

本書特色

- 內容兼具理論與實務
- 國內八大生態工程個案分析
- 搜集羅列國內外生態工程相關網站
- 國內生態工程相關碩博士論文一覽表



生態工程

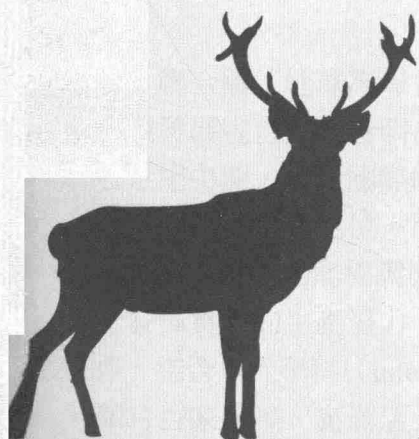


Ecological Engineering

李錦育 / 編著



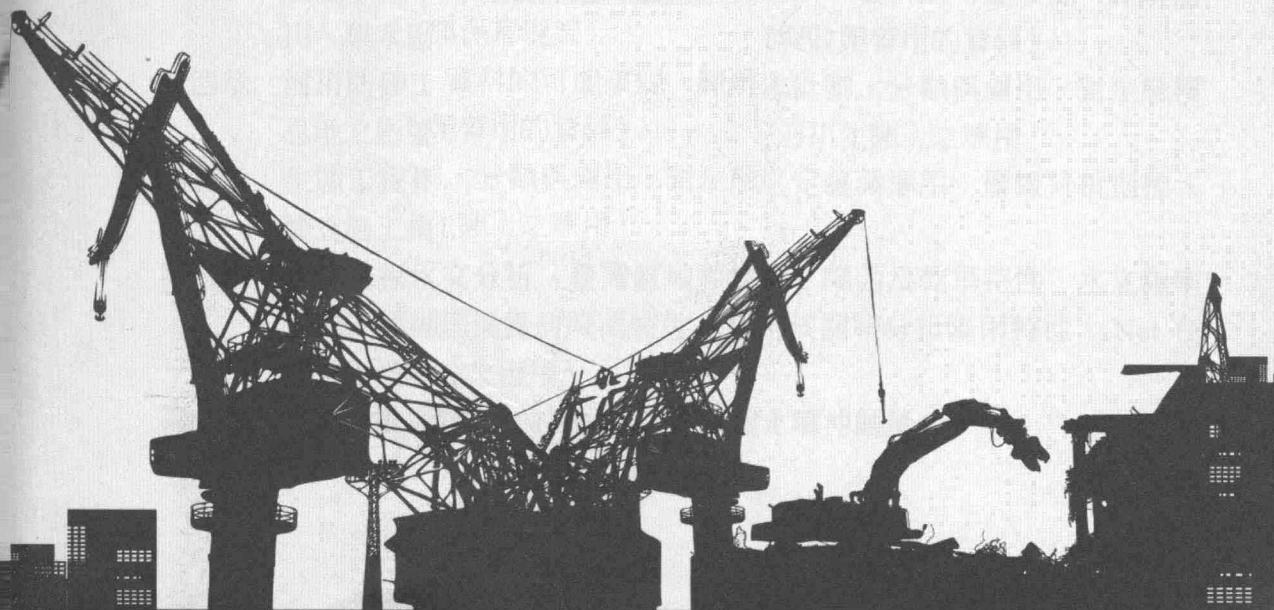
● 內容兼具理論與實務
● 國內八大生態工程個案分析
● 搜集羅列國內外生態工程相關網站
● 國內生態工程相關碩博士論文一覽表



生態工程

Ecological Engineering

李錦育 / 編著



國家圖書館出版品預行編目資料

生態工程= Ecological engineering methods
／李錦育編著．——初版．——臺北市：五南，
2010.03

面：公分

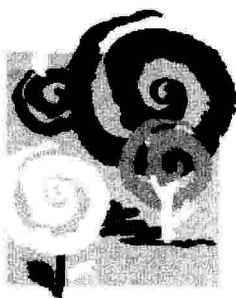
參考書目：面

ISBN 978-957-11-5921-8 (平裝)

1. 生態工法

441.52

99002554



5T11

生態工程

編 著 — 李錦育(99.3)

發行人 — 楊榮川

總編輯 — 龐君豪

主 編 — 黃秋萍

文字編輯 — 程亭瑜

封面設計 — 莫美龍

出 版 者 — 五南圖書出版股份有限公司

地 址：106 台北市大安區和平東路二段339號4樓

電 話：(02)2705-5066 傳 真：(02)2706-6100

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：wunan@wunan.com.tw

劃撥帳號：01068953

戶 名：五南圖書出版股份有限公司

台中市駐區辦公室/台中市中國區中山路6號

電 話：(04)2223-0891 傳 真：(04)2223-3549

高雄市駐區辦公室/高雄市新興區中山一路290號

電 話：(07)2358-702 傳 真：(07)2350-236

法律顧問 元貞聯合法律事務所 張澤平律師

出版日期 2010年3月初版一刷

定 價 新臺幣560元

序

聯合國「地球高峰會—里約環境與發展宣言」及「世界高峰會—約翰尼斯堡永續發展宣言」，皆明白揭示永續發展「全球考量，在地行動」的國際共識。在廿世紀中期，面對國際能源與資材價格的大幅升漲與節能減碳的全球共識下，生態學因而被重新定位，而生態工程是應用生態系統中，物種共生與物質循環再生原理，結構與功能協調原則，配合系統分析的最優選化（Optimization）方法，充分發揮資源的生產潛力，防治（水、土）環境污染，積極投入相關研發與落實工作，結合多元學科（interdisiplines）—歷史文化、政治、社會經濟、自然科技等，頓時百家爭鳴、充滿活力，間接帶動營建產業與節能減碳之努力與成效，達到生態恢復與更新、以期創造環境、經濟與生態效益三贏之成效，為我們的地球共盡一份心力。

本書撰寫內容，共計九章，主要分為：

第一章 概論（定義、應用範圍、設計原理、設計原則）

第二章 生態環境資源（資源種類、人口與健康、能源問題、全球系統與循環、恢復退化的土地及臺灣的生物多樣性與保育現況）

第三章 生態水文學（方法介紹、如何研究河川、資料的可能來源、瞭解河川、集水區分析、如何擁有田野調查與收集有用的資料）

第四章 河川防砂工程之生態治理對策（基本計劃、分類與運用、對生態棲息地之影響、河川治理考慮方向、在河川生態上之應用）

第五章 生態工程相關指標值之建立（指標之定義與運用、層級分析指標、建立施工指標）

第六章 生態工程水文分析（臺灣區域性氣溫、降雨及乾旱特性、水文頻率分析、模糊理論探討降雨特性、運用灰關聯分析降雨特性、.Net 在生態工程設施之應用）

第七章 土壤沖蝕指數（SEI）推估生態工程土壤沖蝕量

第八章 生態工程之網頁資源應用與國內外案例綜合評述

第九章 個案分析（宜蘭柯林湧泉圳、小礁溪整治工程、仁澤防砂壩魚道整治；臺中市梅川河岸空間生態工程綠美化；臺南縣龍崎鄉牛埔埤仔溝溪應用生態工程之成效；屏東（建功社區親水公園、「田心生態教育園」的規劃設計、旭海溪集水區整體治理調查規劃）

在參考文獻中，羅列有關生態工程的中英文、日文與其他相關專書及研究論文（報告）；而於附錄中，並分別補充「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」（草案）、臺灣地區之 R 值及土壤沖蝕指數（K）值、國內外生態工程相關網站；同時整理有關之專用名詞解釋與歷年臺灣有關生態工程方法之碩（博）士論文一覽表，以利讀者參考查詢。

本書編寫過程中，承蒙林穎明先生與尹念秦技師，分別提供「田心生態教育園」及「旭海溪集水區整體治理調查規劃」之原始圖檔及資料、研究生侯統昭、湯佳雯及大學部實務專題等同學協助繕打及校對工作；同時，非常感謝五南圖書公司願意出版此書，以饗同好，在此一併誌謝。

李錦育 謹識

於 國立屏東科技大學水土保持系集水區科學研究室

目 錄

第 1 章 概 論 1

- 1-1 前 言 2
- 1-2 生態工程的定義 2
- 1-3 生態工程的應用範圍 6
- 1-4 生態工程的設計原理 7
- 1-5 生態工程的設計原則 11
- 1-6 結 論 13

第 2 章 生態環境資源 15

- 2-1 生態環境資源種類 16
- 2-2 人口與健康 22
- 2-3 能源問題 24
- 2-4 全球系統與循環 31
- 2-5 恢復退化的土地 37
- 2-6 臺灣的生物多樣性與保育現況 45
- 2-7 結 論 54

第 3 章 生態水文學 57

- 3-1 概 論 58
- 3-2 如何研究河川 60



- 3-3 資料的可能來源 64
- 3-4 瞭解河川 69
- 3-5 集水區分析 75
- 3-6 如何擁有田野調查與收集有用的資料 80

第 4 章 河川防砂工程之生態治理對策 87

- 4-1 前 言 88
- 4-2 河川防砂工程基本計畫 89
- 4-3 河川生態工程之分類與運用 95
- 4-4 河川工程對生態棲息地之影響 106
- 4-5 生態河川治理考慮方向 107
- 4-6 自然親水工程方法在河川生態上之應用 109
- 4-7 結論與建議 115

第 5 章 生態工程相關指標值之建立 117

- 5-1 概 論 119
- 5-2 指標之定義與運用 120
- 5-3 建立生態工程層級分析指標 123
- 5-4 生態工程施工指標值之建立 137
- 5-5 結論與建議 141

第 6 章 生態工程水文分析 143

- 6-1 臺灣區域性氣溫、降雨及乾旱特性之分析 144
- 6-2 中央氣象局測站之水文頻率分析 157
- 6-3 應用模糊理論探討降雨特性 165
- 6-4 運用灰關聯分析降雨之特性 171

6-5 .Net 在生態工程設施之應用 178

6-6 未來研究方向 185

第 7 章 SEI 推估生態工程土壤沖蝕量 187

7-1 前 言 188

7-2 前人研究 188

7-3 研究材料與方法 189

7-4 土壤沖蝕指數 (SEI) 概述 191

7-5 結論與建議 229

第 8 章 生態工程之網頁資源應用 231

8-1 前 言 232

8-2 前人研究 233

8-3 研究材料與方法 235

8-4 國內外案例綜合評述 236

8-5 結論與建議 240

第 9 章 個案分析 241

9-1 宜蘭縣柯林湧泉圳生態工程之探討 242

9-2 臺中市梅川河岸空間生態工程綠美化 250

9-3 屏東縣新埤鄉建功社區親水公園 255

9-4 宜蘭縣礁溪鄉小礁溪整治工程 260

9-5 宜蘭縣大同鄉仁澤防砂壩魚道整治 264

9-6 屏東縣麟洛鄉「田心生態教育園」的規劃設計 271

9-7 屏東縣牡丹鄉旭海溪集水區整體治理調查規劃 283

9-8 臺南縣龍崎鄉牛埔埤仔溝溪應用生態工程之成效 306

參考文獻	313
附錄一 永續公共工程—節能減碳政策白皮書（草案）	333
附錄二 台灣地區降雨沖蝕指數（R）值	351
附錄三 台灣地區土壤沖蝕指數（K）值	359
附錄四 生態工程相關網站.....	365
附錄五 名詞解釋	385
附錄六 台灣有關生態工程之碩（博）士論文一覽表	429

CHAPTER

1

概 論

- 1-1 前 言
- 1-2 生態工程的定義
- 1-3 生態工程的應用範圍
- 1-4 生態工程的設計原理
- 1-5 生態工程的設計原則
- 1-6 結 論

1-1 前 言

人類對於經濟活動所採取的工程施作，往往只考慮方便、經濟、實用，而未考慮到是否危害自然生態系的穩定平衡，以熱帶雨林為例，雨林一旦遭到大面積的砍伐，在未持續砍伐開墾的前提下，仍需要 200 年的時間才會回復原狀，但如果在回復期間持續開墾，則這座雨林將逐漸消失，且再也無法回復原本的樣貌。因此，在 1992 年，聯合國於瑞典斯德哥爾摩所召開第一次地球永續高峰會議中提出「人類正處於關懷永續發展的中心」，乃因人類對生態環境持續性的破壞，將造成環境系統的不永續，為避免留給後代子孫無可替代的選擇環境，我們有必要將未來人類生存所需要的資源保留下來，讓每一個人都能享有與大自然和諧共存及健康而富有生命力的環境。

在維持人類社會的同時，需要一些能保護並提高生態系功能的設計方式，以用於長遠保存生態系並持續提供人類所需的資源。事實上，許多在環境領域工作的科學家，實行工程時都會運用科學原理來解決特殊的問題；然而，只有少部分的科學家有工程方面的實際經驗，以至於根據應用生態系所發展出的有效工程設計方式並不多見。對自然系統有充分的認識，能降低設計上的問題，我們無法提出在工程中增加一點點生態性，或在生態系中多點工程構造物，我們寧願預估一種新的工程方法，包含了生態科學及其背景，這種應用在一般工程設計上，將形成新的範例。

1-2 生態工程的定義

生態工程的定義有數個重要的成分：

1. 施作措施應基於生態科學的基礎上。
2. 生態工程應有較廣的定義，以包含所有類型的生態系與潛在的人類及生態系間的相互作用。
3. 應包括工程設計的概念。

4. 應瞭解系統的基本價值。

第一點是大多數的基本原理，不同的工程依它的科學基礎、應用方式而有不同的定義；應用生態工程可能會延伸，並超過只使用在生態系的範圍，進而影響所有工程的措施。

第二點是關於運用，當生態工程可能扮演一新的設計範例時，大多數的工程運用，都會發生人類干擾生態系的情形。成功的工程設計要堅守一有效的方法論，如果傳統工程能解決生態工程問題時，一般工程設計將維持原狀；但傳統方式對環境退化的貢獻與方法論的爭議處，亦應予以考慮。

最後一點，考慮價值。由兩重要的結果而來：第一，不論工程方法的定義為何，都應包含價值方面的陳述；我們可以分開實行工程的動機，這動機應該非常明顯，並給予專業科學的一些規則來界定動機的層級。第二，如果我們決定要在定義中陳述價值時，什麼樣的價值是我們要表達的？這是一個足以爭論的重點，但有些基本概念如人類利益、永續性、生態完整與健全等，均常在相關文獻中被提及，在生態工程的定義中陳述價值觀念，大多是非常有效的。

在過去數十年，已有相關學者專家針對生態工程作出定義，而這些定義是依據不同的措施所決定。**Seifert (1938)** 首先提出此概念，希望在整治河流時，是以接近自然、廉價的方式，且保持美麗的自然景觀；而最早提出「生態工程」一詞的，是美國的 **H.T. Odum**，他主張對自然環境的變更，應採用最少的人工能量，以維護棲地系統自我更新的能力。**Odum** 所下的定義為「人類運用少數的補充的能量來控制系統並進行環境的改造，而這些能量主要仍來自於自然的資源」。**Mitsch and Jorgensen (1989)** 定義措施為「符合人類社會與自然環境彼此利益的設計」；這定義稍微改為「設計永續的生態系整合人類社會與自然環境彼此利益」；**Mitsch** 並建議生態工程的目標為恢復人類干擾的生態系，並發展一含有人類與生態價值的永續性生態系。

自然系統的自我設計與自我組織特性，是生態工程不可或缺的必要條件；在一個建構中的生態系統，人類有責任提供初級的組成份子與系統架構，並考量生態系的連接，人類不需要增加質量或能量去維持一單獨的生態系。**Mitsch (1989)** 更明確定義生態工法的觀念以及適用範疇，乃是運用生態系之自我設計（**self-design**）能力為基礎，注重人為環境與自然環境間的互動，達到人類與自然生態雙贏的目的，從此生態工法正式成為一門顯學。

而臺灣在 1989 年開始運用生態工法於環境政策分析，直到 2000 年才正式應用於 921 重建區大規模的土石流、崩塌地的整治，並逐漸推廣至對整體環境、生態與文化，在推動經濟與生態的發展上皆能兼顧，達到人與自然的永續和諧。

生態工程 (Ecological Engineering Methods, EEM) 係指人類基於對生態系統的深切認知，為落實生物多樣性保育及永續發展，採取以生態為基礎、安全為導向，減少對生態系統造成傷害的永續系統工程設計皆稱之。生態工程最早由 Odum (1960) 提出，此類方法主要由人類提供少許能量，而由自然資源提供大部份能量，換言之，生態工程於生態設計中提供起使物種的選擇，而其它則由自然界負責。其主要以生物種群、生物群落、生態系統特徵為依據，所建立之生態系統是人們依照此特定之原理與方法來。

生態工程包含基礎科學與量化方法設計自然環境，其主要工具為自我設計 (Self-Design)。生態工程與理論生態學、應用生態學之相關係如圖 1.1 所示。生態工程的目標如下 (Mitsch, 2004)：

1. 復育長久被人類活動所干擾的生態系，例如環境污染、氣候變遷等。
2. 發展一新的永續生態系統，此系統具有人類與生態價值。
3. 界定生態系統支援價值，最終達到生態系統保持 (自營性)。

而另一方面，生態技術 (Eco-techology) 可說是生態工程之同義字，其基於深度的生態瞭解使得成本與傷害最小化。生態技術主要依賴生態系統「自我設計」之能力，換言之，一生態系統設計、建造或復育，其本身必須透過自我設計與人類的謹慎介入而達到自我維持。如果在原始設計條件下，生態系統無法達到自我維持但其行為最終可被預測時，這並不表示生態系統失效，乃表示生態工程沒有促進一生態系統與環境界面之自然過程；因此，生態工程的設計原則，包含經營目的原則、適生與共生原則、最優組合原則、高效與穩定原則、循環利用原則、投資可行原則與最小風險原則。

以農業生態工程設計為例，其導源於農業系統工程和生態系統工程的理論及方法，並依據經營者的目的、要求與當地的自然地理條件與社會經濟背景以及經營對象的性質、功能、結構聯繫與物能流動等特點，且以系統工程整體的經濟、生態與社會效益為準則。

就短期而言，生態工程將被重視且重要，特別於設計與建造生態系統，並且被應用來解決環境問題；就長期而言，生態工程將增加經濟學領域，成為一新的

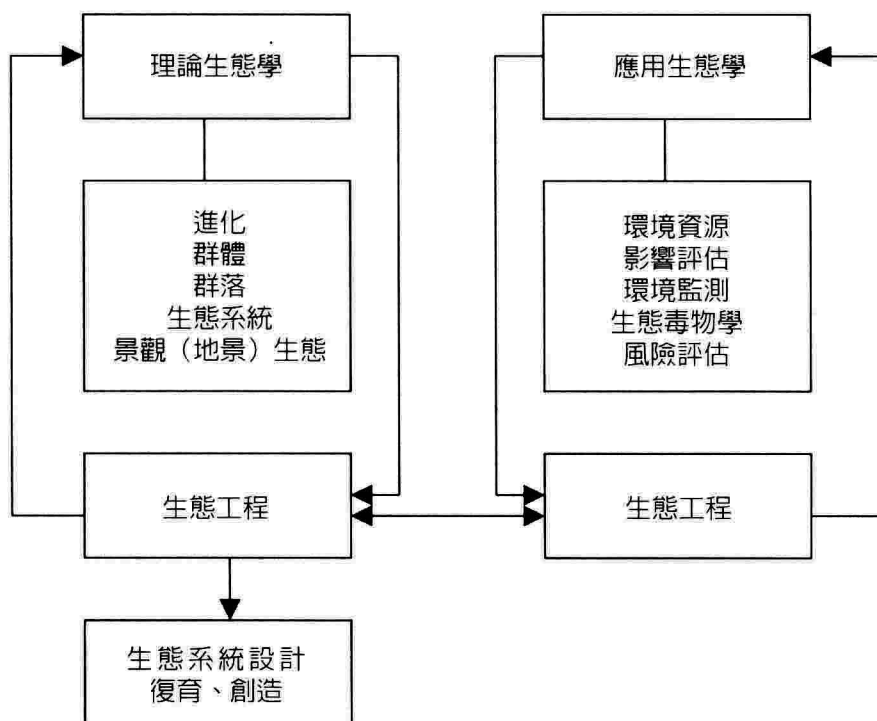


圖 1.1 生態工程、理論生態學與應用生態學之關係

領域來量化與格式化理想的自然生態系統，此系統並且包含人類直接與非直接價值。於建造一生態與永續景觀時，此新的領域能提供基礎與應用科學的結果，給予環境管理者參考，以控制某些型態之污染。

臺灣負責推動生態工程的公共工程委員會，於 2002 年組成生態工法諮詢小組，並共同研議定義如下：「生態工法（Eco-technology）係指人類基於對生態系統的深切認知，為落實生物多樣性保育及永續發展，採取以生態為基礎、安全為導向，減少對生態系統造成傷害的永續系統工程皆稱之」。然而，在推動生態工程的過程中，以往採用的「生態工法」一詞，常遭人誤以為是一種工法（即施工方法）而引發爭議，為了讓這項政策能持續順利地推動，並與國際專業用語 Eco-engineering 接軌，因此公共工程委員會自 2006 年 6 月 21 日起，便正式將「生態工法」更名為「生態工程」。

1-3 生態工程的應用範圍

我們將生態工程定義得較為廣泛，並在幾個問題區域提倡它的運用，而這些保護的運用應包括：

1. 生態系統的設計（生態技術），為了滿足多樣化的人類需求，而必須在人為／能量集中的方式作一取捨。
2. 毀壞的生態系復原，並減少發展的行為。
3. 經營、利用與保育自然資源。
4. 在建構的環境中維持社會與生態間的完整性。

生態工程是唯一能達到上述幾點的方法。生態恢復與緩和發展一般都屬於恢復生態學的範圍，生態工程能提供正確並架構設計方式，並用於增加這些功能，通常在應用生態學的部分缺少設計的過程，在生態恢復利用這些設計過程，將能增進學習並改善未來的問題。第三種運用方式為自然資源的經營，當支持系統完整與健全時，經營的目標應為維護生態系的利益。生態工程的目標，應維護社會的完整與供應環境間較佳的平衡；在某個區域發生密集的人類污染時，區域性的生態系可能會完全破壞，當設計包含生態與工程時，我們需增加所謂「綠」的都市環境，使建構的環境中能提供更多物種與自然間聯絡的管道。

一、應用生態工程成功之要件

1. 需做整體性的系統考量。
2. 對現有生態環境認知。
3. 減少營建工程對生態之衝擊到最小程度。
4. 研究可能造成安全問題之因子，從污染源點祛除因子。
5. 因地制宜，就地取材。
6. 減少資源之消耗。

二、推動生態工程的目的

1. 避免破壞生態環境。
2. 考量生命週期設計。
3. 使用最少資源。
4. 能量資源再生利用。
5. 廢棄物減量。
6. 維護生物多樣性。

三、生態工程規劃設計理念

1. 整體性系統環境整合。
2. 利用自然植生邊坡。
3. 保留河川蜿蜒多樣性。
4. 就地取材，運用當地資源。
5. 提高雨水截留、入滲，充份利用水資源。
6. 從集水區治理減緩流速。
7. 減少公路闢設、減車道。
8. 用最少的營建來滿足需求。

1-4 生態工程的設計原理

為了人類良好的生活品質，同時能保護天然環境的利用與貢獻，生態工程的出現是反映傳統工程實行過程的進步。人類是不可分割或獨立於自然系統之外的生命體，全球人口的成長與消耗資源，都會逐漸對全球生態系產生破壞的壓力。生態工程是設計永續性的系統，考量生態原理，並整合人類社會與自然環境間的共通利益。

有機物與其生存環境的關係，設計時複雜的變化與不確定的強制過程，將會對自然系統產生壓迫行為。成功的生態工程，需要與生態原理相調和的設計方法論。茲定義五個設計原理，來管理這些實行中的生態工程，這些原理包括：

1. 設計與生態原理相調和。
2. 設計的位置與空間環境。
3. 維持設計的操作條件各自獨立。
4. 能量與資料的設計效益。
5. 瞭解設計動機的價值與目的。

一、設計與生態原理相調和

當我們模仿自然的架構與過程設計時，應與自然如同夥伴而非干擾、征服或支配。透過生態系連續的過程，自我組織便非常明顯。Todd（1994）描述生態系如何變得成熟、組成份子間多樣化與複雜的連結，並利用簡單的結合與型態來說明現行的設計措施。設計非常容易產生騷動與失敗。Kangas and Adey（1996）提出生態系自我組織清楚的過程，且提供試驗單位用以決定生態工程與恢復生態學。

生態系的特徵為複雜與多樣化的自我組織，生態系統在時間與空間過程中，為一複雜的架構、多相與混雜、不均勻的出現與間斷的構造，生態系不只作用在單一穩定的平衡上。永續性生態系最大的作用空間，需要為接近一單獨平衡點的設計措施，Holling（1996）利用這種觀念提出「工程復原」與「生態復原」兩種名詞。「工程復原」表示在混亂後系統抵抗由平衡點移動與其能多快恢復的程度；而「生態復原」則反應生態系在它改變自身結構與功能前，所能吸收多大的騷動程度。

生態系現存的平衡狀況，應包含生態復原的範圍。兩種復原的差別是非常重要的，因為經營策略往往強迫生態系運用較多的工程復原，而導致生態復原的流失。系統經營是以產生調和與單一物種的高度利用，並減低作用力與架構生態復原的多樣性需求。多樣化系統是較具生態復原且會持續演進，多樣化能藉由物種的多寡、物種內的基因變異性與作用上的多樣性來清楚表示；在系統中一定數量的物種或過程能從事類似的功能，如果一個減少，則系統中的生態復原便會填滿其餘空缺的分佈。保護多樣性通常也提供抵抗不確定因素的風險，設計包含生態特性的系統應脫離一般工程措施，寧願設計得較為生態性，也不利用工程復原方法，並給予系統多樣性、複雜性、自我組織及充分發展與演替，使設計能類似生態系，並利用相同且合適的措施持續作用。