

13.8101 / 1



神奇的回波

動物感覺之謎與探測技術的新探索



新科學叢書

新 科 學 叢 書

神 奇 的 回 波

動物感覺之謎與探測技術的新探索

琳 青 編 著

中 流 出 版 社 出 版

新 科 學 叢 書
神 奇 的 回 波
青 琳 編 著

中 流 出 版 社 出 版
香 港 歌 賦 街 十 七 號
立 信 印 刷 公 司 承 印
九 龍 新 蒲 崗 伍 芳 街 廿 三 號 十 一 樓

一 九 七 五 年 六 月 初 版
定 價 港 幣 五 元
版 權 所 有 · 不 准 翻 印

編者的話

二十世紀六十年代以來的新科學園林，萬紫千紅，碩果累累。

科學園林中的新蕊鮮芽最引人讚賞，因為它預示未來，引人遐思，發人深省。

這一套新叢書是新科學通俗讀物，編者按照近代科學的不同領域，選擇若干新枝進行編寫，衷心希望提供給具有中等文化水平的讀者一個漫步新科學園林的機會。文字力求淺顯易懂，並附有多幅插圖，以助讀者理解。

新科學叢書將一一陸續出版。

編寫時間比較倉促，限於編者水平，錯誤難免，不妥之處，請讀者批評指正。

目 錄

引 言	1
第一章 回聲定位——新探測技術的曙光	7
一 蝙蝠——空氣中的回聲定位專家	8
二 海豚——海洋中的回聲定位專家	18
三 海洋生物的次聲波風暴預測器	26
四 利用水面波進行偵察的鼓蟲	30
五 其他動物的回聲定位	32
第二章 擊鼓傳訊和聽不見的聲音	35
一 擊鼓為什麼會發聲？	35
二 麥浪、水波和聲波	38
三 利用回聲的傑作——北京天壇的回音壁和三音石	44
四 蝙蝠判別來去昆蟲的奧妙	48
五 聽不見的聲音——超聲波	50
第三章 千里眼	58
一 電鰐——活的發電機	59
二 環形天線測向——用耳朵「聽」方向	62
三 不用磁針的無線電羅盤	66
四 動物的「電眼」——自然界的活雷達	70
五 雷達——無線電千里眼	76
六 蝙蝠急促斷續的呼叫和雷達的「脈衝波」	79
七 新式雷達的測向定位	82

八 「全視野」雷達·····	85
九 雷達操縱飛機的起飛、航行和著陸·····	87
十 探索宇宙的利器·····	89
第四章 新探測技術的鑰匙·····	92
一 類似照相機的人眼·····	92
二 簡單的人造眼——光電管探測器·····	98
三 電子蛙眼——人造衛星跟踪系統·····	100
四 電子鴿眼——定向運動探測器·····	107
五 嗅覺探測、電子鼻和電子狗·····	110
六 靈敏的側線——魚類的探測器和生命線·····	113
七 電子鸞眼——增強探測目標的清晰度·····	115
八 蒼蠅的觸覺感受器與新式氣體分析儀·····	120
九 昆蟲的探測器官和新探測技術·····	123
昆蟲複眼——含有奇妙色素的特別速度計·····	123
「蠅眼」照相機·····	128
昆蟲有「鼻子」嗎? ·····	129
螞蟻啃骨頭 蜜蜂的舞蹈通訊·····	130
昆蟲吸引異性和談情說愛的辦法·····	135
夜蛾的「反雷達」裝置·····	137
蜘蛛腿上的「音響探測器」·····	140
第五章 動物的「熱眼」、紅外線探測和激光探測··	143
第六章 皮膚「視覺」、人造「電眼」和盲人閱讀儀··	155

引 言

自然界壯麗無比的景色向每個人都敞開了它的大門。無論是誰，只要他投身自然，放開眼界，都可以欣賞到燦爛輝煌的晨曦、色彩絢麗的晚霞和令人迷戀的月光……。大自然是多采多姿和奧妙無窮的，很平常的一隻蝙蝠，一個甲蟲，一根草莖，一枝鮮花……往往蘊含着和人類生活有密切關聯的祕密。

雙目健全的人雖然可以隨意瀏覽自然界豐富的知識寶庫，鑑賞自然界源源不斷的絕妙贈品；但是，單憑目力觀察，那麼在許多方面我們即使不算是「瞎子」，也算是「近視」，因為我們的視覺無論從量上，還是從質上來說都是有限度的。我們的肉眼既看不到遙遠天際的宏偉星球的實際景象；也看不到微觀世界的精細的結構。當你徘徊花園時，你能看見近在咫尺的紅色玫瑰的紫外反射嗎？

視覺如此，其他感覺器官何嘗不然！

爲了擴大自己的視野；爲了使自己能觀察入微，人類不倦地探索新的探測技術。

人類的感覺能力怎樣才能提高到銳利無比的程度呢？

認識自然，改造自然。

大自然是無奇不有的，它從來就是人類發明創造的源泉，人類如果能將高雅的景色欣賞和嚴格的科學研究緊密地結合起來，用自己的慧眼慎密深入地觀察自然界的各種現象，那麼就會找到解決問題的鑰匙。因為生物界在億萬年的漫長進化過程中，大自然替許多生物所面臨的大部份探測問題找到很有成效的解決方法。通過自然選擇，形成許許多多高度靈巧和卓有成效的感覺系統：像蝙蝠和海豚等的超聲波回聲定位系統；螳螂的發現和瞄準系統——複眼和本體感受器；能夠「看見」紅外線的魚和烏賊；響尾蛇的熱定位器……真是舉不勝舉。這些感覺系統當然會給新探測技術的探索提供有益的啓示。對自然界生物現象的研究，無論是過去和現在都對科學技術的發展起了推進作用。四千多年前，中國古代勞動人民就是模仿遇風轉動的飛蓬草發明了輪子；從上古起，人類就把鳥類看作飛行機器的雛型；把魚類看作帆船的榜樣；將走獸看作其他技術問題的原型……人類就是對鳥類飛行的不斷研究才在上世紀末發明了飛機，實現了人類幾千年來夢想像鳥類那樣飛上天空的宿願。

只要回溯一下人類科學技術的發展過程就可以看出：人類起初是不大自覺的對生物的外形和簡單的運動能力的模仿；逐漸發展到完全有目的、有計劃的模仿——如對生物的複雜器官和機能的模仿，尤其是模仿生物的感覺器官來製造「人工感受器」。例如，青蛙的眼睛對於昆蟲（食

物)、猛禽(天敵)之類的活動的目標非常敏感;而對於靜止的目標,哪怕是高樓大廈,也一概「視而不見」。人們在研究青蛙眼的結構和機能的基礎上,製成了「蛙眼電子模型」。這種蛙眼電子模型,改進後可以用來跟踪飛機、導彈等活動目標。

隨着科學技術的不斷發展,人們的認識能力提高了,模仿生物來製造探測儀器的活動也就愈益頻繁,愈益深入。實踐證明:發展新探測技術應該向自然索取有益的啓示。

人類科學技術的發展過程曾有過一個時期忽視自然,熱衷於發展複雜的儀器和設備,以爲鳥翼魚鰭不及螺旋槳,輪子比腿強,望遠鏡顯微鏡勝過肉眼。但是科學技術的新要求:快捷、精確、微型,促使科學技術人員不得不面向自然,去尋找新的技術原理。

概觀現代的科學技術各領域,遺憾得很,目前許多的人造裝置還嫌複雜、龐大和昂貴,其可靠性和效率還不能滿足要求,遠遠趕不上生物的性能,如飛機雖然飛得比鳥快,但它利用能量的效率卻遠遠趕不上鳥類。有人測量過,一隻金色鸛連續越海飛行3,800公里,體重只減輕一兩多。可是,一架輕型飛機飛這麼遠就要消耗幾十升氣油!魚類依靠它們的鰓能直接呼吸水中的氧氣。而蛙人潛水時卻要背着笨重的氧氣包。人類進行遠洋航行,要不勝其煩地帶上幾十噸淡水來維持自己的生存,而著名的海鳥

信天翁，依靠它鼻子裏的一個簡單的濾鹽器，就把海水變成了淡水。許多魚類和鳥類，每年都按照一定的「航線」長途「旅行」，從來不迷失方向，它們有很精確的定向導航器官。綠色植物的葉綠體，利用陽光就能把水和二氧化碳合成有機物。像這樣值得人們仿造的「生物機器」，在自然界中真是比比皆是。拿生物的感覺器官來說，更值得人們深思，譬如螳螂在0.05秒的短促瞬間，能計算出飛掠眼前的小昆蟲的速度、方向和距離，加以捕獲。回想人類所創造的電子跟踪系統竟達上噸重，這種對比，真令人驚嘆不已！如能仿製這些「簡單」而有效的生物探測器官，那將是一項偉大的技術成果。

經過長期的生產和科學實踐，人們逐漸醒悟到：自然界中活的系統比想像的更有效能，是活生生的技術標本，是人類取之不竭的技術源泉。生物界既然為探測技術提供了模型，只要我們虛心地向生物界「學習」，把生物界的技術移植到我們人類的技術中來，許多技術難題也許能解決得比較快和比較好。

認識自然，借鑑自然，並不意味着單純模仿自然。為了創造一個器官的技術模型，當然首先必須研究這一器官的結構和各種性能，通過分析和綜合，得出新的技術原理，到達比自然原型更優越的新高度，推動科學技術向前發展。

生物模擬逐漸成為現代新技術發展的途徑之一，生物

原型也就成了新技術的鑰匙。一門嶄新的科學——仿生學，也就在1960年應運而生，它是研究生物系統的結構和性能；並將所獲得的知識用來改善現有的和創造嶄新的機械、儀器、建築結構和工藝過程。它是生物學、數學、工程技術學的邊緣科學。這種邊緣科學的誕生，是由於現代科學技術的發展，使學科越分越細，科學技術的新要求促使各學科之間，有時是本來相距很遠的部門之間的相互滲透，產生了一系列所謂邊緣科學，像生物物理學、生物化學、分子生物學等。十幾年來，仿生學已成為人類最有趣和有益的科學領域之一。

十幾年來，仿生學獲得快速的發展，內容豐富多采，它的發展是和人類整個科學技術的發展分不開的。就拿探測技術領域來說，如果人類在聲、電、光等諸科學領域中沒有獲得高度的發展，近代模仿生物的感覺器官來製造新的探測器或「人工感受器」也是不可能的事情。整個科學技術的發展給仿生學的發展打下了堅實的基礎；反過來，仿生學的發展也促進了整個科學技術的發展，它們是相輔相成的。

聲波、電波、光波都是波，近代探測技術的原理——回聲(波)定位，在生物界中早就存在，蝙蝠和海豚就是天生的回聲(波)定位專家。近代的先進探測技術：無論是超聲波探測、雷達探測或是激光探測，哪一種都離不開這個原理。這本書就是圍繞這個回波原理，來通俗地介紹人

類的新探測技術的探索和仿生學在模仿生物的感覺器官來製造新的探測器（或人工感受器）方面的新成就。

限於篇幅，仿生學其他方面的內容只好割愛了。

第一章

回聲定位——新探測技術的曙光

當你看見可憐的盲人躑躅街頭，用手杖東敲西擊摸索前進時，你的心中一定會產生憐憫之情：盲目是多麼不幸，如果有什麼辦法能讓盲人重見光明，哪該有多好啊！

千百年來，盲人都懂得擊杖探路，當然，這種辦法是非常不精確的，難免由於判斷錯誤而失事。但也有不少盲人，利用這簡陋的辦法能夠比較熟練地探路：避開障礙物，找出相當正確的方向。這種現象不能不令人驚奇。

為什麼擊杖可以探路呢？

盲人對自己能力的解釋各有不同：有的認為是用手、臉或者額部去感覺障礙物的接近；有的相信和聽覺有關；有的甚至提到一種奇怪的「壓力信號」使他預感危險的面臨……總之，許多盲人各持己見，但卻不能一致肯定到底是依靠哪一種感官來感知周圍的情況。

經過科學實驗證明；盲人探路，聲音和聽覺都是基本的要素，擊杖回聲能夠提供障礙物臨近的信息。

實際上，瞎了眼的人要想依靠光和視覺來觀察世界已經是無望的了，但是眼睛並不是人和現實世界溝通信息的

唯一渠道、唯一器官。盲人往往加強他們的聽覺來進行補償，譬如許多盲人音樂演奏家，就憑着他們敏感的聽覺，彈奏出動人的美妙樂聲。

聲波對盲人可能有用，聲學的研究也許能為盲人製造更加實用的探路儀。

擊杖探路是非常粗糙的測向定位方法，是科學技術還沒有突破難關前的權宜之計，如何創製完善靈巧的儀器取代盲人杖？自然界倒不乏不用眼睛而能探路的例子，像蝙蝠和海豚就是回聲定位的專家，下面就讓我們一起回到自然，看看為什麼科學家在十幾年來自然而然地努力把尋求新技術原理的目光轉向生物界？這些動物到底蘊含什麼樣的祕密？對於盲人探路問題和新探測技術的探索會提供那些有益的啟示？

一 蝙蝠——空氣中的回聲定位專家

視覺很差的蝙蝠，許多人都感到厭惡，卻有1,000多種遍佈在地球上。它貌像老鼠，但多一對翅膀。蝙蝠的翅膀，跟一般飛鳥的翅膀不同，兩隻前爪有5個手指，其中的4個手指和臂膀、腋肢窩，長出了一張薄皮，而大拇指卻留在翅膀外面，這就為它提供了有利的飛行條件。蝙蝠的翼手，裏面分佈着許多血管和神經，感覺非常靈敏。

我們通常所看到的是吃昆蟲的蝙蝠；在熱帶地區，還

有吃水果、魚，甚至吮吸動物和人血的蝙蝠。

這樣惹人討厭的動物，乍看之下絕不會想到它和盲人定向的科學問題會有所聯繫。

但只要你深入觀察和分析，你就會逐漸明白它們的內在聯繫。

蝙蝠喜歡黑暗，在黑的洞穴中似乎住得很舒適，隨著暮色的降臨，蝙蝠就從黑暗的住處飛出來覓食。它們忽上忽下，兜圈子，急劇地變換着飛行方向，表面上看，它們似乎飛得雜亂無章和漫無目的，其實它們卻是在追逐，捕捉和吞食昆蟲。

如果你有興趣，可以佈置鐵絲網，只要這些鐵絲的間隔比蝙蝠翼展稍大一點，蝙蝠就能在拉緊的比頭髮還細的鐵絲間通行無阻地飛來飛去。有人做過這樣的實驗：在約10米長的「飛行房間」裏，在天花板和地板間拉上0.36毫米粗的鐵絲以構成障礙。蝙蝠仍然能在其中飛行自如，很少碰着鐵絲（平均十有九次碰不着一根鐵絲）。假使蝙蝠碰着了鐵絲，那通常也只是因為迴避得不夠利索，翼端擦了一點邊。

這些動物能在岩洞漆黑的角落裏準確無誤地定向，也能夠在黑暗的夜晚穿越茂密的樹林，為什麼它們能在黑暗裏暢飛無阻呢？是蝙蝠的眼睛特別敏銳嗎？這就是我們所關心的問題。

真的是蝙蝠的眼睛特別敏銳，使它們適於黑暗飛行？

不、絕對不是。如果不信的話，你們自己也可以做個實驗，你只要把蝙蝠的眼睛弄瞎，它仍然能夠和正常一樣地飛行。通過實驗，你就會明白，研究蝙蝠在黑暗中的導航問題是和盲人定向問題有內在的密切聯繫，對新探測技術提供非常有益的啓示。

人類有關蝙蝠飛行的知識，真正開始於1793年，那時候，意大利科學家史帕蘭沙尼（Lazzaro Spalanzani），對各種動物如何在黑暗中尋路的問題發生興趣。他發現：貓頭鷹和其他夜裏活動的動物，即使依靠它們的大眼睛，在完全的黑暗中也行動不便。可是他對蝙蝠進行實驗時，卻非常驚奇地發現：蝙蝠即使完全瞎了（無論是人為的或非人為的），仍舊能夠來去自如地飛行。這些蝙蝠專以飛蟲為食，依賴翅膀追捕，放出幾天後捉回解剖，在它們的胃中，和未瞎眼的蝙蝠一樣，充滿了昆蟲的屍體。

可見，蝙蝠不需依靠眼睛也能飛行。

同樣地，對其他的感官如視覺、觸覺、嗅覺、或味覺進行實驗，結果證明這些感官的損失對它的飛行也沒有影響。

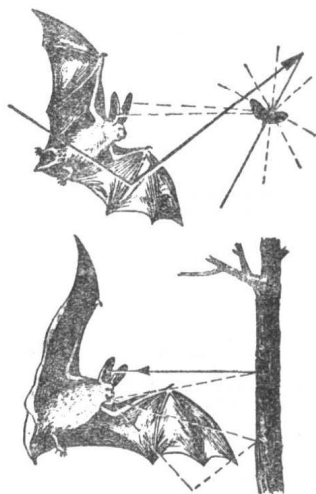


圖1 蝙蝠的回聲定位

當時有些人憑主觀臆測說什麼蝙蝠的翼膜上，生有某種精巧的觸覺，能夠探測遠處的物體和及時地躲避它，但這樣的說法解釋不了盲目蝙蝠的肚子裝滿昆蟲的問題。

科學家的實驗進一步告訴我們下列的重要事實：若把蝙蝠的耳朵堵塞，它便會盲目地撞上途中的障礙物；或者把它的嘴蒙住，阻止它發出聲音，這樣一來，就跟塞住耳朵一樣會撞上途中的障礙物。這兩種辦法，都使得蝙蝠不能探知大小的物體，飛行時不得不碰撞面臨的牆壁或途中的障礙物。

實驗用鐵的事實告訴我們：蝙蝠是用耳朵來「看」的，嘴也是不可缺少的導航器官。

蝙蝠在飛行時到底怎樣進行導航？嘴和耳朵起什麼作用呢？如果利用嘴的發聲進行導航，這種聲音我們怎麼聽不見呢？到底什麼原因呢？

這種祕密一直到研究蝙蝠問題的科學家史帕蘭沙尼逝世一百多年以後，用以探測超聲波（我們耳朵能聽到每秒16—20,000次的聲振動，頻率比每秒20,000次高的聲音叫超聲波）的電子儀器面世後，才得到清楚的解答。把蝙蝠拿近探測儀器，便知道它們在發聲，但這種聲音幾乎完全是在我們能夠聽見的頻率之外，如果離開儀器，我們就聽不到了。

通過不斷的實驗和研究，蝙蝠的導航問題就越來越清楚了，簡單地說來，蝙蝠在飛行中的全部導航能力，是完