

作業化資料浮標之評介

鄧中柱

美國資料浮標中心

摘 要

一個完整的作業化資料浮系統包括了『浮標殼體』、『錨繫』、『量測儀器』、『資料收取、控制、處理分析』、『通信』、『電力』、與『輔助』等設計正確及操作良好的子系統，以及可以配合的『岸上系統』及『作業支援系統—即浮標之收放與維修』。而這些系統間必須相互配合、相輔相成，組合成一個完整的資料量測與收集系統。本文主要在對作業化資料浮標的『系統』觀念與系統中的各個子系統做一討論與評介。

一、前 言

人類用資料浮標（data Buoy）來量測及收集海洋氣象資料，已有很長一段時間了。雖然，除了資料浮標外，將儀器安裝在海洋結構物上（或海底），或使用最近很流行的『遙測』（remote sensing），也都可以量測海洋氣象資料，但是用資料浮標來量測及收集海洋氣象資料，仍有著許多特別也不易取代的優點，如可做長期的資料量測、可做即時與定時的資料傳送、可做深海或遠離海岸的定點資料量測、費用較低（尤其是做深海的資料量測）、量測資料不受氣候影響及無需專人駐站看管等。

資料浮標可以量測與收集的海氣資料相當廣泛，一般而言，可分為下列幾類：（一）水面上資料（如風速、風向、氣溫、氣壓、濕度、日照度、能見度等），（二）水面資料（如水面溫度及波浪資料），及（三）水面下資料（如海流、水溫分佈、鹽度、混濁度等）。而資料浮標系統的設計受到許多因素的影響，最主要的包括所欲搜集資料之種類、經費及人力、所使用儀器之特性，以及浮標施放位置之自然環境及地形等。

本文所謂的作業化資料浮標系統是指用於長期量測海氣資料，並定時與即時將資料傳出使用的資料浮標系統。另外，幾個作業化資料浮標系統往往組合而成一個資料網路，因此，在設計作業化資料浮標時，必須考慮資料浮標間的相容性與一致性，以求得最大的經濟效益及簡化浮標的設計操作。而研究用或短期使用的資料浮標，通常只是為使用於對特別的資料做短期的資料量測與收集，多半不需要做即時或定時的資料傳送，也無需做長期資料網路的一部份，所以，在設計上與操作上有較大的彈性與靈活度。本文雖主要在對作

業化資料浮標系統做一討論與評介，但是，多數的內容也都適用於研究用或短期使用的資料浮標。

二、資料浮標系統

一般而言，一個完整的作業化資料浮標『系統』應包括下列四個項目（見圖 1）：浮標殼體與錨繫（buoy hull and mooring）、儀器與酬載（instrumentation and payload）、岸上系統（shoreside system）與作業支援（operation support）。前兩項是屬於浮標本身，其中『浮標殼體與錨繫』包括『浮標殼體』（buoy hull）及『錨繫系統』（mooring）等兩個子系統，而『儀器與酬載』則包括『量測儀器』（measurement instrument）、『資料收取、控制、處理、分析』（data acquisition, control, processing, and analysis）、『通信』（communication）、『電力』（power）、與『輔助』（auxiliary）等子系統。對一個資料浮標系統而言，這些子系統間相互關連，組合成一個完整的浮標系統。其中任何子系統在設計或操作上的錯誤及失敗，都會造成整個系統的失敗。比方說，一個設計極佳的浮標殼體，很可能因為『資料收取、控制、處理、與分析系統』的設計不佳，而使收集到的資料不正確或是錯誤。反之，如果一個浮標有精心設計的『量測儀器系統』及『資料收取、控制、處理、與分析系統』，但浮標殼體設計不佳，不但可能收集到不正確的資料，也可能失去整個浮標。又如，電力及通信系統的錯誤及失敗，更是直接影響到資料的量測及傳送。除了浮標本身外，一個完整的作業化資料浮標系統還必須包括可以配合的『岸上系統』及『作業支援系統』。而作業支援系統則包括了浮標的佈放、回收、與維修等（buoy deployment, retrieval, maintenance, and service）。

『量測及收集到不可靠、不正確、或是錯誤的海洋氣象資料，可能比沒有資料還要糟』—這是在資料量測上一個非常重要的觀念。為了確保作業化資料浮標系統可以量測及收集到可靠與正確的海洋氣象資料，除了要浮標本身的所有子系統都有正確的設計與正常的操作外，還要這些子系統間能相輔相成，構成一個完整的資料浮標。但是對整個的資料量測與收集系統而言，除了浮標本身外，還需要有完整的岸上系統及收放維修系統來配合才行。所以，以資料量測與收集的觀點而言，一個完整的作業化資料浮標系統是包括了從浮標各個子系統的設計開始，一直到長期、定時與即時地量測與傳送正確的資料為止，在這個過程中，整個系統內任何部份的失誤或失敗，都可能造成資料量測與收集的問題，所以，對整個系統內的任何細節以及各子系統間之連貫與配合，都必須仔細、謹慎。以下各節將分別討論各子系統的一些細節。

三、浮標殼體

浮標殼體提供了支撐儀器、酬載及繫纜等，浮標本身各子系統的平台及所需之浮力，也是整個資料浮標系統的基礎。依浮標的基本形狀而言，浮標殼體可分為：柱形、碟形、球形及船形（見圖 2），而每種形狀都有其結構上及水理上之特性。一些資料浮標的例子，可參見鄧中柱（1991）。雖然，浮標另外可有其他複雜及組合形狀，但是，複雜形狀的浮標造價較高、操作不易、且在自然環境中的動力反應複雜，所以，如果不是特別需要，應儘量使用形狀較簡單之浮標。

基本而言，柱形浮標的預浮力較小，可承載之重量亦較低，但其在垂直方向的穩定度較高。碟形浮標的預浮力較大，可承載之重量亦較高，且其在垂直及俯仰方向上的隨波性都很高，但也較容易在碎波中翻覆。另一種常見的救生圈形浮標，可視為碟形浮標的變形（即碟形浮標除去中心部份），此類浮標雖可裝特別儀器，但其預浮力也大減。球形浮標的預浮力較小，其垂直方向的隨波性及穩定度都很高。船形浮標有很大的預浮力及很高的穩定性，但造價及維修費用甚高，且因其不為軸對稱，而無法量測方向波。

除了浮標本體外，浮標殼體還包括上層結構及下部結構。上層結構主要用來支撐量測水面上資料的儀器（如風速儀、氣壓計等）及一些輔助設備（如天線、雷達反射板等）。理想上，上層結構物不應該影響浮標本體之結構及水理特性，但又要能在強度上、高度上及空間上支撐所承載之儀器設備。當然，其間可能會有所矛盾，此時如何取捨或改變設計，以將不便與損失減至最小，就要憑綜合判斷，作最佳的選擇。比方說，欲量測十米高的風速資料，但又不希望有過高過重的上層結構物，以免浮標的重心過高及浮標受風的影響過大，即是一例。浮標下部結構的主要功能在保持浮標殼體的穩定性，或是用於協助安置量測水面下資料的儀器與設備。就和上層結構物一樣，下部結構物也可能會影響浮標本體之結構及水理特性。

在考慮浮標殼體之結構及水理特性時，除了殼體外，還需要考慮在浮標上之子系統的影響。比方說，為了浮標的穩定性，應儘量將浮標的重心放低，如果將較重的子系統（如電力系統中的電池）裝置在較低的位置，即可降低整個浮標的重心。如果只憑子系統並無法將重心降到所希望的位置，就需要利用重物（如鉛塊等）安置於浮標底部或下部結構物，來穩定浮標。

在設計浮標殼體時，需要考慮的因素包括了浮標所欲量測資料之種類、所期望之浮標動力反應、浮標預定佈放地點之自然環境（風、波浪、海流及地形等）、經費與可用資源的限制、各子系統之重量與體積、浮標運送及放收之限制等。一些設計浮標殼體所需要考慮的因素及作法，可參見 Timpe and Teng (1993)。

四、錨繫系統

一般而言，浮標可分為漂流式浮標（drifting buoys）及錨繫式浮標（moored buoys）。漂流式浮標通常沒有繫纜，但也常利用不固定在海底的繫繩及浮錨系統（tether/drogue system），來調整漂流的速度。錨繫式浮標則利用錨錠系統將繫纜固定在海底。一般而言，除了用漂流式浮標隨海流量測資料外，大多數作業化資料浮標均為錨繫式浮標。

錨繫方式可分為單點及多點錨繫。多點錨繫除了設計不易、價格甚高外、在施放、安裝及維修上都甚為困難。所以，除非必須固定浮標在一定的位置或其它特別目的，通常這類錨繫不使用於資料浮標。一些多點錨繫的例子，可參閱 Berteaux（1991）。單點錨繫可分為緊拉式、半緊拉式及鬆懸式（圖 3）。使用緊拉式錨繫的資料浮標，較無浮動的空間與彈性，此類錨繫多用於浮標不要有過多移動的資料量測。設計此類錨繫必須對施放地點的水理及地形有很仔細地了解，且對錨繫系統的材料有很好的經驗與控制。一般而言，半緊拉式錨繫多使用於淺水或中度水深，而鬆懸式錨繫則可用於中度水深及深水。錨繫系統可使用中繼浮球或使用可浮起之錨繫材料，以減少錨繫的重量，如美國國家資料浮標中心（NDBC）常用的『反垂懸』錨繫設計（inverse-catenary mooring）（參見 Walz, et al., 1989）。

錨繫系統包括繫纜、聯結用的配件及錨錠。錨繫系統的設計必須考慮到水深、浮標預浮力、海洋自然環境、海底地形地質及經費等因素。繫纜的材料包括鋼鍊、鋼索、天然繩及人造繩等。各種材料均有其特性，一般而言，鋼鍊與鋼索雖強度與耐磨度較高，但易受海水侵蝕，通常在二到四年就要更換。同時，鋼鍊與鋼索無論是在價格或重量上，都比天然繩或人造繩高出甚多。所以，只有在淺水及有足夠預浮力時，可全段繫纜都使用鋼鍊或鋼索。在較深的地方則需與人造繩混合使用，如 NDBC 的『半緊拉』錨繫設計（請參見 Walz, et al., 1989）或是使用中繼浮球，以減少錨繫重量。通常聯結用的配件包括聯結環（shackles）、自由轉環（swivels）及聯結嵌環（thimble）等。而錨錠則是將整段繫纜系統固定於海底，一般資料浮標系統的錨錠除可採用船隻用錨錠外，也常用水泥塊、鋼軌、鋼輪等。一些錨繫系統的細節，可參見 Walz, et al. (1989) 及 Berteaux (1991)。

對錨繫系統而言，其中任何一點的斷裂，即會造成整個錨繫系統的失敗及浮標的流失。所以，在設計及組裝錨繫系統時，對其中任何一點（比方說，聯結用的配件、繫纜間的聯結方法）都必須小心。另外，錨繫系統的費用基本上和水深成正比。因此，在深海時，錨繫系統的費用在整個浮標系統的費用中，佔了極高的比例。所以，在設計錨繫系統時，必須仔細地慮費用的問題。

五、量測儀器系統

可用資料浮標量測的資料，一般分為海洋資料及氣象資料。氣象資料一般包括風速、風向、大氣壓力、氣溫、大氣濕度等。海洋資料則包括海水溫度、水溫分佈、波浪資料（示性波高、週期、方向、波譜、方向波譜等）、海流強度及方向等。當然，如果有特別需要，還可包括一些其他的海洋氣象資料，如雨量、日照、能見度、海水鹽度、海水濁度、海水含氧度、海水酸鹼度、海水中之聲光資料等。另外，資料可分為直接量測與非直接量測兩種。大多數的儀器都可以直接量測到所要的資料（如風速、風向、溫度），但也有一些資料無法直接量測到，而必須將儀器量測到的訊號，加以轉換與處理後，才能得到，如波浪資料。最近，由於電子硬體與軟體的進步，許多量測儀器都是所謂的『智慧型量測儀器』，即是量測儀器本身已包括一些資料處理與分析的能力。

因為資料浮標是浮動在極狂暴的自然環境中，所以在海洋環境中的『堅固耐用』是選擇量測儀器的首要條件。在作業化資料浮標上的量測儀器必須能耐震動、耐衝擊、耐海水等。如果可能，應考慮使用無可動零件的量測儀器，以減少因振動所產生的破壞。同時，因為受到資料浮標的容積、載重、與用電量的限制，必須選擇輕小及低用電的量測儀器。當然，量測儀器的精準度也是一個重要的因素。另外，量測儀器是否能與浮標系統內的其他儀器設備相容與相配合，也是必須考慮的。

自記式量測儀器是將資料直接記錄在本身所有的記錄器內，而無需經由『資料收取、控制、處理與分析系統』與『通信系統』，當然，所量測的資料也無法即時傳送出去，而必須在將自記式量測儀器取回時（專程到浮標上去取回或在回收浮標時取回），才能使用量測到的資料。所以，這類量測儀器並不適用於需要即時資料的作業化資料浮標，除非是有特別需要，且在無需即時資料時才能使用。不過，也因不需將資料傳送出去，而不必受通信傳送量的限制，故可以收集較精細的時間系列資料或是原始資料。當然，儀器是否量測與記錄到資料以及量測到的資料是否正確，也只有在取回儀器時才知道。

量測儀器必須裝置在適當的位置，以免量測到不精準或是錯誤的資料。比方說，風速儀必須裝置於適當的高度，且在各種角度都不可被任何東西阻擋。另外，如量測波浪用的加速儀及傾斜儀，則需裝置於浮標的軸心，以求所量測之資料的精準度。

在量測水面下資料的，通常儀器設備（如流速儀）要裝置在錨繫系統上。如果所用的儀器是自計式的，只要將儀器設備加裝在原有的錨繫系統上即可。如果這些儀器所量測到的資料，必須傳送到資料浮標上，一般是使用另一條資料纜線接到浮標，而資料纜線則附著在錨繫系統上。使用這種方法時，在資料纜線接入浮標殼體處，常因浮標與纜線間之相對運動而產生破壞，設計時必須小心。在有些應用上，可將資料纜線與錨繫線合而為一，形成組合式纜線。另外，資料也可使用無線的方式（如聲波）傳送到浮標上。

六、資料收取、控制、處理分析與通信系統

在研究用或做短期資料量測的資料浮標上，因不需要做即時與定時的資料傳送，可能並不需要這些系統。但在作業化資料浮標上，這些系統卻是非常的重要。在作業化資料浮標上，『資料收取、控制、處理分析系統』連接著量測儀器，將幾個不同儀器量測到的資料訊號，加以統一收集、調整、數位化，然後再予以處理分析、定碼、化成已訂好的格式，經由『通信系統』傳送出去。此外，『資料收取、控制、處理分析系統』還控制了系統的時間與時間表、設定控制量測儀器與系統的參數、執行上述已設定的參數、以及控制電力的開關與分配。

在資料處理與分析上，最理想的方式是將原始資料傳回岸上作處理分析，如此，可作較仔細與精準的處理分析，也可比較不同的處理方法。同時，若有任何錯誤，也可立即改正。但是，對作業化資料浮標而言，資料傳送量往往受到通信系統或電力設備的限制。所以，一部份或全部的資料處理與分析，必須在浮標上完成。至於在浮標上處理與分析資料的能力，則必須視系統內微處理機的計算能力、記憶體容量與用電量而定。對於非直接量測資料而言，因其都是由數個其他資料轉換而成，為減少資料的傳送量，可能更需要在資料浮標上做進一步處理與分析，再將處理過的資料傳送到岸上使用。

通信的方式可分為無線電波通信及衛星通信。無線電波通信雖較有彈性，但必須有良好的視線，且傳送距離有限與訊號較易受環境的影響。無線電波通信可利用一個或數個中繼站的方式傳送資料，以彌補視線、距離與訊號等問題。衛星通信可分為同步衛星通信與軌道衛星通信。同步衛星可以定時與即時傳送資料，但涵蓋範圍有限。軌道衛星涵蓋範圍較廣，但卻無法定時與即時傳送資料。不過，資料浮標可將資料在『資料收取、控制、處理分析系統』內，定時處理並暫時儲存於系統內，當軌道衛星通過頂空時，再將儲存的定時資料傳送出去，但這仍無法解決即時傳送資料的問題。

七、電力與輔助系統

電力系統對於資料浮標，就像是食物對於人體一樣重要。目前，作業化資料浮標的主要電力來源包括消耗式電池、充電式電池及太陽能板。而商用電源及發電機一般僅可用做岸上測試。對作業化資料浮標系統而言，通常使用太陽能板接連充電式電池，作為主要的電力來源。但為了補充太陽能板效率不足的可能（可能是因為天候不佳、太陽能板的壽命、或是設計缺失），一般會使用消耗式電池作為輔助與補充。對一般短期使用或是研究用的資料浮標，通常僅使用消耗式電池，或是用少量的太陽能板加上充電式電即可。

電力系統的設計應考慮到其它子系統（量測儀器、資料收取、控制、處理分析、通信與輔助系統）的用電量、浮標所在地的太陽能量與浮標定期維修的時間間隔。除了多使用

低用電量的儀器與電子設備外，浮標上應盡量設計或選購在不使用時可調整成『休眠狀態』的儀器及設備，以節省用電量，使資料浮標系統能長期使用。至於使用太陽能板的規格與數量，則需與整個浮標系統的用電量、可能太陽能板的空間與當地的太陽能等配合。若當地的太陽能量不足，則需多用消耗式電池或增加浮標定期維修的頻率。

資料浮標的輔助系統包括航行輔助裝置及一些管理與監視系統。航行輔助裝置包括航行燈誌、雷達反射器、反光板等，其設置除了可以減少浮標被碰撞產生的損失外，也可確保附近船隻的安全。其應有的強度、大小、高度等，必須遵循當地的法令。資料浮標上最重要的管理與監視系統是浮標的定位系統，這個系統的目的是在分辨浮標是否漂離施放位置，並可尋回流失的浮標，通常浮標的定位是使用 LORAND-C、ARGOS 或是 GPS 等系統。另外，浮標上還可以設置一些監視系統來了解用電量、儀器酬載箱是否漏水、儀器酬載箱的溫度是否過高等，以確定浮標系統的正常運作。

八、岸上系統

當資料浮標將資料經由通信系統傳送出來後，雖然，浮標本身已完成其任務，但整個資料量測的流程並未完成，此時岸上系統開始扮演關鍵角色，一個失敗的岸上系統，將造成在浮標本身所做的一切努力功虧一簣。岸上系統通常包括下列部份：資料接收、資料處理與分析、資料監測與品管、資料儲存及資料分佈。

岸上系統的第一步，是將由浮標經衛星或無線電波傳送出來的資料，接收下來。如果是由無線電波傳送資料（無論是單點傳送或是使用中繼站傳送），接收站的位置必須仔細選擇，以確保順暢的傳送。衛星資料傳送則須與提供的單位或廠商配合。一般而言，作業化的資料浮標系統因受到通信容量的限制，傳送的資料都經過譯碼，所以，在岸上系統接收到資料後，必須加以解碼處理，將資料化成有直接意義的物理或工程量。在作業化資料浮標系統上，除了基本的資料處理必須在浮標上完成外，進一步的資料處理與分析可在浮標上執行，也可等在岸上接收後再做。其間如何分野並無一定的規則，但需考慮通信的容量及浮標上處理的能力。不過，因岸上處理與分析有較大的彈性，也較易於檢驗與改正錯誤的資料，所以，如果不是需要，應儘量減少在浮標上做過多過繁的資料處理與分析。

如前所述，若量測到的資料不正確或不可靠，可能比沒有量測到資料還要糟。而資料監測與品管即是用來保證所量取資料的正確性與可靠性的，其重要性是可想而知。一般而言，資料監測與品管可從下列三原則著手：合理性、連續性與關聯性。『合理性』即是資料必須在合理的範圍之內，並且不超出可能之最大值與最小值。『連續性』則在檢驗所量取到的資料，在時間上及空間上是否保持應有的連續性。『關聯性』則是在檢驗所量測之資料與其他相關資料（或物理量）之間應有的關係是否存在。

對作業化資料浮標而言，資料儲存及分佈是相當重要的一環。建立資料庫的方式與格式，對長期資料儲存、交換與使用有深遠的影響，不得不謹慎。作業化資料浮標所收集到

的資料，除了供給直接使用者外，往往還需要與其他單位、其他國家交換使用。所以，如果不是有特別需要，資料的格式最好是遵循世界氣象組織（WMO）的格式，以保持單一化及統一性。

九、浮標之收放與維修

一個完整的資料浮標系統，必須要有可配合的作業支援系統（即浮標的收放與維修）。否則，如果浮標無法順利收放及維修，不但前功盡棄，還可能造成儀器、浮標、甚至人員的損傷。

除了很小型的浮游式浮標可由飛機佈放外，一般資料浮標都使用船隻拖出佈放，或是用船隻載出佈放。使用船隻將浮標拖出佈放，只適用於較大型的資料浮標，而且船隻航行速度不能過快，以免浮標翻覆，通常不適用於遠距離及較惡劣環境的佈放。用船隻將浮標載出佈放適用於中小型的資料浮標。除了很小的浮標可用人工佈放外，通常一般的浮標都要使用船上的吊架佈放。所以，佈放船隻必須要有夠大的吊架及輔助設備。當然，浮標殼體上必須要有配合浮標收放的裝置，如強度夠大的吊環。基本上，資料浮標回收應有的考量與資料浮標佈放相似。浮標的佈放回收與浮標殼體的形式、錨繫系統的設計、使用船隻的大小與設備及放收地點的自然環境等都有極密切的關係。一些浮標佈放回收的例子與解說，可參見 Berteaux (1991)。

至於資料浮標的維修，則包括定時與不定時維修。因為任何材料或是儀器都有其壽命或是有效期限，為了確保浮標正常運作，所以，必須要定時維修。但是，材料或是儀器有可能不在預定的時間發生故障與損壞，此時就要做不定時的維修。而維修的方式可分為海上維修及陸上維修。而陸上維修則又可分為岸邊維修及進廠維修。施行海上維修，浮標本身必須要有足夠的工作空間及穩定性，同時，維修時海上的風及波浪不可過大。當浮標無法在海上維修時，就要將浮標移到岸邊或是進廠維修，如此，費用自然較高。不過，無論是何種維修，費用都很高。所以，一個設計良好的資料浮標系統，除了要有較低的維修頻率及需要外，在浮標的設計上，還需要配合維修的考量，使得費錢費時費力的維修較易執行。比方說，風速儀一般都裝置在上層結構物的最高處，設計浮標時，就需考慮到如何便利維修或更換風速儀。

十、結語

一個完整的浮標系統必須包括『浮標殼體』、『錨繫』、『量測儀器』、『資料收取、控制、處理分析』、『通信』、『電力』與『輔助』等設計正確及操作良好的子系統，以及可以配合的『岸上系統』及『作業支援系統』。同時，這些系統間必須相互配合、支持、

與協助，組合成一個完整的資料浮標系統。這個『系統』的觀念是非常的重要，也是本文一再強調的。

當然，一個成功的浮標系統，並不是一蹴可幾的，除了正確的設計與計劃外，經驗與時間的累積有時是必經的途徑。另外，因設計資料浮標系統時，各項設計條件與要求間往往相互衝突、矛盾，所以，很難能設計一個十全十美、各方面都能顧慮周全的資料浮標系統。此時，設計者與決策者必須在不同的選擇與組合中，尋求較佳的折中方案，以順利達成作業化資料浮標系統來量測與收集海洋氣象資料的目的。

參考文獻

- 鄧中柱”浮標系統與工程 (Buoy System and Engineering) 資料浮標研討會” 論文集，中華民國八十年十一月十八日至二十日
- Timpe, G.L. and Teng, C.C., "Considerations in Data Buoy Hull Design", MTS'93, Long Beach, California, Sep. 1993, pp. 402-412.
- Walz, M.A., Boy, R.L., and D.R. May, "NDBC Mooring Design Manual", National Data Buoy Center report 1804-05-07, December 1989.
- Berteaux, H.O., "Coastal and Oceanic Buoy Engineering", 1991, CDMS, 285 P.

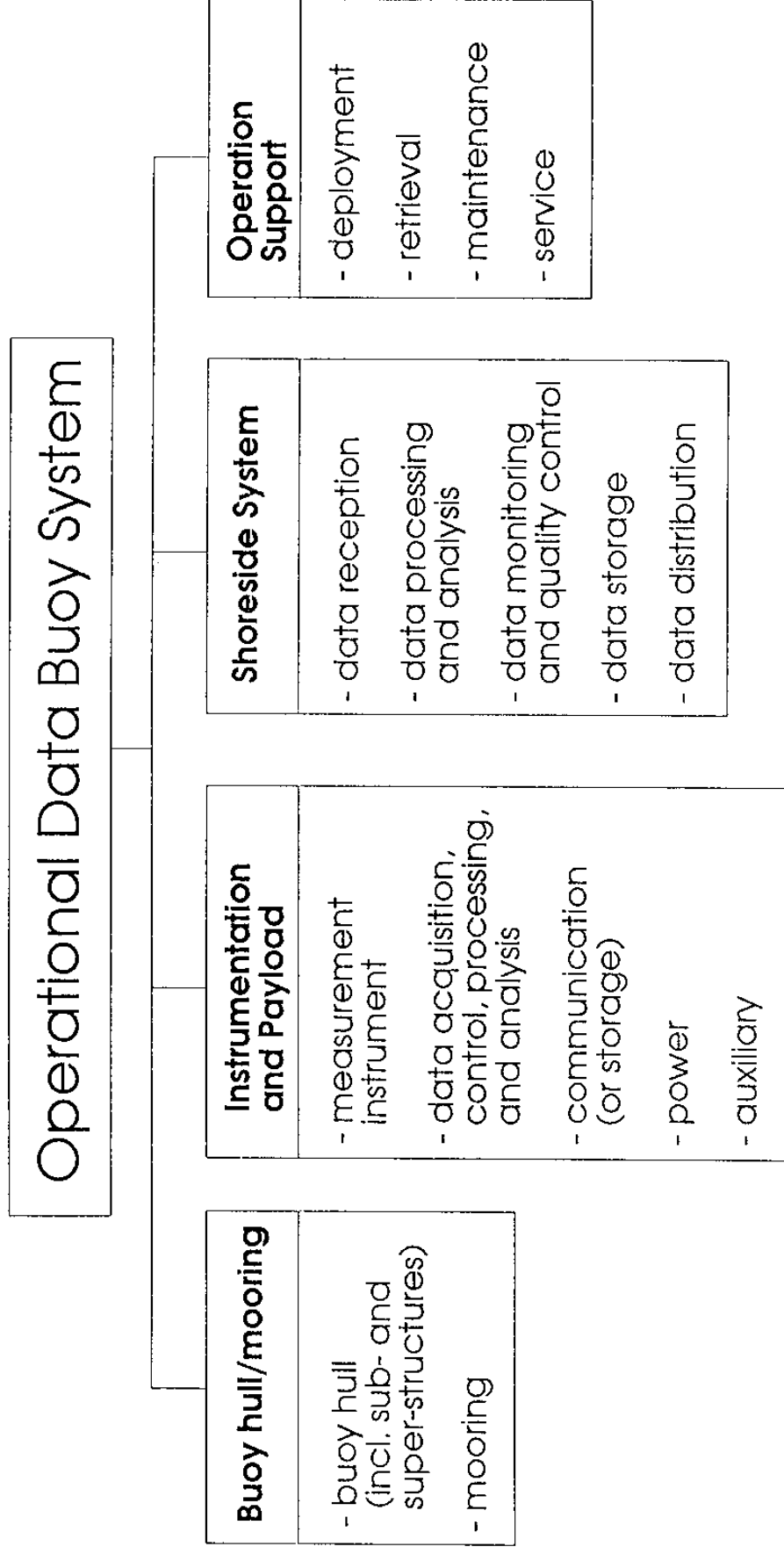


圖 1、作業化資料浮標系統。

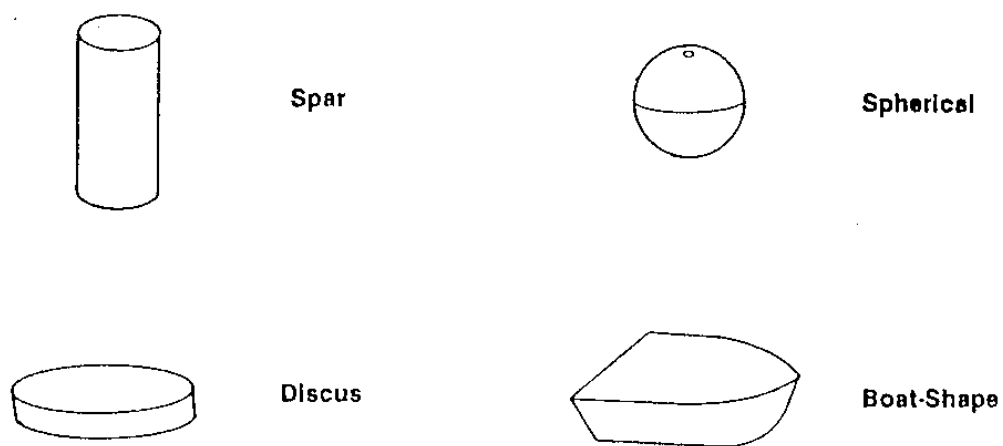


圖 2、資料浮標的各種浮標殼體。

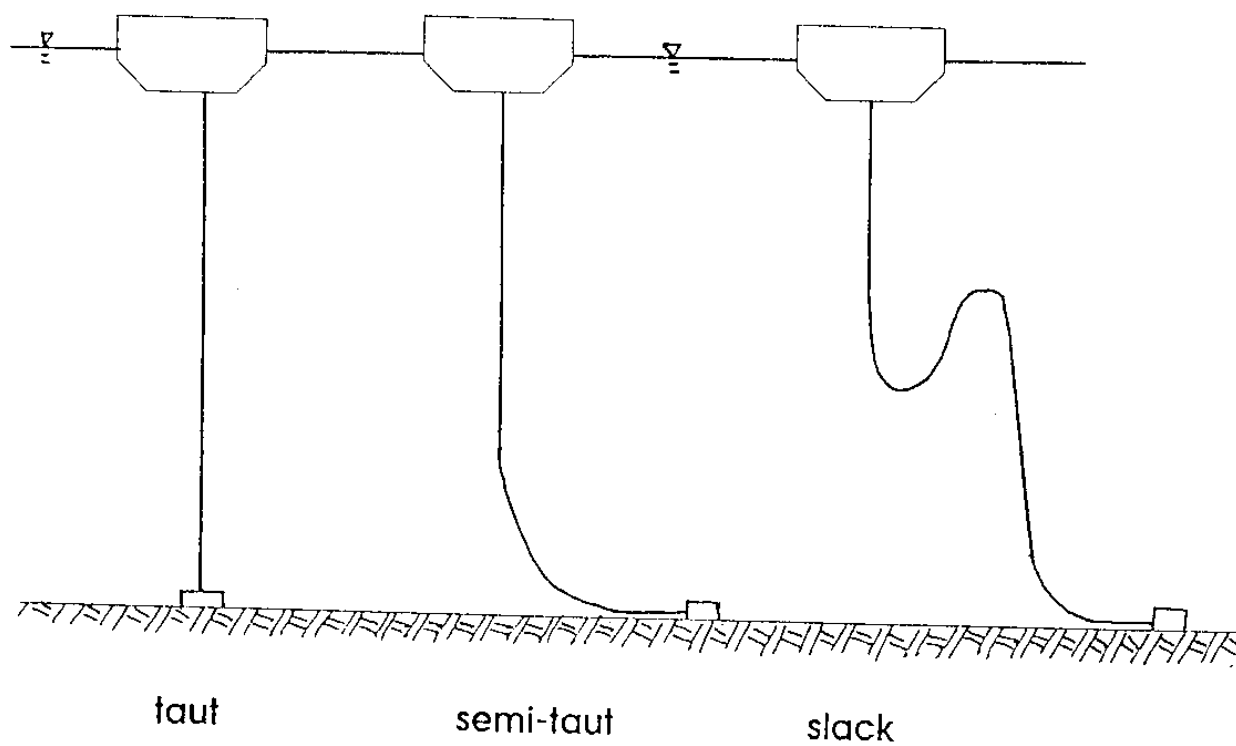


圖 3、資料浮標的錨繫系統，緊拉式、半緊拉式及鬆懸式。

An Operational Data Buoy System

Chung-Chu Teng

National Data Buoy Center

Abstract

An operational data buoy system should include the following properly-designed sub-systems: "buoy hull", "mooring", "measurement instrument", "data acquisition, control, processing, and analysis", "communication", "power", and "auxiliary" systems. In addition, a shoreside system and an operation support system should also be included to form a complete operational data buoy system for long-term and regular data measurement with nearly-real-time data transmission. This paper describes and discusses the importance of the "overall system" concept for an operational data buoy system and some details of the sub-systems in the system.

