

PEM 電解製氫安全作為與 ISO 22734

2025 年 11 月 3 日

氫氣事故歷史統計

根據氫事故數據庫 (HIAD 2.0)，截至 2021 年，全球已記錄約 706 起氫事故。大約 10% 來自電解設施，90% 來自儲存、運輸和加氫等非電解裝置操作。在電解裝置中，大多數是鹼製氫；不到 5% 涉及 PEM 技術。由於薄膜、壓差和再生電的動態操作，PEM 電解裝置引入了明顯的危險。主要風險機制包括氫氧互滲、壓力不平衡、動態負載強度、滲透、電氣點火及維護過程的人為錯誤。

記錄在案的 PEM 電解裝置相關事故

年份	地點/來源	技術/規模	事故描述	根本原因	備註
~2010 年	大學實驗室 (義大利, ICHS 2011)	PEM 電堆測試 (1 – 5 kW)	膜穿孔導致內部 H ₂ /O ₂ 混合災難性故障。	熱點形成，電流密度大，供水不足。	研究規模但明確記錄的 PEM 膜完整性失敗。
2009 – 2023	H2-Mobile 報告 (2023 年)	PEM 系統 (各種工業產能)	分析確定了多種氫氣和氧氣釋放事故，以及跨 PEM 和鹼性系統的互滲混合場景。	膜損、交叉滲透、負載波動、壓差不平衡。	20 起氫氣洩漏、46 起 O ₂ 洩漏及 67 起 H ₂ /O ₂ 混合案例摘要。
2023	澳洲昆士蘭西北部化工廠	MW PEM 系統	在重新調試期間 (維護後) 釋放加壓氫氣。氫氣釋放導致爆炸和火災，造成三名工人受傷。	蝴蝶閥維修後故障；軸承襯套螺栓在大修過程未正確安裝。閥門故障致使氫氣進入非正常管道。	根據監管機構的通知，氫氣集管壓力約為 20 bar。
-	HySafe / ICHS 2013 彙編	PEM 原型及測試台	MEA 老化導致長期耐力運轉期間輕微洩漏氫氣。	機械應力、熱循環、熱點形成。	代表漸進式失效機制，而非災難性爆炸。

預防 PEM 相關事故取決於在設計、操作和維護等各個層面嵌入安全性，以便系統永遠不會達到氫氣和氧氣可以混合或點燃的條件。

在設計階段，電解裝置必須在膜的氫氣和氧氣側之間保持較小、受控壓差。如果壓差超過安全限值，則使取冗餘壓力感測器和自動關閉邏輯。電堆應採用堅固抗壓膜、高強度鈦或鎳合金接液部件，避免脆化以及可靠的密封材料（例如含氟聚合物）。均勻用水及散熱分佈對於防止局部熱點至關重要，而外殼內所有電氣元件都必須符合 ATEX/IECEx 2 區標準，以便消除點火源。

在操作過程中，持續監控提供了主要防禦。氫氣檢測器和氧氣純度分析儀必須始終運行，並連接到自動聯鎖裝置，如果純度或壓力條件超出規格，則自動聯鎖裝置會停止電解。氫氣和氧氣的獨立通風和通風煙囪可防止回流或回流。負載變化應逐漸增加以減少膜上的應力，緊急停止按鈕必須觸發立即減壓和氫氣吹掃。

鑫應材股份有限公司 · 竹北市 302 自強南路 8 號 5 樓之 10 · (03) 522-7900

ISO 22734:2019 水電解產氫—工業、商業和住宅應用

儘管 PEM 電解裝置顯示整體出色的安全記錄，但主要反覆出現的漏洞是由於膜老化或操作條件不均而導致氣體互滲。根據 ISO 22734 的要求，適當壓差控制、純度監測和自動關機聯鎖對於防止 PEM 電堆內發生點火或過壓事故至關重要。ISO 22734: 2019 建立了水電解產氫裝置的安全及設計要求。條文涵蓋密封性、差壓監測、釋放與排氣、電氣隔離與操作聯鎖，共同防止膜破裂、氣體互滲、過壓及點火。下表總結 ISO 22734:2019 水電解產氫主要認證階段。範圍涵蓋工業、商業及現場應用 PEM 系統。

階段	主要活動	主要交付項目	持續時間
1 申請和預評估	提交設計資料（P&IDs、GA 圖紙、電氣原理圖、BoM）和安全文件；由發證人進行初步審查。	預評估/差距報告。	2-4 週
2 設計審查	逐條評估 ISO 22734；驗證 HAZOP、分區 (IEC 60079)、聯鎖邏輯和安全概念。	設計審查報告、合規表。	4-8 週
（製造開始，樣機於型式測試前送抵測試場所）			
3 原型（型式）測試	見證洩漏、壓力、純度和功能安全測試；驗證警報、急停、排氣和氣體分離。	認證測試報告。	6-10 週
4 工廠品質審查	審核製造現場 ISO 9001 標準及追溯性。	稽核報告 + CAPA 清單。	2-3 週
5 糾正措施與結案	實施更正，必要時重新測試，最終確定證據。	結案的不合格記錄。	2-4 週
（修正與複測）			
6 認證頒發	公告機構最終檔案審查；頒發證書及測試摘要。	ISO 22734 證書+符合性聲明。	2-3 週

認證總持續時間（不含製造及修正時間）通常 6-8 個月。連同製造、測試、修正等過程，整體認證時間可能長達 16 個月。

ISO 22734 是水電解系統的國際保障框架，確保每台產氫機（從緊湊型 PEM 模組到兆瓦級工廠）都經過設計驗證，以防止洩漏、交叉混合及點火事件。該標準直接在設備生命週期的每個階段實施安全作為，將過去選用的預防措施轉變為強制性、可驗證的工程控制。

在設計階段，ISO 22734 要求密封結構和精確的氣體分離完整性。通過在氫氣和氧氣迴路之間實施壓差監測和純度控制，它可以防止煙囪內形成可引爆混合物。計算和測試洩壓和通風規定以安全排放多餘氣體，而電氣元件必須符合 IEC 60079 規定的防爆或本質安全分類。這些措施在系統建成之前消除了大多數氫氣積累和點火源。在製造和測試過程，該標準要求進行型式測試，涵蓋洩漏率驗證、純度測量、排氣能力和緊急停機驗證。這些測試確保真實產品在正常和異常條件下都完全按照設計運轉。工廠審核驗證材料追溯性、校正和品質系統是否符合 ISO 9001 原則，防止可能引入新危險的設計偏離或組裝不確實。

總而言之，該標準充當了分層防禦系統：找出潛在洩漏及點火源，立即偵測偏差值，藉由受控通風減輕後果，同時訓練操作員安全處理殘餘風險。如果實施得當，ISO 22734 將產氫機從高能設備轉變為可預測、持續監控的過程，從設計到日常操作大幅降低發生任何事故的可能性。

鑫應材股份有限公司 · 竹北市 302 自強南路 8 號 5 樓之 10 · (03) 522-7900