

逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

水文泥砂觀測方法比較

作者：邱 聖 凱

系級：水利工程與資源保育學系四年級

學號：D9356918

開課老師：許 盈 松 老師

課程名稱：水文觀測與實習

開課系所：水利工程與資源保育學系

開課學年： 96 學年度 第 二 學期

中文摘要

台灣地區地質年輕，水土保持困難造成水庫淤積嚴重，要解決水庫問題首先必須長期記錄其泥砂資料，作為分析上的依據，因此研發出具備能準確、快速、在線（on site）及連續性（continuous）功能之泥砂觀測技術，便成為在水利水資源工程領域中，學理及應用上之重要研究工作。過去對於泥砂觀測的方式主要採用人工取樣的方法，唯此法後續處理步驟甚是費時，且為保障操作人員安全，取樣時間受天候狀況限制，造成許多洪水時期的泥砂資料無法採集，因此相關學者陸續投入自動化泥砂觀測方式研究。過往觀測泥砂含砂量之儀器數之不盡，主要分為懸移質以及推移質之泥砂觀測，本文探討較常見之各個觀測儀器原理方法並且比較其優缺性。提出有利於目前觀測泥砂之儀器並朝改善過往不便利性，使得泥砂觀測更為準確、快速。

關鍵字：水庫、含砂量、泥砂觀測

目 錄

	頁碼
第一章 緒論	6
1.1 前言	6
1.2 研究目的	7
第二章 水文泥砂概況	8
2.1 泥砂分類	8
2.2 泥砂觀測原理介紹	9
2.3 濃度觀測	10
第三章 國內外泥砂觀測儀器技術	13
第四章 結論	24
參考文獻	25



表 目 錄

	頁碼
表 3-1 觀測方法比較	22



圖目錄

	頁碼
圖 2-1 泥砂的分類	8
圖 3-1 取樣瓶法	13
圖 3-2 聲波反射	14
圖 3-3 光纖流場透光儀 (FIT)	15
圖 3-4 重力式測砂儀	16
圖 3-5 集中光束反射法示意圖	17
圖 3-6 光學懸浮砂粒徑分析儀	17
圖 3-7 密度差測砂法	18
圖 3-8 振動式測砂儀內部結構	19
圖 3-9 平行板電容示意圖	21
圖 3-10 平行板電容傳感器	21
圖 3-11 同軸圓筒式電容傳感器	21

照片目錄

	頁碼
照片 2-1 瞬時式取樣儀器	11
照片 2-2 積點式取樣儀器	11
照片 2-3 積深式取樣儀器	12
照片 3-1 振動式測砂儀	20



第一章 緒論

1.1 前言

台灣氣候為亞熱帶多雨區，年降雨量為 2500 mm，颱風侵襲年約 3.5 次，颱風豪雨頻繁，易造成嚴重之沖蝕、崩塌及洪水泥沙災害。台灣地區地質又為年輕，流域狹小，坡陡流急，故台灣地區大型河川如濁水溪、高屏溪等皆以多砂河川著稱。近年來台灣水庫淤砂十分嚴重，也逐漸受到社會重視，如石門水庫受上游集水區崩塌土砂影響，每遇大雨，即造成入流混水中含砂量大增。使水利單位面對本已屬多砂河川型態之台灣河川，對於其河川泥砂濃度的掌握更加困難。

推移質觀測較不容易 (Lee and Hsu, 1994)，觀測資料在時間及空間上之代表性低；相較之下，懸移質觀測採樣技術 (sampling technique) 較成熟、觀測可行性較高，並可藉由懸移質輸砂量推估推移質輸移量。但在天然水體之現地觀測環境，懸移質泥砂觀測技術之即時 (real time) 與自動化 (automation) 仍有許多瓶頸，現階段之懸移質觀測仍偏重於人工操作。由人工操作採樣的懸移質樣本，處理過程曠日費時，且難以在大水來臨時採樣。河川水文觀測除須有基流量時期 (base flow period) 之泥砂量資料外，更需要具備高流量時期 (high flow period) 之泥砂資料。台灣地區之河川高流量多發生於颱風豪雨時期，故泥砂人工採樣工作受限於天候、交通及經費條件限制，以致泥砂濃度資料質量、記錄歷時代表性仍顯不足 (許盈松等，2005)。

在現今建設水庫的空間越來越少的情況下，保護現有水庫有效庫容，早成為刻不容緩的工作。對於減少水庫淤積的工作而言，即時、連續性的觀測為未來水庫操作必須研究的方向，平時的監測，可隨時注意水質的變化，減少自來水公司取到較混濁水源的機會，增加水處理的成本。洪水來時的監測，則可作為水庫操作的理論依據，作為水

庫蓄清排渾操作或清淤排砂之參考，也可用來觀測異重流抵達壩前時間的預測，這些工作都須要藉由泥砂觀測所得的數據推測，因而對於泥砂觀測的要求越顯重要。

1.2 研究目的

綜觀水利相關領域對於泥砂問題的研究，不論是在物理模式或數值模式，都已累積相當完整成熟的應用成果，但是在河川流域現地的基礎資料的蒐集與分析，則較少有重大的突破。台灣河川具有流域狹小、坡度陡峻、洪枯流量懸殊、與河川特性不同等特徵，故河川水文資料的觀測、蒐集、調查工作格外地困難，對於天然河川一些基礎的水文資料觀測、蒐集、調查等，受限於觀測環境惡劣，位置偏僻，儀器功能等，造成許多重要的數據資料長期缺漏。

傳統觀測河流的含砂量，一般皆是採用人工模式於河川現地採樣，分析模式則採用烘乾法（俗稱秤重法）。但是此種方法不僅量測過程繁複又耗時極不方便，大雨來時不易取得重要的洪水歷程的泥砂含量資料，且為單點短時距內的泥砂觀測，無法連續全程地紀錄泥砂運移濃度的變化，並無法了解泥砂在河川空間及時間上之變化特性。因此，如何研發出具備能準確、快速、在線及連續性功能之泥砂觀測技術，便成為在水利水資源工程領域中，學理及應用上之重要研究工作。目前泥砂測量的技術有很多種，選擇泥砂觀測儀器所需考慮的因素包括：經費、精確度、操作性、連續觀測、觀測環境及泥砂種類、型態等。

本研究目的為蒐集分析過往學者所研發的各式水文泥砂濃度觀測模式，並分析其特點。

第二章 水文泥砂概況

天然的河道是由邊界岩盤、泥砂及土壤等所構成，河道中輸移的泥砂來源主要來自上游集水區坍塌土石或河床沿程所沖蝕下來的沈載。台灣地區，泥岩地形佔有相當比例，泥岩的特性是乾燥時堅硬，不宜種植，而下雨時又變的像泥土一樣，其中水庫大多都在泥岩地區，河道中挾帶不同數量的泥砂，影響到水庫底層的淤積，而泥砂的問題大部分都是圍繞在人造蓄水設施，主要部份是水庫，並向上下游影響。泥砂的存在，使水庫的壽命縮短，庫區的問題最為嚴重，淤積的泥砂無法順利排到下游，使的庫容受損，降低水庫的調節、灌溉、發電能力、減低工程效益、影響水庫對下游防洪作用，和壩本身的防洪安全，增加水力機械和水工建築物的維修和造價。

泥砂也有其利的一面，粗顆粒是良好的建築材料，細顆粒泥砂進行灌溉，可以改善土壤。河道淤積的泥砂也具有消能的作用，當突然的豪大雨，可以減少河道過度的掏刷。

對水利領域而言，要達到興利除弊的目的，就是要了解泥砂的特性、來源、數量及時空變化，為流域的開發和國民經濟建設，進而提供可靠的依據，所以泥砂觀測是必然且重要的。

2.1 泥砂分類

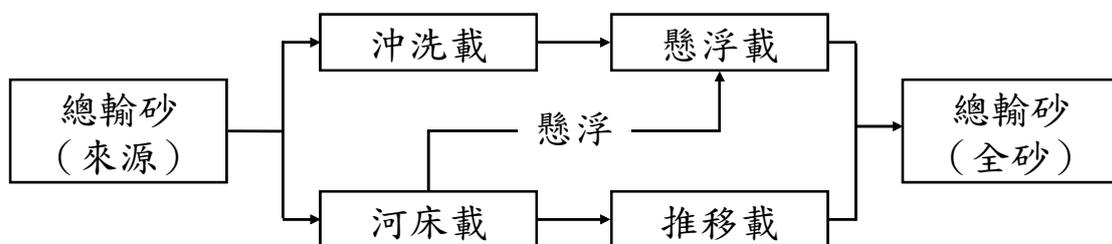


圖 2-1 泥砂的分類

泥砂輸送一般分類可分下列二種方式，基於泥砂來源可分為河床載及沖洗載；基於運動方式可分推移載及懸浮載兩種。由圖 2-1 可以得知，泥砂在河床中可以分為懸浮載，推移載兩大類，但因推移載測量不易，所以一般僅進行懸浮載測量。

懸浮質是指懸浮於水中，隨水流一起運動的泥砂；河床質是組成河床活動層處於相對靜止的泥砂。泥砂運動受到本身特性和水力條件的影響，而泥砂之間沒有嚴格的限界，當流速小時，懸浮質中一部分粗顆粒可能沈積下來成為底床質；反之，底床質在水流的作用下懸浮成為懸浮質。隨著水力條件的不同，泥砂之間會進行轉換，因此較難以明確定義懸浮質與推移質的分界。

2.2 泥砂觀測原理介紹

泥砂觀測的目的主要為研究流域產砂、河道輸砂特性，以及河道、水庫、湖泊與河口的泥砂沖淤，及河床演變等有關泥砂課題蒐集基本資料，以進一步提供作為河川治理、防災規劃及水資源工程規劃之參考依據。當以河相學為重點時，觀測之對象主要為河床載及沖洗載，而針對河川輸砂量的觀測對象，則為推移載以及懸移載，現階段的泥砂觀測，主要著重在河床載及懸浮載。由於泥砂測定需在不同條件反覆為之，精度之提高通常甚為費時及費錢。因此決定使用某種方法之前，應先比較條件相似且會長期研究之河川所採用之方法。渾水泥砂觀測通常以濁度或濃度來表示，濁度觀測單位（Nephelometric Turbidity Unit，簡稱 NTU）可定義為：「穿過樣品中的光發生散射或吸收光線而不是沿直線穿透的光學特性的表徵」（America Public Health Association, 2001），原理係根據廷德爾效應（Tyndall Effect），散射光的強度與水中的顆粒多少成正比。其觀測為在特定條件下，比較水樣和標準參考濁度懸浮液對特定光源散射光的強度，散射光強度

愈大者，其濁度亦愈大。影響測量結果的原因包括：

- (1) 水樣中漂浮碎屑 (Debris) 和快速沈降的粗粒沈積物會使濁度值偏低；
- (2) 不同泥砂特性；
- (3) 微小的氣泡會使濁度值偏高；
- (4) 水樣中因含溶解性物質而產生顏色時，該溶解性物質會吸收光而使濁度值降低；
- (5) 裝置樣品之玻璃試管不乾淨或振動時，所得的結果將不準確 (US EPA, 1999)。

河流含砂量的測量是取得水文資料的重要目的之一，許多的科學家多年來努力實驗，目的在於測量含砂量，在科技進步的時代，濁度觀測站普遍的設置在各地，所以資料較為豐富。河川中懸移質泥砂濃度與濁度物理定義並不相同，但是在國內外仍有許多案例顯示，泥砂的濃度可以藉由濁度來轉換或代替。許盈松 (2007) 以石門水庫泥砂為例，進行濃濁度關係率定研究，發現在特定泥砂粒徑及組成條件下，渾水試樣之濁度測值 (NTU) 與實際濃度 (PPM) 間線性關係良好。但濁度受其測量原理的限制，並無法量測過高濃度的泥砂渾水，因此一般濁度測量應用在自來水公司、蓄水設施及水質測量的部份；因此在水利工程的應用方面，主要是針對濃度測量，以下對濃度觀測做些介紹。

2.3 濃度觀測

泥砂觀測採樣儀器，大致可分類為懸移載泥砂觀測儀器、推移載泥砂觀測儀器、床砂採樣儀器及淤積物採樣儀器等四大類型 (中國水利學會泥砂專業委員會, 1988; USGS, 1968)。懸移載泥砂觀測儀器可分為兩大類，第一類為取樣器，第二類為現場直接測定儀器。取樣

器依採樣方式、特性又可分為積時式和瞬時式二種。瞬時式採樣器結構比較簡單，能在各種水深、流速、泥砂濃度情況下應用，用拉索或錘擊方式關閉前後蓋板進行取樣，瞬時式採樣器中，最廣泛使用者為雙口採樣器，如照片 2-1 所示。其缺點是所測泥砂濃度是瞬時值，與時均值比較，具有較大偶然誤差，為了減少誤差，需要重覆取樣，積時式採樣器可分為積點式和積深式兩類。積點式是在測點上吸取水樣，測出某一時段內時均泥砂濃度的儀器，如照片 2-2 所示。積深式懸移載採樣器則是一種沿垂線連續吸取水樣，測取垂線平均泥砂濃度的儀器，如照片 2-3 所示。



照片 2-1 瞬時式取樣儀器



照片 2-2 積點式取樣儀器



照片 2-3 積深式取樣儀器

試驗室測定含砂量的方法，是通過水樣處理，求出水樣中的乾砂質量，得出含砂量，常用的處理方式有三種：

- (1) 烘乾法：用烘杯盛裝濃縮水樣烘乾秤重，此法精度高，適用於少砂河流或含砂量很小的枯水期，黏土顆粒含量較多的砂樣，此法最為適合。
- (2) 過濾法：用過濾材料濾去樣品中水分後烘乾秤重，求出乾砂質量，若過濾材料選擇適當，可以用於各種泥砂樣品。
- (3) 置換法：此法不直接秤出砂的質量，而是透過測定渾水體積與質量，用計算方式求出含砂量，此法設備簡單，功效高，但只適用含大量泥砂的樣本。

由於台灣河流短小，坡度大含砂量多，故泥砂問題較為突出，水體泥砂含量的測量，在水利工程建設、水文觀測預報、土壤沖蝕研究、水土流失治理等方面，是一個十分重要的問題。因此，長期以來許多研究學者在這個方面做了大量的研究工作，提出了許多的測量方法。由於傳統濃度測量方法須透過採樣、樣本處理等方式，所費時間甚多，因此許多先進研發了不同原理的泥砂濃度觀測方法，下面就各種測砂方法之原理及應用優缺點，加以比較分析。

第三章 國內外泥砂觀測儀器技術

傳統的泥砂濃度測量方法，所耗的人力時間甚鉅，且無法連續觀測河川之泥砂含量，不能夠完整反應大雨洪水、颱風時期現地之輸砂狀況 (Barua, 2001)。故近幾年國內外持續推展泥砂觀測之科技，需即時、自動化觀測功能之泥砂觀測技術，以輔助、彌補現有觀測方式不足。

回顧並整理各種泥砂濃度量測方法之操作原理與特色簡述如下：

(1) 取樣瓶法 (Bottle Sampling)

如圖 3-1，取樣瓶法分為積深式與積點式兩種方式，主要以取樣方式將取得之水體於實驗室中進行泥砂粒徑與濃度分布之分析。取樣瓶法之優點在於可信度高且為廣泛使用之方法，常做為其他方法或技術率定或比對之用；而其缺點在於採樣時對水體會產生擾動，對空間之解析度較差，只能做單點時間之採樣，這種方法在泥砂工作量較大而且測量時間較長者，需要更多的人力及物力。由於取樣瓶之形狀影響，因此對於水深較淺 (0.1~0.15m) 之地點較不適用 (Wren, 2002)。

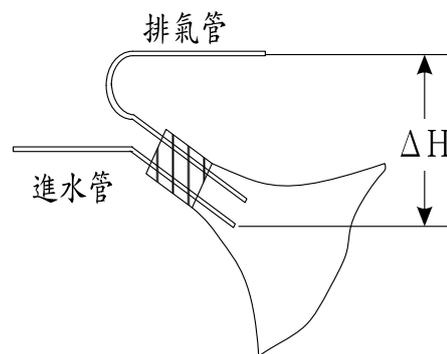


圖 3-1 取樣瓶法

(2) 幫浦取樣法 (Pump Sampling)

幫浦取樣利用真空原理進行取樣，通常幫浦之吸入口需面向上游。如同取樣瓶法，使用幫浦取樣時，其吸入口之水流速度須與現地水流速度相同。且類同取樣瓶法於實驗室中進行泥砂粒徑與濃度分布之分析。優點在於可信度高且可減少人員之操作，並可經由實驗室作分析；而其缺點在於採樣時也會對水體產生程度不一之擾動，對空間之解析度亦較差，若要使誤差低於20%，則抽取之速度必須不小於80%或大於200%之局部水流速度 (Wren, 2002)。

(3) 聲波法 (Acoustic Methods)

如圖 3-2，聲波法屬於非接觸式量測方式，若要得到高解析度之量測值，其量測範圍則介於水下 1~2m 之間，對於水深大於 2m 之量測地點，則必須將儀器置於所需觀測水深位置之水體中，才能得到較佳之觀測解析度。優點在於不會擾動水體，而可以做連續性之觀測，以知悉紊流對懸浮泥砂傳輸之影響，對於在低含砂量的水流特別靈敏，而且測量精度較高；其缺點則為當水體懸浮質濃度過高時，因訊號衰減導致接收轉換訊號時會產生較大之誤差 (Kuhnle, 2002)。

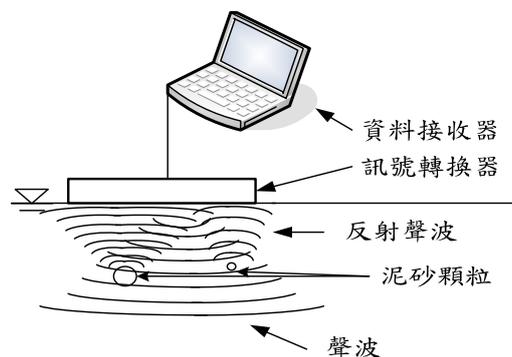


圖 3-2 聲波反射

(4) 光纖流場透光儀 (FIT)

利用光從光源射出後，通過渾水會導致光被散射或吸收，使的光強度發生衰減，因此到達感應器的光強度便會相對減少，且水中含砂量不同，衰減也會不同。利用透射比與濃度建立一關係而測得懸浮質泥砂濃度，稱為光纖流場透光儀 (Fiber Optic In-Stream Transmissometer, FIT) 如圖 3-3 所示，FIT 與一般濁度計 (約可量測至 4g/l) 相比，有較高量測濃度範圍 (可至 10g/l 以上)，其實驗結果顯示在粒徑大於 710 μ m 和小於 45 μ m 的情況下 FIT 觀測濃度的值需要另行校正。其優點 FIT 能夠進行高濃度的量測；其缺點為儀器成本較高，無法正確有效的量測坡面水流中的含砂量 (Chris, 2005)。

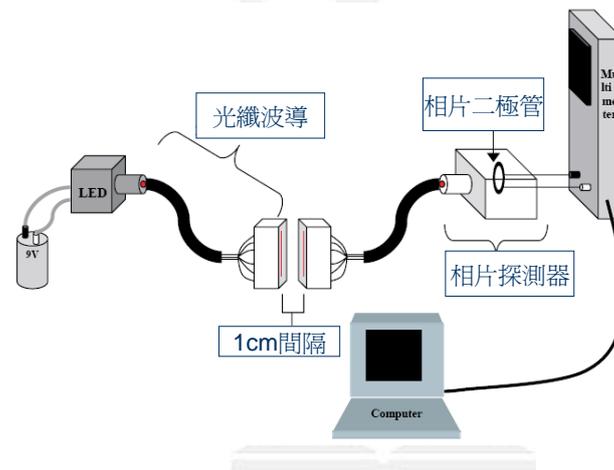


圖 3-3 光纖流場透光儀 (FIT)

(5) 壓差測砂法 (Differential Pressure)

壓差測砂法利用壓力感測器固定於量測桿上，感測器兩端連接水管並固定距離。(如圖 3-4 所示) 將其浸入水中，並於清水中倒入不同重量比例之乾燥泥土，由壓力感測器所顯示之數值，製作渾水含砂量率定關係圖及計算函數公式。在實際野外量測時，將壓差感測儀器放置欲量測之水體中，經由量測所得壓力值換算即可得知渾水含砂濃度。當感應器相距越遠，反應出壓差變化的含砂量變化越穩定，越近

的話濃度的誤差相對變大 (Wren, 2002)。

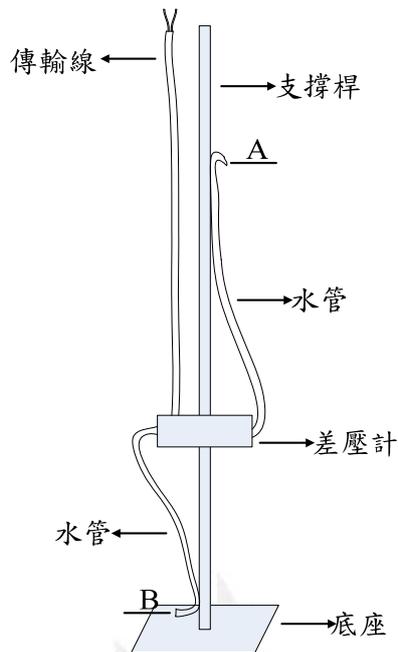


圖 3-4 重力式測砂儀

(6) 光學式測砂法

各種泥砂觀測方法中最廣為採用的原理即為光學式測砂法，藉由不同強度、來源的可見光，以及接收訊號位置不同，長期有許多學者在這領域進行研究。

Phillips (1995) 將雷射光束集中照射於樣本水體中之極小區域上 ($<2 \mu m^2$)，藉由粒子反射部分光束及反射強度，以測得粒子之特徵長度，並用以計算粒子之體積，稱之為集中光束反射法 (focused beam reflectance) 如圖 3-5 所示。優點為可由粒子大小從而計算水體濃度，儀器量測範圍粒子大小介於 $1 \sim 1,000 \mu m$ ，而濃度介於 $10mg/l \sim 50g/l$ ，且儀器攜帶方便。其缺點則為儀器過於昂貴，且對濃度過低之水體需長時間量測，在空間上只能做單點之量測。

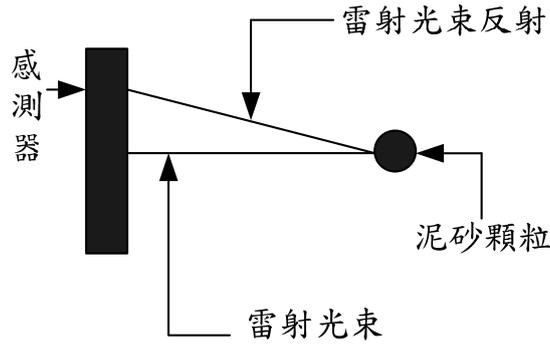


圖 3-5 集中光束反射法示意圖

Ren (1996) 以自行研發的光學懸浮泥砂粒徑分析儀 (optical suspended sand size spectrometer)，將儀器佈設在海洋觀測站沿岸出海口，其原理是利用顆粒圖像分析原理，可在水中對細顆粒懸浮泥砂放大且自動拍攝，通過對圖像的分析，可以獲得懸浮泥砂濃度和粒徑分布佈。由於是以影像處理，相機需具備高解析度，以量測 2g/l 以上之懸浮泥砂濃度，並以此方法獲得懸浮質濃度垂向分布。此儀器可用於粒徑 5~100 μm ，現場測量大於 10% 懸浮質濃度的光學懸浮泥砂粒徑分析儀，如圖 3-6 所示。

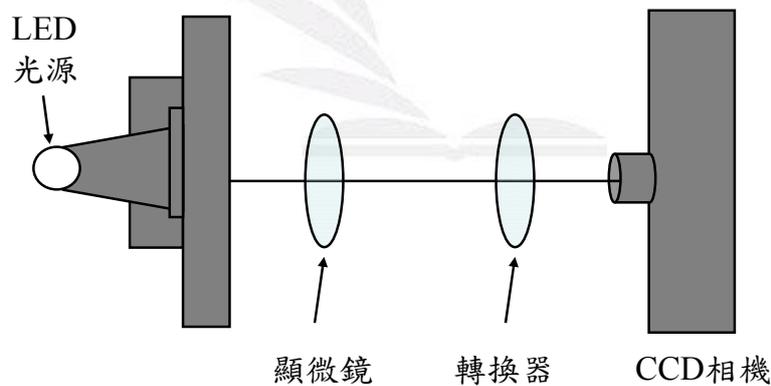


圖 3-6 光學懸浮砂粒徑分析儀

(7) 光譜反射法(Remote spectral reflectance)

光譜反射法主要量測經由水中泥沙顆粒所反射之紅外線或是可見光。其優點可進行大範圍地域之量測，而且能持續觀察大範圍地域之變化;缺點解析度低、受泥沙顆粒大小影響，且不易應用於河流環境。

(8) 密度差測砂法

根據「水庫渾水觀測技術研究」，圖 3-7 為密度差測砂示意圖，觀測河流懸浮泥砂常用度量是指單位容積渾水中的泥砂重量，其最直觀和最直接的測量方法是採取一定容積的渾水水樣，將其中的泥砂分離出烘乾稱重，再計算與渾水容積的比值。渾水和清水相比，由於泥砂的加入，使得渾水密度產生變化，進而影響相同水深下清、渾水的密度測值，以此為出發點建立渾水濃度與密度差值兩者的對應線性關係，從而由後者推算前者的方法稱為密度差測砂法。

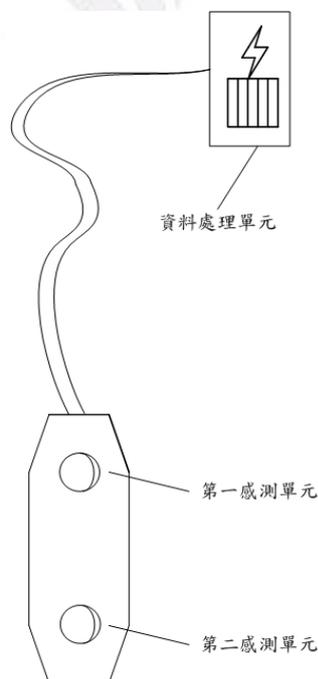


圖 3-7 密度差測砂法

(9) 振動式測砂儀

振動管測砂儀式利用振動學原理設計，儀器的密度不只取決於金屬管的材質，同時也取決管內流體的密度，而管內流體密度與水體的含砂量有關，當流經管道的水體含砂量不同，管內流體密度將有變化，而金屬管本身密度是保持不變的，而不同含砂量有不同的振動週期，由週期換算就可得知當時管內的含砂量。

王智進(2004)認為振動管內不同的振動週期代表被測水體的不同含砂量，而振動管的尺寸與振動管的精度有密切的關係，以振動學的角度來看，振動管的細長比愈大愈好，這樣才可以保證其測量的精度。經過實驗及分析，振動管長度採用 200 mm，管徑為 13.5 mm 為最佳。

王智進(2005)在確認振動管的長度和直徑後，進而研究再低流速是否會產生泥砂沉澱的現象，流速在 0.47 m/s 以上的情況下，量測結果沒超過所定的量測誤差，表示不會沉澱，完全滿足天然河道中測砂量的應用。最後進行儀器長期穩定性實驗，量測變動範圍為 0.011 g/l，儀器連續關機穩定性試驗，量測變動範圍為 0.022 g/l，而在野外界量測方面，當黃河水文站量測洪峰流量時，根據洪峰漲退流況進行量測，流速控制在 0.47 m/s 至 8 m/s 的流況下。分析結果表示，含砂量在 35 g/l 以下時，相對誤差為 10%，而含砂量在 35 g/l 以上時，相對誤差不會大於 5%。較適合於高含砂量水流的測量，但因測量儀器體積較大，故於現地觀測應用仍未普及。

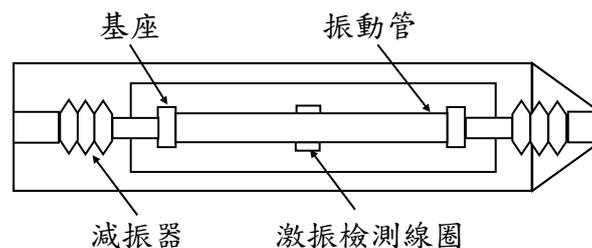


圖 3-8 振動管內部結構



照片 3-1 振動式測砂儀

(10) 電容式測砂法

平行板電容測沙原理，是利用一簡單 RC 電路的裝置，量測平行電板的電容方法，改變電板之間的渾水濃度，以計算出不同渾水濃度的介電常數，如圖 3-9 所示。利用一種渾水中含沙之測量系統，利用平行之兩相間適當距離的探測板，浸入欲量測之渾水體中，藉由探測板的電流，從正極流向負極，即一電場所涵蓋的範圍，因介電常數改變，將所測得的值經與實驗所得的數據相互比較換算，故能測得渾水體內平均含沙量。

李小昱（2002）嘗試利用電容法測量水流泥砂含量，並用自行研製設計的電容式傳感器進行試驗，研究準確、快速、連續、在線的測量水流中泥砂含量的可行性。利用泥砂與水的混合物引起的介電常數差的電物理特性，採用變介電常數電容式傳感器原理，可將被測的泥砂含量的變化轉換成電容量的變化。其設計的電容傳感器結構分為平板式與同軸式兩種結構形式的電容傳感器，其結構示意圖如圖 3-10、圖 3-11 所示。

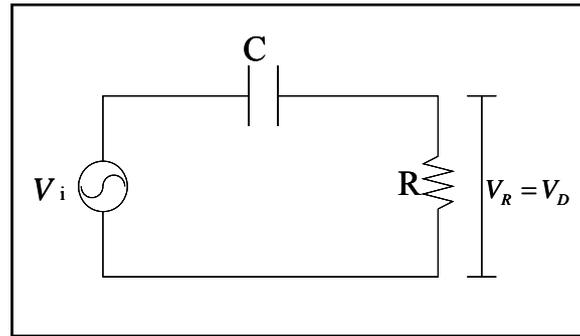


圖3.9 平行板電容示意圖

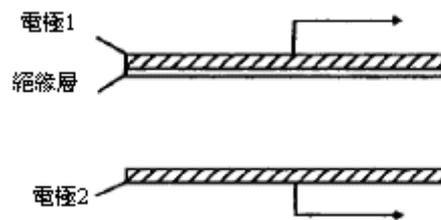


圖3-10 平行板電容傳感器

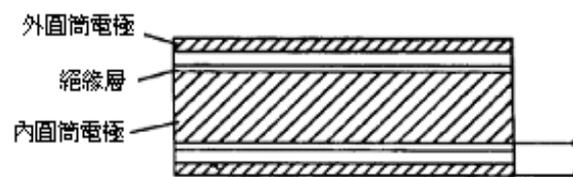


圖 3-11 同軸圓筒式電容傳感器

表 3-1 觀測方式比較

觀測方式	操作原理	優點	缺點
取樣瓶法	利用取樣瓶取樣分	可決定濃度與粒徑分布、試體可供其他試驗使用，可性度較高	空間解析度差、具破壞性、試體須在試驗室分析，並需要現場操作人員
幫浦取樣	利用幫浦取樣分析	可決定濃度與粒徑分布，減少人員之操作	空間解析度差、具破壞性、資料須在試驗室分析、試體擾動性大
聲波法	利用反射生波探測粒徑分布及濃度	對於垂直向具有良好的時間與空間解析、且非破壞性	反射訊號與泥砂參數之關係不一解讀；高濃度時訊號衰減量大
光纖流場透光儀	利用透射比與濃度建立一關係而測得懸浮質泥砂濃度	光纖流場透光儀能夠進行高濃度的量測	儀器成本較高，無法正確有效的量測坡面水流中的含砂量
壓差測砂法	推求標準水樣與渾水水樣其兩者線性關係	水樣密度與水位之間關係良好	感應器相距越近，誤差相對變大，水位易受到潮汐、鹽度等影響
光學式測砂法	利用光學穿透或折射之可見光進行量測	操作簡易、具有良好空間解析度，可資料自動化。	顆粒受粒徑大小影響、入侵式、儀器亦受污染，價格高。
光譜反射法	從水中反射及散射之光線分析	可量測大範圍區域	解析度低、受顆粒影響、且不易應用於河流環境
密度差測砂法	利用渾水密度變化測量同一渾水密度變化，進而推求其兩者線性關係。	可以即時的測量出其密度之變化	在高原地區量測時，許考慮g值的改變

觀測方式	操作原理	優點	缺點
振動式測砂儀	振動管在不同含砂量的泥水中振動週期不同。	適合於高含砂量水流的測量。	測量儀器體積較大且量測時儀器與水溫需差 0.3°C 。
電容式測砂法	利用簡單RC電路裝置，量測平行電板的電容，改變之間渾水濃度，以便測得渾水濃度內之含砂量。	結構簡單，反應即時，測值穩定，高低濃度範圍皆適用。	電容板需作膠模防水，長時間觀測還需注意內部受潮現象並替換膠膜。



第四章 結論

遠觀許多測量水文泥砂方法，也相信每個方法都各有其獨特的觀測技術及優缺點，從過往至今，學者們專研不同的技術，無非都想把泥砂觀測技術做到最準確、即時以及連續性，當然也尚還有正在研發或是改良前者們儀器的後輩正在為這方面的技術努力。

在台灣許多河川以及水庫都面臨泥砂淤積的嚴重問題，能夠有效監控泥砂觀測並即時回報其準確數據是目前優先該做的工作。但許多觀測儀器都只限於把土樣帶回實驗室作相關試驗，而無法裝置在現地做觀測，因為每個儀器受限的原因都不一致，有如：顆粒粒徑大小、河道坡度、儀器成本以及能否連續性觀測高低含砂濃度…等。如何改善現有的受限條件，並有效在現地做觀測也是一個極為重要的工作。

為了達到興利除弊的效果，也為了各流域的開發以及延續水庫壽命，泥砂觀測技術是不容小覷的，想當然要改進的地方也非常多，在各泥砂觀測技術日新月異的時代當中也絕非不可能之事。

參考文獻

1. America Public Health Association, 2001, 2130 B. Turbidity-standard methods for the examination of water and wastewater, 20th Edition: Washington, D.C.
2. Barua Dilip K. (2001) , “Field Techniques for Suspended-Sediment Measurement” (Discussion) , Journal of Hydraulic Engineering/ Septmber, 2001.
3. Chris G. Campbell, Danny T. Laycak, William Hoppes, Nguyen T. Tran, Frank G. Shi(2005),“High concentration suspended sediment measurements using a continuous fiber optic in-stream transmissometer”, Journal of Hydrology 311(2005) 244-253
4. Lee, H. Y., and Hsu, I. S., 1994 , Investigation of saltating particle motions, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 7: 831-845.
5. Phillips, J. M. and Walling, D. E. (1995) "Measurement in situ of the Effective Particle-size Characteristics of Fluvial Suspended Sediment by means of a Field-Portable Laser Backscatter Probe: Some Preliminary Results." Mar. Freshwater Res. 46:349-357.
6. Ren, L. F. and Lin, H. L. (1996) , “Vertical Suspension Profile in the Changjiang Estuary” , Marine Geology.
7. USGS, 1968, Selected Techniques in Water Resources Investigations, U.S Government Printing Office, Washington.
8. USGS, 1968, General Procedure for Gaging Streams, U.S. Government Printing Office, Washington.
9. US Environmental Protection Agency, 1999, Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhance Surface Water Temperature Rule-Turbidity provisions: Washington, D.C., US EPA, Office of

- Water, EPA 815-R-99-010.
10. Wren, Daniel G. and Kuhnle, Roger A. (2002), "Surrogate Techniques for Suspended-sediment Measurement" Turbidity and Other Sediment Workshop, April 30- May 2, (2002), Reno, NV.
 11. 中國水利學會泥砂專業委員會，1988年，「泥砂手冊」。
 12. 李小昱，雷廷武，王為(2002)，" 電容式感測器測量水流泥沙含量的研究"，土壤學報，2002
 13. 王智進,宋海松,劉文, 2004年，「振動懸移質測砂儀的原理與應用」，第4期,人民黃河。
 14. 王智進，宋海松，2005年，「河流泥砂測驗儀器的研究」，第3期，水文。
 15. 許盈松，劉家豪，蔡俊鋒，2005，水庫渾水觀測技術研究，逢甲大學專案研究計畫成果報告。
 16. 許盈松，邱聖凱，黃政文，2007年，「振動式測砂儀不確定度影響」，私立逢甲大學學士論文。
 17. 許盈松，蔡俊鋒，2007年，「電容式泥砂濃度觀測技術研究」，私立逢甲大學碩士論文。