

裝備保存-封存方式之比較

鄭佳榮上尉

提要

現代科技日新月異，各式輕、重型機械部分因潮流趨勢驟變下，產生了暫時失去實用價值的狀況，為保存其機械的存在價值，各式不同的封存方式油然而生，例如：真空式、重油式與乾燥劑式等。

因於真空式封存過於昂貴、重油與乾燥劑等兩種方式皆不適宜輕、重型機械，為使各中小型企业亦可達到相當程度的封存效果，於是「VCI 氣化式」封存方式油然而生。

原「VCI」氣體是運用在氣體焊接，為使金屬免於高溫作用中發生氧化的狀況，運用大量的 VCI 氣體充斥在整個焊接空間當中，藉由其分子阻斷空氣中水分子與金屬接觸，促使氧化作用的發生。而後，有人將「VCI」氣體這種防氧化的特性加以運用，發展了各式 VCI 產品，藉以達到良好的防鏽功能，卻仍比真空式封存的方式便宜許多。本人秉持研究的精神，大部分著墨於「VCI 氣化式」封存的介紹，希望可以讓更多人了解「VCI 氣化式」封存的優異性。

壹、前言：

陸軍歷經精實案、精進案的冶煉，礙於人力不足，裝備暫時不適用等因素下，為了將這些現無使用空間的裝備妥善保存，達到「減輕人力負荷與裝備維修負擔」之目的，將部分現有之軍事裝備予以封存。現行的封存作法，除可透過完善的防護措施，確保裝備妥善之外，亦能夠在極短時間內完成裝備啟封後，立即投入戰備，強化部隊戰力，達到「平時做好裝備封存，減少保養負荷；戰時快速啟封，充足可用裝備」的目的。

陸軍在檢討兵力目標及戰演訓需求後，針對部分裝備採取適量封存之作為，不僅能蓄積戰力，建構足以支撐作戰需要之裝備能量，並可有效解決部隊在裝備、武器管理與補保人力負荷之問題外，更能夠節省相關作業維持費用支出。

武器、裝備獲得不易，在執行封存作業時，首應做好管理、檢查及督

導等事項，也應預先做好營舍電（線）路檢整，同時亦須完成消防、應變、巡察、督導及清點之規劃，並藉由經常演練與計畫修訂等作為，確保高價值軍品、隨車（裝）工具及重要軍械等，得以在良好的封存環境，與周延的防護下，確保裝備完善與安全。

「裝備封存應以能及時投入戰備為著眼」，對於裝備封存不論採取集中或以營為單位個別管理，都應以能及時完成戰備為著眼，適切律訂封存場地；其次，對封存裝備維修之預算需求，亦須詳實評估，納入計畫需求提出，以確保裝備可在啟封後立即投入作戰。

貳、本文：

一、現行封存的方式：

目前，現行的封存方式包括了「VCI 氣化式」、「真空式」、「重油式」以及「乾燥劑式」等四種，世界各國

對於軍事裝備的封存，大部分是採用「VCI 氣化式」封存，其原因不外乎是成本與解封所需的時間與人力。舉凡歐洲的英國、法國、德國等，亞洲的中共、新加坡，大部分皆是以「VCI 氣化式」的方式實施裝備封存。不但封存的時間短、符合經濟效益外，最重要的是，其解封的時間與後遺症是最小的。

世界軍事強國－美國，則是利用天時與地利之便，作法稍有不一樣。美國領土廣大，位於其亞歷桑納州的裝備維護中心，就存放將近 4200 台的各式戰機，在這邊存放的裝備，美軍大略區分為四類如下：

（一）妥善：隨時可以起飛，執行任務者；

（二）堪用：短時間修護後，可執行任務者；

（三）停用：各式機件可回收，供其他飛機使用者；

（四）廢品：損壞嚴重，將進行銷毀者；



圖 1：美軍戰機封存場¹

因為天候的關係，該地區長年乾燥無雨，就溫濕度影響程度，的確是個不可多得的天然封存場地，於是，

在經過初步的防鏽作業後，許多戰機便置放於此地，待命出售或執勤。最有名的，則是 2006 年出售巴基斯坦的 F16，以及台灣之前購買的 P-3C 反潛機與 E-2T 空中預警機皆是出產於此。



圖 2：美軍裝備維護中心／B-52 封存場²

二、VCI 氣化式封存（分子隔離）

（一）封存原理：

所謂「VCI 氣化式」封存（防鏽），乃利用各式 VCI 產品，如 VCI 包裝膜、VCI 包裝袋、VCI 軟管等，其自身會不斷地大量釋放的 VCI 分子，而其分子經釋放後，會尋求金屬材質物品附著，直至與空氣隔絕後，散布於空氣之中。一旦金屬材質物品被大量的 VCI 分子附著後，便無法與空氣中的水分子結合，形成所謂的鏽，因而達到防鏽的效果！

國軍現行的封存作法，也因應科技的進步，開始將各式裝備從「重油式」封存改為「VCI 氣化式」封存。鑑於此因，將特別著墨於此種封存方式的各項特點。

¹資料來源：www.google.com.tw/photo/index.htm

²資料來源：www.google.com.tw/photo/index.htm

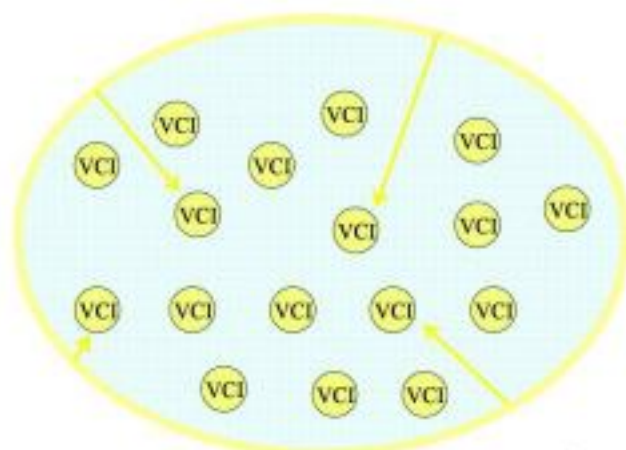


圖 3：VCI 膜會不斷地釋放 VCI 分子³

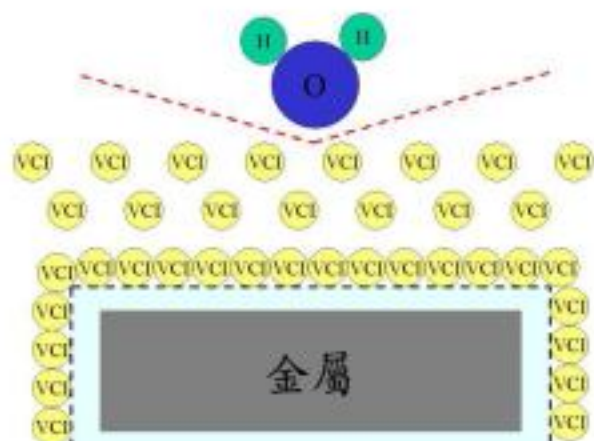


圖 4：VCI 分子會附著在金屬上，將水分子隔絕在外，無法與金屬形成氧化作用⁴

（二）經濟效益：

「VCI 氣化式」封存方式，是利用 VCI 分子將水分子隔絕，令水分子無法與金屬形成氧化作用，因此，整體的封存成敗在於兩個關鍵因素，其一為整體封存的狀況是否良好，封存外為是否破損，導致空氣可以不斷地由外往內流通，導致水分子的密度遠大於 VCI 分子的密度；其二，則為封存時 VCI 分子的濃度是否足夠，可有效附著於金屬外層，形成強大的保護膜。

倘若，一個裝備封存狀況良好，其內部的 VCI 分子密度有洽得其所，

其封存物品的保存年限大約可維持 2 至 5 年；相反地，如果封存物品的環境不佳，甚至其封存狀況，則封存物品可能維持不到 2 至 3 個月後，便會開始出現鏽蝕的狀況。

（三）封存程序：

以陸軍要封存 100 輛戰車

(M60A3 或 CM11) 而言，自籌備開始到完成封存的時間將近 2 個月。

要準備的東西其實並不多，但需花費部分的時間去訂製封存所需的帆布及 VCI 膜、VCI 袋等等。封存一台戰車，要準備數種 VCI 相關產物，用以封存戰車各式裝備，如：VCI 膜，將戰車內部的各式較精密的裝備包覆使用，如 TTS、彈道計算機等；VCI 袋，將戰車整體包覆的第一層內圈；VCI 防鏽油，以噴灑的方式，將戰車內、外部的金屬部分實施防鏽，主要是確保 VCI 分子可以初步的包覆住金屬部分的外圈；VCI 軟管，置放於戰車砲管內部，避免其內部金屬部分產生鏽蝕；VCI 顆粒，除了利用各式的 VCI 產品自身揮發的 VCI 分子外，更輔以 VCI 顆粒去加強 VCI 分子密度，以有效地隔絕水分子；帆布，覆蓋在整個封存物品最外圈，但帆布內襯仍縫有一片 VCI 防鏽膜。

準備所需的器材之後，依循著保養、除鏽、封裝等各步驟逐一完成封存，概略區分為九個步驟，詳述如后：

- (1) 戰車封存前，保管單位需先行完成一、二級保養，這個動作主要是讓需封存之裝備可以在封存前即處於良好的狀態。二級部份，除了各項保養用油需實施替

³ VCI 產品，會藉由產品外部不斷地散發 VCI 分子；作者自繪。

⁴ 散發出來的 VCI 分子，會附著在金屬外部，形成一道保護層；作者自繪。

換外，燃油部分需予以補充至全滿為止（如圖 5、6）。



圖 5：由單位保管人員完成裝備保養⁵



圖 6：針對各項元件加強保養與潤滑⁶

- (2) 由專業人員人員審慎評估後，於各式油箱內，置入可以確保延長油品保存期限的添加劑（如圖 7、8）。



圖 7：由單位保管人員完成裝備保養⁷



圖 8：專業人員評估現況、計算置入油箱所需之添加劑數量⁸

- (3) 將欲封存之戰車重新發動，這項動作是為了將剛置入的添加劑可以均勻地散佈在各個油箱及管路內。
- (4) 將欲封存之戰車移至適當的封存位置後，準備接續實施其他的封存步驟。
- (5) 由封存人員將精密之機件予以拆卸後，對每一個潤滑點重新潤滑，並對於鐵質部分實施防鏽；防鏽的方式可分為噴灑式以及塗抹式（如圖 9、10）。



圖 9：由封存公司針對每一個潤滑點逐一潤滑，圖為封存公司使用之電動黃油槍⁹

⁵資料來源：北測中心封存紀實，作者整理。

⁶如註 5。

⁷如註 5。

⁸如註 5。

⁹如註 5。



圖 10：以噴灑的方式實施防鏽¹⁰

- (6) 置入適當的 VCI 發射包以及脫氧劑，並對封存之戰車外孔部分實施封填(如圖 11，以 VCI 防鏽紙或防鏽膜包覆住)；在戰車砲管部分置入「VCI 防鏽軟管」，確保砲管內的 VCI 分子濃度可達到防鏽效果。



圖 11：封存人員置入 VCI 軟管於砲管內¹¹

- (7) 完成封裝後，在戰車外部披覆上帆布(如圖 12，內襯縫有 VCI 防鏽膜之帆布)，完成第二圈的防鏽層。
- (8) 對於拆卸下來之精密機件，完成初步的防鏽步驟後，以 VCI 防鏽紙(膜)包覆後，再以 VCI 防鏽袋包裝完成(如圖 13-15)。



圖 12：在封存的戰車最外圍覆蓋帆布，完成最外圍的封存¹²



圖 13：將拆卸下的雷射測距機噴上防鏽油¹³



圖 14：將完成防鏽的精密機件置入 VCI 袋¹⁴

¹⁰資料來源：北測中心封存紀實，作者整理。

¹¹同註 10。

¹²同註 10。

¹³同註 10。

¹⁴同註 10。





圖 20：VCI 防鏽袋

(2) VCI 防鏽軟管：

特性：長型的塑膠軟管，可用於管狀的金屬。

適用範圍：槍管、砲管及各類金屬管。

(3) VCI 防鏽油：

特性：油性之防鏽劑，可用於噴塗、刷塗於金屬表面上。

適用範圍：運輸工具的底盤，軸承的潤滑防鏽。

三、真空式封存（隔絕空氣）：

（一）封存原理：

真空式的封存原理，就是將封存空間內的空氣全數抽盡後，封存空間內無任何水分子，如此一來，鏽蝕的重要元素無法併存，則鏽蝕就無法產生。

真空式的封存，除了必須將所有的空氣隔絕在封存物品之外，首先，必須要克服的，就是封存的方式與物品。因為，一旦將空氣抽盡，要面臨的問題，就是空氣是不是真的都清空了呢？會不會有其他「縫隙」會使空氣進入了？如果有，那麼整個封存的過程都是無效地！關於整體真空包裝現行的價格是非常昂貴的，所以，大部分的國家、機械運輸多數仍以「VCI 氣化式」方式實施封存。

（二）經濟效益：

假使，整體封存狀況良好，封存包裝無任何破損，且內部所形成的真空狀態持續保持而言，「真空式」封存是四種封存方式中最為保險，效期最久的一種封存方式。只要真空的狀態不變，則封存效期可持續保持下去，無限期之問題，因此，「真空式」封存是四者中，效期最長的封存方式。

就整體封存而言，環境對封存效能有極大的影響，因此在包覆整體封存物品的過程中需極為用心。若以封存一台戰車而言，從準備封存至封存完畢計算，整體工時約為 2-3 日。

真空式封存裝備區分為兩部分，一為真空機，另一為鋁箔封膜；現代使用的真空機除食品包裝使用以外，要封存戰車這種大空間，單封口的封存裝備非常昂貴，也是真空封存貴的主因之一，然而，雖然價格與「VCI 氣化式」封存相較下相差不遠，效期也較久，然而，一旦無法有效保護封存裝備的保護層，形成縫隙，則整體的封存視同不存在。

影響真空封存的要素，只有溫度與光線兩種。溫度對於物品的熱脹冷縮有極大的影響，不論是真空封存的外體包裝或整體包裝，皆是以貼覆的方式緊貼於封存物品外觀。因此，一旦有熱脹冷縮的作用發生，對於封存狀況容易產生極大的影響。真空封存以鋁箔包裝的主因，則是為了阻絕光線進入，其主要功能則是為了避免封存物品變質等相關因素。

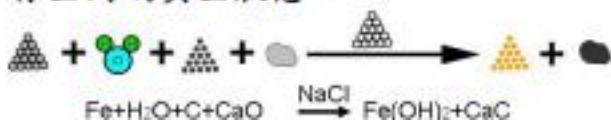
就解封時效，真空封存僅需差除包裝即完成解封，甚為快速，惟其成本鋁箔封膜，這種封膜與 VCI 防鏽膜比較，價差約 15 倍之多。也就是一台戰車以「真空式」實施封存，大約台幣 35-40 萬元。由於整體封存僅將空

氣抽盡，形成真空，因此無環境污染因素可言。

(三) 封存程序：

真空式封存，是利用空氣淨空，致使封存空間內無水分子可供封存物品產生氫氧化鐵水合物（鏽蝕）的封存方式，流程繁瑣的原因，是必須確保封存空間內，是與封存空間外完全隔絕，稍有縫隙，則整體的封存會失去效果。

因此，在封存物品包裝過程，是非常的繁瑣的。封存人員必須一點一滴的確保每一個角落封存狀況良好，提升整體封存效能，最後，在物品準備封存前，置入大量的「脫氧劑」，形成封存空間的真空狀態。



鐵粉+水氣+活性碳+沸石 $\xrightarrow{\text{NaCl}}$ 氫氧化鐵水合物+碳化鈣

圖 21：脫氧劑的化學變化圖²⁰

1. 首先，將戰車完成二級保養後，將戰車移置定位。圖於需確保封存環境良好，因此在最底部必須置放棧板或鐵架，以確保底部的封存狀況。
2. 區分為外體包裝與整體包裝，外體包裝則為依據戰車外觀以鋁箔封存膜包覆整體戰車；整體包裝則以制式的立方體包覆戰車整體。
3. 不論是採取外體包裝或是整體包裝，須置入大量的脫氧劑，以確保封存後內部是否能形成良好的真空環境。
4. 在包裝前後，皆須以真空機將內部空氣抽盡成為近真空狀態

²⁰ 脫氧劑化學流程圖，作者研究整理，自繪。

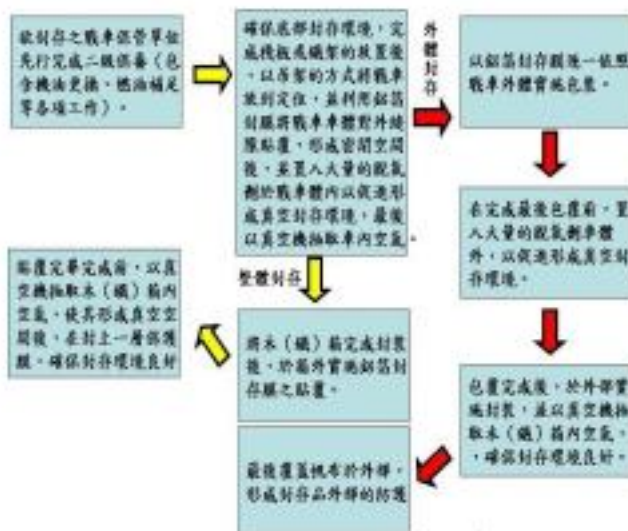


圖 22：真空封存流程圖²¹



圖 23：以鋁箔紙膜實施外體包裝²²



圖 24：外體包裝完成後再行裝箱，確保封存環境²³。

²¹ 真空封存程序流程圖，作者研究整理，自繪。

²² <http://www.newrich.com.tw/newrich-ven.htm>，新華富金業有限公司。

²³ 同註 22。



圖 25：真空整體包裝²⁴

（四）其他：

就國軍裝備而言，僅針對精密、小型裝備較為適合。例如：通信機、熱源成像儀、雷射測距機、各式槍械、夜視鏡等等。

四、重油式（塗抹，隔絕空氣）：

（一）封存原理：

重油式的封存方式非常簡單，就是以濃密的油脂隔絕空氣，使封存的金屬無法與空氣接觸，形成氧化作用；就目前國軍而言，關於解封的問題，僅針對槍械及零附件使用此封存方式。

（二）經濟效益：

將整個裝備泡在封存油內，其保存之效期非常長，約 15-20 年。槍枝封存皆以室內保存為主，其溫濕度對「重油式」封存影響不太。僅需準備除鏽油、封存油及木箱（容器），相當簡易。此封存方式只需大量的封存油提供封存使用，成本約為一支步槍 100 元。使用過後的油品，應遵照廢油品回收規定辦理，否則，廢油本身對於

環境的污染是非常強烈的。

（三）封存程序：

完成初步的一級保養後，將整支槍械直接浸泡於裝滿封存油的儲位，即完成封存，過程簡便。由於封存過程簡便，其工時約一箱槍械 4-6 支步槍約 1 小時。

將整個裝備至於油品之內，其解封的方式有兩種。一是以除鏽油洗淨後再以乾布擦拭完畢，實施徹底的一級保養；另一種則是以保養的方式全面擦拭。

因為長期的儲存於油品內，若以人空保養的方式，除需耗費大量的洗材，另須耗費大量的工時來實施解封。一把步槍的解封約 4-6 小時。

（四）其他：

由於，此種封存方式效果強，是以油脂覆蓋保存的，因此不適合精密的裝備，就國軍而言，僅適用於零附件以及各式槍械。

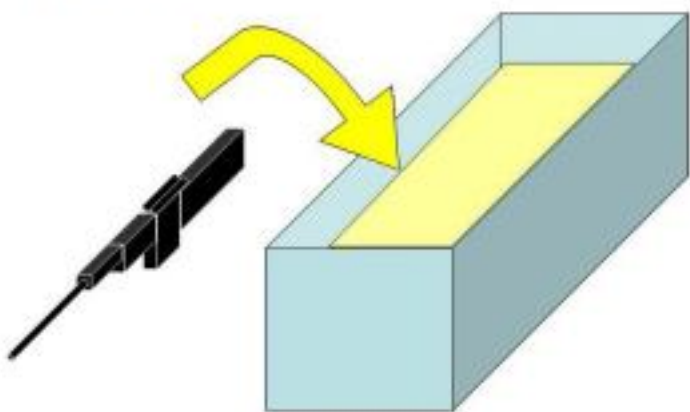


圖 26：將完成一級保養支槍支，進行置入裝滿封存油的容器²⁵。

五、乾燥劑式（降低溼度）：

（一）封存原理：

²⁴ <http://www.newrich.com.tw/newrich-ven.htm>，新華富企業有限公司。

²⁵ 重油式封存，將槍枝置入裝滿重油之封存桶內，作者研究整理，自繪。

所謂乾燥劑又稱吸水劑，也可叫吸濕劑；其中一種為生石灰，也就是一般工業上之氧化鈣；其吸水時期更可分為三個階段：前期吸水是利用 CaO 本身對於 H_2O 產生強力吸附聚合原理，大致可吸入總量 40%，而中期是利用 $\text{CaO}+\text{H}_2\text{O}$ 其 H^+ 離子聚合時未生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 前所需補充其 H^+ 離子之時，大致可吸入總量 25%，而後 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （消石灰）粉體本身可吸水 15% 量，以致於構成高吸水量之原因²⁶。

另一種為矽膠乾燥劑，係水玻璃與硫酸在常溫下之化合物。經乾燥後，以幾乎無水的透明狀態保存，為一般工業產品常用之乾燥劑。矽膠分子安定性好、吸水力強，防潮性佳且成中性，因此，可保護產品且不變質，適用於各式的防潮用品，用於封存軍事裝備的乾燥劑，就是矽膠型的乾燥劑。

一般而言，矽膠乾燥劑的封存方式，通常會配合 VCI 氣化式防鏽袋配合使用，除了可以有效地吸附水氣外，更能藉由 VCI 技術利用 VCI 分子隔絕氧分子與鐵分子結合。

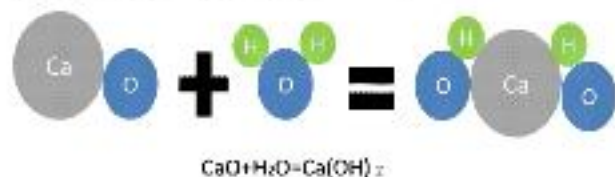


圖 27：生石灰（氧化鈣）與水結合後成為消石灰（氫氧化鈣）²⁷

（二）經濟效益：

由於，乾燥劑本身會因為吸附水分子而飽和的關係，會依防鏽物品的

大小及時間而補充乾燥劑，若以零附件包裝而言通常，每 3 個月至半年就要檢查一次乾燥劑的狀況²⁸。整體過程是非常簡短的，亦與「VCI 氣化式防鏽」方式有異曲同工之妙。

乾燥劑的封存方式只需將乾燥劑置入封存包裝內，不需要太多的工時去實施封存，也不需要任何大型機工具封存作業。

這種封存方式，是藉由乾燥劑吸附封存物品中的水分子，進而達到防鏽的目的。因此，封存環境的溫濕度影響此項封存方式甚巨，甚至，會因為外在的溫度導致乾燥劑吸附水分子的效率。所以，大部分利用乾燥劑防鏽的封存方式，且通常會在固定的管理倉儲內。

乾燥劑的封存方式，與上述三種封存方式比較之後，是最便宜的一種。不過，這種封存方式的效果與成本似乎也成反比！由於，乾燥劑本身即是常見的化合物，對環境影響程度相對非常之低，不太有環境污染的問題。

（三）封存程序：

倘若，決定使用乾燥劑作為封存方式，只需提供一個密閉的封存空間供乾燥劑作用使用；也就是說，除了庫儲位置外，另需以一個大型包裝媒介將封存物品與外界隔絕後，再將大量的乾燥劑置入其中，藉由前述的作用過程中，與封存物品周邊空氣中的水分子結合後，令其鐵質部分、易氧化部分失去水分子無法氧化，因而達到防鏽。

乾燥劑的封存方式，只需要封存

²⁶ <http://www.newrich.com.tw/newrich-ven.htm>·新華富企業有限公司

²⁷ 乾燥劑與水分子結合後成為消石灰，作者研究整理，自繪。

²⁸ 通常，若以乾燥劑包裝防鏽，都會另外置入「乾燥錠」或「乾燥片」，以掌握封存物品內的水氣狀況。

封存方式	VCI 氣化式 (分子隔離)	真空式 (隔絕空氣)	重油式 (塗抹式)	乾燥劑式 (降低濕度)
時效	短 2-5 (Years)	視封存狀況 而定	長 15-20 (Years)	短 3-6 (month)
封存過程	簡易	中	簡易	簡易
工時	短 一台戰車約 2-3 日	長 一台戰車約 2-3 日	短 一箱步槍 4-6 支 約 1 小時	短
封存裝備	VCI 防鏽袋 VCI 防鏽膜 VCI 防鏽軟管	鋁箔封膜 木(鐵)箱 帆布	除鏽油 封存油 木箱	乾燥劑 封存袋
溫(濕)度 影響	低 超過 80°C 將影響封存效果	低 對裝備影響不 大, 但對封存環 境影響甚鉅	高	極高 尤以溫度 影響甚鉅
解封 時間	快速 1.5-3 (hours)	快速 1-2 (hours)	極緩慢 4-6 (hours)	快速 0.5-1 (hour)
成本	低 一台戰車 24 萬元	高 一台戰車 最低約 35-40 萬 元	低 一把步槍 約 100 元	低 一包乾燥劑 100 包裝約台幣元
環境汙染	無	無	極大	無
軍事封存 適用範圍	飛機、船艦、各 型車輛、 輕、重兵器	各型車輛、 輕、重兵器、	手槍、步槍、機 槍	零附件、彈藥、 食品
總評	A	S	C	D
一、將四種封存方式的效果區分為 S、A、B、C，其中，以 S 為最優、A 為次之、C 為普通、D 為較劣 二、以上「VCI 氣化式」與「真空式」封存方式之比較，皆以 100 輛戰車封存為基準。 三、「乾燥劑式」封存方法以零附件、彈藥為主，在此不多做討論。				

附表 1：各種封存方式比較表²⁹

²⁹ 四種封存方式的比較表，作者研究整理，自繪。

袋與乾燥劑，所以解封方面只需要將封存袋打開，甚至將防鏽紙撕開後，即完成解封，於前述三種封存方式中，最為快速。

（四）其他：

因為這種封存的防鏽方式，是以降低封存物品內部的濕度為主，所以，大型物品的封存較不適合以乾燥劑式的方式；現行國軍的乾燥劑封存作法，大部分可見於零附件、彈藥以及食品為主。

參、結論：

「工欲善其事，必先利其器。」陸軍歷經「精實案」、「精進案」的淬煉，足足少了近三分之一的士官兵。若在業務未減、裝備未減的狀況下，現存的人力是不堪負荷於相對地裝備

保養。因此，為了達到人盡其才、物盡其用之目的，如何將滿足戰備任務以外的編餘裝備保存下來，是現代陸軍必須去面對的首要之務。

若要將裝備完整的保存下來，則有賴於先進的封存技術。現代科技日新月異，封存技術已經從乾燥劑、重油式、真空式演變為「VCI 氣化式」防鏽等方式。就經濟效益、解封速度、封存效期與適用範圍等多項考量因素等，「VCI 氣化式」封存具備非常重大的價值與意義。除了在乎時可方便保存、封存效果良好外，戰時更可應急解封，及時投入戰備任務等，實為保存戰力的最佳選擇。

沒有像美軍那樣雄厚的國家資源支持下，「VCI 氣化式」封存實可有效符合我軍國情，有效地將國軍戰力保存下來，直至可以使用它的時候為止。

作者簡介：

單位：裝訓部作發室

級職：上尉研究教官

姓名：鄭佳榮

學歷：陸軍官校 93 年班，裝甲兵正規班第 121 期

經歷：排長、副連長、研究教官