

研究报告№ 8 3 0 3

编制惠阳地区马尾松 人工林立木材积表的探讨

梁标 张子佑

(华农森林经理研究室)

谭励健 陈韩辉

(惠阳地区林业局)

华南农学院森林经理研究室

1983年10月

PDG

编制惠阳地区 马尾松人工林立木材积表的探讨.

梁标 张子佑 谭励健 陈韩辉
(华农森林经理研究室)(惠阳地区林业局)

一 前 言

马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)是惠阳地区的主要用材树种,分布于全区各个县份。面积达1385万亩,占全区森林面积的46.5%;蓄积为1280万立方米,占全区森林资源的53.8%。其中人工林所占的比重不小。马尾松能耐干旱瘠薄的土壤,适应性强,生长快,成林容易,综合利用价值大,既可生产木材,又可采割松脂,系营林上较理想的树种,在林业生产上占有一定的地位。经营好马尾松,充分发挥其优势,提高单位面积产量。是目前营林工作的当急之务。立木材积表是营林和资源调查中不可缺的基本数表,而地区性的立木材积表比大区更确切地反映立木材积的特点。为此我们编制了惠阳地区人工林马尾松立木材积表,供经营管理、森林资源调查使用。由于各种原因,错误在所难免,请予批评指正。

二 资料搜集与整理

1981年惠阳地区国营林场森林资源调查于大岭山林场进行试点,顺此组织皆伐标准地操作试点,统一方法和要求。同年在红星、坪山、东江、象头山、汤泉、水东陂、樟木头、墩子等国营林场开展工作,分别在不同部位、坡向、土壤及不同的森林类型,设置皆伐标准地19块。这些标准地分布于各县,好、中、差的林分类型都有,具有一定的代表性。标准地用罗盘仪测设,闭合差要求二百分之一,面积为一市亩。在标准地上先进行每木调查,然后逐株伐倒,用两米段中央断面区分求积计算材积,数据较为准确可靠。将一些断梢、畸形的标准木剔去,共采用1768株,然后以两公分为一径阶,用上限排外法,进行归纳整理,统计各径阶的株数、平均树高、平均直径、平均材积作为编表的原始数据。见表1。

• 本文外业资料收集得到各国营林场技术人员的协作,内业计算又得到华农林学系78级毕业生茹正忠、张敏、陈宗灵、林兆生协助计算,特此致谢。

表 1

马尾松各径阶株数、树高、直径、材积一览表

径阶	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
株数	15	43	121	238	302	270	225	127	74	31	32	12	8
平均树高	6.8	9.0	10.7	11.1	12.4	13.1	14.0	14.8	16.1	17.0	18.5	17.8	18.6
平均直径	6.1	8.1	10.2	12.0	13.9	15.9	17.8	19.8	21.8	23.7	25.6	27.8	29.8
平均材积	0.0115	0.0258	0.0446	0.0638	0.0939	0.1262	0.1631	0.2231	0.2732	0.3347	0.4308	0.4823	0.5570

三 材积公式的选择

立木材积公式的数学模型很多。公式选择恰当与否，关系到编表的精度，及其是否如实反映立木材积的客观情况，故公式的选择是材积表编制中的重要问题之一。为此先以樟木头、汤泉两个林场的材料，探索其最佳的数学模型。而分别用下式：

$$1、V = ad^b H^c \dots\dots (1) \quad (\text{山本和藏式})$$

$$2、V = a + bd^2 H \dots\dots (2) \quad (\text{斯波尔式})$$

$$3、V = a + bd + cd^2 H \dots\dots (3)$$

$$4、V = a(-d^2 H)^b \dots\dots (4) \quad (\text{斯波尔式})$$

计算其回归参数及相关系数，以比较各式的适用程度。四个公式的回归参数，相关系数计算结果如表 2。

表 2

各公式的回归参数及相关系数表

林场 参数 公式	樟 木 头				汤 泉			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
a	-0.72206	0.01173	-0.01813	-0.23986	-0.30936	5.29172	-3.10158	-0.11280
b	1.55436	0.00003	0.00295	0.95043	1.62233	3.44799	1.04095	0.90683
c	1.70663		0.00003		1.34113		3.1714	
R	0.9971	0.9992	0.9995	0.9998	0.9996	0.9984	0.9987	0.9995

从上表的相关系数来看，都在 0.99 以上，相关极紧密，四个公式均可适用，但难以判别那个公式较理想。

再根据两个林场各标准地的实测材积及用四个公式计算的理论材积，进行比较，便

可从其误差的大小来判别各式的优劣。

樟木头、汤泉林场各标准地材积误差表

表 3

标准地 号	测实材 积	(1)式		(2)式		(3)式		(4)式	
		理 论 材 积	材积误 差%	理 论 材 积	材积误 差%	理 论 材 积	材积误 差%	理 论 材 积	材积误 差%
樟木头 1	14.6122	13.9610	-4.45	14.6878	+0.52	14.7679	+1.06	14.6975	+0.58
2	15.7430	15.0972	-4.10	15.8817	+0.88	15.8542	+0.71	15.7051	※ -0.24
3	15.4209	15.4692	※ +0.31	16.2635	+5.46	15.3208	-0.65	15.3652	-0.36
4	15.1474	14.1403	-6.65	15.2813	※ +0.89	15.4527	+2.02	15.2834	+0.90
5	20.9625	24.2980	+15.91	20.6554	+1.46	20.6154	-1.66	21.0623	※ +0.48
合 计	81.8860	82.9659	+1.32	82.7707	+1.08	82.0110	※ +0.15	82.1135	+0.28
汤 泉 1	3.8400	3.5894	-6.53	3.7390	-2.63	3.7496	※ +2.35	3.6670	-4.50
2	5.0091	5.0225	※ +0.27	5.1608	+3.03	5.2281	+4.37	5.2089	+3.99
3	3.9905	3.9614	※ -0.73	4.0640	+1.84	4.0797	+2.24	4.0302	+0.99
4	3.4809	4.0079	+15.20	3.8029	+9.25	3.7354	+7.31	3.7075	※ +6.51
5	5.9155	5.3441	-9.66	5.4702	-7.53	5.5406	※ -6.34	5.4778	-7.40
6	3.0278	3.0602	※ +1.07	3.1817	+5.08	3.1733	+4.80	3.1386	+3.66
7	5.1443	5.7676	+12.12	5.3664	+4.32	5.2750	+2.54	5.2179	※ +1.43
合 计	30.4081	30.7549	+1.14	30.7850	+1.24	30.7817	+1.23	30.4499	※ +0.14

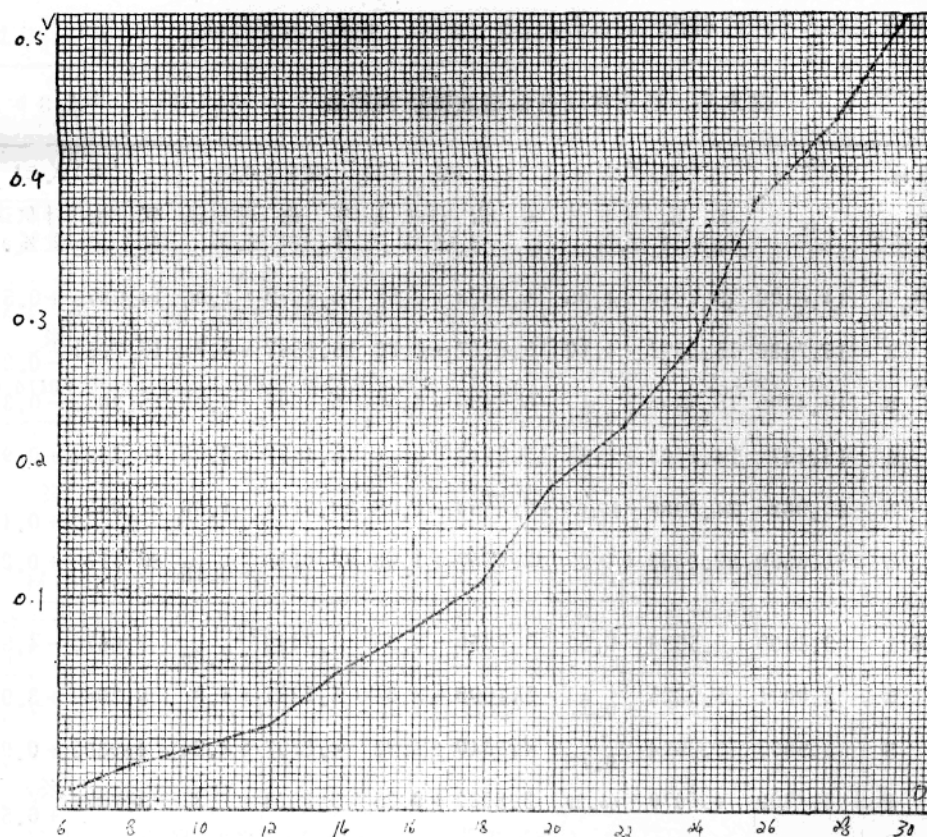
注：有※者是同一标准地，误差最小者。

从表 3 的误差来看，不难看出，(4)式的误差最小，(1)式次之，(2)、(3)式又次之，(4)式是较为理想的公式，但为了作多种方案的比较，乃选用(1)、(4)两式作为编表的材积公式。

四 材积表的编制

(一) 二元材积表的编制

将表 1 的数字，以横坐标表示直径，纵坐标表示材积，作散点图，得图 1。



在图上可看出直径和材积的趋势，直径6至16公分呈现一条较缓和的曲线，16公分以上则呈现较陡的材积曲线。如果全部径阶配一个回归方程，显然不能全面反映材积实际情况。因此应用(1)(4)式进行分段回归，6至16公分配一回归方程，16公分以上又配一回归方程。其回归参数、相关系数、剩余平方和见表4。

表4 (1)、(4)式回归参数、相关系数、剩余平方和表

回归参数 公式		a	b	c	R	剩余平方和 Q
(1)式	6—16 公分	0.756805	1.97229	0.764407	0.9998	0.014762
	16公分 以上	1.046022	2.36072	0.218702	0.9976	0.10405
(4)式	6—16 公分	0.6393075	0.93632081		0.9998	0.011778671
	16公分 以上	0.5849992	0.94716538		0.9972	0.11872575

上述两式分段回归是否成立，我们应用了巴特勒(Bartlett)法进行方差齐性进行检验。

表5

(1)式 $(V = a(d^2H)^2)$ 方差齐性检验表

分段	株数 n_i	剩余平方和 Q	$ni-3$	方差 S^2_i	LnS^2_i	$(ni-3)LnS^2_i$
6—16公分	989	0.014762	986	$1.497160243 \times 10^{-5}$	-11.1093553	-10953.8243
16公分以上	779	0.10405	776	$1.34085015 \times 10^{-4}$	-8.91703624	-6919.62012
合计	1768	0.6118812 (g^2)	1762 (n)			-17873.4444

$$S^2 = g^2/n = \frac{0.6118812}{1762} = 6.748019296 \times 10^{-5}$$

$$L_n S^2 n = -16922.9839$$

$$C = 1 + \frac{1}{3(a-1)} \left[\sum_{i=1}^a \frac{1}{(n_i-3)} - \frac{1}{\sum_{i=1}^a (n_i-3)} \right] = 1.00057844$$

$$\chi^2 = \left[(Ln S^2) \cdot n - \sum_{i=1}^a (n_i-3)(Ln S^2_i) \right] / C = 949.9110334$$

表6

(4)式 $[V = a(d^2H)^2]$ 方差异性检验表

分段	株数 n_i	剩余平方和 Q	$ni-2$	方差 S^2_i	LnS^2_i	$(ni-2)LnS^2_i$
6—16公分	998	0.017786706	987	$1.802097872 \times 10^{-5}$	-10.923973	-10781.961
16公分以上	779	0.11872575	777	$1.52800103 \times 10^{-4}$	-8.7863794	-6827.2168
合计	1768	0.136512456 (g^2)	1764 (n)			-17908.978

按自由度 $f = a - 1 = 1$ (a 为分段数) 查表得 $\chi^2_{0.05}$ 为 3.84, 而

$$\chi^2 > \chi^2_{0.05}$$

$$S^2 = \frac{g^2}{n} = \frac{0.136512456}{1764} = 7.73879 \times 10^{-5}$$

$$(L_n S^2) \times n = -16699.222$$

$$C = 1 + \frac{1}{3(a-1)} \left[\sum_{i=1}^a \frac{1}{(n_i-2)} - \frac{1}{\sum_{i=1}^a (n_i-2)} \right] = 1.0005778$$

$$\chi^2 = \left[(Ln S^2) \cdot n - \sum_{i=1}^a (n_i-2)(Ln S^2_i) \right] / C = 909.23065$$

人工林马尾松二元材积表(4)式

单位: 树高——米
直径——公分

材积——立方米

表 7

材积 径阶	材积 树高	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	径阶
6		0.00670	0.00830	0.00980	0.01130	0.01280	0.01430	0.01580	0.0173										6
8		0.01150	0.01420	0.01680	0.01940	0.02200	0.02460	0.02710	0.02960	0.03220	0.0347								8
10			0.02150	0.02550	0.02950	0.03340	0.03730	0.04120	0.04500	0.04880	0.05260	0.05640	0.06020	0.0639					10
12			0.03030	0.03590	0.04150	0.04700	0.05250	0.05790	0.06330	0.06870	0.07410	0.07940	0.08470	0.09000	0.09520	0.10050	0.10570	0.1109	12
14				0.04790	0.05540	0.06270	0.07010	0.07730	0.08450	0.09170	0.09890	0.10600	0.11300	0.12010	0.12710	0.13410	0.14100	0.1480	14
16				0.06130	0.07080	0.08040	0.08980	0.09910	0.10840	0.11770	0.12680	0.13610	0.14520	0.15430	0.16340	0.17240	0.18140	0.1902	16
18					0.08820	0.10010	0.11190	0.12370	0.13535	0.14700	0.15850	0.17010	0.18160	0.19300	0.20440	0.21580	0.22710	0.2384	18
20					0.10770	0.12220	0.13660	0.15100	0.16520	0.17940	0.19360	0.20760	0.22170	0.23560	0.24960	0.26340	0.27730	0.2911	20
22						0.14640	0.16370	0.18080	0.19790	0.21490	0.23190	0.24870	0.26550	0.28230	0.29890	0.31560	0.33220	0.3487	22
24						0.17260	0.19300	0.21330	0.23340	0.25350	0.27340	0.29330	0.31310	0.33280	0.35250	0.37210	0.39170	0.4112	24
26							0.22460	0.24820	0.27160	0.29490	0.31820	0.34130	0.36440	0.38730	0.41020	0.43300	0.45580	0.4785	26
28							0.25850	0.28560	0.31260	0.33940	0.36610	0.39280	0.41930	0.44570	0.47210	0.49830	0.52450	0.5506	28
30							0.29450	0.32550	0.35620	0.38680	0.41730	0.44760	0.47780	0.50790	0.53800	0.56790	0.59770	0.6275	30
32								0.36780	0.40250	0.43710	0.47150	0.50580	0.54000	0.57400	0.60790	0.64170	0.67550	0.7091	32
34									0.45150	0.49030	0.52890	0.56740	0.60570	0.64390	0.68190	0.71980	0.75770	0.7954	34
36										0.54640	0.58940	0.63220	0.67490	0.71750	0.75990	0.80220	0.84430	0.8863	36
38											0.65300	0.70040	0.74770	0.79490	0.84180	0.88870	0.93540	0.9819	38

按自由度 $f = a - 1 = 1$ (a 是分段数) 查表得 $X^2_{0.05}$ 为 3.84, 而 $X^2 > X^2_{0.05}$

(1)(4) 式的方差齐性检验结果, X^2 均大于 $X^2_{0.05}$, 不满足方差齐性的条件, 两者方差有显著差异, 分段回归是成立的。因而得两个公式的分段回归方程为:

$$(1) \text{式: } 16 \text{ 公分以下 } V = 0.756805d^{1.097220}H^{0.764407} \times 10^{-4}$$

$$16 \text{ 公分以上 } V = 1.046022d^{2.38072}H^{0.218702} \times 10^{-4}$$

$$(4) \text{式: } 16 \text{ 公分以下 } V = 0.6393075(d^2H)^{0.093032081} \times 10^{-4}$$

$$16 \text{ 公分以上 } V = 0.5849992(d^2H)^{0.04716588} \times 10^{-4}$$

将不同的径阶和树高代入 (1)(4) 式展开, 16 公分取两者的平均值, 得出 (1)

表 8

(1)(4) 式材积表, 材积误差比较表

标准地号	实测材积	(1) 式		(4) 式	
		查表材积	误差 %	查表材积	误差 %
红 星 1	6.5633	6.5464	-0.26	6.2258	-5.14
2	2.6251	2.7628	+5.24	2.6189	-0.24
3	4.3651	4.7272	+8.30	4.2371	-2.93
象头山	16.4778	14.9503	-9.27	16.7437	+1.61
大岭山	41.9515	45.2076	+7.76	42.9097	+2.28
樟木头 1	14.6122	14.5681	-0.30	14.7455	+0.91
2	15.7430	15.4502	-1.86	15.8933	+0.95
3	15.4209	14.3528	-6.93	15.3867	-0.22
4	15.1474	15.3446	+1.30	15.2219	+0.49
5	20.9625	17.5644	-16.21	21.1979	+1.12
东 江 1	9.9197	11.3874	+14.80	10.3750	+4.59
2	7.1711	8.5229	+18.85	7.9611	+11.02
3	5.7902	6.5304	+12.78	6.0866	+5.12
4	11.6272	12.7073	+9.29	12.7447	+9.16
5	9.6716	10.9225	+12.93	10.7451	+11.10
6	5.5681	6.5450	+17.54	5.9796	+7.39
合 计	204.6147	208.0993	+1.70	209.0726	+2.18

式(4)式两个方案的二元材积表。见表7。

分别用(1)、(4)式材积表查得各标准地的理论材积,与各标准地的实测材积,进行比较,其误差见表8。

从上表误差来看,(4)式各标准地的误差远小于(1)式的误差,(4)式的系统误差为+2.95%,比(1)式的+4.62%为小。因此(4)式的方案较(1)式为理想,故确定(4)式所编的材积表为惠阳地区人工林马尾松立木材积表。

(二)一元材积表的导算

二元材积表在资源调查上使用不甚方便,为了便于使用,在二元材积表的基础上导算出一元材积表。树高曲线方程经过比较分析,选用了 $\frac{d}{H} = a + bd$ 型式。根据表1材料,分段回归,结果得:

$$16 \text{ 公分以上: } \frac{d}{H} = 0.58943612 + 0.03902189d$$

$$16 \text{ 公分以下: } \frac{d}{H} = 0.8430805 + 0.023788203d$$

将不同的径阶值代入上式,算出各径阶的理论树高值,结果如表9

表9 各径阶的理论树高表

径 阶	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
树 高	7.3	8.9	10.2	11.3	12.3	13.1	14.2	15.2	16.1	17.0	17.8	18.6	19.3	

将各径阶的理论树高代入二元材积式:

$$16 \text{ 公分以下 } V = 0.6393075 (d^2 H)^{0.93832081} \times 10^{-4}$$

$$16 \text{ 公分以上 } V = 0.5849992 (d^2 H)^{0.94718588} \times 10^{-4}$$

展开得各径阶的材积,整理成一元材积表,如表10。

表10 马尾松一元材积表

径 阶	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
材 积 (m ³)	0.011	0.024	0.042	0.065	0.093	0.127	0.172	0.224	0.283	0.352	0.428	0.514	0.606	0.705

五 F检验及误差分析

一个材积表,是否适用,要看其误差的大小。为此要作适用性F检验及误差分析。利用本地区未参与编表及参与编表的标准木中,从中随机抽取50株大样本,样本中各径阶均有分布。以每株标准木的材积为实际材积(Y),由材积表查得的材积为理论材

积(X)，二者建立直线回归方程。其方程式为：

$$Y = a + bX$$

若理论材积X与实际材积Y，完全一致，则 $a = 0$ ， $b = 1$ 。但每株标准木的理论材积与实际材积总会有差异的，因而 $a \neq 0$ ， $b \neq 1$ ，而用下式进行F检验，

$$F = \frac{\frac{1}{2}[(a\sum y + b\sum xy) - (2\sum xy - \sum x^2)]}{\frac{1}{N-2}[\sum y^2 - (a\sum y + b\sum xy)]}$$

式中：N—随机抽取的样本株数

50株样本的直线回归计算数据为：

$$\sum X = 10.9972 \quad \sum Y = 10.7278$$

$$\sum X^2 = 3.51673 \quad \sum Y^2 = 3.372727$$

$$\sum XY = 3.420193 \quad a = 0.002048$$

$$b = 0.966142 \quad R = 0.978$$

将前面的数据代入上式得：

$$\begin{aligned} F &= \frac{\frac{1}{2}[(a\sum Y + b\sum XY) - (2\sum XY - \sum X^2)]}{\frac{1}{N-2}[\sum Y^2 - (a\sum Y + b\sum XY)]} \\ &= \frac{\frac{1}{2}[(0.002048 \times 10.7278 + 0.966142 \times 3.420193) - (2 \times 3.420193 - 3.51673)]}{\frac{1}{50-2}[3.372727 - (0.002048 \times 10.7278 + 0.966142 \times 3.420193)]} \\ &\approx 1.400 \end{aligned}$$

按自由度 $f_1 = 1$ ， $f_2 = N - 2 = 48$ ，查F检验的临界值得 $F_{0.05} = 3.19$

而计算值F为1.400，远小于查表值 $F_{0.05}$ 的3.19，说明查表材积与实际材积，差异不显著，材积表基本反映了实际材积的情况。故材积表是适用的。

又根据罗浮山林场的4个马尾松皆伐标准地材料，进行材积表误差分析，检验材积

表11 罗浮山林场皆伐标准地材积误差统计表

标准地号	实测材积	二元材积表			一元材积表		
		查表材积	误差	误差%	查表材积	误差	误差%
1	39.2163	38.5301	-0.6862	-1.75	37.5322	-1.6841	-4.29
2	46.7467	47.4852	+0.7385	+1.58	47.6857	+0.9390	+2.00
4	16.3186	17.0011	+0.6825	+4.18	20.4670	+4.1484	+25.49
5	50.1794	48.4148	-1.7646	-3.52	44.3478	-5.8316	-11.62
合计	152.4610	151.4312	-1.0298	-0.67	150.0327	-2.4283	-1.59

表的误差。每个皆伐标准地面积为4市亩，共16亩，株数为648株，具有一定代表性。以标准地各株伐倒木材积的合计材积，为实测材积，从材积表查得各株伐倒木的合计材积，为理论材积，两者相比较，求其误差。结果如表11。

二元材积表，总误差为-0.67%，各个标准地的误差，都在±5%以内，说明二元材积表误差不大，合乎精度要求。一元材积表，其误差为-1.59%，但各个标准地的误差不一致，有的大了一些，超过±5%，不够理想。这有待在实践中进一步查验与修改，使其臻之完善。

六 简要结论

1、立木材积公式的数学模型，通过四个不同类型公式的对比分析，我们认为（4）式 $V = a(d^2H^b)$ ，较为理想，不论从径阶或标准地，其误差都较小。故该式对本地区的马尾松材积，比较切合客观实际。

2、二元材积表，经用本地区未参与编表的16亩皆伐标准地，648株标准木，进行误差分析，其误差为-0.67%，各标准地的误差均在±5.0%以下，精度合乎要求。

3、一元材积表，总误差虽为-1.59%，但有的标准地超过±5.0%的容许范围，不甚理想。究其原因，一元材积表系依据本地区的一般平均树高推导出来，只代表其平均的状态。若标准地的树高曲线，高于由二元导算为一元时，所用的树高曲线，便产生负误差，反之，则产生正误差。由此看来只导算一个一元材积表，不很恰当，而需导算几个一元材积表，视林分的高低情况选用不同的一元材积表，会改善出现误差大的情况。

4、罗浮山林场4、5号标准地一元材积表其误差所以达±10%以上，都因该标准地各径阶的平均高，皆大于或小于一般状态的平均树高，而导致其误差出现较大的结果。

参考文献

- 1、数理统计，北京林学院主编，中国林业出版社，1979年。
- 2、回归分析方法，中国科学院数学研究所数理统计组编，科学出版社，1975年。
- 3、测树学，胡希合著《测树学翻译》组，农业出版社，1979年。
- 4、测树学，华南农学院林学系森林经理教研室编，1982年（讲义）
- 5、森林调查技术（一），大兴安岭地区勘察设计大队，1972年。