

台灣林業歷史課題系列（三）

—台灣林道設施大檢討

文 姚鶴年 林務局胥休簡任技正

一、木材運輸之意義與特性

木材運輸，就廣義言，是將原木輸送至裝卸轉運、貯售、製材或加工（製造）處所之全部作業。自伐區至運輸路線裝車點（盤台）之初段運輸稱為集材作業；自裝車點運出林區而銜接公用運輸路線，或運至林區內外所設土場或楞場，以備轉換運輸工具至抵達貯售、製材或加工處所之後段運輸稱為運材作業。運輸路線利用自設林道或短距離公用道路運達貯售處所者稱為內部運輸或林業運輸，是為營林活動之一環；售後運輸包括陸海聯運，則是外部運輸或社會運輸或商業運輸，與一般商品運輸殊無二致。

若製材、加工或製造處所設在林內或離林區不遠，常不需裝車點、土場甚或貯售場之裝卸作業，不必分段集運木材，此為中國大陸、蘇聯、歐美加等國常用方式，此點關係於木材生產成本之高低。據中國大陸概括統計資料，森林企業中，林道設施及車輛購置費用占固定總投資額30-50%，投產後木材運輸成本又占生產總成本額30-50%，因此林業於投產之前應科學地進行運材方式及運輸

類型之抉擇，道路網路之佈設，運輸工具之選配，道路設計之衡酌，流放河道之整治，以及投產後科學地進行運輸管理，包括集、裝、運、卸、貯、提各工序之銜接與運輸管理之配合，以有效地抑制運輸成本。

木材運輸有異於一般商品運輸特性：

規模大、距離遠

年均運材量（ m^3 或 mt ）與平均運距（ km ）之乘積（ $m^3 \cdot km$ ）為年周轉率（turn-over），以為決定林道類型及設施規範之基本數據。

木材之龐重性

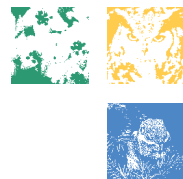
木材龐大沈重，決定林道設計、裝卸機械與車輛規格。

木材之沈浮性

多數木材（大部分針葉樹材與全部竹材）之比重輕於水，此可決定漂流（趕羊）紮障（筏運或拖運）、水池貯木等作業方式及設施之引用。

貨流之匯集性

每年可伐林木不集中，單位面積之蓄積量全球平均 $110m^3/ha$ ，大陸 $79m^3/ha$ ，台灣



162m³/ha (30,000萬m³/185萬ha)，各伐區伐倒木集材至運輸路線，經由林道網絡（作業線、支線、幹線）及外部運輸路線（陸海聯運），將巨重木材運抵貯售場所或加工廠。

中國大陸統計資料，林道幹線（由第一支線口至貯售場之一段幹線）在路網總長度中僅占5-15%，但年運量最大，等於全線全年總運量（100%）。運材車輛每年在幹線之運行路程最長占全里程之60-80%，故幹線之設計規格標準應為最高，以期行車速、耗損低、阻滯少、效率高。林道作業線（岔線）之總長度高占路網總長度之55-80%，但車輛運行路程最短、僅占2-10%，其設計標準最低。支線約占路網總長度15-35%，設計標準高低居中。狹義之林道專指卡車道路。

作業線之臨時性

大陸北方林區冬季臨時設施之「凍板道」及夏季設施之枝桠路，南方林區臨時設施之便道等，均利用為運材之作業線。近年林業多元化，加強育林、保育與林地管理等任務，林道網密度增加，原有臨時性作業線常經整修為長期性營林設施；不能如此者，則予就地復舊造林。

貨流之單向性

木材運出林區具貨流之單向性，反向貨流僅為生產器材與生活物資，其數量有限，為難以更動之事實；補救之道：

- （1）林道坡度設計考慮「逆上坡宜緩、下大坡宜短、下緩坡宜長」之原則，保持適當車速以提高重載行程之載量；

- （2）運材車隊空載行程盡量採取「載運掛車回空」方式（僅適用於運材聯車之回空），以節省器材消耗；

- （3）農林交錯地帶盡量利用空載車攬貨措施，增補收益。

重載車下坡性

山林產品其運出自必為下坡性；大陸北方林區多在丘陵地而坡度較緩，可容許較大載重；南方林區坡度陡峻，路線彎曲，載重受限，且難以聯車運行。

路線之深入及推延性

森林開發係由近而遠，由淺而深，由外而內，路線逐年延長，脈絡逐年周密，故有林道網之構造。

二、木材運輸類型之發展

林業經營者根據各林區的社會、經濟、自然等條件之調查規劃，經成本分析及技術可行而作運輸類型之選定；若干年後，當社會、經濟、技術等條件異動，則運輸類型亦隨而變異。木材運輸之原始階段，一般係以人力、畜力、下坡重力及其他簡易工具進行拖拉、滑滾，並利用冰運、水運等方式；其後因應工業文明之發展，逐漸演進為軌道、索道、鐵路、輪船等運輸，有水道漂浮之利者繼續行其水運。再後由於汽車工業進展，木材運輸即改以「卡車林道為主而森林軌道為輔」之類型。

我國大陸地區廣泛採用陸運與水運，二者略成3與1之比例，北方林區幾全為陸運，南方則以水運占47%，陸運占53%；大陸之

空運與管道運輸（木材），則未著手開發。大陸北方林區尤以東北及內蒙一帶，1960年代中期以前原屬水陸併進之運輸類型，此後水運漸減，現幾全為陸運所取代，因陸運機械化程度高、受自然條件制約小，機動靈活、效率高、耗損小，更能雙向貨流，加強林區整體經營活動；但南方林區以其水資源豐富、節約能源等投產優勢，所應採行之運輸類型乃為：「宜水則水、宜陸則陸、水陸併舉、因地制宜」。但無論南北，運輸設施現已以卡車林道為尚，鐵道與林道之里程比為1：3，在東北林區森鐵與林道比為2：3；新建林區一律選用卡車運材，不再採行森鐵運材。

美國木材運輸早期以水道為主，1852年紐約州為搬出白松材而首建森林鐵路10,800公里（標準軌距1,435mm）。由於汽車工業之興起，林道卡車運材逐漸取代森鐵，自1937年始行於西海岸之三州；1940年以後汽車性能加強，林道（狹義）浸假成為運材類型之主流，至1956年大量短線森林鐵路均已遭拆除，僅餘20餘條幹線，里程各為100-150公里，全長不過3,000公里；現時代森鐵幾全遭拆除無餘，林道駛行運材卡車匯入高速公路網。

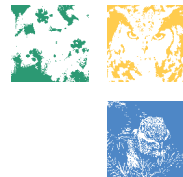
在蘇聯，1955年木材森鐵運輸達於顛峰亦僅占運材總量27%；1972年減至20%，80年代更減為12%；卡車林道於1933年時僅占0.3%者，1978年飆達73.5%，80年代高及85%，森鐵早已不再新建。

日本於1910年代為開發深山天然林而積極開設森林軌道，迄1945年為最盛期，森鐵

總里程達9,000公里。1954年以後大量採用卡車運材，運材路線深入林區腹地；又因集約方式之營林（造林、保育、林地管理），卡車林道益形發達，1958年林道總里程由8,500公里擴展至11,900公里，運材成本大幅降低，由戰前（-1945）占生產成本50-70%者落至30-40%，平均運距由50公里延長至100公里，對森鐵運材衝擊甚大。1960年以後，森鐵經營雖掙扎求存，銳意改進，仍難逃淘汰之命運，1968年森鐵總里程僅剩491公里。1977年統計資料：日本國有林林道總里程為43,018公里（100%），其中卡車林道42,008公里（97.65%），輕車道845公里（1.96%），牛馬車道107公里（0.25%），森林鐵路僅58公里（0.14%）。

我國除大陸東北林區最早由俄人興建輕軌森鐵運材之外，台灣以阿里山森鐵為最早，1912年初步完工啟用，曾有幹線110公里，支線7公里，標高差距達2,244公尺；全台則共有（含太平山森鐵及各林場運材軌道）能行駛機動車輛之運材軌道263公里。

綜上森鐵與林道兩種運輸類型優缺點之比較，並就中美日蘇各國木材陸運發展趨勢以觀，肯定是卡車運輸不斷進展，森鐵運輸不停衰退。民國42年（1953）6月17日，全省林務工作檢討會就41年度林管局所擬「大雪山開發草案」，否決依傳統「架空索道及森林鐵路」運材方式，改為開設卡車路至伐區以作現代化經營，由林管局專案辦理；7月經派員實地勘查卡車路線，認定自東勢中坑坪起沿橫流溪經稍來山進入伐區一線，最為理



想。橫貫公路森林開發，亦採行卡車運材。

卡車運材優越性能及營運管理技術研發，使林道卡車運材業務如日中天，國外鍾情「全木運材」之發展者，有蘇聯、奧地利及其他北歐各國；據奧地利經驗，原木（段木）生產成本為100，則原條或全木生產成本為85及70，因之該國在1980年時全木運材占總生長量6.4%，預計在1985年可昇達10%。

三、運材線與集材綑

伐區集材距離有逐漸縮短之趨勢，因其耗用器材、勞力、時間之作業成本極高；一般以延長林道作業線（岔線）之方式取代集材，所需研判者，作業線在該伐區之延長度究宜若干。大陸林區林道工程設計規格：甲類地區作業線在困難條件下最大坡度可達9%，乙類地區作業線在困難條件下最大坡度可達14%；一般國家林道於困難地區之最大縱坡，挪威規定為16%，美國於林道支線為14%、作業線為18%，蘇聯南部山區之林道縱坡為14-20%。在台灣，甲種林道之順、逆坡度各為10%（必要時得增為12%）-5%（必要時得為-6%），乙種林道各為10%（12%）-6%（-7%），丙種林道各為15%（15%）-7%（-7%）；作業線為臨時林道，其規格更低於丙種林道。一般言之，凡於自然地表條件許可，或略施土方工程、或稍予延伸後，即能滿足林區林道工程設計規範所容許之最大坡度者，作業線應可深入伐區而取代集材線；但如林道一段兩測點間標高差距過大，雖可設計挖方降低高程，或延伸路線

長度降低坡度，仍因施工、維護、營運費用高昂而使採運總成本提昇，亦非所宜。經各國對此研究所獲結論，歸納為：

- 1.當地表自然坡度在15-20%以內，林道作業線均酌予延長深入伐區腹地以縮短集材距離，其坡度平緩者且可不必集材，由卡車直駛伐木現場逕自裝車運出，效率特高。
- 2.當地表自然坡度在20-40%時，不宜以林道作業線取代集材線，歐美國家常於此坡面以具有爬坡力之拖拉機（Tractor）集材。
- 3.當地表自然坡度大於40%時，最宜採行架空線集材，其機械功量最少、速度最高、燃料最省、地表破壞最輕微。

台灣南部丘陵地帶闊葉樹處分林班地，業者曾多隨意自闢林道作業線代替架空線集材，卡車直接進入伐區便利集運作業，實係破壞國土保安、違背承採合約有關規定之行為。近年，美加、日本等國，各以作業經驗證實，林道作業線宜採行傍山線而不沿溪線，此可有效地利用卡車之爬坡能力，節省林道設施及維護費用，但路線較延長。

若干林業先進國家，由於林道網密度增加，導致長距離集材線逐漸減少，固定式絞盤（捲筒）集材機逐漸被移走式吊架（Boom）集材機所取代，可從作業線兩傍直接集材，因而大幅減省固定式集材設施之裝卸工程。更為提高作業線效率，研究採用套鉤或鉗鉤（Hook、取代捆材索）遙控式吊運集材車，集材線長度更將縮短至300-500m，多跨徑（段數）可成為單跨徑（Span）。集材作業方式之發展趨向，固定承載索式集材

及運材架線漸減，移動承載式（不架線）集運材車用量漸增。

然因減少架空線集材而增加林道網密度，勢必增加關建及維護工程費用，導致木材生產成本及水土保持之不利，是以部分國家之林業經營寧維長距離或多段集材作業方式。我國大陸地區是少林國家，負擔維護自然環境、保障農業生產之重責大任；架線集材方式既能維護國土安全，因而發展架空線式集材甚至索道運材作業，具有特別之意義。大陸林業科技人員正推廣移走式吊架集材機、遙控式套鉤集材機，研發氣球吊運材甚至飛艇運材（廣東省曾有以直昇飛機運材之案例），有相當程度之進展；但基本上目前大陸仍致力於研採設施「作業快捷、維修省費、高效低耗」之架線集材作業機制。

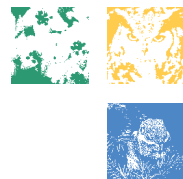
四、林道網與林道密度

近代機械採運作業進展迅速，完備之林道系統日趨重要。日本各大學林學教授曾於1964年4月成立專案小組，研議日本所需用之理想林道密度（Forest road density），作為林道網（Forest road network）之構成基準。現代化林業經營，應建構於完備之林道網，因國家經濟政策要求森林資源對國民福祉發揮最有效而永續之功能，其途徑有四，宜兼顧不應偏廢：（1）直接效益之木材生產與利用；（2）水源涵養與國土保安；（3）森林遊樂與自然環境保育；（4）提供地方社區或山村之發展助力。在木材之生產及利用方面，林木採運（Logging）實為主要程

序，因機械作業可抑制成本，而機械最大投資部分在於集運設施，故機械作業之推行須有完備之林道系統與其配合，否則「最低成本與最高利潤」之事業企求無法實現。又林道系統可稱經濟林之最基本設施（Infrastructure），林業改進措施首重林道建設之投資，由林木採運之便利，可帶動森林經營之集約與森林管理之加強。

他如水源涵養方面，以台灣的氣象、山勢與地質之特性，以及水力發電所佔能源之重要性，水資源生產應與理水防砂、造林更新等工作併同處理，而如無完備的林道系統，此等工作難於有效進行。自然環境保育方面，已成現代林業經營之重點，但常因過度而偏頗的遊樂事業導致自然環境的大幅破壞，形成矛盾複雜問題，故應發展完備的林道系統，以疏散群眾遍及全域，勿復集中少數點線。至於山地社區發展方面，因林業勞動力多由近區供應，林業亦有助於近區的發展，並由於國家經濟成長，人民收入增加，生活水準提高，使山區教育、衛生、社會福利等均待推進，林道系統自為山區發展所需求的重要設施。

林區之應有林道設施，猶如人體之應有血管系統，都屬運輸作用；血管有動脈、靜脈與微血管之分，林道則有主、支林道與作業線之別。廣義的林道包括山地軌道、索道、森林鐵路、木馬道、牛車道、卡車路，以至水流道等，但近年最有效的運輸工具則為卡車（Truck），一般林道設施僅指狹義的卡車路（Truck road）。林道即卡車路的發展



程序為：最初開通林區外的開發道路或聯外道路（Access road），主為公路以接觸林區，其本身不屬林道網。其次為築成林區內林道網骨幹的林道主、支線，以求永久性經營與保續性生產的實現。最後為補充林道網絡的作業線，用以提高運輸能量及經營利潤，加強林地管理及作業效率。

林區內林道網的結構，係以林道間距（m，林道平行間之平均垂直距離）或林道密度（m/ha，單位林地面積中平均主支林道長度）來表示，由林道間距或密度可以判斷林地經營的集約度與營利力。據知西方國家山地林道密度約為20—40m/ha，即林道間距為250—500m；平地林道密度約為40—100m/ha，即間距為100—250m；至於作業線密度則為100—150m/ha，即間距為67—100m。林道密度或間距在一般情形（如本省南部丘陵地闊葉樹處分承採作業），常決定於集材是否便利與成本是否低廉兩種因素，但合理的規劃仍應基於素材、運材與策略三種工作的合計最低成本法（Minimum Costs），詳見作者所撰「林木採運規劃」一書。就台灣現況，最大林道密度或最小林道間距，須能於國土保安限制範圍內獲致最高林木處分價金（林木售價減去生產費用後殘值），據研究報告，若能採取「容許最大林道密度」（Allowable maximum road density）的觀念，則林道密度發展應可較「一般實際構成」者或最低成本法算出者，提高許多。

一般實際構成的林道密度係受下列各種因素之影響：地形、地物、地質、土壤、氣

象、植生、樹種、更新法、蓄積量、生長量、作業方式、築路方式、勞力供應等，其中以關係於地型條件（Terrain Condition）者較之關係於林況或作業條件者更為重要。台灣可供作業林地的地型為自丘陵以至山岳，類皆地質脆弱、豪雨集中，致築路與集運困難，工作成本提高，國土保安顧慮甚大，故應依地型種類以決定最適當最經濟的作業方式與林道密度。按地型影響於築路與集運工作之最基本因素莫若地表坡度，他如地面崎嶇與障礙物體，河谷溪流與地面沖蝕，以至岩石、根株與下生植物等項，亦具較大影響力。前敘日本林道網專案小組曾研取地表坡度三份（比重75%）與地面狀況一份（比重25%）的綜合值，訂定「地型指數」（Terrain-index）四級，由各級地型指數以決定最相適應的作業方式與林道密度：

- （1）**地型A** 地型指數為20以下，屬平坦地形，築路容易，適用卡車林內集運與林外運材，林道密度30—50m/ha。
- （2）**地型B** 地型指數為20—40，屬丘陵地形，築路難易居中，適用拖拉機中短距集材與卡車運材，林道密度20—30m/ha。
- （3）**地型C** 地型指數為40—70，屬山岳地形，築路困難，適用架空線中距集材與卡車運材，林道密度10—20m/ha。
- （4）**地型D** 地型指數為70以上，屬嶮峻地形，築路非常困難，適用架空線長距集材與卡車運材，或架空線短中距集材暨軌道與卡車承接運材，林道密度5

10m/ha。

據指出，日本經濟林平均應有20m/ha的林道密度，實際僅約5m/ha，將以12.5m/ha為最低目標密度構築其林道網。

羅紹麟教授等關於「適中林道密度之研究（1984）」，強調以損益平衡觀點（Break-even Point）來決定最適性林道密度，其考慮因素分為效益與成本兩方面：

1. **效益方面**：（1）使用林道之頻度（人次），（2）森林災害時防救效能及損害量質之程度，（3）促進地方經濟發展之程度，（4）節省宿寮至工作區之時間，（5）便利造林覆蓋所致涵養水源之效能，（6）便利造林後所致國土保安之效能，（7）集材制約、運材便利、林地管理之效能。
2. **成本方面**：（1）運材開設之總成本，（2）林道經常維護之成本，（3）土地使用價值之提高程度，（4）外部污染成本（含土壤沖蝕、空氣及噪音之污染），（5）人為災害損失（含火災、盜伐盜運、濫伐濫墾）及其取締成本，（6）生態破壞之損失（可以復育復原成本計算）。

以上計算結果如獲成本等於效益時，所需林道之密度即為在長期經營（保育基準）下之最適當林道密度。羅氏研究以林務局東勢林管處為例，其林道密度經目標規畫後，適中密度為林木採運5.64m/ha，水源涵養1.68m/ha，森林遊樂15.60m/ha。

日本國有林總面積17,640,000公頃，計畫開設林內道路總里程134,600公里，目標林道密度為13.1m/ha（既設11.8m/ha，待設

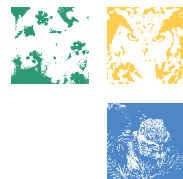
1.3m/ha）；民有林總面積17,300,000公頃，計畫開設林道317,600公里，目標林道密度為18.4m/ha（既設11.2m/ha，待設7.2m/ha）；合計全國森林總面積34,940,000公頃，計畫開設林內道路452,200公里，目標林道密度16.76m/ha，訂於1984-2003年間完成。另據資料，歐洲三國之林道密度：

瑞士7-54m/ha（平均29m/ha），奧地利8.6-33.3m/ha（平均30.3m/ha），瑞典7.1-20.8m/ha（平均11.6m/ha）。

台灣資料，據民國67年統計，全台省道、縣道、鄉道及產業道路之總里程為17,357公里，其總平均密度為4.86m/ha；全省林道總里程為2,940公里，以全省林地總面積172萬公頃計算，平均林道密度僅得1.71m/ha，其數值雖遠不及日本及歐美各國之現有標準，但就台灣山地崎嶇、地質鬆軟之情況而言，已屬難能可貴。以上5種（省、縣、鄉、產業、林業）道路之合計，如以全台總面積357萬公頃計算，其平均道路密度為5.69m/ha，或每平方公里為0.569公里。

民國72年林務局各林區統計各種林道285條、全長3,682公里中，可用林道為86條、全長2,298.5公里，林區面積1,572,538公頃，林道網密度1.46m/ha。民國80年各林區統計各種林道140條、全長2,683公里，削減為87條、全長2,120.74公里，林區面積1,559,274公頃，林道網密度1.36m/ha。

前台灣大雪山林業公司採運林道網曾計畫為15m/ha，前森林開發處採運林道網曾計畫為5m/ha；全台林道網平均僅約1.5m/ha。



台灣適用之林道網密度，如以林木採運為目標，固可設定為7m/ha，乃以上下方各2段集材，各段集距以375m計算；實際進行則須因地制宜，研究區分地形指數，設定林道網密度範圍，規定適當作業方式，以便各伐區作業計畫能符合效益與成本之要求，更使台灣林業經營獲致一重要之基準數據。如以生態林業經營為目標，則2m/ha以內林道密度為宜。職是之故，台灣林道網政策亟需確立。

五、日本運材作業發展之趨勢

日本近年來之木材生產，益趨採行擇伐作業與前更作業方式，原行人力作業已迅速改為機械化作業，皆因自然環境保育與山村人口外移之實際需要。日本昔以架線作業方式為主，尤以天然林多位於深遠內山，交通不便且地形複雜，架空線集材運材被普遍採用。近年因機械性能之不斷提高、產業道路之普遍開設，自各國引進之各種林業作業機械及車輛，多已改良成適合日本地況與林況之獨特型式，而發揮其性能於林木之採運作業。90年代日本採運作業之三種型態：

集運車輛作業

使用於緩坡至20°之傾斜地，若開設林道即可上坡至28°，併集材與運材而為一，日本全國木材總生產量之1/3係以此方式達成。所謂車輛（Vehicle），除大型拖拉機（Tractor）外，另有相當於台灣鐵牛（拼裝車）而具3-4輪之林內作業車輛，在小規模經營民有林之皆伐或疏伐作業區內，駛行於狹幅之林道，載運小徑木材、香菇等主副林產

物。

架線集材作業

使用於20°以上之急坡地，日本全國木材總生產量2/3係以此方式達成；所謂架線，包括不架線之地曳式，半架空（有主柱無尾柱）之高曳式，全架線（有主柱及尾柱）之維森式、落轆式、泰勒式、北彎式、鄧漢式、李吉屋式等，執行伐倒木或造材木之集材作業 木材生產之初段運輸。日本政府曾特別立法，以政府預算經費補助民有林之林業機械化及有關事業之運輸設施。

車道運材作業

簡易索道原為日本民有林（與公有林為70對30之比）所普遍採用之運材設施，各種架線之最高數量，輕型者9,124處，中型者8,788處，重型者6,505處。其後由於卡車林道之迅速發展，普及於全林地而促成拖拉機及林內作業車之大量使用，占全國木材總量之1/3。但以伐採作業之深入內山陡峻地區，並受社會重視保育自然環境之影響，除輕型架線漸為車輛作業所取代外，中型架線仍有7,000處，重型架線仍有4,000處，另有曲線作業索道650處。

索道運材常與鐵軌運材相銜接；日本森鐵之全盛期在1945年，其時木馬道有5,484公里，山地軌道687公里，森鐵總里程9,000公里，機關車100部以上；1960年代起森鐵運材即漸為林道運材所取代。卡車林道之開設，由人力發展為機械力，由簡易機械發展為高效率機械；隨卡車林道延長，每年維護費用必然增加，因而推動維護機械之發展。

日本與台灣之地形、地勢最為接近，日本有一項資料可供台灣參考：1978年日本林野廳全年總經費6,425億圓，約有1/5（260億新台幣）用於林道事業。林道經費占總造林事業費之11.02%（1974-78），占國有林治山事業費用之7.10%，占林產處分林木售價總額之7.00%，足見林道開設之重要性。日本國有林林道以國有林野事業經費支付，民有林林道則分為輔助林道、融資林道及自費林道三種方式完成。日本曾於過往1967-76之10年間，完成國有林林道13,081公里，民有林林道24,420公里；民有林道之自費林道僅633公里，融資林道僅359公里，而補助林道（經費來自國庫、縣庫）高達23,428公里（96%）。1974年起，為提高民有林既設林道之品質，對林道之改建鋪裝亦由國庫補助經費；1975年起並對「廣域基幹（兼具廣度及深度）」之主要林道，於設計施工前作環境影響之評估；1976年起更對規模較大之普通林道，亦作環境影響之評估。

林內林道網之密度愈高，開設及維護所需費用愈多，但木材搬運與育林管理費用則愈少，故林道網計畫之效益評估係以總成本支出為準繩。1978年之例，林道開設費用之分攤（1977年）以林道整備費用占87.50%，木材生產費占11.03%，銷售與育林共占1.47%；林道維護費之分攤（1977年）以木材生產費用占67.27%，育林費用占32.28%，銷售費用占0.45%。林道之開設，在造林事業（1978年）上、總長度與造林作業面積之比率全日本平均為3.21m/ha，在林產處

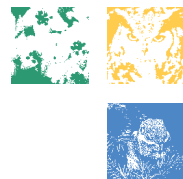
分事業（1975年）上、總長度與處分作業面積之比率全國平均可達109.54m/ha。

六、索道運材

架空索道（Aerial Cableway）為山岳地帶工礦業及農林業資材之供應、生產原料之搬出以及客貨交通等重要設施之一。索道創始於東方之中國、印度、日本等地，採用索道運輸之動機，乃為人類行走於山谷間，遇峻峭溪壑無法通渡時，乃利用植物性蔓藤作成架空之索道，早在三國時期（1770年前）就有關於「飛山過谷」之記載，此即今日之索道；其後改用麻繩並傳承於歐洲，復因產業進步而採用鋼纜承載，推廣效用。

索道運輸，係藉木材等貨物本身重量而產生之勢能或位能，以輸送（下放）貨物及人員上下。架空索道之較簡單者為自走式（non-hauling cable type），其次為交走式（Jig-back or to-and-fro type）。二戰期（WWII）後由於部分航空工業轉型為製造產業機械，促進林業機械及作業技術之高度發展；多年以來世界各地由於產業需要而努力改進索道設施，多採行合理的連載循環式（Circulating type）索道之趨勢，並推及於森林遊樂事業（客運）。

台灣省林務局蘭陽林區所轄太平山、大元山二工作站及大甲林區所屬佳保台、新八仙山二工作站，昔年所採用架空運材索道均係日據時期所構建之交走式索道，專為開發高山林區而設計，僅適用於短徑間之直線運材，並需用技術純熟之操作員。此種設計為



增加作業效率而將運行速度提高至40-70KPH，即每秒鐘11-20m，因此對曳索、滑車、制動機之磨損甚大，且不能架設長距離之索道。其距離（斜距）因受鋼索構造及強度之限制皆不能超過2,000公尺，故採用交走式索道而供長距離輸送者須以多段索道相連接，如太平山工作站多望溪土場與茂興線、三星線相會起點之間，有鳩の澤索道（斜距950m、平距845m、高差356m），白嶺索道（斜距1,107m、平距988m、高差468m），白系索道（斜距946m、平距837m、高差424m）之三段架空索道，其間有4,580m、3,920m、3,200m、1,200m之四段山地軌道連接，接長合計有3,003m架空索道及12,900m山地軌道。大元山工作站之運材路線中，羅東鎮與古魯土場之間為1.8公里之卡車路，其上方有古魯索道（斜距737m、平距657m、高差343m），大元索道（斜距467m、平距420m、高差210m），翠峰索道（斜距767m、平距701m、高差314m），晴峰索道（斜距878m、平距757m、高差333m）之四段架空索道，其間有3,500m、3,600m、4,000m、4,700m之四段山地軌道連接，接長合計有2,849m架空索道及15,800m山地軌道。八仙山佳保台工作站之運材線，昔亦採用斜距1,150m、1,276m、526m之三段架空索道，其間亦以7,020m、220m、7,200m之三段山地軌道相連接，另有三段伏地索道（Incline Cableway）接長2,191m之使用。

我國大陸林業界以架線集材（Cable

yarding）與索道運材（Cableway hauling），合稱為林業索道（Cableway）；集材與運材經常混稱而無區別，有些觀念問題。大陸林業界以索端固定增力方式之索道應用較廣，使用架線型式計有：單線循環式，雙線循環式，單索循環式，單線交走式（以上為運材架線，以下為集材架線），單線人拉式，牽引起重增力式，半懸式，鬆緊式，運行式，拖集式，組合式，氣球集材等，計224種名目；近年來，全懸（主、尾柱均架線）伐倒木集材線式發展較速，集材動力多為固定式絞盤機（Yarder）。

大陸林業索道依集運距離分為三類：

- （1）短距集材索道（架空線式），以Slackline式為多，集距600m以內，台班（每作業機組平均日）工作量20-30m³；
- （2）中距集運材索道（集運架線式），集運距500-1,000m，使用絞盤機增力，台班產量40-50m³；
- （3）長距運材索道（林道或軌道間聯運架線），分段聯運距離1,000-3,000m，為簡易式間歇發送循環，台班產量60-80m³。運材索道架線工程量大（1,000m長度索道約耗40-50工日），技術要求度高，多數地區已先後淘汰不用。長距離、多跨徑間拐彎（曲線）運材索道，亦因架設困難、移轉不便，難以推廣應用。

大陸自1950年代開始引進林業索道集運

材作業，迄1979年計有各類型索道（集運材不分別）3,047條、接長2,814,000m（平均集運長度923.5m），已達飽和，1982年以後未再增長（應專指運材索道）；但南方林區人工林將逐年進入主伐，東北林區所謂「摘山帽」作業甚多，1990年代林業索道仍有發展之餘地（捨此莫由）。

全球各地對木材之需要量仍趨日增，平地林伐採已近絕跡，惟有開發深山遠林；德國、法國、瑞士、奧地利、義大利、加拿大等歐陸各地及台灣、日本等多山岳林之地區，均受開採之壓力。日本高知縣民有林曾採接長4,350m之7段直線索道相連，山梨縣早川人、多年前更曾有接長10,000m之9段直線索道相連，均為受地形限制而技術無法克服之結果。

出岳林之開發，集材機、索道、卡車為必要設施，因應山岳複雜地形地勢而以中繼方式長程運輸，索道在所必需；架空索道以鋼纜為軌道，徑間必須為直線，但峰迴路轉處，運輸索道必須以曲線方式分段架設，始能達成運行目的。

曲線索道架設使用之利因如下：

克服複雜地形地勢

深山林地常屬急峻險惡，新設或延長林道均非易事，採用木馬以行集運材，經濟效率極低；至於多段連接或中繼之集運，亦非最適之運送方式，若有自由轉向彎曲之索道架設，克服地形限制及斜度，使用最小動力及制動，既便且利，為林業經營者所樂見。

適應迴避重要地物

社會發展所趨，山區亦常見高壓線路及塔架，觀光及產業道路甚至高速公路或鐵路等設施，如不能安置保全系統，惟有設計迂迴通過，則直線索道遠不如曲線索道之省時、省費、省力。

避免用地糾紛及補償

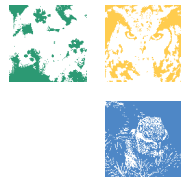
索道或其支架通過他人建物、農地、林地，造成業主之安全或損害問題，釀成糾紛涉及賠償，影響運材作業進度及經營財務收支；曲線索道能規避或減輕此類問題之發生及損失。

運材作業之正常合理

運材兼顧集材作業終屬勉強而不合理之舉；運材應以架空索道、載重卡車、山地軌道等專用機械設施為經濟有效；多段集材直線索道之首段固為真正之集材，其餘各段皆應為運材作業，其因地形限制必須設計曲線索道以取代多段（第二段以下）集材作業，始為合理，集運作業之經濟有效必將大增。

節省設施及作業費用

林道卡車運材雖屬現代最有效率之作業方式，然於山區開闢長距離之林道，其新建及維護費用投資龐大，且有破壞水土之虞；故如伐區林木蓄積不豐盛，即使衡以其他管理建設等效用而非顯著有利者，亦難設施林道而偏向於曲線索道運材，甚或多段直線索道集材，其設施及作業費用皆能節省。吳順昭教授曾為日本高崎營林署設計助の澤多線運載循環式索道，配合首段集材架線，能運行數公里距離；成本計算、較之原用4段直線集運材作業方式，每 m^3 省美金1元，搬運之



全部材積20,000m³，可省20,000美元。

民國68-69年間，林務局木瓜林管處曾派員赴日本研習「造林木撫育間伐曲線型單線循環式集運材作業」，在林田山事業區完成「曲線型循環式造林木疏伐集運材作業試驗」，於3小區內設施支柱108株，架設循環索2,870m，未另闢集運材路線搬出原木420m³。但政府推行森林資源保育政策，年伐量大幅降低，64-65年之伐採量各約為110萬m³，66-78年間伐採量自90.4萬遞降為26.4萬m³（77年度完全停止直營伐木，僅有標售處分）。民國79年10月政府公布「台灣森林經營管理方案」，訂定每年度最高伐木限為50萬m³，80年度11月修訂為以不超過20萬m³為原則（每一伐區皆伐面積不得逾5公頃），全面禁伐天然林及水庫集水區保安林，生態保護區、自然保留區、國家公園，以及無法復舊造林地區之林木；他如實驗林或試驗林，則非因研究或造林撫育之需要，亦不得砍伐。職是之故，運材索道即使有曲線運作之功能，亦屬英雄無用武之地。

七、台灣林道設施與利用

光復初期（訖民國37年3月）林務局之林場作業，包括伐木造材、集材裝車、運材卸材、販材製材等工序，其中集材、運材、製材皆已以機械取代人力，其規模之大全國尚屬罕見，阿里山林場設施森林鐵路始自1905年，尤稱遠東之冠。集材方面以用蒸汽發動機為主，每機組配備80匹及50匹馬力之集材及裝材機（絞盤或捲筒），燃料則就地取

用薪柴或造材屑材，每架集裝材機以李吉屋（Lidgerwood）架線方式須配備鋼索4,400公尺、鋼料5噸，用以架集2,000公尺範圍內造材木。運材方面有：（1）手推台車運行之軌道25公里，手推台車計370輛；（2）行駛機車之鐵道263公里餘，使用蒸汽與汽油機關車共68輛，貨車（運材台車）1,400輛；（3）伏地索道（纜車軌道）2,191公尺，傾斜度均逾30度；（4）架空索道33段，每段長約1,000公尺，需直徑為32及18公厘之鋼索各2,200公尺，直徑12公厘之鋼索1,200公尺，鋼料13噸；（5）運材卡車以當年卡車路不發達，僅竹東林場及太平山林場之大元山分場使用卡車運材（山下），時僅14輛。

前此之日據時期，望鄉山土場至水裡坑間之平地運材係利用台車軌道以人力推送；光復初期繼續採用，至民國39年起台車軌道改為林道，以卡車運材。民國40年底林產管理局各伐木林場主要集運材設施數量：架空索道接長31,998公尺，森林鐵道及台車軌道277公里，動力機關車72台，運材台車650台，運材卡車33輛，其他各種車2,195輛，集裝材機60座。

早期政府直營伐木，生產材中有部分以山地自取材名義用於森鐵軌枕、橋樑駁坎、索道支柱、工作宿寮等之興建及維修，均屬針葉樹材。民國37年資料、六林場自取材合計8,361m³，太平山、阿里山、八仙山三大林場合占8,226m³；民國41-45年間山地自取材合計18,280m³，其中阿場為5,291m³，太場為7,426m³，仙場為2,594m³；51年仍有自用

材1,618m³，逾半數（831m³）為太場所用；此因早期之作業型式，生產及生活資材器材多以就地取用為尚，亦為事實之所需。

民國45年阿里山林場楠梓仙溪地區新開發，全線以卡車行林道運材；48年起、大雪山林業公司與森林開發處分別成立後，全線均行卡車路運材，帶動林務局對卡車路林道之開闢利用。按民國42年6月大雪山林區開發規畫時，決定改築卡車路以取代傳統性之木馬路 索道 軌道運材模式，林管局亦曾作卡車林道與軌道索道運材之比較評估，決定變更傳統方式。

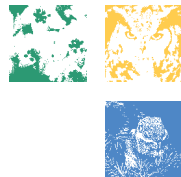
民國47年10月政府公布「台灣林業政策」，第3條訂定「為提高森林之經濟價值，現有天然林應在恆續生產原則下儘速開發，改造為經濟價值最高之森林」；第10條訂定「厘訂全省林道計畫，分年建築各林區交通幹線，開發不易到達林區資源，以利林業之經營，並充裕林業建設經費」。由於當時木材工業逐漸興起，對木材原料需求甚殷，天然林未能有系統加以整理，新造林技術正在引進等外在因素，造成日後伐木與造林之大規模動作 林相變更計畫之推進。國有林木處分計畫亦由業者開闢長距離林道，民國47年林管局台中山林管理所標售丹大事業區第8林班林木，由業者孫海之振昌木業公司得標承採，樹代金（處分價金）生產費用之查定係由業者開闢丹大溪林道42.3公里，作業結束後林道產權已經「償卻」由林管局收回。

民國48年農村復興委員會公布「台灣森林經營綱要」，規畫：易到達非保安林區之年

伐量，由民國49年之123萬m³提昇至88年之290.9萬m³，若計算全部（包括將來可到達）非保安林區之年伐量，則由民國49年之202.9萬m³可提昇至88年之479.8萬m³；為執行此大規模之伐採作業而發展一龐大之林道開設計畫（其時林務局每年僅能開設林道8.8公里），擬興建26條、全長936公里之幹線林道，分20年內完成33,511,000m³木材之採運，伐木跡地隨即以適當樹種造林復舊。

民國51年林務局致送世界銀行運輸調查團之資料稱：全局擁有森林鐵路（含軌道）325公里，卡車路主線212公里、支線128公里，運材索道接長24,100公尺。50年代林務局為開發新伐區、安置榮民（退除役軍人）就業，曾由局設榮民工程隊，於竹東林區興建大鹿林道全長77.6公里，巒大林區興建人倫林道全長52.3公里；60年林務局玉里林區興建光復林道全長66.5公里，另木瓜林區議價由國軍退輔會榮民工程管理處承建西林林道全長40.5公里。國有林木處分承標業者振昌木業公司曾開築丹大溪林道62公里，其後延長至78公里。

民國56-65年間林道開築條數達於巔峰，計佔總條數47%，此後則銳減（因林業改革方案之實施而限制伐木），至民國71年為配合森林遊樂事業之發展，又有相當程度之增加，以訖民國78年林務局之改制為公務預算機構，暫停新路線之開闢而著重於整修；今就可用林道總長度言：67年為2,949公里，70年為3,683公里，79年為2,443公里，80年為2,683公里。



民國58年農復會（JCRR）森林組執行一項「森林與農村道路建設計畫」（主執人康世卿技正）；其背景，乃因台灣地狹人稠，勢須開發中央山脈外山坡地資源，其間以森林為主，交雜農地，住民生活條件甚差，開發而照顧有其經濟目的與社會公道。專案研究結論、首應開設足夠之產業道路以增加或改進山村之可到達性；但台灣當時無力負擔此項投資（民國45-49年間中部橫貫公路開設348.8公里有美國軍援軍用道路計畫之支持），可謂心有餘而力不足。

上項產業道路計畫之3年先導期間（民國51-53年），美國480方案之首（51）年，就「以工代賑」計畫在台灣實施，農復會負責支援嘉義縣政府首條37.10公里產業道路之興建（自阿里山森林鐵路奮起湖站至嘉義市），其後擴及於其他地區道路之開設，均依林務局之乙種林道施工規格。此期中，共完成157.4公里之新建及75.1公里之拓寬工程。且為規畫未來實施之「糧食援助方案」，經考慮下列原則：（1）選擇最有效益之少數路段首先實施，而後逐漸顧及其他次要路段；（2）每一區域應研訂其路網密度（m/ha），標明其主要用途、經濟性、公益性抑或其他屬性。

本項產業道路計畫之全力推進期間（民國54-56年），力量及目標集中於南投、嘉義、宜蘭三縣，頗具成效，以訖美國480方案

「以工代賑」計畫之結束（1967），共完成產業道路52條、全長241.3公里之新建。

農復會產業道路計畫與地方政府之合作

或互動關係，乃由地方政府提供財務與技術支援，由道路沿線居民提供勞力與農工具；因路線選定恰當、工程規畫周全、符合地方福利，故居民皆樂於配合，全力支持。抑且因造價成本低、施工品質高，單位距離運輸成本降低約84%，山產品如林木等勢必因售價低廉而獲利提高，平地物品搬入成本亦必抑低而提昇山村人民生活品質；在此等產業道路未開設前，出入山區之運輸費用約占售價之半，致獲利低而售價高。

聯合國世糧方案（UNWFP）之接力：美國480方案結束（1967）後，農復會致力爭取聯合國世糧方案之惠台，仍選定於南投與嘉義二縣繼續支援產業道路之開設。WFP-428方案經民國57年（1968）12月獲批准，約有200萬美元之物資足以支付19條、281公里產業道路開設之工資（貼補工作者食品及其家人生活費），執行期為民國58-60年，其成效為：（1）完成17條產業道路通行卡車，增加農林作物面積1,432公頃，每年約可輸出農林產品105,287公噸投入市場；（2）每年約可節省運輸成本12億元；（3）有助電力公司輸電線之架設及電力供應，惠及山村家庭2,465戶；（4）17條道路沿線有學齡兒童1,244名，入學率當可提高。

由於世糧UNWFP-428方案首年（1969）執行之成功，乃於次（1970）年2月向聯合國申請延續實施，計擬築路46條、全長700公里，架橋57座、接長4,144公尺，世糧方案提供物資援助價值1,000萬美元。該延續計畫完成後，區域內產業道路密度可達10m/ha

(理想密度為35m/ha)，其副效益將可發展森林遊樂事業，並為其他開發中國家起示範作用。其後續發展無文獻可徵。

農復會策定機制、提供林道鋪裝改良經費之貸款：民國57年農復會開始貸款於、依台灣省公路局標準之瀝青路面鋪裝工程3.5公里，57-58之2年間共貸款完成72.7公里之路面鋪裝工程。至於經常性之維護，迄民國59年7月底，南投、嘉義二縣之山村產業道路計已完成維護500公里，其後續目標 維護完成1,000公里後可構成台灣山村道路網，但必伴生將來經常性維護費用及工資財源問題；雖依相關規定地方政府有其職責，但執行經驗、技術及財務，均屬力有未逮。農復會森林組計擬提供機械支援維護已完成開設之500公里，仍盼地方政府設法籌編財源，主持境域內產業道路之經常性維護工作，台灣省林務局則應自行負責其林道系統之維護費用。

另於民國53年6月，台灣又申准聯合國世界糧食方案（UNWFP）之物資補助，推行林相變更計畫，自民國54-66年間分期實施，合計於13年間、伐木處分2,756,541m³，新建林道687.77公里，造林新植38,723公頃。林相變更計畫執行期中，民國59年10月聯合國糧農組織（UNFAO）刊布「中華民國林業及森林工業發展計畫總結論」，建議將闊葉樹林相變更計畫列為最優先，造植優質高價之用材林，漿材樹種次之，加強運材林道之開設每年150公里。

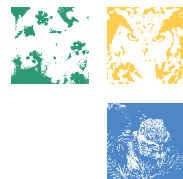
民國60年（1971）8月，聯合國糧農組織與瑞典國際開發署合作，在瑞典Hindas開

辦遠東區木材與林產物運輸中心計畫，泰、緬、馬來、印尼、南韓、菲律賓、新加坡及台灣，共可推荐學員20名參加，訓練課程有林業（伐木林道）森林工業、一般運輸業、勞工組織四大類目，研討木材及林產物運輸之趨勢，其目標包含技術性、經濟性與船運業務，其規畫包括林木生產、運輸管理、市場與銷售之設計，其處理方法及工具之發展，包括運輸成本分析、利弊得失比較等。聯合國糧農組織森林資源組曾於民國60年初函致台灣省林務局，但後無下文。

民國64年3月報載，台灣省政府宣布將於6年內築成產業道路500條、全長3,000餘公里，經費近24億元，經濟效益137億元；在全省整體經濟、水土保持以至林地管理立場，產業道路應與林道系統互相配合，不宜各自為政；本案其後亦無所聞。

台灣為一南北狹長之海島，中央山脈偏東縱貫其間，將全島分為西、東兩部（古稱前山、後山），在南北兩端相距400公里幅員中，現有3條可供東西連絡之北橫、中橫及南橫公路，每條相隔約100公里；近年政府為改善東西交通，開發山地資源，促進東部繁榮及發展沿線觀光，曾計畫新建中部3條橫貫公路（嘉義 玉里段，水里 玉山段，玉山 玉里段），全長計295公里。所有橫貫公路因皆穿越中央山脈（古稱內山）國有林事業區，對林業經營有所便利，但對自然生態保育不無干擾破壞之虞。

各國之森林經營昔年莫不以木材生產為主；林道初為運出生產木材、運入作業器材



而設，時至今日林道已為森林經營管理所必要之基本設施，諸如資源之開發、造林及撫育、森林火災及病蟲害防制、森林保育及遊樂事業等，均有賴適度開設林道以提高森林資源之利用價值、發揮森林多目標之經營途徑。台灣林道（卡車路、產業道路）構築標準（規格）之路幅寬度，甲種林道為5.4公尺，乙種林道為4.2公尺，丙種林道為4.0公尺，臨時林道（作業線）為3.8公尺；另森林鐵路路幅寬度3.3公尺，軌距762公厘，烏來台車軌道之軌距580公厘（採礦台車及五分仔車皆此軌距）。

迄民國72年3月台灣已完成林道計285條，總長3,682.771公里（含前大雪山林業公司158.200公里）；其中甲種林道9條總長174.720公里（5.09%），乙種林道32條總長505.617公里（14.74%），丙種林道84條總長1,186.527公里（34.59%），臨時林道（作業線）146條總長1,563.499公里（45.58%），經調查註明為林班處分得標業商附帶設施者計88.5公里，屬臨時林道，若非繼續使用則不施維護。另有森林鐵路及山地軌道14條，總長252.408公里，運材索道14條，接長18,672公尺；綜計林道密度為每公頃1.98公尺，較之先進國家實為遜色。

林務局於民國78年7月改制為公務預算機關之前，其業務重點已漸轉移，79年10月調查統計各林區管理處96條林道之總長僅為2,443.35公里，用途分為運材、造林、遊樂、林政及其他5種，計為運材之用者498.80公里，造林之用者2,256.66公里，遊樂之用

者420.91公里，林政之用者1,674.77公里，其他之用者75.85公里；同一林道得兼為數種使用，故其應用總長度為4,895.99公里。森林開發處各線林道338.40公里及林務局森林鐵路82.76公里，均不計在內。另統計、各林道經拓寬改善、鋪設柏油者11條，139公里。

民國80年林務局再就當時林道所經林區（1,571,872公頃）及其對造林、保林、林政、遊樂、林產、鑛產及山地交通等功能與影響力，詳予檢討而作效益之評估，將全省存廢林道140條、總長度2,683公里中，使用頻率不高或已失使用價值者，計53條、全長562.26公里予以封閉；餘依森林經營需要必須保留使用者，有主要林道14條全長308.13公里，次要林道37條全長1,283.87公里，一般林道36條全長528.74公里，合計87條、全長2,120.74公里，規畫「林道網建設及維護6年（81-86年度）工作計畫」，共需經費35.5億元，自民國81年度起分年編列預算辦理整修利用，仍須加強水土保持性能，作好邊坡穩定處理及坡面綠化美化。

民國87年林務局兩次就各林區內依林業經營及生態保育之需要性，將138條、全長2,643公里林道現況，暨遇豪雨坍方或致生公共危險之路段，全面展開調查其存廢價值，封閉其中使用價值不高之53條、全長346公里之林道，保留使用者85條、全長2,297.4公里，並依其重要性區分為：（1）森林遊樂區聯外道路及通往造林中心區之林道為主要林道，計16條、417.70公里；（2）一般造林地及林政管理所需者為次要林道，計41條、

1,276.60公里；(3)其餘林地巡視等需要能保持通行者為一般林道，計28條、603.10公里。茲按各該林道之設計規範區分：

1、公路六級道路

屬山嶺區公路，單車道者路寬6.0公尺，雙車道者路寬7.5公尺，縱坡度10%，平曲線25公尺，外側路肩1.0公尺；林務局計有東眼山、奧萬大、藤枝、翠峰等4條林道。

2、甲種林道

路寬5.0公尺，縱坡度10%，平曲線20公尺，外側路肩0.5公尺，林務局計有大雪山、八仙山等2條林道。

3、乙種林道

路寬4.5公尺，縱坡度10%，平曲線15公尺，外側路肩0.5公尺，林務局計有大鹿本線、出雲山、祝山、雙流、內洞、東勢林區220及230線、扇平、和平等10條林道。

4、丙種林道

路寬4.0公尺，縱坡度15%，平曲線15公尺，外側路肩0.3公尺，計有69條包括：(1)新竹處桶後、達觀山、大鹿支線、司馬限、羅山，(2)東勢處520、540、580線及裡冷，(3)南投處人倫、萬大、丹大、卓社、杉林溪，(4)嘉義處神木、楠仔溪、梅蘭，(5)屏東處壽卡、雲山、三民，(6)台東處延平、錦屏、知本，(7)花蓮處西林、萬榮、光復、瑞穗，(8)羅東處古魯、四季、武荖坑等林道。

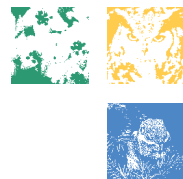
民國80年起施行之「台灣森林經營管理方案」，第3條訂定：公私有林之經營應積極作有計畫之造林及經營之輔導，對私人造林

給予補助以激發民間造林興趣；又第7條訂定：為加強森林經營管理之需要，新設林道應予整理規畫，提高設計施工標準，已設林道應作妥善之維護及水土保持設施。為此政府規畫執行一項「台灣私有林經營改善實驗計畫」，執行期81-86年度；以新竹縣橫山鄉大山背及竹東鎮上坪，南投縣鹿谷鄉小半天，嘉義縣竹崎鄉石卓，以及其他省內公私有林地區為實驗區，期滿(民國86年6月)後曾發布第一期執行成果報告。

上項台灣私有林經營改善計畫，其重要目標之一為「各實驗區內林道新闢及拓寬改善(90公里)」，以方便造林撫育、林地管理及林產物運出，林道路肩並種植花木以美化環境；又獎助區內林農在非林業上經營設施農業，以提高收益、回饋林業，改善林業經營環境。林道工程由林務局及水土保持局支援，加速區域內林道網之完成，並開設森林步道及整治坑溝，提供山村林農休憩地點。

私有林經營之遠景為：推展農林漁牧生產，生態旅遊休閒林業及鄉土旅遊農村休閒事業之經營，使私有林為精緻之經營，以富裕山村社區。建構高密度道路網絡，其聯外道路全部改為公路六級路面並鋪設柏油，其餘依水土保持局「農路設計規範」所訂標準開設，道路網密度以20m/ha為目標，並於營林區內開設1m寬度之作業步道，其開設及維護經費全由各級政府負擔。

政府對實驗區內有關道路之投入經費及所占總經費之比率，為南投縣內12,600萬元/26,056萬元 = 28.4%，嘉義縣內7,900萬元



/17,284萬元 = 25.7%，但新竹縣內規畫占用經費及所占總規畫費之比率為57,865.3萬元/71,407.17萬元 = 81%。據工作成果分析，三縣實驗區原設林道65.53公里，密度1.98m/ha；規畫新設83.325公里，密度15.23m/ha，實際新設0.895公里，改善林道30.928公里；實有林道66.425公里，密度12.14m/ha。因地質不穩定及年雨量過多，新開設林道已受制約。

吳順昭教授撰文「木材生產運材作業（台灣森林誌1993）」，以每公里林道整修與改善工程之工程量，與所需經費及比率作概括統計（1991）：（1）總經費3,160萬元（100%），（2）土石方41,000m³、經費443萬元（13.7%），（3）廢土遠運34,000m³、經費282萬元（9.9%），（4）混凝土8,910m³，經費1,552萬元（49.1%），（5）地上物及用地補償費217萬元（6.9%），（6）其他設施及利潤、稅金518萬元（16.4%），（7）管理費158萬元（5.0%）。

民國88年行政院經濟建設委員會規畫「國家中長程（2000-2004-2100）公共建設方案」，農業部門發展計畫之「加強造林及森林永續計畫」國家森林永續經營項下，將林道網維護列為主要策略：未來林道工作，將以林道經常性維護工程、水土保持工程等為重點；在急陡崩塌裸露地、滑落地等栽植不易成功之處，實施植生基礎工程、崩落地處理工程，再配合植生工法；並於森林區內，荒溪及坑溝實施防砂治水、環境保育等工程；另對歷年興建之工程予以維護，以及

辦理民國88年921震災之災後重建工作。

八、台灣林道體系之研究

（一）產業道路

林道為產業道路之一種；產業道路與國道、省道、縣道、鄉道構成客貨運輸之大體系。吳順昭教授於民國69年完成「台灣林道體系之研究 林道現況」，據統計，迄民國66年底，省縣鄉及產業道路（不含林道）之長度及密度，如次頁表1所示。

迄民國81年底，省道總長增為4,177,000公尺（密度1.170m/ha），縣道總長增為2,651,000公尺（密度0.742m/ha），鄉道總長增為12,505,000公尺（密度3.502m/ha）。

又據統計（迄民國66年底），各縣域內林道長度及密度，如次頁表2所示：全省林道總長度（含卡車路、森林鐵路、山地軌道、架空索道）為2,949,007公尺，分配於全省總面積（不含澎湖縣）3,570,962公頃，得林道密度為0.826m/ha，如分配於林地總面積1,721,568公頃，則得林道密度為1.713m/ha。大致而觀，宜蘭、台中、南投、苗栗、花蓮等縣因有直營伐木機構，其林道網密度較高，而彰化、雲林、桃園、屏東、台南等縣，其林道稀少而一般道路及產業道路則密度較高，嘉義縣有阿里山森林鐵路，足見通運設施之互補性；統籌全台交通體系者，應發現此項徵象，規畫以林道兼顧偏遠鄉村開發之可行性。

據交通部民國84年5月編印「運輸政策

表1

項目 縣市別	面 積	省 道		縣 道		鄉 道		產業道路		省、縣、鄉、產業道路合計	
	(ha.)	長度(m)	密度(m/ha)	長度(m)	密度(m/ha)	長度(m)	密度(m/ha)	長度(m)	密度(m/ha)	長度(m)	密度(m/ha)
台北縣	205,233.27	242,468	1.181	236,910	1.154	478,773	2.333	51,645	0.252	1,009,796	4.920
宜蘭縣	213,746.15	299,515	1.401	26,483	0.124	307,338	1.438	17,283	0.081	650,619	3.044
桃園縣	122,089.10	208,435	1.707	164,393	1.347	523,926	4.291	32,649	0.267	927,203	7.594
新竹縣	153,168.95	107,353	0.701	142,520	0.930	485,106	3.167	21,119	0.138	756,098	4.936
苗栗縣	182,031.49	207,795	1.142	53,384	0.293	514,771	2.828	68,218	0.375	842,728	4.630
台中縣	205,147.12	263,611	1.285	85,475	0.417	627,571	3.059	64,318	0.314	1,038,975	5.065
彰化縣	106,640.18	133,182	1.249	205,289	1.925	1,040,750	9.759	32,682	0.306	1,410,422	13.226
南投縣	410,643.60	343,436	0.836	97,665	0.238	655,875	1.591	128,919	0.314	1,220,393	2.972
雲林縣	129,083.51	135,788	1.052	239,116	1.852	1,162,463	9.006	29,442	0.228	1,564,069	12.117
嘉義縣	195,139.45	252,444	1.294	211,467	1.084	994,127	5.094	67,391	0.345	1,525,429	7.817
台南縣	201,600.75	200,970	0.997	279,211	1.385	977,460	4.848	45,286	0.225	1,502,927	7.455
高雄縣	283,251.75	285,864	1.009	203,670	0.719	552,951	1.952	34,659	0.122	1,077,144	3.803
屏東縣	277,560.03	231,147	0.833	212,481	0.766	1,042,165	3.755	49,497	0.178	1,535,290	5.531
台東縣	351,525.26	375,743	1.069	-	-	420,642	1.197	44,798	0.127	841,183	2.393
花蓮縣	462,857.14	399,320	0.863	24,500	0.053	333,706	0.721	41,440	0.090	798,766	1.726
澎湖縣	12,686.41	-	-	70,754	5.577	102,356	8.068	-	-	173,110	13.645
基隆市	13,275.89	27,929	2.104	10,979	0.827	33,708	2.539	11,100	0.836	83,716	6.306
台中市	16,342.56	33,685	2.061	36,331	2.223	83,035	5.081	27,355	1.674	176,436	10.796
台南市	17,654.56	70,257	2.292	11,683	0.665	74,227	4.226	-	-	126,167	7.183
高雄市	11,374.96	38,140	3.353	18,416	1.619	40,050	3.521	-	-	96,606	8.493
總 計	3,570,962.13	3,827,082	1.072	2,330,727	0.648	10,451,000	2.927	748,468	0.210	17,357,277	4.861

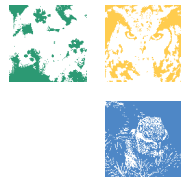
表2

縣別	林道長度 (m)	密度 (m/ha)
台北縣	70,260	0.342
宜蘭縣	428,663	2.006
桃園縣	-	-
新竹縣	80,400	0.525
苗栗縣	231,320	1.271
台中縣	309,006	1.506
彰化縣	-	-
南投縣	579,230	1.411
雲林縣	-	-
嘉義縣	132,562	0.679
台南縣	11,000	0.055
高雄縣	278,000	0.981
屏東縣	103,500	0.373
台東縣	240,400	0.684
花蓮縣	484,666	1.047
總 計	2,949,007	0.826

白皮書」，有關偏遠地區運輸項下，將偏遠與觀光運輸合併論列，而偏遠地區又涵蓋山地

各鄉與外離各島。依民國81年6月調查結果：山地道路系統總長5,477公里（100%），其中省道長531公里（9.7%），縣道長346公里（6.3%），鄉道長542公里（9.9%），村道長892公里（16.3%），產業道路長760公里（3.9%），農路長1,735公里（31.7%），林道長671公里（12.2%）；平均密度3.46m/ha（5,477公里/15,805平方公里），在全省30山地鄉之215村中，能通行卡車而未能行駛客車者計50村。

有關林道體系之研究，可從三相著手：（1）林道一般性研究，如路線選定、測量技術、使用條件、施工方式等；（2）林道特殊性，如林道疏密度（關係於集材距離）及林道等級性（各路段運材量不等）之設



定；(3) 林道安定性及維護作業重視，尤以台灣地勢陡峭、地質脆弱、季節性多雨等不利條件為要。

(二) 專業林道

台灣專業林道體系可分為三類型：(1) 卡車路（分甲種、乙種、丙種、作業線或臨時林道4級），(2) 森林鐵路及山地軌道，(3) 架空索道。

台灣專業林道之開築機構計有：(1) 林務局（各林區管理處之直營伐木與林產處分之民營2方式），(2) 森林開發處及前大雪山林業公司（屬專案核准之公營伐木），(3) 台灣大學、中興大學及林業試驗所（專案核准採伐國有林木）。關於各林業單位在國有林區內伐木開設林道，係依據「國有林產物處分規則」之規定：(1) 國有林管理經營機構（伐木林場或林管處伐木工作站），依經營計畫直接採取供銷；(2) 依經營計畫指定區域公告標售，由民間業者投資採取銷售；(3) 其不適於標售採取者得專案核准採取利用。

國有林產物標售山價或底價或所謂「樹代金」(Stumpage Value)，為一種林木市價減去生產費用後殘值 (Surplus Value)，業者生產原木所需固定設施以林道（含軌道、索道）幹支線為主要，其工程名稱、規格、總費用、期限、圖說及有關制式規定，均訂入承採契約附件，非經核實允許，不得變更；工程完竣後報請林管處依契約規定驗收列為國家財產，由業者使用以訖作業完畢撤離林區時，仍依契約規定數量及規格點交林管處驗收保管使用。民國72年8月林務局編製

「各林區現有林道一覽表」，經調查註明為林班處分得標業者附帶設施而仍在使用者，計88.5公里。

痕三) 林道類型及數量

台灣森林早期開發，多利用森林鐵路及山地軌道與架空索道作業，為主要運材方式（林道類型）；光復後局部性有小規模之卡車林道運材，至大雪山、棲蘭山森林開發，則為全部利用卡車林道運材，而如阿里山及太平山森林鐵路光復後即未再延線，太平山山地軌道與架空索道亦未加設，自民國56年起且改建卡車林道運材。木瓜林區直營伐木用山地軌道與架空索道雖歷年均有增長，自58年起亦開設卡車林道運材；再如巒大林區之直營伐木，其平地運材曾利用台車軌道以人力推送，39年即改為卡車林道運材；竹東林區山區以架空索道運材，出山後在土場改裝卡車運材抵達竹東貯木場。

次頁表3、表示各類型林道使用之比例，卡車林道甲、乙、丙種及臨時林道共長2,607.92公里（88.43%），森林鐵路、山地軌道及架空索道共長341.09公里（11.57%），合計2,949.01公里（100%）。卡車路運材取代鐵軌鋼索運材之趨勢，甚為明顯；由於地形地勢之制約，林道一經開設如再更改其路級標準，十分困難，故對於日後可能成為一般交通或國防體系之林道，宜酌情規畫提高其路級標準。

痕四) 林道之利用狀況痕1978)

低海拔林道之開設雖為運材，由於通過鄉村常為附近居民所利用，林務局11林區

表3

林區	種類	甲種林道 (m)	乙種林道 (m)	丙種林道 (m)	臨時林道 (m)	森林鐵路 (m)	森林軌道 (m)	架空索道 (m)	合計長度 (m)	林區面積 (ha)	平均密度 (m/ha)
文山林區管理處		400	39,640	13,720	15,000		1,500		70,260	61,275	1.147
竹東林區管理處			28,000	197,060	27,200				222,260	108,525	2.048
大甲林區管理處				35,050					35,050	79,511	0.441
埔里林區管理處					178,210				178,210	84,496	2.109
巒大林區管理處		20,000		75,540	54,130				149,670	127,128	1.177
玉山林區管理處			26,170	28,000	50,000	108,392			212,562	116,834	1.819
楠濃林區管理處			30,000	117,000	53,000				200,000	129,385	1.546
恆春林區管理處		96,500	96,500	89,328	1,080						
關山林區管理處				125,000	104,400		3,350	3,250	236,000	227,852	1.036
玉里林區管理處			28,720	26,840	119,000				174,560	145,550	1.199
木瓜林區管理處				70,160	19,300		140,533	17,613	247,606	171,791	1.441
蘭陽林區管理處			49,500	40,510	195,325	36,400	27,047	3,003	351,785	171,160	2.055
大雪山林區管理處		159,385	100,875	395					260,655	59,733	4.364
森林開發處			176,669	72,020					248,689	94,957	2.619
台大實驗林		20,000		167,000					187,000	33,522	5.578
興大實驗林				31,500					31,500	8,176	3.853
林業試驗所				43,500	3,200				46,700	12,345	3.783
總計		199,785	479,574	1,109,795	818,765	144,792	172,430	23,866	2,949,007	1,721,568	1.713
百分率 (%)		6.774	16.262	37.633	27.764	4.910	5.847	0.809	100.00	100.00	

1,420公里之林道，自用率與民用率（依輛次與里程之乘積）各居其半；自用者以林區運材車輛為主（44.4%），民用者以標售林班業者自備車輛為主（26.5%）；直營伐木林區林道位在較高海拔，直營運材使用率63.4%，標售林班運材車使用率17.6%，非直營伐木林區林道之標售林班運材車使用率47.8%，其餘使用項目屬經營管理及工料交通等。不論是否運材車輛，皆以每年通行1,000輛次（每年工作天以200日計，每日通行率為5輛）以下者占最高比率，顯示林道之利用偏低；若能與森林遊樂區相連通，則其利用可大幅提高如次頁表4所示。

另據羅紹麟教授等關於「適中林道密度之研究（1984）」，林道開設之原始用途與後

來用途頗有差異，如次頁表5所示。據知，當初開設某林道乃因其能發揮伐木運材功能者高可占90.6%，能提供造林撫育功能者可占50.0%，具林政管理功能者占26.6%；經過若干時日後，現階段林道仍具伐木運材用途者降至13.8%，造林撫育用途增至92.0%，林政管理用途增至83.9%，森林遊樂用途亦增至24.1%。

（五）林道維護與搶修

台灣林地陡峻，地質脆弱，又位於多雨及颱風帶，易遭土壤沖蝕及流失等破壞。開設林道之時除應考慮經濟條件外，更應加強邊坡穩定、排水設施及防洪工程；追求完善之計畫與妥當之施工，以避免林道工程破壞水土保持之惡果。台灣林道之開設限於經費

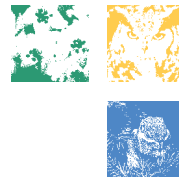


表4

車種 項目		林區管理達車輛				民間車輛及其他利用							總 計
		運材車 (1)	經營管理用車輛 (2)	交通車 (3)	其他 (4)	直營作業木材運材車 (5)	標售林班木材運材車 (6)	警有林木運材車 (7)	鴿客車 (8)	摩托車 (9)	步行及腳踏車 (10)	其他 (11)	
直營作業部份	數量	1,845,652	116,378	28,294	124,525	105,395	541,289	8,114	43,331	246,628	8,647	8,434	3,076,688
	百分率	59.99	3.78	0.92	4.05	3.43	17.59	0.26	1.41	8.02	0.28	0.27	100.00
非直營作業部份	數量	-	43,568	8,042	1,885	-	624,099	7,462	83,782	418,489	97,084	21,330	1,306,111
	百分率	0.00	3.34	0.63	0.14	0.00	47.78	0.57	6.42	32.04	7.43	1.65	100.00
合計	數量	1,845,653	159,946	36,336	126,410	105,395	1,165,388	15,576	127,203	665,397	105,731	29,764	4,382,799
	百分率	42.02	3.64	0.83	3.10	2.40	26.53	0.35	2.90	15.15	2.40	0.68	100.00
分別車種合計	數量	2,178,345				2,214,454							4,382,799
	百分率	49.59				50.41							100.00

表5

項目 單位		新竹林管達	東勢林管達	南投林管達	嘉義林管達	屏東林管達	羅東林管達	禮蓮林管達	魯東林管達	合計	%
鳩初開設時用途	運材	4	5	11	5	12	9	8	4	58	90.6%
	造林	2	1	1		11	5	7	5	32	50.0%
	林政	2				9		6		17	26.6%
	遊樂	2			1					3	4.6%
	其他			1						1	1.6%
現在用途	運材	3		4	2	3			4	12	13.8%
	造林	21	9	12	5	12	8	8	5	80	92.0%
	林政	21	11	12	8	12	3	6		73	83.9%
	遊樂	6	3	4	3	3	2			21	24.1%
	其他						2			2	2.3%

之編列，多保持就地挖掘與棄置之習慣，將挖方（Cut）變成填方（Fill），引致林道坡側土壤之沖蝕與坍方；尤於彎道曲線較多之處，每逢颱風豪雨侵襲肇致連續崩坍，釀成災害，損及林道本身。是故，林業經營允宜

提高林道設計標準，編列充足費用，管制施工時之坡面工程及排水設施，確保邊坡之穩定性及林道之暢通性。

民國88年10月調查統計資料：林務局保留使用於森林經營之林道2,297公里中，當時

可通行者僅1,544公里（2/3），交通中斷狀況者753公里（1/3）。在林道使用期間，固須經常養路維護以保持良好路面狀況，而於災害發生後尚須增加額外性搶修工作。低海拔地區林道，以其通過處地勢較為平坦，天然災害損失程度較低，併入日常性保養適時清理即可；但於高山地區，林道蜿蜒於山坡，每逢豪雨難免發生相當損害，須先及時搶修通車，俟災後整建恢復成具原規格之林道。

根據林務局各林道維護費與交通量關係之分析（訖1978年），低海拔地區林道維護費（Y：萬元），有隨交通量（X：年間輛次以4輪機動車輛為準）而呈拋物線增加之趨勢 $Y = -627.9528 + 8.2518X - 0.00044847X^2$ ，（ $R^2 = 0.67$ ）；而高海拔地區林道則無類似之相關性，然所需維護費用高出低海拔者6倍；低海拔地區因災害較輕微，其修復費用可併入日常性維護養路費用中支應。

林道維護費用以人件雇工費為主（85%-93%），材料費次之（6%-13%），工具費最低（0.1%-2.2%）；以使用最廣泛、路線總長度最高之丙種林道所需維護費用為基準（100%），則甲種林道為其4.05倍（405%），乙種林道為其1.71倍，臨時林道為其1.41倍，山地軌道為其2.25倍。

林道搶通工作，通常是清理坍方、改建路基或架設便橋，隨後整修工程則為構築駁坎及檔土牆、整修路面及護坡、架設正式橋樑等；但無論搶修通車或隨後整建工程，皆因災後損害大、施工難，須予專案處理，不能列入經常性養護工作範圍。茲以此說明竹

東、巒大、大雪山三林區管理處之災害搶修及復舊工程費用（64-67年）：由於地況、地質及道路等級之不同，三林區平均每公里林道災害搶修費用頗有參差，但復舊工程費用之分配比率則約略相近，皆以駁坎構築費用最高，平均占全工程經費之39%，清除坍方之搶修工資及材料費用次之，均各占19%，路基改建費用占9%。駁坎建造之人件費用高者可逾其各類合計費用之半額，故今後對駁坎工程之設計、施工及效應，須特別研判。

材料費用在搶修工程中包括機械燃料、消耗性物料及工資、工具等，在復建工程中包括水泥、砂石、雷管、炸藥等，水泥為其最主要部分。依常情、某項單純工程之人件與材料費用應呈正比例關係（ $r > 0.9$ ）；今合併三林區管理處有關資料，求得林道駁坎工程之材料費（ Y_m ）、管理費（ Y_c ），各與人件費即工資（ X ）間之關係式為：

材料費 $Y_m = 0.2282X + 2561.39$ ， $r = 0.949$

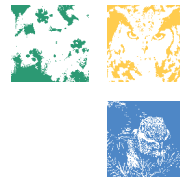
管理費 $Y_c = 0.0446X + 1206.60$ ， $r = 0.927$

另據羅紹麟等「適中林道密度之研究（1984）」，民國79-83年間林道維護保養經費，以新竹與南投林管處為最多，各占全額經費之37.3%與23.9%。

（六）關於林道維修之具體建議

吳順昭教授於民國70年再完成「台灣林道體系之研究——維護與復舊」，據建議事項：

1. 林道為森林經營之基本設施，為謀林業現代化應加速興建，以配合國家總體經濟建設；林道在台灣地區有水土保持之嚴重考量，但山間道路為「必要之惡」。林道興建



經費之來源，似可仿效日本或依循台灣產業道路之例規，由政府以專款或徵稅或向社會財團籌款支應。

2. 今後林道之規畫、設計、施工等，應儘可能引用現代科技，如以航空照片協助選線，以機械代替人力施工，以節省費用、提高效率。
3. 除應重視經常性維護工作外，於颱風季節前宜事先檢視，求加強林道防災能力以自保全，並於集水區經營整體目標之達成更所助益，水庫淤沙量可獲減輕以延長水庫壽命。
4. 林道災害之發生常集中於颱風季、豪雨天，災變處所亦常在地質脆弱地段，故於林道選線時即應先作地質探測而避免通過，若實難免穿越亦應審慎處理施工，構築物加強使合乎安全原則，每年災季之前尤應檢查可能損害路段。
5. 林道建成後數年間難免崩坍，雖經5-7年亦僅達初步穩定狀態，俟11-13年後方能老熟穩固。初期林道影響行車安全實鉅，故應提高施工標準，開挖時注重林道兩側坡度改變之惡果，不宜原地棄土而應將其運放安全地帶之棄土場，原來之安息角度（台灣一般情況為 28° ）應力求維持。

另有數據：林道災害隨道路使用年限之增加逐年下降，緣每次災害之土石方量逐年鉅幅減少，15年以後漸趨穩定；路基之穩實性亦隨林道使用年期之增長而得改善，一般使用約10年後可獲穩固。

6. 林道災害之發生常集中於部分路段，其防

制之方應慎始於設計及施工之初，惟因受限於經費，林道施工時之挖方棄土、坡面保護、排水渠道及穩定土石等工事，未盡妥善；災害既生之後，其善後處理則以駁坎、擋土牆及排水渠道之配合最具效果，排水對崩坍之效應最為明顯。

7. 為防止林道排水邊溝積水溢流於路面發生災害，橫向排水溝之開設必須足量，其間隔隨道路縱坡之增加而酌減，兩者間呈「指數曲線」相關；橫向排水溝之最大間隔，應不致防止溢流之無效。
8. 林道之興建應盡量避免通過地質滑動地段，若無法預告或實難避免，則對林道應補強防制工程，加強排水設施或引導大量排水，以抑制滑動面移動之影響。🌲



（圖／高遠文化）