

農田水利工程渠道預防滲漏施工作業思維

Thinking of Construction to Prevent Seepage in Agricultural Irrigation Channels

農業部	農業部	財團法人農業	財團法人農業	財團法人農業
農田水利署	農田水利署	工程研究中心	工程研究中心	工程研究中心
副工程司	副工程司	副研究員	助理研究員	副研究員
李濬和	陳彥儒	王泰盛	蔡祐竹	許香儀
Chun-Huo Lee	Yen-Ru Chen	Tai-Sheng Wang	Yu-Chu Tsai	Hsiang-Yi Hsu

摘要

目前農田水利之渠道(圳路)滲漏成因主要有混凝土澆置不實、施工接縫(如施工縫、伸縮縫等)或施工裂縫(如沉陷裂縫、乾縮裂縫等)之設置不當，而增加漏水風險，進而影響渠道功能與使用年限，故本研究目的係針對農田水利渠道工程中常見之滲漏問題進行探討與對策建言，著重於蒐集彙整國內外防滲作法，並分析差異與適用條件，提出渠道施工時之應用建議，期能精進施工作業思維，降低渠道工程完工後之滲漏風險。本研究將渠道防滲措施分為三大類型：一為強化基礎土層，即透過壓密或夯實作業，讓土層避免因結構乘載使土壤下陷，導致渠道形變產生裂縫而滲漏；二為添加防滲材料，即可搭配 HDPE 防水膜或防水塗料等，提高防水係數，達到有效阻水與補強功能；三為工程施工作為，即針對渠道界面處、接縫處或易產生裂縫處加強防護，可將接縫處如施工縫之防水處理或伸縮縫之加設止水帶等方式，提升整體結構完整性，且在介面處或轉角處則亦可設置止水帶或柔性填縫材料，避免結構弱面產生導致滲漏風險，以及混凝土澆置過程應符合施工規範，避免產生蜂窩現象與乾縮裂縫而造成滲漏。因此，農田水利渠道工程預防滲漏之施工作業思維，即於施工過程應依地質條件與功能需求進行工法或材料之配置，並落實施工品質管理與滲漏監測設施設置，以強化工程整體防滲能力之目標。

關鍵詞：滲漏、農田水利渠道工程、施工作業思維、防滲能力

ABSTRACT

Currently, the main causes of seepage in agricultural irrigation canals include improper concrete placement, inappropriate installation of construction joints (such as construction joints and expansion joints), or construction cracks (such as settlement cracks and shrinkage cracks), which increase the risk of water leakage and subsequently affect canal functionality and service life. Therefore, the purpose of this study is to investigate common seepage problems in agricultural irrigation canal engineering and provide countermeasure recommendations, focusing on collecting and compiling domestic and international anti-seepage practices, analyzing differences and applicable conditions, and proposing application suggestions for canal construction to improve construction operation thinking and reduce seepage risks after canal project completion. This study categorizes canal anti-seepage measures into three major types: First, strengthening the foundation soil layer through compaction or tamping operations to prevent soil subsidence due to structural loading, which could cause canal deformation and cracking leading to seepage. Second, adding anti-seepage materials, which can be combined with HDPE waterproof membranes or waterproof coatings to improve waterproof coefficients and achieve effective water blocking and reinforcement functions. Third, engineering construction practices, which involve strengthening protection at canal interfaces, joints, or areas prone to cracking. This can include waterproof treatment of joints such as construction joints or the installation of water stops at expansion joints to enhance overall structural integrity. At interfaces or corner areas, water stops or flexible joint sealants can also be installed to avoid structural weak points that could lead to seepage risks. Additionally, the concrete placement process should comply with construction specifications to avoid honeycomb phenomena and shrinkage cracks that cause seepage. Therefore, the construction operation thinking for preventing seepage in agricultural irrigation canal engineering involves configuring construction methods or materials according to geological conditions and functional requirements during the construction process, and implementing construction quality management and seepage monitoring facility installation to achieve the goal of

strengthening the overall anti-seepage capability of the project.

Keywords: Seepage, Agricultural Irrigation Channels, Thinking of Construction Operation, Anti-seepage Capability.

一、緒論

1.1 研究動機

水利工程用於控制和調配自然界之地表水和地下水，達到除害興利目的而修建之工程。「水」對於農業生產是極其重要的，而農田水利工程能夠蓄水、配水等達到供需調節作用，然而，水利工程之滲漏問題直接關係到工程施工品質，亦是水利工程之成敗所在，如何將防滲漏技術最佳應用到工程中是國內外技術研究人員一直在探討之問題，故本研究動機是針對農田水利渠道(圳路)工程之防滲問題進行思維研析探討。

1.2 渠道滲漏問題探討

渠道滲漏水情形是在侵入水源、侵入路徑及侵入動力三者同時存在才會發生。滲漏需要有侵入水源如雨水、地下水等外力無法阻止其水源產生外，而侵入路徑及侵入動力，卻往往由人為因素所產生，如混凝土澆灌時品質無法完美無缺而產生孔隙，裂縫及施工縫，殘留於混凝土上之金屬繫件、支架或緊結器等未清潔乾淨，管路配管處之預留孔，這些往往形成弱面，水就經由弱面滲漏出來(許長興，2018)，故常見滲漏成因如下：

(1) 結構滲水：

在結構滲水中涵蓋了大面積滲水與點滲水，所謂點滲水，即為由於結構局部蜂窩而造成的滲水，這種滲水對結構沒有多大的危害，解決方案也較為簡單，像在農田水利工程中，渠道由於混凝土澆置不實造成混凝土表面出現蜂窩，就會出現滲水現象，這就是點滲水；相較點滲水而言造成大面積滲水之原因相對複雜，主要會在結構之底板上出現，如混凝土攪拌不均勻，或混凝土配比不符合施工規範是造成很多大的工程中混凝土強度不夠之重要原因，農田水利渠道工程中也不例外，混凝土強度達不到工程要求之設定值是造成大面積滲水的重要原因之一。

(2) 施工裂縫：

施工裂縫和變形裂縫是農田水利工程施工中最常出現之兩種裂縫種類，前者施工裂縫常在施工建築面積較大之情況下產生，多單元不連續施工是其產生的原因；而造成後者變形縫之原因相對複雜，如止水帶未固定妥適或偏離中心、混凝土未密實等都能造成變形裂縫之產生。

另外，其他裂縫如收縮性裂縫是指混凝土因內部或外部因素導致體積收縮而產生的裂縫，主要包括塑性收縮裂縫（混凝土硬化前因表面失水過快）和乾縮裂縫（混凝土硬化後因內外水分蒸發不均）兩類，故這些裂縫會降低混凝土之抗滲能力與強度，並可能導致鋼筋腐蝕，縮短結構使用壽命。因此，應採取適當的混凝土配比、充分的濕潤與養護來預防。

二、 渠道防滲漏技術

目前常見國內外水利工程防滲漏技術主要分為防滲土層、防滲材料與防滲結構等三部分。其中，防滲土層包括夯實土層或壓實土層等；防滲材料包括塑膠薄膜、土工織布、黏土或混凝土等；防滲結構包括防滲牆或防滲管等。然而，用於渠道之說明如下：

1. 防滲土層：

- (1) 夯實土層：透過機械夯實使土層達到一定的密實度，提高其防滲性能。
- (2) 壓實土層：類似夯實土層，但使用壓實機具，使土層更密實。

2. 防滲材料（土工合成）：

- (1) 土工膜（塑膠薄膜）：聚乙烯 HDPE/LDPE 膜，鋪設於渠道內襯，達成高效防滲具有良好防水性能。
- (2) 混凝土：混凝土具有良好的硬度，防滲性能也比較好，可增強渠道底層抗滲能力。

3. 防滲結構：

- (1) 防滲混凝土：如渠道內襯，施作高密實度混凝土並強化養護，防止毛細滲漏。
- (2) 止水帶：鑲嵌於混凝土結構接縫處。

三、 工程設計與實務應用

農田水利工程若能在設計與施工階段充分掌握防滲漏要點，將能有效避免完工後的滲漏問題，並確保設施之功能與耐久性。首先，材料的選用應與地質條件及用途相互匹配，例如在地下水位高或地層鬆軟地區，宜加強防滲層的厚度與層次；而在渠道接縫與轉角等高風險區域，則須配置止水帶或柔性填縫材料，以減少弱點產生滲漏之可能性。施工過程中，無論是鋪設膜材、混凝土澆置或化學灌漿作業，皆需嚴格落實檢查抽驗、黏結試驗與壓力測試，以確保品質符合規範，有利於後續營運階段之追蹤與風險控管。

在實務應用上，針對重點渠道接縫、轉角處或其他結構弱點，更應加設止水帶並灌注柔性填縫材，以降低因局部應力集中所導致之滲漏風險。材料選用仍須依地質條件與工程需求進行綜合評估，例如在地層鬆軟地區，適合採用多層結構或具延展性的防滲材料，以兼顧耐久性與安全性，如表 1 與表 2 所示。

表 1 常見防滲漏技術優缺點

類別	技術名稱	說明	優點	缺點
天然材料法	黏土襯墊 (Clay Lining)	使用高塑性黏土鋪設於渠道或水庫底部與邊坡，形成低滲透層	材料取得容易，施工簡單	厚度控制不易，耐久性較差，易受乾縮開裂影響
人工合成材料法	HDPE 防水膜 (高密度聚乙烯膜)	鋪設合成高分子材料作為防滲層	滲透係數極低、耐化學性佳、施工快速	需搭配保護層避免破損，易受紫外線老化影響
	GCL (膨潤土複合防水毯)	將膨潤土夾在兩層織物中，形成防滲層	自我修復能力強，施工簡便	對覆土要求高，耐久性受限制
結構處理法	混凝土襯砌	使用現場澆置或預鑄混凝土做為防滲層	結構穩固、兼具護坡功能	需控制裂縫

表 2 各材料／工法成本綜述與特點

工法/材料	材料單價	施工複雜度	使用年限	維護頻率	備註
黏土襯墊	低	低	中	高	易乾縮龜裂，厚度不易控制
混凝土襯砌	中	高	高	中	成本高、易裂縫
HDPE 防水膜	高	中	高	低	滲透率極低、需防破損與老化
GCL 防水毯	中高	低	中高	低	自我修復，需良好覆土保護
化學灌漿	高	高	高	中	適合老舊設施補強

四、 國內外技術應用差異與趨勢

4.1 國內現況

國內農田水利工程的防滲漏技術仍以實用性與經濟性為主要考量，施工上普遍採用混凝土澆置與柔性填縫材作為主要防滲方式，這些施工方式因相較新式技術成本低且施工便利而廣受使用，但在長期耐久性與後續維護方面，仍存在一定限制條件。近年來，工程界已逐步導入膨潤土複合防水毯（GCL）等新材料，以提升結構使用年限與施工彈性，顯示逐步引進新式技術的趨勢。然而，實務應用仍以安全與成本為核心考量，現場仍多以混凝土澆置搭配柔性填縫材為主。施工品質管控方式則主要依賴施工現場檢查與現地材料抽驗。

4.2 國外先進國家（美國、日本、德國等）

相較於國內，國際先進國家在防滲漏技術上則展現出更多元與高效能的應用。美國、日本與德國等國普遍採用多層複合型防滲系統，將 HDPE 膜、GCL 與黏土結合使用，以確保防滲性能與結構穩定性，這些國家積極導入 BIM、GIS 與水文模擬技術，應用於設計、施工與後續監測中，使工程更具精準性與資訊化特徵，國外對於永續性與環境整合的重視程度更高，防滲設計常與生態工程相結合，例如透過人工濕地兼具蓄水與水質淨化功能，更重要的是，國外普遍實施生命週

期分析(LCA)，作為評估工程環境效益與使用年限的標準，以確保設施能在全生命週期內維持效能與環境友善性。

4.3 國內外技術應用差異與趨勢

國內與國外在防滲漏實務應用上的差異明顯，國內仍以安全與成本為首要考量，雖已逐步引入 GCL 與 HDPE 等新材料，但在資訊化、監測系統與永續思維上的推動仍有限，相對之下，國外已廣泛運用高效能複合型防滲系統，並結合資訊化、自動化與生態工程思維，不僅確保防滲功能，更兼顧環境永續與資源利用效率，在品質控管上，國內主要倚賴施工階段的檢查與抽驗，而國外則強調即時監測與長期生命週期分析，未來國內若能持續引進複合防滲材料，並借鏡國際在資訊化管理與永續設計上的經驗，將有助於提升農田水利工程在防滲漏上的韌性與整體效益。

五、 結論與建議

渠道防滲之傳統工法強調材料普及與施工簡便，適用於預算有限情況；而新式工法則導向高效能、低維護與可持續發展。然而，當前趨勢顯示，新式工法應會逐步取代傳統工法於關鍵渠道防滲環節中，但若在考量有限經費下，農田水利工程中仍可因地適宜之搭配使用，以確保成本與效益平衡。因此，建議小型渠道(如分線、小給等)工程或預算有限時，宜採黏土襯墊或混凝土襯砌，初期投入經費較低，但應預留維護成本。若主要灌溉渠道(幹線、支線等)則建議選用 GCL 或 HDPE 防水膜，可降低滲漏風險與後期維護。

此外，於實務應用上，本研究建議農田水利渠道於更新改善或新設時，除於設計階段應加入防滲工法考量外，亦於施工期間從檢視基礎土層進行地質改良或夯實壓密等防滲作為，至佈設渠道結構體添加防滲材料如採用 HDPE 防水膜或複合防滲層材料，提升防滲性能與降低維修頻率，再到混凝土澆置過程落實施工規範，亦或於混凝土表面塗上防水材料，提高防水係數，最後維護管理過程適時修補強化渠道防滲作業，使其增長使用年限。

綜整來說，農田水利渠道工程預防滲漏之施工作業思維，即於施工過程應依

地質條件與渠道功能需求進行其施工法或使用材料之配置，並落實施工品質管理，以及建議可納入滲漏監測設施設置，以強化工程整體防滲能力之目標。

六、參考文獻

1. American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards Products: D5887 / D5890 / D6102, <https://www.astm.org/standards-and-solutions/standards-publications#standard-products>.
2. Industrial Fabrics Association International (IFAI), Geosynthetics, Vol.37, No.6, 2020.
3. International Commission on Large Dams (ICOLD) Technical Reports, <https://www.icold-cigb.org/>, 2025.
4. Japan Geotechnical Society (JGS) Guidelines, <https://www.jiban.or.jp/e/>.
5. Robert M. Koerner, "Designing with Geosynthetics-6th Edition", 2012.
6. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), <https://www.usace.army.mil/>.
7. 中國建築工業出版社-土工合成材料工程手冊，2010。
8. 行政院公共工程委員會公共工程雲端服務網網站, <https://pcic.pcc.gov.tw/pwc-web/service/tec0304>.
9. 呼嘯，關於水利工程施工中防滲技術相關探討，水電科技，地 5 卷，第 2 期，2022。
10. 許長興，混凝土渠道裂縫修補工法之研究，國立中興大學土木工程學系，碩士論文，2018。
11. 郭鴻超，水利工程混凝土襯砌渠道防滲漏施工技術的探討，水電科技，第 7 卷，第 4 期，2024。
12. 湯湧，水利工程施工中渠道防滲技術分析，科技創新與應用，第 21 卷，第 12 期，2022。
13. 寧建軍，農田水利工程防滲技術及其要點的探析，水電水利，第 4 卷，第 7 期，2020。