



# 博物館自動滅火系統的選擇

## The Choice of Automatic Fire Suppression System for Museum

■ 呂釗君 Lu, Chao-Chun

國立故宮博物院登錄保存處約聘人員

Contract Staff, Department of Registration and Conservation, National Palace Museum

### 摘要

天災人禍中，火災最容易造成藏品的永久損害。本文主要介紹博物館常見自動滅火系統的種類與作用方式，再透過國際上典藏單位的經驗與案例，分析各類自動滅火系統對藏品可能造成的影響與改進方式，增進博物館或檔案館典藏人員對館內自動滅火系統的瞭解，以增加藏品安全與提升滅火效能。

### ABSTRACT

In all disasters, fire causes permanent damages most easily. This article introduces different automatic fire suppression systems commonly used in museums, and then finds out possible influences within automatic fire suppression systems on museum collections through case studies. The purpose of this article is to help people understand more about the systems they have, and enhance collections safety and fire suppression rates.

關鍵字：博物館、自動滅火系統、氣體自動滅火系統、海龍替代品、撒水系統、細水霧系統

Keywords : museum, automatic fire suppression systems, gaseous fire suppression systems, Halon alternatives, sprinkler system, water mist system



## 壹、前言

博物館、圖書館、檔案館等典藏機構負有文化傳承的重要使命，為降低藏品受損的風險，防範於未然，對於火災的處理，基本措施便是安裝火警自動警報系統與滅火設備。滅火設備依使用的方式，可分為攜帶式滅火器與定點式自動滅火系統。

火警自動警報系統採用的探測器，其偵測方式主要為偵煙、偵溫、偵光等 3 種。當火災發生時，產生的煙、熱、光，會啟動探測器，自動發出警報，疏散現場群眾，館方安全管理人員檢查現場，利用攜帶式滅火器等工具手動排除狀況。為了提早偵測火災發生，降低損失，有些典藏機構會加裝極早期火災預警系統，透過即時的空氣取樣分析，在濃煙產生或溫度上升之前，早一步發出警訊通知安全管理單位，爭取足夠的時間，以排除狀況。

當上述措施都未能及時阻止火災時，就由自動滅火系統發揮功能。自動滅火系統不僅可依需求分區安裝，如大廳、陳列室安裝撒水系統，庫房安裝氣體滅火系統等；或利用不同滅火物質的特性，於同一區域內安裝不同的自動滅火系統，提高防護效果，如庫房同時安裝撒水與氣體滅火系統。

若仍舊無法成功撲滅火災，將由消防人員以水柱灌注搶救。消防人員以水柱搶救時，不僅會注入大量的水，強大的水壓將造成裝潢、建物、藏品等的損傷（火災偵測與滅火流程，請參考圖 1）。自動滅火設備的安裝，可及早阻止火勢蔓延，避免藏品、人員與建物遭受不必要的損傷或損失。本文將針對博物館常用自動滅火系統做簡要介紹，並以案例說明各系統之優缺點與改善方式。



圖 1：火災偵測與滅火流程

資料來源：作者繪製

## 貳、常見博物館自動滅火系統介紹

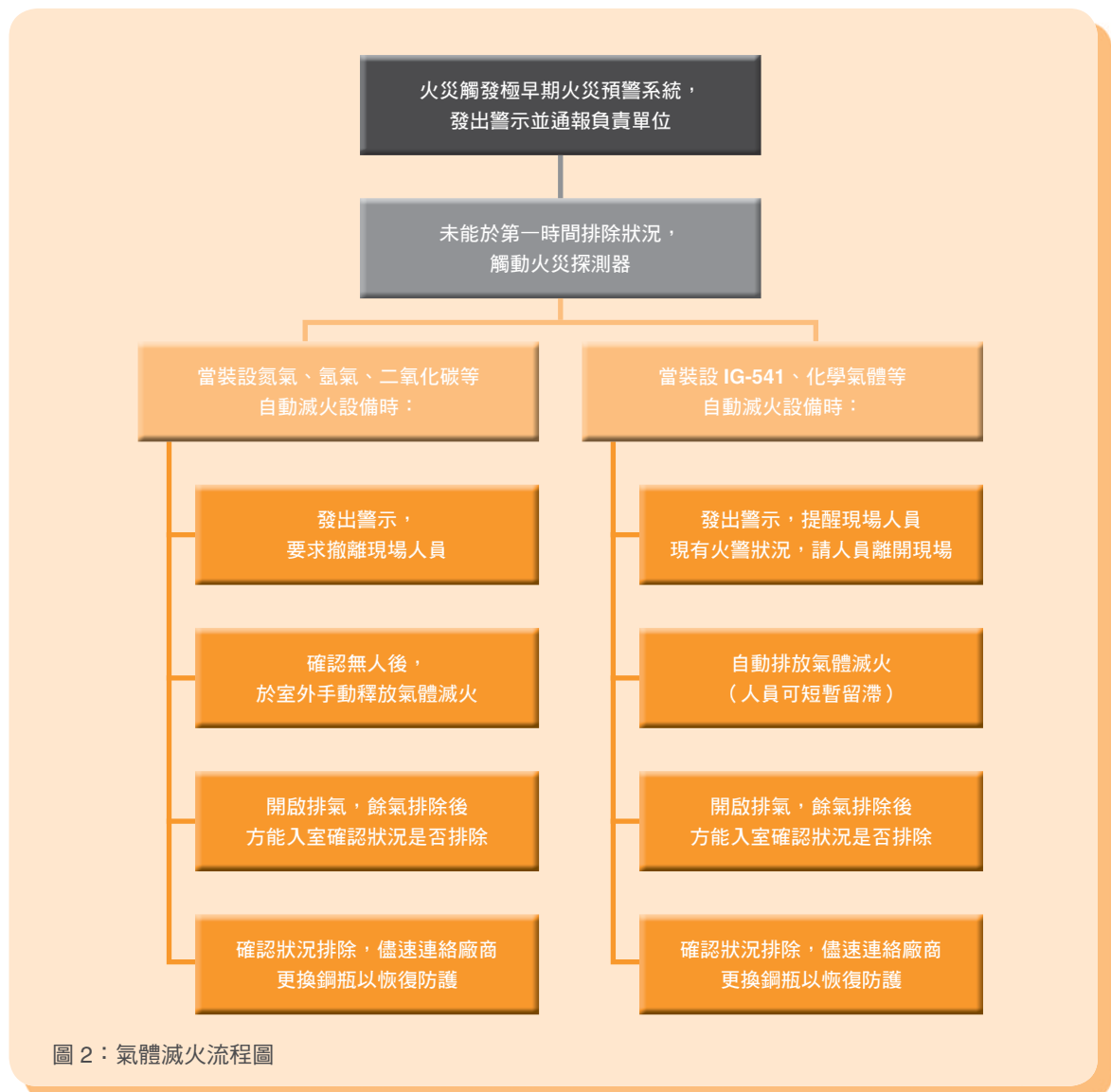
火燃燒之三要素包括供燃燒的可燃物、氧氣與熱源。撲滅任一要素，即可消除火勢。博物館自動滅火系統常用的滅火物質主要可分為氣體與水兩大類，滅火的氣體包括惰性氣體、二氧化碳與化學氣體，水滅火系統則依不同滅火設備製造噴出的水珠大小，分為撒水與細水霧。每種系統在滅火機制與流程略有不同，以下將簡略說明：



## 一、氣體

氣體自動滅火系統，適合應用於庫房類的密閉性區域，若滅火失敗仍可藉由防火建材控制住火災範圍，釋出的滅火氣體，可由排氣裝置直接排出（氣體滅火流程請參考圖 2）。博物館常選用潔淨氣體（Clean Agent）作為滅火氣體，取其不具導電性且釋氣後無殘留之優點；常見的博物館滅火氣體包含氮氣、氬氣、二氧化碳與化學氣體如 HFC-227ea、FK-5-1-12 等。

氮氣、氬氣與二氧化碳三種氣體，是經由降低空間內的氧氣含量以消滅火苗，釋氣時須先疏散現場人員，避免人員窒息造成傷亡。除了單一氣體的使用，如氮氣的 IG-100、氬氣的 IG-01，亦可採取各自的優點混合使用，如 IG-55 混合了比重不同的氮氣與氬氣；混合 3 種氣體的 IG-541（氮氣 52%、氬氣 40%、二氧化碳 8%），因含低量的二氧化碳，可增加低氧環境中，血液的氧化作用與腦部血液流動，誤啟動時短期內不影響人體。



資料來源：作者繪製



化學氣體則以抑制燃燒的連鎖反應來滅火，誤啟動時短期內不致影響人體；雖然部分滅火氣體不影響呼吸，但當化學物質經人體吸收進入血液時，仍可能造成心臟的不良反應（註1）。為了提高滅火效能，釋氣後室內的氣體濃度很有可能大於設計滅火濃度，考量人身安全，不論使用何種滅火氣體，建議室內人員應於警示聲響時，儘速離開現場。另外，由於化學氣體含氟化物成分，高溫時（約攝氏 400 度）（註2）可能會產生具有強烈腐蝕性的氫氟酸（HF）與其他腐蝕氣體，如氟化物、溴化物等，不僅對金屬有強烈腐蝕性，對人體的傷害也極大，所幸系統啟動釋氣時，尚處於火災初期，火苗未完全燃起，因此形成腐蝕物的可能性較低。

惰性氣體類因設計滅火濃度較高，需要大量的壓縮氣體鋼瓶與儲放空間，但因高壓氣體的輸送距離較長，因此不同防護區域使用的鋼瓶設備可集中地點放置。二氧化碳與化學氣體多以液體存放，其設計滅火濃度相對較低，使用的鋼瓶數量較少，但因化學氣體輸送的距離較短，鋼瓶設備的設置必須鄰近防護區域，若防護區域較大，則須分區設置滅火設備。

## 二、水

水是最常見的滅火物質，水滅火系統可以依其噴灑出的水珠大小分為撒水與細水霧兩類。撒水系統的水珠直徑約為 500-5,000 微米，細水霧系統的水珠直徑約為 50-200 微米（註3）。水滅火系統主要利用水滴包覆起火物的燃燒面，吸收熱量，降低溫度；並潤濕週圍環境，避免火勢延燒與復燃。細水霧由於水珠微小，氣霧狀的出水能深入物體滅火，與易蒸發成水蒸氣，達到稀釋氧氣含量的效果（註4）。

以系統動作方式來分，撒水與細水霧系統皆可分為密閉濕式、密閉乾式與預動式 3 種。密閉濕式，指平時消防水管內維持有水的狀態，撒水頭或細水霧噴頭啟動後直接出水滅火。密閉乾式則是平時消防水管內貯滿高壓空氣，撒水頭或細水霧噴頭啟動後，先排出前段空氣，開啓水閥門，使水流入水管出水滅火。預動式較為特殊，消防水管內平時貯滿低壓空氣，遇有火災時，火災探測器先啟動流水檢知裝置，使水流入水管內，並於撒水頭或細水霧噴頭啟動後出水滅火。

出水滅火後，由到場的消防人員確認火勢撲滅，再由負責人員手動關閉消防水閥門，停止供水。不論採哪種滅火方式，確認火勢撲滅後，都須儘快更換使用過的撒水頭或氣體鋼瓶等耗材，重新開啓水閥門，以恢復正常防護。

## 參、博物館常見自動滅火系統使用經驗與注意事項

根據使用者分享的經驗，自動滅火系統於應用上，仍有需要注意與改進的地方，以降低藏品受損機率與提升滅火效能。

### 一、氣體

奧地利維也納民族學博物館（Weltmuseum Wien）曾發生灰塵誤啟動庫房氮氣滅火系統的意外（註5），注氣氣流造成許多木質文物由典藏架上吹落損壞，同時將周圍灰塵吹入典藏櫃內，氮氣中



的預警添加物，更在藏品表面形成黏膜。另一案例中的 IG-541 因誤啟動釋氣，造成管線冷凝滴水（註 6）。亦有因注氣過於強烈，造成收藏損毀與地板磁磚吹飛的兩件案例（註 7）。歸納上述案例，有關氣體滅火系統在使用上，須要注意的事項如下：

（一）釋氣時氣流強勁，音量大

釋氣時氣流強勁，可透過增設噴頭數量，降低氣流強度，但須注意藏品典藏方式與位置，避免受損。

（二）釋氣時氣體快速膨脹，產生冷凝結露

滅火時，單一空間內所有噴頭會同時釋放滅火氣體，氣體的使用需求量大。滅火氣體是以壓縮氣體或化學液體的狀態存放於鋼瓶內，釋出時會迅速吸熱膨脹，將周圍溫度降至露點以下，使釋出的氣體看似呈白霧狀。低溫雖然可以增進滅火效能，但亦可能在噴頭周圍之管線與牆面形成冷凝結露，進而發生滴水，損及藏品。管線冷凝的問題可於金屬管線外包覆隔熱材質，降低發生的機率。

（三）壓力增加

惰性氣體的設計滅火濃度近 40%，釋氣後容易造成室內壓力過高，因此須注意使用之建材、空調設備與設置釋壓口，避免牆體因無法承受壓力受損（註 8）。

（四）有無添加物

雖然博物館使用潔淨滅火氣體，但由於多數滅火氣體皆無色無味，因此廠商可能會加入預警用的添加物，如同日常用瓦斯添加臭味劑以增強外洩時的警示效果，避免發生人員傷亡。但此類添加物可能會殘留於藏品表面，建議須與廠商確認產品成份，或透過樣品測試，瞭解釋氣後是否會有殘留物。

（五）鋼瓶更換的防護空窗期

不論使用哪種氣體，釋氣後至更換新鋼瓶之期間，將產生防護空窗期，若火苗再度復燃，將喪失防禦能力，因此穩定且迅速的供應來源十分重要。美國史密森機構航太博物館 Udvar-Hazy 中心採用了化學氣體滅火系統，除了防護中的鋼瓶外，博物館亦有備用鋼瓶，若第一次釋氣未能成功滅火，可儘快更換新鋼瓶，加強防護。美國國會圖書館雖亦安裝了化學氣體滅火系統，但另併置密閉濕式撒水系統，考量有當地的鋼瓶供應商可迅速供貨，因此未購置備用鋼瓶（註 9）。

另外站在環保的考量，目前已被禁止生產的滅火氣體海龍 1301 其全球暖化潛勢值（註 10）為 6900，大氣存活期（註 11）為 65 年，而 HFC-227ea 為 3500 與 33 年，FK-5-1-12 為 1 與 0.01 年（註 12）。部分滅火氣體未來仍有面臨禁止生產的可能，因此長期且穩定的供應來源也須要列入選擇的考量。



## （六）常見滅火失敗原因

根據美國消防協會（National Fire Protection Association，簡稱 NFPA）調查西元（以下同）2006 至 2010 年間化學自動滅火系統（包含潔淨氣體與其他滅火系統）在美國通報的火災案件中設置的比例約占 2%；這些案例中，系統成功啟動的比例約為 81%，成功啟動並有效滅火的比例則占了 69%（註 13）。

化學自動滅火系統未能正常啟動滅火的原因包含：缺乏日常維護（40%）、人為不當操作（32%）、零件故障（12%）、系統關閉（9%）、不適用於該類火災（6%）等項（註 14）；而正常啟動卻未能消滅火警的主因為：滅火劑未能有效到達起火點（50%）與滅火劑劑量不足（45%）（註 15）。此調查對象雖非針對博物館，但仍可由其經驗學習，加強防護。除了透過例行系統維護降低失敗率外，人員訓練也十分重要；火警時，室內人員應避免驚慌，離開警報區域時應緊閉門窗，避免滅火氣體散逸，因濃度不足導致滅火失敗。

## 二、水

撒水系統自 1847 年發明應用至今，擁有百年歷史，根據調查 2007 至 2011 年美國的火災案件中設置撒水系統且成功啟動的比例占 91%，啟動後成功撲滅火勢的比例為 96%（註 16），是目前滅火成功率最高與應用最廣的滅火系統。細水霧系統則囊括了水與氣體滅火的特點，雖然博物館實際啟動應用的案例量不足，但仍可透過其他系統之經驗窺知一二。

2007 至 2011 年間，美國博物館與圖書館等典藏機構共 450 起的火災案例中，210 起現場設有撒水系統，其中有 81% 採用密閉濕式撒水系統，13% 採用密閉乾式撒水系統，另外 6% 使用預動式等其他撒水系統（註 17）。

2014 年初，美國愛荷華州摔角名人堂 Dan Gable 博物館（the National Wrestling Hall of Fame Dan Gable Museum）因氣候嚴寒導致密閉濕式撒水系統管線爆裂，館內水流成災，所幸無藏品受損（註 18）。雖然臺灣無管線結冰的問題，但地震後也應加強巡查，避免管線鬆動或裂開。以下歸納水滅火系統使用上可能會面臨的問題，供實際應用參考。

### （一）須待火勢起，高溫方能啟動撒水頭

撒水系統的啟動方式如下：當溫度達到預設溫度時（可視需要選用適合溫度點的撒水頭），撒水頭前方玻璃柱內的酒精受熱膨脹，使玻璃斷裂，水管內的水順勢流出，因此撒水系統無法於第一時間反應出水，須待火苗竄起或溫度上升，才能啟動。細水霧系統由為噴頭內感知器或獨立的火災偵測器所啟動，啟動方式的選擇較為多元。

### （二）水損

撒水系統單一撒水頭的放水量應大於 80 l/min（註 19），室外消防栓的出水量應大於 350 l/min（註 20），消防車的出水量則達到 3,000 l/min（註 21），而細水霧的用水量只有撒水





系統的 10~25% (註 22)。雖然撒水系統會造成水損，但與消防人員使用的消防水柱相較，撒水系統造成的水損相對輕微，僅 1~3 個撒水頭即能有效控火 (註 23)。博物館採用的撒水與細水霧系統，多數非全面式放水，只有鄰近起火點的撒水頭或噴頭才會啟動，水損範圍可受控制。然而博物館仍應訂定應變方案，以便於第一時間內清點、評估與搶救水損之藏品，進行下一步的處理措施，避免藏品因時間與人力的耽擱產生嚴重的損傷。

### (三) 撒水頭安裝護籠，避免意外

每年單個撒水頭因故障而誤放水的機率小於 1,600 萬分之一 (註 24)，但若仍擔心意外啟動撒水頭，可加裝護籠，避免外力破壞，地面亦可加裝淹水警報器，降低因意外造成淹水的影響。

### (四) 水管腐蝕或堵塞

造成水管腐蝕的原因有二：一種易發生於密閉乾式或預動式撒水系統，因水管內多少會有前次用水殘留引起；第二種較為少見，發生於密閉濕式撒水系統，是因水中微生物引起 (註 25)。

水管腐蝕會造成管線漏水，腐蝕物也可能堵塞出水，影響滅火效能，尤其細水霧系統水管管徑較小，更易受到影響，因此消防配管應採鍍鋅等防腐蝕處理 (註 26)。

### (五) 水質

消防用水須注意水質，避免有害微生物孳生，造成腐蝕，水中的異物顆粒也可能堵塞細水霧噴頭，影響出水。另外，水中亦可能有提高滅火效率的添加物，或防凍劑，因此須詳細瞭解消防用水之成分，避免不當之添加物對藏品產生影響。

### (六) 加壓馬達的維護

撒水系統若安裝於高樓層，須以加壓馬達維持水壓；細水霧系統本身就須使用高壓氣體或加壓馬達加壓以產生細微水珠，由於火災現場常發生斷電，因此馬達備用電源或備用鋼瓶的準備也變得重要。

### (七) 常見滅火失敗原因

根據調查 (註 27) 撒水系統未能正常啟動的原因包含：災前系統已被關閉 (64%)、人為干預 (17%)、零件故障 (7%)、缺乏日常維護 (6%)、不適用於該類火災 (5%)。部分場合為避免撒水頭受到意外干擾而出水，如整修工地或搬運貨物，會事先關閉撒水系統，雖然去除了水損疑慮，但一旦有狀況發生，系統將無法發揮防護效能；另外，若於未完全撲滅火災前關閉系統，造成火勢復燃等因素則屬於人為干預造成。

撒水系統正常啟動，卻未能消滅火勢的主因為：水未能有效到達起火點 (44%)、供水不



足（30%）、零件故障（8%）、人為干預（7%）、缺乏日常維護（7%）、不適用於該類火災（5%）。撒水系統僅適用於以木製品、纖維製品、塑膠、橡膠等為可燃物的普通火災；不過細水霧系統為氣霧狀出水，擁有氣體滅火系統的優點，除普通火災外，油類與電氣類火災也能有效應付。

## 肆、結語

典藏機構財務狀況有異，自動滅火系統的價格較為昂貴，建議有 24 小時人員留守的機構，至少要安裝火災警報裝置與攜帶式滅火器，方能於第一時間察覺異狀，再由留守人員以攜帶式滅火器排除問題；若無法達到 24 小時的人員留守，除了警報裝置外，至少須安裝一種自動滅火設備，以便於無人時可第一時間反應以減少損失。氣體滅火系統須先疏散工作人員，且成本較高，適合應用於庫房等重要且人員較少出入的區域；展場滅火系統的選擇，除了滅火效能、是否影響人員逃生外，建議可配合展示方式，若為開放式展示，展品未陳列於櫃內，則必須考慮水對藏品的影響，若為密閉式展示，展品多陳列於展櫃內，則選擇較為多樣。

在空間、經費皆有餘裕下，可增加多道防線，如設置極早期火災預警系統，在同一空間配置兩種自動滅火系統，取各自之優點，如氣體的反應迅速與無水損、水的局部滅火與防止復燃的效果，強化早期偵測與火災控制的成效。如美國史密森機構對於庫房的消防安全，除了建築的防火外，還規定了單一庫房的尺寸、典藏架應選用不可燃材料、須配置極早期煙霧探測器、攜帶式滅火器、自動撒水系統；如有需求，除自動撒水系統外，可再加裝其他自動滅火系統（註 28）。自動滅火系統的安裝設計與注意事項，可參考聯合國環境規劃署海龍替代物委員會的技術報告（註 29）。

自動滅火系統應用時，必須先瞭解相關事項，如：庫房內典藏方式（典藏架或典藏櫃）、庫房的使用頻率與清潔程度等條件；系統實際釋放的效果，氣流是否影響櫃內文物，管線與注氣口週圍是否有冷凝現象；測試後檢測樣品表面是否有殘留，殘留物是否可安全移除；使用細水霧時釋出的氣流壓力與水滴大小；以上皆為國外博物館實際經驗，可納入自動滅火系統設計考量。雖然沒有博物館人員希望真正利用到此系統，但萬一發生火災時，都期盼能達到最佳的滅火效果，也期盼備而不用時不會衍生另一種風險與災難。

## 註 釋

註 1：Halons Technical Options Committee, *Technical Note #1-Revision3* (Nairobi: United Nations Environment Programme, 2007), 9.

註 2：佐野千繪與三浦定俊，〈国指定品新規公開施設を目指す収蔵展示施設の消火設備の設置状況—ハロン生産中止後の動向〉，《保存科學》36（1997）：37-46。

註 3：Jensen Geir (TRD), *A White Paper on: Water Mist for Protection of Heritage* (Trondheim: Interconsult, Member of the COWI Group, 12 July 2004), 8.

註 4："Water Mist Fire Protection Reliability Analysis," *NFPA*, 19 Mar. 2013, (<http://www.nfpa.org/~media/Files/Research/Research%20Foundation/foundation%20proceedings/xu.pdf>) (15 Jun. 2014).

註 5："Fire Suppression agents," *Conservation DistList*, 23 Jan. 2007, (<http://cool.conservation-us.org/byform/mailling-lists/cdl/2007/0070.html>) (15 Jun. 2014).

註 6："[MSN] RE: gas fire suppressants," *Museum Security Network*, 21 Oct. 2003, (<http://www.museumbeveiliging.com/msn/2003->





October/002488.html) ( 15 Jun. 2014 ).

註 7 : Mark Hopkins, "Planning Your Fire Suppression System," *Abbey Newsletter* 26, no.1 ( Jun. 2002 ), < <http://www.cool.conserva-tion-us.org/byorg/abbey/an/an26/an26-1/an26-102.html> > ( 15 Jun. 2014 ).

註 8 : 同註 2 , 44-45 。 Mark Hopkins, "Planning Your Fire Suppression System," *Abbey Newsletter* 26, no.1 ( Jun. 2002 ).

註 9 : Office of the Inspector General, *Survey of the Library's Fire Suppression Systems, survey report No. 2011-PA-103* ( District of Columbia : Library of Congress, 2012 ), 10.

註 10 : 全球暖化潛勢, Global Warming Potential, 簡稱 GWP, 指與二氧化碳相較的大氣暖化潛力, 每單位為 100 年, 二氧化碳的 GWP 值為 1 。

註 11 : 大氣存活期 ( Atmospheric Life Time 簡稱 ALT ), 指氣體於大氣層中存留的時間, 單位為年。

註 12 : 同註 1 , 12.

註 13 : John R. Hall, Jr., *U.S. Experience With Non-Water-Based Automatic Fire Extinguishing Equipment* ( Quincy : NFPA, 2012 ), i.

註 14 : *U.S. Experience With Non-Water Based Automatic Fire Extinguishing Equipment*, 13.

註 15 : 同註 14 , 14.

註 16 : John R. Hall, Jr., *U.S. Experience With Sprinklers* ( Quincy : NFPA, 2013 ), vi.

註 17 : 同註 16 , 6 。此數據為: 當設施內裝設有 1 種以上防火設備時 ( 如撒水與氣體滅火系統 ) 最接近火場的系統裝置。

註 18 : "UPDATE: Burst sprinkler pipe floods Dan Gable Museum," *Waterloo Cedar Falls Courier*, 8 Jan. 2014. < [http://wcfcourier.com/news/local/update-burst-sprinkler-pipe-floods-dan-gable-museum/article\\_0e8dacd9-714b-5d33-854e-448bcb9aae90.html](http://wcfcourier.com/news/local/update-burst-sprinkler-pipe-floods-dan-gable-museum/article_0e8dacd9-714b-5d33-854e-448bcb9aae90.html) > ( 15 Jun. 2014 ).

註 19 : 內政部消防署, 〈各類場所消防安全設備設置標準〉第 50 條 ( 民 102 年 5 月 1 日 ) 。 < <http://law.ndppc.nat.gov.tw/GNFA/Chi/FLAW/FLAWDAT0201.asp> > ( 15 Jul. 2014 ).

註 20 : 同註 19 , 第 40 條。

註 21 : 新竹市消防局網站, 〈消防車輛簡介〉。 < [http://www.hcfd.gov.tw/about4\\_1.asp](http://www.hcfd.gov.tw/about4_1.asp) > ( 15 Jun. 2014 ).

註 22 : Nick Artim, "An Introduction to Automatic Fire Sprinklers, Part II," *WAAC Newsletter* 17, No.2, May 1995, < <http://cool.conserva-tion-us.org/waac/wn/wn17/wn17-2/wn17-206.html> > ( 15 Jun. 2014 ).

註 23 : Paul Baril, "Automatic Sprinkler Systems for Museums," *CCI Notes* 2/8 ( 1998 ) : 1.

註 24 : 同前註 , 2.

註 25 : 同註 9 , 11.

註 26 : 同註 19 , 第 44 條第 1 款。

註 27 : 同註 16 。

註 28 : "Fire Protection & Life Safety Design Manual," *Smithsonian Institute*, < [http://www.ofeo.si.edu/safety\\_health/oshem\\_home.asp](http://www.ofeo.si.edu/safety_health/oshem_home.asp) > ( 15 Jun. 2014 ).

註 29 : 同註 1 , 21-23.