

# 國立交通大學



水位波動對地下儲油槽洩漏之影響

Effect of Groundwater Table Fluctuation on Leak Detection of Underground

Storage Tank

研究生：楊凱仁

指導教授：單信瑜 博士

中華民國一百零一年五月

# 水位波動對地下儲油槽洩漏之影響

## Effect of Groundwater Table Fluctuation on Leak Detection of Underground Storage Tank

研究生：楊凱仁

Student : Kai-jen Yang

指導教授：單信瑜

Advisor : Hsin-yu Shan



Submitted to Department of Civil Engineering  
College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

in

Civil Engineering

January 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China.

中華民國一百零一年四月

# 水位波動對於地下儲油槽洩漏之影響

研究生：楊凱仁

指導教授：單信瑜 博士

國立交通大學土木工程研究所

## 摘要

加油站地下儲槽滲漏的潛勢隨著使用齡期而提高。為了避免油品滲漏導致其中的有毒物質污染土壤與地下水，必須針對地下儲槽進行監測以及早預警。在監測方法中，土壤氣體監測和地下水監測可以直接偵測地下儲槽洩漏出的物質。因洩漏出的有機化合物由流動與擴散傳輸，故其傳輸路徑可能受到地下儲槽與管線和地下水位升降的影響。再者，土壤氣體監測和地下水監測的有效性也會因之而異。本研究以軟體 TMVOC 模擬儲槽洩漏以評估地下水位變動對監測效果的影響。結果發現土壤透水係數( $K_w$ )較高與孔隙率( $n$ )較小時，由於污染團傳輸速度較快，會提高測漏管的監測效率。且隨著距離洩漏點越遠，效果越明顯。遲滯現象於變動水位模擬的結果雖然有影響，其效果並沒有很明顯，可能是因為洩漏量較少的緣故。

關鍵字: NAPL、地下水位、地下儲槽、遲滯現象、土壤氣體監測。

# Effect of Groundwater Table Fluctuation on Leak Detection of Underground Storage Tank

By

Student: Kai-Jen Yang

Advisor: Hsin-yu Shan

Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

## Abstract

The potential of leakage from underground storage tanks (USTs) of gasoline stations increases with its service life. In order to avoid serious pollution caused by the dissolution of toxic constituents in LNAPLs (Light non-aqueous phase liquids), monitoring measures are employed to provide early warning. Among the monitoring methods, soil gas and groundwater monitoring detect the leaked product directly. The pathway of leaked gasoline flows and diffuses and thus, in turn the effectiveness of soil gas and groundwater monitoring, may be affected by the existence of USTs of gasoline station and the fluctuation of groundwater table such that the effectiveness of soil vapor and groundwater monitoring is affected as a result. In this study, numerical simulation with the software TMVOC was performed in order to assess the effectiveness of soil vapor and groundwater monitoring. The results show that when the leakage occurs at a greater depth, both soil vapor and groundwater monitoring are less effective. Soil vapor monitoring can detect leakage earlier than groundwater monitoring in general; but groundwater monitoring is more effective when the distance from leakage increases. The VOC vapor and groundwater migrate faster when the hydraulic conductivity is higher and porosity is smaller such that the monitoring is more effective. The influence of hysteresis of soil water characteristic curve on the sensitivity of soil vapor and groundwater monitoring is also studied but was found insignificant.

Keywords: NAPL, underground storage tank, soil vapor monitoring, hysteresis.

## 誌謝

碩班待了近三年。最感謝的還是指導教授單信瑜 博士的指導。除了學業以及論文上的幫助，另外於未來生活上的規劃、感情、人生的目標，也刺激我，讓我有許多方向能夠做思考。如此和學生能良好溝通互動，亦師亦友的老師真的很難得，因此能夠畢業，真的要特別謝謝單信瑜老師。同時感謝林明德 教授、侯善麟 博士及王智澤 博士對於論文的提供了許多寶貴的建議及指導，這本論文才能更完整。

除此之外，感謝同時間一起為論文打拼的班上同學們，信忠、冠魚哥、輝哥、Gucci，以及在我多待的這一年中，效丞、智緯、潤翰、昱辰、正憲等等，論文在很多時候也是靠和你們一起討論和幫忙，我的進度才能更順利，有空再一起打個球吧！還有高中和大學的死黨及我認識的朋友，也要謝謝你們！

還有在碩班求學這段期間，我想感謝的是女朋友—沛醇，這段時間雖然分隔兩地，但有你的陪伴真的很開心且幸福，低潮的時候也是有妳不斷的鼓勵；還有在最需要人幫忙的時候，不辭辛勞大老遠的跑過來幫我，謝謝妳！最後感謝我的家人，尤其我的父母。在生活上讓我可以無後顧之憂，並且不斷的鼓勵我為我加油，老爸老媽！我終於要畢業了，希望我能夠不再讓你們操心了！

人生的道路上有你們的陪伴，讓我的人生豐富且精彩，謝謝你們！

# 目錄

摘要 .....	I
ABSTRACT .....	II
誌謝 .....	III
目錄 .....	IV
圖目錄 .....	VI
表目錄 .....	IX
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究目的 .....	1
1.3 研究方法與流程 .....	2
第二章 文獻回顧 .....	3
2.1 加油站污染 .....	3
2.1.1 國外加油站污染情形 .....	3
2.1.2 國內加油站洩漏情形 .....	3
2.1.3 加油站油品污染 .....	4
2.1.4 汽油種類及特性 .....	6
2.2 加油站監測 .....	9
2.2.1 監測系統 .....	9
2.2.2 氣體監測敏井敏感度 .....	10
2.3 季節性地下水位變動對於污染物的影響 .....	12
2.3.1 污染物傳輸方式 .....	12
2.3.2 地下水位概述 .....	13
2.3.3 地下水位變動與 LNAPL 分佈之關係 .....	17
2.3.4 油品滲漏地下水位變動之相關研究 .....	19
2.4 非飽和層土壤水特性 .....	20
2.4.1 非飽和層中液體的貯流與滲流 .....	20
2.4.2 土壤水之勢能 .....	20
2.4.3 土壤水特徵曲線 .....	20
2.4.4 遲滯現象 .....	21
2.5 數值模擬軟體 .....	23
第三章 研究方法 .....	26
3.1 研究架構 .....	26

3.2 軟體 TMVOC.....	26
3.2.1 TMVOC 之組成與相態.....	26
3.2.2 TMVOC 之質量與能量平衡.....	27
3.2.3 TMVOC 之空間與時間離散.....	27
3.3 模擬模型 .....	29
3.3.1 邊界 .....	29
3.3.2 土壤透水係數 .....	29
3.4 加油站場址模擬 .....	30
3.4.1 邊界條件參數設定 .....	35
3.4.2 地下儲油槽配置 .....	35
3.4.3 監測井配置 .....	35
3.4.4 季節性地下水位設定 .....	36
3.4.5 遲滯現象之模擬 .....	37
3.4.6 汽油污染物參數設定 .....	38
3.4.7 加油站油品洩漏情況 .....	38
3.5 研究模式整理 .....	40
第四章 模擬結果與分析 .....	41
4.1. 地下水位變動之影響 .....	89
4.2 土層透水係數之影響 .....	93
4.3 土壤孔隙率之影響 .....	95
4.4 遲滯現象 .....	97
第五章 結論與建議 .....	103
參考文獻 .....	105

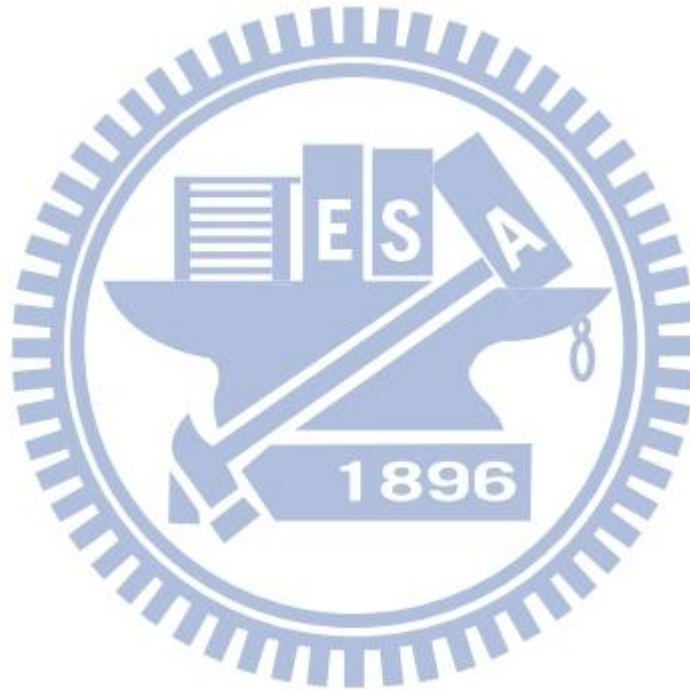
## 圖目錄

圖 1-1	研究流程圖 .....	2
圖 2-1	位於地面油槽(台灣工業文化資產網, 2009).....	5
圖 2-2	位於港口之油槽(交通部觀光局, 2010).....	5
圖 2-3	加油站常見污染途徑(環保署, 2006).....	5
圖 2-4	0.05 與 0.2 gal/hr 油品滲漏造成之油氣濃度 1% 與 10% 之鋒面移動距離與時間曲線(Weber and Schuille, 1989) .....	11
圖 2-5	石油碳氫化合物於土壤及地下水中之分佈與傳輸示意圖(經濟部工業局, 2007) .....	12
圖 2-6	地下水流向受潮汐影響所產生之來回波動示意圖 (董天行, 2006) .....	15
圖 2-7	潮汐變化對水位造成之影響 .....	16
圖 2-8	(a) (b) (c) (C.W.Fetter 1999) .....	18
圖 2-9	土壤水特徵曲線 .....	21
圖 2-10	土壤主要濕潤曲線 .....	22
圖 3-1	研究架構與方法 .....	25
圖 3-2	TMVOC 中相之組成與變化;g-氣體、w-液體、n-NAPL(摘自 Pruess and Battistelli, 2002).....	26
圖 3-3	積分有限差分法摘自 (Pruess and Battistelli, 2002).....	28
圖 3-4	加油站配置示意圖 .....	31
圖 3-5	TMVOC 數值模擬之模型網格示意圖(Case 1) .....	31
圖 3-6	TMVOC 數值模擬之模型網格示意圖 .....	32
圖 3-7	土壤/水-汽油保持曲線.....	33
圖 3-8(a)	地下水位於地表下 2 m 處 .....	34
圖 3-8(b)	地下水位於地表下 5 m 處 .....	34
圖 3-8(c)	地下水位於地表下 4m 處 .....	34
圖 3-9	監測井與油槽之相關位置示意圖 .....	36
圖 3-10(a)	Case 1: 洩漏點 B 位於儲槽區內之輸油管線.....	39
圖 3-10(b)	Case 2: 洩漏點 D 位於儲油槽之下方 .....	39
圖 3-11	模擬示意圖 .....	40
圖 4-1 (a)	Case 1-1, 252 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	41
圖 4-1 (b)	Case 1-1, 252 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	41
圖 4-1 (c)	Case 1-1, 525 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	42
圖 4-1 (d)	Case 1-1, 525 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	42
圖 4-1 (e)	Case 1-2, 252 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	43
圖 4-1 (f)	Case 1-2, 252 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	43
圖 4-1 (g)	Case 1-2, 525 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	44
圖 4-1 (h)	Case 1-2, 525 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	44



圖 4-1 (i) Case 1-3 , 252 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	45
圖 4-1 (j) Case 1-3 , 252 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	45
圖 4-1 (k)Case 1-3 , 525 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	46
圖 4-1 (l) Case 1-3 , 525 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	46
圖 4-2 (a)Case 2-1 , 242 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	47
圖 4-2 (b)Case 2-1 , 242 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	47
圖 4-2 (c)Case 2-1 , 424 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	48
圖 4-2 (d)Case 2-1 , 424 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	48
圖 4-2 (e)Case 2-2 , 242 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	49
圖 4-2 (f) Case 2-2 , 242 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	49
圖 4-2 (g)Case 2-2 , 424 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	50
圖 4-2 (h)Case 2-2 , 424 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	50
圖 4-2 (i) Case 2-3 , 242 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	51
圖 4-2 (j) Case 2-3 , 242 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	51
圖 4-2 (k)Case 2-3 , 424 m 測漏管土壤氣體濃度圖 .....	52
圖 4-2 (l) Case 2-3 , 424 m(hysteresis) 測漏管土壤氣體濃度圖.....	52
圖 4-3 (a)Case 1-1 , 252 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	53
圖 4-3 (b)Case 1-1 , 252 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖.....	53
圖 4-3 (c)Case 1-1 , 525 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	54
圖 4-3 (d)Case 1-1 , 525 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖.....	54
圖 4-3 (e)Case 1-2 , 252 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	55
圖 4-3 (f) Case 1-2 , 252 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖.....	55
圖 4-3 (g)Case 1-2 , 525 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	56
圖 4-3 (h)Case 1-2 , 525 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖.....	56
圖 4-3 (i) Case 1-3 , 252 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	57
圖 4-3 (j) Case 1-3 , 252 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖.....	57
圖 4-3 (k)Case 1-3 , 525 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	58
圖 4-3 (l) Case 1-3 , 525 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖.....	58
圖 4-4 (a)Case 2-1 , 242 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	59
圖 4-4 (b)Case 2-1 , 242 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖.....	59
圖 4-4 (c)Case 2-1 , 424 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	60
圖 4-4 (d)Case 2-1 , 424 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖.....	60
圖 4-4 (e)Case 2-2 , 242 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	61
圖 4-4 (f) Case 2-2 , 242 m(hysteresis)測漏管地下水體含苯濃度.....	61
圖 4-4 (g)Case 2-2 , 424 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	62
圖 4-4 (h)Case 2-2 , 424 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖.....	62
圖 4-4 (i) Case 2-3 , 242m 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	63
圖 4-4 (j) Case 2-3 , 242m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖 .....	63

圖 4-4 (k) Case 2-2，424 m 測漏管地下水體含苯濃度圖 ..... 64  
圖 4-4 (l) Case 2-3，424 m(hysteresis) 測漏管地下水體含苯濃度圖..... 64



## 表目錄

表 2-1	BTEX 物理化學基本特性.....	
表 2-2	無鉛與含鉛汽油組成成份.....	
表 2-3	數值模擬軟體比較，(摘自黃佳雯,2005)	
表 3-1	邊界範圍說明.....	29
表 3-2	土壤參數變化說明.....	29
表 3-3	相對滲透係數參數(Stone's model).....	32
表 3-4	毛細壓力曲線參數(Parker's model)32.....	32
表 3-5	地下水位設定.....	36
表 3-6	加入遲滯現象之模擬.....	37
表 3-7	本研究中所採用之汽油組成成份及百分比.....	38
表 3-8	傳輸模擬之影響因子：.....	40
表 4-1 (a)	Case 1-1，252 模擬結果.....	65
表 4-1 (b)	Case 1-1，252 (hysteresis) 模擬結果.....	66
表 4-1 (c)	Case 1-1，525 模擬結果.....	67
表 4-1 (d)	Case 1-1，525 (hysteresis) 模擬結果.....	68
表 4-2 (a)	Case 1-2，252 模擬結果.....	69
表 4-2 (b)	Case 1-2，252 (hysteresis) 模擬結果.....	70
表 4-2 (c)	Case 1-2，525 模擬結果.....	71
表 4-2 (d)	Case 1-2，525 (hysteresis) 模擬結果.....	72
表 4-3 (a)	Case 1-3，252 模擬結果.....	73
表 4-3 (b)	Case 1-3，252 (hysteresis) 模擬結果.....	74
表 4-3 (c)	Case 1-3，525 模擬結果.....	75
表 4-3 (d)	Case 1-3，525 (hysteresis) 模擬結果.....	76
表 4-4 (a)	Case 2-1，242 模擬結果.....	77
表 4-4 (b)	Case 2-1，242 (hysteresis) 模擬結果.....	78
表 4-4 (c)	Case 2-1，424 模擬結果.....	79
表 4-4 (d)	Case 2-1，424 (hysteresis) 模擬結果.....	80
表 4-5 (a)	Case 2-2，242 模擬結果.....	81
表 4-5 (b)	Case 2-2，242 (hysteresis) 模擬結果.....	82
表 4-5 (c)	Case 2-2，424 模擬結果.....	83
表 4-5 (d)	Case 2-2，424 (hysteresis) 模擬結果.....	84
表 4-6 (a)	Case 2-3，242 模擬結果.....	85
表 4-6 (b)	Case 2-3，242 (hysteresis) 模擬結果.....	86
表 4-6 (c)	Case 2-3，424 模擬結果.....	87
表 4-6 (d)	Case 2-3，424 (hysteresis) 模擬結果.....	88
表 4-7	測得天數.....	94

表 4-8 (a) Case 1 定水位監測井土壤氣體及地下水含苯濃度值達警戒所需時間(day)..... 97  
表 4-8 (b) Case 2 定水位監測井土壤氣體及地下水含苯濃度值達警戒所需時間(day)..... 98  
表 4-9 (a) Case 1 變水位監測井土壤氣體及地下水含苯濃度值達警戒所需時間(day)..... 99  
表 4-9 (b) Case 2 變水位監測井土壤氣體及地下水含苯濃度值達警戒所需時間(day)... 100

