

# 2016年科學工業園區廠務技術研討會

## 不斷電系統鉛酸電池活化 再生應用分析

Application Analysis of Lead-acid Battery  
Regeneration for UPS

台灣積體電路製造股份有限公司  
晶圓十二A廠 廠務一部 陳敏睿/賴彥廷



# Outline

一、前言

二、鉛酸電池病因探討

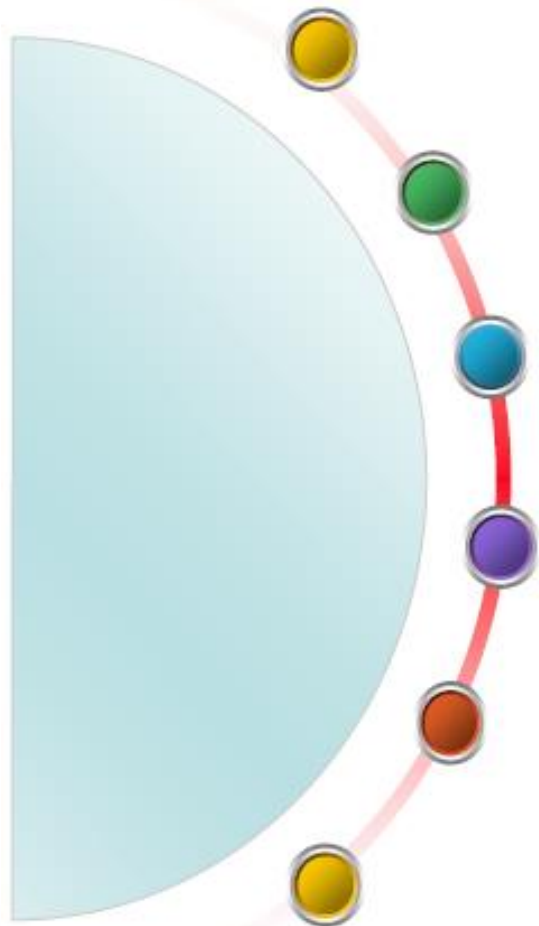
三、鉛酸電池管理手法

四、鉛酸電池再生可行性與方法介紹

五、鉛酸電池再生實驗設計

六、再生效益驗證

七、Q & A



# 前言

- TSMC運用於不斷線系統之鉛酸電池高達二十五萬顆，隨著擴廠速度加快有逐年增加的趨勢
- 依廠區運轉經驗，鉛酸電池使用五年其蓄電力就無法達到放電標準，故編列預算採購全新電池及回收舊電池作業
- 探討蓄電力不足的電池管理手法與再生技術延長使用年限，達到成本減費/汙染減廢之雙重功效之目的。



# 鉛酸電池病因探討

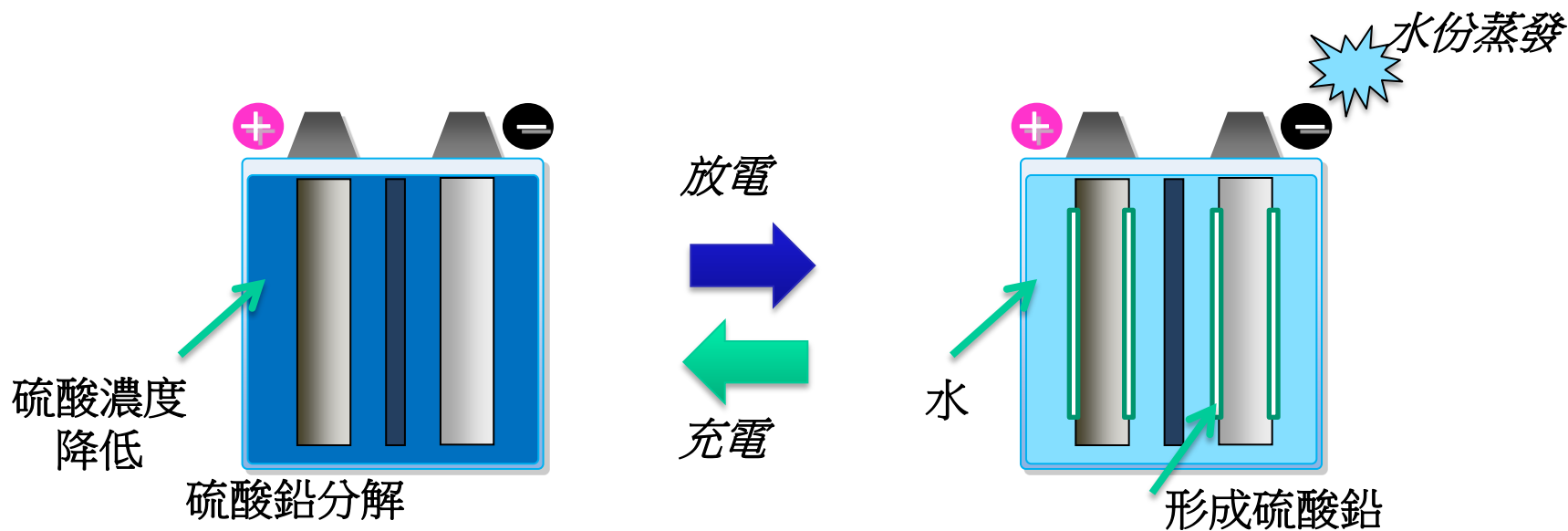
- 電池病因的瞭解，有效對症下藥排除各種疑難雜症與防範。
- 電池常見病因大致可分為下列幾種：



# 鉛酸電池病因探討

## ● 電池電解失水

- 電池充、放電化學反應中，因轉換效率並不完全，使部份水會以氣態形式經由排氣栓排出，使電解液中水分逐漸減少。



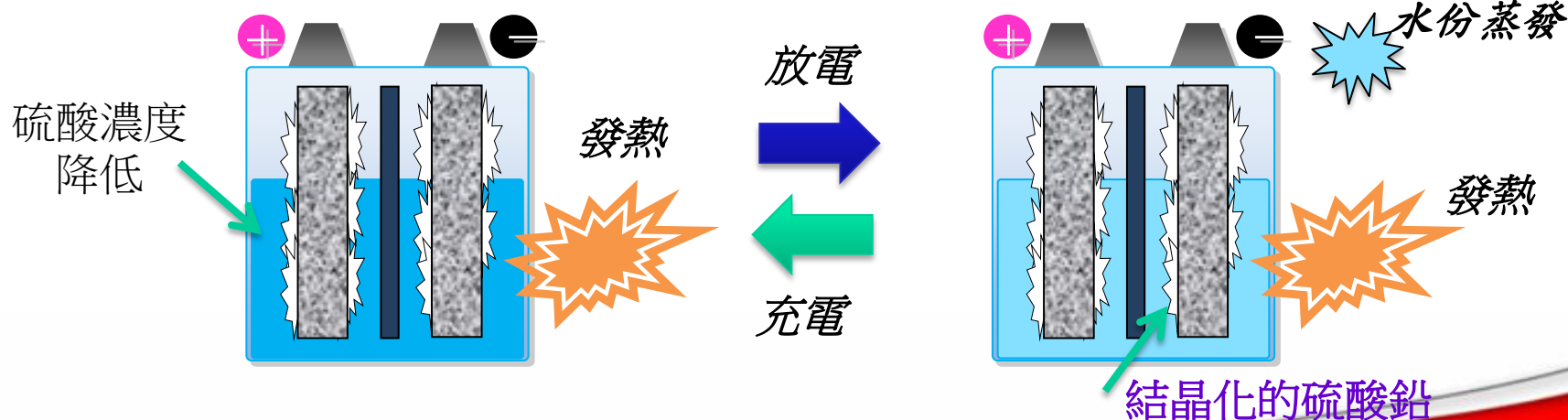
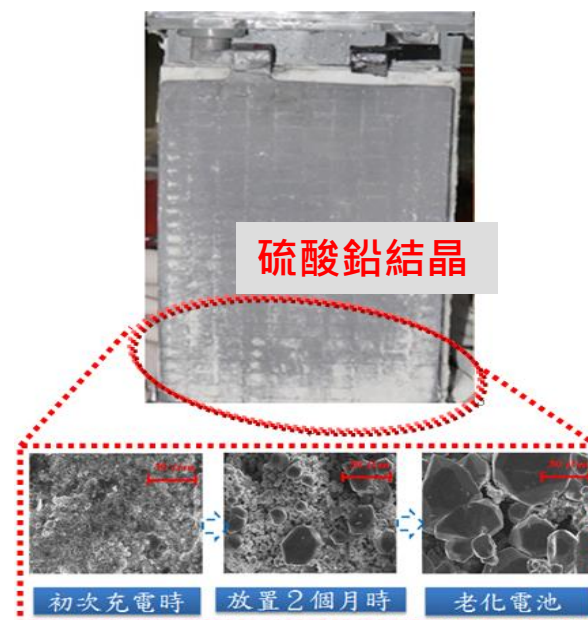
# 鉛酸電池病因探討

## ● 電池硫酸鉛結晶產生原因

- 電池長期充電不足或過放電，負極上就會逐漸形成一種粗大堅硬的硫酸鉛。

## ● 硫酸鉛結晶對電池影響

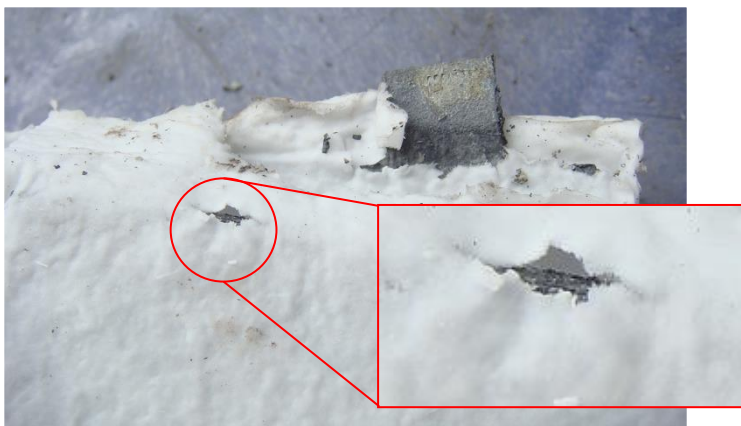
- 硫酸濃度下降，使蓄電能力降低
- 內阻提升，造成電池熱失控



(反覆充放電、過度放電、長期放置)

## 鉛酸電池病因探討

- 電池定電壓充電狀態下，周遭溫度提升會加速電池內部材料的劣化，導致電池壽命縮短；但若低溫充電狀態下會有氫氣產生，使內部壓力增大，亦會導致壽命縮短。



刺穿短路

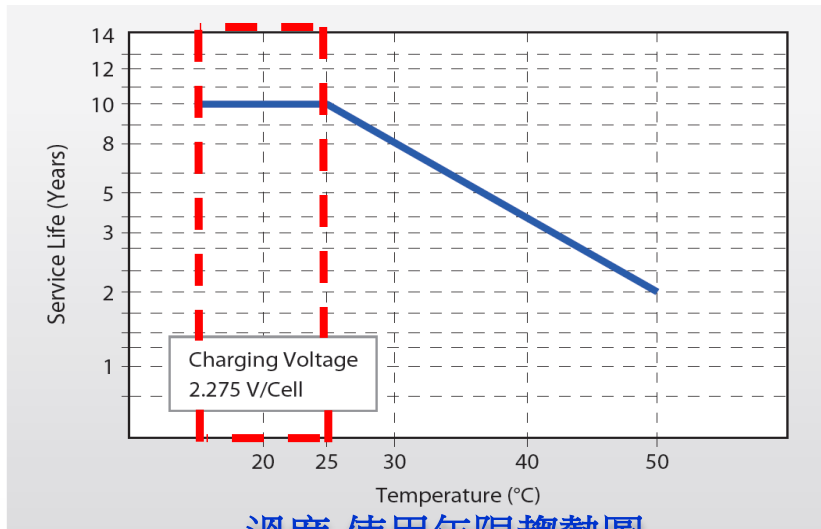


電池極板材料劣化

# 鉛酸電池管理手法

## ● 鉛酸電池管理三部曲『預防』、『診斷』、『治病』

- 預防:電池溫度直接影響使用壽命，目前 10 年級電池的環境溫度條件為 20~25 °C，延長電池使用壽命。
- 診斷: 放電容量檢測
- 治病: 電池再生活化



溫度-使用年限趨勢圖

Date	A-Line					B-Line					
	v1%	v2%	v3%	v4%	v5%	v1%	v2%	v3%	v4%	v5%	
Max	23.2	21.3	21.8	21.0	22.2	21.2	24.1	20.9	23.0	21.1	23.1
Min	21.4	21.1			21.9	20.3	24.1	23.3	22.0		21.0

Date	C-Line					D-Line					
	v1%	v2%	v3%	v4%	v5%	v1%	v2%	v3%	v4%	v5%	
Max	25.0	19.9	22.4	21.4	21.1	23.1	23.4	21.6	21.5	23.2	21.6
Min	26.0		20.9			20.4		21.7	21.1	18.0	21.9



UPS電池箱安裝  
風管



溫度電表

# 鉛酸電池管理手法

## ● <診斷> 電池放電容量檢測

- 依據IEEE-Std 電池容量低於80%可靠度降低，不建議繼續使用，確保系統運行可靠度，將每年對電池作容量檢測。
- 電池全容量檢測對電池壽命損害劇烈，因此採取電壓檢測法作為容量判斷評估依據。

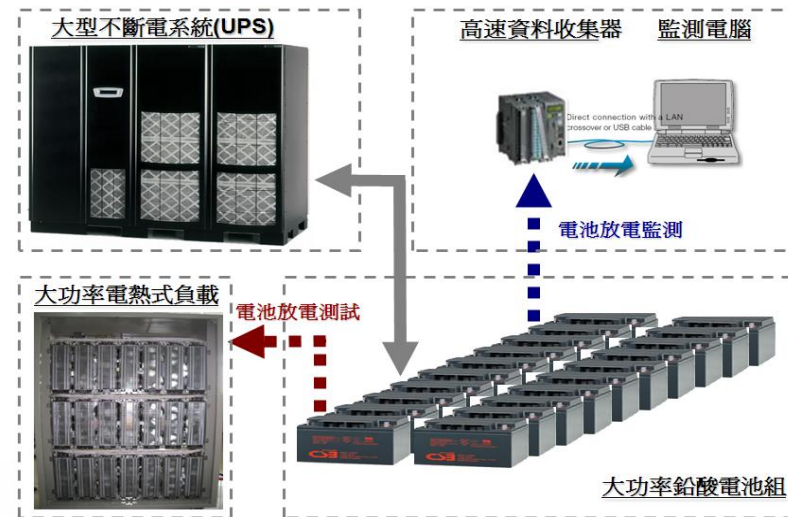
IEEE  
3 Park Avenue  
New York, NY 10016-5997, USA

8 February 2006

### 8. Battery replacement criteria

This recommended practice is to replace a cell/unit or the battery if its capacity, as determined in 7.4, is below 80% of the manufacturer's rating. The timing of the replacement is a function of the sizing criteria used and the capacity margin available, as compared with the load requirements. A capacity of 80% shows that the cell/unit/battery rate of deterioration is increasing even if there is ample capacity to meet the load requirements of the dc system. Other factors, such as unsatisfactory service test results (7.6), or the addition of new load requirements, may require battery replacement. Physical characteristics, such as abnormally high cell/unit temperatures (Annex B), are often determinants for complete battery or individual cell/unit replacements. Reversal of a cell as described in item d) of 7.5 is also a good indicator for further investigation into the need for individual cell/unit replacement. Replacement cell/units, if used, should have electrical characteristics compatible with existing cell/units and should be tested before installation. Individual replacement cells or units are not usually recommended as the battery nears its end of life.

IEEE Std 1188™-2005  
(Revision of IEEE Std 1188-1996)



# 鉛酸電池管理手法

## ● <診斷> 電池放電容量檢測

- 電池使用2C/5min做容量檢測，並以截止電池11.2V作為電池容量判斷標準。
- 選擇使用2C放電作為電量檢測優點
  - ✓ 可確認電池極柱狀況
  - ✓ 確保電池實際2C放電應用中能正常運作

截止電壓標準設定之依據

$$V_{t\_end} = V_{end} \times 0.96$$

$V_{t\_end}$  : 放電測試截止電壓.

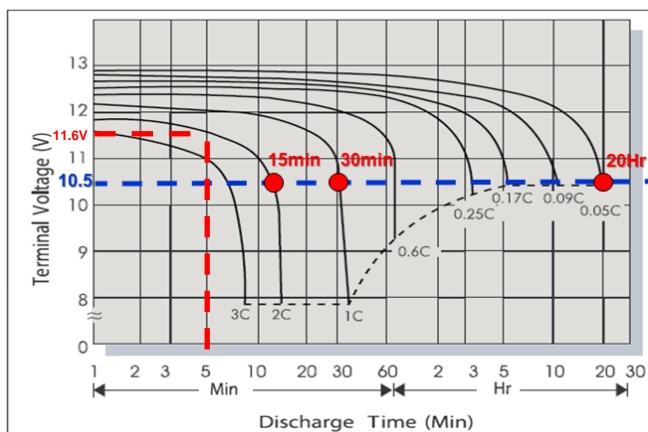
$V_{end}$  : 新電池相同放電條件之截止電壓.

0.96 : 電池容量80%係數值.

Battery discharge test Standard

放電電流	2C
放電時間	5 min
新電池相同放電條件之截止電壓( $V_{end}$ )	11.6V
放電測試電池截止電壓檢測標準	11.2V

Terminal Voltage (V) and Discharge Time (25°C/77°F)



a. 放電測試等效容量計算：

電池容量=電流 x 時間 → 定電流放電測試，電池容量與放電截止時間成正比  
2C放電 100%=15min → 放電 5min =  $(5/15) * 100\% = 33\%$

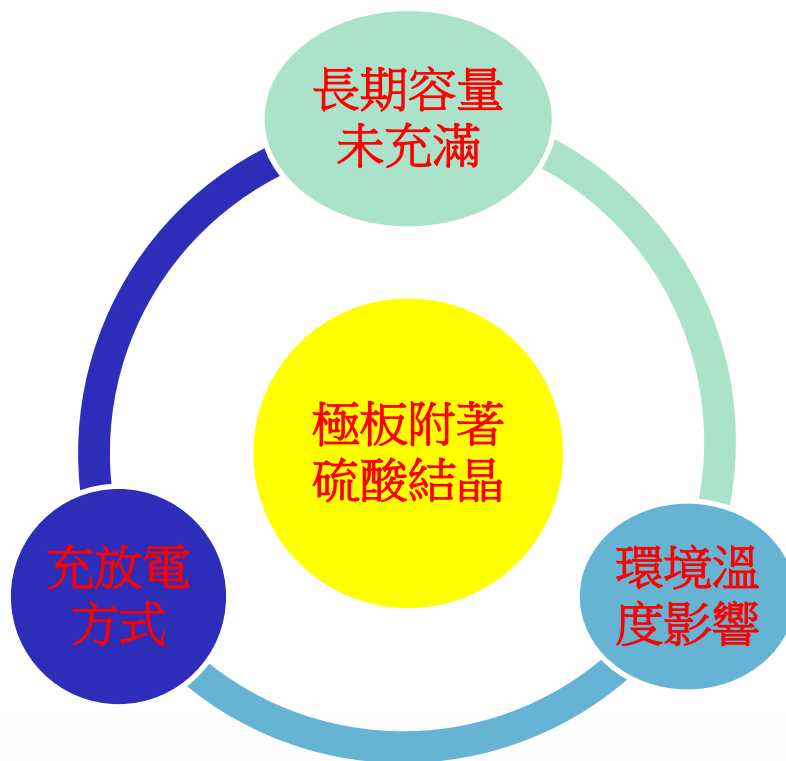
b. 電池容量80%係數值：

放電電壓差1%，電池容量差5% → 放電電壓差4%，電池容量差20%

80%電池容量相當於標準放電電壓的 96%，等效係數即為0.96

# 鉛酸電池再生可行性與方法介紹

- <治病>鉛酸電池效能的降低主要因素為極板附著硫酸結晶(80%以上) , 使得電池內阻增加造成充、放電容量效能降低。



# 鉛酸電池再生可行性與方法介紹

## 大電流充電法

採用大電流能量將極板硫酸鉛結晶電解活化，以此方式消除極板附著結晶，但此方法只能獲得暫時性效果。

缺陷：

- a. 電池失水
- b. 活性物質脫落等問題

修復能力  
10%

## 添加活性劑

添加化學劑達消除極板硫酸結晶，但此方法會改變電池原電解液之成分，使得電池獲得曇花一現的短暫修復改善。

缺陷：

- a. 易破壞極板

修復能力  
45%

## 脈衝器

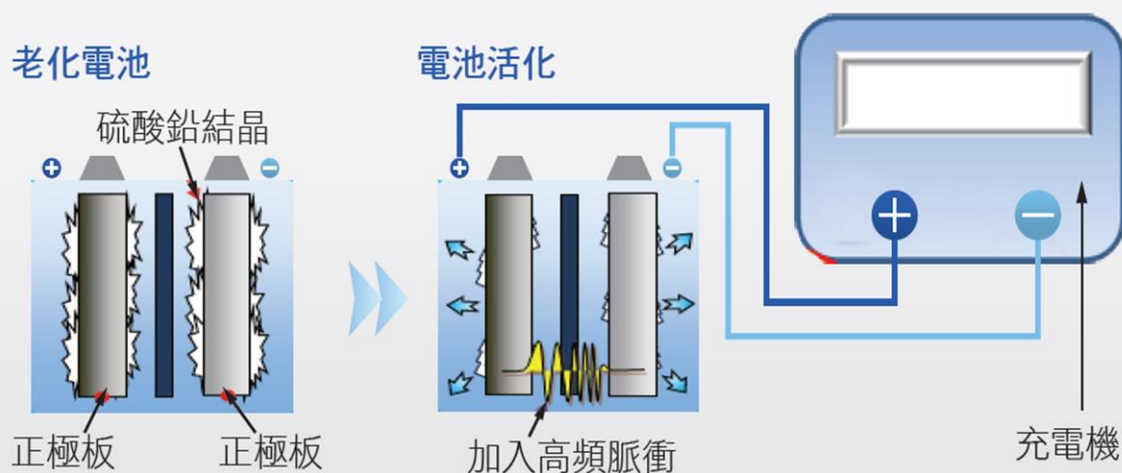
電池充電過程中加入脈衝共振訊號，讓硫酸鉛粗結晶體轉化為細結晶體，使細結晶體重新參與充放電化學反應。

修復能力  
80%

# 鉛酸電池再生可行性與方法介紹

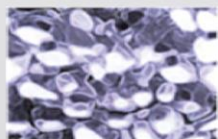
## ● 脈衝器再生法

- 電池充電過程中加入脈衝共振訊號，讓硫酸鉛粗結晶體轉化為細結晶體，使細結晶體重新參與充放電化學反應。
- 優勢: a. 減少電池充電溫升現象、 b. 減少電池水份之散失

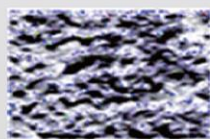


電極表面的顯微鏡照片

[結晶化]蓄電率減少



[多孔質化]蓄電率增加



# 鉛酸電池再生可行性與方法介紹

## ● 脈衝器再生法比較分析

活化方法		特性	硫酸結晶去除效果
脈衝 充電法	正負 脈衝法	使用負脈衝壓差擊碎 硫酸結晶 (電流為正脈衝2.5倍)	20%
	高頻 脈衝法	使用高頻(約為K~MHz) 擊碎硫酸結晶 (充電電流約0.1C)	60%
	複合式 脈衝法	控制高/低脈衝頻振幅產 生諧振擊碎硫酸結晶	80%

## 鉛酸電池再生實驗設計

- 應用5年與7年100Ah電池做複合式脈衝充電法再生分享案例。
- 試驗目的是觀察電池在不同使用年份與環境條件下，其電池經由再生後容量/內阻等分析探討電池效果變化趨勢。

Item	使用年限 (Y)	電池容量	環境溫度	放電率	浮充電壓	內阻標準
案例一	5	100Ah	30°C	2C	13.5V~13.8V	4mΩ
案例二	7	100Ah	25°C	2C	13.5V~13.8V	

# 鉛酸電池再生實驗設計

## ● 電池活化前檢測流程

電池檢測/篩選  
(電壓/內阻/外觀)



容量檢測  
(C5 / 10.8V)



電池分類



## ● 電池再生 / 複檢

電池再生設定  
(電壓 / 電流 / 頻率)



電池再生

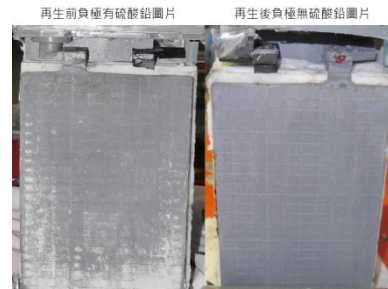


電池複檢  
(容量/內阻)



# 再生效益驗證

- 環境溫度有效掌控，電池可用容量顯著改善(18%~71%)。
- 電池經由再生技術，使得容量有效提升。



## CASE 1 ( 環境溫度 : 30°C )

Item	年限	再生前容量	再生後容量	效能	再生前內阻 (mΩ)	再生後內阻 (mΩ)
1	4~5	10%	73%	63%	4.09	2.67
2	4~5	23%	83%	60%	3.30	2.68
3	4~5	27%	87%	60%	3.30	2.65
4	4~5	10%	50%	40%	3.40	2.73
5	4~5	13%	57%	43%	3.45	2.62
6	4~5	27%	87%	60%	3.44	2.69
7	4~5	27%	87%	60%	3.16	2.58
8	4~5	10%	53%	43%	4.24	2.50

## CASE 2 ( 環境溫度 : 25°C )

Item	年限	再生前容量	再生後容量	效能	再生前內阻 (mΩ)	再生後內阻 (mΩ)
1	7	73%	96%	23%	3.3	3.18
2	7	67%	95%	28%	3.84	3.53
3	7	69%	98%	29%	3.62	3.35
4	7	70%	91%	21%	3.99	3.92
5	7	74%	94%	20%	3.71	3.47
6	7	71%	92%	21%	3.89	3.50
7	7	74%	97%	23%	3.74	3.51
8	7	72%	98%	26%	3.89	3.51

## 再生效益驗證

- 半導體廠**UPS**系統電池實際減費/減廢之案例，透過一系列之運轉調整及改善每年約可節省**60%**電池更換費用，並減少廢電池**2250噸/年**。此次研究成功掌握電池特性，並透過管理方法大幅減少不必要汰換浪費。
- **TSMC**一直以來對綠色環保不遺餘力，希望能以此做為世界表率並塑造企業形象，且不只**cost saving**，更希望對地球貢獻一份心力。



# Q & A

# Back-Up Material

# 鉛酸電池結構簡介

## 電解液

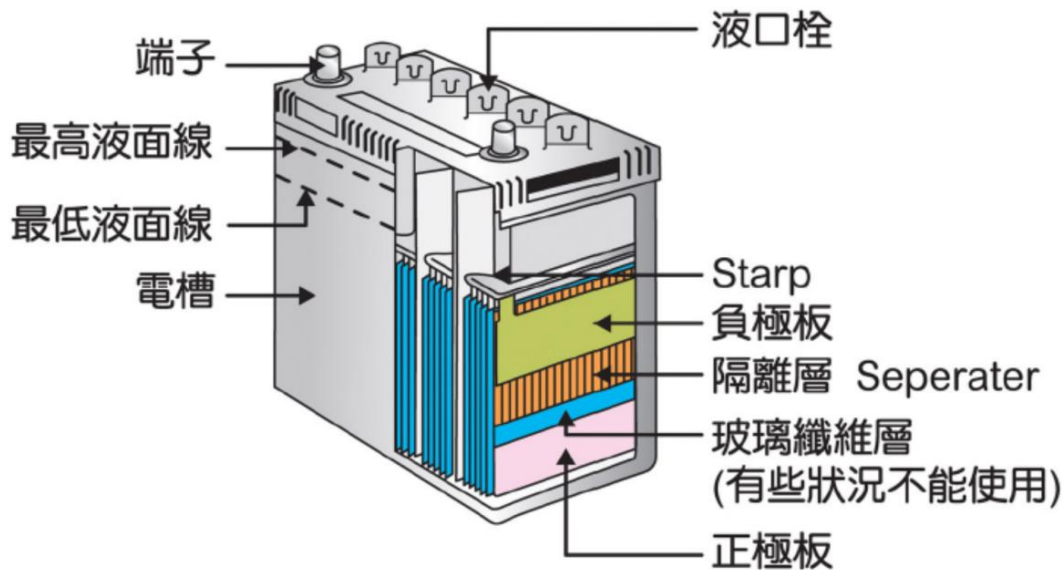
成分:以純硫酸及純水混合之無色、無臭的稀硫酸電解液

電解液與正極板的二氧化鉛、負極板的海綿狀鉛產生反應、蓄積充電電流、產生釋放電能、並負責CELL內部電流的傳導。

## 負極板

成分:純鉛、鉛合金

灰色海綿狀鉛，具多孔性，富反應性結合力強，脫落較正極板二氧化鉛少，但經年累月使用後，因結晶成長造成極板多孔度減少，為造成壽命終了常見原因。在活物質中添加膨脹劑可防止孔度減少，延長壽命。



## 隔離板

成分:玻璃纖維  
合成樹脂

置入正極板及負極板間，防止兩極板短路。兩極板短路時，電池所蓄積之電氣能量會在短時間內喪失，無法導出電流使用。隔離板必要條件:非電導性、富多孔性、電解液可自由擴散(電氣阻抗低)、機械強度佳、耐酸、不溶析出對極板造成不良影響的物質。

## 正極板

成分:二氧化鉛

為茶色呈結晶性微粒子集合體，富多孔性，使電解液於粒子間可自由擴散浸透。粒子間結合力比較貧乏，隨著使用年月，結晶性粒子被破壞而微細化，最後自極板脫落，為造成電池壽命終止常見原因。

# 鉛酸電池老化の要素

## 物理性老化

過充電／過放電  
振動・衝撃等の極板損傷  
長年老化

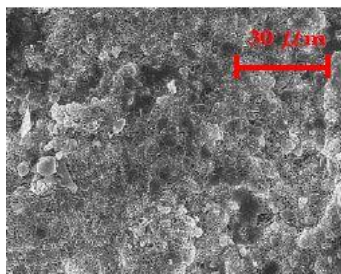
無法活化

## 化學性老化

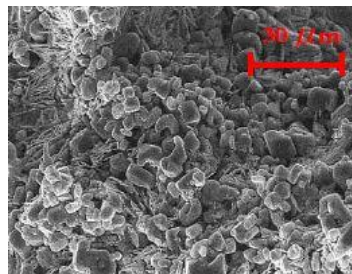
硫酸鉛の結晶化

可活化

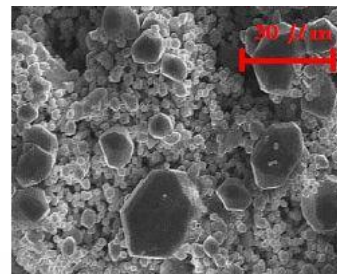
報廢原因的 85% 為硫酸鉛結晶



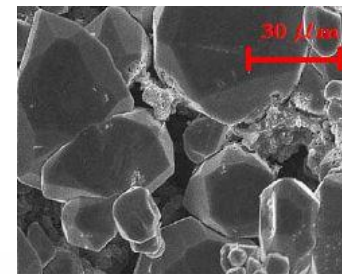
初次充電時



20次充電時



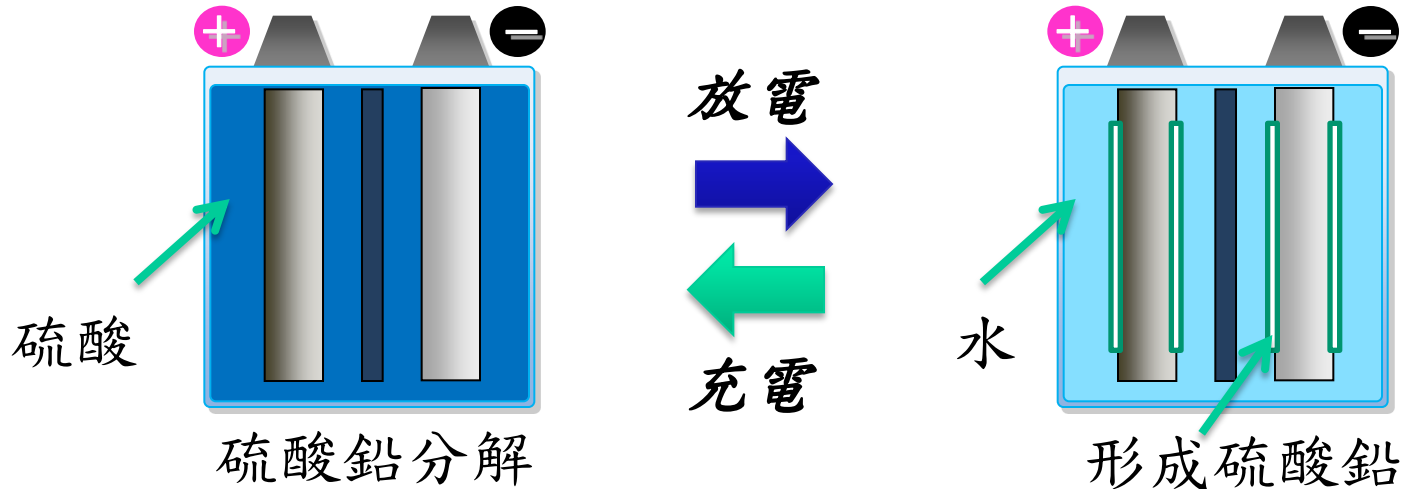
放置2個月時



老化電池

# 何謂硫酸鉛結晶

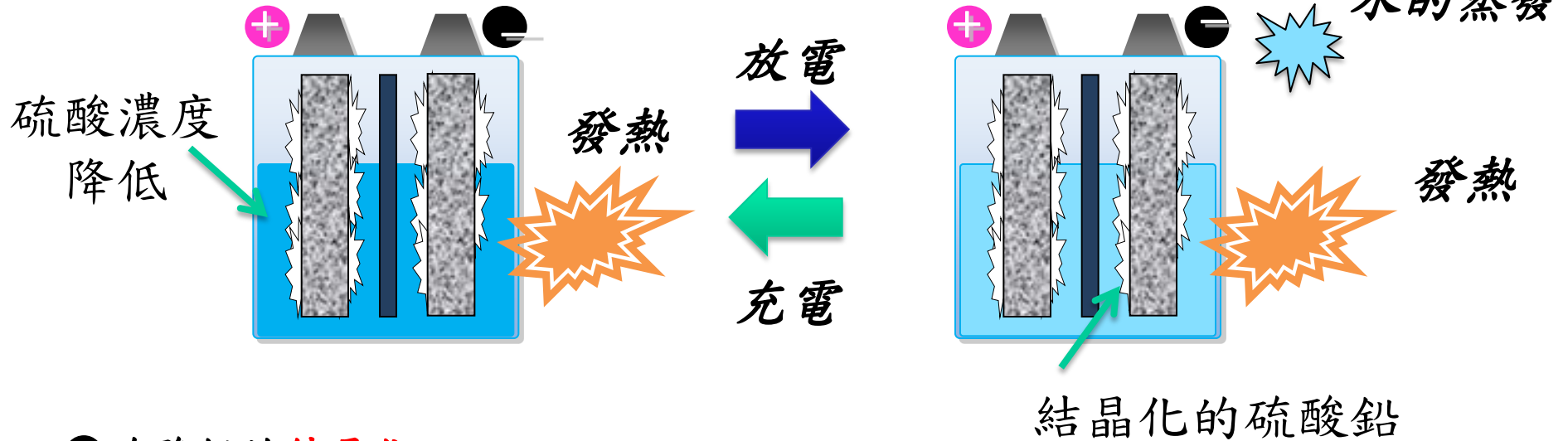
## 新電池



「硫酸鉛」是「硫酸的來源（電的來源）」屬於必要物質。  
 但是此**硫酸鉛**覆蓋極板將使化學反應的反應面積減少，造成內部電阻增加。  
 內部電阻增加亦是發熱的原因。此外、硫酸鉛形成**硫酸鉛結晶**將使硫酸濃度降低。儲存電量的硫酸的SO<sub>4</sub>變少而造成蓄電量降低。此將出現比重值降低。

# 何謂硫酸鉛結晶

## 老化電池



### ● 硫酸鉛的結晶化

⇒ 反覆充放電、過度放電、長期放置等

### ● 結晶化將無法恢復

⇒ 即使充電，**比重低**（硫酸濃度低） = 放電容量下降  
**內部電阻增加** = 無法啟動等

### ● 內部電阻的發熱造成致命性老化

⇒ 電池液蒸發、電池變形（膨脹）、電極破損

# 電池放電檢測標準

## Background

- 各廠每年執行放電檢測確保電池放電能力
- 1C/20min(放電66%)或2C/5min(放電33%),截止電壓均採10.5V(放電100%)為合格標準,過於寬鬆

## Approach

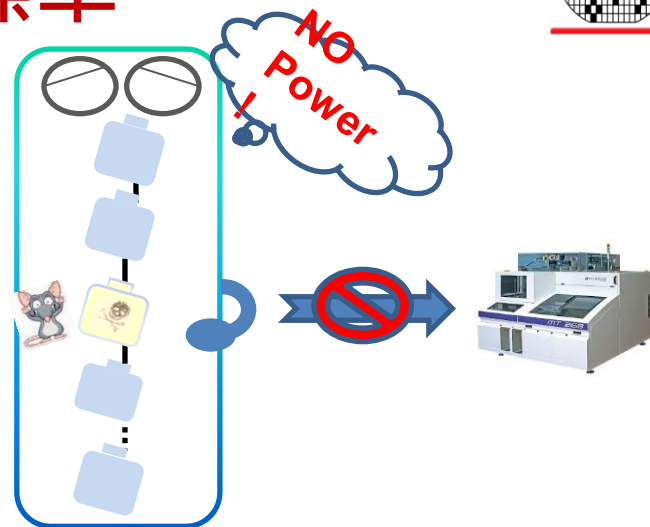
- IEEE 定義: 容量>80% 為合格電池
- 重新檢視放電合格標準, 提升允收之截止電壓
- 電池活化定義: 允收之截止電壓至10.5V範圍間的電池做活化

## Result

- 容量>80%: 放電截止電壓提升 6.7% (如下表)
- 開路電壓離群: 開路電壓低於平均值 1%
- 放電離群: 放電截止電壓低於平均值 1%

## Benefit

- 提升電池可靠度, 延長使用年限.



### 截止電壓標準設定之依據

$$V_{t\_end} = V_{end} \times 0.96$$

$V_{t\_end}$  : 放電測試截止電壓.

$V_{end}$  : 新電池相同放電條件之截止電壓.

0.96 : 電池容量80%係數值.

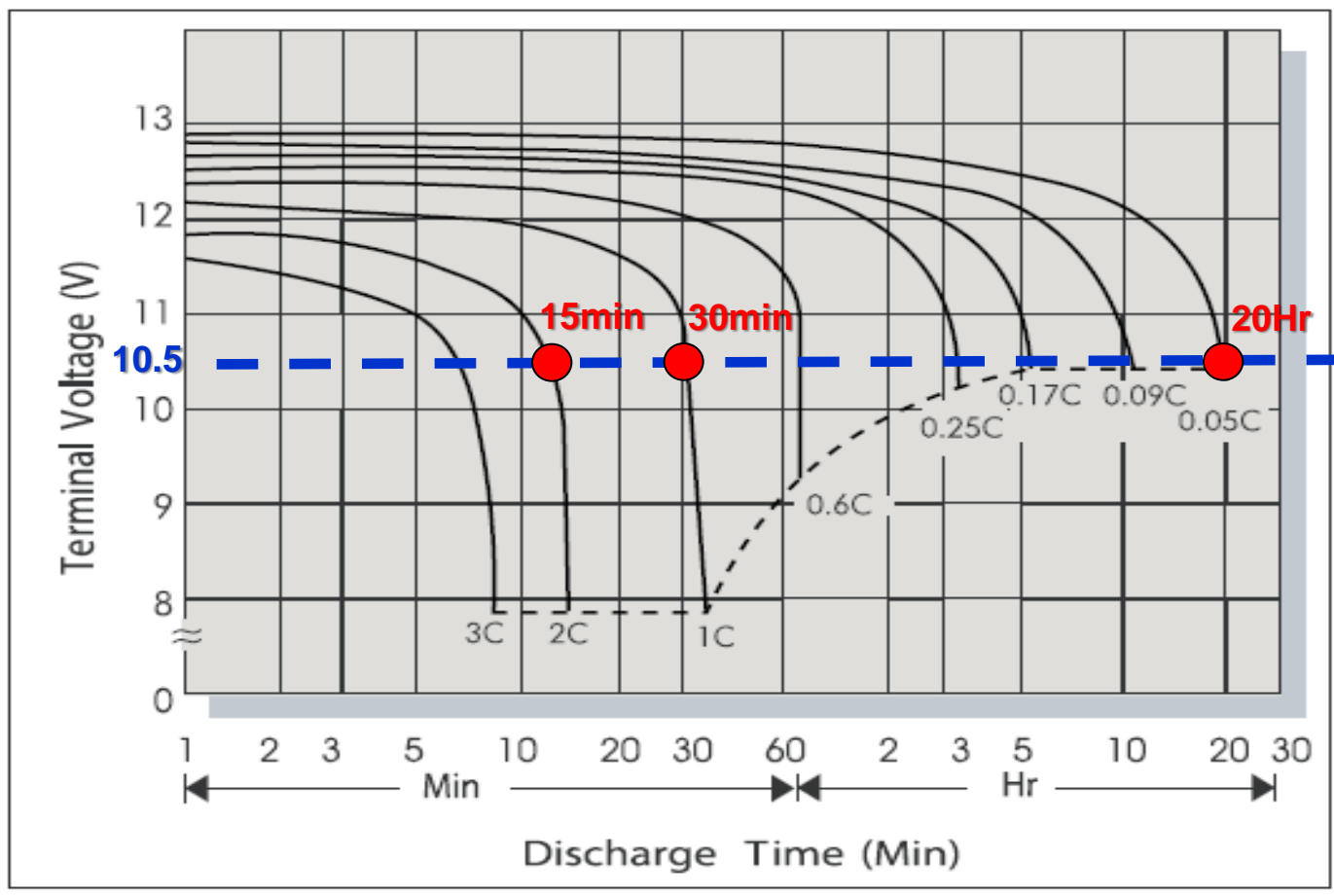
Battery discharge test Standard of each site

放電電流	1C	2C
放電時間	20 min	5 min
目前允收之截止電壓	11.3 V	10.5 V
<b>建議值</b>		
新電池相同放電條件之截止電壓	11.7V	11.6V
80% 容量允收之截止電壓	11.3V	11.2V
電池活化允收之截止電壓	10.5V~11.3V	10.5V~11.2V

# 電池等效容量計算



Terminal Voltage (V) and Discharge Time (25°C/77°F)



放電測試截止電壓  
(100% 電池容量)

100% 電池容量放電時間

C-Rate	Time
0.05C	20hr
1C	30min
2C	15min

放電測試等效容量計算：

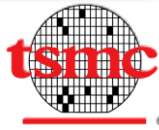
電池容量=電流 x 時間 → 定電流放電測試, 電池容量與放電截止時間成正比

1C放電 100%=30min → 放電 20min=(20/30) \* 100% = 66%

2C放電 100%=15min → 放電 5min =(5/15) \* 100% = 33%

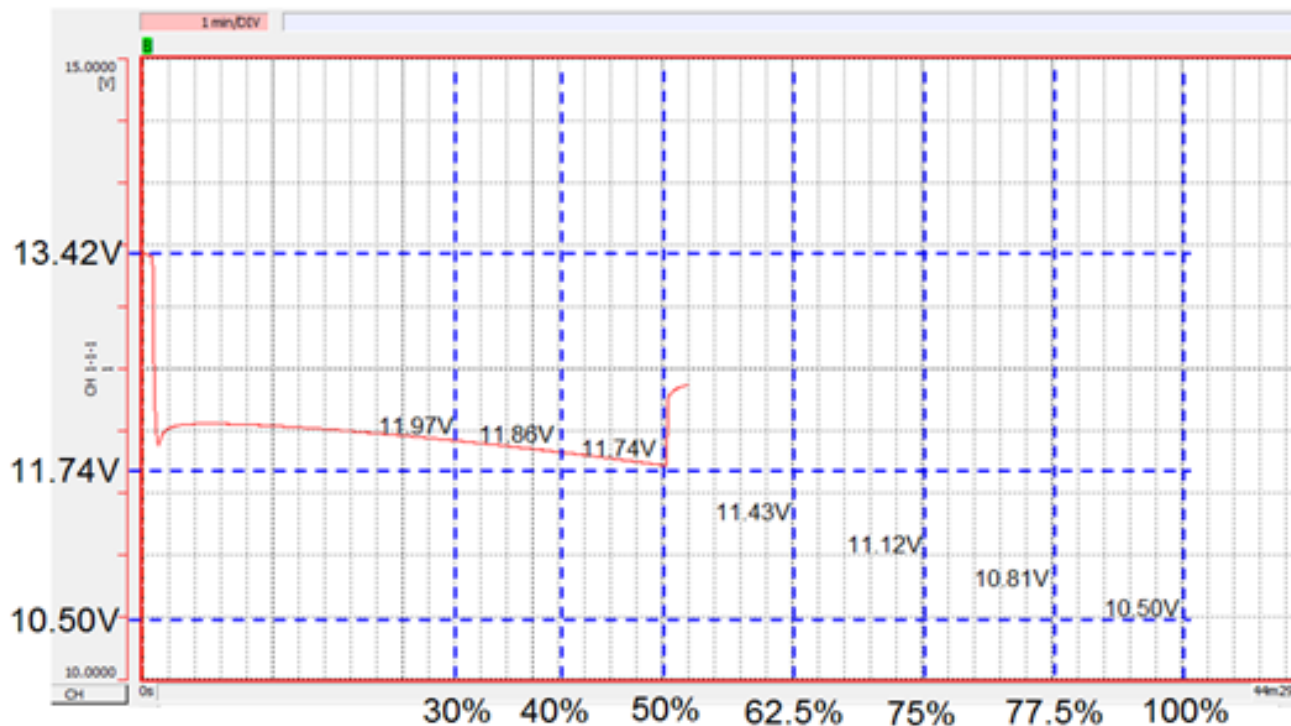


# 等效電池容量80%係數值計算



- 放電測試:  
放電電壓差1%, 電池容量差5% → 放電電壓差4%, 電池容量差20%
- 80%電池容量相當於標準放電電壓的 96%, 等效係數即為0.96

- ☑ 依放電資料推估, 小於1C放電20分鐘平均放電電壓1%, 電池容量差距約 5%, 故訂定小於1%電壓值為離群篩選標準。建議電池充電後, 量測浮充電壓與內阻, 再行判斷。
- ☑ 電池廠商(CSB)認同以放電電壓離群1%, 訂為篩選標準。



- 決定80%電池容量終止說明
  - 電池製造商及相關電池壽命探討資訊強調，電池使用達容量等級 80% 時，會出現電池快速裂化的風險。
  - IEEE-Std 也同樣有相關使用電池容量達80% 時的更換電池建議內容。

IEEE  
3 Park Avenue  
New York, NY 10016-5997, USA

**IEEE Std 1188™-2005**  
(Revision of IEEE Std 1188-1996)

8 February 2006

## 8. Battery replacement criteria

This recommended practice is to replace a cell/unit or the battery if its capacity, as determined in 7.4, is **below 80% of the manufacturer's rating.** The timing of the replacement is a function of the sizing criteria used and the capacity margin available, as compared with the load requirements. A capacity of 80% shows that the cell/unit/battery rate of deterioration is increasing even if there is ample capacity to meet the load requirements of the dc system. Other factors, such as unsatisfactory service test results (7.6), or the addition of new load requirements, may require battery replacement. Physical characteristics, such as abnormally high cell/unit temperatures (Annex B), are often determinants for complete battery or individual cell/unit replacements. Reversal of a cell as described in item d) of 7.5 is also a good indicator for further investigation into the need for individual cell/unit replacement. Replacement cell/units, if used, should have electrical characteristics compatible with existing cell/units and should be tested before installation. Individual replacement cells or units are not usually recommended as the battery nears its end of life.

A low cell/unit voltage that fails to respond to corrective action is a good indicator for further investigations into the need for replacement (B.2).

# 電池容量標準

## ➤ 決定80%電池容量終止説明- 日本電池工會80%容量建議

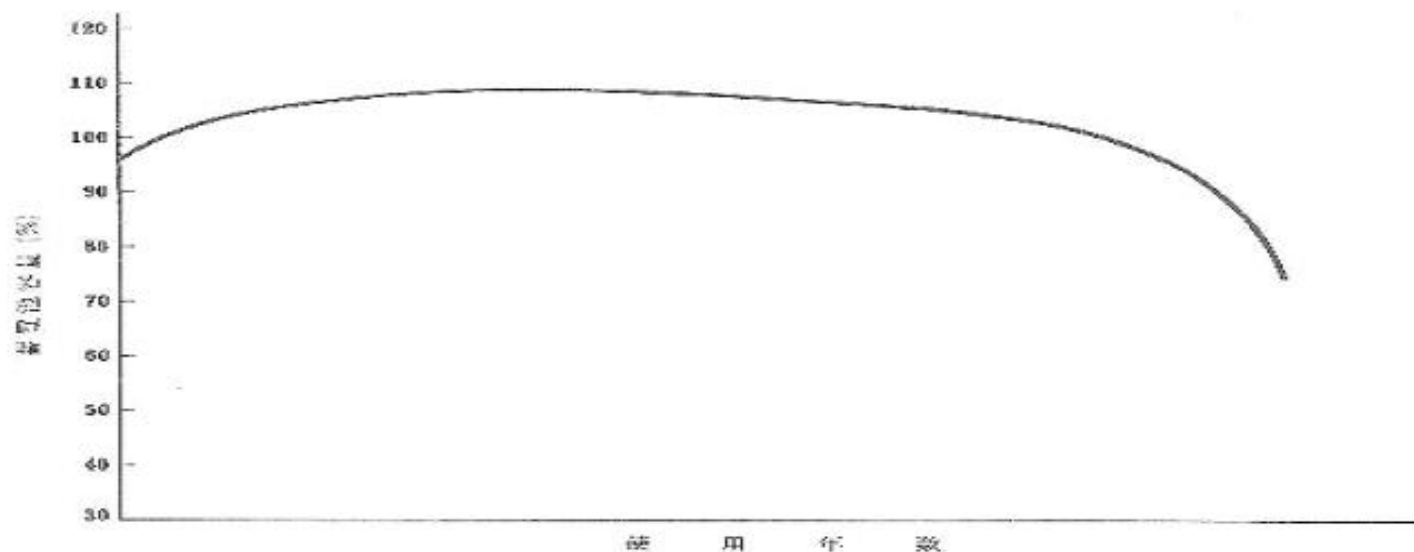


図 11—使用年数にともなう容量の推移（一例）

なお、蓄電池容量が 80 %以下に低下すると、その後は加速的に容量が低下することがあるので、定格容量の 80 %を打つていくと、期待寿命を経過しておれば寿命と考え、VRLA の更新を行うのが良い。

また、期待寿命は、蓄電池温度が 25 ℃の時であり、温度が高くなれば寿命は短くなる。また、放電電流が大きくなれば寿命は短くなる。その関係の一例は表 4 に示す通りであり、蓄電池温度や放電負荷を考慮して、VRLA の取り替え時期を判断する必要がある。

また表 4 以外にも、 $2C_{10A}$  で 7~9 年の使用が期待できる高率放電専用の VRLA（主に UPS に使用）も販売されている。

## ● Background:

- 鉛酸電池放電產生硫酸鉛結晶, 附著在極板, 造成電池容量不足, 提早報廢
- 採用智慧型脈衝波技術, 分解硫酸鉛結晶, 回復電池蓄電功能, 延長電池壽命

## ● 質: 品質/功能/允收標準

- C5 放電測試 (電池廠商標準容測方式):  
放電達標準終止電壓時間 > 4Hr, 驗證電池容量 > 80%
- 2C/5min放電測試 (模擬實際放電狀況):  
放電終止電壓 > 標準終止電壓, 驗證電池實際放電耐受力

## ● 量: 範圍/種類/數量

- Central UPS 電池

## ● 型: 外型/架構/硬體規格

- 除硫修復機 (如圖)

## ● 法: 方法/管理規範

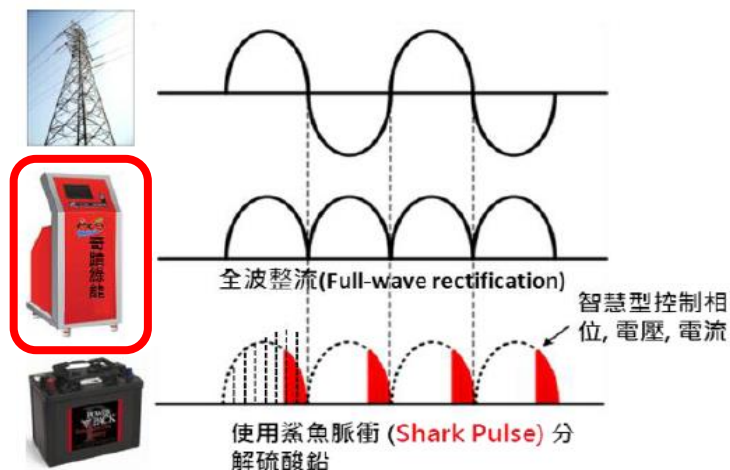
- PM及漣波監測 檢出異常電池, 執行除硫修復

### ◆ 異常電池定義:

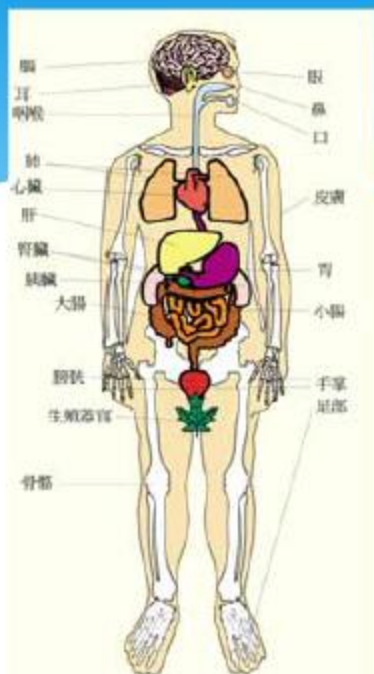
1. 電池內阻 > 1.5 倍標準內阻
2. 蓄電容量 < 80% (< 新品電池相同條件放電之終止電壓 x 0.96)
3. 離群電池 (放電之終止電壓 < 平均放電終止電壓 x 0.99)

- 修復後之電池依使用年限集中於同串

- 電池再生使用, 原則上不超過電池設計年限



# 健康管理&電池管理



## 人體健康管理

良好生活環境  
溫度、無塵、濕度、  
良好飲食  
避免體力透支  
定時的健康檢查

## 電池管理

良好周圍環境  
溫度、無塵、通風  
良好的充電條件  
避免過度(載)放電  
定時的點檢管理

## 人體健康檢查

心電圖--心臟檢查

胸部X光--肺部

視力檢查--眼睛

.....

體能測試--荷重百米

## 電池診斷

極板腐蝕--電阻或電導

短路、充電不足--起電力

充電均衡性--浮充電壓

.....

供電測試--短時間大電流

