



全国高等林业院校教材

道路工程

(第2版)

苏烈诚 主编

中国林业出版社

修 订 说 明

本书是根据1990年9月在呼和浩特市召开的林业部森林采运工程专业指导委员会第一次会议的精神和要求,根据全国各高等林业院校的教学实践经验而制定的编写大纲,在1981年出版的全国高等林业院校试用教材《林区公路》的基础上进行修订的。

修订后的本书,按第一次森林采运工程专业指导委员会会议要求,主要适用于应用面较宽的森林工程专业,同时也兼顾适用于现有的森林采运工程专业。在课程的内涵上要拓宽专业知识面,以增强学生的适应能力。会议经广泛讨论最后决定:本课程的学时,由原来所定的70学时增加到80学时。在内容上除加强林区公路桥涵结构与设计方面的知识外,还要新增加有关森林窄轨铁路和林区公路施工与养护方面的理论、方法和知识。这样原教材的名称与修订后的教材内容则有所不符,为使教材内容与名称更好地相吻合,1991年8月在吉林市召开的第二次森林采运工程专业指导委员会会议上决定,将原教材名称《林区公路》改为《道路工程》。

由于学时与内容的变化,从而使本次修订在章节体系上亦有相应变动,修订后的本书将由原教材的八章改变为两篇十章。其具体内容主要变动有:删去了原教材第三章汽车行驶理论部分,充实了第八章林区公路桥涵设计理论部分的内容;新增加了第九章森林公路施工与养护、第十章森铁线路构造,力求使本书更好地符合教学的实际要求。

另外,考虑到原教材参编人员工作的变动,经森林采运工程专业指导委员会的同意,本次修订对个别参编人员进行了调整,其修订的具体分工如下:绪论、一、三、四、五章:中南林学院苏烈诚,二、十章:东北林业大学王增朋,六、九章:中南林学院龙宪藻,七章:内蒙古林学院印廷杰,八章:福建林学院刘培裕,主编:苏烈诚。

为了进一步改进教学内容,提高教学质量,欢迎广大读者对本书提出宝贵意见。

编 者

1991年12月

编写说明

本书是根据1978年4月在哈尔滨召开的全国高等林业院校木材采运机械化专业教材会议制定的林区公路教学大纲编写的。全书除绪言外共分八章，其内容包括：林区公路规划设计，踏勘与选线，林区公路设计理论基础，平面、纵断面、横断面的设计原理和方法，路基、路面及小桥涵的勘测设计等。

本书编写分工：中南林学院苏烈诚主编（绪言，第一、三、四、五章）；福建林学院印廷杰（第七章）；金振伦（第二章）；刘培裕（第八章）；广西农学院林学院分院兰启文（第六章）。由东北林学院王汉新、韩德民主审。

本书在编写过程中，得到了有关勘察设计、施工、科研部门和兄弟院校的大力支持和帮助，在此表示感谢。全稿虽经多次讨论和修改，但由于水平有限，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

本书作为高等林业院校木材采运机械化专业试用教材，亦可供森工采运部门有关技术人员参考。

编者
1980年6月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 林区公路

第一章 林区公路规划设计	4
第一节 林区公路的组成	4
第二节 林道网规划	6
第二章 踏勘与选线	18
第一节 踏勘	18
第二节 自然条件对选线的影响	21
第三节 选线的原则与要求	22
第四节 各种地形条件下的选线	23
第五节 丘陵区的选线	43
第三章 林道设计理论基础	45
第一节 林区公路分级与技术标准	45
第二节 设计车辆	46
第三节 设计车速 (或称计算行车速度)	47
第四节 交通量、通行能力与行车密度	48
第五节 汽车的制动	49
第四章 平面与横断面设计	52
第一节 概述	52
第二节 路基与路面宽度的确定	52
第三节 平曲线半径	55
第四节 弯道的超高与加宽	61
第五节 平面行车视距及其保证	70
第五章 纵断面设计	76
第一节 路线纵断面图及对纵断面设计的要求	76
第二节 纵断面坡度	78
第三节 纵坡设计	83
第四节 竖曲线设计	85
第五节 平、纵面线形的组合	90
第六章 路基	92
第一节 概述	92
第二节 一般路基设计	97
第三节 特殊路基设计	104
第四节 路基排水设计	111
第五节 路基防护与加固	118

第六节 土石方计算及调配	126
第七章 路面	133
第一节 路面设计的要求	133
第二节 路面设计基础	135
第三节 路面结构设计	155
第四节 新建路面设计	158
第五节 改建路面设计	172
第八章 林区公路桥涵设计	182
第一节 总论	182
第二节 林区公路桥涵设计荷载	184
第三节 桥涵位置与形式的选择	192
第四节 桥涵水文计算	199
第五节 桥孔设计	225
第六节 桥涵结构的设计与计算	245
第七节 涵洞的立面布置	337
第八节 涵洞长度计算	341
第九节 标准图的运用	344
第九章 林区公路施工与养护	355
第一节 施工前的准备工作	355
第二节 路基施工	359
第三节 路面施工	367
第四节 林区公路的养护	370
第二篇 森林窄轨铁路	
第十章 森铁线路构造	376
第一节 上部构造	376
第二节 轨道构造	383
第三节 轨道的连接与交叉	387
第四节 线路的平面、纵断面及横断面	391
第五节 森铁桥涵	397
主要参考文献	400

绪 论

一、林道在林业生产建设中的作用和意义

林道广义而言是指在林区内为林业生产建设服务的各种道路，如林区公路、森林窄轨铁路、拖拉机道、人力胶轮板车道及流送河道等。而狭义的林道是专指林区内能通行运材汽车的公路及森林窄轨铁路。本书所涉及的内容，就是这两种道路。

林道是全面经营、利用森林的动脉，是发展林业，提高林业经营水平的重要条件，也是实现采育结合、青山常在、永续作业必不可少的一项设施。

实践证明，林道的作用是多方面的，归纳起来主要有：

(一) 林道是进行木材生产的基础设施

我国的森林多分布在远离城市的边远山区，木材又是一种大而笨重的特殊商品，要将采伐下来的木材运到国家标准轨距铁路(大铁)或大河边，然后运往城市、农村、矿山等需材地区，这就需要有林区道路。过去我国北方林区多以森铁。南方林区多以水运来完成木材运输任务。然而，随着木材生产任务的迅速增加，伐区作业进入森林纵深部位，自然地表坡度较陡以及大河两岸可采资源和可流送材种的减少，修建林区公路就被提到重要的议事日程。现在仍在利用河道运输木材的林区，也必须修建公路，通过公路将生产设备及所需的生活物资运到林区。

(二) 林道是全面经营森林、实行集约经营的需要

随着我国以营林为基础方针的贯彻落实，林道的作用越来越大。虽然经过多年的造林取得很大成绩，但仍有大面积的荒山、荒地需要绿化。要在这些地方进行人工造林，修建林道是必不可少的。它可以保证造林质量，对以后的幼林抚育和中林间伐也创造了极为有利的条件。随着木材生产向边远山区延伸，迹地更新的路程越来越远。修建林道显得更加重要。

林道在保护森林方面的作用也较显著。我国的森林火灾十分严重，过去许多林区由于没有林道，发生火灾后不能及时扑灭而造成较大的损失。例如1987年5月大兴安岭林区发生特大森林火灾，就是一个严重的教训。同样，林道在防治森林病虫害方面作用也很明显。

(三) 林道有利于繁荣边远山区的经济和旅游事业的发展

边远山区修建了林道，木材源源运出山区，山区人民参加了林业建设，这样，就使得山区的经济和人民的生活水平发生了明显的变化。同时，林道建设对开发旅游资源，发展森林旅游事业亦将发挥积极的作用。

随着我国林业的深化改革和发展，林道除担负木材及其它林产品的运输外，还要负担着整个林区的物质运输的重任。林道向人们在林区内进行一切经济活动提供了有利的条件。由此可见，建设林道，对森林资源的立体开发和集约经营，对搞活、发展、繁荣林区经济，提高山区人民政治文化生活和物质生活，搞好物质文明和精神文明的建设，实现林业的现代化，更具有重大的意义。

二、我国林道的发展和趋势

建国前,我国林业经营水平极其落后,绝大多数林区没有开发利用,占我国林区面积近一半的东北、内蒙古林区长期控制在日、俄帝国主义、封建把头手中,进行掠夺式的经营。林区工人在极恶劣的条件下,以繁重的体力劳动,从事森林采伐和木材运输,生产率很低。那时木材的运输基本靠水运,而且设施简陋。1945年日本投降时,在东北、内蒙古林区仅留有森林铁路1400 km。新中国成立后,进行了国民经济恢复和大规模的经济建设。由于国家采取了大力扶持林业的政策,使林业获得了新生。林业经营水平迅速提高。林道建设也取得了很大成绩。我国林道的发展大体可分三个阶段。

从新中国的诞生到第一个五年计划结束为第一阶段。这一阶段是在战争废墟上重建家园的恢复时期,为大规模经济建设奠定基础。国家建设和人民生活需要大量木材。因此这一时期林业经营方针是一切为了木材生产,满足社会主义建设的需要。这时期发展林业的重点是东北、内蒙古林区。森林铁路由新中国成立时1400km,发展到1953年的2407km,1957年已近5000km。我国林区从50年代开始采用汽车运输木材。1953年开始修建林区公路,先后在黑龙江省伊春林区的大丰、五道库;牡丹江林区的穆稜、绥阳、东京城;牙克石林区的伊图里河;吉林省林区的汪清修建林区公路。1955年在我国南方的云南、福建、贵州三省林区也开始试用汽车运材。从50年代中期起国产解放牌汽车用于林区。从此结束了全部依靠外国汽车的历史。由于我国汽车制造工业,石油工业的发展,推动了林区汽车运输方式的发展。到1957年全国共修建林区公路1400km。

1958年至1965年为第二阶段,这个阶段为我国经济建设大发展的时期,也是林业的大发展时期。该阶段林业经营的方针是大幅度增加木材产量,以满足国民经济建设高度发展的需要。林业建设的重点之一是加速林区道路建设,开发新林区。这期间共修建了森林铁路5587 km,其中南方集体林区修建森铁152km。全国林区的森铁数量相当于1957年以前森铁总长的2.1倍。随着我国工业的发展,公路建设速度加快。从东北、内蒙古、西南、西北国有林区到南方各省、自治区的集体林区,从国营林业局到国营伐木场都修建了林区公路,这个时期共修建林区公路2.5万km。为1957年以前修建公路总里程的18倍。

第三阶段1966年到现在是林业向现代化发展的奠基时期。“文化大革命”的十年,林业和其它部门一样受到了干扰和破坏。林业基本建设停滞不前,使林业生产受到很大影响。党的十一届三中全会决定把工作重点转移到经济建设上来,给林业带来了生机。在该时期制定了全国林业现代化建设宏伟目标,把发展林区交通作为实现林业现代化的重要内容之一。在总结国内、外历史经验中,人们逐步提高了对森林多种功能的认识。因此,林业经营思想由木材生产为主向以森林培育为主转变。随着林业经营思想的转变,建设林区道路的目的,不再是单纯为木材生产服务,而是为发挥森林的生态效益、经济效益和社会效益服务。

这一时期,森铁运输基本停留在前期水平,没有什么发展。从70年代中期开始,由于木材生产向高山和边远林区延伸,伐区分散,单位面积蓄积量减少,以及森铁机车性能的限制等原因。东北、内蒙古林区多数林业局自发地采取了“接力”式运输,即上段汽车运输,下段森铁运输。少数森铁运输局改为纯汽车运输局。相反,这期间林区公路的建设,则有较大的发展,尤其南方林区修建了大量林区公路。目前全国林区以汽车运输为主,北方辅以森铁,南方辅以水运。据林业部1989年的统计,现在全国林道的实有量:森林铁路8751km,林区

公路 189941km。已初步形成了四通八达的林道网，从而有力地促进了林区的生产和建设。

建国以来在林道建设方面的确取得了很大成就。但由于缺乏管理经验，加之林业经营指导思想上的问题而导致经营上的失误。主要表现在经营管理思想上的狭隘和偏见，缺乏科学方法管理；长期忽视林道投资的经济效益；缺乏长远规划，在林道建设上带有一定的盲目性等等。针对上述问题，为了加快我国林道建设的步伐，以适应祖国四化建设的需要。摆在我们面前的任务：一是一定要根据林业经营生产的需要，有计划有目的的增建一些新线，使林道的数量能有一个较大的增加；二是对原有的林道，有计划有步骤的进行技术改造，逐步提高技术标准和通过能力；三是要强化对现有林道的全面管理，进一步提高林道的质量和效益。完成上述任务，这是一个十分艰巨的工作，为此，我们应该从以下几个方面去努力：

第一，在森铁的建设上，实践证明，森铁的综合运输能力有很大的潜力和雄厚的物质基础，必须扬长避短，使其巩固和提高。要努力实现道床石碴化，枕木油浸水泥化，钢轨重长化，岔线铺修、拆转和养护机械化，桥涵结构永久化。

第二，对现有林区公路，要加强使用管理和养护。积极采用新技术、新材料、新工艺，不断提高其强度和稳定性。

第三，新线的勘测设计，要尽量采用先进的测设技术、设备和手段，以便能既精确又迅速地完成任任务。要逐步实现施工、养护的机械化。

第四，根据南北方林区特点，通过调查和试验研究，提出适合于我国林区公路路基、路面的设计数据和方法。

三、本门课程的任务、内容和教学方法

道路工程是森林工程专业的一门主要专业课，是研究道路工程理论与技术的一门应用学科，其任务是使学生：

- (1) 掌握道路工程的特点和理论；
- (2) 掌握道路工程设计的程序、内容和方法；
- (3) 了解我国道路工程存在的问题和发展趋势；
- (4) 熟悉道路工程施工与养护的基本知识，并掌握一般方法和步骤。

本门课程的内容在编排上，为了讲授和学习方便并使得与工作程序相吻合，全书分为两大部分：

第一篇为林区公路。包括：公路规划设计、踏勘与选线、几何设计的理论基础、平面与横断面设计、纵断面设计、路基、路面、桥涵工程、公路施工与养护。

第二篇为森林窄轨铁路。包括：森铁线路构造、森铁桥梁等。

道路工程是一门综合性和实践性很强的课程，为使学生掌握课程内容，在学习本课程时，必须运用测量学、水力学与水文学、土力学与工程地质、工程结构、汽车拖拉机、道路建筑材料、木材运输学等有关课程的理论知识。按照党的教育必须为社会主义现代化服务，必须同生产劳动相结合的教育方针，在学习过程中应贯彻理论联系实际的原则。因此，学生除了通过课堂讲授、实验和研读教材系统掌握和巩固基本理论外，还应通过课程设计、线路野外勘测设计的实习，实际的操作，使学生能真正掌握线路设计的实际工作能力并结合现场教学在现地补充有关内容等问题，增强感性知识，从而提高学生分析问题和解决实际问题的能力。

第一篇 林区公路

第一章 林区公路规划设计

第一节 林区公路的组成

林区公路由路基、路面、排水设备、桥梁、涵洞、防护工程、交通标志、附属工程以及绿化等部分组成。

这些组成部分，本节只作扼要介绍。

路基是按照路线位置和一定技术要求修筑的带状构造物。它是路面的基础，承受由路面传递下来的行车荷载。

路基随自然地形之不同，一般分为路堤及路堑两种：高于原地面的填方路基时称为路堤如图 1-1。而低于原地面挖方路基称为路堑如图 1-2。

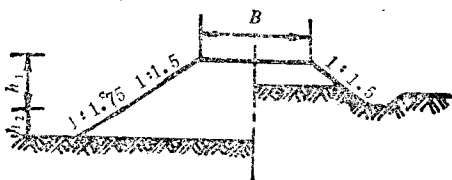


图1-1 路堤

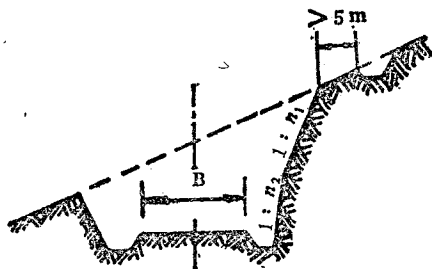


图1-2 路堑

在所有路堑、低路堤和无填挖路段的两侧均设有排水沟，这种排水沟称边沟。

在路基旁边用来取土填筑路堤的地方称为取土坑。取土坑的位置要与路基平行，同时必须挖成规整的长方形，取土坑也可用做边沟。

在路堤坡脚和取土坑上口的内缘之间的地带称为护坡道。

在开挖路堑时通常将挖出的土运往填筑路堤，当挖出的土还有剩余时，即沿路面有计划的堆放在路堑旁边，该土堆称为弃土堆。

路面是用各种筑路材料铺筑在公路路基上供车辆行驶的构造物。为保证汽车以正常速度安全行驶，并降低木材运输费用，路面应具有—定的强度、稳定性、平整性、粗糙度和少尘性。

路基边缘与路面边缘之间的长条地带称为路肩。路肩是用来支持路面的，还可作为临时停放车辆和行人避车之用。

排水设备是沿道路设置的沟管，用以排除路基内部及其附近的地面水和地下水，以保证路基与路面有足够的稳定性。

地面水可用边沟、取土坑、截水沟、排水沟排除。

边沟是用以汇集和排除路基范围以内及流向路基的少量地面水。

截水沟是设置在路基挖方边坡上方的山坡上，垂直于水流方向，大致与路线平行。目的是用来截挡由山坡流向路基的地面水，使水不致冲毁路基边沟，减轻边沟排水量。

排水沟是设置在路基上方一侧或两侧，用以截引流向路基地面水流，不使停积和危害路基。

排除地下水的设备称为地下排水设备，如地下盲沟等。

为了更好地排除地面水，路面和路肩均应保持朝向边沟的横向坡度。

当林区公路跨越经常性或季节性较大的水流时，则须设置桥梁或涵洞。对于跨越经常性或季节性的小水流，有时也可使用石块砌成的渗水路堤，使水流以渗透的方式通过如图1-3。另外，对季节性的小水流还有使用石砌的过水路面如图1-4。

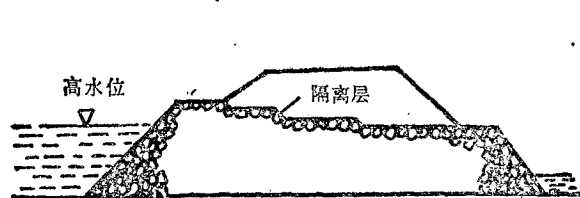


图1-3 渗水路堤

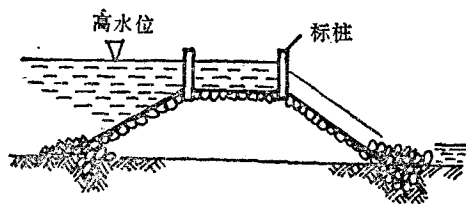


图1-4 过水路面

在修建林区公路时，常常需要设置各种防护工程。如为保证路基稳定性往往在两侧边坡修筑挡土墙、护坡或支撑墙。在急弯、陡坡、狭路、视距不良、桥头引道、高路堤、深沟及地形险峻等危险地段，应依具体情况设置护栏、护柱、护墙等安全设施，以增强司机在危险地段行车的安全感，并在一定程度上起阻止汽车驶出路外的作用。

一般以采用护柱较为经济，柱间距离，在急弯及桥头引道上为2m，在直线上为3m。

在下侧挡土墙顶、岩石或坚石路基上，可采用墙式护栏，墙式护栏可分为不间断式和间断式两种。间断式一般墙长2m，间距2m，墙厚40~50cm，高出地面50~60cm。

在公路上，为保证行车的安全及指示行车方向，应设置交通标志，以使司机能够知道这些路段的情况和特点。交通标志一般包括警告标志（预告注意危险地点）、禁令标志（对车辆行驶加以限制）、指示标志（指引行驶方向）、指路标志包括里程碑、分界牌、指向牌等。

交通标志和指路标志，应设置在行驶方向的右侧，标志距路基边缘一般为20~30cm。

此外，林区公路还设有各种附属工程。例如：木材装卸场地的装卸线和回车线，加油站、调度室、养路工房等附属建筑物。这些建筑物的修建，均应本着就地取材、经济、适用的原则进行，并注意与当地的民房相协调。

植树与绿化也是林区公路不可缺少的部分，因此，在公路两侧应大力进行绿化，以稳定路基、美化路容、增加行车安全和积累木材资源。

林区公路每一个组成部分都是相互关联的，不可轻视这个而重视那个。忽视任何一种工程，都会给运输带来不利的影响，尤其对运输木材的车辆影响更大。

第二节 林道网规划

一、概 述

在林业经营区内，为林业生产服务的由干、支、岔线林道组成的网络称为林道网。

干线林道主要影响运材效率，它是勾通林业局、林场以及林区内部主要居民点与外界联系的道路。干线林道汇集了该林区路网的运量，并以它为骨干形成开发和经营林区的路网。它在林业企业的整个经营期内都要起作用，属永久性道路。支线是从干线分出，深入林区，勾通岔线的道路。支线林道不仅对采运作业起重要的作用，而且对营造林和森林保护也发挥着重要的作用，支线的使用期取决于吸引区作业周期，一般为长期的（5年以上）或永久的。岔线是处于路网末梢，深入经营作业区，勾通山中楞场（集材点），并与干、支线相连的道路。岔线虽然对营造林也发挥重要作用，但其主要作用在于尽量缩短集材距离。一般情况下，岔线在该作业区结束营林或采伐工作时，即弃养，待下一周期再恢复或重新布设。它的使用期一般在5年以内，甚至一个运季，属临时性的道路。

林道网的规模大小，是以单位林业经营面积上的林道数量总长度来表示，此林道的数量谓之林道网密度，它的计量单位是 m/ha 。根据林道网密度的大小，可以衡量林业企业的经营水平。

路网的规划是在局址、贮木场与外部运输的衔接点、运输类型，以及林场址等已确定的前提下进行的。

路网规划是一项综合性的技术经济措施，不仅取决于国民经济发展的需要和整个林业企业的集约经营的程度，而且也受自然条件的约束，因此，正确地分析各个影响因素是规划时要注意到的。坚决贯彻“以营林为基础”的方针，在规划时不论哪一种林道（运材道或营林道）都应本着山、水、田、林、路综合治理的原则去进行。

二、国外林道网概况

（一）中欧理论

大家都知道，集材费在木材采运的成本中占有相当大的比重。因此从采运技术和降低成本的观点出发，应该首先选择一种适宜的集材方式，这种集材方式应有一个合理的集材距离，根据这个集材距离可以确定与其相配合的林道间隔或林道网密度。

这种理论主要起源于中欧的瑞士、奥地利等国，因此命名为“中欧理论”。这种理论认为，在某种集材方式与某种运材方式相衔接，集材作业费是随着集材距离的缩短而降低的。在开始时集材作业费的减少率非常明显，但当集材距离缩短到某一限度之后，集材作业费的减少率将变得很小，甚至不再降低。这就说明无论何种集材方式，均存在经济效果最好的集材距离。为了实现这种经济效果最好的集材距离而修建的林道网密度就是合理的密度。在整个集材作业包括小集中、装材、运材、卸材、回空等几个工作。一般情况下，小集中和装卸工序所占用的时间，在整个集材作业中占有相当大的比重。而且集材距离越短，所占比重越

大。如果装卸工序所占的时间比重过大，则在经济上是不合算的。这种关系如图 1-5。

费用曲线在第 I 段的上升率最大，这说明装卸费占有很大的比重；在 II 段曲线的上升率较缓，说明装卸费的影响较小；而第 III 段曲线的上升率极微，这说明装卸费的影响已经很小了。

因此为了求得经济效果最好的集材距离，可以考虑使装卸时间与行驶时间相等的方法来解决。例如在拖拉机集材条件下：

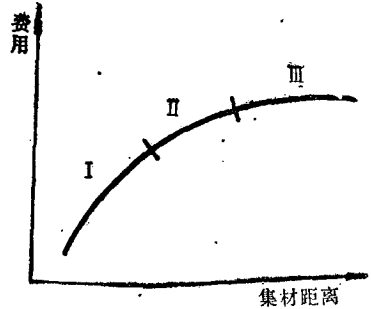


图1-5 集材距离费用曲线

1. 小集中集材时间

$$t_1 = n l_1 \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right)$$

式中 n ——小集中拖集次数；

l_1 ——小集中拖集距离(m)；

v_1 ——绞盘机拖集木材的速度(m/min)；

v_2 ——工人拖曳捆木索的速度(m/min)。

2. 卸材时间 为了简化计算，可将上述装卸时间乘一个系数求得，

$$t_2 = 0.2 t_1 = 0.2 n l_1 \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right)$$

$$\text{装卸时间 } t_0 = t_1 + t_2 = 1.2 n l_1 \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right)$$

3. 拖拉机行驶时间

$$t_3 = \frac{l_2}{0.75} \left(\frac{1}{v_3} + \frac{1}{v_4} \right)$$

式中 l_2 ——行驶距离，即集材距离(m)；

v_3 ——拖拉机顺坡行驶的最高速度(m/min)；

v_4 ——拖拉机逆坡行驶的最高速度(m/min)；

0.75——最高速度换算为平均速度的系数。

4. 拖拉机转向和准备作业时间

为简化计算，可按下式求得：

$$t_4 = \frac{0.3 l_2}{0.75 v_4}$$

拖拉机的转向、运行等时间总和为：

$$t = t_3 + t_4 = \frac{l_2}{0.75} \left(\frac{1}{v_3} + \frac{1.3}{v_4} \right)$$

现设 $t = t_0$ ，即

$$1.2 n l_1 \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) = \frac{l_2}{0.75} \left(\frac{1}{v_3} + \frac{1.3}{v_4} \right)$$

这样求得经济集材距离为：

$$l_2 = \frac{0.9nl_1 \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right)}{\frac{1}{v_3} + \frac{1.3}{v_4}} \quad (1-1)$$

为了保证集材距离为 l_2 ，所修建的林道间隔应为：

$$S = 4l_2 \quad (1-2)$$

林道网密度为：

$$d = \frac{2500K}{l_2} \quad (1-3)$$

式中 K ——林道在平面上的弯曲系数。

我们认为，中欧理论过于强调集材对木材采运生产成本的影响，而忽视了为修建运材道路的投资。这在采运工人工资高，而修建林道比较容易，林道的造价较低，原有的林道网密度高是适用的。

在我国各林区，一般采运工人的工资都低，因而集材费相对也较低，而林道的修建费较高，原有林道密度低。在这种情况下，如果不考虑林道建设的投资效果，而只是单纯地从有利集材作业出发，来考虑林道网的布设是不合适的。

(二) 极限理论

极限林道网密度理论 极限林道网密度理论的概念，简单地说是采运企业将采伐森林所得的收入，扣除木材生产费、造林抚育费、森林保护费、企业管理费、税金以及企业利润留成等各项费用之后，将剩余的收入都用来修建林道，把这样建成的林道网密度叫“极限密度”或称“容许最大密度”。在所发生的费用中，与林道网密度有关的费用有集材费、林道修建费和养路费等，把这些费用称之为“主要生产费”。与林道密度关系不大或者根本无关系的费用统称为“其它生产费”。

设 p 为每立方米木材销售价 (元/ m^3)；

I 为企业利润 (元/ m^3)；

M 为一般管理费 (元/ m^3)；

K_1 为主要生产费 (元/ m^3)；

K_2 为其他生产费用 (元/ m^3)。

$$\text{则} \quad I = p - K_1 - K_2 - M \quad (1-4)$$

企业利润和一般管理费可用下式表示

$$I = I_c p, \quad M = M_c p$$

式中 I_c ——利润率，

M_c ——管理费率。

由式 (1-4)

得

$$\begin{aligned} K_1 &= p - K_2 - M - I \\ &= p - K_2 - M_c p - I_c p \\ &= (1 - M_c - I_c) p - K_2 \end{aligned} \quad (1-5)$$

如果把企业利润控制在保证企业进行正常运营的必要范围内，将剩余收入用于补充主要生产费用，这时的主要生产费将是经济上所允许的最大值，即极限生产费。用极限生产费修建的林道网，其密度叫极限林道网密度。这个关系如图 1-6 所示。

用该理论计算所得的林道网密度，实践表明是很高的，这与我国各林区现有的林道密度相比，差距甚大，因此要将这种理论广泛应用于我国林区的林道网规划，还不符合当前的实际情况。但对我国某些事业单位的国营林场，还是可以应用的。

(三) 马秋思理论

林道网密度增加，集材距离就缩短，从而可节省集材费。但是修建道路的投资也随之而增加，马秋思的最佳道路间隔理论，就是以最小费用原理为基础，即林道的最佳间隔应该是使集材费和林道修建费的总和为最小。当然与林道网密度有关的因素很多，马秋思理论是在这些因素中抽出最主要的两个因素，通过林道模图建立起总费用函数。当总费用最小时求得林道的最佳间隔如图1-7，集材费和林道修建费的总和为：

$$X = C \cdot \frac{S}{4} + \frac{R}{VS} \quad (1-6)$$

由英制单位换算后得式

$$X = C \frac{S}{4} + \frac{10000R}{VS} \quad (1-7)$$

- 式中 C——集材费(元/m³·m)；
- V——单位面积出材量(m³/ha)；
- S——林道间隔(m)；
- R——林道修建费(元/m)。

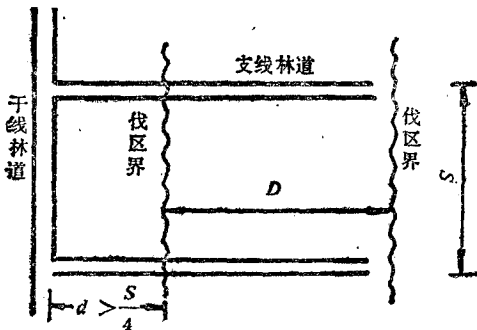


图1-7 林道网模图

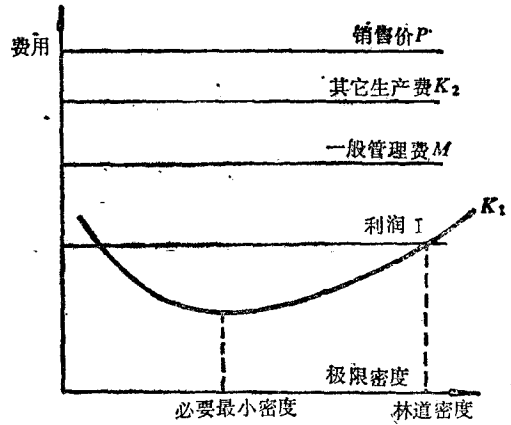


图1-6 林道网密度与费用关系曲线

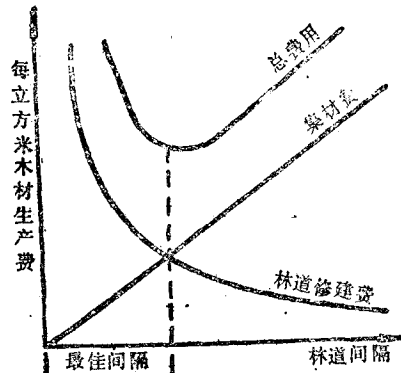


图1-8 最佳林道间隔

从(1-7)式可知：集材费 $C \frac{S}{4}$ 与 S 成正比，林道修建费 $\frac{10000R}{VS}$ 则与 S 成反比。使该两项相等时可求出最小费用值。

$$C \frac{S}{4} = \frac{10000R}{VS}$$

$$S = 200 \sqrt{\frac{R}{VC}} \quad (1-8)$$

由 1-8 式可求得使单位材积的集材费和林道修建费的总值为最小, 即得适宜的林道间隔。将其绘成曲线如图 1-8 所示。

马秋思理论很快为一些学者所接受, 在美国、加拿大、日本、原联邦德国、原苏联、瑞典等国被广泛应用。但是由于马秋思理论所建立的林道模型及最佳间隔公式, 基本上适用于平坦的地形, 以拖拉机集材与公路运材相衔接的伐区, 而对在山地条件下的集材作业及其对生产费用的影响, 考虑还不够全面。因此各国的学者根据各自不同的情况, 重新假定林道网的模型, 建立费用函数, 推导出各自的计算公式。

马秋思理论不象中欧理论那样, 仅强调集材费对木材生产成本的影响, 也不象极限林道理论那样, 只是根据企业的利润来确定林道修建的密度, 而是综合考虑了集材费和林道修建费, 并用总费用最小这一目标来平衡两者关系, 以达到控制林道建设数量的目标。

通过对国际上各种林道网理论的分析 and 比较, 我们是采用总费用最小原理, 结合我国各林区的实际情况加以研究和应用的。

三、我国林道网理论的研究

60 年代初期, 我国就有少数单位和个人, 对林道网密度问题进行过研究。1978 年以后, 由于形势的需要, 林业部重视了林道网密度的研究, 并在全国范围内开展了研究工作。通过几年来的研究和研究成果的验证, 可以这样地说, 我国重点林区林道研究工作已经达到了预期的目的, 成绩卓著。但有些问题仍在继续深入研究中。

由于我国幅员辽阔, 地跨寒带、温带、暖温带和亚热带, 气候、土壤、立地条件的差异造就了不同的森林。加上社会经济、经营水平的不同等原因, 三大林区 (东北、内蒙古林区, 西南国有林区以及南方集体林区) 的差别很大, 不能用一种模式来研究林区道路网的合理密度, 所以, 必须分别考虑进行研究。

(一) 东北、内蒙古林区林道网的理论研究

在林道网规划时, 首先要决定的是控制全林区的干线林道网, 这一部分林道是林区的交通中枢。在干线林道的基础上逐步地布设支线林道加以补充。然后再在干、支林道网基础上增加岔线林道。东北、内蒙古林区的干线 (除少数未建局) 已基本建成, 支线也大部分建成, 只有岔线需要逐年建设, 而且每年岔线建设数量大于支线建设数量的数倍。而岔线一般均布设在伐区, 这样研究岔线林道网合理密度, 就具有更为重要的现实意义。这里着重介绍这方面的研究成果:

1. 岔线林道网理论 依岔线的作用及使用情况, 在生产费用中与岔线林道网有关的有集材、运材、装车场修建、集材道修建等费用。在这些费用中集材费对于修建林道的影响是较大的, 而其它费用影响较小。所以在研究岔线林道网密度时, 可以排除影响较小的费用因子, 取林道修建、林道养护、集材三项费用之和作为总费用, 通过模图和使总费用最小的方法, 建立伐区合理林道网密度公式。

由图 1-9 设 S ——林地宽度(m),

L ——林地长度 (m);
 l_p ——平均集材距离 (m);
 d ——路网密度 (m/ha)。

则
$$d = \frac{\dot{L}}{LS} = \frac{L}{LS \times 10^{-4}} = \frac{10^4}{S}$$

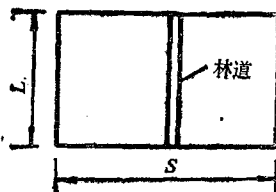


图1-9 伐区模图

又因
$$l_p = \frac{S}{4}$$

所以
$$d = \frac{10^4}{4l_p} = \frac{2500}{l_p} \quad (1-9)$$

(1-9) 式是在理想状态下的路网密度与平均集材距离之关系。由于实际生产情况并非理想状况，所以，对(1-9)式进行修正。

设 η_1 ——林道偏移，装车场间距，装车场位置的修正系数；
 η_2 ——林道深入伐区程度的修正系数；
 η_3 ——集材道弯曲修正系数；
 η_4 ——林道弯曲修正系数。

所以
$$d = \frac{2500\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4}{l_p} \quad (1-10)$$

令
$$a = 2500 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$$

则
$$d = \frac{a}{l_p} \quad (1-11)$$

a ——综合系数。

(1) 林道修建费

设 K_1 ——林道修建费 (元/ha);
 $A_{\text{道}}$ ——单位长度林道修建费 (元/m);
 d ——林道密度 (m/ha)。

则

$$K_1 = A_{\text{道}} \cdot d \quad (1-12)$$

(2) 林道养护费

设 K_2 ——林道养护费 (元/ha);
 $A_{\text{养}}$ ——单位长度林道养护费 (元/年·m);
 n ——林道养护时间(年)。

则

$$K_2 = n \cdot A_{\text{养}} \cdot d \quad (1-13)$$

(3) 集材费

设 K_3 ——集材费(元/ha);
 $A_{\text{台}}$ ——集材机械台班费(元/台班);
 $P_{\text{集}}$ ——集材机械台班产量 (m³/台班);
 q ——单位面积出材量 (m³/ha)。

$$\text{则} \quad K_3 = \frac{A_{\text{集}}}{P_{\text{集}}} \times q \quad (1-14)$$

又设 t —— 日作业时间 (min);
 t_1 —— 准备与结束时间 (min);
 t_2 —— 装卸停留时间 (min);
 t_3 —— 每米往返走行时间 (min);
 a —— 集材固定费 (元/m³·m);
 β —— 集材可变费 (元/m³·m);
 Q —— 集材机械每次平均载量 (m³).

$$\text{则} \quad P_{\text{集}} = \frac{(t-t_1) \cdot Q}{t_2 + t_3 l_P} \quad (1-15)$$

$P_{\text{集}}$ 代入 (1-14) 得:

$$K_3 = \frac{A_{\text{集}} \cdot q (t_2 + t_3 l_P)}{(t-t_1) Q} \quad (1-16)$$

$$= \left\{ \frac{A_{\text{集}} \cdot t_2}{(t-t_1) Q} + \frac{A_{\text{集}} \cdot t_3}{(t-t_1) Q} \cdot l_P \right\} q$$

$$\text{令} \quad a = \frac{A_{\text{集}} \cdot t_2}{(t-t_1) Q}, \quad \beta = \frac{A_{\text{集}} \cdot t_3}{(t-t_1) \cdot Q}$$

$$\text{又因} \quad l_P = \frac{a}{d}$$

$$\text{则} \quad K_3 = (a + \beta l_P) \cdot q$$

$$\text{故} \quad K_3 = \left(a + \frac{a\beta}{d} \right) q \quad (1-17)$$

(4) 按最小值原理, 将上列三项费用之和求对路网密度 d 的一阶导数使之等于零, 则: 总费用

$$K = K_1 + K_2 + K_3$$

$$K = A_{\text{道}} \cdot d + n \cdot A_{\text{养}} \cdot d + \left(a + \frac{a \cdot \beta}{d} \right) \times q \quad (1-18)$$

$$\text{由} \quad \frac{dK}{d(d)} = 0$$

$$\frac{dK}{d(d)} = A_{\text{道}} + n A_{\text{养}} - \frac{a \cdot \beta \cdot q}{d^2} = 0$$

$$d = \sqrt{\frac{a \cdot \beta \cdot q}{A_{\text{道}} + n \cdot A_{\text{养}}}} \quad (\text{m/ha}) \quad (1-19)$$

式 (1-19) 即为伐区合理路网密度公式。

2. 造林、营林林道网理论 东北、内蒙古林区, 林业经营规模较大, 森林集中连片。林业局的经营面积十余万公顷或数十万公顷。由于历史的原因, 造成森林采育失调, 使林区形成了大面积的荒山和次生林地。为了恢复和改造这些林地, 就需要修建营、造林林道网。

营、造林林道网是指在连片的荒山、荒地中进行造林、幼林抚育、透光抚育、直到间伐出成材之前这一阶段, 每公顷作业面积上所需要的合理林道数量。目前营、造林作业基本上采