

不同材質之於屋頂灑水降溫系統探討

*鄭秀君 (Siou-Jyun Jheng)
國立臺北科技大學土木工程系學生

陳起鳳(Chi-Feng Chen)
國立臺北科技大學土木工程系副教授

摘要

台灣雖為多雨型氣候但仍受缺水危機之苦，如何增加用水及提升水源使用性為重要議題。本研究提出將雨水貯集系統結合屋頂灑水以提升水源使用性，增加水源的同時降低由日射對建物產生的熱能，常見降溫做法為更換屋頂材質或架設遮陽屋頂減少熱能進入，降低空調耗能。研究將針對不同材質進行灑水實驗，觀察表面及箱內溫度變化、時滯效應時長，比較何種材質能使耗能降到最小。

本研究採用實驗箱進行，選用國內常見屋頂材料如板岩、鍍鋁鋅鋼板、瓦片為實驗項目，模擬雨水貯集系統設施結合灑水裝置，以頂樓做為實驗場址，成果證實若對既有屋面進行降溫，以瓦片的降溫效果為最明顯，表面溫度可降低 21.8°C ，箱內降低 11.3°C ，但其受日照升溫影響較大，因此瓦片在同一灑水環境下，其箱內溫度不為最低，而是以板岩 35.8°C 為最低溫，能使耗能降到最低。

另發現若在高溫低濕的環境下灑水有助於減緩箱內升溫，此現象以鋼板最為明顯，本實驗因實驗規模較小，未能確切分析各材料的時滯效應，建議後續實驗可將此做為參考，增加組數驗證及擴大實驗規模以進行更深入的探討。

關鍵詞：雨水貯集系統、時滯效應、屋頂灑水降溫

Exploration of Various Materials in Roof Cooling Systems with Water Sprinklers

Abstract

In Taiwan, water shortages is a pressing issue. A study proposes combining rainwater collection systems with rooftop sprinklers to maximize water usage and enhance resource efficiency. This innovative approach boosts water supply and mitigates the heat generated by solar radiation. Traditional methods, such as changing roofing materials or installing sunshade roofs, aim to reduce indoor temperatures and lower air conditioning energy consumption. Experiments using common domestic roofing materials like slate, galvanized steel plates, and tiles. These experiments simulated a rainwater collection system combined with rooftop sprinkling. Results showed that tiles offer noticeable cooling, reducing surface temperatures by 21.8°C and box internal temperatures by 11.3°C . However, slate outperforms in terms of the lowest box internal temperature at 35.8°C , resulting in the lowest energy consumption. The study also noted that sprinkling under high-temperature, low-humidity conditions effectively slows down temperature increases, especially with steel plates. Future studies should expand their scope and include more verification groups for comprehensive insights.

Keywords : rainwater collection systems, rooftop sprinkling, roofing materials

一、前言、文獻回顧

近年循環經濟，永續意識逐步崛起，各個國家也陸續提倡淨零排放，如何減少耗能成為人人關注的議題。若能減輕住宅、商辦空調耗能占比，並使建築物成為一個自主散熱、蓄水的個體，在提供空間、活動功能的同時也能減輕環境負擔。

根據「住宅及辦公室用水量管制之研究」估算之用水量，對比現今用水量概況顯示還有一定的進步空間，如何增加用水的來源及水源的使用面向，也是不容忽視的課題，由水資源指標提供之具體方法其中一項為設置雨水貯留供水系統，係將雨水以天然地形或人工方法予以截取貯存，經過簡單淨化處理後再利用為生活雜用水的作法。

馮丁樹(1998)指出屋頂灑水對室內降溫之定義為將水直接噴灑於溫室屋頂，靠水分蒸發帶走潛熱降低屋頂溫度，而之後也有學者實地進行實驗，並選在環境處於低溼度、高溫度時進行灑水試驗，測得其可有效降低室內溫度 2.47°C，同時證實灑水降溫系統可延遲建物最高溫時刻，避開用電高峰時間進而減少空調的耗能及碳排放，而建築物傳熱情形，為一種不穩定傳熱的型態，是指在實際傳熱行為中，固體介質的熱傳透行為中會因為固體的熱容量而吸放熱量，產生熱流的延遲現象，即所謂的時滯效應，使熱流量產生複雜的時間變動因素(參考文獻:馮丁樹，1998；曾筱霽，2011；賴榮平、林憲德等人，1991)

有鑑於以上敘述得知，不同材料熱容量大小及排熱的速率皆影響其吸熱、放熱狀況及其時滯效應之時長，而於表面灑水能透過蒸發帶走屋面的潛熱進而達到降溫目的，延遲熱能進入室內的時間，本研究將以此方向進行探討，透過模擬雨水貯集系統設施結合灑水裝置，對不同屋面材料進行灑水降溫以進一步地探討其中的關聯性。

二、研究方法:實驗設計與儀器設備介紹

● 實驗設計

實驗分為兩階段，第一階段為各材料分成對照組及灑水組進行試驗，以觀察施作前後表面、箱內溫度變化及時滯效應之影響；第二階段以材料作為分類，在同一環境下施作以觀察更換材料對箱內溫度之影響，試驗材料分別為鍍鋁鋅鋼板(以下簡稱鋼板)、瓦片、板岩等屋面材料。

● 實驗箱設計

本研究以實驗箱方式進行量測，為模擬雨水貯集利用系統之集水、貯水、動力設施，本研究以抽水馬達作為動力，以導溝集流，並在下方架設集水桶作為貯水設施，將屋頂材料以傾斜的方式架設，結合灑水裝置將水源由最上方灑下，分布在材料表面上以達蒸發吸熱的效果，其中未能蒸發的多餘水分將會流經傾斜屋頂進入導溝內，最後集中回集水桶，再由抽水馬達運回灑水系統內，完成週期的循環。

實驗箱材質則是選用具有防水、隔熱特性的聚苯乙烯(即俗稱的保麗龍)，由於其熱傳導率係數低，因此能夠有效地保持室內的溫度，以防止非主要受熱來源受外部的熱源干擾以影響實驗結果。

箱體底部尺寸為 30*30 公分，前後高度分別為 20、30 公分，在後方設置工作開口以利放置儀器，探棒架設高度約 10 公分，箱體製作完成後檢查是否有缺口，以免造成通風或是漏水。

● 儀器設備介紹

以下為本實驗所使用之儀器，另使用北科大自設氣象站擷取大氣溫度及濕度。



圖 1、紅外線測溫儀

用途:測量面溫度



圖 2、箱內溫溼度量測器

用途:量測箱內溫度，使用配合軟體擷取數據

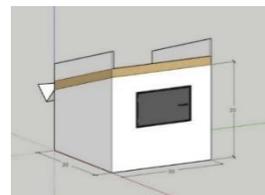
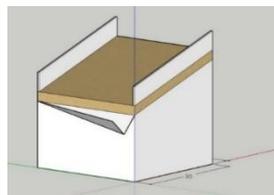


圖 3、實驗箱之示意圖(正面、反面)



圖 4、第一階段試驗(以板岩為例)



圖 5、第二階段試驗

三、結果與討論:分析結果

第一節、灑水降溫後各材料箱內升溫分析

由配對樣本 t 檢定分析對照組及灑水組溫度數據，顯示各材料樣本施作前後對於箱內及表面溫度皆有顯著差異(如表 1、表 3 所示)，表示三種材料板岩、瓦片、鋼板灑水後皆能達到降溫效果。

以實驗當下之大氣溫度作為基準進行對比(表 2)，灑水施作後箱內降溫效果最佳者為瓦片，其對照組箱內與大氣平均溫差約為 16.9 度，灑水組平均溫差約為 5.6 度，即灑水前後瓦片箱內溫度可降低約 11.3 度，其次為鋼板灑水後可降低 10.9 度，板岩灑水後降低 6.3 度為三者中最差。

表 1、各材料箱內溫度之對照組及灑水組 ANOVA 分析

項目	組別	箱內溫度(°C)			t 值	p-value
		最大值	平均值	最小值		
板岩	對照組	51.3	44.4	36.7	38.9	0.00
	灑水組	42.2	38.1	34.3		
瓦片	對照組	56.1	50.6	34.9	50.2	0.00
	灑水組	42.2	39.3	33.9		
鋼板	對照組	55.2	47.2	34.5	32.0	0.00
	灑水組	43.8	38.2	30.1		

表 2、各材料箱內溫度和大氣溫差分析

項目	組別	箱內溫度和大氣溫差(°C)			平均差值
		最大值	平均值	最小值	
板岩	對照組	17.4	12.0	5	6.3
	灑水組	8.4	5.6	2.6	
瓦片	對照組	21.7	16.9	2.2	11.3
	灑水組	8.7	5.6	2.1	
鋼板	對照組	17.3	14.7	8.8	10.9
	灑水組	8.3	3.8	0.4	

第二節、灑水降溫後各材料表面升溫分析

以實驗當下之大氣溫度作為基準進行對比(表 4)，灑水施作後表面降溫效果最佳者為瓦片，其對照組表面與大氣平均溫差約為 21.8 度，灑水組平均溫差約為 3.2 度，即灑水前後瓦片表面溫度可降低約 18.6 度，其次為鋼板灑水後可降低 16.3 度，板岩灑水後降低 10.6 度。

表 3、各材料表面溫度之對照組及灑水組 ANOVA 分析

項目	組別	表面溫度(°C)			t 值	p-value
		最大值	平均值	最小值		
板岩	對照組	60.1	46.0	32.1	35.4	0.00
	灑水組	46.5	35.7	28.7		
瓦片	對照組	65.8	55.5	37.3	52.0	0.00
	灑水組	46.0	36.9	29.5		
鋼板	對照組	68.3	50.9	30.8	26.1	0.00
	灑水組	52.4	36.7	26.2		

表 4、各材料表面溫度和大氣溫差分析

項目	組別	表面溫度和大氣溫差(°C)			平均差值
		最大值	平均值	最小值	
板岩	對照組	28.4	13.9	1.2	10.6
	灑水組	14.8	3.3	-2.44	
瓦片	對照組	31.35	21.8	4	18.6
	灑水組	13.4	3.2	-3.7	
鋼板	對照組	34.1	19.7	5.05	16.3
	灑水組	18.2	3.3	-5.3	

小結:此兩小節探討灑水前後是否能對表面溫度及箱內溫度降溫，結果顯示板岩、瓦片、鋼板灑水後皆有降溫效果，且效果依序排列皆為瓦片最佳，其次鋼板最後為板岩。

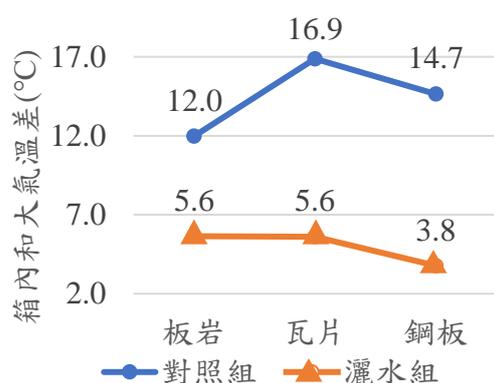


圖 6、各材料大氣溫度和箱內溫度差值

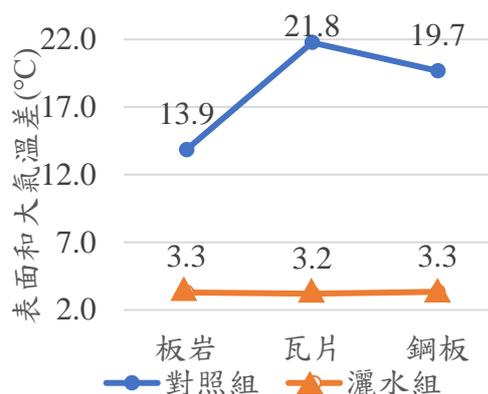


圖 7、各材料大氣溫度和表面溫度差

第三節、不同材料灑水施作後箱內升溫分析

以單因子變異數分析同一環境下各材料箱內溫度，結果顯示不同材料對灑水後的箱內溫度皆具有顯著性，即表示在同一灑水環境下，不同屋面材料會對箱內溫度產生影響，而其中箱內溫度由高至低排序為鋼板>瓦片>板岩，以板岩為最佳。

表 5、同環境下灑水各材料箱內溫度差異 ANOVA 分析

組別	T1 箱內溫度(°C)			T2 大氣均溫(°C)	箱內平均值和 大氣均溫差 T1-T2	F 值	p-value
	最大值	平均值	最小值				
板岩	39.5	35.8	29.7		3.1		
瓦片	41.5	36.6	30.0	32.7	3.9	7.2	0.00
鋼板	43.8	37.0	30.1		4.3		

第四節、環境溫度及濕度對於箱內溫度影響

試驗發現環境溫度及濕度皆對箱內溫度產生影響，將箱內溫度依環境濕度拆分四組以單因子變異數分析，三種材料皆顯示環境濕度和箱內溫度具有顯著性(表 6)，箱內溫度隨濕度增加而降低，但濕度介於 50~60%時，鋼板及板岩則有略為下降的趨勢，瓦片則略為減緩上升幅度；將溫度拆分四組進行分析，三種材料皆顯示環境溫度和箱內溫度具有顯著性(表 7)，箱內溫度隨著環境溫度上升，但環境溫度介於 34.1~36 度時鋼板則略為下降，板岩、瓦片溫度上升幅度則略為減緩。

表 6、環境溫度對於箱內溫度 ANOVA 分析表

組	F	P-值	臨界值
鋼板	86.63	0.00	2.65
板岩	195.24	0.00	2.65
瓦片	186.74	0.00	2.65

表 7、環境濕度對於箱內溫度 ANOVA 分析表

組	F	P-值	臨界值
鋼板	126.38	0.00	2.65
板岩	291.56	0.00	2.65
瓦片	350.81	0.00	2.65

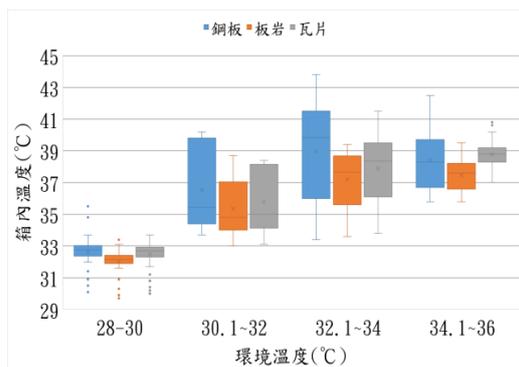


圖 8、箱內溫度隨環境溫度變化

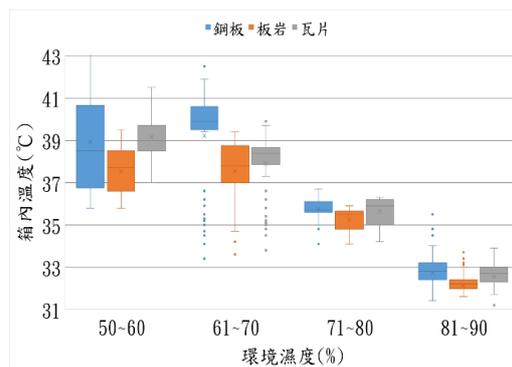


圖 9、箱內溫度隨環境濕度變化

四、結論與建議

- (1) 材料灑水能使表面溫度及箱內溫度降溫，施作後降溫效果皆以瓦片為最佳，其次鋼板最後為板岩，瓦片灑水後使表面溫度和箱內溫度分別降低 18.6°C、11.3°C；鋼板灑水後使表面溫度和箱內溫度分別降低 16.3°C、10.9°C；板岩灑水後使表面溫度和箱內溫度分別降低 10.6°C、6.3°C。
- (2) 在同樣灑水環境下，能夠透過更換不同材料對於箱內溫度產生影響，其中以板岩效果為最佳，使箱內溫度為最低溫 35.8°C，其次為瓦片 36.6°C、鋼板 37.0°C。
- (3) 由圖 7、8 可觀察出當環境趨向高溫低濕度時(利於蒸發的環境)，三種材料的箱內溫度有隨之降低或減緩升溫的現象，以鋼板較為明顯，建議後續可增加實驗組數以觀察其相對關係。

成果證實若對既有屋面進行降溫，以瓦片的降溫效果為最明顯，表面溫度可降低 21.8°C，箱內降低 11.3°C，但其受日照升溫影響較大，因此瓦片在同一灑水環境下，其箱內溫度不為最低，而是以板岩 35.8°C 為最低溫，能使耗能降到最小。

另發現若在高溫低濕的環境下灑水有助於減緩箱內升溫，此現象以鋼板最為明顯，本研究仍有許多須改進之處，且可改以接觸式測溫儀測量表面溫度，以免受太陽日照的影響增加誤差，並增設箱內表面溫度測量點及日射量的量測，以利判斷時滯效應影響，本實驗或許因規模較小，各材料時滯時長變動大，僅能比較出瓦片時滯效應較長，無法確切驗證各材料之時滯效應。

五、參考文獻

1. 經濟部水利署，自來水生活用水量統計。
2. 經濟部水利署，雨水貯留利用系統規劃設計手冊。
3. 方煒，台大農機系，設施生產自動化技術，第五章 溫室降溫方法，<http://140.112.183.23/Hort/Chap05.htm>
4. 曾筱霽，「不同屋頂降溫系統對室內溫度影響—以水池、噴霧、灑水為例」，2011，朝陽科技大學。
5. 馮丁樹，1998，「種苗生產自動化」，《技術專輯》，第三期，第 98004 號。
6. 賴榮平、林憲德、周家鵬，1991，《建築物理環境》，六合出版社。