

黃油選用對挖土機挖臂軸承壽限之影響

作者／湯恩魁上尉

提要

- 一、我工兵部隊近期積極投入災害防救的任務，其中工兵所編制之挖土機更扮演著相當吃重的角色。
- 二、然黃油選用適當與否，直接影響保養維修人力、時間成本及機械損耗程度，甚至危及裝備妥善。
- 三、裝備妥善是遂行災害防救任務的關鍵，有效提昇補保作業效方能確保任務順利遂行。

關鍵詞：災害防救、挖土機、黃油

前言

近年來受溫室效應及人們對土地過度開發影響，瞬間的豪雨量及強大的地震，使人們無法承受大自然反撲後果，所造成的重大天災，總使百姓們流離失所、無家可歸，甚至失去寶貴生命。因此，「災害防救」的良窳，攸關全國人民之福祉。而我工兵部隊近期積極投入災害防救的任務，不管是水庫、河川疏濬作業，抑或是風災及震災的搶救任務，都可看到工兵部隊穿梭的身影，其中挖土機更扮演著相當吃重的角色，故確保其裝備妥善是遂行災害防救任務的關鍵。檢視任務執行過程中，挖土機挖臂軸承運作是個吃重的工作，但國軍規定裝備潤滑作業均採用通用規格黃油(GAA)¹，其挖臂軸承承受壓力及水解的能力均無法符合作業需求與適應施工作業場地的惡劣環境，而極易產生液化、水解的現象，終而降低在軸承內執行潤滑作業的效能，致使各軸承必須承受強大且反覆的負載及摩擦力，而為確實提供適切的潤滑保護，降低機件磨損及疲勞，以延長裝備壽限。鑑此，注重挖土機潤滑作業益顯重要，如何選用合適的黃油執行作業，成為相當重要的課題。本文將針對黃油的組成及其性能進行研析，評估其特性及適用範圍，對挖臂軸承進行各黃油規格成效分析檢討，以提供最為適用之黃油規格，有效維持機具零件壽限，確保裝備妥善，使部隊順利而有效的達成任務。

¹ 我國國軍使用之潤滑油脂均參照美軍規範(U.S. Military Specifications)油料規格與號碼用油，依據各裝備潤滑令之規定其黃油為 GAA(Grease, Automotive and Artillery)為車砲用黃油。

黃油簡介

一、黃油的定義

黃油，就是「潤滑脂」的俗稱²。依據美國國家潤滑脂協會³定義：黃油是將一種或多種稠化劑分散到一種或多種液體潤滑油中而形成的一種固體或半固體產物。若需改善某些特殊性能，則再加入一些其他成份（如添加劑或填料）。在石油商技⁴，及合成潤滑材料⁵的相關研究報告中，可知潤滑脂除具減摩作用外還提供其他相關作用：

（一）減磨作用：在金屬摩擦面間塗抹一層潤滑油脂膜，藉由流體潤滑改善乾燥摩擦作用，可有效防止金屬磨損。

（二）集中應力與分散作用：在乾燥狀態，通過軸所施加的應力會集中於軸承面中心線方向，藉由潤滑油膜，可增加受力面積，將集中應力分散至軸承各部，降低對機件損害的機率。

（三）密封作用：可提供足夠的黃油薄膜，避免外在介質進入，造成機械運作時產生磨損。

（四）防鏽作用：黃油具有良好的黏附特性，可在金屬表面保持足夠的黃油薄膜，隔絕水、空氣及腐蝕性物質，避免侵蝕金屬表面，因此具有良好的防鏽性能。

（五）防腐作用：係指防止金屬與環境物質接觸所造成化學或電化學的反應。黃油氧化後產生的游離酸或游離鹼會引起金屬構件的腐蝕。

（六）防水作用：係指黃油在溼潤環境中或水中不會被溶解、乳化、被水沖刷的能力，與水接觸不易改變其特性。因為黃油吸水後會造成稠化劑溶解而改變結構、降低滴點、引起腐蝕，降低防護作用。

（七）抗壓作用：黃油膜承受逕向及軸向載重的特性，稱為極壓性。稠化劑為增加極壓性的主要成分，亦可由添加劑提升其性能。

二、黃油的製程

（一）混合：將需要皂化成分充分於基礎油中混合。

（二）皂化：加入鹼金屬或鹼土金屬的氫氧化物水容易進行皂化。

（三）溶化：進行加熱，以加速皂化反應，並使水分蒸發。

（四）冷卻：用適當的冷卻方式使金屬皂基完成結晶，並加入添加劑。

² 石油情報出版社網站，<http://www.oil.net.tw/pip/lbg2006/chapter/>，99 年 8 月 25 日。

³ 美國國家潤滑脂協會網站，<http://www.nlgi.org/>，99 年 8 月 25 日。

⁴ 〈潤滑脂的性能（二）〉，《石油商技》，2004 年 4 月，第 22 卷第 2 期，48 頁：51 頁。

⁵ 〈潤滑脂的組成和性能評價〉，《合成潤滑材料》，2004 年 1 月，第 31 卷第 1 期，35 頁：41 頁。

- (五) 研磨：充分研磨，使其均勻分散，並調整黃油稠度。
- (六) 脫氣：將黃油內個空氣排出。
- (七) 過濾：過濾黃油內的雜質。
- (八) 成品：獎黃油裝罐，並檢查其品質。

三、黃油的分類

黃油主要係由基礎油、稠化劑及添加劑所組成，不同的組成成分易產生不同之黃油，以下將詳細分析：

(一) 基礎油：

黃油的基礎油可分為礦物油和合成油(如表 1 所示)。為了符合使用需求與經濟上的考量因素，基礎油的配比與成分亦不相同，黃油某些性能受基礎油的類型與黏性所影響與控制。提高黏度可降低蒸發作用所造成的損失，提升黏附性、防護性、抗水性、抑制噪音及減少分油現象。但增加黏度對黃油的低溫性能及集中潤滑系統產生不利的影響。此外，黃油的密封特性、結構穩定性、稠化能力、生產製程及原料成本產生很大的影響。

表 1 黃油基礎油之分類

基礎油類型	說明
礦物基礎油	常用基礎油可分為環烷基油、用石蠟基油及芳香基油。可與大多數的潤滑油材料相容，價格亦較低廉，低溫性能較差，高溫時容易老化、氧化及碳化，黏溫特性亦比合成基礎油差。
合成基礎油	合成油主要有聚 α -烯烴脂(PAO)、酯類油、聚烷二醇(PAG)、矽油、聚苯醚及全氟烷基聚醚(PEPE)等。合成基礎油比礦物基礎油有更良好的耐熱與耐氧化性能，更寬的使用溫度範圍及更好的低溫特性，惟所需成本較高，只有礦物基礎油無法滿足作業要求時，才使用合成基礎油。

資料來源：中國石油總公司潤滑分公司，〈黃油的基本知識(二)〉《合成潤滑材料》，第 22 卷第 3 期，1995 年 7 月，頁 32。

(二) 稠化劑：

依美國黃油學會(NLGI)定義，稠化劑是被均勻分散而形成黃油結構的固體顆粒，這些顆粒有纖維狀(如各種金屬皂)，也有扁平狀或球狀(如非皂化稠化劑)。稠化劑的主要功能是將基礎油膠凝到 NLGI 所需的稠度等級。稠化劑的稠化能力與工作性能主要決定於稠化劑的類型與用量。此外，稠化劑對脂的剪切能力、膠體穩定性、使用溫度上限、抗液體及蒸汽穿透力均有影響。

1.單皂基稠化劑：皂類是由羧酸(或羧酸甘油酯)與鹼金屬或鹼土金屬的氫氧化物

反應而製成，黃油以纖維結構存在。皂分子在基礎油中能借羧機端的離子力和烴基端的分子力(凡德瓦力)吸引聚集成皂纖維。皂纖維依分子力和離子力交錯形成網狀骨架，基礎油透過毛細管力固定於結構骨架空隙內，吸附於皂纖維表面膨脹在皂纖維內部，形成黃油。皂的陽離子決定皂基脂基本特性，控制稠化力、抗水性及滴點，可分為鋁皂、鋇皂、鈣皂、鈉皂和鋰皂，以及混合皂基脂，(如表 2 所示)。混合皂基脂含兩種以上陽離子單皂基脂混合脂，如鈉-鈣黃油、鋰-鈣黃油及鈉-鋰-鈣黃油等，其性能與各組成及配比有關。

表 2 單皂基稠化劑分類

單皂基類型	性能
鈉皂	主要運用在齒輪及高速軸承當中，潤滑及防護性能良好，價格經濟；惟抗水性較差，適用溫度較低，防腐蝕性能差。
鋰皂	用途廣泛，為使用比重最高之黃油，滴點較高，結構穩定性及剪切穩定性良好，抗水性佳；氧化安定性、防腐蝕性及極壓抗磨性再加入添加劑改善；惟不耐高溫及蒸汽，溫度超過一定極限會迅速軟化。
鋁皂	具有很好的稠化能力，具有良好的黏附性；為剪切穩定性差、適用溫度低，會逐漸被水解，具有顯著的解變性及膠凝現象。
鋇皂	抗水性、剪切穩定性及防腐蝕性能良好；惟生產不易、成本過高且鋇化合物具有相當毒性。
鈣皂	生產成本最低、抗水性能、黏附性能、低溫特性均良好，適用間度不高，高速抗磨軸承溫定性不足，防腐性能差。

資料來源：中國石油總公司潤滑分公司，〈黃油的基本知識(二)〉《合成潤滑材料》，第 22 卷第 3 期，1995 年 7 月，頁 38。

2.複合皂基稠化劑：在皂晶體或皂纖由兩種或多種化合物共同結晶而形成得，可改變單皂基黃油的特性參數。可分為複合鋁皂、複合鋇皂、複合鈣皂、複合鈉皂和複合鋰皂，如表 3 所示。

表 3 複合皂基稠化劑分類

複合皂基類型	性能
複合鈉皂	抗水性略有改善，惟無法抗蒸氣。
複合鋰皂	高溫性能大有改善，但加入添加劑會降低使用壽命。
複合鋁皂	有良好的機械穩定性、抗水性，但防護性能較差，與單皂基脂不相容。
複合鋇皂	有良好的抗水性、剪切穩定性及承載能力，為生產成本高，需要較大的皂使用量。
複合鈣皂	抗水性能及潤滑性能良好，價格便宜；惟在高溫的時候容易硬化，稠度可逆性差。

資料來源：中國石油總公司潤滑分公司，〈黃油的基本知識(二)〉《合成潤滑材料》，第 22 卷第 3 期，1995 年 7 月，頁 42。

3.無機稠化劑：可分為膨潤土及矽膠。無機稠化劑均沒有滴點，如表 4 所示。

表 4 無機稠化劑分類

無機稠化劑類型	性能
膨潤土	黏溫性能及抗水性能良好，使用溫度範圍廣；高速性能欠佳，軸承壽命較短，與其他稠化劑不易相容。
矽膠稠化劑	熱穩定性、化學性、黏溫性能及黏附性良好；惟對機械穩定性及高速性能較差，長期受熱將失去潤滑效果。

資料來源：中國石油總公司潤滑分公司，〈黃油的基本知識(三)〉《合成潤滑材料》，第 22 卷第 4 期，1995 年 10 月，頁 36。

4.有機稠化劑：通常把金屬皂基及固體烴以外的有稠化作用的有機物質稱為有機稠化劑。目前常用的有機稠化劑有聚尿脂、聚四氟乙烯(PTFE)和酰胺等，如表 5 所示。

表 5 有機稠化劑分類

有機稠化劑類型	性能
聚尿稠化劑	高溫作業穩定性能佳、抗氧化、機械性能佳；轉動力矩較高、抗水及蒸氣性能差，對軸承的防護性能較差。
酰胺稠化劑	稠化能力、機械穩定性、抗水性及高溫作業穩定性能佳；為生產過程較為複雜。
聚四氟乙烯稠化劑(PTFE)	高溫作業穩定性能佳、不易發生化學變化、潤滑性優良；惟分油量較大，且成本較高。

資料來源：中國石油總公司潤滑分公司，〈黃油的基本知識(三)〉《合成潤滑材料》，第 22 卷第 4 期，1995 年 10 月，頁 39。

（三）添加劑：

添加劑係指潤滑油脂中添加少許物質後可提升其特性及功能者。常用的添加劑有極壓劑、抗磨劑、抗腐蝕劑、抗氧化劑及黏附性改善劑等，如表 6 所示。

表 6 添加劑分類

添加劑類型	性能
極壓劑	避免金屬表面發生冷焊現象，主要添加劑有含硫、磷、氯之化合物，有時與石墨、二硫化鉬、硼酸鹽類複合使用。
抗磨劑	在降低金屬表面磨損現象，主要添加劑有機磷酸脂、二硫代磷酸鋅、石墨、二硫化鉬等。
抗腐蝕劑	避免金屬表面發生腐蝕現象，主要添加劑有含活性硫、磷或氯的有機化合物。
抗氧化劑	可減緩金屬氧化分解，主要添加劑有酚類、芳香胺類、氧化蠟類、石墨、二氧化鉬等。
黏附性改善劑	可改善黃油表面黏附性，主要添加劑有烯烴聚合物、膠乳等。

資料來源：中國石油總公司潤滑分公司，〈黃油的基本知識(三)〉《合成潤滑材料》，第 22 卷第 4 期，1995 年 10 月，頁 40。

挖土機潤滑保養勤務

預防保養工作，為整個保修制度之基礎，其影響甚大，收效也亦顯著。故預防保養工作必須藉由二級廠保養人員及一級裝備操作手或保管人，對所配發使用或保管之裝備，依規定經常持續不斷，徹底實施預防保養工作。而預防保養的真正考驗，是在執行作戰任務或平時演習訓練時，能保持裝備完整無缺，適時完成任務為首要。而其感覺、檢查、旋緊、調整、清潔、潤滑、防護及故障報告等 8 項工作要項中以潤滑勤務最為頻繁且重要。以下將以挖土機潤滑勤務為例實施說明：

依陸軍總部後勤司令部保修署於 88 年 3 月策頒 LO5-3810-C05-12 潤滑令，對各軸承所律定之時隔實施潤滑，如圖 1 所示，並在執行保養勤務是注意下列事項：

- （一）潤滑時隔乃基於正常作業而定，如遇不正常之作業及惡劣狀況時，應縮短期期限，以補償潤滑油脂損耗。
- （二）潤滑之前須清潔加油嘴。
- （三）沖洗或涉水之後應重新潤滑。
- （四）清洗零件應使用乾洗劑或柴油，並待其乾燥後再實施潤滑。
- （五）在泥濘環境作業時，每 50 小時即應潤滑各黃油嘴。

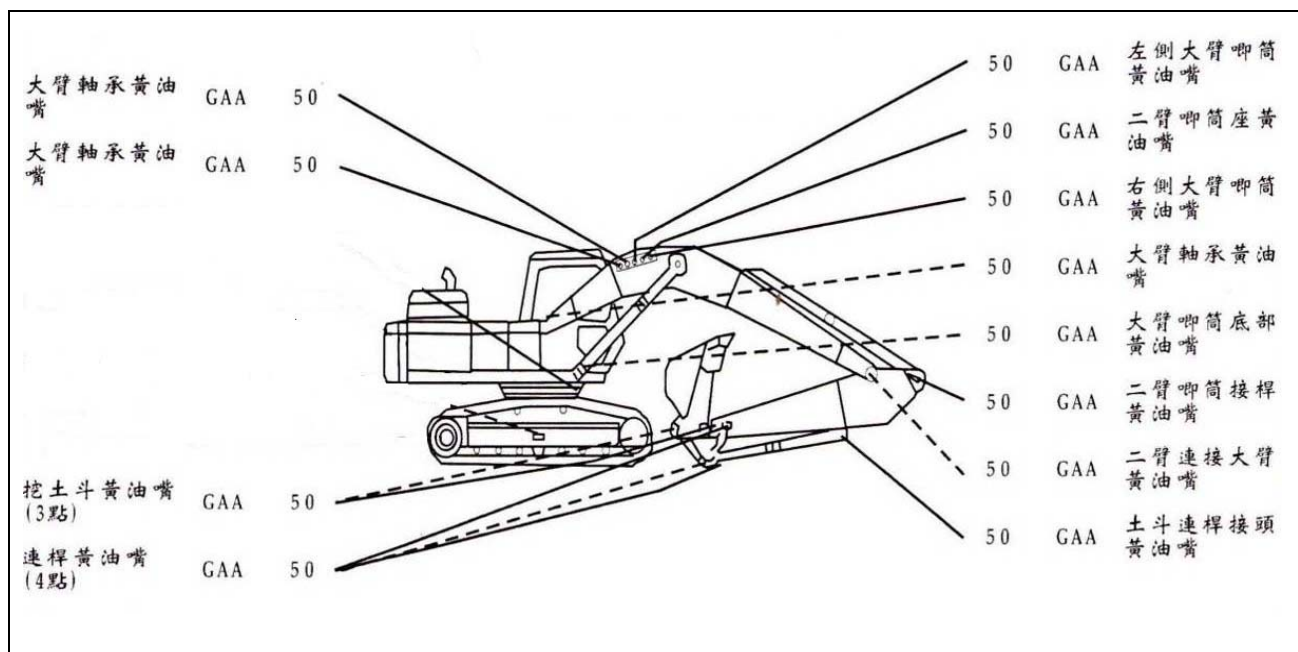


圖 1 挖土機臂軸承潤滑點

資料來源：陸軍總部後勤司令部，〈LO5-3810-C05-12 潤滑令〉，1999 年 3 月，頁 1。

現行作法

一、裝備使用現況

我工兵部隊近期投入災害防救的任務，不管是水庫、河川疏濬作業亦或是風災及震災的搶救任務，都可看到工兵部隊穿梭的身影，其中工兵重機械更扮演著相當吃重的角色，故確保其裝備妥善是遂行災害防救任務的關鍵。檢視任務執行過程中，工兵重機械各部軸承運作是最吃重的工作，以目前在曹公圳部隊所使用之挖土機臂軸承為例(如圖 2 所示)，依潤滑令內容規定，每 50 小時需使用通用規格黃油(GAA)⁶執行潤滑作業，但因作業環境為沙質地，且挖臂需於水中作業，雖潤滑油更換(加注)週期時數已縮短為每天乙次，以強化其潤滑效果，但事實上因黃油仍舊不斷流出，無法緊密依附在臂軸承上(如圖 3 所示)，最後還是造成臂軸承相當程度的磨損(如圖 4 所示)。

二、原因分析

分析軸承內黃油流失原因：可區分為化學、物理、雜質及環境等相關因素。

(一) 化學因素：機械作用磨擦部分受空氣及熱之影響，黃油中之基礎油及稠化劑被氧化，產生有機酸，造成皂纖維結構的破壞，於使用期間產生軟化流失現象。

(二) 物理因素：在機械作用磨擦部分受剪應力影響，破壞皂纖維結構，使黃油軟化流失。而且，黃油受到熱及離心力之影響，會產生分油現象，均會降低

⁶ 目前國軍所使用之通用規格黃油(GAA)乃由中油公司所提供之 2 號鋰基黃油。

黃油的使用壽命。

（三）雜質因素：機械作用時磨損產生的金屬粉末，極易加速氧化黃油產生有機酸，破壞纖維結構。

（四）環境因素：環境溼氣易使黃油乳化、水解及氧化；灰塵及外界雜質易加速磨損及氧化，真空環境會加速蒸發硬化，有害氣體易造成結構破壞及金屬腐蝕，溶劑造成之溶解及流失。

然這些因素通常並非是獨立作用，更多情況是彼此相互關聯影響所造成的，在黃油某一個環節失效產生突破口，就會從突破口進而產生連鎖反應，逐步使黃油損壞失效，例如某種高溫或化學穩定性不佳之黃油，可能經歷：軟化→流失→潤滑不良→溫度升高→加速氧化→硬化變質→失效之情況，抑或是：氧化→生成酸性物質→腐蝕軸承→結構破壞→流失→潤滑不良→溫度升高→氧化加劇→硬化變質→失效之情況。⁷

總之，黃油在使用期間造成失效的因素是多元複雜的，為了確保機械能夠維持正常工作性能，就必須針對機械工作環境進行黃油特性及合理分析。高溫、高壓、強剪作用



圖 2 國軍高屏溪曹公圳段疏濬紀實
資料來源：作者拍攝。



圖 3 鋰基黃油流失情形
資料來源：作者拍攝。



圖 4 斗鏟軸承磨損情形
資料來源：作者拍攝。

⁷ 中國石油總公司潤滑分公司，〈黃油的基本知識(三)〉《合成潤滑材料》，第 22 卷第 4 期，1995 年 10 月，頁 32-35。

二、黃油適用規格分析

市面上黃油品項繁多，性能各有所差異，選用適用的黃油才能有效保護機件，發揮最大的經濟效益。針對黃油的軸承、使用環境及運轉條件進行分析，如表 7 所示。其中以鈹基、鋰基及非皂基黃油較為適用，但鈹基黃油價格昂貴，非皂基黃油在高負荷及衝擊負荷條件下易於咬死，故選用鋰基黃油為工兵機械適用脂黃油。又針對黃油稠度方面考量，工兵重機械軸承環境為溫度 38℃ 以上，DN 值⁸7.5 萬以下，依表 8 所示其所適用之黃油級數為 2 號黃油。最後因為工兵重機械軸承幾乎都需要面對壓力及摩擦的問題，故黃油中需加入極壓抗磨之添加劑，而常使用的有石磨及二硫化鉬，其特性如表 9 所示。

表 7 黃油適用條件分析表

潤滑條件		皂基					非皂基	
		Ca	Na	Al	Ba	Li	無機	有機
軸承	滑動	○	○	○	○	○	○	○
	滾動	○	○	×	○	○	○	○
環境	水分接觸	○	×	○	○	○	○	○
	溫度	高	×	○	×	○	○	○
		低	×	×	×	○	○	○
運轉條件	轉速	高	×	○	×	○	○	○
		低	○	○	○	○	○	○
	負荷	高負荷	×	○	×	○	△	△
		衝擊負荷	×	○	×	○	△	△

註：○適用、△可用、×不可用

資料來源：中國石油總公司潤滑分公司，〈黃油的基本知識(四)〉《合成潤滑材料》，第 23 卷第 2 期，1996 年 4 月，頁 39。

表 8 軸承選用脂稠度參考表

溫度/℃	12	2號	3號	
	166		2號或3號	
	38	1號或2號		2號或3號
	-18	1號		2號
	-35			
		7.5萬	15萬	30萬
		DN值		

資料來源：中國石油總公司潤滑分公司，〈黃油的基本知識(五)〉《合成潤滑材料》，第 23 卷第 2 期，1996 年 4 月，頁 32。

⁸ DN 值=軸承內徑(mm)×轉速(r/min)，對大軸承(直徑>65mm)用 Dm×N 值(Dm=內外平均直徑)

表 9 極壓抗磨添加劑性能分析

性能分析	石 墨	二硫化鉬
分 解 溫 度 °F	6,330	2,010
抗壓強度, Psi	3.9×10^3	4.5×10^5
在空氣中最高適用溫度, °F	1,000	750
迅速氧化之溫度, °F	850	800
對金屬之附著力, mg	0.7	51
氧化後產物	CO, CO ₂	MoO ₃ , SO ₂
電阻性, ohm-cm	50.3×10^{-11}	不導電
顏 色	黑色	藍黑色

資料來源：黃海棟，《片狀奈米石墨和無機類富勒希二硫化鉬作為潤滑油添加劑的摩擦學性能》
（浙江：浙江大學碩士論文，2006 年 6 月），頁 52-67。

三、現地試驗

（一）試驗裝備與試驗方法：

本次試驗選用市面上二硫化鉬鋰基 2 號黃油、二硫化鉬石墨鋰基 2 號黃油作為實驗組，國軍現用的鋰基 2 號黃油做為對照組。配合高屏溪曹公圳疏濬作業，選用 3 台挖土機的挖土斗黃油嘴及連桿黃油嘴進行試驗，每 2 個小時觀測黃油流失情形，每 4 個小時補充黃油並量測其耗損量，對黃油品質進行分析。試驗過程黃油流失現況如圖 5 所示。

使用規格 現況		鋰基 2 號黃油	二硫化鋁鋰基 2 號黃油	二硫化鋁石墨鋰基 2 號黃油
加注黃油				
流失情形	2 小時後			
	4 小時後			
	6 小時後			
	8 小時後			
	10 小時後			
	12 小時後			

圖 5 挖土機臂軸承黃油試驗過程圖
資料來源：作者整理編製

（二）實驗成果：

在試驗過程中，因挖土斗黃油嘴常與砂石接觸，流失的黃油均被砂石帶走，無法觀察其差異性，故僅就連桿黃油嘴進行觀察。從試驗結果得知，前 4 小時三台挖土機的黃油同時損耗量均大，研判在初期仍有殘留部分舊有黃油，造成試驗誤差，爾後流失量相對減少，恢復作業穩定狀態。經試驗結果，鋰基 2 號黃油損耗量每小時 56 克，鋰基二硫化鉬 2 號黃油損耗量每小時 39 克，鋰基二硫化鉬石墨 2 號黃油每小時 36 克，如表 10 所示。

表 10 黃油試驗損耗情形

時間	鋰基 2 號黃油 損耗量(g)	二硫化鉬鋰基 2 號黃油 損耗量(g)	二硫化鉬石墨 鋰基 2 號黃油 損耗量(g)
0H-4H	240	170	150
4H-8H	230	160	160
8H-12H	200	140	130
平均損耗 (g/H)	56	39	36

資料來源：作者整理編製

（三）精進作法：

鋰基 2 號黃油每 4 小時損耗量與第一次灌注的 280 克相比，均超過其 70%，顯示已經喪失其潤滑功能，以致造成工兵機械損耗量大增，鋰基 2 號黃油為鋰基二硫化鉬 2 號黃油的 1.44 倍，且鋰基二硫化鉬脂耗損較少，在試驗過程中為了將原有的黃油擠出，因試驗所造成誤差的比例也較大，損耗比例應更大。另按中油牌價鋰基二硫化鉬 2 號黃油價格為鋰基 2 號黃油的 1.56 倍，所以添加二硫化鉬的黃油僅比現用黃油價格多 12%，可有效減少黃油的損耗量、軸承磨損量、人力及時間成本，節約公帑。

結 語

「工欲善其事，並先利其器」，選擇適用的黃油，可以有效減少黃油的使用量、機械損耗程度、保養維修人力及時間成本，多投資一些成本，可以減少更多浪費的經費。尤其我工兵部隊近期投入疏濬作業，均採用「裝備不停、人員輪休、假日不停工」模式，對工兵重機械造成相當大的負擔，若因潤滑不良造成裝備損壞，將使作業能量降低，嚴重影響到整體疏濬進度，是故選用具有極壓、耐磨及黏附性較佳的黃油，方能適應工兵機械脂作業環境。

參考資料

- 1.董浚修,《潤滑原理及潤滑油》(台北:中國石化出版社,1998年5月),頁173。
- 2.中國石油總公司潤滑分公司,〈黃油的基本知識(二)〉《合成潤滑材料》,第22卷第3期,1995年7月,頁31-43。
- 3.中國石油總公司潤滑分公司,〈黃油的基本知識(三)〉《合成潤滑材料》,第22卷第4期,1995年10月,頁33-40。
- 4.陸軍總部後勤司令部,〈LO5-3810-C05-12潤滑令〉,1999年3月,頁1。
- 5.黃海棟,《片狀奈米石墨和無機類富勒希二硫化鉬作為潤滑油添加劑的摩擦學性能》(浙江:浙江大學碩士論文,2006年6月),頁52-67。
- 6.中國石油總公司潤滑分公司,〈黃油的基本知識(五)〉《合成潤滑材料》,第23卷第2期,1996年4月,頁32-38。
- 7.中國石油總公司潤滑分公司,〈黃油的基本知識(四)〉《合成潤滑材料》,第23卷第2期,1996年4月,頁32-39。
- 8.胡性祿,〈黃油的性能〉《石油商技》(台北),第22卷第2期,中國石油和石化工程研討會,2004年4月,頁48-51。
- 9.白傳航,〈黃油的組成和性能評價〉《合成潤滑材料》(台北),第31卷第1期,中國石油總公司潤滑分公司,2004年1月,頁35-41。
- 10.謝風、鄭發正,〈黃油的量指標及使用意義〉《合成潤滑材料》(台北),第30卷第1期,中國石油總公司潤滑分公司,2003年1月,頁43-45。
- 11.張家靈、李生洲、黨鴻辛,〈黃油極壓抗磨添加劑的發展現況〉《固體潤滑》(台北),第11卷第4期,科學出版社,1991年10月,頁242-249。
- 12.謝風、劉熔、胡建強,〈黃油的安定性〉《合成潤滑材料》(台北),第33卷第3期,中國石油總公司潤滑分公司,2006年,頁33-37。

作者簡介

湯恩魁上尉,現為馬祖防衛指揮部工兵參謀官。

學歷:陸軍官校正74期、工校正規班156期、國立台灣大學土木工程學系學士。

經歷:排長、工兵參謀官。