

專 論

農產品冷藏庫冷凍負荷實例研究

A Case Study of Refrigeration Loads of Farm Product Cold Storage

國立台灣大學農機系教授

陳 貽 倫

Yi-Luen Chen

摘 要

本文為北加州兩座冷藏庫冷凍負荷之個案研究，負荷百分比計算結果如下：

1. 由庫房外牆、屋頂、地坪傳入之熱，7~18.5%；
2. 因空氣滲漏傳入之熱，0.3~3.7%；
3. 產品熱，25~42%；
4. 庫內燈光、機械、人員之熱，2~3%；
5. 風機熱，44~52%。

冷藏庫之電力尖峯負荷在預冷作業期；預冷期之電力負荷為貯藏期之5倍以上。在預冷作業期，整個冷藏設施之性能效率係數約為0.4。

Abstracts

The refrigeration loads of two cold storages at Northern California have been studied. The calculated loads are as follows in percentages of total load:

- 1) Heat transmission gain through walls, ceiling, and floor, 7~18.5%;
- 2) Air infiltration through refrigerator doors, 0.3~3.7%;
- 3) Heat from the product to be refrigerated, 25~42%;
- 4) Heat from lights, folklifts, and people, 2~3%;
- 5) Heat generated by fans, 44~52%.

The peak refrigeration loads occurred during the precooling operation, when the load can be as 5 times or more as needed during storing.

The COP, Coefficient of Performance, which is heat taken from the product divided by total electrical energy used, was found to be about 0.4 during the precooling period for the whole cold storage facility.

一、前 言

據產銷情形調查，國內果蔬之供應不是患不足，而是患供時不均。冷藏為保持果蔬新鮮、調節供需、減少損失、維護產銷雙方利益之最佳途徑之一。目前，本省各地均已建有食品冷藏庫之建立，各冷藏庫所貯藏之果蔬種類繁多，計有胡蘿蔔、胡瓜、

馬鈴薯、洋葱、甘藍、毛豆、敏豆、豌豆、皎白筍、結球白菜、薑、蘆筍、洋菇、木耳、梨、蘋果、水蜜桃、荔枝、香蕉……等。據調查：在裝備技術方面，一般冷藏庫內風速不夠、溫濕度不均、絕熱不良、缺自動加濕裝置；在使用方面，一般冷藏庫大部分以出租方式包給顧客使用，顧客為充分利用，往往果蔬貨品進出頻繁、庫內堆積擁塞，以致嚴

重影響冷藏效果。在冷藏庫業主之立場，其最關切者是電費之負擔，他們幾乎一致聲稱：電費不勝負擔、經營困難^{1,2}。

冷凍機械為冷藏庫之主要裝備，電費為其必要之支出。問題是：可否節約支出？在何處節約？解答這問題之先，冷藏庫之各項冷凍負荷需先予計算，然後分析考慮是否各項負荷各別有無緊縮之可能。本文為北加州二座農產品冷藏庫冷凍負荷實例分析。

二、冷藏庫調查概況

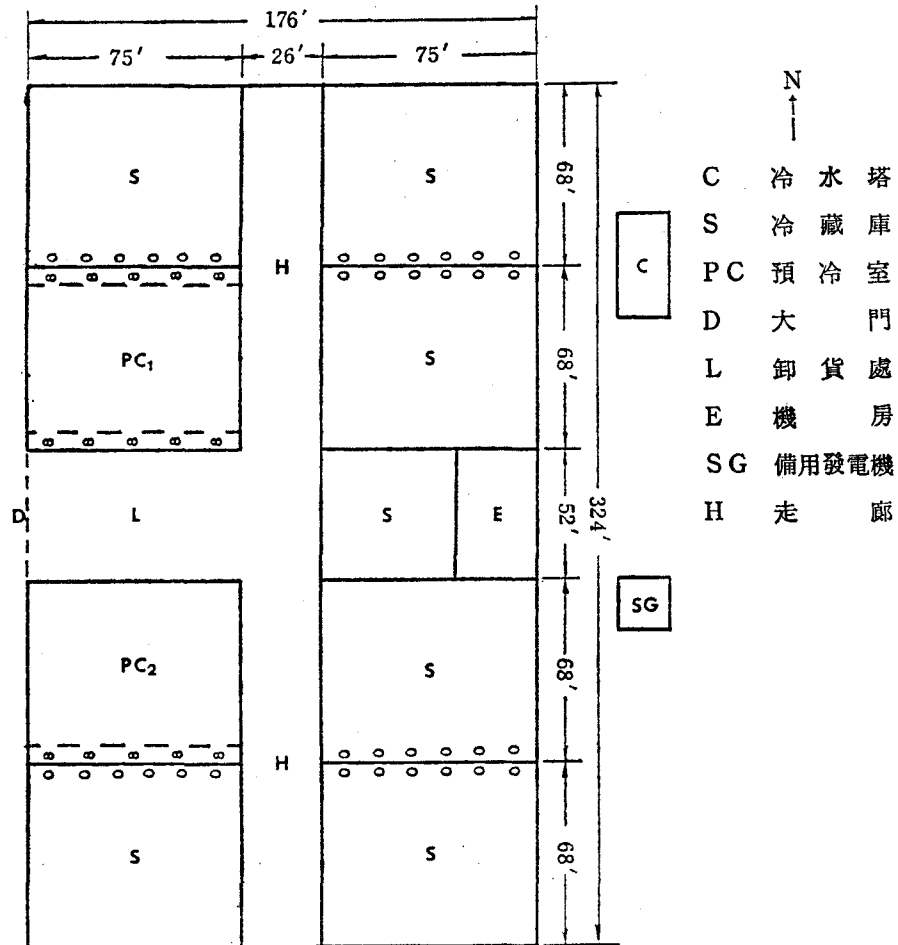
Lomo 冷藏庫

Lomo 冷藏庫位於加州 Yuba 市北部，庫房佔地 1,600 坪 (57,000 ft²)，為一平頂長方形建

築，高 25 英尺。內部除裝卸處理工作空間外，分 10 間：預冷室 2 間、冷藏室 7 間、機房 1 間。其配置如圖一。

預冷室 PC₁ 之兩牆及預冷室 PC₂ 之一牆配置有預冷風機。每牆有 5 馬力軸流式風機共 10 臺，上下各 5 臺。上列 5 臺風機均具二速，在預冷作業時，使用高速，待預冷作業完畢，預冷室可充作冷藏室，這時風機換低速運轉。下列 5 臺風機為供回流之用。

除一小間冷藏室外，其他 6 間冷藏室每間佔地 144 坪 (5,100 ft²)。每間有 5Hp 風機 6 臺，均具二速，在一般冷藏作業時，三臺高速運轉，其餘三臺低速運轉。



圖一 Lomo 冷藏庫平面配置

冷凍機械裝備與能量：

名 稱	數 量	總馬力 (Hp)
8缸Vilter壓縮機，每台150Hp	4	600
6缸Mycom 壓縮機，每台50Hp	1	50
250W 高壓鈉蒸汽燈，每室5盞	42	14 (10,500W)
預冷室風機，每台5Hp	30	150
冷藏室風機，每台5Hp	39	195
冷凝器水邦浦，每台5Hp	2	10
冷凝器風機，每台15Hp	2	30
除霜水邦浦（每天運轉20小時）	1	5
其 他 邦 浦		4
計		1,058

堆高機，6,000 lb	2~5台
3,000 lb	1~2台

一般調查：

- 1.使用熱水除霜，熱水貯於地下水槽，每天定時自動除霜一次。
- 2.冷媒為 NH₃；進氣壓保持在 45 psi (30°F)
- 3.有一臺 250kw 發電機備用，以應付尖峯負荷。
- 4.150 Hp 壓縮機之負荷可分四階段——25%，50%，75%，100%。

1985年 Lomo 冷藏庫業務及用電紀錄：

月 份	貯 藏 物 品 及 數 量	用電 (kwh)
1	野稻 500箱*；Kiwifruit 250,000 Flats**，散裝500噸；	140,800
2	野稻 500箱；Kiwifruit 175,000 Flats，散裝400噸；樹苗5,000 ft ²	134,080
3	野稻 400箱；Kiwifruit 100,000 Flats，散裝250噸；樹苗5,000 ft ²	126,880
4	野稻 100箱；Kiwifruit 25,000 Flats，散裝50噸；樹苗5,000 ft ²	77,120
5	野稻20箱；樹苗 5,000 ft ²	46,560
6	野稻20箱；樹苗 2,500 ft ²	29,600
7	野稻250箱；預冷瓜、桃、梨、葡萄等29,116噸	145,600
8	野稻350箱；短期貯藏5,539噸；預冷4,000箱（每箱20磅）	316,800
9	野稻500箱；短期貯藏15,444噸；預冷1,100噸	196,800
10	野稻500箱；Kiwifruit 527,000 Flats，散裝1,500噸	196,160
11	野稻500箱；Kiwifruit 572,000 Flats，散裝1,000噸	223,360
12	野稻500箱；Kiwifruit 512,000 Flats，散裝500噸	166,720
1985年 計		1,800,480
*** 電費共計 U\$149,239.00		

* 每箱容積 4'×4'×4'.

** Flat: 平木條箱 1 Flat 內裝 Kiwifruit 7 磅，本身重約 2 磅。

*** 電費每度 U\$0.075~0.093.

5.濕度可控制在95%。

6.室內溫度控制在 35°F 以下。

7.冷藏庫建築物屋頂：鐵皮、白色反光漆，5½" Polyurethane 絕熱板。

8.混凝土外牆：3" Polyurethane 絕熱板，R = 24~25，淺色漆。

9.內牆：8" 玻璃纖維。

10.地坪：混凝土，無絕熱。

11.貯藏產品種類：梨、桃、Kiwifruit、野稻 (Wild Rice)、樹苗、Cantelopes、梅、李等。

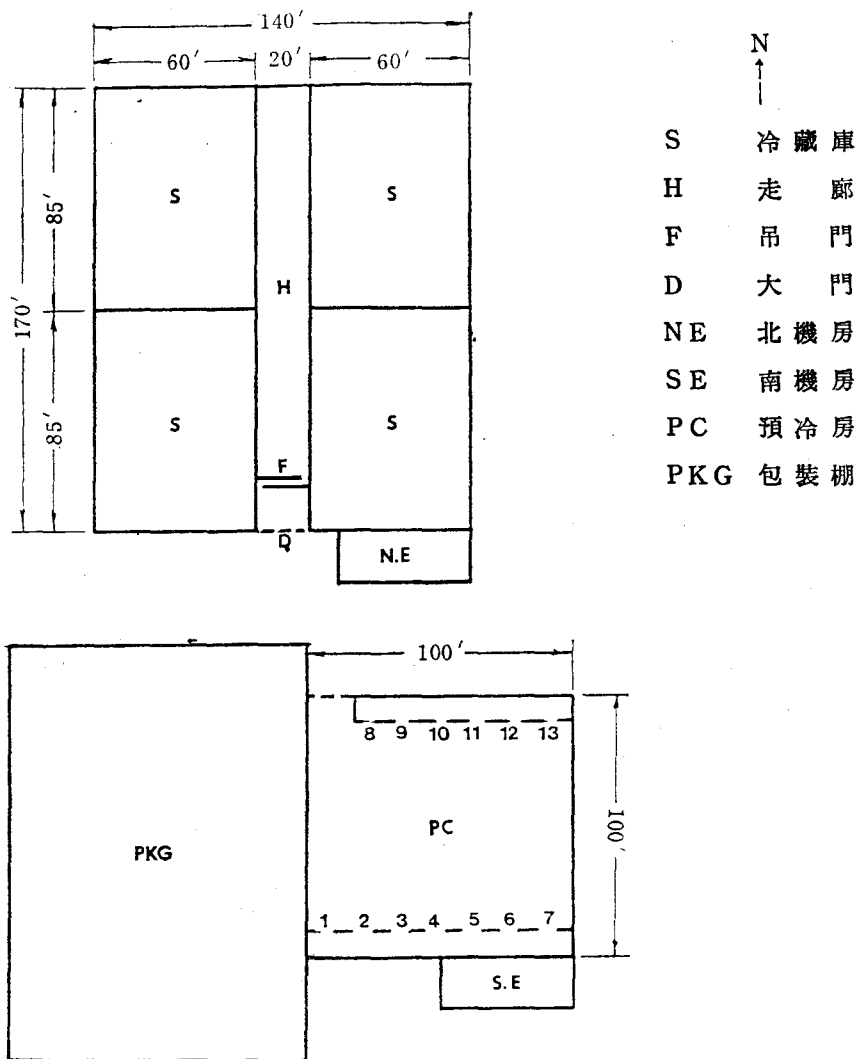
12.1985年 Yuba 市氣溫紀錄

月 份	最高°F	最低°F	平均°F
1	50.9	35.7	43.3
2	64.8	40.8	52.8
3	64.1	40.6	52.4
4	—	—	—
5	82.7	52.9	67.8
6	94.7	63.1	78.9
7	98.0	66.0	82.0
8	92.9	60.1	76.5
9	83.8	57.3	70.6
10	78.1	51.1	64.6
11	59.1	41.6	50.4
12	48.4	35.9	42.2

Alex Thomas Co. 冷藏庫

Alex Thomas 冷藏庫位於加州 Ukiah 市。公司廠房包括：包裝廠棚、預冷廠房、和冷藏庫，如圖二。其業務為包裝、預冷、和冷藏，其業務產品對象只一種：當地產加州梨。1985年營運，包

裝 11,900公噸、預冷及冷藏各 10,900公噸。每年七月收穫季，廠房機械開始運轉。包裝預冷完畢之產品，部分陸續運銷市場，其餘入冷藏庫貯存。至十月份，出清庫存。全年營運作業時間約四個月。



圖二 Alex Thomas Co. 冷藏庫平面配置

預冷廠房佔地10,000平方英尺；牆高40英尺；屋頂白漆；牆與屋頂均使用6英寸玻璃纖維絕熱；房內有13條風道（Tunnel）——北邊6道，南邊7道——供預冷之用。但當預冷作業全部作完之後，預冷廠房也可當作冷藏庫房。

南邊7風道有6臺20馬力之軸流式風機及4臺15馬力之離心式風機；北邊6風道有7臺20馬力之

軸流式風機。預冷風機共有320馬力。

冷藏庫佔地23,800平方英尺，分四間；牆高40英尺，天花板高26英尺，天花板至屋頂12英尺；屋頂白漆；使用6英寸噴射附着之Urethane絕熱；由16臺10馬力之風機提供冷風循環。

南機房有2臺40馬力往復式冷媒壓縮機；一臺200馬力往復式冷媒壓縮機，供應預冷廠房南邊7

個風道所需之冷風。北機房有 2 臺 125 馬力往復式冷媒壓縮機，1 臺 350 馬力螺旋式冷媒壓縮機，供應北邊 6 個風道及冷藏庫所需之冷凍需要。

總計預冷廠房與冷藏庫所用風機馬力共 480Hp；冷媒壓縮機馬力共 880 Hp。

一般調查：

1. 壓縮機冷媒使用 R-22；不用 NH₃ 之原因為避免洩漏引起之安全問題。
2. 預冷作業時，每天除霜兩次，每次需時 15 分鐘；使用井水除霜。
3. 預冷廠房有 6 盞 200 瓦特之電燈；冷藏庫有 15 盞 200 瓦特之電燈。
4. 產品包裝分兩種：一為紙箱裸裝 (Tight Fill)，每箱約 35 磅；一卡車裝 900 箱；一為紙箱包紙裝 (Wrapped)，每箱 44 磅，一卡車裝 720 箱。後者之包裝使產品多一層保護，減少擦傷，惟需較長之預冷時間；前者需時平均 14 小時；後者 25 小時。
5. 業主擁有 4,000 磅能量之堆高機 9 臺，在預冷作業時，有 4 臺在預冷廠房工作，每天工作 10 小時；另有 5 臺在冷藏庫工作，其中 2 臺每天工作 20 小時，其他 3 臺每天工作 10 小時。預冷作業完畢後，剩冷藏作業時，只需 5 臺堆高機，每臺每天工作 5 小時即可。
6. 1985 年預冷作業時，每天工作 24 小時，每週工作 6 天。
7. 業主願知：如何能增加現有設備之冷卻能量，及如何能節約用電。
8. 1985 年預冷廠房各風道使用時數*：

第 1 風道	482.2	第 8 風道	382.35
第 2 風道	486.3	第 9 風道	461.45
第 3 風道	415.3	第 10 風道	470.25
第 4 風道	480.6	第 11 風道	436.6
第 5 風道	436.3	第 12 風道	474.35
第 6 風道	394.65	第 13 風道	450.65
第 7 風道	342.55		

* 各風道可供使用之最高時數為 $24 \times 30 = 720$ 小時。

9. 1985 年營運期當地氣溫紀錄

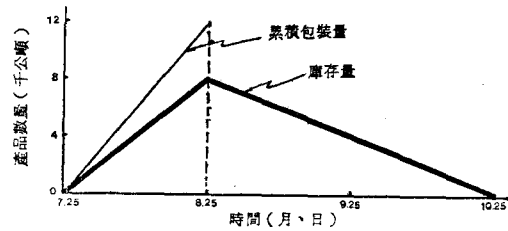
時間	每日最高氣溫平均	每日最低氣溫平均
7 月 25 日 ~ 8 月 23 日	85.1	51.7
9 月 1 日 ~ 9 月 30 日	76.7	48.1

10. 每年開工初期，包裝能量速度與送貨能量速度之比約為 3/1；即俟包裝預冷作業完畢時，約有 2/3 產品留在冷藏庫，此後陸續出清，圖三。

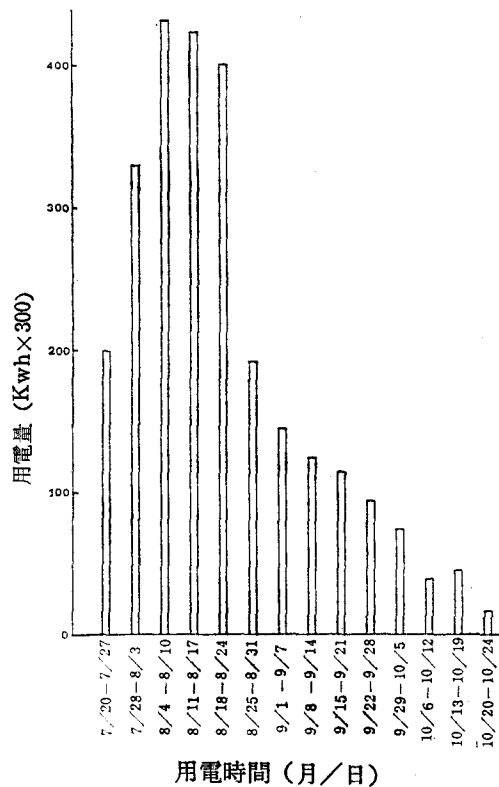
11. 1985 年營運期每週用電統計，圖四。

12. 在包裝預冷期，其每日作業量與每日耗電量之關係如圖五。

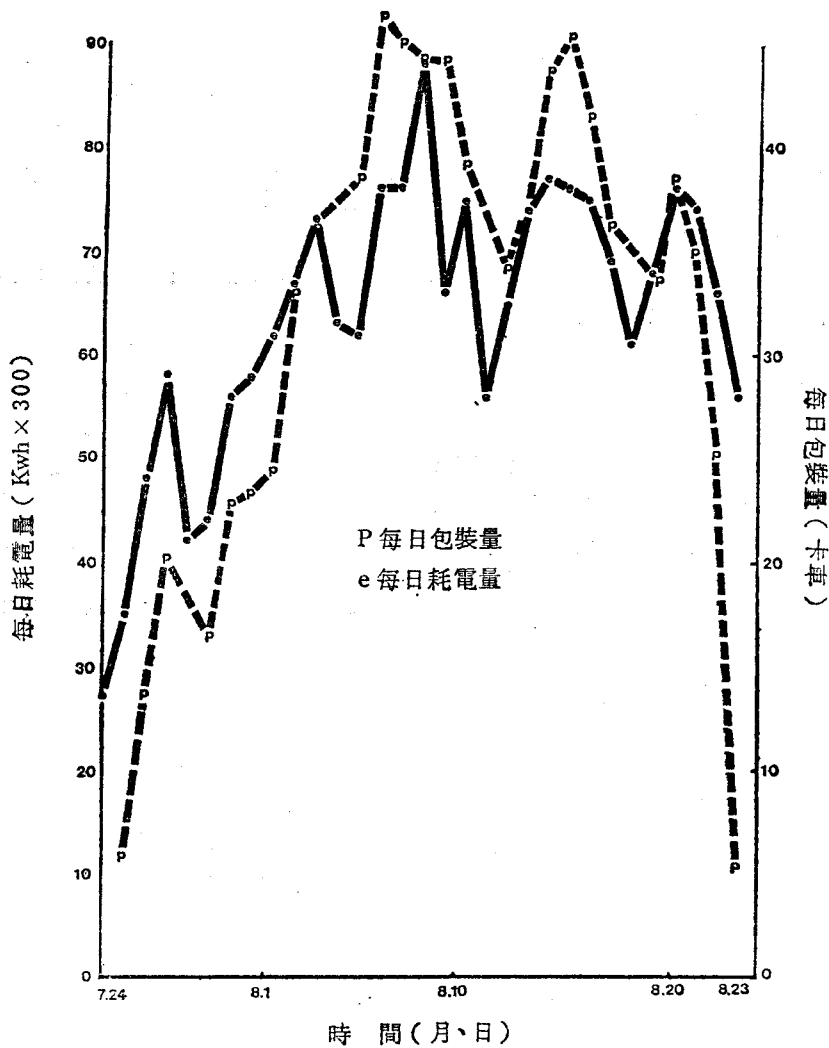
13. 預冷期，冷風通過冷媒蒸發器及產品之壓力降各約為 0.76 公分及 1.8 公分水柱。



圖三 Alex Thomas Co. 冷藏庫庫存量變化，1985



圖四 Alex Thomas Co. 冷藏庫 1985 年營運期每週用電統計



圖五 包裝預冷期 Alex Thomas 公司每日包裝量與每日耗電量變化

三、冷凍負荷計算

冷凍機械之作用為排除冷藏庫內之熱量，維持所需低溫狀況。冷藏庫內之熱量來自五方面^{4,5}：
 (1)庫外之熱經由屋頂、外牆及地坪傳入；(2)庫外之熱經由出入口藉空氣交換而滲入；(3)農產品降低本身溫度並維持其在貯藏溫度所排出之熱；(4)庫內人員、機械、燈光在操作時所排放之熱；(5)風機產生之熱。

Lomo 冷藏庫負荷計算：

冷藏庫之負荷大小與周遭環境之條件，所貯農產品之種類、進出倉之頻率等因素有關。此點可由1985年 Lomo 冷藏庫業務及用電紀錄上充分反應

出來。各月份間差距相當大。十月份有大批Kiwi-fruit 進庫貯存，並有預冷作業，其負荷項目比較完全，冷凍機械也得有機會充分運轉，因此，選擇該月作各項冷凍負荷之計算。

1.由屋頂傳入之熱

$$\text{屋頂面積 } A = 176' \times 324' = 57024 \text{ ft}^2$$

$$1/K = 6.25$$

$$R = 6.25 \times 5^{1/2} = 34.4$$

$$\text{熱傳係數 } U = 1/R = 1/34.4 = 0.029$$

$$\text{Btu/h-ft}^2\text{-F}$$

$$\text{戶外平均氣溫 } t = 65^\circ\text{F}$$

$$\text{庫內氣溫 } t_i = 34^\circ\text{F}$$

$$\text{日晒效果 } S = 9^\circ\text{F}$$

設計溫差 $\Delta T = (t - t_i) + S = (65 - 34) + 9 = 40^\circ\text{F}$

熱量傳入 $Q_1 = UA\Delta T = 0.029 \times 57,024 \times 40 = 66,148 \text{ Btu/h}$
 $= 19.4 \text{ kw} = 14,420 \text{ kwh/31day}$

2. 由南牆傳入之熱

南牆面積 $A = 176 \times 25 = 4,400 \text{ ft}^2$

$R = 25$ (業主提供數據)

熱傳係數 $U = 1/R = 0.04 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-F}$

日晒效果 $S = 4^\circ\text{F}$

設計溫差 $\Delta T = (65 - 34) + 4 = 35^\circ\text{F}$

熱量傳入 $Q_2 = UA\Delta T = 0.04 \times 4,400 \times 35 = 6,160 \text{ Btu/h}$
 $= 1.8 \text{ kw} = 1,343 \text{ kwh/31 day}$

3. 由北牆傳入之熱

北牆面積 $A = 176 \times 25 = 4,400 \text{ ft}^2$

$R = 25$

熱傳係數 $U = 0.04 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-F}$

設計溫差 $\Delta T = 65 - 34 = 31^\circ\text{F}$

熱量傳入 $Q_3 = UA\Delta T = 0.04 \times 4,400 \times 31 = 5,456 \text{ Btu/h}$
 $= 1.6 \text{ kw} = 1,190 \text{ kwh/31 day}$

4. 由東西牆傳入之熱

東西牆面積 $A = 324 \times 2 \times 25 = 16,200 \text{ ft}^2$

熱傳係數 $U = 0.04 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-F}$

日晒效果 $S = 6^\circ\text{F}$

設計溫差 $\Delta T = (65 - 34) + 6 = 37^\circ\text{F}$

熱量傳入 $Q_4 = UA\Delta T = 0.04 \times 16,200 \times 37 = 24,000 \text{ Btu/h}$
 $= 7.0 \text{ kw} = 5,230 \text{ kwh/31 day}$

5. 由地坪傳入之熱

地坪面積 $A = 57,024 \text{ ft}^2$

熱傳係數 $U = 0.1 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-F}$

全年平均溫度 $t = 62.5^\circ\text{F}$

設計溫差 $\Delta T = 62.5 - 34 = 28.5^\circ\text{F}$

熱量傳入 $Q_5 = UA\Delta T = 0.1 \times 57,024 \times 28.5 = 162,520 \text{ Btu/h}$
 $= 47.6 \text{ kw} = 35,428 \text{ kwh/31 day}$

6. 因空氣滲漏進入之熱

每間冷藏室容積 $V = 68 \times 75 \times 25 = 127,500 \text{ ft}^3$

，對長期貯藏之大冷藏庫而言，經由門之滲漏損

失為 $0.0001 \text{ Btu/h-ft}^3\text{-F}$ ，設其總滲漏熱量為 Q_6 ，則

$Q_6 = 0.0001 \times (57,024 \times 25) \times (65 - 34) = 4,420 \text{ Btu/h} = 1.3 \text{ kw} = 967 \text{ kwh/31 day}$

7. 產品熱

十月份之主要貯藏產品為Kiwifruit，進庫總量 $W = 7,216,000 \text{ lbs} = 3,608 \text{ 噸}$

比熱 $C = 1.0$

溫差 $\Delta T = 65 - 34 = 31^\circ\text{F}$

品溫降低排放之熱

$Q_A = WC\Delta T = 7,216,000 \times 1.0 \times 31 = 2.24 \times 10^8 \text{ Btu} = 65,632 \text{ kwh/31 day}$

其平均放熱速率 = 182 kw (若預冷用時15天)

其平均放熱速率 = 137 kw (若預冷用時20天)

其平均放熱速率 = 88 kw (若預冷用時31天)

Kiwifruit 之呼吸熱相當於葡萄，即

400 Btu/ton-day

故其呼吸熱

$Q_B = 400 \times 3,608 / 24 = 60,133 \text{ Btu/h}$
 $= 17.6 \text{ kw} = 13,108 \text{ kwh/31 day}$

總產品熱

$Q_7 = Q_A + Q_B = 65,632 + 13,108 = 78,740 \text{ kwh/31 day}$

8. 野稻灌水所放之熱

野稻 (Wild Rice) 貯量有 500 箱，在十月份之前已在庫中，其呼吸熱無資料可供計算，惟其每月需灌水一次，每次水量約 600,000 lbs，水溫 56°F ，故

水放出之熱

$Q_8 = 600,000 \times 1.0 \times (56 - 34) = 13,180,000 \text{ Btu/31 day} = 3,860 \text{ kwh/31 day}$

放熱速率 = $3,860 / 24 = 160 \text{ kw}$ (若水之冷卻過程需24小時)

9. 燈光熱

業主稱：在十月份，庫內燈光之使用時間為每天 12 小時。因此，

燈光熱 $Q_9 = 0.25 \times 12 \times 42 \times 31 = 3,906 \text{ kwh/31 day}$

用燈時之功率 = $0.25 \times 42 = 10.5 \text{ kw}$

10. 工作人員體熱

設庫內工作人員 10 名，每天工作 8 小時，每月工作 25 天，每人體熱為 900 Btu/h，故

人員體熱

$$Q_{10} = 900 \times 10 \times 31 = 279,000 \text{ Btu/31 day} = 0.3 \text{ kw} = 61.4 \text{ kwh/31 day}$$

11. 堆高機產生之熱

業主稱：十月份有三臺堆高機同時操作，每天工作7小時，據 Bill Thomas 氏報告⁸，一臺5,000 lb 載重之電動堆高機，每天耗電36 kwh。故，堆高機產生之熱

$$Q_{11} = 36 \text{ kwh} \times 3 \times 31 = 3,348 \text{ kwh/31 day}$$

使用時之功率消耗 = $36/7 \times 3 = 15.4 \text{ kw}$

12. 庫內風機產生之熱

業主稱：在十月份，預冷室內之風機每天均24小時運轉。每間冷藏室則有三臺高速運轉，另三臺低速運轉。因此，假設在十月份庫內風機是以最大容量之70%運轉。今5馬力之馬達，每馬力每小時產生之熱量為3,100 Btu，故風機之熱

$$Q_{12} = 3,100 \text{ Btu/h} - \text{hp} \times 5 \text{ hp} \times 69 \times 70\% = 748,650 \text{ Btu/h} = 219 \text{ kw} = 162,940 \text{ kwh/31 day}$$

表一為以上計算結果之數據。

表一 Lomo 冷藏庫十月份各項冷凍負荷比較

1985

冷 凍 負 荷 項 目	功 率 (kw)	總 負 荷 (kwh/31day)	負 荷 百 分 比 (%)
I 經由屋頂、外牆、地坪傳入之熱	77.4	57,610	18.5
1. 由屋頂傳入	19.4	14,420	}
2. 由南牆傳入	1.8	1,340	
3. 由北牆傳入	1.6	1,190	
4. 由東西牆傳入	7.0	5,230	
5. 由地坪傳入	47.6	35,430	
II 6. 空氣滲漏熱*	1.3	967	0.3
III 7. 產 品 熱	105.6	78,738	25.3
8. 野稻灌水所放之熱	—	3,860	1.2
IV 庫內人員、機械、燈光之熱		7,309	2.4
9. 燈 光	5.2	3,900	}
10. 體 熱	0.3	61	
11. 堆 高 機	15.4	3,348	
V 12. 風 機	219.0	162,940	52.3
計		311,424	100.0
同時期之用電量		196,160 kwh	

* 因計算之參考資料來源不同，所得結果有相當差距，此表所列之數字也許估計偏低⁸。

Alex Thomas Co. 冷藏庫負荷計算：

它是一座專門為包裝、預冷、冷藏加州產梨之冷藏庫，一年營運至多四個月。七、八月間為收穫季節，包裝和預冷均在此時進行，為營運最繁忙時期。九月以後，包裝預冷均已作完，部分產品也已運銷市場，剩下冷藏業務，其工作業務量有顯著之

差別，故分兩個時期分別計算其冷凍負荷，以瞭解在預冷作業和貯藏作業時，各項冷凍負荷分配之情形，第一個時期為自7月25日至8月23日，共30天；第二個時期為9月1日至9月30日，共30天。表二為計算之結果。

表二 Alex Thomas Co. 冷藏庫冷凍負荷計算結果

負 荷 項 目	負 荷 計 算 量			
	7/25~8/23 kwh/30 day	%	9/1~9/30 kwh/30day	%
I 由庫房上下四周傳入之熱	40,000	7.3	15,700	15.7
由屋頂傳入	9,656		5,070	
由南牆傳入	2,450		970	
由北牆傳入	2,320		910	
由東牆傳入	2,856		} 2,510	
由西牆傳入	2,700			
由地板傳入	20,300		14,300	
II 因空氣滲漏傳入之熱	20,000	3.7	4,900	3.3
III 產 品 熱	230,000	42.2	43,200	28.6
降 溫	(172,000)			
呼 吸	(58,000)			
IV 庫內機械、燈光之熱	14,500	2.6	3,200	2.1
堆 高 機	(11,500)		2,600	
燈 光	(3,000)		600	
V 風 機	241,000	44.2	76,000	50.3
計	545,500	100.0	151,000	100.0
同時期之用電量	582,600		171,300	

四、討論與結論

A. 一般

冷藏庫內之冷凍負荷來自五方面，據本文三例之計算，五類熱源中之最大項為風機產生之熱。因冷藏庫或預冷室內風機所耗之電力最終皆轉為熱能形態而成冷凍機之負荷。三次計算中，風機負荷分別各佔全負荷之 52.3%，44.2% 及 50.3%。

冷藏庫內風機之功能有二：(1)使空氣循環並迫使回流之空氣通過冷媒蒸發熱交換器，降低其溫度；(2)將降溫後之空氣吹送至冷藏庫空間，均勻分配至每一角落。在冷卻過程中（指室內冷卻），吹送至所貯農產品包裝四周之適當風速為 1~2 公尺/秒。待所貯農產品冷卻後，風速可降為 0.05~0.1 公尺/秒。風量不及或風速太低固然不足構成充分冷藏條件，風量太大，風速過高也徒增其電力消耗。

較室內冷卻方法速度快者為強制風冷。在強制風冷中，冷風通過包裝箱之透風孔及產品間空隙，所需風壓與產品種類、包裝方法、包裝透風孔面積大小、產品置堆排列及風量大小有關，可大於 10 公

分水柱，可小於 1/4 公分水柱。回流冷風通過冷媒蒸發器也有壓力降，此壓力降與蒸發器冷媒管排列、設計及通過風量大小有關。

在冷藏時，產品熱佔總負荷之 25%，純為呼吸熱。在預冷時，產品熱佔 42%，其中降溫佔 3/4、呼吸熱佔 1/4，此項負荷乃必須之消耗，是冷藏之目的。惟在進庫前，應儘量避免產品日晒並選擇收穫包裝時間，如此可降低產品進庫前之品溫，從而減少其降溫所需之電力。若此項產品熱除以同時期所耗費之電力定義其為該設施之性能效率係數，則兩座冷藏庫在預冷作業期之效率係數均為 0.4。

經由冷藏庫外牆、屋頂、地坪傳入之熱佔總負荷 7~18.5%。其中大部分是由地坪和屋頂傳入。所調查之兩座冷藏庫地坪皆無絕熱設計，此說明何以由地坪傳入之熱佔此項負荷之 50% 以上。使用良好之絕熱建材，外牆屋頂之白色反光漆可大量阻擋外熱傳入。

堆高機為冷藏庫之必要工具，所調查二冷藏庫皆採用電動堆高機，在負荷計算中僅佔總負荷之 1.1%。但是，如採用內燃機引擎作為動力，則此項負荷將升高為 5%。內燃機作動力之堆高機排放

廢氣中之乙炔不利某些農產品之貯存。

因所根據之基本資料來源不同，空氣滲漏計算之結果可有很大的差別。事實上，冷藏庫大門之構造、數量、進出頻率對空氣滲漏有很大的影響。

B. 有關 Alex Thomas Co. 冷藏庫

該冷藏庫之冷媒壓縮機能量為 880 Hp，總電力約 1,420 Hp。9 月 1 日至 9 月 30 日為冷藏初期，貯藏產品約為全部包裝量之半。9 月份之耗電量為 171,300 kwh，平均消耗功率約為 240 kw。7 月 25 日至 8 月 23 日為包裝預冷期。此 30 天之耗電量為 545,100 kwh，平均消耗功率為 757 kw。根據每日電表紀錄，8 月 8 日為耗電最多之日，計 26,400 kwh，平均消耗功率 1,100 kw。

比較上述各數字及調查資料可知：

1. 以月份論，自 7 月 25 日至 8 月 23 日為收穫、包裝、預冷期，此 30 天之冷凍負荷最大、耗電最多。以單日計算，則在 8 月 8 日耗電最多，已達尖峯負載，除此日之外，其他諸日冷凍負荷皆在滿載之下。
2. 如以 9 月份為典型之冷藏期，7 月 25 日至 8 月 23 日為典型之預冷包裝作業期，而 8 月 8 日之耗電率為尖峯負荷，則冷藏期耗電率為預冷期之 1/3，為尖峯耗電率之 1/5。
3. 圖五之數字顯示：每日耗電量與每日包裝預冷量有比例的關係，據業主稱：1985 年所有包裝量中約有 70 卡車 (1,000 公噸) 因冷凍能量不夠而送

交別家預冷，因此，推知該冷藏庫之每日最大預冷作業能量約在 500 公噸左右。

在預冷房北側有 6 風道和 7 臺 20 Hp 軸流式風機，總送風量 245,000 cfm。每風道之送風量為 $245,000/6=40,800$ cfm。1985 年包裝量共 829.3 卡車，其中 70 卡車在外預冷，自行預冷之產品總量為 $829.3-70\cong 760$ 卡車 = 10,900 公噸 = 24 百萬磅，此等產品分 294 批冷却，每批由一風道負責冷却，每批產品之重量為 $24,000,000 \text{ lb}/294=81,900 \text{ lb}$ 。因此，每磅產品之冷却風量為 $40,800/81,900=0.5 \text{ cfm/lb}$ 。

根據 Mitchell 諸氏 (1972) 梨之強制風冷所需之風量及靜壓如表三，表中顯示：當冷却風量為 0.4 cfm/lb 時，裸梨和紙包梨之 7/8 冷却期各為 6 和 12 小時。但是，該冷藏庫在 1985 年預冷作業時，裸梨和紙包梨之實際作業冷却時間平均各為 14 和 25 小時，與上表所列數字有相當差距，其原因可能為：

1. 據紀錄，1985 年該庫產品在預冷完畢時之品溫為 35°F，而 7/8 冷却後之品溫應為 36°F，故產品已低於 7/8 冷却溫度。
2. 預冷時，產品排列不妥，冷風未全部通過產品。
3. 冷風流程中，流速忽快忽慢，過多亂流，損失動壓和靜壓，以致風量減少，溫度上升。
4. 預冷房中，產品進出頻繁，空氣滲漏太多，預冷房溫度上升。

表三 梨之強制空冷所需之風量及靜壓*

		7/8 冷期所需之時間 (hr)						
		3	4	6	9	12	18	24
裸 梨	風量, cfm/lb	1.0	0.7	0.4	0.2	0.15		
	靜壓, In, H ₂ O		1.8	0.6	0.2	0.09		
薄 紙 包	風量, cfm/lb		2.6	1.3	0.7	0.4	0.22	0.13
	靜壓, In, H ₂ O			4.2	2.1	1.1	0.5	0.25

* 通過三層紙箱之靜壓。如只 1 層，須乘以 0.05；2 層乘 0.3；4 層乘 2.3；6 層乘 7.0。包裝箱之透氣孔大小，排列影響靜壓甚大，故上表靜壓數字僅作參考。

五、誌 謝

本文在行政院國科會科學與技術人員研究及進修計劃下完成，調查工作係與加州州立大學DAVIS分校農工系 James Thompson 氏共同所作，在撰寫過程中，承他提供許多協助，謹誌謝。

六、參考文獻

- ① 陳貽倫，1984，蔬菜預冷。農工學報 Vol. 30, No. 1. pp. 41-53.
- ② 蕭介宗、盧福明、雷鵬魁，1984，臺灣主要蔬菜冷藏方

式之研究和改善工程分析。農工學報 Vol. 30, No. 1, pp. 65-80.

- ③ ASHRAE HANDBOOK 1977 Fundamentals.
- ④ Mitchell F. G., R. Guillou; and R. A. Parsons, 1972. Commercial Cooling of Fruits and Vegetables. California Agricultural Experiment Station Extension Service. Manual 43.
- ⑤ Pita, E. G. 1984. Refrigeration Principles and Systems-An Energy Approach. John Wiley & Sons. Inc., New York.
- ⑥ Thomas, B. A Comparison of Forklift Power Options. Unpublished paper.

承包土木、水利、建築等工程

清 石 營 造 公 司

地 址：宜蘭縣五結鄉上四村福德路25號
電 話：(039) 5 4 9 5 6 5

承包土木、水利、建築等工程

恆 勝 土 木 包 工 業

負責人：吳 阿 圳
地 址：宜蘭縣礁溪吳沙村北門巷49號
電 話：(039) 3 2 6 0 8 1

承包土木、水利、建築等工程

東 成 機 械 廠

地 址：宜蘭縣冬山鄉冬山路三段 606 號
電 話：(039) 5 8 3 3 4 5