

出國報告（出國類別：實習）

漏水損失降低技術實習

服務機關：經濟部台灣自來水股份有限公司

姓名職稱：陳昭賢 工程師兼隊長

派赴國家：德國（漢堡）

出國期間：105年10月6日至10月18日

報告日期：105年12月1日

摘要

無收費水量(Non-Revenue Water, NRW)為進入供水管網的水量與向用戶收取水費的水量之間的差額，世界銀行(World Bank)估計在發展中國家每天有 4,500 萬立方公尺水經由供水管網漏水損失，而這些水量足以供應 2 億人使用。在亞洲城市的水公司，亞洲開發銀行(Asian Development Bank) 估計每年的 NRW 為 290 億立方公尺，造成水公司每年損失近 90 億美元。因此，有效管理 NRW 已成為全球迫切的議題。

台灣自來水公司 2015 年之漏水率為 16.63%，NRW 比率為 24.73%。依據經濟學人雜誌 2012 年所做全球綠色城市調查評比 (Green city index)，高於美國及加拿大地區 27 個城市 2011 年平均漏水率 13%，惟尚低於亞洲地區 22 個城市 2011 年平均漏水率 22%。「降低漏水率計畫 (2013 至 2022 年)」刻由台灣自來水公司積極辦理管線汰換、地理資訊系統建置、檢漏作業、修漏作業及擴大民間參與技術服務等工作，預計於 2022 年將降低漏水率至 15%。

德國供水損失策略聯盟於德國漢堡水務公司(Hamburg Wasser) 舉辦之降低供水損失策略及技術課程實習，實習訓練期間除講師專業課程內容，並輔以德國目前執行技術與現況分享，每段課程後均有案例練習及分組討論報告，加深實習者印象並學以致用。來自不同國家事業單位或水相關公司或集團人員，在報告中分享所屬各國(或公司)目前現況，並提出所遭遇問題或困境，經由專業講師及實習者互相討論及提供建議，讓彼此回歸各自工作崗位，在降低漏水損失方面均有相當大的助益。

實習心得與建議主要有下列四項：一、學習漢堡 4%漏水率經驗，建議由材料品質、施工品質及水價著手改善；二、維持低漏水率，操作維護所需組織人力亦會減少；三、路平專案執行，閥栓孔蓋配合路平或下地，建議可參採閥栓基座與開關製作一體金屬套筒，減少下陷疑慮，並於鄰近道路旁或建築物牆壁上，設置位置距離標示牌，協助工作人員快速確認位置；四、建議比照漢堡自來水博物館模式，設立具台灣特性的自來水博物館。

目 錄

壹、 目的	1
貳、 過程	5
一、 第一天：水量平衡介紹及計算	6
(一)、 漏水降低介紹	6
(二)、 水量平衡的計算	8
(三)、 漢堡水務公司監控中心參訪	10
(一)、 降低漏水方法及設備	13
(二)、 漏水偵測	17
(三)、 壓力管理	20
二、 第三天：設施管理	26
(一)、 漏水修理的組織和文件	26
(二)、 水表管理	27
(三)、 漢堡水務公司中區供水操作和維修單位參訪	28
三、 第四天：自來水事業整合觀點及行動計劃	35
(一)、 資產管理—從漢堡水務公司的經驗	35
(二)、 自來水事業操作、維修、組織和管理整合的方法	36
(三)、 實習結束授證	41
(四)、 漢堡飲用水生產的沿革—自來水博物館參訪	42
參、 心得及建議	47

圖目錄

圖 1 實習訓練講師與所有參與學員合影.....	5
圖 2 實習訓練情形	5
圖 3 水量平衡示意圖	6
圖 4 損失水量示意圖	7
圖 5 降低損失水量介入方法.....	7
圖 6 水量平衡的基本觀念示意圖	8
圖 7 水量平衡計算步驟圖.....	9
圖 8 介紹監控中心業務	10
圖 9 供水調配作業說明	10
圖 10 漢堡地區 2014 年各區供水流量與壓力圖	11
圖 11 分區計量(DMAs)的種類示意圖	11
圖 12 流率、壓力和漏水組成間的關係圖	12
圖 13 無維修策略與漏水量關係.....	13
圖 14 發生漏水事件進行維修策略與漏水量關係.....	13
圖 15 定期導向進行維修策略與漏水量關係.....	13
圖 16 狀況導向進行維修策略與漏水量關係.....	14
圖 17 降低漏水的介入方法.....	14
圖 18 壓力曲線與用水量與控制的關係圖	15
圖 19 每年巡檢次數與平均意識到漏水天數關係圖	15
圖 20 主動漏水控制各階段進行方式及採用設備.....	16
圖 21 在 5BAR 水壓下漏水孔洞大小與漏水量關係.....	17
圖 22 檢漏種類示意圖	18
圖 23 聽音棒檢測可能漏水區段.....	18
圖 24 噪音紀錄器檢測可能漏水區段	18
圖 25 測漏器定位漏水位置.....	19
圖 26 相關儀定位漏水位置.....	19
圖 27 漏水所造成聲音來源及頻率範圍	19
圖 28 查緝非法用水工具	20
圖 29 壓力管理的組成.....	20
圖 30 壓力管理區位置的調整	21
圖 31 局部點和關鍵點的調整.....	21
圖 32 基於時間調整的壓力管理.....	22
圖 33 基於流量調整的壓力管理.....	22
圖 34 隔膜閥運作圖示	23

圖 35 柱塞閥內部構造圖示.....	23
圖 36 微觀和巨觀的壓力管理區.....	24
圖 37 壓力管理區規劃與設計.....	25
圖 38 壓力管理區執行步驟.....	25
圖 39 漏水修理循環.....	26
圖 40 漢堡水務公司中區業務簡報.....	28
圖 41 漢堡水務公司供水區域與供水人口數.....	28
圖 42 漢堡供水區域劃分暨管網概況.....	29
圖 43 漢堡漏水率變化圖(1950-2013 年).....	29
圖 44 漢堡中心區操作維修概況圖.....	30
圖 45 漢堡中心區人員及設備概況.....	30
圖 46 漢堡中心區組織概況圖.....	31
圖 47 水表修理場.....	31
圖 48 消防栓水量計及用戶水表.....	31
圖 49 水表測試場.....	32
圖 50 GIS 圖資暨管線圖範例.....	32
圖 51 維修專用車及配備.....	32
圖 52 檢漏專用車及配備.....	33
圖 53 搶修物料倉庫.....	33
圖 54 路面夯實機介紹.....	33
圖 55 交維設施.....	34
圖 56 資產管理的內容及循環.....	35
圖 57 水事業和複雜性.....	36
圖 58 歐洲國家漏水率.....	37
圖 59 漢堡水事業中心區歷史年爆管數統計圖.....	37
圖 60 漢堡歷年供水水源與水量圖.....	38
圖 61 水事業不僅是供水示意圖.....	38
圖 62 漢堡水事業降低漏水的整合方法.....	39
圖 63 公司目前達成目標狀況評估圖.....	40
圖 64 改善弱點的分析工具.....	40
圖 65 制定公司達成目標路線示意圖.....	41
圖 66 頒發實習證書.....	41
圖 67 實習證書.....	42
圖 68 博物館導覽人員解說漢堡的供水歷史.....	42
圖 69 博物館內收藏許多具有歷史意義的設備、照片及文件.....	43
圖 70 管線及附屬設備埋設裝接示意圖.....	43
圖 71 用戶外線及內線裝接示意圖.....	44
圖 72 淨水廠模型(可操作展示).....	44

圖 73 地質探勘地層剖面圖.....	45
圖 74 原水取得(井開鑿、抽水機)模型示意圖.....	45
圖 75 漢堡水循環.....	45
圖 76 廢水的分類(黑水、灰水、雨水).....	46
圖 77 汙水處理廠.....	46
圖 78 筆者分組討論報告照片.....	47
圖 79 閥栓基座與開關製作金屬套筒.....	50
圖 80 閥栓位置距離標示牌.....	51

表 目 錄

表 1 實習課程表 (1)	3
表 2 實習課程表(2).....	4
表 3 IWA 水量平衡模型	8
表 4 隔膜閥與柱塞閥比較	24

附 件

附件一、出國報告審核表

壹、 目的

國際水協會(International Water Association)水平衡分析中將供水系統進水量(System Input)分成收費水量(Revenue Water)與無收費水量(Non-Revenue Water, NRW)，而漏水量(Water Losses)為 NRW 扣除無計費合法用水量(Unbilled Authorized Consumption)(如消防用水、洗管用水等)。目前台灣自來水公司之無計費合法用水量係採估算值(約為系統進水量之 8%)，因此，瞭解 NRW 為評估漏水量的先行指標。

NRW 為進入供水管網的水量與向用戶收取水費的水量之間的差額，世界銀行(World Bank)估計在發展中國家每天有 4,500 萬立方公尺水經由供水管網漏水損失，而這些水量足以供應 2 億人使用。在亞洲城市的水公司，亞洲開發銀行估計每年的 NRW 為 290 億立方公尺，造成水公司每年損失近 90 億美元。因此，有效的管理 NRW 已成為迫切的議題。

台灣自來水公司 2015 年之漏水率為 16.63%，NRW 比率為 24.73%。依據經濟學人雜誌(The Economist) 2012 年所做全球綠色城市調查評比(Green city index)，高於美加地區 27 個城市 2011 年平均漏水率 13%，惟尚低於亞洲區 22 個城市 2011 年平均漏水率 22%。「降低漏水率計畫(2013 至 2022 年)」目前正由台灣自來水公司積極辦理管線汰換、地理資訊系統建置、檢漏作業、修漏作業及擴大民間參與技術服務等工作，預計於 2022 年降低漏水率至 15%。

本公司漏水防治處於 103 年 9 月成立，主要業務包含管網維護管理、檢漏及修漏作業、產銷計量業務。德國供水損失策略聯盟(Strategic Alliance for Water Loss Reduction) 舉辦之降低漏水技術課程包含供水損失管理策略、檢測漏及修漏技術、壓力管理以及分區計量水力模型分析應用等，均為本公司業務推動之重點，因此指派人員實習，以期將漏水率控管具有指標意義的德國(漢

堡漏水率 4%)，引進相關技術及策略至台灣，協助積極推展中之降低漏水率計畫。

本次參與德國供水損失策略聯盟於 2016 年 10 月 10 日至 13 日於德國漢堡水務公司(Hamburg Wasser) 舉辦之降低供水損失策略及技術課程實習，主要包括第一日的水量平衡介紹及計算，第二日的進階漏水檢視方法及設備，第三日的設施管理及第四日的自來水事業整合觀點及行動計劃，並輔以實地參訪包括監控中心、供水操作和維修單位及自來水博物館等，實習課程詳如表 1 及表 2 所示。

表 1 實習課程表 (1)

Strategic Alliance for Water Loss Reduction Technical Training in Hamburg, Germany: October 10th to 13th 2016

Participants: 10 representatives from water utilities of different countries

Trainer team: Eva-Lena Vernickel and Andreas Kamphues (CAH), Balint Lajtaj (VAG), Michael Kersting (Sewerin)

Venue: HAMBURG WASSER, Hamburg, Germany

Time	Content/ Procedure
<i>Day 01 - Monday: Technical Training: Introduction and water balance calculation</i>	
08:30	Welcome and presentation of participants Training programme and objectives Introduction to the online platform
09:30	Presentation (M1.1, 1): Introduction to Water Loss Reduction
10:00	Exercise (M1.1, 1a): Key Influencing Factors
11:00	<i>Coffee break</i>
11:30	Presentation (M1.2, 1): Introduction to Water Balance Calculation and Exercise: Categorisation of Water Use
12:30	<i>Lunch</i>
13:30 - 14:00	Site visit of the Hamburg Wasser utility: Control Centre
14:00	<i>Coffee break</i>
14:15	Introduction to water balance calculation incl. tool "easyCalc" and Exercise (M1.2, 1a): Water balance calculation "Neustadt" and estimation errors = reliability of water balance calculation
16:00	Presentation (M1.3): Performance indicators combined with Presentation (M2.2): District Metered Areas (DMAs)
16:45	Wrap up and end of day 01
<i>Day 02 - Tuesday: Technical Training: Advanced Monitoring of Water Losses - Methods & Instruments</i>	
08:30	View back on day 01, discussion and clarification of questions
09:00	Presentation (M3.1): Introduction to methods & instruments for WLR
09:30	<i>Coffee break</i>
10:00	<i>Presentation (M3.2): Leak detection</i>
12:00	<i>Lunch</i>
13:00	Introductory movie on pressure management and Presentation (M3.2.1): Purpose and Benefits of Pressure Management
13:45	<i>Coffee break</i>
14:15	Presentation (M3.2.2): Potential and Requirements for Pressure Management Questionnaire
15:30	Introduction of Action Plan - Data input
16:00	Wrap up and end of day 02
18:00	Dinner together at Restaurant All participants are invited by Hamburg Wasser

表 2 實習課程表(2)

Strategic Alliance for Water Loss Reduction Technical Training in Hamburg, Germany: October 10th to 13th 2016

Participants: 10 representatives from water utilities of different countries

Trainer team: Eva-Lena Vernickel and Andreas Kamphues (CAH), Balint Lajtaj (VAG), Michael Kersting (Sewerin)

Venue: HAMBURG WASSER, Hamburg, Germany

Time	Content/ Procedure
<i>Day 03 - Wednesday: Technical training: Infrastructure Management</i>	
08:30	View back on day 02: discussion and clarification of questions
09:00	Exercise and presentation (M3.3): Organization & Documentation in Leakage Repair
11:00	<i>Coffee break</i>
11:30	Presentation: (M3.6) Introduction to Water Meter Management
12:00	<i>Lunch</i>
13:00	Meeting at the doorkeepers (Hamburg Wasser main entrance) for site visit
13:30-16:00	Site visit to 'Operation and Maintenance (O&M) unit for water supply of Hamburg Wasser - Central
<i>Day 04 - Thursday: Technical Training: Integrated Perspective on Water Utilities and Action Plan</i>	
08:30	View back on day 01: discussion and clarification of questions
9:00	Presentation (M3.5): Experiences from Hamburg Wasser - Introduction to Asset Management
9:30	Presentation (M4.1): An Integrated Perspective on Water Utilities
10:00	<i>Coffee break</i>
10:30	Action Plan
12:30	<i>Lunch</i>
13:30 - 14:30	Evaluation of training and certificates
14:30 - 15:30	Visiting the Water Forum – Evolution of Drinking Water Production in Hamburg

貳、 過程

實習訓練計有來自德國、匈牙利、波士尼亞、格瑞那達、坦尚尼亞及台灣共計 12 人，專業講師 Eva-Lena Vernickel 和 Andreas Kamphues 來自漢堡水集團的漢堡水顧問公司(CONSULAQUA Hamburg)，Balint Lajtaj 來自 VAG 集團及 Michael Kersting 來自 Sewerin 公司，圖 1 為實習訓練講師與所有參與學員合影，圖 2 為實習訓練情形，以下分別就重要實習內容作簡要說明：

圖 1 實習訓練講師與所有參與學員合影



圖 2 實習訓練情形

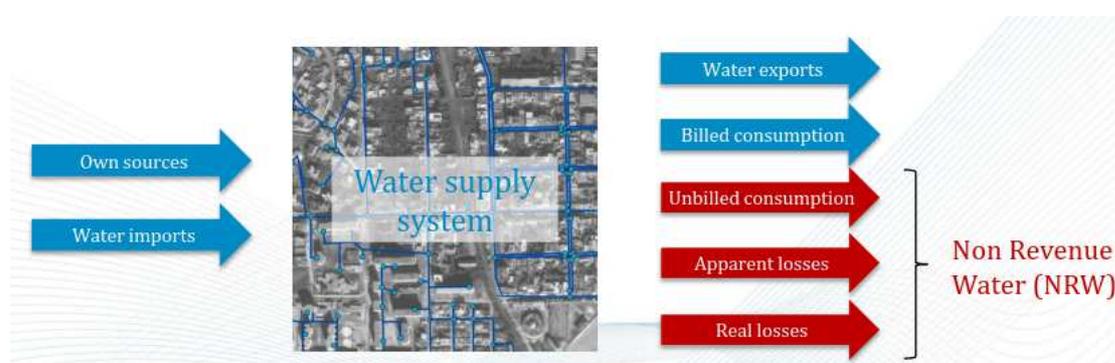


一、 第一天：水量平衡介紹及計算

(一)、 漏水降低介紹 (講師：Eva-Lena Vernickel)

1. 損失水量(Water Losses)定義：介於供水端與用戶端之間，由於不同的原因所造成水量漏失，包含有帳面損失水量(Apparent Losses)和實際損失水量(Real Losses)。實際損失水量係由於送(導)水幹管及(或)配水幹管之漏水量、配水池之漏水量及溢流量和接管點至用戶水表間之漏水量；帳面損失水量為非法用水量和水表不準確度與資料處理誤差[1]。
2. 水量平衡(Water Balance)定義：進入供水系統所有水量的總和與離開此系統所有水量的總和相比，輸入和輸出相減應等於零。

圖 3 水量平衡示意圖



3. 造成實際損失水量的原因如下：
 - 管線材質、狀況及使用管齡
 - 設計和安裝品質
 - 壓力
 - 土壤和地下水
 - 交通
 - 第三方(其他管線單位)影響
 - 其他因素
4. 為什麼要降低損失水量？
 - (1) 世界銀行(World Bank)在 2006 估計在發展中國家的每年未計費水量(Non-Revenue Water, NRW)為 267 億立方公尺，相當於每年損失 59 億美元。而降低一半的損失水量，就足夠額外供應發展中國家 9 千萬人口。
 - (2) 損失水量比你想像的更多，以管線 6mm 的孔洞，壓力 50m 的漏水為例，每天漏水量為 43.2 立方公尺，可以滿足 317 人一天的使用量，不到 2 個月就能注滿一標準游泳池。

圖 4 損失水量示意圖

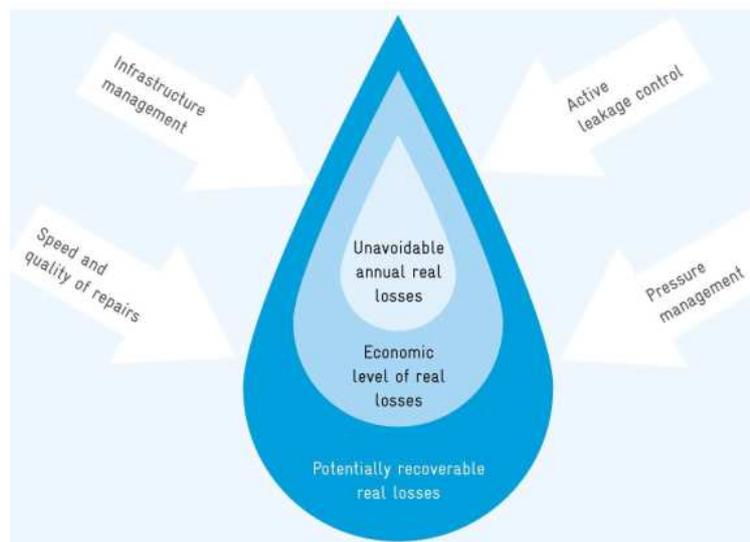


(3) 減輕經濟上、技術上、社會上及生態上的問題

- 改善營運效率
- 改善抄表和計費正確性
- 降低健康風險
- 提升供水安全
- 減少供水設施損壞
- 降低汙水處理負荷
- 改善顧客滿意度
- 改善民眾觀感及付費意願
- 降低生態壓力

5. 降低損失水量介入方法包括主動漏水控制、壓力管理、設施管理及修漏速度與品質

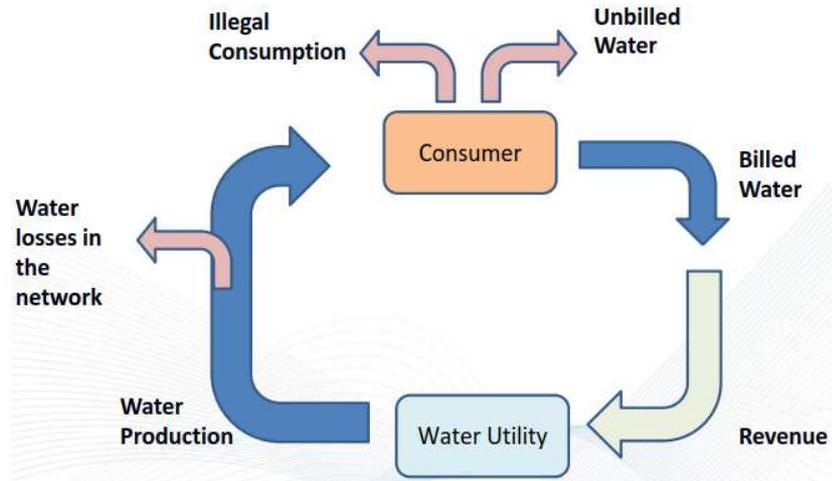
圖 5 降低損失水量介入方法



(二)、**水量平衡的計算** (講師：Andreas Kamphues)

1. 水量平衡的基本觀念：從自來水事業生產出自來水送往用戶端，在供水管網運送過程中有損失水量，在用戶端有非法用水及未計費水量，而有計費水量才是自來水事業實際水費收入。

圖 6 水量平衡的基本觀念示意圖



2. 國際水協(International Water Association, IWA)水量平衡模型[1]

表 3 IWA 水量平衡模型

System Input Volume 系統進水量	Authorized Consumption 合法用水量	Billed Authorized Consumption 計費合法用水量	Billed Metered Consumption 計費計量用水量	Revenue Water 收益水量	
			Billed Unmetered Consumption 計費無計量用水量		
		Unbilled Authorized Consumption 無計費合法用水量	Unbilled Metered Consumption 無計費計量用水量		
			Unbilled Unmetered Consumption 無計費無計量用水量		
	Water Losses 損失水量	Apparent Losses 帳面損失水量		Unauthorized Consumption 非法用水量	Non-Revenue Water(NRW) 無收益水量
				Metering Inaccuracies and Data Handling Errors 水表不準確度與資料處理誤差	
		Real Losses 實際損失水量		Leakage on Transmission and/or Distribution Mains 送(導)水幹管及(或)配水幹管之漏水量	
				Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks 配水池之漏水量及溢流量	
		Leakage on Service Connections up to Point of Customer Metering 接管點至用戶水表間之漏水量			

3. 水量平衡計算步驟

(1) 步驟 1：系統輸入水量(Q_i)

- 淨水場和加壓站總水表

- 總水表定期抄表和維護
- 流量資料蒐集

如果無設置總水表或故障，必須進行抽樣量測和抽水機運作時間的水量估計。

- (2) 步驟 2(Q_{BA})：計算計費合法用水量，包括計費計量用水量、計費無計量用水量及支援其他系統計量用水量。
- (3) 步驟 3(Q_{UA})：計算無計費合法用水量，包括無計費計量用水量及無計費無計量用水量。
- (4) 步驟 4(Q_A)：計算合法用水量，即加總步驟 2 和步驟 3 的結果。

步驟 2~4 應注意事項如下：

- 更新用戶用水資料至最新，以確保季入抄表水量
 - 用戶資料和系統邊界一致
 - 用戶表定期維護和抄表
 - 水表管理概念
 - 通過樣品測量來確定所定義的速率體積是否正確
 - 確認合法未計費用戶的資訊
- (5) 步驟 5：計算損失水量(Q_L)= $Q_I - Q_A$ ， $NRW = Q_I - Q_{BA}$
 - (6) 步驟 6、7：由估計的帳面損失水量 Q_{AL} 計算實際損失水量 $Q_{RL} = Q_I - Q_A - Q_{AL}$ ；或由估計的實際損失水量 Q_{RL} 計算帳面損失水量 $Q_{AL} = Q_I - Q_A - Q_{RL}$ 。

圖 7 水量平衡計算步驟圖



(三)、**漢堡水務公司監控中心參訪** (講師：Andreas Kamphues)

由監控中心人員介紹漢堡地區供水調配及作業方式，經由傳訊回監控中心相關數值，監控各區流量及壓力並合理調配水量。

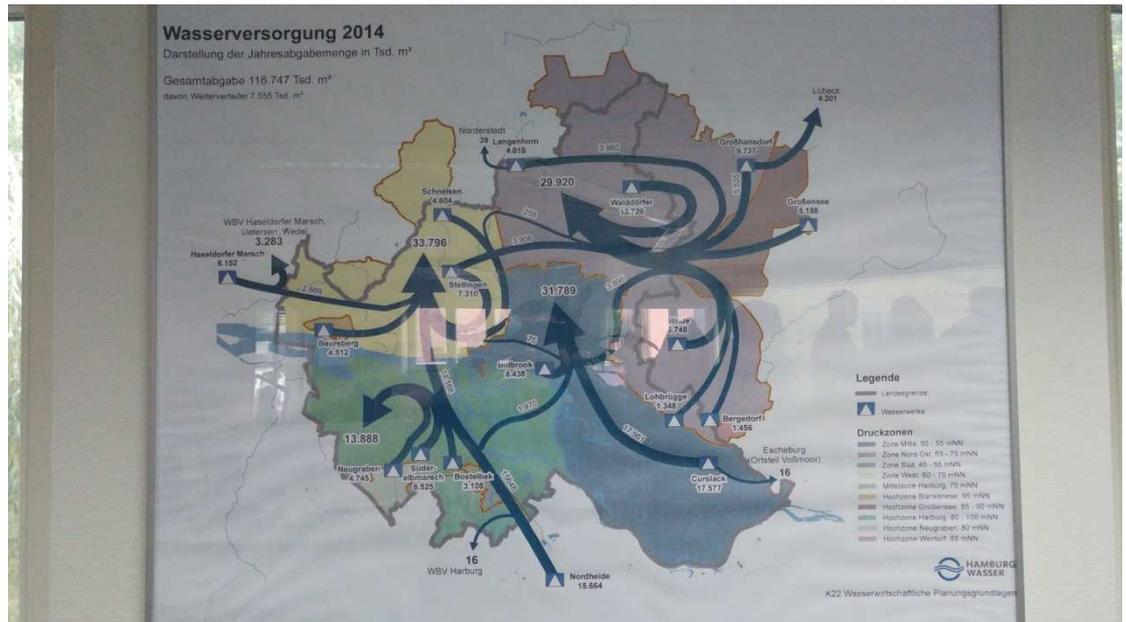
圖 8 介紹監控中心業務



圖 9 供水調配作業說明



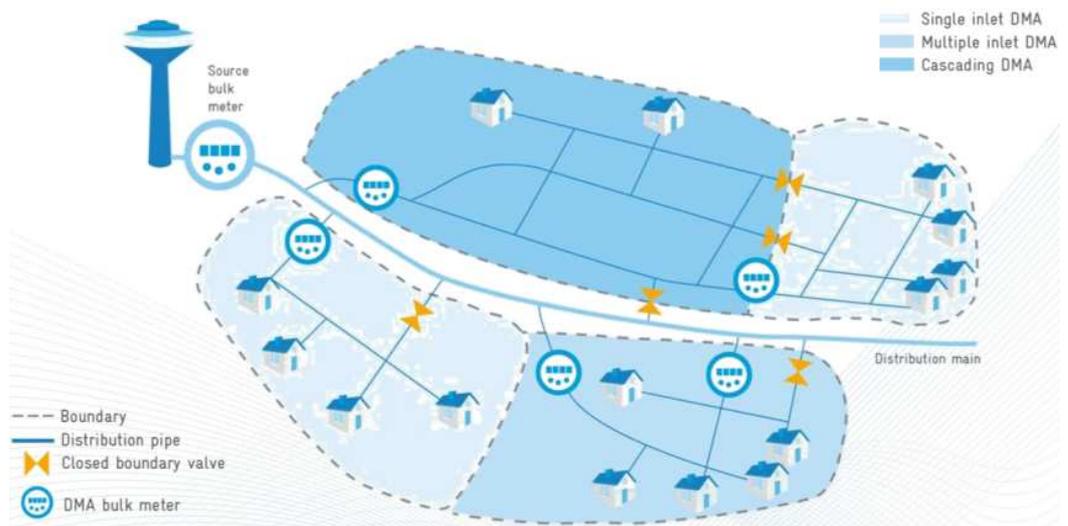
圖 10 漢堡地區 2014 年各區供水流量與壓力圖



(四)、分區計量 (District Metered Areas (DMAs) (講師：Andreas Kamphues)

- DMAs 定義：供水管網中切割分離的小區，其流進和流出該小區的水量連續被量測。
- DMAs 目的
 - 監視漏水程度
 - 區域有限 NRW 估算
 - 有問題小區進場優先順序
 為漏水管理/壓力管理所不可或缺。
- DMAs 的種類：單一進水點、多進水點及串聯小區。

圖 11 分區計量(DMAs)的種類示意圖



4. DMAs 的設計原則

- 從供水管網主幹管分離
- 最好是單一進水點
- 大小約 500~3,000 用戶連接點或 4~30km 管線長度
- 區內高程變化最小
- 容易識別及邊界確定
- 最小化潛在的停滯區

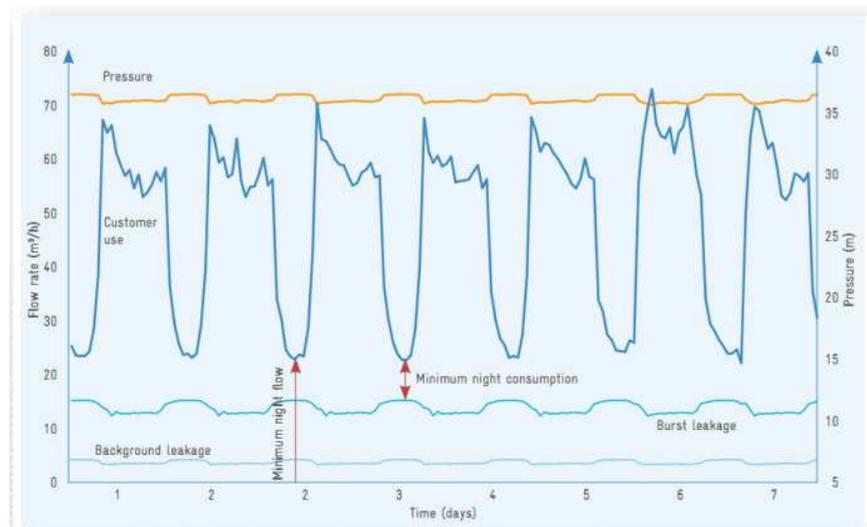
5. DMAs 的執行

- 根據 DMA 的設計，如果需要，關閉邊界的制水閥及設置新的制水閥。
- 測試邊界閥的密閉性
- 選擇和安裝適當的流量計
- 區內零壓力試驗
- 流量計的驗證
- 驗證既有壓力或是否有供水不足的狀況

6. DMAs 的操作與維護

- 決定漏水的水準
- 檢漏後的修漏和未檢測到的漏水
- 執行例行操作
- 確認壓力管理能力
- 在每一個小區紀錄並更新關鍵資訊
- 定期檢查所有邊界制水閥
- 製作基於操作理由的打開邊界制水閥和洗管紀錄文件
- 流量計維護
- 用戶抱怨的注意處理

圖 12 流率、壓力和漏水組成間的關係圖



第二天：進階漏水檢視—方法及設備

(一)、降低漏水方法及設備 (講師：Eva-Lena Vernickel)

1. 降低漏水的介入策略與漏水量關係

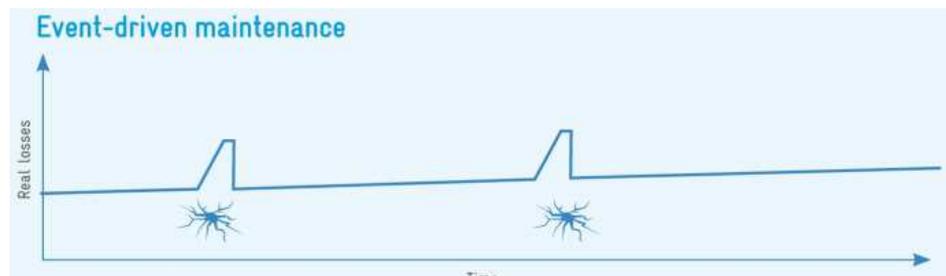
(1) 無維修

圖 13 無維修策略與漏水量關係



(2) 發生漏水事件進行維修

圖 14 發生漏水事件進行維修策略與漏水量關係



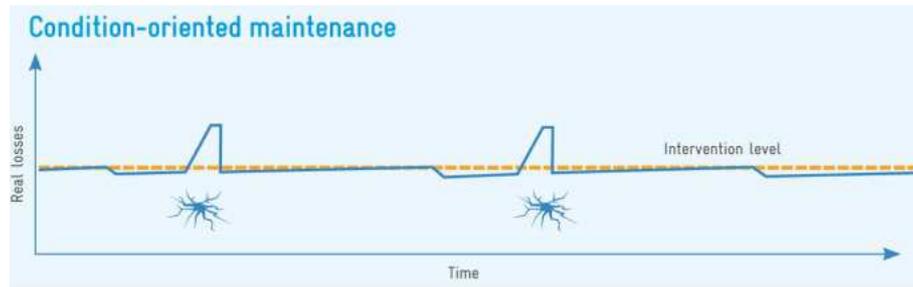
(3) 定期導向(Interval-oriented)進行維修

圖 15 定期導向進行維修策略與漏水量關係



(4) 狀況導向(Condition-oriented)進行維修

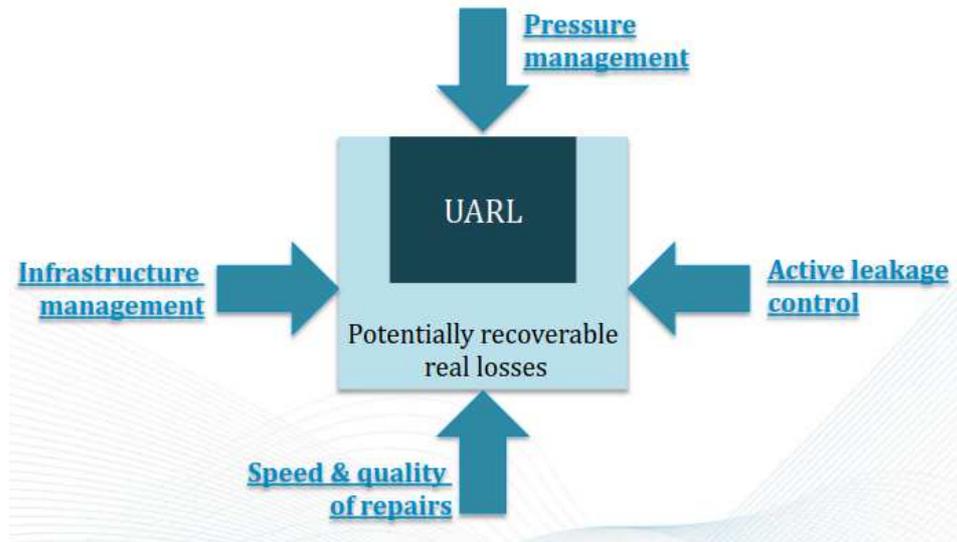
圖 16 狀況導向進行維修策略與漏水量關係



2. 降低漏水的介入方法

漏水量含有不可避免的實際損失水量(Unavoidable Annual Real Losses, UARL)和潛在復原的實際損失水量。方法包括有壓力管理、主動漏水控制、快速及具品質的修理、設施管理四個面向。

圖 17 降低漏水的介入方法



3. 快速及具品質的修理

(1) 漏水修理

- 由訓練良好且使用適當的修理方法快速修妥
- 執行順序考量漏水大小及供水安全
- 有效率的組織所有參與的單位(客服中心、監控中心、物料單位、修漏人員)
- 良好的文件記錄建檔

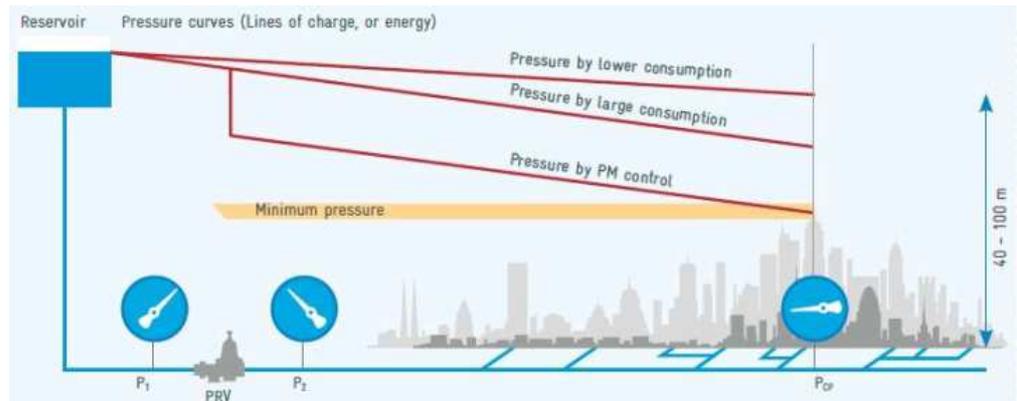
(2) 修漏人員

- 良好的訓練及動機驅使
- 配備有適當的設備、車輛和安全防護器具
- 所需修漏組數應該適當考量破管數

(3) 材料和備用零件

- 運送材料及零件時間應最小化
 - 經常損壞零件材料應有適當存量
- (4) 修理績效目標
- 訂定各種漏水(幹管、用戶外線)及有問題的閥栓允許的修理時間
4. 壓力管理：調整和控制供水系統的水壓到最適的水準。

圖 18 壓力曲線與用水量與控制的關係圖



降低壓力可以消除系統的過量壓力

- 降低 NRW
 - 降低破管頻率
 - 明顯的延長管線壽命(降低因壓力釋放所造成材料損壞)
 - 較少的投資循環可促成自來水事業的永續投資策略
5. 主動漏水控制
- 能讓隱性漏水被主動檢出並修理
 - 減少新漏水的意識時間
 - 降低存在未報修漏水的持續時間

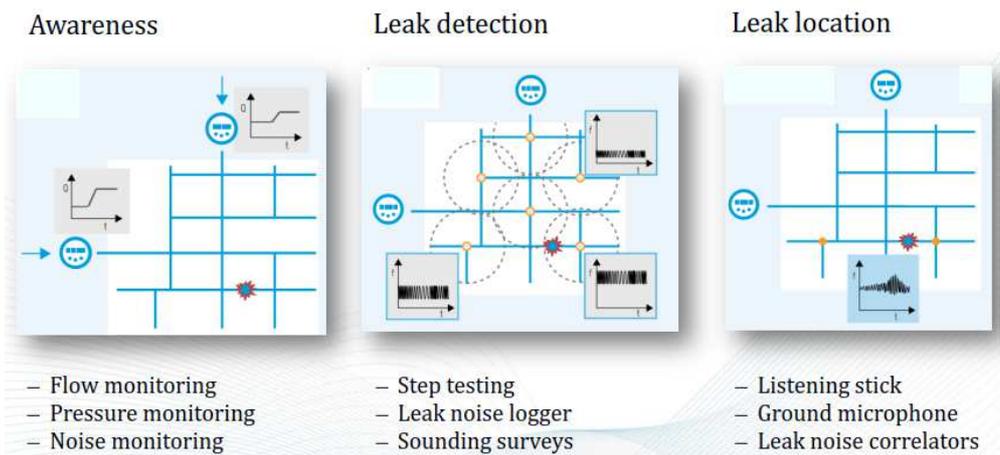
圖 19 每年巡檢次數與平均意識到漏水天數關係圖



各階段進行方式及採用設備

- (1) 意識漏水
 - 流量監測
 - 壓力監測
 - 噪音監測
- (2) 檢漏
 - 逐步測試(Step testing)
 - 噪音紀錄器
 - 漏水音調查
- (3) 漏水定位
 - 聽音棒
 - 測漏器
 - 相關儀

圖 20 主動漏水控制各階段進行方式及採用設備



6. 設施管理

1. 好的設施管理所需資訊
 - 各設備組成的使用時間、尺寸和位置
 - 建置材料
 - 建置日期
 - 資產狀況
 - 操作、維護和修理歷史紀錄
 - 資產的預期及剩餘使用年限
 - 操作壓力
 - 資產價值(折舊和重置成本)
2. 下列資料的分析可以被執行
 - (1) 使用年限分析：從管線埋設至汰換
 - (2) 損壞風險

- 外在風險(非自來水事業所能控制的損壞)
- 操作風險(正常操作狀況下損壞)
- 供水風險(短缺)

(3) 生命週期成本分析：確定每公里的實際成本。

(二)、**漏水偵測** (講師：Michael Kersting)

1. 漏水量知多少？

以孔洞直徑 6mm 水壓 5bar 下，每分鐘漏 0.02 立方公尺，每小時漏 1.34 立方公尺，每天漏 32.2 立方公尺，每月漏 966 立方公尺，每年漏 11,592 立方公尺。每天的漏水量可供應約 200 人的用水(每人每日用水量 160 公升)。

圖 21 在 5bar 水壓下漏水孔洞大小與漏水量關係

diameter mm	litre per		cubikmeter per		
	minute	hour	day	month	year
0,50	0,33	20,00	0,48	14,40	173,00
1,00	0,97	58,00	1,39	41,60	504,00
1,50	1,82	110,00	2,64	79,00	948,00
2,00	3,16	190,00	4,56	137,00	1.644,00
2,50	5,09	305,00	7,30	219,00	2.628,00
3,00	8,15	490,00	11,75	351,00	4.212,00
3,50	11,30	680,00	16,30	489,00	5.868,00
4,00	14,80	890,00	21,40	642,00	7.704,00
4,50	18,20	1.100,00	26,40	792,00	9.504,00
5,00	22,30	1.340,00	32,20	966,00	11.592,00
5,50	26,00	1.560,00	37,40	1.122,00	13.464,00
6,00	30,00	1.800,00	43,20	1.296,00	15.552,00
6,50	34,00	2.040,00	49,10	1.470,00	17.640,00
7,00	39,30	2.360,00	56,60	1.698,00	20.376,00

2. 檢漏的種類

- (1) 可能漏水區段(pre-locating)：採用聽音棒、相關儀附於管線附屬設備。
- (2) 定位(pinpointing)：採用測漏器、相關儀於可能漏水區段定位。

圖 22 檢漏種類示意圖

可能漏水區段

定位



圖 23 聽音棒檢測可能漏水區段

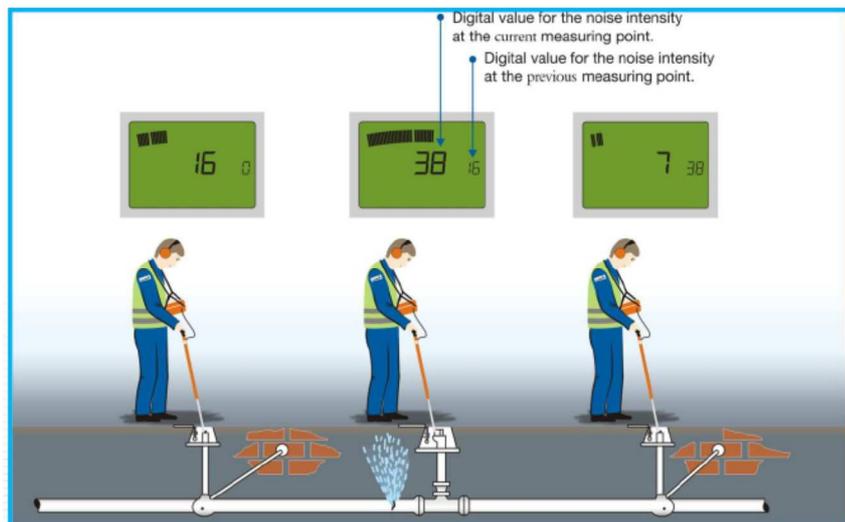


圖 24 噪音紀錄器檢測可能漏水區段

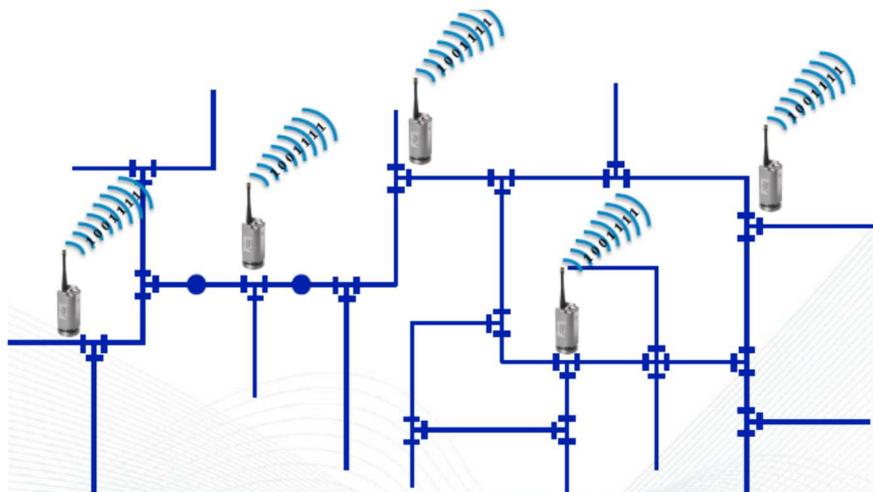


圖 25 測漏器定位漏水位置

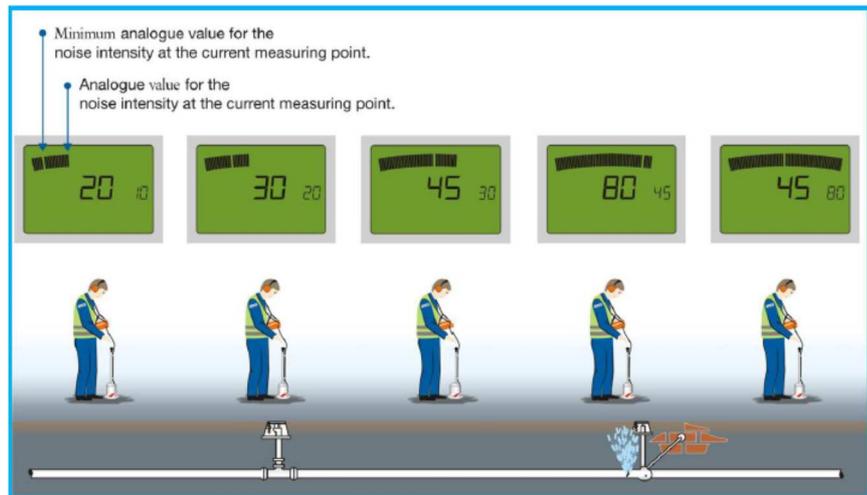
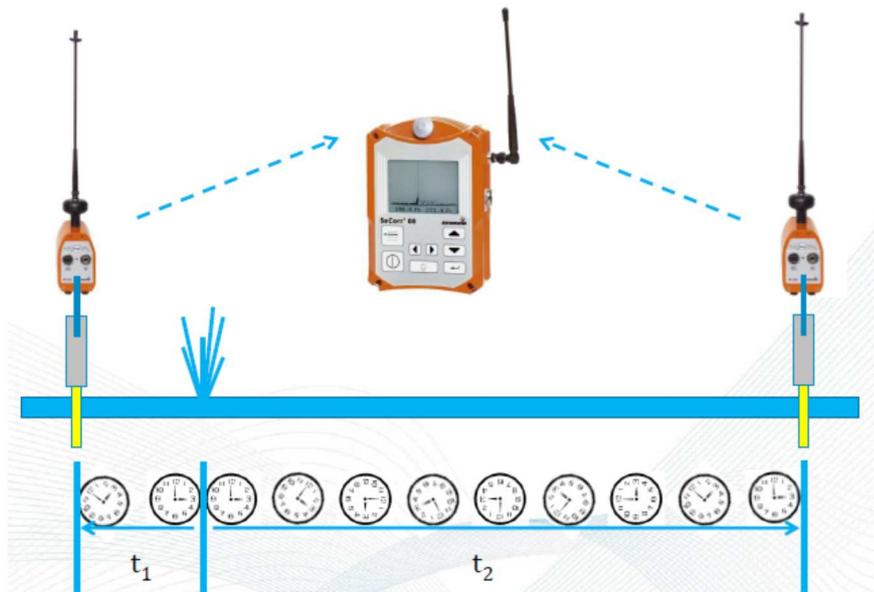
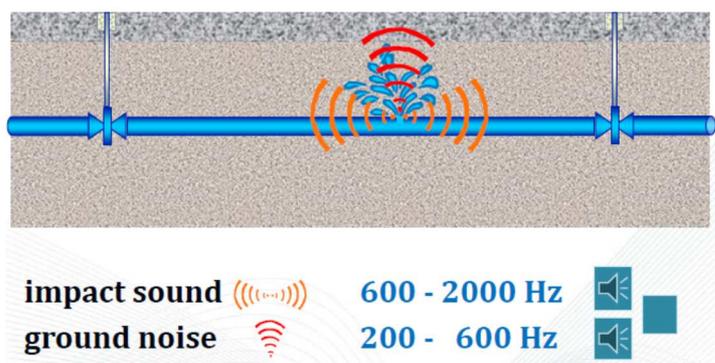


圖 26 相關儀定位漏水位置



3. 檢漏的基礎—漏水聲是關鍵

圖 27 漏水所造成聲音來源及頻率範圍



4. 查緝非法用水(Illegal water connections)—停止器(Stopper)、敲擊器(Knocker)

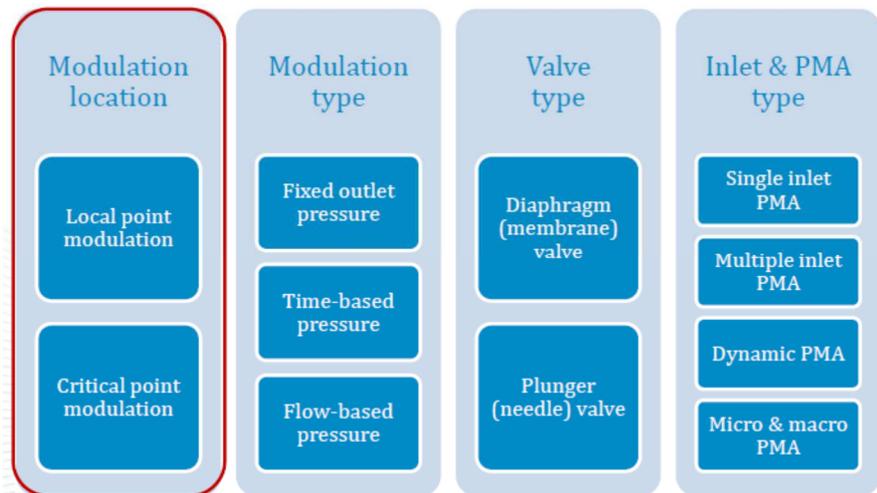
圖 28 查緝非法用水工具



(三)、**壓力管理** (講師：Balint Lajta)

1. 壓力管理的組成及概念

圖 29 壓力管理的組成



- (1) 位置的調整
 - A. 局部點的調整
在壓力管理區的進水端設置調壓閥，調整壓力，使閥後 P2 點的壓力值為固定值或預先設定值。
 - B. 關鍵點的調整
在壓力的關鍵點(PCP)必須持續監測，調壓閥持續調整 P2 壓力值，讓 PCP 儘量接近所期望的壓力值。

圖 30 壓力管理區位置的調整

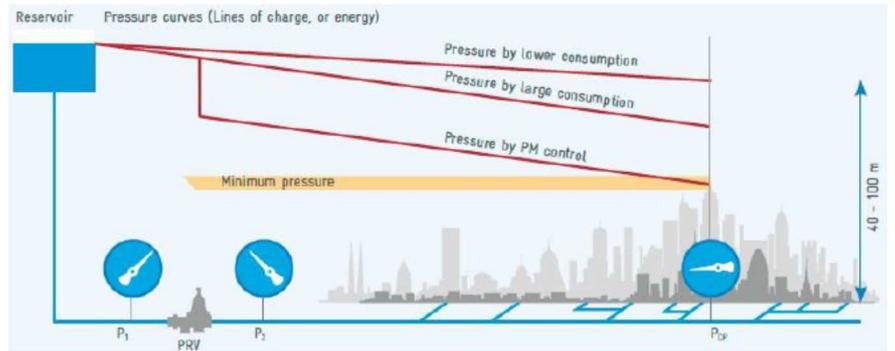
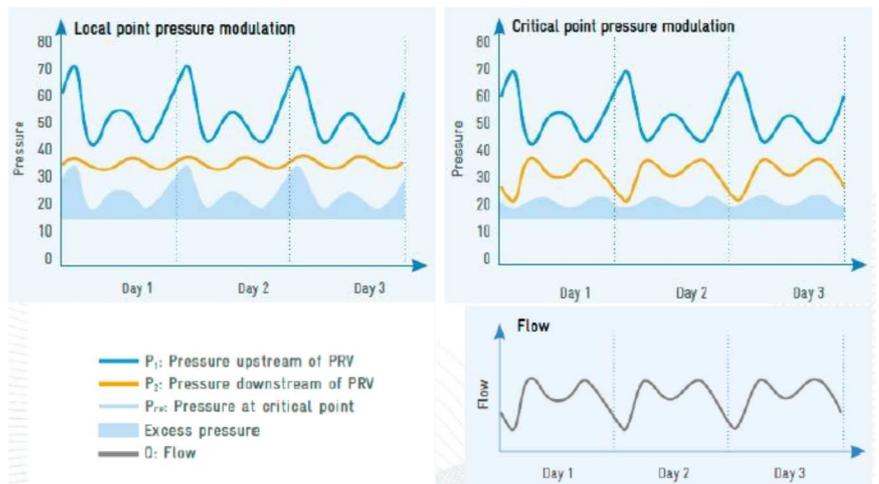


圖 31 局部點和關鍵點的調整



(2) 型式的調整

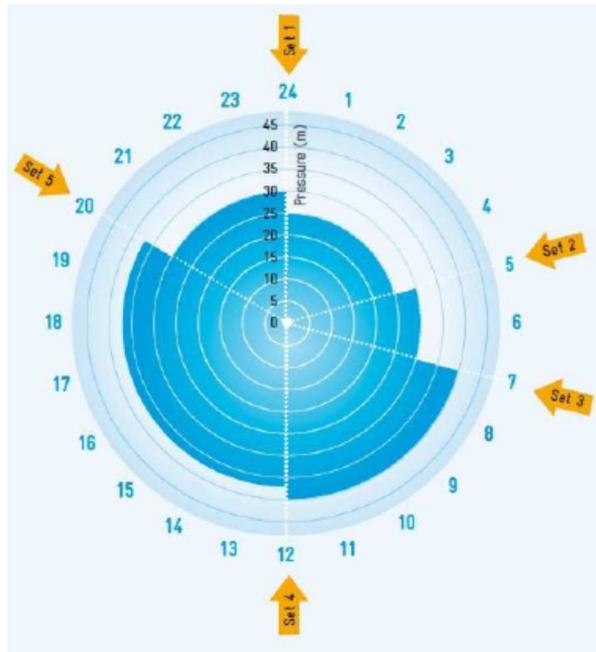
A. 固定壓力值

- 調壓閥設定下游的 P2 壓力值到期望值
- 調壓閥持續啟動並維持這個壓力
- P2 必須設定在最小的服務水準仍能保證關鍵點最大的需求。

B. 基於時間調整的壓力

允許在白天有較高的下游壓力 P2，在晚上用水量降低時有較低的壓力。

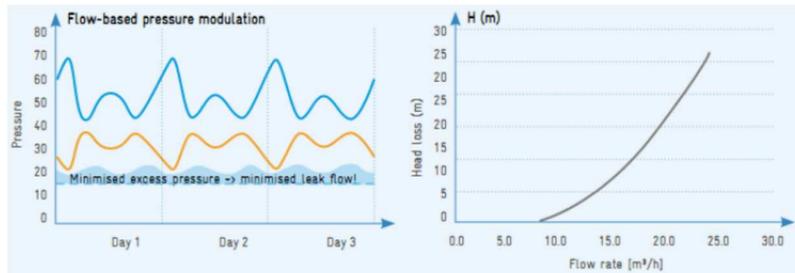
圖 32 基於時間調整的壓力管理



C. 基於流量調整的壓力

在壓力管理區進水端需要設置流量計，調壓閥藉由比較量測的流量和和特定的流量/水頭損失的關係調整控制。

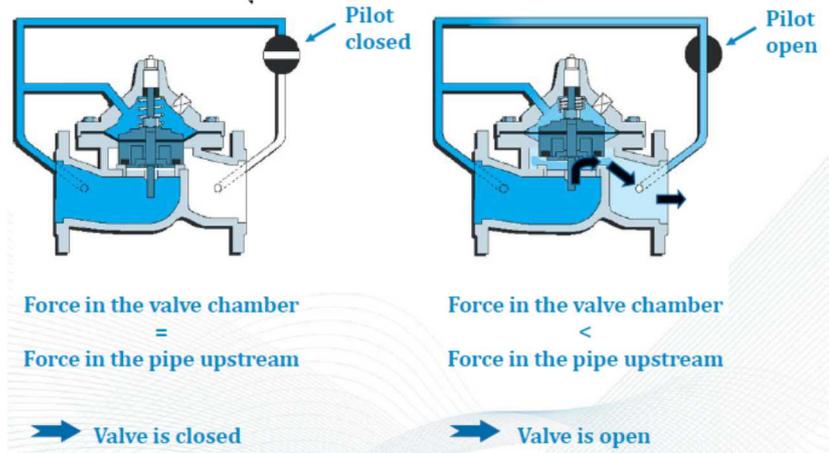
圖 33 基於流量調整的壓力管理



(3) 閥類的型態

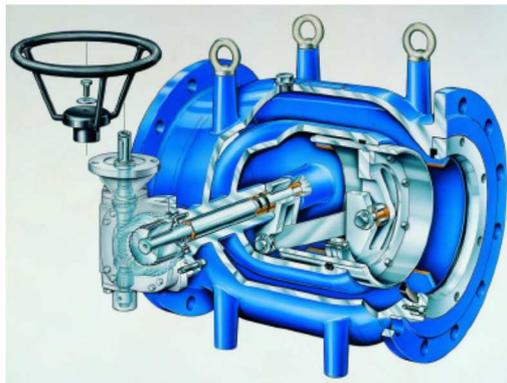
A. 隔膜閥(Diaphragm valves)

圖 34 隔膜閥運作圖示



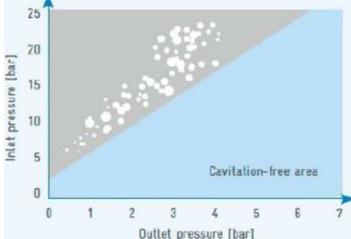
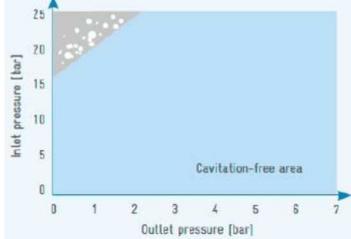
B. 柱塞閥(Plunger valves)

圖 35 柱塞閥內部構造圖示



C. 隔膜閥與柱塞閥比較、適用壓力管理區與氣蝕現象

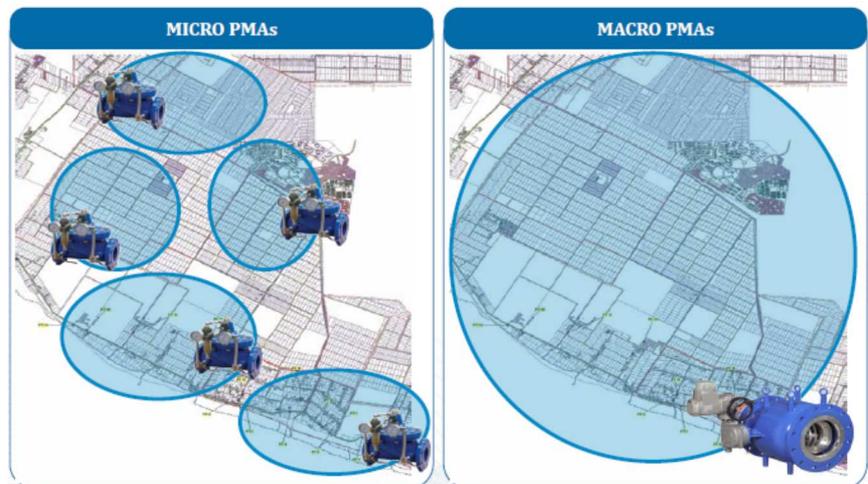
表 4 隔膜閥與柱塞閥比較

隔膜閥	柱塞閥
<p style="text-align: center;">MICRO PMAs</p> 	<p style="text-align: center;">MACRO PMAs</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • 自啟動 • 適用於管線小於 DN300 • 不須電力供應 	<ul style="list-style-type: none"> • 精確控制特性 • 無須維修 • 無氣蝕現象 • 適用於管線大於等於 DN300
<p style="text-align: center;">Diaphragm valve</p> 	<p style="text-align: center;">Flunger valve</p> 

(4) 進水端型態

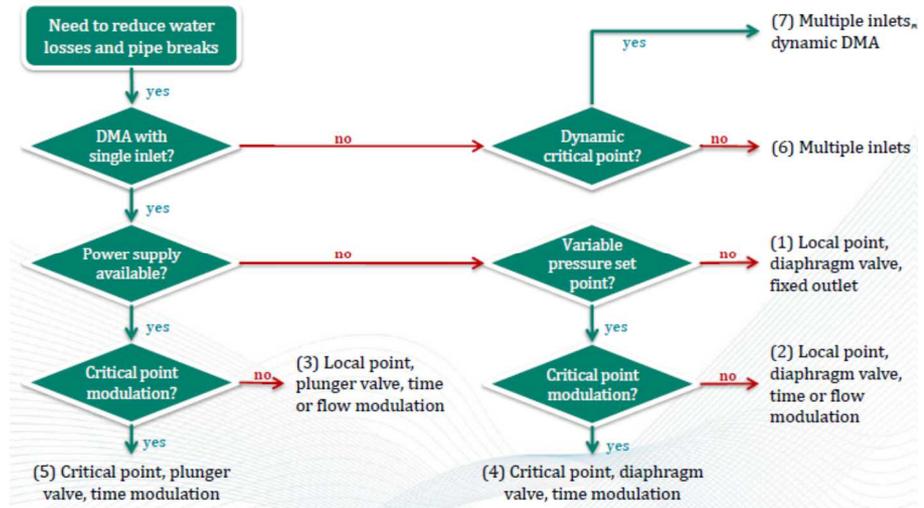
- A. 單一進水點壓力管理區
- B. 多重進水點壓力管理區
- C. 動態壓力管理區
- D. 微觀(Micro)和巨觀(Macro)的壓力管理區

圖 36 微觀和巨觀的壓力管理區



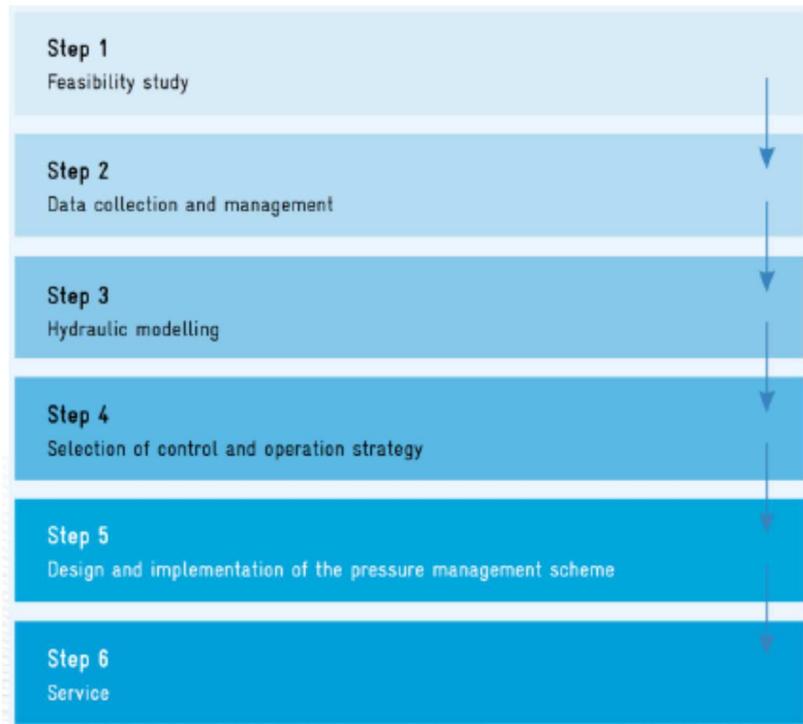
2. 規劃和設計
(1) 流程圖

圖 37 壓力管理區規劃與設計



(2) 執行步驟

圖 38 壓力管理區執行步驟



二、 第三天：設施管理

(一)、 漏水修理的組織和文件 (講師：Eva-Lena Vernickel)

圖 39 漏水修理循環



1. 用戶抱怨來電
 - 用戶來電
 - 報告被記錄
 - 問題：哪裡、多少水量、甚麼形式的損壞、在甚麼時候、用戶的名字及電話
 - 報告傳送至修漏部門
2. 資訊蒐集
 - 通報地點是甚麼管線
 - 材料
 - 口徑
 - 道路及鋪面型式材料
 - 主要幹管或配水管
 - 不同的壓力區間

從公司計畫/圖資/資訊系統所蒐集資訊

- 精確位置
 - 停止供水的制水閥在哪裡
 - 那裏有其他甚麼設備
 - 在該位置不同時間供水壓力多少
 - 民眾緊急供水的需要性
3. 派工(工作組織)
 - (1) 組成
 - 組成一隊

- 就已了解的資訊向隊員說明
 - 地點、環境、用戶的抱怨
 - (2) 攜帶需要的材料
 - 管材
 - 修理器具
 - 準備開工所需設備
 - 接頭和附屬設備
 - 施工區設施
 - (3) 安排所需的材料
 - 使用過材料的文件紀錄
 - 新材料的訂購
 - 維持庫存
 - 追蹤庫房存量
4. 管網修理
- (1) 在現場
 - 交通圍籬
 - 尋找漏水點
 - 關閉制水閥停水
 - (2) 工區安全設置
 - 民眾及自身交通安全設施
 - 適當的工地設備
 - 決定進行何種修繕
 - 使用必需的材料和工具
 - (3) 具品質的修漏
 - 監造督導控制品質
 - 組成良好的修理團隊
 - 針對不同的管線漏水進行適當的修理
 - 兼顧好品質及永續長時間的修理
 - (4) 品質控管
 - 管線緊密度及排水檢查
 - 封閉施工區域
 - 施工後復原
 - 開放交通
5. 文件記錄

(二)、**水表管理** (講師：Andreas Kamphues)

1. 施工現場量測
 - 精確位置(對街道、建築物及樹木相對位置；如果需要用石塊建立新的地標)
 - 管徑
 - 管材
 - 漏水種類
 - 進行何種施工

- 使用工作表
 - 現場繪製簡圖
 - 紀錄隊員姓名
2. 新增新資訊到系統(GIS)
- 從工作表的資訊
 - 估計漏失水量
 - 計算漏水成本及修漏成本
 - 計算修漏時間

(三)、漢堡水務公司中區(Central District, Hamburg Wasser)供水操作和維修單位參訪 (講師：Andreas Kamphues)

1. 簡報

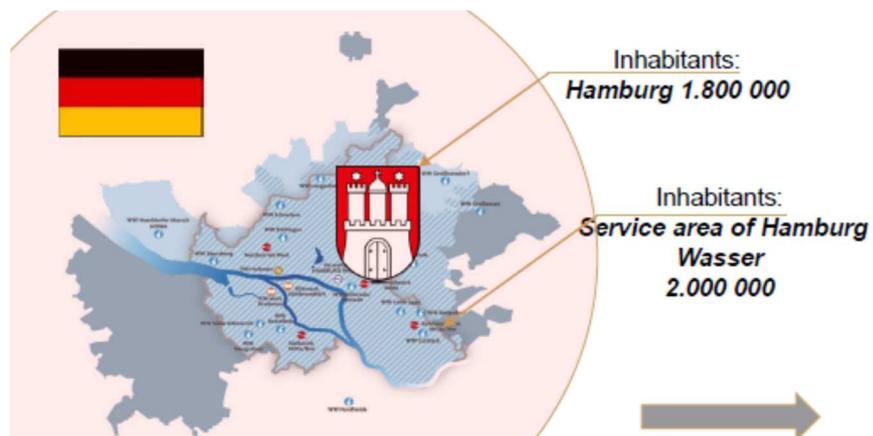
圖 40 漢堡水務公司中區業務簡報



(1) 漢堡供水概況

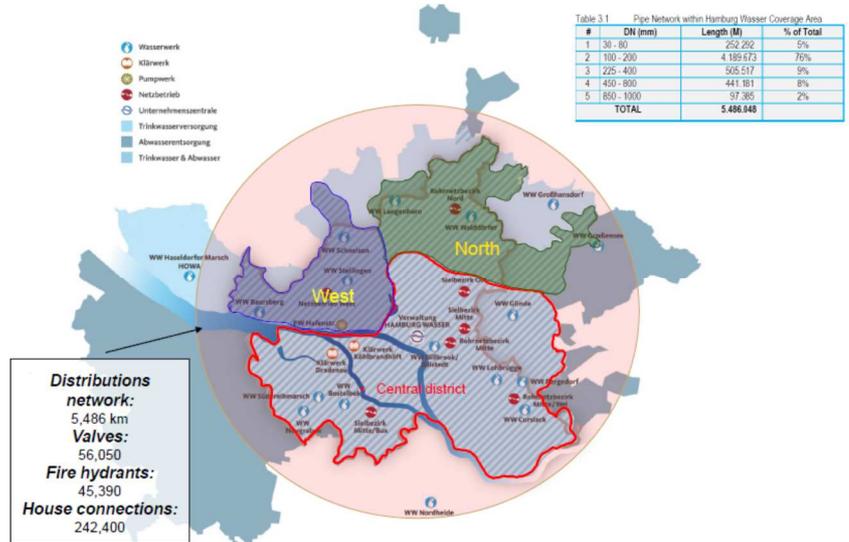
A. 漢堡人口數為 180 萬人，漢堡水務公司供水區域比漢堡大，供水人口為 200 萬人。

圖 41 漢堡水務公司供水區域與供水人口數



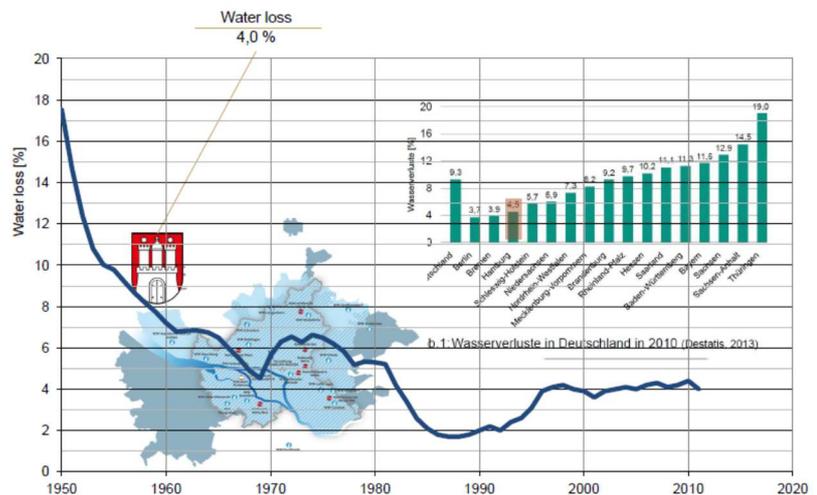
B. 供水區域劃分：劃分為三個區域—中區、西區及北區，供水管網 5,486 公里(80mm 以下 5%、100-200mm76%、225-400mm9%、450-800mm8%、850-1000mm2%)，制水閥 56,050 只，消防栓 45,390 只，用戶連接數 242,400。

圖 42 漢堡供水區域劃分暨管網概況



C. 漏水率：1950 年漏水率為 17%，經過各項努力至 1960 年降至 7%，減少 10%，至約 1985 年甚至降至 2% 以下，後因考量人力及成本因素，漏水率緩慢回升，目前(2013) 為 4%。

圖 43 漢堡漏水率變化圖(1950-2013 年)



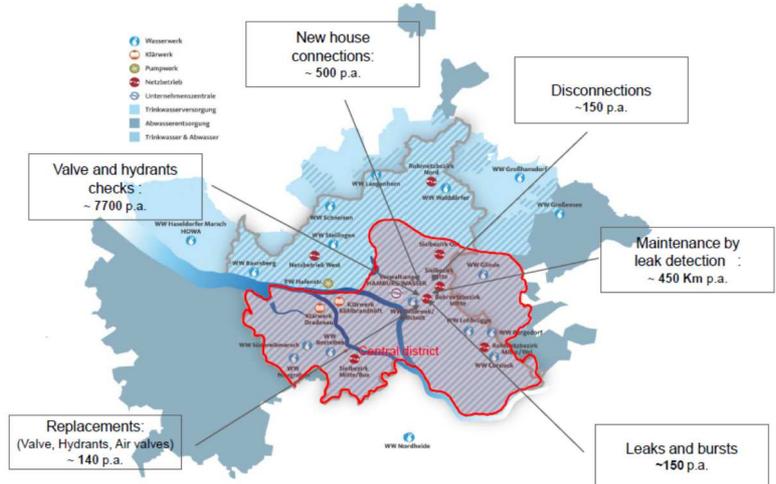
D. 漢堡中心區供水概況

- 人口數 70 萬人
- 供水管網 2,300 公里
- 制水閥 24,000 只
- 消防栓 20,000 只
- 用戶連接數 94,000

E. 漢堡中心區操作維修概況(平均每年)

- 新裝 500 戶
- 停止用水 150 戶
- 閥栓檢查 7,700 只
- 汰換閥栓 140 只(制水閥、消防栓、排氣閥)
- 檢漏 450 公里
- 漏水或爆管 150 件

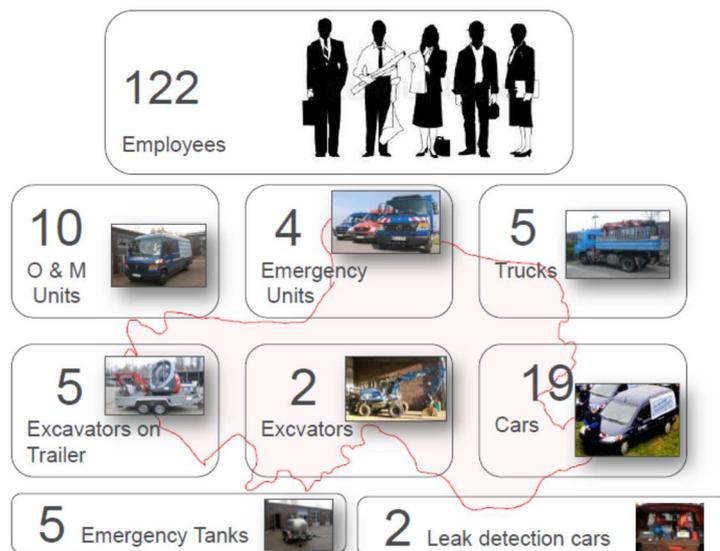
圖 44 漢堡中心區操作維修概況圖



F. 漢堡中心區人員及設備概況

員工 122 人、操作及維修車輛 10 部、緊急救援車輛 4 部、檢漏車輛 2 部等。

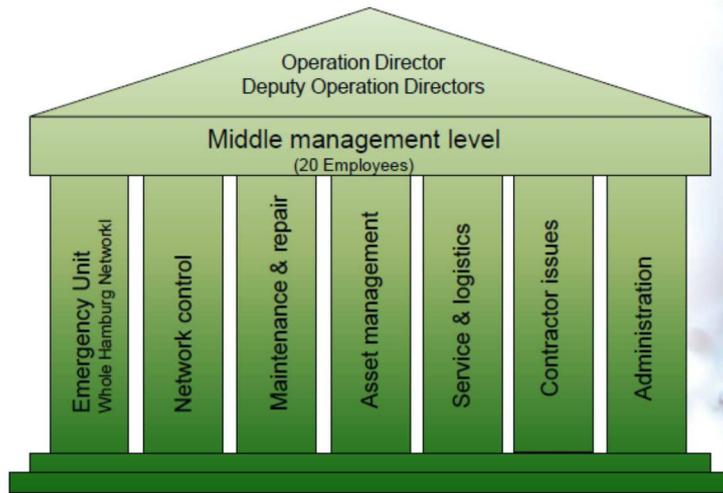
圖 45 漢堡中心區人員及設備概況



G. 漢堡中心區組織概況

共分為緊急、管網控制、維護修理、資產管理、服務及儲運、契約商管理暨行政七個單位。

圖 46 漢堡中心區組織概況圖



(2) 實地參訪過程照片

圖 47 水表修理場



圖 48 消防栓水量計及用戶水表



圖 49 水表測試場



圖 50 GIS 圖資暨管線圖範例

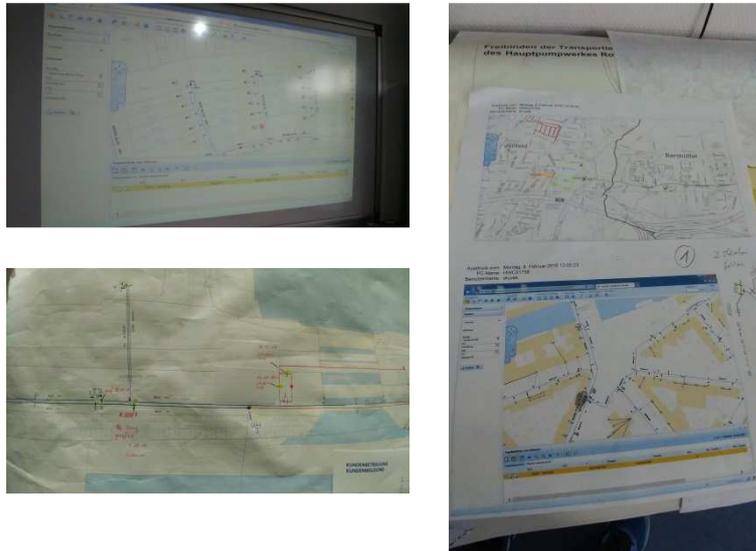


圖 51 維修專用車及配備



圖 52 檢漏專用車及配備



圖 53 搶修物料倉庫

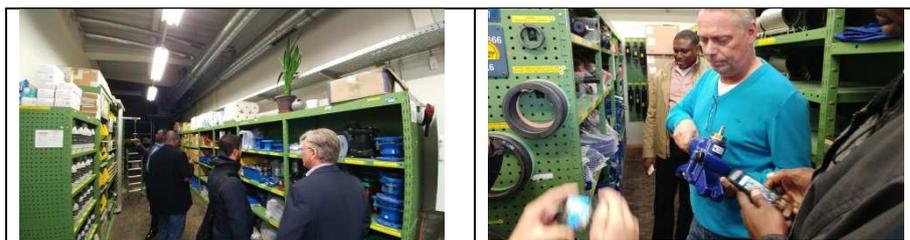


圖 54 路面夯實機介紹



圖 55 交維設施



三、 第四天：自來水事業整合觀點及行動計劃

(一)、 資產管理—從漢堡水務公司的經驗 (講師：Eva-Lena Vernickel)

1. 甚麼是資產管理

包含有蒐集資訊、儲存資訊、評估資訊、排定優先順序、優先執行的方法、當執行時所取得新的資訊…等循環的過程。

圖 56 資產管理的內容及循環



2. 資產管理的優點

- 將投資計畫和維修預算最佳化
- 經由規劃良好的方案證明捐贈基金妥善運用
- 允許透明和快速的過程
- 最佳策略發展和完整的控制程序
- 提升員工的動機

3. 資產管理的基礎

- (1) 地理參照描述每一個管網的元件
- (2) 地理參照協助資產管理的執行(所有的管網元件)
 - 閘、管線等建置並更新於中心系統(GIS, EPANET…)
 - 所有資訊必須儲存於此系統—包含管線型態和技術資訊
 - 在管網上的任何改變，必須將文件資料儲存於此系統
 - 使用此系統資訊作為資產管理
 - 建議整合相關系統(GIS、資產管理系統等)

4. 資產管理需要更進一步的資訊
設備的詳細敘述包括下述
 - 型態
 - 材質
 - 使用年數
 - 上次維修/控制日期
 - 下次或計畫維修/控制日期
 - 上次報告/修理文件
 - ……等
5. 哪裡去取得資訊
 - 檢查
 - 修理方法
 - 汰換
 - 新建
 - ……等
6. 使用資產管理工具—整合管理和控制完整地資產生命週期
開始著手主要項目：
 - 完整涵蓋所有導水管和配水管進到資訊系統
 - 文件化所有工作流程包含從工地到進入系統
 - 連結資訊系統與資產管理(技術面或組織面)
 - 完整涵蓋所有客戶進到系統

(二)、自來水事業操作、維修、組織和管理整合的方法 (講師：Eva-Lena Vernickel)

1. 水事業和複雜性—冰山理論
 - 詳述每天任務
 - 有那些隱藏要素影響工作

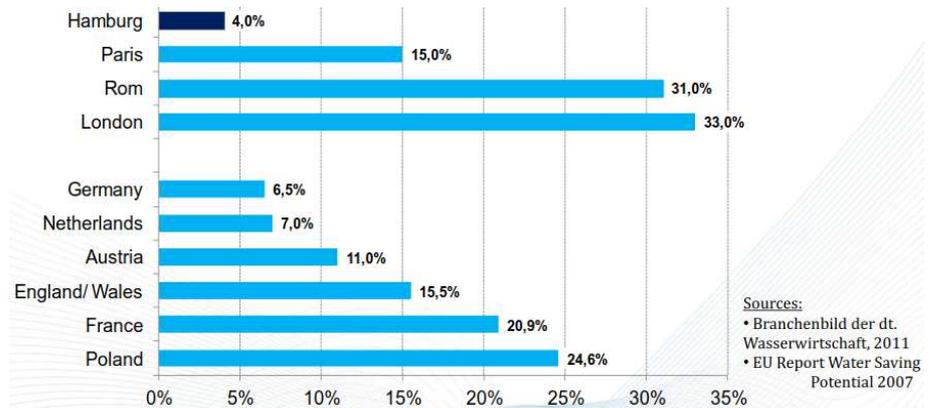
圖 57 水事業和複雜性



2. 國際優良範例

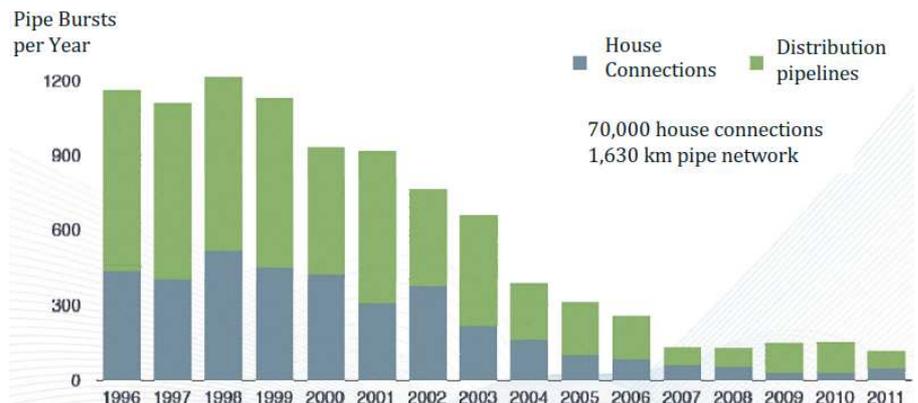
- 比較其他國家的漏水率

圖 58 歐洲國家漏水率



- 漢堡水事業中心區歷史年爆管數

圖 59 漢堡水事業中心區歷史年爆管數統計圖



- 管理事業複雜和一致的改變(歷年重要事蹟)

圖 水事業歷年重要事蹟範例

1892 Cholera leave 16.956 citizens sick and 8.605 dead

1893 First filtration plant – river Elbe water

1912 First WWTP

1964 Drinking water supplied from ground water

1986 Hamburg Construction Degree requiring...

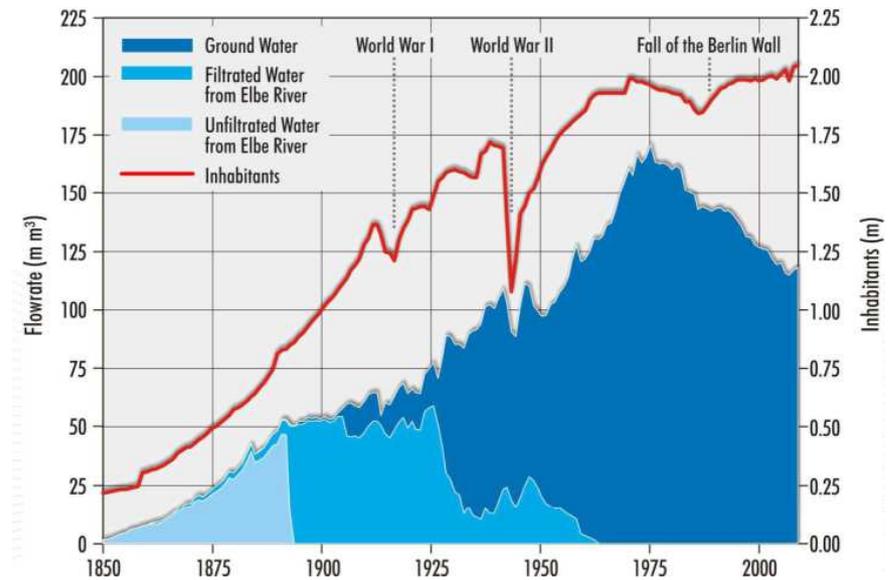
2004 ... separate metering in all households until 2004

2011 WWTP Köhlbrandhöft Energy Autarkic

2018 Energy Autarky on Enterprise Level

- 記得冰山理論—相互關係的瞭解

圖 60 漢堡歷年供水水源與水量圖



- 水事業為複雜的系統
水事業連結到完整的水循環，作業程序和商業程序都密切相關。

圖 61 水事業不僅是供水示意圖



3. 事業的整合方法
 - (1) 單一議題諮詢
 - 忽略水事業的複雜性
 - 導致報告最後只放在架子上
 - 昂貴的
 - (2) 事業的整合方法
 - 你必須操縱你的顧問
 - 建立在良好的瞭解—誰應該做甚麼
 - 採用國際良好的應用實績
 - 確認烈士並建立在優勢上

- 現在就開始執行
- 確認共識

(二) 行動計畫 (講師：Eva-Lena Vernickel)

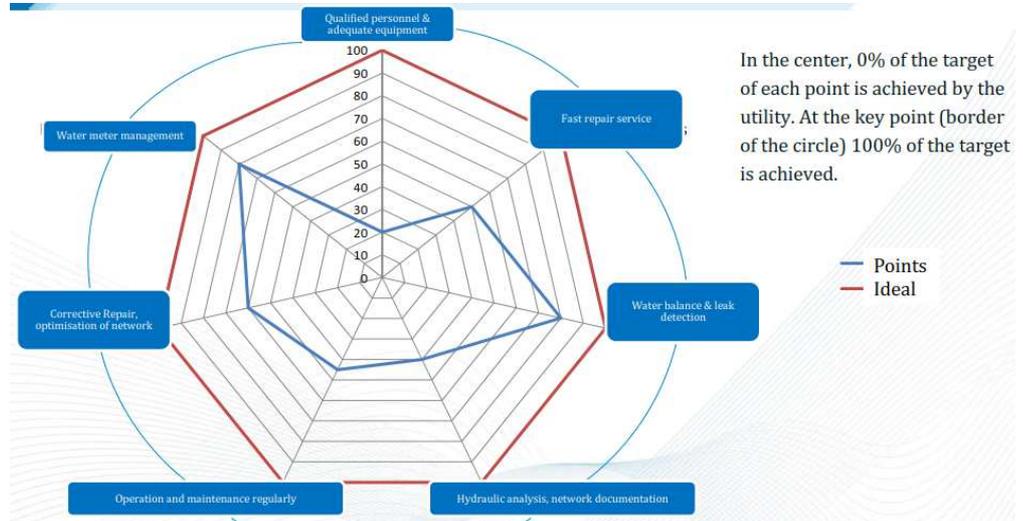
1. 降低漏水的整合方法
 - 合格的人力和適當的設備
 - 快速修理服務
 - 水平衡和漏水偵測
 - 水力分析和管網文件化
 - 定期操作和維修
 - 正確地修理和管網最佳化
 - 水表管理
 - 汰換
 - 社群部分對大眾的敏感性及意識

圖 62 漢堡水事業降低漏水的整合方法



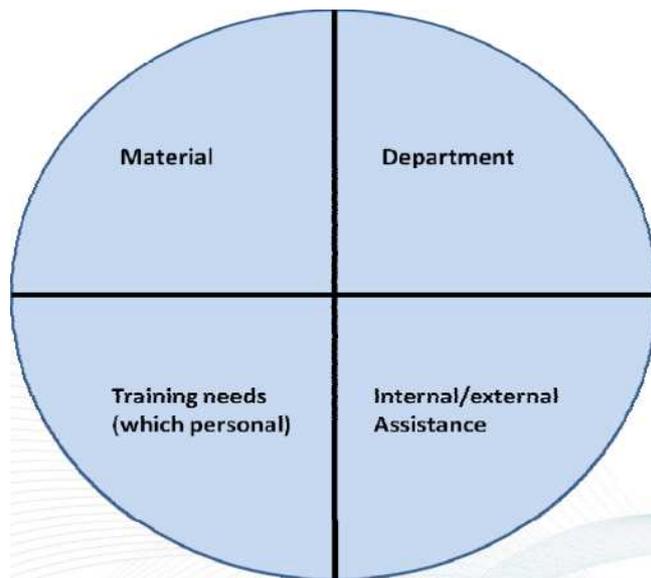
2. 公司目前達成目標狀況評估：依前面介紹方法標定目前達成目標的百分比。

圖 63 公司目前達成目標狀況評估圖



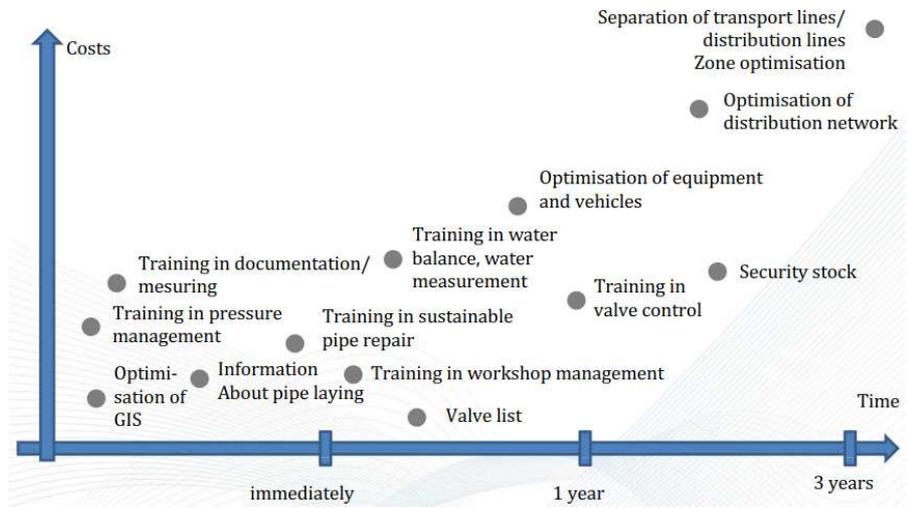
3. 改善弱點的分析工具
- 想看看在上述方法中已達成良好目標的項目
 - 使用這些正面的經驗去改善較差的項目
 - 使用分析工具向自己問出可能問題

圖 64 改善弱點的分析工具



4. 制定自己公司達成目標的路線圖

圖 65 制定公司達成目標路線示意圖



(三)、**實習結束授證** (Andreas Kamphues, and Eva-Lena Vernickel)
課程結束頒發實習證書。

圖 66 頒發實習證書



圖 67 實習證書



(四)、漢堡飲用水生產的沿革—自來水博物館參訪 (講師：Andreas Kamphues)

漢堡自來水博物館位在漢堡水務公司最古老的水塔前泵房，是歐洲第一個集中供水的地區，且為德國北方最大，最現代化的水與衛生展覽，共分為四個展區，包括 1.歷史供水；2.現代供水；3.取水條件；4.汙水運送及儲存。

1. 歷史供水：介紹在漢堡供水從中世紀到近代的歷史

圖 68 博物館導覽人員解說漢堡的供水歷史



圖 69 博物館內收藏許多具有歷史意義的設備、照片及文件



2. 現代供水：展示在自來水廠如何從原水淨化處理成為飲用水

圖 70 管線及附屬設備埋設裝接示意圖



圖 71 用戶外線及內線裝接示意圖



圖 72 淨水廠模型(可操作展示)



3. 取水條件：提供漢堡地區地質條件和地下水開採重要性介紹

圖 73 地質探勘地層剖面圖

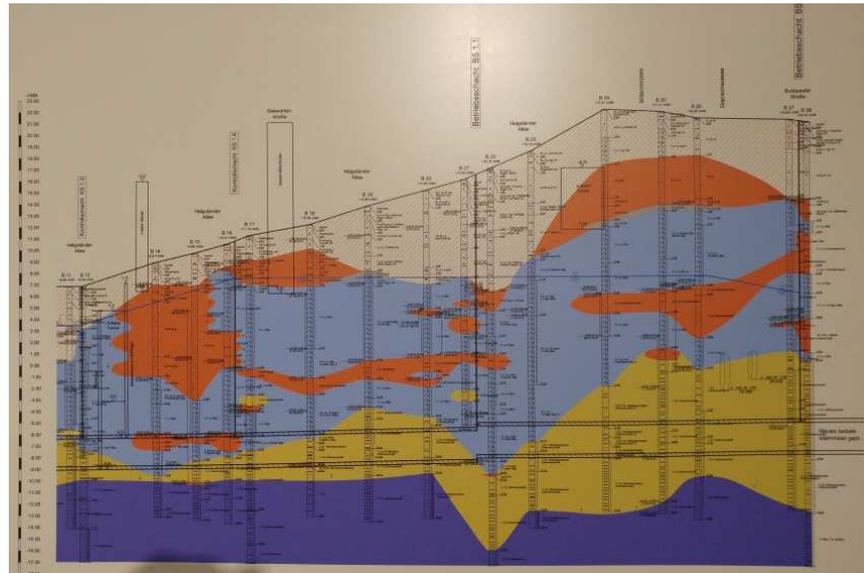


圖 74 原水取得(井開鑿、抽水機)模型示意圖



4. 汗水運送和儲存：說明從家庭到汗水處理廠廢水的路徑及儲存方式。

圖 75 漢堡水循環

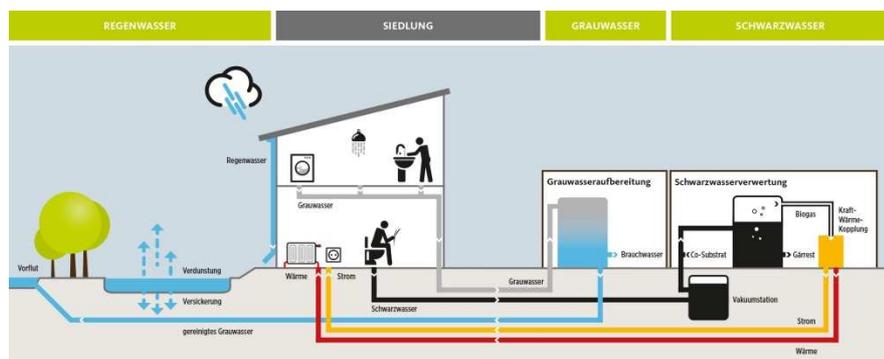


圖 76 廢水的分類(黑水、灰水、雨水)

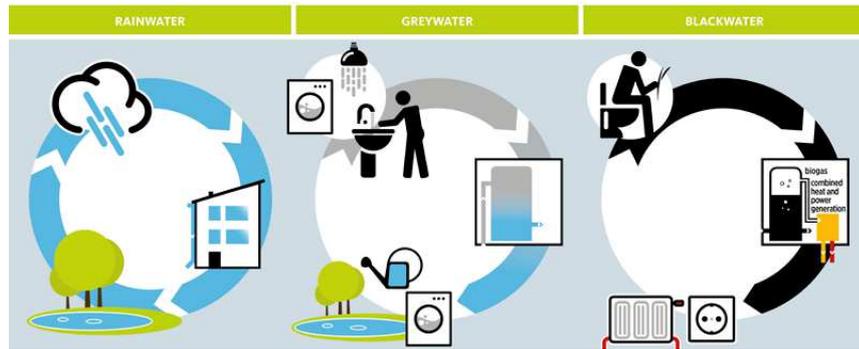


圖 77 汙水處理廠



參、心得及建議

訓練期間除講師專業課程內容，並輔以德國目前執行技術與現況分享，每段課程後均有案例練習及分組討論報告，加深實習者印象並學以致用。來自不同國家事業單位或水相關公司或集團人員，在報告中分享所屬各國(或公司)目前現況，並提出所遭遇問題或困境，經由專業講師及實習者互相討論及提供建議，讓彼此回歸各自工作崗位，在降低漏水損失方面均有相當大的助益，以下為筆者對參加本次實習訓練之心得或建議：

圖 78 筆者分組討論報告照片



一、如何降低漏水率

漢堡 1950 年漏水率為 17%，經採取各項降低漏水率措施後，至 1960 年降至 7%，減少 10%，至約 1985 年甚至降至 2% 以下，後因平衡考量維持此漏水率所需之人力及成本因素，漏水率緩慢回升，目前約為 4%。反觀台灣自來水公司之十年降低漏水率計畫(2013-2022 年)預計從 20% 降低至 15%，台灣在 2013 年漏水率(20%)仍高於漢堡 1950 年(17%)，為何台灣無法在十年內比照漢堡降低 10%？姑且不論兩地的經營環境差異，依筆者與漢堡中心區維修單位主管請益，最主要因素有如下三項：

(一) 材料品質

漢堡水務公司對材料品質非常重視，對不同公司產品會進行現場使用與實驗室測試，現場安裝與操作維護人員會將使用狀況回報，實驗室亦會進行壓力、密閉、耐久等測試，經一段時間後彙整使用及測試情形，及基層人員對該產品維護評價，以決定該產品是否大量採購使用。因此，材料品質及耐用性為最主要考量，漢堡水務公司寧可以較貴價錢採購品質最佳的產品，也不願因材料成本妥協，造成日後需進行維修的潛在風險。

(二) 施工品質

人員的觀念及素質，為施工品質的基礎。漢堡水務公司和承包維修公司人員，對施工的程序、內容及品質均應有共識，雖然施工可能造成停水，有復水時間的壓力，但對漢堡自來水從業人員而言，把各施工程序的品質做好，雖然在當下似乎多花了一些時間做檢查與確認，但卻能保證該處施工無任何品質疑慮，不僅確保短時間的將來該處無重複挖補的風險，且謹慎操作停復水所需制水閥啟閉調控，亦能避免水錘(Water Hammer)造成另外的損壞。如果在每一處新埋設或汰換自來水管線，每一處漏水修理，都能秉持把它作好的理念，施工品質的效益定能快速反映在漏水報修減少的案件上。

(三) 水價

水價似乎與降低漏水無直接關係，但是當水的價值提高時，對漏水的負面觀感將更嚴重，因為所損失的營業損失將是數倍於原先的低水價。以不含稅的一度水平均單價作比較，台灣約台幣 10 元，漢堡為 1.71 歐元，相當於台幣 60 元，水價為台灣的六倍。當水是這樣的價格時，我們能想像民眾會將水用於洗車、澆灌，公司會不使用再生水，而無節約用水的任何措施嗎？當水是這樣的價格時，自來水事業單位將必須且更有能力，採用優良的材料品質，及僱用具優良人力素質的人員或廠商，朝向漏水率降低之善的循環。

二、維持低漏水率，操作維護所需組織人力概況

以漢堡水務公司中心區為例(漏水率4%)，供水概況為人口數為 70 萬人，

用水連接數(總表及獨立表用戶)94,000，管線長度為 2,300 公里，制水閥 24,000 只，消防栓 20,000 只。平均每年維護修理概況為漏水和爆管 150 件(2 件/5 天)，檢漏 450 公里(5 年一循環)，閥栓巡查 7,700 件，閥栓汰換 140 件，新裝連接數 500 件，停水斷管數 150 件。目前漢堡水務公司中心區計僅有 122 人(含客服、人事、行政、會計等)執行上述供水轄區業務，可見當漏水率降低時，所需組織人力相對減少。

三、路平專案執行，閥栓配合下地因應之道

受理國家賠償案件中，有關路平案件數即占了 25%以上(台北市政府 95 至 101 年間)，因此，自 98、99 年開始各縣市政府陸續推動路平專案，為維持道路的平整與安全，路權單位要求各管線單位孔蓋(制水閥、消防栓及窰井)與路面齊平，並檢討孔蓋減量，如無特殊理由原則均須下地，以增加道路使用的舒適度與美觀性。

以目前孔蓋與路面齊平的作法，道路銑鋪前，先進行人手孔的調降作業；銑鋪後，再由管線單位將人手孔調升至與路面齊平。孔蓋周邊材料，因不同的介面所造成施工上壓實不易，加上長期受車輪加速摩擦破壞等因素，在施工工法上參考台北市政府，孔蓋周邊除了以鋼筋加強固定外，並以早強混凝土加強固結保護，以延長孔蓋周邊回填材料的使用壽命[2]。

孔蓋下地可以增加道路使用的舒適度與美觀性，但管線單位有需求提升時，將面臨的問題是如何確定該只閥或栓的正確位置，以減少道路開挖或誤挖面積。以自來水公司而言，傳統上是採閥栓卡三支距配合金屬探測器尋找點位，但在重要路口管線交會處，可能有多達十只以上閥栓在鄰近位置，因此，在三支距參考點可能改變，路面下又有其他管線單位(台電、中華電信、有線電視及中油)孔蓋及其他金屬設施(鋼筋、溝蓋等)影響金屬探測的情況下，要正確定位出所尋的閥或栓，實在是一件不可能的任務。

漢堡水務公司有關閥栓管理業務，並無孔蓋須下地之情形。觀察一般道路上孔蓋，多位於交叉路口，且未發現有孔蓋周邊路面下陷之情形。經瞭解其作業方式，在此提供參考：

(一) 閥栓基座與開關製作一體之金屬套筒，下接直管，上接盒蓋，無下陷之疑慮。

圖 79 閥栓基座與開關製作金屬套筒



(二) 於制水閥、消防栓或水表位置的鄰近道路旁或建築物牆壁上，設置位置距離標示牌，協助工作人員快速確認位置。

圖 80 閘栓位置距離標示牌



四、建議設置自來水博物館

目前台北自來水事業處在公館商圈有自來水博物館及水資源教育館，台灣自來水公司在第八區管理處設有規模較小的文史館及環境教育館，並無如漢堡自來水博物館(詳貳、四、(四)節)四個展區詳細的展出內容與導覽解說，建議可以參酌其展出項目，規劃設置具台灣特性與發展沿革的自來水博物館，讓民眾更瞭解自來水的歷史與發展，以期達到水資源教育的目的。

參考文獻

- [1] 周國鼎，2013，自來水管網漏水防治績效指標，p.26-36，中華民國自來水協會季刊，第 32 卷第 1 期。
- [2] 魏雲魯 等，2014，美麗的負擔—台北市路平專案，p.106-113，中華技術，No.101，January。

