

建築設備耐震規範之研訂(1)  
以醫院建築設備為例

期末簡報報告書

計劃主持人：姚昭智

共同主持人：賴榮平

計畫顧問：高樹源、翁全明

研究助理：邱瑜燕、練乃齊

執行單位：內政部建築研究所

中華民國結構工程學會

中華民國八十八年四月

建築設備耐震規範之研訂(1)  
以醫院建築設備為例

期末簡報報告書

計劃主持人：姚昭智

共同主持人：賴榮平

計畫顧問：高樹源、翁全明

研究助理：邱瑜燕、練乃齊

執行單位：內政部建築研究所

中華民國結構工程學會

中華民國八十八年四月

# 目錄

第一章 前言 .....	1
第二章 醫院建築重要設備震害狀況 .....	4
2-1 供電系統之震害 .....	4
2-2 供水系統之震害 .....	6
2-3 空調系統之震害 .....	7
2-4 通訊系統之震害 .....	9
2-5 電梯之震害 .....	9
2-6 其他震害 .....	10
2-7 小結 .....	11
第三章 建築設備物耐震設計公式 .....	17
3-1 各國設備物水平地震力設計規範 .....	17
3-2 水平地震力公式 .....	18
3-3 小結 .....	21
第四章 醫院建築重要設備之關係 .....	22
4-1 逃生系統 .....	22
4-2 正常運作系統 .....	23
4-3 小結 .....	24
第五章 國內醫院重要設備抗震能力評估 .....	31
5-1 供電系統 .....	31
5-2 供水系統 .....	32
5-3 空調系統 .....	33
5-4 小結 .....	35
第六章 設備物耐震設計規範之展望 .....	44
6-1 前言 .....	44
6-2 結構體及非結構物行為之分類 .....	47
6-3 設備之耐震強度認定 .....	49
6-4 日本官方建築物中設備耐震設計原則 .....	50
6-5 國內設備物耐震工程現況 .....	53
6-6 新訂醫院設備耐震規範草案大綱 .....	54
參考文獻 .....	57

## 摘要

地震過後醫院本應擔任緊急救護的重要角色，但實際上，由各國震害資料可知，因供電、供水、空調、通訊、電梯及各種重要設備系統在地震過程中屢屢遭到破壞，致使醫院功能停擺而無法發揮預期效果；為了瞭解破壞情況為何，本研究先對醫院中重要設備於地震中的破壞案例形式做出分析與整理。

各國在考慮設備物水平地震力設計時想法並不完全一致，故文中乃針對各國規範中設備物水平地震力設計的重要參數（如震區係數、用途係數、樓高放大係數及共振放大係數）進行比較。此外，為了瞭解各設備的重要性及關係，乃建立了醫院內重要設備間之關係與現況分析，並將設備分為震後逃生系統以及正常運作系統兩種，以明白確定各設備功能的震後救災能力要求。

由於國內醫院至目前為止幾無抗震設計，只單純考慮防止設備運轉振動傳遞進入建築內，因此就現況選擇成大醫院，評估其供電、供水及空調系統抗震能力。文末則參考美、日耐震設計要求與規定，提出設備耐震規範草案大綱。

# 第一章 前言

1976 年中國唐山大地震與 1988 年蘇聯雅爾美尼亞地震，均造成一些都市醫院及診所嚴重損壞甚至全毀，而醫生與護士也死傷大半，以致醫療工作幾乎癱瘓，只好藉由軍方或民間運輸工具將傷患運送至鄰近都市治療。因此從這兩次地震中便可學到，在防災體系中，緊急醫療體系耐震能力之提高是相當重要的事。

美國加州洛杉磯的 Olive View Hospital 是一所專為退休軍人設置的大型醫院，在 1971 年的 San Fernando 地震中，剛剛開幕不久的醫院主建築便因底層柱之設計不當而遭到嚴重破壞，因此於震後不久便遭拆除。為此，隔年美國加州州議會始有決議，為使醫院能發揮震後救災的功能，要將新醫院建築的耐震性能特別加強，以防止相同的事情再度發生。拆除後的原址，於數年後蓋了一棟結構強度甚高的新醫院，希望能通過最大強震之考驗，使醫院能於震後發揮緊急醫療功能。在 1994 年的北嶺地震（與 San Fernando 震央極近）中，Olive View Hospital 附近地表加速度高達 0.82g，在屋頂量到的最大加速度亦有 2.31g，遠高於一般建築物的耐震設計標準。然而由於此醫院結構體甚為強壯，因此結構並未遭到任何損傷，在震後仍屹立於基礎之上。可是，這家醫院卻仍無法在地震後發揮它的醫療功能，反而在地震後的 48 小時內需要別單位的協助，撤離院內病患。這種後果的主因，便是由於醫院內各項設備物抗震能力不足，在地震中受到破壞，致使這所現代化的醫院無法於震後使用，遑論發揮救助災民的醫療功能。由於相同的例子尚有數起，眾人至此方才瞭解，光只注重結構強度，並不能達到設計醫院時的原始目標；而且設備物耐震性能的重要度，並不亞於結構體的耐震性能。值此之故，1997 年美國政府出版的建築耐震補強手冊（FEMA 273）中，便將非結構物的耐震設計方法，做了特別的加強，在本研究報告的第六章將會有專文介紹該報告

之精神及摘要。

由此可知加強建築設備耐震性能之主要目的，是因為要確保這些設備可以提供建築物某些特定功能，方便該建築物的使用者，能在地震後立即執行這些功能，以達到某些預定的效果，比如：醫院的震後救災工作、或商業機構要保持高經濟效益的作業、或化學實驗室毒性物質的安全等等。對於醫院而言，如何維持它在地震後的使用功能，便會直接關係到震後大量湧入醫院傷患之權益及院內病人的生命安全。

一般在進行設備耐震設計時，首先會考慮的是：欲維持某一機能的耐震能力時，需要針對哪些重要設備進行設計工作；然後才探討這些設備的耐震作法應該為何。然而由於建築內設備的種類繁多，因此在第一階段時，多半便因其複雜性過高，無法確認何者為真正重要的設備而停止。少部份進行至第二階段者，亦只能針對部份設備進行耐震設計，未能確保該設備所有相關其他附屬設施之安全，以使此一機能能持續維持。本計畫乃針對此一困擾，探討新設計醫院在強烈地震作用下，仍欲維持設備物之耐震強度時，究竟應該如何著手進行規劃分析。本計畫將從功能設計法 ( Performance Based Design ) 的觀點出發，探究欲維持醫院中某些功能時，必須要對那些設備系統的安全性加以重視，再探討國內醫院中這些設備系統耐震的現況。

本案研究內容中，並不包括直接用於治療、診斷的醫療設備的抗震分析。主要是有以下幾項原因：

- (1) 國內的醫療設備多為國外進口，因此該設備的基本資料(如重量、內部固定方法、安裝方式等等)很難取得，以致無法進行資料分析。
- (2) 各項醫療設備的安裝方式，在已完工的醫院內因有裝修遮蔽，已無法得見其工法。
- (3) 各項醫療設備之更新速度甚快，每隔幾年便有全新產品出現，以致甚難綜合其特色加以分析。

(4) 本系列研究主要目的是製定一般建築用設備的耐震規範，由於醫設備的特殊屬性，宜另以專案執行。

因此本研究內容主要是以醫療設備外的各項建築設備為主。

針對上述問題，本研究乃從下列幾個方向著手，收集資料並整理分析成以下各章節：

- (1) 收集國內外強震狀況下醫院設備的破壞資料，藉以判斷易遭破壞的設備種類及破壞方式（第二章）。
- (2) 整理國內外相關法規的建議方案，以便分析國內醫院設備物的耐震能力（第三章）。
- (3) 根據國內醫院機能需求，依照結構體強度設定設備物設計強度，並探討各項重要建築設備（不含醫療設備）之構成特色。再以實例調查方式，瞭解各個設備的裝置情形及上下游相關設備的各個組成元素。（第四章）。
- (4) 利用現場調查結果，瞭解國內醫院常用設備的現況並分析其耐震能力，及做出適當之抗震設計建議（第五章）。
- (5) 將美國 FEMA273 及日本官廳建築耐震規範中，對於非結構物於功能設計法內的設計原則摘要說明，使國內相關單位瞭解目前國際上最新的設備耐震規範的走向，並探討國內欲擬定設備物耐震規範草案的雛形（第六章）。

一般建築設備的各種規範大多包括設計及施工規定，因此包含的範圍極廣。本研究案限於人力及經費，將只針對設備物抵抗地震力之部分進行探討，研究建築內各項主要功能的設備種類，及可能在地震中的破壞方式，並建議應有的設計地震力大小。至於涉及設備安裝時施工方式之設計及執行細節，將在第五章內僅就目前國內外現況略做介紹，以利讀者參考。

## 第二章 醫院建築重要設備震害狀況

本章內容主要是參考美國 EQE 公司統計在 1993 年以前設備物的地震破壞資料，以及 1994 年美國北嶺地震(規模 6.8 級，最大地表水平加速度  $A_h = 1.0 G$ ，最大地表垂直加速度  $A_v = 1.83 G$ )、1995 年日本阪神-淡路大地震(規模 7.2 級， $A_h = 0.83 G$ ， $A_v = 0.45 G$ )及我國 1998 年瑞里地震(規模 6.2 級， $A_h = 0.72 G$ ， $A_v = 0.34 G$ )震害的醫院勘災報告破壞案例[1-10,29-44]，整理其中各項設備物之破壞特性而成。由於醫院在地震發生後需擔任緊急救護的重要角色，因此受震害程度，以及是否會引發二次災害等等都是值得關心探討的課題。依據以上各國震害資料將醫院建築內幾項重要設備系統的功能加以分析，並將曾在地震中遭受到的破壞狀況分類陳述。這些系統包括有：供電、供水、空調、通訊、電梯及其他相關的重要系統，最後再將常見震害形式及可能的原因詳列於表 2-1 及表 2-2。

### 2-1 供電系統之震害

供電系統最常見的震害就是電線破損及發電機無法作用，所會造成的重大影響在醫療方面為：妨礙看診功能、無法操作人工呼吸器及輸血機及各項設備、不能檢索患者醫療資訊；在看護方面會造成觀察患者的困難、不能閱讀患者病歷資訊，以及會因輸送設備停止運作，而且提高搬運患者及院內急救物品的困難度[5]。

供電系統內的主要次系統包括電力系統、緊急動力發電系統、不斷電系統與其它設備等部份(見圖 2-1)，詳細內容則包括有發電機、變壓器、配電盤、控制盤、蓄電池、冰水機組、送風機、照明器具等各項設備，其中冰水機組與送風機在空調系統內亦有類似產品，在 2-3 節會有詳細說明；照明器具則在 2-6 節中詳述。

在這些設備當中，雖然發電機在地震中的破壞案例百分比不會比其他設備高，但因其功能最為重要，不僅在停電時負責供應少數緊急用電源，且需在災害

後維持手術室、急診室、加護病房、恢復室、醫療資訊室的功能。發電機依引擎發電容量大小可分為氣渦輪機(Gas Turbine)及柴油引擎兩種，目前國內以柴油引擎為主，兩者以 3000 KW 為分界，較小者多採柴油引擎。大型發電機多半直接放置樓板或以 L 型鋼固定在鋼梁上，而鋼梁則固定於混凝土基座，另加設防振裝置於鋼梁與基座間或基座與樓板間。其在地震中的破壞模式依比例高低可分列為機器移動、基座防振裝置破壞、基座螺栓鬆動、控制不良等，而破壞原因則為防振裝置抗震力不足、未設止震器抵禦地震位移、錨錠強度不足或基座結構強度不足。

變壓器的功能為將電力公司供給的電源降壓，轉變為各種負荷使用的電源，其冷卻方式可分為液冷式及氣冷式兩種。液冷式一般是在鋼製的矩型槽內裝油或類似絕緣液體，並將變壓器的線圈浸泡於液態槽內。液態槽可提供冷卻及絕緣，一般都放置於矩型鋼槽內。大部份的液冷式變壓器有一個或多個的冷卻線圈連接於變壓器側，以提供足夠的熱交換表面積。

氣冷式或稱乾式變壓器的尺寸和構造與液冷式相似，不同處在於其變壓器線圈是固定於空氣可流通的鋼製圍欄內，而非置於液態槽中。大部份氣冷式變壓器的冷卻方法，是利用空氣自然對流通過鋼製外殼的百葉或多孔斷面，以進行熱交換。較大型的氣冷式變壓器可能會在圍欄內另外設有小型風扇，以強迫外氣冷卻。

不論是液冷式或氣冷式的變壓器，其外殼尺寸的高度約為 60~100 英吋，而寬度及深度約為 40~100 英吋。依據輸出功率的不同，其重量約由 2000 磅到 15000 磅不等。變壓器的容量單位為 Kilovolt-amperes(KVA)，一般變壓器的容量範圍約為 100~3000KVA。變壓器的破壞方式多為移動與傾覆。

配電盤可自主電路分配低伏特交流電或直流電至分電路，且提供過載電流保護裝置，其震害破壞方式則多與變壓器同。原因是變壓器及配電盤多半為瘦高型設備併行排列，頂部或底部多未固定，有做固定者強度亦多半不足。

不斷電系統(UPS: Uninterruptible Power Supply)設備內容涵蓋有蓄電池組，充電器、換流器(inverters)等。蓄電池組可分為鉛蓄及鹼蓄電池兩種，用以供給電力。

蓄電池除了供緊急照明用之外，也是變電與發電操作之緊急電源；換流器之功能則在於將直流電轉換成交流電。設置形式上若將蓄電池、充電器、控制盤三者分離，稱之為架台式；若將蓄電池、充電器、控制盤三者合併，則稱之為鐵櫃式。不斷電系統破壞方式均以傾覆為主，其次亦有移動及破損。震害原因有置放蓄電池之固定支架無斜撐或結構強度不足、支架未固定或固定於建築的結構方式不當、鐵櫃頂部未固定且底部固定不足、未聯結之蓄電池彼此互撞、遭掉落物體撞擊等。

由以上說明可知在所有建築設備當中，供電系統扮演著最重要的角色，尤其是地震災害發生時更擔負保障病患生命的安全重責。因此除了上述各項破壞狀況應予以防治外，亦應注意以下幾項安全措施；如手術室之電源供應，最好有獨立之耐震發電機設備，以避免因主系統故障而喪失急救功能；在空間設計時應留設足夠維修空間以便能確實做好機器保養維護工作以降低故障率；緊急發電機、蓄電池與供設備運轉之燃油均應設置備份儲存，以利地震造成主要機器故障時使用。

其它重要設備尚有控制盤(MCC: Motor Control Center)，其功能為提供 600V 以下馬達動力控制系統或電力保護系統，常見之破壞以傾斜、傾覆、破損為主，原因同變壓器與配電盤。

## 2-2 供水系統之震害

在供水系統中因震害而破壞之最普遍設備為高架水箱，一旦高架水箱受害便可能無法正常供應冷卻水，造成發電機過熱而停止運轉，致使各項用電之醫療功能癱瘓。而且水槽槽壁破損會使儲水漫流至室內，造成機器因浸水而當機，或插頭短路等衍生出之二次水患問題。中繼水箱若於地震中受損，亦會有相類似問題出現。

供水系統設備一般以蓄水槽、高架水槽及揚水泵為主。自來水廠先將水由自來水供水管引進蓄水槽儲存，再用揚水泵將水送入屋頂高架水槽，然後以重力供

水至各用戶水龍頭。水槽壁體材料常見者有 FRP 製、鋼製、RC 製三種，除了 RC 製水槽係直接與結構一體澆置外，其它皆以支架或支腳固定在樓板上。

蓄水槽多數設置在地下室，所受地震力較小，常見破壞方式為水槽壁面龜裂、漏水、基座破損、基座螺栓鬆動，原因是水槽壁面地震力設計強度不足、基座 RC 結構強度不足導致混凝土龜裂、剝落或 螺栓錨錠強度不足致使螺栓鬆動。

高架水槽多置於建物頂層，該層地震加速度最大，所以震害最多也最普遍，無論是北嶺地震、阪神地震、瑞里地震或其它地震均顯示出高架水槽破壞比例最高。常見破壞模式有傾覆、架台與基座破損、水槽與配管相接處被拉斷、基座螺栓拔出、FRP 製水槽壁面破損、RC 製水槽壁面龜裂、水槽自架上掉落、基座鋼骨脫離等現象，原因大致與蓄水槽相同，此外還包括水槽撞擊牆面或地面而破裂、架台結構不當或強度不足、水槽與配管相接處防振軟管之容許水平位移量不足、水槽未確實固定在架台上等因素。此外，我國特有之不鏽鋼水塔則在嘉義瑞里地震中曾發生壁體下部扭曲變形、支腳挫屈與傾覆等破壞。

揚水泵可分為離心式與透平式兩型，其中透平式大多在消防加壓或高揚程時使用。紀錄中的破壞現象有：泵浦配管相接處破損或拉斷、移動，原因是防振軟管接頭之容許水平位移量不足或錨錠強度不足。

## 2-3 空調系統之震害

醫院建築最重要的機能空間就屬手術室、恢復室、急診室、加護病房及檢驗室，它們往往是決定重傷病患是否可以存活的關鍵，因此如何維持空間溫濕度及清淨度以避免細菌滋生及感染傷口惡化，就成了緊急醫療成敗的基本要件之一，空調系統無疑地是扮演執行此項功能的主要角色。由於手術室在一般醫院中非常重要，故在設計規劃上，大都會特別要求擁有獨立專用之空調及無塵無菌設備，以確保更完善之空調品質[13]。

空調系統的主要設備內容有熱源裝置(鍋爐、冰水機組、冷卻水塔)、自動控

制裝置、空氣處理裝置(空調箱)、送風設備(送風機與送、回風口)等。在瑞里地震中曾有幾個鍋爐(Boiler)破壞的報導案例，形式多半為鍋爐與配管相接處脫離、戶外煙囪於接頭處被拉開，不過以上破壞情況在醫院建築中卻並未出現，可能是醫院於鍋爐配管相接處大都有設置防振軟管接頭之故。

冰水機組包括冰水主機、冷媒凝縮管及蒸發管。冷媒凝縮管與冷卻水進行熱交換，蒸發管與冰水進行熱交換。冰水主機的功能在於提供冰水系統之循環，運作方式有壓縮式循環與吸收式循環兩種，前者又可分為往復式、螺旋式及離心式三種。空調機(Air conditioner)可分中央式空調箱(AHU: Air Handling Unit)與個別式風管機(FCU: Fan Coil Unit)兩種，用於抽引戶外新鮮空氣與室內回風混合，再經濾清器除去空中塵埃及調節溫、濕度。冰水主機與空調機在地震中的主要破壞模式多為移動、破損及傾覆。原因有防振裝置破壞、錨錠強度不足、周邊空間不足導致撞擊結構或彼此互撞、或懸吊式設備撞擊牆面等。

冷卻水塔一般設置於屋頂或屋突以降低噪音干擾及便於空氣流通。冷卻水塔之目的在於冷卻冷卻水以便循環再使用。依空氣與水接觸方式不同，可分為對流式與直交流式兩種。在地震中冷卻水塔容易發生傾覆、破損，主要原因則是因為防振裝置破壞、錨錠強度不足、傾覆撞擊牆面或樓板而破損。

送風機依功能可分為離心式與軸流式兩種。其中離心式多用於連接風管或設置於空調箱內，而軸流式則因風量大且風壓低，常用於冷卻水塔。常見震害為移動、破損，主因為防振裝置破壞、錨錠強度不足、懸架來回擺動甚至撞擊牆面、移動撞擊結構或其它設備。

送風口依吹出氣流分布與形狀可分軸流、輻流、槽型、多孔板等類，多安裝於天花板、壁面、窗台及地板；回風口常用者為固定葉片形方格柵 (Grill)及多孔板(Punching metal plate)，兩者均易受地震反覆運動來回擺動而移動。醫院手術室中多配置送風口於天花板，回風口則設置於牆下方側邊。在送風口會設置有高效過濾網風箱，風箱的懸吊線有時會與無影燈之懸吊系統產生撞擊而互相影響。

除上述狀況之外，因國內施工品質不良，故常見的問題尚有設備與配管相接

處因防振軟管接頭處的容許地震水平位移值不足而遭破壞；在瑞里地震中，嘉義女中尚有風管因單獨架未設懸吊線，導致輕鋼架天花板受風管推動支架，而發生大面積天花板掉落之情況發生。

## 2-4 通訊系統之震害

通訊系統若遭到破壞將無法確知醫院人員之所在及其人身安全與否、不明瞭其它病院狀況、不能移送重症患者、無法取得或建立來院患者病歷資料，同時會因資訊不足使各個支援體制運作困難[5]。常見破壞行為有戶內交換機(分為PBX、DPBX 兩型)及發信機傾覆，主因是這些設備外型瘦高，但未在其頂部加以固定或底部錨錠強度不足。

目前因行動電話無線通訊日漸普及化，所以一旦醫院有線通訊系統故障則可以行動電話或無線對講機暫代之。惟各行動電話公司基地台的轉播設備抗震強度是否足夠，便成為震後能否使用行動電話的關鍵所在。另在 1999 年的哥倫比亞地震中，亦發現由於太多人同時使用無線對講機，造成同一頻道上的使用者太多，以致彼此嚴重干擾，而無法發揮傳遞消息的問題。

## 2-5 電梯之震害

電梯在災後因扮演運送院內傷患的角色，故其破壞行為也值得注意。根據 OSHPD 在 1996 年四月針對北嶺地震醫院建築電梯破壞調查報告[12]可知，電梯被地震破壞之主要裝置為車廂、調速器、控制器、平衡塊、電纜、托架、滾輪、捲揚機械、安全裝置、台架、導軌、地震開關與制動器項目。

車廂破壞形式有頂部兩端一高一低、在廂頂保護裝置調速器背面滑輪有破壞混凝土碎片、金屬電纜保護裝置移動、機械齒輪側之車廂封口出現漏洞、廂內天花板掉落、廂內樓版破裂、車廂穩定裝置彎曲破裂、車廂水平磁鐵破壞與車廂底部滾輪導軌裝置移位。調速器破壞形式為拉倒、電纜纏繞 TM 凸輪以及導軌托架

之螺栓被調速器繩索包覆。控制器破壞形式為 3GM 控制組件跳開與控制器掉落。平衡錘破壞形式有離開構架、導軌分離、滾輪導軌破裂、在鋼架上扭轉、鋼軌彎曲以及轉盤托板裝置之托架彎曲。電纜之破壞形式為開關鬆弛與穩定裝置被拉開。托架破壞形式則為彎曲、被拉開或與主體分離。其它尚有滾輪導軌遺失、捲揚機械被封住、床板上機器移動、床板移動、安全裝置破裂、台架側桿彎曲、導軌扭曲、地震開關重新設置以及制動器破壞等等。除了以上所述電梯裝置破壞情況之外，電梯間結構體亦出現柱子裂開與豎井牆裂開的破壞現象。

至於電梯破壞情況及數量情形，在有緊急動力仍無法啟動者有 14 件；設備錨錠破壞發生在機械、發電機與調速器部分者分別有 5 件、6 件及 1 件；繩索保護裝置破壞有 2 件；軌道與托架破壞情況為軌道扭轉、中間托架分離、平衡錘托架損壞或彎曲、車廂托架破損或彎曲者分別有 26 件、12 件、6 件、4 件；導引保護裝置損壞發生在車廂、平衡錘分別為 17 件、13 件；平衡錘構架扭轉案例有 9 件；車廂之安定裝置彎曲有 30 件、安全裝置調整或彎曲有 9 件、內部損壞在天花牆面及門部份分別為 8 件、1 件與 5 件；控制 PC 板損壞者 4 件；電梯垂直通路損壞在入口及牆面各有 8 件與 17 件；繩索斷裂或電纜偏離者有 26 件；油壓汽缸破壞者 1 件。綜合以上所述可知最易破壞者為車廂安定裝置、軌道與電纜。

此外，在 1998 年嘉義瑞里地震中，嘉義市區內約有 5% 的電梯亦出現安全迴路自動關閉、配重與導軌脫離以及調速鋼索移動等破壞現象。

## 2-6 其它震害

其它設備系統之破壞雖不致直接影響醫院醫護功能，但處理不當卻可能引發二次災害，其中最常見者為裝設於石膏天花板上的灑水頭因與天花板間相對位移過大，產生碰撞擠壓而破損，此時會造成水患影響醫院功能正常運作，或致使設備由於浸水而當機。而病歷資料則應平時即作好備份，一旦電腦主機故障時則可以桌上型或筆記型電腦暫時存取即可。

照明器具雖然不是最重要的一環，但若在重要場所如主入口、急診室或主要

通道等處遭破壞，便會對急救過程形成障礙及不便，有時也會造成壓傷人員的狀況。所觀察到照明器具的主要地震破壞行為是掉落，原因為懸吊支撐與樓板相接處錨錠強度不足。

醫院內有許多藥品、生物試體及化學藥品均具有毒性，這些物品的儲存及安置在整個醫院震後安全的環境中，具有很重要的地位。雖然在所蒐集到的震災資料中並未有關於此類物品的災害報導，但在評估一所醫院之抗震能力時，仍應對其特別注意。

目前國內施工習慣經常將各種管道置於結構體內，以節省成本。但是此一作法會減損結構體強度，而且造成日後管線維修困難。因此在新設計之醫院中，宜對此一現象特別注意，以免造成地震後不必要之損害。

## 2-7 小結

綜合以上各節所述可知，醫院所有建築設備功能最重要者，屬供電系統之發電機、變壓器、蓄電池。前兩項主要破壞行為皆為移動(詳表 2-1)，發電機之破壞現象尚有基座防振裝置破壞、基座螺栓鬆動、控制不良或故障；變壓器主要為傾覆；而蓄電池為傾覆、移動與破損。一般國內目前的做法並未考慮機器的耐震性，僅設置備份發電機、蓄電池以供故障急用之需。

供水設備中最易破壞的部份為高架水槽，破壞模式(詳表 2-1)常見者為傾覆、架台與基座破損、水槽與配管相接處被切斷、基座螺栓拔出、FRP 製水槽壁面破損、RC 製水槽壁面龜裂、水槽自架上掉落、基座鋼骨脫離。目前一般的應變方式僅為設置備用儲水槽。

然而供電、供水的備用設備也可能在地震時遭到破壞以致無法發揮其預期功能，因此目前一般的做法並不見得能使醫院維持應有的救護能力。此外，以上設備之另一項共同弱點在於設備與配管相接處，在各個小型地震中便常見因防振軟管容許水平位移量不足而造成破損或拉壞。可知醫院應特別要求以上各節所述設

備對地震的抵禦能力，俾能於震後發揮救護功能。

表 2-1 醫院建築內重要設備系統常見的震害形式與原因

項目	震害形式	原因	
供電系統	發電機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆基座防振裝置破壞</li> <li>◆基座螺栓鬆動</li> <li>◆控制不良</li> <li>◆故障</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置抗震力不足</li> <li>●未設止震器</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●基座結構強度不足</li> </ul>
	變壓器	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆傾覆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
	配電盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆傾覆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
	控制盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾斜</li> <li>◆傾覆</li> <li>◆破損</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
	蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> <li>◆移動</li> <li>◆破損</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●固定支架無斜撐或結構不適當</li> <li>●支架未固定</li> <li>●支架固定於建築結構方式不當</li> <li>●鐵櫃頂部未固定且底部固定不足</li> <li>●未聯結蓄電池彼此互撞</li> <li>●被掉落物體撞擊</li> </ul>
供水系統	受水槽	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆水槽壁面龜裂</li> <li>◆漏水</li> <li>◆基座破損</li> <li>◆基座螺栓鬆動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●水槽壁面地震力設計強度不足</li> <li>●基座 R.C.結構強度不足</li> <li>●錨錠螺栓強度不足</li> </ul>
	高架水槽	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> <li>◆架台與基座破損</li> <li>◆水槽與配管相接處切斷</li> <li>◆基座螺栓拔出</li> <li>◆FRP 製水槽壁面破損</li> <li>◆R.C.製水槽壁面龜裂</li> <li>◆水槽自架上掉落</li> <li>◆基座鋼骨脫離</li> <li>◆壁體下部扭曲變形</li> <li>◆支腳挫屈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●水槽壁面地震力設計強度不足</li> <li>●基座 R.C.結構強度不足</li> <li>●錨錠螺栓強度不足</li> <li>●水槽因傾覆撞擊牆面或地面</li> <li>●架台結構不當或強度不足</li> <li>●水槽配管相接防振軟管之容許位移量不足</li> <li>●水槽未確實固定在架台上</li> <li>●支腳附近剛度不均勻造成彎矩破壞</li> </ul>
	揚水泵	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆泵浦配管相接處破損拉斷</li> <li>◆移動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> <li>●錨錠螺栓強度不足</li> </ul>

表 2-1 醫院建築內重要設備系統常見的震害形式與原因(續)

項目	震害形式	原因	
空調系統	冷凍機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆破損</li> <li>◆傾覆</li> <li>◆設備配管相接處破壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置破壞</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●周邊空間不足</li> <li>●彼此互撞</li> <li>●懸吊式設備撞擊牆面</li> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> </ul>
	空調機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆破損</li> <li>◆傾覆</li> <li>◆設備配管相接處破壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置破壞</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●周邊空間不足</li> <li>●彼此互撞</li> <li>●懸吊式設備撞擊牆面</li> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> </ul>
	冷卻塔	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> <li>◆破損</li> <li>◆設備配管相接處破壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置破壞</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●因傾覆撞擊牆面或樓板</li> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> </ul>
	送風機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆破損</li> <li>◆設備配管相接處破壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置破壞</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●懸架來回擺動甚至撞擊牆面</li> <li>●移動撞擊結構或其它設備</li> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> </ul>
	送風口 回風口	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●懸架來回擺動</li> </ul>
通訊系統	交換機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
	發信機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
其它	灑水頭	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆破損</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●與石膏板天花相互撞擊</li> </ul>
	照明器具	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆掉落</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●懸架樓板相接處錨錠強度不足</li> </ul>

表 2-2 醫院建築內電梯設備系統常見的震害形式

項目	震害形式
車廂	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆頂部兩端一高一低</li> <li>◆在廂頂保護裝置調速器背面滑輪有破壞混凝土碎片</li> <li>◆金屬電纜保護裝置移動</li> <li>◆機械齒輪側之車廂封口出現漏洞</li> <li>◆廂內天花板掉落</li> <li>◆廂內樓版破裂</li> <li>◆車廂穩定裝置彎曲破裂</li> <li>◆車廂水平磁鐵破壞</li> <li>◆車廂底部滾輪導軌裝置移位</li> </ul>
調速器	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆拉倒</li> <li>◆電纜纏繞 TM 凸輪</li> <li>◆導軌托架之螺栓被調速器繩索包覆</li> </ul>
控制器	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆3GM 控制組件跳開</li> <li>◆控制器掉落</li> </ul>
平衡塊	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆離開構架</li> <li>◆導軌分離</li> <li>◆滾輪導軌破裂</li> <li>◆在鋼架上扭轉</li> <li>◆鋼軌彎曲</li> <li>◆轉盤托板裝置之托架彎曲</li> </ul>
電纜	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆開關鬆弛</li> <li>◆穩定裝置被撕開</li> </ul>
托架	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆彎曲</li> <li>◆被拉開</li> <li>◆與主體分離</li> </ul>
其它	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆滾輪導軌遺失</li> <li>◆捲揚機械被封住</li> <li>◆床板上機器移動</li> <li>◆床板移動</li> <li>◆安全裝置破裂</li> <li>◆台架側桿彎曲</li> <li>◆導軌扭曲</li> <li>◆地震開關重新設置</li> <li>◆制動器破壞</li> <li>◆安全迴路自動關閉</li> <li>◆配重與導軌脫離</li> <li>◆調速鋼索移動</li> </ul>

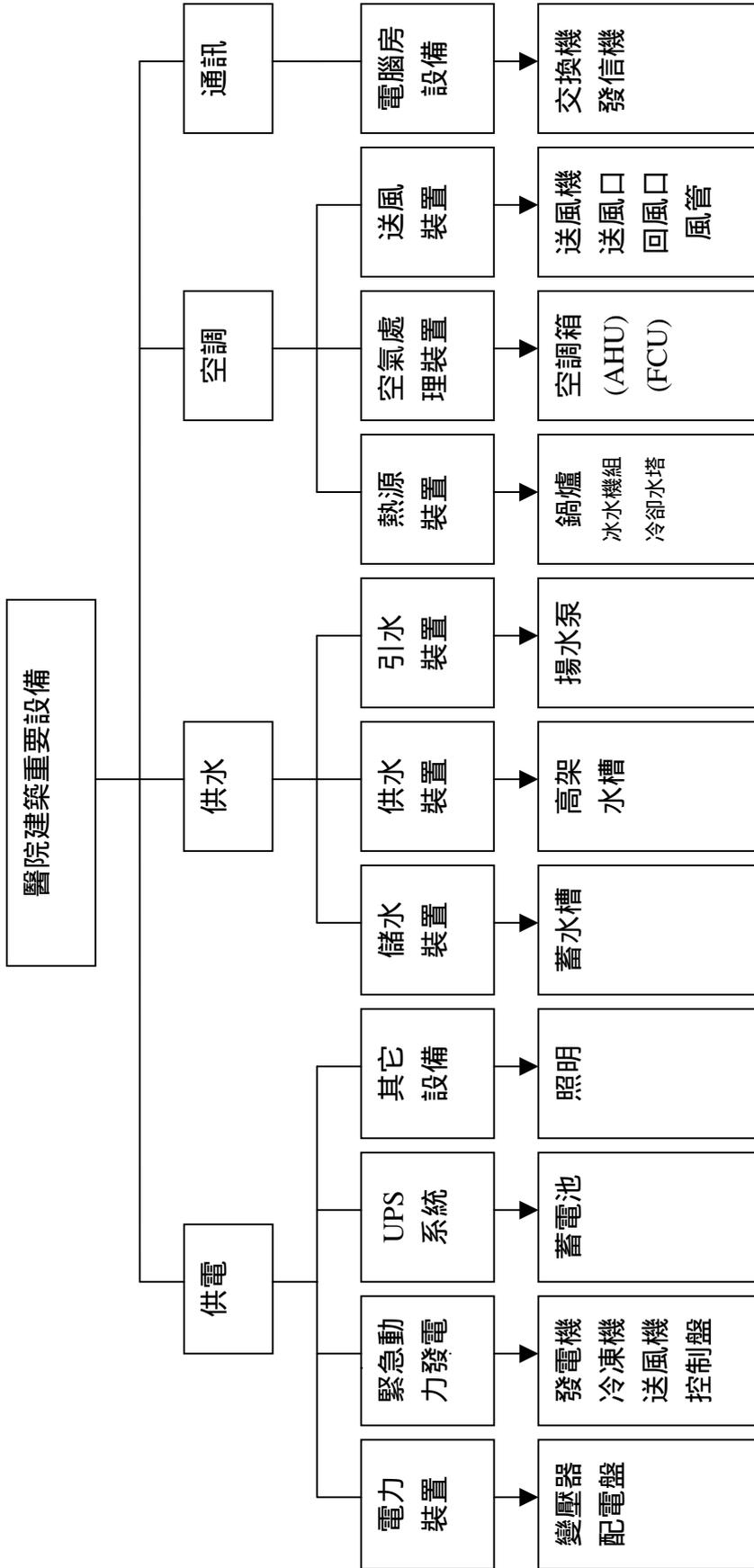


圖 2-1 醫院內重要設備曾遭震害項目

### 第三章 建築設備物耐震設計力公式

本篇論述目的在於比較國內(建築技術規則)、中國、日本、紐西蘭(1983 NZS)及美國(1995 NBC、1997 UBC、1997 NEHRP、2000 IBC)等建築設備物地震力設計公式觀點之異同，這些規範考慮內容依國情而各不相同，大抵而言包括有震區係數(或是以短週期設計反應譜加速度表示)、用途係數(或是重要性係數)、設備安置樓高放大係數、設備共振放大係數、非結構物折減係數與設備物重量等因素。

#### 3-1 各國設備物水平地震力設計規範

先根據本研究案所蒐集到各國之設備物水平地震力( $F_d$ )公式，綜合整理如下：

(1) . 1996 國內規範[14]  $\Rightarrow C_d \cdot C_e \cdot I_d \cdot A$

(2) . 1989 中國規範[8]  $\Rightarrow C_d \cdot C_e \cdot I_d \cdot A$

(3) . 1992 日本規範[15]  $\Rightarrow$  ①  $C_d \cdot C_e \cdot I_d \cdot \dots \dots 1 \dots \dots D_s$

[16] ②  $C_d \cdot C_e \cdot I_d \cdot \dots \dots 1$

(4) . 1983 NZS [17]  $\Rightarrow C_d \cdot C_e \cdot I_{d,max}$

(5) . 1995 NBC [18]  $\Rightarrow C_d \cdot C_e \cdot I_d \cdot C_r \cdot C_x$

(6) . 1997 UBC [20]  $\Rightarrow$  ①  $C_d \cdot C_e \cdot I_a \cdot C_r$

②  $C_d \cdot C_e \cdot I_a \cdot C_r \cdot A_p ( 1 + 3H_x/H_r ) / C_d$

$0.7 I_a \cdot C_r \cdot C_x \cdot I_a \cdot C_r$

(7) . 1997 NEHRP [21]  $\Rightarrow C_d \cdot C_e \cdot I_d \cdot C_r \cdot I_p \cdot C_x \cdot C_s$

$C_d \cdot C_e \cdot 2 C_{F_e} / 3 \cdot C_d \cdot 2 I_a \cdot C_s / 3$

(8) . 2000 IBC [22] ⇒  $\alpha_x \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} (1 + 2H_x/H_r) \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}}$

$\alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} * \alpha_{\text{ps}} * 1.6 \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}}$

$\alpha$ 、 $\alpha_a$  : 震區係數

$\alpha$ 、 $\alpha_x$  : 用途係數、重要性係數

$\alpha_x$  : 震力係數

$\alpha$  : 設備物重量

$D_s$  : 構造特性係數

$\alpha$  : NBC 區域速度比

$\alpha_{\text{ps}}$ 、 $\alpha_{\text{ps}}$  : 標準設計地震力係數

$\alpha_{\text{ps}}$  : 短週期 5% 阻尼最大地表加速度

$\alpha_{\text{ps}}$  : 正規化短週期設計反應譜加速度

$\alpha_x$  : 非結構物折減係數

$H_r$  : 建築物高度

$H_x$  : 設備安置樓層至基面之高度

$\alpha_{\text{ps}}$ 、 $\alpha_{\text{ps}}$ 、 $A_{\text{ps}}$ 、 $\alpha$  : 設備共振放大係數

$\alpha$ 、 $\alpha_x$ 、 $\alpha_{\text{ps}}$ 、 $\alpha_{\text{ps}}$ 、 $(1 + 3H_x/H_r)$ 、 $(1 + 2H_x/H_r)$  : 設備安置樓高放大係數

## 3-2 水平地震力公式分析

### 3-2-1 震區係數( $\alpha$ 、 $\alpha_a$ )、正規化短週期設計反應譜加速度( $\alpha_{\text{ps}}$ )

我國震區係數  $Z$  是將台灣分成四區- 地震一甲區、地震一乙區、地震二區、地震三區, 所對應之建築物震區水平加速度係數分別為 0.33 0.28 0.23 及 0.18, 這些數值是依據工址所屬震區回歸期 475 年地震地表加速度與重力加速度  $g$  之比值。其它規範除了 1995 NBC 以區域速度比  $\alpha$  值規定外, 皆類似國內做法, 只不過如何區分及決定各區係數值則視各區土壤狀況與地表加速度而有不同公式。

有些規範如 NEHRP、IBC 等是以正規化短週期設計反應譜加速度  $\alpha_{\text{ps}}$  方式定義; 而 UBC 雖然是以震區係數  $\alpha_a$  表示, 因為  $\alpha_a$  值等於  $0.4 \alpha_{\text{ps}}$ , 所以可知除了 NBC 以外的規範就如何決定設計地表加速度之看法是一致的。

### 3-2-2 用途係數( $I$ )、重要性係數( $I_p$ )

所謂用途係數  $I$  值是以建築物用途之重要性或危險性分類，而重要性係數  $I_p$  則以設備用途重要性為分類依據，兩者考量方向是有所差異的。惟國內亦有人認為兩者均應以重要係數稱之，因為國外的原文亦只稱為 Importance Factor。本文因為要區分此兩係數之差異，故仍以不同名稱代表不同意義處理。

以用途係數  $I$  做為設計因子的規範有我國、NBC、UBC、NZS。我國將建築物用途分成四類；第一類為地震災害發生後必須維持機能以救濟大眾之重要建築物  $I$  值為 1.5，第二類為儲存多量具有毒性、爆炸性等危險物品之建築物  $I$  值也是 1.5，第三類是供公眾使用之建築其  $I$  值為 1.25，第四類則泛指其它建築物  $I$  值為 1.0。UBC 分成五類，除了重要性與危險性建築為 1.5 之外，其餘皆為 1.0。NBC 把所有建築物用途全視為相同，一律使  $I$  等於 1.0。NZS 分成三類，地震時需維持正常運作之建築物  $I$  值為 1.6，公眾使用建物  $I$  值為 1.3，一般建築則為 1.0。

日本是同時以建築物以及設備物用途之重要性做考量。首先以非水槽類及水槽類做不同分析；若為非水槽類設備，則建築物分為特別要求耐震性、要求耐震性與其它三類，係數值分別為 1.5、1.25 與 1.0，設備分為重要及一般機器，其值分別為 1.5 與 1.0，此外  $I$  與  $I_p$  兩者乘績不得大於 2.0。至於水槽類則將兩者合併成  $I$  考慮，若為特別要求耐震性之重要設備之值為 1.5，要求耐震性之設備為 1.0，其他則為 0.7。

### 3-2-3 設備安置樓高放大係數 《 $C_p$ 、 $C_{px}$ 、...、 $C_{px}$ 、 $(1 + 3H_x/H_r)$ 、 $(1 + 2H_x/H_r)$ 》

設備物所承受地震力加速度大小會與其所在樓層高度與基面距離之高低有關係，而設備安置樓層反應倍率放大係數即是考慮此放大效應。此係數之影響國內則與  $C_p$  一併考慮，只要求  $C_p$  在地面層或地下樓層應折減為原來之 2/3。

中國規範(A)為一線性遞增關係。日本( $K_1$ )值分三段處理：當設備位於一樓或

地下室時值為 1，位於中間樓層為  $1+(\alpha_{\downarrow} + 1) * H_x/H_r$  之線性遞增關係，到了頂層則為  $\alpha_{\downarrow}$ ；其中  $\alpha_{\downarrow}$  值又與建築物自然週期  $T_n$  相關，最大可達 10/3 (當  $T_n$  小於 0.6 時)，最小則為  $3.2/T_n$  (當  $T_n$  大於 1.2 時)。NZS 以  $\alpha_{\downarrow, \max}$  決定：不同震區係數則不同，且高度比值關係與其他規範相異之處，在於高度計算是自建築物重心至基面垂直距離，所以比值約略為其他規範值之 0.5 倍。NBC 以  $\alpha_x$  表示，其值為  $1 + H_x/H_r$ ，但因其在  $\alpha_{\downarrow}$  值時已重複考慮樓版反應放大效果，合計其放大倍率最多可達四倍。UBC 是  $1+3H_x/H_r$ ；NEHRP 與 IBC 則為  $1+2H_x/H_r$ ，其中 IBC 雖然以  $\alpha_x$  表示，但因  $\alpha_x$  值與  $1+2H_x/H_r$  相等，故可曰兩者相同。

由以上敘述可得知各種規範設備安置樓高放大係數以 UBC-97 值為 4 最高，日本 10/3 次之，其次是 NBC、NEHRP 與 IBC 值為 3，最小為 NZS 僅有 1.5 而已；國內規範則無明顯放大值之規定。

### 3-2-4 設備共振放大係數 ( $\alpha_r$ 、...、 $\alpha_p$ 、 $\alpha$ ) 與非結構物折減係數 ( $\alpha_d$ )

設備共振放大係數在於考慮反應設備自振頻率與建築物第一模態基本頻率關係之影響：當兩者愈接近則設備反應愈容易放大，一旦頻率比接近於 1.0 時設備會產生極大之共振效應使反應劇烈；至於放大程度為多少則視設備阻尼大小而定，阻尼愈大放大倍率愈小。考慮共振放大係數時，有所謂剛性裝置、剛性設備與柔性裝置、柔性設備等名詞，此是指設備系統自振頻率之高低，由於頻率特性不同故動力反應也相異。剛性設備頻率高，剛性裝置與樓版的地震反應幾乎一致，故放大係數皆為 1.0，也就是說可以忽略不計設備共振放大效應；柔性設備因自振頻率低，易與建築物振頻相近，而生放大效應，所以此係數是針對這一點考慮。

國內設備共振放大效應是併入  $C_p$  值一起考慮，若為地面以上結構體上之非剛

性設備或置於柔性支承之設備  $C_p$  值可放大 2.0 倍，但不得大於 2.0。除了依設備物與結構體頻率比關係規定設備反應放大倍率係數大小之基本考慮外，日本把係數  $K_2$  分兩種方式設計：當設備頻率未知時一律為 2，若頻率已知則防振裝置與置於地面或地下室之水槽 2.0，其他為 1.5。NBC 係數  $\alpha_r$  則重複考慮樓層反應放大效果將柔性裝置放置所在區分為：置於地表者取 1.5，其它樓層為 3.0。UBC、NEHRP、IBC 三者皆同時考慮反應倍率  $\alpha_p$  之放大效應與彈性裝置吸收能量折減係數  $\alpha_x$ ，但  $\alpha_p$  與  $\alpha_x$  認定與係數值則各自不同。

對於柔性設備或柔性裝置之定義國內規範（耐震規範 4.2 節）NBC 以 17 Hz 為分界點，當設備自然頻率小於 17 Hz 時為柔性，反之則為剛性。日本以 15 Hz 為分界點，NZS 以 10 Hz 為分界點，至於其他規範則未予以明定。

整體而言，設備共振放大係數極大值以日本為 2 最高，NBC 的 1.5 次之，而 UBC、NEHRP、IBC 則因考慮吸收能量折減故值更低。

### 3-3 小結

與各國規範相較，我國地震力設計規範在設備部分未臻周延，且思考模式乃延續建築結構物設計方式並未針對設備本身特性做調整，主因是設計對象多以附著於結構體之非結構物為主，例如煙囪、水塔、儲槽、招牌、紀念碑……。其中未考慮周全的項目為設備安置樓高放大係數、以及設備共振放大係數。樓高放大係數除了與所在樓層位置有關外，也與建築物平、立面是否有不規則現象有關，故設計時應儘量避免有不規則的平、立面。至於應如何規定此兩項係數作為我國規範之用，則為日後研究之重點。此外用途係數究竟應以建築物或設備物用途為主導或是兩者兼顧也是值得重新評估。

除了設置要求需符合地震力設計規範之外，錨錠與剛性、柔性裝置之耐久性、裝置所在基座混凝土強度與設備設置要求均會影響設備實際耐震程度，所

以規範之制定應綜合考量上述因素方能將地震對設備的衝擊減至最低。

## 第四章 醫院建築重要設備之關係

1993 年美國 Porter 等人[10]對建築物內部設備於地震中的抗震性能有專文的討論，文內特別提到醫院方面的重要設備分類及歷次地震內的破壞資料。並探討地震來臨時，醫院內各項功能要維持正常運作之必要條件，以期望醫院能保有應有之醫療機能。

本章係參考該文將醫院設備分為逃生系統及正常運作系統二部份如圖 4-1，前者表示當地震後結構體已呈破壞狀態，勢必要進行人員疏散工作時，所需要的輔助設備系統，以便利病患及醫療人員逃生，以及到避難所(如停車場)後的醫療工作能持續進行之用。後者表示當結構體並無重大損壞，而仍能在醫院內進行醫療工作時，為達到醫院震後之正常運作所需保存的重要設備。本文利用組織圖方式，以成大醫院為例，進行研究及分析。在各組織圖中，符號”○”為必要條件，代表在此組織之下的所有單元均必須維持正常功能，則此機能才能正常運作。而符號”◇”為充份條件，代表在此組織下只要有一單元能維持正常，則此機能就可以正常運作。

### 4-1 逃生系統

醫院逃生系統之各組成單元如圖 4-2 所示。逃生系統可分為基本設備及避難地區緊急醫療兩部份。基本設備是指為維持病患及醫療人員能順利撤離醫院所需之設備，其中包括電梯及樓梯安全、樓梯緊急照明、火災應變及手動瓦斯切斷開關等單元。避難地區緊急醫療是為能提供一臨時性的醫療救護場地所需之設備，這些必要設施包括攜帶型發電機、臨時照明、通訊系統及揚水泵等。

**火災應變：**圖 4-3 為火災受信總機及滅火的各項單元。火災受信總機之功能在於接收探測器所偵測到警報回報。探測器可分為偵煙型及偵熱型兩種系統，其中偵煙型使用於停車場；而偵熱型可再細分為定溫式及差動式兩種，一般使用於病房

及辦公室等地區。滅火部份可避免震後火勢的延燒，其組成單元可分為灑水系統、滅火器、消防栓、泡沫式系統及海龍(或 CO<sub>2</sub>)系統等，其中泡沫式系統使用於停車場，而海龍系統則應用於電氣設備。另外廣播系統亦包括於滅火系統之中，因其可加強人員疏散或加入救火的功能。

**通訊系統：**通訊系統在醫院的功能中，不僅在逃生系統內，在正常運作系統中亦是相當重要的部份之一。圖 4-4 表示在地震發生時，可能運用到各種不同的通訊系統。

## 4-2 正常運作系統

如圖 4-5 所示，正常運作系統在醫院結構於震後能繼續使用的情況下，要提供支援病患醫療照顧的所有需求。其中包括電力、空調系統、熱源、水源、污水排放、電腦系統、通訊系統、電梯、醫療氣體、冷凍庫及照明設備等。

**電力：**電力是醫院設備中最重要的部份，圖 4-6 為成醫電力系統所包涵的單元。由外來提供的電源可分為正常電源及備用電源二者，分別為 69KV 及 22.8KV，設置有手動人工切換開關。醫院內部另設置有緊急發電機，可自動投入緊急電源系統，主要組成元素包括柴油發電機、冷卻系統及電池組等。

**空調系統：**成大醫院為複雜的建築物，故空調系統使用水冷式之輸送方式，如圖 4-7 所示。其中的組成單元包括有冰水主機、空調箱、送排風口、冷卻水塔、冷卻水泵、電腦控制系統及二次側電力系統等。空調箱的種類可分為 AHU 及 FCU，其中 AHU 系統應用於手術室及中央區；FCU 系統則應用於病房區及辦公室。二次側電力系統則因空調系統的用電需求量較大，故特別設置有獨立的電力系統。

**污水排放：**醫院內的污水可分為兩部份，分別為一般性污水及同位素污水，如圖 4-8 所示。一般污水的來源為化糞池、洗衣部及營養部，其排放需經由管線送至污水處理場處理後排放。而同位素污水之來源則為核子醫學、放射線醫療或實驗室，因同位素污水具高污染性，故排放時需先經衰減、稀釋後，才可流入污水處

理場，再與一般性污水一同排放。

**醫療氣體：**圖 4-9 為醫療氣體的組成單元圖。主要的醫療氣體為氧氣、笑氣及氮氣，它們必須在震後的外科手術中能正常供應手術需求。醫療氣體的供應方式可分為中央系統及個別系統，中央系統可提供醫院內大範圍的氣體供應；個別式則以單獨鋼瓶方式運送，方便緊急避難地區使用。

**電腦系統：**圖 4-11 為電腦系統組成單元圖。目前電腦的使用普遍，包括病歷、空調控制、外科手術、火災應變、電力控制等等，均需依賴電腦。所以除了一般建築電源及緊急發電機之外，另需不斷電裝置以維持電腦的正常運作。

**熱源：**圖 4-12 為熱源系統組成圖，包括冰水機組及蒸氣系統兩部份。其中蒸氣系統主要是提供空調加濕、護理站消毒、供應中心消毒等。鍋爐設備使用天然瓦斯燃料，於鍋爐上方設置有探測器及緊急遮斷閥以避免瓦斯外洩。

### 4-3 小結

本章依據醫院結構體在大地震後的損壞狀況，將設備物耐震種類分為正常運作及逃生兩種系統。後者係指結構體已嚴重破壞無法使用時，為求醫護人員及病患能安全撤離醫院所需之基本條件。正常運作系統則指在結構體仍可使用的狀態下，倘欲使醫院之醫療功能得以繼續發揮，所需各類設備中的相互關係。文中乃以成大醫院為例，將之分為 11 類次系統，並詳細探討各次系統內的子系統及彼此間的支援關係。

- 系統下所有元素需正常
- ◇ 系統下至少有一元素需正常

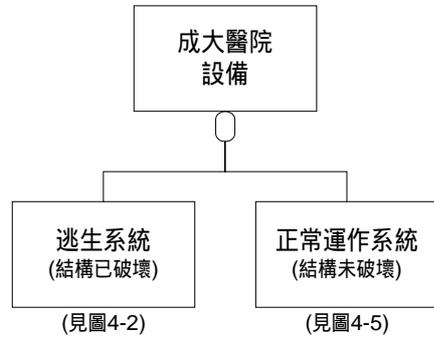


圖4-1 醫院震後機能運作關係圖

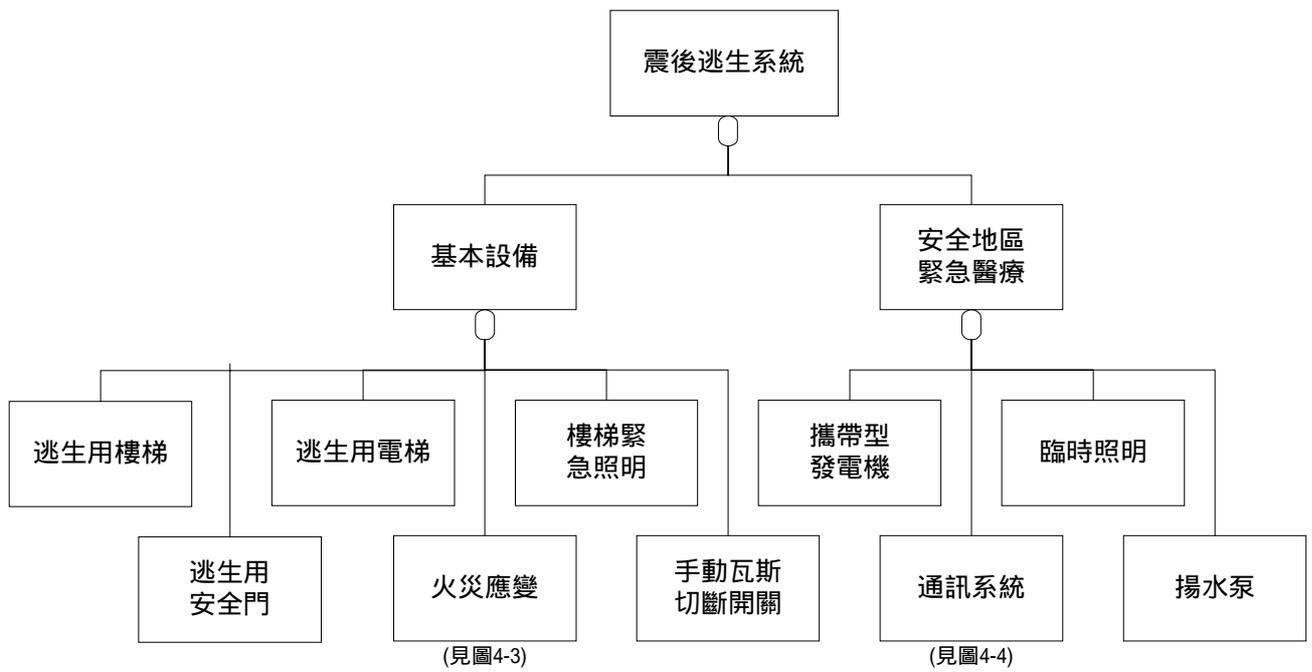


圖4-2 醫院逃生系統關係圖

- 系統下所有元素需正常
- ◁系統下至少有一元素需正常

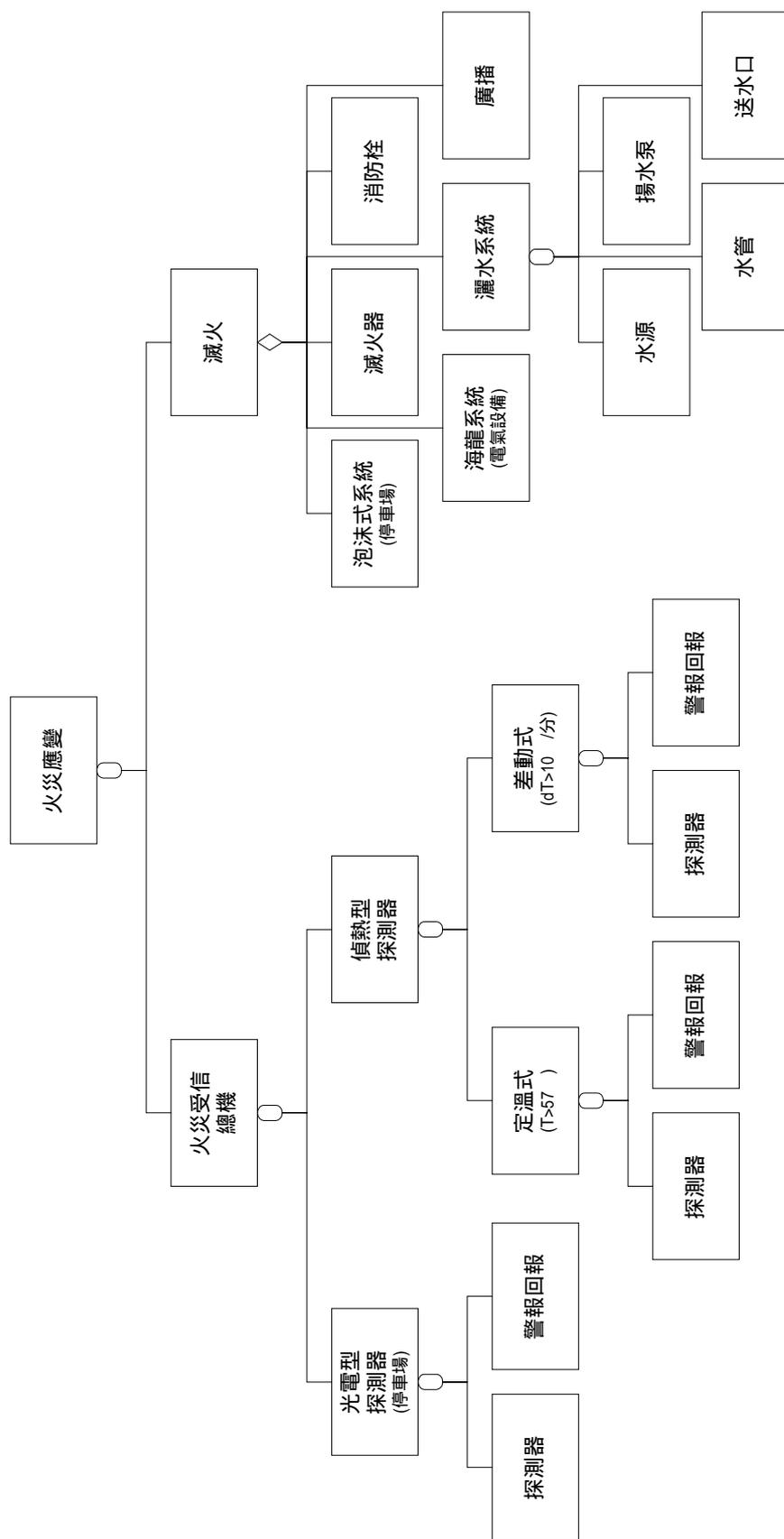


圖4-3 成大醫院火災應變系統關係圖

- 系統下所有元素需正常
- ◇ 系統下至少有一元素需正常

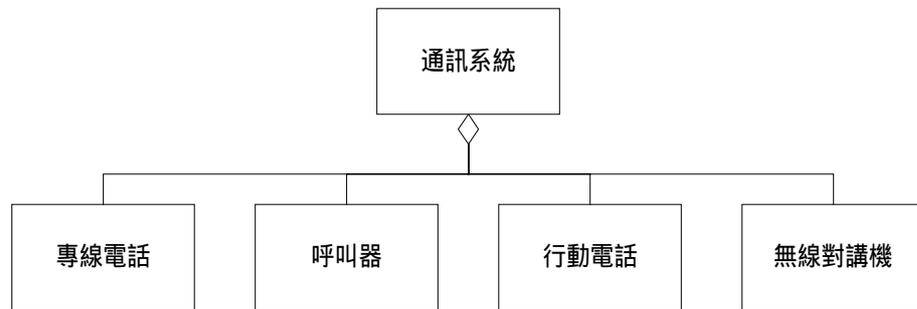


圖4-4 成大醫院通訊系統關係圖

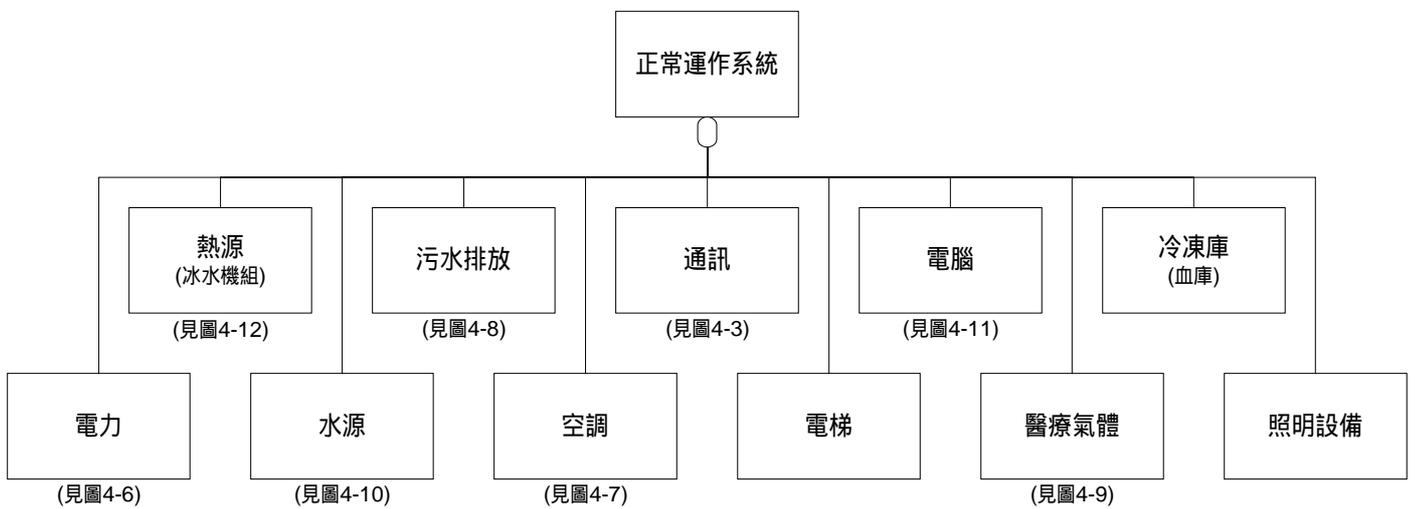


圖4-5 成大醫院正常運作系統關係圖

○ 系統下所有元素需正常  
 ◇ 系統下至少有一元素需正常

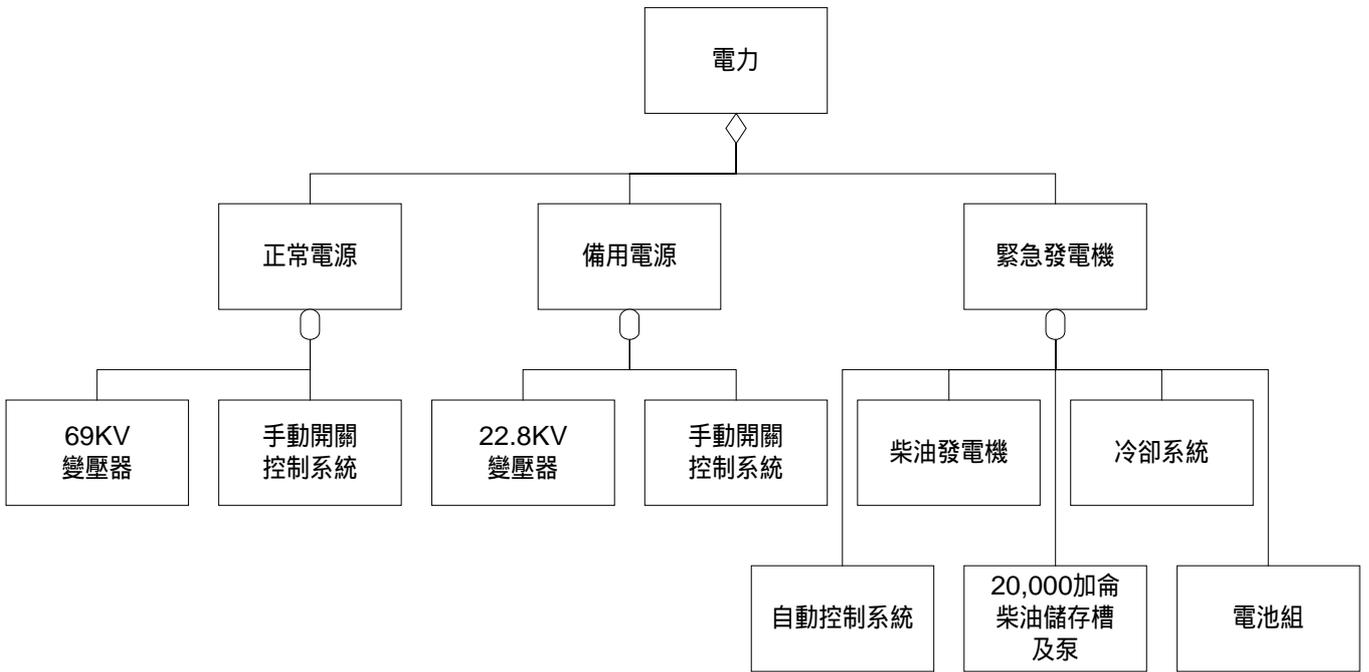


圖4-6 成大醫院電力系統關係圖

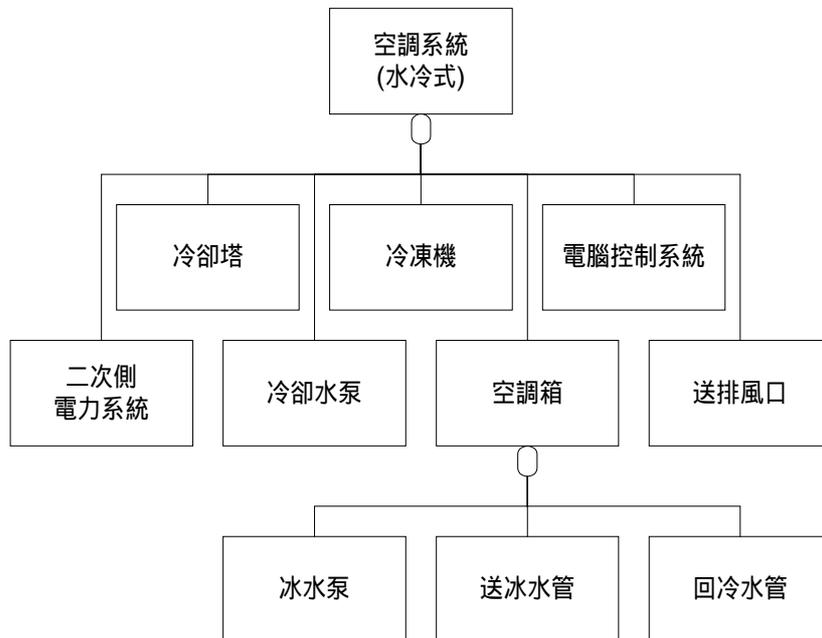


圖4-7 成大醫院空調系統關係圖

- 系統下所有元素需正常
- ◇ 系統下至少有一元素需正常

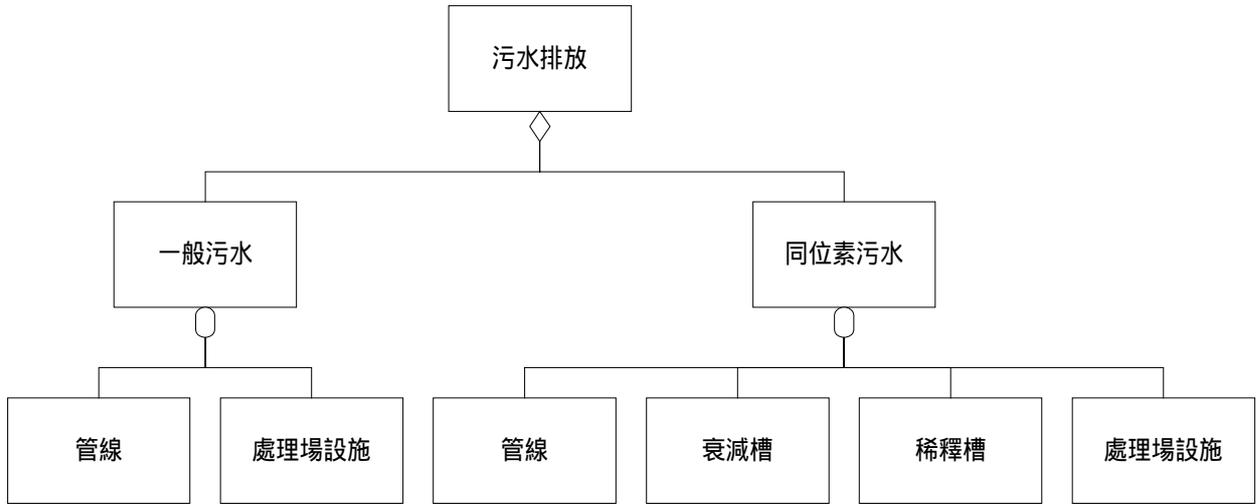


圖4-8 成大醫院污水排放關係圖

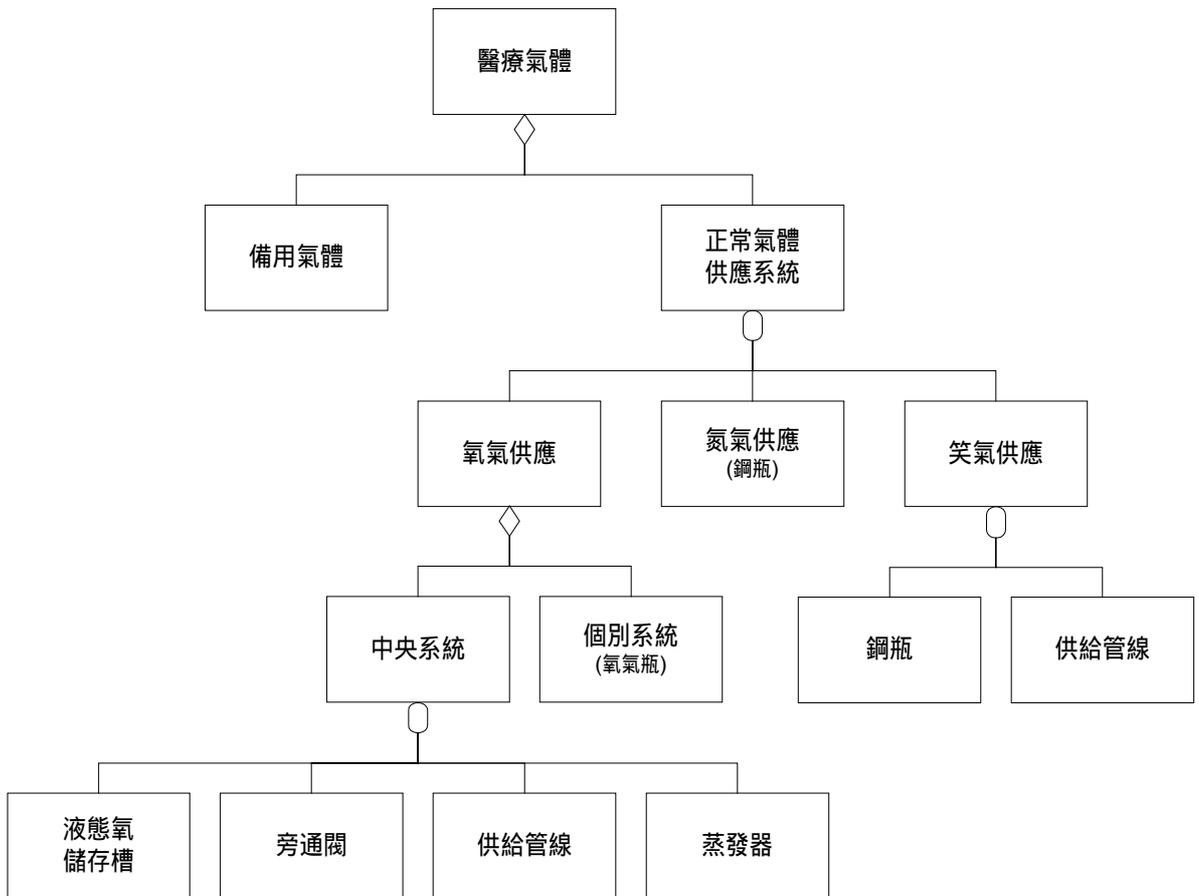


圖4-9 成大醫院醫療氣體關係圖

○系統下所有元素需正常  
 ◇系統下至少有一元素需正常

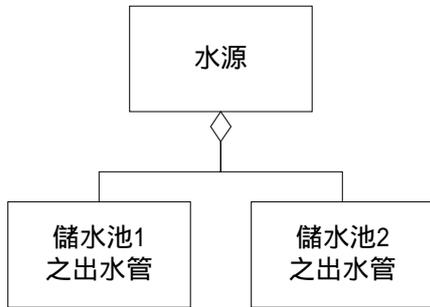


圖4-10 成大醫院水源系統關係圖

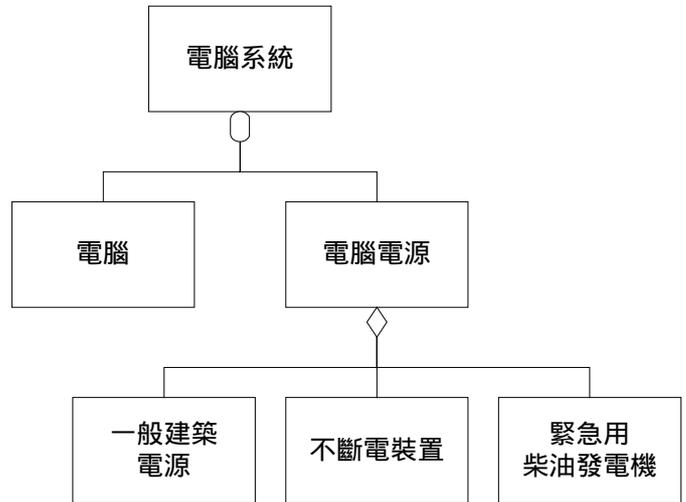


圖4-11 成大醫院電腦系統關係圖

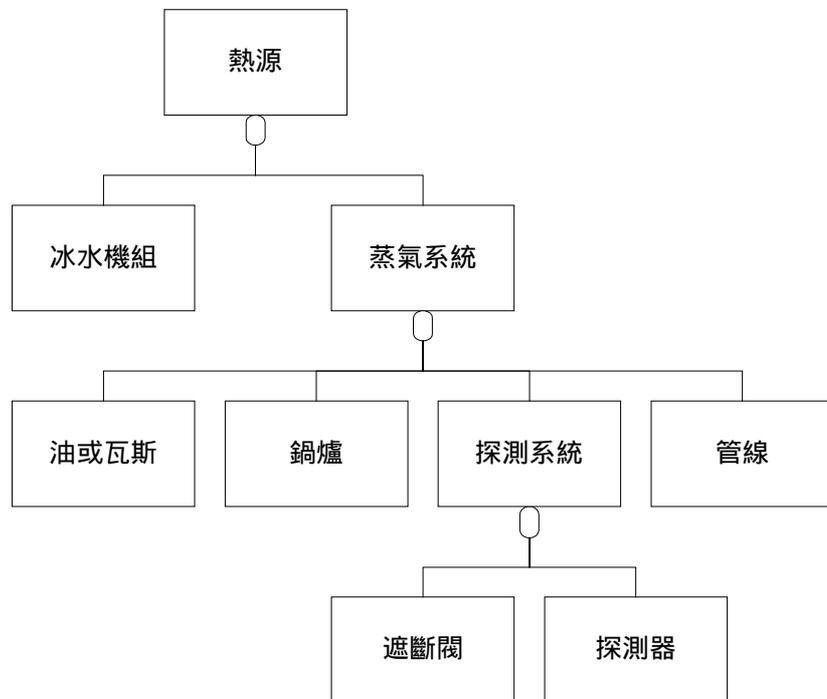


圖4-12 成大醫院熱源系統關係圖

## 第五章 國內醫院重要設備抗震能力評估

本章以台南成大教學醫院為案例，根據其供電、供水、空調、通訊系統以及其他重要設備做抗震能力評估。評估這些重要設備之目的，在於分析它們受到結構體之設計地震發生時，固定裝置是否具備足夠強度以抵抗地震力，如此則能事先瞭解地震後正常運作之可能性。

為了瞭解現今國內其他重要建築設備對地震力處理技術，本研究亦曾經訪問一些接近完工之醫院，如嘉義慈濟醫院、台北馬偕醫院等，及已運作之醫院如台北榮總，以及漢達電機。訪問結果顯示在現階段，這些單位如同成大醫院一般，對設備物之要求仍僅停留在以防止機器振動傳入樓版的階段，而未考慮抗震設計或設置止震器。故本章將以國內目前規範求出各設備設計地震力，就成大醫院內依醫院供電、供水及空調系統檢討抗震能力。其它系統由於資料來源不足，故未予以分析。所用國內規範之公式如下：

$$V = Z I C_p W$$

式中台南地區  $Z$  為 0.23，因醫院為重要建築故  $I$  為 1.5， $C_p$  則取 0.75。

研究過程中以目視觀察設備與結構體之固定方式及狀況，以判斷目前的安裝現況。調查中發現醫院內設有防振彈簧之機器，所設防振設施僅為隔絕設備振動傳入樓版而置，設施本身並未加設鋼套限制彈簧水平位移量，所以並非抵抗地震型式。故在計算設計地震力時，若引用國外規範，則應考慮設備共振放大係數。為統一計算標準，本章未將此係數列入計算式內。本文內所謂“防振裝置”，是指隔絕設備振動傳入樓版之裝置；所謂“止震器”之功能是在地震時限制設備位移量或可消能之裝置，此兩名詞恐有混淆，故先予以說明。

### 5-1 供電系統

此系統調查項目有發電機、變壓器、配電盤、控制盤、蓄電池及送風機，

除了變壓器設置地點分散在 B1F、B2F、5F 與 RF 之外，其餘全放置在 B1F。此供電系統為雙回路受電系統，供電方式屬負載中心配電系統，系統規劃分為機電中心、教學大樓、臨床基礎醫學大樓、公共行政及中央供應部門、醫護大樓、病房大樓六部分，合計有 8 個變電站及 6 部輸出容量共 6000kw 的柴油引擎緊急發電機（見圖 5-1）。其中一部發電機供開刀房與加護病房專用，僅斷電 12 秒即可供緊急用電。發電機頂部並無固定，底部以螺栓固定於鋼梁，鋼梁則直接以防振裝置放置在基座上並未固定；由於發電機運轉時會上下左右晃動，故鋼梁四個角落分別設止震器以 4 根螺栓錨錠於基座（見圖 5-2）設計地震力為 1851kg（見表 5-1）。

變壓器放置於變電箱之內屬液冷式系統（見圖 5-3），輸入輸出電壓分別為 220V 與 24V，共有 13 只；設備頂部固定在未錨錠於結構體之鋼梁上，底部則固定在錨錠於基座之鋼梁，此鋼梁左右兩側四隻滑輪腳各自留設有兩個螺栓孔，但施工時卻僅固定一只螺栓（見圖 5-4）。設計地震力為 370kg（見表 5-1）。

配電盤與控制盤分別設置於配電箱與控制箱內（見圖 5-5、圖 5-6）提供供電及空調系統使用，箱內為組合式鋼架，箱體並排連接但頂部未固定（圖 5-7），底部則以四根螺栓錨錠於基座（見圖 5-8），至於位於高架地板上之控制盤僅少數固定在樓版上。由於無法得知配電盤與控制盤重量資料，故並未計算地震力。

蓄電池組皆並排置於架上，並未裝設防掉落裝置也未做固定措施（見圖 5-9、圖 5-10）。送風機為懸吊式與風管相接（見圖 5-11），主體以防振吊架支撐，吊架頂部以螺栓錨錠。

由以上敘述可知供電系統除了發電機之外皆無止震器裝置，而發電機之所以設置止震器的原因，是為了限制設備本身運轉時的振動量，並非考慮地震作用而設。整體而言，除了蓄電池完全未固定之外，其他設備皆錨錠於基座上，大致地震時應無破壞之虞。但變壓器體型瘦高，而且底座鋼梁輪腳實際錨錠螺栓數量僅為設計值之一半，恐怕強震來襲會移動或傾覆現象產生。

## 5-2 供水系統

供水系統有冷水系統、雜用水系統、熱水系統、蒸汽系統、純水系統、冰熱飲水系統。儲水槽容量為 3000 立方米，供冷水與雜用水使用，因儲水槽為 RC 構造，中間用 RC 隔版，故其構造可視為結構體一部份所以在此不予以檢討。供水區劃分成高樓（病房大樓、基礎醫學研究大樓）與低樓（公共行政及中央供應部門、醫護大樓、基礎醫學研究大樓、機電中心、教學大樓）兩部分；給水方式為幫浦直接加壓給水，故無屋頂水槽。根據以上分析，本節只檢討幫浦項目的耐震狀態。

本醫院採離心式立軸幫浦，設於地下二樓，分高揚程及低揚程兩類，應用在冷水配管工程、消防火警泡沫滅火系統、生飲水系統以及純水工程。每座幫浦皆以四個防振裝置支撐在基座上，但未固定（見圖 5-12、5-13-5-14）；因此地震時可能會移動或在管道設備接頭部分產生破損。

## 5-3 空調系統

醫院空調是依機械與風管性能、使用時間不同與室內環境要求而區劃。空調方式在醫院區採中央空調送風系統，醫學院區則採各層獨立空調箱送風系統。其中手術室、加護病房為再熱方式，電腦房及變電室採用箱型冷氣機併用風管方式。病房區與建築外周區為 FCU 併用風管方式，內周區負荷變化小區域為定風量風管方式，至於公共空間及走廊部分則用採變風量方式。系統特色為清淨度高且無塵無菌（開刀房、產房、早產兒加護病房）、良好溫濕度控制（公共區域、病房區）、特殊通風與排氣系統（實驗室）、室內正負壓控制（手術室、隔離病房、動物區）與噪音振動防制。其中室內正負壓控制之目的，在於防止室內病菌四處擴散。空調機房、冰水主機房與發電機室牆面均噴一吋吸音棉，並於空調箱出風口設消音箱、消音彎頭以消音。為了防振，機械設備底座裝設防振墊或防振裝置，冰水管設防振吊架，而 5F 空調箱與送風機機房則設有浮式地板。以下就鍋爐、

冰水主機、冷卻水塔、空調箱與送風機逐項檢討。

鍋爐設置在 B1F, 共計 3 套, 為 700BHP 鍋爐馬力的全自動臥式型爐筒 (見圖 5-15) 煙管式蒸汽鍋爐, 採加壓方式燃燒三煙路設計, 含波形爐筒濕式煙箱, 具全自動化控制及安全附屬設備。頂部無固定, 底部固定於鋼梁, 但鋼梁直接放置在基座上並無任何防振裝置或錨錠螺栓 (見圖 5-16), 運轉時設計地震力為 7374.4kg (見表 5-3)。

離心式冰水主機放置在 B2F (見圖 5-17), 一台為 750RT 雙冷凝式, 其他三台為 1600RT, 合計 4 台。頂部無固定, 底部以四根螺栓固定於基座, 底部與基座之間有防振墊 (見圖 5-18); 750RT 的設計地震力為 4782kg, 1600RT 為 11077kg (見表 5-3)。

冷卻水塔設置在頂樓以 FRP 楞板圍起並設隔音牆 (見圖 5-19), 由六座螺旋槳風扇組成 (見圖 5-20) 其中三部提供 1600RT 離心式冰水主機冷卻用水, 另外三部則提供 750RT 冰水主機、箱型冷氣機與冷凍庫冷卻用水。底部錨錠於基座並設有 178 個防振裝置, 不含水之塔體運轉時設計地震力為 68825kg (見表 5-3), 長向設計抗風力為 28620kg: 由於裝置載重設計水平力只考慮風力, 側向抵抗力可能不足。

空調箱分為 FCU、AHU 與箱型冷氣機三類, 其中 FCU 自 1F 至 12F 皆有設置, AHU 放置在 B2F、4F 以及 5F (見圖 5-21), 箱型冷氣機則設置在變電室、病歷室與特殊室。FCU 分為落地式與懸吊式兩種, 設計地震力之範圍在懸吊式為 3.2kg 至 10.8kg, 在落地式為 4.1kg 至 9.9kg。AHU 內部有送風機, 箱體並無固定, 送風機底部防振裝置以螺栓錨錠; 箱型冷氣機頂部與底座均無固定, 但底座設有防振墊 (見圖 5-22), 設計地震力為 56.2kg、78.4kg、115.6kg 與 134kg (見表 5-3)。

送風機設置在 5F 以落地式為主 (見圖 5-23), 底座設有四個防振裝置分別以 2 根螺栓錨錠於基座 (見圖 5-24), 設計地震力為 45.3kg 至 855.6kg。由以上分析可知, 除了鍋爐與箱型冷氣機無固定之外, 其他底座皆錨錠於基座上。

冷卻水塔風力檢討值僅為地震力 0.42 倍左右，支承強度可能不足。置於 5F 之落地式送風機因設計加速度峰值已達 1.59g[27]，故防振裝置水平抵抗地震能力顯然不足，因此這四者地震時皆可能移動、傾覆、設備與管道接頭脫離或破損。此外，由於無外殼彈簧式經試驗證明已發現在地震時很容易發生扭曲彎折，以及會有彈簧與頂部分離的破壞行為，因此這些設備可之極易在地震中受損。國內有些醫院採用在手術室上方，即無菌天花板內設置送風機的作法，會造成維修不易的問題，亦可能會使地震後復原工作增加困難度。

#### 5-4 小結

綜合以上論述可知，除了發電機設置止震器的原因，是為了限制設備本身運轉時振動量之外，其他皆完全未考慮地震的影響，如此在強震來襲時，所造成之破壞應可以預見；有鑑於此，設計者應要求設備廠商送審時不僅說明型號、功能、設備本身細部及數量等，還應檢討地震力作用下錨錠螺栓抗拉與抗剪強度、混凝土基座強度以及防振裝置水平剛度，並且將錨錠部分施工細部大樣含在送審資料中一併審查。由於裝有隔振彈簧的機械設備易於地震中受到過大之振動，因此建議應該都要設置某種型式的防震措施，如止震器之類者，以提高它們的抗震力。若有採用置於屋頂的單機式冷卻水塔及膨脹水箱時，它們的耐震能力亦應該要注意。另外在設計各項儲水設施時，要避免將之置於電梯機房上方，以免由於儲水設施的破壞，造成電梯無法使用的二次災害。

關於各種設備耐震設計及施工大樣範例，可在文末參考文獻內找到各國規範及建議做法[8、9、14-26]，以下為相關文獻內容大綱之簡介：

文獻[8]：介紹電氣設備（變壓器、蓄電池、高壓電瓷、電容器、電抗器、發電機、電站鍋爐...）郵電通信設備（載波通信、交換機...）給排水設施、架空管線、直立式設備、臥式設備、中小型冶金工設備、機械工設備、精密儀器儀表以及建築設備（水罐、鍋爐、冷卻塔、空調機、高柔設備）等設備之抗震加固措施。

- 文獻[9]：移動型設備固定方式之設計。
- 文獻[14]：新修正建築技術規則建築構造編耐震設計條文及規範說明。
- 文獻[15]：日本建築設備、水塔、建築非結構物、供水系統、排水系統、電腦房等設備之各種設計地震力計算。
- 文獻[16]：建築設備（電力、通信、給水、排水、空調、避難防災、監視器及其它）之耐震安全設計與機能確保，免震構造與制振構造設計，錨錠螺栓與基座混凝土強度建議作法……。
- 文獻[17]：紐西蘭設計地震力計算、錨錠與抗震加固設計。
- 文獻[18]：加拿大設計地震力計算與懸吊式、未固定設備之抗震加固設計。
- 文獻[23]：懸吊式設備與非結構體（室內裝修部分）之加固設計。
- 文獻[24]：設計地震力、容許應力（鋼材、混凝土、焊接部分、強力螺栓、接合部與其它）之規定；錨錠螺栓、基礎、頂部支撐材與制振器設計；配管耐震措施以及建築設備耐震施工設計案例（內容包括水槽、鍋爐、冷卻塔、空調機、自用發電設備、蓄電池、配電盤、受變電設備、廚具等）。
- 文獻[26]：各種制振器與止震器之設計案例與抗震加固方式。

表 5-1 成大醫院供電系統重要設備固定狀況

設備名稱		發電機	變壓器	配電盤	控制盤	蓄電池	送風機
設置樓層		B1F	B2F、B1F 5F、RF	B1F	B1F	B1F	B1F
設備類型		柴油引擎	液冷式	鐵櫃式	鐵櫃式	架台式	懸吊式
設備重量(kg)		8567	1200	-----	-----	-----	55~990
設備數量		6 部	13 只	一般:16 只 空調:90 只	13 只	-----	-----
固定 狀況	頂部	無	錨錠於鋼梁	無	無	無	懸架錨錠
	底部	鋼梁放置 於基座上	錨錠於鋼梁 鋼梁錨錠基座	鋼架錨錠 基座	鋼架錨 錠基座	放置於 架台	無
防振 裝置  彈簧	數量(個)	8	無	無	無	無	4
	位移 (in)	-----	-----	-----	-----	-----	0.75
止震 裝置	數量(個)	4	無	無	無	無	無
	容許位 移量(in)	-----	無	無	無	無	無
螺栓	數目(個)	16	8	4	4	-----	8
	T <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	V <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----
設計地震力(kg)		2221	310	-----	-----	-----	14 ~ 257
備 註							

表 5-2 成大醫院幫浦固定狀況

設備類別		冷水配管	消防火警 泡沫滅火	生飲水	純水
設置樓層		B2F	B2F	B2F	B2F
設備重量(kg)		2277-4704	1343-3442	9103	-----
固定 狀況	頂部	無	無	無	無
	底部	無	無	無	無
防振 裝置  彈簧	數量(個)	4	4	4	4
	位移 (in)	-----	-----	-----	-----
止震 裝置	數量(個)	無	無	無	無
	位移 (in)	無	無	無	無
螺栓	數目(個)	無	無	無	無
	T <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----
	V <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----
設計地震力(kg)		589-1217	344-890	2356	-----
備 註		部分案例 分析	部分案例 分析	部分案例 分析	部分案例 分析

表 5-3 成大醫院空調系統重要設備固定狀況

設備名稱		鍋爐	冰水主機	冷卻 水塔	空調箱			送風機
					FCU	AHU	箱型冷 氣 機	
設置樓層		B1F	B2F	RF	1~12F	B2F 5F	變電站 病歷室 特殊室	5F
設備類型		全自動臥 式型爐筒 煙管式蒸 氣 鍋爐	離心式	螺旋槳式	隱藏式 落地式	-----	-----	落地式 懸吊式
設備重量(kg)		34200	750RT :22133 1600RT:51266	319190	15~50 19~46	-----	260,363 535,620	210~ 3960
設備數量		3 部	4 台	一組 6 座組成	300 ~ 400 台	92 台	30 台	425 部 含機電
固定 狀況	頂部錨錠	無	無	無	懸吊式 錨錠	無	無	懸吊式 錨錠
	底部錨錠	鋼樑放置 於 基 座	錨錠於基座	錨錠於 基座	落地式 錨錠	錨錠於 基座	放置於 基座	落地式 錨錠
防振 裝置	數量(個)	無	防振墊	178 根軟木構架	無	4 個彈簧	防振墊	4 個彈簧
	容許位 移量(in)	-----	-----	-----	-----	BF:0.35 5F:0.75	-----	懸:0.75 落: 3.5
止震 裝置	數量(個)	無	無	無	無	無	無	無
	位移(in)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
螺栓	數目(個)	無	4	-----	-----	無	4	8
	Tall (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1540~ 5060
	Vall (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1320~ 6820
設計地震力(kg)		8849	5738 13291	82590	3.8~ 13.5 4.9~ 11.9	-----	67 94 139 161	54 ~ 1027
備 註				抵抗風力: 28620kg				



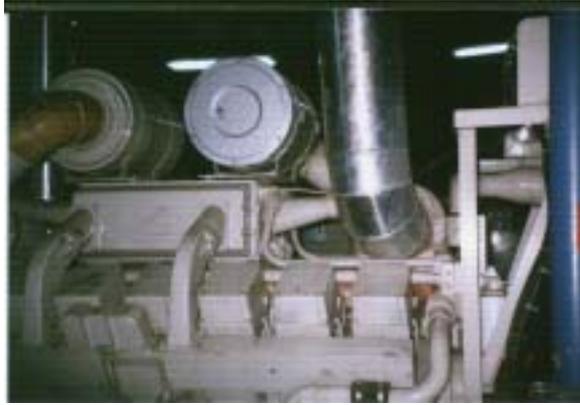


圖 5-1 緊急發電機



圖 5-2 發電機底部止震器與防振裝置



圖 5-3 變壓器



圖 5-4 變壓器底部錨錠



圖 5-5 配電盤內部



圖 5-6 控制箱內部



圖 5-7 配電箱箱體組合



圖 5-8 配電箱底部錨錠



圖 5-9 發電機之蓄電池

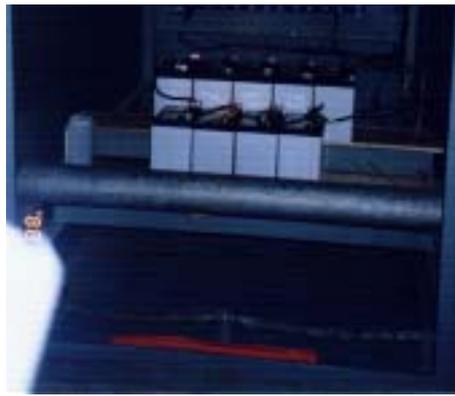


圖 5-10 配電箱內蓄電池



圖 5-11 發電機房內送風機



圖 5-12 幫浦放置於基座



圖 5-13 幫浦放置於基座



圖 5-14 消防幫浦放置於基座



圖 5-15 鍋爐



圖 5-16 鍋爐放置於基座



圖 5-17 離心式冰水主機



圖 5-18 冰水主機錨錠



圖 5-19 冷卻水塔及其隔音牆



圖 5-20 冷卻塔之螺旋槳風扇



圖 5-21 AHU



圖 5-22 箱型冷氣機底部防振墊



圖 5-23 空調用落地式送風機



圖 5-24 送風機之防振裝置錨錠

## 第六章 設備物耐震設計規範之展望

### 6-1 前言

#### 6-1-1 功能設計法簡介

經過美國 Loma Prieta 地震，Northridge 地震以及日本阪神-淡路地震之後，美日兩國之社會大眾及政府，對現行耐震設計規範極為不滿，認為耐震規範不能只照顧結構安全，也須兼顧因非結構材及貴重設備損害對建築物使用功能造成的困擾程度。因此美日以及歐洲的地震工程研究者，決定於 21 世紀開始將現行耐震設計規範，做出重大修改，使之能夠兼顧結構體、非結構體、貴重設備的安全以及建築物使用功能。換句話說，在不同地表加速度作用下，規範應能預測結構體、非結構體、生產線以及設備的損害情況，使建築物可以發揮不同程度的使用功能。這種規範稱之功能設計規範 (Performance Based Design Code)。

歐洲各國對此一趨勢偏向採取彈性的功能設計標準，亦即讓業主充分瞭解結構體、非結構體及設備，未來不同等級地震時可能遭遇的損害度與震後剩餘使用功能，然後由業主自行決定耐震設計標準。

功能設計法是未來耐震設計規範的主流，台灣當然不能例外。一般而言，功能設計法的原則是全球一致的，可是實行細節卻各地區都不一樣。在 1997 年，美國國內第一份功能設計法的應用準則 FEMA 273[28]已正式問世。相信在不久的將來，國內各相關法規都會以類似模式建構，因此本研究特地將 FEMA 273 與設備物相關重點摘要整理出來，以便在訂定國內的設備物耐震規範時作為參考。

另外，日本官方建築物的設計準則[16]中，亦特別針對電力、通訊與聯絡網、給水、排水、空調、防災與避難、監視控制以及其他機能之設備耐震安全性，指出相關的基本事項與耐震設計原則，以提供建築設備欲做好耐震設計之參考。本章之 6-4 節中，一併將其重點摘要譯出。

#### 6-1-2 FEMA 273 之背景

自 1991 年起，美國國家房屋科學中心(National Institute of Building Sciences, NIBS)與聯邦緊急事件處理局 (Federal Emergency Management Agency, FEMA) 共同委託房屋耐震安全委員會 (Building Seismic Safety Council, BSSC) 編訂一本可供全美國各地使用的現存建築物耐震補強手冊。BSSC 會同美國土木工程學會 (ASCE)、科技應用委員會 (Applied Technology Council, ATC) 及其下之各個委員會，以七年的時間，共同編成了 NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings 即編號 FEMA 273 之手冊。其中經過三次使用講習及兩次會員投票，以廣徵各學術及工程單位的意見，最後眾人達成共識，編纂完成 FEMA273 及其解說專刊 FEMA 274。

FEMA 273 主要是為建築師、工程師、建管官員，及設定或使用建築法規者而寫。雖然它本身並非一份法規條文，但在其中所使用的觀念及實務作法，確實是可以被工程界及各界接受，成為下一代法規的雛形。

### 6-1-3 FEMA 273 之主要架構

FEMA 273 最大的特色在於將功能設計法的觀念，落實到設計方法內。它將建築物在地震後的建築耐震性能 (Building Performance) 由低至高分為四級：防止崩塌級(Collapse Prevention)、人命安全級(Life Safety)、尚能使用級(Immediate Occupancy)、及正常運作級(Operational)。至於在多大的地震力下要有哪種耐震性能，則將其選擇權交給業主及工程師去決定，而非由 FEMA 訂定。為幫助設計者易於決定各地設計地震力大小，FEMA 273 亦建立了全美地震力的資料，其中引用或然率的觀念，將全美各地區在 50 年內會發生地震的大小，依照 10%及 2%機率(以 10%/50 年及 2%/50 年表示)，繪製成圖以便參照。使用者可依據所希望的建築耐震性能，選出相對應之地震力進行設計。

FEMA 273 設定了一個基本安全標準 (Basic Safety Objective, BSO) 給各建築物，包含了兩個要求：

- a) 在基本安全地震 1 (Basic Safety Earthquake 1, BSE-1) 之下，應達到人命安全級的耐震性能；
- b) 在基本安全地震 2 (Basic Safety Earthquake 2, BSE-2) 之下，應達到防止崩塌級的耐震性能。

表 6-1 為地震力與不同耐震性能級別的關係，其中的 k 與 p 為 FEMA 建議的基本安全標準，是必須要滿足的條件。至於欲選擇更高之耐震能力時，則建議由其他各級耐震性能與地震級別之關係，由使用者依需求自訂。

#### 6-1-4 建築耐震性能分級方式

FEMA 273 對建築耐震性能的分級方式，係將設計地震發生後預期之建築物行為，用文字描述出來。FEMA 273 並將建築耐震性能視為兩類行為之組合：結構物及非結構物的行為。綜合這兩類構造之耐震行為，做為建築耐震性能的認定基準。易言之，FEMA 273 認知到非結構物的耐震能力，也與結構系統一樣，對於建築物使用者具有莫大的重要性。

茲摘要簡述 FEMA273 內對於建築耐震性能中各級耐震性能之定義如下：

##### a) 正常運作級 (Operational)

建築物設計在此等級時，於設計地震下將可繼續居住使用，原有的各項建築物功能也可持續執行不致中斷。建築物的結構系統及非結構物只會遭受到微小傷害，某些不重要的非結構物系統可能會有問題，但不至於影響建築內各項主要的運作功能。

##### b) 尚能使用級 (Immediate Occupancy)

此一等級的建築在設計地震下結構元素只容許很少的破壞產生，非結構物部份只容許少量的損害。在設計地震發生後只要稍加整理，便可繼續居住及使用此建築。由於停電或機件內部零件的損壞，某些非結構物可能需要修理後才能使用。此級設計內不需要備份的設備，或進行設備的耐震檢定 (Seismic

Qualification )

c) 人命安全級 (Life Safety)

地震後建築的結構體及非結構元素會有不少破壞，在經過修理後才可安全使用。修理的經費可能不低。地震中身在這級的建築內時，尚不至對人命安全有威脅。

d) 防止崩塌級 (Collapse Prevention)

本級之建築，除了女兒牆及極重的懸掛物外，完全不考慮非結構物之耐震能力，因此非結構物的破壞會對生命產生極大的威脅。由於結構物不致倒塌，因此可以避免大量的傷亡。

## 6-2 結構體及非結構物行為之分類

### 6-2-1 結構行為分級

FEMA273 將結構行為分為 3 級和 3 段，後者較適合現存建築之補強作業，故在此略去不談。僅介紹其中的 3 級：

**S1：尚能使用級 (Immediate Occupancy)**

垂直構件及抗側力構件必須具有與地震前相差無幾的強度及剛度，即使需要進行修補工程，亦不會妨礙建物之使用。

**S3：人命安全級 (Life Safety)**

雖然震後會有不少破壞，但仍不致崩塌。可容許部份桿件嚴重破壞，但不會因掉落物造成室內或戶外的傷害。少數人可能會受傷，但不會是致命傷害。結構物應該在技術上可以修復。

**S5：防止崩塌級 (Collapse Prevention)**

可能有部份或整體構架即將崩塌，建築已有嚴重變形。少數垂直傳力構架受損，但主要構架仍可使用。可能會由於大量的掉落物，造成對人命安全的威脅。

至於要如何才能夠達到上述文字描繪之行為，FEMA273 則將目前最新的研究成果，以一部份為文字敘述，一部份為數字表示的方式加以訂定。

### 6-2-2 非結構物行為分類

FEMA273 將非結構物行為分為 5 級，其分類原則如下：

#### NA：正常運作級(Operational)

非結構物可以繼續維持建築的既定功能。大部份的非結構物必須都能正常運作（包括燈光、水電、空調、電腦系統），不過少數破壞亦為可期。可能需要有一些緊急備份設備。重要機電設備可能需要通過耐震檢定，方能確保可靠性。

#### NB：尚能使用級(Immediate Occupancy)

只有少數的非結構物破壞產生。只要電力系統供應正常，各項安全疏散設施如：門、樓梯、電梯、緊急照明、火警、消防，均能正常操作；但少數破壞，如玻璃破裂，是可以容許的。機電系統的各項設備只要外界供應尚未斷絕，便應該可以正常運作。少數設備可能會因內部零件故障無法使用。結構體仍應安全，因此使用者不會有安全上的顧慮。

#### NC：人命安全級(Life Safety)

許多設備可能已經受損，但不會掉落或滑動以致對人命安全(無論室內或戶外)有威脅，逃生路徑不會被封死，但可容許少數掉落物。供水、空調、消防系統可能已遭破壞，室內會有淹水問題。可能有人會受傷，但不會有致命的傷害發生。

#### ND：減災級(Hazards Reduced)

許多非結構物會遭破壞，但在公共場所或通道上（有眾人使用的地方）不應該有大體積掉落物，如女兒牆、帷幕牆、天花、儲藏架等之破壞。少數人可能會嚴重受傷，但應避免多數人受傷。

#### NE：未設計級(Not Considered)

不考慮非結構物安全。

FEMA273 內將 6-1-4 節中的建築耐震性能分級制，依據結構體及非結構物分類之狀況，加以定義成：(詳如表 6-2)

正常運作級表示結構體為 S1 而非結構體為 NA；

尚能使用級表示結構體為 S1 而非結構體為 NB；

人命安全級表示結構體為 S3 而非結構體為 NC；

防止崩塌級表示結構體為 S5 而非結構體為 NE。

因此只要決定所要的耐震性能級別後，便可知道該如何進行對結構及非結構之設計標準。由於 FEMA 273 所包含之內容甚廣，本報告於下節中僅列出與研究案相關的設備物耐震強度設計資料。

### 6-3 設備之耐震強度認定

FEMA 273 內將非結構物分成三類：建築元素、機械設備元素、及家具元素。這些非結構物品的耐震行為各不相同，有些較適合以加速度分析其震動行為，某些較適合以位移量分析，有些則需要同時考慮兩者。在 FEMA 273 的第 11 章中，便對於主要的各項非結構物震動特性有所分類。本研究案中所探討的設備類，除了懸吊系統之外，都是屬於較適合以加速度來分析其耐震性能。

關於非結構物的設計方法，FEMA 273 採認了兩種方式：

#### 1) 慣例法 (Prescriptive Procedure)

此法適用於已有其他規範或手冊用以指導某類設備之設計、施工，且具有耐震能力者。此類產品可不需另行計算耐震強度，便可直接採用相關規訂進行設計施工。比如：儲存液體之塔體，便可依照現有的 API 或 AWWA 規範進行設計施工，無須另外計算。

#### 2) 計算法 (Analytical Procedure)

倘若無法經由上法求得合理之設計時，便需採用 FEMA 273 所建議的幾套計算

式，求出設備所需要抵抗的地震力，然後依此進行設計及施工。FEMA 273 採用的主要計算地震力公式為：

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{XS} I_p W_p \left(1 + \frac{2x}{h}\right)}{R_p}$$

其中所考慮的重要因素有：

- a) 共振放大係數 ( $a_p$ ): 考慮設備與樓房產生共振時，設備震動會具有的放大係數。在 FEMA 273 內將  $a_p$  最大值訂為 2.5，最小值訂為 1.0。
- b) 樓高放大係數 ( $1 + \frac{2x}{h}$ ): 考慮位於較高樓層處，會有較大之震動量。x 為距地面樓高，h 為總樓高。因此由公式可知，樓高放大係數在底層為 1.0，位於屋頂時為 3.0，其間各樓層則以線性內差法求出。
- c) 重要係數 ( $I_p$ ): 若為人命安全級則取 1.0，若為尚能使用級則取 1.5。
- d) 折減係數 ( $R_p$ ): 考慮不同固定方式之韌性效果，其值自 1.25 到 6.0。

FEMA 273 在設備物的重要係數中，只規定了人命安全及尚能使用這兩類性能之值，對於正常運作級則未有規定。這是由於 FEMA 273 的制訂委員們認為，若將設備物保持在正常運作級的耐震性能時，所牽涉的各項設備之複雜性太高，會與各建築物的使用目的有很密切的關係，亦即較適合以個案處理的方式進行，所以不願意在手冊內先預予定語。

## 6- 4 日本官方建築物中之設備耐震設計原則

### 6-4-1 基本事項

(1) 大地震時建築設備耐震安全性的目標訂定如下：

1. 依耐震安全性分為甲類建築物的建築設備，除了需確保大地震之後人命安全與防止二次災害之外，且不必大規模檢修，並能使必要的設備保持正常運作。
2. 依耐震安全性分為乙類建築物的建築設備，必須確保大地震後的人命安全及防

止二次災害。其對象為在甲類未指定之設施。

- (2) 依分類為甲類建築物的建築設備，應設法提高機能的可靠性。倘若發生始料未及的災害，則需考慮倘必要設備機能無法發揮時的替代方案。
- (3) 大地震後仍需維持正常運作的機器設備與配管等，必須考慮其應不易受其他物品的災害波及。
- (4) 檢討生命線(電力、自來水、電話)斷絕時的因應對策。
- (5) 關於免震結構、制振結構建築物及高層建築物，除了本節的規定外，還需依照「免震結構及制振結構」及「高層建築物」之相關規定。

#### 6-4-2 建築設備的耐震設計

- (1) 機器設備與配管應考慮大地震時的水平方向及垂直方向地震力，並且確實固定使其不致移動、翻倒或破損。
- (2) 配管必須容許大地震時結構體的變形及地盤的相對位移而不破壞，並確保其機能。

#### 6-4-3 建築設備的機能確保

##### (1) 供電系統

- 1. 大地震過後，為了確保甲類及乙類的設備機能，需考慮商用電力斷絕時的因應對策。
- 2. 在設置自用發電設備時，其容量、持續運作可能時間及燃料儲備量得依甲類及乙類決定。
- 3. 設置直流電源設備時，其容量及放電時間需依甲類及乙類決定。
- 4. 受變電設備、自用發電設備、直流電源設備、幹線等與電力供應相關之設備，對於大地震後無法預測的災害，要設法提高其可靠性。

##### (2) 供水系統

1. 因應大地震後生命線的斷絕，必須確保配合設施可以發揮機能，維持相當期間的飲用水及雜用水量。
2. 關於水源，應採取多種可能性的儲備措施。
3. 關於飲用水，需採取確保水質的必要措施。
4. 採用可靠性高且能快速復原的給水系統。
5. 為了防止二次災害的發生，採取可確保給水系統耐震性能的必要措施。

### (3) 空調系統

1. 大地震後仍需供熱(暖氣)的房間，要針對各個對象設施，充分檢討其必要性後再決定。
2. 設有大地震後仍需供熱(暖氣)房間的設施，當生命線斷絕時，必須在可預估到復原為止的相當期間內，確保必需的燃料用能量。
3. 在要求甲類耐震安全性的設施內，如果空調設備的重要性較高，在大地震後，為了因應生活管線的斷絕，必須做確保燃料的設備計劃。
4. 用途上，特別是供應重要房間的空調設備所使用的燃料，必須採用在大地震後能立即穩定供給的能源。
5. 空調設備系統得採取確保其耐震性能的必要措施。

### (4) 通訊系統

1. 為了確保大地震後設施活動所必需的資訊蒐集及傳遞等機能，需考慮公共通訊網斷絕時應付混亂之因應對策。
2. 對於通訊・聯絡網，為了因應大地震後無法預測的災害，要設法提高其可靠性。

### (5) 其它

1. 電梯設備必須具有充分的耐震性能，以確保人命安全，並可快速復原。
2. 至於其他的設備，應儘量確保配合其設置目的之耐震性能，並防止二次災害的發生。

## 6- 5 國內設備物耐震工程現況

非結構物的耐震設計在計算上，看起來會比結構物的耐震設計簡單。然而，要做好它們的耐震設計，卻並不是很輕鬆的工作。這是由於至少有以下幾個因數：

- 1) 一般而言某項非結構物的設置，都有它的特定目的（如防火、殘障人士專用等等），因此要再多考慮耐震性能時，必須兼顧是否會因此而妨礙到它原有的使用目的。如：採用懸吊式輕鋼架天花板的主要目的之一，在於可以很快施工及提供各項管道通行的便利性。如果在耐震考量下，必須增加許多斜撐及施工步驟，便可能會影響到它原來的使用目的。所以在進行耐震設計時，便需要多考量新的條件是否會與原目的抵觸，才能得到合理的設計。此一特性經常需要綜合不同專長的專業人士來參與，不是只有某一專業的技師能夠單獨完成。
- 2) 同類非結構物的廠牌繁多，不同廠商可能會有不同的產品設計，而其不同處，便可能會造成耐震性能上很大的差異。因此在選擇每一項非結構物品時，便可能會產生許多糾紛。所以要做好適當的篩選工作，有賴耐震設計者去注意許多小細節的差異性。
- 3) 慣例法的設計原則較適合工程界應用，但國內廠商在這方面的能力，遠不如先進國家。因此在推動設備物耐震設計時，會演變成國內工程界要去收集國際上各種規範或產品協會所提供的耐震作法，並加以研判其合理性，才能在國內使用。此一工作所牽涉之技術層面及經費的廣度及深度都甚大，可能需要政府單位有系統的加以規畫執行，才能有效率的展開設備物耐震工程。

本研究報告係針對醫院設備中各個設備系統的調查整理，也針對各系統內各項設備的耐震能力現況，進行了分析工作。發現國內醫院設備在大地震來襲時，將會嚴重缺乏抗震能力，在災區的各醫院恐怕無法負擔震後救災的工作，而需仰賴遠方醫院的醫療能力補其不足。因此相關單位在進行防災工作時，應當將提昇醫院設備的防震列入優先處理項目。

在研究過程中，作者也發現現行國內耐震規範存在著一項問題：雖然國內耐震規範對於設備物也有相關規定，即或其設計公式並不見得是各國規範中最合理的，但由於設備物的複雜性並非一般從事結構耐震工程設計人員可以單獨完成的，加上完整的設備耐震工程有其經費上巨大的負擔及技術上尚未完全明瞭之處，以致於很少有人會去執行此設備的耐震設計，形成耐震設計上的一個死角。此一現象不只在醫院建築內存在，甚至在許多高科技高污染性工業廠房內，亦有相類似的狀況，以致國內許多建築物雖然結構體可以耐震，但總體而言卻仍是高地震風險的建築。

## 6-6 新訂醫院設備耐震規範草案大綱

### 第一章 通則

#### 1.1 適用範圍

#### 1.2 耐震設計基本原則

### 第二章 耐震建築之規畫

#### 2.1 結構體耐震能力

#### 2.2 非結構體耐震能力

### 第三章 設備抗震系統設計

#### 3.1 基本事項

#### 3.2 電力系統

#### 3.3 通訊系統

#### 3.4 給水系統

#### 3.5 排水系統

#### 3.6 空調系統

#### 3.7 監控系統

#### 3.8 消防系統

#### 3.9 逃生系統

3.10 其他重要系統

第四章 設備抗震力設計

4.1 基本原則

4.2 剛性設備

4.3 柔性設備

4.4 管線設備

4.5 特殊設備

4.6 其他抗震方式

第五章 設備的使用管理

5.1 基本事項

5.2 設備機能之維護

5.3 設備抗震能力之維護

表 6-1 耐震性能與地震級別

	建築耐震性能分級			
	正常運作	尚能使用	人命安全	防止崩塌

設計地震大小	50% / 50 year	a	b	c	d
	20% / 50 year	e	f	g	h
	BSE-1 10% / 50 year	i	j	k	l
	BSE-2 2% / 50 year	m	n	o	p

表 6-2 FEMA-273 建築耐震性能級別中結構行為與非結構物行為之關係

非結構物行為分級	結構行為分級					
	尚能使用 (S-1)	危險控制 範圍者 (S-2)	人命安全 (S-3)	限制安全 範圍者 (S-4)	防止崩塌 (S-5)	未設計者 (S-6)
正常運作 (N-A)	運作正常 1-A*	2-A	不建議	不建議	不建議	不建議
尚能使用 (N-B)	尚能使用	2-B	3-B	不建議	不建議	不建議
人命安全 (N-C)	1-C	2-C	人命安全 3-C	4-C	5-C	6-C
減災 (N-D)	不建議	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
未設計者 (N-E)	不建議	不建議	不建議	4-E	防止崩塌 5-E	不必復原

\* : X-Y 表示結構物為第 X 類，非結構物則屬於第 Y 類

## 參考文獻

1. 姚昭智譯,“北嶺地震中非結構物之破壞狀況簡述”摘錄自 ATC29-1, 台南, 1998
2. 姚昭智譯,“醫院設備在神戶地震中影響”摘錄自”Observations on Hospital Performance in the Great Hanshin – Awaji, ( Kobe ) Earthquake of Jan.17, 1995, OSHPD, USA”, 台南, 1998
3. 阪神大震災被害調查特別委員會,“阪神大震災 設備 關連 被害實態 評價”, 日本平成 7 年.
4. 社團法人日本醫療福祉建築協會,“醫療機關 施設、設備等 耐震度自己 評價 作成調查報告書”, 日本平成 8 年.
5. 姚昭智,“日本神戶地震中非結構物體之破壞資料”, 台南, 1996.
6. 姚昭智,“1998 瑞里地震中非結構體之震害”, 台南, 1998.
7. “醫院診所部門設計規劃”, 吉仁新醫股份有限公司, 1988.
8. 韓精忠,“設備抗震鑑定與加固”, 復文書局, 1996.
9. “Seismic Restraint of Building Components”, NZS 4104, 1994.
10. Porter, K., Johnson, G.S., Zadeh, M.M., Scawthorn, C.R. and Eder, S.J., “Seismic Vulnerability of Equipment in Critical Facilities: Life-Safety and Operational Consequences”, Technical Report NCEER-93-0022, USA, November, 1993
11. 詹肇裕編譯,“圖解建築設備學概論”, 胡氏出版社, 1996.
12. Finley, J., Anderson D., Lok Kwan, S.E., “Report on The Northridge Earthquake Impacts to Hospital Elevators”, Contract No.94-5122, April, 1996.
13. 莊嘉文編著,“建築設備概論”, 詹氏書局, 1990.
14. “新修正建築技術規則建築構造篇耐震設計條文及規範講習會”, 內政部營建署, 1996.
15. Masaya, H., Hatsukazu M., Mitsumasa M., “State-of-The-Art Report of Seismic Design of Building Equipment and Nonstructural Components in Japan”, Building Research Institute Ministry of Construction, March 1992.
16. “官庁施設 總和耐震計畫基準及 同解説”建設大臣官房官庁營繕部監修, 日本平成 8 年.
17. “New Zealand Standard Specification for Seismic Resistance of Engineering Systems in Buildings”, NZS 4219, 1983.
18. PWGSC, “Guideline on Seismic Evaluation and Upgrading of Nonstructural Building Components”, Ottawa, Ontario, Canada, December 1995
19. Structural Engineers Association of California (SEAOC), Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, 1996.
20. International Conference of Building Officials, The Uniform Building Code -

Volume 2,Whittier ,CA,USA,1997.

21. Federal Emergency Management Agency(FEMA) , NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations For New Buildings,1997
22. Federal Emergency Management Agency (FEMA), NEHRP Recommended Pro-visions for Seismic Regulations For New Buildings,1998
23. Structural Engineers Association of Northern California, “Nonstructural Com-ponents Design and Detailing ”,Seminar papers ,1993
24. 蔡江洋譯,“建築設備耐震設計施工指南(1984年版)”,中華民國建築學會,1988.
25. 日本建築中心,“建築設備耐震設計・施工指針(1997年版)”,1997.
26. Robert,J. S., “Noise and Vibration Control in Buildings”,McGraw-Hill,Inc.1984.
27. 邱瑜燕,“送風機、幫浦錨錠螺栓抗震強度設計評估”,醫院維生設備之動力特性識別與抗震安全分析-以嘉南地區醫院為例,成大碩論,1994.
28. FEMA, “NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings ”,FEMA 273,Washington D.C.,USA,1997.
- 29 中央氣象局,地震百問,中央氣象局,台北,1991.
30. 王正一,從日本震災談意外傷害與危機處理,醫學工程,Vol.7,No.3,pp82-94, April 1995
31. Shakal,A.M. et al., CSMIP Strong-Motion Records from the Northridge, California Earthquake of 17 January 1994, Report No. OSMS 94-07, CDMG, Sacramento, CA,USA,1994.
- 32.Stewart, J.P., et al., Preliminary Reports on The Principal Geotechnical Aspects of The January 17, 1994, Northridge Earthquake. EERC Report No. UCB/ EERC 94/08, UC Berkeley, USA,1994.
- 33.Cheu,D.H,"Northridge Earthquake,January 17,1994-The Hospital Response", SSC94-11,Seismic Safety Commission, Sacramento, CA, USA,1994.
- 34.Reitherman, R. "How to Prepare a Hospital for An Earthquake?" Journal of Emergency Medicine,Vol.4, pp 119-131, 1986.
- 35.Meeks, L., Letter to California Hospital Administrators Sacramento, CA, Aug. 16, 1990.
- 36.California Office of Emergency Services and Federal Emergency Management Agency,Hazard Mitigation Opportunities for California: The State Federal Hazard Mitigation Team Report for the Loma Prieta Earthquake. Oct. 1989 ,Sacramento, CA,USA,1990.
- 37.Seismic Safety Commission,A Compendium of Background Reports on the Northridge Earthquake for Executive Order W-78-94, SSC94-08, Sacramento,CA, USA,1994.
- 38.Office of Statewide Health Planning and Development,Report to the Building

- Safety Board on the Performance of Hospital Buildings in the Northridge Earthquake of Jan. 17, 1994, Sacramento, CA, USA,1994.
- 39.McGavin, G. and H. Patrucco,"Survey of Non-Structural Damage to Healthcare Facilities in the January 17, 1994",Earthquake Spectra, EERI,CA,US,1994.
  - 40.Office of Statewide Health Planning and Development,Weekly Damage Report Summary ,Sacramento, CA.USA, March 1994.
  - 41.Degenkolb and Associates,Earthquake Damage Assessment Report January 17, 1994 ,Northridge Earthquake,Various Departments of Veteran Affairs acilities,USA,1994.
  - 42.Murray, J.,Performance of Health Care Facilities During the Northridge Earthquake Damage to Water Lines and Failure of Emergency Generators, June 10, OSHPD, Sacramento, CA,USA,1994.
  - 43.Nisar,A.,et al." Nonstructural Damage Observed During the January 17,1994  $M_w=6.8$  Northridge Earthquake ",Earthquake Spectra,EERI,CA,USA,1994.
  - 44.Lund, Le Val,et al., "Northridge Earthquake Reconnaissance Report, Vol.I ",Supplement C to Vol. II,Earthquake Spectra, EERI, CA,USA, April 1995.

# 目錄

第一章	前言	1
第二章	醫院建築重要設備震害狀況	4
2-1	供電系統之震害	4
2-2	供水系統之震害	6
2-3	空調系統之震害	7
2-4	通訊系統之震害	9
2-5	電梯之震害	9
2-6	其他震害	10
2-7	小結	11
第三章	建築設備物耐震設計公式	17
3-1	各國設備物水平地震力設計規範	17
3-2	水平地震力公式	18
3-3	小結	21
第四章	醫院建築重要設備之關係	22
4-1	逃生系統	22
4-2	正常運作系統	23
4-3	小結	24
第五章	國內醫院重要設備抗震能力評估	31
5-1	供電系統	31
5-2	供水系統	32
5-3	空調系統	33
5-4	小結	35
第六章	設備物耐震設計規範之展望	44
6-1	前言	44
6-2	結構體及非結構物行為之分類	47
6-3	設備之耐震強度認定	49
6-4	日本官方建築物中設備耐震設計原則	50
6-5	國內設備物耐震工程現況	53
6-6	新訂醫院設備耐震規範草案大綱	54
	參考文獻	57

## 摘要

地震過後醫院本應擔任緊急救護的重要角色，但實際上，由各國震害資料可知，因供電、供水、空調、通訊、電梯及各種重要設備系統在地震過程中屢屢遭到破壞，致使醫院功能停擺而無法發揮預期效果；為了瞭解破壞情況為何，本研究先對醫院中重要設備於地震中的破壞案例形式做出分析與整理。

各國在考慮設備物水平地震力設計時想法並不完全一致，故文中乃針對各國規範中設備物水平地震力設計的重要參數（如震區係數、用途係數、樓高放大係數及共振放大係數）進行比較。此外，為了瞭解各設備的重要性及關係，乃建立了醫院內重要設備間之關係與現況分析，並將設備分為震後逃生系統以及正常運作系統兩種，以明白確定各設備功能的震後救災能力要求。

由於國內醫院至目前為止幾無抗震設計，只單純考慮防止設備運轉振動傳遞進入建築內，因此就現況選擇成大醫院，評估其供電、供水及空調系統抗震能力。文末則參考美、日耐震設計要求與規定，提出設備耐震規範草案大綱。

# 第一章 前言

1976 年中國唐山大地震與 1988 年蘇聯雅爾美尼亞地震，均造成一些都市醫院及診所嚴重損壞甚至全毀，而醫生與護士也死傷大半，以致醫療工作幾乎癱瘓，只好藉由軍方或民間運輸工具將傷患運送至鄰近都市治療。因此從這兩次地震中便可學到，在防災體系中，緊急醫療體系耐震能力之提高是相當重要的事。

美國加州洛杉磯的 Olive View Hospital 是一所專為退休軍人設置的大型醫院，在 1971 年的 San Fernando 地震中，剛剛開幕不久的醫院主建築便因底層柱之設計不當而遭到嚴重破壞，因此於震後不久便遭拆除。為此，隔年美國加州州議會始有決議，為使醫院能發揮震後救災的功能，要將新醫院建築的耐震性能特別加強，以防止相同的事情再度發生。拆除後的原址，於數年後蓋了一棟結構強度甚高的新醫院，希望能通過最大強震之考驗，使醫院能於震後發揮緊急醫療功能。在 1994 年的北嶺地震（與 San Fernando 震央極近）中，Olive View Hospital 附近地表加速度高達 0.82g，在屋頂量到的最大加速度亦有 2.31g，遠高於一般建築物的耐震設計標準。然而由於此醫院結構體甚為強壯，因此結構並未遭到任何損傷，在震後仍屹立於基礎之上。可是，這家醫院卻仍無法在地震後發揮它的醫療功能，反而在地震後的 48 小時內需要別單位的協助，撤離院內病患。這種後果的主因，便是由於醫院內各項設備物抗震能力不足，在地震中受到破壞，致使這所現代化的醫院無法於震後使用，遑論發揮救助災民的醫療功能。由於相同的例子尚有數起，眾人至此方才瞭解，光只注重結構強度，並不能達到設計醫院時的原始目標；而且設備物耐震性能的重要度，並不亞於結構體的耐震性能。值此之故，1997 年美國政府出版的建築耐震補強手冊（FEMA 273）中，便將非結構物的耐震設計方法，做了特別的加強，在本研究報告的第六章將會有專文介紹該報告

之精神及摘要。

由此可知加強建築設備耐震性能之主要目的，是因為要確保這些設備可以提供建築物某些特定功能，方便該建築物的使用者，能在地震後立即執行這些功能，以達到某些預定的效果，比如：醫院的震後救災工作、或商業機構要保持高經濟效益的作業、或化學實驗室毒性物質的安全等等。對於醫院而言，如何維持它在地震後的使用功能，便會直接關係到震後大量湧入醫院傷患之權益及院內病人的生命安全。

一般在進行設備耐震設計時，首先會考慮的是：欲維持某一機能的耐震能力時，需要針對哪些重要設備進行設計工作；然後才探討這些設備的耐震作法應該為何。然而由於建築內設備的種類繁多，因此在第一階段時，多半便因其複雜性過高，無法確認何者為真正重要的設備而停止。少部份進行至第二階段者，亦只能針對部份設備進行耐震設計，未能確保該設備所有相關其他附屬設施之安全，以使此一機能能持續維持。本計畫乃針對此一困擾，探討新設計醫院在強烈地震作用下，仍欲維持設備物之耐震強度時，究竟應該如何著手進行規劃分析。本計畫將從功能設計法 ( Performance Based Design ) 的觀點出發，探究欲維持醫院中某些功能時，必須要對那些設備系統的安全性加以重視，再探討國內醫院中這些設備系統耐震的現況。

本案研究內容中，並不包括直接用於治療、診斷的醫療設備的抗震分析。主要是有以下幾項原因：

- (1) 國內的醫療設備多為國外進口，因此該設備的基本資料(如重量、內部固定方法、安裝方式等等)很難取得，以致無法進行資料分析。
- (2) 各項醫療設備的安裝方式，在已完工的醫院內因有裝修遮蔽，已無法得見其工法。
- (3) 各項醫療設備之更新速度甚快，每隔幾年便有全新產品出現，以致甚難綜合其特色加以分析。

(4) 本系列研究主要目的是製定一般建築用設備的耐震規範，由於醫設備的特殊屬性，宜另以專案執行。

因此本研究內容主要是以醫療設備外的各項建築設備為主。

針對上述問題，本研究乃從下列幾個方向著手，收集資料並整理分析成以下各章節：

- (1) 收集國內外強震狀況下醫院設備的破壞資料，藉以判斷易遭破壞的設備種類及破壞方式（第二章）。
- (2) 整理國內外相關法規的建議方案，以便分析國內醫院設備物的耐震能力（第三章）。
- (3) 根據國內醫院機能需求，依照結構體強度設定設備物設計強度，並探討各項重要建築設備（不含醫療設備）之構成特色。再以實例調查方式，瞭解各個設備的裝置情形及上下游相關設備的各個組成元素。（第四章）。
- (4) 利用現場調查結果，瞭解國內醫院常用設備的現況並分析其耐震能力，及做出適當之抗震設計建議（第五章）。
- (5) 將美國 FEMA273 及日本官廳建築耐震規範中，對於非結構物於功能設計法內的設計原則摘要說明，使國內相關單位瞭解目前國際上最新的設備耐震規範的走向，並探討國內欲擬定設備物耐震規範草案的雛形（第六章）。

一般建築設備的各種規範大多包括設計及施工規定，因此包含的範圍極廣。本研究案限於人力及經費，將只針對設備物抵抗地震力之部分進行探討，研究建築內各項主要功能的設備種類，及可能在地震中的破壞方式，並建議應有的設計地震力大小。至於涉及設備安裝時施工方式之設計及執行細節，將在第五章內僅就目前國內外現況略做介紹，以利讀者參考。

## 第二章 醫院建築重要設備震害狀況

本章內容主要是參考美國 EQE 公司統計在 1993 年以前設備物的地震破壞資料，以及 1994 年美國北嶺地震(規模 6.8 級，最大地表水平加速度  $A_h = 1.0 G$ ，最大地表垂直加速度  $A_v = 1.83 G$ )、1995 年日本阪神-淡路大地震(規模 7.2 級， $A_h = 0.83 G$ ， $A_v = 0.45 G$ )及我國 1998 年瑞里地震(規模 6.2 級， $A_h = 0.72 G$ ， $A_v = 0.34 G$ )震害的醫院勘災報告破壞案例[1-10,29-44]，整理其中各項設備物之破壞特性而成。由於醫院在地震發生後需擔任緊急救護的重要角色，因此受震害程度，以及是否會引發二次災害等等都是值得關心探討的課題。依據以上各國震害資料將醫院建築內幾項重要設備系統的功能加以分析，並將曾在地震中遭受到的破壞狀況分類陳述。這些系統包括有：供電、供水、空調、通訊、電梯及其他相關的重要系統，最後再將常見震害形式及可能的原因詳列於表 2-1 及表 2-2。

### 2-1 供電系統之震害

供電系統最常見的震害就是電線破損及發電機無法作用，所會造成的重大影響在醫療方面為：妨礙看診功能、無法操作人工呼吸器及輸血機及各項設備、不能檢索患者醫療資訊；在看護方面會造成觀察患者的困難、不能閱讀患者病歷資訊，以及會因輸送設備停止運作，而且提高搬運患者及院內急救物品的困難度[5]。

供電系統內的主要次系統包括電力系統、緊急動力發電系統、不斷電系統與其它設備等部份(見圖 2-1)，詳細內容則包括有發電機、變壓器、配電盤、控制盤、蓄電池、冰水機組、送風機、照明器具等各項設備，其中冰水機組與送風機在空調系統內亦有類似產品，在 2-3 節會有詳細說明；照明器具則在 2-6 節中詳述。

在這些設備當中，雖然發電機在地震中的破壞案例百分比不會比其他設備高，但因其功能最為重要，不僅在停電時負責供應少數緊急用電源，且需在災害

後維持手術室、急診室、加護病房、恢復室、醫療資訊室的功能。發電機依引擎發電容量大小可分為氣渦輪機(Gas Turbine)及柴油引擎兩種，目前國內以柴油引擎為主，兩者以 3000 KW 為分界，較小者多採柴油引擎。大型發電機多半直接放置樓板或以 L 型鋼固定在鋼梁上，而鋼梁則固定於混凝土基座，另加設防振裝置於鋼梁與基座間或基座與樓板間。其在地震中的破壞模式依比例高低可分列為機器移動、基座防振裝置破壞、基座螺栓鬆動、控制不良等，而破壞原因則為防振裝置抗震力不足、未設止震器抵禦地震位移、錨錠強度不足或基座結構強度不足。

變壓器的功能為將電力公司供給的電源降壓，轉變為各種負荷使用的電源，其冷卻方式可分為液冷式及氣冷式兩種。液冷式一般是在鋼製的矩型槽內裝油或類似絕緣液體，並將變壓器的線圈浸泡於液態槽內。液態槽可提供冷卻及絕緣，一般都放置於矩型鋼槽內。大部份的液冷式變壓器有一個或多個的冷卻線圈連接於變壓器側，以提供足夠的熱交換表面積。

氣冷式或稱乾式變壓器的尺寸和構造與液冷式相似，不同處在於其變壓器線圈是固定於空氣可流通的鋼製圍欄內，而非置於液態槽中。大部份氣冷式變壓器的冷卻方法，是利用空氣自然對流通過鋼製外殼的百葉或多孔斷面，以進行熱交換。較大型的氣冷式變壓器可能會在圍欄內另外設有小型風扇，以強迫外氣冷卻。

不論是液冷式或氣冷式的變壓器，其外殼尺寸的高度約為 60~100 英吋，而寬度及深度約為 40~100 英吋。依據輸出功率的不同，其重量約由 2000 磅到 15000 磅不等。變壓器的容量單位為 Kilovolt-amperes(KVA)，一般變壓器的容量範圍約為 100~3000KVA。變壓器的破壞方式多為移動與傾覆。

配電盤可自主電路分配低伏特交流電或直流電至分電路，且提供過載電流保護裝置，其震害破壞方式則多與變壓器同。原因是變壓器及配電盤多半為瘦高型設備併行排列，頂部或底部多未固定，有做固定者強度亦多半不足。

不斷電系統(UPS: Uninterruptible Power Supply)設備內容涵蓋有蓄電池組，充電器、換流器(inverters)等。蓄電池組可分為鉛蓄及鹼蓄電池兩種，用以供給電力。

蓄電池除了供緊急照明用之外，也是變電與發電操作之緊急電源；換流器之功能則在於將直流電轉換成交流電。設置形式上若將蓄電池、充電器、控制盤三者分離，稱之為架台式；若將蓄電池、充電器、控制盤三者合併，則稱之為鐵櫃式。不斷電系統破壞方式均以傾覆為主，其次亦有移動及破損。震害原因有置放蓄電池之固定支架無斜撐或結構強度不足、支架未固定或固定於建築的結構方式不當、鐵櫃頂部未固定且底部固定不足、未聯結之蓄電池彼此互撞、遭掉落物體撞擊等。

由以上說明可知在所有建築設備當中，供電系統扮演著最重要的角色，尤其是地震災害發生時更擔負保障病患生命的安全重責。因此除了上述各項破壞狀況應予以防治外，亦應注意以下幾項安全措施；如手術室之電源供應，最好有獨立之耐震發電機設備，以避免因主系統故障而喪失急救功能；在空間設計時應留設足夠維修空間以便能確實做好機器保養維護工作以降低故障率；緊急發電機、蓄電池與供設備運轉之燃油均應設置備份儲存，以利地震造成主要機器故障時使用。

其它重要設備尚有控制盤(MCC: Motor Control Center)，其功能為提供 600V 以下馬達動力控制系統或電力保護系統，常見之破壞以傾斜、傾覆、破損為主，原因同變壓器與配電盤。

## 2-2 供水系統之震害

在供水系統中因震害而破壞之最普遍設備為高架水箱，一旦高架水箱受害便可能無法正常供應冷卻水，造成發電機過熱而停止運轉，致使各項用電之醫療功能癱瘓。而且水槽槽壁破損會使儲水漫流至室內，造成機器因浸水而當機，或插頭短路等衍生出之二次水患問題。中繼水箱若於地震中受損，亦會有相類似問題出現。

供水系統設備一般以蓄水槽、高架水槽及揚水泵為主。自來水廠先將水由自來水供水管引進蓄水槽儲存，再用揚水泵將水送入屋頂高架水槽，然後以重力供

水至各用戶水龍頭。水槽壁體材料常見者有 FRP 製、鋼製、RC 製三種，除了 RC 製水槽係直接與結構一體澆置外，其它皆以支架或支腳固定在樓板上。

蓄水槽多數設置在地下室，所受地震力較小，常見破壞方式為水槽壁面龜裂、漏水、基座破損、基座螺栓鬆動，原因是水槽壁面地震力設計強度不足、基座 RC 結構強度不足導致混凝土龜裂、剝落或 螺栓錨錠強度不足致使螺栓鬆動。

高架水槽多置於建物頂層，該層地震加速度最大，所以震害最多也最普遍，無論是北嶺地震、阪神地震、瑞里地震或其它地震均顯示出高架水槽破壞比例最高。常見破壞模式有傾覆、架台與基座破損、水槽與配管相接處被拉斷、基座螺栓拔出、FRP 製水槽壁面破損、RC 製水槽壁面龜裂、水槽自架上掉落、基座鋼骨脫離等現象，原因大致與蓄水槽相同，此外還包括水槽撞擊牆面或地面而破裂、架台結構不當或強度不足、水槽與配管相接處防振軟管之容許水平位移量不足、水槽未確實固定在架台上等因素。此外，我國特有之不鏽鋼水塔則在嘉義瑞里地震中曾發生壁體下部扭曲變形、支腳挫屈與傾覆等破壞。

揚水泵可分為離心式與透平式兩型，其中透平式大多在消防加壓或高揚程時使用。紀錄中的破壞現象有：泵浦配管相接處破損或拉斷、移動，原因是防振軟管接頭之容許水平位移量不足或錨錠強度不足。

## 2-3 空調系統之震害

醫院建築最重要的機能空間就屬手術室、恢復室、急診室、加護病房及檢驗室，它們往往是決定重傷病患是否可以存活的關鍵，因此如何維持空間溫濕度及清淨度以避免細菌滋生及感染傷口惡化，就成了緊急醫療成敗的基本要件之一，空調系統無疑地是扮演執行此項功能的主要角色。由於手術室在一般醫院中非常重要，故在設計規劃上，大都會特別要求擁有獨立專用之空調及無塵無菌設備，以確保更完善之空調品質[13]。

空調系統的主要設備內容有熱源裝置(鍋爐、冰水機組、冷卻水塔)、自動控

制裝置、空氣處理裝置(空調箱)、送風設備(送風機與送、回風口)等。在瑞里地震中曾有幾個鍋爐(Boiler)破壞的報導案例，形式多半為鍋爐與配管相接處脫離、戶外煙囪於接頭處被拉開，不過以上破壞情況在醫院建築中卻並未出現，可能是醫院於鍋爐配管相接處大都有設置防振軟管接頭之故。

冰水機組包括冰水主機、冷媒凝縮管及蒸發管。冷媒凝縮管與冷卻水進行熱交換，蒸發管與冰水進行熱交換。冰水主機的功能在於提供冰水系統之循環，運作方式有壓縮式循環與吸收式循環兩種，前者又可分為往復式、螺旋式及離心式三種。空調機(Air conditioner)可分中央式空調箱(AHU: Air Handling Unit)與個別式風管機(FCU: Fan Coil Unit)兩種，用於抽引戶外新鮮空氣與室內回風混合，再經濾清器除去空中塵埃及調節溫、濕度。冰水主機與空調機在地震中的主要破壞模式多為移動、破損及傾覆。原因有防振裝置破壞、錨錠強度不足、周邊空間不足導致撞擊結構或彼此互撞、或懸吊式設備撞擊牆面等。

冷卻水塔一般設置於屋頂或屋突以降低噪音干擾及便於空氣流通。冷卻水塔之目的在於冷卻冷卻水以便循環再使用。依空氣與水接觸方式不同，可分為對流式與直交流式兩種。在地震中冷卻水塔容易發生傾覆、破損，主要原因則是因為防振裝置破壞、錨錠強度不足、傾覆撞擊牆面或樓板而破損。

送風機依功能可分為離心式與軸流式兩種。其中離心式多用於連接風管或設置於空調箱內，而軸流式則因風量大且風壓低，常用於冷卻水塔。常見震害為移動、破損，主因為防振裝置破壞、錨錠強度不足、懸架來回擺動甚至撞擊牆面、移動撞擊結構或其它設備。

送風口依吹出氣流分布與形狀可分軸流、輻流、槽型、多孔板等類，多安裝於天花板、壁面、窗台及地板；回風口常用者為固定葉片形方格柵 (Grill)及多孔板(Punching metal plate)，兩者均易受地震反覆運動來回擺動而移動。醫院手術室中多配置送風口於天花板，回風口則設置於牆下方側邊。在送風口會設置有高效過濾網風箱，風箱的懸吊線有時會與無影燈之懸吊系統產生撞擊而互相影響。

除上述狀況之外，因國內施工品質不良，故常見的問題尚有設備與配管相接

處因防振軟管接頭處的容許地震水平位移值不足而遭破壞；在瑞里地震中，嘉義女中尚有風管因單獨架未設懸吊線，導致輕鋼架天花板受風管推動支架，而發生大面積天花板掉落之情況發生。

## 2-4 通訊系統之震害

通訊系統若遭到破壞將無法確知醫院人員之所在及其人身安全與否、不明瞭其它病院狀況、不能移送重症患者、無法取得或建立來院患者病歷資料，同時會因資訊不足使各個支援體制運作困難[5]。常見破壞行為有戶內交換機(分為PBX、DPBX 兩型)及發信機傾覆，主因是這些設備外型瘦高，但未在其頂部加以固定或底部錨錠強度不足。

目前因行動電話無線通訊日漸普及化，所以一旦醫院有線通訊系統故障則可以行動電話或無線對講機暫代之。惟各行動電話公司基地台的轉播設備抗震強度是否足夠，便成為震後能否使用行動電話的關鍵所在。另在 1999 年的哥倫比亞地震中，亦發現由於太多人同時使用無線對講機，造成同一頻道上的使用者太多，以致彼此嚴重干擾，而無法發揮傳遞消息的問題。

## 2-5 電梯之震害

電梯在災後因扮演運送院內傷患的角色，故其破壞行為也值得注意。根據 OSHPD 在 1996 年四月針對北嶺地震醫院建築電梯破壞調查報告[12]可知，電梯被地震破壞之主要裝置為車廂、調速器、控制器、平衡塊、電纜、托架、滾輪、捲揚機械、安全裝置、台架、導軌、地震開關與制動器項目。

車廂破壞形式有頂部兩端一高一低、在廂頂保護裝置調速器背面滑輪有破壞混凝土碎片、金屬電纜保護裝置移動、機械齒輪側之車廂封口出現漏洞、廂內天花板掉落、廂內樓版破裂、車廂穩定裝置彎曲破裂、車廂水平磁鐵破壞與車廂底部滾輪導軌裝置移位。調速器破壞形式為拉倒、電纜纏繞 TM 凸輪以及導軌托架

之螺栓被調速器繩索包覆。控制器破壞形式為 3GM 控制組件跳開與控制器掉落。平衡錘破壞形式有離開構架、導軌分離、滾輪導軌破裂、在鋼架上扭轉、鋼軌彎曲以及轉盤托板裝置之托架彎曲。電纜之破壞形式為開關鬆弛與穩定裝置被拉開。托架破壞形式則為彎曲、被拉開或與主體分離。其它尚有滾輪導軌遺失、捲揚機械被封住、床板上機器移動、床板移動、安全裝置破裂、台架側桿彎曲、導軌扭曲、地震開關重新設置以及制動器破壞等等。除了以上所述電梯裝置破壞情況之外，電梯間結構體亦出現柱子裂開與豎井牆裂開的破壞現象。

至於電梯破壞情況及數量情形，在有緊急動力仍無法啟動者有 14 件；設備錨錠破壞發生在機械、發電機與調速器部分者分別有 5 件、6 件及 1 件；繩索保護裝置破壞有 2 件；軌道與托架破壞情況為軌道扭轉、中間托架分離、平衡錘托架損壞或彎曲、車廂托架破損或彎曲者分別有 26 件、12 件、6 件、4 件；導引保護裝置損壞發生在車廂、平衡錘分別為 17 件、13 件；平衡錘構架扭轉案例有 9 件；車廂之安定裝置彎曲有 30 件、安全裝置調整或彎曲有 9 件、內部損壞在天花板及門部份分別為 8 件、1 件與 5 件；控制 PC 板損壞者 4 件；電梯垂直通路損壞在入口及牆面各有 8 件與 17 件；繩索斷裂或電纜偏離者有 26 件；油壓汽缸破壞者 1 件。綜合以上所述可知最易破壞者為車廂安定裝置、軌道與電纜。

此外，在 1998 年嘉義瑞里地震中，嘉義市區內約有 5% 的電梯亦出現安全迴路自動關閉、配重與導軌脫離以及調速鋼索移動等破壞現象。

## 2-6 其它震害

其它設備系統之破壞雖不致直接影響醫院醫護功能，但處理不當卻可能引發二次災害，其中最常見者為裝設於石膏天花板上的灑水頭因與天花板間相對位移過大，產生碰撞擠壓而破損，此時會造成水患影響醫院功能正常運作，或致使設備由於浸水而當機。而病歷資料則應平時即作好備份，一旦電腦主機故障時則可以桌上型或筆記型電腦暫時存取即可。

照明器具雖然不是最重要的一環，但若在重要場所如主入口、急診室或主要

通道等處遭破壞，便會對急救過程形成障礙及不便，有時也會造成壓傷人員的狀況。所觀察到照明器具的主要地震破壞行為是掉落，原因為懸吊支撐與樓板相接處錨錠強度不足。

醫院內有許多藥品、生物試體及化學藥品均具有毒性，這些物品的儲存及安置在整個醫院震後安全的環境中，具有很重要的地位。雖然在所蒐集到的震災資料中並未有關於此類物品的災害報導，但在評估一所醫院之抗震能力時，仍應對其特別注意。

目前國內施工習慣經常將各種管道置於結構體內，以節省成本。但是此一作法會減損結構體強度，而且造成日後管線維修困難。因此在新設計之醫院中，宜對此一現象特別注意，以免造成地震後不必要之損害。

## 2-7 小結

綜合以上各節所述可知，醫院所有建築設備功能最重要者，屬供電系統之發電機、變壓器、蓄電池。前兩項主要破壞行為皆為移動(詳表 2-1)，發電機之破壞現象尚有基座防振裝置破壞、基座螺栓鬆動、控制不良或故障；變壓器主要為傾覆；而蓄電池為傾覆、移動與破損。一般國內目前的做法並未考慮機器的耐震性，僅設置備份發電機、蓄電池以供故障急用之需。

供水設備中最易破壞的部份為高架水槽，破壞模式(詳表 2-1)常見者為傾覆、架台與基座破損、水槽與配管相接處被切斷、基座螺栓拔出、FRP 製水槽壁面破損、RC 製水槽壁面龜裂、水槽自架上掉落、基座鋼骨脫離。目前一般的應變方式僅為設置備用儲水槽。

然而供電、供水的備用設備也可能在地震時遭到破壞以致無法發揮其預期功能，因此目前一般的做法並不見得能使醫院維持應有的救護能力。此外，以上設備之另一項共同弱點在於設備與配管相接處，在各個小型地震中便常見因防振軟管容許水平位移量不足而造成破損或拉壞。可知醫院應特別要求以上各節所述設

備對地震的抵禦能力，俾能於震後發揮救護功能。

表 2-1 醫院建築內重要設備系統常見的震害形式與原因

項目	震害形式	原因	
供電系統	發電機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆基座防振裝置破壞</li> <li>◆基座螺栓鬆動</li> <li>◆控制不良</li> <li>◆故障</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置抗震力不足</li> <li>●未設止震器</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●基座結構強度不足</li> </ul>
	變壓器	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆傾覆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
	配電盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆傾覆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
	控制盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾斜</li> <li>◆傾覆</li> <li>◆破損</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
	蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> <li>◆移動</li> <li>◆破損</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●固定支架無斜撐或結構不適當</li> <li>●支架未固定</li> <li>●支架固定於建築結構方式不當</li> <li>●鐵櫃頂部未固定且底部固定不足</li> <li>●未聯結蓄電池彼此互撞</li> <li>●被掉落物體撞擊</li> </ul>
供水系統	受水槽	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆水槽壁面龜裂</li> <li>◆漏水</li> <li>◆基座破損</li> <li>◆基座螺栓鬆動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●水槽壁面地震力設計強度不足</li> <li>●基座 R.C. 結構強度不足</li> <li>●錨錠螺栓強度不足</li> </ul>
	高架水槽	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> <li>◆架台與基座破損</li> <li>◆水槽與配管相接處切斷</li> <li>◆基座螺栓拔出</li> <li>◆FRP 製水槽壁面破損</li> <li>◆R.C. 製水槽壁面龜裂</li> <li>◆水槽自架上掉落</li> <li>◆基座鋼骨脫離</li> <li>◆壁體下部扭曲變形</li> <li>◆支腳挫屈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●水槽壁面地震力設計強度不足</li> <li>●基座 R.C. 結構強度不足</li> <li>●錨錠螺栓強度不足</li> <li>●水槽因傾覆撞擊牆面或地面</li> <li>●架台結構不當或強度不足</li> <li>●水槽配管相接防振軟管之容許位移量不足</li> <li>●水槽未確實固定在架台上</li> <li>●支腳附近剛度不均勻造成彎矩破壞</li> </ul>
	揚水泵	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆泵浦配管相接處破損拉斷</li> <li>◆移動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> <li>●錨錠螺栓強度不足</li> </ul>

表 2-1 醫院建築內重要設備系統常見的震害形式與原因(續)

項目	震害形式	原因	
空調系統	冷凍機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆破損</li> <li>◆傾覆</li> <li>◆設備配管相接處破壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置破壞</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●周邊空間不足</li> <li>●彼此互撞</li> <li>●懸吊式設備撞擊牆面</li> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> </ul>
	空調機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆破損</li> <li>◆傾覆</li> <li>◆設備配管相接處破壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置破壞</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●周邊空間不足</li> <li>●彼此互撞</li> <li>●懸吊式設備撞擊牆面</li> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> </ul>
	冷卻塔	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> <li>◆破損</li> <li>◆設備配管相接處破壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置破壞</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●因傾覆撞擊牆面或樓板</li> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> </ul>
	送風機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> <li>◆破損</li> <li>◆設備配管相接處破壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●防振裝置破壞</li> <li>●錨錠強度不足</li> <li>●懸架來回擺動甚至撞擊牆面</li> <li>●移動撞擊結構或其它設備</li> <li>●防振軟管接頭容許水平位移量不足</li> </ul>
	送風口 回風口	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆移動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●懸架來回擺動</li> </ul>
通訊系統	交換機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
	發信機	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆傾覆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●頂部未固定</li> <li>●底部未必固定且固定強度不足</li> </ul>
其它	灑水頭	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆破損</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●與石膏板天花相互撞擊</li> </ul>
	照明器具	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆掉落</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●懸架樓板相接處錨錠強度不足</li> </ul>

表 2-2 醫院建築內電梯設備系統常見的震害形式

項目	震害形式
車廂	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆頂部兩端一高一低</li> <li>◆在廂頂保護裝置調速器背面滑輪有破壞混凝土碎片</li> <li>◆金屬電纜保護裝置移動</li> <li>◆機械齒輪側之車廂封口出現漏洞</li> <li>◆廂內天花板掉落</li> <li>◆廂內樓版破裂</li> <li>◆車廂穩定裝置彎曲破裂</li> <li>◆車廂水平磁鐵破壞</li> <li>◆車廂底部滾輪導軌裝置移位</li> </ul>
調速器	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆拉倒</li> <li>◆電纜纏繞 TM 凸輪</li> <li>◆導軌托架之螺栓被調速器繩索包覆</li> </ul>
控制器	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆3GM 控制組件跳開</li> <li>◆控制器掉落</li> </ul>
平衡塊	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆離開構架</li> <li>◆導軌分離</li> <li>◆滾輪導軌破裂</li> <li>◆在鋼架上扭轉</li> <li>◆鋼軌彎曲</li> <li>◆轉盤托板裝置之托架彎曲</li> </ul>
電纜	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆開關鬆弛</li> <li>◆穩定裝置被撕開</li> </ul>
托架	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆彎曲</li> <li>◆被拉開</li> <li>◆與主體分離</li> </ul>
其它	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆滾輪導軌遺失</li> <li>◆捲揚機械被封住</li> <li>◆床板上機器移動</li> <li>◆床板移動</li> <li>◆安全裝置破裂</li> <li>◆台架側桿彎曲</li> <li>◆導軌扭曲</li> <li>◆地震開關重新設置</li> <li>◆制動器破壞</li> <li>◆安全迴路自動關閉</li> <li>◆配重與導軌脫離</li> <li>◆調速鋼索移動</li> </ul>

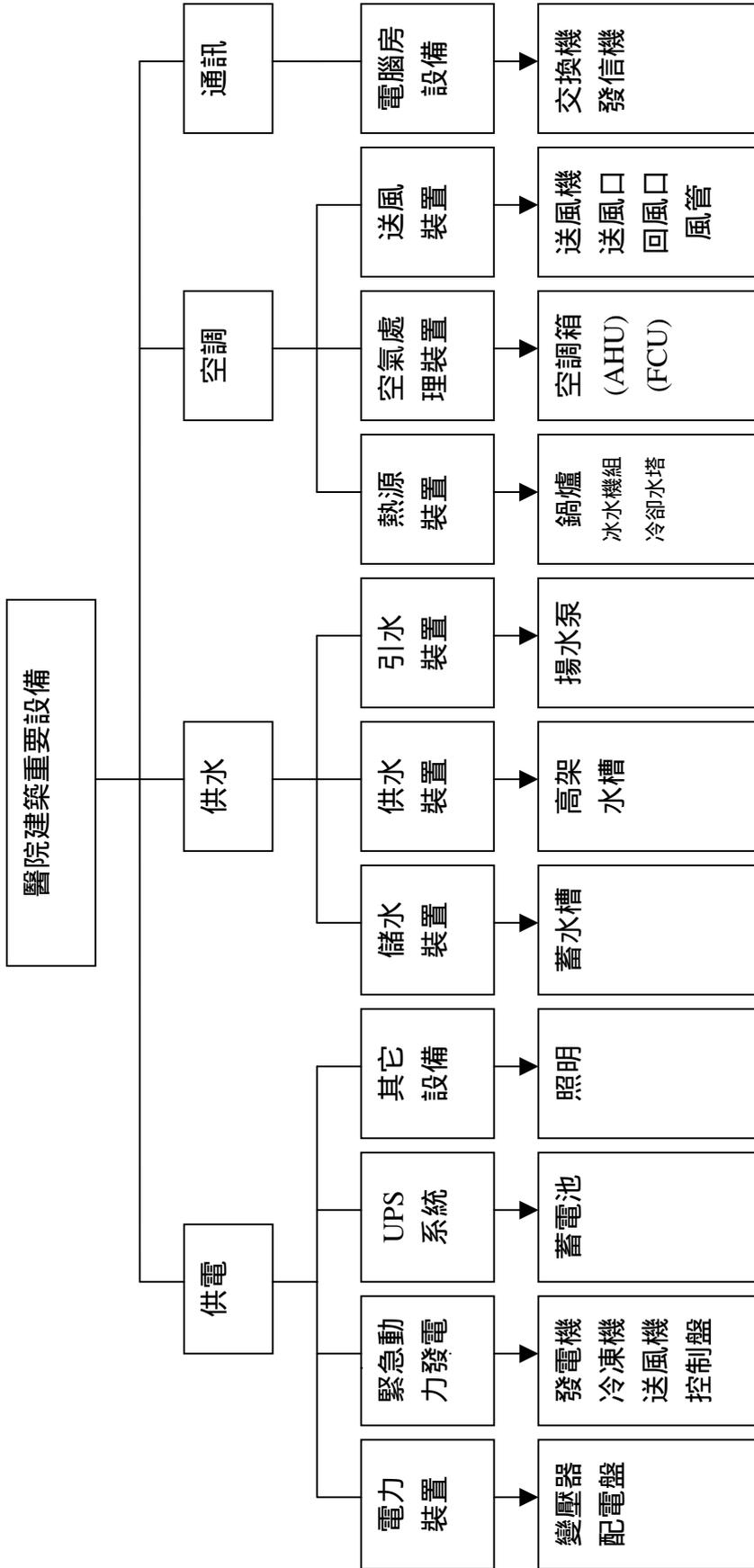


圖 2-1 醫院內重要設備曾遭震害項目



(8) . 2000 IBC [22] ⇒  $\alpha_x \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} (1 + 2H_x/H_r) \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}}$

$\alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} * \alpha_{\text{ps}} * 1.6 \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}} \alpha_{\text{ps}}$

$\alpha$ 、 $\alpha_a$  : 震區係數

$\alpha$ 、 $\alpha_x$  : 用途係數、重要性係數

$\alpha_x$  : 震力係數

$\alpha$  : 設備物重量

$D_s$  : 構造特性係數

$\alpha$  : NBC 區域速度比

$\alpha_{\text{ps}}$ 、 $\alpha_{\text{ps}}$  : 標準設計地震力係數

$\alpha_{\text{ps}}$  : 短週期 5% 阻尼最大地表加速度

$\alpha_{\text{ps}}$  : 正規化短週期設計反應譜加速度

$\alpha_x$  : 非結構物折減係數

$H_r$  : 建築物高度

$H_x$  : 設備安置樓層至基面之高度

$\alpha_{\text{ps}}$ 、 $\alpha_{\text{ps}}$ 、 $A_{\text{ps}}$ 、 $\alpha$  : 設備共振放大係數

$\alpha$ 、 $\alpha_x$ 、 $\alpha_{\text{ps}}$ 、 $\alpha_{\text{ps}}$ 、 $(1 + 3H_x/H_r)$ 、 $(1 + 2H_x/H_r)$  : 設備安置樓高放大係數

## 3-2 水平地震力公式分析

### 3-2-1 震區係數( $\alpha$ 、 $\alpha_a$ )、正規化短週期設計反應譜加速度( $\alpha_{\text{ps}}$ )

我國震區係數  $Z$  是將台灣分成四區- 地震一甲區、地震一乙區、地震二區、地震三區, 所對應之建築物震區水平加速度係數分別為 0.33 0.28 0.23 及 0.18, 這些數值是依據工址所屬震區回歸期 475 年地震地表加速度與重力加速度  $g$  之比值。其它規範除了 1995 NBC 以區域速度比  $\alpha$  值規定外, 皆類似國內做法, 只不過如何區分及決定各區係數值則視各區土壤狀況與地表加速度而有不同公式。

有些規範如 NEHRP、IBC 等是以正規化短週期設計反應譜加速度  $\alpha_{\text{ps}}$  方式定義; 而 UBC 雖然是以震區係數  $\alpha_a$  表示, 因為  $\alpha_a$  值等於  $0.4 \alpha_{\text{ps}}$ , 所以可知除了 NBC 以外的規範就如何決定設計地表加速度之看法是一致的。

### 3-2-2 用途係數( $I$ )、重要性係數( $I_p$ )

所謂用途係數  $I$  值是以建築物用途之重要性或危險性分類，而重要性係數  $I_p$  則以設備用途重要性為分類依據，兩者考量方向是有所差異的。惟國內亦有人認為兩者均應以重要係數稱之，因為國外的原文亦只稱為 Importance Factor。本文因為要區分此兩係數之差異，故仍以不同名稱代表不同意義處理。

以用途係數  $I$  做為設計因子的規範有我國、NBC、UBC、NZS。我國將建築物用途分成四類；第一類為地震災害發生後必須維持機能以救濟大眾之重要建築物  $I$  值為 1.5，第二類為儲存多量具有毒性、爆炸性等危險物品之建築物  $I$  值也是 1.5，第三類是供公眾使用之建築其  $I$  值為 1.25，第四類則泛指其它建築物  $I$  值為 1.0。UBC 分成五類，除了重要性與危險性建築為 1.5 之外，其餘皆為 1.0。NBC 把所有建築物用途全視為相同，一律使  $I$  等於 1.0。NZS 分成三類，地震時需維持正常運作之建築物  $I$  值為 1.6，公眾使用建物  $I$  值為 1.3，一般建築則為 1.0。

日本是同時以建築物以及設備物用途之重要性做考量。首先以非水槽類及水槽類做不同分析；若為非水槽類設備，則建築物分為特別要求耐震性、要求耐震性與其它三類，係數值分別為 1.5、1.25 與 1.0，設備分為重要及一般機器，其值分別為 1.5 與 1.0，此外  $I$  與  $I_p$  兩者乘績不得大於 2.0。至於水槽類則將兩者合併成  $I$  考慮，若為特別要求耐震性之重要設備之值為 1.5，要求耐震性之設備為 1.0，其他則為 0.7。

### 3-2-3 設備安置樓高放大係數 《 $C_p$ 、 $C_{px}$ 、...、 $C_{px}$ 、 $(1 + 3H_x/H_r)$ 、 $(1 + 2H_x/H_r)$ 》

設備物所承受地震力加速度大小會與其所在樓層高度與基面距離之高低有關係，而設備安置樓層反應倍率放大係數即是考慮此放大效應。此係數之影響國內則與  $C_p$  一併考慮，只要求  $C_p$  在地面層或地下樓層應折減為原來之 2/3。

中國規範(A)為一線性遞增關係。日本( $K_1$ )值分三段處理：當設備位於一樓或

地下室時值為 1，位於中間樓層為  $1+(\alpha_{\downarrow} + 1) * H_x/H_r$  之線性遞增關係，到了頂層則為  $\alpha_{\downarrow}$ ；其中  $\alpha_{\downarrow}$  值又與建築物自然週期  $T_n$  相關，最大可達 10/3 (當  $T_n$  小於 0.6 時)，最小則為  $3.2/T_n$  (當  $T_n$  大於 1.2 時)。NZS 以  $\alpha_{\downarrow, \max}$  決定：不同震區係數則不同，且高度比值關係與其他規範相異之處，在於高度計算是自建築物重心至基面垂直距離，所以比值約略為其他規範值之 0.5 倍。NBC 以  $\alpha_x$  表示，其值為  $1 + H_x/H_r$ ，但因其在  $\alpha_{\downarrow}$  值時已重複考慮樓版反應放大效果，合計其放大倍率最多可達四倍。UBC 是  $1+3H_x/H_r$ ；NEHRP 與 IBC 則為  $1+2H_x/H_r$ ，其中 IBC 雖然以  $\alpha_x$  表示，但因  $\alpha_x$  值與  $1+2H_x/H_r$  相等，故可曰兩者相同。

由以上敘述可得知各種規範設備安置樓高放大係數以 UBC-97 值為 4 最高，日本 10/3 次之，其次是 NBC、NEHRP 與 IBC 值為 3，最小為 NZS 僅有 1.5 而已；國內規範則無明顯放大值之規定。

### 3-2-4 設備共振放大係數 ( $\alpha_r$ 、...、 $\alpha_p$ 、 $\alpha$ ) 與非結構物折減係數 ( $\alpha_c$ )

設備共振放大係數在於考慮反應設備自振頻率與建築物第一模態基本頻率關係之影響：當兩者愈接近則設備反應愈容易放大，一旦頻率比接近於 1.0 時設備會產生極大之共振效應使反應劇烈；至於放大程度為多少則視設備阻尼大小而定，阻尼愈大放大倍率愈小。考慮共振放大係數時，有所謂剛性裝置、剛性設備與柔性裝置、柔性設備等名詞，此是指設備系統自振頻率之高低，由於頻率特性不同故動力反應也相異。剛性設備頻率高，剛性裝置與樓版的地震反應幾乎一致，故放大係數皆為 1.0，也就是說可以忽略不計設備共振放大效應；柔性設備因自振頻率低，易與建築物振頻相近，而生放大效應，所以此係數是針對這一點考慮。

國內設備共振放大效應是併入  $C_p$  值一起考慮，若為地面以上結構體上之非剛

性設備或置於柔性支承之設備  $C_p$  值可放大 2.0 倍，但不得大於 2.0。除了依設備物與結構體頻率比關係規定設備反應放大倍率係數大小之基本考慮外，日本把係數  $K_2$  分兩種方式設計：當設備頻率未知時一律為 2，若頻率已知則防振裝置與置於地面或地下室之水槽 2.0，其他為 1.5。NBC 係數  $\alpha_r$  則重複考慮樓層反應放大效果將柔性裝置放置所在區分為：置於地表者取 1.5，其它樓層為 3.0。UBC、NEHRP、IBC 三者皆同時考慮反應倍率  $\alpha_p$  之放大效應與彈性裝置吸收能量折減係數  $\alpha_x$ ，但  $\alpha_p$  與  $\alpha_x$  認定與係數值則各自不同。

對於柔性設備或柔性裝置之定義國內規範（耐震規範 4.2 節）NBC 以 17 Hz 為分界點，當設備自然頻率小於 17 Hz 時為柔性，反之則為剛性。日本以 15 Hz 為分界點，NZS 以 10 Hz 為分界點，至於其他規範則未予以明定。

整體而言，設備共振放大係數極大值以日本為 2 最高，NBC 的 1.5 次之，而 UBC、NEHRP、IBC 則因考慮吸收能量折減故值更低。

### 3-3 小結

與各國規範相較，我國地震力設計規範在設備部分未臻周延，且思考模式乃延續建築結構物設計方式並未針對設備本身特性做調整，主因是設計對象多以附著於結構體之非結構物為主，例如煙囪、水塔、儲槽、招牌、紀念碑……。其中未考慮周全的項目為設備安置樓高放大係數、以及設備共振放大係數。樓高放大係數除了與所在樓層位置有關外，也與建築物平、立面是否有不規則現象有關，故設計時應儘量避免有不規則的平、立面。至於應如何規定此兩項係數作為我國規範之用，則為日後研究之重點。此外用途係數究竟應以建築物或設備物用途為主導或是兩者兼顧也是值得重新評估。

除了設置要求需符合地震力設計規範之外，錨錠與剛性、柔性裝置之耐久性、裝置所在基座混凝土強度與設備設置要求均會影響設備實際耐震程度，所

以規範之制定應綜合考量上述因素方能將地震對設備的衝擊減至最低。

## 第四章 醫院建築重要設備之關係

1993 年美國 Porter 等人[10]對建築物內部設備於地震中的抗震性能有專文的討論，文內特別提到醫院方面的重要設備分類及歷次地震內的破壞資料。並探討地震來臨時，醫院內各項功能要維持正常運作之必要條件，以期望醫院能保有應有之醫療機能。

本章係參考該文將醫院設備分為逃生系統及正常運作系統二部份如圖 4-1，前者表示當地震後結構體已呈破壞狀態，勢必要進行人員疏散工作時，所需要的輔助設備系統，以便利病患及醫療人員逃生，以及到避難所(如停車場)後的醫療工作能持續進行之用。後者表示當結構體並無重大損壞，而仍能在醫院內進行醫療工作時，為達到醫院震後之正常運作所需保存的重要設備。本文利用組織圖方式，以成大醫院為例，進行研究及分析。在各組織圖中，符號”○”為必要條件，代表在此組織之下的所有單元均必須維持正常功能，則此機能才能正常運作。而符號”◇”為充份條件，代表在此組織下只要有一單元能維持正常，則此機能就可以正常運作。

### 4-1 逃生系統

醫院逃生系統之各組成單元如圖 4-2 所示。逃生系統可分為基本設備及避難地區緊急醫療兩部份。基本設備是指為維持病患及醫療人員能順利撤離醫院所需之設備，其中包括電梯及樓梯安全、樓梯緊急照明、火災應變及手動瓦斯切斷開關等單元。避難地區緊急醫療是為能提供一臨時性的醫療救護場地所需之設備，這些必要設施包括攜帶型發電機、臨時照明、通訊系統及揚水泵等。

**火災應變：**圖 4-3 為火災受信總機及滅火的各項單元。火災受信總機之功能在於接收探測器所偵測到警報回報。探測器可分為偵煙型及偵熱型兩種系統，其中偵煙型使用於停車場；而偵熱型可再細分為定溫式及差動式兩種，一般使用於病房

及辦公室等地區。滅火部份可避免震後火勢的延燒，其組成單元可分為灑水系統、滅火器、消防栓、泡沫式系統及海龍(或 CO<sub>2</sub>)系統等，其中泡沫式系統使用於停車場，而海龍系統則應用於電氣設備。另外廣播系統亦包括於滅火系統之中，因其可加強人員疏散或加入救火的功能。

**通訊系統：**通訊系統在醫院的功能中，不僅在逃生系統內，在正常運作系統中亦是相當重要的部份之一。圖 4-4 表示在地震發生時，可能運用到各種不同的通訊系統。

## 4-2 正常運作系統

如圖 4-5 所示，正常運作系統在醫院結構於震後能繼續使用的情況下，要提供支援病患醫療照顧的所有需求。其中包括電力、空調系統、熱源、水源、污水排放、電腦系統、通訊系統、電梯、醫療氣體、冷凍庫及照明設備等。

**電力：**電力是醫院設備中最重要的部份，圖 4-6 為成醫電力系統所包涵的單元。由外來提供的電源可分為正常電源及備用電源二者，分別為 69KV 及 22.8KV，設置有手動人工切換開關。醫院內部另設置有緊急發電機，可自動投入緊急電源系統，主要組成元素包括柴油發電機、冷卻系統及電池組等。

**空調系統：**成大醫院為複雜的建築物，故空調系統使用水冷式之輸送方式，如圖 4-7 所示。其中的組成單元包括有冰水主機、空調箱、送排風口、冷卻水塔、冷卻水泵、電腦控制系統及二次側電力系統等。空調箱的種類可分為 AHU 及 FCU，其中 AHU 系統應用於手術室及中央區；FCU 系統則應用於病房區及辦公室。二次側電力系統則因空調系統的用電需求量較大，故特別設置有獨立的電力系統。

**污水排放：**醫院內的污水可分為兩部份，分別為一般性污水及同位素污水，如圖 4-8 所示。一般污水的來源為化糞池、洗衣部及營養部，其排放需經由管線送至污水處理場處理後排放。而同位素污水之來源則為核子醫學、放射線醫療或實驗室，因同位素污水具高污染性，故排放時需先經衰減、稀釋後，才可流入污水處

理場，再與一般性污水一同排放。

**醫療氣體：**圖 4-9 為醫療氣體的組成單元圖。主要的醫療氣體為氧氣、笑氣及氮氣，它們必須在震後的外科手術中能正常供應手術需求。醫療氣體的供應方式可分為中央系統及個別系統，中央系統可提供醫院內大範圍的氣體供應；個別式則以單獨鋼瓶方式運送，方便緊急避難地區使用。

**電腦系統：**圖 4-11 為電腦系統組成單元圖。目前電腦的使用普遍，包括病歷、空調控制、外科手術、火災應變、電力控制等等，均需依賴電腦。所以除了一般建築電源及緊急發電機之外，另需不斷電裝置以維持電腦的正常運作。

**熱源：**圖 4-12 為熱源系統組成圖，包括冰水機組及蒸氣系統兩部份。其中蒸氣系統主要是提供空調加濕、護理站消毒、供應中心消毒等。鍋爐設備使用天然瓦斯燃料，於鍋爐上方設置有探測器及緊急遮斷閥以避免瓦斯外洩。

### 4-3 小結

本章依據醫院結構體在大地震後的損壞狀況，將設備物耐震種類分為正常運作及逃生兩種系統。後者係指結構體已嚴重破壞無法使用時，為求醫護人員及病患能安全撤離醫院所需之基本條件。正常運作系統則指在結構體仍可使用的狀態下，倘欲使醫院之醫療功能得以繼續發揮，所需各類設備中的相互關係。文中乃以成大醫院為例，將之分為 11 類次系統，並詳細探討各次系統內的子系統及彼此間的支援關係。

- 系統下所有元素需正常
- ◇ 系統下至少有一元素需正常

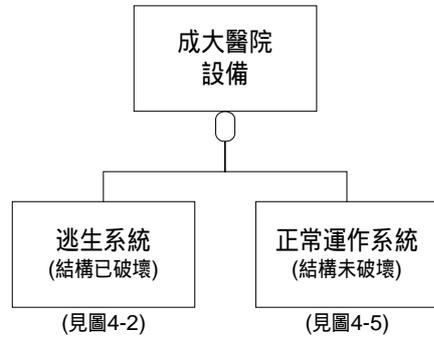


圖4-1 醫院震後機能運作關係圖

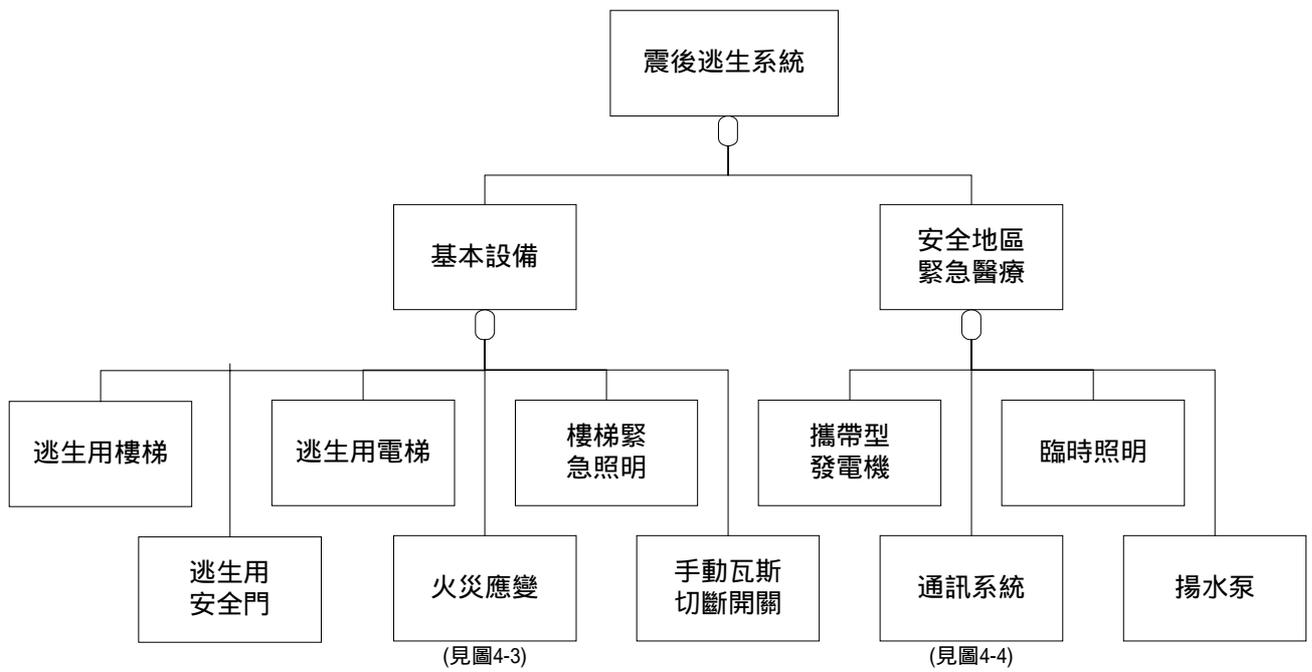


圖4-2 醫院逃生系統關係圖

- 系統下所有元素需正常
- ◁系統下至少有一元素需正常

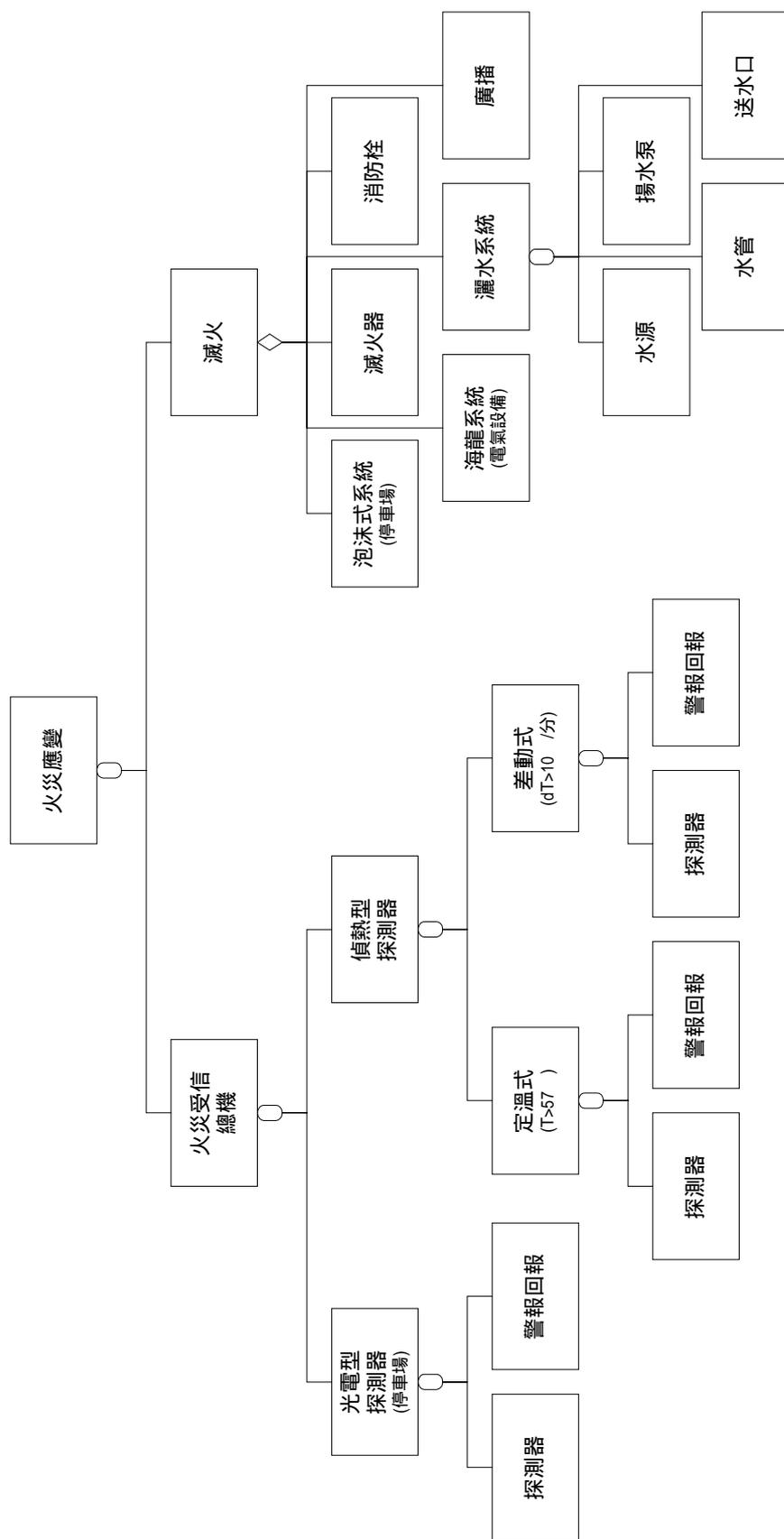


圖4-3 成大醫院火災應變系統關係圖

- 系統下所有元素需正常
- ◇ 系統下至少有一元素需正常

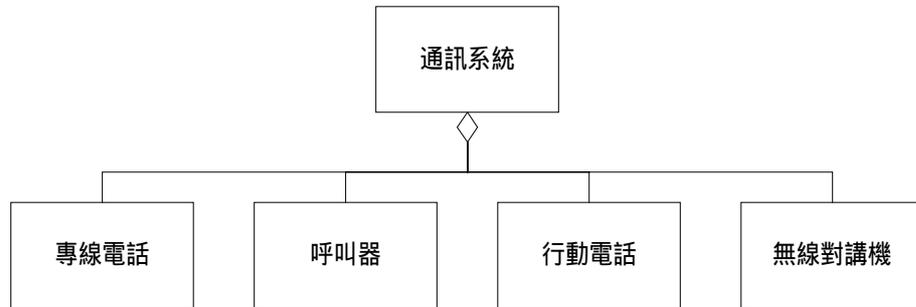


圖4-4 成大醫院通訊系統關係圖

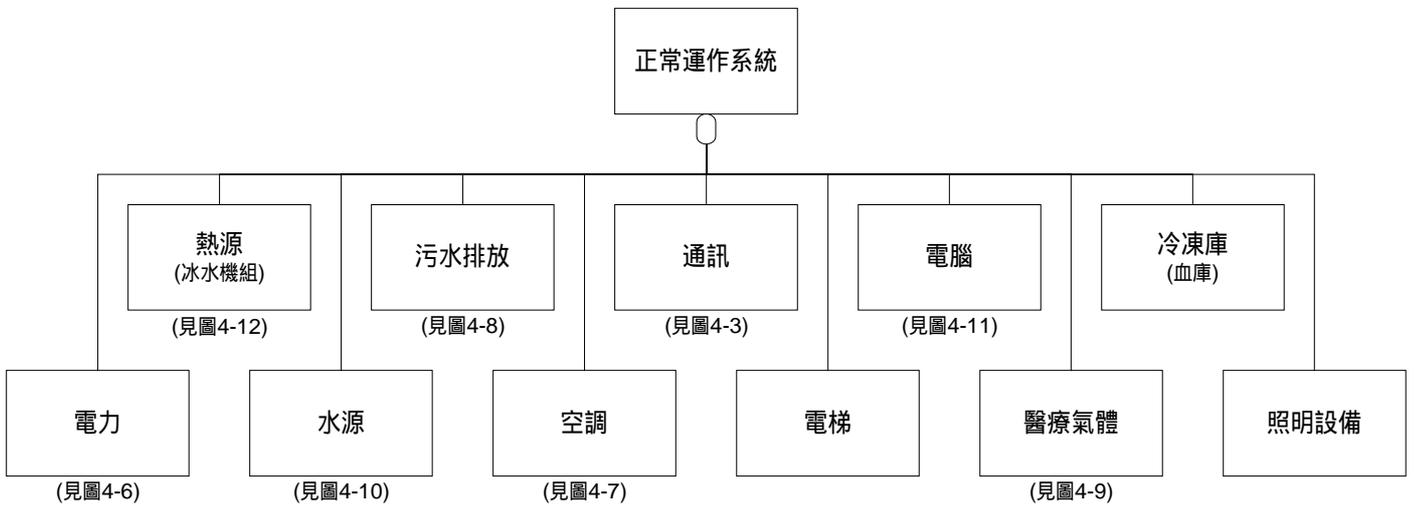


圖4-5 成大醫院正常運作系統關係圖

- 系統下所有元素需正常
- ◇ 系統下至少有一元素需正常

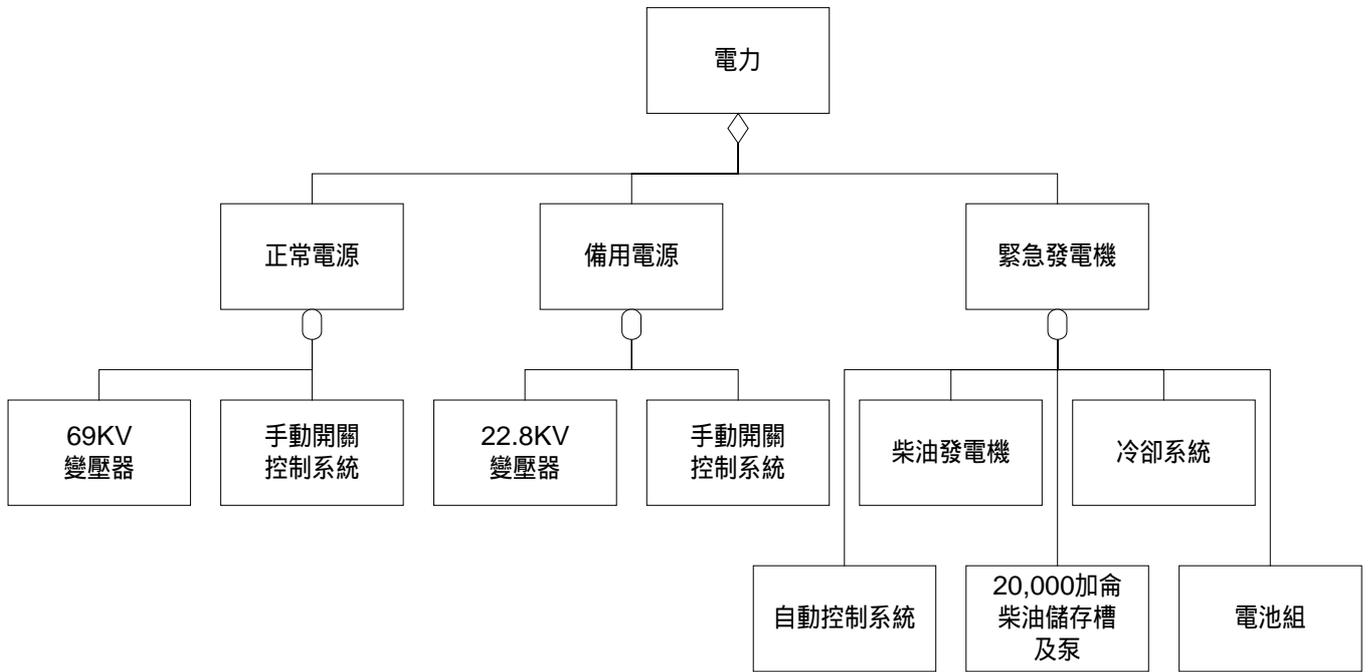


圖4-6 成大醫院電力系統關係圖

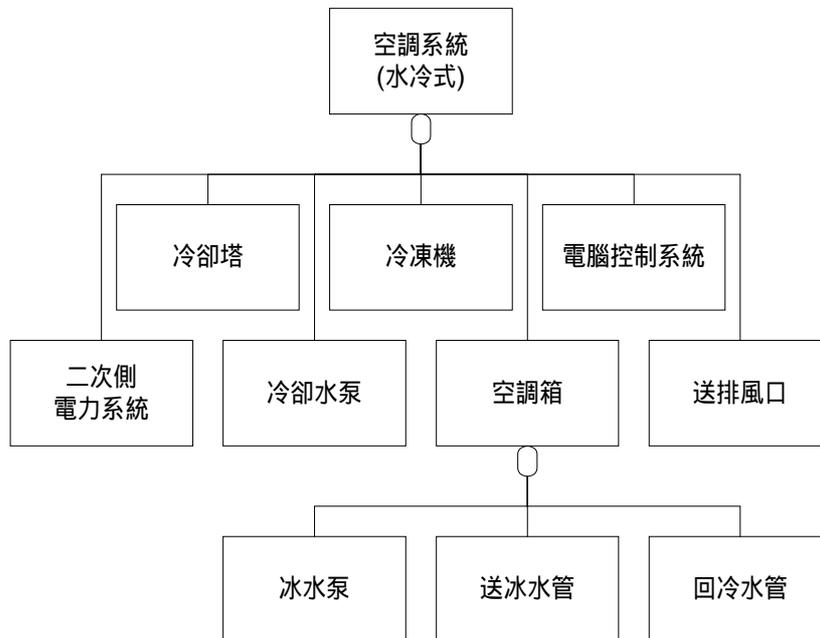


圖4-7 成大醫院空調系統關係圖

- 系統下所有元素需正常
- ◇ 系統下至少有一元素需正常

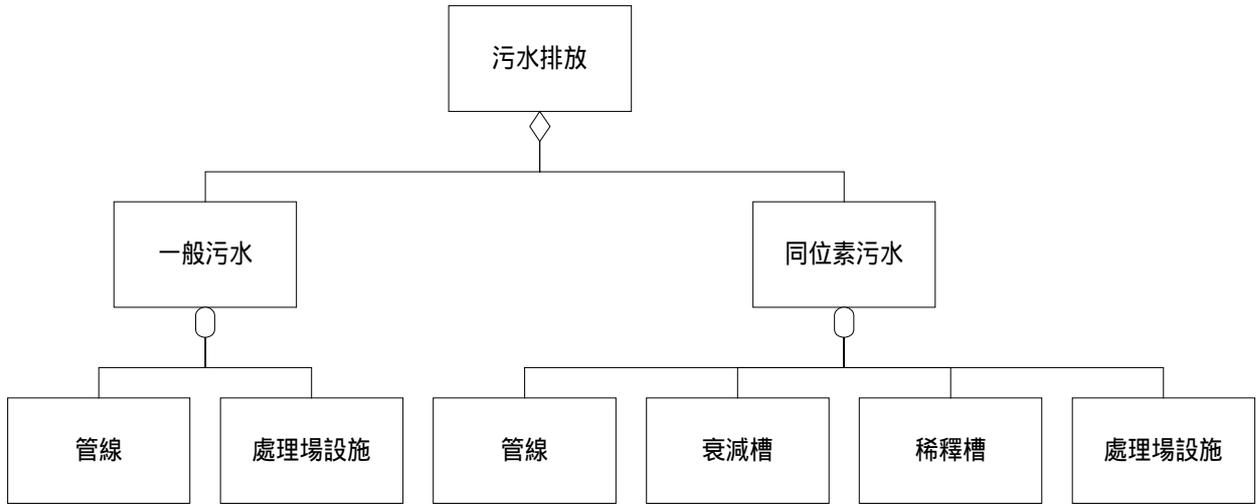


圖4-8 成大醫院污水排放關係圖

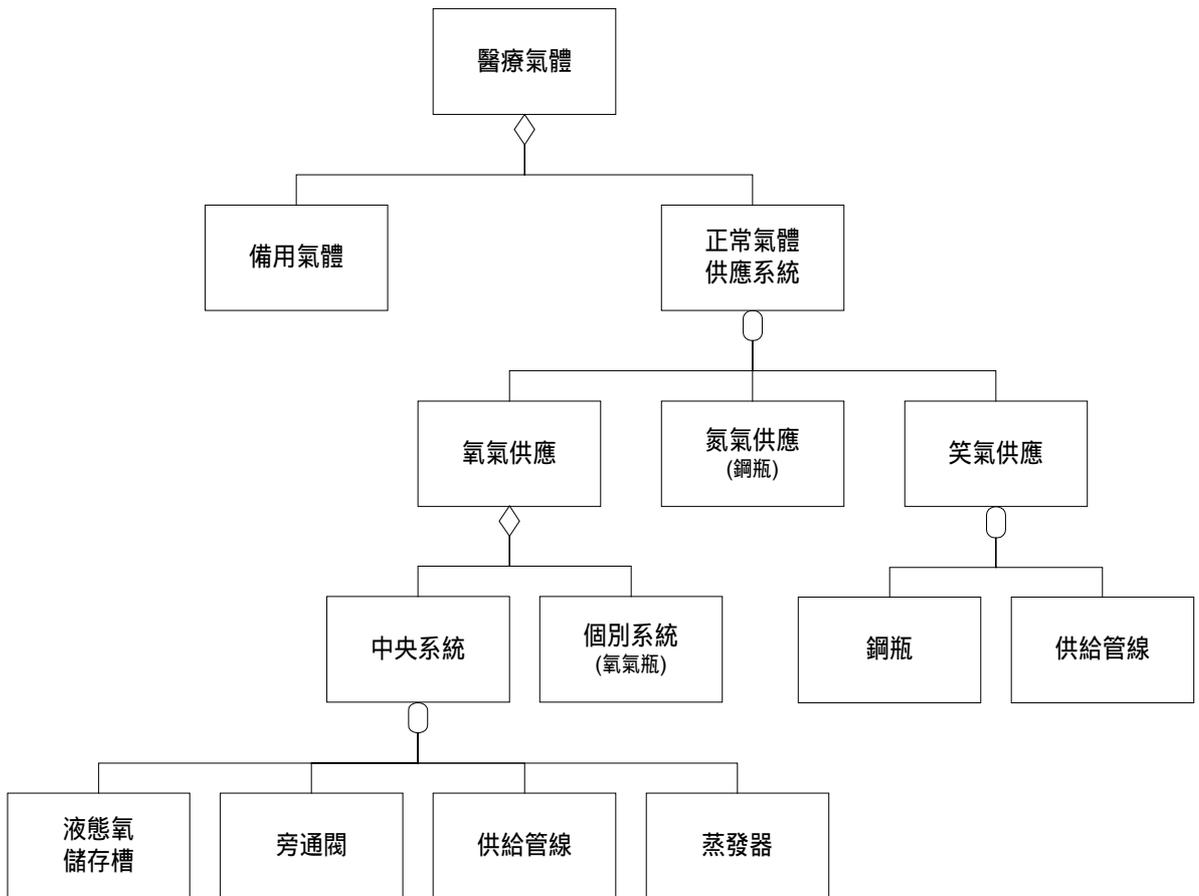


圖4-9 成大醫院醫療氣體關係圖

○系統下所有元素需正常  
 ◇系統下至少有一元素需正常

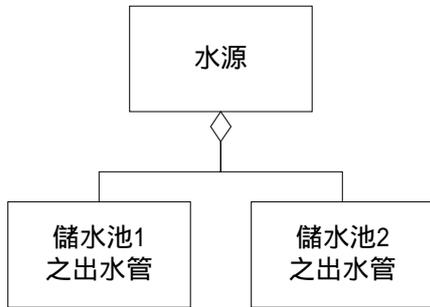


圖4-10 成大醫院水源系統關係圖

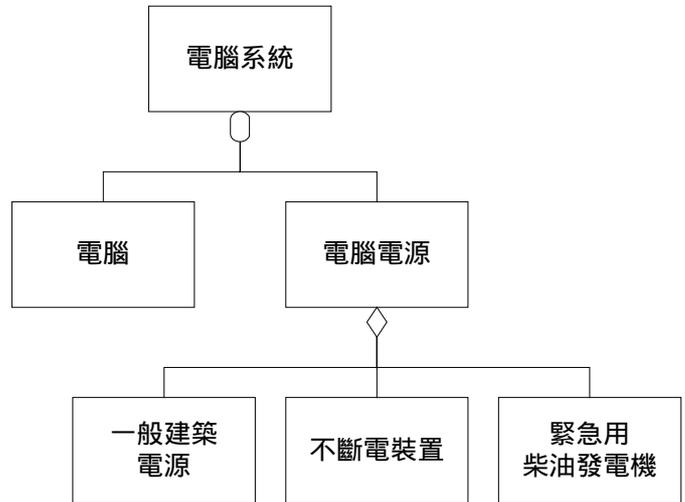


圖4-11 成大醫院電腦系統關係圖

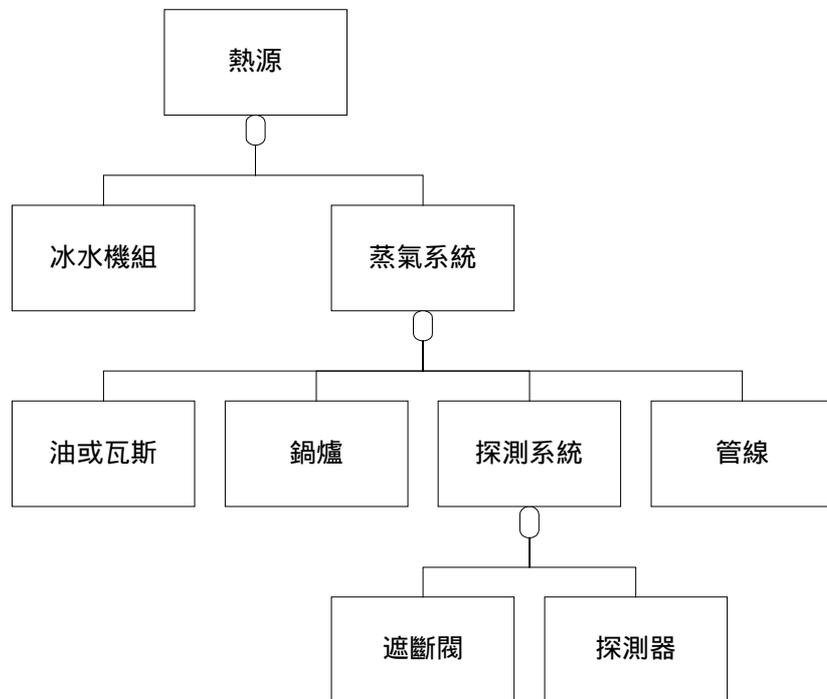


圖4-12 成大醫院熱源系統關係圖

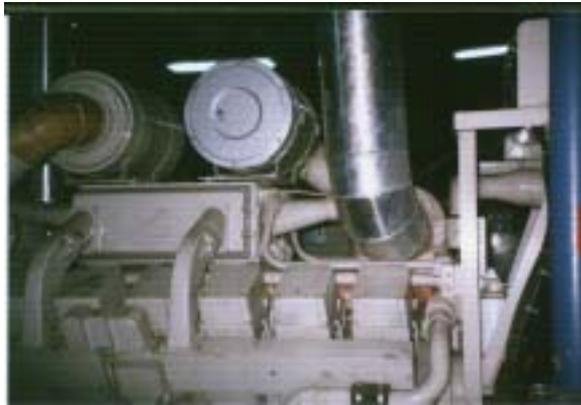


圖 5-1 緊急發電機



圖 5-2 發電機底部止震器與防振裝置



圖 5-3 變壓器



圖 5-4 變壓器底部錨錠



圖 5-5 配電盤內部



圖 5-6 控制箱內部



圖 5-7 配電箱箱體組合



圖 5-8 配電箱底部錨錠



圖 5-9 發電機之蓄電池



圖 5-10 配電箱內蓄電池

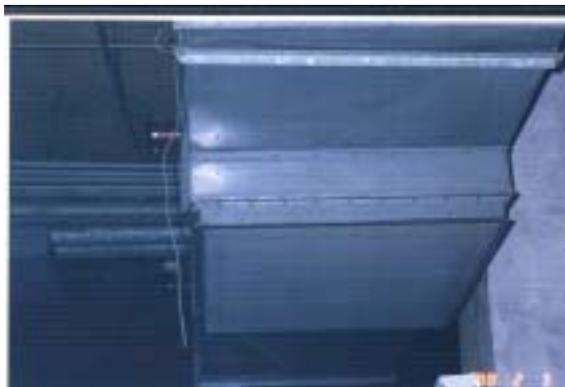


圖 5-11 發電機房內送風機



圖 5-12 幫浦放置於基座



圖 5-13 幫浦放置於基座



圖 5-14 消防幫浦放置於基座



圖 5-15 鍋爐



圖 5-16 鍋爐放置於基座



圖 5-17 離心式冰水主機



圖 5-18 冰水主機錨錠



圖 5-19 冷卻水塔及其隔音牆



圖 5-20 冷卻塔之螺旋槳風扇



圖 5-21 AHU



圖 5-22 箱型冷氣機底部防振墊



圖 5-23 空調用落地式送風機



圖 5-24 送風機之防振裝置錨錠

## 第五章 國內醫院重要設備抗震能力評估

本章以台南成大教學醫院為案例，根據其供電、供水、空調、通訊系統以及其他重要設備做抗震能力評估。評估這些重要設備之目的，在於分析它們受到結構體之設計地震發生時，固定裝置是否具備足夠強度以抵抗地震力，如此則能事先瞭解地震後正常運作之可能性。

為了瞭解現今國內其他重要建築設備對地震力處理技術，本研究亦曾經訪問一些接近完工之醫院，如嘉義慈濟醫院、台北馬偕醫院等，及已運作之醫院如台北榮總，以及漢達電機。訪問結果顯示在現階段，這些單位如同成大醫院一般，對設備物之要求仍僅停留在以防止機器振動傳入樓版的階段，而未考慮抗震設計或設置止震器。故本章將以國內目前規範求出各設備設計地震力，就成大醫院內依醫院供電、供水及空調系統檢討抗震能力。其它系統由於資料來源不足，故未予以分析。所用國內規範之公式如下：

$$V = Z I C_p W$$

式中台南地區  $Z$  為 0.23，因醫院為重要建築故  $I$  為 1.5， $C_p$  則取 0.75。

研究過程中以目視觀察設備與結構體之固定方式及狀況，以判斷目前的安裝現況。調查中發現醫院內設有防振彈簧之機器，所設防振設施僅為隔絕設備振動傳入樓版而置，設施本身並未加設鋼套限制彈簧水平位移量，所以並非抵抗地震型式。故在計算設計地震力時，若引用國外規範，則應考慮設備共振放大係數。為統一計算標準，本章未將此係數列入計算式內。本文內所謂“防振裝置”，是指隔絕設備振動傳入樓版之裝置；所謂“止震器”之功能是在地震時限制設備位移量或可消能之裝置，此兩名詞恐有混淆，故先予以說明。

### 5-1 供電系統

此系統調查項目有發電機、變壓器、配電盤、控制盤、蓄電池及送風機，

除了變壓器設置地點分散在 B1F、B2F、5F 與 RF 之外，其餘全放置在 B1F。此供電系統為雙回路受電系統，供電方式屬負載中心配電系統，系統規劃分為機電中心、教學大樓、臨床基礎醫學大樓、公共行政及中央供應部門、醫護大樓、病房大樓六部分，合計有 8 個變電站及 6 部輸出容量共 6000kw 的柴油引擎緊急發電機（見圖 5-1）。其中一部發電機供開刀房與加護病房專用，僅斷電 12 秒即可供緊急用電。發電機頂部並無固定，底部以螺栓固定於鋼梁，鋼梁則直接以防振裝置放置在基座上並未固定；由於發電機運轉時會上下左右晃動，故鋼梁四個角落分別設止震器以 4 根螺栓錨錠於基座（見圖 5-2）設計地震力為 1851kg（見表 5-1）。

變壓器放置於變電箱之內屬液冷式系統（見圖 5-3），輸入輸出電壓分別為 220V 與 24V，共有 13 只；設備頂部固定在未錨錠於結構體之鋼梁上，底部則固定在錨錠於基座之鋼梁，此鋼梁左右兩側四隻滑輪腳各自留設有兩個螺栓孔，但施工時卻僅固定一只螺栓（見圖 5-4）。設計地震力為 370kg（見表 5-1）。

配電盤與控制盤分別設置於配電箱與控制箱內（見圖 5-5、圖 5-6）提供供電及空調系統使用，箱內為組合式鋼架，箱體並排連接但頂部未固定（圖 5-7），底部則以四根螺栓錨錠於基座（見圖 5-8），至於位於高架地板上之控制盤僅少數固定在樓版上。由於無法得知配電盤與控制盤重量資料，故並未計算地震力。

蓄電池組皆並排置於架上，並未裝設防掉落裝置也未做固定措施（見圖 5-9、圖 5-10）。送風機為懸吊式與風管相接（見圖 5-11），主體以防振吊架支撐，吊架頂部以螺栓錨錠。

由以上敘述可知供電系統除了發電機之外皆無止震器裝置，而發電機之所以設置止震器的原因，是為了限制設備本身運轉時的振動量，並非考慮地震作用而設。整體而言，除了蓄電池完全未固定之外，其他設備皆錨錠於基座上，大致地震時應無破壞之虞。但變壓器體型瘦高，而且底座鋼梁輪腳實際錨錠螺栓數量僅為設計值之一半，恐怕強震來襲會移動或傾覆現象產生。

## 5-2 供水系統

供水系統有冷水系統、雜用水系統、熱水系統、蒸汽系統、純水系統、冰熱飲水系統。儲水槽容量為 3000 立方米，供冷水與雜用水使用，因儲水槽為 RC 構造，中間用 RC 隔版，故其構造可視為結構體一部份所以在此不予以檢討。供水區劃分成高樓（病房大樓、基礎醫學研究大樓）與低樓（公共行政及中央供應部門、醫護大樓、基礎醫學研究大樓、機電中心、教學大樓）兩部分；給水方式為幫浦直接加壓給水，故無屋頂水槽。根據以上分析，本節只檢討幫浦項目的耐震狀態。

本醫院採離心式立軸幫浦，設於地下二樓，分高揚程及低揚程兩類，應用在冷水配管工程、消防火警泡沫滅火系統、生飲水系統以及純水工程。每座幫浦皆以四個防振裝置支撐在基座上，但未固定（見圖 5-12、5-13-5-14）；因此地震時可能會移動或在管道設備接頭部分產生破損。

## 5-3 空調系統

醫院空調是依機械與風管性能、使用時間不同與室內環境要求而區劃。空調方式在醫院區採中央空調送風系統，醫學院區則採各層獨立空調箱送風系統。其中手術室、加護病房為再熱方式，電腦房及變電室採用箱型冷氣機併用風管方式。病房區與建築外周區為 FCU 併用風管方式，內周區負荷變化小區域為定風量風管方式，至於公共空間及走廊部分則用採變風量方式。系統特色為清淨度高且無塵無菌（開刀房、產房、早產兒加護病房）、良好溫濕度控制（公共區域、病房區）、特殊通風與排氣系統（實驗室）、室內正負壓控制（手術室、隔離病房、動物區）與噪音振動防制。其中室內正負壓控制之目的，在於防止室內病菌四處擴散。空調機房、冰水主機房與發電機室牆面均噴一吋吸音棉，並於空調箱出風口設消音箱、消音彎頭以消音。為了防振，機械設備底座裝設防振墊或防振裝置，冰水管設防振吊架，而 5F 空調箱與送風機機房則設有浮式地板。以下就鍋爐、

冰水主機、冷卻水塔、空調箱與送風機逐項檢討。

鍋爐設置在 B1F, 共計 3 套, 為 700BHP 鍋爐馬力的全自動臥式型爐筒 (見圖 5-15) 煙管式蒸汽鍋爐, 採加壓方式燃燒三煙路設計, 含波形爐筒濕式煙箱, 具全自動化控制及安全附屬設備。頂部無固定, 底部固定於鋼梁, 但鋼梁直接放置在基座上並無任何防振裝置或錨錠螺栓 (見圖 5-16), 運轉時設計地震力為 7374.4kg (見表 5-3)。

離心式冰水主機放置在 B2F (見圖 5-17), 一台為 750RT 雙冷凝式, 其他三台為 1600RT, 合計 4 台。頂部無固定, 底部以四根螺栓固定於基座, 底部與基座之間有防振墊 (見圖 5-18); 750RT 的設計地震力為 4782kg, 1600RT 為 11077kg (見表 5-3)。

冷卻水塔設置在頂樓以 FRP 楞板圍起並設隔音牆 (見圖 5-19), 由六座螺旋槳風扇組成 (見圖 5-20) 其中三部提供 1600RT 離心式冰水主機冷卻用水, 另外三部則提供 750RT 冰水主機、箱型冷氣機與冷凍庫冷卻用水。底部錨錠於基座並設有 178 個防振裝置, 不含水之塔體運轉時設計地震力為 68825kg (見表 5-3), 長向設計抗風力為 28620kg: 由於裝置載重設計水平力只考慮風力, 側向抵抗力可能不足。

空調箱分為 FCU、AHU 與箱型冷氣機三類, 其中 FCU 自 1F 至 12F 皆有設置, AHU 放置在 B2F、4F 以及 5F (見圖 5-21), 箱型冷氣機則設置在變電室、病歷室與特殊室。FCU 分為落地式與懸吊式兩種, 設計地震力之範圍在懸吊式為 3.2kg 至 10.8kg, 在落地式為 4.1kg 至 9.9kg。AHU 內部有送風機, 箱體並無固定, 送風機底部防振裝置以螺栓錨錠; 箱型冷氣機頂部與底座均無固定, 但底座設有防振墊 (見圖 5-22), 設計地震力為 56.2kg、78.4kg、115.6kg 與 134kg (見表 5-3)。

送風機設置在 5F 以落地式為主 (見圖 5-23), 底座設有四個防振裝置分別以 2 根螺栓錨錠於基座 (見圖 5-24), 設計地震力為 45.3kg 至 855.6kg。由以上分析可知, 除了鍋爐與箱型冷氣機無固定之外, 其他底座皆錨錠於基座上。

冷卻水塔風力檢討值僅為地震力 0.42 倍左右，支承強度可能不足。置於 5F 之落地式送風機因設計加速度峰值已達 1.59g[27]，故防振裝置水平抵抗地震能力顯然不足，因此這四者地震時皆可能移動、傾覆、設備與管道接頭脫離或破損。此外，由於無外殼彈簧式經試驗證明已發現在地震時很容易發生扭曲彎折，以及會有彈簧與頂部分離的破壞行為，因此這些設備可之極易在地震中受損。國內有些醫院採用在手術室上方，即無菌天花板內設置送風機的作法，會造成維修不易的問題，亦可能會使地震後復原工作增加困難度。

#### 5-4 小結

綜合以上論述可知，除了發電機設置止震器的原因，是為了限制設備本身運轉時振動量之外，其他皆完全未考慮地震的影響，如此在強震來襲時，所造成之破壞應可以預見；有鑑於此，設計者應要求設備廠商送審時不僅說明型號、功能、設備本身細部及數量等，還應檢討地震力作用下錨錠螺栓抗拉與抗剪強度、混凝土基座強度以及防振裝置水平剛度，並且將錨錠部分施工細部大樣含在送審資料中一併審查。由於裝有隔振彈簧的機械設備易於地震中受到過大之振動，因此建議應該都要設置某種型式的防震措施，如止震器之類者，以提高它們的抗震力。若有採用置於屋頂的單機式冷卻水塔及膨脹水箱時，它們的耐震能力亦應該要注意。另外在設計各項儲水設施時，要避免將之置於電梯機房上方，以免由於儲水設施的破壞，造成電梯無法使用的二次災害。

關於各種設備耐震設計及施工大樣範例，可在文末參考文獻內找到各國規範及建議做法[8、9、14-26]，以下為相關文獻內容大綱之簡介：

文獻[8]：介紹電氣設備（變壓器、蓄電池、高壓電瓷、電容器、電抗器、發電機、電站鍋爐...）郵電通信設備（載波通信、交換機...）給排水設施、架空管線、直立式設備、臥式設備、中小型冶金工設備、機械工設備、精密儀器儀表以及建築設備（水罐、鍋爐、冷卻塔、空調機、高柔設備）等設備之抗震加固措施。

- 文獻[9]：移動型設備固定方式之設計。
- 文獻[14]：新修正建築技術規則建築構造編耐震設計條文及規範說明。
- 文獻[15]：日本建築設備、水塔、建築非結構物、供水系統、排水系統、電腦房等設備之各種設計地震力計算。
- 文獻[16]：建築設備（電力、通信、給水、排水、空調、避難防災、監視器及其它）之耐震安全設計與機能確保，免震構造與制振構造設計，錨錠螺栓與基座混凝土強度建議作法……。
- 文獻[17]：紐西蘭設計地震力計算、錨錠與抗震加固設計。
- 文獻[18]：加拿大設計地震力計算與懸吊式、未固定設備之抗震加固設計。
- 文獻[23]：懸吊式設備與非結構體（室內裝修部分）之加固設計。
- 文獻[24]：設計地震力、容許應力（鋼材、混凝土、焊接部分、強力螺栓、接合部與其它）之規定；錨錠螺栓、基礎、頂部支撐材與制振器設計；配管耐震措施以及建築設備耐震施工設計案例（內容包括水槽、鍋爐、冷卻塔、空調機、自用發電設備、蓄電池、配電盤、受變電設備、廚具等）。
- 文獻[26]：各種制振器與止震器之設計案例與抗震加固方式。

表 5-1 成大醫院供電系統重要設備固定狀況

設備名稱		發電機	變壓器	配電盤	控制盤	蓄電池	送風機
設置樓層		B1F	B2F、B1F 5F、RF	B1F	B1F	B1F	B1F
設備類型		柴油引擎	液冷式	鐵櫃式	鐵櫃式	架台式	懸吊式
設備重量(kg)		8567	1200	-----	-----	-----	55~990
設備數量		6 部	13 只	一般:16 只 空調:90 只	13 只	-----	-----
固定 狀況	頂部	無	錨錠於鋼梁	無	無	無	懸架錨錠
	底部	鋼梁放置 於基座上	錨錠於鋼梁 鋼梁錨錠基座	鋼架錨錠 基座	鋼架錨 錠基座	放置於 架台	無
防振 裝置  彈簧	數量(個)	8	無	無	無	無	4
	位移 (in)	-----	-----	-----	-----	-----	0.75
止震 裝置	數量(個)	4	無	無	無	無	無
	容許位 移量(in)	-----	無	無	無	無	無
螺栓	數目(個)	16	8	4	4	-----	8
	T <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	V <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----
設計地震力(kg)		2221	310	-----	-----	-----	14 ~ 257
備 註							

表 5-2 成大醫院幫浦固定狀況

設備類別		冷水配管	消防火警 泡沫滅火	生飲水	純水
設置樓層		B2F	B2F	B2F	B2F
設備重量(kg)		2277-4704	1343-3442	9103	-----
固定 狀況	頂部	無	無	無	無
	底部	無	無	無	無
防振 裝置  彈簧	數量(個)	4	4	4	4
	位移 (in)	-----	-----	-----	-----
止震 裝置	數量(個)	無	無	無	無
	位移 (in)	無	無	無	無
螺栓	數目(個)	無	無	無	無
	T <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----
	V <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----
設計地震力(kg)		589-1217	344-890	2356	-----
備 註		部分案例 分析	部分案例 分析	部分案例 分析	部分案例 分析

表 5-3 成大醫院空調系統重要設備固定狀況

設備名稱		鍋爐	冰水主機	冷卻 水塔	空調箱			送風機
					FCU	AHU	箱型冷 氣 機	
設置樓層		B1F	B2F	RF	1~12F	B2F 5F	變電站 病歷室 特殊室	5F
設備類型		全自動臥 式型爐筒 煙管式蒸 氣 鍋爐	離心式	螺旋槳式	隱藏式 落地式	-----	-----	落地式 懸吊式
設備重量(kg)		34200	750RT :22133 1600RT:51266	319190	15~50 19~46	-----	260,363 535,620	210~ 3960
設備數量		3 部	4 台	一組 6 座組成	300 ~ 400 台	92 台	30 台	425 部 含機電
固定 狀況	頂部錨錠	無	無	無	懸吊式 錨錠	無	無	懸吊式 錨錠
	底部錨錠	鋼樑放置 於 基 座	錨錠於基座	錨錠於 基座	落地式 錨錠	錨錠於 基座	放置於 基座	落地式 錨錠
防振 裝置	數量(個)	無	防振墊	178 根軟木構架	無	4 個彈簧	防振墊	4 個彈簧
	容許位 移量(in)	-----	-----	-----	-----	BF:0.35 5F:0.75	-----	懸:0.75 落: 3.5
止震 裝置	數量(個)	無	無	無	無	無	無	無
	位移(in)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
螺栓	數目(個)	無	4	-----	-----	無	4	8
	Tall (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1540~ 5060
	Vall (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1320~ 6820
設計地震力(kg)		8849	5738 13291	82590	3.8~ 13.5 4.9~ 11.9	-----	67 94 139 161	54 ~ 1027
備 註				抵抗風力: 28620kg				



## 第五章 國內醫院重要設備抗震能力評估

本章以台南成大教學醫院為案例，根據其供電、供水、空調、通訊系統以及其他重要設備做抗震能力評估。評估這些重要設備之目的，在於分析它們受到結構體之設計地震發生時，固定裝置是否具備足夠強度以抵抗地震力，如此則能事先瞭解地震後正常運作之可能性。

為了瞭解現今國內其他重要建築設備對地震力處理技術，本研究亦曾經訪問一些接近完工之醫院，如嘉義慈濟醫院、台北馬偕醫院等，及已運作之醫院如台北榮總，以及漢達電機。訪問結果顯示在現階段，這些單位如同成大醫院一般，對設備物之要求仍僅停留在以防止機器振動傳入樓版的階段，而未考慮抗震設計或設置止震器。故本章將以國內目前規範求出各設備設計地震力，就成大醫院內依醫院供電、供水及空調系統檢討抗震能力。其它系統由於資料來源不足，故未予以分析。所用國內規範之公式如下：

$$V = Z I C_p W$$

式中台南地區  $Z$  為 0.23，因醫院為重要建築故  $I$  為 1.5， $C_p$  則取 0.75。

研究過程中以目視觀察設備與結構體之固定方式及狀況，以判斷目前的安裝現況。調查中發現醫院內設有防振彈簧之機器，所設防振設施僅為隔絕設備振動傳入樓版而置，設施本身並未加設鋼套限制彈簧水平位移量，所以並非抵抗地震型式。故在計算設計地震力時，若引用國外規範，則應考慮設備共振放大係數。為統一計算標準，本章未將此係數列入計算式內。本文內所謂“防振裝置”，是指隔絕設備振動傳入樓版之裝置；所謂“止震器”之功能是在地震時限制設備位移量或可消能之裝置，此兩名詞恐有混淆，故先予以說明。

### 5-1 供電系統

此系統調查項目有發電機、變壓器、配電盤、控制盤、蓄電池及送風機，

除了變壓器設置地點分散在 B1F、B2F、5F 與 RF 之外，其餘全放置在 B1F。此供電系統為雙回路受電系統，供電方式屬負載中心配電系統，系統規劃分為機電中心、教學大樓、臨床基礎醫學大樓、公共行政及中央供應部門、醫護大樓、病房大樓六部分，合計有 8 個變電站及 6 部輸出容量共 6000kw 的柴油引擎緊急發電機（見圖 5-1）。其中一部發電機供開刀房與加護病房專用，僅斷電 12 秒即可供緊急用電。發電機頂部並無固定，底部以螺栓固定於鋼梁，鋼梁則直接以防振裝置放置在基座上並未固定；由於發電機運轉時會上下左右晃動，故鋼梁四個角落分別設止震器以 4 根螺栓錨錠於基座（見圖 5-2）設計地震力為 1851kg（見表 5-1）。

變壓器放置於變電箱之內屬液冷式系統（見圖 5-3），輸入輸出電壓分別為 220V 與 24V，共有 13 只；設備頂部固定在未錨錠於結構體之鋼梁上，底部則固定在錨錠於基座之鋼梁，此鋼梁左右兩側四隻滑輪腳各自留設有兩個螺栓孔，但施工時卻僅固定一只螺栓（見圖 5-4）。設計地震力為 370kg（見表 5-1）。

配電盤與控制盤分別設置於配電箱與控制箱內（見圖 5-5、圖 5-6）提供供電及空調系統使用，箱內為組合式鋼架，箱體並排連接但頂部未固定（圖 5-7），底部則以四根螺栓錨錠於基座（見圖 5-8），至於位於高架地板上之控制盤僅少數固定在樓版上。由於無法得知配電盤與控制盤重量資料，故並未計算地震力。

蓄電池組皆並排置於架上，並未裝設防掉落裝置也未做固定措施（見圖 5-9、圖 5-10）。送風機為懸吊式與風管相接（見圖 5-11），主體以防振吊架支撐，吊架頂部以螺栓錨錠。

由以上敘述可知供電系統除了發電機之外皆無止震器裝置，而發電機之所以設置止震器的原因，是為了限制設備本身運轉時的振動量，並非考慮地震作用而設。整體而言，除了蓄電池完全未固定之外，其他設備皆錨錠於基座上，大致地震時應無破壞之虞。但變壓器體型瘦高，而且底座鋼梁輪腳實際錨錠螺栓數量僅為設計值之一半，恐怕強震來襲會移動或傾覆現象產生。

## 5-2 供水系統

供水系統有冷水系統、雜用水系統、熱水系統、蒸汽系統、純水系統、冰熱飲水系統。儲水槽容量為 3000 立方米，供冷水與雜用水使用，因儲水槽為 RC 構造，中間用 RC 隔版，故其構造可視為結構體一部份所以在此不予以檢討。供水區劃分成高樓（病房大樓、基礎醫學研究大樓）與低樓（公共行政及中央供應部門、醫護大樓、基礎醫學研究大樓、機電中心、教學大樓）兩部分；給水方式為幫浦直接加壓給水，故無屋頂水槽。根據以上分析，本節只檢討幫浦項目的耐震狀態。

本醫院採離心式立軸幫浦，設於地下二樓，分高揚程及低揚程兩類，應用在冷水配管工程、消防火警泡沫滅火系統、生飲水系統以及純水工程。每座幫浦皆以四個防振裝置支撐在基座上，但未固定（見圖 5-12、5-13-5-14）；因此地震時可能會移動或在管道設備接頭部分產生破損。

## 5-3 空調系統

醫院空調是依機械與風管性能、使用時間不同與室內環境要求而區劃。空調方式在醫院區採中央空調送風系統，醫學院區則採各層獨立空調箱送風系統。其中手術室、加護病房為再熱方式，電腦房及變電室採用箱型冷氣機併用風管方式。病房區與建築外周區為 FCU 併用風管方式，內周區負荷變化小區域為定風量風管方式，至於公共空間及走廊部分則用採變風量方式。系統特色為清淨度高且無塵無菌（開刀房、產房、早產兒加護病房）、良好溫濕度控制（公共區域、病房區）、特殊通風與排氣系統（實驗室）、室內正負壓控制（手術室、隔離病房、動物區）與噪音振動防制。其中室內正負壓控制之目的，在於防止室內病菌四處擴散。空調機房、冰水主機房與發電機室牆面均噴一吋吸音棉，並於空調箱出風口設消音箱、消音彎頭以消音。為了防振，機械設備底座裝設防振墊或防振裝置，冰水管設防振吊架，而 5F 空調箱與送風機機房則設有浮式地板。以下就鍋爐、

冰水主機、冷卻水塔、空調箱與送風機逐項檢討。

鍋爐設置在 B1F, 共計 3 套, 為 700BHP 鍋爐馬力的全自動臥式型爐筒 (見圖 5-15) 煙管式蒸汽鍋爐, 採加壓方式燃燒三煙路設計, 含波形爐筒濕式煙箱, 具全自動化控制及安全附屬設備。頂部無固定, 底部固定於鋼梁, 但鋼梁直接放置在基座上並無任何防振裝置或錨錠螺栓 (見圖 5-16), 運轉時設計地震力為 7374.4kg (見表 5-3)。

離心式冰水主機放置在 B2F (見圖 5-17), 一台為 750RT 雙冷凝式, 其他三台為 1600RT, 合計 4 台。頂部無固定, 底部以四根螺栓固定於基座, 底部與基座之間有防振墊 (見圖 5-18); 750RT 的設計地震力為 4782kg, 1600RT 為 11077kg (見表 5-3)。

冷卻水塔設置在頂樓以 FRP 楞板圍起並設隔音牆 (見圖 5-19), 由六座螺旋槳風扇組成 (見圖 5-20) 其中三部提供 1600RT 離心式冰水主機冷卻用水, 另外三部則提供 750RT 冰水主機、箱型冷氣機與冷凍庫冷卻用水。底部錨錠於基座並設有 178 個防振裝置, 不含水之塔體運轉時設計地震力為 68825kg (見表 5-3), 長向設計抗風力為 28620kg: 由於裝置載重設計水平力只考慮風力, 側向抵抗力可能不足。

空調箱分為 FCU、AHU 與箱型冷氣機三類, 其中 FCU 自 1F 至 12F 皆有設置, AHU 放置在 B2F、4F 以及 5F (見圖 5-21), 箱型冷氣機則設置在變電室、病歷室與特殊室。FCU 分為落地式與懸吊式兩種, 設計地震力之範圍在懸吊式為 3.2kg 至 10.8kg, 在落地式為 4.1kg 至 9.9kg。AHU 內部有送風機, 箱體並無固定, 送風機底部防振裝置以螺栓錨錠; 箱型冷氣機頂部與底座均無固定, 但底座設有防振墊 (見圖 5-22), 設計地震力為 56.2kg、78.4kg、115.6kg 與 134kg (見表 5-3)。

送風機設置在 5F 以落地式為主 (見圖 5-23), 底座設有四個防振裝置分別以 2 根螺栓錨錠於基座 (見圖 5-24), 設計地震力為 45.3kg 至 855.6kg。由以上分析可知, 除了鍋爐與箱型冷氣機無固定之外, 其他底座皆錨錠於基座上。

冷卻水塔風力檢討值僅為地震力 0.42 倍左右，支承強度可能不足。置於 5F 之落地式送風機因設計加速度峰值已達 1.59g[27]，故防振裝置水平抵抗地震能力顯然不足，因此這四者地震時皆可能移動、傾覆、設備與管道接頭脫離或破損。此外，由於無外殼彈簧式經試驗證明已發現在地震時很容易發生扭曲彎折，以及會有彈簧與頂部分離的破壞行為，因此這些設備可之極易在地震中受損。國內有些醫院採用在手術室上方，即無菌天花板內設置送風機的作法，會造成維修不易的問題，亦可能會使地震後復原工作增加困難度。

#### 5-4 小結

綜合以上論述可知，除了發電機設置止震器的原因，是為了限制設備本身運轉時振動量之外，其他皆完全未考慮地震的影響，如此在強震來襲時，所造成之破壞應可以預見；有鑑於此，設計者應要求設備廠商送審時不僅說明型號、功能、設備本身細部及數量等，還應檢討地震力作用下錨錠螺栓抗拉與抗剪強度、混凝土基座強度以及防振裝置水平剛度，並且將錨錠部分施工細部大樣含在送審資料中一併審查。由於裝有隔振彈簧的機械設備易於地震中受到過大之振動，因此建議應該都要設置某種型式的防震措施，如止震器之類者，以提高它們的抗震力。若有採用置於屋頂的單機式冷卻水塔及膨脹水箱時，它們的耐震能力亦應該要注意。另外在設計各項儲水設施時，要避免將之置於電梯機房上方，以免由於儲水設施的破壞，造成電梯無法使用的二次災害。

關於各種設備耐震設計及施工大樣範例，可在文末參考文獻內找到各國規範及建議做法[8、9、14-26]，以下為相關文獻內容大綱之簡介：

文獻[8]：介紹電氣設備（變壓器、蓄電池、高壓電瓷、電容器、電抗器、發電機、電站鍋爐...）郵電通信設備（載波通信、交換機...）給排水設施、架空管線、直立式設備、臥式設備、中小型冶金工設備、機械工設備、精密儀器儀表以及建築設備（水罐、鍋爐、冷卻塔、空調機、高柔設備）等設備之抗震加固措施。

- 文獻[9]：移動型設備固定方式之設計。
- 文獻[14]：新修正建築技術規則建築構造編耐震設計條文及規範說明。
- 文獻[15]：日本建築設備、水塔、建築非結構物、供水系統、排水系統、電腦房等設備之各種設計地震力計算。
- 文獻[16]：建築設備（電力、通信、給水、排水、空調、避難防災、監視器及其它）之耐震安全設計與機能確保，免震構造與制振構造設計，錨錠螺栓與基座混凝土強度建議作法……。
- 文獻[17]：紐西蘭設計地震力計算、錨錠與抗震加固設計。
- 文獻[18]：加拿大設計地震力計算與懸吊式、未固定設備之抗震加固設計。
- 文獻[23]：懸吊式設備與非結構體（室內裝修部分）之加固設計。
- 文獻[24]：設計地震力、容許應力（鋼材、混凝土、焊接部分、強力螺栓、接合部與其它）之規定；錨錠螺栓、基礎、頂部支撐材與制振器設計；配管耐震措施以及建築設備耐震施工設計案例（內容包括水槽、鍋爐、冷卻塔、空調機、自用發電設備、蓄電池、配電盤、受變電設備、廚具等）。
- 文獻[26]：各種制振器與止震器之設計案例與抗震加固方式。

表 5-1 成大醫院供電系統重要設備固定狀況

設備名稱		發電機	變壓器	配電盤	控制盤	蓄電池	送風機
設置樓層		B1F	B2F、B1F 5F、RF	B1F	B1F	B1F	B1F
設備類型		柴油引擎	液冷式	鐵櫃式	鐵櫃式	架台式	懸吊式
設備重量(kg)		8567	1200	-----	-----	-----	55~990
設備數量		6 部	13 只	一般:16 只 空調:90 只	13 只	-----	-----
固定 狀況	頂部	無	錨錠於鋼梁	無	無	無	懸架錨錠
	底部	鋼梁放置 於基座上	錨錠於鋼梁 鋼梁錨錠基座	鋼架錨錠 基座	鋼架錨 錠基座	放置於 架台	無
防振 裝置 彈簧	數量(個)	8	無	無	無	無	4
	位移 (in)	-----	-----	-----	-----	-----	0.75
止震 裝置	數量(個)	4	無	無	無	無	無
	容許位 移量(in)	-----	無	無	無	無	無
螺栓	數目(個)	16	8	4	4	-----	8
	T <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	V <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----
設計地震力(kg)		2221	310	-----	-----	-----	14 ~ 257
備 註							

表 5-2 成大醫院幫浦固定狀況

設備類別		冷水配管	消防火警 泡沫滅火	生飲水	純水
設置樓層		B2F	B2F	B2F	B2F
設備重量(kg)		2277-4704	1343-3442	9103	-----
固定 狀況	頂部	無	無	無	無
	底部	無	無	無	無
防振 裝置  彈簧	數量(個)	4	4	4	4
	位移 (in)	-----	-----	-----	-----
止震 裝置	數量(個)	無	無	無	無
	位移 (in)	無	無	無	無
螺栓	數目(個)	無	無	無	無
	T <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----
	V <sub>all</sub> (lb)	-----	-----	-----	-----
設計地震力(kg)		589-1217	344-890	2356	-----
備 註		部分案例 分析	部分案例 分析	部分案例 分析	部分案例 分析

表 5-3 成大醫院空調系統重要設備固定狀況

設備名稱		鍋爐	冰水主機	冷卻 水塔	空調箱			送風機
					FCU	AHU	箱型冷 氣 機	
設置樓層		B1F	B2F	RF	1~12F	B2F 5F	變電站 病歷室 特殊室	5F
設備類型		全自動臥 式型爐筒 煙管式蒸 氣 鍋爐	離心式	螺旋槳式	隱藏式 落地式	-----	-----	落地式 懸吊式
設備重量(kg)		34200	750RT :22133 1600RT:51266	319190	15~50 19~46	-----	260,363 535,620	210~ 3960
設備數量		3 部	4 台	一組 6 座組成	300 ~ 400 台	92 台	30 台	425 部 含機電
固定 狀況	頂部錨錠	無	無	無	懸吊式 錨錠	無	無	懸吊式 錨錠
	底部錨錠	鋼樑放置 於 基 座	錨錠於基座	錨錠於 基座	落地式 錨錠	錨錠於 基座	放置於 基座	落地式 錨錠
防振 裝置	數量(個)	無	防振墊	178 根軟木構架	無	4 個彈簧	防振墊	4 個彈簧
	容許位 移量(in)	-----	-----	-----	-----	BF:0.35 5F:0.75	-----	懸:0.75 落: 3.5
止震 裝置	數量(個)	無	無	無	無	無	無	無
	位移(in)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
螺栓	數目(個)	無	4	-----	-----	無	4	8
	Tall (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1540~ 5060
	Vall (lb)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1320~ 6820
設計地震力(kg)		8849	5738 13291	82590	3.8~ 13.5 4.9~ 11.9	-----	67 94 139 161	54 ~ 1027
備 註				抵抗風力: 28620kg				



## 第六章 設備物耐震設計規範之展望

### 6-1 前言

#### 6-1-1 功能設計法簡介

經過美國 Loma Prieta 地震，Northridge 地震以及日本阪神-淡路地震之後，美日兩國之社會大眾及政府，對現行耐震設計規範極為不滿，認為耐震規範不能只照顧結構安全，也須兼顧因非結構材及貴重設備損害對建築物使用功能造成的困擾程度。因此美日以及歐洲的地震工程研究者，決定於 21 世紀開始將現行耐震設計規範，做出重大修改，使之能夠兼顧結構體、非結構體、貴重設備的安全以及建築物使用功能。換句話說，在不同地表加速度作用下，規範應能預測結構體、非結構體、生產線以及設備的損害情況，使建築物可以發揮不同程度的使用功能。這種規範稱之功能設計規範 (Performance Based Design Code)。

歐洲各國對此一趨勢偏向採取彈性的功能設計標準，亦即讓業主充分瞭解結構體、非結構體及設備，未來不同等級地震時可能遭遇的損害度與震後剩餘使用功能，然後由業主自行決定耐震設計標準。

功能設計法是未來耐震設計規範的主流，台灣當然不能例外。一般而言，功能設計法的原則是全球一致的，可是實行細節卻各地區都不一樣。在 1997 年，美國國內第一份功能設計法的應用準則 FEMA 273[28]已正式問世。相信在不久的將來，國內各相關法規都會以類似模式建構，因此本研究特地將 FEMA 273 與設備物相關重點摘要整理出來，以便在訂定國內的設備物耐震規範時作為參考。

另外，日本官方建築物的設計準則[16]中，亦特別針對電力、通訊與聯絡網、給水、排水、空調、防災與避難、監視控制以及其他機能之設備耐震安全性，指出相關的基本事項與耐震設計原則，以提供建築設備欲做好耐震設計之參考。本章之 6-4 節中，一併將其重點摘要譯出。

#### 6-1-2 FEMA 273 之背景

自 1991 年起，美國國家房屋科學中心(National Institute of Building Sciences, NIBS)與聯邦緊急事件處理局 (Federal Emergency Management Agency, FEMA) 共同委託房屋耐震安全委員會 (Building Seismic Safety Council, BSSC) 編訂一本可供全美國各地使用的現存建築物耐震補強手冊。BSSC 會同美國土木工程學會 (ASCE)、科技應用委員會 (Applied Technology Council, ATC) 及其下之各個委員會，以七年的時間，共同編成了 NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings 即編號 FEMA 273 之手冊。其中經過三次使用講習及兩次會員投票，以廣徵各學術及工程單位的意見，最後眾人達成共識，編纂完成 FEMA273 及其解說專刊 FEMA 274。

FEMA 273 主要是為建築師、工程師、建管官員，及設定或使用建築法規者而寫。雖然它本身並非一份法規條文，但在其中所使用的觀念及實務作法，確實是可以被工程界及各界接受，成為下一代法規的雛形。

### 6-1-3 FEMA 273 之主要架構

FEMA 273 最大的特色在於將功能設計法的觀念，落實到設計方法內。它將建築物在地震後的建築耐震性能 (Building Performance) 由低至高分為四級：防止崩塌級(Collapse Prevention)、人命安全級(Life Safety)、尚能使用級(Immediate Occupancy)、及正常運作級(Operational)。至於在多大的地震力下要有哪種耐震性能，則將其選擇權交給業主及工程師去決定，而非由 FEMA 訂定。為幫助設計者易於決定各地設計地震力大小，FEMA 273 亦建立了全美地震力的資料，其中引用或然率的觀念，將全美各地區在 50 年內會發生地震的大小，依照 10%及 2%機率(以 10%/50 年及 2%/50 年表示)，繪製成圖以便參照。使用者可依據所希望的建築耐震性能，選出相對應之地震力進行設計。

FEMA 273 設定了一個基本安全標準 (Basic Safety Objective, BSO) 給各建築物，包含了兩個要求：

- a) 在基本安全地震 1 (Basic Safety Earthquake 1, BSE-1) 之下，應達到人命安全級的耐震性能；
- b) 在基本安全地震 2 (Basic Safety Earthquake 2, BSE-2) 之下，應達到防止崩塌級的耐震性能。

表 6-1 為地震力與不同耐震性能級別的關係，其中的 k 與 p 為 FEMA 建議的基本安全標準，是必須要滿足的條件。至於欲選擇更高之耐震能力時，則建議由其他各級耐震性能與地震級別之關係，由使用者依需求自訂。

#### 6-1-4 建築耐震性能分級方式

FEMA 273 對建築耐震性能的分級方式，係將設計地震發生後預期之建築物行為，用文字描述出來。FEMA 273 並將建築耐震性能視為兩類行為之組合：結構物及非結構物的行為。綜合這兩類構造之耐震行為，做為建築耐震性能的認定基準。易言之，FEMA 273 認知到非結構物的耐震能力，也與結構系統一樣，對於建築物使用者具有莫大的重要性。

茲摘要簡述 FEMA273 內對於建築耐震性能中各級耐震性能之定義如下：

##### a) 正常運作級 (Operational)

建築物設計在此等級時，於設計地震下將可繼續居住使用，原有的各項建築物功能也可持續執行不致中斷。建築物的結構系統及非結構物只會遭受到微小傷害，某些不重要的非結構物系統可能會有問題，但不至於影響建築內各項主要的運作功能。

##### b) 尚能使用級 (Immediate Occupancy)

此一等級的建築在設計地震下結構元素只容許很少的破壞產生，非結構物部份只容許少量的損害。在設計地震發生後只要稍加整理，便可繼續居住及使用此建築。由於停電或機件內部零件的損壞，某些非結構物可能需要修理後才能使用。此級設計內不需要備份的設備，或進行設備的耐震檢定 (Seismic

Qualification )

c) 人命安全級 (Life Safety)

地震後建築的結構體及非結構元素會有不少破壞，在經過修理後才可安全使用。修理的經費可能不低。地震中身在這級的建築內時，尚不至對人命安全有威脅。

d) 防止崩塌級 (Collapse Prevention)

本級之建築，除了女兒牆及極重的懸掛物外，完全不考慮非結構物之耐震能力，因此非結構物的破壞會對生命產生極大的威脅。由於結構物不致倒塌，因此可以避免大量的傷亡。

## 6-2 結構體及非結構物行為之分類

### 6-2-1 結構行為分級

FEMA273 將結構行為分為 3 級和 3 段，後者較適合現存建築之補強作業，故在此略去不談。僅介紹其中的 3 級：

**S1：尚能使用級 (Immediate Occupancy)**

垂直構件及抗側力構件必須具有與地震前相差無幾的強度及剛度，即使需要進行修補工程，亦不會妨礙建物之使用。

**S3：人命安全級 (Life Safety)**

雖然震後會有不少破壞，但仍不致崩塌。可容許部份桿件嚴重破壞，但不會因掉落物造成室內或戶外的傷害。少數人可能會受傷，但不會是致命傷害。結構物應該在技術上可以修復。

**S5：防止崩塌級 (Collapse Prevention)**

可能有部份或整體構架即將崩塌，建築已有嚴重變形。少數垂直傳力構架受損，但主要構架仍可使用。可能會由於大量的掉落物，造成對人命安全的威脅。

至於要如何才能夠達到上述文字描繪之行為，FEMA273 則將目前最新的研究成果，以一部份為文字敘述，一部份為數字表示的方式加以訂定。

### 6-2-2 非結構物行為分類

FEMA273 將非結構物行為分為 5 級，其分類原則如下：

#### NA：正常運作級(Operational)

非結構物可以繼續維持建築的既定功能。大部份的非結構物必須都能正常運作（包括燈光、水電、空調、電腦系統），不過少數破壞亦為可期。可能需要有一些緊急備份設備。重要機電設備可能需要通過耐震檢定，方能確保可靠性。

#### NB：尚能使用級(Immediate Occupancy)

只有少數的非結構物破壞產生。只要電力系統供應正常，各項安全疏散設施如：門、樓梯、電梯、緊急照明、火警、消防，均能正常操作；但少數破壞，如玻璃破裂，是可以容許的。機電系統的各項設備只要外界供應尚未斷絕，便應該可以正常運作。少數設備可能會因內部零件故障無法使用。結構體仍應安全，因此使用者不會有安全上的顧慮。

#### NC：人命安全級(Life Safety)

許多設備可能已經受損，但不會掉落或滑動以致對人命安全(無論室內或戶外)有威脅，逃生路徑不會被封死，但可容許少數掉落物。供水、空調、消防系統可能已遭破壞，室內會有淹水問題。可能有人會受傷，但不會有致命的傷害發生。

#### ND：減災級(Hazards Reduced)

許多非結構物會遭破壞，但在公共場所或通道上（有眾人使用的地方）不應該有大體積掉落物，如女兒牆、帷幕牆、天花、儲藏架等之破壞。少數人可能會嚴重受傷，但應避免多數人受傷。

#### NE：未設計級(Not Considered)

不考慮非結構物安全。

FEMA273 內將 6-1-4 節中的建築耐震性能分級制，依據結構體及非結構物分類之狀況，加以定義成：(詳如表 6-2)

正常運作級表示結構體為 S1 而非結構體為 NA；

尚能使用級表示結構體為 S1 而非結構體為 NB；

人命安全級表示結構體為 S3 而非結構體為 NC；

防止崩塌級表示結構體為 S5 而非結構體為 NE。

因此只要決定所要的耐震性能級別後，便可知道該如何進行對結構及非結構之設計標準。由於 FEMA 273 所包含之內容甚廣，本報告於下節中僅列出與研究案相關的設備物耐震強度設計資料。

### 6-3 設備之耐震強度認定

FEMA 273 內將非結構物分成三類：建築元素、機械設備元素、及家具元素。這些非結構物品的耐震行為各不相同，有些較適合以加速度分析其震動行為，某些較適合以位移量分析，有些則需要同時考慮兩者。在 FEMA 273 的第 11 章中，便對於主要的各項非結構物震動特性有所分類。本研究案中所探討的設備類，除了懸吊系統之外，都是屬於較適合以加速度來分析其耐震性能。

關於非結構物的設計方法，FEMA 273 採認了兩種方式：

#### 1) 慣例法 (Prescriptive Procedure)

此法適用於已有其他規範或手冊用以指導某類設備之設計、施工，且具有耐震能力者。此類產品可不需另行計算耐震強度，便可直接採用相關規訂進行設計施工。比如：儲存液體之塔體，便可依照現有的 API 或 AWWA 規範進行設計施工，無須另外計算。

#### 2) 計算法 (Analytical Procedure)

倘若無法經由上法求得合理之設計時，便需採用 FEMA 273 所建議的幾套計算

式，求出設備所需要抵抗的地震力，然後依此進行設計及施工。FEMA 273 採用的主要計算地震力公式為：

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{XS} I_p W_p \left(1 + \frac{2x}{h}\right)}{R_p}$$

其中所考慮的重要因素有：

- a) 共振放大係數 ( $a_p$ ): 考慮設備與樓房產生共振時，設備震動會具有的放大係數。在 FEMA 273 內將  $a_p$  最大值訂為 2.5，最小值訂為 1.0。
- b) 樓高放大係數 ( $1 + \frac{2x}{h}$ ): 考慮位於較高樓層處，會有較大之震動量。x 為距地面樓高，h 為總樓高。因此由公式可知，樓高放大係數在底層為 1.0，位於屋頂時為 3.0，其間各樓層則以線性內差法求出。
- c) 重要係數 ( $I_p$ ): 若為人命安全級則取 1.0，若為尚能使用級則取 1.5。
- d) 折減係數 ( $R_p$ ): 考慮不同固定方式之韌性效果，其值自 1.25 到 6.0。

FEMA 273 在設備物的重要係數中，只規定了人命安全及尚能使用這兩類性能之值，對於正常運作級則未有規定。這是由於 FEMA 273 的制訂委員們認為，若要將設備物保持在正常運作級的耐震性能時，所牽涉的各項設備之複雜性太高，會與各建築物的使用目的有很密切的關係，亦即較適合以個案處理的方式進行，所以不願意在手冊內先預予定語。

## 6- 4 日本官方建築物中之設備耐震設計原則

### 6-4-1 基本事項

(1) 大地震時建築設備耐震安全性的目標訂定如下：

1. 依耐震安全性分為甲類建築物的建築設備，除了需確保大地震之後人命安全與防止二次災害之外，且不必大規模檢修，並能使必要的設備保持正常運作。
2. 依耐震安全性分為乙類建築物的建築設備，必須確保大地震後的人命安全及防

止二次災害。其對象為在甲類未指定之設施。

- (2) 依分類為甲類建築物的建築設備，應設法提高機能的可靠性。倘若發生始料未及的災害，則需考慮倘必要設備機能無法發揮時的替代方案。
- (3) 大地震後仍需維持正常運作的機器設備與配管等，必須考慮其應不易受其他物品的災害波及。
- (4) 檢討生命線(電力、自來水、電話)斷絕時的因應對策。
- (5) 關於免震結構、制振結構建築物及高層建築物，除了本節的規定外，還需依照「免震結構及制振結構」及「高層建築物」之相關規定。

#### 6-4-2 建築設備的耐震設計

- (1) 機器設備與配管應考慮大地震時的水平方向及垂直方向地震力，並且確實固定使其不致移動、翻倒或破損。
- (2) 配管必須容許大地震時結構體的變形及地盤的相對位移而不破壞，並確保其機能。

#### 6-4-3 建築設備的機能確保

##### (1) 供電系統

- 1. 大地震過後，為了確保甲類及乙類的設備機能，需考慮商用電力斷絕時的因應對策。
- 2. 在設置自用發電設備時，其容量、持續運作可能時間及燃料儲備量得依甲類及乙類決定。
- 3. 設置直流電源設備時，其容量及放電時間需依甲類及乙類決定。
- 4. 受變電設備、自用發電設備、直流電源設備、幹線等與電力供應相關之設備，對於大地震後無法預測的災害，要設法提高其可靠性。

##### (2) 供水系統

1. 因應大地震後生命線的斷絕，必須確保配合設施可以發揮機能，維持相當期間的飲用水及雜用水量。
2. 關於水源，應採取多種可能性的儲備措施。
3. 關於飲用水，需採取確保水質的必要措施。
4. 採用可靠性高且能快速復原的給水系統。
5. 為了防止二次災害的發生，採取可確保給水系統耐震性能的必要措施。

### (3) 空調系統

1. 大地震後仍需供熱(暖氣)的房間，要針對各個對象設施，充分檢討其必要性後再決定。
2. 設有大地震後仍需供熱(暖氣)房間的設施，當生命線斷絕時，必須在可預估到復原為止的相當期間內，確保必需的燃料用能量。
3. 在要求甲類耐震安全性的設施內，如果空調設備的重要性較高，在大地震後，為了因應生活管線的斷絕，必須做確保燃料的設備計劃。
4. 用途上，特別是供應重要房間的空調設備所使用的燃料，必須採用在大地震後能立即穩定供給的能源。
5. 空調設備系統得採取確保其耐震性能的必要措施。

### (4) 通訊系統

1. 為了確保大地震後設施活動所必需的資訊蒐集及傳遞等機能，需考慮公共通訊網斷絕時應付混亂之因應對策。
2. 對於通訊・聯絡網，為了因應大地震後無法預測的災害，要設法提高其可靠性。

### (5) 其它

1. 電梯設備必須具有充分的耐震性能，以確保人命安全，並可快速復原。
2. 至於其他的設備，應儘量確保配合其設置目的之耐震性能，並防止二次災害的發生。

## 6- 5 國內設備物耐震工程現況

非結構物的耐震設計在計算上，看起來會比結構物的耐震設計簡單。然而，要做好它們的耐震設計，卻並不是很輕鬆的工作。這是由於至少有以下幾個因數：

- 1) 一般而言某項非結構物的設置，都有它的特定目的（如防火、殘障人士專用等等），因此要再多考慮耐震性能時，必須兼顧是否會因此而妨礙到它原有的使用目的。如：採用懸吊式輕鋼架天花板的主要目的之一，在於可以很快施工及提供各項管道通行的便利性。如果在耐震考量下，必須增加許多斜撐及施工步驟，便可能會影響到它原來的使用目的。所以在進行耐震設計時，便需要多考量新的條件是否會與原目的抵觸，才能得到合理的設計。此一特性經常需要綜合不同專長的專業人士來參與，不是只有某一專業的技師能夠單獨完成。
- 2) 同類非結構物的廠牌繁多，不同廠商可能會有不同的產品設計，而其不同處，便可能會造成耐震性能上很大的差異。因此在選擇每一項非結構物品時，便可能會產生許多糾紛。所以要做好適當的篩選工作，有賴耐震設計者去注意許多小細節的差異性。
- 3) 慣例法的設計原則較適合工程界應用，但國內廠商在這方面的能力，遠不如先進國家。因此在推動設備物耐震設計時，會演變成國內工程界要去收集國際上各種規範或產品協會所提供的耐震作法，並加以研判其合理性，才能在國內使用。此一工作所牽涉之技術層面及經費的廣度及深度都甚大，可能需要政府單位有系統的加以規畫執行，才能有效率的展開設備物耐震工程。

本研究報告係針對醫院設備中各個設備系統的調查整理，也針對各系統內各項設備的耐震能力現況，進行了分析工作。發現國內醫院設備在大地震來襲時，將會嚴重缺乏抗震能力，在災區的各醫院恐怕無法負擔震後救災的工作，而需仰賴遠方醫院的醫療能力補其不足。因此相關單位在進行防災工作時，應當將提昇醫院設備的防震列入優先處理項目。

在研究過程中，作者也發現現行國內耐震規範存在著一項問題：雖然國內耐震規範對於設備物也有相關規定，即或其設計公式並不見得是各國規範中最合理的，但由於設備物的複雜性並非一般從事結構耐震工程設計人員可以單獨完成的，加上完整的設備耐震工程有其經費上巨大的負擔及技術上尚未完全明瞭之處，以致於很少有人會去執行此設備的耐震設計，形成耐震設計上的一個死角。此一現象不只在醫院建築內存在，甚至在許多高科技高污染性工業廠房內，亦有相類似的狀況，以致國內許多建築物雖然結構體可以耐震，但總體而言卻仍是高地震風險的建築。

## 6-6 新訂醫院設備耐震規範草案大綱

### 第一章 通則

#### 1.1 適用範圍

#### 1.2 耐震設計基本原則

### 第二章 耐震建築之規畫

#### 2.1 結構體耐震能力

#### 2.2 非結構體耐震能力

### 第三章 設備抗震系統設計

#### 3.1 基本事項

#### 3.2 電力系統

#### 3.3 通訊系統

#### 3.4 給水系統

#### 3.5 排水系統

#### 3.6 空調系統

#### 3.7 監控系統

#### 3.8 消防系統

#### 3.9 逃生系統

3.10 其他重要系統

第四章 設備抗震力設計

4.1 基本原則

4.2 剛性設備

4.3 柔性設備

4.4 管線設備

4.5 特殊設備

4.6 其他抗震方式

第五章 設備的使用管理

5.1 基本事項

5.2 設備機能之維護

5.3 設備抗震能力之維護

表 6-1 耐震性能與地震級別

	建築耐震性能分級			
	正常運作	尚能使用	人命安全	防止崩塌

設計地震大小	50% / 50 year	a	b	c	d
	20% / 50 year	e	f	g	h
	BSE-1 10% / 50 year	i	j	k	l
	BSE-2 2% / 50 year	m	n	o	p

表 6-2 FEMA-273 建築耐震性能級別中結構行為與非結構物行為之關係

非結構物行為分級	結構行為分級					
	尚能使用 (S-1)	危險控制 範圍者 (S-2)	人命安全 (S-3)	限制安全 範圍者 (S-4)	防止崩塌 (S-5)	未設計者 (S-6)
正常運作 (N-A)	運作正常 1-A*	2-A	不建議	不建議	不建議	不建議
尚能使用 (N-B)	尚能使用	2-B	3-B	不建議	不建議	不建議
人命安全 (N-C)	1-C	2-C	人命安全 3-C	4-C	5-C	6-C
減災 (N-D)	不建議	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
未設計者 (N-E)	不建議	不建議	不建議	4-E	防止崩塌 5-E	不必復原

\* : X-Y 表示結構物為第 X 類，非結構物則屬於第 Y 類

## 參考文獻

1. 姚昭智譯,“北嶺地震中非結構物之破壞狀況簡述”摘錄自 ATC29-1, 台南, 1998
2. 姚昭智譯,“醫院設備在神戶地震中影響”摘錄自”Observations on Hospital Performance in the Great Hanshin – Awaji, ( Kobe ) Earthquake of Jan.17, 1995, OSHPD, USA”, 台南, 1998
3. 阪神大震災被害調查特別委員會,“阪神大震災 設備 關連 被害實態 評價”, 日本平成 7 年.
4. 社團法人日本醫療福祉建築協會,“醫療機關 施設、設備等 耐震度自己 評價 作成調查報告書”, 日本平成 8 年.
5. 姚昭智,“日本神戶地震中非結構物體之破壞資料”, 台南, 1996.
6. 姚昭智,“1998 瑞里地震中非結構體之震害”, 台南, 1998.
7. “醫院診所部門設計規劃”, 吉仁新醫股份有限公司, 1988.
8. 韓精忠,“設備抗震鑑定與加固”, 復文書局, 1996.
9. “Seismic Restraint of Building Components”, NZS 4104, 1994.
10. Porter, K., Johnson, G.S., Zadeh, M.M., Scawthorn, C.R. and Eder, S.J., “Seismic Vulnerability of Equipment in Critical Facilities: Life-Safety and Operational Consequences”, Technical Report NCEER-93-0022, USA, November, 1993
11. 詹肇裕編譯,“圖解建築設備學概論”, 胡氏出版社, 1996.
12. Finley, J., Anderson D., Lok Kwan, S.E., “Report on The Northridge Earthquake Impacts to Hospital Elevators”, Contract No.94-5122, April, 1996.
13. 莊嘉文編著,“建築設備概論”, 詹氏書局, 1990.
14. “新修正建築技術規則建築構造篇耐震設計條文及規範講習會”, 內政部營建署, 1996.
15. Masaya, H., Hatsukazu M., Mitsumasa M., “State-of-The-Art Report of Seismic Design of Building Equipment and Nonstructural Components in Japan”, Building Research Institute Ministry of Construction, March 1992.
16. “官庁施設 總和耐震計畫基準及 同解説”建設大臣官房官庁營繕部監修, 日本平成 8 年.
17. “New Zealand Standard Specification for Seismic Resistance of Engineering Systems in Buildings”, NZS 4219, 1983.
18. PWGSC, “Guideline on Seismic Evaluation and Upgrading of Nonstructural Building Components”, Ottawa, Ontario, Canada, December 1995
19. Structural Engineers Association of California (SEAOC), Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, 1996.
20. International Conference of Building Officials, The Uniform Building Code -

Volume 2,Whittier ,CA,USA,1997.

21. Federal Emergency Management Agency(FEMA) , NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations For New Buildings,1997
22. Federal Emergency Management Agency (FEMA), NEHRP Recommended Pro-visions for Seismic Regulations For New Buildings,1998
23. Structural Engineers Association of Northern California, “Nonstructural Com-ponents Design and Detailing ”,Seminar papers ,1993
24. 蔡江洋譯,“建築設備耐震設計施工指南(1984年版)”,中華民國建築學會,1988.
25. 日本建築中心,“建築設備耐震設計・施工指針(1997年版)”,1997.
26. Robert,J. S., “Noise and Vibration Control in Buildings”,McGraw-Hill,Inc.1984.
27. 邱瑜燕,“送風機、幫浦錨錠螺栓抗震強度設計評估”,醫院維生設備之動力特性識別與抗震安全分析-以嘉南地區醫院為例,成大碩論,1994.
28. FEMA, “NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings ”,FEMA 273,Washington D.C.,USA,1997.
- 29 中央氣象局,地震百問,中央氣象局,台北,1991.
30. 王正一,從日本震災談意外傷害與危機處理,醫學工程,Vol.7,No.3,pp82-94, April 1995
31. Shakal,A.M. et al., CSMIP Strong-Motion Records from the Northridge, California Earthquake of 17 January 1994, Report No. OSMS 94-07, CDMG, Sacramento, CA,USA,1994.
- 32.Stewart, J.P., et al., Preliminary Reports on The Principal Geotechnical Aspects of The January 17, 1994, Northridge Earthquake. EERC Report No. UCB/ EERC 94/08, UC Berkeley, USA,1994.
- 33.Cheu,D.H,"Northridge Earthquake,January 17,1994-The Hospital Response", SSC94-11,Seismic Safety Commission, Sacramento, CA, USA,1994.
- 34.Reitherman, R. "How to Prepare a Hospital for An Earthquake?" Journal of Emergency Medicine,Vol.4, pp 119-131, 1986.
- 35.Meeks, L., Letter to California Hospital Administrators Sacramento, CA, Aug. 16, 1990.
- 36.California Office of Emergency Services and Federal Emergency Management Agency,Hazard Mitigation Opportunities for California: The State Federal Hazard Mitigation Team Report for the Loma Prieta Earthquake. Oct. 1989 ,Sacramento, CA,USA,1990.
- 37.Seismic Safety Commission,A Compendium of Background Reports on the Northridge Earthquake for Executive Order W-78-94, SSC94-08, Sacramento,CA, USA,1994.
- 38.Office of Statewide Health Planning and Development,Report to the Building

- Safety Board on the Performance of Hospital Buildings in the Northridge Earthquake of Jan. 17, 1994, Sacramento, CA, USA,1994.
- 39.McGavin, G. and H. Patrucco,"Survey of Non-Structural Damage to Healthcare Facilities in the January 17, 1994",Earthquake Spectra, EERI,CA,US,1994.
  - 40.Office of Statewide Health Planning and Development,Weekly Damage Report Summary ,Sacramento, CA.USA, March 1994.
  - 41.Degenkolb and Associates,Earthquake Damage Assessment Report January 17, 1994 ,Northridge Earthquake,Various Departments of Veteran Affairs acilities,USA,1994.
  - 42.Murray, J.,Performance of Health Care Facilities During the Northridge Earthquake Damage to Water Lines and Failure of Emergency Generators, June 10, OSHPD, Sacramento, CA,USA,1994.
  - 43.Nisar,A.,et al." Nonstructural Damage Observed During the January 17,1994  $M_w=6.8$  Northridge Earthquake ",Earthquake Spectra,EERI,CA,USA,1994.
  - 44.Lund, Le Val,et al., "Northridge Earthquake Reconnaissance Report, Vol.I ",Supplement C to Vol. II,Earthquake Spectra, EERI, CA,USA, April 1995.