

# 目 錄

目錄	I
圖目錄	III
表目錄	VIII
中文摘要	1
英文摘要	2
第一章 緒論	4
第一節 研究動機與研究目的	4
第二節 研究對象與研究地區	5
第三節 前人文獻回顧與理論基礎	9
第四節 研究架構與研究方法	31
第二章 煤礦簡介與環境現況問題分析	44
第一節 煤田地質概述	44
第二節 煤礦開採與環境現況問題	46
第三章 研究區資料蒐集、分析與應用	50
第一節 文獻蒐集與地下坑口及坑道等空間資料補充建置	50
第二節 礦區資料分析與加值應用	53
第三節 礦區野外調查	55
第四節 GIS 空間資料加值應用---工址規劃	56
第四章 多下陷槽之地盤下陷量分析	64
第一節 計算單元設定與案例說明	64
第二節 地盤下陷分析	69
第三節 水準測量-東運瓷土礦水準測量案例成果	72
第五章 地盤下陷災害現地調查	79
第一節 現地災害調查	79

第二節 野外露頭剖面 RQD 測量及 CMRR 岩石力學試驗	84
第六章 地盤下陷災害潛勢分析成果及安全評估流程	92
第一節 災害潛勢分級	92
第二節 安全評估流程	106
第七章 結論與後續研究	108
參考文獻	111
附錄一：礦區下陷量推估圖	115
附錄二：現地調查災害案例成果	123
附錄三：野外剖面 RQD 測量	185
附錄四：地盤下陷災害潛勢分級	213



# 圖目錄

圖 1-1	台灣中北部地區煤田分布圖	5
圖 1-2	調查礦區分佈圖-台北市	7
圖 1-3	調查礦區分佈圖-基隆市	7
圖 1-4	調查礦區分佈圖-台北縣	8
圖 1-5	調查礦區分佈圖-桃竹苗三縣市	8
圖 1-6	地盤下陷剖面分區圖， $H_L$ 表開採煤層厚度 (Chekan, 1993)	10
圖 1-7	典型之下陷槽理論圖 (修改自 Colorado Geologic Survey, 1975)	10
圖 1-8	典型之下陷槽型態與應變示意圖 (Haycoke, 1982)	11
圖 1-9	煤層之長壁開採幾何示意圖 (Peng and Chiang, 1984)	12
圖 1-10	影響下陷槽發展之三種煤層開採情形 (Whittaker and Reddish, 1989)	13
圖 1-11	開採前進長度 (亦即煤面前進長度 $L$ ) 影響下陷槽發展之情形 (NCB, 1975)	13
圖 1-12	岩體之破壞運動行為機率模式	14
圖 1-13	CMRR 岩體分級流程圖 (修改自 Mark & Molinda, 1994)	15
圖 1-14	CMRR 與上覆岩體厚度之判別函數 (Mark, 1999)	15
圖 1-15	時間因素影響地盤下陷發展圖 (Perze, 1948)	16
圖 1-16	NCB 之地盤下陷推估專有名詞及符號對照示意圖 (NCB, 1975)	17
圖 1-17	早期 NCB 推估地盤下陷槽示意圖 (NCB, 1965)	18
圖 1-18	典型之下陷槽發展示意圖及各參數(幾何與應變)之符號 (NCB, 1975)	19
圖 1-19	開採室寬度與距地表厚度相對於下陷率 $S/M$ 之關係圖 (NCB, 1965)	19
圖 1-20	剖面函數圖及相關參數示意圖 (Whittaker, 1987)	21
圖 1-21	匈牙利及波蘭之剖面函數圖及相關參數示意圖	21
圖 1-22	下陷單元點 P 之下陷量來自於疊加地下挖掘掏空 A1、A2 及 A3 單元之總影響效應 (Lin et al., 1992)	22
圖 1-23	多下陷槽數學幾何模式與函數示意圖，其中時間參數係指其為提供地盤下陷之貢獻因素之一, 隨著時間增加而減少其貢獻下陷之因素權重 (引用	

	knothe time function)，因此所推估之下陷量為最終下陷量，亦即自開採結束之時間至現今推估之時間，單位為月(修改自 Torano et al.,2000b)	24
圖 1-24	縱向因子與開採室前進長度 a 之幾何示意圖，其中 $Y_{04}$ 為最大下陷量之地表位置、 $D_4$ 為該槽之最大下陷量， $\psi_0$ 、 $\delta_0$ 為控制最大下陷量與下陷範圍之下陷角(引用自 Torano et al.,2000b)	25
圖 1-25	GIS-3D 空間分析應用於地盤下陷範圍推估圖 (引用自 Djamaluddin, 2005)	26
圖 1-26	國內法規限制之地盤下陷潛在災害範圍示意圖	27
圖 1-27	國內建築技術規則示意圖	27
圖 1-28	美國科羅拉多州地質調查所地盤下陷安全評估流程	28
圖 1-29	美國科羅拉多州地質調查所繪製 Columbine mine 開採等厚度圖 (Colorado G.S.Website)	29
圖 1-30	美國俄亥俄州交通局之廢棄礦區廠址調查評估手冊流程圖 (DOT,Ohio,1998)	30
圖 1-31	研究架構	31
圖 1-32	煤層傾度 15~60 度修正之多下陷槽圖形與各項參數之簡化	34
圖 1-33	煤層傾度 61~90 度修正之多下陷槽圖形與各項參數之簡化	35
圖 1-34	開採室之前進方向 y-longitudinal 方向之下陷槽	36
圖 1-35	GIS-3D 空間分析應用於煤層位態示意圖 (引用自 Djamaluddin, 2005) 式	37
圖 1-36	汐止市烘內坑煤礦坑口高程進行 Kriging 空間內插後，所獲得之地下採掘面圖層 (亦即地下煤層分布位態特徵化 characterization)	37
圖 1-37	以北部地區地下坑口高程進行空間內插之地下煤層分布位態與五萬分之一區域地質圖標示之八堵向斜分布示意圖	38
圖 1-38	煤礦上覆岩盤岩體單元示意圖及水試驗表單	39
圖 1-39	CMRR 各參數之分級與 unit rating 計算示意圖	39
圖 1-40	單位體積弱面示意圖 ( $J_v=1/S_1+1/S_2+1/S_3$ )	40
圖 1-41	Fracture spacing 與 $J_v$ 之關係	40

圖 1-42	RQD 與 $J_v$ 之關係	41
圖 1-43	CMRR 之 DSR(Discontinuity Spacing Rating) 不連續面等級與 RQD,FS(Fracture Spacing)相關之判別公式(Mark & Molinda,2005)	41
圖 1-44	水準測量原理示意圖	42
圖 2-1	各含煤層與傾度分類比較圖	44
圖 2-2	三種煤礦地下開採方法	47
圖 2-3	左圖 A 為台北縣新烏路屈尺附近之木山層含煤層露頭 (下部含煤層); 右圖 B 為採礦人員於片道內以長壁法 (long-wall mining) 開採傾斜煤層情形 (照片來源: 平溪煤礦博物館)	47
圖 2-4	廢棄傳輸帶(左圖)與礦渣堆(右圖), 這些都為周遭環境帶來危險的潛在因子	48
圖 2-5	新平溪煤礦博物館內陳列琳琅滿目的礦工用品及解說服務	48
圖 2-6	左圖中和市東運瓷土礦 (舊彰和煤礦) 第一下陷區每當大雨過後即易發生地盤下陷, 右圖為基隆三坑車站旁傾塌之舊建築物位於坑道上方	49
圖 2-7	台北市-基隆市各行政區之採掘跡分布面積比例。其中台北市南港區以及基隆市七堵-信義兩區採掘跡面積都超過該行政區 1/3 以上	49
圖 3-1	八堵礦區開採計畫圖	50
圖 3-2	礦區歷史航照及坑口、坑道分布圖層套疊	52
圖 3-3	補充及建立地盤下陷區之地下地質相關資訊與圖層 (藍色坑道為舊有資料, 紅色為新增補充數化之片道資料)	53
圖 3-4	建置新增坑口資料	54
圖 3-5	以 GIS-3D 空間分析進行地下地質特徵化(geological characterization)	54
圖 3-6	透過礦區設施分佈圖之判讀可協助調查範圍之縮小	55
圖 3-7	應用航照技術輔助判釋礦區設施與坑口之空間相對位置	55
圖 3-8	工址開發之地下坑口與坑道分析作業流程	56
圖 3-9	引線至坑道上方測點 (井 1) 作業情形	57
圖 3-10	工址之地表數值高程模型 DTM (5m×5m 網格)	58
圖 3-11	地下坑道延伸面-即採掘跡之空間表面 (5m×5m 網格)	59

圖 3-12	GIS-3D 模擬之地表與地下坑道、採掘跡之空間分布示意圖	59
圖 3-13	調和煤礦中本層本斜坑地下延伸剖面圖(上圖 3-11 之 A-B 坑道剖面線	60
圖 3-14	推估之上覆岩體等厚度	60
圖 3-15	井 BH1 之鑽井成果與坑底之煤渣與土體堆積，證明為主斜坑所在位置	61
圖 3-16	井 BH2 之鑽井成果與判釋為舊採掘跡坍塌之煤渣與粘土混合之物體	62
圖 3-17	井 BH3 之鑽井成果判釋為該處有一完好之薄煤層，因此並無舊採掘跡	62
圖 3-18	鑽井岩心 BH1-BH2-BH3 含煤層對比略圖	63
圖 4-1	台灣煤礦的開採多數已達可發生最大下陷量 $L/h > 1.4$ 之幾何型態	64
圖 4-2	計算單元示意圖	65
圖 4-3	東運瓷土礦計算點示範案例	66
圖 4-4	GIS 環境中之東運瓷土礦部分計算點示意圖	67
圖 4-5	東運瓷土礦採掘跡計算點於空間分析所產生等下陷量圖層(黑色網格)	68
圖 4-6	烘內坑煤礦採掘跡計算點於不同作用機制下之下陷槽	69
圖 4-7	八堵煤礦採掘跡計算點於不同作用機制下之下陷	69
圖 4-8	烘內坑礦區之 NCB-SEH 與多下陷槽 (MST) 推估下陷量之比較圖	70
圖 4-9	東運瓷土礦採掘跡推估最大下陷量圖	71
圖 4-10	烘內坑煤礦採掘跡推估最大下陷量圖	71
圖 4-11	八堵煤礦採掘跡推估最大下陷量圖	72
圖 4-12	東運瓷土礦測點與主要測線分布圖	73
圖 4-13	將觀測前三次水準測量之沉陷量進行空間分析成果	75
圖 4-14	現地水準測量之 A~D 測線之下陷量剖面	76
圖 4-15	A~D 測線所對應之多下陷槽推估剖面線	76
圖 4-16	A 測線之沉陷統計圖	77
圖 4-17	B 測線之沉陷統計圖	77
圖 4-18	C 測線之沉陷統計圖	78
圖 4-19	D 測線之沉陷統計圖	78
圖 5-1	地盤下陷災害現地調查流程圖	79
圖 5-2	東運瓷土礦現地調查災害點位圖	82

圖 5-3	東運瓷土礦現地災害	83
圖 5-4	野外露頭剖面量測 RQD	84
圖 5-5	野外現地 RQD 剖面點位分佈圖	85
圖 5-6	八堵煤礦剖面 2-RQD 量測圖	86
圖 5-7	岩樣之水破壞試驗(immersion test,CMRR)示意圖	87
圖 5-8	現地調查案例之 CMRR 與多下陷槽迴歸分析圖	91
圖 6-1	東運礦區試作專家評估法(左圖為塌陷區分布位置)與岩體強度分布區位對照圖(右圖岩體強度紫色者為 I 表弱岩),圖中網格之數字為評比之級分	99
圖 6-2	地盤下陷災害 GIS-3D 安全評估流程	100
圖 6-3	下陷量與岩體厚度之地盤下陷災害潛勢評估圖(以東運瓷土礦及建楠坑煤礦為例)	102
圖 6-4	經濟部中央地質調查所「坡地岩體工程特性調查」(2003~2007)之岩體強度分級	103
圖 6-5	上圖為岩體強度分級,下圖則為本研究由地下採掘跡空間範圍萃取該資料之網格	104
圖 6-6	下陷量與岩體強度之地盤下陷災害潛勢評估圖(以東運瓷土礦及建楠坑煤礦為例)	105
圖 6-7	本研究之地盤下陷災害安全評估流程圖	106

## 表 目 錄

表 1-1	研究區 (26 處) 礦名及所屬區域、地層表	6
表 1-2	NCB 地盤下陷推估專用名詞 (NCB, 1975)	17
表 1-3	長壁開採煤礦之最大下陷量值、地表應變及傾度經驗關係對照表	20
表 1-4	多下陷槽數學模式之相關參數(Torano et al.,2000a)	25
表 1-5	美國科羅拉多州地質調查所建議地盤下陷安全評估等級表(摘自 Ameudo,1975)	29
表 1-6	水準測量誤差界限表 (內政部)	43
表 3-1	地質與煤礦相關文獻與空間資料蒐集列表	51
表 3-2	礦區之礦權申請與撤註銷等表單資料	52
表 3-3	工址地表相關控制點作業與對照舊有坑口空間資料	57
表 4-1	東運瓷土礦示範計算點之各項參數值	66
表 4-2	東運瓷土礦計算點之各項參數值	67
表 4-3	NCB 之 W/h 以及 S/M 對應表	70
表 4-4	烘內坑礦區之 NCB-SHE 與多下陷槽 (MST) 推估下陷量之比較	70
表 4-5	東運瓷土礦五次地表沉陷分析(表中無資料者為點位已破壞, ( ) 數字表示地表上升數據)	74
表 5-1	現地災害表單紀錄	80
表 5-1 續	現地災害表單紀錄	81
表 5-2	野外剖面測量 RQD 清單	88
表 5-3	野外現地剖面試算 CMRR 值表單	89
表 5-4	災害案例調查位置之下陷量推估與 CMRR 值	90
表 6-1	專家評估法之各項評估因子尺度分級與權重賦予	95
表 6-2	A-B-C 三類型廢棄坑道地盤下陷災害潛勢專家評估法之評比項目及權重賦予 (評分滿分為 10 分, 分數愈高代表災害潛勢愈高)	96
表 6-3	現地調查案例計算專家評估參數輸入表	97
表 6-4	現地案例在 A-B-C 三類型評分結果表	98
表 6-5	現地案例、東運案例, 以及東運礦區之推估下陷量與厚度之關係	102

