電梯電力回生裝置之
節能應用技術手冊

經　濟　部　能　源　署　指導

財團法人台灣綠色生產力基金會 編印

中 華 民 國 114 年 09 月

目　　錄

目　　錄 ..... **I**

圖 目 錄 ..... **III**

表 目 錄 ..... **V**

第一章 前 言 **1**

第二章 國內外推動電梯節能的概況 **3**

2.1 國內電梯產業概況 3

2.2 我國電梯節能潛力推估 4

2.3 政府推廣電梯電力回生裝置的措施 7

2.4 日本推動電梯電力回生裝置之措施 9

2.5 歐盟針對電梯能效標準及 ISO 25745-1~3 之推展 10

2.6 美國 LEED 針對電梯電力回生裝置之認定 12

2.7 電梯節能技術發展趨勢 14

第三章 電梯原理概要介紹 **16**

3.1 電梯的原理及構造 16

3.2 電梯安全裝置概要 20

3.3 各型電梯裝置分類 24

3.4 智慧節能電梯 29

第四章 電梯驅動技術的演進 **31**

4.1 電動機的驅動系統 31

4.2 直流(DC)電動機驅動技術 33

4.3 交流(AC)電動機驅動技術 35

4.4 調壓調頻交流電動機 (VVVF)驅動技術 37

4.5 無齒輪式捲揚技術 39

第五章 電梯電力回生技術 **40**

5.1 電梯電力回生原理說明 40

5.2 電力回生裝置 42

5.3 以變頻器實現電力回生 43

5.4 節電率與回生電能比.....46
5.5 實例計算與解說.....47
第六章 電梯電力回生裝置節能效益分析與案例介紹 51
6.1 電梯電力回生裝置節能實測分析.....51
6.2 各類型建築電梯裝置電力回生系統測試.....54
6.3 小結.....65
6.4 國內電梯電力回生裝置節能案例介紹.....67
第七章 電梯電力回生裝置應用技術 Q&A 77
第八章 結 語.....80
編後語.....82
參考文獻.....83
附錄-常用名詞解釋 85

圖 目 錄

圖 2.1 建築物昇降設備設置及檢查管理辦法【2】【3】.....3
圖 2.2-1 建築分類能源大用戶電梯用電分佈比例(%)統計.....5
圖 2.2-2 非生產性質能源大用戶用電分布平均統計圖【4】.....6
圖 2.5-1 歐洲建築能耗組成分布圖【12】.....10
圖 2.5-2 歐洲標委會說明 ISO 25745 與 VDI 4707 電梯能效等級【14】.....11
圖 2.6-1 以電梯電力回生裝置等節能措施取得 LEED 認證【17】【18】.....13
圖 2.6-2 User’s Manual for ANSI/ASHRAE/IESNA Standard【19】.....13
圖 2.7-1 PM 永磁式同步馬達驅動之無齒輪牽引機【22】.....15
圖 2.7-2 搭配 LED 燈源新型綠色節能電梯【23】.....15
圖 3.1-1 電梯各部構造名稱與位置【24】.....18
圖 3.1-2 電梯各部構造名稱、位置及中英對照【24】.....19
圖 3.1-3 電梯配重原理示意圖與實照.....20
圖 3.3-1 無機房電梯節省空間示意圖【26】.....26
圖 3.3-2 電梯分類示意圖.....28
圖 3.3-3 永磁馬達之無齒輪捲揚機【27】【28】.....29
圖 4.1-1 電梯節能技術發展的演進【29】.....31
圖 4.1-2 感應馬達(IM)模型與控制示意圖【31】.....32
圖 4.1-3 電動機驅動架構示意圖.....33
圖 4.2-1 三相感應電動機的構造示意圖.....34
圖 4.2-2 傳統電梯用矽控整流器(SCR).....34
圖 4.2-3 傳統直流電梯電動機驅動架構示意圖.....34
圖 4.4-1 電梯系統整體增設電力回生裝置【32】.....37
圖 4.4-2 採用電力回生裝置將動能轉換為電能送回供電網絡【33】.....38
圖 4.5 無機房電梯採用電力回生裝置將電能送回供電【35】.....39
圖 5.1 電梯運行四象限示意圖.....41
圖 5.2 電力回生裝置電路原理圖【36】.....43
圖 5.3-1 一般變頻器的電路架構.....455

圖 5.3-2 二象限變頻器電路示意圖 45
圖 5.3-3 四象限變頻器電路示意圖 466
圖 5.5 現場實際量測運行示意圖.....48
圖 6.1-1 現場實際量測示意圖 52
圖 6.1-2 現場使用鉛塊改變電梯配重 52
圖 6.2-1 電梯回生電量與原始耗電實際量測 54
圖 6.2-2 電梯機房及電力回生裝置裝設點 55
圖 6.2-3 電梯電源端實際量測及制動電阻裝設現況 56
圖 6.2-4 電梯電力回生裝置使用實況及制動電阻裝設現況 57
圖 6.2-5 電梯電力回生裝置偕同維保廠商測試 58
圖 6.2-6 電梯電力回生裝置偕同現場管理人及維保廠商實測 59
圖 6.2-7 電梯電力回生裝置偕同現場管理人及維保廠商實測 60
圖 6.2-8 電梯電力回生裝置偕同現場管理人及維保廠商實測 61
圖 6.2-9 電梯電力回生裝置實測現況 62
圖 6.2-10 電梯電力回生裝置實測現況 63
圖 6.2-11 電梯電力回生裝置實測現況 64
圖 6.3 各建築類型電梯電力回生裝置尖離峰節能率比較.....66
圖 6.4-1 電梯電力回生裝置節能案例現況實照 68
圖 6.4-2 電梯電力回生裝置節能案例現況實照 69
圖 6.4-3 電梯電力回生裝置節能案例現況實照 70
圖 6.4-4 電梯電力回生裝置節能案例現況實照 71
圖 6.4-5 電梯電力回生裝置節能案例現況實照 72
圖 6.4-6 電梯電力回生裝置節能案例現況實照 73
圖 6.4-7 電梯電力回生裝置節能案例現況實照 74
圖 6.4-8 電梯電力回生裝置節能案例現況實照 75
圖 6.4-9 電梯電力回生裝置節能案例現況實照 76

表 目 錄

表 2.3 智慧建築評估說明【7】.....7
表 2.4 日本節能法規評估不同種類電梯控制方式所產生耗電量依據的係數.....9
表 3.2-1 電梯機械裝置功能說明表.....22
表 3.2-2 電梯系統裝置功能說明表.....23
表 3.4 現行智慧節能電梯特色說明.....30
表 4.1 電梯節能技術演進時程【30】.....32
表 5.5 現場實際量測累計電量表.....47
表 6.1-1 永磁式同步電動機規格一覽表.....52
表 6.1-2 電梯耗能與回生電能測試結果一覽表.....53
表 6.2-1 某 O 牌交流感應電動機規格一覽表.....55
表 6.2-2 某 F 牌變頻感應電動機規格一覽表.....56
表 6.2-3 某 Y 牌變頻感應電動機規格一覽表.....57
表 6.2-4 某 G 牌變頻感應電動機規格一覽表.....58
表 6.2-5 某牌變頻感應電動機規格一覽表.....59
表 6.2-6 某牌變頻感應電動機規格一覽表.....60
表 6.2-7 某 Y 牌交流感應電動機規格一覽表.....61
表 6.2-8 某 T 牌交流感應電動機規格一覽表.....62
表 6.2-9 某日系 T 牌交流感應電動機規格一覽表.....63
表 6.2-10 某日系 T 牌交流感應電動機規格一覽表.....64
表 6.3-1 電梯電力回生裝置回生率及相關因素統計.....65
表 6.3-2 回生率顯著關係因素分析.....67

第一章 前 言

臺灣林木蔥綠、景色優美，素有「寶島」之稱。然而，我國天然資源蘊藏有限，能源供應約有九成九仰賴進口。面對全球氣候暖化趨勢，為善盡地球公民的責任，政府於全國能源會議中宣示，將加強推動節能與提升能源使用效率，並提出具體行動方案，以抑制溫室氣體排放。

全臺各地高樓林立，包括辦公大樓、政府機關、百貨公司及量販店等。由於建築特性與營運需求，大量使用電梯設備以供人員及貨物流動，因此電梯耗電量相當可觀。隨著科技進步，節能產品在品質、設計與控制技術方面均有顯著提升，配合政府節能管理政策，節能技術的應用範圍日益擴大，也加速了整體節能改善的進程。以電梯產業為例，新世代的綠色環保型永磁式馬達電梯(具電力回生功能)，已逐漸取代傳統感應馬達電梯，其節能效益可達 40%以上，展現出節能科技在實際應用上的顯著成果。

近年來，馬達制動電能回生技術在**電力品質與設備穩定度**方面均有顯著進展，使得節能效益更加明確。在改善設備的投資成本與回收年限逐年下降的趨勢下，無論是新建或既有的辦公大樓、百貨公司與商業建築，皆應重視**電梯節能與效率提升**的可行方案。

多項實際案例分析證實，**加裝電力回生裝置**可使電梯耗電量降低約 **10% 至 40%**，節能成效明顯。若電梯產業能進一步整合各類產品，並積極宣導國人與企業採用此項技術，從社區大樓、公司行號做起，逐步推廣至全面應用，將能有效降低國內整體電梯耗能，進而**緩解供電壓力**、促進永續發展。

總言之，透過製造商持續提供高效率節能產品，並鼓勵用戶以**新型節能電梯取代傳統設備**，不僅能節約能源，更能達成**減碳與環境保護**的最終目標。

財團法人台灣綠色生產力基金會（以下簡稱本會）受經濟部能源署委託，在進行現場節能輔導過程中，發現國內住商及各行業能源管理者與業者，對於**電梯電力回生裝置的應用技術、選購與維護**等議題，普遍亟需更系統化的參考資料。

有鑑於此，本會特別邀請在電梯控制與馬達驅動領域具長期研究經驗的**國立臺北科技大學電機工程系練光祐教授**撰稿，並結合本會節能技術輔導資料，彙編成本手冊——

《電梯電力回生裝置之節能應用技術手冊》

本手冊內容涵蓋：

- 電梯運行的基本原理與分類、
- 能效分析與節能設備之選用、
- 維護要點與應用案例等。

期望能作為各類能源用戶與業者的重要參考，促進我國電梯節能技術的推廣與應用。

本技術手冊於 2016 年首次出版。為因應產業環境與技術發展的快速變化，本會於 2025 年 9 月進行全面內容更新與改版。本次版本不僅同步更新相關產業資訊，亦對全書內容進行大幅調整，包括文字敘述全面修訂、版面重整，並重新編排各項數學式，以提升可讀性與實用性。

第二章 國內外推動電梯節能的概況

隨著社會進步，高樓大廈四處林立，國人對於升降設備的使用愈來愈頻繁，依賴程度也不斷提升。電梯是一項造價相當高昂的設備，雖然日常生活中經常搭乘使用，但一般使用者卻不一定能充分了解其整體構造。此外，電梯的運行關係到公共安全，政府在推動電梯使用安全方面相當積極，並訂定了完善的標準與規範（如圖 2.1 所示）。根據內政部營建署建築物升降設備安全檢查的統計資料，112 年全國建築物中的升降設備共約有 31.8 萬台【1】。

本章主要介紹台灣電梯能耗的現況，以及國際間電力回生裝置的實施情形，讓讀者了解未來在國內推動電梯電力回生裝置應用技術的節能潛力與市場發展規模。

圖 2.1 建築物升降設備設置及檢查管理辦法【2, 3】

2.1 國內電梯產業概況

1. 電梯產業概述與特性

電梯產業的發展一向與營建業景氣息息相關，新建案推出的數量愈多，對電梯的需求自然也隨之增加，屬於典型的內需型產業。基本上，電梯產品並沒有固定的規格，必須依據不同客戶的需求量身訂製。在營建業者推出新案初期，電梯業者需參與設計與規劃，直到後期接近完工階段時，才進行電梯的安裝工程。因此，電梯工程通常位於整體營建工程的後段，平均約落後 8 個月至 1 年半之間。

電梯產業採用「完工比例法」入帳。一般市場的慣例是在

零組件送抵工地後，依契約可收取總價約八成的款項；待最後組裝與試車完成後，再認列剩餘的兩成收入。因此，業者的單月營收起伏有時會較大。此外，若電梯系統未能順利運作，營建業者將無法取得使用執照。再者，由於電梯產品在整體營建案總金額中所占比例並不高，電梯業者通常不需面對收款困難或呆帳的問題。

除了新設電梯市場外，汰舊換新與維修保養也是電梯業者的兩大主要商機來源。一般而言，一部電梯的使用年限約為 15 年，但若保養得當，其壽命可延長至 20 年，甚至 25 年也不成問題。因此，在一個已進入成熟階段的市場中，汰舊換新的商機相當值得期待。此外，電梯在安裝完成後，仍須進行定期的維修與保養，而隨著時間推進，業者累積的裝置台數愈多，維修保養收入對整體業績的貢獻也將更為顯著【5】。

2. 國內市場分析

國內電梯產業已有逾 50 年的發展歷史，早期發展步調較為緩慢。直到經濟蓬勃成長、國民所得逐年提升，加上房地產市場交易逐漸活絡，國內電梯需求量才大幅增加。在 1994 至 1995 年間，國內電梯市場景氣達到高峰，一年新增電梯數量超過 1.2 萬台。隨後，隨著營建業景氣逐漸下滑，市場需求也開始下降，2001 年新增電梯數量僅約 4,000 台，僅為先前高峰的三分之一，衰退幅度相當顯著。現今，由於觀光產業的興起，根據中華民國內政部國土署營建統計年報資料顯示，電梯年平均新增數量約為 7,000 至 8,000 台（僅占全台電梯總數的 3%至 5%），而目前全台現有使用的電梯數量約 31.8 萬台（以 2023 年統計資料為準）。

2.2 我國電梯節能潛力推估

根據非生產性質行業能源查核申報資料，可得歷年電梯用電

分布比例，依用戶分類的統計數據如圖 2.1-1【4】所示。資料顯示，在電梯耗電占比中，複合式商場、百貨公司及辦公大樓最高；旅館、量販店、政府機關及醫院次之，主要受建築特性及營運需求影響。

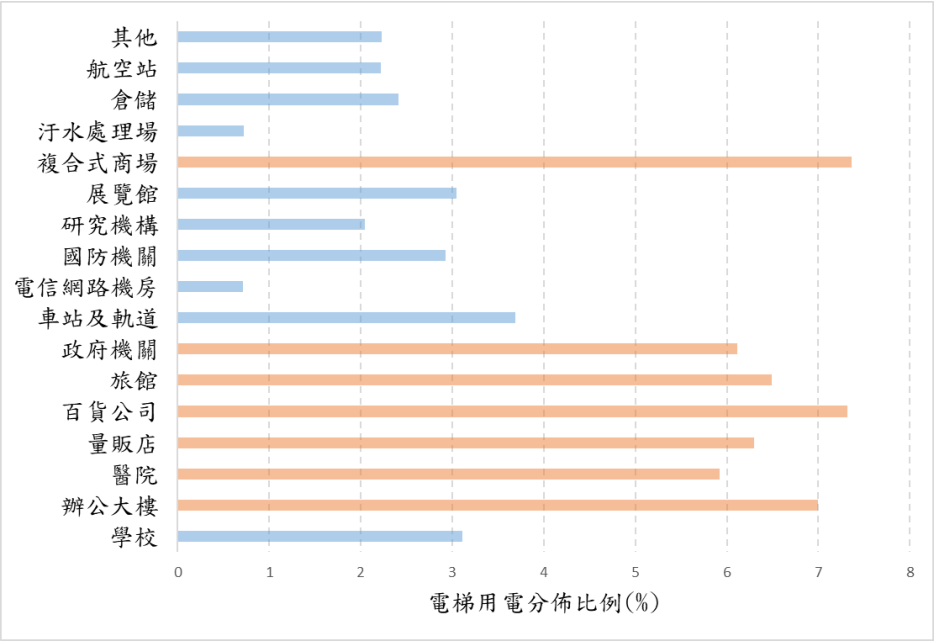


圖 2.2-1 建築分類能源大用戶電梯用電分佈比例(%)統計

依非生產性質大用戶 113 年統計資料，如圖 2.1-2 所示，電梯（含手扶梯）用電約占建築整體用電平均 4.1%（約 6.7 億度電）。若能提升電梯能效、降低電梯用電，將對整體建築節能具有相當重要的效果。

用戶分類	空調設備	照明設備	冷凍冷藏設備	事務設備	送排風設備	給水污水設備	電梯設備	其它設備
學校	59.9	17.1	3.4	7.1	1.9	2.5	3.1	5.0
辦公大樓	58.7	13.4	0.6	10.0	3.4	2.6	7.0	4.3
醫院	59.5	12.5	2.2	4.9	3.6	3.4	5.9	8.0
量販店	48.9	11.2	19.9	1.9	4.6	2.7	6.3	4.5
百貨公司	56.3	12.9	5.2	1.9	6.3	3.9	7.3	6.2
旅館	58.1	11.6	6.0	2.4	5.0	4.0	6.5	6.5
政府機關	53.3	14.6	1.7	10.5	4.2	3.8	6.1	5.8
車站及軌道	21.4	6.7	0.1	0.8	3.4	1.6	3.7	62.4
電信網路機房	27.9	2.0	0.1	1.6	0.6	0.7	0.7	66.5
國防機關	56.1	15.3	2.4	6.6	2.2	3.4	2.9	11.1
研究機構	49.6	8.5	6.5	5.2	4.6	2.1	2.0	21.4
展覽館	62.7	9.7	1.6	2.8	3.0	3.4	3.1	13.9
複合式商場	61.0	10.0	5.3	3.5	5.2	3.2	7.4	4.4
汙水處理廠	5.4	2.4	0.1	0.3	17.4	70.1	0.7	3.6
倉儲	35.6	12.6	13.8	2.6	2.0	0.9	2.4	30.2
航空站	68.7	19.8	0.3	0.7	0.5	1.6	2.2	6.2
其他	30.0	14.0	11.8	2.5	6.5	1.8	2.2	31.3
平均	47.8	11.4	4.8	3.8	4.4	6.6	**4.1**	17.1

圖 2.2-2 非生產性質能源大用戶用電分布平均統計圖【4】

各國皆將電梯耗電列為節能減碳的重要議題，並以國家計畫方式推動改善。從歐洲、美國、日本等先進國家，到其他已開發及開發中國家，均積極推動相關措施。在市場方面，電梯電力回生裝置在建築節能與能源再生領域持續穩定發展，且應用範圍不斷擴大。根據住商部門對未來電力回生裝置滲透率的推估，以及電梯電力回生裝置實測節能率平均約為 23.1%，若我國住商用戶的電梯全面裝設此裝置，推估每年可節電約 1.4 億度，相當於減少 196 座大安森林公園一年所能吸附的碳量。

此外，僅針對能源住商大用戶部分，對電梯電力回生裝置進行經濟效益評估。目前，此設備適用於電梯使用頻率較高的建築類型。過去在電價為 2.80 元/度時，尚不具經濟效益；但若以 112 年的平均電價 3.63 元/度來計算，已具備回收效益。因此，未來可積極推廣此設備，並需針對其進行相關分析，以評估規劃節約能源規定的可行性。

2.3 政府推廣電梯電力回生裝置的措施

為了使台灣的智慧建築規劃與設計有明確依據，內政部建築研究所在民國 92 年即已建立智慧建築評估系統，相關說明如表 2.3。符合該系統所訂各項基準的新建建築物，可申請頒發「智慧建築標章證書」。

在功能選項指標群「節能管理」部分，電梯電力回生裝置可透過節能技術及再生能源設備的鼓勵項目獲取評分，並以部分補助的方式，協助地方政府機關、軍事單位、公立醫院、圖書館、國立大專院校及各級中小學（依據內政部建築研究所「公有建築物智慧化改善工作計畫獎勵」）在系統整合應用項目中導入電梯電力回生裝置並增設安裝，且要求廠商提供三年以上保固【6】。

表 2.3 智慧建築評估說明【7】

大指標群	指 標 內 容	
	指標名稱	評估要項
基礎設施指標群	1.綜合佈線	建築物通信佈線系統之規劃設計、可支援之服務、導入時機與流程管制、佈線系統等級與整合度、佈線系統管理機制、佈線新技術導入程度。
	2.資訊通信	建築物廣域網路之接取設計、數位式(含 IP)電話交換、公眾行動通信涵蓋(含共構)、區域網路、視訊會議、公共廣播、公共天線及有線電視、公共資訊顯示及導覽。
	3.系統整合	建築物營運資訊系統整合之程度、系統整合之方式、整合管理方式、系統整合平台、整合的安全機制。
	4.設施管理	建築物內財產與營運效能之使用管理、建築設備維護管理。

功能選項指標群	**5.**安全防災	建築物防災、人身安全。
	6.健康舒適	空間環境指標、視環境指標、溫熱環境指標、空氣環境指標、水環境指標、健康照護管理系統。
	7.便利貼心	空間輔助系統、資訊服務系統、生活服務系統。
	8.節能管理	建築物能源監視系統、能源管理系統、設備效率、節能技術、再生能源設備。

2.4 日本推動電梯電力回生裝置之措施

日本政府於 2016 年 3 月 11 日公告修訂《關於提升建築物能源消費性能之法律案》，要求新設非住宅建築必須承擔節能義務，並預定於 2017 年 4 月全面實施。至 2020 年前，所有新建住宅及非住宅建築物需符合次世代節能基準的義務，並於 2025 年修訂後將適用範圍擴大至所有建築。舉例而言，電梯部分若設置電梯電力回生裝置（如表 2.4 所示【10】），其係數為 1/50，相較於 1/20，意味耗電量僅為一半，可見採用變頻控制已大幅提升效率，加裝電力回生裝置更能進一步節能。經系統計算後，該方案在節能表現上具有明顯優勢。在新設非住宅建築節能義務化後，據 ACE HOME 等單位對日本節能國策的分析，依節能程度，未來進程依序為：符合節能基準（一次性能源消費量符合標準）【11】、低碳住宅（比 2013 年修訂節能標準再節省 10%以上）、零能源住宅（ZEH：Zero Energy House），到最終的生命週期減碳住宅（LCCM：Life Cycle Carbon Minus）。為促進節省能源住宅普及，採用再生能源裝置的建築可享有登記稅免稅或減免，提供民眾購買高能效住宅的誘因。同時，像電梯電力回生裝置這類節能設備亦具有加分效果【8】，依日本建築規範的計點法，具電力回生裝置的變頻器可計 40 點，無電力回生裝置者僅計 20 點，可見對加裝電力回生裝置的重視程度【9】。

表 2.4 日本節能法規評估不同種類電梯控制方式所產生耗電量依據的係數

選択肢	適用	係数
VVVF（電力回生あり、ギアレス）	可変電圧可変周波数制御方式（電力回生ありかつギアレス巻上機）	1/50
VVVF（電力回生あり）	可変電圧可変周波数制御方式（電力回生あり）	1/45
VVVF（電力回生なし、ギアレス）	可変電圧可変周波数制御方式（電力回生なしかつギアレス巻上機）	1/45
VVVF（電力回生なし）	可変電圧可変周波数制御方式（電力回生なし）	1/40
交流帰還制御	交流帰還制御方式 （注）ワードレオナード式、静止レオナード方式（サイリスタレオナード方式）、交流二段方式が採用されている場合も「交流帰還制御方式」と選択する。	1/20

2.5 歐盟針對電梯能效標準及 ISO 25745-1~3 之推展

統計顯示，建築耗能約占歐盟能源消耗的近 40%。在歐洲，電梯能耗平均占建築總能耗的 4%，因此電梯能耗的節能潛力與改善空間相當重要。根據歐盟 2008 年統計，全球共有約 850 萬部電梯在運轉，其中歐洲約有 450 萬部電梯，每年耗電量約 180 億度，相當於兩座瑞士 Leibstadt 核能電廠的年發電量。此外，推估每年約有 45 萬部新電梯持續安裝，今年全球電梯總數約達 1,200 萬部。若在電梯設置時能減少 25%的能耗成本，全球每年可減少約 50 億度電力消耗，相當於減少約 310 萬噸二氧化碳排放。

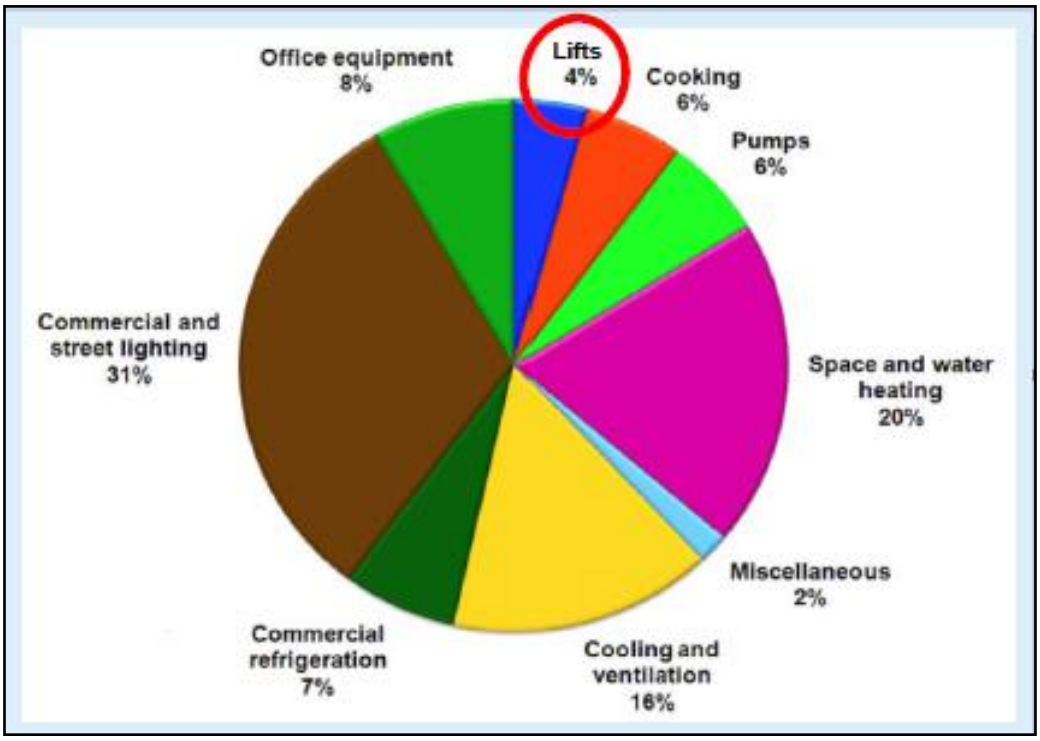
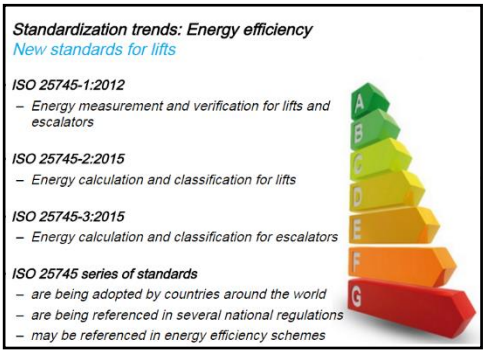


圖 2.5-1 歐洲建築能耗組成分布圖【12】

目前，歐洲多數國家依據德國工程師協會 VDI 4707 標準實施自主性電梯能效認證，英國則採用 BS EN ISO 25745 標準。兩

者的共通條件為：配備電力回生電梯者均可達能效標準最高等級。VDI 4707 最早於 2009 年 3 月由德國工程師協會頒布，該標準提供電梯能源消耗評估與標識所需的測量及計算基礎，其內容與歐盟建築能源性能指令及德國建築節能法案 EnEV 相似。VDI 4707 對每部電梯提供統一的能源證書標章，共分 A 至 G 七個能源效率等級，便於快速辨識。其主要目的是針對不同建築樓層高度、電梯型式、用途及使用頻率，歸納為「使用類別」進行分級，並採用「特定能量需求（Specific Energy Demand，mWh/(kg·m)）」作為評價基準單位。綜觀 VDI 4707 能源效率評估的兩大主要能耗因子為待機能量需求與運行能量需求，此外還需預測每年總能量需求，並提供改善能源效率的指導方針。此外，BREEAM 英國新建非住宅建築技術手冊依據 ISO 25745 最新標準【13】規定，新建建築電梯設備須符合其能效認證。ISO 25745 為全球電梯能量計算與分類的新標準。其中 A 級需採用創新技術與效率管理措施，如電梯電力回生裝置、低耗能待機模式及 LED 照明，並須經外部第三方認證。取得 A 級認證的電梯，與 1990 年代的電梯相比，能效提升近 90%，大幅降低耗能。



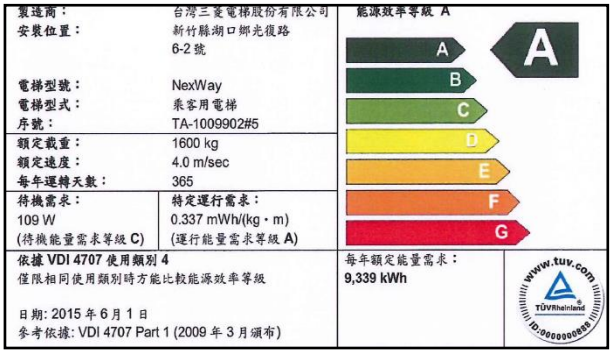


圖2.5-2 歐洲標委會說明ISO 25745與VDI 4707電梯能效等級【14】

2.6 美國 LEED 針對電梯電力回生裝置之認定

LEED「能源與環境先導設計」目前已成為美國各州公認的綠建築評估準則，各地方政府陸續將取得 LEED 認證標章列為公共建設的必要條件。近年來，LEED 更廣泛被世界其他先進國家採用，或作為制定本國綠建築評估系統的範本。因此，近期亞洲國家，包括台灣的大型公共建設及廠辦建築，也將獲得 LEED 綠建築標章視為重要指標。

LEED（領先能源與環境設計）是美國綠建築協會於 2000 年設立的綠建築評分認證系統，用以評估建築績效是否符合永續性。該標準經過多次修訂，目前適用版本為 2025 版。適用建物類型包括新建建案、既有建築物、商業建築室內設計、學校、租賃住宅及一般住家等。評分項目涵蓋八大指標：地點及交通（Location and Transportation）、永續性建址（Sustainable Site）、用水效率（Water Efficiency）、能源與大氣（Energy and Atmosphere）、材料與資源（Materials and Resources）、室內環境品質（Indoor Environmental Quality）、創新與設計過程（Innovation and Design Process）、以及區域優先性（Regional Priority）。

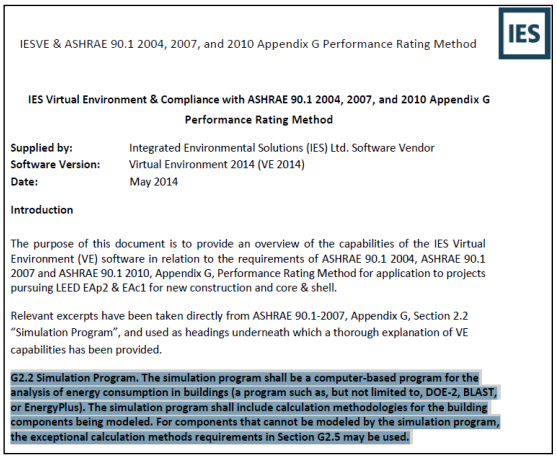
LEED 評分系統總分為 110 分。申請 LEED 認證的建築物，若評分達 40－49 分，則為 LEED 認證級（Certified）；評分達 50－59 分，則為 LEED 銀級認證（Silver）；評分達 60－79 分，則為 LEED 金級認證（Gold）；評分達 80 分以上，則為 LEED 白金級認證（Platinum）【15, 16】。

目前，台灣取得 LEED 認證的建築多為辦公總部大樓，如台北 101（LEED EBOM 白金級）、遠雄集團信義區 03 金融大樓（LEED NC 金級）、以及台達電子集團的高科技廠房與企業總部等。近兩年來，針對醫療院所類的 LEED HC（Healthcare）認證，在台灣逐漸受到各醫療體系重視，因其可作為高品質醫療

環境與綠色建築的象徵。

圖2.6-1 以電梯電力回生裝置等節能措施取得LEED認證【17, 18】

若以電梯電力回生裝置取得 LEED 相關分數，其應歸於 LEED EB「能源與大氣」類中的「能源效率最佳化」項目。電梯電力回生裝置系統對 LEED「能源效率最佳化」項目的分數取得確實具有貢獻，以下為 LEED-NC EAp2（如圖 2.6-2）選項一之條文節錄：



IESVE & ASHRAE 90.1 2004, 2007, and 2010 Appendix G Performance Rating Method

IES

IES Virtual Environment & Compliance with ASHRAE 90.1 2004, 2007, and 2010 Appendix G Performance Rating Method

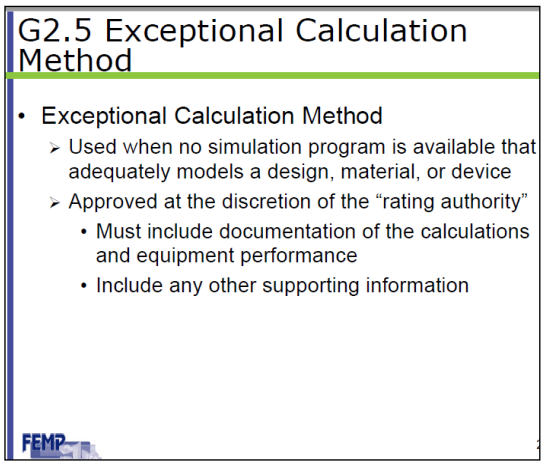
Supplied by: Integrated Environmental Solutions (IES) Ltd. Software Vendor
Software Version: Virtual Environment 2014 (VE 2014)
Date: May 2014

Introduction

The purpose of this document is to provide an overview of the capabilities of the IES Virtual Environment (VE) software in relation to the requirements of ASHRAE 90.1 2004, ASHRAE 90.1 2007 and ASHRAE 90.1 2010, Appendix G, Performance Rating Method for application to projects pursuing LEED EAp2 & EAc1 for new construction and core & shell.

Relevant excerpts have been taken directly from ASHRAE 90.1-2007, Appendix G, Section 2.2 "Simulation Program", and used as headings underneath which a thorough explanation of VE capabilities has been provided.

G2.2 Simulation Program. The simulation program shall be a computer-based program for the analysis of energy consumption in buildings (a program such as, but not limited to, DOE-2, BLAST, or EnergyPlus). The simulation program shall include calculation methodologies for the building components being modeled. For components that cannot be modeled by the simulation program, the exceptional calculation methods requirements in Section G2.5 may be used.



G2.5 Exceptional Calculation Method

- Exceptional Calculation Method
  - Used when no simulation program is available that adequately models a design, material, or device
  - Approved at the discretion of the "rating authority"
    - Must include documentation of the calculations and equipment performance
    - Include any other supporting information

FEMP

圖 2.6-2 User's Manual for ANSI/ASHRAE/IESNA Standard【19】

建築物能耗模擬：相比基準建築的性能等級，新建築需證明其性能等級提升達 10%（含）以上。

製程能耗：須涵蓋（但不限於）辦公與一般用設備、電腦、電梯與手扶梯、廚房炊事設備及冰箱、洗衣烘乾設備、額外照

明（如醫療設備照明）及其他設備（如水簾泵）。

非製程能耗：包括照明（如室內、車庫、停車場、外觀照明、地面照明及其他未列舉項目）、暖通空調（如採暖、空調、通風、水泵、廁衛通風、車庫通風、廚房排油煙等）以及生活熱水與空間加熱等。

電梯電力回生裝置亦可依據 ASHRAE 90.1-2007 G2.5 所提供的例外計算方法，透過文件與現場功能調適證明實施降低能耗的措施。但額外加強功能驗證需配合第三方進行，以符合例外計算之節能成效佐證。此外，節能效益的量測與確認，須如前述 VDI 4707 或 ISO 25745 認證之專業廠商進行量測與驗證作業，以確保電梯電力回生裝置達成節能效果【20, 21】。

2.7 電梯節能技術發展趨勢

建築節能一直是我國政府多年來的重要工作。電梯用電量僅次於冷氣空調與照明，但遠高於事務設備、抽排風及供水等用電。由於電梯運轉時間較長，因此將電梯電力回生裝置技術與現有電梯設備結合，使用高效率節能電梯已成為大勢所趨。

現行綠色節能電梯的發展主要方向包括以下幾個途徑：改進機械傳動與電力控制系統，例如將直流電動機或交流雙速電動機改為變頻調壓調頻調速控制（Variable Voltage Variable Frequency Inverter，VVVF）系統，可減少電能損耗 20%以上。若再將傳統齒輪減速機構改為 PM 永磁式同步馬達驅動的無齒輪牽引機（如圖 2.7-1 所示），其運行效率相比傳統電梯可大幅提升，效率提升約 40%。由於無齒輪牽引機透過非接觸式電磁力傳遞扭矩，還能降低扭力震動，也就是說，乘客搭乘電梯時，不會出現以往每停一層樓就左右晃動的情況，大幅提升乘坐舒適性。此外，由於沒有齒輪部件，亦無需使用潤滑油進行潤滑，無齒輪牽引驅動系統還可節省潤滑劑使用，降低環境污染，使

整部電梯運行更清潔。

圖 2.7-1 PM 永磁式同步馬達驅動之無齒輪牽引機【22】

其次，可將電梯在回生運轉時所產生的直流匯流排電能，經整流濾波後回送至市電，以達到節能省電的目的。若裝設電梯電力回生系統，其節能效益可達 10~30%，平均節電回生率約為 23.1%。此舉對抑制電梯用電成長具有相當效果。

另外，使用 LED 燈源替換電梯車廂傳統常用的螢光燈，可節約照明用電量近 50%，且燈源壽命為傳統燈具的三倍以上。搭配待機控制運轉模式，無人乘坐時可自動關閉照明燈源，並結合各種外型設計與光學效果，使車廂更加美觀大方（如圖 2.7-2 所示）。

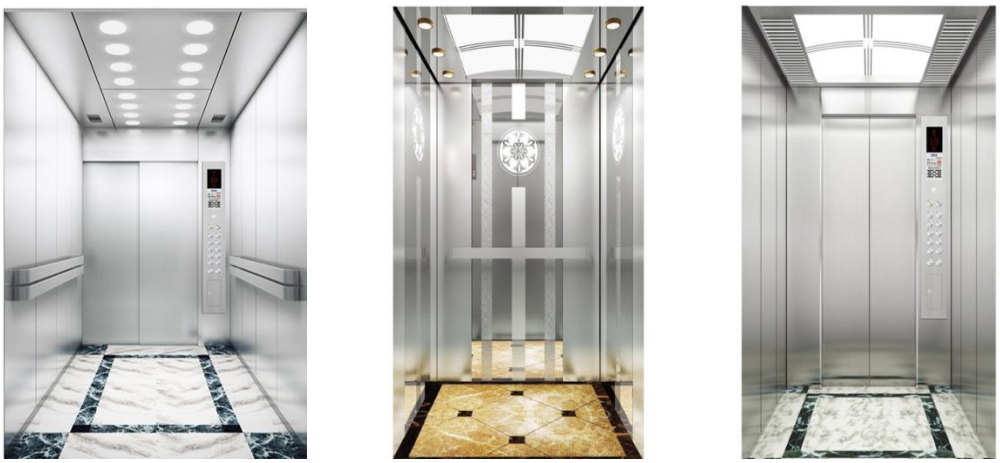


圖 2.7-2 搭配 LED 燈源新型綠色節能電梯【23】

第三章 電梯原理概要介紹

在現代都市中，隨著大樓越蓋越高、規模越來越大，電梯已成為大樓內人員與貨物上下流通的主要通道。無論是大樓的住戶、辦公使用者，或是訪客，每天進出時都離不開電梯。電梯不僅是大樓的必要設備，也大幅減少了人們上下樓梯的體力負擔，提升空間使用效率，使得建築得以興建得更高，容積率也能提高。

本章將介紹電梯的基本原理與構造，並簡單說明目前市面上已銷售且具有一定市場佔有率的各種電梯類型，讓能源使用者與使用端了解自己就是未來推動電梯電力回生節能技術的主要對象，以及這些設備所具備的節能潛力。

3.1 電梯的原理及構造

一般人常把用來搭乘的電梯車廂（也就是承載人或貨物的部分）直接稱作電梯，但其實整個電梯系統應包含如圖 3.1-1 或圖 3.1-2 所示的全部構造。電梯是由數十種機械與電機元件組成，包含複雜且精密的電機控制單元與機械構件。

不過簡單來說，電梯的基本工作原理可用定滑輪組來理解（如圖 3.1-3）：一側是乘客搭乘的車廂，另一側則是掛著鐵塊的配重，兩者透過鋼索相連，而中間的滑輪部分就是由馬達驅動的捲揚機。至於配重鐵塊的重量，可依下列方式決定：

配重側總重量＝（車廂側空車重量＋車廂側滿載重量）÷2

舉例而言，假設車廂空車時本身淨重是 500 公斤、最大限重 800 公斤，則配重側總重必須是(500+1300)/2＝900 公斤。這麼訂的好處是可以極小化捲揚機的最大負荷。如上述，可讓捲揚機的最大負荷從 1300 公斤變小為 400 公斤。當驅動系統的負荷容量

變小時，有助於減少各元件的製造成本及體積大小。

目前大部分的電梯都是採用捲揚機、槽輪與鋼索之間的摩擦來驅動牽引。此外，也有油壓電梯，油壓電梯的優點是升降通道上方不需要設置機械室；不過，由於油壓柱塞（Plunger）長度有限，這種電梯通常只適用於行程在 20 公尺以下的場合，例如汽車、病床、大型貨物或工廠進出貨等。

牽引式電梯則是依靠鋼索將車廂與配重吊掛結合，並分別由專用導軌引導其垂直升降。捲揚機、驅動馬達以及控制器所安置的空間統稱為機械室，通常設在升降通道的最上端，但也有因建築結構而設置在升降通道下方或側面的位置。電梯的控制器透過活動電纜與車廂相連。主要機械設備的位置，如圖 3.1-1 及圖 3.1-2 所示（各部機構名稱與功能說明詳見附錄）。

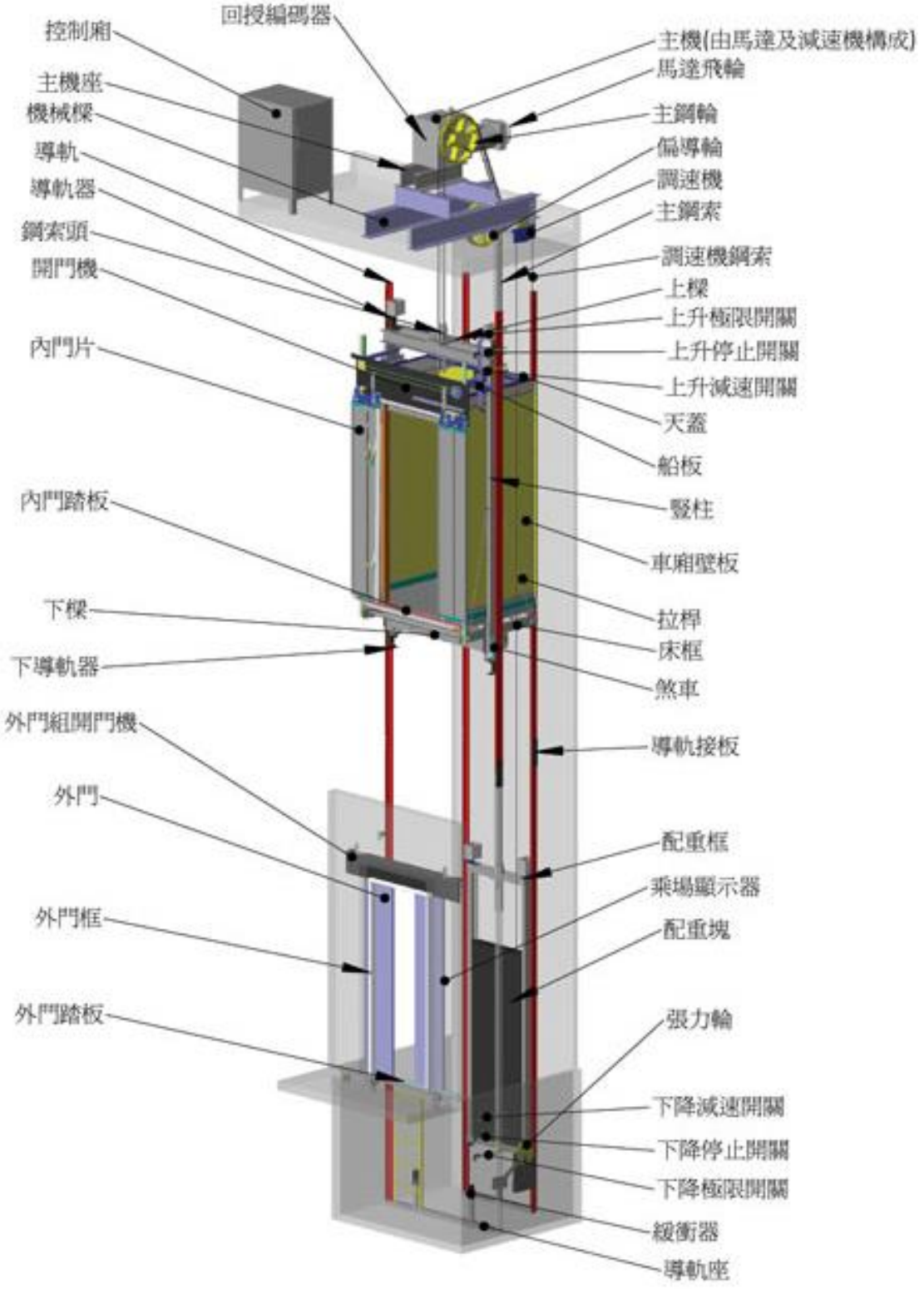


圖 3.1-1 電梯各部構造名稱與位置【24】

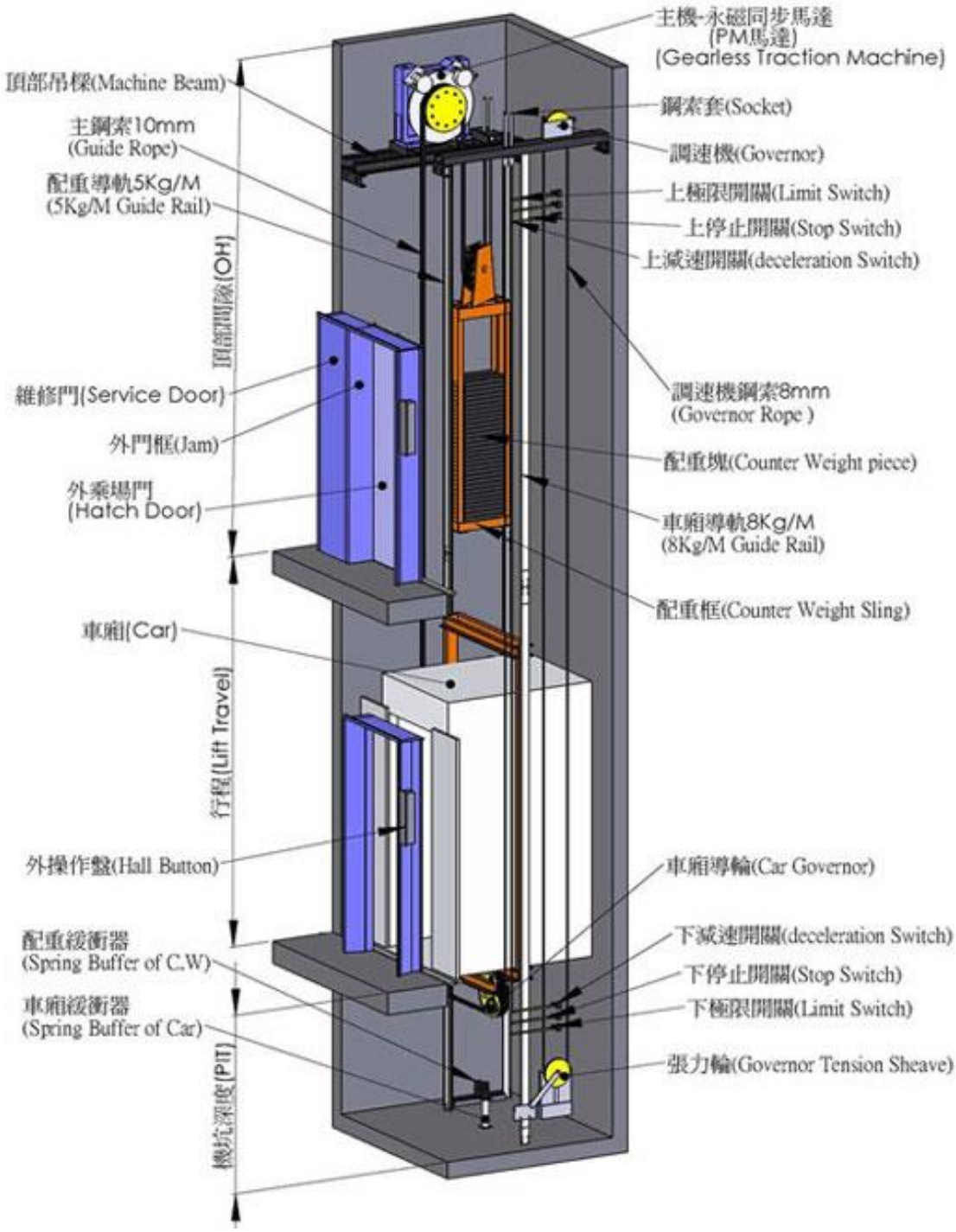


圖 3.1-2 電梯各部構造名稱、位置及中英對照【24】

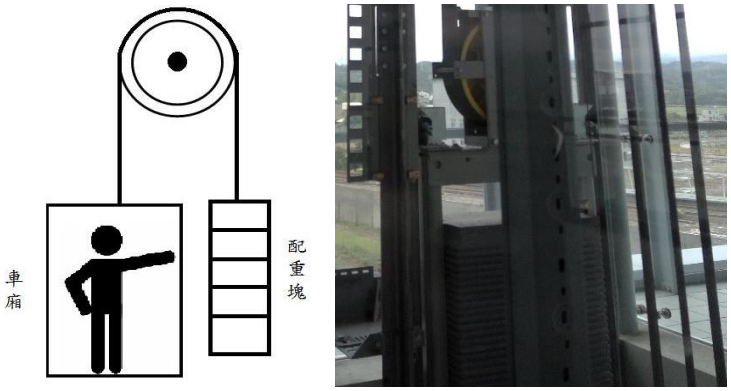


圖 3.1-3 電梯配重原理示意圖與實照

3.2 電梯安全裝置概要

電梯是要求「高安全性」的裝置，故設有多重的安全系統，以確保在各種情況下，電梯的乘客或保養人員，都能獲得安全上的保障。電梯機械裝置功能說明如表 3.2-1、3.2-2，其中在安全保護方面的基本設施說明如下。

(1)電磁制動器

電梯運轉中是依靠電磁力來鬆開制動器，在電動機主回路被切斷同時，以彈簧將制動器煞車韌塊制動住煞車鼓或碟盤使電梯確實保持停止。

(2)調速機(Governor)

電梯會經常監控自身的運行速度，當速度異常升高時，會依序進行以下兩道安全動作：

第一道動作：當電梯速度未超過額定速度的 1.3 倍時，先切斷作動開關，接著切斷電動機回路，並同時啟動制動器。(對於額定速度每分鐘 45 公尺以下的電梯，制動器會在速度達每分鐘 60 公尺之前啟動)。

第二道動作：當電梯速度未超過額定速度的 1.4 倍時，緊急停

止裝置會啟動，將車廂確實固定在導軌上，防止車廂下墜。(對於額定速度每分鐘 45 公尺以下的電梯，緊急停止裝置會在速度達每分鐘 63 公尺之前啟動)。

(3)緊急停止裝置

萬一遇到鋼索斷裂時或其他未能預測之原因，致使車廂下降速度明顯增加時，為了阻止其下降，會在車廂框架設置能夾住軌道之裝置，再經由調速機讓此裝置作動。

(4)極限開關(Limit Switch)

到接近最頂樓及最底層樓時，自動將電梯停止，防止其超過行程。

(5)終端極限開關(Final Limit Switch)

極限開關因為某些原因不作動時，為確保安全則會強制切斷全部電器回路，使電梯停止運行。

(6)緩衝器(Buffer)

某些因車廂超過須停止之樓層時，給予緩衝的裝置。通常額定速度 60m/min 以下時，使用彈簧緩衝器，對於超過 60m/min 者，就使用油壓緩衝器。

(7)門的連鎖開關(Interlock Switch)

一層樓的車廂內門，皆設有連鎖開關及門鎖扣，也就是說當任何一層樓的門未緊閉，車廂就不能運行。另外，附帶緊急開鎖裝置的連鎖開關是用特殊的鑰匙來開鎖，用手開車廂門時(圖 3.2-1)，如手搆著連鎖開關，可以用手開鎖，打開搭乘樓層門。

(8)通話設備或緊急電鈴

連絡車廂內和大樓管理室之電梯專用通話設備(對講機)或者緊急電鈴。

(9)停電燈

為緩和乘客心情，停電時車廂內將立即切換至緊急照明燈，需在車廂內地板平面保持 1 燭光(LUX)以上光亮度，且須持續達 30 分鐘以上【25】。

表 3.2-1 電梯機械裝置功能說明表

裝置名稱	功能	裝設位置
電磁制動機 (Magnet Brake)	停車或停電時，利用彈簧張力及煞車來令片(Lining)將捲揚機驅動軸制住，以防車廂及配重滑落。	捲揚機
調速機 (Governor)	車廂或配重，下降速度異常時，以機械原理檢出，切斷動力使電梯停車，或帶動安全裝置，煞住車廂。	機械室
安全裝置 (Safety Device)	當調速機動作時，帶動安全裝置，將車廂煞住在導軌上。	車廂
緩衝器 (Buffer)	當異常情況發生，致使車廂或配重，超過極限開關，往機坑(Pit)下降時，緩衝器可使車廂之衝擊緩和再停車。	機坑
門連鎖裝置 (Door Interlock Device)	此裝置使用於各樓之出入口門(Hatch Door)除非電梯停於該樓，否則必須使用鑰匙，才能由外部開啟。	出入口門
車廂天井救助口 (Man Hole)	停電或電梯故障，乘客被關在車廂內待援時，可利用設在天井的救助口適度安撫救援。	車廂天井
手動操作把手 (Turning Handle)	停電或電梯故障時，車廂停在升降通道中，利用工具將電磁制動機放鬆，再以手動操作把手去轉動捲揚機，使車廂停在正確位置，讓乘客安全地走出車廂。	捲揚機

表 3.2-2 電梯系統裝置功能說明表

裝置名稱	功能	裝設位置
電源異常保護裝置	捲揚電動機動力電源欠相或逆相時，及時將電源遮斷，使運轉停止。	控制盤
電氣安全連鎖 (Electric Safety Chain)	其中一個作動即停止升降機之方式加以連結的電氣安全裝置。	控制盤
門連鎖開關 (Door Interlock Switch)	各樓之出入口門，如未閉合，或上鎖不確實時，電氣接點即無法接通，使電梯不能運轉。	出入口門
車廂門開關 (Gate Switch)	車廂門未完全閉合時，電氣接點即無法接通，電梯不能運轉。	車廂門
緊急停止開關 (Emergency Switch)	緊急情況下，按下開關，使電梯停止運轉。	車廂內 操作盤
車廂門安全裝置 (Safety Shoe)	門關閉中如碰到人身或物體，會即時停止並反轉重開。	車廂門
終端強制減速開關 (Slow Down Switch)	電梯行至終端階時，強制減速。	升降通道
終端極限開關 (Limit Switch)	電梯在升降通道終端，超行一段距離時會觸動此裝置，將動力電源遮斷，停止運轉。	升降通道
最終端極限開關 (Final Limit Switch)	若電梯超過「終端強制減速開關」及「終端極限開關」仍因異常原因，而無法使電梯停止，行至最後會再觸動此裝置而使電梯立刻停止運轉。	升降通道
安全開關 (Safety Operated Switch)	試車、保養作業時，在車廂上將動力電源切斷，使電梯停止。	車廂上
救助口開關 (Man Hole Switch)	當車廂天井救出口被打開時，此開關會動作，而使電梯立即停止運轉或無法啟動。	車廂天井
對講機 (Interphone)	車廂內乘客和外部管理人員聯絡之主要通信工具。	車廂內 機械室 管理室
秤裝置 (Weighing Device)	電梯搭載重量超過額定載重時，觸動秤裝置。會發出警告信號，並使電梯門無法關閉，電梯無法啟動。	車廂底部
停電照明 (Emergency Light)	停電時，在車廂內維持 30 分鐘以上之照明。	車廂天井
驅動控制系統 (Drive Control System)	控制及監測升降機器運轉之系統。	機械室

3.3 各型電梯裝置分類

在齒輪式或無齒輪式的捲揚系統中（分別用於中行程與高行程電梯），車廂是由升降道內的多條鋼索、兩個槽輪以及配重塊懸吊支撐。車廂與配重塊的重量提供了槽輪與鋼索之間足夠的摩擦力，使槽輪能抓住鋼索，帶動車廂運行或停住車廂，避免滑動。同時，車廂與配重塊沿著垂直導軌行駛，以保持穩定，不會晃動。

驅動電梯的機械裝置通常設在升降通道正上方的機房內。為了供應車廂電力並傳輸電子訊號，機房與車廂之間會連接多芯電纜，電纜末端接至車廂並隨車廂移動，稱為移動電纜（Travelling Cable）。

齒輪式主機配備一個高速馬達，透過齒輪箱內的齒輪將動力傳給槽輪，藉由齒輪減速降低驅動輪速度。無齒輪主機則採用低速馬達，馬達軸直接連接至驅動槽輪。

3.3.1 依用途別分類

(1) 載人用電梯（Passenger Elevator）：專用於載人的電梯。

(2) 載貨用電梯（Freight Elevator）：專用於載運貨物，不得載人。如因需要，得搭乘一人充當操作員。

(3) 人貨兩用電梯（Passenger and Freight Elevator）：載人、載貨兩用之電梯。並可依需要設計為以載人為主或以載貨為主。

(4) 醫院床用電梯（Bed or Hospital Elevator）：醫院中用以載送病床之電梯。其特點為車廂縱深較大，以便容納病床台車。平常亦可當載人電梯使用。

(5) 汽車專用電梯（Car Elevator）：停車場之汽車專用電梯。

(6) 小型載貨電梯（Dumb Waiter）又稱為送菜梯：一般用於工廠載送手推車或圖書館、銀行、大飯店運送文件、資料、餐點等。因無法乘人，故都由外部來操作。

3.3.2 依速度分類

(1) 低速電梯：額定速度 45m/min 以下之電梯。

(2) 中速電梯：額定速度 60m/min～105m/min 以下之電梯。

(3) 高速電梯：額定速度 120m/min 以上之電梯。

3.3.3 依捲揚機之型式別分類

(1) 有機房式電梯（Machine room Elevators）：電梯機房通常設置於升降通道(Well)正上方（屋突）或升降通道側邊，機房原則上需大於升降通道截面積之二倍，但無礙於保養時不在此限。

(2) 無機房式電梯（Machine room-less Elevators）：無機房式電梯相較於有機房式電梯，捲揚主機與控制設備通常更小型化，且這些設備會直接設置在升降通道內或乘場的控制面板上，因此不需要另外建置電梯機房。

其優點為：

A. 免建置升降通道上方獨立電梯機房，可節省土建施工時間及降低建置成本。

無機房乘客電梯是將捲揚機安裝在升降通道內，並搭配薄型控制盤，也設於升降通道內。原本位於機房的所有設備與機器，全部移至升降通道內，使原機房的空間完全得以節省（如圖 3.3-1 所示）。對於中國式建築或斜屋頂建築，在設置電梯時，可解決升降通道無法到達頂樓的問題。此外，由於所有機器設備都設置在升降通道內，因此對升降通道的溫度與空氣品質必須加以管理，避免高溫或過多灰塵影響電梯運行品質。

B. 因主機小型化，通常選用高效率之永磁同步馬達作為捲揚主機，具有節能、環保、高效率等特色。

無機房乘客用電梯有廠商採用永磁式(Permanent Magnet)馬達研製之無齒輪捲揚機如圖 3.3-2，並配置雙重煞車器。據廠商測試，此馬達可大幅降低扭力振動而達成電梯運行之平穩，對於控制盤亦採薄型(厚度約為 98mm)，安置於升降通道上方之側壁上，使建築物屋頂不再因需要電梯機房而有突出物，建築師不需規畫設計電梯機械室(Machine Room)，建築物可採斜屋頂式，或設計屋頂花園，創造更多活動空間。在結構部分亦不需考慮電梯相關之反力，因為無機房電梯之垂直反力均由自身導軌所支撐。但無機房式電梯因電梯捲揚主機較靠近使用者之辦公室或居室，噪音或震動問題較傳統有機房式電梯而言需採較先進技術克服，所以通常較不適用於高速及大載荷之電梯使用。

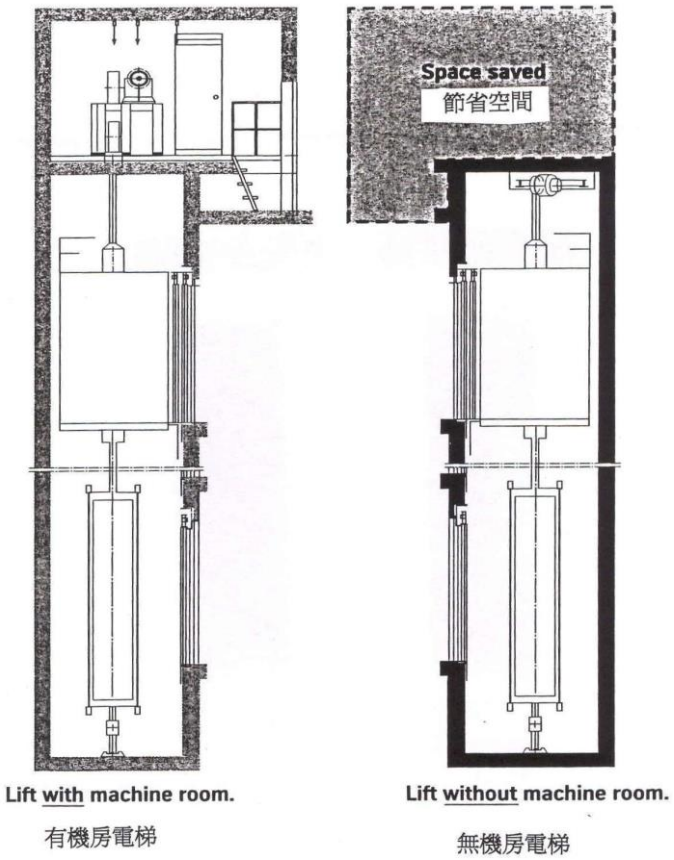


圖 3.3-1 無機房電梯節省空間示意圖【26】

3.3.4 依驅動方式分類

(1)鋼索式（Rope）電梯，也稱牽引式電梯：鋼索掛在捲揚機的驅動槽輪（Sheave）上，一端吊掛電梯車廂，另一端則吊掛配重（Counter weight）。當捲揚機捲動鋼索時，車廂便隨之升降。鋼索式電梯是透過鋼索與槽輪之間的摩擦力傳遞馬達的驅動力，實現電梯升降。一般傳統牽引式電梯利用牽引電動機組（簡稱機器）帶動鋼索，使電梯上下運行，同時令配重做反方向移動。電動機組及其他控制元件通常安裝在獨立機房，由於電動機組設在上方施力最直接，效率較高，因此傳統電梯多將機房設於建築頂部。無機房電梯是新型牽引式電梯，將機房內的機器縮小，直接安置在升降通道頂部，節省機房空間，其餘設計與傳統電梯相同，目前多用於中低層運輸。牽引式電梯的機器主要分為兩種：齒輪牽引機與無齒輪 GEA。

(2) 油壓式電梯（Hydraulic Elevator）：利用油壓幫浦將油注入油壓缸（Cylinder），透過油壓推動柱塞（Plunger）向上，電梯車廂直接固定在柱塞上方，隨著油壓的增減上下升降。電動機以油為介質推動車廂上升，而車廂下降時則靠自身重量將油回流至油箱。油壓電梯的機房通常設在下方較合適，但設在其他位置也影響不大。由於升降速度慢且運輸距離短，因此逐漸被無機房電梯取代。

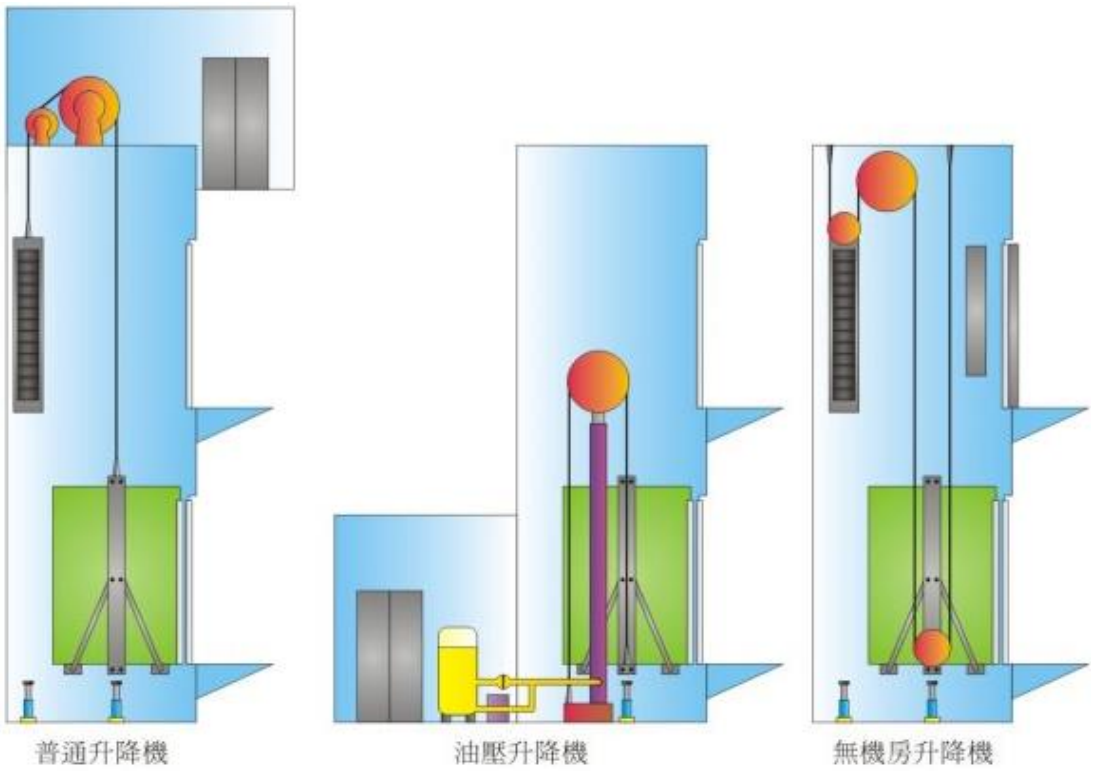


圖 3.3-2 電梯分類示意圖

3.3.5 依機械室位置分類

(1) 升降通道頂部式（Overhead Installation Type）

(2) 升降通道底部式（Basement Installation Type）

一般而言，鋼索式電梯採用頂部式（特殊情形才採用底部式），而油壓式電梯則採用底部式。

上述為電梯之一般性分類，若以特殊目的而設置之電梯，則有以下幾種分類：如展望式電梯（Observation Elevator）；或適合殘障者使用之輪椅電梯；配合大樓消防目的及自備發電之緊急用電梯；以及適合山坡地或特殊形狀建築使用之斜行電梯等。

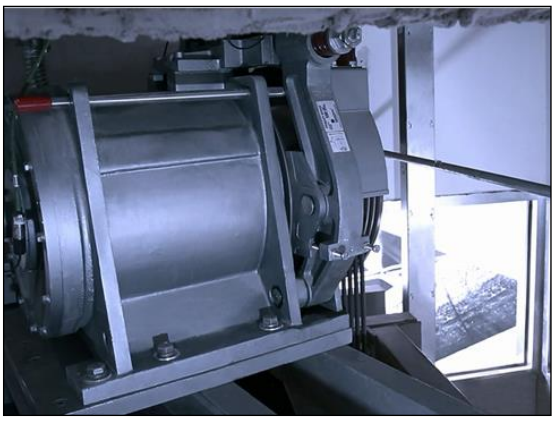


圖 3.3-3 永磁馬達之無齒輪捲揚機【27, 28】

3.4 智慧節能電梯

近年來電梯大多採用永磁同步馬達驅動，因其具有效率高、散熱容易、輸出轉矩大等優點，搭配變頻控制技術，使電梯達到高效率以及高性能。表 3.4 是某廠牌針對其智慧節能電梯的特色說明；當今智慧節能電梯主要著重下列幾點功能的持續改善：

(1) 研發更省能源、更省電力的捲揚機與驅動系統，並使安全性更提升；

(2) 強化人和機械介面的資料網路系統；

(3) 車廂門機構採用變頻變壓控制使得更加安靜平順；

(4) 設計流線形的車廂操作盤及大方、柔和且自然操作的人機介面；

(5) 應用人工智慧和模糊(Fuzzy)理論管理電梯群體，對呼叫車廂的分配，提供最適當且高效率的服務；

(6) 輔以秤重裝置(Load Weighing Devices)增進乘坐舒適感。

表 3.4 現行智慧節能電梯特色說明

名稱	特　色　說　明
捲揚機	A 採用螺旋齒輪捲揚機，齒輪傳達效率優於傳統蝸桿齒輪捲揚機，節省15% 以上電力。 B 變頻變壓控制之馬達驅動系統，同步及連續性的調節電壓及頻率，提供理想的速度控制給驅動馬達，確保了運轉的平滑與柔順，帶給乘客舒適的搭乘感覺。
控制方式	A主要之控制系統為可變電壓可變頻率控制系統，採用16位元中央處理器(CPU)，記憶器(Memory)及必要之輸出/輸入界面。 B 採用資訊網路系統將分散至各乘場、車廂及控制盤之微電腦串聯傳送控制，使電纜數減少，機器的介面單純化，提高信賴性及效率。
群管理方式	採用人工智慧及模糊(Fuzzy)理論之群管理方式，此管理操作方式的電梯隨時將乘場叫車訊號及車廂訊號如車廂位置、運轉方向、載客人數等輸入微電腦來計算任何一個呼叫樓層之等待時間以及預測可能因車廂滿載時過站不停的機率，來指派最適當的車廂前往應答服務，提高服務之效率。
秤裝置	電梯起動由裝於車廂上樑之秤裝置(差動式檢出裝置)偵測車廂內重量之變化，適時提供最適當之馬達出力起動方式，以降低起動電流及提升起動舒適感，並節省電力且沒有因長時間使用後橡皮老化而產生的不靈敏動作之問題。
操作信號器具	流線形面板，給使用者親切柔和的感覺，矩陣式LED樓層及方向指示，清晰易讀，識認性佳及省電。
車廂門機構	變壓變頻控制，使車廂門的關閉更平滑、安靜。
控制盤	為前側開門，減少保養空間，增加機械室盤面的靈活配置。

第四章 電梯驅動技術的演進

早期的電梯系統其驅動方式多樣化，包括柴油、蒸氣機水力或人力等。現代的電梯系統已全數使用電力驅動。電梯(牽引升降機)電動機通常設置在升降通道的上方，利用電動機牽引透過鋼索連接的配重塊和車廂。至於油壓電梯的機房就多設在最低層。在不同年代所安裝的電梯，會用上不同電動機驅動技術以控制其速度。

電梯捲揚機由馬達驅動運轉，本章主要介紹電梯馬達的驅動方式演進，這其實也是一場電梯節能技術的演進，是節能的大進化(參考圖 4.1-1 及表 4.1)。

4.1 電動機的驅動系統

為使電動機具備變速能力，其驅動系統須提供可調變之電壓與頻率。因此，市電所提供之固定頻率（60 Hz）與固定電壓（220 V）電源，無法直接用於電動機之變速控制。

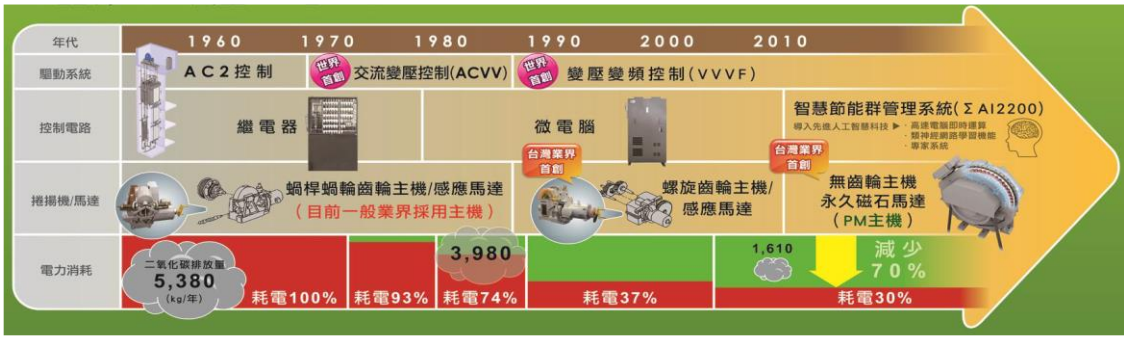
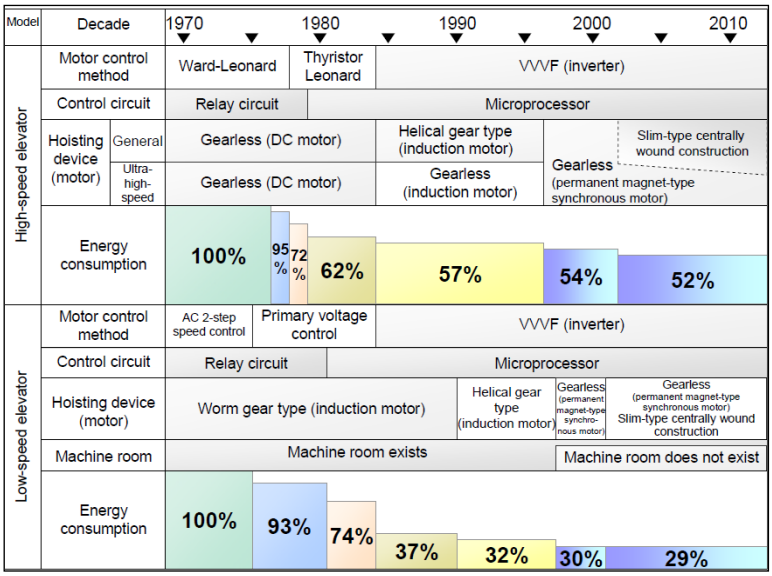


圖 4.1-1 電梯節能技術發展的演進【29】

表 4.1 電梯節能技術演進時程【30】



為獲得合適之驅動電源，通常需先透過整流器將交流電轉換為直流電。其後，為降低電動機線圈電流並提升驅動效率，常需進行直流電壓之升壓處理。最終，經由變頻器將直流電逆變為具可變頻率與電壓之交流電，以提供電動機調速運轉所需之輸入電源（如圖 4.1-3 所示）。

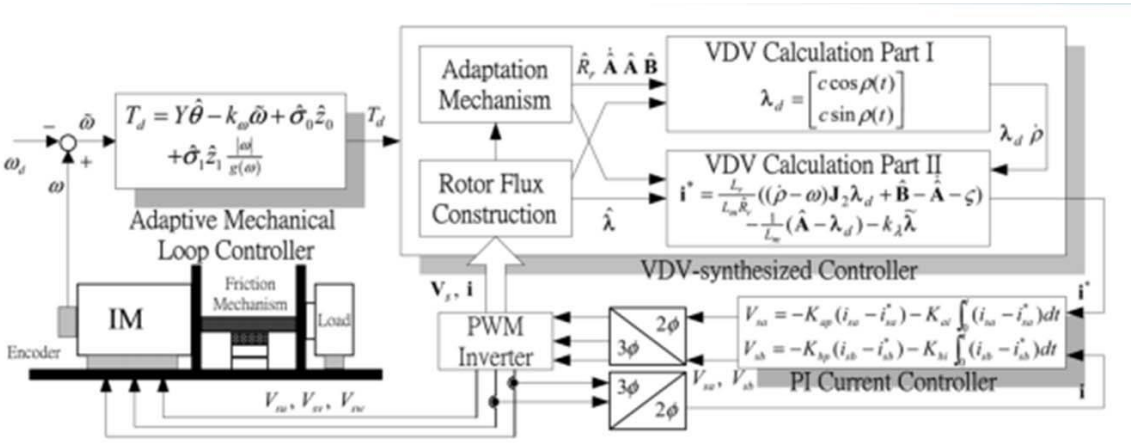


圖 4.1-2 感應馬達(IM)模型與控制示意圖【31】

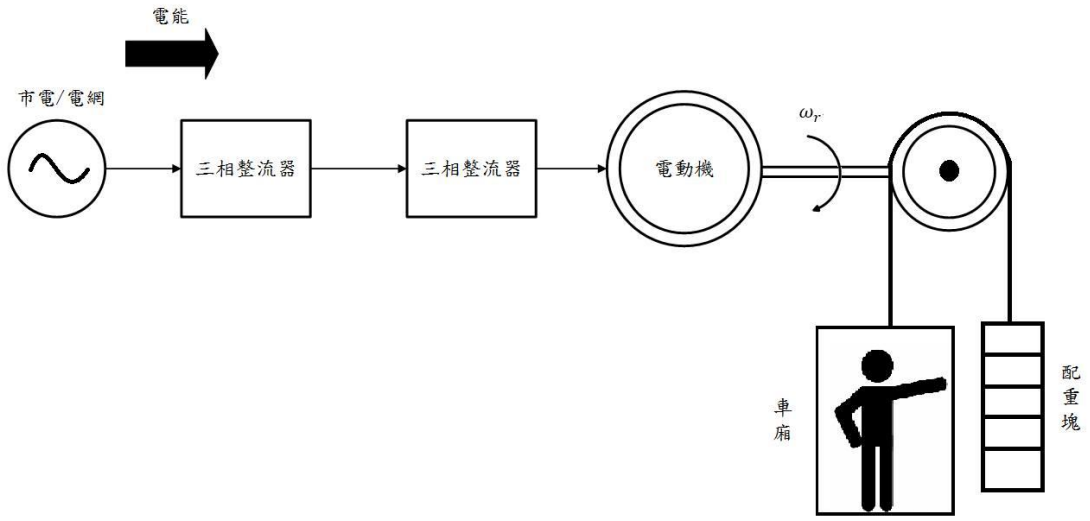


圖 4.1-3 電動機驅動架構示意圖

4.2 直流(DC)電動機驅動技術

無論是直流或交流電動機，都在安全電梯發明之前便已存在。早期雖然交流電動機在製造與運轉成本上較具優勢，但受到技術限制，其調速方式缺乏彈性，因此不少電梯採用較易控制速度的直流電動機，以提升搭乘舒適度。直流電動機的主要優點在於只需調整輸入電壓，即可實現平順的速度控制，技術成熟且可靠，故在早期電梯系統中廣泛使用。後續雖然陸續出現雙速或多速之交流電動機系統，但因直流電動機仍具備較佳的調速平順性，故在高級建物、長行程或高速電梯中依然受到青睞。直到調壓調頻（VVVF）技術發展成熟，使交流電動機能夠同樣達成平順調速，且具備可靠性高、維護成本低、效率佳等多項優點，直流電動機遂逐漸退出主流市場。

電梯一般採用三相交流供電系統。若需驅動直流電動機，必須先將交流電轉換為直流電。早期在電力電子技術尚未成熟時，電梯多採用「三相電動機－發電機組（Motor-Generator Set, M-G Set）」方式：由三相交流電動機將電能轉為機械能，再由直流發電機將機械能轉回直流電能。此種架構不僅成本高昂，亦因

經歷多重能量轉換而造成顯著能量損耗，整體轉換效率偏低。隨著電力電子元件（特別是矽控整流器）技術逐漸成熟，後期系統開始廣泛採用矽控整流器(如圖 4.2-2)取代 M-G Set，並將整流裝置直接整合於電梯控制櫃內。此舉不僅省去龐大設備空間需求，亦有效提升供電效率與系統可靠性(如圖 4.2-3 所示)。

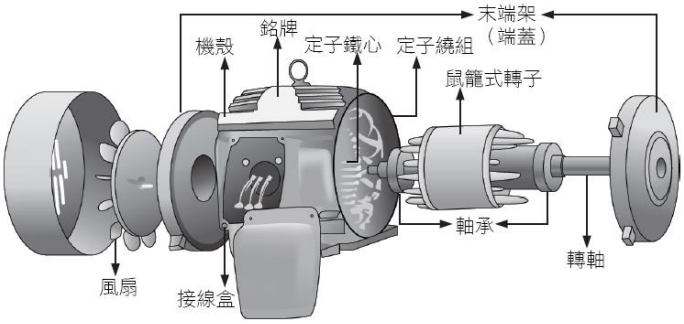


圖 4.2-1 三相感應電動機的構造示意圖

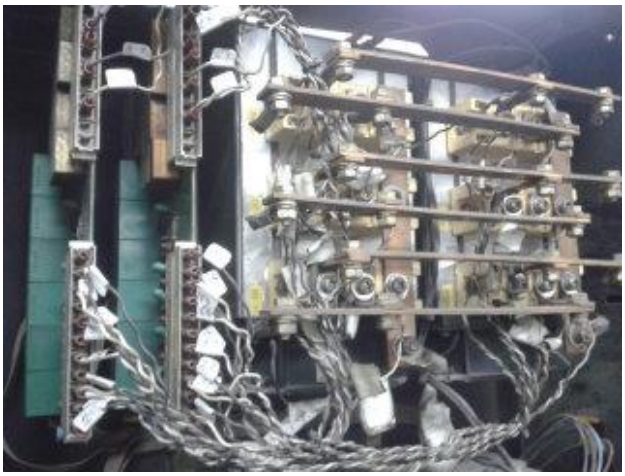


圖 4.2-2 傳統電梯用矽控整流器(SCR)

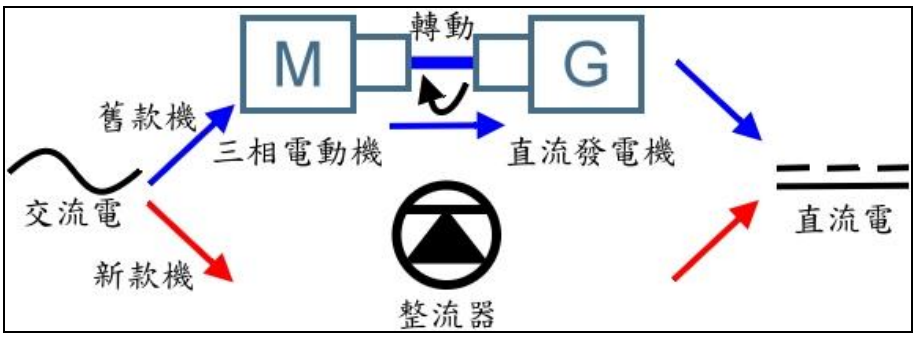


圖 4.2-3 傳統直流電梯電動機驅動架構示意圖

然而，即便改用整流器供電，其整體效率仍不及現今普遍採用之三相交流電動機系統。此外，直流電動機仍受到轉子換向機制的限制：轉子線圈在旋轉過程中電流方向必須適時切換，因此需仰賴電刷（碳刷）與轉子上的換向器（整流子）進行接觸，以完成換向功能。

此構造亦帶來直流電動機的主要缺點：電刷因持續摩擦造成能量損耗並產生碳屑，不僅需定期更換與清潔，亦易因保養不當導致設備過熱或損壞。隨著調壓調頻（VVVF）技術成熟，使交流電動機得以實現與直流電動機相當的調速性能，並具備更高效率與更低成本，因此各大電梯製造商已全面停產直流電動機式電梯，改以 VVVF 交流電動機為標準設計。

由於 VVVF 技術僅在近二十多年才廣泛應用，目前九十年代以前興建之高行程或客用電梯中，仍有相當比例採用直流電動機，並持續運轉中。

4.3 交流(AC)電動機驅動技術

交流電動機最初僅具單一運轉速度，隨著技術發展，逐步演進為可提供多段速度的設計，甚至後期發展出無段調速功能，以滿足電梯運行的需求。雖然交流電動機的轉速可進行調整，但受限於早期技術，其可選速度皆為固定值。在早期的驅動方式中，電梯的運轉是由多組繼電器控制，電路直接接通至交流電動機，因此稱為直接驅動（Direct On Line, DOL）。具單一速度的稱為單速機（AC/1），具兩段速度的稱為雙速機（AC/2），依此類推。其中，以雙速機最為普遍。隨後技術進一步演進，出現了調壓調速（ACVV）技術，作為邁向調壓調頻調速（VVVF）無段調速系統的過渡階段。ACVV 雖能改善乘坐舒適度，但其反應速度與電梯停層精準度（Leveling Accuracy）仍僅屬一般。

將三相交流電力直接輸入至交流電動機，是最直接的驅動方式，可使電動機全速運轉。然而，除單速機外，電梯在接近目的樓層時需降低速度，以提升乘坐舒適度與停層準確性。早期無法在合理成本下改變交流電的頻率，調速的方式只能從電動機的結構著手。透過改變接線方式，使電流接至電動機的不同端子，以改變其極數；極數越多，轉速越低。儘管如此，無論採用何種接線方式，交流電動機仍難以達到直流電動機般的順滑調速效果。為改善運轉的順暢度，有些電梯會在電動機上加裝大型飛輪，以增加轉動慣量，延長加速與減速的時間，使運行更加平穩，但此舉亦會提高運行成本並加速機械耗損。另一方面，由於電梯停止時須具一定的停層精準度，當可選速度段數較少時，為維持停層精度，載重量與運行速度便受限制，無法大幅提升。

由於電梯的啟動與停層主要由制動器（Brake）及主繼電器（Main Relay）所控制，其運作精度會受到多項因素影響。例如，載重量、制動器與主繼電器的磨損程度，以及環境條件（如溫度與濕度變化）等，皆可能導致停層精準度產生偏差，誤差甚至可達數厘米。

80 年代中起，電梯開始採用調壓調速（AC Variable Voltage, ACVV）技術。部分採用交流電動機的電梯，於供電至電動機的電路中加入電路板與變壓器等元件，使電梯的加速與減速過程更為平順。此外，在此控制方式下，制動器僅於電梯完全停定後才會放下，其運作原理類似於直流控制系統，因此已不再屬於平層系統的一部分。ACVV 技術與後期的調壓調頻調速（VVVF）技術之主要差異在於，ACVV 僅能依預設的加、減速率進行速度控制，無法動態調整頻率。電梯在接近停層時，其停止於到達樓層的精準度仍需仰賴選層器（Selector）來判斷何時開始減速。因此，採用 ACVV 控制的電梯，其運行速度與加減速特性常會依行程長度而有所不同；通常短行程（如一層間）與長行程（兩層或以

上）的運轉速度與加減速時間設定皆不相同，以兼顧乘坐舒適度與運行效率。

交流電動機相較於直流電動機具有多項優勢。其運作無需經過電流轉換過程，因而可減少能量損耗；同時，由於結構簡化、無碳刷設計，使得行車運行更為寧靜，故障率與維護複雜度均較低。此外，部件數量減少亦提升了整體系統的可靠性與耐用性。但調壓調速（ACVV）技術作為交流電動機控制技術的過渡階段產品，其應用時期主要集中於 90 年代的商場及大樓等建築物。

4.4 調壓調頻交流電動機 (VVVF)驅動技術

過去僅有直流電動機電梯能提供良好的調速性能。然而，自 1985 年半導體技術成熟後，調壓調頻控制方式（VVVF）的交流電動機電梯問世，並於 1990 年代逐漸普及。現今高速電梯乃至大多數商用與住宅電梯，皆已無需再依賴直流電動機。交流電動機在製造與運行成本方面均具備優勢，且搭配半導體控制技術的快速發展，有效克服了過去調速不易的限制，使電梯整體成本顯著降低。在兼具舒適性與節能需求的前提下，交流電動機透過不同機組設計，不僅已全面取代油壓式與直流電動機系統，更推動無機房配置（結合永磁同步馬達）與電力回生裝置等先進電梯技術之發展，如圖 4.4-1、圖 4.4-2、圖 4.5。

圖 4.4-1 電梯系統整體增設電力回生裝置【32】

其速度控制方式與傳統交流電動機依靠改變極數的控制機制有顯著差異，成功改善了傳統交流電動機無法提供平順調速之缺點。隨著電力電子技術的進步，使得對電壓與頻率的控制更為精確且高效，不僅減少能量損耗，亦可依負載與電動機轉速進行供電調節。例如，於起動階段可逐步提升低頻輸出以降低起動電流；在恆速運轉時，則僅需輸入少量電流即可維持穩定運行。

在電梯系統中，調壓調頻調速控制需於控制櫃中配置驅動器（Drive），而其核心組件為絕緣柵雙極電晶體（Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT）。此項技術亦廣泛應用於其他需調速之設備，如空調系統及鐵路運輸等。藉由 VVVF 控制方式，電梯運作轉為以電腦控制為主，機械控制部件相對減少，不僅提升系統可靠性，亦使得透過軟體更新改善運行性能成為可能。然而，驅動器屬電子元件，其壽命有限，通常於使用數年至十餘年後即可能產生故障。此外，由於各品牌電梯系統架構不盡相同，驅動器之維修與更換高度依賴原廠技術，非原廠維護較難以執行。當前具備電力回生功能之電梯已成市場主流，絕大多數新設電梯皆採用此形式。若既有設備面臨汰換需求，能源使用者在資金許可情況下，多會升級為調壓調頻控制系統；而捲揚機部分則可依成本與需求選擇更換為無齒輪式，或沿用既有之有齒輪捲揚機。

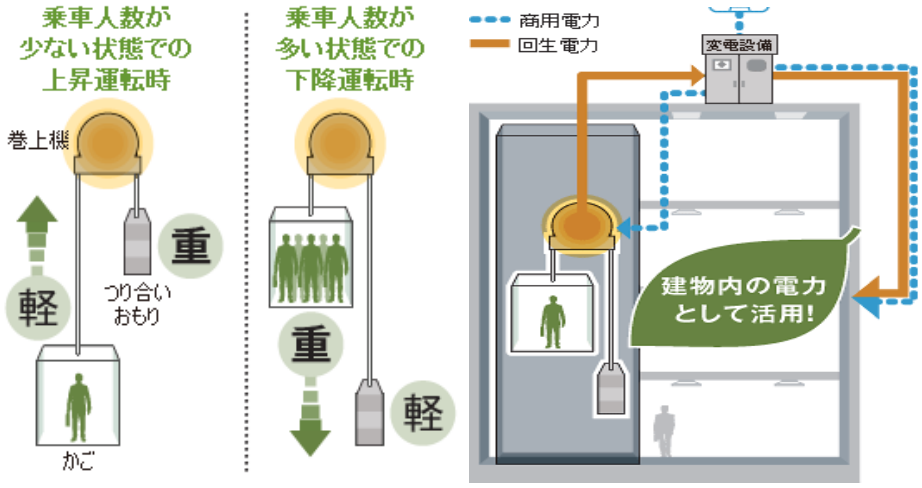


圖 4.4-2 採用電力回生裝置將動能轉換為電能送回供電網絡【33】

4.5 無齒輪式捲揚技術

傳統捲揚式升降機，在上世紀 90 年代以前，通常採用感應式電動馬達，加上蝸桿齒輪減速機構作為驅動，通常設在升降通道頂部上獨立隔間的機房內，一方面因馬達與捲揚機構體積及重量龐大，須利用建築的樓板結構來支撐，另一方面有獨立的空間，對於維修保養，解救受困人員時，機器散熱等進行操作均較為方便。蝸桿齒輪減速機消耗能源較大，90 年代前後各大升降機製造商競相研發較為節能的無齒輪式捲揚方式，以馬達直接驅動，故體積也較小，因而逐漸促進了無機房電梯的實現。

一般無機房電梯最高樓層站門側，是電梯的控制板，手動控制、緊急操作等功能一應俱全。結構和一般調頻交流電動機電梯相同，但電動機較細小，甚至呈碟型或筒型，結構緊湊，使原本在機房的系統能夠緊縮入電梯槽中，省去建設機房的成本支出。

電梯廠商正研究更長程、更快捷的無機房電梯，以取代有機房的電梯。現在不少新商場與較低層建築，已普遍安裝無機房電梯。但由於技術更複雜，較少交由非原廠保養。

現無機房電梯技術已足夠一般低樓層運輸需要，價格亦漸漸降低，因此，部份傳統電梯更新工程，也與無機房電梯使用相同機件，換句話說，就是與初時發展相反，將無機房的零件裝進機房，以增加其空間使用量【34】。

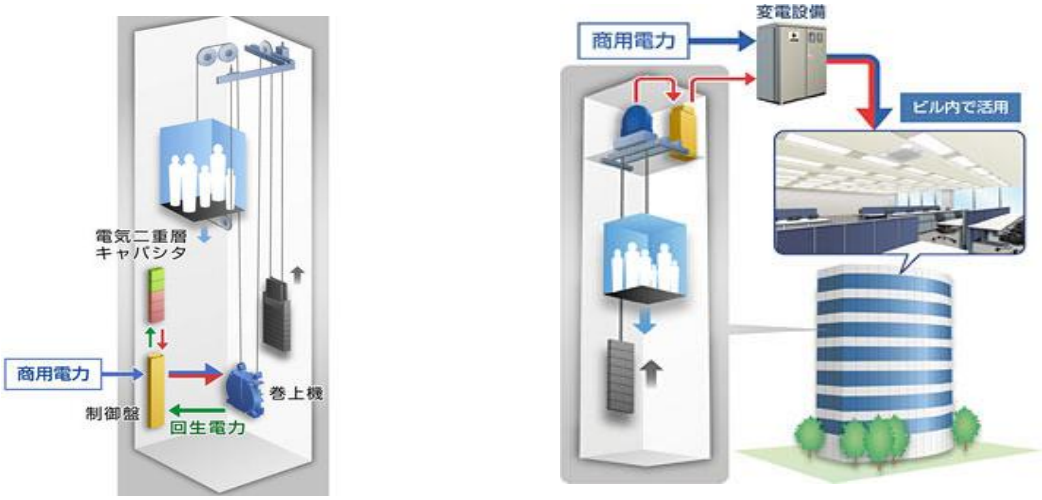


圖 4.5 無機房電梯採用電力回生裝置將電能送回供電【35】

第五章 電梯電力回生技術

電梯的能量回生概念與電動車的再生煞車原理相似。所謂再生煞車，是指當電動車減速或煞車時，將原本提供推進力的馬達切換為發電模式，不僅能達到減速效果，亦可將車輛行進中的動能轉換為電能，回饋至供電系統或儲存於車載電池中。此技術能有效提升能源使用效率，目前廣泛應用於電動車與油電混合車之中，為能源回收的重要實踐方式。此外，再生煞車技術也早已被廣泛運用於軌道運輸系統，如台灣高鐵 700T、臺鐵電聯車、臺北捷運、高雄捷運及機場捷運等，皆藉由再生煞車實現電能回收與再利用。

5.1 電梯電力回生原理說明

簡而言之，車輛的再生煞車技術是將行駛中所具有的動能轉換為電能加以回收；而電梯的電力回生技術在原理上與之相似，主要是將電梯於重載下行或輕載上行時所產生的重力位能差轉換為電能，以達到能量回收的目的。兩者雖在物理現象上略有不同，但皆是透過馬達運作於發電機模式，將機械能轉換為電能的方式實現能源再利用。

若未採用馬達之發電機模式將重力位能差轉換為電能，則電梯較重的一側將因重力作用而快速下滑，產生大量動能。因此，從能量轉換的角度而言，將電梯的電力回生視為機械能轉換為電能的過程，也可視為合理的解釋。

如前所述，電梯系統的基本原理可視為一種定滑輪機構，一側為乘客乘坐的車廂，另一側則為配重塊。配重塊的重量通常設定為「車廂空載重量與滿載重量之和的一半」，此配置可有效降低捲揚機在運行過程中的最大負載。

在此基礎下，若以電梯運行方向（上行或下行）作為橫軸，馬達之出力或受力作為縱軸，則可將電梯運行狀態區分為四種模式，即所

謂的電梯運行四象限（如圖 5-1 所示），其詳細說明如下：

象限一(電動機模式)

當車廂為重載，並由低樓層上行至高樓層時，馬達以電動機模式運轉，提供推升力以帶動車廂上升，過程中需消耗電能。

象限二(發電機模式)

當車廂為重載，並由高樓層下行至低樓層時，馬達需抵抗車廂因重力產生的下拉作用，此時馬達運作於發電機模式，將車廂重力位能差轉換為電能輸出。

象限三(電動機模式)

當車廂為輕載，並由高樓層下行至低樓層時，馬達需出力拉動配重塊上升，以控制車廂下行速度。此階段馬達同樣處於電動機模式，並消耗電能以維持系統平衡。

象限四(發電機模式)

當車廂為輕載，並由低樓層上行至高樓層時，馬達需抵抗配重塊的重力牽引，此時系統以發電機模式運作，將配重塊與車廂間的重力位能差轉換為電能回收。

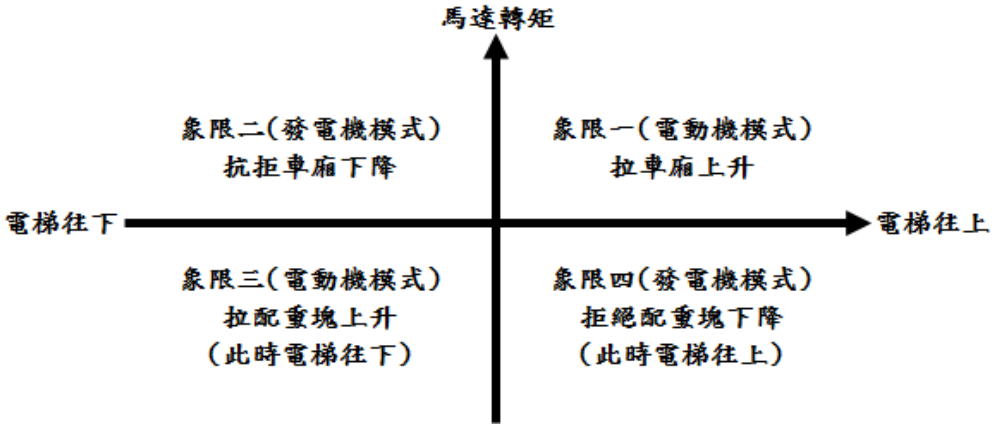


圖 5.1 電梯運行四象限示意圖

因此，在電梯控制系統中，馬達的運轉可區分為例行運轉與回生運轉兩種模式。於例行運轉階段，馬達以電動機模式運作，對系統輸出機械功；而在回生運轉階段，馬達則以發電機（generator）模式運轉，其轉子在外力矩作用下旋轉，產生感應電動勢並形成電流。具備電力回生功能的電梯系統，會將此感應電流導入變頻器的直流迴路中，以實現能量回收；反之，若電梯控制系統未配置電力回生裝置，則感應電流將被引導至低阻抗的大電阻負載，使電能以熱能形式釋放，導致能源損耗與浪費。

5.2 電力回生裝置

在無電力回生裝置的情況下，交流變頻器於驅動馬達進入發電機模式時，於啟動瞬間可能因回生能量突波導致直流迴路電壓瞬間升高，超出設定之電壓上限，進而造成直流迴路電容損壞。傳統解決方式為以並聯形式安裝高功率、低阻抗之回生電阻，將回生能量以熱能方式釋放。此方法雖可有效抑制能量突波，但能源利用效率低，且增加額外硬體成本與空間需求。

相較之下，主動式電力回生系統可有效處理直流鏈路電壓因瞬間回生能量突波所造成的衝擊。該系統利用絕緣閘雙極電晶體（IGBT）切換電流路徑，將回生能量直接回饋至市電端，無需外接回生電阻，即可達成穩定且高效率的能量回收。

在傳統系統中，電梯升降所產生的重力位能差，經由「鋼索 → 馬達轉矩 → 變頻器 → 回生電阻」的能量轉換鏈，最終以熱能形式耗散於回生電阻中，導致能量損失。若系統未配置電力回生裝置，則無法將回生能量轉化為有效的再生功率。

然而，當電梯安裝電力回生裝置後，其升降過程所產生的重力位能差，將透過「鋼索 → 馬達轉矩 → 變頻器 → 回生裝置 → 市電」的能量路徑回饋至電網。此時，回生能量被轉換為可再利用的電能，

並經能源回饋裝置併入三相電源端，如圖 5.2 所示。

電梯電力回生裝置具備高節能效率、安裝簡便、體積小巧、不影響原有運行特性，且兼具環保效益。由於上述優勢，此技術於一般電梯市場中的應用比例逐漸提升，並推動相關設備的市場需求持續成長。

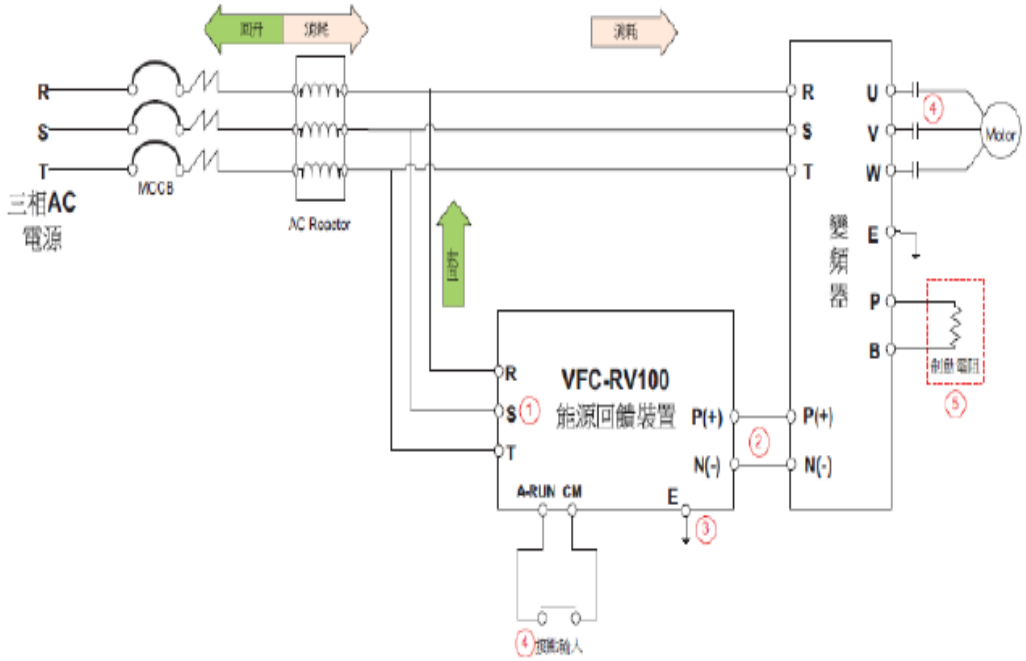


圖 5.2 電力回生裝置電路原理圖【36】

5.3 以變頻器實現電力回生

交流電動機需由交流電源驅動。雖然市電本身為交流形式，其電壓與頻率皆為固定值，並無法直接調控電動機的轉速與轉矩。變頻器（Inverter，亦稱「逆變器」）的主要功能，即在於同時控制輸出交流電的電壓幅值與頻率，進而達成對電動機運轉狀態的精確控制。因此，目前多數交流電動機皆採用變頻器作為驅動裝置。變頻器的基本原理為：將固定電壓與頻率的市電首先進行整流，轉換為直流電源，再將該直流電經逆變轉換為可變電壓與頻率的交流輸出，以驅動交流電動機，從而達到調速與控轉矩之目的。此一直流轉交流的過程一般藉由脈波寬度調變（Pulse-Width Modulation, PWM）技術實現。PWM 變

頻器透過控制基本波與高頻載波之間的調變關係，決定功率晶體（現多採用 IGBT）的導通時序，以改變輸出電壓的振幅與頻率。

變頻器的電路架構如圖 5.3-1 所示，主要由控制單元與電力驅動單元兩部分組成。控制單元通常以數位訊號處理器（DSP）為核心，依據設計之控制演算法產生對應的控制訊號；電力驅動單元則由整流與逆變兩級構成。前級整流部分利用二極體整流橋將交流電源轉換為直流電，並經主電容穩壓後供應後級；後級逆變部分則以 IGBT 為開關元件，根據控制單元所輸出的六組閘極控制訊號，生成三相 PWM 電壓以驅動電動機。由於電動機線圈具備固有電感特性，可對 PWM 波形進行濾波，使輸出電流近似為三相正弦波，從而實現平順運轉。換言之，變頻器的功能即為將直流電轉換為電壓與頻率皆可控制的交流電，以靈活調節交流電動機的運行特性。

如圖 5.3-2 所示，一般變頻器僅能於電動狀態下運作，因此稱為二象限變頻器。由於其整流部分採用二極體橋式結構，能量流動僅限單向，無法使負載端機械能在電動機回生（發電機）模式下，回饋至電源端。若欲實現能量的雙向流動，可透過調整 IGBT 閘極控制訊號，建立額外的能量回饋通道（如圖 5.3-3 所示）。具體而言，可於原二極體整流橋並聯一組方向相反的 IGBT 功率模組，或以 IGBT 取代整流橋中的二極體元件，並配合高速運算之 DSP 產生 PWM 控制脈衝，即可使電動機於回生狀態時，將再生能量回饋至電網。此設計能實現真正的能量雙向流動，大幅提升整體能源利用效率，達到顯著的節能效果。

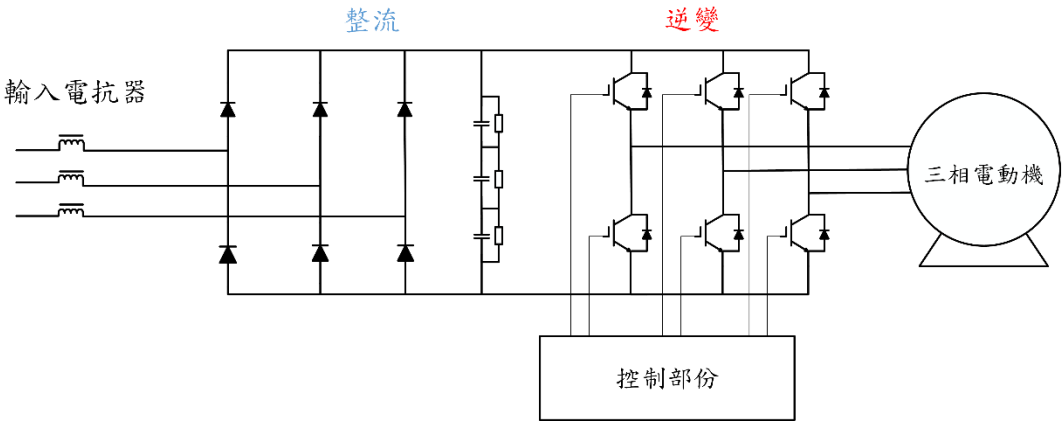


圖 5.3-1 一般變頻器的電路架構

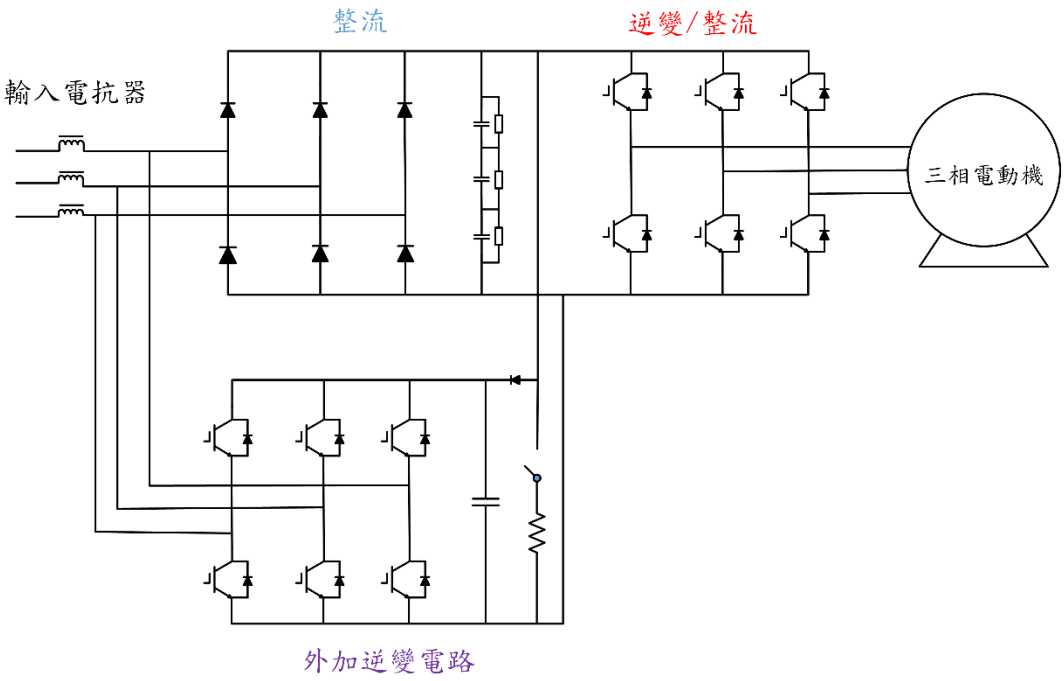


圖 5.3-2 二象限變頻器電路示意圖

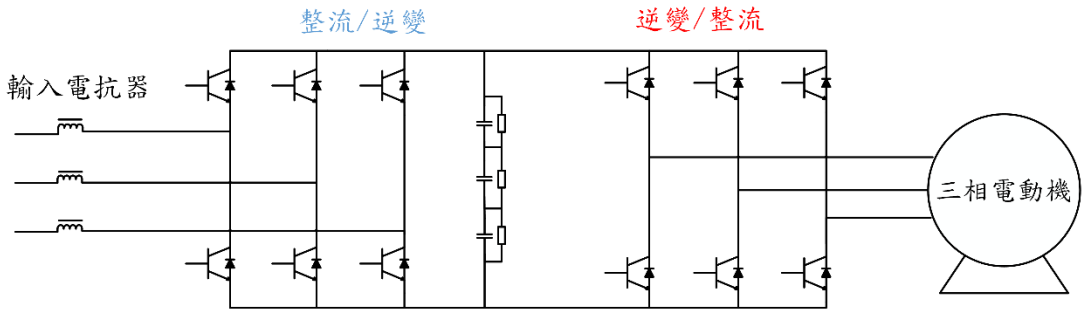


圖 5.3-3 四象限變頻器電路示意圖

5.4 節電率與回生電能比

安裝電力回生裝置的主要目的在於降低電梯運行之用電量，其節能效果通常以節電率與回生能比作為評估指標。本節將針對兩者之定義與相互關係加以說明。

為便於分析，本文假設電梯自固定樓層往返另一固定樓層期間，車廂載重維持不變，並以此條件作為評估節能效益的基礎。在實驗量測過程中，為提升準確性，通常會針對相同樓層間的往返運行進行多次測試，並取其平均值。同時，也會針對不同樓層組合及不同載重條件進行測試，以觀察節電率在各種運行情境下之變化。原則上，節電率可依下式定義：

$$\textbf{節電率} = \frac{\textbf{安裝電力回生裝置後所減少的電量}}{\textbf{安裝電力回生裝置前的用電量}}$$

不管載重如何，也不管先上後下還是先下後上，一次往返循環，一定包含一個電動機運行模式，以及一個發電機運行模式。因此節電率定義式的分母：

$$\textbf{安裝電力回生裝置前的耗電量} \approx \textbf{電動機行程的耗電量}$$

由上式可知，左右兩者之電量數值相近。安裝電力回生裝置後，系統可能需額外消耗少量電能以維持裝置的正常運作，但此部分能耗通常極小。再來，節電率定義式分子：

安裝電力回生裝置後所減少的電量≈發電機行程所產生電量

同樣，這代表左右兩者電量很相近。綜合上述，可知節電率的近似表示如下：

$$\text{節電率} \approx \frac{\text{發電機行程產生的電量}}{\text{電動機行程的耗電量}}$$

此式的分子與分母可以分別簡稱為回升電量與耗電量，因應這二個簡要的名詞，我們重新定義回生電能比如下式：

$$\text{回生電能比} = \frac{\text{回生電量}}{\text{耗電量}}$$

節電率與回生電能比是二個常見到的術語，經由上述分析，可知兩者是十分相近的術語，因此常被交替使用。值得注意的是，在大部分情況下，無法得知安裝電力回生裝置前的耗電量，因此節電率觀念雖然易懂，但不容易精確獲得，故常以回生電能比近似之。

5.5 實例計算與解說

本節以實際案例配合計算，說明電力回生裝置之節電效果。圖 5.5 為擷取自台達電子工業股份有限公司產品型錄之量測運行示意圖。試驗對象為一部額定載重 2 噸之客用電梯，運行速度為 60 m/min，試驗樓層範圍自地下 1 樓至地上 4 樓。該電梯採用額定功率 22 kW 之感應電動機作為驅動馬達。於安裝電力回生裝置後，進行空車廂上下共五次往返運行之測試，並比較其回生電能比之變化【37】。

表 5.5 現場實際量測累計電量表

使用電力回生裝置	**+Whr**	**360.7**
	-Whr	**111.1**
使用回生電阻	**+Whr**	**354.2**
	-Whr	**0**

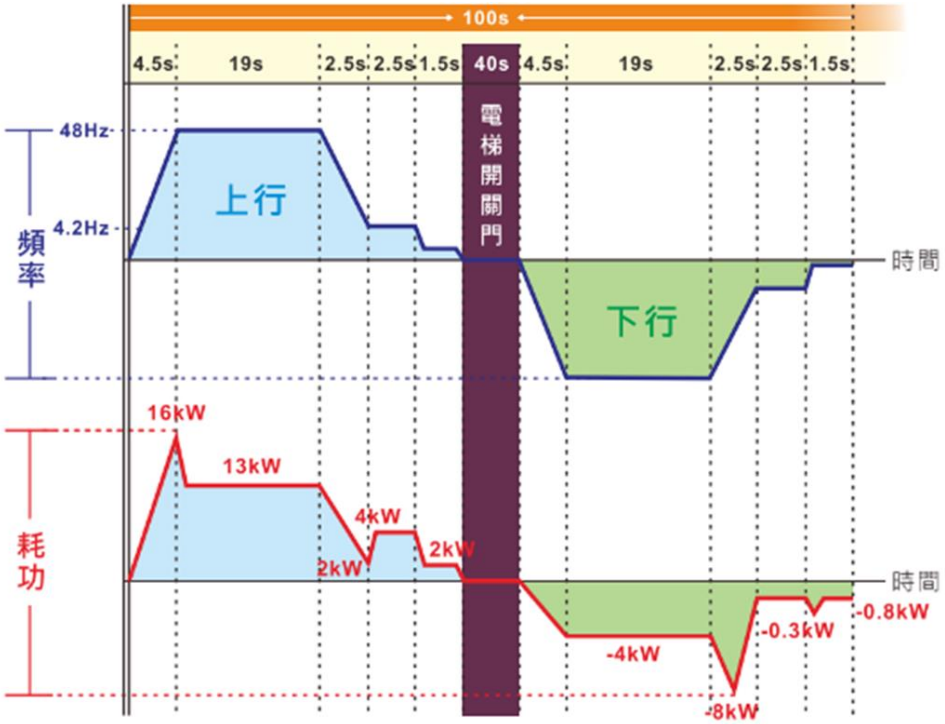


圖 5.5 現場實際量測運行示意圖

如表 5.5 所示，經量測，五趟運行的累計耗能約為 361 Wh，累計回生電能約為 111 Wh。依據上節 5.1 回生電能比公式，其回生電能比可計算如下：

$$\frac{111.1}{360.7} \cdot 100\ \% = 30.8\ \%$$

故單趟平均推估節省了 111 Wh÷5 趟=23.2 Wh/趟，其每趟運行時間平均約為 100 秒。若該電梯平均 1 天工作 12 小時，一年工作天數約 265 天；以用電單價每度 3.5 元計算之，其一天最高可運行：

$$\frac{12(\text{小時/天})\times 60(\text{分/小時})\times 60(\text{秒/分})}{100(\text{秒})} = 432\text{趟/天}$$

一年最高則可節省：

23.2(Wh/趟)÷1,000×432(趟/天)×265(天/年)×3.5(元/度) = 9,296 元

若我們依上節 5.1 所提及節電率公式之定義則其發電機行程產

生的電量為 111.1Wh，電動機行程的耗電量則為 360.7Wh；故安裝電力回生裝置後所減少的電量：360.7-111.1=249.6Wh，而安裝電力回生裝置前的用電量為 354.2Wh。因此其節電率：

節電率 = 省下的電量 ÷ 本來的用電量

= (354.2Wh–249.6Wh) ÷ 354.2Wh

= 104.6Wh ÷ 354.2Wh

= 29.53 %

果然如上節所論述一般，此節電率數值大小與回生電能比十分相近。由於 104.6Wh÷5 趟 =20.92Wh/趟，故平均單趟省了 20.92Wh, 此數值比型錄上之數值 23.2Wh 略小。同樣，可計算出一年可省下電費約：20.92(Wh/趟)÷1,000×432(趟/天)×265(天/年)×3.5(元/度)=8,382 元。

但是注意，上述兩種算法均假設電梯連續不停運轉的前提下，才有機會得到一天上下共達 432 趟之多。實際上的數值則會小上許多。

當我們進一步觀察圖 6.2 之內容，重新仔細累積計算之，其單趟上行耗能為：

8kW×4.5s+13kW×19s+7.5kW×2.5s+4kW×2.5s+2kW×1.5s = 314.75kWs

累計 5 趟上行耗能為：

5 趟×314.75kWs×1,000÷3,600s = 437.15Wh。

其單趟下行回生電能為：
2kW×4.5s+4kW×19s+(6kW+4.15kW)×2.5s+0.3kW×2.5s+0.8kW×1.5s = 112.325kWs。

累計 5 趟下行回生電能為：

5 趟×112.325kWs×1,000÷3,600s = 156Wh。

其回生電能比約為 35.7%，比型錄數據高上一些。此外，平均

單趟省了：

$$156Wh \div 5\text{趟} = 31.2Wh$$

則一年約可省下電費：

31.2(Wh/趟)÷1,000×432(趟/天)×265(天/年)×3.5(元/度)=12,501 元。

按此計算，一年可節省電費約 12,501 元。但考慮每天 432 趟為理論最大值，實際值通常低於此數，因此前述 9,296 元或 8,382 元的估計值更為合理。

最後需注意，圖 5.5 所示運行示意圖標註為空車廂上下運行情況，但上行實應為回生電能（發電機模式）、下行為耗能（電動機模式），圖形標示存在誤植，然而並不影響上述分析與計算結果。

第六章 電梯電力回生裝置節能效益分析與案例介紹

安裝電梯「電力回生裝置」，是推廣建築節能減碳的有效方法。不過，在選用時應根據電源品質和環境需求，審慎評估並選擇合適的裝置，才能真正達到節能效果。

本章節將透過各類型建築的電梯系統節能實際案例，讓潛在用戶及業者了解未來如何為現有電梯加裝電力回生裝置。同時也會說明此裝置的選用原則，以及如何評估計算節電效益，期望在兼顧舒適搭乘品質的同時，也能達到高效的節電成果。

6.1 電梯電力回生裝置節能實測分析

為了讓國內的商業及住宅用戶，能更了解電梯「電力回生裝置」的節能效益，我們特別利用崇友實業公司的電梯試驗塔，進行了一項配重差異的比較實驗（如圖 6.1-2）。

實驗內容主要是透過電力分析儀，在現場進行量測、計算節能效益，並加以驗證和記錄。針對加裝了電力回生裝置的電梯系統，我們同步量測其運轉時的各項參數（包含功率因數、電壓、電流、諧波與耗電量的變化）以及回生的電能。現場電力儀表量測的配置，請參考圖 6.1-1。量測方法摘要如下：

測試儀器：電力分析儀及交直流數位鉤表。

量測紀錄點：如圖 6.1-1 所示。

測試方式：等到儀表數據穩定後，我們在電源端使用電力分析儀，實際量測並記錄電梯的耗電與電力回生的變化情形。

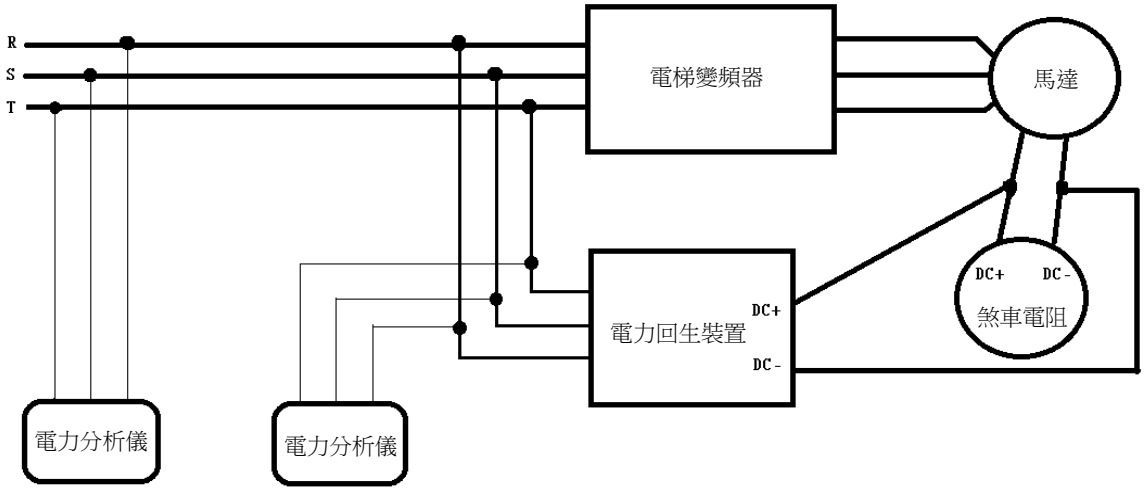


圖 6.1-1 現場實際量測示意圖

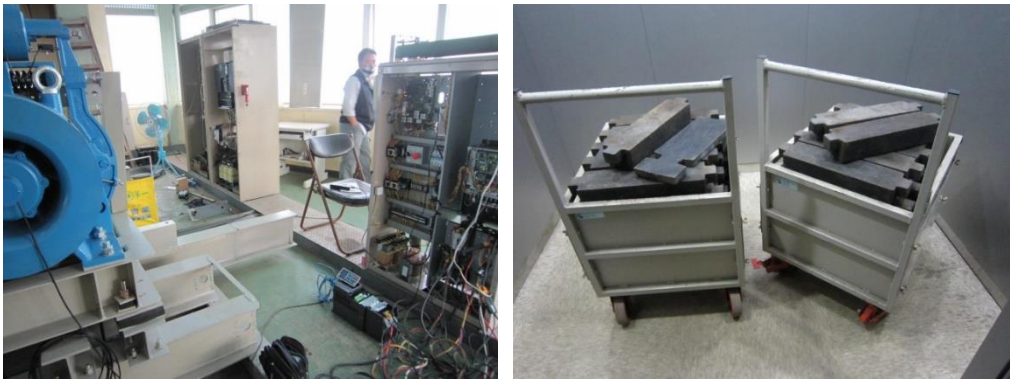


圖 6.1-2 現場使用鉛塊改變電梯配重

於此裝設有電能回生裝置之電梯試驗塔進行量測情形與結果如表 6.1-2 所示，崇友電梯試驗塔的電梯採用永磁式同步電動機驅動，其規格列於表 6.1-1。

表 6.1-1 永磁式同步電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
16.3kW	35A	162V	27.8Hz	167r/min

實驗過程說明如下：首先，我們在電梯的電源端，以及電能回生裝置的回生端，同步進行掛錶量測。電梯以每分鐘 105 公尺的定速運轉，總共記錄了 45 趟設定行程的運轉耗能及回生電能資料。

測量結果顯示，回生的電能會因為行程距離與載重的不同，而有明顯的差異（如表 6.1-2）。從實測結果得知，當車廂在空載（0%）及滿載（100%）時，回生電能的比例最高，約可達到電梯總耗能的 46.2%～47.61%。然而，當車廂載重越接近其平衡配重時（約 50% 載重），回生電能的比例則會明顯降低，僅約 8.97%。其原因在於，當載重與配重塊的重量越接近，兩者間的重力位能差就越小，因此馬達能產生的回生電力也相對較少。

表 6.1-2 電梯耗能與回生電能測試結果一覽表

車廂載重	與配重重量差	設定行程 / 電能	18m (4~8F)	27m (4~10F)	36m (4~12F)	平均電能 (Wh)	回生電能比 (%)
0%	-50%	消耗	44.5	65.5	86.3	65.43	46.2
		回生	19.9	30.1	40.7	30.23	
25%	-25%	消耗	25.6	37.4	49.3	37.43	24.13
		回生	6.6	8.9	11.6	9.03	
50%	0%	消耗	22.2	32.6	42.2	32.33	8.97
		回生	2.8	2.9	3	2.90	
75%	+25%	消耗	33.7	49.2	64.5	49.13	35.07
		回生	12.2	17.3	22.2	17.23	
100%	+50%	消耗	54.9	81.2	106.3	80.80	47.61
		回生	25.8	38.5	51.1	38.47	

註:每種行程及狀態各運行 3 次，取 3 次測試值之平均值為代表數值。

觀察表 6.1-2，可以發現在車廂載重差 25%、50%、75%時，其淨消耗電能(即消耗電能減去回生電能)分別為 28.4、29.4、31.9Wh，三者非常接近，可知在這比較常態運轉的情況下，電梯控制系統的電能轉位能及位能轉電能的轉換效率是較為一致的，而且轉換效率是較高的。相較之下，當車廂載重 0%及 100%時，其淨消耗電能分別為 35.1 與 42.3Wh，此時的轉換效率是相對較低的。而空載比滿載低算是比較好的調校，因為空載運轉情形顯然比滿載要頻繁出現。

6.2 各類型建築電梯裝置電力回生系統測試

為瞭解國內既有電梯系統裝設電能回生裝置之節能效益，及檢討其後續推廣至其他建築物作為新型態節能技術選項之妥適性，故以能源用戶所期望之運轉方式進行量測(這與 2.5 節 VDI 4707&ISO 25745 規範所述之空車電梯能效量測認證方式不同)，採用進行為期 1 星期實際運行(不採空車量測模式)之量測與記錄，俾供後續節能效益評估之用，量測現況及使用情形如下：

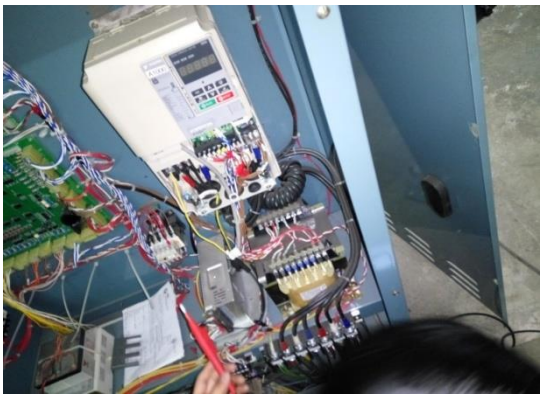


圖 6.2-1 電梯回生電量與原始耗電實際量測

案例一：內湖某辦公大樓電梯係採用某 O 廠牌，驅動裝置為感應電動機組，該大樓客梯共有 4 組(服務樓層為 B3~9F)如圖 6.2-2。

表 6.2-1 某 O 牌交流感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
18.5kW	50A	275V	45Hz	1327rpm

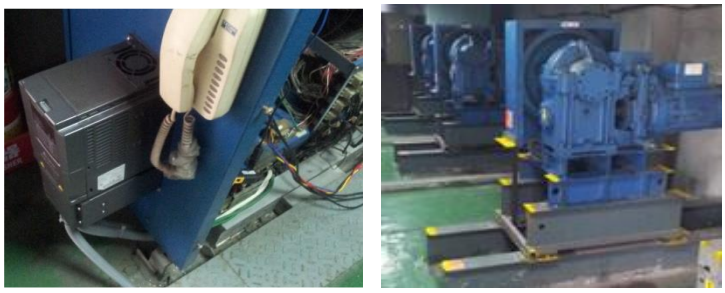


圖 6.2-2 電梯機房及電力回生裝置裝設點

我們在這棟辦公大樓的電梯總電源盤，以及電能回生裝置的回收端，同步進行了掛錶量測。量測結果分析：

- 整體節能效益： 累積回收的電能，約佔電梯總耗電量的 21.5% 至 23.5%。
- 營運時段效益： 若扣除夜間待機的系統耗電，僅統計正常營運時段的數據，回收的電能則可達到總耗電量的 26.8%。

案例二：台南某酒店所屬員工用電梯系統增設電能回生裝置，該電梯採用某 F 廠牌產品，驅動裝置為感應電動機組(額定速度 120m/min)，該規格員工梯共有 2 組(服務樓層為 12F~B4F)。

表 6.2-2 某 F 牌變頻感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
19kW	45A	380V	50Hz	1448rpm

圖 6.2-3 電梯電源端實際量測及制動電阻裝設現況

我們在這間飯店的員工電梯總電源盤，以及電能回生裝置的回收端，同步進行了掛錶量測。量測結果顯示：

- 節能效益： 累積回收的電能，約佔電梯總耗電量的 25.78%。
- 使用狀況： 這部員工電梯為 24 小時全年無休運轉，且使用頻率相當高，根據統計，一週的使用次數超過 3,548 次。

案例三：台中某社區所屬大樓電梯系統增設電能回生裝置，該電梯係採用國內某 Y 廠牌之產品，驅動裝置為感應電動機組(額定速度 105m/min)，該大樓客梯共有 2 組(服務樓層為 1F~16F)。

表 6.2-3 某 Y 牌變頻感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
11kW	51.5A	170V	50Hz	1425rpm

圖 6.2-4 電梯電力回生裝置使用實況及制動電阻裝設現況

我們在這棟大樓的電梯總電源盤，以及電能回生裝置的回收端，同步進行了掛錶量測。量測結果分析：

- 整體節能效益： 累積回收的電能，約佔電梯總耗電量的 9.9%。
- 電梯使用狀況：

  運轉時間： 此電梯為 24 小時全時運轉。

  使用頻率： 使用率偏低，一週運轉次數約 1,730 餘次。

據觀察，這可能是因為住戶較習慣搭乘另一部靠近大門的電梯所致。在深夜時段（凌晨 1:00 至 6:00），電梯的使用次數非常稀少。若不計入夜間待機的系統耗電，僅統計正常運轉狀態，一週的使用次數約為 1,506 餘次，而回收的電能則約佔總耗電量的 10%。

案例四：某國立師範大學所屬教育學院大樓電梯系統增設電能回生裝置之節能效益，該電梯係採用國內知名某 G 廠牌之產品，驅動裝置為感應電動機組(額定速度 90m/min)，該大樓客梯共有 2 組(服務樓層為 B1~10F)。

表 6.2-4 某 G 牌變頻感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
15kW	64.9A	170V	33.3Hz	961rpm

圖 6.2-5 電梯電力回生裝置偕同維保廠商測試

我們在這棟大樓的電梯總電源盤，以及電能回生裝置的回收端，同步進行了掛錶量測。量測結果分析：

- 整體節能效益： 累積回收的電能，約佔電梯總耗電量的 19.56%。
- 電梯使用狀況： 這部電梯為 24 小時運轉，根據統計，一週使用次數約 716 次，使用率相當高。僅在深夜（凌晨 2:30 至 6:30）的四個小時內運轉次數較少。

扣除待機耗電後，若不計夜間待機的系統耗電，只看正常運轉狀態，一週使用次數約為 709 次，其回收的電能可達總耗電量的 20.4%。

案例五：百貨所屬客用電梯系統增設電能回生裝置，電梯係採用國內某知名廠牌之產品，驅動裝置為感應電動機組(額定速度 120m/min)，該規格客梯共有 2 組(服務樓層為 7F~B5F)。

表 6.2-5 某牌變頻感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
24kW	51A	380V	40Hz	1184rpm

圖 6.2-6 電梯電力回生裝置偕同現場管理人及維保廠商實測

我們在這部客用電梯的總電源盤，以及電能回生裝置的回收端，同步進行了掛錶量測。量測結果分析：

- 整體節能效益：累積回收的電能，約佔電梯總耗電量的 27.67%。
- 電梯使用狀況：

  運轉時間：每日早上 5:00 至隔天凌晨 1:00。

  特殊設定：在早上 5:00 至 11:00，以及晚上 10:00 至隔天凌晨 1:00 的時段，電梯僅提供 B5 至 1 樓的服務。

  使用頻率：一週使用次數高達 8,949 餘次，使用率相當高（值得一提的是，量測期間 7 樓尚未開放）。

在尖峰時段時(上午 11:00 到晚上 10:00 的 11 個小時之間)，若不計離峰與待機時段的系統耗電，只統計這段時間的正常運轉狀態，一週的使用次數約為 5,661 餘次，而回收的電能可達總耗電量的 30.44%。其經過一年的電錶數據追蹤，我們發現回收的電能穩定佔總耗電量的 31%。

案例六：台北某社區管理委員會於其所管理之住戶大樓電梯系統增設電力回生裝置 ，電梯採用國內知名廠牌之產品，驅動裝置為感應電動機組(額定速度 60m/min)，該大樓客梯共有 10 組(服務樓層為 B1~12F)。

表 6.2-6 某牌變頻感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
7.5kW	34A	170V	50Hz	1432rpm

圖 6.2-7 電梯電力回生裝置偕同現場管理人及維保廠商實測

我們在這棟大樓的電梯總電源盤，以及電能回生裝置的回收端，同步進行了掛錶量測。量測結果顯示：

- 節能效益： 累積回收的電能，約佔電梯總耗電量的 22.5%。
- 使用狀況： 這部電梯為 24 小時全年無休運轉，且使用率極高。根據統計，一週的使用次數約達 1,988 餘次。

案例七：台北某 24 小時辦公大樓電梯系統新設電能回生裝置之節能效益，該大樓電梯採用某 Y 廠牌，驅動裝置為感應電動機組，該大樓客梯共有 2 組(服務樓層為 1~11F)。

表 6.2-7 某 Y 牌交流感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
15kW	68.1A	170V	50Hz	1425rpm

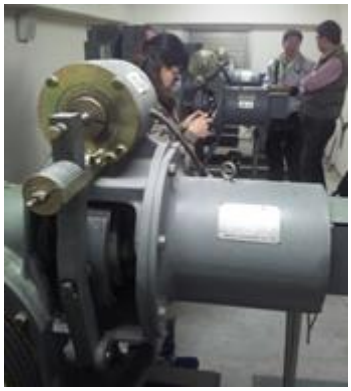


圖 6.2-8 電梯電力回生裝置偕同現場管理人及維保廠商實測

我們在這棟大樓的電梯總電源盤，進行了為期約一週的掛錶量測。量測結果顯示，累積回收的電能，約佔電梯總耗電量的 12.8% 至 13%。其個別電梯數據分析：

- 2 號電梯： 回收的電能，可達其總耗電量的 13%。
- 3 號電梯： 回收的電能，可達其總耗電量的 12.8%。

案例八：台北某市政府辦公大樓電梯系統新設電能回生裝置之節能效益，該大樓電梯係採用某 T 廠牌，驅動裝置為感應電動機組(額定速度 120m/min)，該大樓客梯共有 4 組(服務樓層為 B2~12F)。

表 6.2-8 某 T 牌交流感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
29kW	115A	380V	50Hz	1450rpm

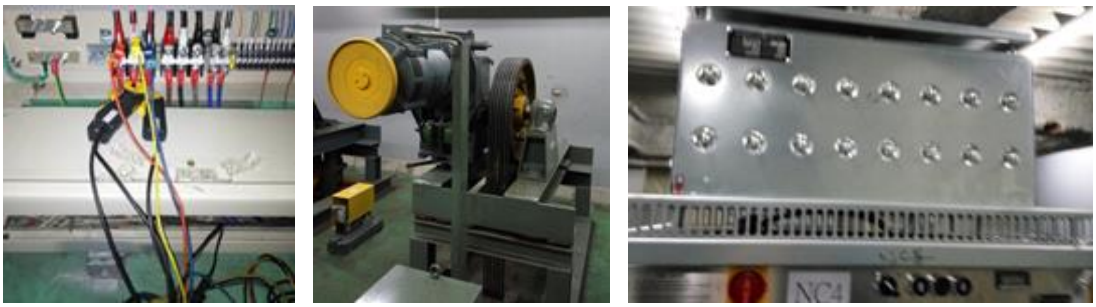


圖 6.2-9 電梯電力回生裝置實測現況

於該大樓現場電梯電源總盤進行掛表量測，量測 1 星期。由量測結果可知其累積回生電能，約可達電梯總量測耗能 28.5%。

案例九：台北某辦公大樓電梯系統原廠之電能回生裝置節能效益，該大樓電梯係採用某日系 T 廠牌，驅動裝置為感應電動機組(額定速度 223m/min)，該大樓客梯共有 4 組(服務樓層為 B1~20F)。

表 6.2-9 某日系 T 牌交流感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
30kW	56A	333V	37.2Hz	1450rpm

圖 6.2-10 電梯電力回生裝置實測現況

我們在這棟大樓的電梯總電源盤，進行了為期一週的掛錶量測。量測結果顯示，累積回收的電能相當可觀，約佔電梯總耗電量的 37.56% 至 39.73% 之間。其個別電梯數據分析：

- 2 號電梯： 回收的電能，可達其總耗電量的 37.56%。
- 3 號電梯： 回收的電能，可達其總耗電量的 39.73%。

案例十：台中某醫院大樓電梯系統之電能回生裝置節能效益，該大樓電梯係採用某 T 廠牌，驅動裝置為感應電動機組(額定速度 90m/min)，該大樓客梯共有 8 組(服務樓層為 B4~13F)。

表 6.2-10 某日系 T 牌交流感應電動機規格一覽表

電動機額定容量	額定電流	額定電壓	額定頻率	額定轉速
9.5kW	31A	220V	50Hz	1452rpm

圖 6.2-11 電梯電力回生裝置實測現況

於該大樓現場電梯電源總盤進行掛表量測，為期一星期。由量測結果可知，其累積回生電能約占電梯總耗能之 11.18%。量測資料顯示，該大樓電梯 24 小時常時運轉，使用率極高；但因為為病床專用電梯，故其配重差變化較不明顯。

6.3 小結

1. 由上述各類場所之實測結果可知，在不影響原有電梯使用及運行情況下，若能增設電力回生裝置，其節能效益可達 10～40%，如表 6.4-1 所示，對降低電梯用電量有相當顯著之成效。

表 6.3-1 電梯電力回生裝置回生率及相關因素統計

類型	電梯速度(m/min)	載重限制(kg)	回生率(%)
辦公大樓	105	1350	26.8
觀光旅館	120	1150	25.78
社區住宅	105	700	10
大專院校	90	1000	20.4
百貨公司	120	1350	30.44
集合住宅	60	700	22.5
資訊機房	90	1000	13
政府機關	120	1350	28.5
商辦中心	120	1350	39.73
區域醫院	90	1000	11.18

2. 基於法規與電梯安全之要求，若評估增設電力回生裝置，應先與原維保廠商確認，並由三方（含管理人及設備商）共同參與評估。建議僅能與其制動電阻端並聯，不可開路或切換設置。經確認無誤後，方可進行架設及試車。

3. 於電梯電力回生裝置現場實測中發現，改善後的電梯機房發熱量明顯減少，不再需啟動冷氣機冷卻機房，只需以小型通風機即可（節省冷氣機耗電）。推估此措施可進一步降低室內熱負荷，使節能效益更為顯著。

4. 現今高效能電梯設備多採用以絕緣閘雙極性電晶體（IGBT）開關元件構成之電壓源轉換器，其三相輸入端串接電感電路架構，相當於逆變器。不同之處在於輸入為交流、輸出為直流，且位於電源進線側，故稱為前端。此系統優點包括：可控式直流電壓、單位功因、雙向電力潮流控制、三相交流端近似弦波及低

諧波失真等。若能搭配永磁馬達，則可進一步降低電能消耗，並大幅提升電梯整體效率。

5. 就電力回生效果而言，若電梯使用率低或載重較小，或經現場量測得知直流側回饋起始電壓差低於 100Vdc 以下者，建議不裝設此裝置。

6. 依據各類建築實測結果顯示，其尖、離峰使用頻率與回饋電量之回生率呈正比關係，即電梯系統使用率越高，其節能潛力越大。以上述案例尖峰實測值推估，約可有效降低九千餘瓩之電梯尖峰需量用電（如圖 6.3）。

圖 6.3 各建築類型電梯電力回生裝置尖離峰節能率比較

7. 在不影響原有電梯正常運作下，若裝設電梯電力回生系統，其節能效益可達 10～30%，節電回生率平均約為 23.1%，有助於控制電梯用電成長。隨著再生能源技術快速進步，且高效率馬達（如 IE3 等級以上）及永磁同步馬達於電梯市場在不影響原有電梯正常運作下，若裝設電梯電力回生系統，其節能效益可達 10～30%，節電回生率平均約為 23.1%，有助於控制電梯用電成長。隨著再生能源技術快速進步，且高效率馬達(如 IE3

等級以上）及永磁同步馬達於電梯市場的應用持續攀升，電梯整體能耗節省可望超過 40%。

8. 我國目前電梯用電占建築整體用電約 4～6%。未來若電梯電力回生裝置等節能設備大量生產，價格降低，並配合相關認證與政策推動，其投資回收年限可望降至能源用戶期望值範圍內。
9. 依據上述取樣結果可知，若電梯使用量大（特別是輕載或滿載）且使用時間長，其節能效益將更為顯著。另於測試期間並未發現電梯電力回生裝置對原電梯系統運行造成影響，也未產生控制異常情形。
10. 由於上述量測點位於設備分盤端，據此推估，其對總盤受電端總諧波量的影響，該電能回饋裝置應符合台電「電力系統諧波管制暫行標準」及 IEEE Std 519 相關規範。且由於電梯設備本身特性，運轉期間功因變化較大，量測結果顯示回饋端之功因值明顯優於設備端。
11. 依據各建築類型的樣本進行統計分析，結果顯示載重（即配重差）與回生率之關係最顯著，表示電梯系統運行時配重差越大，其節能潛力越高【38】。

表 6.3-2 回生率顯著關係因素分析

RPM	0.038858	1					
速度(m/mi	0.483644	0.107286741	1				
次數	0.228854	-0.214327039	0.330043	1			
距離(m)	0.473721	0.61499532	0.553823	-0.216856	1		
載重(kg)	0.925374	0.123025122	0.7138	0.3148726	0.2471509	1	
建築類型	0.045819	-0.335479612	0.169411	0.3727055	-0.081936	0.199146	1
是否原廠	0.647982	0.234633225	0.311832	-0.188822	0.72103668	0.380693	-0.38636364

6.4 國內電梯電力回生裝置節能案例介紹

本節主要介紹各大電梯廠商之實測案例，並概略說明其電力回生效益，以供能源用戶或使用端參考，以評估未來是否推動電梯電力回生裝置之節能應用技術及可預期節能潛力（下列案例採用第 2.5 節 VDI 4707 與 ISO 25745 規範所述之空車電梯能效量測認證方式）。

案例一

現況說明	某台灣能源供應業企業總部大樓。
電梯規格	使用高速電梯 210m/min 及中速電梯 105m/min，車廂載重限值均為 1600kg。
節能成效	1. 由量測結果可知高速電梯累積回生電能，約可達總電梯耗能 36.6%。 2. 中速電梯其累積回生電能，約可達總電梯耗能之 21.8%。 3. 上述總體平均累積回生電能，約可達總電梯耗能之 27%。

圖 6.4-1 電梯電力回生裝置節能案例現況實照

案例二

現況說明	某台灣企業總部大樓電梯。
電梯規格	使用客貨兩用電梯 105m/min，車廂載重限值為 1000kg。
節能成效	由量測結果可知其電梯累積回生電能，約可達總電梯耗能 25.8%。

圖 6.4-2 電梯電力回生裝置節能案例現況實照

案例三

現況說明	某新竹工廠宿舍大樓。
電梯規格	使用中速電梯 90m/min，車廂載重限值為 750kg。
節能成效	由量測結果可知電梯累積回生電能，約可達總電梯耗能 36.5%。

圖 6.4-3 電梯電力回生裝置節能案例現況實照

案例四

現況說明	某台南工廠客貨兩用電梯。
電梯規格	使用中速電梯 60m/min，車廂載重限值為 2000kg，總行駛距離為 20m。
節能成效	由量測結果可知電梯累積回生電能，約可達總電梯耗能 30%。

圖 6.4-4 電梯電力回生裝置節能案例現況實照

案例五

現況說明	某台北內湖辦公大樓客用電梯。
電梯規格	使用中速電梯 105m/min，車廂載重限值為 1150kg，總行駛距離為 55m。
節能成效	由量測結果可知電梯累積回生電能，平均約可達總電梯耗能 15.3%。

圖 6.4-5 電梯電力回生裝置節能案例現況實照

案例六

現況說明	某台南商業辦公大樓客用電梯。
電梯規格	使用中速電梯 105m/min，車廂載重限值為 1000kg，總行駛距離為 80m。
節能成效	由量測結果可知電梯累積回生電能，平均約可達總電梯耗能 12.5%。

圖 6.4-6 電梯電力回生裝置節能案例現況實照

案例七

現況說明	某台南科技園區電子廠貨用電梯。
電梯規格	使用中速電梯 90m/min，車廂載重限值為 2500kg，總行駛距離為 20m。
節能成效	由量測結果可知電梯累積回生電能，平均約可達總電梯耗能 30%。

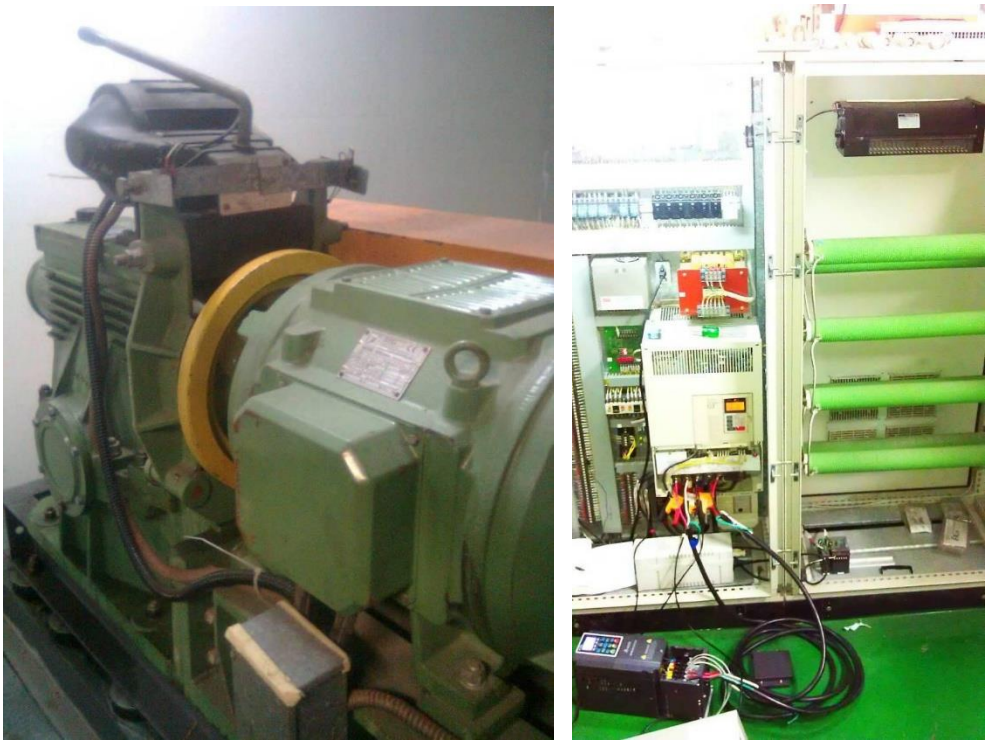


圖 6.4-7 電梯電力回生裝置節能案例現況實照

案例八

現況說明	某高雄大學客用電梯。
電梯規格	使用中速電梯 60m/min，車廂載重限值為 750kg，總行駛距離為 20m。
節能成效	由量測結果可知電梯累積回生電能，平均約可達總電梯耗能 27.1%。

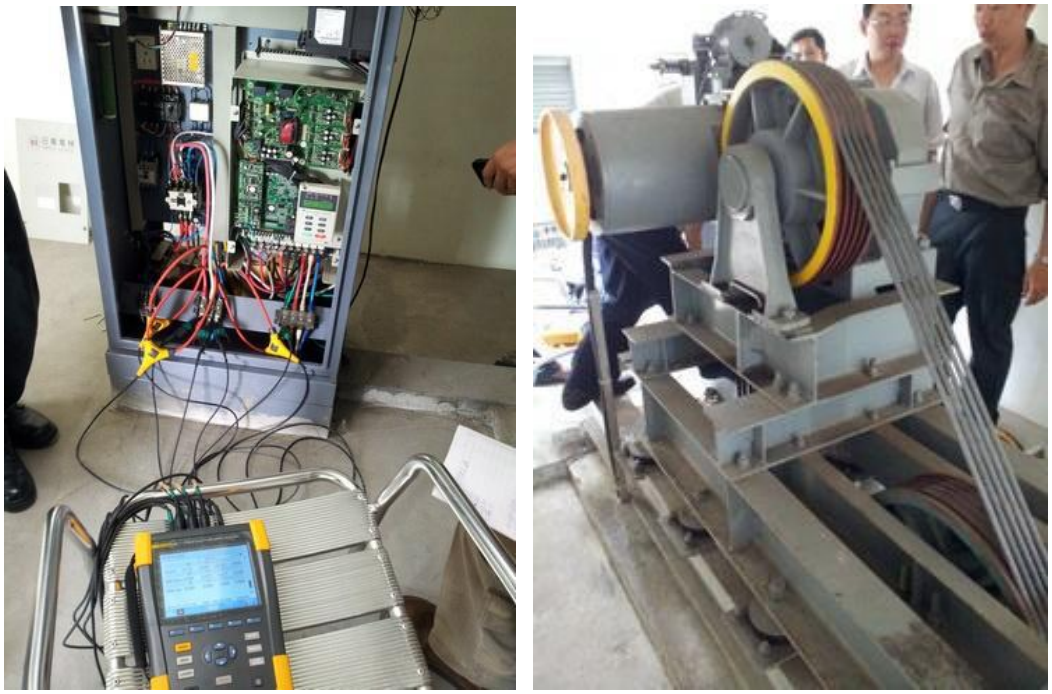


圖 6.4-8 電梯電力回生裝置節能案例現況實照

案例九

現況說明	某桃園電子廠客貨電梯。
電梯規格	使用中速客用電梯 60m/min 及貨用電梯 60m/min，車廂載重限值分別為 700kg 及 1600kg，總行駛距離均為 30m。
節能成效	由量測結果可知客用電梯及貨用電梯累積回生電能，均約可達總電梯耗能 31%。

圖 6.4-9 電梯電力回生裝置節能案例現況實照

第七章 電梯電力回生裝置應用技術 Q&A

Q1：請問此電梯電力回生裝置是否有使用限制?

A1：此技術目前可適用於市面上的調壓調頻調速(VVVF)電梯，唯若經現場量測發現直流回饋起始電壓差範圍低於 50Vdc 以下者，考量其觸發問題，則不適合使用此技術；除此之外，無特別的使用限制。

Q2：請問此電梯電力回生裝置(或技術)如何取得?

A2：電梯電力回生技術乃是採用同電梯驅動控制原理之反向應用，利用 IGBT 元件及 PWM、VVVF 控制迴路組成之 Converter，將電梯運行時產生的回生電力轉換為交流電並回送至市電系統。此技術可參考前述案例，目前各大電梯廠商均已發展「規格化」模組，可直接應用於一般電梯。而針對大型電梯機組，則須依據機組安裝的現場狀況進行個別規劃與設計。

Q3：若需個別規劃設計，電梯電力回生裝置的安裝時程約需多久？

A3：若須進行現場個別規劃，需先至機房勘查，項目包括：裝置空間、模組安裝位置、回饋電源接點、工程動線…等。再依據這些條件進行外殼尺寸、規格、電線管路等設計，通常可於 0.5~1 個工作天內完成安裝與測試。

Q4：請問電梯電力回生裝置的維護保養(Maintenance)方式為何?

A4：此裝置結構完善，無需繁複的維護與保養，只需與電梯驅動控制系統（Drive Control System）一同進行一般性定期檢修即可，維護成本近乎為零。

Q5：請問電梯電力回生裝置待機耗電量約為多少?

A5：根據實驗測試，以每日運行 24 小時計，其耗電量約占原電梯耗

電的 0.1%，待機耗電量約 20~25W，但仍會依回生裝置容量大小略有差異。

Q6：請問電梯電力回生裝置的使用壽命大概多長?

A6：此裝置所使用之元件不像傳統被動元件一樣壽命較短，一般使用壽命約為 6～20 年。其中消耗性零件如電解電容約 10 年需更換一次，實際壽命仍須依使用頻率（電梯運轉時間）與環境條件而定。

Q7：請問此電梯電力回生裝置造價約為多少?

A7：裝置造價需視電梯電動機容量、速度及載重條件而定，規格不同價格也會不同。目前通用型模組已小量生產，平均單價約 4～20 萬元（不含施工安裝費用）；若未來能順利量產，預計可降低至約 3～5 萬元【39】。

Q8：請問架設電梯電力回生裝置的回收年限大概多長?

A8：依訪談、實測與應用案例結果，回收年限約為 2～10 年，主要與電梯使用率成正比關係(詳細需依實際使用狀況而定，使用頻率愈高回收年限愈短)【40】。

Q9：請問在何種情況下，電梯電力回生裝置的節能效果會降低？

A9：a. 當電梯運行狀態以非回生模式（如重載上升或輕載下降）為主時，節能效果會減弱。

b. 捲揚機效率過低會影響回生電力效果（效率順序：PM 主機 > 螺旋齒輪主機 > 蝸桿蝸輪主機）。

c. 根據實驗測試，若電梯機房環境溫度過高、潮濕或散熱不良，回生效能將略有下降，或使系統異常當機。

Q10：請問此電梯電力回生裝置的控制方式是否複雜?

A10：此裝置的控制方式類似於電梯驅動控制加上發電機並聯供電控

制。為確保回生電力品質不影響用戶端電氣設備，控制設計相對較複雜；但對使用者而言，操作上無須額外控制【41】。

Q11：請問此電力回生裝置是否會造成電梯安全疑慮?

A11：該模組採並聯於煞車電阻的運轉控制模式，若裝置發生故障，回生電量將由原煞車電阻以熱能方式散失，電梯仍可正常運作【42】。

第八章 結 語

電梯產業已有百年歷史，隨著電機與電子科技的進步，電梯產業也逐漸迎來創新科技的浪潮，吸引各領域專業人才投入，期望為建築物內部打造舒適、安全且節能的垂直運輸系統。節能與環保概念所延伸出的「綠色電梯」已成為電梯產業的主要發展趨勢。

在台灣，電梯設計一向被歸類為建築及電機配電工程的一部分，然而關於電梯品質、安全與節能的研究仍相對不足。正確的電梯設計規劃與節能設備的應用息息相關。整個電梯產業的發展，有賴建築師、電機技師及電梯設計等專業人員的密切合作，方能共同營造高品質的建築環境。未來除應強化電梯專業人才的培育外，亦須建立嚴謹的驗收制度並確實執行檢驗工作，才能有效提升電梯工程品質。政府若希望民眾建立正確觀念，除透過節能宣導外，電梯廠商與相關學術刊物亦應配合推動節能電梯知識普及，增進消費者對節能電梯品質與重要性的認識。

電梯設備的選擇雖屬建築業主之自主決定，但政策面應明確聚焦於能源效率與環保要求。主管機關在政策上應積極獎勵節能產品的研發與設計。優良節能電梯的推廣，有賴於完善的標準制定與檢驗監督制度，並透過合理公平的獎懲機制以建立健全的市場秩序與產業環境。

由前述章節可知，隨著節能與環保技術的進展，目前市面上最受關注的節能產品為電梯電力回生裝置。若再搭配智慧節能控制系統與永磁馬達應用，整體可達到超過 40%的節能效果。根據統計，電梯用電約占建築整體用電量的 4%至 6%。未來若綠色節能電梯、電力回生裝置及控制設備能大量生產，隨著價格下降並配合政策推動，其投資回收年限可望縮短至 3 至 5 年內，屆時可望在各類建築中普遍採用。

根據民國 113 年統計，非生產性質行業（包括服務業、政府機關及學校）能源查核用戶（用電契約容量超過 800kW 者）約有 1,411 筆，

總用電量約達 163.11 億度電，總電費約 592.10 億元，平均每度電約 3.63 元。若未來能加強推動能源大用戶採用綠色節能電梯，以電梯用電占 4.1%計算，若普及率提高至 50%以上，預估每年可節省約 0.85 億度電，節省電費約 3.1 億元。此舉對國家整體能源節約及淨零排放目標的推進，將有實質助益。更重要的是，若各用戶能成功節能，不僅能降低營運成本，亦可提升企業利潤與市場競爭力。

於後續進行電梯電力回生效益評估時，建議可先以目前國內實測案例之平均節電率約 23.1%作為估算基準。若估算結果顯示具經濟效益，再另行委請電機技師或電梯專業廠商進行細部評估。由於電梯電力回生之節能率會受樓層高度、負載率等因素影響，實際效益可能與估算值存在差異，建議於評估過程中充分考量相關條件，以確保結果之準確性。上述建議可作為業界推動電力回生技術時之參考依據。

編後語

「電梯電力回生裝置之節能應用技術手冊」的編撰，旨在透過介紹電力回生的相關原理與裝置特性，協助使用者瞭解傳統電梯在節能改善方面的潛在效益，並進一步介紹新型節能電梯產品及國內外電梯設備能源效率相關規範，提供使用者作為選購節能電梯之參考依據。最後，根據不同建築類型及電梯使用方式提出建議，供各類建築物在進行電梯節能設計時參考。

本手冊由國立臺北科技大學電機工程研究所練光祐教授主筆，本會林昆郁副工程師協助執行實際節能案例之量測、資料蒐集、彙整、編排與修訂，並由張淑媚管理師進行校對。另邀請國立臺灣科技大學電機工程系蕭弘清教授、臺灣綜合研究院楊正光顧問、台達電子工業股份有限公司葉展嘉經理、中華民國電梯協會技術委員會召集人顏長榮專案組長，以及財團法人台達電子文教基金會張乾楊副執行長等五位專家擔任審查委員。經審閱後，使本手冊內容更加充實與完善。

最後，於實際案例取樣與量測過程中，特別感謝財團法人台達電子文教基金會之鼎力協助，協調提供場地與相關資源，促使案例量測順利完成，謹此致上萬分謝意。

參考文獻

【1】 內政部，國土署，2023年。

【2】 內政部主管法規查詢系統，2025年。

【3】 全國法規資料庫，2025年。

【4】 經濟部能源署，非生產性質行業能源查核年報，2024年。

【5】 中華民國升降設備安全協會會訊，第65期。

【6】 內政部建築研究所，智慧綠建築資訊網，2025年。

【7】 內政部建築研究所，智慧建築評估手冊，2025年。

【8】 蘇怡綺，公益財團法人日本交流協會臺北事務所。

【9】 日本國土交通省網站，建築物省エネ法に基づく性能向上計画認定制度，2025年。

【10】日本国立研究開発法人建築研究所網站，2025年。

【11】一般社団法人日本サステナブル建築協会網站，2016年。

【12】蘇哲弘，臺灣德國萊因技術監護顧問股份有限公司，2011年。

【13】英國，http://www.breeam.com/網站，2016年。

【14】歐洲標準化委員會(CEN) 網站，2016年。

【15】經濟部能源署，能源報導，2016年。

【16】財團法人資訊工業策進會，數位教育研究所網站，2016年。

【17】周德宇，(台北101)台北金融大樓股份有限公司。

【18】王順典、吳美慧，台達電子工業股份有限公司。

【19】User’s Manual for ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004, Simulation General Requirements Building Performance Rating Method。

【20】美國，http://www.usgbc.org/網站，2016年。

【21】陳雯甄，財團法人台達電子文教基金會。

【22】台灣奧的斯電梯股份有限公司產品型錄，2016年。

【23】湖州歐利亞電梯產品型錄，2016年。

【24】盛大電梯企業股份有限公司，2016年。

【25】中華民國電梯協會網站，2016年。

【26】行政院公共工程委員會全球資訊網網站，2016年。

【27】誠岱機械廠股份有限公司產品型錄，2016年。

【28】日本電產株式會社網站，2016年。

【29】游壽祝，台灣三菱電梯股份有限公司，2016年。

【30】張錦鋒，台灣三菱電梯股份有限公司，2016年。

【31】Lian, Hung, Chiu, and Liu, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 20, NO. 5, SEPTEMBER 2005。

【32】經濟部能源署，能源報導，2015年。

【33】日本株式會社日立製作所網站，2016年。

【34】勞動部勞動及職業安全衛生研究所，起重升降機具安全研究-無機房升降機，2014年。

【35】台灣(日本)三菱電機網站，2016年。

【36】李文強，台灣電力股份有限公司營建處，2012年。

【37】台達電子工業股份有限公司產品型錄，2013年。

【38】李秀娟、陳玉嬋，財團法人台灣綠色生產力基金會。

【39】王丞玄、盧正忠，永大機電工業股份有限公司。

【40】王義昕、黃昌隆，台達電子工業股份有限公司。

【41】日本三菱電機株式会社網站，2016年。

【42】葉展嘉，台達電子工業股份有限公司。

附錄-常用名詞解釋

名稱	說明
捲揚機 (捲揚電動機)	電梯上下運行的動力來源裝置。
牽引式 捲揚機種類	(a)交流齒輪式捲揚機(ACGEARED 式)。 (b)直流齒輪式捲揚機(DCGEARED 式)。 (c)直流無齒輪式捲揚式(DCGEARLESS 式)。
控制櫃	由受電盤、控制盤、繼電器盤(RELAY)等所構成。
控制盤	控制電梯上下運行的電控裝置。
反應盤	控制盤之配合副盤。
車廂(Car)	升降機用以載運人員及/或其他荷重之部分。
車廂框架	以鋼材所構成的上樑是用鋼索吊起;緊急停止裝在下樑架上(也有裝在上樑架上)，在車廂豎柱上下左右安裝貼著導軌滑動的導滑器或滾子導件輪形導滑器。
廂頂控制箱 (含側壁、頂棚)	在側壁有操作盤和車廂內樓層指示器，在頂棚有照明燈、停電燈、緊急救生門等設置。在自動關閉式的門端，有設置人或物品觸及時把門給返回的安全門履，以防止被夾事故。門亦有手動式的，在運行中如有開門的情形，電梯就做緊急停止。
導軌 (Guide Rails)	用以提供車廂、反向配重或平衡配重導引之堅固構件。為引導車廂及配重升降的導軌，被分別裝在升降通道壁上，堅固的固定住。
鋼索	吊起車廂和配重的主鋼索及連結調速機和車廂的調速機鋼索等都受到採用，分別依靠鋼索承套固定住。
廂頂照明	電梯內部之天花板照明.
移動電纜	升降通道內的固定配線和車廂機器做電氣接續物品。
按扭	要叫來車廂時使用，裝有門驅動裝置的電梯，如車廂停在該樓時，按此按鈕門就立刻開。
位置指示器	亦可稱為樓層顯示器，現在一般使用點燈方式表示。
調速機(限速器)	防止電梯超過額訂速度時的保護裝置。
超速調速機	當升降機到達預設之速率時，可造成升降機停止，

名稱	說明
(Overspeed Governor)	且若有必要，可導致安全機械裝置動作之裝置。
漸進式安全機械裝置 (Progressive Safety Gear)	一種安全機械裝置，其產生減速之方式係在導軌上煞車，及以此種方式符合特別之規定，限制施加在車廂、反向配重及平衡配重上之力在許可值內。
槽輪室 (Pulley Room)	一個不包括機器在內的小室，內置槽輪，超速調速機亦可設在該室內。
機械座	放置捲揚機的固定基座。
機械室部品	機房內其餘部品。
機械樑	跨架在建築物主樑上之結構物,支撐整台電梯的重量。
機械樑墊板	平衡調整地面水平之用。
防震裝置	減緩捲揚機運作時所發生的震動。
配線槽	內藏控制盤與捲揚機間的動力電纜與傳輸線。
鋼索繫吊總成	鋼索棒，即固定鋼索之裝置。
導軌托架	固定於建築物上，使軌道能安裝在其上，同火車鐵軌下方枕木。
移動電纜 (Travelling Cable)	在車廂與固定點之間，含有多重心線之可撓性之電纜線。
上端電纜固定支架	升降通道上方固定活動電纜支架。
終端開關支架	電梯運行到最上/下端時之安全裝置固定架。
吊軌組立	將電梯門自動開啟之裝置。
廂頂安全護框	電梯上方之安全裝置,防止維修人員意外墜落。
上樑組立	電梯框架上部負責與鋼索繫吊總成相連結之裝置。
梯廂門組立	電梯內部的門扇。
側板組立	電梯內部裝修之牆面。
梯廂部品	舉凡電梯內部照明燈管，壓克力皆屬梯廂部品。
梯廂框部品	舉凡電梯外圍框架皆屬梯廂框部品。
梯廂地板組立	即電梯地板，乘客所腳踩的部品。
下樑組立	位於電梯框架下部，通常含煞車裝置。
配重軌道	供配重框運行的裝置，同火車之鐵軌功能。
配重框總成	平衡電梯車廂之用，內部放置主重錘。
配重接軌板	連接每一段配重軌條之用。
乘場門組立	電梯外部之門，通常乘客站在電梯外所看見的門扇。

名稱	說明
梯廂接軌板	連接每一段主軌條之用。
主重錘	平衡電梯車廂之用，放置於配重框總成內。
三方框	位於電梯外側,建築物與電梯介面之修飾裝置。
著檢板檢知	電梯樓停到站檢知之裝置。
調速機鋼索	調速機所使用之鋼索裝置。
機坑底護欄	防止維修人員進入配重框總成下方之安全裝置。
緩衝器	以液體或彈簧煞車方式(或其他類似方式)，彈性停止在行進路程之終端。
車廂導軌	供電梯車廂運行的裝置，同火車之鐵軌功能。
升降通道 (Well)	在其內有車廂、反向配重或平衡配重運行之空間，該空間通常由機坑之底部、升降通道之牆壁及天花板所圍成。
緩衝器固定支架	固定緩衝器之用。
緩衝器固定台	固定緩衝器，使其能夠安置於建築物上。
中間台	當機坑過深時，需要安裝此裝置。
車廂緩衝器	當電梯因故下墜時能減緩碰撞之裝置。
平衡鍊	當電梯為高速與高程過時，以此平衡廂尾電纜與主鋼索重量之用。
配重	車廂和配重以鋼索作吊掛式連結，對於升降行程高者，因為要補正鋼索重量不均衡，也有安裝平衡鋼索或平衡鏈條情形。
額定荷重	設定由車廂在正常運轉下載運之荷重，可能包括處理操作裝置在內一般指車廂載重。
配重重量	一般電梯配重設計重量為(車廂結構重量+額定載重)÷2，故配重重量差＝[車廂載重－(車廂結構重量+額定載重)÷2]之百分占比。
設定行程	指該次測試行程乃由出發樓至目的樓之運轉距離，但完整測試行程距離之耗能與回饋電能統計以出發樓至目的樓再返回出發樓之距離為計算基礎。
運行速度	指該次測試之等速段運轉速度(亦即非加/減速度)。
消耗電能	指相同測試條件下，電梯自出發樓關門起至目的樓(含開關門)再返回出發樓開門完成期間的系統用電量及運轉用電量之合。
回生電能	指電梯自出發樓關門起至目的樓(含開關門)再返回出發樓開門完成期間之總回饋電力量。

名稱	說明
回生比率	指相同測試條件下，電梯自出發樓關門起至目的樓(含開關門)再返回出發樓開門完成期間之比值。即回饋電能÷設置回饋電能裝置前電梯耗能總需求量之占比。