

新書介紹

書名：Surface-Penetrating Radar

作者：D. J. Daniels

出版：The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom,1996.

ISBN：0-85296-862-0.

江健仲*

一、引言

記得在國外救援隊使用生命探測器以拯救921地震生還者時，引起民眾一片神奇驚嘆聲，後來才發現我們也有類似儀器，只是欠缺使用技術與經驗。當憤怒的群眾指責沙拉油桶被發現在921地震倒塌建築物之梁柱內，懷疑有些可能影響梁柱強度時，令人不禁想到，是否可用儀器偵測沙拉油桶之位置以確保住戶安全？又今年8月27日之高屏大橋斷裂，是否能事先以儀器檢測，預防災害發生？另外，對於經常發生之基礎塌陷的防範、捷運及高鐵施工災害之預防呢？檢測技術的確有許多發展之空間。

一般而言，在處理或輔助解決工程問題時，沒有一種檢測或探測儀器是萬能的，常須使用多種儀器以相輔相成，互相驗證。近年來，透地雷達應用研究之蓬勃發展，主要因其具有不須接觸被測物而能快速施測之迷人特色。透地雷達（surface-penetrating radar, subsurface radar, ground-penetrating radar, or ground-probing radar）從早期用來探測冰層及冰川之厚度，至地下管線、地下孔洞、地下埋設物、地下道、地下水位、地下水污染狀況、斷層、土壤岩石地質狀況、路基結構、古蹟遺

址，以及梁柱鋼筋、橋梁、隧道與壩體等檢測，應用範圍非常廣泛。

在此介紹之 Surface-Penetrating Radar 一書，為英國the Institution of Electrical Engineers之系列叢書之6。本書作者 David Daniels 為英國 ERA Technology (independent research and technology organization) 之 Radar Systems Division 經理，他從事研究許多種雷達而以透地雷達最為著名。自從1975年，使用透地雷達來獲取英國之地質狀況以來，他已成為許多透地雷達應用之先驅，包括古蹟遺址探查及特殊的非金屬地雷偵測。

本書內容敘述透地雷達之種類、透地雷達系統之各個關鍵元素、電磁波在不同材料中之傳播行為及訊號處理的方法，並闡釋與透地雷達系統設計息息相關之電磁學、土壤學、地球物理學及訊號處理上之一些重要原理與應用，且強調設計者之實務應用方法。本書不僅為現地新手工程師簡介透地雷達之相關資料，也提供進一步閱讀之資訊與參考文獻，並將許多關於透地雷達之核心資料廣泛地蒐集在此一冊書中。本書也適合大一學生使用，但有些章節須具備較深入之天線知識與電磁波理論。全書共分8章，茲將各章之主要內容概述如下：

第1章 Introduction (前言) :

簡介透地雷達之歷史、應用及發展方向。

第2章 System Design (系統設計) :

探討透地雷達系統設計之主要考慮因素，包含探測深度能量損耗、平面與深度解析度、頻率域或時間域設計、接收設計及訊號處理等。

第3章 Properties of Materials (材料性質)

討論多種材料之介電 (dielectric) 與導電性質對電磁波傳播之影響及衰減情形，涵蓋水、冰、砂、黏土、岩石及混凝土等材料。

第4章 Antennas (天線)

敘述各種透地雷達天線之特性、構造及原理，包括 element antenna (monopoles, dipoles, conical, bowtie antenna), horn antenna, array antenna, travelling-wave antenna 及 frequency-independent antenna (biconical, conical spiral, equi-angular spiral antenna)，以供選擇適用天線之參考。

第5章 Modulation Techniques (調變技術)

本章分別介紹一般透地雷達系統使用之各種調變技術，包含 amplitude modulation (AM)，frequency modulation (FM)，synthesised pulse modulation (SPM)，polarisation modulation 等。

第6章 Signal Processing (訊號處理)

回顧各種現今使用之訊號處理方法，如A-scan, B-scan, C-scan及影像處理。

第7章 Applications (應用)

本章敘述近年來各種透地雷達之應用範圍與成效，包含非金屬地雷、地下管線、地下電纜線、地下道內部檢測、混凝土非破壞性檢測、房屋結構非破壞性檢測、泥煤探測、土壤污染檢測、地質探測、土壤侵蝕調查、岩石調查、煤與鹽探查、雪地與冰河探查、古蹟遺址探查。

第8章 Equipment (設備)

最後一章介紹常用的透地雷達系統，如 Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI)，Ground Survey Radar (GSR)，Sensors & Software Inc. 之 pulse EKKO (Canada)，ERA Technology 之 radar systems (UK)，ESPAR radar system (NTT, Japan)，MALA-RAMAC system (Sweden) 等儀器設備之功能、規格與應用，並討論現地探測與操作方法。

大部份的雷達系統使用脈衝 (impulse) 訊號，而步進頻率 (step frequency) 式雷達系統則能產生步進頻率訊號 (在此書中之第五章有所介紹)。以挪威地工技術研究所 (Norwegian Geotechnical Institute, NGI) 之步進頻率式雷達系統為例，其主要優點為頻率範圍與頻率階段數，可以根據不同現地狀況而用軟體加以調整，以配合偵測之

需要。大部份的雷達系統在時間域接收訊號，而此系統因在頻率域獲取原始資料，較容易選擇天線種類及設定頻率範圍，而且必要時也較方便進行訊號放大、濾波及轉換等處理。然而此種系統也有缺點，由於在頻率域量測的設計，會造成雷達系統之硬體設備較為複雜，網路分析儀也較笨重，且消耗較多電力。

透地雷達檢測技術在國外已研究發展多年，挪威、日本及瑞典等國更研究使用直昇機透地雷達探測以及孔內雷達探測技術。反觀在國內，透地雷達技術之研究則起步不久，有待大家一起努力。目前，透地雷達技術在國內顧問公司及學術單位之應用範圍大致如下：地下管線、加油站地下油管、污水管調查、基礎開挖之地下孔洞偵測、地下水位調查、池塘或河湖底地形、斷層及淺層斷層分佈、土壤、礫石及岩石地質狀

況調查、石材裂縫、瀝青路面或混凝土路面厚度及裂縫偵測、隧道襯砌厚度與背後孔洞之偵測、古蹟遺址探查、梁柱鋼筋檢測等。透地雷達技術不僅應用在地球物理探測上，在大地工程與土木營建工程應用上，也越來越頻繁。透地雷達是一種非常有效的工具，不須接觸被測物而能快速施測，可用來迅速獲得整體地質概況及偵測地下埋設物、孔洞與地下水位等，以輔助傳統鑽探方法，提供更多更細緻之資訊。

最後，承蒙謝旭昇教授及台安工程技術顧問公司何應璋協理提供寶貴之實務經驗與建議，以及挪威地工技術研究所(NGI) Dr. Kong之鼎力協助，方能引入NGI步進頻率式透地雷達系統新技術至國內，謹此表示十二萬分的謝意，也期望因此能對國內透地雷達檢測技術方面有所貢獻。