

## 第七章 維生線系統震害

### 7.1 前言

本章震害調查項目包括上下水道、天然氣、電力、電信、輸油管線等維生系統。這次地震規模極大，對於維生系統之衝擊，主要集中於沿台三線公路之市鎮，以及台中都會區、埔里鎮等。損壞形式許多為伴隨樓房、道路破壞而造成之管線、接頭損壞（上下水道、天然氣幹管），部份為耐震性不良造成之直接損壞（淨水廠、污水處理廠、油槽、加油站），以及部份因斷電而失去機能（市內電話、行動電話）者。維生線系統受災情形雖然嚴重，但尚屬可忍受範圍內；唯一的例外是電力系統，台電 345KV 超高壓線路受損 28 條，以及中寮開閉所的嚴重破壞，造成台灣地區歷年來最大規模之斷電事件，除台電本身之直接損失極為慘重外，全國間接之經濟損失更是難以估計。

本章之震害概述及震害原因探討，其內容主要依據施邦築教授所主持之「921 集集大地震維生線震害調查報告」[7.1] 所綜整而成；建議事項則參酌該報告之建議，並以災後復建之需要及地震工程之角度加以補充。

### 7.2 震害概述

#### 7.2.1 上下水道系統

##### 7.2.1.1 上水道系統（自來水）

與民生用水息息相關的自來水系統在地震中毀損嚴重，造成大台中地區全面停水的狀態。自來水公司於災區約有 114 萬用戶，以台中縣市停水用戶數佔最多，斷層線附近之管線系統毀損狀況極為嚴重。表 7.1 及表 7.2 分別為上下水道設施損害統計及自來水停水供水率。本節震害調查主要含淨水廠及管線部份。

表 7.1 上下水道系統設施損害統計表

項目	總數	受損數	未受損數	損害率	備註
淨水廠	55 座	5 座	50 座	9.1%	以台中縣市、南投縣、苗栗縣為主，已調查完成
污水廠	6 座	3 座	3 座	50.0%	

表 7.2 自來水公司停水供水率統計表

區處別	供水地區	用戶數	9 月 28 日 供水率	10 月 4 日 供水率	10 月 15 日 供水率	10 月 28 日 供水率
四區	台中縣市	約 74 萬戶	60.8%	97.8%	98.5%	99.8%
四區	南投縣	約 11 萬戶	54.6%	61.8%	85.5%	99.0%
十一區	彰化縣	約 29 萬戶	93.1%	96.6%	100%	100%

#### 7.2.1.1.1 淨水廠

共有 5 座淨水設施在此次地震中受損，尤以豐原第一淨水廠最為嚴重。淨水廠之毀損部份主要有：

- A. 儲水池之伸縮縫損傷及壁體裂縫引起漏水、儲水池上蓋塌下；
- B. 膠凝池之膠凝板完全受損；
- C. 沉澱池傾斜板破壞、倒塌；
- D. 快速過濾池配管破壞、慢速過濾池集水設施破損；
- E. 構造物銜接配管處之接頭破損。

#### 7.2.1.1.2 管線

給水管線為重要的輸水脈絡，早期管線因多採 PVC 管，故震害造成的影響甚鉅。主要管線毀損有：

- A. 鋼管破損折斷、PVC 管線折斷、拉長、受壓內縮；
- B. 管路大部分接頭脫落，造成管體折斷、扭曲；
- C. 水管橋及橋樑附掛管線因橋台移動，造成伸縮接頭扭曲；
- D. 接用戶給水管破損相當普遍，尤其是止水栓及分水栓等接頭處。

經自來水公司全力搶修，9月底已大致恢復供水。截至10月31日止，僅剩東勢、石岡及部份偏遠地區尚在搶修，餘已全部恢復供水。

### 7.2.1.2 下水道系統

災區之污水下水道並不普及，僅石岡壩水源特定區（東勢鎮、石岡鄉）及中興新村建有下水道系統。主要受損情況為管道之破裂、移位，以及污水處理廠內設備之損壞。破壞之情形如下：

#### 7.2.1.2.1 污水處理廠

災區有6座污水處理廠，由於地震強度過大，導致其中3座毀壞。

#### 7.2.1.2.2 污水下水道管道

目前資料僅止於東勢鎮之部份檢測，污水下水道管道之RRCP（耐酸鹼鋼筋混凝土管）幹管、VCP（瓷化黏土管）支管受損嚴重，更換率須達70%。相關單位正考慮放棄檢測及修復，另以新建方式配合城鎮再造進行全面更新。

### 7.2.2 天然氣系統

中部天然氣公司包括：欣中、欣彰、欣雲、欣林、竹名等五家，其營業區如表7.3。災區之儲氣槽沒有損壞，而天然氣管線則損壞嚴重，但未引起火災等二次災害，實乃不幸中之大幸。各天然氣公司之損壞及修復情形列於表7.4。

表 7.3 天然氣災損範圍表

公司名稱	營業區
欣中	台中市
欣彰	台中縣豐原市、東勢鎮、石岡鄉、新社鄉
欣雲	雲林縣斗六市、斗南鎮、虎尾鎮
欣林	台中縣大里市、霧峰鄉、太平市、烏日鄉、潭子鄉 彰化縣員林鎮 南投縣草屯鎮、中興新村、南投市、埔里鎮
竹名	南投縣鹿谷鄉、竹山鎮、集集鎮、名間鄉

### 7.2.2.1 欣中天然氣公司

台中市由於多處房屋倒塌、道路下陷，造成多處管線斷裂漏氣，所幸並無任何因瓦斯漏氣造成二次災害之事件發生；除管線受損外，儲氣槽並未受損。該公司現有整壓站 25 座，管線計 1,228.7 km，遍佈台中市各大街小巷。震災後總計完成本支管 4,500 餘處、共 79 km 之搶修。

調查過程中，得知欣中天然氣公司於 83 年起引進具地震自動遮斷功能之用戶端微電腦瓦斯表，自 86 年起亦逐年進行 GIS 圖籍資料之建立工作，這對於二次災害之免除及搶修效率之提升，均已證明有直接的增益；其工務部門所擬定「災害防救方案即時修復、緊急供應、設備復舊計畫」，也是該公司得以順利動員、快速修復的原因。這些平日投資與準備的努力，值得其他同業的效法。

### 7.2.2.2 欣彰天然氣公司

欣彰天然氣公司此次地震受災最為嚴重。由於豐原、東勢、石岡、新社、彰化等地區，多處房屋倒塌與道路扭曲變形，造成天然氣管線斷裂漏氣。總計管線受損約 181.8 km，經勘查必須更換之比率為 70%。

表 7.4 各天然氣公司損壞及修復統計表

公司別	管線 總長度 (m)	管線 受損長度 (m)	管線 受損率	用戶數	停供 戶數	停供率
欣中	1,227,763	32,510	2.7%	216,362	15,047	6.7%
欣彰	870,461	181,795	20.9%	68,926	23,304	33.8%
欣雲	173,221	11,549	6.7%	7,130	4,799	67.3%
欣林	861,726	590,873	68.6%	86,979	60,288	69.3%
竹名	95,422	10,800	11.3%	195	57	29.2%

### 7.2.2.3 欣雲天然氣公司

欣雲天然氣公司在地震發生後，立即關閉斗南貯氣槽總氣源，以及各倒塌大樓開關。因受鄰近祥瑞大樓危樓影響，公司被迫暫遷斗南中興路貯氣槽辦公。

#### 7.2.2.4 欣林天然氣公司

欣林天然氣公司此次地震受災亦極為嚴重。其中大里市、員林鎮等地多為大樓傾斜倒塌、路面破損，導致輸氣主幹管漏氣、支管斷裂，以及部份減壓設備損壞；而草屯、中興新村、霧峰、太平、埔里、南投市等地，則因路面隆起或下陷、大樓倒塌、集中住宅沉陷或毀損，造成中油供氣幹管斷裂、欣林公司輸氣主幹管斷裂。

#### 7.2.2.5 竹名天然氣公司

竹名天然氣公司由於所在地竹山鎮電訊及電力中斷，乃遷移至名間鄉赤水倉庫之臨時救災中心。地震造成名竹大橋斷裂，致附掛之 6 吋輸氣鋼管斷裂；此管線為供應竹山、鹿谷、集集之主幹管，斷裂後造成該三鄉鎮斷氣。

### 7.2.3 輸油系統

中油的受損狀況比其他單位算是輕微，僅有儲油槽頂板與加油站損壞較為嚴重。

#### 7.2.3.1 輸油設施

- (1) 鐵砧山礦廠：T-4 凝結油油槽變形；
- (2) 新竹油庫：S-6 油槽外浮頂扭曲變形、S-16 油槽頂板與壁板焊縫開裂；
- (3) 台中油庫：TC-08 柴油槽頂板受震凹凸嚴重、TT-102 汽油槽槽內浮板下沈至油料中。

#### 7.2.3.2 輸油、氣管線

台中西屯至草屯 4 吋與 8 吋天然氣管，受地震擠壓斷裂於烏溪橋南側。

#### 7.2.3.3 加油站

中油在災區所有加油站計 597 站，嚴重受損者有 12 處加油站，損壞形式多為雨棚之柱裂或倒塌。

### 7.2.4 電力系統

台電沿中部山區震央向外輻射之各電廠、變電所、輸電塔線、配電線

路等多處嚴重毀損、倒塌或傾斜，損害相當廣泛。其中 345KV 超高壓線路受損 28 條，以及中寮開閉所的完全損壞，致使輸電系統中之嘉民、龍崎等超高壓變電所與中北部斷聯，是造成中電及南電北送發生癱瘓的直接原因，全台彰化以北地區完全斷電，其結果為台灣地區歷年來最大規模之斷電事件，全國直接及間接經濟損失難以估計。圖 7.1 所示為台電 345KV 超高壓系統與損壞線路示意圖。

#### 7.2.4.1 發電部份

##### 7.2.4.1.1 水力發電部分

- A. 日月潭之水社壩出現數條縱向裂痕，頭社壩之培厚區下陷；日月潭之進水口武界壩，通往 6 至 11 號排洪門之隧道崩塌，另開關場邊坡崩塌，配電線路嚴重損壞；
- B. 德基水壩左岸鞍部有龜裂現象，壩底廊道滲水嚴重；
- C. 大觀電廠 345KV 開關場，中寮一、二路套管及比壓器受損嚴重；
- D. 大甲溪流域之青山、谷關、天輪及馬鞍等分廠 161KV 開關場設備損壞嚴重；天輪超高壓 345KV 斷路器及二組主變壓器受損；
- E. 萬大電廠之 161KV 開關場受損嚴重；
- F. 明潭電廠平壓塔邊坡崩塌嚴重，另鉅工分廠平壓塔及隧道龜裂。

##### 7.2.4.1.2 火力發電部分

- A. 台中火力發電廠：各機組均有主汽輪機或飼水泵驅動汽輪機之安全膜片破裂、爐管破裂、管排及煙道拉裂、背樑變形等不一之損壞；
- B. 深澳火力發電廠：3 號機之主汽輪機安全膜片破裂；
- C. 協和火力發電廠：2 號機之主汽輪機安全膜片破裂。

#### 7.2.4.2 輸變電部份

##### 7.2.4.2.1 345KV 超高壓變電所

- A. 中寮：開閉所所有設備均嚴重損壞，不堪使用；

B. 天輪：整所變電設備嚴重受損。

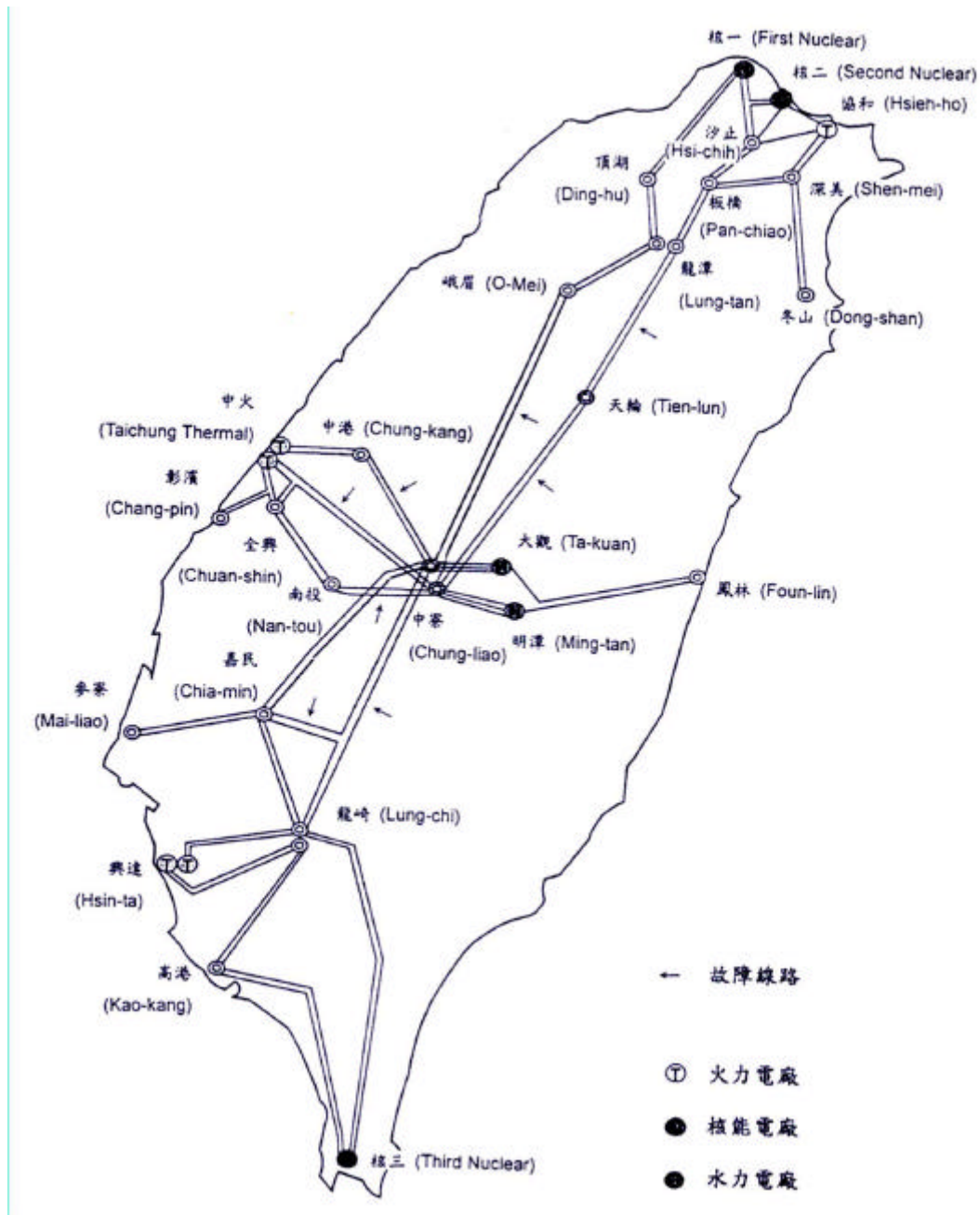


圖 7.1 台電 345KV 超高壓系統與損壞線路示意圖

#### 7.2.4.2 161KV 變電所

- A. 埔里：第二主變壓器電抗器掉落、第三主變壓器漏油、69KV 油斷路器 5 台噴油、11KV 油斷路器 4 台噴油；
- B. 中市：第四主變壓器套管位移、第五主變壓器套管斷裂。

#### 7.2.4.3 輸電線路部份

輸電鐵塔與線路受創嚴重，造成南電無法北送，其損害統計如表 7.5 所示。

表 7.5 輸電鐵塔與線路震災受損一覽表

線路	輸電鐵塔							受損線路
	鐵塔倒塌	鐵塔傾斜	構材變形	地盤龜裂或下陷	塔基位移	其他原因	合計	
345KV	1 座	9 座	55 座	271 座	19 座	0 座	355 座	28 條
161KV	9 座	4 座	9 座	157 座	4 座	14 座	197 座	30 條
69KV	3 座	16 座	3 座	60 座	2 座	0 座	84 座	21 條

#### 7.2.4.4 配電設備部份

- (1) 電桿折斷 668 根、全倒 723 根、傾斜 2,313 根；
- (2) 高壓開關損壞 161 具、地下配電開關類損毀 79 具；
- (3) 電線斷線 4,168 條、接戶線斷線 6,935 對、高壓電纜損毀 16,954 m；
- (4) 桿變損壞 1,022 具、亭置式變壓器毀損 79 具、計費電表損壞 38,183 具、地下配電室浸水 7 處。

#### 7.2.4.5 辦公房舍部份

- (1) 台中供電區營運處：辦公大樓牆壁龜裂、4 棟宿舍傾斜；轄下控制室、廳舍，多處有倒塌或大小不等之損壞；
- (2) 新桃供電區營運處：轄下控制室、廳舍，多處有牆壁龜裂之損壞；

- (3) 南投區處：轄下控制室、廳舍，多處有倒塌或大小不等之損壞；
- (4) 雲林區處古坑服務所及嘉義區處大埔服務所：梁柱結構嚴重受損。

#### 7.2.4.6 其他

南投區處班員死亡 2 人。

### 7.2.5 電信系統

#### 7.2.5.1 中華電信公司

- (1) 市內電話網路中有 51 個中繼站受損，用戶迴路受損計 198,715 戶，公共電話 3,881 部故障；
- (2) 行動電話基地台總數 3,316 台，99 座受損，受影響用戶數 5.88 萬戶；
- (3) 受損房舍、鐵塔須重建者計 5 棟。

#### 7.2.5.2 遠傳電信公司

行動電話基地台總數 2,258 台，124 座受損，受影響用戶數 5.44 萬戶；

#### 7.2.5.3 台灣大哥大電信公司

行動電話基地台總數 2,708 台，59 座受損，受影響用戶數 2.9 萬戶；

#### 7.2.5.4 和信電信公司

行動電話基地台總數 917 台，151 座受損，受影響用戶數 12.76 萬戶；

#### 7.2.5.5 東信電信公司

行動電話基地台總數 404 台，17 座受損，受影響用戶數 0.97 萬戶；

#### 7.2.5.6 東榮電信公司

行動電話基地台總數 741 台，38 座受損，受影響用戶數 0.5 萬戶；

#### 7.2.5.7 泛亞電信公司

行動電話基地台總數 545 台，0 座受損，受影響用戶數 0 萬戶。

## 7.3 震害原因探討

### 7.3.1 上下水道系統

#### 7.3.1.1 上水道系統 (自來水)

由於儲水池、膠凝池、沉澱池、配水池等淨水設施沒有充分的耐震性，故而此次地震中發生伸縮縫損傷、牆壁龜裂等的結構損壞；早期自來水管線多採 PVC 管，其韌性較差，管線容易破損折斷；此外，管線接頭無法充分吸收地震力，使得大部分接頭脫落、扭曲變形。

#### 7.3.1.2 下水道系統

下水道管道常因地層錯動、地表隆起或下陷，使得埋於地表下方之污水下水道管道破裂、貫穿或突出，造成污水收集及輸送受阻；管道因地盤之不均勻沉陷而導致管道坡度發生異狀，也極易造成管道毀壞；此外，污水處理廠內設備之耐震能力普遍不良。

### 7.3.2 天然氣系統

天然氣儲氣槽及高壓管線幾乎沒有什麼損害，大部分是中壓、低壓管線損壞；而 80 年代開始使用的 PE 管由於耐震性佳，故比起傳統的鑄鐵管損壞較少。地震造成天然氣管線破壞之原因如下：

- (1) 地盤之不均勻沈陷或位移，導致中低壓管線挫屈；
- (2) 建物倒塌或下陷，導致用戶端支管斷裂漏氣與商用天然氣錶鐵殼變形；
- (3) 橋樑塌陷，造成附掛管線扭曲斷裂；
- (4) 老式螺紋接頭管與管完全固定接合，無法吸收地盤的變位，耐震性較焊接管差很多，容易造成接頭破壞。

### 7.3.3 輸油系統

輸油系統在這一次地震中損壞輕微，烏溪橋南端引道之中油所屬天然

氣 8 吋及 4 吋埋管因斷層通過造成彎折斷裂；儲油槽頂板耐震性差而變形；加油站損害部份多為雨棚柱子破壞而整個塌落，顯見其柱子的耐震不足。

## 7.3.4 電力系統

### 7.3.4.1 發電廠

發電廠係以較高之耐震標準設計，因此重要的設備並無損毀，只有汽輪機稍微損傷；

### 7.3.4.2 變電所

由於地盤強烈振動將固定於基礎之錨碇螺栓剪斷，造成變壓器、斷路器等之損毀。中寮開閉所則由於地盤強烈振動與填土區土壤液化現象同時發生，引起基礎移位、下陷，以及設備嚴重損害；

### 7.3.4.3 輸電鐵塔

輸電鐵塔之設計以風荷重控制為主，因而承受地震荷重之檢討常被忽略。本次地震由於山區地盤滑動、地坪龜裂，造成 345KV 超高壓輸電鐵塔大規模損壞。

## 7.3.5 電信系統

幹線電纜均以管道或大口徑管線埋置於地下，故管道結構常有部份損傷，而內部電纜則無。造成停話之原因，除基地台或中繼站結構物耐震能力不足之外，尚有斷電之因素，引致一般家庭電話或行動電話通訊故障。至於架空配線部份，電線桿常因房屋倒塌、地盤錯動而傾斜、倒塌。

## 7.4 檢討與建議

### 7.4.1 整體建議

#### 7.4.1.1 維生線設施之調查

##### (1) 重要維生線設施土地破壞潛勢之緊急調查

立即根據台灣地區已知活動斷層分佈，以及高土壤液化、山崩潛勢之區域，調查全國各維生線設施中工址臨近，或是管線、線路穿過這類土地

破壞潛勢較高區域之資料。同時擬定短期對策（一~三年），就是否立即遷建、改善設計、或替換管線材質等加以處理。

## (2) 維生線普查及其數化資料、圖籍之建立

擬定中期(三~五年)之維生線普查工作，建立全國維生線數化資料庫、管線線路 GPS 圖籍資料、以及地理資訊系統 (GIS) 圖層資料等。這些數化資料、圖籍，將有助於提升事業單位之管理品質與效率；亦將有助於學術單位研究維生線之社會經濟評估、地震或其他天然災害風險評估、危害度分析等，以及政府施政及災害應變之決策依據。

### 7.4.1.2 維生線事業單位防災計劃之研擬

維生線在大規模地震或其他災變下，首要任務為緊急搶修恢復以及避免二次災害（特別指天然氣與電力）的發生。事業單位應擬具應變準則並作無預警演習，亦應建立維生線（尤其是天然氣與電力）恢復作業的安全程序。

### 7.4.1.3 維生線系統妥善度之加強

利用即時地震測報設備、自動監測技術、自動遮斷系統，可以有效提升維生線系統之安全性，保護重要設施（如發電廠或儲氣槽）免於損壞。備用零組件之安全存量、備轉能力（尤其是備用電源）之長時化及可替性、維生線網路之多重化設計，可以有效降低局部損壞時對系統的衝擊，提升維生線網路之協調互補特性。

### 7.4.1.4 共同管道、幹管之推動

根據日本阪神地震震災調查結果得知，共同管道確實較能避免地震之損害，未來基層建設宜積極推動：

#### (1) 電線共同溝 (Cable Container Box)

有關電線類之供給系統，可於各市鎮之中心街道、震災復建地區、新開發地區之主要道路等，以及連接緊急防災據點之幹道作重點設置，規劃電線共同溝以進行電線類地下化。

#### (2) 維生線管道 (Life Line Box)

天然氣管線、自來水管線在震災中，一般而言需要較長之復舊時間。

為提升其供給的安全性，避免修復期所造成道路機能降低，若規劃以維生線管道將其共同收容，未來將可降低地震災害並迅速恢復。

日本兵庫縣提案的維生線管道，基本上係掀蓋式箱型構造與電線共同溝一併設置在人行道的下方，其具有避免管線重複挖掘回填、道路空間充分利用、維護容易、構造堅固、價格便宜、工期縮短等優點。

#### 7.4.1.5 新建維生管線設施工址、路線之審慎擇定

台灣地區活動斷層遍佈，維生管線設施工址、路線之擇定必須有更嚴格之地質評估及審查程序。

#### 7.4.1.6 維生線設施耐震設計、耐震評估準則之建立

國內建築、橋樑之耐震設計及評估準則已陸續完成，政府主管單位宜繼續就維生線設施，著手推動其耐震設計準則、耐震評估準則之訂定及法規化工作，未來並定期檢討修訂。

#### 7.4.1.7 維生管線震後快速檢測、補強與修復工法之建立

維生管線是維繫現代文明生活不可一刻或缺之關鍵性機制，地震發生後必須立即恢復正常運作。故事業單位應建立其震後快速檢測、補強與修復（包含技術、器具與作業程序）之能力。

#### 7.4.1.8 維生管線設施之地震工程研究

##### (1) 維生管線設施耐震錨定設計之檢討及隔減震技術之應用

部份維生管線設施，藉由檢討其錨定設計之適當性，即可有效防止地震可能造成之移位或傾倒。此外，隔減震技術目前已達成成熟階段，國外的應用已極為普遍，事業單位應針對重要機組（如儲氣槽、供電變壓器、通訊交換機等），根據其動力特性選擇可行之隔減震技術加以應用，提高重要機組之耐震性。

##### (2) 維生線系統之地震危害度分析

國內維生線設施事業單位普遍缺乏對地震危害度分析（seismic fragility analysis）之認識，所衍生的系統不穩定、贅餘度不足等問題普遍存在。機組故障或例行檢修所造成的短期停水、停電、斷話時常發生，大型天然災害發生時，維生線網路應發揮之協調支援特性亦表現較差。藉由維生線設

施破壞模式之探討，以及潛在地震之境況模擬，可以有系統地評估各種規模地震的侵襲下可能發生的損壞並事先研擬對策，同時針對其耐震性較為脆弱之環結作必要之增益，以有效降低地震對維生線系統的潛在威脅。

#### 7.4.2 上下水道系統

- (1) 上下水道設施若含有毒性化學物質加藥單元，應建立緊急遮斷系統，當事故發生時即封閉藥品以防毒性化學物質外洩；
- (2) 南投上下水道設施多處位於偏僻山區，事業單位應建立自動監測設備，以提供正確情報系統供應變參考；
- (3) 地層錯動已造成自來水取水口的水質、水量及地質改變。建議重新調查斷層帶附近受損取水口及南投取水深井的現狀，確保飲用水水質。

#### 7.4.3 天然氣系統

- (1) 天然氣管線之震害多為接頭鬆脫與扭曲變形，應更換為耐震性高的材料及柔性接頭，或增加伸縮縫之設計；其中 PE 管的耐震性比鑄鐵管佳，建議管線逐年編列預算更換；
- (2) 建立自動監測及自動遮斷系統，日後若有災害發生時可立即斷氣，防止爆炸事件發生；
- (3) 高危險設備（儲氣槽、加壓站、整壓站等）應全面檢討其耐震及錨定設計，並於必要時施以可行之隔減震措施以提高安全性。

#### 7.4.4 輸油系統

- (1) 對於老舊的輸油氣管線，應選擇更換耐震性高的材料及柔性接頭，或增加伸縮縫之設計；
- (2) 建議位於斷層帶上之設施（加油站、儲油槽、輸油槽等）應遷移。

#### 7.4.5 電力系統

- (1) 短期而言，345KV 超高壓第一與第二迴路位於山區之輸電鐵塔，應立即加強基礎穩固、防止倒塌；位於斷層帶上之超高壓變電所（如中寮開閉所），亦應謹慎評估其危險性，決定是否易地重建；
- (2) 長期而言，應致力於發電區域化與分散化，避免對超高壓輸變電系統及長距離輸電線路之依賴；
- (3) 電力系統應提高其整體與區域網路之贅餘度，以期災害發生時能迅速恢復供電、降低衝擊；
- (4) 防止大區域停電、提升電力供應之穩定性，為必須立即解決之難題。電力據點分散化，設置都市型發電所及基載發電所，設備及線路定期更新，以及鼓勵大用戶自設電力來源，加速電力自由化、民營化等，均為可行方式。

#### 7.4.6 電信系統

- (1) 規劃建立大容量數位微波線路；
- (2) 推動光纖電纜化、網路化及通信中心分散化等計畫；
- (3) 引入活動型通訊車、可替換電源之交換機，以利迅速恢復通訊。

### 參考文獻

- 7.1 國家地震工程研究中心，1999，「921 集集大地震維生線震害調查報告」，調查組召集人：施邦築。