

# 都市重劃區建設影響下之灌區水質問題及改善策略- 以臺中南屯地區為例

## Irrigation Water Quality Issues and Improvement Strategies under the Impact of Urban Land Readjustment: A Case Study of the Nantun Area in Taichung, Taiwan

財團法人農業工程研究中心

助理研究員

譚允維

Yun-Wei Tan

研究員

陳豐文

Feng-Wen Chen

副研究員

林修德

Hsiu-Te Lin

農業部農田水利署臺中管理處

管理組組長

謝明陽

Ming-Yang Xie

水質股股長

李庭漪

Ting-Yi Li

### 摘 要

臺中市南屯地區灌溉系統近年來受重劃區上游建設影響，導致含鐵地下水滲入區域灌排系統進而匯入灌溉水路，造成下游水體呈現紅褐色問題，進而造成灌溉水使用疑慮。本研究區域屬農田水利署臺中管理處南屯站灌區，主要針對第 10 泉水路提出水質改善之工程對策，以渠壁掛管方式供應乾淨水體至灌區，藉由灌排分離以避免受污染水體混入灌溉系統，並配合環中路 1 號水路現地條件與水門配置，進一步規劃以輪灌制度調控每日灌溉時段與流量，提升水資源使用效率。

研究成果顯示，環中路 1 號水路最大供水流量為 0.0434 cms，對應灌區面積 1.1 ha，每三日約需供灌 7.4 小時，考量水門操作延遲應配合每日灌溉時間建議調整至約 8~9 小時，以確保水深需求達成。透過農業部統計數據及文獻評估水質改善對稻作產量之效益，顯示若水體改善應可提升產量，對應灌區每年可增加效益約 2.6 萬元，進而推估工程分析方案之益本比小於 1，主因為灌區面積較小整體效益有限。整體評估結果指出，渠壁掛管具施工簡便、可立即改善水質且搭配輪灌制度具實務可行性，但須考量周邊用地、及輪灌操作人力配置等問題。建議未來執行前應整合現地地形、水文、作物需求與管理資源，進行綜合性規劃與評估，以確保灌溉效益與資源永續利用。

**關鍵詞：**灌排分離、流量測定、工程改善

## Abstract

In recent years, the irrigation system in the Nantun area of Taichung City has been affected by upstream urban land readjustment projects. These developments have led to iron-rich groundwater infiltrating the regional drainage system and eventually mixing into the irrigation canals, resulting in reddish-brown water in downstream sections and raising concerns over irrigation water quality. The study area falls within the irrigation zone managed by the Nantun Station of the Taichung Branch, Irrigation Agency. This study focuses on Waterway No.10 and proposes engineering measures to improve water quality. Specifically, a side-wall piped conveyance system is proposed to deliver clean water to the irrigation area, thereby achieving irrigation-drainage separation and preventing polluted water from entering the irrigation system. In conjunction with local conditions and the gate layout of Huan-Zhong Road No.1 waterway, a rotational irrigation schedule is also planned to regulate daily irrigation times and flow volumes, improving overall water use efficiency.

Field measurements indicate that the maximum flow capacity of Huan-Zhong Road No.1 waterway is 0.0434 cms, which can meet the irrigation demand for 1.1 ha with an estimated supply duration of 7.4 hours every three days. Considering the operational delay of gate adjustments, the daily irrigation duration is recommended to be extended to 8~9 hours to ensure sufficient ponding depth. Based on agricultural statistics and literature, improving water quality is expected to enhance rice yields, with an estimated annual economic benefit of approximately NT\$26,000 for the area. However, cost-benefit analysis indicates a ratio below 1, primarily due to the small size of the irrigation zone. Overall, the side-wall pipe system demonstrates feasibility in both construction and water quality improvement, especially when combined with rotational irrigation. Nonetheless, site conditions, surrounding land use, and labor requirements for irrigation scheduling must be carefully considered. A comprehensive evaluation of terrain, hydrology, crop needs, and management capacity is recommended prior to implementation to ensure sustainable and effective irrigation management.

**Keywords:** Irrigation and Drainage Separation, Flow Measurement, Engineering Improvement.

## 一、前言

農業部農田水利署臺中管理處（以下簡稱臺中管理處）南屯工作站位於大甲溪葫蘆墩圳灌區下游處，因其地勢平坦、水源豐沛，過去為臺中管理處重要之稻作生產地。然而，隨著都市化快速發展，南屯灌區大部分農田已被劃為都市重劃區。由於重劃區以興建住宅及商業用途為主，導致現行灌溉系統多位於都市區或其邊緣下游。灌溉系統一旦與都市排水系統發生交錯、介入或匯流，便可能導致灌溉水質受到污染，影響農作生產。

南屯站第 10 泉水水源之上游為環中路南方人行道下之環中路 1 號水路，該水路於黎明路口後與重劃區排水系統銜接並向下游供灌。於 2023 年及 2024 年間，因重劃區排水帶入大量含有鐵質的水體，造成灌溉水呈現紅褐色濁度異常，經檢測證實水中鐵含量明顯偏高。這樣的水質異常現象，不僅影響水體外觀，更可能造成農田環境與作物生長危害，造成當地農民嚴重困擾與損失。

水體中鐵離子含量過高，特別是當水中溶解氧豐富時，二價鐵( $\text{Fe}^{2+}$ )會氧化為三價鐵( $\text{Fe}^{3+}$ )，並形成氫氧化鐵沉澱，導致水體呈現黃褐色濁態。這些鐵沉澱物會阻塞土壤孔隙，影響通氣性，進而降低作物根系吸收水分與養分的能力(Zhou et al., 2017)。此外，鐵質沉積於作物根部，也可能造成鐵毒害，使植物葉片黃化、根系黑腐，影響光合作用與整體健康狀況(Sahrawat, 2004)。在水稻栽培方面，研究指出長期使用鐵質污染水源灌溉，會造成稻米產量顯著下降，尤其是在生育後期出現抽穗不良、結穗率降低的現象(Yoshida, 1981)。此外，鐵污染也可能改變田間微生物相，進一步影響土壤肥力與作物抵抗力(Bolan et al., 2011)。

鑒於南屯灌區受都市重劃區排水影響日益嚴重，導致灌溉水質異常與農作物產量下滑，本研究擬透過具體之工程改善方案，如：灌排分離等措施，來達到降低污染水對農田的衝擊，確保農業灌溉系統運作穩定與作物生產安全。

## 二、研究區域及方法

### (一).研究區域概述

本研究區域位於臺中管理處南屯站灌區，行政區位置為臺中市南屯區鎮平里，鄰近重要道路有環中路四段及五段，環中路北方以都會區、住宅區為主，以南主要為本研究區域之南屯站農業灌區，中和排水灌區鄰近 3 處潛在水源位置分別為：劉厝溪、鎮平溪及南屯溪，而中和排水位於鎮平溪與南屯溪之間(譚允維，2023；農工中心 2024)。本案發生黃褐色水質疑似污染位置及相關地理空間位置分布如圖 1-1 所示，經相關環保團體調查成果顯示，黃褐色水體疑似為水體鐵質濃度較高問題所致，其主因應為上游重劃區建案工程抽水作業導致含鐵地下水排入區域排水後匯入本站灌區衍生疑似作物生長不良、減產等問題，考量現階段環中路 1 號水路將匯流至黃褐色含鐵之渠道，為避免水質混合，規劃將環中路 1 號水路餘水透過 PVC 掛管於渠道右岸方式向下游供灌，本案仍須考量：掛管對於現有渠道排洪問題及掛管設計水量。

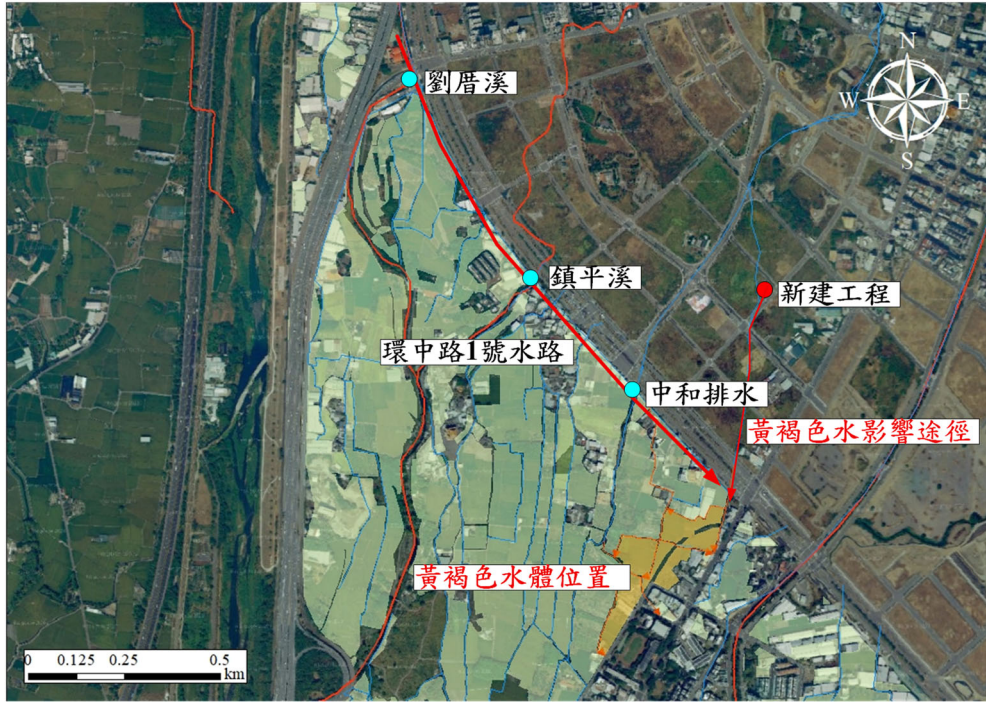


圖 1 研究區域與黃褐色水體位置分布

## (二).流量測定方法

流量測定方面主要利用斷面流速法進行測定，即單位時間(t)內通過的水體積( $W_v$ )，可依據(1)式或以(2)式獲得。由於渠道斷面可能屬於不規則形或是定型並無特定型態，因此可依據渠道斷面劃分為  $n$  個小斷面，由(2)式概念推估各小斷面之流量  $q_i$ ，並以(3)式及(4)式表達；此外斷面劃分則進一步可區分為中斷面法(Mid-Section method)及平均斷面法(Mean-Section method)，將各子斷面之平均流速如(5)式與對應子斷面積如(6)式，其乘積累計為總流量；其中平均斷面法假定河川通水斷面由多個不同梯形子斷面組成(如圖 2)，各子斷面平均流速為兩相鄰垂線平均流速之平均值如(7)式，各子斷面積如(8)式，依(3)式累加為總流量。考量中斷面法雖有簡便優點但準確性相對較低、平均斷面法手續繁複但高精確度優點(陳豐文等，2012)，因此本研究對於流量測定以平均斷面法為主。

$$Q = \int_A v dA \dots\dots\dots(1)$$

$$Q = V_{av} \cdot A \dots\dots\dots(2)$$

$$Q = a_1 v_1 + a_2 v_2 + a_3 v_3 + \dots + a_n v_n \dots\dots\dots(3)$$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \dots\dots\dots(4)$$

式中： $A$  是河川量測面之通水橫斷面積， $v$  是水流區橫斷面任一點之流速， $V_{av}$  是通水橫斷面的平均流速， $n$  為通水斷面積分割數量， $a_i$  是第  $i$  小斷面的面積， $v_i$  是第  $i$  小斷面的流速。

$$v_{avi} = v_i \dots\dots\dots(5)$$

$$a_i = b_i \cdot d_i \dots\dots\dots(6)$$

$$v_{\text{mean}} = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \dots\dots\dots(7)$$

$$a_{\text{mean}} = \frac{(d_i + d_{i+1})b_i}{2} \dots\dots\dots(8)$$

式中： $v_{\text{mean}}$  是平均斷面法的子斷面平均流速， $a_{\text{mean}}$  是平均斷面法的子斷面積。

由上述可知流量測定主要參數為流速及斷面參數的取得，現場流量測定項目主要為觀測水流的通水斷面積(A)與水流的平均流速(V)。通水斷面積(A)之量測以鋼尺或箱尺為主要量測工具；流速設備採用雷達波流速儀作為非接觸式流速觀測的設備，使用之設備為美國 Stalker 公司生產之手持式雷達波流速儀(RSV)，屬於連續波雷達，因此操作時會即時傳回表面流速值，並直接平均觀測時間內之平均表面流速值，表面流速穩定者，則數值變動幅度小，當表面流況複雜時，流速即時變化幅度大，因此需持續觀測較長時間或重複觀測以維持準確性，RSV 儀器外觀及測定操作方式如圖 3。

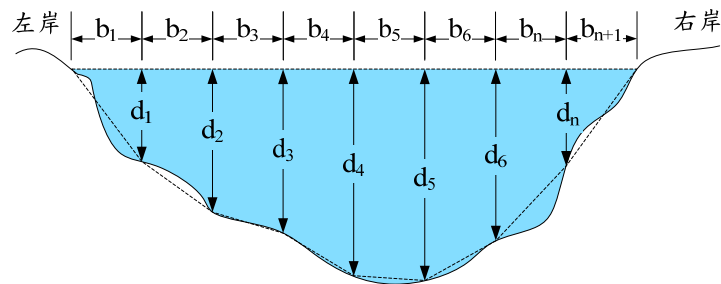
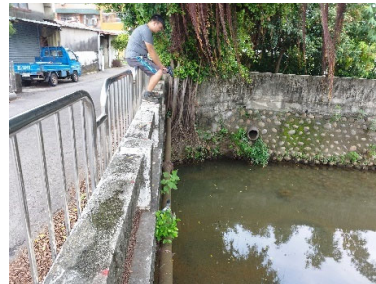


圖 2 平均斷面法示意圖



A.雷達波流速儀外觀



B.雷達波流速儀實測操作

圖 3 手持式雷達波流速儀 RSV 及現場操作

### (三).理論流量推估

理論推估法則是基於水連續方程式，於通水斷面積已知後透過流速推求，即可推估流量。因此流速為關鍵參數，曼寧公式(Manning Formula)常用於渠流流速計算，藉以推估河川或圳路流量，適用於所有完全粗糙渠流，由於渠道邊界材料以及流況等水理參數影響，可以用曼寧 n 值表現出來，而能量損失亦可以曼寧公式計算，其基本方程式如(9)式。重要參數之意義說明如下：n 為曼寧摩擦係數或稱粗糙係數(參酌表 1)，R 為水力半徑(Hydraulic radius)，其為潤濕斷面積(A)及潤濕周(P)比值。 $S_f$  為能量坡降( $S_f = h_e/L$ )，其中  $h_e$  為摩擦損失水頭、L 為兩渠段間之距離；當流況為均勻流(Uniform Flow)，能量坡

降( $S_f$ )、水面線( $S_w$ )及渠道縱坡( $S_o$ )相等；即  $S_f = S_w = S_o$

$$V = \frac{k}{n} \times R^{2/3} \times S_f^{1/2} \dots\dots\dots(9)$$

式中： $V$  為流速； $n$  為曼寧摩擦係數； $R$  為水力半徑(Hydraulic radius)， $R$  為潤濕周； $S_f$  為能量坡降。

表 1 內面工不同材質之  $n$  值(人工渠道)

材質	最小值	最大值	正常值	
			$n$	$1/n$
①水泥				
表面光滑，清潔	0.010	0.013	0.011	90.8※
水泥膠砂	0.011	0.015	0.013	78
②混凝土				
抹光	0.011	0.015	0.013	78※
拖光	0.013	0.016	0.014	71.5※
粉飾，底有卵石	0.015	0.020	0.017	58.8
未粉飾	0.014	0.020	0.017	58.8
噴漿，良好斷面	0.016	0.023	0.019	52.7※
噴漿，不平斷面	0.018	0.025	0.022	45.4※
岩石斷面上襯工，良好斷面	0.017	-	0.020	50.0
岩石斷面上襯工，不平斷面	0.002	-	0.027	37
單岸為岩石，一面混凝土	-	-	0.020	50※
③混凝土襯底(拖平)側面為				
漿砌焚石	0.015	0.020	0.017	58.8
漿砌塊石	0.017	0.024	0.020	50
勾縫漿砌卵石	0.016	0.024	0.020	50
漿砌卵石	0.020	0.030	0.025	40
乾砌卵石	0.020	0.035	0.030	33.3

資料來源：內政部土地重劃工程局(2004)。

#### (四). 測量設備說明

本研究針對重點渠段進行高程及座標調查，測量作業方法首先需進行資料收集及準備，包含作業範圍區資料蒐集(控制點、範圍圖等相關資料)；現地外業踏勘(含控制點清查)；測量儀器校正(e-GPS 接收儀)與相關作業軟硬體整備。

### 三、結果與討論

#### (一). 工程方案研擬概述

南屯站第 10 泉水水源上游為環中路南方人行道下方之環中路 1 號水路，至黎明路口處與重劃區排水銜接向下游供灌，近期因重劃區排水受到紅褐色之鐵質過高，導致水色異常、農作物收成不佳，造成當地農民困擾，因此本研究擬透過工程或調配用水協調方式來解決水質異常現象。初步規劃於環中路 1 號水路銜接至區域排水處採用渠壁掛管方式，如圖 4 A 點所示，掛管示意圖如圖 5 A~C 所示，將環中路 1 號水路水體進行輸水，

以避免與受鐵質過高之區域排水混合，渠壁掛管後分別於沿線坵塊進行供水，而下游所屬灌區均建議使用掛管水源，避免取用鐵質過高水體；此外於圖 5 B 點處，為避免水體混合北方下來之水體及擴散向西之灌溉水路，建議於此處施作臨時渠道隔牆，以避免水體混合，如圖 5 D 所示。



圖 4 南屯站第 10 泉水工程方案路線規劃

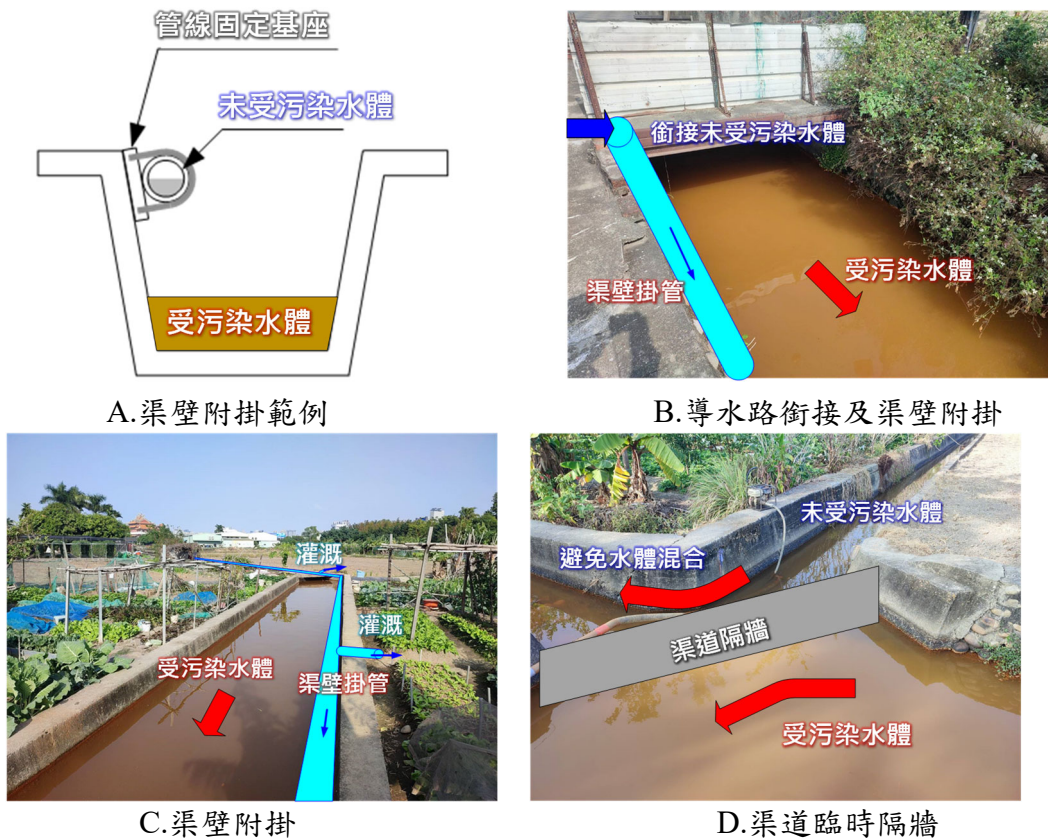


圖 5 南屯站第 10 泉水工程個案

## (二).渠道斷面及流量實測

本研究從需水端考量設計水量，以 2023 年灌溉計畫表登載之南屯站最大灌溉計畫水量為 3 月中旬之 0.669 cms，對應於南屯站灌溉面積為 165 ha，計算其單位面積需水量為 0.004 cms/ha，而目標灌區面積 1.1 ha 換算其需水量約 0.0045 cms，而每日所需水量為 385.3 m<sup>3</sup>，相當於每日需灌溉水深約 0.035 m。

另於環中路 1 號水路沿線 5 處水門需水期間均會開啟，導致下游處幾乎無水量可用，本研究於 2024/8/2 測量流量為 0.0046 cms(如表 2 所示)，雖可大致滿足目標灌區之需水量，然而考量灌溉效率及輸水損失仍建議除了利用灌排分離工程將環中路 1 號水路水體供灌至目標灌區以外，仍應配合輪灌配水等管理制度來達到成效。

如實施輪灌配水措施，則需掌握環中路 1 號水路最大水量為何以供灌下游目標灌區，於 2024/8/9 前往測量(環中路 1 號水路為區域排水取水系統故進水量穩定)，測量條件為將環中路 1 號水路沿線 5 處水門關閉方式，來測量渠道輸水至下游最大流量，由於沿線水門關閉導致環中路 1 號水路產生湧浪向下游傳遞所需時間，環中路 1 號水路總長約 1,281 m，經現場測量後水門緊閉後約 1 小時後下游處可反應出最大流量，經測得該流量約 0.0434 cms(如表 3 所示)。

考量輪灌水深消耗特性，將不同輪灌日數對應灌溉時間及湛水深比較如表 4 所示，若以每 N 天供灌一次，則每次應供給 0.035\*N(m)之水深，換算每 n 天約需供水 385.3\*N(m<sup>3</sup>)之水量，如若以環中路 1 號水路最大流量 0.0434 cms 計算約需時灌溉 8,878\*N 秒，相當於灌溉需時 2.47\*N 小時，以 N 為 3 天為例，則每次供水約需 1,156m<sup>3</sup>，以 0.0434 供水量計算則需灌溉 7.4 小時方可使目標灌區有效達到灌溉目標，若考量水門關閉後 1 小時才會達到最大流量，則建議每 3 天應於操作水門後 8~9 小時後再行關閉。實際操作上則建議以每日供灌 2.47 小時，考量流量反應時間約為 1 小時，則每日應關閉沿線水門約 3~4 小時後再將沿線水門打開，則田間累積水深約 0.04 m。

表 2 環中路 1 號水路 2024/8/2 需水期下游剩餘水量測量成果

渠道形狀：	矩形明渠		
渠道尺寸：	渠寬 0.77 m、渠高 1.5 m		
渠道斷面樁(m)	水深(m)	流速(m/s)	子斷面流量(cms)
0	0.03	0.1	0.0005
0.1	0.04	0.2	0.0008
0.2	0.04	0.2	0.0008
0.3	0.04	0.2	0.0008
0.4	0.04	0.2	0.0006
0.5	0.04	0.1	0.0004
0.6	0.04	0.1	0.0004
0.7	0.03	0.1	0.0003
0.8	0.03	0.1	
總和			0.0046

表 3 環中路 1 號水路 2024/8/9 下游最大水量測量成果

渠道形狀：	矩形明渠		
渠道尺寸：	渠寬 0.77 m、渠高 1.5 m		
渠道斷面樁(m)	水深(m)	流速(m/s)	子斷面流量(cms)
0.00	0.15	0.2	0.0048
0.13	0.15	0.3	0.0070
0.26	0.16	0.4	0.0082
0.39	0.16	0.4	0.0082
0.51	0.16	0.4	0.0082
0.64	0.16	0.4	0.0070
0.77	0.15	0.3	
總和			0.0434

表 4 不同輪灌日數之灌溉時間及湛水深比較

輪灌日數	每日需水量 (m <sup>3</sup> )	每次灌溉水量 (m <sup>3</sup> )	供水量 (cms)	灌溉時數 (hr)	累積湛水深 (m)
N	385.3	385.3*N	0.0434	2.47*N	0.035*N
1		385		2.47	0.04
2		771		4.93	0.07
3		1,156		7.40	0.11
4		1,541		9.86	0.14
5		1,927		12.33	0.18
6		2,312		14.80	0.21
7		2,697		17.26	0.25

(二).渠道最大輸水能力之水理計算

現地測量起點高程為 61.6 m、終點高程為 59.89 m，高程差 1.71 m，工程長度為 368 m，坡度為 0.00465，為順坡可利用重力將環中路 1 號餘水供應至下游灌區。擬規劃新建 PVC 管來達到灌排分離之目標，設計流量為需水端之 0.0045cms，曼寧 n 值為 0.016，如以規劃尺寸為管內徑 0.284 m 之附掛溝(管壁 0.0159 m，管外徑 0.318 m)，則透過曼寧公式計算其水深約 0.06 m(約 17.2%管滿狀態)，流速為 0.455m/s；而若流量以供水端之 0.0434cms 計算，則水深約 0.22 m(約 77.2%管滿狀態)，流速為 0.831m/s，有關工程個案如圖 5 所示，水理計算如表 5 所示。

表 5 設計附掛 PVC 管水理計算

渠道形狀：	圓形 PVC 管	
渠道尺寸：	管內徑 0.284 m，管外徑 0.318 m	
需水端：	流量 Q=0.0045cms 渠段坡度 S=0.00465 水力半徑 R=0.036 m 最大流速 V=0.467 m/s	通水面積 A=0.01 m <sup>2</sup> 潤濕週 P=0.273 m 曼寧 n 值=0.016 水深 y=0.06 m
供水端：	流量 Q=0.0434cms 渠段坡度 S=0.00465 水力半徑 R=0.086 m 最大流速 V=0.831 m/s	通水面積 A=0.052 m <sup>2</sup> 潤濕週 P=0.61 m 曼寧 n 值=0.016 水深 y=0.22 m

附掛溝及渠道断面起點及終點高程如圖 5，高程由於附掛溝施作後對於既有第 10 泉水 16 水路會造成通水断面減少，故仍須評估通水断面減少量，其中位於樁號 0K+253 處為附掛管由渠道右岸橫跨於左岸以供灌對岸農田(如圖 6)，第 10 泉水 16 水路上游起點高程 60.928 m，下游終點高程為 59.244 m，高程差 1.684 m，渠段坡度 S 為 0.0043，由於既有灌溉溝渠壁老舊假設其曼寧 n 值為 0.02，工程施作前通水面積為 4.29 m<sup>2</sup>、水力半徑為 0.77 m、最大流速為 2.75 m/s、最大通水量為 11.82 cms，工程施作後工程施作前通水面積減少為 4.13 m<sup>2</sup>、水力半徑減少為 0.55 m、最大流速降低為 2.19 m/s、最大通水量減少為 9.04 cms，減少量約 2.81 cms，相當於減少 23.77%之最大通水量，詳如表 7 所示，渠道縱断面圖如圖 7 所示，分別於 0K+096 m、0K+253 m 及 0K+368 m(終點)為三處目標灌區田面，其高程分別為 61.18 m、60.21 m 及 59.38 m。

表 7 附掛前後第 10 泉水 16 水路水理變化計算

渠道形狀：	梯形明渠	
渠道尺寸：	底寬 1.95 m、頂寬 3.1 m、渠高 1.7 m	
工程施作前：	最大通水量 $Q_1=11.82$ cms	通水面積 $A_1=4.29$ m <sup>2</sup>
	渠段坡度 $S=0.0043$	潤濕週 $P_1=5.55$ m
	水力半徑 $R_1=0.77$ m	曼寧 $n$ 值=0.02
	最大流速 $V_1=2.75$ m/s	
工程施作後：	最大通水量 $Q_2=9.04$ cms	通水面積 $A_2=4.13$ m <sup>2</sup>
	渠段坡度 $S=0.0043$	潤濕週 $P_2=7.55$ m
	水力半徑 $R_2=0.55$ m	曼寧 $n$ 值=0.02
	最大流速 $V_2=2.19$ m/s	
	最大通水量變化= $(Q_2-Q_1)/Q_1*100\%=-23.77\%$	

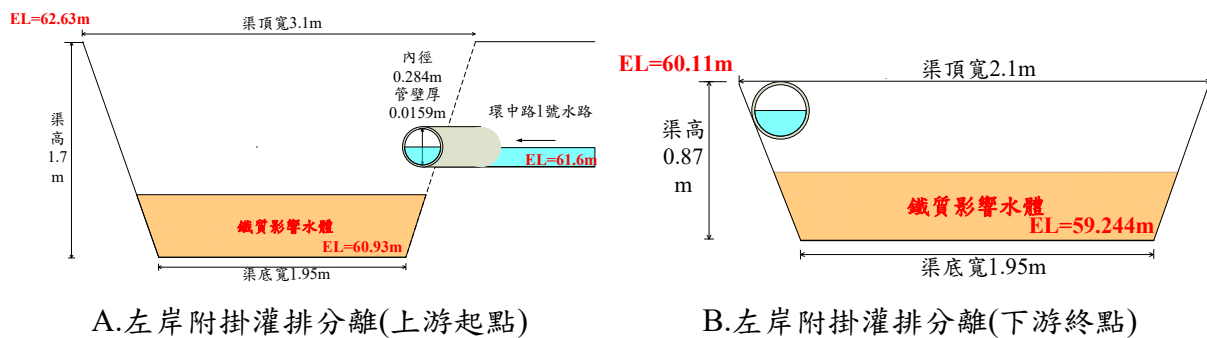


圖 5 南屯站第 10 泉水工程個案

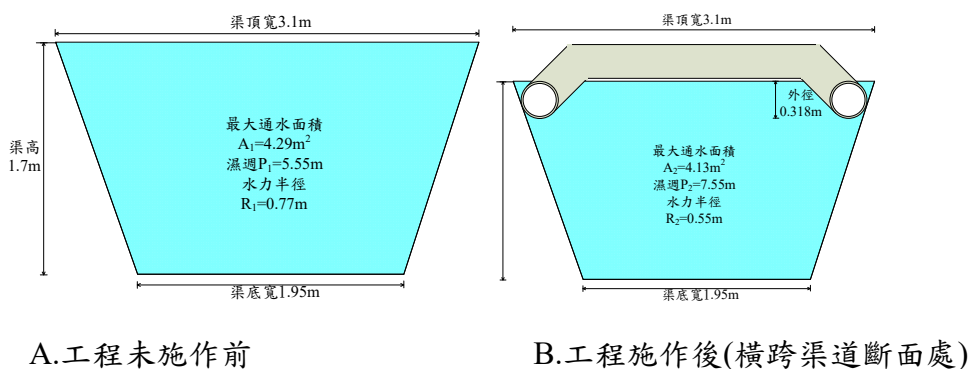


圖 6 南屯站第 10 泉水工程施作前後水理變化

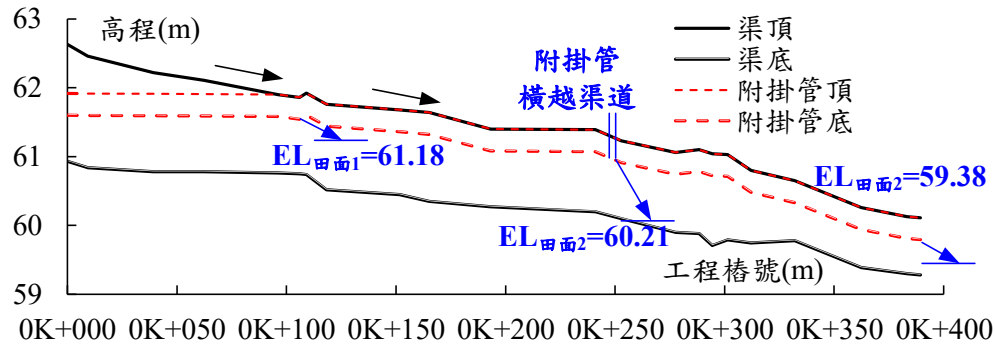


圖 7 南屯站第 10 泉水工程個案渠道縱斷面

#### 四、結論與建議

於 2023~2024 年間臺中管理處南屯站灌區受上游重劃區建設影響，所致之黃褐色含鐵之地下水匯入灌溉渠道，導致渠道水體顏色異常，或因鐵質含量較高問題以致周遭農民反映作物減產問題，本研究針對南屯站第 10 泉水周遭區域進行各方案研擬，提出利用既有渠道旁以附掛溝形式進行灌溉分離措施，規劃利用 PVC 附掛管(內徑 0.284m)將乾淨水體避免混合紅褐色水體，直接供灌於目標田區，工程長度約 368 m，附掛管工程施作上相對容易，仍而由於附掛管會涉及橫越既有渠道問題，導致最大通水量降低約 23.77%，此外為使灌溉效率提升，亦需配合輪灌制度以調度工作站之人力配置，然而仍有諸多問題需納入考量，如工程腹地是否適宜?水門操作維護成本亦可能增加工作站人員配置上的問題，實際上仍需考量現地、工程、經濟及人員...等相關諸多問題，併審慎評估後方可執行。

#### 參考文獻

1. Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., ... & Kirkham, M.B. (2011). Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils—To mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*, 266, 141–166.
2. Chow, V. T., 1959, “Open-channel Hydraulics,” McGraw-Hill, New York.
3. Penley, W.H., 2002, “The Early Days of Radar in the UK Notes for Talks.” Web site: [www.penleyradararchives.org.uk/documents/penley/early\\_radar/](http://www.penleyradararchives.org.uk/documents/penley/early_radar/) 15th October 2002.
4. Sahrawat, K.L. (2004). Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. *Journal of Plant Nutrition*, 27(8), 1471–1504.
5. Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute.
6. Zhou, J., Dang, Z., Cai, M., & Liu, C. (2017). Soil pore blocking and water transport

inhibition induced by Fe-oxide precipitation. Journal of Hydrology, 553, 621–631.

7. 內政部土地重劃工程局，2004，農地重劃區農路、水路建造物規範手冊。
8. 王如意、易任，1992，應用水文學(上、下冊)，P.309-347、501-532，國立編譯館。
9. 李明靜，2003，「河川表面流速與流量非接觸式量測方法之發展與應用」，國立成功大學博士論文。
10. 桃園市政府環境保護局，2022，「111 年社區專用污水下水道相關法令暨生活污水源頭減污說明會」。
11. 許盈松、童琮志、周湘俊、張國強，2006，「微波雷達流速儀觀測特性研究」，臺灣水利，第 54 卷，第 3 期，P. 82-91。
12. 陳豐文、林修德、江慶星、蔡西銘，2013，「中斷面法及平均斷面法應用於流量測定之比較」，102 年度農業工程研討會，高雄。
13. 陳豐文、林修德、陳麒升，2012，「雷達測速原理應用於河川表面流速觀測之適用性分析」，農業工程研討會論文集，臺中。
14. 農業工程研究中心，2023，「中和排水灌區引用鄰近潛在水源改善水量、水質調查評估工作」，農業工程研究中心研究報告。
15. 農業工程研究中心，2024，「113 年度本處灌區灌溉水質監測調查、潛在污染特性分析及改善對策評估」，農業工程研究中心研究報告。