

天然氣管線（本支管）汰舊換新原則議題研析

期末報告定稿

委辦單位： 中華民國公用瓦斯事業協會

執行單位： 財團法人台灣經濟研究院

報告日期：中華民國 113 年 10 月

目 錄

第 1 章 前言	1-1
第 2 章 蒐集國外天然氣管線汰換原則或相關法規	2-1
第 1 節 美國	2-1
一、美國天然氣產業特性	2-1
二、美國天然氣管制機構	2-7
三、美國管線汰換相關法規與規範	2-8
四、執行情形與成果	2-11
五、可參考借鏡之處	2-16
第 2 節 日本	2-18
一、日本天然氣產業特性	2-18
二、日本天然氣管制機構	2-21
三、日本管線汰換相關法規與規範－瓦斯事業法	2-22
四、執行情形與成果	2-25
五、可參考借鏡之處	2-29
第 3 節 新加坡	2-30
一、新加坡天然氣產業特性	2-30
二、新加坡天然氣管制機構	2-33
三、新加坡管線汰換相關法規與規範	2-34
四、可參考借鏡之處	2-36
第 4 節 小結	2-37
一、各國比較	2-37
二、根據文字關聯性分析	2-38
第 3 章 蒐集國內天然氣事業與自來水公司管線汰換原則	3-1
第 1 節 我國現行天然氣管線汰換原則	3-1
一、天然氣管線汰換相關法規	3-1

二、天然氣管線汰換判斷重點與順序.....	3-2
三、相關執行措施.....	3-3
四、彙整結果.....	3-4
第 2 節 國內自來水管線汰換原則與相關法規	3-6
一、管線汰換相關法規.....	3-6
二、汰換原則與判斷重點.....	3-7
三、汰換順序依據.....	3-7
第 4 章 適合我國之天然氣管線汰換計畫建議作業方式	4-1
第 1 節 組成工作小組.....	4-1
一、工作小組成員.....	4-1
二、運作方式.....	4-1
第 2 節 研析影響本支管維修或汰換之原因	4-3
一、管線材質.....	4-3
二、運作歷史.....	4-5
三、敷設環境.....	4-6
四、埋設時間長短.....	4-7
五、其他原因.....	4-9
第 3 節 管線汰換計畫之建議作法.....	4-10
一、我國管線汰換計畫面臨課題.....	4-10
二、國外天然氣管線汰換原則之借鏡.....	4-11
三、現行汰換原則之歸納彙整及建議.....	4-26
四、建議作法.....	4-28
第 5 章 結論與建議.....	5-1
附件 1、各事業管線汰換判斷原則.....	附 1-1
附件 2、本支管汰舊換新調查問卷.....	附 2-1

圖目錄

圖 1-1	天然氣管線汰換原則研析流程	1-2
圖 2-1	美國天然氣輸送架構示意圖	2-1
圖 2-2	美國天然氣管網分布圖示意圖	2-2
圖 2-3	美國天然氣配送幹管之管材統計(截至 2011 年).....	2-3
圖 2-4	美國天然氣配送幹管之管材統計(截至 2015 年)	2-4
圖 2-5	美國天然氣裸鋼管里程趨勢(2011 至 2022 年).....	2-5
圖 2-6	美國天然氣裸鋼管服務用戶數趨勢(2011 至 2022 年).....	2-5
圖 2-7	美國天然氣鑄鐵管里程趨勢(2011 至 2022 年).....	2-6
圖 2-8	美國天然氣鑄鐵管服務用戶數趨勢(2011 至 2022 年).....	2-6
圖 2-9	日本瓦斯事業法條文架構	2-24
圖 2-10	日本瓦斯主要幹線數位地圖	2-25
圖 2-11	日本本支管風險評估參考原則	2-27
圖 2-12	瓦斯管線腐蝕狀況示意圖	2-27
圖 2-13	瓦斯管線材質及適用功能	2-28
圖 2-14	新加坡天然氣法條文架構	2-34
圖 2-15	研究期刊文獻常見詞彙	2-39
圖 3-1	管線漏氣發生成因	3-5
圖 4-1	美國-鑄鐵管汰換流程圖	4-16
圖 4-2	圖鑄鐵管-接頭處發生洩漏流程圖	4-16
圖 4-3	鑄鐵管-石墨化發生洩漏流程圖	4-17
圖 4-4	美國-鋼管汰換流程圖	4-18
圖 4-5	鋼管-縫焊選擇性腐蝕(SSWC)	4-19
圖 4-6	鋼管-外部腐蝕(EC)	4-19
圖 4-7	鋼管-內部腐蝕(IC)	4-20
圖 4-8	鋼管-地下螺紋接頭	4-20
圖 4-9	美國-塑膠(PE)管汰換流程圖	4-21
圖 4-10	塑膠(PE)管-慢速裂痕成長(SCG)	4-21
圖 4-11	塑膠(PE)管-熔接/機械接頭或分接點故障.....	4-22

圖 4-12	因外力造成破損之流程圖	4-23
圖 4-13	計畫性維修汰換概念流程圖	4-29
圖 4-14	計畫性維修汰換之建議流程圖	4-30

表目錄

表 2-1	美國天然氣配送幹管之管材統計百分比(截至 2011 年).....	2-4
表 2-2	美國天然氣配送幹管之管材統計百分比(截至 2015 年)	2-4
表 2-3	美國天然氣裸鋼及鑄鐵管之里程及服務用戶統計	2-7
表 2-4	美國聯邦相關天然氣管線汰換法案簡介	2-11
表 2-5	美國各區域裸鋼管和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計總表	2-12
表 2-6	美國西部各州裸鋼和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表	2-13
表 2-7	美國西南部各州裸鋼和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表	2-13
表 2-8	美國中西部各州裸鋼和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表	2-14
表 2-9	美國東北部各州裸鋼和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表	2-15
表 2-10	美國東南部各州裸鋼和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表	2-16
表 2-11	日本對不同腐蝕風險等級管線之處理建議	2-20
表 2-12	附屬於建築物之瓦斯設備耐用年限	2-22
表 2-13	日本安裝瓦斯管線安裝所遵循之法源依據	2-23
表 2-14	美國、日本及新加坡管線汰換之法規及相關規範	2-37
表 4-1	工作小組成員名單	4-1
表 4-2	美國聯邦相關天然氣管線汰換法案簡介	4-12
表 4-3	美國天然氣管網汰換原因及評估要素	4-15
表 4-4	GPTC DIMP 之維修汰換建議作法參考表	4-24
表 4-5	美國 DIMP 汰換計畫參考比較表	4-26
表 4-6	汰換原則條文相關性歸納表	4-26
表 4-7	PVC 管與 PE 管材料性質比較表	4-28
表 4-8	管線汰換考量因素參考建議表	4-31

第1章 前言

我國天然氣產業的上游天然氣生產與進口事業，目前有台灣中油公司與欣鑫天然氣公司 2 家公司進行天然氣進口或生產；下游部分則為 25 家公用天然氣事業，在中央主管機關核定之供氣區域內，以導管供應家庭、商業及服務業等民生用戶，亦可以管線、槽車運輸方式供應予電業、汽電共生、工業與公用天然氣事業等非民生用戶（須定期向主管機關備查非民生用戶名單）。各區域之公用天然氣事業，依《天然氣事業法》規定於道路上埋設天然氣管線（本支管）或相關輸氣設備，以供應天然氣用戶所需天然氣。

為保障供氣安全，《天然氣事業法》第五十一條規定輸氣管線有影響安全之虞者，業者應立即汰換，且輸氣管線維修檢測汰換，事涉公共安全與用戶用氣安全，爰於第三項規定須定期編具次一年之輸氣管線維修檢測汰換計畫報請中央主管機關備查。

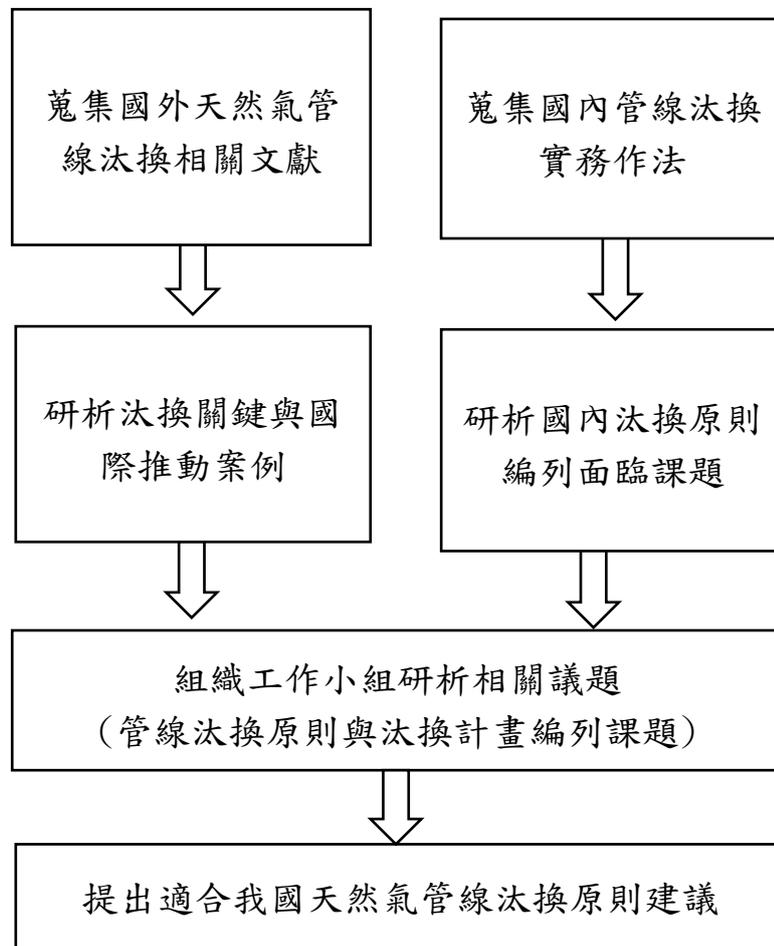
惟各區域之天然氣供氣環境差異大，如密集住宅、商業區、工業區或地質地形等不同態樣，其天然氣管線鋪設密度高低與管材亦不相同，管線汰換之編列原則各異。

各地主管機關天然氣管線管理亦存在差異，目前已明定相關天然氣管線汰換原則的僅有臺北市政府，於 108 年訂定《臺北市公用天然氣事業輸儲設備漏氣檢測及防範計畫》，規範天然氣管線汰換年限、原則或強制汰換規定，為強化各公用天然氣事業管線汰換進度，以維公共管線安全。

後續章節就各項技術文件所涵蓋之領域；包括相關法規、評估、檢測技術、安全管理等，針對國際既有規範、指引與相關技術細節、實施方法進行研析。同時也以國內產業動態、文化下有效推動汰舊換新之策略進行討論。預計邀請相關領域內長期服務且對於政策推動溝通、技術輔導、規範建立具備深厚經歷之專家學者參與，定期進行相關議題討論。

本研究之主要目的，即在瞭解 25 家公用天然氣事業天然氣管線（本支管）汰舊換新之編列原則，並參考國內外汰換管線之法規與實務作法，提出建議可適用 25 家公用天然氣事業之天然氣管線（本支管）汰舊換新編列作法。其執行步驟如圖 1-1，首先蒐集國內外天然氣管線汰換相關文獻，之後為了解實務運作模

式及問題點，邀請專家開會，確認後續研究方向及內容，並搭配適合的研究方法找出天然氣管線汰舊的問題點，以此提出適合我國天然氣管線汰換原則建議。



資料來源：本研究整理

圖 1-1 天然氣管線汰換原則研析流程

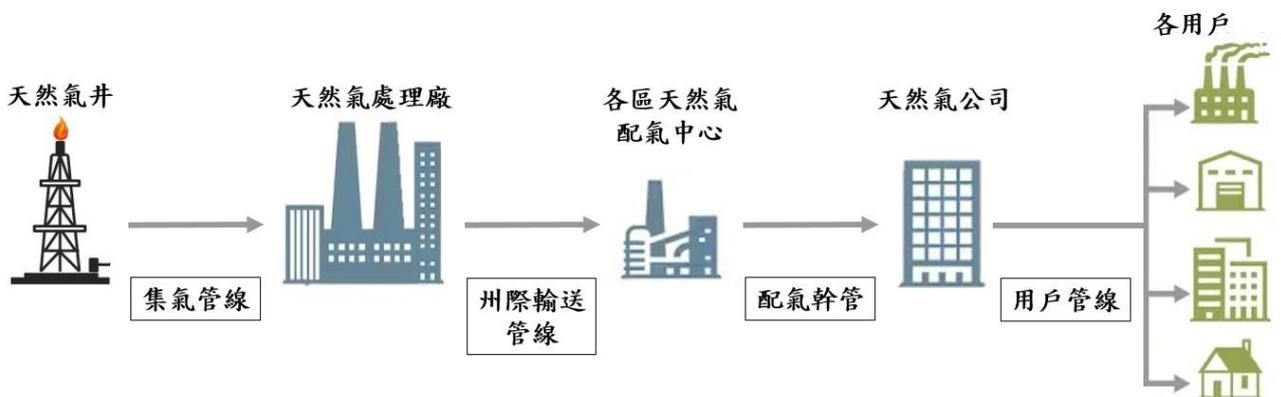
第2章 蒐集國外天然氣管線汰換原則或相關法規

第1節 美國

一、美國天然氣產業特性

1、運作架構：

根據美國能源情報署（EIA）統計，美國天然氣輸送管線總長約為 300 萬英哩，天然氣管網系統中包含超過 400 座地下儲存設施與 1400 座加壓站，將天然氣生產區和儲存設施與消費者連接起來，形成美國天然氣供應鏈。結至 2021 年，美國天然氣輸送管線服務超過 7700 萬戶。其天然氣運作架構包含 4 類型管線，分別為集氣管線、州際輸送管線、配送管線及用戶管線，示意如圖 2-1 所示。集氣管線主要將各生產區所生產的天然氣輸送至天然氣處理廠；再透過超過 30 萬英哩的州際輸送管線輸送至各地區的配送中心；各地區的配送中心透過超過 120 萬英哩的配送幹管輸送至當地天然氣公司，再透過超過 88 萬英哩的用戶管線，來供應天然氣至用戶端。



資料來源：美國能源情報署(EIA)。天然氣管線概況說明。2022 年

圖 2-1 美國天然氣輸送架構示意圖

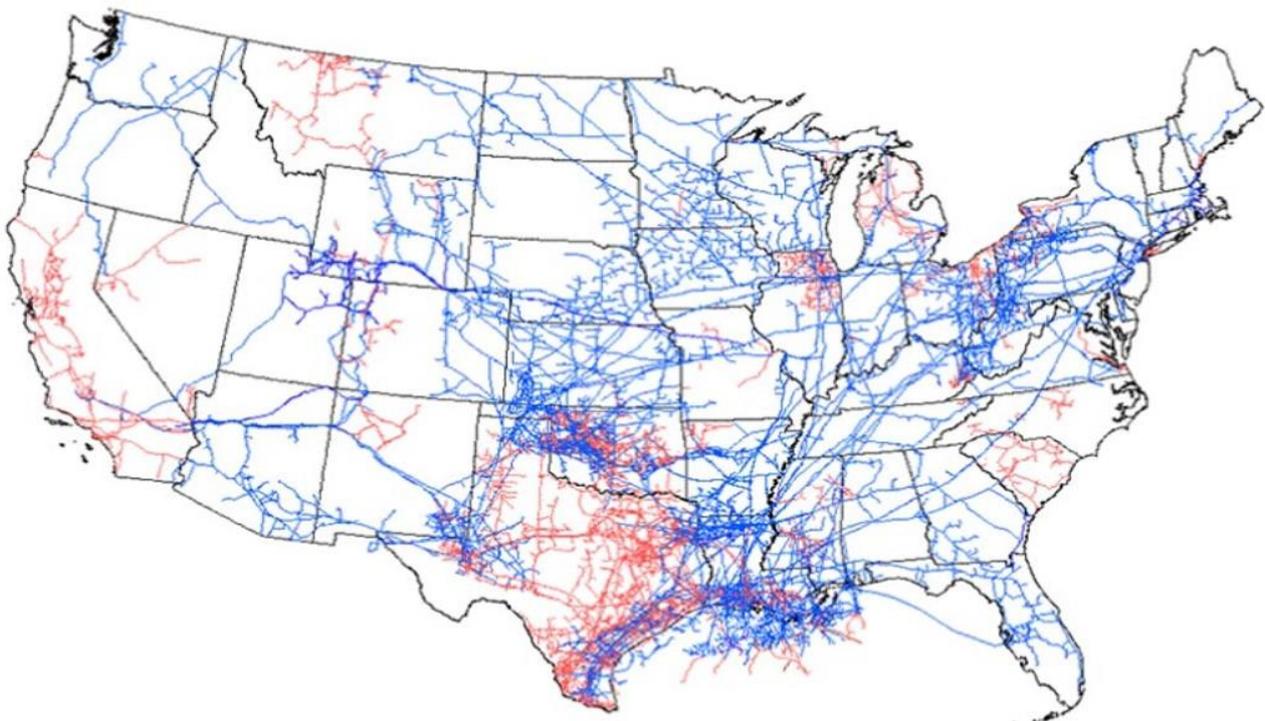
2、歷史背景：

美國早期的天然氣生產多由石油開採過程中伴產而來，但天然氣產業的發展卻遠遠落後於石油產業。探究其原因，除了受限於開採和使用的設備技術外，更受制於長距離運輸的能力。因此 19 世紀末管線運輸技術的演進，刺激了天然氣產業的發展。1891 年美國建造由印第安納州中部到伊利諾州芝加哥的第 1 條天然氣跨州管線，長度雖僅約 120 英哩，卻是天然氣長途運輸的開端。

而天然氣管網工業的重大發展，則是要等到二次大戰之後。因應市場需求，美國在 1950 年至 1960 年代大量興建天然氣管線，其中約一半的管網集中在美國德州與路易斯安那州等主要的天然氣生產地區。2003 年至 2008 年間，天然氣價格大幅上漲。價格上漲使天然氣生產商有動力擴大現有油田的開發，並開始勘探以前未開發的天然氣。2009 年後，鑽井相關生產技術的進步使其產量增加，導致價格普遍下降。

根據美國能源情報署 (EIA) 統計，截至 2021 年，德州、賓州、路易士安那州、西弗吉尼亞州和奧克拉荷馬州為主要生產天然氣的地區，每天生產超過 102 十億立方英尺 (bcf) 的天然氣，約占美國天然氣總產量的 70.4%。因美國有豐富的天然氣儲量，故對其而言天然氣是一種用途廣泛且可靠之能源，廣泛用於家庭、企業和工業。

整體而言，天然氣佔美國能源總使用量約 25%，可被視為美國重要能源來源之一。最早期之天然氣管線距今已存在超過一個世紀，天然氣管網隨著市場的需求、法規的訂定以及管線相關技術的精進，已擴展至現今密集的程度。本報告將以天然氣公司至各用戶之間本支管為對象進行討論。



資料來源：美國能源情報署(EIA)。美國天然氣管網分布(至 2016 年)

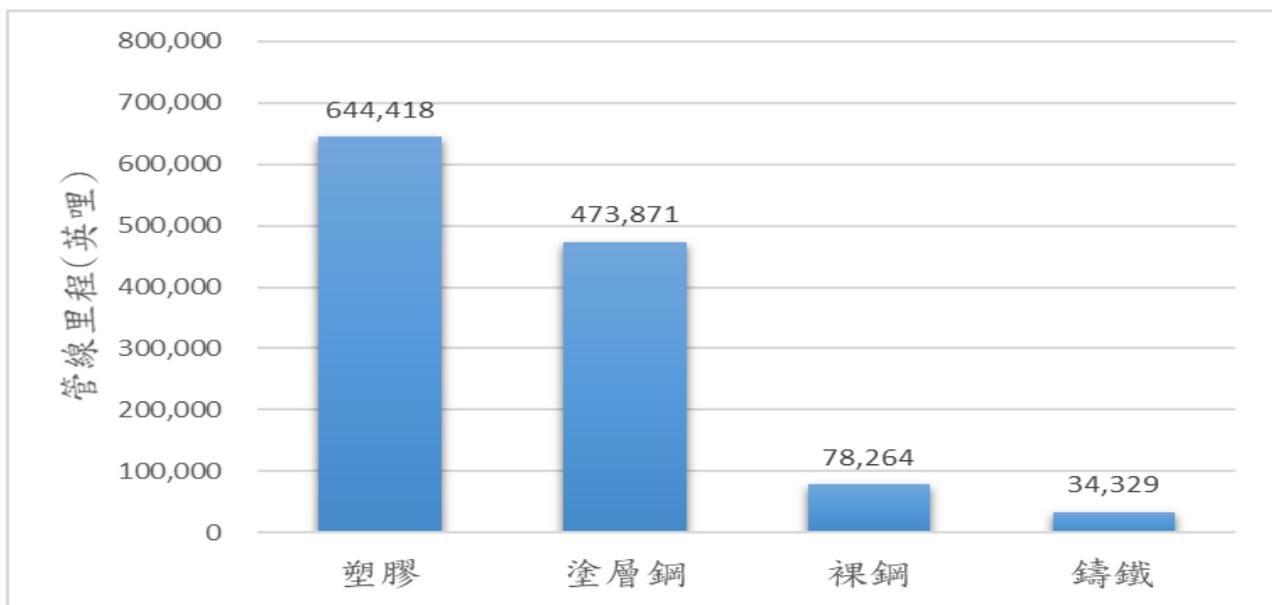
圖 2-2 美國天然氣管網分布圖示意圖

3、美國天然氣管線材料、建造時間與運作統計分析

美國於 1940 年之前，天然氣管線的主要材料為鑄鐵。1940 年至 1960 年代主要以鋼鐵材料為主。1970 年代開始，除了大型輸送管線以外，管線材料從鋼鐵轉向塑膠。塑膠管線材料隨著時間的推移及發展，如今主要使用聚乙烯 (PE) 材料。

無論是鐵、鋼與塑膠管線，經長時間使用後皆可能會引發相關安全問題。例如，鑄鐵管管材的脆性 (brittleness)，使其破裂和破損的可能性增加。對於鋼管來說，當地面的濕氣或內部濕氣與管線、焊接和接頭接觸時，就可能發生腐蝕。故美國聯邦法規 49 CFR PART 192 的 Subpart I (192.4) 中強制要求對 1970 年後安裝的所有鋼管進行陰極保護。而在 1970 年之前使用鑄鐵和裸鋼 (無保護鋼) 所製成的天然氣輸送管線，相較其他材質的管線容易發生洩漏，這對相關配送業者和主管機構而言是一個重大的挑戰。

根據美國管線和危險材料安全管理局 (PHMSA) 統計，截至 2011 年，塑膠管 (包含 PE 及 PVC 材料) 有 644,418 英哩，塗層保護鋼管有 473,871 英哩，裸鋼管有 78,264 英哩，鑄鐵管有 34,329 英哩，統計長條圖如圖 2-3 所示。經調查後，約有超過 11 萬英哩的配送幹管為使用容易發生腐蝕及洩漏的材料建置的，亦為建議需要汰換的。天然氣管線材料、里程及佔比統計表，如表 2-1 所示。



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局 (PHMSA)。天然氣管線材料、里程及佔比統計。2022 年

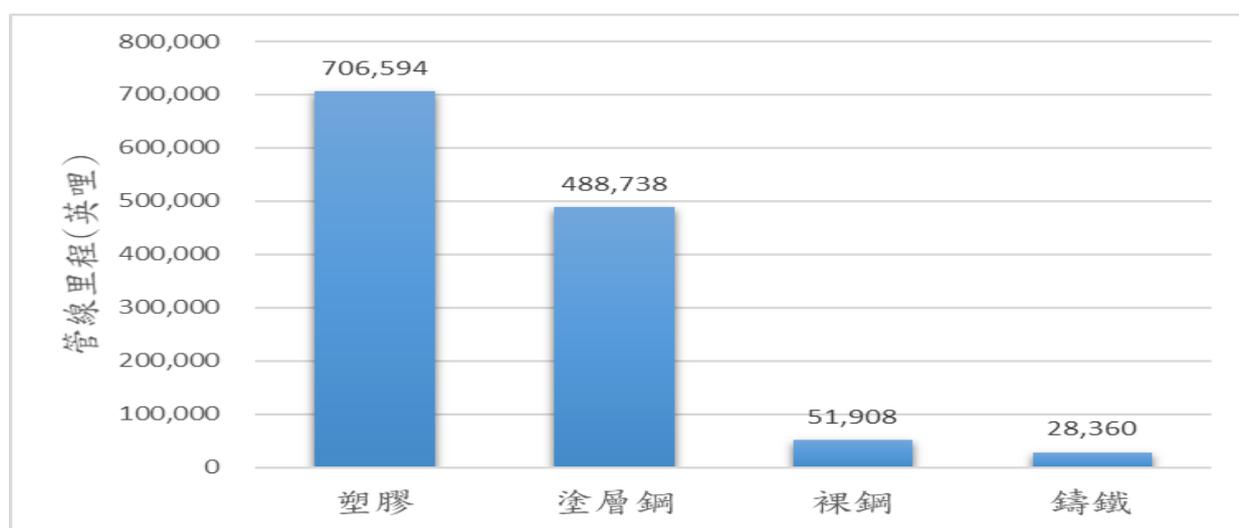
圖 2-3 美國天然氣配送幹管之管材統計 (截至 2011 年)

表 2-1 美國天然氣配送幹管之管材統計百分比(截至 2011 年)

材料	里程(英哩)	百分比
塑膠(PE、PVC)	644,418	52.3%
塗層保護鋼	473,871	38.5%
裸鋼/無保護鋼	78,264	6.4%
鑄鐵/球墨鑄鐵	34,329	2.8%
總計	1,230,882	100.0%

資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。天然氣管線材料、里程及佔比統計。
2022 年

根據美國管線和危險材料安全管理局 (PHMSA) 統計，截至 2015 年，塑膠管(包含 PE 及 PVC 材料)有 706,594 英哩，塗層保護鋼管有 488,738 英哩，裸鋼管有 51,908 英哩，鑄鐵管有 28,360 英哩，統計長條圖如圖 2-4 所示。天然氣管線材料、里程及佔比統計表，如表 2-2 所示。



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。天然氣管線材料、里程及佔比統計。
2022 年

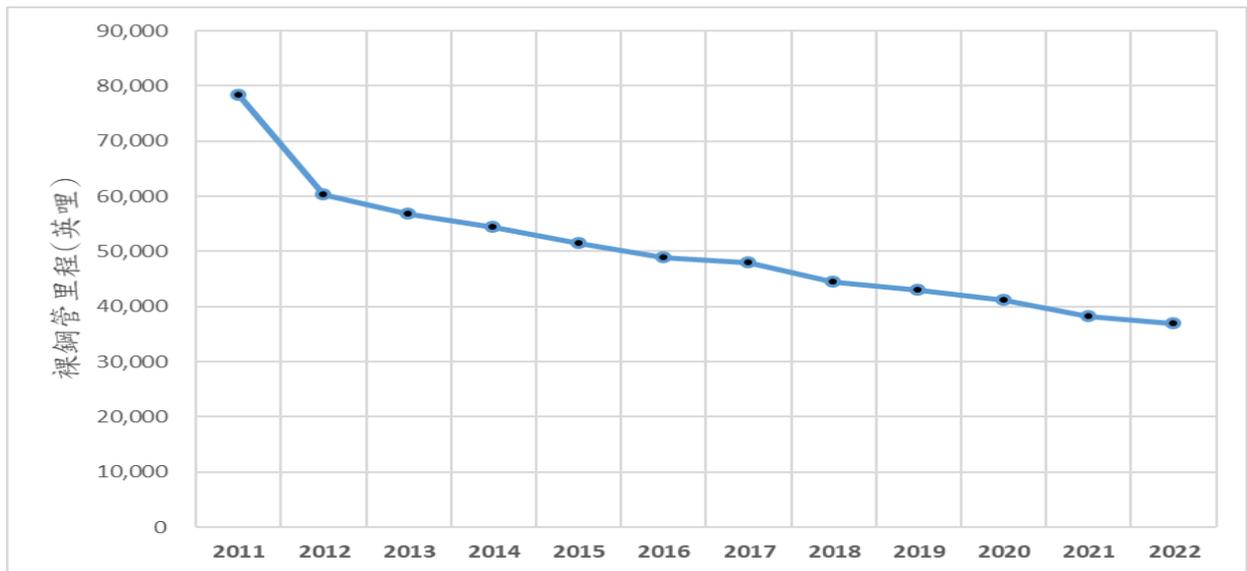
圖 2-4 美國天然氣配送幹管之管材統計(截至 2015 年)

表 2-2 美國天然氣配送幹管之管材統計百分比(截至 2015 年)

材料	里程(英哩)	百分比
塑膠(PE、PVC)	706,594	55.4%
塗層保護鋼	488,738	38.3%
裸鋼/無保護鋼	51,908	4.1%
鑄鐵/球墨鑄鐵	28,360	2.2%
總計	1,273,300	100.0%

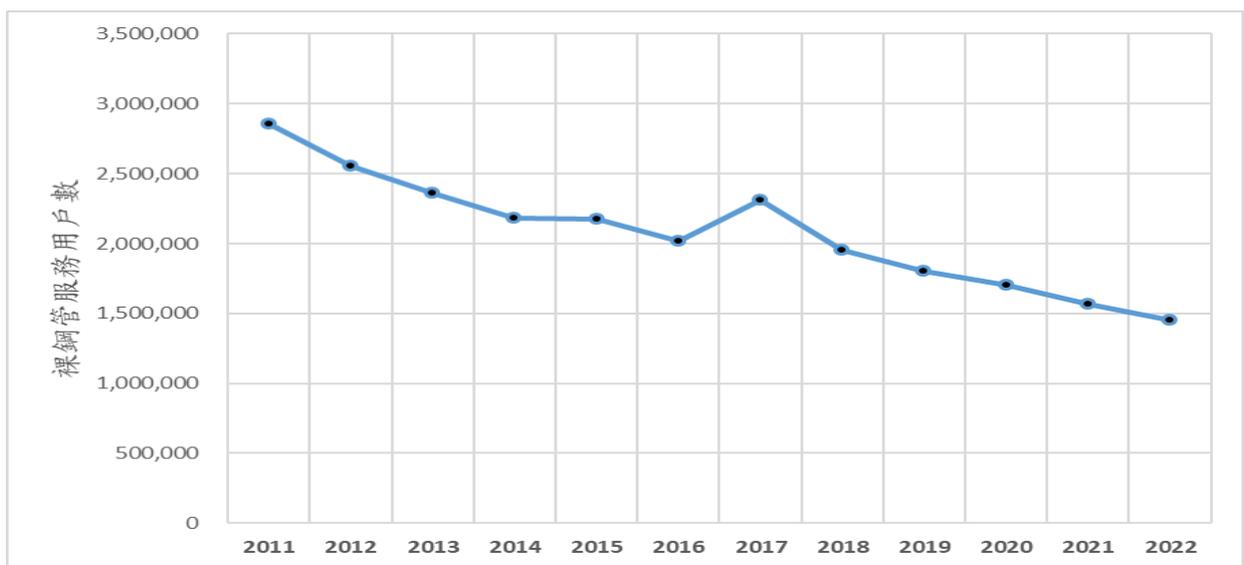
資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。天然氣管線材料、里程及佔比統計。
2022 年

根據美國管線和危險材料安全管理局 (PHMSA) 統計，從 2011 至 2022 年，塑膠管線的里程數增加了 128%，裸鋼管的里程數減少了 47%，鑄鐵管的里程數減少了 51%。截至 2022 年，裸鋼管有 36,902 英哩，鑄鐵管有 17,490 英哩。其配送輸送管線約有 98% 由塑膠或鋼管製成，大約有 1% 是鑄鐵管。由此可知，鑄鐵管和裸鋼管的管線長度與使用情況為逐年下降的。裸鋼管里程及服務用戶趨勢折線圖如圖 2-5 及圖 2-6 所示。鑄鐵管里程及服務用戶趨勢折線圖如圖 2-7 及圖 2-8 所示。其數據統計表，如表 2-3 所示。



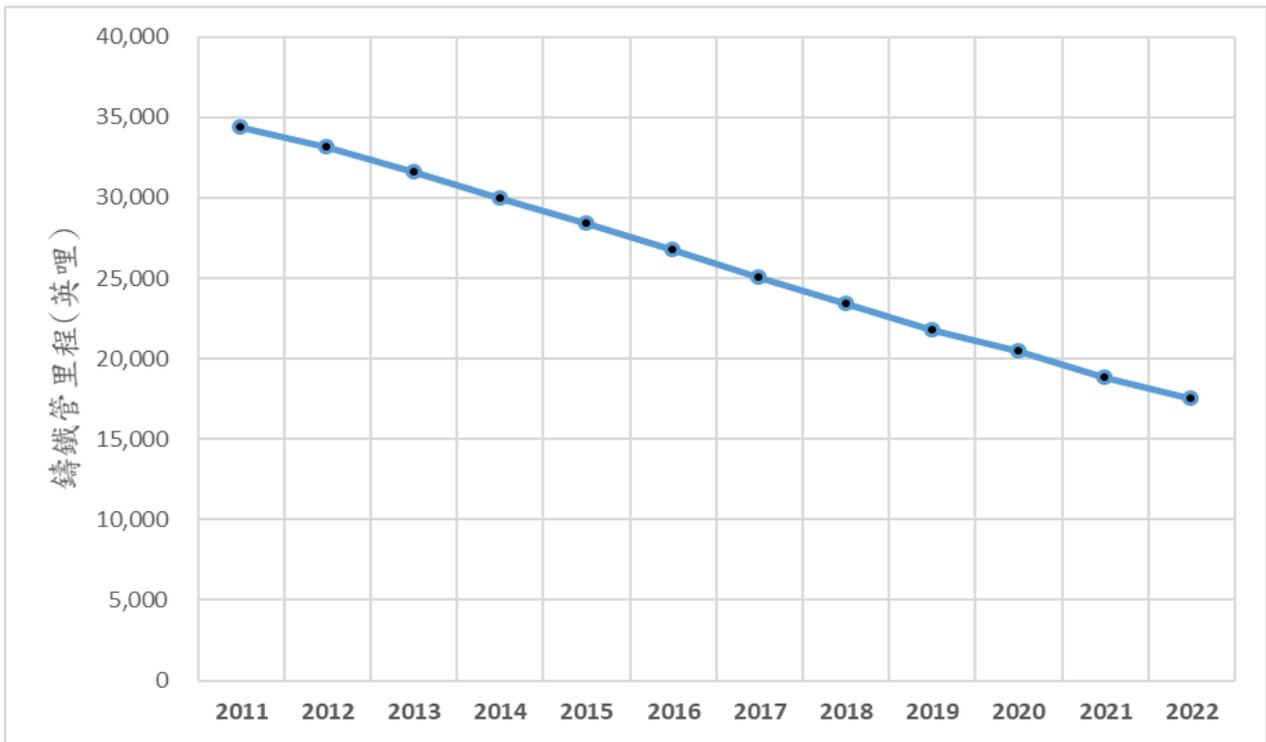
資料來源：美國管線和危險材料安全管理局 (PHMSA)。天然氣管線材料、里程及佔比統計。2022 年

圖 2-5 美國天然氣裸鋼管里程趨勢(2011 至 2022 年)



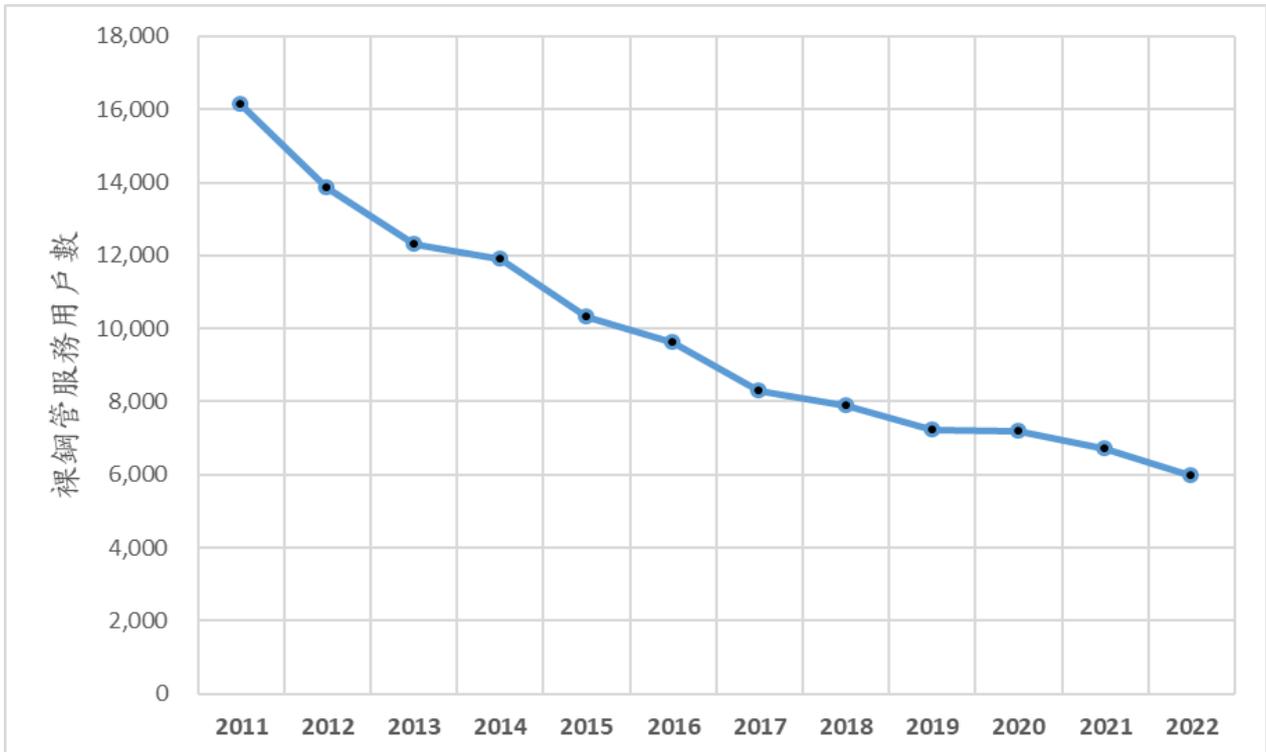
資料來源：美國管線和危險材料安全管理局 (PHMSA)。天然氣管線材料、里程及佔比統計。2022 年

圖 2-6 美國天然氣裸鋼管服務用戶數趨勢(2011 至 2022 年)



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。天然氣管線材料、里程及佔比統計。2022 年

圖 2-7 美國天然氣鑄鐵管里程趨勢(2011 至 2022 年)



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。天然氣管線材料、里程及佔比統計。2022 年

圖 2-8 美國天然氣鑄鐵管服務用戶數趨勢(2011 至 2022 年)

表 2-3 美國天然氣裸鋼及鑄鐵管之里程及服務用戶統計(2011 至 2022 年)

年份	裸鋼管里程 (英哩)	裸鋼管服務用 戶數	鑄鐵管里程 (英哩)	鑄鐵管服務用 戶數
2011	78,264	2,858,197	34,329	16,134
2012	60,209	2,556,558	33,137	13,847
2013	56,878	2,361,984	31,576	12,311
2014	54,455	2,179,807	29,984	11,919
2015	51,487	2,171,613	28,360	10,310
2016	48,845	2,018,564	26,769	9,605
2017	47,884	2,314,340	25,030	8,284
2018	44,543	1,955,536	23,394	7,902
2019	42,891	1,802,309	21,794	7,229
2020	41,159	1,700,061	20,433	7,191
2021	38,189	1,566,147	18,809	6,716
2022	36,902	1,448,559	17,490	5,959

資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。天然氣管線材料、里程及佔比統計。
2022 年

二、美國天然氣管制機構

美國為聯邦制，對於管線、地下天然氣儲存和液化天然氣 (LNG) 設施的安全法規由聯邦政府主要負責制定、發布和執行；而管線安全法規規定在 PHMSA 每年進行核可的情況下由州內負責州內監管、檢查和執行。因此，州政府為了能夠通過 PHMSA 的認可，其必須採用聯邦法規或其他或更嚴格且不與聯邦法規抵觸之的州政府法規。美國聯邦政府立有六項法規為聯邦管線安全計畫提供了框架，包括了：

1. 1968 年天然氣管線安全法(Natural Gas Pipeline Safety Act)
2. 1979 年危險液體管線安全法(Hazardous Liquid Pipeline Safety Act)
3. 2006 年管線檢查、保護、執行與安全法(Pipeline Inspection, Protection, Enforcement and Safety Act)
4. 2011 年管線安全、監管確定性和創造就業法案(Pipeline Safety, Regulatory Certainty, and Job Creation Act)
5. 2016 年所屬管線防護基礎設施增強安全 (PIPES) 法案(Protecting our Infrastructure of Pipelines Enhancing Safety (PIPES))

6. 2020 年所屬管線防護基礎設施和加強安全法案 (Protecting our Infrastructure of Pipelines and Enhancing Safety Act of 2020, Public Law No. 116-260, Division R December 27, 2020)

相關設施在州政府的架構中一般則由「公眾事業委員會」對州內天然氣設施管線、設施運營商之安全計畫進行查核，並將違法行為報知 PHMSA 採取執法行動。

總體而言，聯合法規賦予聯邦擁有專屬權力來監管州際管線、州際地下天然氣儲存和州際液化天然氣設施。PHMSA 可授權各州政府作為其代理人檢查州際管線和液化天然氣設施或地下天然氣儲存設施，但保留執行法規的責任。這樣的管理機制與安全理念受到絕大多數州政府的支持。透過此一合作夥伴關係，聯邦與州政府得以更有效的利用相關資源來執行具有效益的安全管理計畫。

三、美國管線汰換相關法規與規範

1、聯合法規要求：

美國針對管線安全的法規主要在聯合法規 (Code of Federal Regulations, CFR) 第 49 篇"運輸" (Title CFR 49, Transportation)。而最早與天然氣管線相關的法案是於 1968 年訂定的天然氣輸送管線之安全法 (The Natural Gas Pipeline Safety Act of 1968, P.L. 90-481)，該法案通過以來，為了適應管線系統的發展，減輕公眾對管線系統安全的疑慮，美國並持續多次對於相關法律進行重新授權和修改。其中經歷了 2002 年的管線安全改進法案 (Pipeline Safety Improvement Act)，2006 年的管線檢驗、保護、強制執行和安全法案 (Pipeline Inspection, Protection, Enforcement, and Safety Act)，2011 年的管線安全、監管確定性法案 (Pipeline Safety, Regulatory Certainty) 以及 2021 年的基礎建設投資和就業法案 (Infrastructure Investment and Jobs Act) 當中的天然氣配送基礎設施安全與現代化 (Natural Gas Distribution Infrastructure Safety and Modernization, NGDISM) 補助計畫等。下列四點為說明管線安全改進法案之摘要。

(1) 2002 年管線安全改進法案(Pipeline Safety Improvement Act)

該法案要求運輸部(DOT)、能源部(DOE)及國家標準與技術研究院(NIST)應跨部會展開相關管線設施完整性之研究、開發、示範和標準化計畫。該計畫為

期五年，並針對下列要項進行相關研究：

- A. 材料試驗。
- B. 應力和斷裂分析，檢測管線內部的裂縫、腐蝕、磨損和其他導致管線故障的異常情況，以及開發管線檢測異常情況的新設備或技術。
- C. 內部檢查和洩漏檢測技術，包括極低量洩漏的測試。
- D. 管線流量分析方法。
- E. 管線安全，包括改善管線即時監控，開發評估和加強管線安全和基礎設施的工具，減少自然、技術和恐怖威脅，以及保護管線附近的第一線人員及單位。
- F. 風險評估方法。
- G. 管線消防安全系統。
- H. 改進開挖、施工和修復技術。

(2) 2006 年管線檢驗、保護、強制執行和安全法案 (Pipeline Inspection, Protection, Enforcement, and Safety Act)

該法案要求管線和危險材料安全管理局 (PHMSA) 制定配送管線完整性管理計畫 (Distribution Integrity Management Program, DIMP) 的標準。而管線和危險材料安全管理局 (PHMSA) 於 2009 年 12 月發佈了天然氣配送管線系統完整性管理要求 (74 FR 63906) 。該規則的生效日期為 2010 年 2 月，從而產生了天然氣配送管線的相關法規 (49 CFR PART 192 的 Subpart P 192.1001-192.1015) 。

根據天然氣配送管線系統完整性管理要求當中包含了最低聯邦安全標準，必須包括：危害風險識別、風險評估和排序和相對應之降緩措施 (包括有效的洩漏管理計畫) 等。且規定業者必須每五年重新執行管線完整性管理，例如，系統內偵測到的洩漏數量。法規明確要求業者必須每年向管線和危險材料安全管理局 (PHMSA) 提交相關管線資訊之報告，包括開挖造成的損壞及嚴重程度、按管材類型及尺寸劃分的管線里程數、按管材類型及長度劃分的服務用戶數，以及汰換或修復的管線及洩漏數量。法案討論及訂定要求之要項整理如下：

- A. 配送管線完整性管理的最低標準。
- B. 氣體和危險液體管線執法行動。
- C. 國家運輸安全委員會的管線安全建議。
- D. 風險管理計畫要項。
- E. 管線維修、危險液體管線建設及汰換工程協調。
- F. 新增國家開挖防損電話(811)。
- G. 管線完整性管理相關績效報告認證。
- H. 管線事故處理協議。

(3) 2011 年管線安全、監管確定性法案(Pipeline Safety, Regulatory Certainty)

於 2010 年 9 月加州發生天然氣管線破裂而引發重大公安事故後，美國聯邦政府更加重視管線安全問題。運輸部(DOT)於 2011 年宣布管線安全行動計畫，呼籲業者加快汰換管線及相關設施的速度。該法案將聯邦、州和行業利益相關者聚集在一起，加以針對國家管線基礎設施安全和提高效率之方法及步驟進行討論，設法加快高風險管線設施的維修及汰換。該法案要求管線和危險材料安全管理局(PHMSA)對鑄鐵管線汰換進度執行逐州調查。美國聯邦透過該法案要求各州天然氣業者於 2011 年底編寫配送管線完整性管理計畫(DIMP)。

(4) 2021 年基礎建設投資和就業法案(Infrastructure Investment and Jobs Act)

該法案為美國總統拜登上任後，所簽署相關基礎設施的重大法案。其中包括通過管線和危險材料安全管理局(PHMSA)相關的天然氣配送基礎設施安全與現代化(Natural Gas Distribution Infrastructure Safety and Modernization, NGDISM)之補助計畫，該計畫補助預算為每年 2 億美元，且未來將持續五年，補助總額為 10 億美元。用於補助非營利性質之天然氣公共事業及州政府的天然氣配送管線系統相關設施，協助其加速執行修復及汰換作業，以減少事故發生及經濟損失。

根據管線和危險材料安全管理局(PHMSA)調查報告，鑄鐵管及裸鋼管是美國最早期的天然氣管線，其大多已使用超過半個世紀，至今仍在為消費者和企業輸送天然氣。於 2009 年美國聯邦發佈天然氣配送管線系統完整性管理計畫(DIMP)的要求，並將鑄鐵管及裸鋼管列為需分年進行汰換之高風險管材。主

要因該材料的降解特性、管線的老化和腐蝕洩漏等因素，致使此類管線被視為應優先汰換的管線。而自發佈以來也可發現美國高風險之鑄鐵和裸鋼材料之管線里程逐年下降，其彙整如表 2-4 所示。

表 2-4 美國聯邦相關天然氣管線汰換法案簡介

時間	法案及標準名稱	摘要
2002 年	管線安全改進法案(PSIA)	要求跨部會展開相關管線設施完整性之研究、開發、示範和標準化計畫。
2006 年	管線檢驗、保護、強制執行和安全法案(PIPESA)	要求 PHMSA 制定配送管線完整性管理計畫(DIMP)標準。
2009 年	氣體配送管線完整性管理(DIMP) (49 CFR PART 192 的 Subpart P 192.1001-192.1015)	發佈天然氣配送管線系統完整性管理要求(74 FR 63906)。2010 生效
2011 年	管線安全、監管確定性法案(PSRC)	汰換進度執行逐州調查，並要求各州天然氣業者於 2011 年底前編寫配送管線完整性管理計畫(DIMP)。
2021 年	基礎建設投資和就業法案(IIJA)中的天然氣配送基礎設施安全與現代化(NGDISM)補助計畫	通過補助預算每年 2 億美元，持續五年，補助總額 10 億美元之預算，用於補助天然氣配送管線系統相關設施，協助其加速執行修復及汰換作業。

資料來源：本研究整理

四、執行情形與成果

根據美國國家公共事業監管協會 (NARUC) 審查報告統計，截至 2018 年，各地區鑄鐵管與裸鋼管的管線里程數與服務用戶數，統計表如表 2-5 所示。東北區相較其他地區而言，其鑄鐵管和裸鋼管的管線里程與服務用戶數為最高；而西區為最低。

表 2-5 美國各區域裸鋼管和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計總表

地區	裸鋼管里程 (英哩)	裸鋼管服務用 戶數	鑄鐵管里程 (英哩)	鑄鐵管服務用 戶數
西區	3,517	27,508	58	26
西南區	6,665	307,936	466	0
中西區	13,336	269,392	4,868	106
東北區	13,787	860,167	14,581	5,475
東南區	6,788	394,470	2,896	1,378

資料來源：本研究整理

美國各區域執行概要如下：

(1) 西部地區：

根據美國能源情報署（EIA）數據統計，該地區 11 個州當中，有 9 個州仍使用裸鋼管，有 1 個州使用鑄鐵管，而該地區的天然氣使用以加州為大宗。內華達州和猶他州沒有任何剩餘的裸鋼或鑄鐵。統計數據如表 2-6 所示。

加州政府於 2013 年要求當地配送業者提出相關設施之基本資料、汰換作業的可行性評估及成本預估。透過加州公共事業委員會（CPUC）根據當地配送業者每項申請的具體情況不同，來決定相關補助額度。

奧勒岡州公共事業委員會（PUC）透過進行「天然氣公共事業公司設備汰換成本」調查，並於 2017 年發布了汰換指導方針，並要求當地配送業者提交年度設備汰換計畫。

華盛頓公共事業和運輸委員會（WUTC）認為天然氣公司若採取積極主動的方式汰換故障風險較高的管線是符合公共利益的，因此制定相關補助政策，並協助業者制定 20 年管線汰換計畫（每 2 年更新一次）。

表 2-6 美國西部各州裸鋼和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表

地區	裸鋼管里程 (英哩)	裸鋼管服務用 戶數	鑄鐵管里程 (英哩)	鑄鐵管服務用 戶數
阿拉斯加	8	0	0	0
加州	3,284	2,045	58	26
科羅拉多州	119	18,752	0	0
夏威夷	94	6,416	0	0
愛達荷州	1	0	0	0
蒙大拿州	2	9	0	0
奧勒岡州	2	68	0	0
華盛頓	1	51	0	0
懷俄明州	5	167	0	0
內華達州	0	0	0	0
猶他州	0	0	0	0

資料來源：本研究整理

(2) 西南部地區：

根據美國能源情報署（EIA）數據統計，該地區的 4 個州皆有使用裸鋼管，而只有德州有鑄鐵管，該地區的天然氣使用也以德州為大宗。統計數據如表 2-7 所示。

德州立法機關於 2003 年通過了 SB 1271 號法案，「一項與鼓勵天然氣公共事業公司投資新設施的激勵措施有關的法案」。要求當地配送業者調查其管網系統，以找出最高風險之管段，並進行汰換，且允許透過延期機制追加此類計畫的補助。

亞利桑那州公司委員會（ACC）於 2012 年批准了當地天然氣公司所提出的兩項計畫，一項為洩漏調查計畫，另一項為汰換用戶管線計畫，以利管線重新安置。

表 2-7 美國西南部各州裸鋼和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表

地區	裸鋼管里程 (英哩)	裸鋼管服務用 戶數	鑄鐵管里程 (英哩)	鑄鐵管服務用 戶數
亞利桑那州	465	6,958	0	0
新墨西哥州	71	9,883	0	0
奧克拉荷馬州	1,190	57,023	0	0
德州	4,939	234,072	466	0

資料來源：本研究整理

(3) 中西部地區：

根據美國能源情報署(EIA)數據統計，該地區的12個州皆有使用裸鋼管，有7個州有鑄鐵管，該地區的天然氣使用以俄亥俄州及堪薩斯州為大宗。統計數據如表2-8所示。

俄亥俄州的設施汰換機制是透過費率程序建立的。俄亥俄州公共事業委員會(PUCO)於2009年批准了當地業者的管線設施汰換計畫，可透過附加條款申請設施汰換補助。

堪薩斯州參議院第414號法案「有關公共事業的法案；與天然氣相關的法案；制定天然氣安全和可靠性政策法案」於2006年獲得批准。堪薩斯州公司委員會(KCC)批准天然氣系統可靠性附加費(GSRS)，亦為使用者付費之概念，只要該費用在天然氣使用費的0.5至10%範圍內，得以向消費者收取設施汰換費用。

表 2-8 美國中西部各州裸鋼和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表

地區	裸鋼管里程 (英哩)	裸鋼管服務用 戶數	鑄鐵管里程 (英哩)	鑄鐵管服務用 戶數
愛荷華州	141	6,548	0	0
伊利諾州	199	17,009	1,152	56
印第安納州	496	20,334	125	22
堪薩斯州	3,237	72,339	6	0
密西根州	1,066	30,286	2,389	11
明尼蘇達州	218	842	0	0
密蘇裡州	883	10,363	718	0
北達科他州	9	71	0	0
內布拉斯加州	494	6,198	281	4
俄亥俄州	6,565	103,655	197	13
南達科他州	27	1,745	0	0
威斯康辛州	1	2	0	0

資料來源：本研究整理

(4) 東北部地區

根據美國能源情報署(EIA)數據統計，該地區9個州當中有8個州皆有使用裸鋼管及鑄鐵管，該地區的天然氣使用以賓州、紐約州和紐澤西州為大宗。而佛蒙特州則沒有任何裸鋼或鑄鐵。統計數據如表2-9所示。

賓州法規第 66 篇 13B 章 1353 條，賦予賓州公共事業委員會（PUC）能夠批准當地業者的配送系統改進費用（DSIC），也就是制定設備汰換時所產生的合理成本。而該州的設施汰換計畫從 14 年到 48 年不等。

紐約公共服務委員會（PSC）負責審查和批准該轄區配送業者所提交的個別計畫。計畫因拆除管線的里程範圍、成本和成本回收的不同而有所差異。2010 年，PSC 批准了紐約州電力和天然氣公司（NYSEG）的易洩漏管線拆除計畫，其中計畫目標為每年拆除 24 英里的管線。

表 2-9 美國東北部各州裸鋼管和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表

地區	裸鋼管里程 (英哩)	裸鋼管服務用 戶數	鑄鐵管里程 (英哩)	鑄鐵管服務用 戶數
康乃狄克州	139	37,182	1,221	17
麻薩諸塞州	1,288	147,075	2,925	1,373
緬因州	1	98	36	24
新罕布夏州	7	5,255	81	14
紐澤西州	588	184,769	3,911	0
紐約州	5,152	213,570	3,175	3,847
賓州	6,415	238,492	2,532	73
羅德島州	199	33,726	700	127
佛蒙特州	0	0	0	0

資料來源：本研究整理

(5) 東南部地區

根據美國能源情報署（EIA）數據統計，該地區 15 個州當中，有 14 個州仍使用裸鋼管，有 12 個州使用鑄鐵管，而該地區的天然氣使用以阿拉巴馬州為大宗。統計數據如表 2-10 所示。

阿拉巴馬州公共服務委員會（PSC）批准了當地業者的鑄鐵管線汰換計畫，該計畫規劃於 30 年內汰換燃氣分配系統中的鑄鐵管。2017 年所修訂的鑄鐵管汰換（CIMR）計畫中，包含有加速相關設施現代化（AIM）計畫，旨在鼓勵業者加速汰換老化的天然氣管線設施。

表 2-10 美國東南部各州裸鋼管和鑄鐵管里程和服務用戶數量統計表

地區	裸鋼管里程 (英哩)	裸鋼管服務用 戶數	鑄鐵管里程 (英哩)	鑄鐵管服務用 戶數
阿拉巴馬州	542	145,835	777	214
阿肯色州	785	18,692	0	0
德拉瓦州	6	522	61	0
哥倫比亞特區	23	6,499	406	0
佛羅里達	562	19,726	66	0
喬治亞州	27	9,115	2	0
肯塔基州	543	13,116	11	96
路易斯安那州	423	19,192	162	940
馬裡蘭州	184	70,827	1,164	25
密西西比州	537	13,628	35	1
南卡羅來納	4	371	0	0
田納西州	36	511	12	4
維吉尼亞州	404	10,538	188	75
西維吉尼亞	2,712	65,898	12	23
北卡羅來納州	0	0	0	0

資料來源：本研究整理

五、可參考借鏡之處

美國聯邦相關管線安全改進法案從 2002 年聯邦政府要求跨部會展開相關管線設施完整性之研究計畫開始；到 2006 年要求管線和危險材料安全管理局（PHMSA）制定配送管線完整性管理計畫（DIMP）的標準；並於 2009 年發佈天然氣配送管線系統完整性管理計畫（DIMP）的要求，將鑄鐵管及裸鋼管列為需分年進行汰換之高風險管材，於 2010 年生效；要求各州天然氣相關業者於 2011 年底前編寫配送管線完整性管理計畫(DIMP)，且其汰換進度將執行逐州調查；至 2021 年通過補助每年 2 億美元，五年補助總額 10 億美元之預算，用於補助天然氣配送管線系統相關設施，協助其加速執行修復及汰換作業。上述為美國聯邦相關天然氣管線汰換法案摘要描述。

根據管線和危險材料安全管理局（PHMSA）調查報告，鑄鐵管及裸鋼管是美國最早期的天然氣管線，而鑄鐵管及裸鋼管被列為高風險管材的主要原因為該材料的降解特性、管線的老化和腐蝕洩漏等因素，致使此類管線被視為應優先汰換的管線。

在美國各地區，大多透過該州之公共事業委員會審查且批准當地業者的天然氣設施汰換計畫。有些州是根據聯邦法規來要求業者制定汰換計畫，有些是州政府自行訂定相關監管計畫。無論是採取何種制度或流程來制定汰換計畫，其計畫的目標都是相同的，皆是為了確保相關設施汰換作業能順利執行，以將低事故發生之風險。

整體而言，美國各州之監管方法可能會有所不同，其具體取決於各州立法於否以及當地業者的執行狀況。在美國目前採取每個司法管轄區都制定一種方法，以滿足其特定的監管義務及確保天然氣消費者的安全和系統的完整性。

在美國透過各州的監管機構支持與督導當地業者執行汰換設施作業。各州之天然氣管線分佈及使用狀況皆不同，更增加了管線汰換的困難度，透過美國各州經驗來看，相關問題包括汰換成本、補助方法及後續成本回收機制，皆影響業者汰換意願及效率。

對於國內而言，要求業者優先師法美國各州之汰換原則，建立自有之 DIMP 計畫來決定汰換管線之優先順序。配合政策上的針對管線風險降低的總體目標與明確的補助機制，應可以更有效、適當的對國內應汰換之天然氣管線進行汰換工作。

第2節 日本

一、日本天然氣產業特性

1930 年代起日本全國約 90%的天然氣公司合併為五家主要公司，主要天然氣公司承擔起全國約 80%的天然氣供應，創造一個穩定之供氣系統。這樣的整合減少了營運商之間的競爭，使服務標準化和提高安全性成為可能，使產業進入新的發展階段。

2000 年 10 月 1 日起施行新制，以「瓦斯事業法」(Gas Business Act)為主要母法，加強企業自主性安全檢查及汰換管線規範之潮流。除放寬經營管理，另有「瓦斯事業法施行令」及「瓦斯事業法施行細則」等規範。自 2021 年初，鑒於符合檢查管線資格之專業技術人員愈趨高齡，且人口數量呈現負成長導致人才斷層等因素，逐步放寬電氣事業法及瓦斯事業法關於要求發電廠或瓦斯公司在製造設備之安全檢查時，需有專業人士以目視檢測 (Visual Inspection) 等傳統規定。

發展迄今，日本天然氣產業之發展性質主要包括以下：

1、市場化改革進展

20 世紀初，隨著人口成長和都市化進程，日本對天然氣的需求急劇增加，尤其是城市地區對天然氣供暖、烹飪甚至工業應用之需求。隨經濟成長，商業設施和工廠之天然氣使用量亦日趨增加，因此，自 1969 年起，政府決定從海外進口天然氣以減少對石油產品的過度依賴。在改革過程中，政府逐漸開放市場管制，鼓勵和支持更多企業參與海外採掘天然氣資源，並強制實施管網公平接入之制度，降低管網輸配的壟斷價值。惟 2011 年因大地震等不可抗力因素，暫停核電生產，使天然氣進口量增加了 20%以上並帶動原料價格提升近 30%。

藉由上述不同躍進式改革階段，逐步發展其產業管理模式，以滿足國內大型用戶、工商業用戶及居民用戶之需求。這些改革對日本天然氣產業的發展有重要影響，致日本成為全球最大的天然氣進口國家之一，並在未來持續推進市場化改革。除此，政府亦有研究和開發新的管線汰換技術及方法，以提高管線汰換的效率和效果並減少對環境的影響。因此，日本天然氣產業的市場化改革為一個持續性之過程，目的為提高市場競爭力，並期望提高天然氣使用率。

依東京瓦斯報告於官網發布的天然氣措施及願景報告書內容所載，預計從 2024 年至 2028 年日本天然氣市場將成長 1.74%，並於 2028 年市場容量將達至 0.45 噸千瓦，其成長不僅來自天然氣需求的成長，也來自能源相關業務的擴展。隨著日本向淨零能源轉型，液化天然氣需求預計將保持穩固地位之立足，到 2030 年將在電力結構中占據很大一部分。因此，日本天然氣市場的未來特徵是成長、需求增加以及向清潔能源的策略轉變，使天然氣成為日本能源市場之核心參與者。

2、碳排放控制

天然氣工業發展迅速，從 1920 年天然氣消耗量約 100 萬噸，至 2023 年已達約 9,000 萬噸，占日本能源消耗量約 10%。為達降低碳排的目標，日本政府已制定了一系列政策和措施，如透過更新和擴建天然氣管線系統，得以實現更有效的能源供應和運輸，從而降低碳排放並提高能源使用效率。這種管線汰換的策略不僅有助於碳排放控制，還有助於確保天然氣供應的穩定性和可靠性，從而推動該國能源產業向更加可持續和環保方向發展。

因此，在天然氣管線汰換的原則和方法中，碳排放控制成為了一個重要考量因素。通過更新老化的管線設施，引入更高效、更環保的技術，日本可以進一步減少天然氣系統的碳排放量。如使用先進的管道材料和技術可以減少管線系統的漏氣率，從而降低碳排放。同時，透過加強管線設施的監測和維護，可及時發現和解決潛在的漏氣問題，進一步降低碳排放風險。碳排放控制不僅是日本天然氣產業發展重要方向，也同時是實現能源可持續性和應對氣候變化的關鍵措施之一。

3、管線維護

日本天然氣公司在管線的使用壽命屆滿或達到合格期限時，必須承擔汰舊換新的費用。此外，日本的瓦斯管線汰換順序不僅僅以使用時間計算，而是根據管線的腐蝕情況、巡查結果和發現的漏氣情況等因素來決定。對於老舊管線腐蝕情形之評估，日本經濟產業省（Ministry of Economy, Trade and Industry, METI）於 2020 年提出「供給管腐蝕對策指引手冊」，建議各家事業衡酌不同管線屬性、埋管外部環境等多項因素，計算瓦斯管腐蝕度指數（Corrosion Index, CI），並依此評估管線汰換、維修需求。經彙整，影響 CI 指數高低之各項參數包含：

- (1) 管線長度：管線長度越長，評估腐蝕風險之 CI 指數越高。
- (2) 壁厚規格：管線口徑越大，平均而言其管壁厚度將會越厚，使 CI 指數越低；然而，不同大口徑管線間，管壁厚度的差異可能較小口徑管線顯著，因此另需以統計學上之標準差衡量不同管壁規格的差異情形。
- (3) 最大腐蝕深度：管壁減薄可能深度越大，亦將使 CI 指數越高。METI 考量不同管材種類、管線口徑、土壤抵抗率、管對地電位等因素，以評估管壁減薄的可能厚度：
 - A. 土壤電阻率：土壤電阻越高，腐蝕深度越低。
 - B. 管對地電位：電位差異越大，腐蝕深度越高。
 - C. 埋設年限：管線埋設越久，腐蝕深度越高。
 - D. 管材種類：按不同管材在雜散電流等因素下之腐蝕程度，評估各類管材之最大腐蝕深度。

為協助事業釐清需優先處理之老舊管線，METI 建議按照不同腐蝕風險等級（Corrosion Risk Level, CRL）規劃汰換順序，如對於 CI 數值在 50% 以上之項目，應優先進行汰換或修理工程，後續再依序對 CI 數值在 30% 至 50% 間、10% 至 30% 間，與 10% 以下之管線項目逐一處理，由此幫助事業建立汰換計畫，以期有效控管老舊管線腐蝕風險。

表 2-11 日本對不同腐蝕風險等級管線之處理建議

腐食リスクレベル (CRL)		ガス管腐食度指数 (CI)
IV	取替・改修の必要性が極めて高い	50%以上
III	取替・改修の必要性が大変高い	30%以上～50%未満
II	取替・改修の必要性が高い	10%以上～30%未満
I	取替・改修の必要性がある	10%未満

資料來源：日本經濟產業省，《供内管腐食対策ガイドライン》(2020 年)

4、技術創新

在天然氣管線汰換的原則和方法方面，亦為必然之應用。隨著天然氣系統的不斷發展和更新，管線汰換及維護至關重要。技術創新可以協助瓦斯公司能更精確評估管線的健康及實際運行狀態，並提供更有效的管線維護方案，如研發先進

的管道材料和技術可以延長管線的壽命，同時減少漏氣的風險。此外，還可以利用無人機和遠端監控技術來定期巡查管線，及時發現潛在問題並進行修復，從而保障管線系統穩定運作。因此，技術創新在天然氣管線汰換中的應用，不僅提高管線效率和安全性，尚有助於實現天然氣產業的可持續發展。

綜上，2024 年日本天然氣產業的特性主要包括市場化改革進展、碳排放控制、管線維護和技術創新等方面。這些特性反映出天然氣產業發展趨勢和未來發展方向。

天然氣設備有用戶所有及瓦斯公司所有等兩種類型。所在場所或建築物內的瓦斯管道是屬於用戶的資產；然瓦斯表為瓦斯公司的財產，故瓦斯管線的維修和更換將收取費用。道路沿線的管線歸瓦斯公司所有，房屋內的管道歸土地所有者所有。如為城市天然氣之管線，道路上的管線（前方道路管線）歸瓦斯公司所有；場域內之管線則歸該場域所有權人所有並維護。如欲調查管線是否有被拉入情形，需向瓦斯公司索取瓦斯管道圖，並與法務局等政府部門備有之官方地圖進行比對確認。

二、日本天然氣管制機構

1、經濟產業省（經濟產業省/Ministry of Economy, Trade and Industry）

1949 年商工部改組，成立通商產業部；1973 年，該組織旨在透過部門間的橫向和縱向協作，實現全面、多邊的貿易和產業政策，形成完整體系。2001 年，中央政府改組為經濟產業省。日本天然氣之中央主管機關為經濟產業省資源能源廳，地方則為都道府政府。該機構負責制定與推行經濟產業、通商、貿易、產業技術和商務流通等政策，從跨產業政策（綠色成長策略、數位政策、人力資源政策、產學合作、區域政策/福島重建、中小企業/創業政策等）到個別產業政策（醫療/生物、汽車/飛機、半導體/電池等），內容廣泛多元。旨在有效掌握市場狀況，強調尊重風險與回報衡平之合約重要性，以促進民間企業的經濟活力和順利推進對外經濟關係為重點，發展日本的經濟和產業，並確保穩定、高效的供給能源和礦產資源。無需監管干預、基於市場的定價和監管監督，以保護消費者並確保天然氣價值鏈的透明度。為此，日本透過取消進口限制、確保不同氣源不享有優惠待遇、尊重商業合約、維持市場化定價以建立競爭力等方式鼓勵天然氣市場發展並穩定發展對外經濟關係，管理維護能源和礦產等資源，以達促進

經濟及天然氣事業順利發展等目標。

2、國家稅務局（国税庁/NATIONAL TAX AGENCY）

2018 年《青色申告決算書・収支内訳書》必要經費之折舊費用中，對於建築物及附屬於建築之設備均有詳細材質分類及耐用年限之規定。其中，建案附屬之瓦斯設備耐用年限為 15 年。

表 2-12 附屬於建築物之瓦斯設備耐用年限

<建物附属設備>

構造・用途	細目	耐用年数
アーケード・日よけ設備	主として金属製のもの その他のもの	15 8
店舗簡易装備		3
電気設備（照明設備を含む。）	蓄電池電源設備 その他のもの	6 15
給排水・衛生設備、ガス設備		15

資料來源：節錄自国税庁 NATIONAL TAX AGENCY. "主な減価償却資産の耐用年数表" 確定申告書等作成コーナーよくある質問 (平成 30 年分)

三、日本管線汰換相關法規與規範－瓦斯事業法（Gas Business Act）

1872 年 10 月 31 日，橫濱馬車道點燃了天然氣燈。這是日本城市瓦斯事業的開端。一百年後的 1972 年，日本瓦斯協會將這一天定為「天然氣紀念日」。另外，2017 年開始在日本週年紀念協會註冊「Gas Anniversary」。日本瓦斯相關法律以「瓦斯事業法」為主要母法，另有 1954 年政令第 68 號訂定「瓦斯事業法施行令」，以及 1972 年通商產業省第 97 號令「瓦斯事業法施行細則」等相關法規。

如整棟建築物因拆除或大規模改建而暫時無需使用瓦斯時，關閉瓦斯管道並切斷裝置即可停止瓦斯供應，惟仍須保持連通。在建築物拆除或大規模改造的情況下，需要進行 5 次地面邊界切割，不得損壞瓦斯管。根據瓦斯事業法第 192 條：「損壞瓦斯設施或以其他方式損害瓦斯設施功能、阻礙瓦斯供應的，應有下列行為之一，處罰為 5 年以下有期徒刑或 100 萬日圓以下罰金。

- 1、不當操作煤氣設施而妨礙煤氣供應的，將被處以兩年以下有期徒刑或五十萬日圓以下罰金。

2、從事瓦斯經營活動的人員無正當理由不維護、營運瓦斯設施，造成瓦斯供應受阻的，也適用前項規定。

3、企圖實施第 1 款和第 2 款的行為應受到處罰。」

及同法第 193 條規定：「未經瓦斯公司同意，擅自改變瓦斯設施，將被處以 50 萬日圓以下的罰款。」在進行拆除或大規模改造工程前，須事先聯絡瓦斯公司，得以調查場所或建築物內瓦斯管線位置，預先斷開物業附近的瓦斯管，且以免受罰。

表 2-13 日本安裝瓦斯管線安裝所遵循之法源依據

附表 2 我が国のガスパイプライン(導管)設置状況について

所管法令	事業者名	導管総延長(単位:km)			計
		高圧	中圧	低圧	
		1.0MPa以上	0.1MPa以上 1.0MPa未満	0.1MPa未満	
ガス事業法	東京ガス株	551	5,570	40,913	47,035
	大阪ガス株	494	5,575	36,940	43,008
	東邦ガス株	117	2,447	15,889	18,453
	西部ガス株	65	889	7,429	8,382
	4社計	1,229	14,479	101,171	116,879
	その他の私営事業者	152	9,973	66,784	76,910
	私営事業者計	1,381	24,452	167,955	193,789
	公営事業者計	16	2,711	16,062	18,788
	合計	1,397	27,163	184,017	212,577
電気事業法	東京電力株	120	33	0	153
	中部電力株	40	25	0	65
	関西電力株	26	0	0	26
	合計	186	58	0	244
高圧ガス保安法	合計	1,179	0	0	1,179
鉱山保安法	帝国石油株	861	142	20	1,023
	石油資源開発株	736	92	5	833
	関東天然瓦斯開発株	51	215	144	410
	合同資源産業株	149	127	63	339
	伊勢化学工業株	47	101	45	193
	ジャパンエナジー-石油開発	40	35	0	75
	関東邦アーステック	0	23	32	55
	その他の事業者	46	80	95	221
合計	1,930	815	404	3,149	
総合計		4,692	28,036	184,421	217,149

(注)ガス事業法は平成11年12月末現在。他は平成12年12月末現在。
 ガス事業法、電気事業法及び高圧ガス保安法については、導管が複数条数埋設されているものは総延長としている。
 電気事業法は、導管の総延長が20km以上の事業者を掲載。
 端数は、四捨五入のため合計に合わない場合がある。

資料來源：菅米地."ガスパイプラインの合理的建設システム-クイックパイプライン工法(QPL工法)-の開発." 博士論文(京都大学)(2003).

按日本自 2002 年所公布施行《能源—政策基本法》（2002 年 6 月 14 日法律第 71 號）規定，日本政府自 2004 年起，每年應針對能源供需情況規劃相關措施，發布「能源白皮書」。日本內閣已於 2023 年 6 月 6 日公告「能源白皮書 2023」內容，並向國會提交報告。2023 年度「能源白皮書」有關天然氣部分，中央主管機關欲推動供給結構的改革，破除市場壁壘，管線是否年限屆至或因安全性所致汰換問題，則已呈現脫勾趨勢。



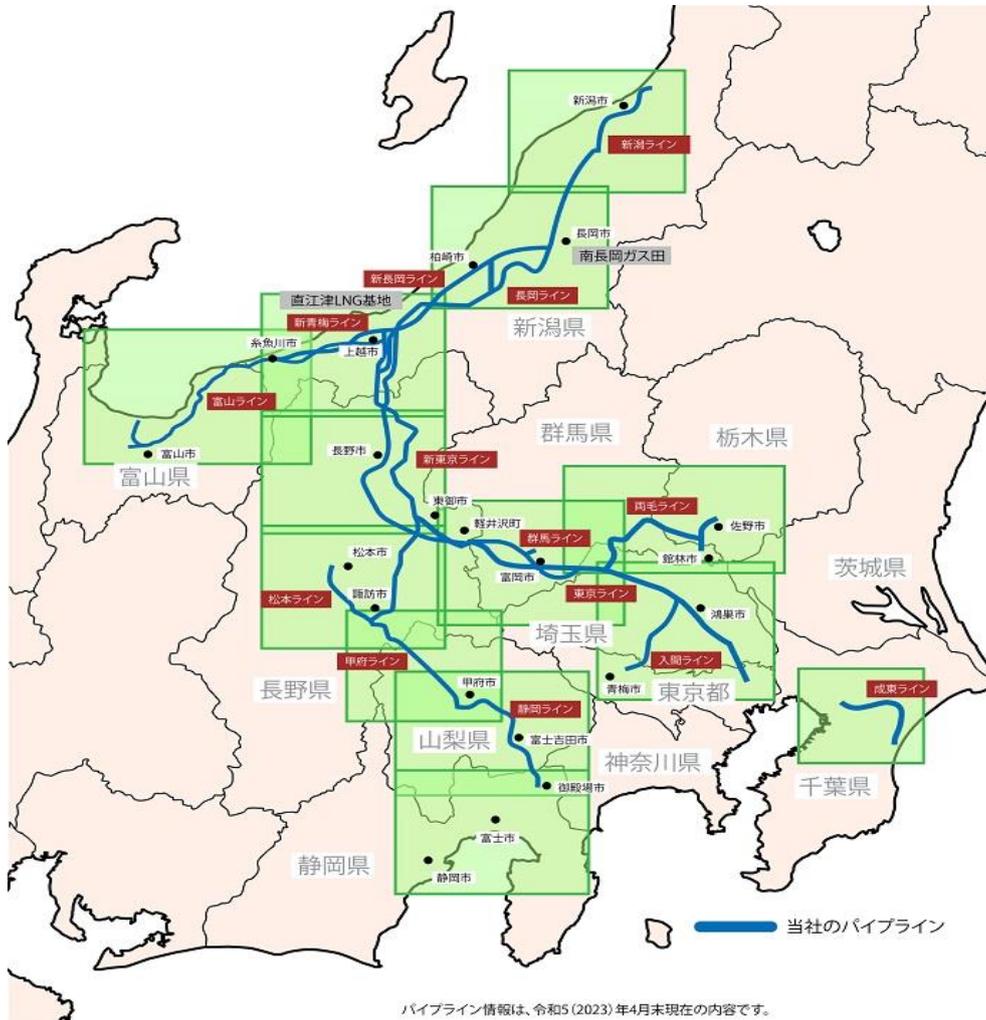
資料來源：本研究整理

圖 2-9 日本瓦斯事業法條文架構

根據該法規定，天然氣營業者需定期進行管線檢查、維護和汰換，以確保天然氣供應的安全和穩定。該法明訂與管線有關之責任主體為天然氣營業者，並規定了相關的監督和執行機構。最後，日本瓦斯事業法還強調了管線汰換工作的透明度和公開性，要求天然氣營業者向相關監管部門和公眾報告汰換計畫和執行情況，以確保管線汰換工作的合規性和效果性。

關於天然氣設備部分，則另以 2000 年 5 月 31 日通商產業省第 111 號令之「瓦斯設備技術基準之經濟產業省省令」為主，對於省令解釋方面則有原子能保安院瓦斯安全課之「瓦斯設備技術基準釋例」分別詳述其天然氣設備、材料、構

造等執行省令之具體內容，不失為我國制定法規時，得以參考之法源依據。與公眾安全息息相關之輸儲設備安全，應確實符合國內相關驗證規定，而國內尚未有法規規定者，得採其他先進國家標準作為依據。



資料來源：承認番号 平24情使、第244-30769号，國土地理院（国土地理院/こくどちりいん）出版。

圖 2-10 日本瓦斯主要幹線數位地圖

四、執行情形與成果

1、日本瓦斯協會「本支管維持管理對策指引手冊」

對於本支管設備之維護管理，日本經濟產業省已委託該國瓦斯協會進行相關研究，並於2009年(2016年二刷再版)提出「本支管維持管理對策指引手冊」供各瓦斯業者辦理導管維修、汰換作業之參考。其中，對於老舊本支管線風險管理機制，日本瓦協建議應將故障可能性較高、災害影響規模較大項目，劃分為需優先處理之「要對策導管」，再由事業依自身經營規模大小、營業資源多寡制定

執行策略。瓦協表示，可依管線強度特性、埋管外部環境及故障維修紀錄預估管線故障可能，釐清實務上較易發生故障之管段：

(1) 管線強度特性

可由埋設年度評估早期埋設之管線是否採用材質不均的工法，管線因此較容易發生龜裂、折損；另外，直徑越大的管線其能夠受力的截面係數越高，故小口徑管線較可能發生管線損害。

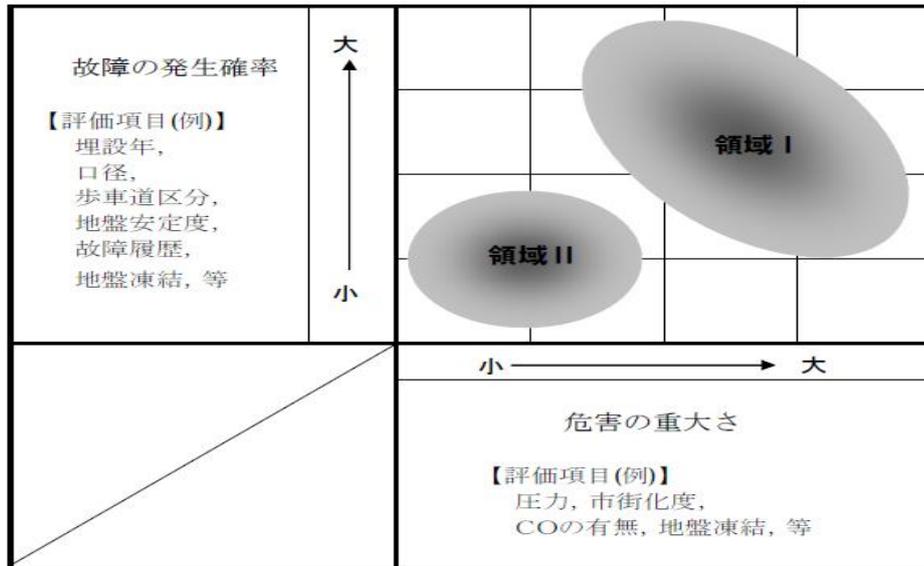
(2) 埋管外部環境

瓦協鑒於實務上約有 20%管線龜裂係因道路交通繁忙所致，故埋設於行車道路之管線需優先評估汰換需求，另亦有部分管段原本埋設在人行道，由於道路拓寬現在已有汽車通行，亦需將此類埋管環境變化納入評估；除此之外，亦需評估管線所在區域之地盤是否穩定，特別係在河道與一般土地之交界處，或有施作大型建築工地之地區，其地面穩定性較差，可能有不均勻沉降之情形，而需優先評估管線風險。

(3) 故障維修紀錄

彙整歷年發生漏氣維修相關紀錄，透過經驗法則釐清風險較高的管段。

對於各類管線之可能危害規模，瓦協指出都市化程度越高的地區，發生漏氣危害造成的損失規模也越大，宜透過用戶密度或安裝計量表數量等資訊，找出高都市化區域。管網壓力較大的管線，發生管線故障時漏氣量將有所增加，亦導致災害規模擴大，需優先考量汰換維修。因此，日本瓦協建議依照可能災害的發生機率、危害規模進行相關風險管理作業。



資料來源：日本瓦斯協會，《本支管維持管理対策ガイドライン》(2016)

圖 2-11 日本本支管風險評估參考原則

2、東京瓦斯公司

有關埋入土壤中之鍍鋅瓦斯管，會隨時間推移，逐漸被腐蝕致瓦斯洩漏。因此，日本建議更換為耐腐蝕並抗震之瓦斯管。如下圖 2-12：



資料來源：東京ガス <https://www.tokyo-gas.co.jp/network/koji/koukan/index.html>

圖 2-12 瓦斯管線腐蝕狀況示意圖

應於安全管理制度中，根據管線安裝位置提出建議並安裝最合適的材質，並明訂應落實導管瓦斯定期檢查：



資料來源：東京ガス <https://www.tokyo-gas.co.jp/network/koji/koukan/index.html>

圖 2-13 瓦斯管線材質及適用功能

東京瓦斯公司鶴見訓練所一年約有 2000 餘名學習者至教育訓練中心接受現場實習與課堂講習，為擔任將來工程之監工、施工、檢測等工作，須經一定時數教育訓練，通過檢定後方得擔任各規定項目工作。主要內容為將本管定義管理為 100mm 以上之管線，支管定義為管理 100mm 以下之管線；一般家庭用之供給支管至建築線後再細分為表外內管及表內內管，並為管線安全管理，對管線之使用年限及汰換順序分別定義，落實導管瓦斯定期檢查。

訓練所對於高中低壓管線之檢測規範如下：

(1) 高壓管線

使用 30 年後實施內部檢查。管線使用 30 年後，為確認管線之安全性，實施全面內部檢查並引進國外管線檢測機器，深入內管檢查。

(2) 中壓本管

自 81 年起，按管線使用年限計畫性檢測，或發現管線接頭異常之中壓鑄鐵管線，採逐年汰舊換新。

(3) 低壓本支管

對於檢測發現微漏龜裂，依照優先順序更新。經檢測發現用戶使用之鑄鐵管發生腐蝕或接頭發生漏氣時，依危險性之順序，逐步更換用戶端管線，或採取新研發之管線維修技術，延長管線使用年限。

對於任何檢查項目，皆需設定適當期間。目前日本的安全檢查和定期自檢採用的是「一年一次」的原則，對於尚有考察期的領域，不一定是經過充分技術考慮後方提出建議。目前大多數檢查需要每年進行一次，已經進行了很多年的年度

檢查以及基於此檢查的設備的維護也已經行之有年。維護管理是日本高壓氣體設施盡力達到安全水準的基礎，並進一步提高安全性。然不只預先決定每年一次的檢查期間，更詳細的設備維護管理，包括預測、設備特性、使用環境、故障影響等，確定流程中的檢查期間也非常重要。到目前為止，尚未已經完全充分考慮了每台設備的適當檢查期間，僅在改變基本檢查週期時才評估有效性。因此，在設備維護和管理的基礎上訂定檢查管線期間的一致性與適當性，相對必要。

五、可參考借鏡之處

日本的天然氣管線汰換執行情形，法律並未明確規定汰換新的費用由誰負責。值得參考的是，日本確有強調定期檢查和更換老化基礎設施，以確保安全和防災。具體而言，日本計畫對中壓鑄鐵管道進行檢查，並在發現輕微洩漏或裂縫時優先更新低壓支管，強調學習天然氣產業在災害應變以及應用新技術更換和加固天然氣管線之重要性。如此，反映日本對維護天然氣管道安全和完整性的積極立場。

日本天然氣管線汰換的目標係透過推進老化天然氣管線的更換和加固以及利用新技術，實現趨近零災害。在確保天然氣維持穩定供應之前提下，配合我國天然氣管線汰舊換新政策之推動，預估未來國內天然氣需求量與減緩本支管管線劣化。根據上述研析日本該領域相關政策課題評估其作法適宜性及可行性，得以提出實務因應策略、配套措施並提供我國中央主管機關未來施政建議。

第3節 新加坡

一、新加坡天然氣產業特性

作為亞洲液化天然氣貿易樞紐之一並建設第四座液化天然氣接收站，天然氣佔據著重要地位，已成為亞太 LNG 交易中心。2018 年，新加坡已成為全球第三大煉油中心及石油貿易樞紐之一，亦為亞洲石油產品定價中心，日原油加工能力超過 130 萬桶，主要產品包括成品油、石化產品及特殊化學品，企業主要聚集在裕廊島石化工業區。其中埃克森美孚公司 60.5 萬桶、殼牌公司 45.8 萬桶、新加坡煉油公司 28.5 萬桶¹。該國在能源方面持續致力於從單一的天然氣發電，發展為多元化供應來源，以確保其能源安全性。其中，天然氣產業最遠可追溯至 20 世紀初，當時該國開始使用煤氣，但隨著能源市場的發展，天然氣逐漸成為主要的能源選擇。新加坡的天然氣來源為進口、國內生產和再出口，主要透過長程管線或液化天然氣 (LNG) 進口，目前擁有包括英國石油公司 (BP)、BG 集團、皇家蠟殼(Royal Dutch Shell)和俄羅斯天然氣工業股份公司 (Gazprom) 等 14 家公司交易或行銷液化天然氣；主要天然氣供應來源係經馬來西亞及印尼進口天然氣，以滿足約 80%的發電量。接收站投入運作後，將可擴大更多天然氣供應選擇²。

政府為確保能源供應穩定，加強對能源進行策略性的規劃和佈局，注重能源高效利用和環境保護，加大資金和技術投入於液化天然氣、太陽能、低碳電力等清潔能源領域³。天然氣目前仍是新加坡這 10 年內主要能源之一，能源轉型將使新加坡從單一天然氣發電轉為多元電力來源相互競爭，預估於 2035 年前，將占能源結構超過 50%⁴。天然氣在新加坡發電燃料結構中的比例已從 2000 年的 19% 大幅增加到 2022 年的 92%，因燃氣發電機已取代先前所使用的燃油發電

¹ 新加坡的重點與特色產業狀況，中華人民共和國商務部 *Economic and Commercial Office of the Embassy of the People's Republic of China in the Republic of Singapore*，

<http://sg.mofcom.gov.cn/article/sxtz/201812/20181202821086.shtml>。參訪日期：2024 年 2 月 26 日。

² 新加坡有意發展成為亞洲液化天然氣貿易樞紐，台灣經貿網，

<https://info.taiwantrade.com/biznews/%E6%96%B0%E5%8A%A0%E5%9D%A1%E6%9C%89%E6%84%8F%E7%99%BC%E5%B1%95%E6%88%90%E7%82%BA%E4%BA%9E%E6%B4%B2%E6%B6%B2%E5%8C%96%E5%A4%A9%E7%84%B6%E6%B0%A3%E8%B2%BF%E6%98%93%E6%A8%9E%E7%B4%90-959088.html>。參訪日期：2024 年 2 月 26 日。

³ 淺析新加坡清潔能源發展歷程、現況及面臨的機會與挑戰，優投 UTOU，

https://www.iutou.cn/repository_detail.html?id=111653&lang=zh-cn。參訪日期：2024 年 2 月 26 日。

⁴ 新加坡碳稅漲至每噸 25 新元 推升電價與天然氣，RECESSARY，<https://www.recessary.com/zh-tw/news/sg-finance/singapore-electricity-prices-rise-due-to-higher-carbon-tax>。參訪日期：2024 年 2 月 26 日。

機。新加坡是天然氣淨進口國，不生產或出口天然氣，目前未有任何已知的天然氣儲量，大部分天然氣係透過印尼和馬來西亞進口。新加坡也進口液化天然氣，天然氣事業主要參與者包括：

1、PowerGas Limited

唯一擁有並經營陸上天然氣運輸網路的天然氣運輸商，作為天然氣運輸商，有權在任何土地、房屋、街道或水域之內、之上、上方或之下安裝任何屬於或將成為其天然氣管網一部分的天然氣管線，並有權進行任何必要或附帶活動。但禁止參與天然氣進口、交易或零售。

《天然氣網路規則》(The Gas Network Code) 係依新加坡《天然氣法》(Gas Act) 訂定施行，為 PowerGas Limited 與各相關天然氣運輸商之間具有約束力之合約，建立並管理天然氣管網的營運模式。PowerGas Limited 根據其核准，負責其陸上天然氣管網的規劃、開發、維護和營運，並依相關法律、許可及其他解釋令等，對網路中的新投資進行所有翻新和更換。

天然氣貿易通常根據雙邊銷售或供應合約完成。對於國內天然氣合同，當事人還必須向 PowerGas Limited 申請並獲得容量權，以獲得透過天然氣管網運輸天然氣的權利。

2、天然氣進口商

由於新加坡高達 95% 的電力來自燃氣電廠，而原先透過管線從馬來西亞和印尼進口的天然氣量逐漸減少，因此新加坡決定由進口商負責從國外引進液化天然氣 (LNG) 以確保能源供應穩定，滿足能源需求。其業務內容包括與國際供應商談判天然氣價格和供應量、安排運輸和儲存設施、管理進口程序以確保穩定供應，並參與新加坡能源結構的發展，特別是在管線天然氣供應減少時，推動電力公司轉向 LNG 作為替代能源來源。日常業務內容亦包括多項方面：

- (1) 供應談判：進口商負責與國際供應商就天然氣價格和供應量進行協商談判，以確保穩定供應。
- (2) 運輸安排：安排液化天然氣 (LNG) 的運輸過程，包括船運運輸及陸路運輸。

- (3) 儲存管理：管理天然氣儲存設施，確保安全儲氣和供應。
- (4) 進口程式：負責管理進口程式，包括海關手續和相關檔案等處理。
- (5) 參與能源結構發展：積極參與新加坡能源結構的發展，推動 LNG 作為替代能源來源，尤其在管線天然氣供應量減少時。

新加坡的天然氣事業中，天然氣進口商逐漸面臨競爭愈趨激烈之交易市場。由於高度依賴進口天然氣且進口需求量逐年增加，進口商必須積極尋求具競爭力之氣源，以確保供氣穩定和安全。除此，新加坡的天然氣存量可用天數偏低，輸儲設施建設計畫推動也未如預期，故進口商需研究因應策略，包括加強分散進口和尋找價格競爭力的氣源。

3、天然氣零售商或託運人

天然氣零售商或託運人的主要提供天然氣的供應和託運服務，以滿足市場需求和保證能源供應的可靠性。通常包括販售天然氣、提供託運服務、維護和維護相關儲槽設備，以及管理及維護供應系統設施。

- (1) 託運天然氣：零售商或託運人負責接受天然氣進口商提供的天然氣，並將其運送到最終消費者處。
- (2) 天然氣供應：確保天然氣供應穩定，並提供相應的服務，例如讀表服務和客戶服務等業務。
- (3) 天然氣儲存設施管理：管理天然氣儲存設施，以確保能夠安全地儲存和供應天然氣。
- (4) 綠色發展：參與綠色發展，以減少環境影響，例如通過使用更綠色的技術、優化運輸路線和儲存設施，以及積極參與環境保護活動。

現正努力推動低碳能源發展，計畫至 2035 年進口 4 千兆瓦低碳電力，預計相當於屆時新加坡總能源供應約 30%。天然氣零售商或託運人得依其資源，提供綜合可再生之能源供應系統服務，以支持新加坡的環保及可再生能源發展。

4、液化天然氣 (LNG) 進口商

對控制權益的某些限制適用於天然氣運輸商、天然氣運輸代理商、液化天然

氣接收站之營運商以及部長宣佈為指定天然氣許可證持有者的任何其他天然氣許可證持有者，以執行《天然氣法》中與控制相關的條款天然氣許可證持有人和對天然氣管網感興趣的實體（Designated Entity）。任何人（無論是個人或與聯絡人共同）不得持有或能夠控制指定實體 12%以上或 30%以上的股權或投票權。此外，當任何人成為指定實體的主要股權持有人（5%以上股權或投票權）時，必須以書面通知 EMA。

二、新加坡天然氣管制機構

天然氣事業之中央主管機關係由能源市場管理局（Energy Market Authority, EMA）監管，隸屬於貿易與工業部（Ministry of Trade and Industry, MTI）。其業務負責確保天然氣產業（包括集中天然氣採購架構）符合新加坡之能源需求和市場法規；範圍包括電力及天然氣市場等，並擬於今年成立「中央燃氣機構」，以整合發電廠之需求⁵。

依《天然氣法》，任何人不得管理或經營任何液化天然氣接收站（位於陸上或新加坡水域的設施，用於接收、儲存或氣化進口到新加坡的液化天然氣，並在該設施中開展與相關活動有關的某些規定活動設施所接收之任何液化天然氣），除非其持有液化天然氣終端營運商之許可證。目前 Singapore LNG Corporation Pte Ltd 是新加坡唯一的液化天然氣接收站營運商持牌者，液化天然氣接收站業者許可證持有者，須遵守《天然氣法》的規定及許可證之條件，如限制其控股權益。

⁵ 新加坡能源市場管理局擬明(2024)年成立「中央燃氣機構」整合發電廠需求，集中採購天然氣，駐新加坡台北代表處，<https://www.roc-taiwan.org/sg/post/41524.html>。參訪日期：2024年2月26日。

新加坡《天然氣法2001》(2020)
(12章101條)

前言 §1-2	行政管理 §3-5	活動許可 §6-13	牌照之修訂與執法 §14-20	天然氣運輸人 §21-36	天然氣零售商 §37-61	管網規定、業務守則、股權實體 §61A-63H	安全性、短缺 §64-68F	反壟斷 §69-82	上訴委員會 §83-85	附則 §86-97	過渡條文 §98-101
<ul style="list-style-type: none"> 簡稱名詞解釋 	<ul style="list-style-type: none"> 主管法案權 取得資訊權 機密資料揭露之限制 	<ul style="list-style-type: none"> 禁止未經授權之天然氣相關活動 牌照之申請、條件豁免、禁止轉讓等事項 天然氣工作人員之許可、執照、委任等規定 	<ul style="list-style-type: none"> 牌照修改權 建議修改通知 修改規範 針對修改提出上訴 撤銷或中止天然氣執照之職權 執法 	<ul style="list-style-type: none"> 運輸人之一般責任 連接責任 安全責任 經費責任 伐木責任 施工 輸氣管線與設備之維修、安裝、遷移 障礙物清除、破壞等規定 特別行政命令 通行證或地役權之保留 	<ul style="list-style-type: none"> 零售商之一般責任 相關設施使用權 主管機關分配天然氣 管線或設備之故障通知 妨礙履行職務 虛假陳述或冒名頂替 虛假冒充管理局之員工或持照人 燃氣設備和裝置不得發生危險 儀表 零售商價格 費用收回權 未經授權接氣 非法取得供氣 未經同意恢復供氣 未通知接氣或斷氣 適當用氣 用戶違約時無供氣義務 防止漏氣 進入用戶場所規定 	<ul style="list-style-type: none"> 天然氣管線網路規定、執行、效力、限制、相關指示 主管機關可發布業務守則或指示 股權實體、信託、章程、投票權行使、執行長與董事會委任等規定 	<ul style="list-style-type: none"> 天然氣相關安全規範 漏氣通知 斷氣、斷供、減供之權力 嚴重缺氣時主管機關之協議介入權、資訊請求權 協議被介入者之補償金定價小組，其成員資格、組成、任期、薪酬、程序、取證等規定 反對補償金定價小組所為決定者之上訴權 	<ul style="list-style-type: none"> 禁止以防止、限制或扭曲天然氣市場之競爭為目的之協議、決定或協同行為 禁止濫用優勢地位豁免規定 主管機關之指引作成權 主管機關之調查權及相關程序 	<ul style="list-style-type: none"> 請求設立上訴委員會 上訴審判庭之組成、程序、職權 	<ul style="list-style-type: none"> 登記簿之保存 指令之影響 法院管轄權 法人責任 可收回之費用或罰鍰 一般罰鍰 罪行之構成 上訴之提出 一般豁免 文件送達規範 	<ul style="list-style-type: none"> 天然氣運輸和零售業務分離之財產、權利、義務及責任之轉移 現行協議等 禁止轉讓之放棄 部長之規範制定權及指令發出權

資料來源：本研究整理

圖 2-14 新加坡天然氣法條文架構

交易市場中，競爭方面或反競爭行為（anti-competitive practices）之監管，由 EMA 擁有調查和執行之權。2022 年 10 月，新加坡正式訂定一系列保護門檻，強化能源市場架構。門檻包括協調發電能力進入和退出之集中流程、加強對電力零售商的監管要求，以保護消費者；及臨時價格上限機制，以防範批發電力市場的極端價格波動。這些措施已於 2023 年起全面實施；除此，未來 MTI 及 EMA 將建立新型天然氣採購框架。

三、新加坡管線汰換相關法規與規範

新加坡的相關法規中，對瓦斯管線使用年限未予以規定，故未有使用年限之限制，以下將分別論述天然氣管線相關法規及規範。

1、天然氣法（Gas Act）

自 2001 年起施行之天然氣法，已為其天然氣市場奠定自由化發展之基礎，且 MTI 訂定了「能源訂價權(Pricing Energy Right)」。

關於天然氣管線，《天然氣法》要求擁有或控制 EMA 指定的天然氣管線、天然氣管網或陸上接收設施的人在沒有不當優惠或歧視的情況下提供進入管線、網路或設施的權限。對此，無法協商存取基礎設施的潛在用戶可以向 EMA

申請指示，以確保獲得此類基礎設施的存取權；如無法就海上天然氣管線的天然氣分配達成協議，雙方得向 EMA 提出申請，EMA 可向申請人和通過海上天然氣管線輸送天然氣的每個人發出指示，就該管線作出天然氣分配安排，以訂立離岸天然氣管線的天然氣分配協議。

2、供氣規範（Gas (Supply) Regulations）

根據供氣規範，對於管線的汰舊換新制度有明確的規定。天然氣供應商有義務依該規範，負有定期檢查、維修和更新天然氣管道系統之義務，以確保其安全穩定。新加坡天然氣（供應）條例概述了有關向消費者供應和連接天然氣的應用和協議的具體規定，以及合格天然氣服務人員的安裝、維護和許可的合規標準。如該規範中第 6A. 至 6C. 條規定⁶，強調管理新加坡天然氣基礎設施時的安全性、可靠性和環境考量等因素。

(1) Gas (Supply) Regulations 2008：該法由新加坡的主管機關（EMA）監督與管理，立法意旨為確保瓦斯供應工程的安全性和合法性，並規定了申請和安裝瓦斯工程所需步驟，包括欲進行更換老化管道工程者，須先向中央主管機關（EMA）事先提交申請。

(2) Gas Supply Code：這是一項實踐守則，規定瓦斯執照持有人必須遵守安

⁶ Part IIA Safety and Inspection of Notifiable Gas Installations

6A. Application This Part applies to a notifiable gas installation whether or not it was constructed before, on or after the commencement* of this Part.

Editorial Note: * Commencement date: 24 May 1996.

6B. General duty of owner of notifiable gas installation to maintain, etc. installation in safe condition Without prejudice to the operation of any other provisions of these regulations in relation to a notifiable gas installation (howsoever described), the owner of the installation shall maintain and operate the installation in a safe condition for the prevention of fire, explosion or other danger arising from the installation.

6C. Inspections to be carried out by owner of notifiable gas installation

(1) The Authority may, by notice in the Gazette, specify—

(a) the inspections which the owner of a notifiable gas installation specified in the notice, or belonging to a class of notifiable gas installations specified in the notice, shall carry out on the installation to ascertain whether the installation is maintained and operated in accordance with regulation 6B;

(b) the intervals at which, or the circumstances in which, such inspections shall be carried out;

(c) the written records which shall be kept of such inspections by such owners and the periods for which any such records shall be retained by such owners;

(d) the copies of any such records to be submitted to the Authority by such owners and the periods within which any such records are to be so submitted after they have been made.

(2) The owner of a notifiable gas installation shall—

(a) comply with the requirements of any notice under subregulation (1) applicable to him;

(b) if required to carry out any inspection specified in the notice, ensure that the inspection is carried out by—

(i) a person who is competent, by virtue of his training and substantial practical experience, to carry out that inspection; or

(ii) a person who is under the supervision of a person referred to in subparagraph (i).

全供氣的標準和程序，立法理由為確保瓦斯執照持有人遵守安全供氣的標準和程序。對於老化管道的更換，其中可能包括對老化管線進行更換以確保安全和完整性的要求。

以上法規為新加坡確保瓦斯管線的安全性和可靠性提供了框架，並明確對老化基礎設施進行更換的指導方針。其立法理由主要是出於對公眾安全的保障和對天然氣供應的穩定性之重視。天然氣管線系統如年久失修或過時，將存有漏氣或其他安全隱患，對公眾和環境造成威脅。因此，制定這些規範的目的在於建立一套嚴格的管線管理制度，確保天然氣供應的安全和穩定性。同時，這也體現了新加坡政府對能源基礎設施的管理和監管責任，以確保公眾利益和國家的整體利益得到保護。

這些進展和成果顯示出新加坡政府對於汰舊換新的重要性，通過定期檢驗、更新和升級、緊急應對措施、技術創新和監測系統，以及符合法規之執程序及監督措施，有效確保天然氣系統的安全運行和穩定供氣。新加坡政府和相關部會將持續關注天然氣事業發展，不斷完善相關法規和管理機制，以應對未來可能出現的挑戰和變化。

四、可參考借鏡之處

新加坡在天然氣管線的汰舊換新規定主要根據《天然氣法》（Gas Act）和《供氣規範》（Gas Safety (Gas Supply) Regulations）進行管理和執行。新加坡對天然氣管線汰換之借鏡之處，為明確訂定相關法規，規定了申請和安裝瓦斯工程所需步驟，包括欲進行更換老化管道工程者，須先向中央主管機關（EMA）事先提交申請。並在實施細則中規定瓦斯執照持有人必須遵守安全供氣的標準和程序，包括對老化管線進行更換以確保安全和完整性的要求。

新加坡的相關法規強調了對瓦斯管線安全性、裝設和供氣的重視，內容著重在天然氣系統運行之安全相關指導，對瓦斯管線使用年限、汰換原則、汰換條件等未予以規定。

第4節 小結

一、各國比較

一般情況下，天然氣管線的使用壽命大約在 30 至 50 年之間。當管線達到這個壽命時，將會建議考慮進行汰換，以確保供氣的安全性和穩定性。

表 2-14 美國、日本及新加坡管線汰換之法規及相關規範

美國	日本	新加坡 ⁷
氣體配送管線完整性管理(DIMP) (49 CFR PART 192 的 Subpart P 192.1001-192.1015)	日本瓦斯事業法 ⁸	天然氣法 (Gas Act)
		供氣規範 (Gas Supply Regulations)
		管線裝置守則 (Code of Practice for Manufactured Gas Pipe Installation)

資料來源：本研究整理

對於管線使用安全，美國聯邦政府早於 2002 年即開展跨部會研究計畫，由此於聯邦法規中明確制定天然氣配送管線系統之完整性管理計畫標準(DIMP)，並在此一強制力規範下，要求各州天然氣業者需依法規明定標準所定之管線風險排序，自行研擬管線汰換及修復之管理措施。至於各年度管線汰換、修復計畫之執行成效，則由不同州政府按照 DIMP 架構自行訂定編列與審查方式，敦促業者加速執行高風險管材之汰換與修復作業。

日本政府則於瓦斯事業法要求天然氣業者需向監管部門定期報告汰換計畫與執行狀況，不過並未進一步明定汰換計畫需遵守標準，而係透過經濟產業省與當地瓦斯協會自 2009 年起共同研擬可供業者參考之實務指引，透過行政指導的方式，幫助各事業釐清需優先汰換的管線態樣，以利在有限營運資源下，有效率地控管天然氣管線腐蝕、損壞之風險。因此，日本民生用戶天然氣管線裝置收費標準明文規定，當設備屆滿折舊期限或合格期限必須汰舊換新時，由天然氣公司承擔掛表費用。這樣的規定可以提供一個明確的責任歸屬機制，確保天然氣公司在設備汰換時承擔相應的費用，從而鼓勵公司及時進行汰換，保障系統運作的安

⁷ 本處所列三者為實施新加坡天然氣管線設備裝置工程時應遵循之相關法規。

⁸ 改由省令來規範材料、構造、試驗、新工法等性能之規劃，凡能達到指定之性能即可，測試之性能不需再提出，屬於新觀念之法令。

全和效率。

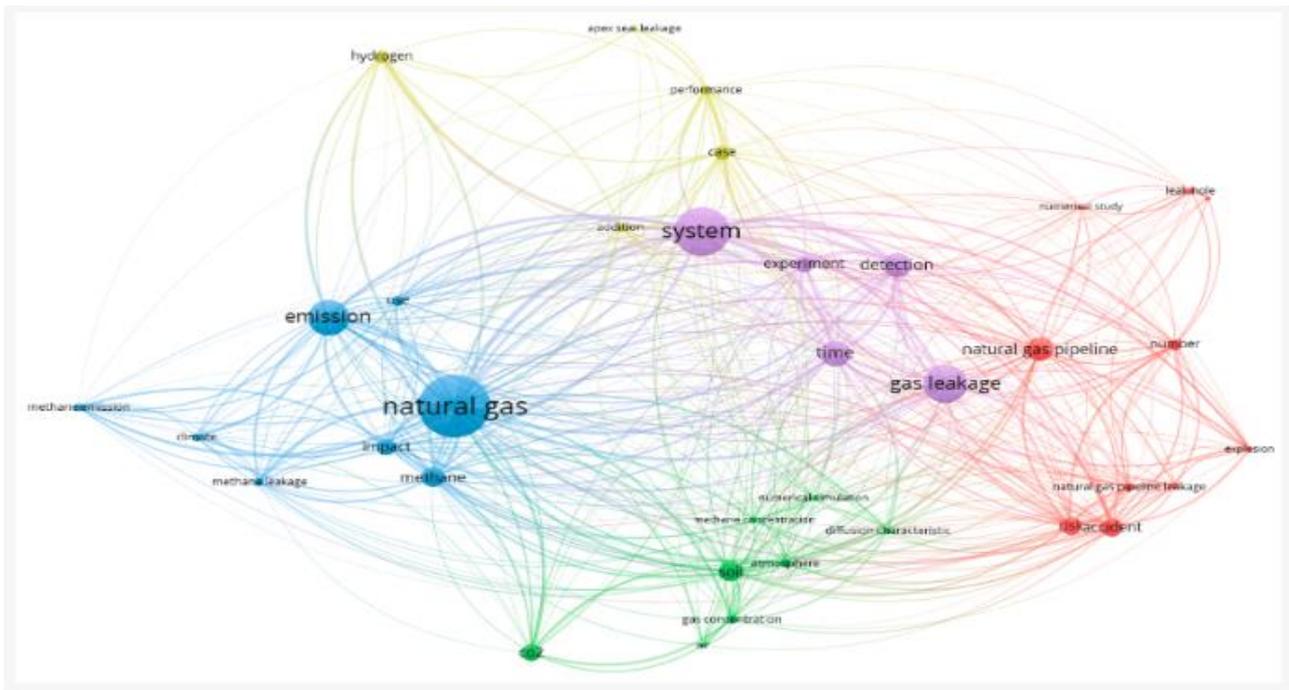
新加坡屬法治強度較高的國家，惟相關法規著重在管線安全，對瓦斯管線汰換的條件，如使用年限、汰換原則、汰換順序等未予以規定。因此，本研究汰換參考借鏡以美國、日本為主。

觀諸美國、日本實務管理案例，可發現如何辨別並找出需優先處理之高風險管線至為關鍵，為了建立老舊本支管線之風險管理機制，一方面需視各國管線之埋設實務，找出各自適用之風險因子，另一方面則需評估可能災害之影響規模，以期降低事故發生之影響程度。無論是具有強制力規範之美國，或是仰賴業者自主擬定汰換規劃之日本，均早已推動管網完整性檢測之相關研究，並提出可供業者遵循之實務標準，從而循序漸進地督導當地業者執行汰換作業。因此，建議可參考美國對天然氣管線汰舊換新的責任歸屬機制和技術升級轉型的做法，以制定更完善的法規和政策，促進天然氣系統的可持續發展和營運模式。

各事業對於老舊管線之汰換、維修並非一蹴可幾，除各不同地區間之管線使用情形有所不同外，實務上汰換成本昂貴、缺乏政策補助誘因等因素，亦影響業者汰換意願與效率。各國比較其異同下，美國及日本均鼓勵業者透過 PDCA 循環，在執行管線汰換計畫的過程中，定期監測各項計畫性汰換管線之改善進度，以確認各期執行成果是否確實按照風險評估之優先順序辦理，並參照各期計畫成效之查核結果，分析未按計畫實施項目之落差原因，由此檢討是否需調整老舊管網之汰換計畫等措施，確保整體對策計畫具體可行，落實控管本支管老化之可能危害。

二、根據文字關聯性分析

管網檢測的主要作法包括定期洩漏巡檢、輔助測漏、鑽孔測漏、氣泡洩漏檢測法和氣密測試等。定期洩漏巡檢通常包括管線巡查、加重嗅劑查漏以及瓦斯偵測器人手孔查漏；輔助測漏則使用雷射瓦斯偵測器進行查漏；鑽孔測漏主要適用於地下管道。氣泡洩漏檢測法則適用於跨越水溝管線和地上管線，而氣密測試則適用於集合式住宅共用表外管。檢測方法之結合應用可全面評估管網的安全性和完整性，並及時發現潛在的問題。關於天然氣傳輸和分配網路中天然氣洩漏模擬的研究，從而得出最能描述該研究的兩個關鍵字本文中的內容以及它們之間的連結：天然氣洩漏、管線、實驗模型、環境排放及經濟。



資料來源：Eparu, Cristian Nicolae, Adrian Neacsu, and Doru Bogdan Stoica. "Gas Losses in the Distribution Networks: An Interdisciplinary Analysis." *Energies* 16.1 (2022): 196.

圖 2-15 研究期刊文獻常見詞彙

大量的文獻分散核心，而這些大量的文章中，沒有任何研究或調查將所有這些複雜的問題匯集在一起。對於汰換舊的或超過使用年限的管線投資機會進行技術經濟盈利能力研究，也沒有特別的研究報告，寫出有關這些投資可能產生的環境影響。

學者專家進行實驗數值研究，根據實際條件開發氣體分支的數值模型，開發了一種從天然氣本支管測量流失率的方法。透過數值模擬，研究人員建立了模型及其各個組件的一般幾何形狀，以便根據輸出氣體濃度值準確預測氣體損失流量，並驗證該數值結果。與實驗結果相比，數值產生之結果，尚在可接受的誤差範圍內。除此，亦有學者針對如何偵測和量化管線洩漏此關鍵問題施行實驗研究，提出了一種基於多重聲學特徵融合（MAWF）的管線洩漏事件檢測和量化方法。測試結果表明，該方法能夠有效且快速地識別管線洩漏情況，洩漏事件識別準確率高達 98.79%。這項研究的結果有助於提高管線洩漏的預警時間。

對於檢測發現的管線或設備故障或洩漏情況，應記錄於相應的洩漏事件記錄表中，作為管網管理和風險評估之參考資料。透過定期的檢測和記錄，管網管理者可以即時了解管網現狀，並採取必要的修復和改進措施，以確保管線系統的安全運作。即使不是用於天然氣分配系統，文獻中也提出了各種各樣的方法，以

便根據使用流體預測的統計分析和運行研究來分析管道系統的故障、壽命和故障敏銳度運輸。正如本文所強調，使用真實的支架或設備來驗證這些方法都是非常有用的。在這個具有重要實務意義的領域已有大量文獻，這就是無論美國、日本或新加坡，均必須強調研究重要性，提出對天然氣洩漏問題的綜合研究。

第3章 蒐集國內天然氣事業與自來水公司管線汰換原則

第1節 我國現行天然氣管線汰換原則

一、天然氣管線汰換相關法規

1、《天然氣事業法》第51條

為保障供氣安全，爰於《天然氣事業法》第一項規定輸氣管線有影響安全之虞者，業者應立即汰換，且於第二項規定主管機關得派員或委託專業機構實施檢測。另，事涉公共安全與用戶用氣安全，爰於第三項規定須定期編具次一年之輸氣管線維修檢測汰換計畫，報請中央主管機關備查。

《天然氣事業法》第51條第1項：「天然氣事業輸氣管線因發生腐蝕或其他現象，有影響安全之虞者，事業應立即汰換。」及同條第3項：「天然氣事業應於每年十月三十一日前，編具次一年之輸氣管線維修檢測汰換計畫，報經直轄市、縣（市）主管機關轉請中央主管機關備查。」上述為管線汰換事業所遵循的法源依據，其細部的汰換作法國內目前沒有完整的統一規範，主管機關與縣、市政府已從風險管理的角度，為維護公共安全與供氣穩定，持續努力完善汰換計畫的具體作法，供事業遵循。

2、《臺北市公用天然氣事業輸儲設備漏氣檢測及防範計畫》

地方主管機關中，目前僅臺北市政府為防範公用天然氣事業輸儲設備因老舊、腐蝕或道路挖掘施工因素造成漏氣，於中華民國108年11月29日實施《臺北市公用天然氣事業輸儲設備漏氣檢測及防範計畫》，此計畫條文總計6條，摘要如下：第1條明確訂立該計畫宗旨與目的、第2條針對漏氣點與漏氣熱點明確定義、第3條列舉實施設備檢測方式共計6種、第4條規範巡檢作業與檢漏作業頻率、第5條規範事業應採行之防漏措施（包含落實設備施作、強化維修作業、管線汰換原則、提升用戶定期檢查等）、第6條其他事項如明訂須提報產業局及工務局列管明訂管線之埋設年度等。綜上臺北市政府明訂的行政法規，針對管線汰換具體作法細緻且具體，不僅可供事業遵循，也可做為中央或其他縣市的立法參考。

前述內容中，明定管線汰換原則如下7點：

- (1) 巨電池支管腐蝕檢測結果為 A 級者⁹。
- (2) 管線巡查或施工開挖發現有腐蝕或漏氣者。
- (3) 屬於通報漏氣熱點之同一管線設備漏氣頻率較高者。
- (4) 配合本府或其他單位工程必須遷移瓦斯管線者。
- (5) 管齡 30 年以上有腐蝕之管線或埋於地下管齡超過 25 年之鍍鋅鋼管且未使用防蝕包覆者¹⁰。
- (6) 汰換長度不得低於前 2 年汰換計畫預計汰換長度之平均值。
- (7) 對於學校、醫院、車站及加油（氣）站等周邊一百公尺內老舊管線列為優先汰換。

二、天然氣管線汰換判斷重點與順序

考量供氣區域內之老舊管線汰換並非一蹴可就，在汰換上分為計畫性與非計畫性，就計畫性汰換而言，針對就早供氣之區域，其因管線老舊、管齡 30 年以上之台灣製本支管、用戶反應管線實際狀況已不堪使用，又或者為易腐蝕材質如：鍍鋅鋼管（未包覆 PVC 帶或單槽帶）及鑄鐵管，瓦斯公司將針對管線實際狀況及材質耐用程度，優先加速汰換管齡老舊之本支管、鍍鋅鋼管及鑄鐵管，並列入每年提報之計畫性汰換項目中。就非計畫性汰換而言，依據漏氣熱點評估結果及民眾通報等管線，因影響民眾日常生活甚鉅，因此判別為優先汰換之管線，將騰出預算緊急處理。針對逐年的計畫型汰換管線，汰換順序排序考量重點主要是由「管齡」、「管材」及「環境因素」多元考量，安排排序汰換管線的工程，以管齡而言，管齡 30 年以上，且近一年有漏氣報修者優先汰換。以管材而言，早期的鍍鋅鋼管因未包覆 PVC 帶或單槽帶為較易發生漏氣之高風險管材，而需優先規劃進行汰換，避免發生漏氣意外。針對可能發生鏽蝕之金屬管，實務上採取以下方式判斷如：目視查看、地下管線鑽口測漏、地上管線泡沫查漏、紅外線雷射檢測儀器等方法，確認腐蝕程度。

考量易造成管線危害之環境，如活動地震斷層範圍、土壤液化潛勢資訊、淹

⁹ 現在日本已不採用「巨電池支管腐蝕檢測」，此為台北市僅有的研究方法。

¹⁰ 管齡 30 年以上有腐蝕支管線為但書，要有腐蝕紀錄建議加以論證，並非單純以年限判斷。

水潛勢情形、土石流潛勢溪流地區、自來水漏水高風險區域，將進行定期及不定期檢查，遇異常即優先辦理汰換，並針對硫磺區及鑄鐵管材質等易腐蝕環境及易腐蝕材質，作為優先汰換之重點檢查標的。

綜上，各公司針對公司所在區域特性，訂定汰換原則，詳如附件 1，針對輸配氣管線改善及汰換，管線汰換順序考量，原則上係以影響「安全之虞」作為優先汰換，其餘則逐年辦理汰換，其汰換次序如下：

- 1、通報維修：經瓦斯公司工程人員維修、檢測或巡查、施工開挖及民眾通報維修發現腐蝕情形等優先汰換。
- 2、1 年內漏氣頻率：同一地點報修 3 次、明管設備於 100 公尺距離內有 2 處腐蝕漏氣者及埋於地下線設備於 20 公尺距離內，有 2 處腐蝕漏氣等漏氣報修頻率較高者，應優先辦理汰換。
- 3、管線材質：依管線材質將逾齡鑄鐵管、塑膠管、鍍鋅白鐵管及黑鐵管依計畫性逐年汰換。
- 4、耐用年限：配合 GIS 圖資系統，主動將明管管齡 30 年以上管線、埋於地下管齡超過 25 年之鍍鋅鋼管且未使用防蝕包覆者及地質不良，易造成腐蝕處進行檢測或挖掘，發現嚴重腐蝕現象優先辦理汰換。
- 5、對於學校、醫院、車站及加油（氣）站等周邊 100 公尺內老舊管線列為優先汰換。
- 6、配合市府或他單位工程須辦理管線汰換者。

三、相關執行措施

目前除針對管齡老舊及易腐蝕材質，如：鍍鋅鋼管及鑄鐵管，將計畫性逐年汰換，在制訂年度管線汰換計畫，將彙整往年通報之管線漏氣搶修案件，從中篩選漏氣熱點，以規劃需優先汰換之管線。篩選漏氣熱點的策略為單年度同一條管線多次報修、單年度在 100 公尺內發生多處腐蝕漏氣之地下管線、單年度在 20 公尺內發生多處腐蝕漏氣之地上管線及環境不良易造成腐蝕，鍍鋅鋼管因管材未包覆 PVC 帶或單槽帶，易腐蝕恐造成意外，優先列入汰換排序之重點。衡酌特殊地區及用戶，如：鄰近學校、醫院、加油站、車站、商業等人口活動密集區域，因影響範圍甚廣，則優先列為重點區域檢測評估是否需辦理汰換。

綜上，針對這些漏氣熱點，實務上瓦斯公司大多情況下是不分佈管、埋管時間，首先以管線鏽蝕、洩漏、民眾通報等影響民眾日常影響安全之虞，作為優先汰換依據。除此之外，為提高管線汰換之可行性與汰換率，各事業配合各類公共工程如：下水道工程、防水箱涵工程、道路運輸工程、新市鎮開發工程、自來水汰換工程、市府側溝、公園整修等相關公共工程之施工期程進行汰換規劃，以期提高管線汰換率。

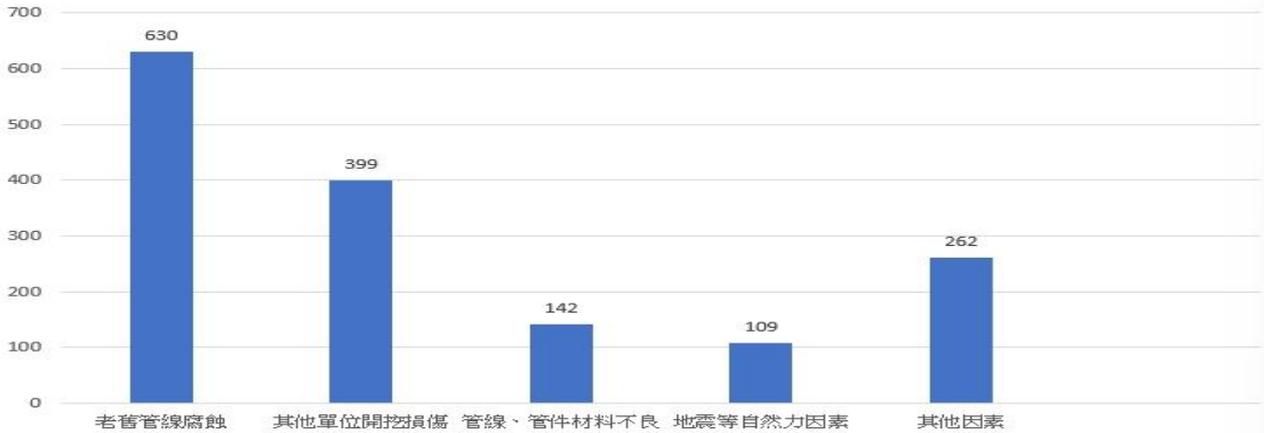
四、彙整結果

為了解公用天然氣事業之本支管汰換現況與管線優先汰換的評估依據，臺灣經濟研究院設計本支管汰舊換新問卷，發放給 25 家事業填寫，以了解本支管實際汰換情形與困境，該問卷共計 12 題，詳如附件 2。

該問卷在設計上主要是參考臺北市公用天然氣事業輸儲設備漏氣檢測及防範計畫，以及結合過去多年實際查核經驗來彙整瓦斯同業的本支管汰換情形及漏氣原因。問卷第 2 題及第 8 題依據台北市政府所提的汰換原則，了解瓦斯公司是否有彙整漏氣熱點及衡酌漏氣對特殊用戶的影響作為優先汰換依據，問卷第 3 題依據多年的實务工法判斷管線腐蝕及洩漏位置，了解瓦斯公司如何辨別管線腐蝕程度及漏氣位置，以此規劃計畫性汰換管線項目。問卷第 5 題依據中華民國公用瓦斯事業協會天然氣管網之管線汰換原則修正意見對照表，了解管網系統中須優先汰換的高風險管材，問卷第 6 題依據氣體配送管線完整性管理（DIMP），了解瓦斯公司是否考量自然力因素對管線的危害，結合現有圖資系統詢問事業是否以此為依據汰換管線，其餘題目則是針對多年實務汰換情形對瓦斯同業汰換管線現況做彙整，設計問卷。

綜整 25 家本支管汰舊換新調查問卷，112 年度實務上導致管線漏氣之發生成因多元，有老舊管線腐蝕、其他單位開挖損傷、管線、管件材料不良、地震、地層下陷等自然力因素，其中老舊管線腐蝕佔當年度漏氣案件之比例最高達 630 件，其次為其他單位開挖損傷達 399 件，如圖 3-1。

管線漏氣發生成因



資料來源：本研究整理

圖 3-1 管線漏氣發生成因

根據問卷回收結果顯示，112 年計畫性汰換管線，有 7 家瓦斯公司於該年度執行完成之計畫項目長度汰換率達 90%至 100%，2 家達 80%至 90%，4 家達 70%至 80%，3 家達 60%至 70%，整體而言，過半數瓦斯公司計畫性汰換管線達 6 成以上，顯示管線汰換計畫發揮一定作用，至於未能如期完成汰換之計畫性項目，實務上無法順利汰換之原因為路段禁挖期無法施工、非計畫案件，需配合其他工程如：配合工務段路段改善，工程進度進場埋設管線，因為工務段工程尚未完成，故未能如期完成管線汰換、縣市統一挖補無法派工、招標流標多次，改以專案辦理等多元因素，因而導致無法如計畫時程要求，順利汰換成功。至於編列汰換計畫之標準作業流程（SOP），根據問卷回收調查結果顯示，雖然大多數瓦斯公司沒有針對管線汰換制定完整標準作業流程（SOP），但均可針對管線汰換提出優先汰換的判斷依據，例如：以管線埋設年份、埋設(置)區域及曾有洩漏或大規模施工等因素調整管線汰換先後次序，又或者依管線材質、管線竣工日期與管線腐蝕程度分析情況，每年滾動式調整汰換順序，並朝向區域性的汰換方式規劃。

第2節 國內自來水管線汰換原則與相關法規

國內自來水供應模式與天然氣相同，皆以管線供應予用戶，亦存在管線汰換問題，故本研究亦蒐集國內自來水管線汰換背景，惟自來水管及天然氣管路傳輸物質不同，僅為參考。

國內自來水管線透過區塊規劃、水錶安裝、管網改造、長效管理等綜合措施，以有效解決漏水問題，提高供水管網整體質量。107 年底水管洩漏率高達到 13.52%，期望於 114 年將洩漏率降低至 10%，有效之管線汰舊策略對實踐此目標至關重要。

一、管線汰換相關法規

1、自來水法

自來水法規定了管線汰換工程中的相關規定，包括毀損主要輸儲設備、擅自啟動自來水設備、毀損行為致水量漏失等。自來水法第 88 條規定，自來水事業擴充、更換或拆除其主要設備時，應備具詳細計畫圖說報請主管機關核准。其有關水利法所規定之有關水權、水源之水利建造物，並由主管機關核轉水利主管機關核准之；同法第 90 條規定，自來水事業於法令核定之營業規則外，不得向自來水用戶增收任何費用；如有違反時，主管機關應勒令其將超收費用退還用戶，此將保障用戶權益並確立公平交易制。

2、管線工程品質抽挖（驗）作業要點

該要點確立管線汰換工程品質。第一條第三項規定，瀝青混凝土路面修補雖經驗收，於保固期間內，倘道路主管機關認為施工不良，通知改善時，承包廠商仍應無償負責改修。臺灣自來水股份有限公司自來水管理設工程施工說明書中，明確訂立施工規範及管線工程事業應注意事項。如承包廠商於辦理舊管切除時，應會同主管機關所派監造單位/現場監造人員，並依台灣自來水公司「管線工程品質抽挖(驗)作業要點」辦理現場抽挖（驗），不得拒絕抽挖（驗）。惟延性鑄鐵管件、壓圈、螺絲、螺帽等，以管件重量在 500 公斤（含）以下時，以製造廠之出廠證明或契約影本（需蓋承包廠商與製造廠商之名稱、負責人、印章及「與正本相符」字樣）、承包廠商與製造廠之買賣收據（發票）及契約訂約日前 6 個月內經主管機關派員或會同檢驗之他案工程合格報告書已送審核合格者，得免予檢驗。

二、汰換原則與判斷重點

台灣自來水公司汰換管線的施工原則主要包括以下：

1、管線工程施工規範

台灣自來水公司的管線工程施工說明書中規定，施工規範及增修訂以得標時登載於台灣自來水公司網站之最新規定為準據。

2、管線工程品質抽挖(驗)作業要點

台灣自來水公司提供了管線工程的品質控制和抽挖（驗）作業要點，以確保管線汰換工程的品質。

3、工作證

在開工前，乙方應檢附經合格取得工作證之施工人員名冊送甲方核備，未經核備擅自進場施工，或核備後發現無「工作證」者進場施工，該已施工部份依工程規定罰款。

4、管線工程特定施工補充說明

台灣自來水公司提供了管線工程的特定施工補充說明，包括管線工程的技术人員資格要求、工作證核發與管理要點等。

5、工程管理

工作證、工程管理處、監造單位等均有相關規定，以確保管線汰換工程的管理和執行。

三、汰換順序依據

在管線汰換工程中，台灣自來水公司注重加速降低漏水率、建置調度備援幹管以及推動淨水場現代化等措施。通過實施降低漏水率計畫，自來水公司採取多種策略如合理水壓管控、主動漏水控制以及提高修漏速度與品質等，以有效降低漏水率。此外，在早期埋設已達使用年限的幹管方面，特別是對於「單一」、「重要」、「脆弱」維生管線，如 103 年高雄氣爆（約 1.35 萬戶停水）、105 年台南地震（約 40 萬戶停水）、107 年花蓮地震（約 4 萬戶停水）、111 年 9 月台東地震（約 0.484 萬戶停水）等重大災害；又如 110 年百年大旱期間，「桃園—新竹

備援管線工程」¹¹係由自來水公司積極推動建置調度備援幹管，以提高應變彈性和應對可能發生的災變事件。

自 102 年至 107 年，經由台水公司參考國際降漏四大策略¹²之滾動式調整，累計汰換管線長度目標值共達 3,352 公里，實際值為 4,087 公里，大幅超越目標值之設定，達成管控之目標。由於分區計量管網建置數量已有逐年增加之趨勢，藉由分區計量管網建置後進行之管理維護作業，後續將更能更加精確汰換分區計量管網內漏水復原嚴重、修不勝修之破漏管段，提高管線汰換之降漏成效。台水公司辦理汰換管線之作業時，各區管理處積極與各路權單位協調工作並配合路權單位之年度維修計畫，以利路權取得及擲節經費。因實際值確實有大幅超越目標值，降漏成效亦較原目標值增加。

¹¹ 資料來源：建置調度備援幹管，113 年 1 月 16 日，台灣自來水公司。
<https://www.water.gov.tw/ch/Contents?nodeId=1100>。

¹² 國際降漏四大策略包括：

- (1) 水壓管理
- (2) 修漏之速度及品質
- (3) 主動漏水控制
- (4) 管線及資產管理

第4章 適合我國之天然氣管線汰換計畫建議作業方式

第1節 組成工作小組

為順利達成本計畫之各項執行工作，台經院將進一步整合院內外專業人力以及研究資源，邀集輸儲設備、裝置工程專家學者組成本研究團隊。除台經院團隊外，本計畫已成立兩個小組，透過不同層面有效擬定管線汰換之推動策略。工作小組成員名單如表 4-1 所示。

一、工作小組成員

表 4-1 工作小組成員名單

項次	姓名	現職/職稱	最高學歷	專長
1	翁榮洲	工業技術研究院特聘研究	博士	防蝕技術專家 石油與天然氣輸儲設備及管線安全管理
2	吳榮正	工業技術研究院副組長	碩士	非破壞性檢測 石油與天然氣輸儲設備及管線安全管理
3	咎世蓉	工業技術研究院技術總監	博士	風險評估 石油與天然氣輸儲設備及管線安全管理
4	楊宜恒	工業技術研究院經理	博士	風險評估 機械力學監測、安全診斷、光學檢測評估 石油與天然氣輸儲設備及管線安全管理
5	李信賢	工業技術研究院資深工程師	碩士	風險評估 石油與天然氣輸儲設備及管線安全管理
6	曾俊強	工業技術研究院副工程師	碩士	石油與天然氣輸儲設備及管線安全管理
業界先進		現職/職稱		
6	周銘善	大台北區瓦斯股份有限公司 副總經理		
7	王主穎	大台北區瓦斯股份有限公司 副理		
8	游大毅	大台北區瓦斯股份有限公司 副理		
9	沈永富	欣湖天然氣股份有限公司 經理		
10	張啓明	欣欣天然氣股份有限公司 經理		
11	周錦地	欣中天然氣股份有限公司 經理		
12	林登章	中華民國公用瓦斯事業協會 顧問		
13	黃淳彥	中華民國公用瓦斯事業協會 顧問		

資料來源：本研究整理

二、運作方式

首先組織技術工作小組，根據本計畫中所述各項技術文件所涵蓋之領域；包括相關法規、評估、檢測技術、安全管理等，具備完整知識及服務經驗從業專業

人才組成技術工作小組，針對國際既有規範、指引與相關技術細節、實施方法進行研析與討論。

同時也成立策略推動諮議小組，以國內產業動態、文化下有效推動汰舊換新之策略進行討論。已邀請相關領域內長期服務且對於政策推動溝通、技術輔導、規範建立具備深厚經歷之專家學者參與，進行相關議題討論。

於 113 年度 6 月 6 日辦理 1 場次「管線汰換原則與流程專家諮詢會議」。會議前半段由材料協會進行國外相關天然氣管線汰換原則之研析說明，主要說明之大綱分為國內現有天然氣管線汰換原則概述、強化公用天然氣設備管理作為與汰換計畫概述、美國公用天然氣管線汰換現況及相關法令要求、美國公用天然氣管線汰換原則摘要等；後半段再由專家學者提供建議，進行交流討論，討論主軸為既有公用天然氣管線汰換原則之建議、國際既有作法的導入與精進等。

於 113 年度 8 月 14 日辦理 1 場次「管線汰換計畫討論會議」。會議前半段由材料協會進行國外管線汰換計畫之研析說明，主要說明之大綱分為我國管網汰換計畫面臨課題、美國公用天然氣管網汰換時所考慮之因素及流程等；後半段再由業界先進提供建議，進行交流討論，討論主軸為管網汰換計畫之流程建議等。

透過紮實的學術、理論基礎之外，也考慮到業界推動面的困難度擬定適當之實施方式。為了解實務運作模式及問題點，邀請專家及業界先進共同開會，確認方向及內容，並搭配適合的研究方法找出天然氣管線汰換的問題點，以此提出適合我國天然氣管線汰舊換新原則建議。

第2節 研析影響本支管維修或汰換之原因

當評估天然氣配送系統中的管線是否需要維修或更換時，管線的完整性以及整體配送系統之組成及其特性皆為關鍵考量之因素。天然氣配送系統由本支管、輸氣管線、表外及表內管等管線所組成，而維持管線完整性對於系統的安全性和可靠性至關重要。在決定是否進行維修或更換時，應考慮該管線之材質、運作歷史、敷設環境、埋設時間長短等因素，在綜合考慮上述因素後，決策者可以更準確地判斷管線的當前狀況以及未來的維護需求。而影響管線維修或汰換之各原因如下說明：

一、管線材質

根據不同材質的管線有不同的耐用性和抗腐蝕性等，瞭解管線材質有助於預測其使用壽命和規劃其需要之維護措施。而我國最常見之鑄鐵管、鋼管以及塑膠管等，不同之管材所對應之材料特性亦有所不同。

1、鑄鐵管：

鑄鐵管很容易受到「石墨化」現象的影響，石墨化（graphitization）是一種腐蝕劣化現象，發生該現象之原因源自於鑄鐵管的材料特性，鑄鐵管主要由鐵和碳（以石墨形式存在）組成。在正常情況下，這些成分以穩定的微觀結構排列在一起。然而，在某些環境條件下（如高濕度、高酸度或其他腐蝕性環境），鐵會逐漸被腐蝕，使其結構強度降低，脆性（brittleness）增加。石墨化後的管線變為易受損的碳基多孔結構，傳統的維護與修補方法可能不再適用，亦可能因而導致外洩風險增加。除此之外，不同之管線材質也影響管線之設計方式。舉例而言，鑄鐵管因焊接不易，故多以不同種形式之接頭進行連接，但受限於設計與材料的選用，接頭較常出現橡塑材料硬化以及螺栓問題導致洩漏。業者在評估管線之狀態時，除材料本身的劣化外，對於相應採用之管線連接方式則應獨立一項予以考慮。

2、鋼管：

對於鋼管來說，當地面的濕氣或內部濕氣與管線、焊接和接頭接觸時，就可能發生腐蝕。鋼製管材中之雜質或合金成分會影響其腐蝕性。例如，高碳含量或含有其他雜質之鋼材更容易腐蝕。另外於焊接區域和接頭安裝過程中可能產生

應力集中和微觀之結構變化，這些區域比其他區域更容易發生腐蝕。然而根據過去經驗得知，鋼製管線發生氣體外洩的原因除了挖掘損傷、天然地質運動或暴雨/洪水所造成的損壞之外，內外部腐蝕亦為氣體外洩之主因之一。因此，為了防範鋼製管線發生腐蝕之情況，目前常使用防蝕塗層以及陰極保護等方法。防腐塗層是在鋼管表面包覆如環氧樹脂塗層、聚氨酯塗層等塗層，以隔絕鋼管與腐蝕性介質的接觸。陰極保護是通過如犧牲陽極法或外加電流法，保護鋼管免受腐蝕。犧牲陽極法是利用比鋼管更易腐蝕的金屬（如鋅、鎂等）作為陽極，犧牲陽極先腐蝕以保護鋼管。

3、塑膠管：

廣義的塑膠管包括 PE、PVC 或 ABS 材料，早年 PVC 材料使用較多，但因其有脆化的風險，近年國內外皆以 PE 為主要之塑膠管材。塑膠管發生外洩的最常見因素是第三方挖掘損傷以及天然地質運動或暴雨/洪水所造成的損壞。目前國內一般來說，這些因素並不會造成整條管線的更換。然而根據國外文獻資料顯示，某些特定的 PE 塑膠管材（例如：PE 2306、PE 3306，低延展性內壁的管材）而言，可能會在受到應力集中或過高的內部壓力時，容易出現緩慢裂痕成長（Slow crack growth, SCG）的現象。如果 SCG 現象導致了廣泛的洩漏事件發生，那麼亦可以考慮汰換某些特定材料規格的管線。從造成 SCG 的原因來思考，掌握以下資訊就會是至關重要的：PE 塑膠管材的類型與等級（材料設計代碼，如：PE2306）、管材製造商、製造日期、運作壓力、最大環境操作溫度、靜液壓設計基準（HDB）、熔接方式以及可能的應力集中位置（特別是在接合位置、附屬配件、接頭、岩石撞擊、過度彎曲以及管線連接處可能會發生過度變形的區域）等。亦為掌握管線基本資訊，甚至是建立供應商管理制度是攸關是否維修或汰換的關鍵依據。

從影響是否維修或汰換管線的考量來看，管線材質及其規格資訊為關鍵之影響因素之一，不同的管線材質有不同的材料特性，不同材料特性可能導致的洩漏或損壞原因亦可能不相同。然而以不同管材之材料特性為導向出發，分析各不同管材發生洩漏之主要原因，針對不同主因採取相應且有效的防範措施來延長管線之使用壽命，以確保其安全和可靠性。

二、運作歷史

天然氣配送管線運作歷史資訊涵蓋了其從設計安裝到日常運作、維護保養、洩漏歷史及事故調查等各個階段記錄。這些歷史記錄對於管線管理和維護至關重要，透過運作歷史等資訊有助於識別管線其可能潛在之風險。以下是管線運作歷史應包含的主要內容：

1、設計與安裝階段：

設計與安裝階段包括設計文件、施工記錄以及測試與驗收記錄。設計文件包括管線的設計圖、材料選擇、技術規格和設計標準等。施工記錄為安裝過程的詳細記錄，包括施工日期、施工團隊、施工方法等。測試與驗收記錄為安裝完成後進行的各類測試，例如壓力測試、洩漏測試等結果以及最終驗收報告。

2、運作參數記錄：

運作記錄包括運作參數、運作報告以及運作變更記錄。運作參數為日常運作過程中的關鍵參數記錄，包括壓力、流量、溫度等。運作報告為定期生成，內容包括管線的運作情況、運作時段、運作人員等。運作變更記錄為管線進行改造以及操作變更之記錄，包括改造原因、改造內容、涉及運作操作上的程序變更以及操作人員變更等。

3、維護與檢查記錄：

維護與檢查記錄包括定期檢查、維護記錄以及維修記錄。定期檢查為定期性進行各類檢查，包括目視檢查、超音波檢查（UT）、射線檢查（RT）、內部檢查等。維護記錄為所有維護活動的詳細記錄，包括維護日期、維護內容、維護人員和維護方法。維修記錄為任何修理或更換的記錄，詳細描述故障情況、維修措施和更換的部件。

4、管線洩漏、事故記錄：

管線洩漏、故障、事故及天然環境影響記錄為制定維護計畫和決定管線危害風險之重要依據。管線洩漏的頻率和嚴重程度是決定是否需要更換管線的重要依據之一，而瞭解洩漏的具體原因可以幫助識別出對於管線之威脅。故障記錄之內容應包括故障發生時間、故障原因、影響範圍和處理措施。國內外涉及天然氣管線的事故調查報告，包括事故原因分析、事故處理過程和防範措施。而天然環

境影響記錄，包括評估管線所處環境的定期評估記錄，包括土壤腐蝕性、地下水位變化等。

從影響是否維修或汰換管線的考量來看，管線的運作歷史資訊為關鍵之影響因素之一，而基於設計安裝、運作參數、維護檢查、洩漏歷史及事故調查進行管線風險評估及排序，是制定維護計畫和決定管線更換與否之關鍵依據。

三、敷設環境

管線所處的環境對於其使用壽命可能有直接之影響，業者可依據過去管線的維護和洩漏歷史等經驗當中探討。例如，土壤性質、含水量、以及其是否暴露在腐蝕性物質中，這些環境因素都會影響管線的腐蝕速度和物理損壞程度。另外，管線敷設環境應充分考慮天然災害的影響，特別是地震等可能導致管線損壞，所以斷層位置及地震活動對管線的影響尤其需要注意。以下是管線敷設環境影響維修汰換之因素：

1、土壤性質：

土壤性質包含酸鹼度及含水量，當金屬管材如鑄鐵管及鋼管於酸性環境中（pH 值低於 7），其會加速管材腐蝕；當含水量過高或地下水位高時，會導致電化學腐蝕及浸泡腐蝕。土壤中亦可能含有鹽類、氯化物、硫酸鹽等腐蝕性物質，皆會加速金屬管材之腐蝕。

2、天然災害：

地震、洪水及土石流等天然災害對管線的影響亦為考慮因素之一，尤其於斷層附近，地震頻率較高且規模較強烈，可能導致管線斷裂、接頭鬆動或變形等情況。

從影響是否維修或汰換管線的考量來看，管線敷設環境不僅需要考慮土壤性質、含水量及腐蝕性物質的影響，還需要考慮天然災害的影響，尤其是地震。地震斷層位置的考慮對於管線的安全至關重要。若能事先透過選址避讓、抗震設計、彈性連接和地震監測等措施，將可以有效提高管線在地震中的抗震能力，延長其使用壽命，確保其運作的安全和可靠性。

四、埋設時間長短

管線隨著時間的推移，會受到多種具時間依賴性之威脅，如外部腐蝕(EC)、內部腐蝕(IC)、石墨化、應力腐蝕破裂(SCC)及材料疲勞等，這些威脅可能導致管線洩漏甚至破裂。管線埋設時間長短會影響維修與汰換的幾個因素包括：

1、外部腐蝕(EC)：

外部腐蝕是指管線表面因接觸土壤、地下水或其他環境因素而發生的金屬氧化反應。此種反應會隨著時間的推移逐漸影響管線的結構完整性，造成管壁厚度減薄，可能導致出現洩漏或破裂之情況。其造成之主要原因包括地下水的成分、土壤的酸鹼性、管線包覆層的損壞以及陰極保護系統失效等。

國際相關規範和指引可參考 NACE International Standards，如 NACE SP0169 為針對管線外部腐蝕防護的標準；ASME B31.8 為美國機械工程師協會制定的天然氣管線系統標準，涵蓋外部腐蝕相關的檢查和維護要求。

2、內部腐蝕(IC)：

內部腐蝕是指管線內部因輸送的天然氣及其所含雜質(如水、硫化氫、二氧化碳等)而發生的化學反應，導致管壁厚度減薄，而長期的內部腐蝕可能會導致管線內壁出現坑洞或裂紋，增加洩漏風險。其造成之主要原因包括天然氣中的水分、酸性氣體(如 H_2S 、 CO_2)、溫度變化和流速波動等。

國際相關規範和指引可參考 NACE International Standards，如 NACE SP0106 為針對管線內部腐蝕監控和管理的標準；ASME B31.8S 為美國機械工程師協會制定的管線完整性管理，包括內部腐蝕風險的評估和控制。

3、石墨化(graphitization)：

石墨化是指某些鐵基合金(特別是灰口鑄鐵)在高濕度、高酸度或其他腐蝕性環境下，碳化物逐漸分解成石墨的過程。此過程中會導致材料變脆、強度降低。而石墨化會導致管線結構強度降低，增加破裂或失效的風險。其常發生於高溫 and 應力狀態下的鑄鐵管中，並隨著時間之推移，石墨化現象會逐漸升高。

國際相關規範和指引可參考 ASTM A674 美國材料與試驗協會標準，該標準為針對鑄鐵材料性能和老化問題所提出之要求；BS 534 為英國標準，涵蓋鑄鐵

管線的設計和維護。

4、應力腐蝕破裂（SCC）：

應力腐蝕破裂是一種由內部或外部應力和腐蝕環境共同作用引起的管線材料脆性破裂現象。此現象是管線突然破裂的原因之一，可能導致嚴重的事故，尤其是在沒有明顯的外部腐蝕跡象的情況下。然而隨著管線長期承受應力加上腐蝕性環境下，會促使管線應力腐蝕破裂發生，且其常發生於應力集中處，如焊縫、彎管處等。

國際相關規範和指引可參考 NACE International Standards，如 NACE SP0204 為應力腐蝕破裂的評估和控制標準；ASME B31.8S 為美國機械工程師協會制定的管線完整性管理，包括應力腐蝕破裂的風險評估和管理；API RP 571 為美國石油協會針對石油和天然氣行業中的應力腐蝕破裂管理的規範。

5、疲勞（fatigue）：

疲勞是指材料在反覆受到應力作用下，且隨著時間的推移逐漸累積損傷，最終導致材料突然斷裂或失效的原因之一。材料疲勞可能導致細微裂紋的產生，隨著時間的累積，裂紋可能會擴展甚至導致管線破裂。其造成之原因包括天然氣管線會受到內部壓力波動、溫度變化及外部荷載變動之影響，皆可能促使材料疲勞的發生。

國際相關規範和指引可參考 ASME B31.8，其為美國機械工程師協會制定的天然氣管線系統標準，涵蓋管線疲勞設計和檢查要求；API 579-1/ASME FFS-1 為美國石油協會與美國機械工程師協會共同建立的設備適用性評估，包括材料疲勞評估的標準。

上述五種威脅皆與管線埋設時間長短有關，可能因為時間的推移而造成管線洩漏甚至破裂。所以國際上已有相關的標準和規範來要求管線進行完整性管理，不過這些標準和規範並沒有提出單一、固定的年限限制，因為管線的實際壽命和風險管理應根據具體的運作條件和環境因素來確定。然而，這些國際參考標準是提供了基於威脅類型的檢查頻率、評估方法和壽命預測的建議，並可用作確定管線檢查和維護時間表的參考。通常會要求在管線達到一定使用年限後，進行檢查和評估，以確保其安全性。例如，美國對於運作超過 40 年的天然氣管線，

要求進行更頻繁的檢查和評估。不過具體的年限建議通常由管線運營商根據這些標準、實際運作數據和風險評估來決定是否維修或汰換。

五、其他原因

除了上述提到的影響因素外，本支管維修或汰換亦會受到以下其他因素影響，如自然力、開挖損壞、設備失效、人為操作不當、都市更新及其他工程所影響，說明如下：

1、自然力 (NATURAL FORCES)

如地震、雷擊、豪雨、颱風等。

2、開挖損壞 (EXCAVATION DAMAGE)

如第三方損壞，施工或挖掘工程進行時，如果未能正確標識管線位置，可能會無意中挖到或損壞管線；操作員損壞，管線的維護或修復過程中，如果操作不當，可能會造成管線損壞。

3、其他外力損壞 (OTHER OUTSIDE FORCE DAMAGE)

如車輛撞擊、人為蓄意破壞、非人為導致火災/爆炸等。

4、設備失效 (EQUIPMENT FAILURE)

這包括由於管線本身的材料缺陷、接頭或閘門失效而引發的問題，亦可能導致管線壓力失衡或洩漏。

5、人為操作不當 (INCORRECT OPERATION)

如過度加壓、未遵守標準操作程序，可能導致管線過早劣化或立即失效；如未定期進行必要的檢查或忽視維護建議或實施不當之維護，亦可能會加速管線劣化。

6、都市更新及其他工程：

在都市重新規劃或重建過程中，天然氣管線可能需要重新布置或更換，以配合新的建築布局或基礎設施。其中重大拆遷、爆破工程等，這類活動可能直接威脅到管線的結構完整性。

第3節 管線汰換計畫之建議作法

天然氣管線的安全性和使用壽命與管線材料的性質有密切相關。然而，隨著我國天然氣使用量的增加以及管線劣化問題日益嚴重，天然氣管線汰換計畫的重要性愈加顯著。在制定汰換計畫時，如果單純以使用年限作為主要依據，可能會導致執行上面臨多種困難。基於此，本報告將綜合分析我國的現行汰換原則與美國在天然氣管線汰換方面的先進經驗。提出適合我國的天然氣本支管管線汰換計畫建議作法。盼望這些建議將有助於業者制定自身的汰換計畫，克服現有資源的限制，並確保公共安全和能源供應的穩定性。

一、我國管線汰換計畫面臨課題

針對天然氣管線維修及汰換計畫，以使用年限作為主要依據雖然看似簡單易行，但實際上可能會導致多種挑戰和潛在的問題。首先，依年限汰換未必能準確反映管線的實際狀況。天然氣管線的使用壽命受多種因素影響，包括管線材料性質、運作歷史、敷設環境等。單純使用年限作為汰換依據，可能會忽視這些因素的複雜性。例如，位於腐蝕環境中的金屬管線可能在短時間內出現腐蝕劣化之現象，而同一批次的管線在其他非腐蝕環境中可能仍然保持良好狀態。如果僅依據年限進行汰換，可能會導致仍具備使用價值的管線過早被淘汰，浪費資源，增加業者的運營成本。相反，一些處於惡劣環境中的管線則可能因未達到預定年限而未被及時更換，使管線風險增加。

其次，資源的有限性使得計畫性汰換不易達成。資源和人力的有限性決定了天然氣管線的維修和汰換計畫必須謹慎分配。如果依據年限進行大規模汰換，將會占用大量資源和人力，這在實際執行上往往難以達到。況且，管線汰換過程涉及停氣施工、道路封閉等一系列複雜程序，若無法根據實際需要進行優先級排序，將可能對社會造成不必要的影響。甚至，過於依據年限汰換可能會導致一部分實際損耗較輕的管線被過早更換，而那些真正處於危險狀態的管線卻未能及時得到處理，導致事故風險增加。

此外，老舊資料和有限預算加劇了汰換計畫的執行難度。許多天然氣管線的資料可能缺乏系統性的更新，尤其是對於早期安裝的管線，其設計、施工、運作等數據可能不夠完整或準確，這使得以年限為主要依據的汰換計畫難以執行。同時，預算的有限亦是一個關鍵問題。天然氣管線的汰換和維修需要龐大的財力支

持，但企業和地方政府的預算往往有限，難以同時顧及所有管線的維護需求。

二、國外天然氣管線汰換原則之借鏡

在針對美國天然氣管線汰換機制及相關法規進行研析後，我們得到了幾個值得借鏡的重要觀點，分別為美國天然氣管網汰換機制建置之原因、美國公用天然氣管網汰換相關法令要求、美國公用天然氣管網汰換時考慮因素、美國公用天然氣管網汰換流程以及汰換計畫參考比較等。

1、美國天然氣管網汰換機制建置之原因：

美國天然氣管線包含天然氣輸送管線（Transmission Line）、天然氣配送管線（Distribution Line）以及其他危險液體管線（Hazardous Liquid Pipeline），三種類型之管線系統在設計、操作和維護上有顯著的不同。以下是探討美國天然氣配送系統的特性和汰換機制建置之原因說明。

(1) 美國天然氣配送系統特性

美國天然氣配送系統具有高度網狀的結構（reticulated interconnect）特性，這意味著其管網是相對複雜的網狀系統，此種結構特性使得在進行安裝或更換作業後，難以中斷氣體供應，因為會影響到大量的終端用戶。因此，難以如輸送管線（Transmission Line）那樣，以壓力測試來進行完整性評估。

此外，由於美國天然氣配送系統分布於都市和住宅區，其管線的運作壓力通常較低（一般在 0.18 至 14 kg/cm² 之間）。在相對低壓環境中，造成 ILI（In-Line Inspection）檢測技術執行上遭遇嚴重困難。ILI 檢測技術通常需要依靠較高的壓力來推動檢測設備沿管線進行檢測，但在低壓的配送系統中，可能因推動力不足，導致檢測難以有效實施。

(2) 美國天然氣管網汰換機制建置原因

基於前述天然氣配送系統的特性，其運作風險與地下工業管線或其他危害性液體管線的運作風險有顯著的不同。這些不同的風險主要來自於配送系統的網狀結構特性、無法中斷供應需求，以及相對較低的運作壓力。因此，美國天然氣管網的汰換機制是以管材的特性為基礎，針對不同管材的特定問題，制定相應的維護汰換流程。

2、美國公用天然氣管網汰換相關法令要求：

美國聯邦相關管線安全改進法案從 2002 年聯邦政府要求跨部會展開相關管線設施完整性之研究計畫開始；到 2006 年要求管線和危險材料安全管理局（PHMSA）制定配送管線完整性管理計畫（DIMP）的標準；並於 2009 年發佈天然氣配送管線系統完整性管理計畫（DIMP）的要求，將鑄鐵管及裸鋼管列為需分年進行汰換之高風險管材，於 2010 年生效；要求各州天然氣相關業者於 2011 年底前編寫配送管線完整性管理計畫（DIMP），且其汰換進度將執行逐州調查。相關法案彙整如表 4-2 所示。

表 4-2 美國聯邦相關天然氣管線汰換法案簡介

時間	法案及標準名稱	摘要
2002 年	管線安全改進法案(PSIA)	2000 年起連串的管線事故，聯邦政府要求跨部會展開相關管線設施完整性之研究、開發、示範和標準化計畫。
2006 年	管線檢驗、保護、強制執行和安全法案(PIPESA)	要求 PHMSA 制定配送管線完整性管理計畫(DIMP)標準。
2009 年	氣體配送管線完整性管理(DIMP) (49 CFR PART 192 的 Subpart P 192.1001-192.1015)	發佈天然氣配送管線系統完整性管理要求(74 FR 63906)。2010 生效
2011 年	管線安全、監管確定性法案(PSRC)	汰換進度執行逐州調查，並要求各州天然氣業者於 2011 年底前編寫天然氣管線完整性管理計畫(DIMP)。2010 年，聖布魯諾 San Bruno 事故。
2021 年	基礎建設投資和就業法案(IIJA)中的天然氣配送基礎設施安全與現代化(NGDISM)補助計畫	通過補助預算每年 2 億美元，持續五年，補助總額 10 億美元之預算，用於補助天然氣配送管線系統相關設施，協助其加速執行修復及汰換作業。

資源來源：美國國會圖書館(LOC)

美國聯邦法規要求配送管線完整性管理計畫（Distribution Integrity Management Program, DIMP）的必要要素說明：

(1). Knowledge。

- 確定管線設計和運營的特徵以及評估天然氣管線所面臨的威脅和風險所需的環境因素。
- 從過去的設計、操作和維護中獲得之資訊。
- 確定所需的額外資訊，並提出一個計畫，通過管線的設計、建造、運營

或維護行動，來逐步獲取這些資訊。

- 制定並實施一個流程，定期審查 IM 計畫並根據需要進行細化和改進。
- 擷取和保留任何新安裝管線的資料。數據必須至少包括新管線的安裝位置及其建造材料。

(2). 識別威脅。

- 運營商需考慮合理可用的資訊來識別現有和潛在的威脅。資料來源可能包括事故和洩漏歷史、腐蝕控制記錄、持續監測記錄、巡邏記錄、維護歷史和開挖損壞經驗等。
- 腐蝕、自然力、挖掘損壞、其他外力損壞、焊接、設備故障、不正確的操作以及其他可能威脅管線安全的問題。

(3). 評估風險並對其進行排序。

- 自行將其管線細分為具有相似特徵的區域（例如具有共同材料或環境因素的區域），對於這些區域，執行類似的檢查或措施，可能會有效地降低風險。

(4). 確定並實施因應風險的措施。

- 必須包括有效的洩漏管理計畫（除非發現所有洩漏都已修復）。

(5). 衡量績效、監測結果並評估有效性。

- 根據既定基準制定和監控績效衡量標準，以評估 IM 計畫的有效性。營運商在定期重新評估威脅和風險時必須考慮其效能監控的結果。這些績效衡量標準必須包括以下內容：

- A. 依照本分章第§192.703(c)的要求消除或修復的危險洩漏數量（如果發現所有洩漏均已修復，則為洩漏總數），按原因分類；
- B. 挖掘損壞的數量；
- C. 挖掘數量（地下設施業者從通知中心收到的資訊）；
- D. 消除或修復的洩漏總數，依原因分類；

- E. 依照本分章第§192.703(c)的要求消除或修復的危險洩漏數量（如果發現所有洩漏均已修復，則為洩漏總數），按材料分類；和
- F. 營運商確定需要採取的任何額外措施來評估營運商的 IM 程序在控制每個已識別威脅方面的有效性。

(6). 定期評估和改進。

- 至少每五年進行一次完整的計畫重新評估。運營商必須在這些評估中考慮性能監控的結果。

(7). 報告結果。

- 每年定期向主管機關報告相關檢查測試及評估結果。

上述(1)至(7)為美國聯邦法規要求天然氣業者 DIMP 計畫之要素，並要其建立一個動態、全面且持續改進的管理系統，以有效識別、評估和應對管線安全威脅，確保管線的長期完整性。

3、美國公用天然氣管網汰換時考慮因素：

根據美國聯邦法規中天然氣配送管線完整性管理法案（DIMP）的要求，當地業者需要根據管線基本資料，結合影響管線汰換的四大因素來制定適當的管線汰換計畫。考慮因素包括管線材質、運作歷史、敷設環境及外力影響。從瞭解不同管線材質的特性及其對應的潛在問題，如金屬管（鑄鐵管、鋼管）腐蝕情況；塑膠（PE 管）緩慢裂痕成長（SCG）等。至檢視管線的運作歷史，包括洩漏記錄、維護與檢修紀錄等，以識別潛在的風險點。至考慮管線的地理位置、周圍環境和敷設方式。最後外力影響，包括自然力（如地震、颱風等）、人為破壞（如挖掘損壞）及其他外力的影響，這些皆可能加速管線的劣化。

然而，美國依據管網系統及管材特性為基礎，針對不同管材的特定問題，彙整出常見汰換原因，並制定相應的評估要素，如表 4-3 所示。

表 4-3 美國天然氣管網汰換原因及評估要素

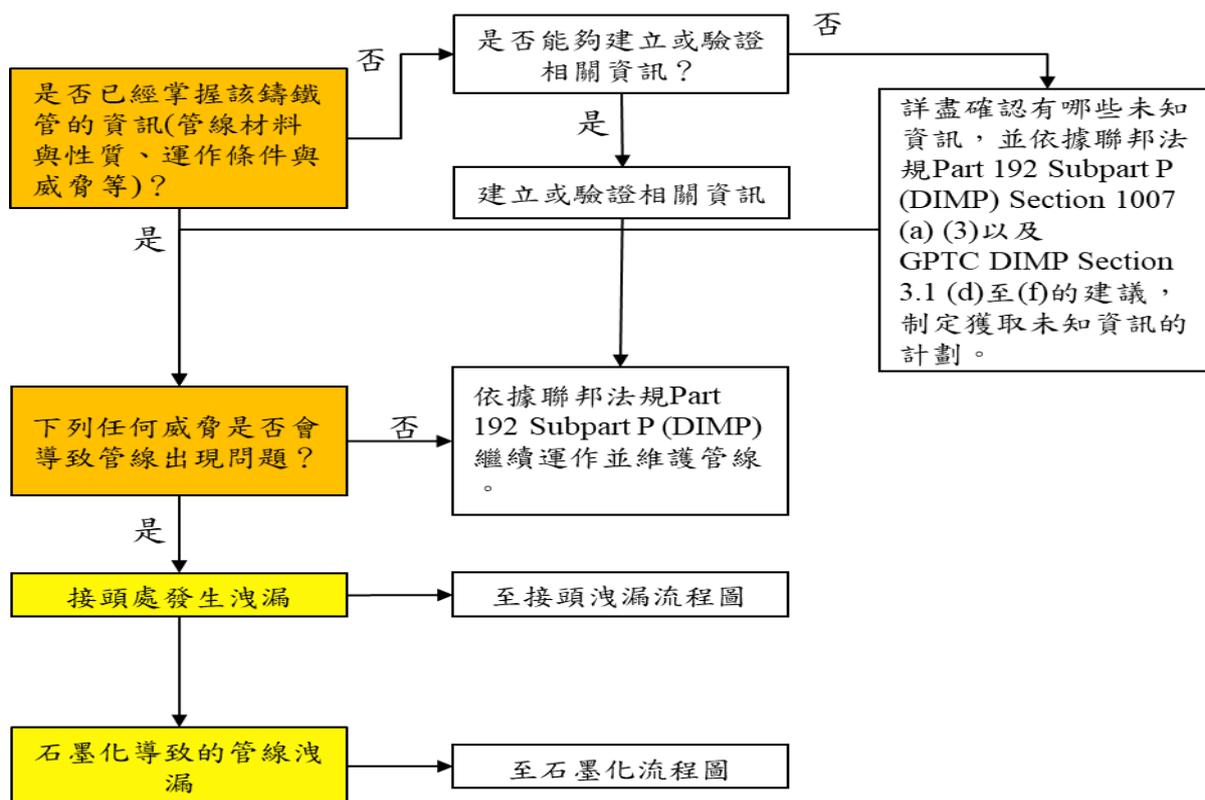
	鑄鐵管	鋼管	PE 管
常見汰換原因	原因 1：管線接頭洩漏 原因 2：鑄鐵管出現「石墨化」原因 原因 3：管線因外力造成破損	原因 1：外部腐蝕 (EC) (無陰極保護 or 包覆塗層劣化) 原因 2：內部腐蝕 (IC) 原因 3：選擇性焊縫腐蝕 (SSWC) 原因 4：地下螺紋接頭洩漏 原因 5：管線因外力造成破損	原因 1：接頭故障及洩漏 原因 2：緩慢裂紋擴展 (Slow crack growth, SCG) (PE2306,PE3306) 原因 3：管線因外力造成破損
評估要素	一、管線幾何尺寸 二、材料強度 三、工作壓力 四、設置位置 五、連接方法 六、石墨化(腐蝕程度) 七、外力損壞	一、管線幾何尺寸 二、材料強度 三、工作壓力 四、設置位置 五、連接方法 六、陰極保護 七、包覆塗層 八、外力損壞	一、管線幾何尺寸 二、材料強度 三、工作壓力 四、設置位置 五、連接方法 六、管材製成(供應商管理) 七、外力損壞

資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

4、美國公用天然氣管網汰換流程：

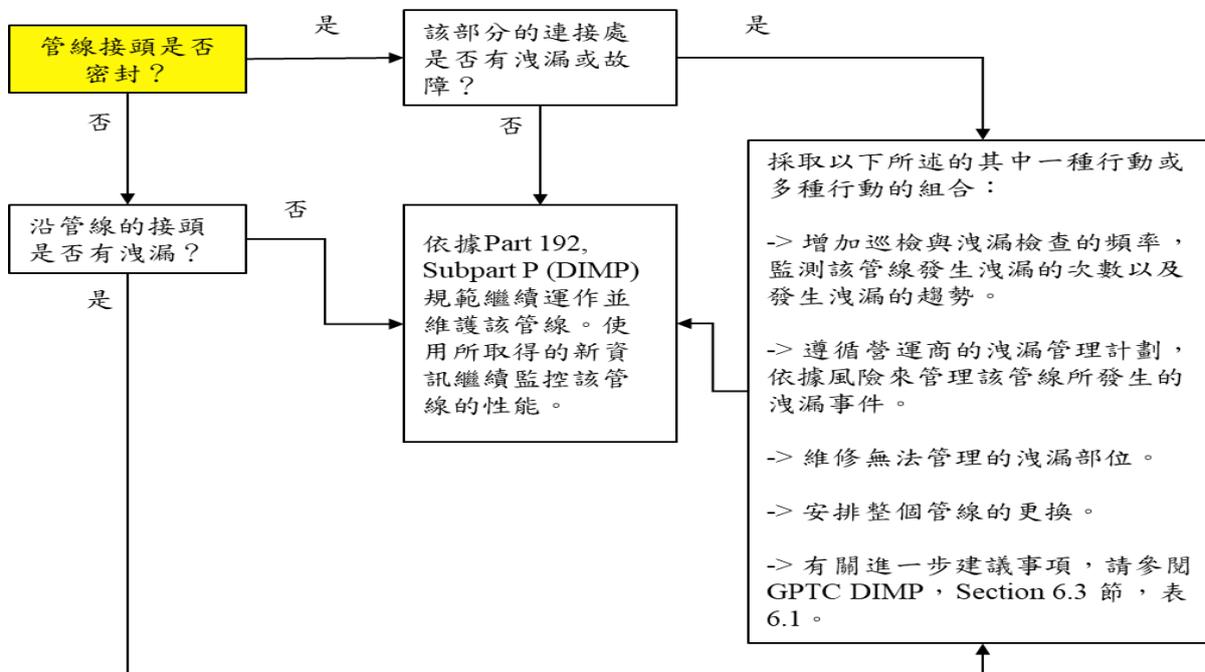
美國天然氣管網的汰換機制是依據管材的特性為基礎進行的，其針對不同類型的管材之特定問題進行相應的維護和汰換。以下是美國天然氣管網鑄鐵管、鋼管以及塑膠管(PE)汰換流程圖：

(1) 美國天然氣管網鑄鐵管汰換流程簡介（如圖 4-1、圖 4-2 以及圖 4-3）



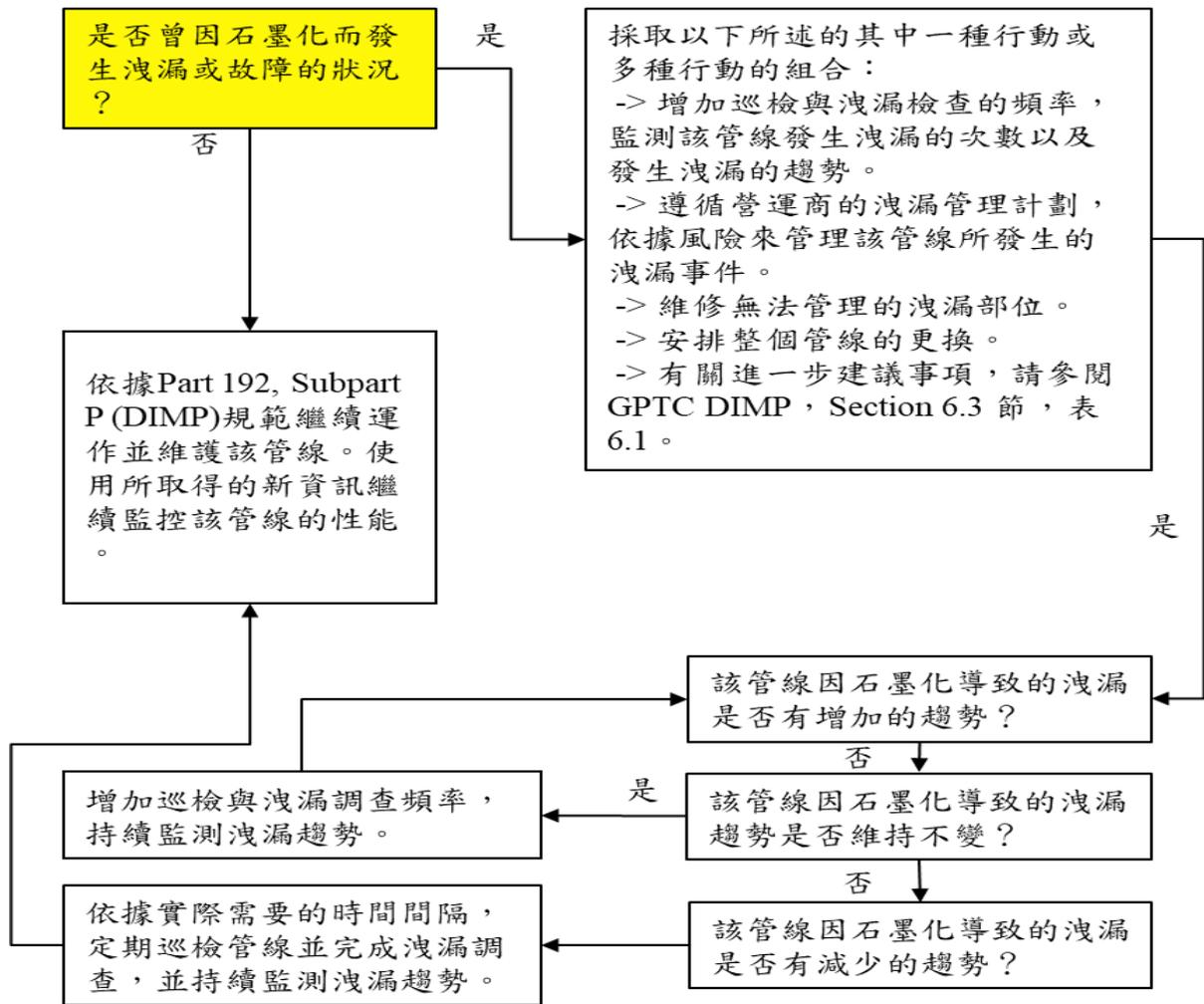
資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

圖 4-1 美國-鑄鐵管汰換流程圖



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

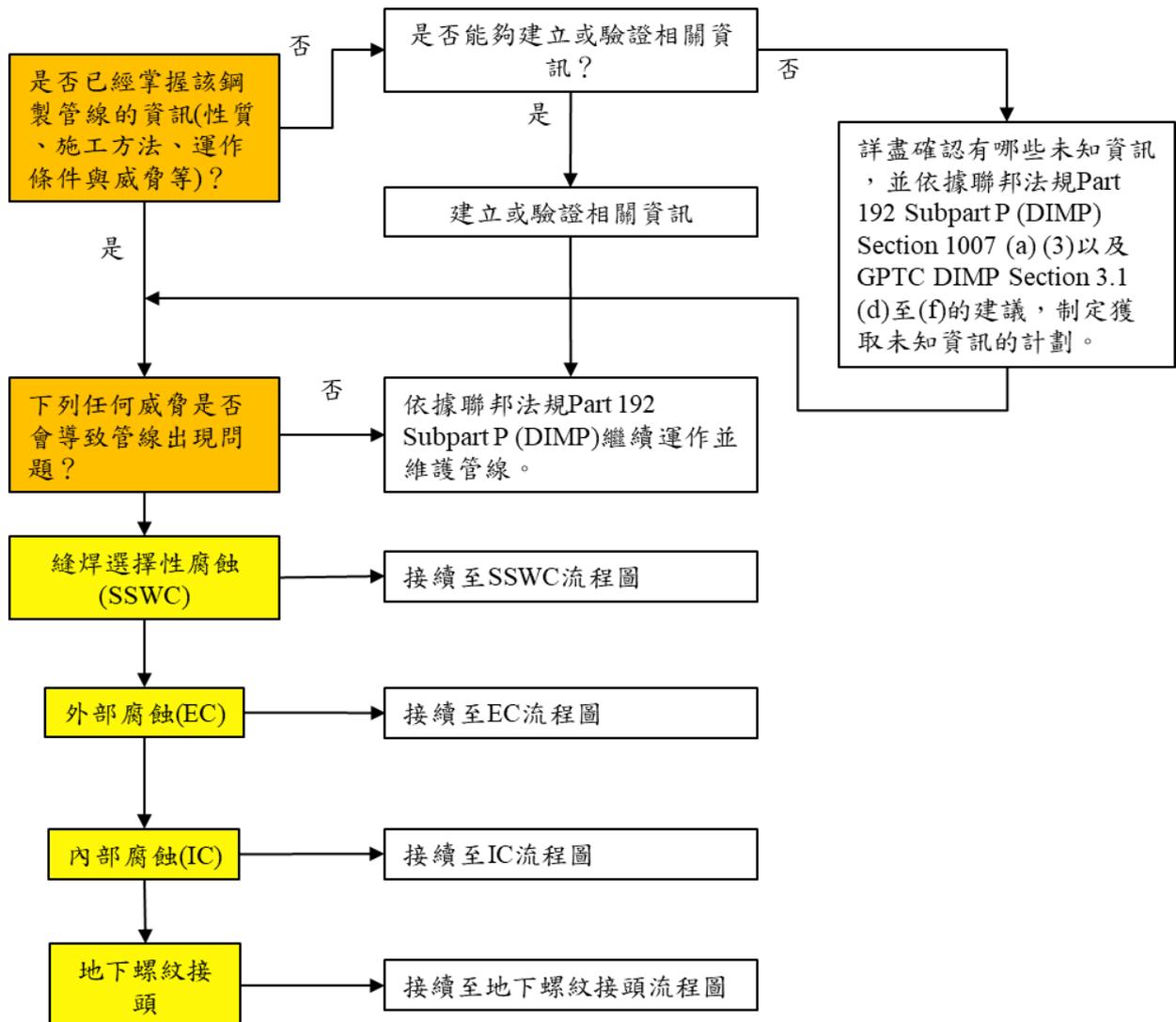
圖 4-2 圖鑄鐵管-接頭處發生洩漏流程圖



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

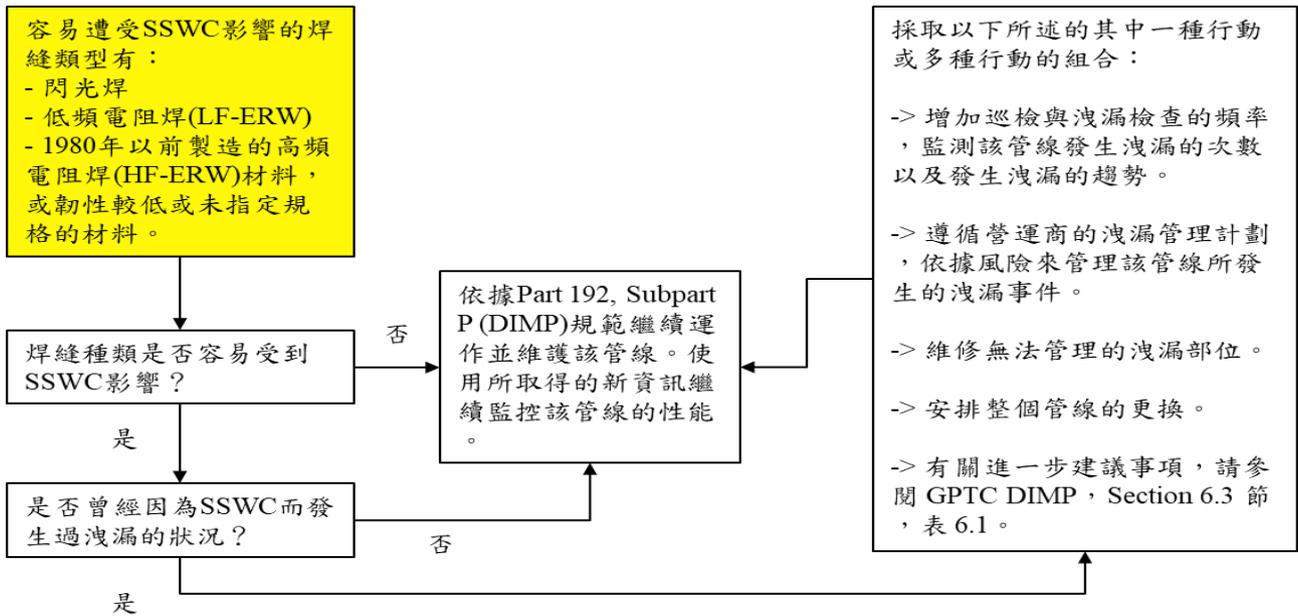
圖 4-3 鑄鐵管-石墨化發生洩漏流程圖

(2) 美國天然氣管網鋼管汰換流程簡介(如圖 4-4、圖 4-5、圖 4-6、圖 4-7 以及圖 4-8)



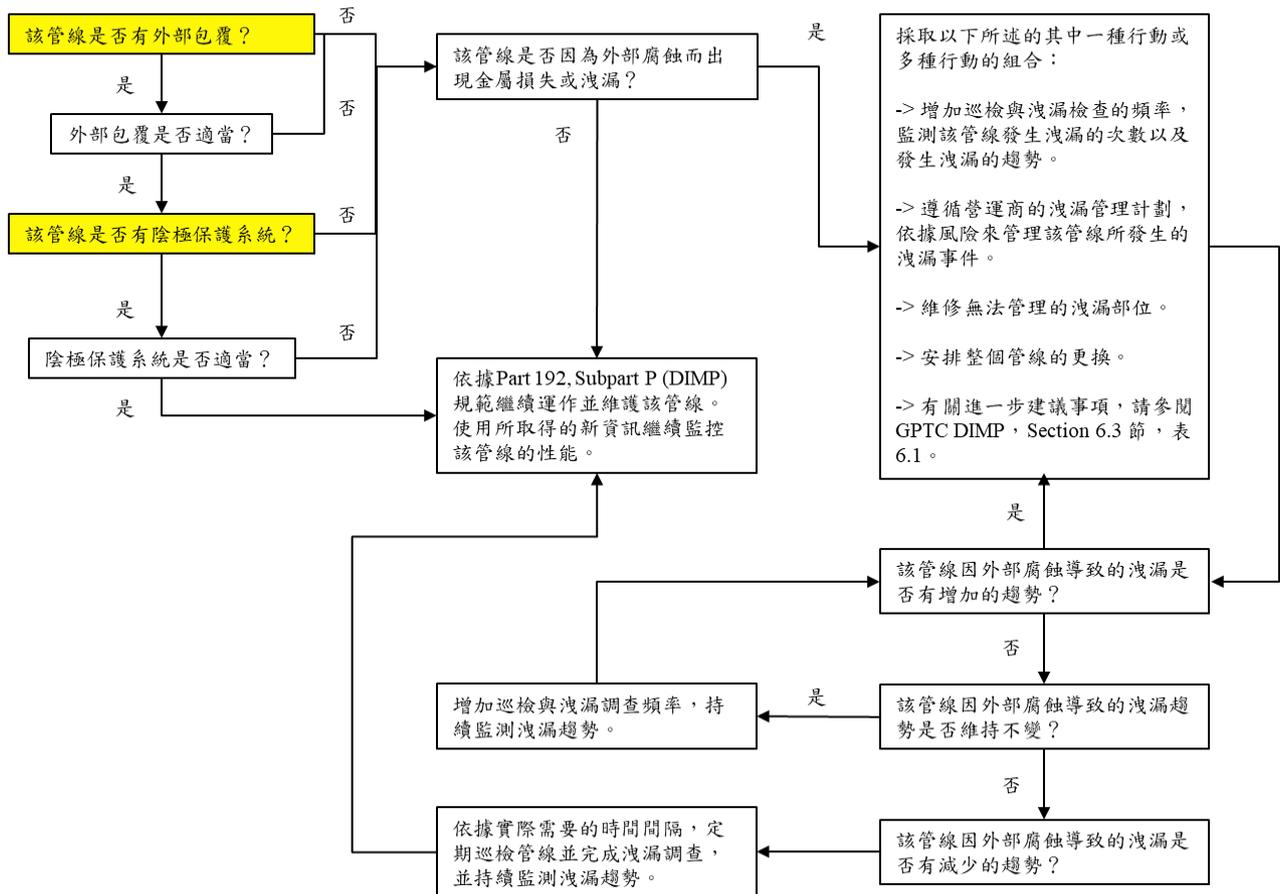
資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

圖 4-4 美國-鋼管汰換流程圖



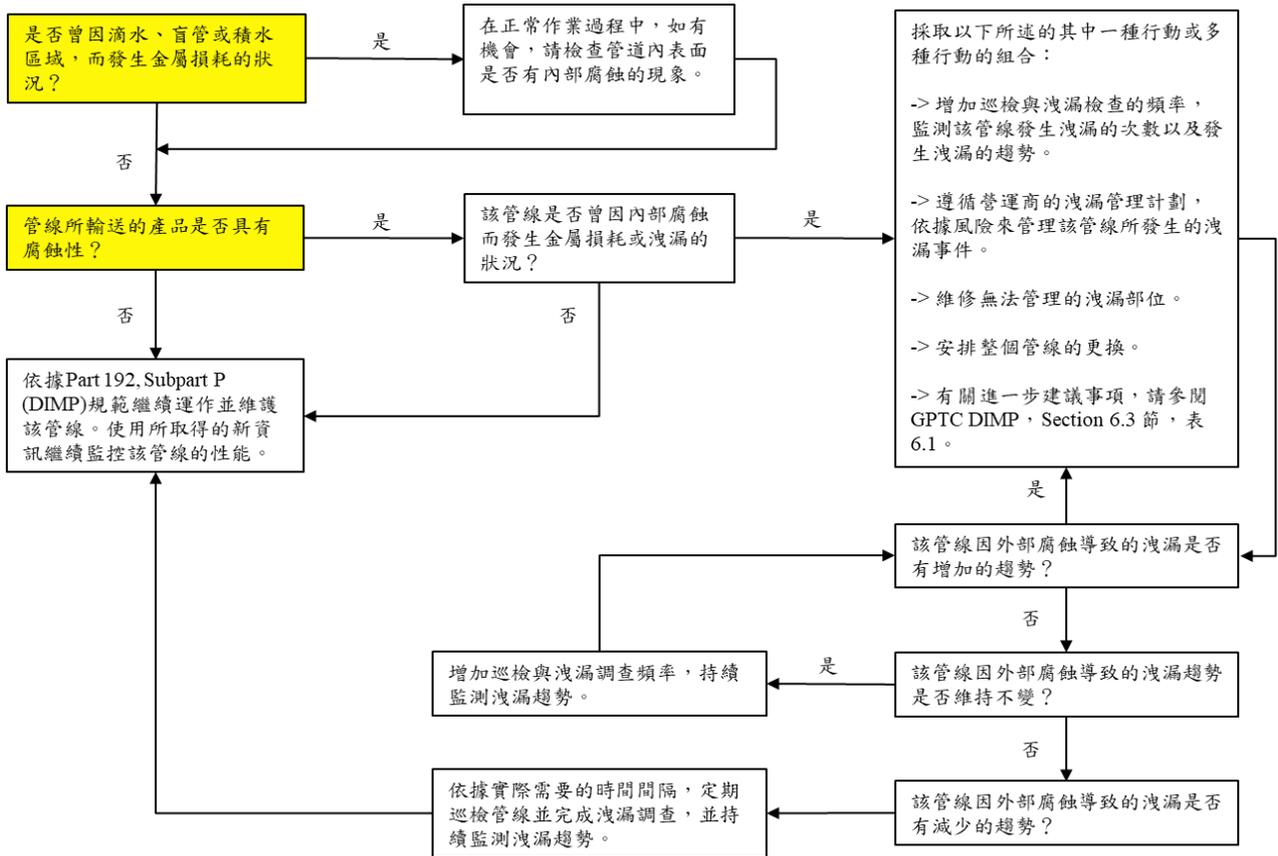
資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

圖 4-5 鋼管-縫焊選擇性腐蝕(SSWC)



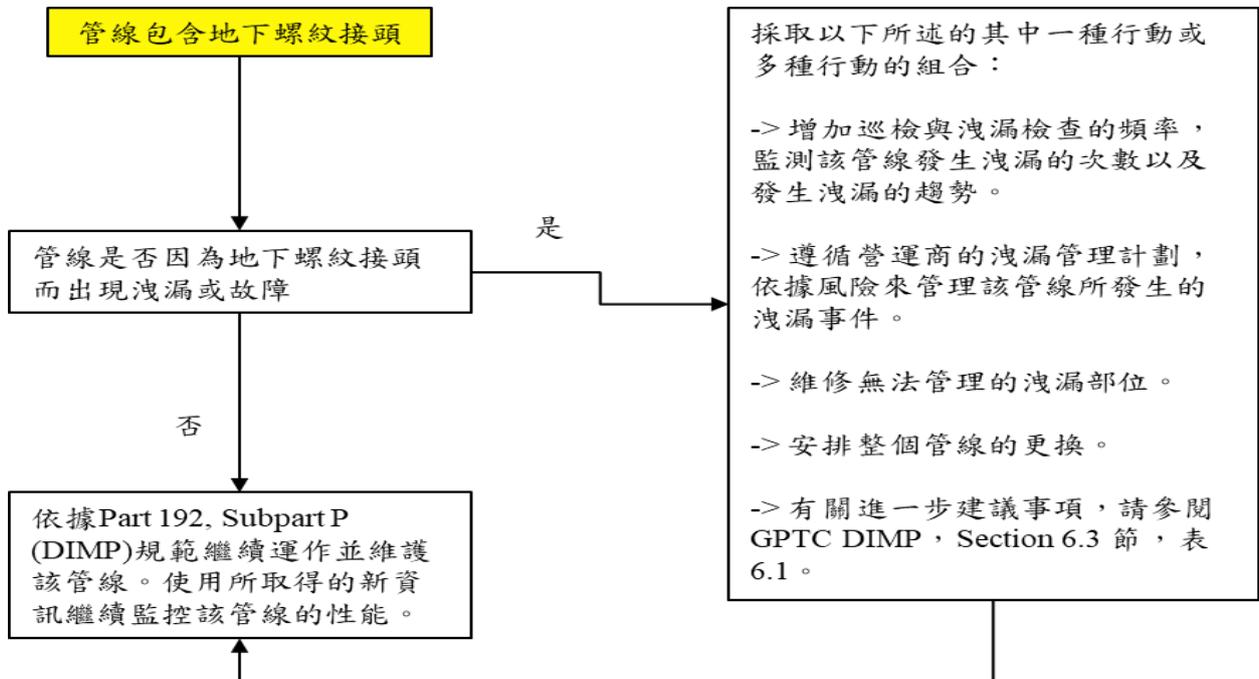
資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

圖 4-6 鋼管-外部腐蝕(EC)



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

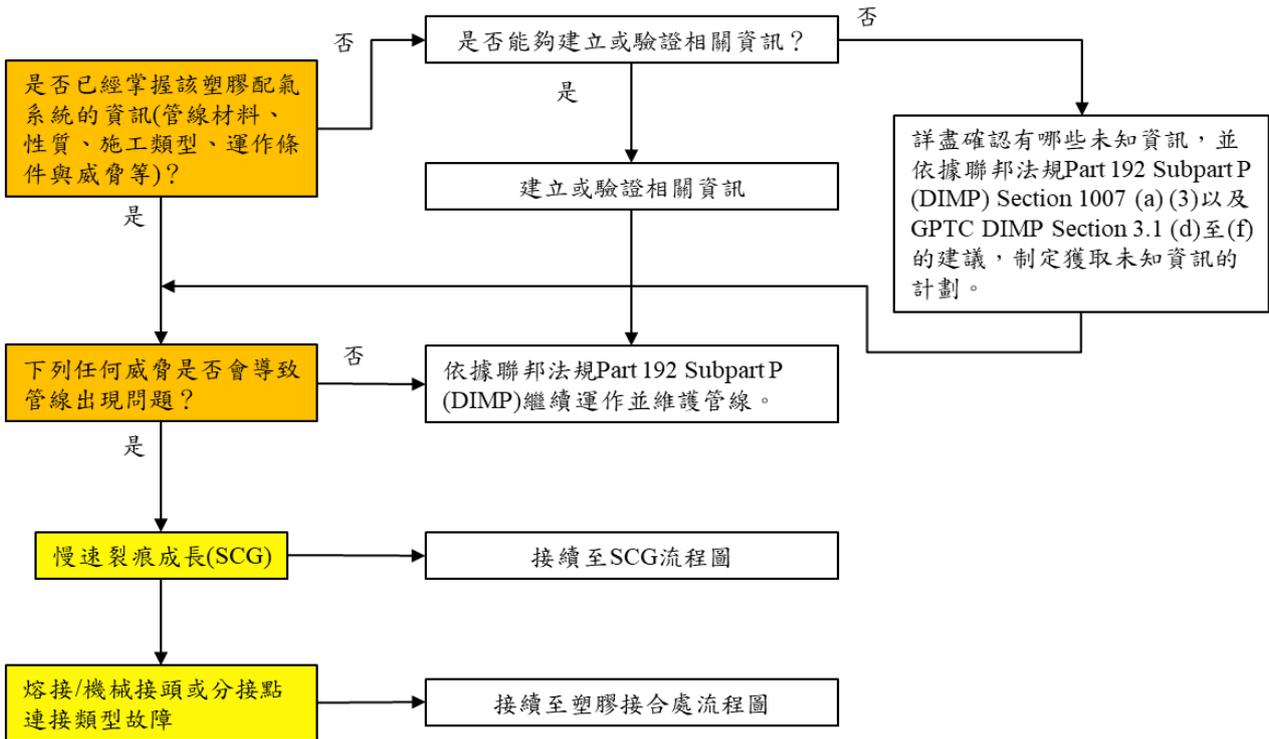
圖 4-7 鋼管-內部腐蝕(IC)



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

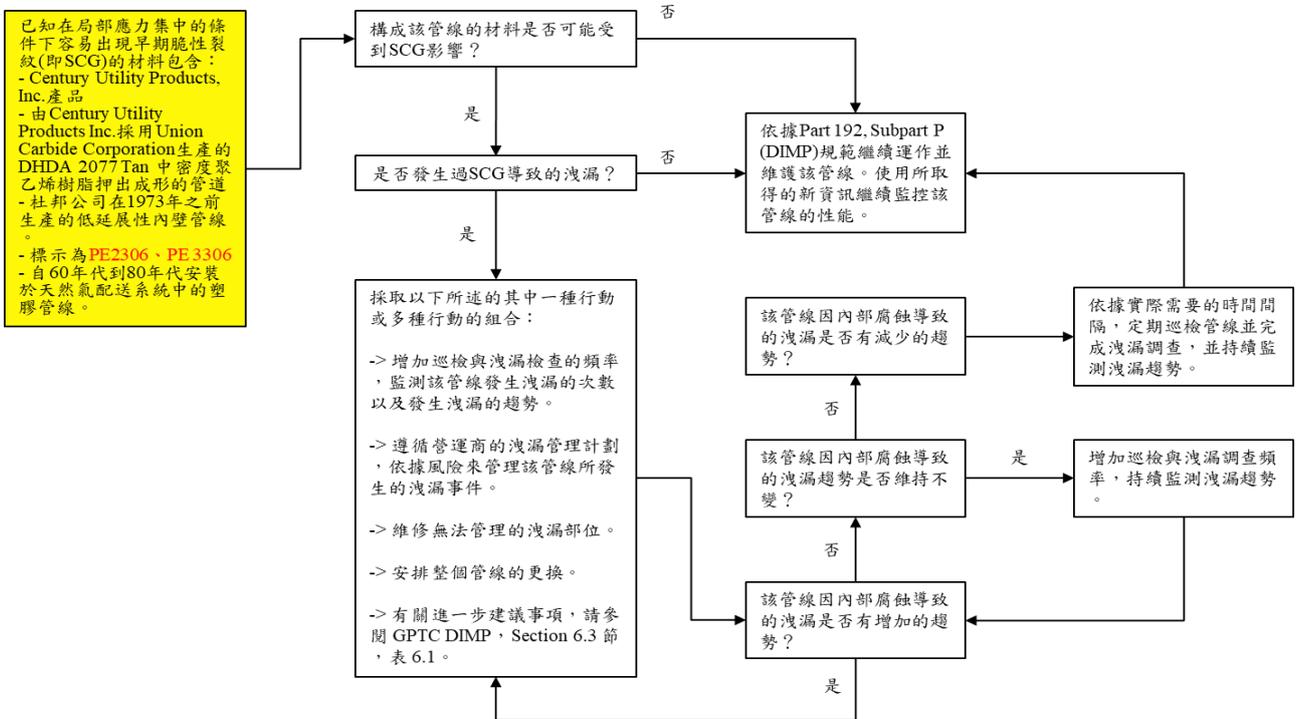
圖 4-8 鋼管-地下螺紋接頭

(3) 美國天然氣管網塑膠(PE)管汰換流程簡介(圖 4-9、圖 4-10 以及圖 4-11)



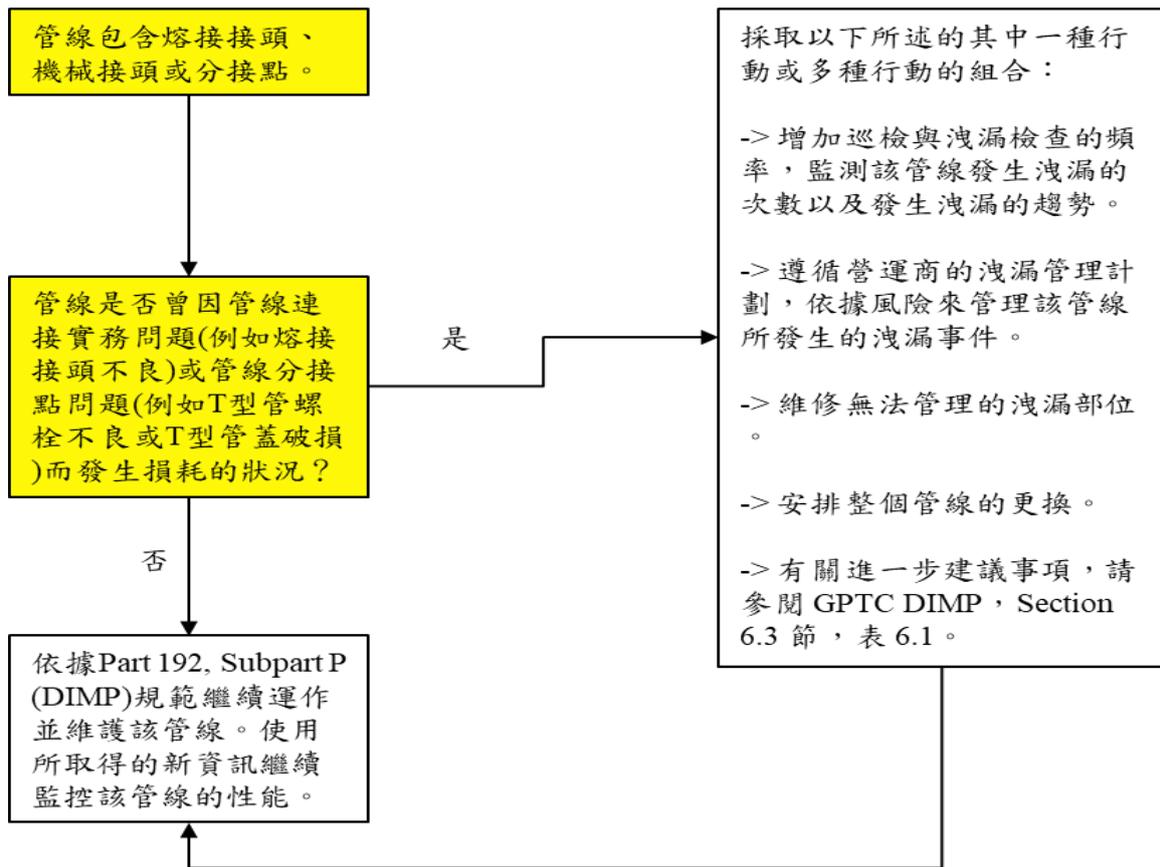
資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

圖 4-9 美國-塑膠(PE)管汰換流程圖



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

圖 4-10 塑膠(PE)管-慢速裂痕成長(SCG)

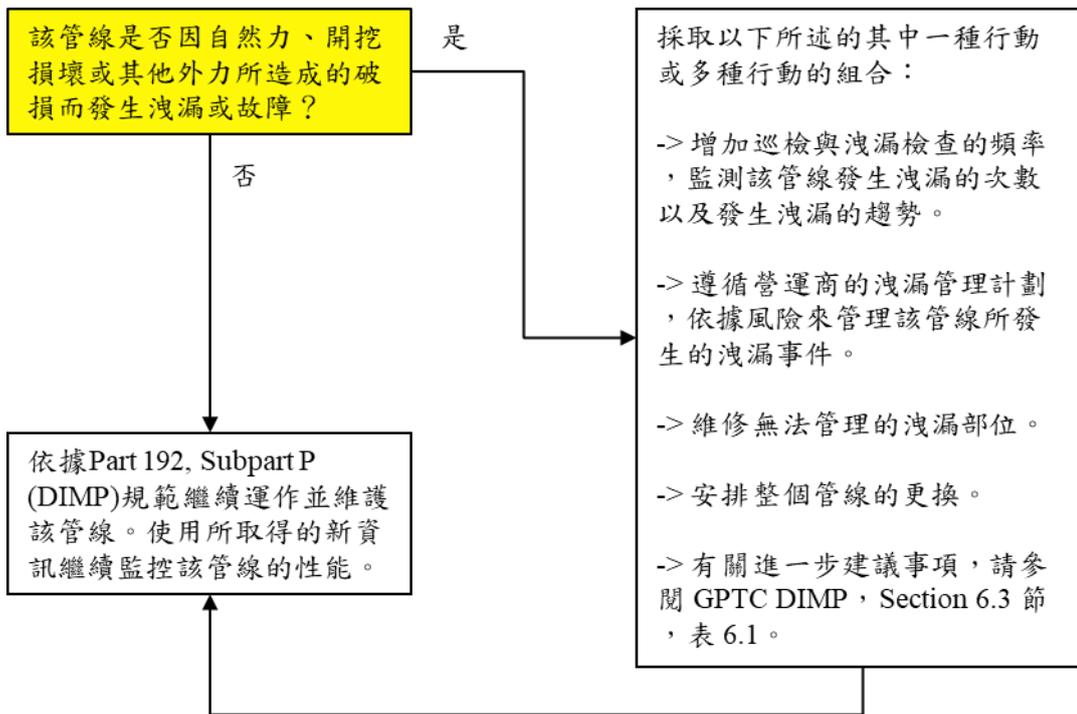


資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

圖 4-11 塑膠(PE)管-熔接/機械接頭或分接點故障

在天然氣管網的維護和管理中，無論使用何種管材，管線皆有可能因外力而受到破損。以下是美國 DIMP 中對於外力的定義以及流程圖，如圖 4-12 所示。

- 自然力 (Natural Forces)
 - (地震、雷擊、暴雨/洪水、強風)
- 開挖損壞 (Excavation Damage)
 - (第三方損壞、操作員損壞)
- 其他外力損壞 (Other Outside Force Damage)
 - (車輛撞擊、人為蓄意破壞、非人為導致火災/爆炸)
- 設備失效 (Equipment Failure)
- 操作不當 (Incorrect Operation)



資料來源：美國管線和危險材料安全管理局(PHMSA)。Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines。2015 年。

圖 4-12 因外力造成破損之流程圖

從美國公用天然氣管網汰換流程圖中可得知，蒐集管線資訊是制汰換計畫的基礎。管線的管理和維護不能僅依照過去的數據或經驗，而是須持續的更新相關的管線資訊。所以透過觀察洩漏趨勢並進行記錄，營運商能夠獲得詳細的數據，這些數據不僅能揭示管線潛在的問題區域，還能提供具體的風險評估基礎。這種科學數據驅動的方式使得營運商可以根據實際發生的情況做出更精確的決策，而非僅憑假設或經驗判斷。透過洩漏趨勢分析，營運商可更精確地定位需要重點關注的區域，進而優化維護資源的分配和使用。

在美國《Repair/Replace Considerations for Pre-Regulation Pipelines》文獻中提到，更換管線並非減少事故的最有效方法。此一觀點強調了風險評估及管理的重要性。而透過風險評估，營運商可以辨識出最具風險的區域，而非簡單地以年限作為唯一標準來判斷是否需要更換管線。如果透過增加巡檢、修補損壞或提升監控技術即可有效控制威脅時，就無需立即更換管線，這不僅節省資源，也避免運營中斷。因此，只有當這些措施無法有效管理威脅時，更換管線才是必要的選擇。

不過，文獻中特別提到，如果持續維護舊有管線完整性所需之成本過高，更換管線亦為合理之選擇。此一觀點強調了經濟效益在管線更換決策中的作用。當

維護成本超出預算或變得不再具有可行性時，進行更換是避免長期資源耗費的有效手段。

另外，美國的《天然氣管線技術委員會(GPTC)》的 DIMP 指引當中第 6.3 節和表 6.1 提供了更多關於維修和汰換的建議作法，亦可作為制定維護和更換策略時的參考依據。GPTC DIMP 相關內容如表 4-4 所示。

表 4-4 GPTC DIMP 之維修汰換建議作法參考表

威脅		可採取的補強/加速(A/A)行動
主要	次要	
腐蝕	外部腐蝕： <ul style="list-style-type: none"> 裸鋼管(有陰極保護，CP) 裸鋼管(無陰極保護，No CP) 包覆鋼管(有陰極保護，CP) 包覆鋼管(無陰極保護，No CP) 鑄鐵管(石墨化) 	<ul style="list-style-type: none"> 增加漏氣調查的頻率。 更換、插入或修復管線。 提供熱點保護(例如，在陽極位置安裝陽極保護裝置)。 改善陰極保護的缺陷。
	內部腐蝕：	<ul style="list-style-type: none"> 增加漏氣調查的頻率。 安裝集液罐。 安裝管線襯裡。 安裝去除濕氣或控制設備。 評估氣體供應中的雜質並與供應商採取改善措施。
	大氣腐蝕：	<ul style="list-style-type: none"> 包覆暴露的管線。 增加調查頻率。 更換或修復。 重新安裝。
自然力	外力/天氣(例如，地震、雷擊、暴雨/洪水、極端溫度、強風) <ul style="list-style-type: none"> 鋼管 塑膠管 鑄鐵管 	<ul style="list-style-type: none"> 將管線移至低風險區域。 更換高風險區域的管線。 安裝防地震的滑動或膨脹接頭。 安裝應變計於管線上。 安裝自動關閉裝置。 擴大使用過量流量閥。 在重大地震或其他事件後進行漏氣調查。
開挖損壞	<ul style="list-style-type: none"> 第三方損壞 操作員損壞 	<ul style="list-style-type: none"> 加強員工教育訓練。 要求監管干預。 檢查目標挖掘區和回填活動。 檢查設施支援。 提高管線定位的準確性。 參與高風險區域的施工前會議。 與項目工程師和承包商合作。 使用警告膠帶。 擴大使用過量流量閥。 改善系統地圖準確性和可用性。

威脅		可採取的補強/加速(A/A)行動
主要	次要	
		<ul style="list-style-type: none"> 獲得公共安全官員的支持(例如，消防部門)。 安裝更多的管線標記。
其他外力損壞	火災/爆炸	<ul style="list-style-type: none"> 提供第一響應者培訓。 安裝路緣閘門。 改善應急能力。 擴大使用過量流量閘。
	車輛撞擊	<ul style="list-style-type: none"> 擴展關於何時以及如何安裝保護措施的政策。 增加高風險設施的巡邏/檢查頻率。 評估是否需要重新安裝難以保護的設施。 擴大使用過量流量閘。
	洩漏(先前的損壞)	<ul style="list-style-type: none"> 在回填前檢查暴露的管線。 增加漏氣調查的頻率。
	蓄意破壞	<ul style="list-style-type: none"> 安裝/改進圍欄/圍牆。 增加監控。 重新安裝難以保護或關鍵的設施。
	爆破工程	<ul style="list-style-type: none"> 在爆破後進行漏氣調查。 重新安裝遠離頻繁爆破區域(例如礦山)。 使用更具延展性的管線材料更換管線。
材料、焊接或接頭失效	<ul style="list-style-type: none"> 製造缺陷 施工/工藝缺陷 焊接或其他接頭失效 機械損壞： <ul style="list-style-type: none"> 鋼管、塑膠管、管線元件 	<ul style="list-style-type: none"> 增加漏氣調查的頻率。 更換或修復。 修訂施工程序。 修訂材料標準。 趨勢分析材料失效。 趨勢分析焊接或其他接頭失效。

資料來源：美國天然氣管線技術委員會(GPTC)。Distribution Integrity Management Program, DIMP。2010年。

5、汰換計畫參考比較：

本研究針對國內業者維修汰換計畫與美國天然氣輸配完整性管理計畫(DIMP)進行參考比較，比較兩者之法源依據、蒐集管線資訊、識別威脅、風險排序等項目，比較表如表 4-5 所示。

表 4-5 美國 DIMP 汰換計畫參考比較表

比較項目	國內業者管線維修汰換計畫	美國天然氣輸配完整性管理計畫 (DIMP)
法源依據	依據天然氣事業法第 51 條第 3 項規定，天然氣事業應於每年十月三十一日前，編具次一年之輸氣管線維修檢測汰換計畫，報經直轄市、縣(市)主管機關轉請中央主管機關備查。	依據美國聯邦法規 49 CFR §192.1007 之七點要素以及四大影響因素。
蒐集管線資訊	可制定獲取未知資訊之計畫	<ul style="list-style-type: none"> ● 蒐集管線資訊 (不同管線材質及種類區分) ● 制定獲取未知資訊之計畫
識別威脅	可導入事故(件)調查分析與紀錄	<ul style="list-style-type: none"> ● 運營商需考慮合理可用的資訊來識別現有和潛在的威脅。資料來源可能包括事故和洩漏歷史、腐蝕控制記錄、持續監測記錄、巡邏記錄、維護歷史和開挖損壞經驗等。 ● 腐蝕、自然力、挖掘損壞、其他外力損壞、焊接、設備故障、不正確的操作以及其他可能威脅管線安全的問題。
風險排序	可依據管線資訊及檢查結果等科學數據自行排序	<ul style="list-style-type: none"> ● 將其管線細分為具有相似特徵的區域 (例如，具有共同材料或環境因素的區域)，對於這些區域，執行類似的檢查或措施，可能會有效地降低風險。

三、現行汰換原則之歸納彙整及建議

針對現行汰換原則原始條文進行相關性歸納彙整如表 4-6 所示。

表 4-6 汰換原則條文相關性歸納表

條次	汰換原則原始條文	相關性歸納
第一條 第四條 第五條	<p>(一) 管線巡查或施工開挖發現可能導致洩漏之腐蝕或已發生漏氣者。</p> <p>(四) 通報漏氣熱點：本支管及表外管同一段管線腐蝕漏氣頻率較高者，漏氣頻率較高者包括：(1)同一地點 1 年內報修 3 次。(2)1 年內同一地下表外管線設備於 100 公尺距離內有 2 處腐蝕漏氣者。或最近三年內同一地下表外管線設備於 100 公尺距離內有 3 處腐蝕漏氣者。(3)1 年內同一地上表外管線設備於 20 公尺距離內 2 處腐蝕漏氣或腐蝕嚴重者。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 管線巡查、洩氣熱點及通報處理

條次	汰換原則原始條文	相關性歸納
	(五) 屬於通報漏氣熱點，應自接獲通報日起於三個月內進行年度汰換。管線應自漏氣點向外延伸進行汰換，汰換總長不得小於漏氣點二倍間距，並應於漏氣點鄰近分歧管進行至少四處探漏。但汰換長度因現有管線長度未達兩倍間距時，應以現有長度整段汰換。	
第二條	(二) 配合主管機關或其他單位工程必須遷移天然氣管線者。	● 配合主管機關或其他單位工程遷移
第三條 第十二條 第十三條	(三) 對於學校、醫院、車站及加油(氣)站等周邊 100 公尺內老舊管線列為優先汰換。 (十二) 管網風險評估之 A.腐蝕危害，及 E.材料、銲接或其他連接故障，之風險分析結果為高風險者，可考慮以管線汰換作為強化措施。 (十三) 每年從監控洩漏統計數據，發現高風險危害管線類別者，可考慮以管線汰換作為強化措施。	● 風險評估 → likelihood × consequence ● 第三條 → 後果效益 其側重於分析潛在事故的後果影響，透過考慮事故發生後的影響範圍與嚴重性，從而決定是否需要優先進行汰換。 ● 第十二、十三條 → 發生機率導向 基於風險評估結果和實際監控數據的分析，對於具有高發生機率的潛在風險因素，應優先考慮管線汰換作為強化措施。
第六條 第七條 第八條	(六) 如果開挖檢查發現鑄鐵管石墨腐蝕超出開挖範圍，則應更換整管段鑄鐵管。 (七) 汰換中壓鑄鐵管時一併汰換同路徑且同氣源之低壓鑄鐵管，橫向分歧低壓鑄鐵管除經風險評估毋須立即汰換，否則應一併汰換。 (八) 低壓鑄鐵管本管發生漏氣機率較高者，列入年度汰換計畫(線路交叉口處)。	● 鑄鐵管汰換
第九條 第十條	(九) 支管採用鍍鋅鋼管 PVC 膠帶防蝕包紮，編列預算逐年汰換。 (十) 明管管齡 30 年以上有腐蝕之管線或埋於地下管齡超過 25 年之鍍鋅鋼管且未使用防蝕包覆者。	● 鍍鋅鋼管汰換
第十一條	(十一) PVC 管線，編列預算逐年汰換。	● PVC 管汰換

美國的天然氣管線汰換計畫是基於風險評估和科學數據地，並非單純以使用年限作為主要依據，亦需綜合考量其他關鍵因素，如管線材質、操作歷史、敷設環境、自然災害以及其他可能的外力損害等因素。然而，與美國的原則相比，我國現行的天然氣管線汰換原則仍較多依管線的使用年限作為主要汰換依據。

此做法可能忽略了某些管線即使使用年限較短，但因環境變遷或外力影響而產生較高風險的情況。

例如，第十條，僅考慮管線的管齡，建議應考慮到管線在相同年限內可能面臨不同的風險，例如由於材料劣化、環境變化或外部損壞等，可根據具體風險進行個別評估，確保決策的科學性。

因此，建議在鑄鐵管、鍍鋅鋼管、PVC 管等材料的管線汰換條文中，進一步引入風險評估的概念，不再單純依賴使用年限作為唯一汰換標準。應該結合風險評估結果，綜合考量管線的具體情況、環境風險以及外部影響因素，來決定是否需要進行汰換或進一步的維護處理。

另外，PVC 管線因韌性、耐壓性較低、較脆、易破裂等因素，使其並未被美國天然氣管網所使用，而美國自 1970 年代開始導入 PE 管材，且逐漸成為美國天然氣管網中主要的材料選擇。這是因為 PE 管具有良好的韌性、耐腐蝕性和耐化學性，特別適合低壓天然氣的傳輸。

表 4-7 PVC 管與 PE 管材料性質比較表

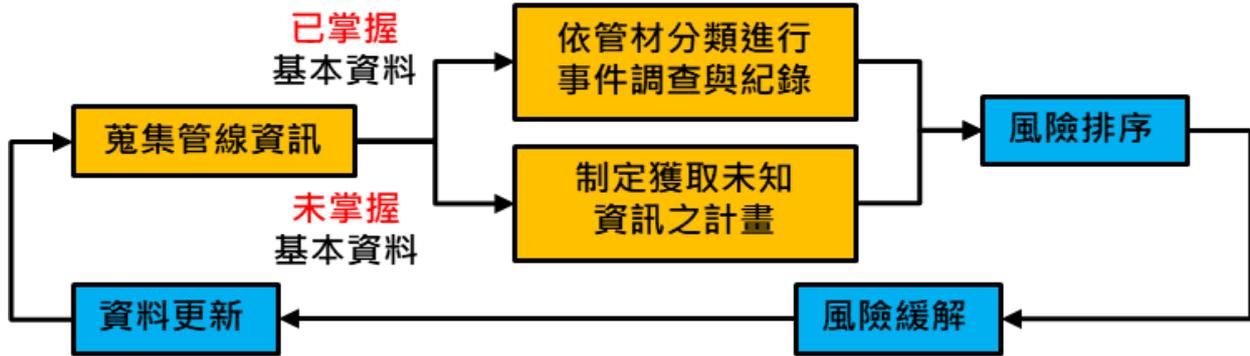
性質	PVC 管(聚氯乙烯管)	PE 管(聚乙烯管)
韌性	韌性較低，較脆，易破裂。	韌性較高，具有良好的耐衝擊性。
耐衝擊性	耐衝擊性一般，易因物理衝擊而破裂。	耐衝擊性極佳，能承受較大的物理衝擊。
耐熱性	一般最高耐受溫度在 60°C 左右。	耐熱性較佳，最高耐受溫度可達到 120°C 左右。

四、建議作法

1、流程化方式論述：

於檢視國內業者的天然氣管線維修汰換計畫後，發現目前的計畫性維修汰換計畫可參考美國採流程化方式來論述，其能夠讓讀者清晰地理解計畫的每個步驟及其連貫性，具有清晰的結構、明確的因果關係、便於識別問題及有助於溝通等優點。因此，建議業者在制定管線汰換計畫時，可將各項作業流程化。如圖 4-13 為本研究所建議之計畫性維修汰換概念流程圖。

計畫性維修汰換計畫→流程化



資料來源：本研究整理

圖 4-13 計畫性維修汰換概念流程圖

2、建議流程圖與作法：

(1). 建議流程圖

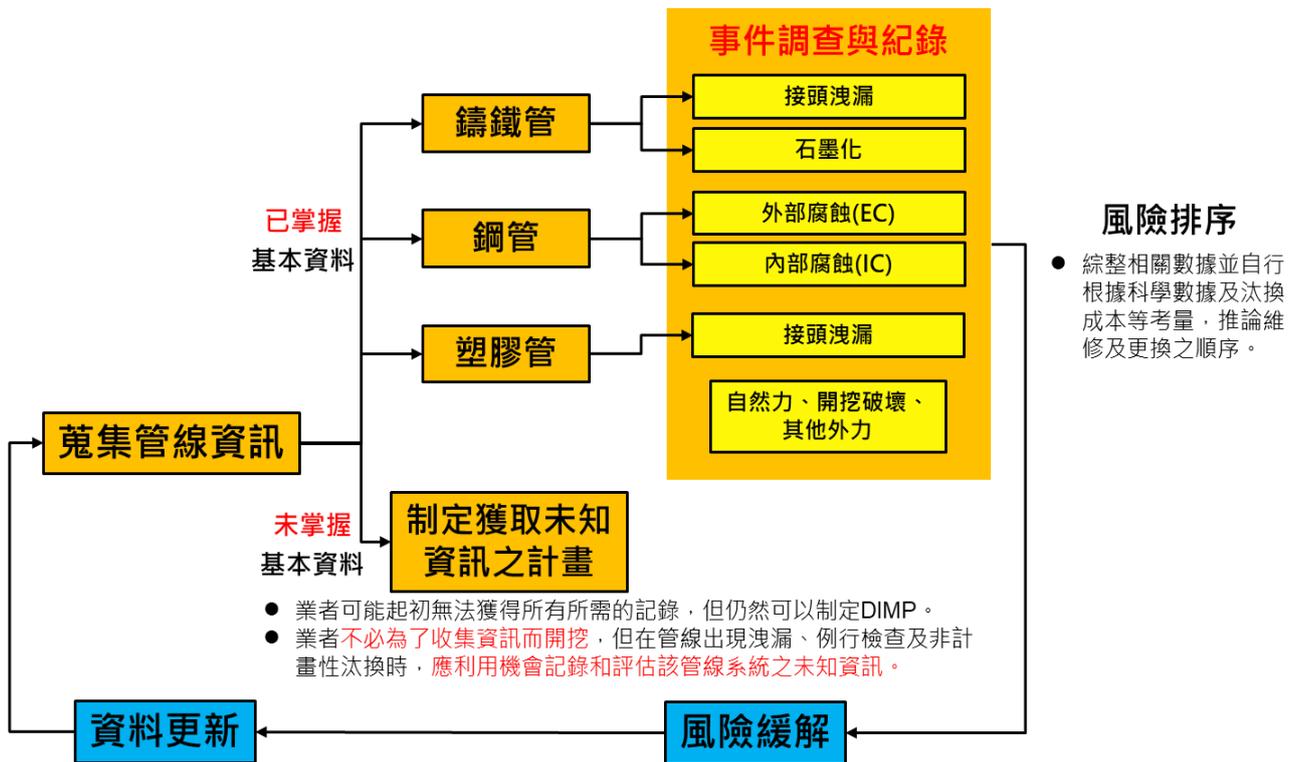
本研究分析美國天然氣管網依不同管材為導向之汰換流程後，考慮我國天然氣管網的特殊情況與需求，提出我國天然氣業者計畫性維修汰換之建議流程圖，如圖 4-14 所示。

首先，需要蒐集與管線相關的基本資料，如管材特性、運作條件、敷設環境、埋設時間及其他評估要素等。在蒐集之過程中，會將資料分為已掌握和未掌握兩類。對於已掌握的資料，後續將依據管材進行分類，並對過去的事件（如洩漏、破損等）進行原因調查與紀錄。而對於未掌握的資料，後續需制定計畫以獲取這些未知資料，以補充和完善現有的管線資料庫。

接著，將基於現有科學數據，包括事故原因調查、洩漏歷史紀錄、以及管線的材料特性、運作條件、和敷設環境、埋設時間及其他評估等因素，綜整後進行風險評估及排序。而基於風險排序之結果，將針對高風險管線制定和實施相應的風險緩解措施。可能的措施包括增加定期檢查和監測的頻率，對受損或劣化的管線進行修復，或者在必要時進行整段或局部更換。緩解措施的選擇將以最小化風險為目標，同時考慮經濟成本和技術可行性。例如，對於風險較高的管線，如果修復舊有管線完整性所需之成本過高，更換管線亦為合理之選擇。

最後，在完成維修或汰換後，對管線的基本資料進行即時更新亦為重要。特別是，針對曾經進行過維修或更換的管線，進行維護、檢查及更換的歷史紀錄列

表，並註明其對風險狀況的影響。通過這種動態的數據管理方式，確保資料庫的及時性與準確性。



資料來源：本研究整理

圖 4-14 計畫性維修汰換之建議流程圖

該流程圖強調以材料觀點出發並結合風險管理概念的維修汰換策略，透過對現有管線資訊的蒐析，區分已掌握與未掌握的資訊，制定對應的調查與資料獲取計畫。而事件原因調查與紀錄序是該流程的核心，旨在透過關鍵的數據支持使業者之決策有所依據，合理優先化資源。透過排序將有限的維修與汰換資源集中於風險最高的管線區段。

(2). 管線汰換考量因素之參考建議

於建立管線基本資料以及事故原因調查後，建議以材料觀點出發並結合影響汰換順序之考量要素，如幾何尺寸、運作條件、敷設環境、埋設時間、洩漏歷史紀錄以及其他要素評估結果等。並針對各管材之材料缺陷進行評估，如鑄鐵管之石墨化（腐蝕程度）、鋼管之陰極保護、包覆塗層劣化問題、材料供應商管理等，最後說明排序依據。管線汰換考量因素參考建議如表 4-8 至所示。

表 4-8 管線汰換考量因素參考建議-以鑄鐵管為例

管線材料	管徑	長度	壓力	埋設年度	埋設地點	敷設環境	洩漏熱點分析	其他要素評估	排序
鑄鐵管段 1	A	A1	低	A2	區域 A	高腐蝕	頻繁洩漏	石墨化現象嚴重	優先
鑄鐵管段 2	B	B1	低	B2	區域 B	一般	偶爾洩漏	一般腐蝕	次
鑄鐵管段 3	C	C1	低	C2	區域 C	一般	無洩漏	無腐蝕樣態	後

*鑄鐵管段 1 因石墨化嚴重且存在多次洩漏記錄，並且埋設於高腐蝕環境中，因此建議優先汰換。

表 4-9 管線汰換考量因素參考建議-以鍍鋅鋼管為例

管線材料	管徑	長度	壓力	埋設年度	埋設地點	敷設環境	洩漏熱點分析	其他要素評估	排序
鍍鋅鋼管段 1	A	A1	低	A2	區域 A	中腐蝕	偶爾洩漏	陰極保護狀態不佳	次
鍍鋅鋼管段 2	B	B1	低	B2	區域 B	一般	偶爾洩漏	周邊施工頻繁	後
鍍鋅鋼管段 3	C	C1	低	C2	區域 C	中腐蝕	頻繁洩漏	包覆層劣化	優先

*鍍鋅鋼管段 3 存在包覆層劣化問題且頻繁洩漏，相較於相同腐蝕環境之管段 1 汰換排序應較高。

表 4-10 管線汰換考量因素參考建議-以 PVC 管為例

管線材料	管徑	長度	壓力	埋設年度	埋設地點	SCG 現象	洩漏熱點分析	其他要素評估	排序
PVC 管段 1	A	A1	低	A2	區域 A	無 SCG 現象	偶爾洩漏	接頭故障	次
PVC 管段 2	B	B1	低	B2	區域 B	有 SCG 現象	偶爾洩漏	接頭故障	優先
PVC 管段 3	C	C1	低	C2	區域 C	無 SCG 現象	無洩漏	無	後

*PVC 管段 2 同時出現 SCG 現象與接頭故障，相對應規劃優先汰換。

透過本報告所述之汰換流程與考慮之要素，管線所有人得以透過已知之資訊建立量表。以材料為基礎進行分類，針對其設計之類型、區域、可能的劣化機制等一一進行排列。上述各表僅為示意範例，管線所有人在排序的過程中應以自身維運經驗與國際規範定義各項目之嚴重程度範圍，綜合考慮各項目之影響進行排序以利汰舊換新工作規劃，除汰換之外，管線所有人更應透過列表參考 DIMP 之建議規劃相應之降緩、確認工作以降低管線運作的風險。

3、特殊狀況之對策建議

(1) 未掌握基本資料

業者在實際制定維修汰換計畫時，可能面臨起初無法獲得所有必要的管線基本資料記錄的情況。不過，即使在資料不足的情況下，業者仍然可以透過既有資料進行定性評估和管理來制定。所以，業者不必為了收集這些管線之未知資訊而進行開挖或特別探勘作業。可於進行管線系統的日常運營過程中，充分利用每一個可行的機會來收集相關資訊。例如，在管線出現洩漏事件、進行例行檢查或非計畫性的管線汰換工作時，業者應當詳細記錄當前管線的狀況，並利用這些機會評估和補充管線系統中未知的資訊。

(2) 管線風險與埋設時間非正相關

於通常情況下，如果沒有特殊影響因素，其風險應與管線的使用時間呈部分正相關。如同國際相關文獻所提到，管線隨著時間的推移，會受到多種具時間依賴性之威脅，如外部腐蝕(EC)、內部腐蝕(IC)、石墨化、應力腐蝕破裂(SCC)及材料疲勞等。其說明了這些威脅可能因為使用時間越長，導致管線洩漏甚至破裂的風險越高，然而這些威脅在日常營運過程中往往不易察覺並定義其影響之範圍或同類型之管線發生的可能。因此管線所有人應參考國際規範並引入相關領域專家進行評估，藉此勘定管線之威脅因子與維修改善範圍。

不過，當業者的維修汰換計畫中顯示，某些使用時間不長的管線卻被評估為最高風險。出現這種情況的原因可能包括以下幾點：

- 材料或安裝缺陷：在建造或安裝過程中可能存在缺陷，如接頭密封不良或材料性能問題，這些缺陷可能在短時間內顯現並引發風險。
- 操作壓力不當：在運作過程中，可能因需求變動而承受超出設計標準的壓力或負荷，因而增加風險，即使管線本身是新建的。
- 敷設環境影響：管線可能位於高腐蝕性的土壤中，或者受到地下水等外部因素影響，導致其劣化速度加快，即使使用時間不長，風險也可能迅速上升。
- 第三方破壞：管線所在區域的頻繁施工或其他外部干擾，可能對管線造成直接損壞或隱性損害，即便是新敷設的管線，風險也可能因此升高。

如上所述，因為材料或安裝缺陷、操作壓力不當、敷設環境、第三方破壞等因素，可能導致管線風險與埋設時間非正相關。所以，建議業者特別注意風險排序當中的管線建造及使用時間，可將排序結果與使用時間做比較。透過比較可以得知風險是否因使用時間增加而自然升高，或者是否有其他外部因素促使風險增高。

業者與主管機關回報維修汰換計畫時，即可根據科學數據的推論結果，向主管機關報告管線優先維修汰換之原因。舉例來說，發現某些管線在使用時間較短的情況下，風險卻遠高於其他同類型管線，推測可能有因敷設環境或第三方破壞，導致風險升高。因為這些原因，業者在計畫性的維修汰換計畫中，將高風險的管線列為優先汰換對象。有助於降低管線系統的總體風險，亦能有效地利用資源，確保其運作安全。

第5章 結論與建議

本研究之主要目的，旨在瞭解 25 家公用天然氣事業天然氣管線（本支管）汰舊換新之編列原則，並參考國內外汰換管線之法規與實務作法，提出建議可適用 25 家公用天然氣事業之天然氣管線（本支管）汰舊換新編列作法。結論建議如下：

一、依國內外汰換案例分析結果，建議可借鏡美國與日本的做法可做為參考

1、美國方面：強調分析事故原因和觀察洩漏趨勢的重要性，避免僅依賴過去經驗或單純年限標準。

(1). 採循序漸進的方式進行管線汰換原則的制定。

(2). 依據管線之風險排序執行汰換（考量管線材質、運作歷史、敷設環境、埋設時間及外力影響）。

(3). 依法為架構各州自行訂定編列與審查方式。時程：制定法規基本要求，跨部會討論（2006）、啟動研究計畫、制定配送管線完整管理計畫（2006~2009）、正式實施實施（2010~）、持續補助（2021~2025）。

2、日本方面：仰賴業者自主擬定汰換規劃。

日本政府於瓦斯事業法要求天然氣業者需向監管部門定期報告汰換計畫與執行狀況，透過經濟產業省與當地瓦斯協會共同研擬可供業者參考之實務指引，以行政指導的方式，幫助各事業釐清需優先汰換的管線態樣。

二、建議管線汰換不以年限為原則，應以科學數據為基礎擬定風險管理策略

1、管材年限類別分為經濟年限（即經濟（或折舊）耐用年數）、耐用年限（即物理耐用年數）等 2 種。經濟年限指因功能或效益衰退至不值得使用所經歷之年數，為稅法所訂之折舊年限，亦是裝置計費手冊之本支管費用的計算參數採用之年限。而管線耐用年限指因自然耗損或外力破壞至結構脆弱而不堪使用所經歷之年數。兩者並不相同，若為折舊額計算、本支管費用計算應以經濟耐用年數為主；若為管線汰換年限則因考量諸多因素，應以科學數據為基礎擬定風險管理策略，不能單就年限判斷。

三、建議以材料觀點結合風險評估制定維修汰換策略，並在資源配置時優先考量高風險區段，以提升管線系統的安全性與資源運用的效率

- 1、目前各事業汰換的原則以管線埋設年份、埋設(置)區域及曾有洩漏或大規模施工等因素調整管線汰換先後次序，又或者依管線材質、管線竣工日期與管線腐蝕程度分析情況，每年滾動式調整汰換順序，並朝向區域性的汰換方式規劃。
- 2、本研究提出建議流程圖，強調以材料觀點出發並結合風險管理概念的維修汰換策略，針對現有管線資訊進行分析，以制定調查與資料獲取計畫，並以事件原因調查與紀錄作為核心，旨在透過關鍵的數據支持使業者之決策有所依據，合理優先化資源，以確保資源優先配置於高風險區段。
- 3、針對管線資料不足及管線風險與埋設時間非正相關等特殊情況，建議業者面臨基本資料不足時，可在透過日常運營中利用機會收集管線資訊，不必為了收集未知資訊而進行特別開挖作業。建議業者在風險排序中，注意管線風險與埋設時間非正相關的情況。材料缺陷、操作壓力不當、敷設環境影響、第三方破壞等因素，可能導致新建管線的風險高於使用時間較長的管線。因此，業者應對風險排序結果進行仔細分析，並將其與埋設時間比較，確保維修汰換決策的合理性。

附件 1、各事業管線汰換判斷原則

序號	事業	計畫性汰換順序	非計畫性汰換順序	檢測方式
1	欣隆	依維修次數、漏氣頻率，綜合判斷考量。	例行性巡檢或民眾報案時發現需汰換之管線或剛好可配合政府公共建設工程如：汙水排水管、人行道工程進行汰換管線。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 紅外線或吸入式儀器檢測。 2. 官能測定(嗅覺)聞是否漏氣。
2	大台北區	<ol style="list-style-type: none"> 1. 學校加油站周邊有漏氣紀錄 2. 材質：鍍鋅鋼管、鑄鐵管，依維修次數、漏氣頻繁之地下管線優先汰換。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 熱點風險評估，三個月內，易漏管線須汰換完。 2. 民代要求，優先汰換案件。 3. 配合政府公共建設工程進行。 	<p>依據「台北市公用天然氣輸儲設備漏氣檢測及防範計畫」訂定巡檢週期</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 高壓管線：(1)每月檢測以瓦斯洩漏檢知器檢測人手孔、有瓦斯洩漏反應，移轉工作班於異常點周遭詳細查漏修復。 (2)高壓管極陰保護量測：記錄整流站輸出電壓、電流、電力消耗檢測設備。 2. 中壓管線：每年檢測 1 次以瓦斯洩漏檢知器檢測人手孔、有瓦斯洩漏反應，移轉工作班於異常點周遭詳細查漏修復。 3. 低壓管線：每 2 年檢測 1 次，以瓦斯洩漏檢知器檢測人手孔、有瓦斯洩漏反應，移轉工作班於異常點周遭詳細查漏修復。 4. 鍍鋅鋼管：針對埋於地面下超過 15 年以上之鍍鋅鋼管以巨電池測試器檢測腐蝕狀況檢測 A 級者列入抽換計畫、B 級者每半年複測 1 次、C 級者每年複測 1 次、D 級者每 3 年複測 1 次。

序號	事業	計畫性汰換順序	非計畫性汰換順序	檢測方式
3	陽明山	依維修次數、漏氣頻率，綜合判斷考量。	例行性巡檢或民眾報案時發現需汰換之管線，或剛好可配合政府公共建設工程如：汗水工程進行汰換管線。	定期以瓦斯洩露檢知器，檢測人手孔、管線是否漏氣。
4	欣湖	1. 高風險漏氣挖損管線 2. 管齡 30 年之管線優先汰換	1. 民眾通報，有立即汰換必要之管線。 2. 配合公共工程，遷管管線。	1. 紅外線或吸入式儀器檢測。 2. 官能測定(嗅覺)聞是否漏氣。
5	欣欣	材質：鍍鋅鋼管管齡 30 年以上、鑄鐵管管齡 40 年以上之地下管線，依維修次數優先汰換。	沒有特定汰換順序，巡檢時發現需汰換之管線，或剛好可配合政府公共建設工程如：「汗水下水道工程」進行。	1. 中壓 A 和高壓金屬管：做緊密電位判斷電位是否正常。 2. 低壓管：每 5 年使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏並配合管網風險評估
6	欣芝	依據材質、維修次數、管線密集度、人口密集度、管齡、交通流量、土質狀況，綜合判斷考量滾動式調整。	1. 民眾通報，有立即汰換必要之管線。 2. 配合公共工程，遷管管線。	每年巡檢使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏。
8	欣泰	依維修次數、漏氣頻率，綜合判斷考量。	沒有特定汰換順序，巡檢時發現需汰換之管線，或剛好可配合政府公共建設工程進行。	定期以瓦斯洩露檢知器，檢測人手孔、管線是否漏氣。
9	欣桃	1. 管齡 30 年漏氣之高風險地下鑄鐵管段，列為巡檢重點。 2. 管齡 30 年以上之鍍鋅鋼管，依維修次數優先汰換。	例行性巡檢或民眾報案時發現需汰換之管線，或剛好可配合政府公共建設工程如：汗水工程進行汰換管線。	1. 中壓 A：每 2 週以測漏儀定期巡檢，測試管線是否洩漏；每季以陰極防蝕保護電位測試巡檢管線側漏。 2. 低壓管：每年以瓦斯洩露檢知器，檢測人手孔、管線是否漏氣。
10	新竹	1. 漏氣頻率 ：1 年內同一地點報修 3 次、明管設備於 100 公尺距離內，有 2 處腐蝕漏氣者及埋於地下線設備，於 20 公尺距離內，有 2 處腐蝕漏氣等漏氣，報修頻率較高者，應優先辦理汰換。 2. 管線材質 ：將逾齡鑄鐵管、塑膠管、鍍鋅白鐵管及黑鐵管依計畫性	1. 民眾報案發現腐蝕情形，優先汰換。 2. 臨時洩漏挖損，有立即汰換必要。 3. 高風險管段，容易漏氣處，主要針對 50 米以下的進行汰換。	1. 紅外線或吸入式儀器檢測。 2. 官能測定(嗅覺)聞是否漏氣。

序號	事業	計畫性汰換順序	非計畫性汰換順序	檢測方式
		<p>逐年汰換。</p> <p>3. 耐用年限：配合 GIS 圖資系統，將明管管齡 30 年以上管線、埋於地下管齡超過 25 年之鍍鋅鋼管且未使用防蝕包覆者，地質不良易造成腐蝕處，進行檢測或挖掘，發現嚴重腐蝕現象優先辦理汰換。</p> <p>4. 對於學校、醫院、車站及加油(氣)站等周邊 100 公尺內</p> <p>5. 老舊管線列為優先汰換。</p> <p>6. 配合市府或他單位工程，須辦理管線汰換者。</p>		
11	中油	<p>1. 材質：金屬管線易腐蝕優先汰換成 PE 管，另針對中壓及高壓管線汰換判斷考量有細部區分。 中壓 A：年限 30 年及高風險管段，優先汰換。 中壓 B：年限 30 年之金屬管材，優先汰換為 PE 管。</p> <p>2. 年限：屆齡汰換年限管齡 30 年以上，且近一年有漏氣報修者，優先汰換。</p> <p>3. 高風險漏氣挖損 三者綜合考量判斷，但管齡 30 年一定要優先汰換。</p>	<p>1. 臨時洩漏挖損，有立即汰換必要。</p> <p>2. 高風險管段，容易漏氣處。</p>	<p>1. 低壓管：每 5 年使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏。</p> <p>2. 中壓管線：每年巡檢使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏。</p> <p>3. 針對中壓 A 和高壓金屬管，做緊密電位判斷電位是否正常。</p>
12	竹建	<p>1. 依年限、管線使用現況，綜合判斷。</p> <p>2. 鋼管及 PVC 管優先分年汰換。</p>	<p>沒有特定汰換順序，巡檢時發現需汰換之管線或剛好可配合政府公共建設工程進行。</p>	<p>依不同管材，檢測方式不同。</p> <p>1. PE 被覆鋼管：中壓所埋設之鋼管，以陰極防蝕系統(犧牲陽極法)保護，每六個月執行固定點檢測，並</p>

序號	事業	計畫性汰換順序	非計畫性汰換順序	檢測方式
				<p>記錄檢測結果。陰極防保護標準：擬採用以飽和硫酸銅參考電極量得瓦斯鋼管對地電位值小於-850mV。</p> <p>2. PE管:PE管係以耐腐蝕之聚乙烯為原料製成，依其特性，埋設於地下不受陽光直接照射且其輸送之氣體壓力在規定值(目前採用之PE管為4kg/cm²)以下時，管線之耐用年限可達50年以上PE管之輸送壓力約在2kg/cm²以下。</p> <p>3. 鋼管:依修護單位定期性之管線巡查、人孔查漏等作業記錄，檢測異常狀況。</p> <p>4. PVC管:依修護單位定期性之管線巡查、人孔查漏等作業記錄檢測異常狀況。</p>
13	裕苗	<p>1. 材質：金屬管線及PVC管線易腐蝕，優先汰換成PE管。</p> <p>2. 年限：屆齡汰換年限管齡30年以上，且近一年有漏氣報修者為優先汰換之判斷依據。</p>	<p>1. 臨時洩漏挖損，有立即汰換必要。</p> <p>2. 高風險管段，容易漏氣處。</p>	<p>1. 每半年鑽孔探漏所有管線。</p> <p>2. 高壓管線每日巡管，以瓦斯洩露檢知器，檢測管線位置、人手孔或鋼管電位測定，若電位大幅增加或減少，委外請專業人員施作PCM後開挖驗證，若破損，立即修復。</p> <p>3. 中壓管：每周巡管，以瓦斯洩露檢知器，檢測管線位置人手孔，檢測是否漏氣。</p> <p>4. 低壓管：每月巡管，以瓦斯洩露檢知器，檢測管線人手孔位置，檢測是否漏氣。</p>

序號	事業	計畫性汰換順序	非計畫性汰換順序	檢測方式
14	欣中	依據材質、維修次數、管線密集度、人口密集度、管齡、交通流量、土質狀況，綜合判斷考量滾動式調整。	1. 配合政府工程計畫，一併汰換。 2. 針對民眾報案查漏管線維修次數頻繁管段。	針對鋼管：PCM、緊密電位檢測電流量是否異常。
15	欣彰	依管齡 30 年、漏氣頻率、材質、埋設之新舊、土質、交通量、地下水位，綜合判斷考量。	1. 民眾通報，有立即汰換必要之管線。 2. 配合公共工程，遷管管線。	每年巡檢使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏。
16	欣林	1. 老舊 PVC 管線優先汰換 2. 對於學校、醫院、車站及加油(氣)站等周邊 100 公尺內老舊管線，以及明管管齡 30 年以上管線或埋於地下管齡超過 25 年之鍍鋅鋼管且使用防蝕包覆者列為巡檢重點。	沒有特定汰換順序，巡檢時發現需汰換之管線，或剛好可配合政府公共建設工程進行。	1. 陰極防蝕電位。 2. 每年巡檢使用測漏儀，定期巡檢，測漏管線是否洩漏。
17	竹名	依據材質、維修次數、管線密集度、人口密集度、管齡、交通流量、土質狀況，綜合判斷考量滾動式調整。	1. 民眾通報，有立即汰換必要之管線。 2. 配合公共工程，遷管管線。	1. 紅外線或吸入式儀器檢測。 2. 官能測定(嗅覺)聞是否漏氣。
18	欣雲	鍍鋅鋼管管齡 20 年以上之暗管，列為優先汰換。	例行性巡檢或民眾報案時發現需汰換之管線或剛好可配合政府公共建設工程(如：汗水排水管、人行道工程)進行汰換管線。	1. 紅外線或吸入式儀器檢測。 2. 官能測定(嗅覺)聞是否漏氣。
19	欣嘉	1. 材質：鍍鋅鋼管及 PE 被覆鋼管，此 2 種材質鋼管表面經熱浸鍍鋅處理後，外層以防蝕材料及絕緣包覆保護，可減緩銹蝕延長使用年限，惟大部份埋設於巷弄及後巷居，因無陰極防蝕保護且受地床環境影響，有些易產生銹蝕逾 30 年且經檢測有不良紀錄者，則計畫全部汰舊換新。 2. 管線維修檢測發現局部腐蝕嚴重	1. 臨時洩漏挖損，有立即汰換必要。 臨時洩漏挖損，有立即汰換必要。 2. 例行性巡檢或民眾報案時，發現需汰換之管線，或剛好可配合政府公共建設工程如：汗水工程進行汰換管線。	1. 針對中壓 A 和高壓金屬管，做緊密電位判斷電位是否正常。 2. 每 2 年巡檢使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏。

序號	事業	計畫性汰換順序	非計畫性汰換順序	檢測方式
		<p>者辦理汰換。</p> <p>3. 管線巡查或配合他單位工程開挖發現腐蝕辦理汰換。</p> <p>4. 本支管及表外管同一段管線，腐蝕漏氣頻率較高。</p> <p>5. 同一地點 1 年內，報修 3 次。</p> <p>6. 1 年內同一地下表外，管線設備於 100 公尺距離內，有 2 處腐蝕漏氣者。</p> <p>7. 1 年內同一地上表外管線，設備於 20 公尺距離內 2 處腐蝕漏氣或腐蝕嚴重者，本支管採用鍍鋅鋼管 PVC 膠帶防蝕包紮，編列預算逐年汰換。</p> <p>8. 明管管齡 30 年以上，有腐蝕之管線，或埋於地下管齡超過鍍鋅鋼管，且未使用防蝕包覆者。</p> <p>9. 對於學校、醫院、車站及加油(氣)站等周邊 100 公尺內線列為優先汰換。</p>		
20	大台南	每年依照維護保護計畫，檢測高壓、中壓、低壓管線，依管齡、管材、防蝕措施、埋設環境，綜合判斷考量。	<p>1. 民眾通報，有立即汰換必要之管線。</p> <p>2. 配合公共工程，遷管管線</p>	<p>鋼管：每 3 個月量測電位。</p> <p>高壓鋼管：暗管於新設後 10 年，作緊密電位，每 5 年檢測一次，藉以判斷鋼管被覆保護效果，避免其他管線單位勿損鋼管被覆層。</p>
21	欣南	<p>1. 高風險漏氣挖損管線</p> <p>2. 管齡 30 年之金屬管線優先汰換</p>	<p>1. 不設年限檢測洩露管線，有立即汰換必要。</p> <p>2. 配合公共工程遷管管線。</p>	<p>每年巡檢使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏</p> <p>1. 紅外線或吸入式儀器檢測</p> <p>2. 官能測定(嗅覺)聞是否漏氣</p>

序號	事業	計畫性汰換順序	非計畫性汰換順序	檢測方式
				3. 高、中壓鋼管陰極防蝕保護電位測定。 4. 每半年對整流站電流輸出、電力消耗電器是否異常訊號檢查。 5. 中壓輸配氣管線：每半年以瓦斯洩漏檢知器檢測，有漏氣反應，縮小查漏範圍，確認可能漏氣管段，提報工程單位詳細檢查修復。 6. 低壓輸配氣管線：每三年以瓦斯洩漏檢知器檢測，有漏氣反應，縮小查漏範圍，確認可能漏氣管段，提報工程單位詳細檢查修復。
22	欣高	1. 1 年內同一地下表外管線設備於 100 公尺距離內有 2 處腐蝕漏氣者。 2. 針對台製延性鑄鐵管、鍍鋅鋼管優先汰換。 3. 土質原土環境優先汰換。	1. 民眾通報，有立即汰換必要之管線。 2. 配合公共工程，如：政府機關排溝、雨水箱涵工程抵觸等管線。	高、中、低壓每日分區檢查。 高、中、低壓管線，每年使用徒步手推式探測儀進行探漏。 高、中壓管線每 5 年做緊密電位檢測。
23	南鎮	1. 材質：鍍鋅鋼管及 PE 被覆鋼管，此 2 種材質鋼管表面經熱浸鍍鋅處理後，外層以防蝕材料及絕緣包覆保護，可減緩銹蝕延長使用年限，惟大部份埋設於巷弄及後巷居，因無陰極防蝕保護且受地床環境影響，有些易產生銹蝕，逾 30 年且經檢測有不良紀錄者，則計畫全部汰舊換新。 2. 管線維修檢測，發現局部腐蝕嚴重者辦理汰換。	臨時洩漏挖損，或容易漏氣處之高風險管段，有立即汰換必要。	1. 低壓管：每年使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏。 2. 中壓管線：每年巡檢使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏。 3. 針對中壓 A 和高壓金屬管，做緊密電位判斷電位是否正常。

序號	事業	計畫性汰換順序	非計畫性汰換順序	檢測方式
		3. 管線巡查或配合他單位工程開挖發現腐蝕辦理汰換。 4. 本支管及表外管同一段管線腐蝕漏氣頻率較高。 5. 同一地點 1 年內報修 3 次。 6. 1 年內同一地下表外管線設備於 100 公尺距離內，有 2 處腐蝕漏氣者。 7. 明管管齡 30 年以上，有腐蝕之管線或埋於地下管齡超過鍍鋅鋼管且未使用防蝕包覆者。 8. 對於學校、醫院、車站及加油(氣)站等周邊 100 公尺內線，列為優先汰換。		
24	欣雄	管齡:埋設年限超過 25 年以上管線不堪使用者，依計畫編列汰換。	1. 不設年限檢測洩露管線，有立即汰換必要。 2. 配合公共工程遷管管線。	每年巡檢使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏。 無縫鋼管： 每季量測電位做漏電檢查及配合高雄市環境維護管理自治條例第 15 條規定，每 5 年針對地下鋼管評估管線鏽蝕狀況。
25	欣屏	依管齡 30 年、漏氣頻率、材質、埋設之新舊、土質、交通量、地下水位，綜合判斷考量。	1. 民眾通報，有立即汰換必要之管線。 2. 配合公共工程，遷管管線。	分區段管線巡檢，檢測方式有 1. 每年陰極防蝕電位檢測。 2. 每年巡檢使用測漏儀，定期巡檢測漏管線是否洩漏。 3. 紅外線或吸入式儀器檢測。 4. 官能測定(嗅覺)聞是否漏氣。 5. 每年 4 次全面步行探漏。

附件 2、本支管汰舊換新調查問卷

為瞭解公用天然氣事業之本支管汰換現況，擬請貴公司說明於各年度制訂輸氣管線汰換計畫時，規劃優先汰換管線之評估依據，與實務相關執行情形：

調查題項	回覆意見(可複選)
<p>1. 對於貴公司敷設之本支管設備，請說明 112 年度實務上導致管線漏氣之發生成因，並計算各項可能原因佔當年度漏氣案件之比例。</p>	<p>總件數___件</p> <p><input type="checkbox"/>老舊管線腐蝕(___件)</p> <p><input type="checkbox"/>其他單位開挖損傷(___件)</p> <p><input type="checkbox"/>管線、管件材料不良(___件)</p> <p><input type="checkbox"/>地震等自然力因素(___件)</p> <p><input type="checkbox"/>其他因素： _____ (___件)。</p>
<p>2. 制訂年度管線汰換計畫時，是否彙整往年通報之管線漏氣搶修案件，從中篩選漏氣熱點以規劃需優先汰換之管線？</p>	<p><input type="checkbox"/>未進行漏氣熱點分析</p> <p><input type="checkbox"/>有進行漏氣熱點分析，策略：</p> <p style="padding-left: 20px;"><input type="checkbox"/>單年度同一條管線多次報修</p> <p style="padding-left: 20px;"><input type="checkbox"/>單年度在 100 公尺內發生多處腐蝕漏氣之地下管線</p> <p style="padding-left: 20px;"><input type="checkbox"/>單年度在 20 公尺內發生多處腐蝕漏氣之地上管線</p> <p><input type="checkbox"/>其他作法： _____。</p>
<p>3. 對於可能發生鏽蝕之金屬管，在實務上如何辨別管線腐蝕程度及洩漏位置，由此規劃計畫性汰換管線項目？</p>	<p>洩漏位置：</p> <p><input type="checkbox"/>進行地下管線鑽口測漏</p> <p><input type="checkbox"/>進行地上管線泡沫查漏</p> <p>腐蝕程度確認：</p> <p><input type="checkbox"/>實施石墨腐蝕狀況檢測</p> <p><input type="checkbox"/>實施管線壁厚減薄量測</p> <p><input type="checkbox"/>其他：_____。</p>
<p>4. 對於易受外力挖損之非金屬管，是否有聯繫路權單位確認自來水、電業等其他單位之開挖作業，俾降低可能挖損？</p>	<p><input type="checkbox"/>施工前辦理圖資套繪、會勘</p> <p><input type="checkbox"/>實際施工時，若施工單位提出漏氣疑慮始派員到場</p> <p><input type="checkbox"/>實際施工時，主動派員至現場辨認管線位置以避免挖損</p> <p><input type="checkbox"/>施工後重點針對近期開挖路段請管巡人員加強巡檢</p> <p><input type="checkbox"/>其他作法： _____。</p>

調查題項	回覆意見(可複選)
5. 在評估管線設備完整性與管網風險時，是否發現管網系統中有較易發生漏氣之高風險管材，而需優先規劃進行汰換？	<input type="checkbox"/> 裸鐵管 <input type="checkbox"/> 鑄鐵管 <input type="checkbox"/> 鍍鋅鋼管 <input type="checkbox"/> PVC 管 <input type="checkbox"/> 其他：_____。
6. 擬定輸氣管線汰換計畫時，是否考量易造成管線危害之自然力因素，由此釐清可能因此發生損傷之管線，據以優先汰換？	<input type="checkbox"/> 活動地震斷層範圍 <input type="checkbox"/> 土壤液化潛勢資訊 <input type="checkbox"/> 淹水潛勢情形 <input type="checkbox"/> 土石流潛勢溪流地區 <input type="checkbox"/> 自來水漏水高風險區域 <input type="checkbox"/> 其他：_____。
7. 制定輸氣管線汰換計畫時，是否配合各類公共工程之施工期程進行汰換規劃，以期提高管線汰換之可行性？	<input type="checkbox"/> 下水道工程 <input type="checkbox"/> 防水箱涵工程 <input type="checkbox"/> 道路運輸工程 <input type="checkbox"/> 新市鎮開發工程 <input type="checkbox"/> 其他：_____。
8. 編製輸氣管線汰換計畫時，是否衡酌漏氣事件對大眾影響之程度，當管線周遭地區有特殊用戶則優先評估是否需辦理汰換？	<input type="checkbox"/> 鄰近學校 <input type="checkbox"/> 鄰近醫院 <input type="checkbox"/> 鄰近加油站 <input type="checkbox"/> 鄰近交通車站 <input type="checkbox"/> 鄰近商業等人口活動密集區域 <input type="checkbox"/> 其他：_____。
9. 考量供氣區域內之老舊管線汰換並非一蹴可幾，實務上是否已制定中、長期之分年汰換計畫，以利落實管線設備更新？	<input type="checkbox"/> 未制定多年期汰換專案計畫 <input type="checkbox"/> 盤點高風險管材以專案汰換 (如老舊鑄鐵管等) <input type="checkbox"/> 評估管線品質以專案汰換 (如早期台製管線等) <input type="checkbox"/> 分析地區現況以專案汰換 (如較先開始供氣區域等) <input type="checkbox"/> 其他作法： _____。
10. 請說明在 112 年計畫性汰換管線項目中，確實於該年度執行完成之計畫項目長度汰換率為何？ (計算本題汰換執行率不應包含非計畫性項目)	<input type="checkbox"/> 90%至 100% <input type="checkbox"/> 80%至 90% <input type="checkbox"/> 70%至 80% <input type="checkbox"/> 60%至 70% <input type="checkbox"/> 60%以下

調查題項	回覆意見(可複選)
<p>11.對於未能如期完成汰換之計畫性項目，請就實務所見態樣說明無法順利汰換之原因。</p>	<p> <input type="checkbox"/>缺工導致施工量能受限 <input type="checkbox"/>路權單位臨時宣布禁挖 <input type="checkbox"/>沿線途經用戶不同意施作 <input type="checkbox"/>部分資源用於非計畫性汰換 <input type="checkbox"/>其他原因： _____。 </p>
<p>12.想了解貴公司編列汰換計畫之 SOP，以及是否有詳細的 SOP。</p>	<p> <input type="checkbox"/>沒有 <input type="checkbox"/>有 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/>可提供完整 SOP 供參 <input type="checkbox"/>無完整 SOP，但可簡要說明編列重點： _____ _____ _____ _____。 </p>