

水利會訊

第十期

2007. 06

學術天地

- 永續生態理念下落實水資源與防洪管理規劃機制之探討
- 高水頭水源開發工程案例規劃設計
- 暴雨量頻率分析之實務研討
- 桃園地區缺水之影響與經濟損失
- 遙測應用於土地利用分類
- 埤塘與灌溉水圳生態功能重塑評估準則之研究
- 水面線計算之準備、偵錯與檢討
- 沉砂池設計之探討

資訊廣場

- FLO-2D 簡介
- HEC-RAS 簡介
- SMS 簡介
- SOBEK 簡介
- SWMM 簡介

洪志豪 攝

社團法人台灣省水利技師公會

學術天地

- 永續生態理念下落實水資源與防洪管理規劃機制之探討--以明道管理學院建校為例 1
毛振泰/行政院經濟建設委員會技正、水利技師
郭致良/明道管理學院教授

- 高水頭水源開發工程案例規劃設計 20
李明德/台灣世曦工程顧問公司主任工程師、水利技師

- 暴雨量頻率分析之實務研討 42
林維明/社團法人台灣省及台北市水利技師公會理事

- 桃園地區缺水之影響與經濟損失 68
林永禎/明新科技大學土木工程系副教授、水利技師

- 遙測應用於土地利用分類-以美濃中壇為例 80
陳鈞華/屏東科技大學土木工程所副教授、水利技師
童伯倫/屏東科技大博士班
方彥凱/屏東科技大學碩士
譚智宏/農工中心副研究員兼組長
張煜權/立德管理學院助理教授
甘俊二/七星農田水利基金會董事長

- 埤塘與灌溉水圳生態功能重塑評估準則之研究
—以桃園縣龍潭地區為例 93
李梧桐/龍潭鄉公所工務課技士
簡傳彬/農業工程研究中心副研究員、水利技師
方文村/農業工程研究中心副研究員
陳淑貞/農業工程研究中心研究助理

目 錄

水利會訊第十期

- 水面線計算之準備、偵錯與檢討 114

沈榮茂/前經濟部水利署副組長、水利技師

- 沉砂池設計之探討 133

余濬/台北市水利技師公會監事、水利技師、水土保持技師

資訊廣場

- 水利工程相關應用軟體簡介

★ FLO-2D 139

★ HEC-RAS 140

★ SMS 141

★ SOBEK 142

★ SWMM 143

會員書籍介紹 144

法規・公文轉載 145

高水頭水源開發工程案例規劃設計

李明德

台灣世曦工程顧問公司主任工程師/水利技師

一、前言

自來水高水頭輸水工程常見於水庫之多目標開發建設，一般自水庫取水後即先施予淨水處理，其后再輸送至配水系統供水；或從水庫取水後，另以長導水管路輸送到淨水廠，經淨水處理後由輸水管網供應給水區。前者如暖暖水庫淨水場，後者如南化水庫至大樹鄉坪頂淨水廠之聯通管路供水系統。而本工程案例較為特別，係先自標高 400 公尺山區溪流取水，靠溢流堰引水經沉砂池導入加壓站抽水井，再用抽水機抽送到第三個加壓站，經三次揚水後輸送至鞍部山頂標高約 800 公尺竹子湖蓄水池，續以重力流管路朝北投之低地既有淨水場輸送，然後供應給水區。此水源開發工程涉及水壩、高壓管流、抽水站、蓄水池、重力管路及淨水場等自來水設施之綜合規劃設計，尤其從主堰取水到高點靜水池間之高程差距 400 公尺，由靜水池流至管線末端大屯淨水場高低落差有 695 公尺，該兩種管流不同之自來水原水輸送，雖僅有計畫水量 17,000CMD (0.2CMS)，但此 12 公里長管路中之有關管內流量與水壓力關係需要妥善分析與處理，才能提供輸水管線和加壓站抽水設備之安全而有效的功能發揮，凡此技術值得深入探討，並宜從實務經驗汲取寶貴借鏡。

二、水源開發工程概況

本高水頭水源開發工程案例說明如后：

(一) 工程位置

本工程位於台北市北投區七星山東北角，磺溪上游之支流鹿角坑溪坡地及陽金公路、復興路一帶。

(二) 水源開發量 17,000CMD (0.2 CMS)

(三) 供水地區 北投、天母及陽明山區

(四) 工程設施

1. 主堰

水域面積 972 m²，堰高 3m，堰寬 26m，堰頂高程 EL.412.50m，計畫取水量 17,000 CMD (0.2CMS)，堰上游集水面積 3.22km²，溪寬 30m，堰址基流量 0.15CMS，再現期 50 年一次暴雨洪福量 137CMS。

2. 支堰

水域面積 500 m²，堰高 2m，堰寬 25m，堰頂高程 EL.428.00m，計畫取水量 7,000 CMD (0.081CMS)，堰上游集水面積 0.69km²，溪寬 25m，堰址基流量 0.06CMS，再現期 50 年一次暴雨洪福量 30CMS。本支堰主要作為主堰取水不足之補助，且在支堰池底埋設透水集水管以增加堰頂溢流不足取水。

3. 第一加壓站

面標地高 EL.420m，站房面積 346m²，設置 5 台立軸多級 Ø150mm 透平式電動抽水機(其中 1 台備用機組)，單機設計容量 4,250CMD，設計揚程 175m，總抽水量 17,000CMD (0.2CMD)。加壓站位於主堰之南側，由主堰引水經過沉砂池後流入抽水站之抽水井，再經 4 台抽水機抽送，併聯成 Ø400mm 輸水管路接到第二加壓站 (EL.566m) 之抽水井內。本站附設有電動吊車 1 台，可供抽水機械設備維護檢修使用。

4. 第二加壓站

位於竹子湖山坡地，地面標高 EL.566m，站房面積 314m²，設置 5 台立軸多級 Ø150mm 透平式電動抽水機(其中 1 台備用機組)，單機設計容量 4,250CMD，設計揚程 135m，總抽水量 17,000CMD (0.2CMD)。

此加壓站自第一加壓站輸水接入抽水井後，再經 4 台抽水機抽送，併聯成 Ø400mm 輸水管路接到第三加壓站 (EL.654.7m) 之抽水井內。

5. 第三加壓站

位於陽金公路擎天崗下坡段，地面標高 EL.654.7m，站房面

積 497m²，設置 5 台立軸多級 Ø150mm 透平式電動抽水機(其中 1 台備用機組)，單機設計容量 4,250CMD，設計揚程 195m，總抽水量 17,000CMD (0.2CMD)。此加壓站自第二加壓站輸水接入抽水井後，再經 4 台抽水機抽送，併聯成 Ø400mm 輸水管路接到管線最高點之靜水池 (EL.795m) 內。

6. 靜水池 (蓄水池)

位於陽金公路之台北縣市交界陵線鞍部處，地面標高 EL.795m，蓄水池容量 600m³，該池充作鹿角坑水源之水量調節及穩定池，俾主堰取水流量有變動與加壓站內抽水機組合操作水量有變化時，可利用本池之流量貯留緩衝，以備送往大屯淨水場之輸水導管能供應較穩定流量，使淨水場可獲得有效之淨水處理。

7. 加壓輸水管路

由第一加壓站 (EL.415m) 輸水送至最高點靜水池 (EL.795m) 之輸水管路段，主要沿道路埋設管 Ø400mm 展性鑄鐵輸水管(DIP)，總長度約 4 公里。

8. 重力輸水管路

由加壓輸水管路送至最高點靜水池 (EL.795m) 後，即以重力流方式輸水送到大屯淨水場 (EL.100m)，此管線以 Ø400mm 鋼管(STP) 沿陽金公路埋設，總長度約 12 公里。另為避免輸水管線內壓過高，在管路每 50m 落差即設置消能池 1 座，俾維持管路系統可獲穩定水流。

9. 大屯淨水場

利用現有大屯淨水場之空地，以擴建本計畫供水流量 17,000 CMD 之淨水設施。

三、水源開發工程規劃

(一) 可行性研究

台北市政府自來水事業處鑑於北投區及陽明山區人口激增，為兼顧未來供水不足之平衡，已在民國 62 年時由台北自來水廠先取得鹿角坑地段 17,000CMD 水權，逮民國 64 年更積極委託強安工程顧問公司進行鹿角坑水源開發可行性研究，至 65 年 10 月完成可行性研究報告，獲得結論認為工程方案中第二案隧道式引水工程在經濟性和工程技術性皆不可行；而第一案多段式抽水工程開發成本甚高，經估計供水成本高達每立方公尺 6.111 元，但因本地區為公用事業民生用水之水源，乃有其開發必要。

依據可行性研究報告顯示：鹿角坑水源開發之多段式抽水方案曾探討 (1) 二段式 (2) 二段式 (3) 三段式 (4) 四段式 等三種不同加壓抽水站之工程怖置方式，由經濟評估結果認為以三段式抽水方案為較佳。至於水源取水口之地點研究，經比較 A 站(EL.320m)、B 站(EL.360m)、C 站(EL.360m) 三處位置認為採用 B 站(EL.360m) 作為取水口較適宜，且在鹿角坑溪鄰接河床上所需興建之攔水壩規劃有 (1) H=23m (2) H=8m (3) H=2.4m 等三種壩高，並留 1.5m 高度作為河床淤積厚。在壩高規劃方案評估認為第 (3) 種方式較佳。而淨水設施則宜涵蓋沉澱池、過濾池及清水池。採用三段式抽水方案其第一加壓站取水口設於標 5 台高 EL.360 m 處，設計揚程 165m；第二加壓站標高 EL.525m，設計揚程 135m；第三加壓站標高 EL.660m，設計揚程 140m。各加壓站裝設 Ø150mm 單吸多段透平式抽水機，設計流量為 0.05CMS。從 EL.320m 取水口輸水加壓送到最高點靜水池 (標高 EL.800m，容量 300m³) 之間，採用 Ø400mm 鋼管(STP) 導水，此管線上行段儘量取直線佈設；下行管段則儘量沿陽金公路埋設。下行管段自 EL.800m 高地沿路埋管至北投自來水快濾廠(EL.530m) 處，因管路長度約 3.06km 落差甚大，為避免加壓站抽水機之操作運轉時，在輸水管內發生真空現象及管路水壓過高，故在此段管路中每落差約 50m 設置一座消能池與通氣管或通氣閥。另據建議開發方案(三段加壓，EL.360m 標高建壩取水，利用鋼管導水) 之初估直接造價為 8,934 萬元，施工時間計需 18 個月，至於本計畫日後所需之操作管理費每年約需 1,596 萬元，而其設備年維護費為 240 萬元。

(二) 工程初步規劃

台北市政府自來水事業處深感北投地區水荒問題日益嚴重，為減輕北投、天母等地缺水困擾，於民國 69 年已在石牌新增 2 口深水井，其出水量為 5,000 CMD，另協商七星水利會移撥農田灌溉水量 5,000 CMD 及雙溪湧泉 8,000 CMD 以應燃眉之急，但仍覺不足 31,300 CMD，故有本水源開發工程計畫之積極進行，本計畫經自來水事業處工程總隊於民國 68 年委託中華顧問工程司辦理初步規劃，至民國 69 年 11 月提出成果報告。該初步規劃主要內容包括：(1) 開發需要性確定 (2) 開發工程方案規劃 (3) 開發方案之經濟價值評估 (4) 提出結論與建議。茲將該開發工程規劃詳細說明如后：

1. 開發需要性確定

鹿角坑水源之水質優良，水權業已取得 17,000 CMD，北投及天母等地除已開發水源外，至民國 73 年下半年翡翠水庫提前供水始能解除水荒，因在此之前尚不及符合陽明山地區調配水量需求，且鹿角坑水權之有效期限到民國 72 年底，故經檢討認為原有可行性研究所提供計畫工址值得積極開發。

2. 開發工程方案規劃

經研究分析結果，針對鹿角坑水源開發提出兩種規劃佈置方案，茲將其內容與比較分別說明如下：

方案別	第一方案	第二方案
(1) 設計引水量	17,000 CMD (0.2 cms)	17,000 CMD (0.2 cms)
(2) 攔水壩及取水口	A. 主堰(EL.421m) 0.17cms 壩高 2m。 B. 支堰(EL.431m) 0.08cms，引水管線 Ø400mm 鋼管長 500m，壩高 2m。	A. 主堰(EL.421m) 0.17cms 壩高 2m。 B. 支堰 (EL.431m)0.08cms，引水 管線 Ø400mm 鋼管長 500m，壩高 2m。
(3) 抽水加壓站	三座加壓站 A. 第一加壓站 (EL.420m)5@200HP, TDH=155m,L=400m。 B. 第二加壓站 (EL.570m)5@150HP, TDH=100m,L=900m。 C. 第三加壓站 (EL.675m)5@200HP, TDH=125m,L=900m。	二座加壓站 A. 抽水站 (EL.420m)5@200HP,TD H=155m,L=400m。 B. 中繼加壓站 (EL.575m)5@200HP,TD H=120m,L=1400m。
(4) 靜水池	一座(EL. 800m)	一座(EL.695m)
(5) 淨水場	一座(EL. 530m)	一座(EL.675m)
(6) 導水管路	A. 原水壓力管線 STPØ350mm X 2,200m B. 原水重力管線 STPØ200mm X 500m C. 清水輸水管線 CIPØ400mm X 1,700m	A. 原水壓力管線 STPØ350mm X1,800m B. 原水重力管線 STPØ200mm X 500m STPØ400mm X 2,800m C. 重力求隧道(IE.695m) 1.8mx1.5mx1,100m
(7) 工程費	17,920 萬元	20,550 萬元
(8) 工期	10 個月	18 個月
(9) 附帶開發	小水力發電廠 1 座 裝機容量 150 KW 年發電量 1.2 MKW	無

3. 開發工程方案之經濟價值評估

(1) 開發方案經濟分析

依據年利率 6% 及 14.5% 兩種情況各別分析工程開發案，第一方案投資工程費 1.792 億元，單位水量建造成本 10,541 元/CMD，以 6% 及 14.5% 計年息，相當於每 m^3 原水成本為 7.8 元及 10.1 元，如不計息而由政府投資，則每 m^3 原水成本為 5.8 元。第二方案投資工程費 2.055 億元，單位水量建造成本 12,088 元/CMD，以 6% 及 14.5% 計年息，相當於每 m^3 原水成本為 6.8 元及 9.5 元，如不計息而由政府投資，則每 m^3 原水成本為 4.5 元。

(2) 替代計畫評估

如不開發此水源，而以送水車由用水地區在半徑 5 公里周圍內，利用有餘裕可調配水量載運供水，每車載水量 3.5 m^3 ，每日運搬 4,570 車次方足以供應 17,000 CMD 擬開發之水量，僅計算車輛油資與人工費用，每 m^3 供水即須耗費 34 元以上，至於送水車之投資，與其應負擔利息、折舊和保險等附帶支出，益形更高，可見替代方案實無可取。

(3) 落差水力發電評估

自重力輸水管之靜水池高點(EL.800m)至地面標 EL.675m 山坡處可設立一座小水力發電廠，將原水發電後再以重力流管線輸送至 EL.530m 處之北投自來水廠。該發電廠裝置容量 150KW，年發電量 1.2MKW，估計年效益約 270 萬元，而電廠建造費需 850 萬元，以 6% 年利率計算，年成本約 150 萬元，其益本比可達 1.8 倍。

4. 結論與建議

- (1) 就水文條件及經濟開發規模比較，以開發 17,000 CMD 水量為最佳，且符合原有水權量申請，有利便於執行。
- (2) 比較開發工程方案中之單位水量建造成本，以第二方案成本較低，但因日後油電價將陸續升高(民國 69 年柴油價 12 元/公升；電價基本電費 126 元/KW/月，流動電費 1.18 元/KW)，且第二方案之重力隧道經過破碎火山岩地層，尚須更作進一步地質調查，方能確定其工程開發可能性。

- (3) 建議在進行設計前應先施做大比例尺之地形測量及詳細地質探查試驗。另在堰址上游設立一處觀測站，俾便將觀測雨量及流量資料提供未來設計與施工參考。
- (4) 經鑽探調查如發現地質情況不可行，可捨棄重力隧道方案，改按第一開發方案之 3 段式加壓站方式進行細部設計。
- (5) 如採用第一開發方案時，可增加考慮利用落差發電，於計畫重力輸水管路之標高 EL. 675m 處佈設一座小型水力發電廠，可將靜水池(EL. 800m)以下之高水頭落差能源再利用，經水力發電後之排放原水才輸送到北投自來水廠，以供後續淨水處理。有關本計畫之附帶發電效益甚高，值得再作進一步探討。

三、水源開發工程設計

中華顧問工程司於民國 69 年 11 月向台北自來水事業處提出「鹿角坑自來水源開發計畫初步規劃報告」，嗣後經台北市政府鑑於時間因素及技術可靠性之考慮，最後決定採用規劃第一方案(即 3 段抽水方式)作為定案開發依據。依照當初規劃構想係準備在標高 EL. 675m 處先設立淨水廠，將原水處理成清水後，再用清水輸水管路以重力流方式銜接至陽明公園計畫接水點(標高 EL. 530m)。但在實際執行本計畫細部設計時，已將初步規劃第一方案略作修正，主要不同點為取消原規劃淨水廠，將其改變位置移到管路更下游端，設立在坡地標高 EL. 100m 處之現有大屯淨水場，配合既有空地擴建 17,000 CMD 出水量之淨水設施。且由標高約 EL. 800m 之靜水池處以重力輸水管路輸送原水流至大屯淨水場，並在此長度約 7 km 管段增設多座減壓井，用以消除管線中之過高落差水壓力。另外，設計階段亦曾提出變更陽明森林公園附近之原規劃淨水廠址，將其改設於七星山坡腳標高約 EL. 654m 處陽金公路旁之平台地，但在期末時台北自來水事業決定取消此替代淨水廠設計。茲將本水源開發計畫之設計工程內容說明如后：

(一) 取水設施

1. 主堰

主體為鋼筋混凝土構造寬頂式低堰，溢流堰頂標高 EL.

412.50m，溢流堰上游壩高 $H=3\text{m}$ ，下游壩高 $H=3.5\text{m}$ ，溢流口寬度 $B=26\text{m}$ ，主堰軸長 $W=37.3\text{m}$ ，堰長 $L=29.36\text{m}$ ，設計水位 HWL 414.20m，堰上游護坦高程 EL. 410.50m，堰下游消能靜水池底高程 EL. 409m，主堰之取水方式係由溢流堰頂設 $W\times H=1.0\text{m}\times 1.6\text{m}$ 格柵集水渠，將鹿角坑溪原水收集，流入堰右側 $2.4\text{m}\times 2.4\text{m}\times 4.15\text{m}$ 取水暗井內，再從 $0.8\text{m}\times 0.8\text{m}$ 取水暗渠導入沉砂池，取水暗渠東側附設有 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 排砂道；其西側設有 $\text{Ø}500\text{mm}$ STP 繞流管及操作制水閥，可供堰頂格柵集水渠需維護清理時，改經此繞流管直接由堰前池之右岸取水，再流入沉砂池。

主堰座落於磺溪流域之角礫岩鬆軟地層區，其滲透性較高，故堰基隆須配合設計有 CCP 排樁，用以減少堰池蓄水流失。堰址選擇在鹿角坑溪彎道之凸岸側，係考慮於凹岸可配合怖設取水口，又可利用彎道凹岸溪谷平坦腹地易於配置沉砂池及加壓站等設施，而其上坡岸邊適合留置進出道路，可藉此路堤與溪流對岸陡峭山壁形成束流水路，以供鹿角坑溪洪水排流時不致沖毀彎道凹岸之取水加壓設施。

2. 支堰

主體為鋼筋混凝土構造寬頂式低堰，溢流堰頂標高 EL.428m，溢流堰上游壩高 $H=1\text{m}$ ，下游壩高 $H=5.5\text{m}$ ，溢流口寬度 $B=20\text{m}$ ，主堰軸長 $W=32\text{m}$ ，堰長 $L=36\text{m}$ ，設計水位 HWL 428.70m，堰上游拋塊石護坦溪床高程 EL. 427.60m，堰下游 RC 消能池底高程 EL.422.50 m，支堰之取水方式係採用 $\text{Ø}300\text{mm}$ 蜂巢式 RCP 透水管，自拋塊石護坦內收集伏流水，再由管線引至寬頂堰內 $W\times H=1.0\text{m}\times 1.6\text{m}$ 集水暗渠，導入溪流右岸之 $2.0\text{m}\times 2.0\text{m}\times 4.75\text{m}$ 取水暗井內，續由 $\text{Ø}250\text{mm}$ STP 接到 $\text{Ø}250\text{mm}$ PVCP 輸水管線流入主堰。取水暗井之西側附設有 $\text{Ø}400\text{mm}$ DIP 地面取水管，管入口凸出溪床 0.2m ，並以透水濾布捆紮，其管底高程 EL. 427.20m，取水暗井頂部高程 EL. 430m，底部高程 EL. 425m，井內集水暗渠底高程 EL. 425.50m。

3. 沉砂池

沉砂池設計旨在避免使主堰之收集原水挾帶泥沙流入第一加壓站抽水井內，致影響抽水機與加壓管路受到不利作用。此沉砂池為 RC 構造，設兩池銜接主堰之取水暗渠，各池池寬 $W=2\text{m}$ ，

池長 $L=8.8\text{m}$ ，池深 $H=5.2\text{m}$ ，兩池壁中間設有管理廊道室，其寬 $W=1.6\text{m}$ ，深 $H=5.2\text{m}$ ，內裝置抽砂機及 $\text{Ø}800\text{mm}$ 排砂管線，可由兩側沉砂池底抽砂，再經抽砂機 $\text{Ø}800\text{mm}$ GIP 排砂管排放到主堰下游之右岸邊。另在兩池底安裝 $\text{Ø}1000\text{mm}$ GIP 排水管排砂管排放，經廊道室匯合後，再排流入排砂管排放口下游附近，可供抽乾池水便利清理池底。

4. PVC 輸水管線

支堰取水後，藉由 $\text{Ø}250\text{mm}$ PVC 管線自取水暗井 IE. 425m 沿山坡埋管，再接引至主堰上游之左岸後流入堰前池 IE. 411m，此管線全長 660m，管路經過 2 處鹿角坑溪支流溪谷凹地時，均設計有排泥閘人孔，其 $\text{Ø}150\text{mm}$ PVC 排泥管可將泥沙就近排除清理。PVC 排泥管埋深 1m 以上，並於管線 2 處上凸高點裝設排氣閘，另於管路之彎道段(包括水平向及垂直向)均配置有混凝土固台，以供防止管線受橫力滑動或沖毀。

(二) 加壓設施

1. 第一加壓站

此加壓站位於主堰右岸鹿角坑溪之溪谷腹地，地面標高 GL.415m，站房面積 346m^2 ，其長 18m，寬 17.4m，站內機房高度 7.5m，管理房高度 4m，站房地下室作為抽水井及蓄水池，井池深度 5.6m，池底高程 EL. 409.60m。抽水機房裝設 5 台各 185HP、 $\text{Ø}150\text{mm}$ 立軸多級透平清水式電動抽水機，採併聯安裝，將各泵之 $\text{Ø}200\text{mm}$ STP 出水管匯集至 $\text{Ø}350\text{mm}$ STP 共用主管，再銜接到戶外 $\text{Ø}350\text{mm}$ DIP 加壓管線。抽水管路設計水力式控制閘及洩壓閘，並裝彈簧式逆止閘，以防止管線之不利水錘作用。抽水機械動力由台電供應電源，另在管理房設立監控設備。為便於平時維護抽水機構，機房亦附設有 2 噸吊車，可供左右上下移動，俾利各機組及管閘檢修。此加壓站之地下抽水井蓄水容量為 335m^3 ，設計水位 411.40m，井水係順沿主堰之取水路及沉砂池流向接入，使水流可有效均勻分佈進入各台抽水機吸入口。而抽水井底並設有 $\text{Ø}1000\text{mm}$ GIP 排水管可銜接至沉砂池管理廊道之 $\text{Ø}1000\text{mm}$ GIP 共用排水管排放，俾供池井得以清理。

2. 第二加壓站

此加壓站位於第一加壓站上坡山邊，地面標高 GL.565.60m，基地東側為松柏苗圃產業道路，有第一加壓站之 Ø350mm DIP 加壓管路經此道路埋設，再銜接入第二加壓站之 1.5m×3.0m×2.5m 操作人孔，續經 Ø350mm DIP 流入加壓站抽水井，其進流管之管底標高 GL.564.40m。加壓站站房面積 314m²，其長 18m，寬 17.4m，站內機房高度 7.5m，管理房高度 4m，站房地下室作為抽水井及蓄水池，井池深度 4m，池底高程 EL.561.80m。抽水機房裝設 5 台各 150HP、Ø150mm 立軸多級透平清水式電動抽水機，採併聯安裝，將各泵之 Ø200mmSTP 出水管匯集至 Ø350mm STP 共用主管，再銜接到戶外 Ø350mmDIP 加壓管線。本站監控及吊車設備和第一加壓站設計相同。至於地下抽水井蓄水容量為 900m³，設計水位 564.90m，該池井提供作為第三加壓站及第一加壓站管線間之水量調節蓄水池。

3. 第三加壓站

此加壓站位於陽金公路之馬槽橋西側坡地，地面 GL.654m，加壓站站房面積 497m²，其長 24m，寬 15m，站內機房高度 8m，管理房高度 7m (分成二層)，站房地下室作為抽水井及蓄水池，井池深度 6m，池底高程 EL. 648.50m。抽水機房裝設 5 台各 200HP、Ø150mm 立軸多級透平清水式電動抽水機，採併聯安裝，將各泵 Ø200mmSTP 出水管匯集至 Ø350mm STP 共用主管，再銜接到戶外 Ø350mmDIP 加壓管線。本站監控及吊車設備和第一加壓站設計相同。至於地下抽水井蓄水容量為 1650m³，設計水位 653.20m，該池井提供作為第二加壓站及高點靜水池間管線之水量調節蓄水池。

(三) 蓄水池

本蓄水池位於取水設施至重力輸水管路間之原水調配貯水池，共有四處，分別為第一加壓站蓄水池、第二加壓站蓄水池、第三加壓站蓄水池及壓力管線最高點靜水池等貯水池。其設置目的如下：a)作為加壓站抽水機出水管之壓力管路末端固定水位控制；b)提供取水設備維修或更新時，補充取水中斷時期所需輸水量之供應；c)貯存水量，以供水源乾旱時可作取水量受限之調配，俾緩和缺水之急。

1. 第一加壓站蓄水池

加壓站地下蓄水池容積約 335 m³，連同上游沉砂池貯水容量約 527 m³，共有貯水容量 862 m³，以抽水機最小沒水深之抽水水位 LWL.410.10m 及設計蓄水位 NWL.411.40m 估計，其有效貯水量為 758 m³，可供 1 台 4250 CMD 抽水機持續抽水約 4.3 小時。

2. 第二加壓站蓄水池

加壓站地下蓄水池容積約 900 m³，以抽水機最小沒水深之抽水水位 LWL.562.30m 及設計蓄水位 NWL.564.90m 估計，其有效貯水 766 m³，可供 1 台 4250 CMD 抽水機持續抽水約 4.4 小時。

3. 第三加壓站蓄水池

加壓站地下蓄水池容積約 1650 m³，以抽水機最小沒水深抽水水位 LWL.648m 及設計蓄水位 NWL.653.20m 估計，其有效貯水 1545m³，可供 1 台 4250 CMD 抽水機持續抽水約 8.7 小時。

4. 最高點靜水池

壓力管線最高點之靜水池位於七星山鹿陽金公路與北市縣交界處鞍部，地面標高 GL.789m，靜水池底高程 EL. 789m，池頂高程 EL. 795m，池槽口徑 Ø12m，貯水容量 600 m³，設計水位為 NWL 794.30m。如以靜水池重力出水管 Ø350mm STP 總輸水量 17,000 CMD 估計，蓄水池可供緩衝輸水時間約有 51 分鐘。如以加壓站抽水機 1 台 4250 CMD 發生故障或檢修停止取水推算，靜水池容量可供輸水管路配水調節之緩和時間約可達 3.4 小時。

(四) 壓力管路

由主堰引水流入第一加壓站抽水井，自透平式電動抽水機抽汲後，即以壓力流狀態從抽水機出水管路向山上爬升輸水，至第二加壓站之抽水井流入蓄存；再由第二加壓站之蓄水池暨抽水井利用透平式電動抽水機抽汲後，續經抽水機出水管路向山上爬升輸水，至第三加壓站之抽水井流入蓄存；第三加壓站繼續用多級透平式電動抽水機，將抽水井之蓄水沿向上山坡路壓力管路輸送，流入輸水管線最高點——靜水池內蓄存。此第一加壓站抽水機共用出水管路延伸至管線最高點靜水池，其間之滿管流管線即為壓力管路，該設計管材為展性鑄鐵管(DIP)，管徑 Ø350mm，各加壓站之附近皆設有水錘洩壓閥及管路系統水力控制閥、

氣閘等控制設備。另在管路之水平及垂直折角段都設計有彎管固定台，以防橫力及承載力不足而避免脫管。壓力管路之管端接頭採用押圈法蘭銜接。管路埋設原則係順沿產業道路與陽金公路，管頂覆土深至少 1 公尺，管座及周邊管槽以回填砂夯實。由第一加壓站至靜水池之壓力管路總長度約 4 公里，且其中第一加壓站至第二加壓站管路選擇截彎取直之短管線路埋設；陽金公路擎天崗西北向峽谷(EL.700m~EL.750m)亦採短管路沿陡坡埋管。

(五) 重力輸水管路

自七星山鞍部陽金公路旁之壓力管路最高點靜水池至北投區復興路之大屯淨水場(EL.100m)接水點，其間之管路即為重力輸水管路，係沿陽金公路與登山道路埋設，全長約 12 公里，採 Ø350mm STP，在管線段中間分設 3 處減壓井，其設立標高各別為 EL.320m，EL.250m，EL.200m。當原水經由此 3 處減壓井之水位控制，可使輸水管路之壓力達到維持設計管壓允許範圍。

重力輸水管路之覆土埋深至少 1 公尺，在彎管亦設有固定台，而管路之銜接皆以焊接處理，管路之高凸處設有排氣閘，於低凹處並有排水路處則附設排泥閘，可供防制水錘及便利管線清理與排除淤泥。

(六) 抽水機電設備

鹿角坑溪水源經主堰取水引入加壓站，分三次加壓及四段壓力管線輸水，再匯流入最高點靜水池，然後以重力輸水管路送到大屯淨水場。其中三個加壓站裝設有電動抽水機、管線閘類控制系統設備、排水與排砂管路及閘門、加壓站監控系統、淨水處理設備等設施。茲將主要該抽水機電設備說明如下：

1. 加壓電動抽水機

三個加壓站各設計有 5 台 4250 CMD 抽水量，口徑 Ø150mm 立軸多級透平清水式電動抽水機，設計揚程分別為 175M、135M、195M，出水管徑 Ø200mm，抽水機長 3.8m~5.8m，加壓站總設計抽水量 17,000 CMD，且其中一台抽水機為備用機組。平時全額運轉由四台抽水機併聯操作，鹿角坑溪水源取水流量之變化在 5,000 CMD 至 20,000 CMD 間，水權登記取水量為 17,000 CMD。為避免抽水機過份集中某一台操作，乃設計依序輪流抽

水操作方式，配合加壓站抽水井之進流水量情況，以便組合運轉抽水機台數運作。本站採購電動抽水機為國內民間大廠三太機器公司產品，自民國 72 年完工迄今已逾 23 年，該抽水機性能效率尚佳，且未曾需要更新。

2. 管線閥類控制系統

加壓站抽水輸送至上游之加壓站蓄水池或靜水池，因輸水管線頗長，當併聯之抽水機台數變化操作，其抽水之起抽或關閉情況，皆造成壓力管路之水錘作用發生，如無適當之閥類控制系統加以配置防制，受水錘作用勢必對抽水機及其壓力管路造成相當大的傷害。本計畫於加壓站抽水機之出水管路上，均設計有定壓控制及洩壓控制，利用抽水機之分歧管段設立流量控制閥(CONTROL VALVE)、制水閥(SHUT OFF VALVE)及氣閥(AIR & VACUUM VALVE)。於抽水機併聯共用管段設立逆止閥(CHECK VALVE)、洩壓閥(PRESSURE RELIEF VALVE)、制水閥(SHUT OFF VALVE)。抽水機出水管路之控制閥與洩壓閥係採用水力膜片控流方式，並有兩組電磁閥可保持安全作動。而逆止閥則採彈簧式逆止裝置，可獲逆流之緩衝關閉時間及衝擊力。在逆止閥之上下游端配合加設小流量繞流管，以利衰減共用管路段中之逆流水錘作用力，俾確保管路系統之運轉安全。另為減緩抽水機運轉操作之水流脈動衝擊，在 Ø200mm 抽水機出水管路與 Ø350mm 併聯共用管之匯合丁字管部位，採耐震鋼環及混凝土固定台結合支撐設計，可供管路吸震受力。

3. 加壓站監控系統

在抽水管路系統之加壓站房，各設計有機房受電室、變電室及控制室，可將加壓站內之機械與電氣設備利用電盤及控制裝置，顯示管路及抽水機之操作情形，以供站房操作及管理人員適時掌握。另借由電話線路與相關淨水場可進行連線通話，以利供水及輸水系統之操作與管理。

4. 淨水處理設備

於原始設計係擬在地面標高 EL. 654m 處之第三加壓站設立淨水處理設施，包括快混池、膠凝池、沉澱池、快濾池、廢水池及清水池等有關處理設備，但因後來市府政策改變，將鹿角坑溪原水直接加壓泵送到最高點靜水池，再重力輸水到北投大屯淨水

場，就地擴大淨水處理，其自來水淨水處理水量為 17,000 CMD。根據原始淨水場設計，其處理流程係在第三加壓站採用口徑 Ø5m 圓池，池深 4.5m，設計水位 WL 655.39m 之原水靜水池，匯集第二加壓站輸入鹿角坑溪原水後，經快混池、膠凝池、沉澱池、快濾池而後送到清水池，然後續以壓力管路輸送到地面標高 EL.789m 處之最高點靜水池，再由重力管路連結到大屯淨水場，以便共同配水。至於淨水處理過程中之洗砂廢水，則輸送到廢水池後，再放流至鹿角坑溪山溝中。

(七) 營運後之設計調整

1. 主堰下池增設臨時取水設施

由於支堰及其輸水管路並未施做，故支堰取水量補助主堰之構想無法落實，為增加主堰處之溪流取水，在營運階段便利用主堰下池護坦之溪床凹地水坑，裝置臨時性抽水機械設備，自溪中之溢堰餘水汲取，再經管線泵送至第一加壓站沉砂池內，以提供多餘原水，此種增設抽水設備之調整設計方式，可資支堰及其輸水管路之替代建設，亦便利達到後來在此水源地區作為國家公園管制之符合要求，以及環保署要求減少對該山坡地之生態環境破壞而禁止支堰與其輸水管路等工程開發。

2. 第三加壓站擴建淨水設施

民國 80 年，自來水處將大屯淨水場之 4 座既有臥式快濾筒設備移撥到第三加壓站東側，使該站原水處理達到清水質 1 NTU 標準以下，其出水量 $Q=5,001 \text{ CMD} \sim 11,193 \text{ CMD}$ ，後來因設備老舊，使用功能衰退，遂於民國 91 年報廢，同時在第三加壓站北側新設 4 座無閥式快濾筒替代，其淨水能力可滿足原有設備功能需求。民國 95 年，自來水處為配合鹿角坑溪上游之溫泉開發，以及陽明山地區在豪雨期間因溪水濁度過高而影響水質要求，乃積極進行第三加壓站擴建混凝池、沉澱池、快濾池、廢水池及污泥處理場等併聯設施之規劃設計，預期將原水之淨水處理達到清水水質 0.3 NTU 以下標準，其處理淨水容量達到 12,000CMD，但進流原水如濁度超過 50 NTU，則暫停進水。

四、工程規劃設計回顧檢討

(一) 施工中遭遇規劃設計問題

鹿角坑溪水源開發之完成設計而付諸施工階段，發現主堰之現場地質條件遠較當初設計預期為差，因當地地質為破碎火山岩組成，大部份膠結差，質地鬆軟，滲透性較高，且容易風化成表土或土壤，又因鹿角坑溪之水流沖積，造成取水堰址處之沉泥粘土、安山岩塊與沉泥砂間互夾雜，其互層超過 15 公尺以上，設計取水堰時，已在主堰基礎四周怖設 5 公尺深簾幕灌漿，但完工後仍有上游溪水滲流入堰壩之左右及下方跡象。而原始設計先採用 PCC 排樁工法，因檢討認為水玻璃皂化土之堰體基礎易為滲流水日後所侵蝕流失，故施工中將 PCC 排樁改變，直接在堰體下部 RC 結構加深，以供作截水牆，此一視現場地質需要而修改設計應屬正確。

(二) 營運中修正設計探討

鹿角坑溪水源開發計畫雖實施計畫已籌劃有淨水廠之興建，但實際執行僅建造取水設施、加壓站及輸水管路系統，將鹿角坑溪原水導流至大屯淨水場，代為淨水操作。逮民國 80 年以後，始改變營運方式，在第三加壓站增設簡易淨水設備。就工程效益及經濟性觀點考量，此種階段性之開發投資應該相當合理，尤其鹿角坑溪水源之供水量直到民國 95 年才占陽明山供水區總出水量(13,166 CMD ~ 28,199 CMD)之 40%，對照民國 69 年當初評估所認為：民國 80 年以後陽明山地區將不足 6,000CMD 供水量(當時估計北投與天母等地區，夏天缺水量高達 30,000CMD)顯然有落差。可見於政府預算之投入時機，採取逐時段之目標調整做法，為較符合有效率而務實。換句話說，工程之整體規劃需要周詳，而工程之設計與施工應採取較有彈性之分程、分期、分區步驟，考量外部環境演變和經濟有效的執行方式，才是最佳的實施做法。

(三) 工程設施檢討

此自來水水源開發工程設施建造完成，運轉操作迄今已超過 20 年，目前仍在供水正常服務中，可見其設備施工品質均甚良好，以機械設備衡量，各加壓站抽水機電在時常操作磨耗之下，尚能不必更換且效率無明顯折損，亦可印證當初設備研選應屬恰當。而在陽明山地區多硫磺潮

溼環境中，其輸水埋管使用較耐蝕材料才能具有經過 20 年以上之壽齡，且還不需更換管材或補填破損。當初抽水機及閘類、鐵管皆從國內採購，其製造水準可與國外先進廠商相齊。而本高壓水頭之長管路系統採用水力式防制水錘作用設計構想，可達到最安全保護功能之發揮，蓋當水錘作用發生時，本系統管路已利用三道控制機制，先緩衝、次衰減、再定值洩壓，且讓洩水回流再利用之設計理念，係較採用純機械式水錘防制設備為佳，此可由比較高屏溪東港抽水站所遭遇水錘損壞事例得到潑印證。本工程建設較早，且因受政府當時預算定額限制，未能多設計與大屯淨水場聯線之全管路自動化操作及監控管理系統，致現今無法利用管路系統得到檢查資訊及水路內壓操作變化情報，較屬遺憾。唯此一高壓自來水管線設計誠歸國內首創，值得借鏡。

(四) 水資源開發建設回顧

從民國 62 年台北市政府自來水事業處取得鹿角坑溪水源之 17,000 CMD 水權，迄今已逾 33 年，而該水源開發工程自民國 72 年 6 月完工以來，其營運操作亦有 23 年以上，此自來水設施尚能正常使用並發揮原有計畫功能，個人認為有幾點值得回顧而宜探討與檢視，茲說明如下：

1. 本計畫之水源開發已否具備充分永續經營？

鹿角坑溪水源開發之規劃、設計、施工與維護管理，均曾經修正過，在規劃、設計階段即研討過附帶做小水力發電開發；施工與營運階段曾增加攔河堰下游臨時取水措施。由此表示原有水資源尚未能充分掌握，其水力潛能未有效利用。再自現今工程重視生態景觀及環境保育立場檢視，吾人認為仍有天然條件可再充分發揮工程上和生態上之環境景觀綜效機會，可運用自然溪流池塘、瀑布、澗灘，當地蝴蝶聚棲特質，硫磺燻浴溪岩特色，稀有動植物分佈，背景山林氣象，多元化營造兼具人文歷史觀光資源和建設，以供永續經營。

2. 生產性自來水設施是否注意日常檢查維護？

須知工程建設必有一定使用壽齡，也必須注重保養維護，否則工程設施容易損壞老舊，甚或造成系統機能中斷與災害，嚴重可能引發公共危險事件，如爆管或抽水機轉動體燒毀等問題發生，不可漠視！所以有關自來水設施及設備要求製作操作維護手冊，同時要實施定期與不定期檢查，並做好大小檢修維護。鹿角

坑自來水水源開發工程之輸水管線長達 16 公里，分別有 3 座高水頭加壓站及減壓井，最大水頭落差 694 公尺，如在輸水管路系統發生水錘危害，其所衍生之破壞壓力和傷害，相當驚人！如今運作已超過 23 年，實在應該積極加強進行系統安全檢查，並注意潛在問題之改善及維護，方足以保證系統功能可獲正常發揮及操作安全無虞。

3. 設備操作管理是否仍有加強改善空間？

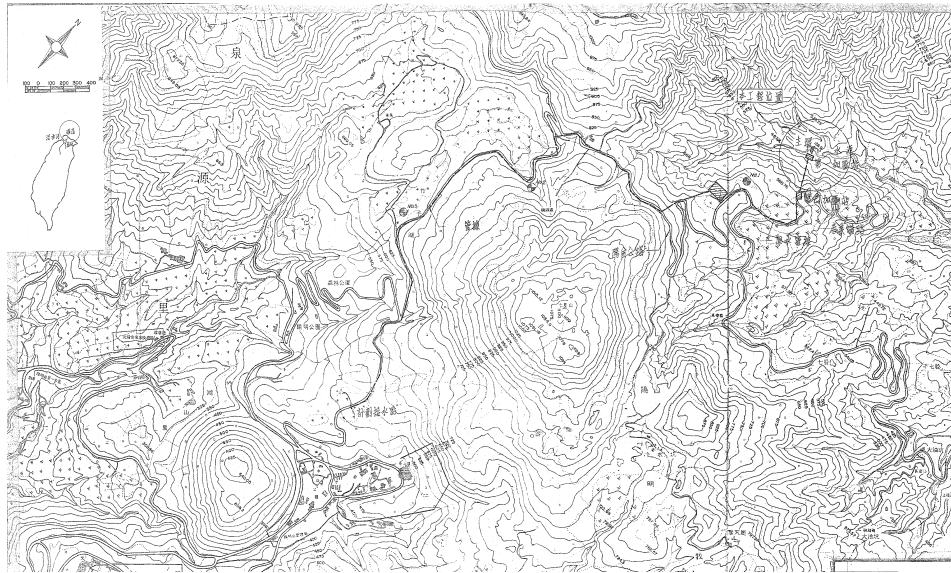
工程技術與工程材料設備悉隨時代潮流在急速變動與進步，鹿角坑溪水源開發之工程設施完工超過 20 年，以現代市場已有之科技及設備供應，對於既有設施之檢修改善應大有幫助，除從操作管理方面可獲得較簡化和方便效益外，更可由設備系統之監測、監視、預警、控制等方面取得即時而安全之資訊，並做回饋措施，由此便可避免因設備日久而發生故障或造成危害問題出現。凡此設備操作管理之加強改善措施皆值得投資，尤其近代機械自動化及設備遙距視訊之操作管理，應在規劃設計中予以結合，俾使設施與設備之維護管理更加完善，同時兼顧到節約能源及精簡人力之最終目標兌現。

參考文獻

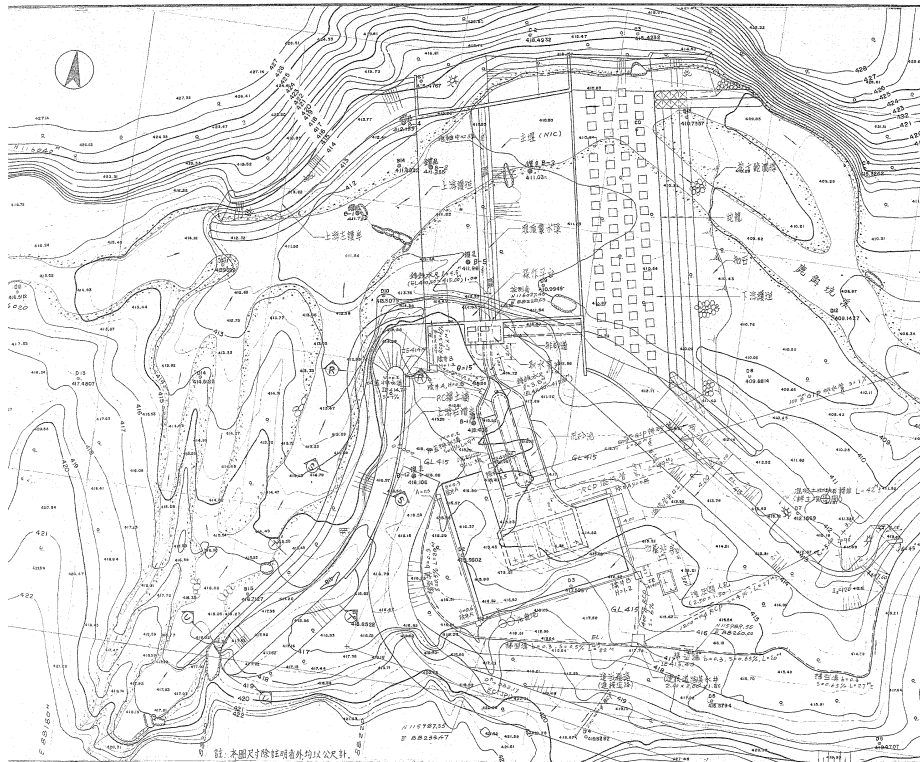
1. 台北自來水廠 / 強安工程技術顧問公司，”鹿角坑水源開發可能性研究報告“，民國 65 年 10 月。
2. 台北自來水事業處工程總隊 / 中華顧問工程司，”鹿角坑自來水水源開發計畫初步規劃報告“，民國 69 年 11 月。
3. 台北自來水事業處工程總隊，”鹿角坑水源開發工程簡介“，民國 72 年 4 月。

附圖

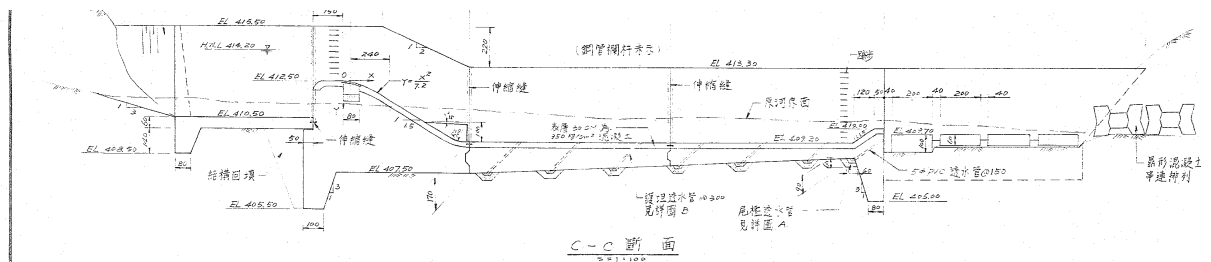
1. 高壓水頭水源開發工程案例位置圖
2. 主堰、沉砂池及加壓站工程平面佈置圖
3. 主堰縱剖面圖
4. 加壓站抽水設備佈置圖
5. 靜水池、淨水場及加壓站工程平面佈置圖
6. 主堰現場勘查地貌
7. 主堰完工蓄水現況
8. 加壓站抽水設備現況



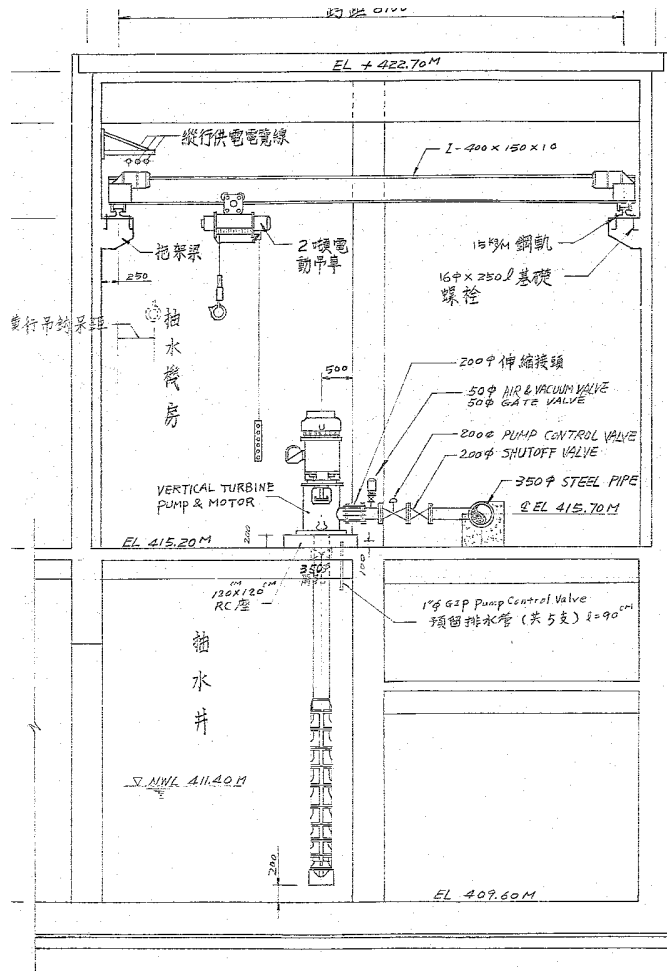
附圖 1 高壓水頭水源開發工程案例位置圖



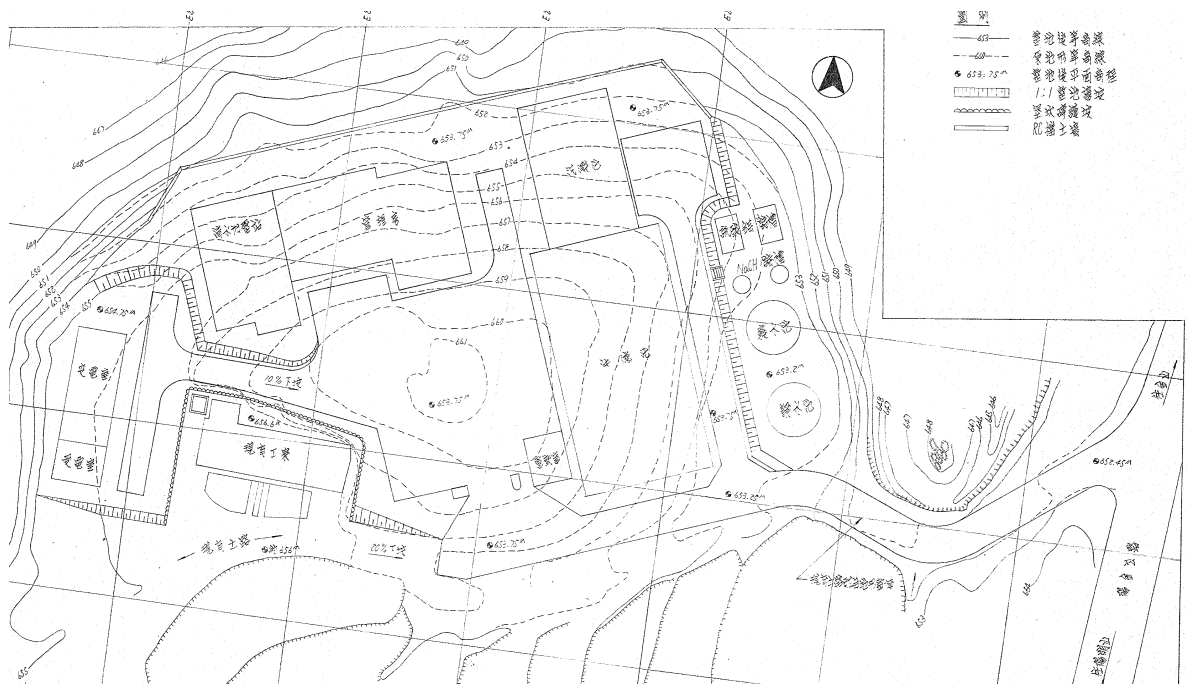
附圖 2 主堰、沉砂池及加壓站工程平面佈置圖



附圖 3 主堰縱剖面圖



附圖 4 加壓站抽水設備佈置圖



附圖 5 靜水池、淨水場及加壓站工程平面佈置圖

主堰現場勘查地貌



主堰完工蓄水現況



加壓站抽水設備現況



附圖 6~8