

环境友好的木材物流系统优化

邱荣祖¹, 张正雄¹, 黄总河², 张火明³

(1. 福建农林大学, 福建 福州 350002; 2 永安林业(集团)股份公司, 福建 永安 366000; 3 国有五一林场, 福建 漳平 364400)

摘 要: 以集材段运输成本、合理林道网密度等经济模型为基础, 建立木材物流系统最低费用模型, 计算分析了 5 种物流模式的费用; 依据在研究区定位测定的土壤理化性质指标, 计算各集材方式对林地的生态干扰程度; 采用专家调查法对 5 种物流模式进行社会效益评价; 应用模糊数学评价法, 对 5 种木材物流模式进行综合评价, 计算结果表明, “索道集材 + 汽车运材” 物流模式最优。为构建环境友好的木材物流系统, 提供决策依据。

关键词: 环境友好; 木材物流系统; 综合评价

中图分类号: S782

文献标识码: A

木材物流是木材原材料从采伐迹地到需材客户的流通过程, 它不仅关系到林产工业系统的整体竞争力, 也对生态环境产生影响^[1-3]。在木材物流作业中, 集材作业、楞场作业、集材道与林道网修建等作业活动, 均对林地的地表土层理化性质、保留树、水土保持等产生一系列负面效应^[4-6]; 物流活动中运输工具的有害气体排放、噪声污染、不合理的运输现象所带来的燃料过度消耗和线路迂回所产生的费用增加等, 给生态环境带来双重的压力。从木材物流系统的角度, 分析集材段运输成本、合理林道网密度与汽车运输成本等经济模型, 建立木材物流系统最低费用模型; 依据在研究区定位测定的土壤理化性质指标, 计算各集材方式对林地的生态干扰程度; 应用模糊数学评价法, 对 5 种木材物流模式进行综合评价, 为构建环境友好的木材物流系统, 提供决策依据。

1 研究区概况

研究区选在全国杉木中心产区福建永安, 地处 $116^{\circ}56' \sim 117^{\circ}47'E$, $25^{\circ}33' \sim 26^{\circ}12'N$ 。地形地貌属

亚热带山地丘陵, 以山地红壤为主, 年平均气温 $19.4^{\circ}C$, 相对湿度 80%, 年均降水量 $1\,564.2\,mm$, 年蒸发量 $1\,455.5\,mm$ 。由于水热、土壤等条件优越, 形成了丰富的植物群落类型和树种资源。

2 研究方法

2.1 物流模式设计

为研究不同的木材物流模式的经济效益、生态效益和社会效益, 优化物流系统, 根据对皆伐区的调查分析, 确定了 5 种在研究区域使用的集材段运输方式, 并选择汽车运输为运材段运输方式, 设计 5 种木材物流模式: 索道集材 + 汽车运材 (模式 I)、手板车集材 + 汽车运材 (模式 II)、农用车集材 + 汽车运材 (模式 III)、手扶拖拉机集材 + 汽车运材 (模式 IV)、人力担筒集材 + 汽车运材 (模式 V)。

2.2 土壤取样与测定方法

在集材道和林区道路上、中、下坡位及对应同坡位道路外采伐迹地, 按同一坡向、同一坡位各取 3 个主剖面 and 3 个副剖面, 并分别按表层 (0~20 cm) 和底层 (20~40 cm) 来分层取样, 进行室内分析。土

收稿日期 (Received date): 2006-11-12; 改回日期 (Accepted): 2007-02-07。

基金项目 (Foundation item): 福建省科技厅重点项目 (2005D106)。 [Supported by the Science and Technology Department of Fujian Province 2005D106]

作者简介 (Biography): 邱荣祖 (1961-), 男, 福建莆田人, 教授, 博士, 从事道路网理论、木材物流、地理信息系统应用研究。E-mail: qrz1010@yahoo.com.cn [Qiu Rongzu (1961-), Male, professor & Ph.D., Research interest: Forestry road network, wood logistics and application of

壤水稳性团聚体测定用机械筛分法, 水分物理性质测定用环刀法, 土壤有机质采用硫酸重铬酸钾法; 土壤全磷用高氯酸-硫酸酸溶-钼锑抗比色法; 土壤速效磷采用盐酸-氟化铵法; 土壤全氮用高氯酸-硫酸硝化扩散吸收法; 土壤水解氮用扩散吸收法; 土壤速效钾采取火焰光度法。土壤分析数据为同一处理分析结果的平均值。

土壤侵蚀量测定采用侵蚀沟调查法、相关沉积法、标桩法。

2.3 优化方法

木材物流系统的经济效益用系统的总成本进行评价, 不同木材物流模式的总成本由集材段运输成本、楞场作业成本和运材段运输成本构成。成本主要考虑福建省典型人工林林地的自然资源等条件, 并依据《福建省林业生产统一规定额》进行计算; 生态效益评价指标体系选取土壤物理性质指标 (容重 $\lambda > 0.25 \text{ mm}$ 水稳性团聚体含量、结构体破坏率、最大持水量、最小持水量、毛管持水量、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度) 和土壤化学性质指标 (有机质、全 N、水解性 N、全 P、速效 P、全 K、速效 K) 2 个方面共 16 个指标; 社会效益评价指标体系由作业安全性、劳动强度和社会进步系数 3 个指标构成, 采用专家调查法对 5 种物流模式进行社会效益评价^[5]; 应用模糊决策法对 5 种木材物流系统进行优化分析。

3 木材物流系统经济效益评价

3.1 集材段运输成本分析

不同集材方式的作业成本可以表达为^[17]

$$C_{jk} = a_k + b_k L_p \quad (k = 1, 2, 3, 4, 5) \quad (1)$$

式中 a_k 、 b_k 为固定成本和可变成本, $k = 1, 2, 3, 4, 5$ 分别代表索道集材、手板车集材、农用车集材、手扶拖拉机集材、人力担筒集材; L_p - 平均集材距离 (m)。 a_k 、 b_k 根据山场作业条件、树种和资源情况, 按文献 [7] 确定。

3.2 运材段运输成本分析

3.2.1 林道修建费分摊

汽车运材道修建费分摊与新建道路的造价 (造价与道路等级、地形地质条件有关)、长度及森林资源的出材量等有关, 按式 (2) 计算

$$C_{q1} = \frac{d_5 d_0}{q_0} \quad (2)$$

式中 d_5 : 汽车运材道造价, 便道一般条件取 20 元 / m, 困难条件取 30 元 / m; d_0 : 林道网合理密度 (m / hm^2); q_0 : 单位面积出材量 (m^3 / hm^2)。

根据山地林道网理论^[8], 林道网合理密度由模型 (3) 通过迭代法求得

$$\begin{cases} d_0 = \sqrt{\frac{\alpha(A + b_k C)}{B}} \\ \alpha = d_0 L_p \end{cases} \quad (3)$$

式中 α 综合系数; A 、 B 、 C : 与地形条件和森林资源特点有关的模型参数。

3.2.2 汽车运输成本

汽车运材单位成本由汽车运费 (包括燃润费、折旧费、保修费、养路费、大修费、轮胎费、司机工资和管理费等)、汽车运材道修建费分摊和装卸费 3 项组成。按式 (4) 计算^[8]

$$C_{qy} = C_{q1} + C_{q2} (L_{qd} + L_{q0}) + C_{q3} \quad (4)$$

式中 C_{qy} : 汽车运材单位成本 (元 / m^3); C_{q2} : 汽车运材单价, 按 0.60 元 / ($\text{m}^3 \cdot \text{km}$) 计; C_{q3} : 装卸费, 5.07 元 / m^3 ; L_{qd} : 新建汽车道 (便道) 长度 (km); L_{q0} : 原有公路运输里程 (km)。

把式 (2) 及其他参数代入式 (4), 考虑到 L_{qd} 与 L_{q0} 相比, 可以忽略不计, 得

$$C_{qy} = (0.6 L_{q0} + \frac{d_5 d_0}{q_0} + 5.07) \lambda \quad (5)$$

3.3 木材物流系统最低费用模型

木材物流系统单位成本包括集材段运输成本、运材段运输成本和楞场作业成本, 其中楞场作业成本可近似看作与集运材方式无关的常数 C_0 , 木材物流系统最低费用模型为

$$C = \min(C_{ji} + C_{qy} + C_0) \quad (6)$$

3.4 木材物流系统最低费用分析

假定 5 种木材物流模式是在同一种作业条件下进行, 地形地貌条件一般, $q_0 = 150 \text{ m}^3 / \text{hm}^2$, $L_p = 30 \text{ km}$; $C_0 = 5 \text{ 元} / \text{m}^3$ 。据《福建省林业生产统一规定额》(福建省林业厅, 1996), 计算得: $A = 0.0083$, $B = 101$, $C = 200$ 分别对 5 种木材物流模式的经济效益按式 (1) ~ (6) 进行计算, 结果见表 1。因此, 单纯从经济效益考虑, 其优劣排序为: 模式 I > 模式 III > 模式 II > 模式 IV > 模式 V。

4 木材物流系统生态效益评价

4.1 集材段运输环境影响分析

表 1 不同物流模式最低费用
Table 1 Lest cost of wood logistics modes

物流模式	d_0 (m /hm ²)	L_p (m)	C_{Jk} (元 /m ³)	C_{qy} (元 /m ³)	C (元 /m ³)
I	8 82	747	12. 19	24 24	36 44
II	10 57	594	19. 91	24 48	44 39
III	5 14	2473	15. 10	23 76	38 86
IV	5 42	1732	20. 95	23 79	44 74
V	31 07	171	22. 99	27 21	50 20

在对 5 种不同集材方式作业前后的土壤取样分析后发现,林地土壤的理化性质指标均发生了不同程度的变化,集材道上的土壤变化程度比非集材道明显。

4 1. 1 索道集材

架空索道(全悬式)集材是一种能较好地保持森林植被、有利于水土保持和森林更新的集材方式。在索道集材中,木材不与地面接触,侧向集中时因在同一地面点只通过 2~ 3 趟木捆,所以对土壤的破坏是轻微的^[9]

4 1. 2 手板车集材

试验表明,在集材道上土壤容重明显增加,手板车道内土样(A)比手板车道外迹地土样(B)大。类型 A 比类型 B 在最大持水量、毛管持水量、土壤总孔隙度、非毛管孔隙、非毛管孔隙与毛管孔隙比率、表层土壤有机质、全 N 含量、水解性 N 含量、速效 K 含量都明显下降。这些都与修建板车道时造成迹地中大量枯落物和表土的移动有关,亚表层土壤的这种变化趋势表现也较明显。此外,修建板车道时的废弃土石方也会引起一定数量的水土流失^[10]

4 1. 3 手扶拖拉机集材

手扶拖拉机集材对人工林迹地(集材道)土壤理化性质的影响,除土壤容重和团聚体组织结构体破坏率等指标增大外,其余性能指标均下降,且其影响随土层深度的增大而呈下降趋势^[11]

4 1. 4 农用车集材

农用车集材对人工林迹地(集材道)土壤理化性质的影响程度与手扶拖拉机集材的类似,只是农用车道的宽度比手扶拖拉机道宽 0. 5 m,这就增加了农用车集材对林地的扰动程度^[12]

4 1. 5 人力担筒集材

人工担筒集材对人工林迹地(集材道)的影响略大于索道集材。在山势较平缓地段,人工拖运的原木与地表面接触少,人工担筒集材的影响甚微;在山势较陡地段,人工拖运的原木可能与表面互相冲击,使表层土壤松动或被移走,遇到雨水后,容易冲刷而造成部分水土流失^[5]。

4. 2 集材段运输生态效益定量评价

在进行集材段运输生态效益定量评价过程中,不仅要分析林地土壤理化指标的变化程度,同时还应考虑不同集材方式的影响范围,因此应用集材方式对林地土壤理化性质指标干扰程度作为集材段运输生态效益定量评价的基础指标,计算结果见表 2、表 3^[13]。

南方集体林区多处山地丘陵地带,自然地表坡度陡峭、山峦起伏、地形破碎,修建道路过程的大填大挖,破坏土体的原有平衡,造成大量的崩塌和溜坡等土壤重力侵蚀现象。大面积的挖填方边坡、弃方和路面等工程创面,彻底改变了土层结构和土壤理化性质,不利于植被的恢复,使其在很长时间内裸露在外,造成面蚀和沟蚀的发生。研究表明林道网的修建对林地的影响主要表现在以下几个方面^[4]。

表 2 集材作业对迹地土壤物理性质指标的干扰程度

Table 2 The disturbance degree of soil physical properties by different harvesting operations

作业方式	主要物理性质指标受干扰程度								
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
索道集材	1. 41	1. 91	5. 19	5. 15	11. 83	2. 48	3. 81	1. 11	15. 26
手板车集材	25. 93	23. 10	68. 93	47. 82	29. 80	28. 12	33. 31	8. 21	79. 41
农用车集材	50. 70	70. 93	395. 50	83. 22	46. 71	47. 68	41. 31	12. 27	156. 01
手扶拖拉机集材	29. 59	41. 40	230. 83	48. 57	27. 26	27. 83	24. 11	7. 16	91. 05
人力担筒集材	5. 49	3. 25	6. 09	11. 61	12. 71	8. 99	6. 89	4. 14	18. 83

注: X_1 为容重、 X_2 为 > 0. 25 mm 水稳性团聚体含量、 X_3 为结构体破坏率、 X_4 为最大持水量、 X_5 为最小持水量、 X_6 为毛管持水量、 X_7 为总孔隙度、 X_8 为毛管孔隙度、 X_9 为非毛管孔隙度。

表 3 集材作业对迹地土壤化学性质指标的干扰程度

Table 3 The disturbance degree of soil chemical properties by different harvesting operations

作 业 方 式	主要化学性质指标受干扰程度						
	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
索道集材	3.98	7.27	2.12	3.10	3.56	2.28	9.98
手板车集材	30.95	28.44	28.19	4.69	3.91	60.43	26.07
农用车集材	59.76	30.52	132.74	8.45	95.88	181.33	15.93
手扶拖拉机集材	34.88	17.81	77.47	4.93	55.96	105.83	9.3
人力担筒集材	23.45	22.49	48.38	5.69	32.46	54.27	7.81

注: X_{10} 为有机质、 X_{11} 为全 N、 X_{12} 为水解性 N、 X_{13} 为全 P、 X_{14} 为速效 P、 X_{15} 为全 K、 X_{16} 为速效 K。

4.2.1 林道路面土壤的坚实度提高

由于运材车辆的碾压作用,林道路面土壤的坚实度明显高于林地,随着林道运营时间的增加,坚实度会进一步提高。由于林道各部分土壤的密实程度提高或孔隙构成变化的原因,使得其持水量均有不同程度的下降。

4.2.2 林道各部分的土壤养分含量下降

道路的大挖大填施工,彻底改变了土层结构,使林道各部分的土壤养分含量均明显低于林地。相对而言,边坡部分高于路面,新旧林道间没有显著的差异。

4.2.3 土壤侵蚀量增加

林道路面土壤的侵蚀量与林道坡长、坡度和道路的弃养时间呈幂函数关系。

4.2.4 路面的植被盖度低 由于土壤性质很不利于植物的生长,在林道弃养 5 a后,路面的植被盖度才能达到 50%,恢复过程缓慢。

森林生态效益由于不是有形产品,因此难于直接计量其效益的价值,只能以达到同等效益的其他工程所耗用的资金来代替计算,即消耗评价法,或用生态效益间接带来的效果来衡量,即效果评价法进行森林生态效益的计量评价,结果见表 4^[14]。

表 4 年生态效益影响经济计量 (单位:元 /m)

Table 4 Annual economic calculation of ecological effects

评价项目	木材生产	泥沙淤积	养分流失	涵养水源	合计
经济计量	0.60	0.05	6.00	0.48	7.13

林道网对林地的影响周期按 5 a 计算,则在 1 个轮伐期内单位长度林道的综合效益影响经济计量为 35.65 元 /m,在表 1 的基础上,可以得到模式 I、模式 II、模式 III、模式 IV、模式 V 的最低费用分别为

38.54 元 /m³、46.90 元 /m³、40.08 元 /m³、46.03 元 /m³、57.58 元 /m³。

5 环境友好型木材物流系统优化

环境友好型木材物流系统优化采用模糊评价法,对 5 种木材物流模式进行综合评价,根据评价值高低进行优劣排序。首先应用专家调查法对 5 种物流模式进行社会效益评价,再应用模糊数学评价法对评价经济效益、生态效益和社会效益进行无量纲化^[15]。

$$r_{ij} = \begin{cases} 0.1 + \frac{f_{imax} - f_{ij}}{d}, & f_i \text{ 为负指标} \\ 0.1 + \frac{f_{ij} - f_{imin}}{d}, & f_i \text{ 为正指标} \end{cases} \quad (7)$$

式中 r_{ij} : 就第 i 项因素对 j 个方案的评价值; d : 按式 $d = (f_{imax} - f_{imin}) / 0.9$ 计算; f_{imax} : 各方案第 i 项因素指标中的最大指标值; f_{imin} : 各方案第 i 项因素指标中的最小指标值。

正指标是指因素指标值越大方案越优的因素指标;负指标是指因素指标值越小方案越优的因素指标。模糊数学评价法对表 2 和表 3 的 16 个指标值进行评价,采用 m 个方案的 n 个评价值组成一个评价模糊矩阵

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix}$$

采用加权平均对各方案进行评价,因素重要程度模糊子集 $A = (a_1, a_2, \cdots, a_n)$, 评价矩阵为

$$B = AR = (b_1, b_2, \cdots, b_m)$$

其中 $b_j = \sum a_i r_{ij}, j = 1, 2, \cdots, m。$

假设评价生态效益的 16个指标和社会效益的 3指标分别对于生态效益和社会效益具有同等重要, 则 $a_i = 1/n_i$ $b_j = 1/n \sum r_{ij}$ n 为指标个数, 得到 3大效益的评价值, 各种物流模式综合评价值计算式为

$$W_i = \sum_{k=1}^3 \lambda_i b_{ik} \tag{8}$$

式中 λ_i 为经济效益、生态效益和社会效益相对权重, 分别取 0.45 0.38 0.17^[5]; b_{ik} 为第 i 种物流模式第 k 种效益的评价值。计算结果见表 5。

表 5 物流模式综合评价计算

Table 5 Calculation of comprehensive benefits of logistics modes

物流模式	经济效益	生态效益	社会效益	综合效益
I	1.000	1.000	1.000	1.000
II	0.605	0.667	0.400	0.594
III	0.895	0.100	0.775	0.572
IV	0.646	0.100	0.550	0.422
V	0.100	0.836	0.100	0.380

可见, 经济效益的优劣顺序为模式 I > 模式 III > 模式 IV > 模式 II > 模式 V; 生态效益的优劣顺序为模式 I > 模式 V > 模式 II > 模式 IV > 模式 III; 生态效益的优劣顺序为模式 I > 模式 III > 模式 IV > 模式 II > 模式 V。可见, 经济效益优劣顺序与社会效益的相同, 但与生态效益的并不完全一致。从综合效益考虑进行排序: 模式 I > 模式 II > 模式 III > 模式 IV > 模式 V。

6 结论与讨论

木材物流是木材原材料从采伐迹地到需材单位的流通过程, 对构成木材物流的集材道修建与集材作业、楞场作业、林道修建与木材运输等工序的经济效益分析表明, 从单一效益考虑, 经济效益优劣顺序与社会效益的相同, 但与生态效益的并不完全一致。

对 5种木材物流模式作进一步的综合分析表明: 优劣顺序为模式 I > 模式 II > 模式 III > 模式 IV > 模式 V。因此在相近的作业条件下 (即相同的资源和地势条件), 模式 I 是最优的模式, 建议把“索道集材 + 汽车运材”作为首选的环境友好型木材物流模式, 手板车集材 + 汽车运材作为备选模式。应该指出, 上述结论是在福建山地林区这样特定的研究区域下得到的, 当作业条件差异较大时, 能否适用

需要进一步研究。

木材物流系统包括了木材货物流通过程的全过程, 本文并未涉及木材物流系统研究中的最佳路径选择、木材物流中心选址、物流存储等问题, 也需要进一步研究。

参考文献 (References)

[1] Asa Gastafsson. Logistic services as competitive means segmenting the retail market for softwood lumber[J]. *Silva Fennica*, 2003, 37 (4): 493~504

[2] Erlend Yström Haartveit. Simulating effects of supply Chain configuration on industrial dynamics in the forest sector[J]. *Journal of forest engineering*, 2003, 14(2): 199~205

[3] Juho Ranta. Optimizing the supply Chain strategy of a multi unit finnish nursery company [J]. *Silva Fennica*, 2004, 38(2): 203~215

[4] Qi Rongzu. Effects of mountain forest road network on forest land environment[J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(1): 38~43 [邱荣祖. 山地林道网对林地环境的影响 [J]. 山地学报, 2001, 19(1): 38~43]

[5] Zhang Zhengxiong. Study on the Technology of skidding operation of artificial forest in mountainous regions [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(6): 761~764 [张正雄. 山地人工林集材作业技术 [J]. 山地学报, 2002, 20(6): 761~764]

[6] Zhou Xinnian, Qi Renhui, Yang Yusheng, et al. Selecting on the optimum model of harvesting and skidding operation in cutting area in our country's southern collective Forest Regions [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(4): 99~106 [周新年, 邱仁辉, 杨玉盛, 等. 我国南方集体林区伐区采集作业模式选优 [J]. 林业科学, 2001, 37(4): 99~106]

[7] Qi Rongzu. Study on ecological and economic system of mountain forest road network [D]. *Nanjing forestry University* [邱荣祖. 山地林道网生态经济系统研究 [D]. 学位论文, 南京: 南京林业大学, 1998]

[8] Zhou Xinnian, Zhang Zhengxiong, Chen Yufeng, et al. Selecting on the optimum operation model of transportation in artificial forest area [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 37(4): 99~106 [周新年, 张正雄, 陈玉凤, 等. 人工林伐区木材运输作业模式选优 [J]. 林业科学, 2006, 37(4): 99~106]

[9] Zhou Xinnian, Shen Baogui, You Mingxing, et al. Study on the comprehensive benefits of harvesting and skidding operation in cutting area [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(3): 331~337 [周新年, 沈宝贵, 游明兴, 等. 伐区采集作业综合效益评价 [J]. 山地学报, 2002, 20(3): 331~337]

[10] Zhang Zhengxiong, Zhou Xinnian, Zhao Chen, et al. The effect of push cart skidding on the physical and chemical properties of trail soil in artificial forests [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2005, 33(1): 14~15 [张正雄, 周新年, 赵尘, 等. 手板车集材对人工林林地土壤理化性质的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(1): 14~15]

- [11] Zhang Zhengxiong, Zhao Chen, Liu Aiqin, *et al*. Study on the impact on the trail soil of artificial forestry walking tractor skidding [J]. *Journal of Fujian Forestry College*, 2003, 23(4): 309~ 311 [张正雄, 赵尘, 刘爱琴, 等. 手扶拖拉机集材对人工林迹地土壤影响的研究 [J]. 福建林学院学报, 2003, 23(4): 309~ 311]
- [12] Zhang Zhengxiong, Zhou Xinnian, Liu Aiqin, *et al*. Effect of farm truck skidding on the trail soil of artificial mixed forest of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* [J]. *Journal of Fujian Forestry College*, 2004, 24(1): 5~ 7 [张正雄, 周新年, 刘爱琴, 等. 农用车集材对马杉混交林迹地土壤影响的研究 [J]. 福建林学院学报, 2004, 24(1): 5~ 7]
- [13] Hou Xinnian, Qiu Renhui, Yang Yusheng, *et al*. Effect on soil physical and chemical properties by different harvesting methods [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998, 34(3): 18~ 25 [周新年, 邱仁辉, 杨玉盛, 等. 不同采伐、集材方式对林地土壤理化性质影响的研究. 林业科学, 1998, 34(3): 18~ 25]
- [14] Qiu Rongzu, Fan Jiguo, Xu Shaohong, *et al*. Quantitative effects of mountain forest road network on forest comprehensive benefits [J]. *Journal of Fujian Forestry College*, 2001, 21(1): 24~ 27 [邱荣祖, 方金武, 许少洪, 等. 山地林道网对森林综合效益的计量评价 [J]. 福建林学院学报, 2001, 21(1): 24~ 27]
- [15] Qiu Rongzu. Highway traffic and transportation system engineering [M]. Xiamen: The Press of Xiamen University, 2001. 78~ 82 [邱荣祖. 公路交通运输系统工程 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2001. 78~ 82]

Study on the Optimization of Eco-friendly Wood Logistics System

QIU Rongzu¹, ZHANG Zhengxiong¹, HUANG Zonghe², ZHANG Huaming³

(1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Yong'an Forestry Group Company, Yong'an 366000, China;

3. Wuyi State-owned Forestry Farm, Zhangping 364400, China)

Abstract Based on the economical models of off road transportation cost and optimum density of forest road network, model for the least cost of wood logistics system was proposed. The costs of 5 modes of wood logistics system were analyzed. The ecological disturbing degree of 5 different off road transportation ways on forest land were calculated by using soil physical and chemical indices in research area. The 5 modes were evaluated using fuzzy mathematical method from the economical and ecological point of view. The social benefits of logistics modes were valued by expert advice. The results showed that cableway skidding and truck transportation is the optimum model. The research would provided the base for constructing eco-friendly wood logistics system.

Key words eco-friendly model; wood logistics system; comprehensive evaluation