

導電水凝膠：穿戴式裝置與醫療應用簡介

技術白皮書 | 版本 v.10062026-1

一、什麼是導電水凝膠

導電水凝膠（Conductive Hydrogel）是一種以親水性高分子三維網絡為骨架、含有大量水分，並同時具備電子或離子導電能力的非流動性軟性膠質材料。它兼具「像組織一樣柔軟、含水」與「可傳遞電訊號」及表面黏貼性之特性，因此特別適合作為人體與電子元件之間的介面材料，提供穩定的訊號與電流的導通與穩定性，相較於乾式電極，導電水凝膠具有更優良之電流與訊號穩定性與舒適性。與傳統片或捲狀水凝膠比較，採用 UV 光固化可大幅提高生產效率與設計彈性，並且可提高對電極的附著強度，不易使用後脫離電極。

二、為何受到穿戴與醫療領域重視

特性	對應價值
模量接近皮膚與軟組織（kPa 等級）	降低接觸性不匹配，提高貼附舒適度與長時間配戴性
高含水、可透氣設計	減少悶熱與皮膚刺激，適合連續監測
低皮膚－電極界面阻抗	提升訊號雜訊比，減少動作偽影
訊號反應速度與穩定前置時間	明顯高於乾式電極，縮短前置時間至貼覆後幾十秒內
可拉伸、可自癒、可黏附（可設計）	適應關節彎曲與動態使用情境
可承載藥物或活性成分	整合感測、刺激與治療功能

三、穿戴式裝置應用

3.1 生理電訊號電極

導電水凝膠是心電（ECG）、肌電（EMG）、腦波（EEG）、TTF(電場治療)等量測電極最常見的皮膚直接接觸層。相較於傳統濕式凝膠容易乾燥、殘膠，新一代配方著重於長效保濕、低溫抗凍、可重複貼附與低過敏性，使量測可延伸至數日甚至更長的居家監測。又可明顯改善乾式電極的訊號與放電的不穩定性所造成常有的皮膚刺痛問題，提高使用者的接受度。

3.2 應變與壓力感測

材料受拉伸或壓縮時，導電路徑或離子通道幾何改變，造成電阻或電容變化，可用於偵測關節活動、呼吸起伏、脈搏、吞嚥與表情動作。常見應用包含運動姿態分析、復健動作追蹤與智慧手套。

3.3 汗液與生化感測

水凝膠可作為汗液收集與傳輸層，並固定酵素或辨識分子，搭配電化學電極監測葡萄糖、乳酸、電解質、pH 等指標，適合運動科學與慢性病管理的非侵入式監測。

3.4 人機介面與軟性電子

- **觸控與手勢介面：**透明離子型水凝膠可製作可拉伸觸控面板。
 - **電子皮膚：**多點感測陣列結合溫度、壓力與濕度感測，用於義肢觸覺回饋與機器人。
 - **軟性能源元件：**作為可拉伸電池或超級電容器的凝膠電解質，提高穿戴裝置安全性。
- 3.1 傷口照護與電刺激癒合

具導電性的敷料可在保持濕潤癒合環境的同時，傳導外加或內生電場，促進細胞遷移與組織再生；若再結合溫度或 pH 感測，即可成為「智慧敷料」，即時反映感染或發炎跡象。

3.2 神經介面與電刺激

在經皮神經電刺激（TENS）、功能性電刺激（FES）及植入式神經電極中，導電水凝膠可作為電極表面塗層，降低阻抗與組織發炎反應，改善長期訊號品質。

3.3 心臟與組織工程

導電水凝膠可作為心肌貼片或細胞支架，協助電訊號在受損組織中傳遞，並提供三維培養環境，應用於心肌、神經與骨骼肌修復研究。

3.4 藥物釋放

藉由電場觸發網絡膨脹、收縮或電荷變化，可達到按需、可程控的藥物釋放，例如經皮給藥貼片與離子導入（Iontophoresis）系統。

3.5 醫療器材塗層

導管、電極導線與植入物表面可導入導電水凝膠塗層，兼顧潤滑性、抗沾黏與電性功能；搭配抗汗或抗菌設計，可進一步降低生物膜形成風險。

● 四、醫療相關應用應用情境案例（示意）

以下為依產業常見需求整理之通用情境案例，用以說明材料的應用範圍：

情境	痛點	導電水凝膠解決方案	預期效益
居家長時間心電監測貼片	傳統凝膠 24 小時內乾燥、皮膚紅癢	高保水離子型配方＋低致敏黏著層	延長配戴天數、降低訊號衰減
運動員肌電與姿態分析	劇烈動作與流汗造成偽影	可拉伸、耐汗、高黏附混合導電層	穩定訊號、即時運動回饋
慢性傷口智慧敷料	無法及早得知感染	導電敷料整合 pH／溫度感測	早期預警、減少換藥次數
復健電刺激電極	電極重複使用壽命短	可重複貼附、可清洗型凝膠	降低耗材成本、提升使用意願
神經電極表面改質	金屬電極與組織剛性不匹配	軟性導電水凝膠塗層	降低阻抗與發炎反應
兒童／高齡照護監測	皮膚脆弱、撕除疼痛	低剝離力、可溫和移除設計	提高舒適度與依從性
惡性腫瘤電場治療(TTF)	傳統乾性電極服貼性較差、電場不均勻影響治療效果、使用者皮膚容易有刺痛感	提高電場強度與均勻度，增加使用者的舒適度	提高治療效果使用者的接受度

五、開發關鍵指標

- **電性**：導電度、皮膚界面阻抗（常以 10 Hz–1 kHz 量測）、訊號穩定性。
- **機械**：拉伸率、模量、黏附強度與重複貼附次數。
- **環境穩定**：保水性、耐溫（低溫抗凍／高溫耐受）、耐汗與保存期限。
- **生物安全**：細胞毒性、皮膚刺激與致敏性等生物相容性評估。

六、未來趨勢

- **多功能整合**：感測、刺激、給藥與無線傳輸一體化的閉環系統。
- **長效乾式／半乾式化**：降低對水分的依賴，提高保存與使用壽命。

- **AI 數據應用**：穩定的高品質生理訊號，是 AI 健康分析與遠距醫療的基礎。
- **機械人機控制介面**：及時的人機間控制，大幅縮小回饋時間。

八、合作方式

我們可依客戶的應用情境與需求提供配方開發、樣品試製、性能測試與量產導入建議，包括客製化導電度、黏著性、與建議使用方式，歡迎來信討論您的需求。

瑞 化 股 份 有 限 公 司

POLYCHEM UV/EB INTERNATIONAL CORPORATION (Taiwan)

Tel :+886- (0)2- 2876-2561 Fax:+886- (0)2- 2874-2646 E-mail: polychem@ms4.hinet.net

Website: <http://polychem.tw/>