

應用交流

翡翠大壩安全監測

三聯科技股份有限公司 / 劉民光
臺北翡翠水庫管理局 安檢科 / 曾瑞文、傅治宇

翡翠水庫位於新店溪支流北勢溪下游，集水區範圍則涵蓋新北市坪林區、雙溪區、石碇區與新店區，總面積 303 平方公里。於 1979 年 1 月經行政院院會正式核定，同年 5 月由臺北市政府成立翡翠水庫建設委員會負責推動翡翠水庫的建設，其係以民生用水為主要目標，並附帶發電效益。翡翠水庫工程係委託台灣電力公司承辦，由中興工程顧問社設計監造、榮民工程事業處負責工程施工，是我國水利工程史上的重大工程，於建壩施工期間埋設各式監測儀器，以管控施工品質及監測大壩受力行為，具有劃時代的重大意義。

Photo by 臺北翡翠水庫管理局

一、翡翠大壩及重要設施簡介

翡翠水庫大壩為三心雙向彎曲變厚度混凝土拱壩，於 1979 年 8 月動工，1987 年 6 月完工，水庫初期蓄水總容量 4 億 600 萬立方公尺，是一座完全由國人自行設計、施工的大型拱壩，為全臺混凝土壩體積最大，亦是全臺第二大庫容水庫，如照片 1。翡翠水庫主要構造物包括大壩、操作大樓、電廠、溢洪道、河道放水口、沖刷道、排洪隧道、副壩、落水池及靜水池等設施，供民生用水及附帶發電與防洪調節。

(一)、大壩

三心雙向彎曲變厚度混凝土拱壩結構，壩頂標高 172.5 公尺，壩體高度 122.5 公尺，壩頂長度 510 公尺，壩頂厚度 7 公尺，混凝土體積 703,675 立方公尺。

(二)、溢洪道

溢洪道為臥箕式溢流堰，堰頂淨寬共 112 公尺，溢洪道堰頂標高 161 公尺；溢洪道設弧形閘門 8 座，由左岸向右岸依序編號為第 1 號至第 8 號閘門，每座寬 14 公尺，高 9.3 公尺，閘門頂標高 170.3 公尺，設計最大放流量 7,670 立方公尺 / 秒。

(三)、河道放水口

河道放水口長 33 公尺，進口底檻標高 85 公尺，管徑 1.6 公尺，出口設環滑閘門及何本閘各 1 座，孔徑 1.4 公尺，設計最大放流量 47 立方公尺 / 秒。

(四)、沖刷道

沖刷道共 3 道，由左岸向右岸依序編號為第 1 號至第 3 號閘門，每道長 26 公尺，進口底檻標高 100 公尺，固定輪控制閘門 3 座，每

座閘門寬 2.5 公尺，高 3 公尺，設計最大放流量 700 立方公尺 / 秒。

(五)、排洪隧道

排洪隧道設於右岸，全長 297.25 公尺，進口底檻標高 105 公尺，排洪隧道設固定輪控制閘門 2 座，每座寬 4 公尺，高 6 公尺，設計最大放流量 1,500 立方公尺 / 秒。

(六)、副壩

非溢流段標高 87.5 公尺，溢流段標高 76 公尺。

(七)、落水池

長 168 公尺，寬 83 ~ 116 公尺，深 24 ~ 33 公尺。

(八)、電廠

為半地下戶內式，設有 7 萬瓩容量之法蘭西式水輪發電機組，最低發電水位標高 117 公尺，從發電進水口引進壓力鋼管流入渦殼，推動水輪發電機組發電，平均年發電量約 2 億 2 千萬度，每年約可減少 11 萬噸二氧化碳排放量。



照片 1. 翡翠水庫大壩設施

二、安全監測系統

翡翠水庫大壩耐震設計為 0.4g，可承受震度七級地震，水庫距台北市區僅 30 公里，因此為確保翡翠水庫蓄水及營運期間壩體之安全及穩定，以及下游民眾生命財產之安全，在大壩內部裝設有多種安全監測儀器設備，如圖 1，並設有大壩安全監測系統，架構如圖 2，即時監測壩體的變位、應力、溫度及滲水量與壩基岩盤壓縮量等變化行為，發揮提前告警功能。

(一)、大壩安全監測系統

除監測主機、遙測主機 (KYOWA UCAM 60B、60C 與 SINCO CR1000) 等量測設備外，尚包括透過 KYOWA UCAM 60B 讀取擺線儀 (PLUM)、電氣式伸縮儀 (EXT)、接縫計 (J)、溫度計 (TC)、裂縫監測儀 (CRD)、大壩滲水量測定堰 (WS)、左壩座滲水量測定堰 (WS_LAT7)、上舉壓力計 (UP)、應力計 (ST)、應變計 (SN)、無應力應變計 (NS) 等監測資料，以及透過 SINCO CR1000 讀取地下水水位井水位計 (GW1~14)、層縫水壓力井水位計 (PW1~6)、壩座電氣式伸縮儀 (MXT) 等監測資料，共 251 組自動量測儀器，如表 1。

(二)、大壩安全監測系統即時同步監測擴充建置

擴充既有大壩安全監測系統設備，增設 8 台遙測主機 (KYOWA UCAM 60B、60C) 與 1 台路由器 (HUB)，與既有遙測主機採併聯式方式佈設，系統於地震發生時 ($\geq 0.5g$) 能快速擷取大壩各監測儀器之數據及變化行為，並提昇量測速度及數據之穩定性。

(三)、大壩及壩座人工量測儀器

含壩區精密水準觀測系統、照準系統、滲水量量測、傾斜儀 (TL)、機械式伸縮儀 (MXTR、L) 等 64 組儀器。

(四)、警報型強震儀系統

主要包括警報型強震儀 1 組，及對應之資料處理器、地震資料顯示器等設備，並配合「翡翠大壩 GSM 地震簡訊系統」即時發送地震簡訊。

(五)、翡翠電廠運轉資訊

藉由翡翠電廠資訊收集系統，將相關資訊介接於大壩安全監測系統資料庫。

(六)、大壩副壩抽水機運轉連線設備

為即時監視大壩、副壩 7 部抽風機及抽水機運轉情形，透過 PLC 連線擷取資訊。

(七)、壩區廊門監視連線設備

為即時監視壩區各廊門啟閉情形，透過 PLC 連線擷取資訊。

(八)、大壩閘門運轉資訊

為即時監視大壩 8 門溢洪道、3 道沖刷道、河道放水口、排洪隧道及發電進水口運轉情形，透過翡翠電廠及大壩閘門資訊收集系統，將相關資訊介接於大壩安全監測系統資料庫。

(九)、PLC 可程式控制器

用以讀取落水池及靜水池水位資訊。

(十)、NPORT SERVER

監測主機透過 NPORT SERVER 可讀取大壩氣溫、PLC 及 SINCO CR1000 之各項監測數據。

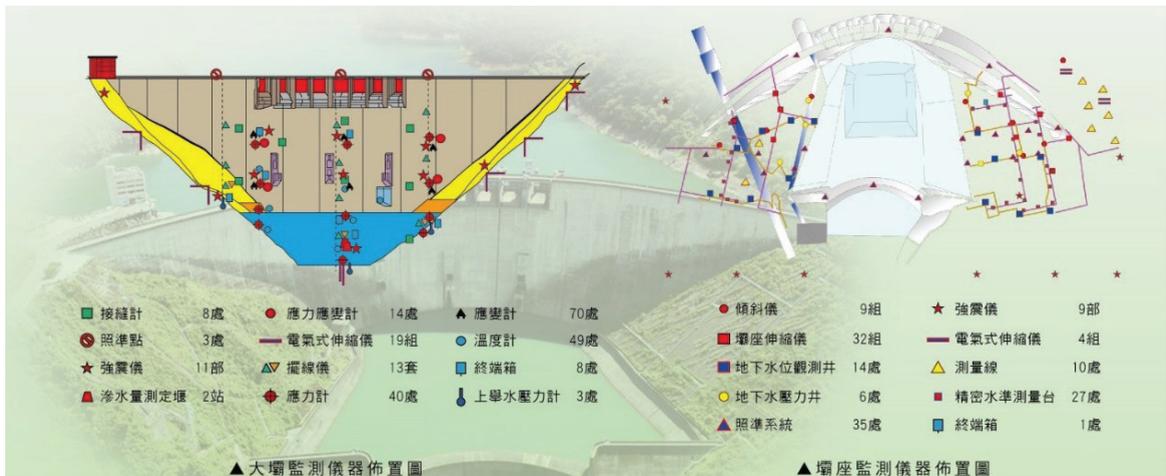


圖 1. 大壩監測儀器示意圖
 圖片來源：<https://w2.feitsui.gov.tw/qrcode/feitsui-safety.htm>

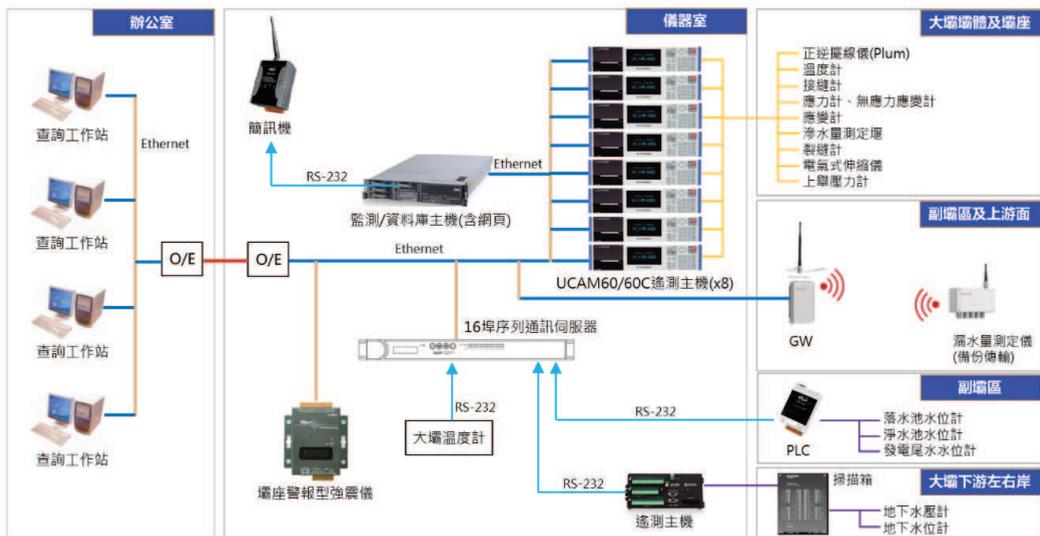


圖 2. 大壩安全監測系統架構圖

表 1. 儀器設備

儀器名稱	廠牌型式
1.遙測主機	KYOWA,UCAM-60B,UCAM-60C,SINCO,CR1000
2.掃描箱	KYOWA,USB-70B,SINCO,CEM 416A
3.擺線儀 IPL, NPL	TAMAYA
4.電氣式伸縮儀 EXT	KYOWA,DTH-A-30
5.裂縫監測儀 CRD	KYOWA,DTH-A-10
6.應力計 ST	KYOWA,BR-120KB
7.應變計 SN	KYOWA,BS-25A
8.無應力應變計 NS	KYOWA,BS-25A
9.壩體溫度計 TC	KYOWA,BT-100B
10.接縫計 J	KYOWA,BJ-10A
11.上舉壓力計壓力轉換器 UP	KYOWA,PG-5KU
12.大壩及左壩座滲水量測定堰感應器	KYOWA,LWF-A-300S
13.水位計感應器 GW, PW	SENSOTEC,BP712,GEOKON,4500S,4500C
14.水位計資料紀錄器	ICP DAS,I-7017
15.傾斜儀	SINCO,503044,50309
16. 自記式傾斜儀	DGSI,In-Place Inclinator
17.地下水位指示計	SINCO,Model 51453
18.機械式測微計	MITUTOYO,2052S
19.機械式測讀計	MITUTOYO,.001 ^z
20.擺線座標儀	TAMAYA,DEO3C
21.警報型強震儀	SANLIEN
22.萬用讀示儀	KYOWA,SDB-300B
23.電子溫度計	KYOWA,BT-100B
24.集線器	ICP DAS,NSM-216

三、提升安全監測技術

翡翠水庫於 1987 年完工至今已達 35 年，三聯科技於建壩初期即參與現場安裝監測儀器設備，至今繼續承接大壩安全監測系統軟硬體維護工作，系統從靜態慢速監測到目前快速動態監測系統，為水庫做好系統維護工作，並維持監測儀器妥善率，讓監測儀器保持在最佳狀態，水庫管理單位並與時俱進汰換及新增設監測項目，從大壩到壩座再到大

壩上游，從集中式監測系統到分散式監測系統，從傳統有線監測系統到低功率無線監測應用，硬體儀器設備汰換更新提升，及軟體從單機版操作提升到網頁版本操作如圖 3，讓系統、設備持續改善運作並更加優化及智慧化，透過監測軟體、類神經網路訓練建立、智慧決策系統等，自動發送簡訊、監測告警並判別自動推播。



圖 3-a. 前端監測主程式

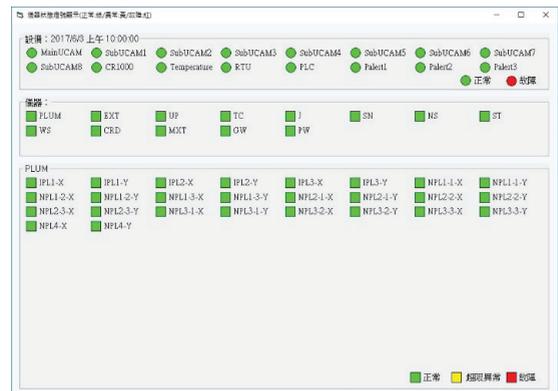


圖 3-b. 監測告警程式

儀器項目	建壩儀器總數量	110年度維護前儀器數量	異常或故障維護次數	110年度維護現況儀器數量	妥善率
IPL	6	6	1	6	100%
NPL	20	20	1	20	100%
CRD	7	7	0	7	100%
WS	2	2	0	2	100%
WS_LAT7	2	2	0	2	100%
EXT	25	25	0	25	100%
NS	14	8	0	8	100%
ST	40	23	0	23	100%
TC	49	34	0	34	100%
J	8	8	0	8	100%
UP	24	24	0	24	100%
SN	70	55	0	55	100%
MXT	14	14	2	14	100%
PW	6	6	0	6	100%
GW	4	4	0	4	100%
ETL9	1	1	2	1	100%

圖 3-c. 監測儀器妥善率



圖 3-d. 監測程式單機版



圖 3-e. 監測程式網頁版 1.0



圖 3-f. 監測程式網頁版 2.0

圖 3. 監測操作程式

四、強化及增設安全監測項目

因建壩初期監測設備發展尚未普及，隨著監測技術發展成熟後，水庫管理單位引進新監測儀器發展監測子系統，來輔助分析評估大壩結構變化行為，並逐年陸續增加監測項目與時俱進，將監測系統維持在最佳狀態，為下游居民生命財產把關做好大壩安全管理。

(一)、大壩及壩區強震儀監測系統

83 年度委請中央研究院地球研究所於水庫增設強震儀，並於 109 年更新；大壩及壩區強震儀系統用以觀測地震發生時大壩及壩座相關地表震動反應，其中大壩強震儀位置如圖 4。

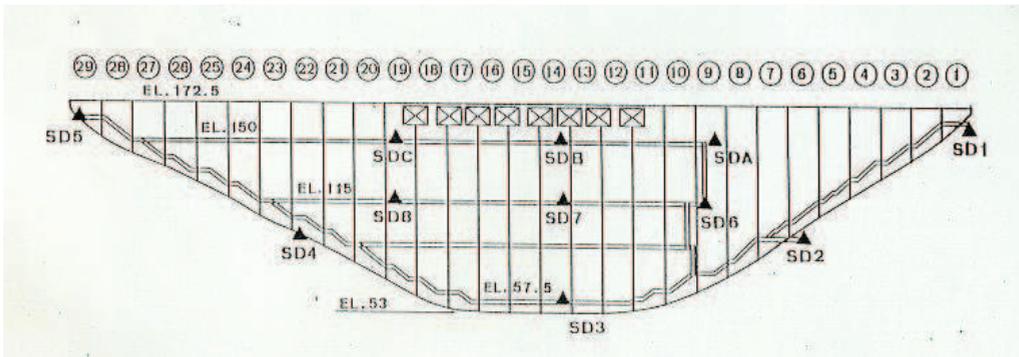


圖 4. 大壩強震儀位置圖

(二)、大壩微振儀系統

臺灣大學於 98 年完成「翡翠水庫大壩微振動量測及長期監測資料分析研究」，建議翡翠水庫管理局建立微振觀測系統，可長期持續性對壩體安全進行監測。本案係在原強震儀集錄系統外，擴增微振觀測系統如圖 5，旨在擬定大壩之動態特性參數包括自然頻率、模態形狀及模態阻尼比等，這些參數可作為大壩結構健康診斷之基礎或直接之參考依據，來建立監測大壩動態特性參數之系統，對於大壩之健康情況有更深一步的瞭解，增進大壩安全管理，以作為平時維護與災害時判斷水庫安全的重要依據。

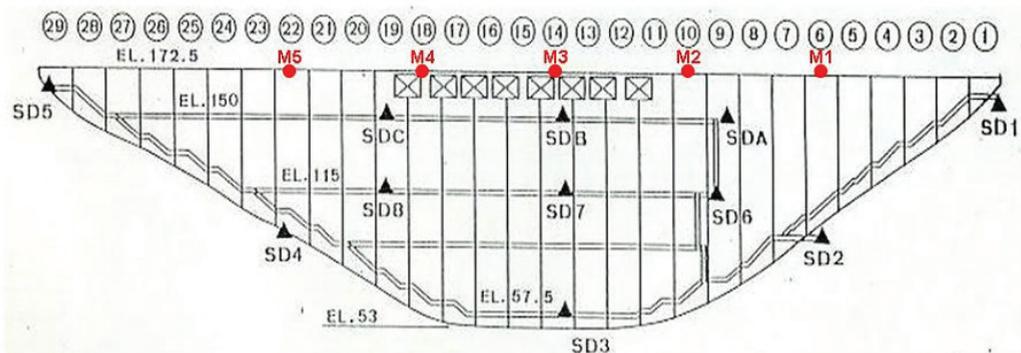


圖 5. 微振儀測站位置圖

(三)、大壩儀器動態即時監測

翡翠大壩既有之遙測主機，因建壩初期架構設備擷取資料較慢，擷取一次約耗時約 90 秒鐘才能完成，因應量測技術進步發展，為使系統於地震時能快速擷取大壩各監測儀器 (sensor) 之數據及變化行為，水庫管理單位在大壩安全自動監測系統，擴充建置即時同步監測子系統如圖 6，於地震量測時全部監測儀器擷取一次能在 5 秒內完成，在該場地震歷時中，可量測多次，增加大壩結構即時監測的能力，並評估地震時對大壩結構的影響，以分析大壩結構的影響及穩定性。

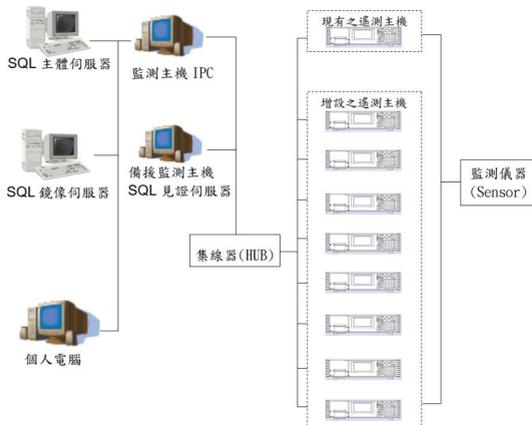


圖 6. 增設動態遙測主機

(四)、無線監測應用

翡翠水庫蓄水範圍面積廣達 1,452 公頃，位處山區訊號不良且電力基礎設施不足，翡管局於 106 年運用物聯網長距離低功耗 LoRa(Long Range) 網路通訊技術，建置翡翠水庫庫區智慧管理系統，完成翡翠水庫廣域網路環境建置工作。為了能充分運用已建置之廣域網路基礎設施，擴大廣域網路環境應用範圍，增設監測儀器設備採用低功耗無線監測應用資訊系統建置，如圖 7 工程標的內容範圍包括以下 4 項：

1. 上游崩塌地邊坡自動化監測系統。
2. 水文氣象測報低耗能通訊備援系統。
3. 食蛇龜生態監測系統如圖 8。
4. 左壩座滲水量自動化監測系統。

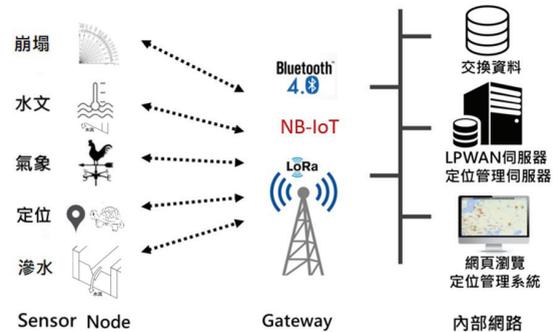


圖 7. 低功耗環境監測應用資訊系統建置示意圖



圖 8. 食蛇龜園區定位監測

五、結語

大壩安全監測資料評析結果至關重要，其安全性攸關下游 600 萬居民生命財產的安全，真實監測反應的數據可以提前成功預估大壩安全狀況，錯誤的資料輸入分析產生錯誤的分析輸出結果，若因儀器故障設備老舊造成錯誤的資料，容易使水庫管理單位作出誤判及決策，因此，大壩監測儀器維持高妥善率很重要，監測儀器的定期維護及故障的維修，是讓系統維持正常運作好的輔助方法，有經驗的專業團隊可以使儀器維護工作變得有效率及快速地排除異常問題，創造高妥善率的系統才能滿足水庫管理單位委託的使命。