章從聲音的基本特性、聲音的度量、聲音的傳播等方面來介紹噪音控制的基本知識。

1.1 聲音的基本特性

1.1.1 噪音的定義與危害

一、噪音的定義

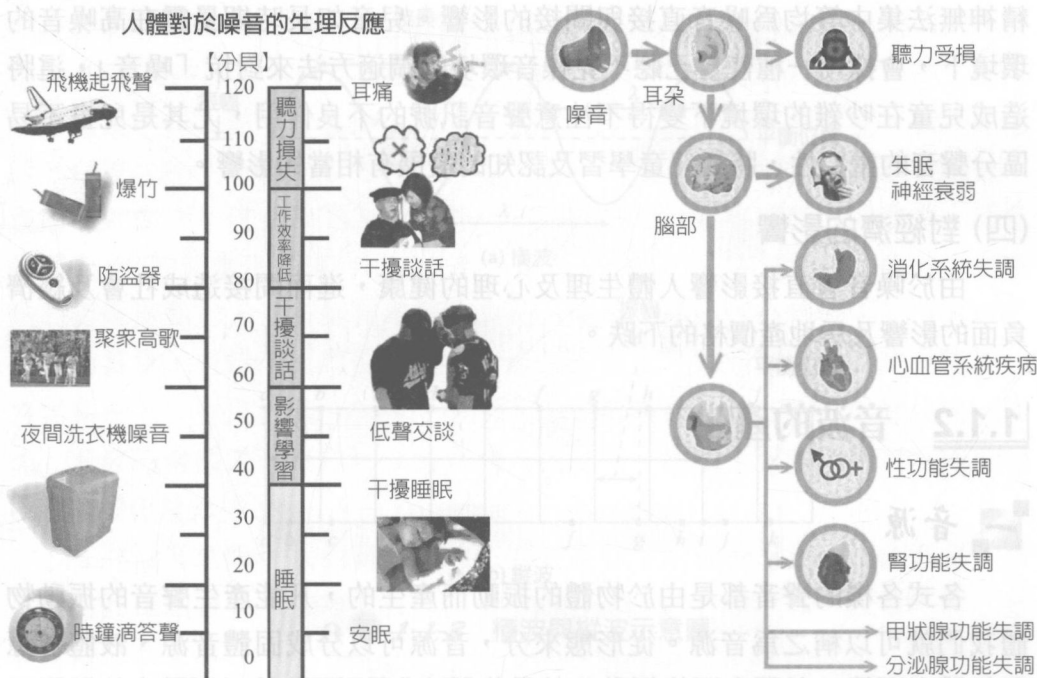
什麼是噪音呢？噪音是如何造成的呢？這是一個簡單而又複雜的問題。在兩千多年前的中國古代《說文》和《玉篇》中就有相關噪音的解釋：「擾也」，「群呼煩擾也」。也就是說，那時只有人聲喧嘩成為煩擾人的噪音，也可以說，這是人類最早關於噪音的定義。現在如一定要給噪音下個定義：可稱之一般正常耳朵覺得「不喜歡聽到的聲音 (unwanted sound or undesirable sound)」，令人覺得不愉快的聲音、妨害彼此交談的聲音、妨害思考能力的聲音、妨害休息或睡眠的聲音、會引起生理上各種障礙的聲音。美國勞工部職業安全及健康管理局 (occupational safety & health administration, OSHA) 將噪音定義為「會傷害聽力的聲音」，而我國噪音管制法中第三條中亦有明確之定義：「本法所稱噪音，指超過管制標準之聲音」。

二、噪音的危害

噪音的危害是多方面的，噪音不僅對人們正常生活和工作造成極大干擾 (interference)，影響人們交談、思考，影響人的睡眠，使人產生煩躁、反應遲鈍，工作效率降低，分散人的注意力，引起工作事故，更嚴重的情況是噪音可使人的聽力和健康受到損害，如圖 1.1-1 及圖 1.1-2 所示，以下分別說明。

(一) 對生理的影響

處在高噪音的環境下，噪音作用於人的中樞神經系統，使人們大腦皮層的興奮與抑制平衡失調，導致條件反射異常，使腦血管張力遭到損害。這些生理上的變化，在早期能夠恢復原狀，但時間一久，就會導致病理上的變化，使人產生頭痛、腦脹、耳鳴、失眠、心慌、記憶力衰退和全身疲乏無力



資料來源：行政院環境保護署

圖 1.1-1 人體對噪音的生理反應

圖 1.1-2 噪音對人體健康的影響

等症狀。噪音作用於中樞神經系統還會影響胎兒發育，造成胎兒畸形，並且妨礙兒童智力發育。噪音對消化系統、心血管系統也有嚴重不良影響，會造成消化不良，食慾不振，噁心嘔吐，從而導致胃病及胃潰瘍病的發病率提高，使高血壓、動脈硬化和冠心病的發病率比正常情況高出2～3倍。噪音對視覺器官也會造成不良影響。據調查，在高噪音環境下工作的人常有眼痛、視力減退、眼花等症狀。

(二) 對聽力的影響

當周圍環境音量超過65分貝時，雙方談話距離必須在一公尺以內或以不自然的方式提高音量；超過70分貝時，30%的談話內容聽不清楚，使人與人之間溝通困難；持續處在85分貝以上的噪音環境，會使聽力造成傷害；巨大音響或爆破性聲音，可能造成耳膜破裂，耳室內聽小骨相關性質破壞，甚至內耳人類聽覺機構的「中心」柯蒂氏 (organ of Corti) 和基底膜被分離。

(三) 對心理的影響

噪音會影響睡眠、妨礙交談、工作效率低落、厭惡、生氣等心理作用，久而久之，因心理反應、失眠而導致生理功能失調的現象，如頭痛、頭暈、

精神無法集中等均為噪音直接與間接的影響。兒童如長時期暴露在高噪音的環境下，會採用一種使自己聽不見噪音環境的調適方法來對抗「噪音」，這將造成兒童在吵雜的環境下變得不注意聲音訊號的不良作用，尤其是兒童不易區分聲音的重要性，將對兒童學習及認知的發展有相當的影響。

(四) 對經濟的影響

由於噪音會直接影響人體生理及心理的健康，進而間接造成社會及經濟負面的影響及房地產價格的下跌。

1.1.2 音波的產生

一 音源

各式各樣的聲音都是由於物體的振動而產生的，凡能產生聲音的振動物體我們就可以稱之為音源。從形態來分，音源可以分成固體音源、液體音源和氣體音源等。所謂音源的振動，就是物體（或質點）在其平衡點之位置附近進行的往返且重覆運動。

二 音波的形成

當音源振動時，就會引起音源周圍空氣分子的振動（太空中沒有空氣，是真空狀態，不存在能夠產生振動的介質，所以太空是個極靜的世界。但人類在太空中可以通過無線電波的方式接收到聲音，因為無線電信號（波）並不是機械波，而是電磁波，所以電磁波可以在真空裡傳遞）。這些振動的分子又會引起周圍的空氣分子產生振動，這樣音源產生的振動就以音波的形式向外傳播。音波不僅可以在空氣中傳播，也可以在液體和固體中傳播。而在噪音的控制工程中主要涉及空氣介質中的空氣音。在空氣中，音波是一種縱波 (longitudinal wave)，這時介質質點的振動方向是跟音波的傳播方向相一致的。反之，質點振動方向跟音波方向垂直的波稱為橫波 (transverse wave；例如水的表面波)。在固體和液體中既可能存在音波的縱波，也可能存在橫波。橫波與縱波說明如圖 1.1-3。

需要注意的是，縱波或是橫波都是通過相鄰質點間的動量傳遞來傳播能量的，而不是由物質的送移來傳播能量的。例如，若向水池中投擲小石塊，就會引起水面的起伏變化，一圈一圈地向外傳播，但水質點（或水中的漂浮物）只是在原位置處上下運動，並不向外移動。

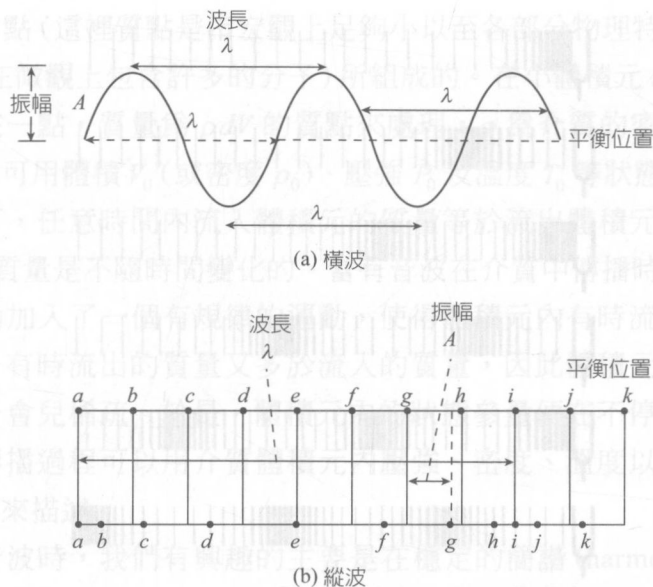


圖 1.1-3 橫波與縱波示意圖

三 音波的傳播過程

「音波」屬於一種機械波，其波動的傳播介質是空氣，音波由振動弦（小提琴、人之聲帶），振動空氣柱（風琴、彈簧管）、振板和振膜（木琴、揚聲器、鼓）所產生，而「聲學」就是研究機械波的產生、傳播、接收及應用之學科。所有此等振動體將周圍之空氣輪流壓縮和稀疏，使之向前向後交互運動。在日常生活中充滿著各種各樣的聲音，有談話聲、廣播聲、各種車輛運動聲、工廠的汽笛聲和各種機器聲……等。人們的一切活動離不開聲音，正因為有了聲音，人們才能進行交談，才能從事生產和活動。如果沒有聲音，整個世界將處於難以想像的寂靜之中。可見聲音對人類是非常重要的。那麼，聲音是怎樣產生的呢？以及聲音是如何通過介質傳播的呢？

為分析聲波的產生及在空氣中的傳播過程，現以音叉的振動為例（如圖 1.1-4 所示）：當外力作用下，使音叉產生動能（振動），當能量向右方移動時，音叉右方的空氣質點則被壓縮而變得密集，具有一定的位能，同時運動的質點具有一定的動能。接著它就向右膨脹，擠壓鄰近的質點層，使之亦變得密集，由於質點的彈性碰撞，動能也隨之傳遞過去。

這樣，鄰近質點的運動又依次傳向較遠的質點，密集狀態即逐層向右傳播，以致離開音源的質點也相繼運動，相繼形成疏密相間的質點層並逐漸向遠處傳播，此即為「聲波」。在我們的日常生活中充滿著各種各樣的聲音，有