

營兵舍節能照明方法與其效益之研究

作者／李忠發中校 陳威中上尉

提 要

- 一、面對能源短缺及劇烈氣候變遷，節能減碳已成為各國努力之目標，爰此，國軍致力配合政府推行相關節能政策，倡導官兵建立省水、省電等觀念，在用電方面以照明設備耗電量最大，若能降低其耗能，將對國軍於省電節能有很大助益，故就照明設備探討其節能方法，供全軍未來更換照明設備時之參考。
- 二、營兵舍燈具多半為 T8、T9 白熾燈管等傳統照明設備，與 T5 白熾燈管等節能照明設備相比使用壽命較短且較為耗能，以工兵學校為案例說明更換節能照明設備之效益。
- 三、提出改善照明設備之效率與降低耗能之各項作為，供國軍於未來各項相關節能減碳措施及後續相關人員未來研究方向之參考。

關鍵詞：節能減碳、節能設備、節能照明

前 言

面對能源短缺及劇烈氣候變遷，節能減碳已成為各國努力之目標，我國自 97 年開始實施節能減碳，希望於 104 年達到節約能源 7% 之目標，施行迄今，累計節約用電 3.17 億度、節約率 6.59%；節約用油 2,731 公秉汽油、節約率 2.53%，換算節約量合計相當於減少二氧化碳排放 20.4 萬公噸，約 547 座大安森林公園吸附量¹；國軍身為國家一份子，更是戮力實施相關作法及改善相關設備來完成節能減碳使命。

綜觀而言，一棟建物用電最頻繁、耗電量最大之設備即為照明設備，本研究將藉室內照明設施改善方法來評估節能之效益，針對國軍節能政策提供建議，使國軍在節能政策上更為精進。

節能減碳對環境之影響

一、節能減碳之意義

「節能」即節約能源，減少各項資源如水、電、瓦斯等石化原料及地球上其他礦物、動物、植物等資源之浪費。節能可以避免地球資源耗竭，讓地球上

¹ 工商時報 2011 年 9 月 26 日第 2 版。

之生命得以永續生存。

而「減碳」即節能所伴隨之效益，節能除了有上述效益以外，它同時可以減少「碳」（大部分是二氧化碳）之排放，因為碳是造成地球氣候暖化之元兇，當地球氣候暖化，伴隨而來為極端之氣候變化，如豪大雨、長期乾旱、不正常之低溫或高溫、春夏秋冬時序變亂等等²，減少碳之排放可以避免氣候劇烈變遷。

二、全球能源短缺及碳汙染現況

能源短缺是全球面臨的一個重要問題，如中國廣東由於用電需求增長迅速，電力供應的缺口已達到 300 萬千瓦。2007 年 8 月企業開始之「開四停三」，即一周開工四天休息三天之政策，2008 年已提前到春節過後就已實施。另在電、油價上漲之餘，迫使廣東境內小機組一般要在當年 5 月份起，才能正常運轉。

至於石油與天然氣等能源，預測未來也將出現匱乏之窘境，瑞典斯德哥爾摩國際和平研究所（SIPRI）表示，這種情況可能導致非洲、中東、中亞、南美洲及東南亞爆發衝突³，為了解決能源短缺之問題，各國也陸續開始積極處理尋求解決之途徑。例如阿根廷與巴西簽訂了協議，針對能源短缺，兩國將共同建設核反應堆，巴西將在冬季期間向阿根廷出口電力，以應付日趨匱乏之態勢。阿根廷與巴西目前各有兩處核電廠，為了避免車城核電廠輻射能外洩，導致生態破壞及環境污染之事件再度發生，兩國業已簽署《核不擴散條約》，在拓展可用能源外亦確保核輻射及廢料不至於污染週遭環境。BBC 美洲新聞主編布爾說，兩國領袖把這個核能項目視為既可增加能源供應，也可提升兩國國際地位的計劃。

當人類使用能源之同時亦會對環境造成污染，能源與汙染可謂為一體兩面，過度使用能源如火力發電所排放之二氧化碳，汽、機車排放的廢氣，煉焦過程等，致使溫度升高形成溫室效應，造成氣候異常；用電亦會造成碳污染，其中以車輛排出的廢氣與工業廢氣（如圖一），為主要的人為污染物⁴。

² <http://tw.myblog.yahoo.com/jw!zWLwmvqGEx8G05ChYjRwU0wE>

³ 台灣環境資訊協會-環境資訊中心-<http://e-info.org.tw/taxonomy/term/4710>

⁴ 雲林縣環境保護局全球資訊網-<http://www.ylepb.gov.tw/faq/index-1.asp?Parser=27,5,351,,,37,5,,,2>



圖一 工業廢氣碳污染

從另一角度言，碳污染所導致之溫室效應，除使得氣候異常，動、植物恐不適應劇烈變遷之環境而絕種，暖化嚴重甚至會造成人類無法生存；欲瞭解碳污染導致氣候變異之嚴重程度，可從冰層退化幅度查出端倪，一般認為氣候變遷之徵兆在北極比地球其他地區明顯，故北極海洋冰層被視為主要指標之一。

頂尖科學雜誌「自然」(Nature)上的一項研究表示，過去 50 年北極海冰層縮小幅度為 1500 年來之最，這項研究為過去 1500 年之北冰洋提供了最詳細的圖象，研究結論是目前冰層後退之情況，持續時間比以往任何一次縮小都來得長，最新研究報告又再次出現北極冰層縮小幅度愈來愈快，美國國家航空暨太空總署 (NASA) 旗下水衛星 (Aqua satellite) 上日本感測器所蒐集的資料，北極海的冰層創下面積最小的紀錄。美國「國家冰雪資料中心」(NSIDC) 用另一個衛星取得的資料，表示 2011 年北極海冰層覆蓋面積為歷年紀錄中第二小，僅次於 2007 年所創下之最小紀錄。加拿大研究報告顯示，這些冰層縮小的原因，一定跟溫室氣體有關，顯示出全球暖化程度已不容忽視。

全球暖化造成北極圈食物難覓，導致北極生物如北極熊，被迫改變飲食習慣，跑到草原覓食，吃鵝蛋，甚至有公熊攻擊體型較小之同類，北極熊「同類相殘」是氣候暖化所造成之悲劇，科學家估計，北極熊全球只剩下不到 2000 隻。若暖化速度沒有減緩，北極熊將面臨瀕臨絕種之危機。人類應該立刻改變生活習慣以減緩暖化，以避免北極熊因全球暖化造成生存之威脅。

除北極圈外，各地也出現氣候異常現象，氣象專家說，斯堪地那維亞半島北部今年秋天特別長，氣溫之高更是歷年罕見，根據瑞典氣象局的統計，十一月迄今的平均溫度比歷年平均溫度高出攝氏七度，導致動植物的適應也跟著異常，瑞典植物學家羅森柏表示，有些花，例如玫瑰，在一年內竟然二度開花。

而在芬蘭的拉普蘭，野兔、白鼬和雷鳥已經按照季節，將皮毛轉為白色，但卻遲未降雪，造成這些白色動物在滿地黃葉及苔蘚間亂竄之異常景象。

氣候異常也使得芬蘭索丹凱拉位在北極圈以北八十公里處，直到十一月七日才下第一場雪，創下百年來最晚下雪記錄，同樣的情形也出現在奧地利、挪威等國。這些氣候亂象顯現當能源在人類之過度侵犯及透支耗用下，除日漸枯竭外，更帶來了不良之副作用，而暖化後的環境異常又加強了人類及社會對能源的需求，如此能源短缺及氣候異常的螺旋式互動及發展，也形成人類社會進入廿一世紀首要衝突的重點，衝突的內容即是對越來越少的能源進行占有和對糧食及環境安全的需求。換言之，這場原本由人類與自然主、客關係權力競爭的衝突，已轉為由人類與人類間對資源的爭奪及對減碳責任的計較，並延伸到在政治、經濟乃至軍事上借題發揮的角力⁵。

為解決能源短缺以應付人類發展與生存所需之能源需求，未來除繼續開發可用替代能源如太陽能，風力、及水力發電外，亦應避免不必要之消耗，這樣不僅可舒緩能源消耗速度，亦可以減少能源使用過程中所生成之碳污染。

我國既行節能減碳政策

一、政府節能減碳之作法

因應節能減碳，我國於 97 年 6 月 5 日由行政院通過「永續能源政策綱領」(如圖二)，此政策綱領彙集能源、產業、運輸、環境、生活等五大構面之節能減碳具體措施，並輔以完善之法規基礎與相關配套機制⁶

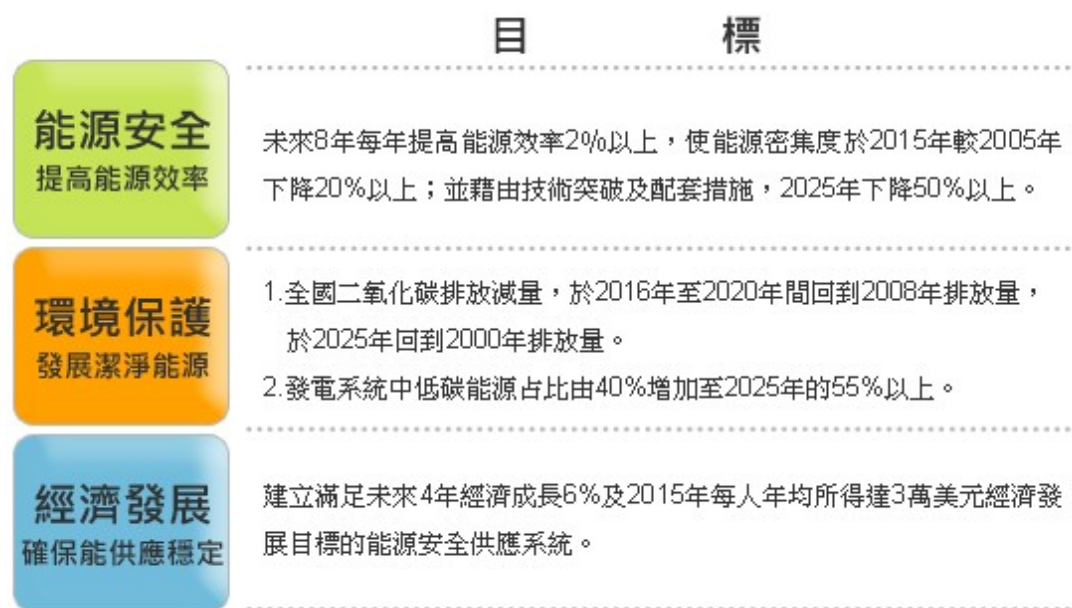


圖二 永續能源政策綱領

⁵ 中國時報尹德瀚／綜合報導-地球暖化 北歐冬天遲到 1 個月 <http://city.udn.com/52471/4750986>

⁶ 行政院網站-節能減碳施政績效 <http://www.ey.gov.tw/ct.asp?xItem=51802&ctNode=2313>

針對永續能源政策綱領，政府分別制訂出「能源安全」、「環境保護」「經濟發展」等三大目標，以提高使用能源效率，確保能源供應穩定並兼顧環境保護，發展潔淨能源為主旨(如圖三)，永續能源發展期能兼顧此三大目標，以滿足未來世代發展之需要。台灣自然資源不足，環境承載有限，永續能源政策可將有限資源作有效率之應用，開發對環境友善之潔淨能源，與確保持續穩定之能源供應，以創造跨世代能源，環保與經濟三贏之遠景。



圖三 永續能源政策綱領三大目標

另根據政策原則訂定出「高效率」、「高價值」、「低排放」及「低依賴」之二高二低能源消費型態與能源供應系統(如圖四)，開發對環境友善的潔淨能源，期能達成淨源節流的政策綱領。



圖四 能源消費型態與能源供應系統

二、國軍施行節能減碳之作為

對國軍來說，節能減碳總動員是刻不容緩。國防部不僅配合國家環保政策，提升環保意識，積極倡導「節能減碳無悔措施」觀念，藉頒布「國軍推動節能減碳綱要計畫」，策定相關重點與作法，亦推動官兵簽署「節能減碳宣言」，呼籲共同響應，建立國軍「環保尖兵」形象。

國防部為促進節能減碳，採取許多相關作法，如引進雲端運算技術，運用虛擬化技術減少電腦伺服器數量，以減少機房電力消耗，以電子公文取代紙本公文，以智慧卡取代傳統官章，以減少紙張使用，以及傳遞公文的人力，並整合虛擬會議室，透過虛擬會議室召開例行會議或演訓會議，節省出席會議人員往返車程和時間；還運用 Google Earth 圖資的優點，在軍網建立電子地圖，結合軍網即時通和空照圖，提升演訓、救災任務臨場感，未來各地軍用資訊機房也將實施共構，並導入虛擬化技術，整併到一部虛擬化伺服器，以節約空調電力。

在車輛方面，建立良好駕駛習慣，實行「黃金右腳專案」，不管在任何時間，均不重踩汽車腳底油門或機車把手油門，此外，開自排車起步時，先放腳剎車，待輪胎滾動後，再和緩加油門加速；騎機車起步時，不可一催油門到底，右手轉油門把手約一半，將引擎速拉到四千至五千轉，感覺車子已起動即可；另避免引擎怠速，如停車超過三分鐘時，即將引擎熄火，減少油耗及因引擎燃燒不完全所產生之空氣汙染。

最後並精進水電管制作為，採取建立「營區水電耗用常數」，並逐月檢討預算支用，如有較前月或歷年同期使用量異常增加情形，立即查明原因，並研採精進作法，印頒相關手冊，以建立官兵省水、省電正確觀念。

三、現階段國軍執行節能減碳之成效

因應國內、外環保議題逐漸抬頭，近年來國軍在不影響戰備訓練下，積極推動各項環保運動並獲得顯著成效，在年度油、電、水使用量上，國軍推動節能減碳綱要計畫，訂定 98 年至 104 年國軍戰訓用油累計節約 2.34%；行政用油及用電量累計節約 7% 為目標。迄今一至四月份燃油較年度核定計畫量節約 629 萬 4925 加侖；水、電用量則分別節約 44 萬 7640 度及 401 萬 170 度，皆達用量「負成長」目標。

同時國軍為配合行政院「8 年 6 萬公頃」造林政策，以吸收二氧化碳減少碳污染，亦主動檢討陸軍司令部等十三個單位營區造林面積，總計四百二十七餘公頃，提供政府造林使用，預劃於一百零一年至一百零一年完成造林及綠美化作業，以及建構雨水回收系統，完成「金六結、斗煥坪、關西、成功嶺南、成功嶺北、

官田、大內」等營區雨水回收池建置，每池滿水位可回收雨水達 125 公噸，供應單位如清潔、洗車、植栽等用水使用。有效運用水資源，使國軍成為推動綠色環保運動最佳模範單位。

上述國軍所施行節能減碳之政策中，節約用電不僅能將國軍有限預算做有效率之應用，亦可以減輕電力消耗所產生之碳污染，因此若能針對國軍用電分析其節約之方法與效益，對於國軍達成用油用電節約 7%之目標將有實質助益。爰此，對國軍營區各用電設備實施分析，以陸軍工兵學校為例，該單位平均一個月的用電量為 55 萬餘度，而全營區共有傳統 20W 燈具 20000 餘支，傳統 40W 燈具 3600 餘支，以一天使用 12 小時計算，一個月照明設備用電度數約為 20 萬度，占月平均度數三分之一以上，結果可發現耗電量最大宗為照明設備，故針對各式照明設備將研究其效能並探討其對節電減碳之助益。

各式照明燈具於節能之效益

為響應環保，市場上陸續推出以提倡省電節能為號招之燈具，針對國軍照明設備節能效益，在此比較節能燈具與國軍營兵舍所使用之傳統燈具之差異，傳統照明設備有 T8 及 T9 白熾燈管、白熱燈泡以及鹵素燈等、節能照明設備有 T5 白熾燈管、LED 及冷陰極管等、目前國軍舊有燈具幾乎以傳統白熾燈(T8)為主，而現在市場上節能燈具裡 LED 及 CCEL 在價格上均較白熾燈(T5)貴上 1-2 倍，故在此僅就白熾燈(T8)及白熾燈(T5)分析其效能差異(如表一)。

T5 白熾燈與 T8 白熾燈差異在於 T5 管內氣體使用固態汞，而 T8 則使用液態汞，另 T5 管內在磷的表面加上了一層薄膜以防止汞被磷吸收，故使用之汞較少，同時也避免了磷吸收汞之後降低發光效率，所以經長期使用後 T5 燈管較 T8 燈管光度較為穩定，在經過其使用壽命 40%後，光度僅有 5%的下跌；

表一中改善方案一為將 T8 燈管改為 T5 燈管，改善方案二為將 T5 燈管數量減少一支，並加裝反光片，可以看到 T5 燈管其功率(28W)較傳統型 T8 燈管低(40W)，且平均壽命也高了 2.5 倍，現場照度也較 T8 高，若假設每天點燈時數為 24hr，每天開工天數為 30 天，平均電價一度為 3 塊錢，則每年總電費傳統型 T8 燈管為 2460 元，改善方案一為 1476 元，改善方案二為 744 元，計算出來改善方案一節電率 40%，改善方案二節電率約為 70%，將傳統燈具更換為節能照明設備後，對於國軍節電將有很大的助益。

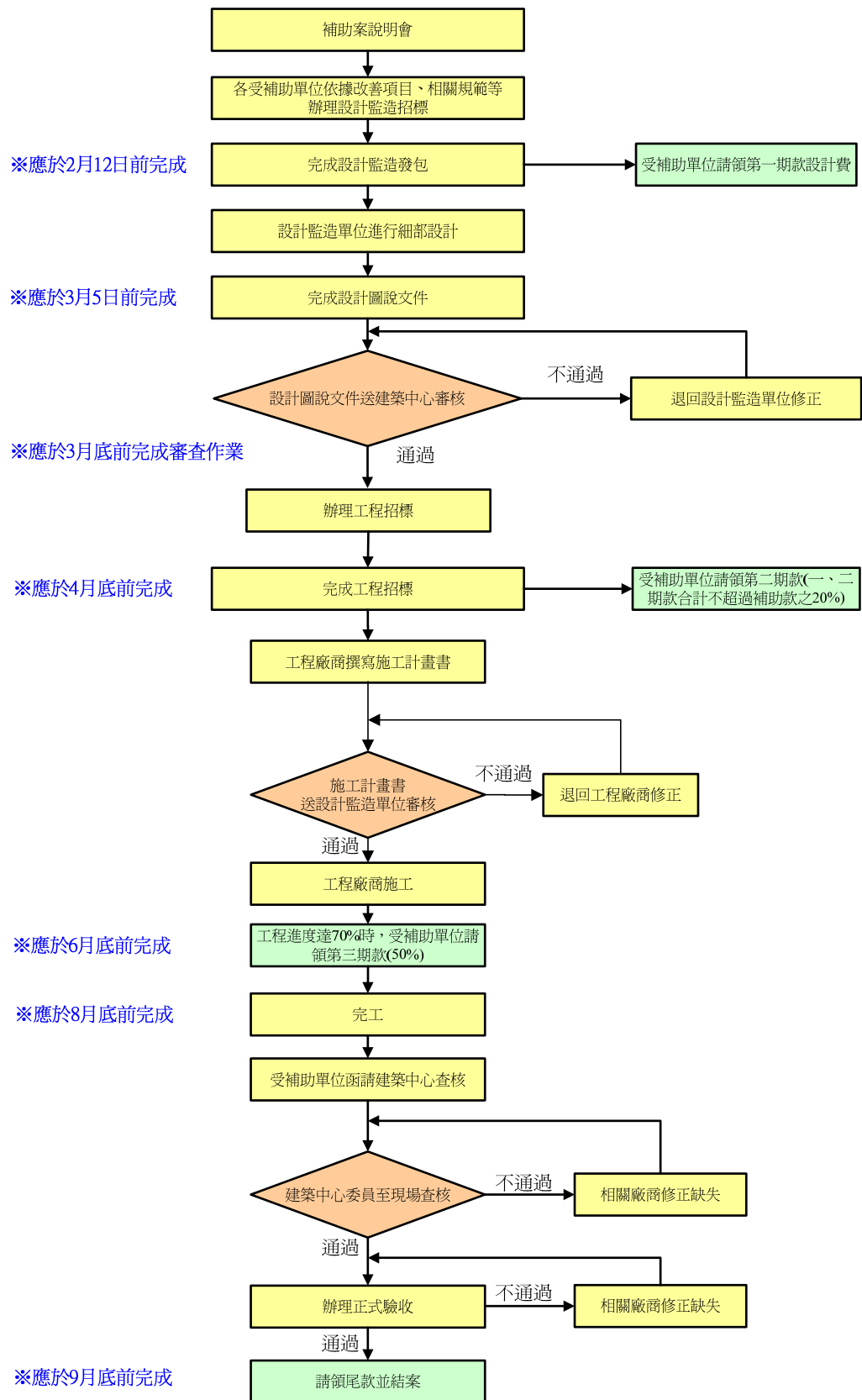
表一 傳統照明與節能照明效能差異

燈具型式			
	原來吸頂式燈具	改善方案一	改善方案二
	T8	T5	T5
燈管功率	40W	28W	28W
燈管數量/每盞燈具	2	2	1(有加反光片)
安定器	傳統式	電子式	電子式
平均壽命 (HR)	6,000	15,000以上	15,000以上
整組耗電(W)	95	57	29
現場照度(LUX ⁷)	700	800	750
點燈組數	1	1	1
每天點燈時數(hr)	24	24	24
每月開工天數(天)	30	30	30
平均電價 NT\$/度	3	3	3
每月總電費(元)	205	123	62
每年總電費(元)	2,460	1,476	744
節電率%	--	40%	69.76%

資料來源：曄肯照明有限公司網站

由前述比較，可得知節能燈具無論是在光源效率或是使用壽命均較傳統燈具來的好，而國軍業以逐年汰換各式高功率之燈具，將之更換為 T5 型燈管，以工兵學校為例，工兵學校在 99 年 7 月獲行政院內政部補助(如圖五)，將校區一般教室傳統 T8 白熾燈更換為節能 T5 白熾燈，共更換 1553 盞，更換後其每月耗用度數明顯降低，100 年 1-6 月較 99 年 1-6 月共節省 18300 元整(如表二)。

⁷ 照度(Illuminance)被照物面呈現的光亮度；單位：勒克斯(Lux)



圖五 計畫執行流程圖

表二 工兵學校耗電度數

資料來源：作者整理

	99年1月	99年2月	99年3月	99年4月	99年5月	99年6月	合計
	100年1月	100年2月	100年3月	100年4月	100年5月	100年6月	
T8 耗用度數	1800	2400	5700	4200	5400	6600	26100
T5 耗用度數	1200	2100	3600	4200	4200	4500	20000
差異值	-600	-300	-1900	0	-1200	-2100	-6100
節省電費(*30)	1800	900	5700	0	3600	6300	18300

國軍暢行節能照明效率之思維

配合執行用水用電量逐年減低 1% 的政策，國軍在各項生活及戰備上更是逐年提升各項節能標準，體現國軍貫徹執行命令之精神；其中照明佔建築設備耗能比例極大，國軍逐年汰換傳統型燈管，已經大幅降低國軍電力之消耗，除透過替換高效能之燈具，更進一步提出可有效降低照明耗能之各項作為，供國軍於未來各項相關節能減碳措施之參考。

一、提升既設照明設備之照明效率

定期清洗照明燈具，燈具至少每三個月定期清潔一次，以維持燈具輸出效率以及定期更換老舊燈管，白熾燈及日光燈管使用至其壽命的 80% 時，輸出光束約減為 85%，故宜在壽命結束前更換；天花板、牆壁選用淡色為宜，對於光的反射效果較佳，可提高光線漫射效果節省電能。

二、汰換低效率之光源與燈具

以白色日光燈管替代晝光色日光燈管：將晝光色燈管以白色燈管替代將可節省電力約 10%，以 40W 日光燈管替代二支 20W 燈管：以 40W 一支替代二支 20W 燈管可節省電能 31%，以鈉氣燈替代水銀燈：以鈉氣燈替代水銀燈，除演色性提高外，效率亦大大地提高，可節省電能 50% 以上，汰換傳統安定器以電子式安定器替代：選購燈具時，應優先選擇具電子式安定器之高品質燈具。

三、採取有效照明方式

全面照明與局部照明相互配合，對於需較高照度的視覺活動時，一般只需利用閱讀燈、檯燈等作為局部照明，提供所需照度即可，適當的照度，各種場所

均有其適當的照度，過與不及均屬不當，照度過高浪費電力，照度過低有礙視力健康，影響工作效率。

四、利用自然光源

台灣地區日照充足，如果能有效利用晝光，將可節省大量照明用電，對於建築物採光可採用清玻璃為窗戶材料，可獲得較充足的自然光源，運用高窗設計可提供較深且均勻的晝光，採用導光版、導光筒等輔助晝光，可達成節能效果，室內牆壁窗簾等採用淡色，可提高屋內光線漫射效果，節省電能，保持窗玻璃之乾淨，可提高採光效果，運用配電及控制系統的省能方法，採用合適的電壓可降低配電線路電壓降，減少電能的浪費，亦可維持燈具輸出品質，採用合理的燈具及開關迴路配置，不合理的燈具與迴路配置將造成電能浪費，避免將靠窗區燈具與非靠窗區燈具連成同一開關迴路，若於白天晝光充足時欲關閉靠窗區燈具時，將造成非靠窗區照度的不足；照明系統採用自動控制方式，可消除人為的疏忽所造成的能源損耗，裝設調光開關並採用可調光燈具，照明設備具有調光功能不僅可節省電力，亦可因光源輸出的改變，變化室內的氣氛。

結論與建議

從各種角度來檢視照明與節能減碳的關係，可以發現影響照明品質與效率的因素，不只限於設施本身的功率高低，更可透過各種建築設計的手法與環控設施的管理，來提升照明的「質」與「量」，在此提出以下兩點，供後續相關人員未來研究方向之參考。

第一步為整合建築專業設計手法提升照明的質與量，「照明」是配合空間使用目的來進行一種設計行為，因此應在人員視力需求的照度之下，合理設計照明器具的質與量，才能確保人員的視力健康，更可提升任務執行時的效率。目前營舍整修仍多僅著重於燈具的更新，甚少考量整體照明環境的改善，因此建議未來相關整修需求計畫階段即應將此項納入考量，並請建築專業人員提供協助；或建議於相關技術服務廠商評選時將此項納入評分標準之一。併於同時強化國軍專才之訓練與後續研究之進行亦是重要工作項目。

第二步強化替代性能源及資源再利用的作為，「開源」與「節流」為平衡開銷的重要觀念，如國軍採用太陽能路燈及雨水回收等作為，其雖已達到某種成效，但從落實平常任務執行與生活使用中，依觀察仍有加強的空間，如採重點空間單一耗能項目的能源替代與管制，列如廚房熱水及烹煮均可透過太陽能熱水設施，藉太陽能初步提升水溫來達到減少加熱的能源使用；以及利用偏僻

營區風力、水力來發電的設施。另外，雨水回收部分應可再加強提升使用的比率，確實落實資源再利用。

作者簡介

李忠發中校，中正理工學院 87 年班、工校正規班 89 年班、國防大學陸軍指揮參謀學院 97 年班；曾任排長、副連長、連長、工兵官、工兵參謀官、營長，現任職於陸軍工兵學校總隊部學生大隊大隊長。

陳威中上尉，中正理工學院 92 年班、工校正規班 101 年班；曾任排長、工程官、連長、水電官，現任職於陸軍金門防衛指揮部排雷大隊後勤官。