

## 技術白皮書：PRAN vs. PRAH 的本質區別與 PENETRON 結晶技術優勢

### 一、前言與背景

在過去幾年中，美國混凝土學會(ACI)在其第 212.3R 章節中，正式將混凝土減滲外加劑(Permeability-Reducing Admixtures, 簡稱 PRAs) 依據其結構最終所處的服務環境與水壓條件，嚴格劃分為兩大類別：**PRAN** 與 **PRAH**。

這項分類釐清了過去市場上對於「防潮(Damp-proofing)」與「防水(Waterproofing)」長期存在的混淆。PENETRON(澎內傳)結晶型防水添加劑，已被廣泛公認為真正符合 ACI 標準的 **PRAH**(靜水壓條件下減滲外加劑) 級別產品。

### 二、PRAN 與 PRAH 的核心定義與材料架構

#### 1. PRAN (非靜水壓條件下減滲外加劑)

- 舊稱與定義：過往被稱為「防潮外加劑(Damp-proofing admixture)」。這類外加劑對於承受「有壓力」的水極為有限，完全不適用於長期暴露在靜水壓(如地下水、深層基坑、蓄水池)環境下的混凝土結構。
- 主要成分組成：
  - 疏水性或憎水性化學物質：如脂肪酸鹽類(硬脂酸鈣、硬脂酸鉍)、植物油、石油衍生物等。
  - 細微固體填料：如滑石粉、膨潤土、矽質粉、黏土或煤焦油瀝青。
  - 化學活性填料：如石灰、矽酸鹽或膠體矽。
- 作用機制：主要透過在混凝土毛細孔壁上形成一層撥水薄膜，減少無壓力狀態下的毛細吸水現象。

#### 2. PRAH (靜水壓條件下減滲外加劑)

- 定義：也就是真正的「防水外加劑(Waterproofing admixture)」。其化學結構在長期高水壓環境下必須具備高度穩定性，能有效抵抗靜水壓引起的滲透，適用於地基、水箱、擋土牆、隧道等地下防滲工程。
- 主要成分組成：部分特定的高分子聚合材料、膠體矽，以及最具代表性的「結晶型外加劑(Crystalline Admixtures)」。
- 作用機制：材料中的專利活性化學成分，在水和混凝土水泥水化副產物的催化下，會在毛細孔與微裂縫中永久生成不溶於水的針狀結晶，物理性地將孔隙徹底封堵。

### 三、關鍵測試方法的差異：吸水率測試 vs. 滲透性測試

白皮書指出，評估這兩類外加劑必須採用截然不同的測試標準，不可混為一談：

評估維度	吸水率測試 (Absorption Testing)(適用於 PRAN)	滲透性測試 (Permeability Testing)(適用於 PRAH)
測試對象	主要用於評估 PRAN(疏水性撥水劑)	專門用於評估 PRAH(結晶型防水劑)
施加壓力	無壓力(0 bar)。樣品通常經烘箱烘乾後，單純量測其毛細吸水率。	高靜水壓(例如 5 bar / 約50 公尺水柱)，並持續維持數天(如 3-35 天)。
測試侷限	無法反映材料在真實地下水壓下的抗滲能力。	能夠真實模擬深層地下室或水箱所承受的真实水頭壓力。
澎內傳觀點	疏水性毛細孔阻塞劑(PRAN)在吸水率測試中表現良好，但在滲透性測試(有壓水)下會徹底失效，因為其毛細孔本體並未被物理性填滿。	<b>PENETRON ADMIX</b> 在高壓滲透測試中表現優異，且測試週期越長(如重複循環測試)，結晶生長越緻密，抗滲效果越顯著。

### 四、PENETRON 結晶型 PRAH 技術的獨特優勢

根據 ACI 報告與 PENETRON 白皮書之分析，真正的結晶型 PRAH 相比於普通填料或疏水性 PRAN，具備以下決定性的技術優勢：

1. 永久性的催化反應  
PENETRON ADMIX 的活性化學成分在混凝土硬化後仍維持休眠狀態。只要未來結構內部再次出現微裂縫且有水分進入，化學反應就會重新激活，在毛細孔內生成新的矽酸鈣水合物(C-S-H)及結晶體。
2. 卓越的「裂縫自癒(Self-healing)」能力  
普通 PRAN 材料一旦混凝土開裂便失去防潮作用；而 PENETRON 結晶技術則能主動修補硬化混凝土隨時間產生的微小毛細裂縫(裂縫寬度通常可達 0.4 - 0.5 mm)，維持結構整體的「全壽命週期防水」。
3. 提高混凝土耐久性與鋼筋保護  
除了阻絕高壓水外，結晶體大幅降低了混凝土的有害孔隙率，進而阻止氯離子、硫酸鹽等化學有害物質的侵入，能大幅延緩內部鋼筋的鏽蝕速度，顯著提升結構的設計使用壽命。

## 五、全球典型工程應用實績(白皮書摘錄)

白皮書後半段列舉了 PENETRON 結晶型 PRAH 技術在全球對抗高靜水壓的成功案例：

- 多明尼加共和國·聖多明各·杜爾特走廊(1200公尺隧道工程)
  - 挑戰：隧道掘進需要立即進行噴射混凝土初支，且必須面臨極高的圍岩地下水滲透風險。
  - 應用：採用 45 噸 PENETRON ADMIX 結晶防水添加劑加入噴射混凝土中，成功全面降低襯砌毛細滲透性。
- 印度·欽奈國際機場擴建工程
  - 挑戰：機場鄰近孟加拉灣，地下水位波動極大(夏季 -10 公尺，季風期高達 -3 公尺)，深達 10 公尺的地下室基礎與擋土牆面臨強大的地下靜水壓。
  - 應用：基礎底板與高壓擋土牆全面使用 125 噸 PENETRON ADMIX 進行整體結構防水，完美抵抗高靜水壓。

## 六、結論

PENETRON 白皮書最終呼籲建築設計師與工程師：

在面對地下室、基礎、隧道、水箱及各類污水處理結構等存在地下水壓的工程時，切勿混淆 **PRAN**(防潮級) 與 **PRAH**(防水級)。只有選用如 PENETRON 這類具備持續結晶自癒能力的 **PRAH** 系統，才能真正實現與混凝土結構同壽命的本體防水。