

金昌石礦採礦開發區域生態性 服務價值估算報告



委託單位：台灣水泥股份有限公司和平分公司和平廠

執行及撰寫人：國立臺灣大學森林環境暨資源學系 邱祈榮教授

日期：2020年10月

一、緣起

金昌礦區位於花蓮縣秀林鄉和平村西北方山岳地方，距離花蓮縣治東北方約38公里，自花蓮經50公里之蘇花公路至和平，再經10.5公里之台灣水泥股份有限公司產業道路可到達礦場，路況良好，交通便捷(圖1)。

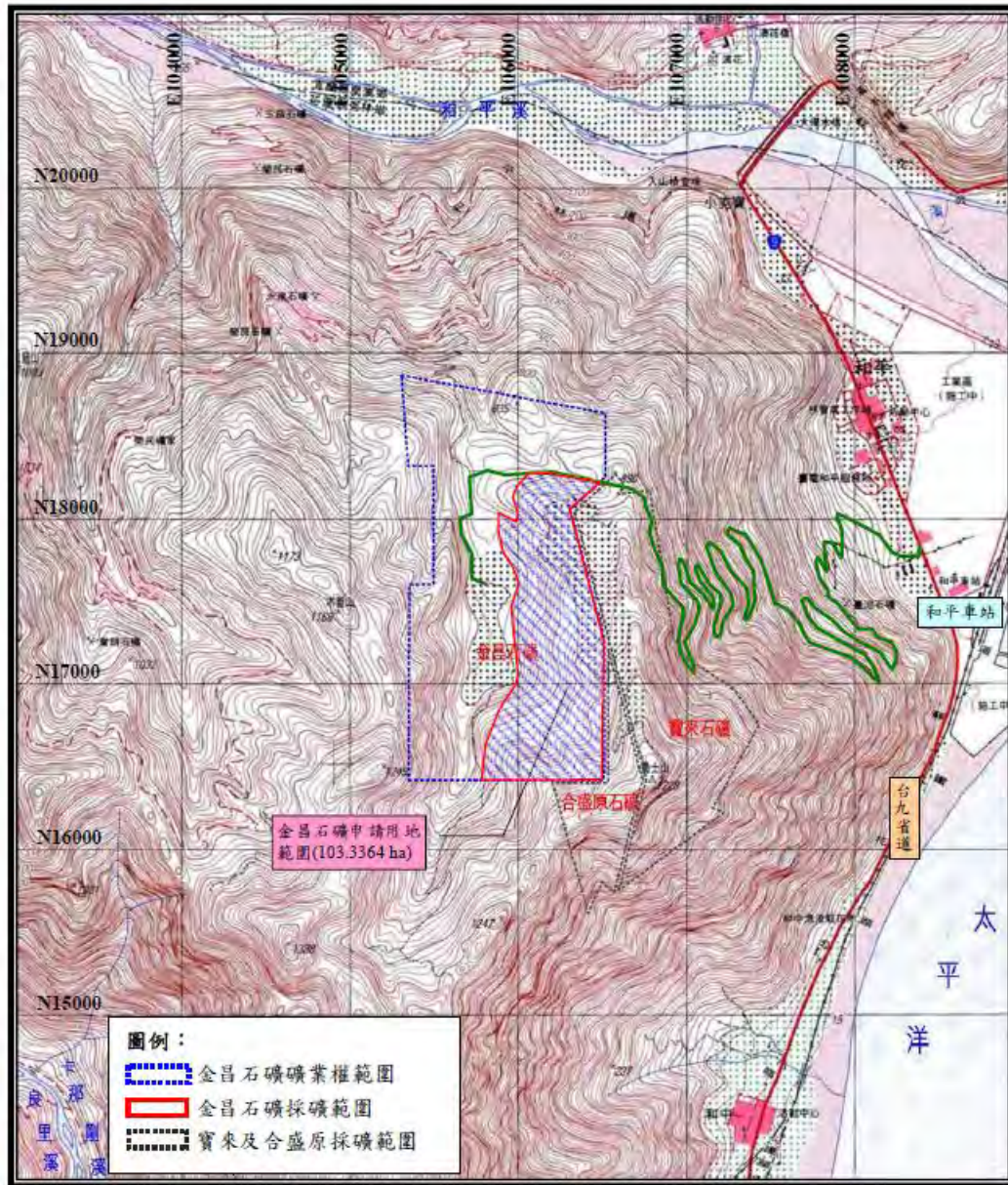


圖 1 金昌石礦地理位置圖

金昌石礦申請使用礦業用地面積合計約 103.3364 公頃，於 105 年業經花蓮縣政府變更編定，全區土地均屬特定專用區，分區及面積分別為：礦業用地 71.6486 公頃、國土保安用地 31.6878 公頃。開採時採礦場面積 71.6486 公頃，所

採之工業用大理石原料石係作為水泥業原料使用，將移除地表植生。採礦場設置之國土保安用地，面積 31.6878 公頃，維持地表植生以保護附近林相，於開採時不致受到直接衝擊或破壞。

依金昌石礦申請核定暨變更核定礦業用地環境現況差異分析及對策檢討報告專案小組初審會議結論，應進行金昌石礦採礦開發區域的生態系服務價值評估。基於此，本報告從生態系服務價值基本內涵、估算原理、國內相關估算成果文獻回顧，篩選出適用本礦區的生態系服務價值項目及估算方式，進行估算。

二、生態系服務價值內涵

隨著對自然資源利用觀念的轉變，人們發現森林生態系提供人類多樣服務，不單包括有形的林木生產，近年更加被關注的是無形的服務，如大氣調節、水資源涵養、碳吸存、維護生物多樣性、文化教育等等服務。

土地利用改變不只影響土地面積，也會改變生態系內部結構和功能，進一步擴大影響到生態系統所提供的服務。加上當今面臨氣候變遷衝擊，生態系統功能的改變更加受到重視，因此在做各種土地利用、資源開發的決策前，除了仔細估算進入市場的財貨之價值，生態系服務價值評估也不可或缺。然而生態系統所提供之服務具共享性與非排他性，難以進入市場，即使民眾了解或認知到其重要性，也難以直觀經濟數據表現。

1960 年代後期社會開始重視生態系服務的概念，不斷發展並提出各種分類體系，目標在整合生態系服務，使評估工作更加完整，2005 年提出的「千禧年生態系統評估（Millennium Ecosystem Assessment，MA）」相當具有代表性，將生態系服務分為供給（provisioning）、調節（regulating）、支持（supporting）與文化（cultural）四大類別，並成為 2008 年的「生態系統暨生物多樣性經濟學倡議（The Economics of Ecosystems and Biodiversity，TEEB）」之基礎，近年也有不少研究採用 TEEB 的分類架構來評估生態系服務價值。另一方面，為了避免或

降低因開發而造成之生態衝擊，各國於 1980 年代逐步發展出生態補償(Ecological Compensation)機制，以創造、復育、改善或保育棲地等方式，補償因人為開發所造成的生態功能或價值損失，以維持或提升生態品質之水準，強調資源面積與生態功能兩面項都應符合零淨損（No Net Loss）原則。

生態補償當中補償金額之計算亦與生態系服務價值相關，因此生態系服務價值評估不僅可作為了解自然資源價值的方式，也可作為申請開發者規劃生態補償措施，或政府制定政策時的參考依據。

（一）生態系服務定義

1997 年 Daily 等人提出生態系服務之觀念，將之定義為「自然生態系統和作為其一部份的物種所通過的各種條件和過程，有助於維持和實現人類生活」，以生態系和其中的物種運行過程為出發點，提供人類維持自身生命或滿足需求，反映生態系服務中流量的概念（林務局，2015）。

2002 年 De Groot 等人將生態系統功能定義為「直接提供或間接滿足人類需求的產品和服務的自然過程與組成的能力」，即生態系統功能為服務的前身，並將生態系產品與服務分為調節功能（regulation functions）、棲息地功能（habit functions）、生產功能（production functions）、信息功能（information functions）。

2005 年千禧年生態系統評估報告（(Millennium Ecosystem Assessment，以下簡稱 MA）出版，將生態系服務定義為「生態系服務是人類從生態系統獲得的效益(benefit)」，並將生態系服務分為供給（provisioning）、調節（regulating）、支持（supporting）與文化（cultural）四個類別，當中供給、調節及文化服務會直接影響人類及支持功能，而支持功能則是生態系服務的基礎，用以維持其他服務。其開發者認為 MA 是確保分析可以包含完整服務範圍，而非分類法，因此服務類別間有所重疊。

自 1997 年 Daily 等人提出生態系服務之觀念後，生態系服務之定義與範疇歷經多次演變，至 MA 架構提出後，大致確立生態系服務的定義與範圍，並成

為 TEEB 之發展基礎（林務局，2015）。TEEB 將生態系與生物多樣性所帶來的效益價值化，轉換為大眾較容易理解的價值資料，並提供經濟上的證據（詹為巽等，2018）。常見生態系服務的定義如表 1：

表 1 常見生態系服務的定義（林務局，2018a）

來源	生態系服務的定義	主張或批判
Daily（1997）	自然生態系統和作為其一部分的物種所通過的各種條件和過程，有助於維持和實現人類生活。	服務可能為生態系統過程或功能，而不是最終生態系服務。
MA（2005）	人們從生態系統獲得的好處。	使用供給、調節、文化和支持服務的分類。將生態系統過程（手段）與生態系服務（末端）混合，許多在調節和支持分類下的多數服務是流程而不是服務。
Boyd and Banzhaf（2007）	可直接享用、消費或用於產生人類福祉的自然組成。	對生態系統提供的效益（benefits）和服務（services）進行區分。 未納入非使用價值。
Wallace（2007）	人們從生態系統中獲得的好處。	認為使用生態系統功能對於生態系統過程是多餘的，為使用語更簡潔清晰，主張不使用生態系統功能。
Fisher et al.（2009）	利用生態系統（積極或被動地）產生人類福祉。	只要有人受益，功能和/或過程就是生態系服務。
TEEB（2010）	生態系統直接或間接對人類產生有用的事。	不再用支持服務，以棲息地服務功能取代。
Haines-Young and Potschin（2010）	生態系統對人類福祉的貢獻，是生物和非生物過程相互作用的結果。	使用靈活的嵌套層次結構，允許在不同的層次上進行簡單的聚合。

（二）生態系統功能、服務、效益與價值之關係

人類利用生態系中的資源時，產生由定量轉為流量的屬性改變，成為生態系

服務，故生態系統功能屬於「源」，提供產品或服務所需要的資源，而生態系服務則是「流量」，改變生物量或營養物質的積蓄（王怡平、邱祈榮，2017）。生態系運作產生功能，功能提供服務，服務對人類具有效益，最終效益會再產生價值，也就是說功能是否被視為服務，要看功能對人類是否具有效益與價值。完整的生態系統功能、服務、效益與價值之關係如圖 2 所示：

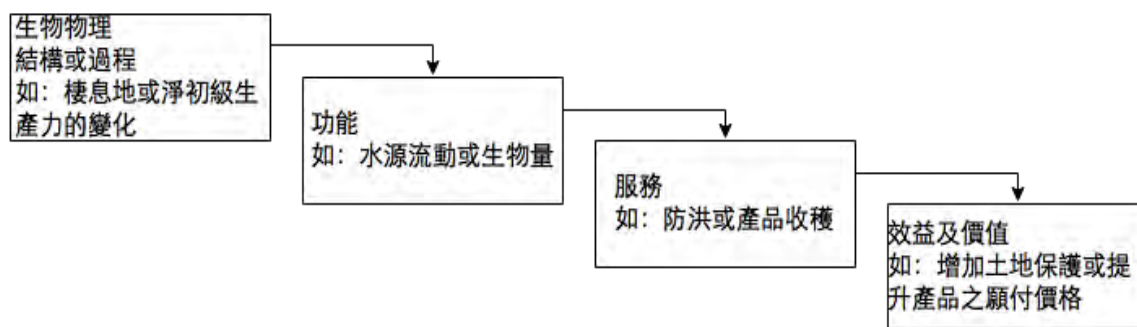


圖 2 生態系統功能、服務、效益與價值之關係（林務局，2015）

（三）生態系服務類別介紹

各種生態系服務分類體系如表 2 所示，雖然各分類體系之服務類別名稱各不相同，但是由表 2 可以發現內涵相當類似，以 MA 之定義，生態系服務類別可分為：

1. 供給服務：由生態系直接提供物質，例如食物、淡水、原料等資源。
2. 調節服務：由生態系統所提供的調節服務，如避免土地退化、防洪等。
3. 支持服務：為維護其他生態系服務所提供的服務，例如土壤形成、養分循環以及維持生物多樣性等。
4. 文化服務：精神、非物質方面的的效益，包括休閒娛樂、教育、美學欣賞等。

表 2 各種生態系服務分類體系參考（林務局，2018a）

	供給服務	調節服務	支持服務	文化服務
Constanza 等人 (1997)	食物生產、原 物料生產	氣體調節、氣候 調節、干擾調 節、水調節、水 供應、廢物處理	沖蝕控制與保 留沖蝕物質、 土壤形成、營 養循環、授 粉、生物控	休閒娛樂、文 化

			制、棲息地、 基因資源	
千禧年生態系統評估(MA, 2005)	糧食、潔淨水、燃料、纖維、生物化學物質、基因資源	調節氣候、控制疾病、調節水分、淨化水源	土壤生成、養分循環、初級生產	精神與宗教、娛樂與生態旅遊、美學、激勵、教育、地方情感、文化繼承
大陸森林生態系服務評估指標體系(中國國家林業局, 2008)		涵養水源、固碳釋氧、淨化大氣環境	保育土壤、生物多樣性保護、累積營養物質	森林遊憩
生態系統暨生物多樣性經濟倡議(TEEB, 2010)	食物、原料、淡水、藥用資源	調節微氣候與改善空氣品質、碳儲存、減緩極端氣候、廢水處理、防止水土流失和維護土壤肥力、授粉、生物防治	提供物種棲地、維護基因多樣性	休閒娛樂、旅遊、美學、文化及科學研究、精神上的感受
日本森林生態系統機能	物質生產機能	水源涵養機能、地球環境保全快速環境形成機能	生物多樣性保全、土砂災害防止機能/土壤保全機能、森林防護	文化機能、保健娛樂

三、森林生態系服務價值估算方法

根據 TEEB 架構，生態系服務總經濟價值可以分類為使用價值 (use values) 與非使用價值 (non-use values) 兩類，使用價值又可再進一步分為直接價值 (direct use value)、間接價值 (indirect use value) 以及選擇價值 (option value)，直接價值是指人類直接利用生物多樣性消費性或非消費性的結果，消費性結果如作物、

牲畜的產出，非消費性結果如精神與文化福祉；間接價值通常為物種和生態系統所提供的調節服務，如害蟲防治、授粉等，不太會反映在市場交易中；選擇價值則是指未來可提供個人利益的資源，強調生態系服務中具有潛力的服務的重要性。

非使用價值則又分為後代可獲得物種和生態系統效益、強調世代間公平的遺贈價值（bequest value）；當代他人也可以獲得物種和生態系統提供的效益、重視世代內公平的利他價值（altruist value）；以及讓物種和生態系統繼續存在的知識中所獲得滿足感的存在價值（existence value）。

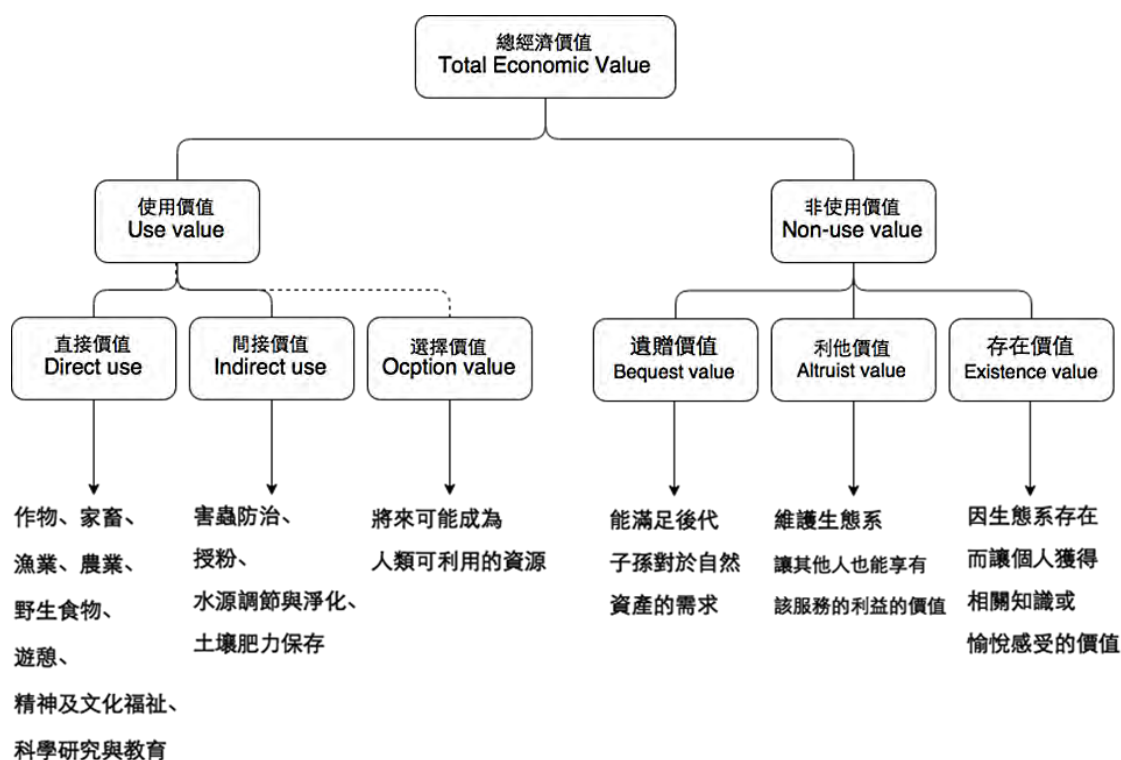


圖 3 生態系服務價值介紹（林務局，2015）

TEEB 報告將生態系服務價值評估的形式分為「以人類偏好為基礎」和「以生物物理方式基礎」的兩類評估方式，多數研究評估方式採用前者。在產出總價值架構下，以人類偏好基礎的各類價值估算常用方法對照如圖 4：

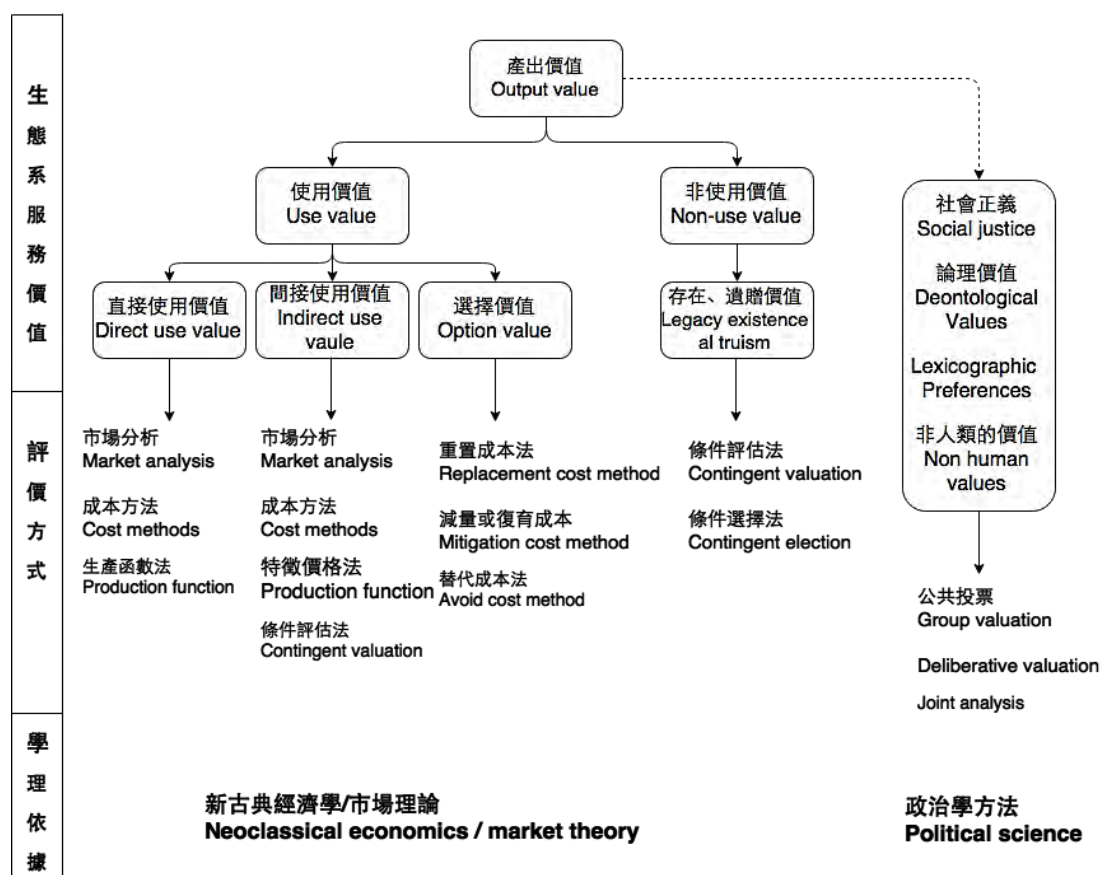


圖 4 以人類偏好基礎的評估方法評估生態系服務（林務局，2015）

四、國內生態補償相關法源

（一）國內生態補償相關法源依據

目前國內礦業法對生態補償並無明確規範，在實務上相關法源依據為 2013 年發布施行之《濕地保育法》，其第五章就以專章陳述開發迴避、衝擊減輕及生物多樣性補償等相關名詞定義與法條規定，明列了生物多樣性補償概念，其中第二十七條提到針對自然環境資源利用應符合「迴避、減輕、異地補償及生態補償」這四個重要層次，即在面臨經濟開發的需求時，應優先迴避重要濕地，若迴避確有困難，則應該採取衝擊減輕措施或替代方案作為對策，以異地補償為優先，且復育基地與損失基地應為同類型濕地，最後才考慮生態補償，其他方式之生態補償措施，包括改善其他重要生態系之棲地多樣性與水質、科學研究、環境教育、經營管理等。

依照《濕地保育法》第三十條第三項規定訂定《衝擊減輕及生態補償辦法》，主管機關審查許可開發或利用行為之原則（圖 5），因此在 2017 年 3 月環境保護署修正的「開發行為環境影響評估作業準則」首度將生態補償納入第二階段環境影響評估「範疇界定指引表」的生態類別中，規範對環境有重大影響，需要繼續進行第二階段環境影響評估的開發行為，應該規劃衝擊減輕措施、生態補償措施、生態補償比率(現況生態基準與復育基準)與生態補償措施監測方式。

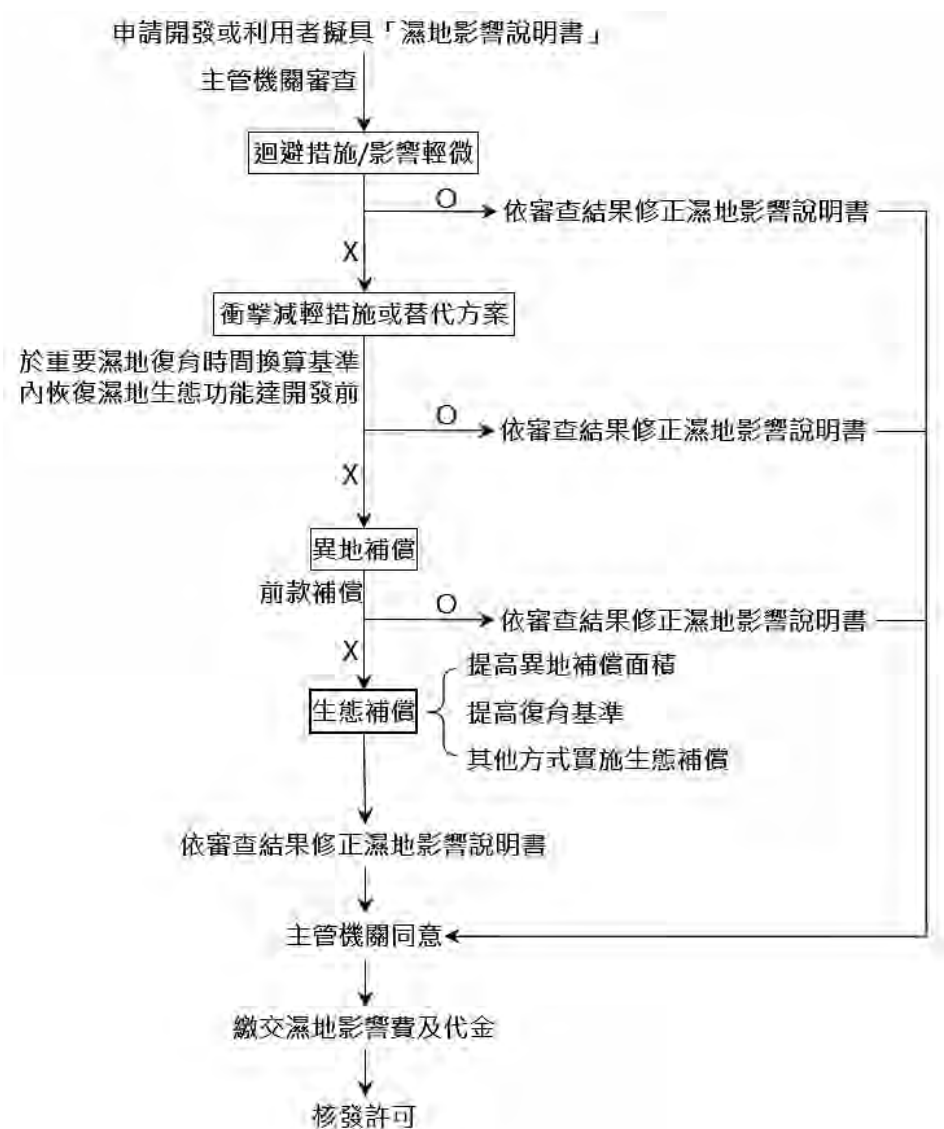


圖 5 主管機關審查許可開發或利用行為之原則

(二) 國內森林生態系服務價值估算實例

目前國內關於生態系服務價值、生態補償之研究有(1)林務局委託中興大學「臺灣國有林地礦區生態損害補償(含社會經濟價值評估)費用案」、(2)林務局「森林生態系服務價值評估應用於林業政策訂定之探討」、(3)林務局委託林試所「臺灣森林生態系服務價值評估」計畫等三篇，統整其數據整理如表 3 所示：

表 3 國內森林生態系服務價值估算成果

項目	中興大學				林務局	林試所	
	年份	20 年平均			2015(民國 104 年)	2016(民國 105 年)	
	地區	太白山礦區		勇士山礦區	國有林	全國森林	
林木生產	方法	市場價值法			林業統計年報	未計算	
	資料	森林資源統計、主要樹種立木市場價			林務局統計市場價格		
		下限	上限	下限	上限		
	總價值(元)	233,285	587,205	203,560	512,380		
	單位面積價值(元/ha/年)				205		
	占全年森林生態系服務總價值比(%)				0.30		
碳吸存	方法	市場價值法、活立木蓄積年增長			市場價值法、國家溫室氣體排放清冊	市場價值法、國家溫室氣體排放清冊	
	資料	森林資源統計資料、碳價格與邊際社會損害成本			國家溫室氣體排放清冊、國際碳交易價格	國家溫室氣體排放清冊、減碳影子價格	
		下限	上限	下限	上限		
	總價值(元)	50,527	996,126	44,092	869,237	1,841,865,000	27,879,000,000
	單位面積價值(元/ha/年)	1,400	27,594	1,400	27,595	1,197	-
	占全年森林生態系服務總價值比(%)				-	1.73	3.72
水資源涵養	方法	重置成本法、水文平衡收支法			市場價值法、退水曲線位移法	市場價值法、水平衡法	
	資料	年均降水量、蒸發量、逕流量、森林區域總面積、水庫總蓄水量、水庫建造支出與總維護費用			河川日流量資料、集水區面積、自來水水價	水文年報、國有林事業區、公用共業用水/(製造業)用水影子價格	
	總價值(元)	634,189		288,258	97,572,307,570	557,543,000,000	
	單位面積價值(元/ha/年)	17,568		7,985	63,396	-	
	占全年森林生態系服務總價值比(%)			-	91.42	74.41	
	空氣淨化	方法	未計算			未計算	緩減成本法、淨穿落法
資料		林分吸附汙染物量、森林面積、汙染整治價格					
總價值(元)		3,289,000,000					
單位面積價值(元/ha/年)		-					
占全年森林生態系服務總價值比(%)		0.44					
土砂流失防治		方法					避免成本法、通用土壤流失公式
	資料	水土保持局水土保持手冊、泥沙遞移率研究資料、河川疏浚及水庫清淤成本					

	總價值(元)			92,575,000,000
	單位面積價值(元/ha/年)			-
	占全年森林生態系服務總價值比(%)			12.36
	方法	封閉式單層二元選擇波比(Probit)模型		效益移轉法
生物多樣性	資料	問卷蒐集資料、經濟模型		生物調查資料、自然保護區面積
	總價值(元)	-		58,535,000,000
	單位面積價值(元/ha/年)	每人 293.045 元	每人 298.316 元	-
	占全年森林生態系服務總價值比(%)	-		7.81
	方法	文獻中願付價格、Meta 分析函數移轉法		市場價值法、林業統計
森林遊樂	資料	遊客調查、遊客人數		觀光局統計資料、解說服務願付價格
		下限	上限	
	總價值(元)	5,074,836,485	6,129,825,536	7,001,465,835
	單位面積價值(元/ha/年)	75,071,546	90,677,893	4,549
	占全年森林生態系服務總價值比(%)	-		6.56
合計	總價值(元)			106,731,629,907
	單位面積價值(元/ha/年)	-		69,347
	占全年森林生態系服務總價值比(%)			100.00
	方法			市場價值法、林業統計

五、金昌石礦生態系服務價值計算項目、方法及結果

因本礦區從未開放觀光旅遊亦不會進行林木伐採，故森林遊樂及林木生產兩項生態系統服務不予計算。本礦區預計估算共計 5 項的生態系服務價值與計算方法整理為表 4：

表 4 預計估算生態系服務價值之項目與計量、計價方法

類別	項目	計量方法	價格
調節服務	碳吸存 ¹	增減法	國際碳交易價格
	水資源涵養 ¹	退水曲線位移法	自來水水價
	空氣淨化 ²	淨穿落水法	不同污染源減量成本
支持服務	土砂流失防治 ²	修正通用土壤流失公式	河川疏浚與水庫清淤成本
	生物多樣性 ²	效益移轉法	

註 1：「森林生態系服務價值評估應用於林業政策訂定之探討」計畫計算方法

註 2：「臺灣森林生態系服務價值評估」計畫計算方法

其中碳吸存及水資源涵養均採用「森林生態系服務價值評估應用於林業政策訂定之探討」計畫之計價方式，乃是因為影子價格與市價差異大，此外，水資源涵養量若以水文平衡收支法計算，因影響水源涵養的因子眾多，只考慮降雨及蒸

發量可能面臨誤差過大的問題，故採用「森林生態系服務價值評估應用於林業政策訂定之探討」計畫之方法，以較合理方式估計生態系服務價值。

土壤流失防治、空氣淨化僅「臺灣森林生態系服務價值評估」計畫有計算，而生物多樣性部分因「臺灣國有林地礦區生態損害補償（含社會經濟價值評估）費用案」中的計算單位較難以換算，故空氣淨化、土壤流失防治、生物多樣性兩項目之價值估算均採用「臺灣森林生態系服務價值評估」計畫之方法計算。

（一）價格係數選擇

1. 碳吸存¹

2015 年「森林生態系服務價值評估應用於林業政策訂定之探討」計畫依照《中華民國國家溫室氣體排放清冊報告》〈第六章：土地利用、土地利用變化及林業部門〉的計算結果，得林地維持林地的碳移除、生物量生長碳移除量、木材伐採、薪材收穫以及干擾等因素造成之碳排放量，透過增減法即得國內森林總碳移除量。經查 2018 年森林總碳移除量為 21,507,460 tCO₂e。

表 5 2010 至 2018 年林業部門碳移除量變化（單位：千公噸二氧化碳當量）（環保署，2020）

年份	林地維持林地		其他土地轉變為林地	總碳移除量 △CO ₂	不確定性 (%)
	生物量碳移除量 △CO ₂ G	生物量碳排放量 △CO ₂ L	生物量碳移除量 △CO ₂ G		
2010	-20,391.90	218.09	-1,239.68	-21,413.49	8.40
2011	-20,409.02	140.35	-1,201.69	-21,470.36	8.43
2012	-20,434.68	145.14	-1,194.29	-21,483.83	8.42
2013	-20,473.28	135.33	-1,160.55	-21,498.50	8.42
2014	-20,508.28	196.95	-1,099.10	-21,410.43	8.40
2015	-20,545.61	188.79	-1,068.44	-21,425.26	8.40
2016	-20,574.58	153.01	-1,029.11	-21,450.68	8.42
2017	-20,612.13	110.80	-980.48	-21,481.81	8.44
2018	-20,656.09	82.69	-934.06	-21,507.46	8.45

將森林總碳移除量除以 2018 年林地面積 2,113,157 公頃，即得 2018 年森林單位面積碳移除量 10.18 tCO₂e/公頃。

表 6 2010 至 2018 年林地維持林地面積（單位：公頃）（環保署，2020）

林型 年份	天然 針葉林	天然針闊 葉混淆林	天然 闊葉林	人工 針葉林	人工針闊 葉混淆林	人工 闊葉林	木竹 混淆林	竹林	總計
2010	204,528	117,151	1,323,102	82,398	52,625	84,965	114,382	111,140	2,090,291
2011	204,081	116,944	1,321,347	83,283	52,643	87,511	114,296	111,248	2,091,353
2012	203,535	116,681	1,319,306	84,551	52,647	90,357	114,259	111,476	2,092,812
2013	203,380	116,570	1,317,847	86,271	52,647	93,256	114,218	111,710	2,095,899
2014	203,076	116,366	1,316,306	87,702	52,603	96,158	114,183	111,992	2,098,386
2015	202,985	116,309	1,315,586	88,689	52,589	99,607	114,161	112,111	2,102,037
2016	202,929	116,284	1,315,049	89,283	52,570	102,405	114,146	112,206	2,104,872
2017	202,773	116,213	1,314,023	90,475	52,522	106,158	114,128	112,306	2,108,599
2018	202,744	116,156	1,313,455	92,184	52,510	109,576	114,127	112,404	2,113,157

碳吸存服務價值以市場價值法，將總森林單位面積碳移除量乘上碳匯市場價格，可得到單位面積碳吸存生態系服務價值。世界銀行 2020 年發表的《State and Trends of Carbon Pricing 2020》提到，目前全球碳價歧異度相當大，每公噸二氧化碳當量價格範圍從不足 1 美元至 120 美元，且超過 50% 的碳價制度低於每公噸 10 美元，依據國際貨幣基金組織（International Monetary Fund, IMF）計算，2019 年平均碳價落在 2 美元，以 2019 年中央銀行公告之匯率 30.925 進行換算，折合新臺幣約 61.85 元，與「臺灣森林生態系服務價值評估」計畫報告中採用之歐銀碳融資影子價格（1301 元/公噸）相比差異極大。

經評估後本報告採用 61.85 元/tCO₂ 計算，得單位面積碳吸存生態系服務價值約 630 元/公頃。

2. 水資源涵養¹

「森林生態系服務價值評估應用於林業政策訂定之探討」計畫以退水曲線法搭配 RORA 計算工具，計價方式為取最小值，取每噸的自來水售價，經查 2020 年臺灣自來水公司公布之收費方式不變，共分四階段收費，排除臺北市以外各縣市平均每度 10 元，而臺北市自來水事業處則分五個級別收費，平均每度也大約為 10 元，與文獻中工業用水影子價格每度 40.18 元，有約 4 倍的差異。水資源涵養量隨降雨量的不同每年變動，單位面積價值亦隨之改變，經評估後，本報告

為方便計算，以「森林生態系服務價值評估應用於林業政策訂定之探討」計畫中單位面積價值數據為準。報告中扣除水文資料有問題的 8 個測站，由共計 28 個水文測站測得 2014 年總流量共 14,895,445,968 噸，水源涵養量共 12,172,613,871 噸，再以各集水區內的國有林面積比例換算，得國有林範圍水源涵養量 9,757,230,757 噸，除以國有林面積 1,539,103 公頃，再乘上每噸的自來水售價 10 元，得單位面積價值為 63,396 元/公頃。

3. 空氣淨化²

「臺灣森林生態系服務價值評估」計畫根據國內利用淨穿落法估算之研究（陳千佩、劉瓊霏，2014；陳千佩，2015、蘇子豪等，2016），以屏東林後四林園區、臺中外埔造林地、彰化溪州造林地不同樹種移除量的平均值，作為林分吸附空氣污染物量的數值，粒狀污染物、SO₂、NO_x 等每年每公頃平均移除量如表 7：

表 7 平地造林對空氣污染物淨化效果（kg/ha/yr）（林務局，2018a）

種類	粒狀污染物	SO ₂	NO _x	參考文獻
平均值	47.79	7.17	6.52	屏東林後四林園區、臺中外埔造林地、彰化溪州造林地等 3 地點之整理，陳千佩、劉瓊霏（2014）；陳千佩（2015）、蘇子豪等（2016）

依照行政院環保署提供之最新各污染物之單位減量成本為基礎，每年以污染整治業平減指數進行調正可得不同污染源的單位減量成本。

表 8 不同污染源的單位減量成本（單位：元/公噸）

年	平減指數	固定源單位減量成本			移動源單位減量成本		
		TSP ³	Sox ⁴	NO _x	TSP	SO _x	NO _x
2011	100	16,372	28,156	28,733	50,074	40,490	32,807
2012	97.18	15,910	27,362	27,923	48,662	39,348	31,882
2013	93.84	15,363	26,422	26,963	46,989	37,996	30,786
2014	90.66	14,843	25,526	26,049	45,397	36,708	29,743

2015	91.03	14,903	25,630	26,156	45,582	36,858	29,864
2016	95.35	15,611	26,847	27,397	47,746	38,607	31,281
2017	100.79	16,501	28,378	28,960	50,470	40,810	33,066
2018	104.46	17,102	29,412	30,014	52,307	42,296	34,270

將單位減量成本、森林覆蓋面積以及空氣汙染物淨化效果三項相乘，即可得空氣淨化價值。當中 SO₂ 的單位減量成本並沒有公告，故以 SO_x 的單位減量成本代替。

因不同類別汙染源特性不同，採用污染防治方法與成本也有所差異，一般單位減量成本分為固定源及移動源污染防治成本。因汙染物濃度、樹種等因子，對森林淨化空氣之效益影響甚大，故以固定源及移動源之平均值作為空氣淨化之效益，2018 年森林空氣淨化效益價值為 3,754,000,000 元，除以森林覆蓋面積 1,726,220 公頃，得單位面積價值約 2,175 元/公頃。

表 9 森林淨化空氣之效益（單位：百萬元）

年	固定源	移動源	平均值
2011	1,891	4,677	3,284
2012	1,872	4,630	3,251
2013	1,808	4,470	3,139
2014	1,753	4,336	3,045
2015	1,829	4,522	3,176
2016	1,894	4,684	3,289
2017	2,086	5,158	3,622
2018	2,162	5,346	3,754

表 10 森林覆蓋面積（單位：公頃）

年	國有林		公私有林		總森林面積(E)	森林覆蓋面積(F)
	有林木 (A)	無林木 (B)	有林木 (C)	無林木 (D)	(A) + (B) + (C) + (D)	(A) + (C)
2011	1,407,407	130,707	206,806	46,578	1,791,498	1,614,214
2012	1,407,407	130,707	236,929	43,642	1,818,684	1,644,336

2013	1,407,496	130,729	236,632	43,486	1,818,343	1,644,128
2014	1,407,496	130,729	243,152	43,469	1,824,846	1,650,647
2015	1,396,704	136,988	317,779	36,177	1,887,647	1,714,483
2016	1,396,704	136,988	298,766	36,179	1,868,636	1,695,469
2017	1,393,977	139,780	372,509	36,190	1,942,456	1,766,486
2018	1,394,177	139,780	332,043	35,253	1,901,252	1,726,220

資料來源：林業統計

4. 土砂流失防治²

「臺灣森林生態系服務價值評估」計畫利用修正通用土壤流失公式 RUSLE 估算有林地覆蓋情形下以及全為裸露地之情境下的表土流失量，相減即得有林地覆蓋所減少的表土流失量，再將減少之表土流失量乘上泥砂遞移率（SDR），算出各區之土砂輸出量，得到森林提供之土砂流失防治總量。再由通用土壤流失公式所估算之總土砂流失量，分別計算留在河床上及流入水庫土砂量，以 70%留在河床，30%流入水庫做計算。

價格方面以替代成本法，利用河川疏浚及水庫清淤的成本：河道減淤效益，以每立方公尺 75~150 元概估，取中間值 112.5 元/立方公尺；水庫減淤效益則採用機械浚淤的清淤單價，每立方公尺約為 200~500 元，取中間值 350 元/立方公尺（1 公噸土砂容重約為 0.7m³）。

最後將留在河床上土砂量與流入水庫土砂量各自乘上河道清淤效益及水庫檢淤效益，得土砂流失防治效益，總土砂流失防治量*（0.7*砂石平均價格+0.3*泥砂入庫後所需清淤價格），得土砂流失防治價值為新臺幣 92,575,000,000 元，單位面積價值為 49,541.50 元/公頃，以此數據作為本次估算之參考。

5. 生物多樣性²

「臺灣森林生態系服務價值評估」計畫利用林務局於 2010 年 7 月進行的全國家戶抽樣訪問調查，設計問卷建立假想交易機制，以條件評估法評估棲地保育之經濟價值，讓民眾針對我國棲地保育的情境，評估其願意以貨幣金額來換取保育成果所帶來的滿足感，進而估算出我國民眾對政府長期投注於自然保護

區域工作成效的總經濟效益。2010 年單位保育效益 79,075 元/公頃，再依據消費者物價指數調整各年數值，可得各年單位保育效益。

表 11 2010 年我國自然保護區域之保育效益推估值（陳至瑩等，2012）

棲地類型	我國民眾對保育棲地現況 之滿足感評價（元/戶/年）	年計棲地之保育效益值 （元/年）
物種重要棲地	883	6,892,551,422
森林生態系	833	6,502,259,722
溪流生態系	816	6,369,560,544
溼地生態系	774	6,041,715,516
特殊地景	768	5,994,880,512
全國棲地之年計保育效益		31,800,967,716
全國棲地平均每公頃之年計保育效益（元/公頃/年）		79,075

將各年單位保育效益、保護區面積相乘即可得保護區保育效益，利用效益轉移法，將保護區保育效益代替生物多樣性價值。2018 年物價調整單位保育效益為 85,953 元/公頃，乘上 2018 年臺灣陸域保育區面積 694,503 公頃，得總保育效益 59,694,616,359 元。

表 12 物價調整單位保育效益（單位：元/公頃）

年	物價調整單位保育效益	年	物價調整單位保育效益
2010	79,075	2015	83,129
2011	80,196	2016	84,284
2012	81,747	2017	84,806
2013	82,396	2018	85,953
2014	83,382		

因本礦區之保育物種不如保育區多，故將總效益分攤至全國林地，參考表 6，將上述總效益除以全國林地面積 2,108,599 公頃，得單位面積價值為 28,310 元/公頃，以此數據作為本次估算之參考。

（二）金昌石礦採礦開發區生態系服務價值估算結果

扣除採礦場設置維持地表植生以保護附近林相，於開採時不致受到直接衝擊或破壞，面積約31.6878公頃之國土保安用地(圖6)，核定採礦範圍71.6486公頃，將上述價格係數乘上核定採礦範圍，即得採礦範圍生態系服務價值，估算結果呈現在表13。



圖 6 基地地籍與圖分區使用圖

表 13 2018 年金昌石礦採礦範圍生態系服務價值估算

	價格係數 (元/ha)	採礦開發區價值 (元)	百分比 (%)
碳吸存	630	45,103	0.44
水源涵養	63,396	4,542,235	44.01
空氣淨化	2,175	155,836	1.51
土砂流失防治	49,541	3,549,579	34.39
生物多樣性	28,310	2,028,372	19.65

總計	10,321,124	100.00
----	------------	--------

由於生態系服務價值依其每年提供的服務數量及單位面積價值的不同，而會有所變動，因此未來應針對所需的活動數據進行逐年更新計算，方能符合生態系服務價值之意涵。

六、參考文獻

王怡平、邱祈榮（2017）臺灣森林生態系服務價值估算初探。台灣林業。43（1）：3-11。

林務局（2015）。森林生態系服務價值評估應用於林業政策訂定之探討。

林務局（2018a）。「臺灣森林生態系服務價值評估」計畫成果報告書。

林務局（2018b）。臺灣國有林地礦區生態損害補償（含社會經濟價值評估）費用案成果報告。

陳至瑩、張弘毅、管立豪、鄭蕙燕（2012）。自然保護區域之經濟效益分析。農政與農情。240：77-80。

詹為巽、林俊成、吳孟珊、邱祈榮（2018）世界的森林生態系服務功能評價方法。林業研究專訊。25（6）：29-34。

World Bank (2020). State and Trends of Carbon Pricing 2020.

環保署（2020）。中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。

採礦開發區域生態系服務價值損失補償規劃

採礦開發區域生態系服務價值損失補償規劃

依據委託「金昌石礦採礦開發區域生態系服務價值估算報告」研究結果，估算 20 年開發期間，採礦開發區域每年減少的生態系服務價值。然而，因採礦開發區域並非於第一年全面開發完畢，而是每年逐步擴大採礦開發區域，依據礦業法採礦權最長不得超過 20 年，得展延。因此假設以 20 年時間，平均開發全部採礦開發區域 71.6486 公頃面積，預期每年開發 3.58243 公頃，每年累計生態系服務價值如表 1：

表 1 採礦開發期間每年累計採礦開發面積及生態系服務價值

年度	每年累計採礦開發面積(公頃)	每年損失生態系服務價值(元)
1	3.58243	516,056
2	7.16486	1,032,112
3	10.74729	1,548,169
4	14.32972	2,064,225
5	17.91215	2,580,281
6	21.49458	3,096,337
7	25.07701	3,612,393
8	28.65944	4,128,450
9	32.24187	4,644,506
10	35.82430	5,160,562
11	39.40673	5,676,618
12	42.98916	6,192,674
13	46.57159	6,708,731
14	50.15402	7,224,787
15	53.73645	7,740,843
16	57.31888	8,256,899
17	60.90131	8,772,955
18	64.48374	9,289,012
19	68.06617	9,805,068
20	71.64860	10,321,124
總計	71.64860	108,371,802

如表 1 所示，累計 20 年開發期間生態系服務價值損失達 108,371,802 元。因開發期間造成的每年生態系服務價值損失，將以該金額專款專用，經由不同措施

降低對環境衝擊與促進植生復育。這些措施預期每年 580 萬，20 年累計金額達 116,000,000 元，超過 20 年開發期生態系服務價值損失達 108,371,802 元。相關措施包括：

- A. 全區生態調查及監測：每年 120 萬
- B. 全區環境調查及監測：每年 60 萬
- C. 水土保持設施及國土保安用地緩衝措施：每年 100 萬
- D. 礦區殘壁植生復育、樹種保育及移植、樹種移植區生態維護：每年 300 萬