

室內運動場館綠建築設計議題淺析

簡全亮 / 國立體育大學體育研究所

郭芝攸 / 臺灣體育運動管理學會

摘 要

在支持環境保護的前提下，本文簡述教育與休閒等級之室內運動場館於自然採光、室內裝修、室溫調節、室內空氣品質以及熱源需求等設計議題上的特殊性。建築物綠建築標章核心精神為「生態、節能、減廢、健康」，包含有九大評估指標系統，設計運用工法豐富多樣。參與運動場館規劃及設計單位與人員應當優先考量場館之功能性與安全性，充分理解運動環境之特殊性，設定合宜的等級目標，方能契合我國推動綠建築真正的意義與價值。

關鍵詞：綠建材、綠建築標章、游泳池

近年來氣候變遷速度加劇，我國各類型運動場館也興起環境保護之潮流，冀望透過融入永續建築之概念與手法，能夠減少環境的破壞與資源的浪費（郭哲君、林秉毅，2009），在政策的引導下，新建工程造價 5,000 萬元以上之公共場館，建物完工後獲得綠建築標章，做為規劃與設計需求之目標（內政部建築研究所，2015）。

依我國綠建築評估系統 (EEWH) 因運動場館非屬於住宿、廠房或社區，而適用「基本型」類別。其標章制度等級自合格級、銅級、銀級、黃金級、鑽石級等區分為五等級，分級評估界線係依得分概率（標準差分佈）而定；換言之，指標總分得分難度依級遞增，設計目標由銅級提升至銀級，得分難度將自 30% 提高至 60%（內政部建築研究所，2015）。

必需注意的是，在支持環境保護的前提下，規劃與設計運動場館仍有其必要優先考量其運動空間之功能性與安全性。本文簡述教育與休閒等級之室內運動場館於自然採光、室內裝修、室溫調節、室內空氣品質以及熱源需求等設計議題上的特殊性。冀望各級政府機關學校與規劃設計單位，設定合宜綠建築標章目標，不致於一味追逐政策性指標標竿。

壹、自然採光

運動場館設計利用開窗引進陽光和通風之手法，以減少人工照明、降低空調冷卻和機械通風系統之負荷、兼顧室內溫度調節能力，但應注意避免造成使用者眩光 (Eclipse research consultants, 2007)。

運動場館開窗引進陽光，對如體適能中心、舞蹈教室等之高密度使用的運動空間而言，可增加其視覺穿透性，並減少空間壓迫感，但對於其他具運動方向性之空間採光及照明佈置，特別是在處理眩光 (glare) 現象的課題上，卻帶來更大的難題。運動場館照明設計必須考慮空間高度、主要運動方向、目標物速度... 等等其他因素，因為運動行為不僅只是侷限於在地面上的活動，亦須考量運動目

標物（如球框、球具、標靶... ..等等）處在一定的空間高度中之辨識需求，故對於水平照度、垂直照度、均齊度、眩光值和演色性等物理特性，有著比一般照明更高程度的需求（李炳華、董青編，2009）。

眩光被定義為「因光雜訊所引發對觀察目標物的視覺干擾，引起眩光的光雜訊包括有一定強度以上射入眼睛環境的光和燈具的光」。光雜訊造成辨識視覺目標物之影像對比降低，產生觀察者的不適感，嚴重地話更可能引起視覺辨識上的降低或失能（孫慶成、陳志宏，2011）。而眩光的發生機制實為角膜、水晶體和眼球內介質對光出現散射現象，使得視網膜的中央窩受入射光干擾造成明晰度的降低（江重致、邱顯閔、陳怡君、孫慶成，2010）。

國際照明委員會（The International Commission on Illumination, CIE）所發布之眩光指數（UGR）之計算方式，雖然也考慮有背景亮度、觀察者眼睛上方的亮度、燈具發光單元與觀察者眼睛的夾角，以及燈具的距離等因素（The illuminating engineering society of North America, 2015），但實務上運用在運動場館設計時，因運動員、觀眾、攝影機和賽會行政人員等所處位置各異，觀察視角也截然不同，加上太陽仰角隨著時間不停地改變，因此體育場館照明設計從未能有效將自然光局部引入運動場地產生之影響，有效地進行評估。

太陽光照射地表能量巨大，暫無一個統一數值可以精準表示，不過依國際電工委員會（International Electrotechnical Commission, IEC）所公佈之太陽光模擬器標準 CEI / IEC 60904 顯示，模擬太陽輻射照度時需達 $1,000 \text{ W/m}^2$ （施仁親、陳震偉、吳登峻，2011），約當照度 $1.2658 \times 10^5 \text{ lux}$ ，相較於教育與休閒等級室內運動場館平均照度需求數百 lux 的照明需求而言（劉田修、周宇輝、康正男、簡全亮，2017），一旦自然光直接投射至球場範圍內，必然無法透過人工照明之補強，來解決球場照明均齊度之問題，因此開窗採光需有配套解決方案，避免陽光直射或反射進入運動場地。

此外，運動場地劃線區域之外圍為安全緩衝區域，該淨空距離係為提供運動員跑出邊線後之安全緩衝或於邊線外重新發球之用。質量較大的球類（如：籃球、排球、室內足球...等）出界後，其動能在穿越安全緩衝區域後，仍對玻璃、輕隔間等材質具有破壞性；以籃球場地基本設計為例，考量運動安全性，有必要在球場緊鄰緩衝區的四周牆面裝設保護墊，對於運動員起著重要的保護作用（OPHEA,2018; Seidler, 2011）。運動場地周邊牆面除需維持平整、牆面高度2.7m以下之空間不宜有突出物，出入口把手尚需設計成為內嵌式（Sport England, 2012），必然也不宜做開窗。

貳、室內裝修

運動場地周邊牆面所塗佈之顏色，須與白色羽毛球有足夠的對比度，又不致因選擇太深的牆面顏色而產生視覺壓迫性，採用反射率40~50%之塗料應是較好的選擇（Sport England, 2012），所以不宜選用較高明度顏色，以及較高反射率之塗料，為了提高室內照明之效能。

此外，運動面層是運動場館主要的地坪施工材料，也是運動場地確保運動安全的重要設計內涵之一。日前已取得環保標章之聚胺酯運動場所用鋪設材料（內政部建築研究所，2019），較適合選用做為教育和休閒等級運動設施之PU運動面層。教育和休閒等級運動場館若兼具培訓縣市代表隊選手，應有必要鋪設符合國際單項運動總會（IFs）認可之運動面層（劉田修等，2017），惟我國目前尚未有通過各國際單項運動總會認證、且已取得我國「綠建材標章」之運動面層製造廠商，可供規劃設計單位選用。

國外進口之運動面層倘提出我國綠建材標章申請，則需依內政部頒定「綠建材標章申請審核認可及使用作業要點」通過綠建材性能規格評定。其評定內容第六款載有：「必需符合國家標準規格、品質及安全性等規定.....」，但檢視現行國家標準（CNS）仍未有對應國際單項運動總會運動面層之試驗方式，亦未

研擬完成適宜的物性標準，致使國際單項運動總會 (IFs) 認可之運動面層暫不能通過我國綠建材評定，無法供運動場館規劃設計單位選用獲得綠建築評定得分。

參、室溫調節

運動時肌肉收縮產生大量的代謝熱能，透過心血管系統循環，很快地全身的溫度均開始上昇，而身體細胞及其代謝途徑易受溫度變化產生影響，所以體內核心溫度調節是非常重要的機制 (黃新作、黎俊彥，1997；蘇忠信，1997)。體表幅射散熱以及汗水、呼吸的水分蒸發是身體調節溫度最重要的兩種方式，幅射散熱須是在體熱與環境溫度有著足夠溫度梯度 (thermal gradient) 時，才能有效地進行 (蘇忠信，1997)，否則皮膚將大量出汗以維持身體散熱效率。

大量出汗帶來疲勞與不適感，但並非真的與運動的熱量消耗有著直接關係，在相同負載之下更大量的出汗狀態，其實更高程度突顯出運動環境中溫度、溼度與對流較差的背景條件。尤其是對於如體適能中心、舞蹈教室等高密度使用的運動空間，不足的室內溫度調節能力，使用者大量出汗更容易衍生出空氣品質不良的問題。因此，運動場館空調設計必須充分考慮場館內不同屬性空間的室溫調節能力。

肆、空氣品質

考量室內運動場館維持空氣品質設計因素，除了通風換氣之外，尚有溼度控制之需求；特別是室內游泳池相關空間，其空氣之溫度與溼度和細菌活動與繁殖具有密切關係，相對溼度維持於40~60%之間，有助減緩細菌活動能力 (Dectron Internationale, 2015)，故建議室內場館之空調系統設計原則，應具備將空氣溼度控制於60%以下之能力 (ASHRAE, 2001; Sport England, 2013)。依交通部中央氣象局1981~2010年資料顯示，全國各地區全年度平均溼度均在70%以上，受南方熱帶系統影響，6~9月份之台灣北部處於乾季，儘管其平均相對濕度

值低於台灣南部和東部地區，但仍高達75~78%，其他月份則反之，此時南部平均溼度亦達70~78% (辛在勤，2011)。故設計方案若意圖透過利用自然通風，達到控制運動場地空間合宜的溼度條件，實質成效恐怕並不佳。

維持游泳池相關空間良好之空氣品質有著特殊的設計需求；游泳池水主要污染源 (如：汗水、尿液、微生物... ..等等) 即來自泳客本身，且游泳池水及地面即恰巧為微生物繁殖所需之溫暖潮濕環境，公共游泳池 (Public swimming pool) 之池水過濾循環速率標準約需6小時方能循環1次 (ANSI, 2014)，故池水須添加長效型之消毒藥劑 (舊型換水式游泳池亦同)，使池水具備基本的自潔能力 (簡全亮、周宇輝，2005)。消毒劑可與水中的其他化學物質反應，部分作用後會產生不良的消毒副產物 (disinfection by-products)，飄散在游泳池空間之空氣中不良的消毒副產物主要為三鹵甲烷 (trihalomethanes) 和氯胺 (chloramines) (WHO, 2006)，因此游泳池相關空間的通風系統，必須隨時維持足夠的換氣能力。

除了氯化物作為游泳池池水長效殺菌藥劑之外，對於承載人數較高之游泳池館，有時會配置臭氧輔助殺菌系統，以加強水質處理系統的殺菌能力 (ANSI, 2014; Sport England, 2013)。臭氧的活性非常高，即使非常低的濃度也會危害呼吸道組織引起支氣管發炎，其傷害的嚴重性視暴露的濃度與時間而定；暴露於臭氧濃度0.35 ppm下1小時，即會引起支氣管反應至少18小時，急性暴露於臭氧濃度1.0 ppm 濃度下，將引起肺部功能降低、極度疲勞、皮膚泛青等嚴重症狀。此外，臭氧亦會導致慢性毒性反應，可導致肺部功能損害和肺部結構改變之健康危害 (工業安全衛生技術發展中心，2000)。依據美國國家標準公共游泳池及水療池水質標準 (APSP-11) 所公告之標準，臭氧可接觸的暴露極限安全值為0.1 ppm 8小時 (ANSI, 2009)，世界衛生組織考量世界各國不同之環境衛生維持條件，也僅放寬室內空氣臭氧濃度標準至0.12 ppm (WHO, 2006)。為此，游泳池空間不可僅依賴自然通風，尚須配置並啟動常時機械通風系統，亦不宜因採行自然對流節能設計，便貿然減少機械通風的換氣能力。

伍、能源需求

近年來，管理單位為了提高客戶滿意度，在營運休閒功能導向的溫水游泳池時，有逐步提高游泳池水溫的趨勢出現 (Sport England, 2013)，故如何避免池水熱能散失即成為能源管理的一項重要議題。於溫水游泳池中鋪設保溫毯，可減少熱量和水分之流失，以降低能源消耗 (Eclipse research consultants, 2007)。

國際游泳總會 (FINA) 要求競賽與訓練用游泳池水溫維持在 25 ~ 28 度之間 (FINA, 2015)，高齡者和障礙者對於水溫需求較高，則應提昇至 29 ~ 30 度 (APSP, 2009)。人體在持續運動時之體表溫度約為 37 度，故人體及環境之溫度梯度達到 7 ~ 10 度，人數眾多的使用者從事游泳運動時，也處於為游泳池水加熱之狀態。

交通部中央氣象局全國氣溫紀錄資料顯示，1981 ~ 2010 年 30 年間臺南與高雄地區 5 ~ 9 月份平均氣溫超過 28 度，全國平地地區夏季時 (7 ~ 8 月份) 氣溫亦均達 28 度以上，此時雖日照最為強烈，而泳池設施對熱能需求相對其他月份卻較低。再者，全國平地地區 11 月份至隔年 4 月份期間，平均溫度均低於 24 度，僅臺南、高雄和恆春地區 4 月份平均溫度略高於 24 度 (+0.1 ~ 1.5 度)，在宜蘭地區 10 月份平均溫度便低於 24 度，此時日照不足，而泳池設施對熱能需求相對夏季月份卻更高。可知若欲透過設計太陽能集熱器達到節約全年度能源之目的，除了夏季期間外大抵多僅能運用於原水預熱之用，故不宜貿然刪減加熱系統。

淋浴熱水是游泳池主要的能源消耗因素。水質管理良好的游泳池，池水為循環過濾消毒後再利用模式 (APSP, 2009; Sport England, 2013)。為節省水資源並維持水質品質，在游泳池管理維護計畫中，有必要鼓勵使用者使用游泳池之前先行淋浴 (Eclipse research consultants, 2007)，從事游泳運動後，基於個人衛生維持需要，使用者亦須再次進行淋浴。

淋浴龍頭數量若以泳池空間「安全使用人數」之 1/8 計算，教學和休閒導向之游泳池淋浴設施，使用頻率為每間隔 2 小時轉場乙次，熱水系統供應能力須能提供每支淋浴龍頭 2,839.06 BTU (升溫 50 度 * 60 gal/hr)。因營運使用時間長，且

單位時間熱能需求巨大，所以不論游泳池是否設計有熱泵、空調（或除濕）熱回收系統，尚須設計鍋爐（林逸群、林慧忠，2006，以避免氣溫降低時，體育館因停止使用空調而無法回收熱源進行池水加溫，且此時熱泵加熱效率亦因氣溫較低而降低，因而出現熱水系統供應能力不足之窘境。

陸、結語

以節能對策與投資報酬率之角度來看，簡單的綠建築設計方案，通常也是經費較為節約的方案（林憲德，2014）。不論室內運動場館之興建或後續之維護管理，若需更多經費的投入，同時意味著，須要消耗更多其他經濟上的生產活動，對於全球環境將會造成更多的負面影響。

建築物綠建築標章核心精神為「生態、節能、減廢、健康」，包含有綠化量、基地保水、水資源、日常節能、二氧化碳減量、廢棄物減量、污水垃圾改善、生物多樣性及室內環境等九大評估指標系統，設計運用工法豐富多樣（內政部建築研究所，2015），運動場館規劃及設計之單位與人員，應優先考量場館之功能性與安全性，充分理解運動環境之特殊性，再設定合宜的綠建築標章之等級目標，方能契合我國推動綠建築真正的意義與價值。

最後，提出以下建議，期能助益運動場館永續發展課題之後續發展：

- 一、建議相關單位積極研擬我國對應銜接國際（或區域）性標準的各項運動設施與器材設備國家標準，除有助提升我國運動設施與器材設備製造業之國際競爭力外，亦有助推動綠建材標章制度與綠建築政策。
- 二、運動種類多元豐富，運動場館也多樣多級，建議建立運動場館規劃設計與新（整）建交流平台，應有助於促進實務經驗分享、資訊紀錄與技術交流。

參考文獻

- 工業安全衛生技術發展中心 (2000) 。物質安全資料表，序號 529。財團法人工業技術研究院。
- 內政部建築研究所 (2015) 。EEWH-BC 綠建築評估手冊 - 基本型。新北市：作者。
- 內政部建築研究所 (2019) 。綠建材資料庫 - 綠建材採購指南網頁。取自 http://mgr.tabc.org.tw/tabcmgr/gbm_op/searchCaseAction.do
- 交通部中央氣象局 (2019 年 6 月 9 日) 。氣候統計網頁。取自 <https://www.cwb.gov.tw/V8/C/index.html>。
- 江重致、邱顯閔、陳怡君、孫慶成 (2010) 。LED 眩光評估之光學模擬與情境實驗。光學工程，(110)，78-86。doi:10.30011/OE.201005.0010
- 李炳華、董青 (2009) 。體育照明設計手冊。中國北京市：中國電力出版社。ISBN: 978-7-5083-8221-0
- 辛在勤 (2011) 。臺灣 24 節氣與氣候：1981~2010 資料統計。台北市：交通部中央氣象局。ISBN：9789860283761
- 林逸群、林慧忠 (2006) 。市立運動中心室內溫水游泳池設計需求及要點。臺北市：臺北市政府工務局新建工程處。
- 林憲德 (2014) 。誠實面對綠建築。建築學報，(90)，21-27。doi:10.3966/101632122014120090013
- 施仁親、陳震偉、吳登峻 (2011) 。太陽光模擬器要求與新型 LED 太陽光模擬器簡介。光連：光電產業與技術情報，(92)，56-62。doi:10.29664/Optolink.201103.0012
- 孫慶成、陳志宏 (2011) 。LED 的發展與照明技術應用趨勢。前瞻科技與管理，1(2)，1-23。

- 郭哲君、林秉毅 (2009) 。探析運動場館應有之永續建築概念。 *中華體育季刊*，23(4)，166-174。doi:10.6223/qcpe.2304.200912.2020
- 黃新作、黎俊彥 (1997) 。漸增負荷運動中心血管與體溫調節反應之初探。 *體育學報*，(23)，201-213。doi:10.6222/pej.0023.199709.3118
- 綠建材標章申請審核認可使用作業要點，2016年05月26日。
- 劉田修、周宇輝、康正男、簡全亮 (2017) 。 *教育部體育署運動設施規範及分級分類基準手冊*。臺北市：教育部體育署。
- 簡全亮、周宇輝 (2005年8月-9月) 。游泳池(館)安全設計需求與解決方案。簡全亮 (主持人)，94年培訓學生游泳指導及管理人才講習會，高雄市、臺中市、臺北市、花蓮縣、臺東縣。
- 蘇忠信 (1997) 。運動時體溫的調節。 *大專體育*，(31)，142-147。doi:10.6162/SRR.1997.31.28
- ANSI (2014). *ANSI/NSPI-11, American national standard for public swimming pools*. Washington, DC: American national standards institute, Inc.
- ANSI (2009). *ANSI/APSP-11 American national standard for water quality in public pools and spas*. Washington, DC: American national standards institute, Inc.
- ASHRAE (2001). *The analyses will be performed at specified space temperature and humidity levels at the following design weather conditions,ASHRAE Handbook*. New York : NY: American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, Inc.
- Dectron internationale Inc.(2015). *Indoor pool design guide. Design and dehumidification*. Quebec, Canada: Author.
- Eclipse research consultants (2007). *Design guidance note - Environmental sustainability*. London, UK: Sport England.
- FINA (2015). *FINA facilities rules 2015 - 2017*. Switzerland, Geneva: International Swimming Federation.

OPHEA (2018). *The Ontario physical education safety guidelines –Secondary - Interschool*. Ontario Physical and Health Education Association. Retrived from:
<http://safety.ophea.net/>

Seidler, Todd L. (2011).Basketball buffer zones: accidents waiting to happen. *High school today*, 10, 22-23.

Sport England (2012). Design guidance note –Sports halls. London, UK: Author.

Sport England (2013). Design Guidance Note – swimming pool. London, UK:
Author.

The illuminating engineering society of North America (2015). *Sports and recreational area lighting*. New York, NY: IES. ISBN 978-0-87995-311-9

WHO (2006). *Guidelines for safe recreational-water environments volume 2: Swimming pools, spas and similar recreational-water environments*. Switzerland, Geneva : World Health Organization.