

团 体 标 准

T/CSF 00X-2020

西北地区土石山区华北落叶松人工林 多功能经营技术规程

Technical specification for multi-functional management of *Larix gmelinii* var.
principis-rupprechtii plantation in the mountain areas of Northwest China

2020-12-30 发布

2020-12-30 实施

中国林学会 发布

目 次

前言	III
西北地区土石山区华北落叶松人工林多功能经营技术规程	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	3
5 多功能立地类型划分与评价	3
5.1 多功能立地类型划分与多功能重要性排序	3
5.2 基于立地指数的多功能立地类型划分和多功能定位	3
6 多功能森林的理想结构	4
6.1 多功能森林的通用理想结构	4
6.2 中龄林的多功能合理密度	4
6.3 不同立地条件和林龄时的多功能管理密度	4
7 华北落叶松林多功能经营的决策步骤	5
8 优良立地的多功能用材林经营措施	6
8.1 幼林阶段	6
8.2 小杆材阶段	7
8.3 杆材阶段	8
8.4 近熟与成熟林阶段	9
9 林分更新	10
10 对以前从未抚育过林分的管理	10
10.1 小杆材阶段	10
10.2 杆材阶段和近熟成熟林阶段	11
11 华北落叶松人工林培育大径材的近自然经营措施一览表	11
附录 A （资料性）宁夏六盘山半湿润区主要立地类型及华北落叶松人工林多功能定位的示例	13
附录 B （资料性）华北落叶松人工林多功能经营的理想结构及确定依据的示例	16
B.1 多功能森林的通用理想结构及确定依据	16
B.2 华北落叶松人工林中龄林的多功能合理密度及确定依据（案例）	17
附录 C （资料性）六盘山半湿润区华北落叶松人工林多种功能随海拔和林龄及密度变化的示例	19
C.1 林分结构指标随主要因素的变化	19
C.2 森林主要服务功能随主要影响因素的变化	20
C.3 森林多功能管理权衡决策程序与典型案例	22

附录 D （规范性）森林多功能经营的决策步骤	25
D.1 立地质量调查与分类	25
D.2 立地主要功能及其优先性确定	25
D.3 现有林分结构特征调查	26
D.4 现有林分结构与功能的诊断	26
D.5 面向结构与功能的经营计划编制	26
附录 E （资料性）森林多功能经营方案和年度作业设计的框架	28
E.1 森林经营方案编制	28
E.2 年度作业设计编制	28

前 言

本标准参照 GB/T 1.1—2020 的规则起草。

本标准由中国林学会提出并归口。

本标准起草单位：中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所、宁夏农林科学院固原分院、固原市六盘山林业局。

本标准主要起草人：王彦辉、于澎涛、余治家、田奥、王双贵、韩新生、刘利恒、王正安、程晓福、余萍、胡永强、刘泽彬、王晓、徐丽宏、王绪芳、袁彩霞、樊亚鹏、马杰、贾宝光。

西北地区土石山区华北落叶松人工林多功能经营技术规程

1 范围

本标准规定了西北地区土石山区华北落叶松(*Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii*)人工林多功能经营的立地类型划分、多功能定位方法、近自然构建技术、多功能经营技术等要求。

本标准适用于在西北地区作为区域重要水源地的土石山区华北落叶松人工林的多功能经营；同时也可为其它地区提供技术参考。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注明日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

LY/T 1897—2010 华北落叶松人工林经营技术规程

DB64/T 809—2012 土石山区水源涵养林的多功能经营技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

多功能林业 multifunctional forestry or multipurpose forestry

在林业的发展规划、恢复和培育、经营和利用等过程中，从局地、区域、国家到全球的角度，在允许依据自然条件和社会经济发展需求正确选择利用森林的一个或一个以上的主导功能且不危及其它生态系统的条件下，合理保护、不断提升和持续利用客观存在的林木和林地的生态、经济和社会等方面的所有功能，以最大限度地持久满足不断增加的对林业和森林的多种服务功能的社会需求，从而使林业对社会经济发展及区域发展的整体效益达到持续最优。

3.2

多功能立地评价 multifunctional site evaluation

传统的立地评价主要依据木材生产力进行立地分类并评价立地质量；而多功能立地评价与此不同，必须了解和应用不同立地类型上的森林在多种服务功能的供给和需求上及经营措施上的差异，即对不同立地进行森林的多种功能及其管理评价，而不仅是木材生产力评价。这就需依据各类立地的多种功

能的提供潜力和社会需求，明确主导功能和其它主要服务功能的重要性排序，从而构成森林多功能经营决策的基础。

3.3

森林多功能经营 multifunctional forest management

在充分考虑由立地条件和林分结构共同决定的多种森林服务功能之间的复杂关系甚至是矛盾的前提下，通过科学规划和合理经营，在充分发挥森林主导功能的前提下同时发挥其它多种功能，使森林对区域发展的整体效益得到持续优化。

3.4

近自然森林经营 close-to-nature forest management

以效法相同或相近环境下天然林的生态系统结构与演替过程为准则，通过对现有森林的合理改造、利用与保护而不断优化林分结构，并在经营中通过充分利用自然力来减少人工经营活动，从而降低营林成本和对森林结构的干扰，在提高森林的大径材等优质足量林产品生产功能的同时，还能较好地维持或提高森林的其它服务功能。

3.5

目标树 target trees

指在林分中长期保留到生长至目标胸径后才开始采伐利用的少数优势林木。其选择指标一般包括：1) 实生；2) 木材生产价值高；3) 处于主林冠层；4) 生活力旺盛，生长健康；5) 有足够长的、通直饱满、无损伤的树干。

3.6

特殊目标树 special target trees

指在林分中需特别保护的一些林木或枯死木，以便维持和优化现在和将来林分的树种比例、保护生物多样性、提高森林景观价值等。其选择指标一般为：1) 在林分或区域中个体数量少的树种、母树及对森林未来生长发育有重要影响的林木；2) 有鸟巢的林木；3) 能为微生物、昆虫和鸟类提供栖息生境的濒死木和枯立木；4) 有观赏价值或特殊价值和能提高景观异质性的林木。

3.7

预留目标树 preserved target trees

指在林分中生长发育优良并有望未来成为目标树的幼树，一般为乡土树种天然更新的实生幼树。

3.8

干扰树 disturbance trees

指在林分中生长发育不良并对目标树形成竞争干扰的林木，如树冠相互接触。

3.9

大径材 large-size timber

指小头去皮直径 ≥ 30 cm、长度 ≥ 4 m的原木；优质大径材的胸径则为 ≥ 55 （50 - 60）cm。

4 总则

- 4.1 为指导和规范西北地区土石山区特别是水源区的华北落叶松人工林多功能经营，提高其经营技术水平和对区域社会经济可持续发展的整体贡献，根据《中华人民共和国森林法》、《中华人民共和国森林法实施细则》，制定本技术标准。
- 4.2 必须在不同区域进行立地类型的合理划分，准确确定各类立地上华北落叶松林能提供主导功能及其它多种功能的潜力，并考虑社会经济发展的多功能需求，合理进行多种功能的重要性排序，藉此确定森林多功能经营方向。
- 4.3 必须确定适合不同立地类型、森林发育阶段、多功能排序特点的华北落叶松林分理想结构，并以此为参照，制定改善现有林分结构的合理经营措施，以便充分发挥森林的多功能效益。

5 多功能立地类型划分与评价

5.1 多功能立地类型划分与多功能重要性排序

进行华北落叶松林多功能管理，应分区、分类、分目标进行管理决策，这里是指分气候类型区或生态功能区、分立地类型、分多功能管理目标。因此，各地应基于或参考造林立地类型，确定各类立地的多功能重要性排序，主导功能位列为第一，有时可有并列第一的主导功能，然后是重要性依次降低的其它功能。基于西北干旱缺水区社会经济发展的需求，需考虑的服务功能应主要有林地产水、木材生产、减少侵蚀、固碳释氧、植物种类多样性保护、景观美化等，当然还要以保障森林本身稳性为前提。宁夏六盘山区的例子，参见附录 A 及附表 A.1。

5.2 基于立地指数的多功能立地类型划分和多功能定位

为简化指导华北落叶松人工林多功能经营，除采用上段（见 5.1）所述各类立地的多功能重要性排序以外，若已定量研究了华北落叶松人工林立地指数随立地因子的变化规律，可仅依据立地指数的大小差异，简洁划分能生长华北落叶松林的立地类型，从而划分出的立地类型数量更少，然后给出各类立地主要服务功能的重要性排序，或称多功能定位，用于森林多功能管理决策。宁夏六盘山区的例子，参见附录 A 及附表 A.2。

6 多功能森林的理想结构

6.1 多功能森林的通用理想结构

多功能森林经营的目的是通过合理经营措施，形成和维持多功能森林的理想结构，进而满足保持森林稳定和均衡提供多种服务功能的要求。

华北落叶松多功能人工林的通用理想结构的基本指标为：林冠郁闭度应维持在 0.7 左右、包括林下灌草层和枯落物层的林地覆盖度应维持在 0.7 以上、林木树高 (m) 与胸径 (cm) 之比应维持在 0.7 以下。此外，依据一些特殊要求或最新研究成果，可继续增加对理想林分结构的要求。关于提出这个通用理想结构的依据，参见附录 B.1。

6.2 中龄林的多功能合理密度

在中龄林阶段，树木生长最旺盛，个体竞争最激烈，是多功能管理的关键阶段，尤其在高密度造林和长期禁伐造成结构不良与功能低下的过密林情况下，应确定指导生产的多功能合理密度。

要确定多功能合理密度，应充分利用林木密度影响多种功能及抗雪灾等林分稳定性的定量关系，首先确定各单一功能优化所要求的密度范围，目前不鼓励追求林分蓄积量大，而是主要考虑能提高木材生产价值的优质大径材培育、提高林下植物多样性及促进树木天然更新、维持较高的植被总生物量和固碳功能及土壤碳库、提高林木抵抗雪灾能力、降低林木耗水从而维持较高林地产水这几方面；然后，根据主导功能和其它重要功能的林木密度需求差异，权衡确定能同时满足多功能需求的合理密度范围。在六盘山区确定华北落叶松中龄林的多功能密度范围的案例，参见附录 B.2。

6.3 不同立地条件和林龄时的多功能管理密度

为确定不同立地条件和林龄时所要求的多功能管理密度，应首先建立或选择平均树高、平均胸径、林冠叶面积指数、郁闭度等林分结构指标随立地条件、林龄、林木密度等主要影响因素变化的模型，以及计算林分生物量的模型，还有木材生产、植物多样性保护、森林植被和土壤固碳、林地产水等单一服务功能随立地条件和林龄、密度等林分结构变化的模型。利用这些模型，计算确定满足单一功能优化要求的不同立地条件与林龄时的林木密度区间。六盘山半湿润区的案例，见附录 C。

然后，应利用能兼顾主导功能及其它功能的多功能管理决策程序，对各单一功能优化所要求的不同立地与林龄时的密度区间进行多功能权衡，并要满足林分稳定所要求的林冠郁闭度 0.6 ~ 0.8 对应的基本密度区间以及在不同立地和林龄时的林分最大密度的限制。可根据情况选择适宜的权衡方法，如采用交集法，就是取多个单一功能要求密度范围的交集，其中要优先满足主导功能及位置靠前的主要功能的密度要求；或采用加权平均法，就是基于森林功能的重要性排序，从大到小给予权重，取各单一功能要求密度的加权平均值。具体方法及六盘山区的案例，参见附录 C。

7 华北落叶松林多功能经营的决策步骤

森林多功能经营决策应包括5个步骤：

(1) 立地质量调查与分类：进行立地调查和分类，是森林多功能经营决策的基础。可参考应用各地以往的造林立地类型划分结果；如没有或不能满足要求时，应重新划分当地的立地类型。六盘山半湿润区的多功能立地分类案例，见附录 A。

(2) 立地主要功能及其优先性确定：森林多功能经营的核心是合理权衡有竞争关系的多种功能。为此，需综合考虑各类立地的多种功能提供潜力及社会发展需求的关系，确定各类立地的多种服务功能重要性排序，首先是主导功能，然后是重要性逐次降低的其它功能。例如，在坡度大、土层薄、植被差的立地，一般应把控制侵蚀作为主导功能或重要功能；在因干旱、低温或土薄使林木不能很好生长的立地，应尽可能多产水以保障区域供水安全，这时产水就是主导功能或重要功能；在水、热、肥条件良好的立地，木材生产潜力高，一般应把木材生产作为主导功能或重要功能。

(3) 现有林分结构特征调查：定量调查现有森林结构指标，包括乔木层的树种组成、林龄、密度、树高、胸径、郁闭度、叶面积指数等，林下植被层的种类组成、覆盖度、生物量、天然更新等，枯落物层的厚度、组成、覆盖度、生物量等，根系层的土壤剖面各土层形态特征和理化性质等。

(4) 现有林分结构与功能诊断：进行林分的结构与功能诊断，应参照具体立地的多功能利用目标及对应的理想林分结构，还应考虑林木发育阶段的经营要求，以便找到林分结构与功能的不足并采取针对性经营措施。对低劣立地上的林分，应确定或转为保土、产水等主导功能及对应经营措施，如维持较高的包括灌草和枯落物的地表覆盖度以控制土壤侵蚀，减少高大乔木密度以降低植被耗水从而多产水；对肥沃立地，应以生产优质大径材为主导功能，同时兼顾控制侵蚀、林地产水等其它功能；对较肥沃立地，应满足产水主导功能，同时兼顾木材生产、保土抗蚀、固碳释氧、物种保护等其它主要功能，为此应适当降低林木密度。对以木材生产为主导功能或重要功能的林分，若是尚未完成优良树干培育的幼林或疏林，则不必急于间伐或疏伐，而是应先维持较高郁闭度以培育具有足够枝下高的良好树干的目标树；若目标树的树干质量达到了要求，应将现有林分结构指标与理想结构指标对比，以发现林分结构不足并确定针对性经营措施。宁夏六盘山区华北落叶松人工林多功能经营的理想结构及合理密度和确定方法的案例，见附录 B和附录 C。

(5) 面向结构/功能的经营计划编制：根据森林的主导功能或多功能经营目标及对应林分结构调整需求，应采取的针对性经营措施主要包括：通过封山育林避免干扰植被覆盖，促进恢复或维持合适的地表覆盖度或林冠郁闭度；通过合理间伐或择伐调节郁闭度，增强林木抵抗风雪灾害的能力，降低对目标树的竞争，提高林地产水能力等；通过间伐形成一些林窗，促进目标树种和珍稀树种等的林下

天然更新，或创造林下补植条件；应用林水关系等研究成果，指导合理间伐等经营活动。在明确了需采取的经营措施后，应逐项确定实施的时间、强度和频度，编制详细可行的森林经营方案。编制森林多功能经营方案和年度作业设计的框架，参见附录 E。

8 优良立地的多功能用材林经营措施

对优良立地，一般应确定其主导功能为木材生产。为充分利用地力提高经济产出，同时保持林分稳定和兼顾其它功能，宜努力生产胸径 50 cm 以上的优质大径材，即进行多功能用材林经营。这就必须明确各森林发育阶段的主要特征和经营目标，采取针对性经营措施。

在因管理要求或立地质量较差而确定主导功能不是木材生产时，则可仅参考下面的内容，不再追求大径材目标树的数量及其均匀分布，而是围绕各类立地的多功能定位及理想林分结构开展经营。

8.1 幼林阶段

(1) 主要特征

幼林阶段指从灌丛或草地或采伐迹地人工造林或天然更新开始，到小杆材阶段即郁闭幼林阶段初为止，主要特征：1) 树高 $<2\text{ m}$ ；2) 林冠尚未郁闭，尚未形成森林小气候；3) 树木个体间竞争还没开始，尚未出现自然整枝；4) 幼苗和幼树易受到灌草竞争和动物啃食危害。

(2) 经营目标

形成有足够密度的幼林，促进幼树高质量发育和幼林尽早郁闭；保持和保护混交树种。

(3) 经营措施

营造林分时，宜优先选择适宜的天然更新方法实现林分更新；应充分利用和管护已存在的目标乔木树种的幼树和苗木，避免牲畜啃食和人为破坏；必要时结合应用天然更新与人工更新。在由于存在大面积更新障碍等原因而预期没有天然更新或不能及时实现预期更新时，应人工植苗更新，栽植密度 $2\ 000\ \text{株}/\text{hm}^2$ ，即株行距 $2.5\ \text{m} \times 2\ \text{m}$ ，与其它树种进行带状或最少 $400\ \text{m}^2$ 的小块状混交。

如前期植被以灌丛为主，目标乔木数量和质量不满足要求，宜在灌丛稀植 $750 \sim 1\ 500\ \text{株}/\text{hm}^2$ 的华北落叶松等目标树种，从而改善树种组成，形成乔灌草复层结构，加快正向演替，并减少土壤扰动和土壤碳库损失。应选择土层较厚和水分较好的局部地点，带状、小块状或单株混交造林。若鱼鳞坑整地，适当砍除少量灌丛，形成利于新栽树苗生长的小环境，但整地面积不要过大，尽量少破坏原有植被，并充分利用现有灌木对新栽苗木庇荫来促进其高生长和自然整枝，形成良好树干。

应加强管护幼苗或幼树，有条件时及时围绕幼树局部松土、除草、割灌，减少灌草过度竞争，伐除劣质木及霸王树，以保障目标林木个体正常生长。但不应全面整地松土、除草、割灌，而是尽可能维持林地植被及枯落物的覆盖度在 70% 以上，以避免土壤侵蚀和减少土壤碳库损失。

整地、苗木、栽植、幼苗管护的具体技术，应符合《华北落叶松人工林经营技术规程（LY/T 1897-2010）》的规定。

8.2 小杆材阶段

（1）主要特征

小杆材阶段，即从幼林阶段末到杆材阶段初的郁闭幼林阶段，主要特征：1）胸径 <10 cm，树高 <15 m；2）林冠开始郁闭，逐渐形成森林小气候；3）树木个体间竞争开始，自然整枝不断增强；4）林分过密时易使树干纤细遭受风折雪压；5）初期还未形成足够长的优良树干，需培育优良干形。

为进行精细化经营，宜分林冠郁闭前和林冠郁闭前后两个子阶段，采取各自经营措施。

林冠郁闭前阶段指从幼林阶段末到林冠基本郁闭，主要特征：1）林冠逐渐基本郁闭，即郁闭度在 $0.6 \sim 0.8$ ，初步形成森林小气候；2）本阶段末的大部分树高超过 5 m，胸径超过 6 cm；3）林下灌草开始受抑制，出现死亡、减少或被更耐荫物种替代；栎类和椴树等一些耐荫树种在林下开始天然更新；4）树木间开始竞争，逐渐出现自然整枝，并出现树高和树干质量分化；但林木分化尚不明显，还难以确定有优质大径材培养前途的目标树。

林冠郁闭后阶段指林冠郁闭后到杆材阶段初，主要特征：1）林冠已郁闭，即郁闭度随林木生长可超过 0.8 ，形成了森林小气候；2）树木继续长高和增粗，但阶段末的树高 <15 m，胸径 <10 cm；3）树木个体间竞争逐渐加强，自然整枝不断增多，树高和径向生长分化日渐明显，上层优势树呈单株或群状分布；4）一些过密林分的树干纤细，易受风折雪压危害；5）明显出现有枝下高 6 m以上的良好主干和经济价值较高的潜在目标树。

（2）经营目标

促进林分稳定和树木高质量发育，培养足够多的潜在目标树；保持和保护混交树种。

（3）经营措施

林冠郁闭前阶段应采取的经营措施：1）加强人工管护，避免牲畜啃食和人为破坏，保障林木个体生长，促进尽快郁闭；2）对过密天然更新林分，应降低密度，在林分高 $2 \sim 3$ m时实施最好，最迟在 $3 \sim 5$ m之前；3）避免提前进行不必要的择伐、修枝、间伐等，而是充分利用自然竞争和自然整枝，以维持目标树种林木高生长，促进目标树形成通直、圆满、无节疤的良好树干，初步培养出足够多的木材生产价值高的潜在优势木；4）应间伐密度过大的林分或一穴双株或多株的活树。

林冠郁闭后阶段应采取的经营措施：1）加强林木保护，避免牲畜啃食和人为破坏，保障林木个体生长，维持林冠郁闭，使林木尽快进入分化阶段；2）林木明显分化后，在优势木和亚优势木中及时选择、标注那些冠长占树高比 $>50\%$ 、高径比 <0.9 m/cm的潜在目标树，其数量可依成熟目标树的冠幅来

确定，成熟目标树的冠幅直径约为其目标胸径的 14 倍，并保持优势木的冠幅不重叠。如当目标胸径定为 50 cm 时，其冠幅直径即株间距均约为 7 m，则潜在目标树的最大数量约为 220 株/hm²，但立地条件差时可降低；3) 如有必要，可仅对潜在目标树适当修枝，以确保形成良好树干并有合理营养空间，但避免不必要的修枝和间伐，尤其对潜在目标树外的其它树木的修枝，应充分利用自然整枝来培育通直、圆满、无节疤的良好树干；4) 对过密林应及时间伐，降低密度和避免风折雪压，提高和维持林分稳定性；5) 及时伐除可能存在的劣质木及霸王树，培育足够的树干优良的潜在目标树，保障其个体正常生长和高质量发育；6) 保持和保护混交树种，调整树种混交比例；7) 如幼苗幼树的组成树种和数量足够多，并且想培育为混交林，则把华北落叶松构建成片状或团状分布。

8.3 杆材阶段

(1) 主要特征

杆材阶段指从小杆材阶段末到近熟与成熟林阶段初，主要特征：1) 林冠保持郁闭，林分保持森林小气候；2) 树木胸径在 10 ~ 20 cm；3) 树木生长分化明显，甚至因竞争出现自然死亡，上层优势树呈单株或群状分布；4) 中林层和下林层开始发育，耐荫树种开始生长，林下植被变为典型耐荫植物，灌木减少和生长缓慢。

(2) 经营目标

在枝下高 6 - 8 m 后，选择目标树，培育良好树形并促进径向增长；保持和保护混交树种，促进符合质量要求的混交树种径向增长；保护主要乔木树种的幼苗幼树，促进形成混交异龄复层结构。

(3) 经营措施

在杆材阶段早期，若小杆材阶段没选出足够潜在目标树，应继续从优势木和亚优势木中选择并标记树干优或良、树冠占树高比 > 40% 或 50%、高径比 < 0.9 m/cm、有活力和生长优势的潜在目标树；还应注意选择栎、椴等乡土树种的特殊目标树，以及注意选出预留目标树。

在杆材阶段，应选择、标记、培养在主伐时能生长为优质大径材的目标树约 120 株/hm²，或 105 ~ 150 株/hm²，但不要刻意追求目标树的数量和其空间均匀分布。

对郁闭度在 0.8 以上的过密林分，应及时适当间伐目标树的干扰木，间伐数量与间伐周期和林分密度有关，一般每株目标树应间伐 1 ~ 3 株，两次间伐一般间隔 5 年。控制间伐强度的原则为间伐后郁闭度一般不低于 0.6，即维持郁闭度在 0.7 左右或在 0.6 ~ 0.8 之间。间伐后的保留密度可参考各地在不同立地和林龄时的多功能林分理想结构，在六盘山半湿润区的案例见附录 C。对历史形成的过密林，不可一次间伐过多，如间伐株数比例不宜超过 40%，但可缩小间伐的时间间隔，如 2 ~ 3 年一次，即少量多次间伐，以免间伐过多引起大量树木倒伏。应注意保护作为生态伴生林木的特别目

标树，伐除其干扰木，创造较好生长空间。

应把枝丫等间伐剩余物留在林地，或堆积在易形成汇水沟并造成侵蚀的集材道上，以覆盖地表、拦截径流和泥沙、防止侵蚀、维持林地养分平衡。集材作业时严禁破坏地表覆盖；在集材道上应每隔一段距离打 1 个土埂，并挖 1 条横向导水沟，把可能发生的地表径流导入林地进行入渗。

有条件时，可对目标树修枝，但强度不能过大，应使树冠长占树高的比 $>50\%$ ；修枝时贴近主干，既不伤害树干也不留高茬，使伤口能尽快愈合，形成无节疤的通直圆满树干。但没必要对无木材生产价值的林分和被压木、濒死木等林木进行修枝，从而降低抚育成本。

从林分平均树高达 15 m 左右开始，应重点考虑通过林下天然更新形成第二代林木。通过伐除目标树的干扰木，改善林下生长环境；必要时增大抚育疏伐强度，使天然更新幼树得到足够光照和空间，尽快生长到下木层和中间层。对华北落叶松人工纯林，为促进其它树种天然更新或人工引入乡土树种，可制造或保留大小约 60 m^2 和面积比例在 20% 的林窗。华北落叶松是喜光树种，林下天然更新极少；如要促进林下天然更新，可依坡向等立地条件及林木生长差别，进行小片皆伐，形成约 $0.1 \sim 0.3\text{ hm}^2$ 的林中空地，即在阳坡约 1 倍树高和阴坡不超过 2 倍树高，并通过挖沟或挖坑去除部分枯落物层，出露矿质土壤，以便幼苗根系扎入，提高其抗旱能力和促进更新成功。

8.4 近熟与成熟林阶段

(1) 主要特征

近熟与成熟林阶段是指森林接近满足或满足成熟径级标准后的阶段，主要特征为：1) 林冠保持郁闭，林分保持森林小气候；2) 林木垂直分层基本形成，呈现出多层异龄的、逐渐适应立地的良好林分结构；3) 主林层优势木数量足、生长好，近熟或成熟林木的胸径变化在 $20 \sim 50\text{ cm}$ ；4) 林分中出现光照较好的林窗，开始有较好的天然更新；林下耐荫树种更新，先锋树种仅出现在自然干扰或采伐后形成的局部林窗；树种多样性日渐丰富；林地植被以林下典型耐荫草本占优势；5) 林分逐渐有了通过天然更新补偿那些因自然死亡和合理采伐而减少的林木数量和木材蓄积的能力。

(2) 经营目标

应遵循多功能、近自然的经营原则和采用合理经营技术，保持林分的多树种、多层次、多世代的良好结构，把经营活动对林分结构与功能的影响降到最小，防止过度采伐造成逆向演替，增强森林抵抗各种自然灾害的能力。促进目标树以及符合质量要求的混交树种的径向生长。

(3) 经营措施

应选择并标记目标树，包括华山松、椴树、辽东栎等乡土树种的常规、特殊和预留目标树。经营措施主要是围绕目标树开展近自然经营，即单株采伐径级成熟的目标树。目标胸径对针叶树为 40 cm

以上，其中优良立地设为 50 - 60 cm，对应林龄为 130 ~ 150 年；对阔叶树为 50 cm 以上。采伐时应注意保护主要乔木树种的幼苗和幼树，以培育足够数量的各世代的目标树。

对郁闭度 0.8 以上的郁闭度过高林分，在目标树胸径达 30 cm 以前，抚育间伐其干扰木；但在目标树胸径超过 30 cm 后，只进行林分的立木蓄积保育，促进目标树的径向生长。间伐强度原则为间伐后郁闭度在 0.6 左右，并与间伐周期有关。间伐一般 5 年一次，对多年缺乏抚育而形成的过密林，可以 2 ~ 3 年间隔间伐 2 ~ 3 次。保留和新形成大小约 60 m² 和面积比例在 20% ~ 25% 的林窗，以促进其它树种天然更新，确保主要通过天然更新来有效恢复因林木采伐或自然干扰对森林结构的影响；保持和保护下木层及混交树种林木，确有必要时可人工引入乡土树种。如要促进华北落叶松的林下天然更新，可小片皆伐形成 0.1 ~ 0.3 hm² 的林中空地，即在阳坡约1倍树高和阴坡不超过2倍树高，并通过挖沟或挖坑去除部分枯落物层，使矿质土壤出露，便于幼苗根系扎入和提高抗旱能力。

应把枝丫等间伐或采伐剩余物留在林地或堆积在集材道上；集材作业时严禁破坏地表覆盖；在集材道上应每隔一段距离打一个土埂，并挖一条把径流导入林地的横向导水沟。

有条件时可进行目标树抚育，如贴近主干修枝。通常仅修剪死枝；若修剪活枝，修枝强度不能过大，要使树冠长占树高的比例不 < 50%。

9 林分更新

9.1 树木利用和更新的标准

对达到采伐成熟龄的林分，在其收获和更新过程中，应尽可能充分利用林木的商品材价值。为此，把优良立地上华北落叶松的目标胸径确定为 50 cm 或以上是很必要的。

9.2 促进天然更新的采伐与更新措施

通过群状择伐或林缘群状择伐，实现群状择伐式的或槽状的自然更新，该方法宜在小面积上实施，其收获和更新期需长达 10 年至 20 或 30 年。进行单株或团状采伐，以便实现华北落叶松或其它树种的树木个体生长和价值潜力。

9.3 进行人工更新的采伐与更新措施

进行留有华北落叶松保留木或母树的面积 0.5 hm² 的小片皆伐；结合进行人工栽植与天然更新。

10 对以前从未抚育过林分的管理

10.1 小杆材阶段

抚育目标：促进林分稳定；保持和保证华北落叶松健康生长。

抚育措施：1) 通过调控树木混交比例和混交方式等，促进华北落叶松生长；在单株、5株以内的小群或群的尺度上，培育华北落叶松的树形，包括树冠和树干。2) 降低天然更新起源林分的过高密度，在林分高 2 ~ 3 m 时实施最佳，最迟在林分高 3 ~ 5 m 之前实施；抑制榛子、桦木等软阔叶树。3) 伐除霸王树。4) 保持和保证混交树种。5) 降低林分密度，以减少风折雪压风险。

10.2 杆材阶段和近熟成熟林阶段

以前从未抚育过的过密林分，其树木高径比太大，往往超过 0.9 m/cm，林冠长占树高的比例太小，冠幅也很小，林分稳定性很差。

抚育目标：通过调控林分结构，增强单株树木和林分的稳定性，加快高质量树木的增粗生长，促进或补救林下天然更新。

抚育措施：1) 坚持“少量多次”的疏伐与择伐原则，每隔2~3年疏伐一次；结合应用中等强度的上层疏伐与择伐式疏伐；2) 对有较好树冠从而有较高稳定性的树木，特别是潜在目标树，每株伐除 1 ~ 2 株干扰木，促进潜在目标树生长；3) 对因林木过密发生倒伏折断等危害的林分，结合清理倒木与进行间伐等，保留和新形成大小约 60 m² 和面积比例在 20% ~ 25% 的林窗，以促进其它树种天然更新；4) 保持和保护下木层及混交树种，必要时可人工引入乡土树种；5) 如要促进华北落叶松的林下天然更新，可小片皆伐形成面积 0.1 ~ 0.3 hm² 的林中空地，即在阳坡约 1 倍树高和阴坡不超过 2 倍树高，并去除部分枯落物层，使矿质土壤出露，促进幼苗的形成和保存。

11 华北落叶松人工林培育大径材的近自然经营措施一览表

在把优良立地的主导功能确定为木材生产的多功能用材林情况下，为生产优质大径材并同时保持森林稳定性和兼顾其它服务功能，各发育阶段应采取的近自然经营措施一览表如下。

表 1 优良立地上华北落叶松人工林培育大径材的近自然经营措施一览表

经营目标：高价值商品材，即目标胸径在 50 cm 或以上。			
轮伐期：120年，或110 ~ 130年。			
生长阶段	范围	管理/抚育	管理/抚育措施
营造森林	新建	植苗	天然更新。 人工造林：2 000 株/hm ² (2.5 m × 2 m)，可和其它树种带状或最少 400 m ² 的小块状混交；前期植被为灌丛时可稀植乔木750 ~ 1500 株/hm ² 。
		幼林抚育	可能的补植，幼林抚育；避免动物危害。
幼林阶段	树高 < 2 m	幼林管护	植苗更新时，不用管护； 在有可能时，促进混交树种。
小杆材阶段	胸径 < 10 cm, 树高 < 15 m	小杆材阶段 抚育	在林分高 2 ~ 3 m 时实施，若密度 > 2500 株/hm ² ，不论天然或人工更新，降到 1 500 ~ 2 000 株/hm ² ； 在小群或群的尺度上，培育华北落叶松的优良树形； 培育足够多的潜在目标树，但不超过 220 株/hm ² ，可能时促进混交树种。

表 1 优良立地上华北落叶松人工林培育大径材的近自然经营措施一览表（续）

杆材阶段	胸径 10 ~ 20 cm	间伐	在枝下高或死枝范围达 6 ~ 8 m 时，进行促进目标树生长的抚育除伐；选择并标记目标树 120 (105 ~ 150) 株/hm ² ，若是混交林则按比例计算，目标树的林冠长占树高的比应>50%，每株伐除 2 ~ 4 株干扰木；对高径比>0.9 m/cm 的一直没抚育的过密林，少量多次疏伐，每2~3年一次，对冠型较好的潜在目标树每株伐除 1 ~ 2 株干扰木。
近熟与成熟林阶段	胸径 20~30 cm	间伐	在目标树胸径达 30 cm 前，对过密林分，每株目标树间伐1 ~ 3 株干扰木，5 年一次。
	胸径>30 cm	保育 采伐过熟林木和更新	在目标树胸径达 30 cm 后，仅实行林分蓄积保育，促进目标树径向生长。 小面积皆伐、林缘采伐； 林缘群状择伐：小面积实施为期 10 ~ 25 年的长期采伐和更新，促进林下自然更新，保护混交树种的幼苗幼树，培育下代目标树。

附录 A (资料性)

宁夏六盘山半湿润区主要立地类型及华北落叶松人工林多功能定位的示例

森林多功能经营的核心是合理权衡那些相互竞争的多种服务功能。考虑的功能越多，权衡就越困难，因此一般应优先满足主导功能，然后依重要性顺序满足其它主要功能。这就必须划分立地类型，并综合考虑各类立地的多种功能提供潜力及社会发展需求的关系，然后确定各自的多功能重要性排序。附表 A.1 是宁夏六盘山半湿润区的多功能立地类型划分实例，可供类似地区参考。

表A.1 宁夏六盘山半湿润区主要立地类型及华北落叶松人工林的多功能重要性排序

立地类型	海拔/m	坡向	土壤		主要服务功能的重要性排序	适宜造林树种	
			类型	厚度/cm		主要树种	非主要树种
1	2500	阴坡、半阴坡	亚高山草甸土	35 ~ 50	产水、木材生产、物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤	云杉、红桦、白桦、华北落叶松等	
2		阳坡、半阳坡	亚高山草甸土	30 ~ 45	产水、木材生产、保护土壤、物种多样性保护、固碳释氧	云杉、华山松、油松、华北落叶松、沙棘等	
3	2500 ~ 2000	阴坡	淋溶灰褐土	40 ~ 50	木材生产（大径材）、产水、物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤	华北落叶松、油松、白桦、红桦、元宝枫、辽东栎、云杉	陕甘花楸、糙皮桦、暴马丁香、少脉椴、毛榛、栒子、球花荚蒾
4		半阴坡	山地灰褐土	35 ~ 50	木材生产（大径材）、产水、物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤	华北落叶松、华山松、油松、红桦、辽东栎、云杉	陕甘花楸、糙皮桦、少脉椴、暴马丁香、毛榛、栒子、球花荚蒾
5		半阳坡	山地灰褐土	35 ~ 45	产水、木材生产、物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤	华北落叶松、云杉、油松、白桦、红桦、元宝枫、华山松	野李子、陕甘花楸、球花荚蒾、暴马丁香、栒子、山桃、沙棘
6		阳坡	山地灰褐土	30 ~ 45	产水、物种多样性保护、保护土壤、木材生产、固碳释氧	华北落叶松、樟子松、油松、云杉、白桦、元宝枫	沙棘、山杏、暴马丁香、山桃、沙棘、野李子、绣线菊、珍珠梅
7	<2000	阴坡	山地灰褐土	40 ~ 50	产水、物种多样性保护、固碳释氧、木材生产、保护土壤	华北落叶松、云杉、桦树、辽东栎、水曲柳、油松、椴树	毛榛、稠李、陕甘花楸、卫茅
8		半阴坡	山地灰褐土	30 ~ 45	产水、物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤、木材生产	辽东栎、华北落叶松、水曲柳油松、云杉、椴树	野李子、陕甘花楸、球花荚蒾、暴马丁香、栒子、沙棘、甘肃山楂
9		半阳坡	山地灰褐土	30 ~ 40	产水、保护土壤、物种多样性保护、固碳释氧（、木材生产）	樟子松、油松、云杉、华北落叶松、刺槐、杨树等	少脉椴、花楸、稠李、暴马丁香、栒子、山桃、沙棘
10		阳坡	山地灰褐土	10 ~ 30	保护土壤、产水、物种多样性保护、固碳释氧	华山松、油松、云杉、华北落叶松	野李子、山桃、紫丁香、暴马丁香、珍珠梅、绣线菊、栒子、沙棘
11		沟谷	新积土	>50	美化景观/木材生产、保护土壤、物种多样性保护、固碳释氧	华山松、油松、云杉、华北落叶松、桦树	香荚蒾、天目琼花、野李子、陕甘花楸、栒子、甘肃山楂、球花荚蒾、暴马丁香

在宁夏六盘山半湿润区，仅考虑了海拔和坡向 2 个重要立地因子，海拔分三级（ $<2\ 000\ \text{m}$ 、 $2\ 000 \sim 2\ 500\ \text{m}$ 、 $>2\ 500\ \text{m}$ ），坡向分四级（阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡），组合出 10 个立地类型，加上沟道特殊立地（对其不考虑海拔差异），合计 11 个立地类型。附表 A.1 中给出了各类立地主要服务功能的重要性排序。

在六盘山半湿润区海拔 $>2\ 500\ \text{m}$ 的地段，虽然降水多但温度低，不是树木生长最佳的立地，因此应作为最重要的产水区，所有坡向都以产水为主导功能，生产木材为第二重要功能，其它主要功能在阴坡和半阴坡依次为物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤，在阳坡和半阳坡依次为保护土壤、物种多样性保护、固碳释氧。

在海拔 $2\ 000 \sim 2\ 500\ \text{m}$ 的地段，其水热组合条件最佳或较佳，因而适合树木生长，在阴坡、半阴坡的主导功能都应是生产木材，尤其培育单株大径材，其它主要功能依次是产水、物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤；在半阳坡，主导功能应是产水，其它主要功能依次是生产木材、物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤；在因水分条件变差而影响树木生长的阳坡，主导功能应是产水，其它主要功能依次是物种多样性保护、保护土壤、木材生产、固碳释氧。

在海拔 $<2000\ \text{m}$ 的地段，因气候干热，只能在阴坡半阴坡生长森林。阴坡的主导功能是产水，其它主要功能依次是物种多样性保护、固碳释氧、生产木材、保护土壤；半阴坡的主导功能是产水，其它主要功能依次是物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤、生产木材；半阳坡的主导功能是产水，其它主要功能依次是保护土壤、物种多样性保护、固碳释氧，不再提及木材生产；阳坡的主导功能是保护土壤，其它主要功能依次是产水、物种多样性保护、固碳释氧，也不再提及木材生产。

在水分充足但人为活动较多的沟谷立地（对其不考虑海拔差异），主导功能是美化景观（如在旅游区时）或木材生产，其它主要功能依次是保护土壤、物种多样性保护、固碳释氧。因林木实际耗水会超过降水，因此不宜提及产水功能，但应注意尽量降低林木生态耗水。

为通过减少立地类型数量而简化指导华北落叶松人工林多功能经营，与考虑海拔、坡向等众多立地因子的传统立地类型划分不同，在定量研究了六盘山半湿润区华北落叶松人工林立地指数（基准年龄30 年时优势木高）随立地因子变化规律的情况下，以及忽略在森林面积上占比很小的低海拔段（ $<2\ 100\ \text{m}$ ）才明显出现的坡向影响时，可仅依据立地指数的海拔差异，将能生长华北落叶松林的立地进行多功能立地类型划分。附表 A.2中实际划分了5个多功能立地类型（立地指数级），给出了各地类的主要功能重要性排序，并简短说明了原因。这里仅考虑了生产木材、林地产水、林下植物多样性保护、森林固碳等主要服务功能；因地处重要水源区，应尽量照顾产水功能；因林地地表覆盖度高，一般不会产生侵蚀，所以未提及减少侵蚀功能。对其它生态功能，在未来研究积累足够后将逐渐充实。

表A.2 宁夏六盘山半湿润区基于立地指数的华北落叶松林多功能立地定位

立地类型	海拔 m	立地指数 (30年生优势木高, m)	立地质量评述	主要服务功能的重要性排序
I	2 300 ~ 2 400、 2 400 ~ 2 500	19.5 (19.3、19.7)	水热组合条件最佳, 为生产优质大径材提供了可能。	生产木材 = 林地产水 > 植物物种多样性保护 > 森林固碳
II	2 200 ~ 2 300、 2 500 ~ 2 600	18.7 (18.6、18.7)	水热组合条件较好, 比较适宜生产木材。	林地产水 = 生产木材 > 植物物种多样性保护 > 森林固碳
III	2 600 ~ 2 700	17.8	海拔升高使降水增加, 但低温限制显现, 水热组合条件中等, 生产木材及其它功能适中。	林地产水 > 生产木材 > 植物物种多样性保护 > 森林固碳
IV	2 000 ~ 2 100、 2 100 ~ 2 200; > 2 700	16.3 (16.0、16.7; 16.2)	气候较干, 限制树木生长, 只能在阴坡半阴坡分布; 在高海拔区, 温度偏低, 限制树木生长。	林地产水 > 生产木材 > 植物物种多样性保护 > 森林固碳
V	< 2 000	13.2	气候干热, 不适宜树木生长和木材生产, 仅阴坡、半阴坡分布。	林地产水 > 植物物种多样性保护 > 森林固碳 > 生产木材

各立地类型的特点和多功能排序依据如下:

立地类型 I: 在海拔段 2 300 ~ 2 500 m 范围内, 降水和温度的组合条件最佳, 立地指数平均达 19.5 m、远高于其它海拔段, 宜生产优质大径材。因此把木材生产作为主导功能; 把林地产水视为与木材生产同等重要的主导功能, 其它主要功能依次是林下植物物种多样性和森林固碳。

立地类型 II: 在海拔段 2 200 ~ 2 300 和 2 500 ~ 2 600 m 范围内, 降水和温度组合条件相对较好, 立地指数平均达 18.7 m, 比较宜于生产木材。因此, 将林地产水定为主导功能, 其它主要功能依次是生产木材(或与林地产水同等重要)、林下植物物种多样性保护、森林固碳。

立地类型 III: 在海拔段 2 600 ~ 2 700 m 范围内, 降水量较高, 但较低温度限制树木生长, 故水热组合条件中等, 立地指数平均为 17.8 m, 生产木材及其它功能适中。因此, 应把林地产水作为主导功能, 其它主要功能依次为生产木材、林下植物物种多样性保护、森林固碳。

立地类型 IV: 在海拔段 2 000 ~ 2 200 m 范围内, 树木生长受气候干旱的明显限制, 只能在阴坡半阴坡生长; 在海拔段 > 2 700 m 内, 树木生长受气温偏低的限制; 因此该立地类型的木材生产能力较低, 平均立地指数为 16.3 m。确定的主导功能均为林地产水, 位列其后的其它主要功能依次为生产木材、林下植物物种多样性保护、森林固碳。

立地类型 V: 在海拔段低于 2 000 m 的范围内, 气候更加干热, 不宜林木生长和木材生产, 树木仅能在阴坡生长, 立地指数仅为 13.2 m, 植被覆盖相对稀疏和恢复较慢, 应在避免土壤侵蚀的前提下充分利用多种功能。确定主导功能为林地产水, 位列其后的其它主要功能依次为林下植物物种多样性保护、森林固碳、生产木材。

附录 B (资料性)

华北落叶松人工林多功能经营的理想结构及确定依据的示例

B.1 多功能森林的通用理想结构及确定依据

森林服务功能主要是由森林结构和立地条件共同决定的，由于立地条件难以改变，所以最可行途径是改善森林结构来提高服务功能。因此在任何森林发育阶段，采取的经营措施都要利于形成和维持多功能森林的理想结构，即既要满足常规提倡的多树种、多世代、多层次等稳定高效林分的结构要求，还要利于充分发挥森林多种服务功能。考虑到在作为区域重要水源地的西北旱区山地生长森林的特殊性，必须把维持区域供水安全作为刚性需求，还必须考虑土壤水分的植被承载力限制。

此外，依据相关研究，提出了对多功能林分结构的一些定量要求：林冠郁闭度应在 0.7 左右（以维持天然更新并抑制林下草灌过分生长）、林地覆盖度应在 0.7 以上（以避免林地的土壤侵蚀）、林木高径比（树高/胸径，m/cm）应在 0.7 以下（以减免雪折风倒的危害）。

对地表覆盖度 >0.7 这个基本指标，必须在所有森林生长阶段和森林经营中都得到维持，尤其在土壤侵蚀危险很大的坡地，这在湿润地区和良好立地条件下可能并不难，但在干旱地区植被稀疏条件下却不易，尤其在造林和幼林阶段，必须仔细保护好各种地表植被和枯落物覆盖。

林冠郁闭度和林下植被生长是评价林分结构的重要指标，并与土壤保持、植物种类多样性保护、营养平衡等多种森林功能关系紧密。适度的林冠郁闭度利于耐荫和较耐荫树种的更新并同时控制喜光草本的入侵。林下幼苗和幼树的年高生长量随林冠郁闭度增大而降低，并在林冠郁闭度 >0.7 后变的很低；林冠层、灌木层和草本层的总叶面积指数的最大值出现在林冠郁闭度 0.6 ~ 0.8 之间。在林冠郁闭度 0.6 ~ 0.8 这个优化区间内，可以兼顾或平衡许多竞争性的森林服务功能，如控制过多林下植被、保护植物多样性、维持林下树木天然更新和幼树正常生长、生产优质高价木材、增加林分生物量等。所以，应在森林经营中维持林冠郁闭度在 0.7 左右，即在郁闭度超过 0.8 后就进行间伐，但间伐后的郁闭度不应低于 0.6。

在导致林木雪压风倒危害的重要因素中，气象条件和立地条件难以人为控制，但可在一定程度上人为调控林分结构和树形，如树木的高径比等。过密林分的树干纤细，遭受雪压风倒的风险很大，通过间伐林木、降低密度来促进树冠扩张和树干径向生长从而改善高径比，是增强林木抵抗雪压风倒灾害能力的唯一可选措施，但过稀林分因其分枝角度增大和枝条增长也会造成林木对雪压灾害较敏感。六盘山华北落叶松人工林研究表明，林木雪害在林木高径比 >0.7 时开始出现，在 0.7 ~ 0.9 范围内随高径比增加而逐渐增大，在 0.9 ~ 1.0 范围内较快增加，在 >1.0 后急剧增大。因此，要维持树木

对雪压风倒灾害的抵抗能力，就应努力让林木高径比低于 0.7，至少不能超过 0.9。

此外，依据一些特殊要求或最新研究成果，可继续增加对林分结构的额外要求，即 $3 \times 0.7 + X$ 的通用理想结构。

B.2 华北落叶松人工林中龄林的多功能合理密度及确定依据（案例）

在中龄林阶段，树木生长最旺盛，个体竞争最激烈，是多功能管理关键阶段。六盘山林区的华北落叶松人工林，受以往过分追求木材蓄积量的传统林业思维与经营技术影响，存在结构不良和功能低下的问题，如树种单一、密度过高、生物多样性低、产水功能弱、优质大径材少、抵抗雪压风倒能力差等，不能满足多功能需求，需合理设计和调控林分结构，这就需要确定林木的多功能合理密度。本案例是基于对华北落叶松人工纯林的林分密度与多种功能的关系研究得到的结果(图 B.1)。研究林分的林龄变化在 17 ~ 35 年，平均 26 年，按《主要树种龄级与龄组划分》规定（中龄林的林龄是 20 ~ 30 年），属中龄林。

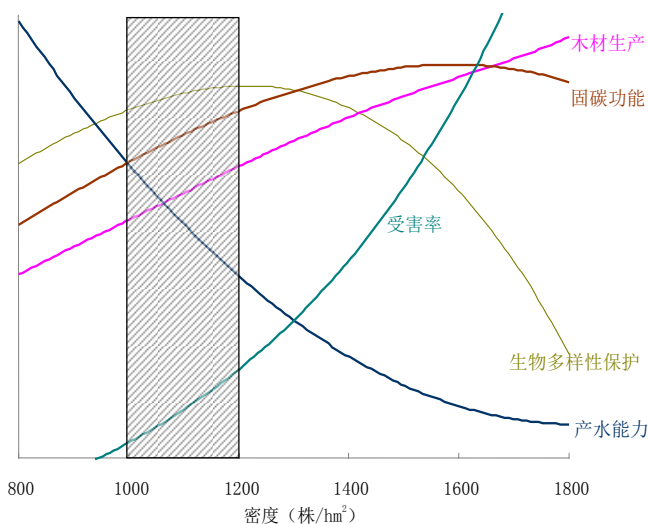


图 B.1 六盘山区华北落叶松中龄人工林密度与多种功能的关系和多功能合理密度范围

(1) 林分密度与林龄共同影响林木生长 华北落叶松生长过程分生长初期、快速生长期、平缓生长期，划分这三个阶段的林龄阈值对胸径和树高均为 10 和 30 年，对单株和林分材积均为 14 和 30 年。林分密度对树高影响较小；树木高径比随密度增大而升高；木材蓄积量随密度增加而增大，但 >1500 株/ hm^2 后增速有所变缓。为培育更多优质大径材和提高木材生产价值，密度应控制在 $1000 \sim 1500$ 株/ hm^2 。

(2) 林下植物生长受林分密度显著影响 随林木密度增大，林下植被的盖度及生物量均逐渐降低，但林下植物种类数和灌木草本层的物种多样性指数、优势度指数、均匀度指数均为先增后降，最大值都在 1300 株/ hm^2 时。为提高林下植物多样性及促进天然更新，密度应控制在 <1300 株/ hm^2 的范围。

(3) 林分密度影响植被生物量及固碳量 乔木层生物量是植被碳库的主体，随林木密度增加在 <500 、 $500 \sim 1500$ 、 >1500 株/ hm^2 时分别表现为增加缓慢、增加较快、增速渐缓，说明密度过高不能成比例地提高生物量，尤其不利于生产优质大径材，应控制不超过 1500 株/ hm^2 。林下灌木层生

物量及固碳量在 $650 \sim 1500$ 株/ hm^2 范围内随密度增加而急剧降低, 在 >1500 株/ hm^2 后维持在很低水平并渐趋为零; 林下草本层生物量及固碳量在密度 <1125 株/ hm^2 时随密度增加而缓慢降低, 在 >1125 株/ hm^2 后快速降低并在 2500 株/ hm^2 时趋于零, 说明如要在林下维持一定草本, 应控制林分密度在 1125 株/ hm^2 附近。乔灌木各层的总生物量和总固碳量随林分密度增加表现为先增后减, 峰值出现在 1550 株/ hm^2 附近。基于林分植被生物量及固碳量对密度的响应, 为维持较高植被生物量和固碳功能, 密度应控制在 <1500 株/ hm^2 的范围。

(4) 森林雪害与林分结构紧密相关 森林雪害程度除受气象条件影响外, 还与立地条件、林分结构密切相关。林木雪害率在高海拔冲风地段和土层瘠薄立地显著偏大, 在高密度林分显著大于低密度林分, 是因密度增高导致林分高径比(树高/胸径, m/cm)增大。在高径比 >0.7 后开始出现受害(尤其陡坡薄土立地), 但受害率随高径比增加的增幅不大; 当高径比 >0.9 后, 受害率随高径比增加快速升高; 当高径比 >1.0 后, 受害率随高径比增加急剧升高。为提高抗雪灾能力, 应把高径比降到 0.7 以下并最多不超过 0.9 。根据林分密度与高径比的关系, 应控制密度在 <1200 株/ hm^2 的范围。

(5) 林分产水功能随林分密度增加而降低 随林分密度增大, 树冠截留和林木蒸腾增加, 林下蒸散减小, 但总蒸散增加并导致林地产水量非线性减小。在密度 >1500 株/ hm^2 时, 生长季内林地产水量较低且变化很小 ($109.7 \sim 106.9$ mm); 在密度为 $1300 \sim 1500$ 、 <1300 株/ hm^2 时, 生长季产水量随密度减小分别为缓慢增加、快速增加, 每降低 100 株/ hm^2 分别增加 6.6 、 11.7 mm。如要通过降低林分密度来增加林地产水, 应控制密度在 <1300 株/ hm^2 的范围。

(6) 考虑多种功能需求的合理密度 综合来看, 作为黄土高原重要水源地的六盘山区的水源涵养林, 需首先保证维持较高的林地产水这个主导功能, 同时兼顾森林本身的稳定和较好的其它主要服务功能, 这就应把林分密度控制在 $1000 \sim 1200$ 株/ hm^2 的范围。

附录 C (资料性)

六盘山半湿润区华北落叶松人工林多种功能随海拔和林龄及密度变化的示例

为实现华北落叶松人工林多功能管理的精准定量决策，需量化各主要服务功能随立地条件（如海拔）和林分结构（如林龄、林分密度）等主要因素的变化规律。基于在六盘山区长期的林分结构时空变化样地调查和生态水文过程监测，建立了海拔、林龄、林分密度影响林分结构指标以及林地产水、木材生产、森林固碳、林下植物多样性保护等主要功能的数量关系。

C.1 林分结构指标随主要因素的变化

林分平均树高（ H , m）随林龄（ age , 年）增加逐渐升高，在 30 年前快速增长，之后增速渐慢；随密度（ den , 株/hm²）增大整体上逐渐降低，但密度较低时几乎不变；随海拔（ ele , m）升高先增后减，最大值在海拔 2 400 m 附近。林分平均胸径（ DBH , cm）的变化趋势与树高基本一致，随林龄增加而逐渐升高，在 50 年生时仍保持较大增速；随密度增大先迅速降低，在 900 株/hm²后缓慢降低；随海拔升高先增后减，最大值在海拔 2 400 m 处。

首先，依据林分平均树高和胸径响应立地指数（ SI , m, 基准年龄30 年时的林分优势木高）的关系，拟合了林分平均树高模型（式 1）和胸径模型（式 2），藉此可在已知立地指数空间分布的情况下很好地预测林分平均树高和胸径随林龄与密度的变化。

$$H = (0.757 \times SI^{1.27}) \times [1 - \exp(-0.0337 \times den^{-0.0129} age)]^{0.0001 \times SI + 1.467} \quad R^2=0.96 \quad (1)$$

$$DBH = (4.7 \times SI^{1.03}) \times [1 - \exp(-0.014 \times den^{-0.118} age)]^{0.0017 \times SI + 0.955} \quad R^2=0.84 \quad (2)$$

考虑到目前尚未研究确定整个六盘山区华北落叶松林立地指数的空间分布，仍需直接依据立地因素预测树高和胸径，这虽会降低预测精度，但却提高了模型实用性；通过连乘林分平均树高和胸径响应海拔、林龄、林分密度的函数，拟合了林分平均树高模型（式 3）和胸径模型（式 4）。

$$H = 33 \times [1 - \exp(-0.00358 \times age^{1.698})] \times \exp(-1.495 \times 10^{-6} \times ele^2 + 0.00718 \times ele - 8.955) \times \exp(-3.031 \times 10^{-8} \times den^{1.99}) \quad R^2=0.76 \quad (3)$$

$$DBH = 110 \times [1 - \exp(-0.00727 \times age^{1.37968})] \times \exp(-1.2537 \times 10^{-6} \times ele^2 + 0.00624 \times ele - 8.862) \times \exp(-1.038 \times 10^{-5} \times den^{1.34}) \quad R^2=0.78 \quad (4)$$

基于林分平均树高与胸径，可计算林分平均木的单株地上生物量（ $W_{落-单株-地上}$, kg/株, 式 5）和地下（根系）生物量（ $W_{落-单株-地下}$, kg/株, 式 6），并依据林分密度计算林分地上生物量（ $W_{落-林分-根}$, t/hm², 式 7）和地下生物量（ $W_{落-林分-根}$, t/hm², 式 8）。

$$W_{\text{落-单株-地上}} = \exp(0.659 \times \ln(DBH^5 H^{0.1}) - 5.1678) \quad R^2=0.775 \quad (5)$$

$$W_{\text{落-单株-根}} = \exp(2.014 \times \ln(DBH) - 3.233) \quad R^2=0.750 \quad (6)$$

$$W_{\text{落-林分-地上}} = \exp(0.42 \times \ln(DBH^{0.8} H^{3.73}) - 3.787) \times \text{den}^{0.4336} \quad R^2=0.721 \quad (7)$$

$$W_{\text{落-林分-根}} = \exp(1.406 \times \ln(DBH) - 6.359) \times \text{den}^{0.698} \quad R^2=0.750 \quad (8)$$

林冠层生长季内最大叶面积指数 (LAI) 随林分密度增加先快速增大, 在超过 1 100 株/hm²后逐渐趋于最大值; LAI 对林龄和海拔的响应均呈单峰曲线, 在林龄 30 年及海拔 2 500 m 时达到峰值。拟合了 LAI 响应海拔、林龄、林分密度的连乘函数模型 (式 9)。

$$LAI = 5.5 \cdot \left[1 - \exp(-0.0767 \times \text{den}^{0.0948}) \right] \times \exp(-9.937 \times 10^{-7} \times \text{ele}^2 + 0.00494 \times \text{ele} - 4.548) \\ \times \left\{ 1.1 \left[1 - \exp(-0.154 \times \text{age}) \right]^{3.2} - 0.55 \left[1 - \exp(-0.1123 \times \text{age}) \right]^{95.49} \right\} \quad R^2=0.65 \quad (9)$$

林分郁闭度 (CD) 仅受林龄及密度的显著影响, 与海拔相关不显著。郁闭度随林龄及密度增加均先快速增大后缓慢增大并渐趋最大值, 当密度超过 1 800 株/hm²和林龄超过 45 年生后不再增加。通过连乘郁闭度响应林龄和密度的函数, 拟合了林分郁闭度模型 (式 10)。

$$CD = \left[1 - \exp(-5.2 \times \text{den}^{-0.039} \times \text{age}^{0.096}) \right]^{4942} \quad R^2=0.76 \quad (10)$$

G.2 森林主要服务功能随主要影响因素的变化

(1) **木材生产功能变化与管理:** 木材生产是森林的基本服务功能, 也是实现经济效益的主要途径。在不危及其它主导或主要功能的前提下, 应努力同步追求较大的林分蓄积和单株材积。研究表明, 随林分密度增加, 林分平均单株材积逐渐降低; 林分蓄积先迅速升高, 到 1 600 株/hm² 时最大, 之后缓慢下降。单株材积和林分蓄积随林龄增大逐渐增加, 随海拔升高先增后减并在 2 500 m 处达到峰值。基于林木密度 (den, 株/hm²) 及林分平均树高和胸径的样地实测数据, 拟合了林分平均单株材积 ($V_{\text{单株}}$, m³/株) 模型 (式 11) 及林分蓄积量 ($V_{\text{林分}}$, m³/hm²) 模型 (式 12), 利用这些模型及林分平均树高和胸径随海拔和林龄及密度变化的模型, 可预测木材生产随立地条件及经营措施的变化。在六盘山区, 华北落叶松人工林的数量成熟龄为 50 年, 平均单株材积与林分蓄积在 60 年生时仍保持快速增长潜力, 需将过去制定的轮伐期 26 年大大延长, 或改为以培育优质大径材目标树和恒续覆盖为特征的近自然经营。根据单株材积及林分蓄积的海拔差异, 划分了木材生产功能区: 最优海拔段为 2 230 ~ 2 700 m, 其材积生产为最大值的 80% 以上; 适宜海拔段为 2 050 ~ 2 230 和 2 700 ~ 2 900 m, 其材积生产为最大值的 60 ~ 80%; 非适宜海拔段为 <2 050 m, 其材积生产为最大值的 60% 以下。

$$V_{\text{单株}} = 3.534 \cdot 10^{-5} \cdot \text{DBH}^{2.357} \cdot H^{0.7} \quad R^2=0.77 \quad (11)$$

$$V_{\text{林分}} = 0.0113 \cdot \text{DBH}^{1.5} \cdot H^{0.7} \cdot \text{den}^{0.52} \quad R^2=0.72 \quad (12)$$

(2) 林下植被特征变化与管理：维持良好的林下植被覆盖和尽可能高的植物种类多样性，是形成稳定林分结构与良好森林功能的需要。基于林下植物种数响应林冠叶面积指数 LAI（指生长季最大值）的实测数据的上外包线（ $y = 18.027 - 1.3915 X^3 + 7.98 X^2 - 6.295 X$ ， $R^2 = 0.94$ ），评价了其对林冠结构变化的响应，林下植物种数随 LAI 增加先升后降，在 LAI 为 3.38 时最大（34 种）；当将 LAI 控制在 2.5 ~ 4.1 时，可维持在 30 种（最大值的 90%）以上。灌木层覆盖度随 LAI 增加先缓慢下降，在 LAI 为 1.0 后转为逐渐增加，在 LAI 为 3.25 时最大，之后逐渐下降；草本层覆盖度在 LAI 为 2.25 之前维持高水平稳定，之后逐渐下降，在 LAI 为 3.1 后迅速下降；将 LAI 控制在 <3.5 的范围，可保证包括灌木和草本的林下植被覆盖度达到 90% 以上。林下灌草生物量随 LAI 增加在 LAI 为 1.5 以前维持稳定，在 1.5 ~ 2.85 之间缓慢降低，之后迅速下降；将林冠层 LAI 控制在 <2.85 的范围内，可维持林下植被潜在生物量在 18.3 t/ha（最大值的 90%）以上。在对林下植物种数、林下植被覆盖度及林下植被生物量分别赋权重 0.63、0.26、0.11 后，三个林下植被特征指标对应的最优 LAI 的加权平均值为 2.88，计算了以此值为基准并向两端各扩展其值 10% 的 LAI 最优范围（2.6 ~ 3.2）对应的林木密度范围，同时与多功能管理要求的林冠郁闭度范围（0.6 ~ 0.8）对应的林木密度范围进行对比，当二者存在交集时取两者的交集，否则优先取满足郁闭度管理要求的林木密度范围。

(3) 森林固碳功能变化与管理：对所有龄级、密度和海拔的森林样地，其森林碳库各组分的平均碳密度（t/hm²）及占总碳库比例分别为乔木层 33.97（12.3%）、林下植被层 8.93（4.0%）、枯落物层 9.0（3.3%）、根系层土壤 196.4（80.3%）。乔木层植被碳密度随林龄增加而逐渐升高；随海拔增加表现为先升后降；随林木密度增加先迅速升高，在 2000 株/hm² 时最大，之后缓慢下降。因造林活动导致土壤扰动和幼林期土壤暴露，上层土壤碳含量在造林初期剧烈衰减，待林冠郁闭后随凋落物归还量增加才缓慢恢复，因此拟合了 0 ~ 40 cm 土层有机碳密度（SOC₀₋₄₀）与 41 ~ 100 cm 土层有机碳密度（SOC₄₁₋₁₀₀）的比随乔木层生物量（ $W_{\text{落-样地}}$ ）增加先减后增并渐趋稳定的关系（ $\frac{\text{SOC}_{0-40}}{\text{SOC}_{41-100}} = 0.000233 \times W_{\text{落-样地}}^2 - 0.0127 \times W_{\text{落-样地}} + 1.4579$ ），据此计算分析了土壤碳密度变化，表明皆伐造林后土壤碳密度在海拔 1800、2100、2400、2700 m 处降至最低的林龄为 22、20、18、20 年，恢复到造林前水平的林龄为 48、27、24、29 年，之后随林龄增加而逐渐升高并渐趋稳定。森林总碳密度随主要影响因素的变化趋势与土壤碳密度基本一致，随海拔升高先增后减，随密度增加先增后减，随林龄增加先减后增并渐趋稳定。从维持和提高土壤碳库及森林整体固碳功能的角度，在森林经营中应追

求林地连续覆盖，防止皆伐后造林和过度采伐等强烈干扰。

(4) 林地产水功能变化与管理：基于六盘山区多年积累的华北落叶松林水量平衡数据，建立了生长季林分蒸散 (ET_0 , mm) (及各分量) 响应主要因素 (生长季降水量 (P_0 , mm)、年均生长季内潜在蒸散 (PET_{mean} , mm)、生长季林冠平均叶面积指数 LAI_{mean} (与生长季最大 LAI (LAI_{max}) 有线性关系: $LAI_{mean} = 0.6768 \times LAI_{max} + 0.4143$)、生长季 0 ~ 100 cm 土层平均体积含水量 (VSM_{mean} ,

$$ET_0 = 122.746 \times LAI_{mean} \times (1 - \exp(-0.825 \times P_0)) + 0.01 \times P_0 + 103.505$$

$$\text{cm}^3/\text{cm}^3) \text{ 变化的耦合模型: } \times (1 - \exp(-0.607 \times LAI_{mean})) \times (-0.00202 \times PET_{mean}^2 + 69.32 \times PET_{mean})$$

$$\times (1 - \exp(-0.0364 \times VSM_{mean})) + 164.23 \times (\exp(-0.328 \times LAI_{mean}) - 0.394)$$

$$\times (38.158 \times PET_{mean} - 86.21) \times (1 - \exp(-0.597 \times VSM_{mean})) - 116.537$$

然后，基于长期水量平衡原则，即将生长季内土壤储水量变化视为 0，利用降水量和蒸散量的差，计算了不同降水年份的生长季林地产流量变化，其随降水量增加而增大，随海拔增加先减后增，随林木密度增加逐渐减少，随林龄增加先减后增。林地生长季产流量在枯水年可能发生负产流，但在平水年和丰水年无负产流发生。林地产流量随 LAI 增加呈近线性减少，在枯水年当 LAI 超过某些阈值后会因蒸散量大于降水量而出现负产流，即林木维持生存必须消耗土壤水或坡面上方来水，只有在 LAI 低于这些阈值时才形成产流。要维持或增加林地产流，需适当降低林分密度及林冠层 LAI，将保证供水安全作为主导功能和多功能经营的限制条件，但要避免过分降低林分密度导致过分丧失其它主要功能。需根据不同立地的木材生产和其它服务功能潜力及林分结构的产流影响，将林分密度控制在合理范围，以提高森林服务功能的整体价值。

C.3 森林多功能管理权衡决策程序与典型案例

为进行兼顾主导功能及其它主要功能的多功能管理决策，提出了基于各单一服务功能随海拔、密度和林龄的变化规律确定不同立地（海拔）和林龄时的多功能密度范围的权衡决策步骤。

这个权衡决策分两步，第一步是确定各单一功能要求的林木密度区间，即首先确定满足林分稳定要求的郁闭度 0.6 ~ 0.8 对应的基本林木密度区间；其次是确定各单一服务功能达到其最大值 90% 以上时的最优密度区间，或在不能满足时就退而求其次达到 80% 以上时的适宜密度区间。第二步为进行多功能森林管理密度的权衡决策，为此首先需根据森林的功能提供潜力和社会需求，确定主导功能和其它主要功能的重要性排序，然后按服务功能重要性排序逐一确定各单一功能的最优密度区间（如不行时采用适宜密度区间）与基本密度区间的交集，作为多功能管理的密度区间；如不存在交集时，需适当牺牲那些无法兼顾的重要性较低的非主导功能。然后，依据高龄林管理密度区间需小于或等于低龄林密度区间、每次间伐株数强度不 > 20% 且至少隔 2 ~ 3 年（一般间隔 5 年）才间伐一次的原则，适当调节计算得到的多功能管理密度区间，使其合理可行。

利用此权衡决策程序，以属木材生产非适宜区的低海拔（1 800 m）干热立地、属木材生产适宜区

的中低海拔（2 100 m）较湿润立地和高海拔（2 700 m）湿冷立地、属木材生产最优区的中海拔（2 400 m）水热俱佳立地为例，确定了不同典型林龄时的多功能管理最优（或适宜）密度区间。表 C.1是六盘山半湿润区内几个典型海拔的多功能排序及不同林龄时的多功能管理密度区间。

表 C.1 六盘山半湿润区不同海拔和林龄时的华北落叶松林多功能管理密度区间

海拔 m	特征	多功能排序	林龄			
			20 年生	30 年生	40 年生	50 年生
1 800	气候干热，不宜木材生产	产水>物种保护>固碳 = 木材生产	1 300 ~ 2 600	1 050 ~ 1 700	900 ~ 1 300	630 ~ 800
2 100	降水较多，较湿润，适宜生产木材	产水>木材生产>物种保护>固碳	1 300 ~ 1 700	900 ~ 1 400	850 ~ 1 100	680 ~ 800
2 400	水热组合最佳，适宜生产优质大径材	木材生产 = 产水 >物种保护>固碳	1 300 ~ 1 600	900 ~ 1 300	640 ~ 800	470 ~ 600
2 700	气候湿冷，产流多，各功能中等，较宜生产木材	产水>木材生产>物种保护 > 固碳	1 500 ~ 2 200	1 250 ~ 1 700	850 ~ 1 000	580 ~ 700

表 C.2 六盘山半湿润区华北落叶松林多功能管理密度与高密度经营的多功能效果比较

海拔 m	30 年生的	密度 株/hm ²	产水 mm	林下植 物种数	蓄积生长量 m ³ /hm ² /a	单株材积 m ³ /a	固碳 t/hm ² /a
1 800	过密林	3 600	254	32	2.90	0.000 8	4.34
	多功能林	1 375	270	30	4.26	0.002 9	4.47
	优化效果	- 62%	6%	- 6%	47%	248%	3%
2 100	过密林	3 600	176	34	6.94	0.002 7	8.40
	多功能林	1 150	204	34	10.09	0.011 0	9.04
	优化效果	- 68%	16%	0%	45%	307%	8%
2 400	过密林	1 800	151	31	15.0	0.013 8	14.54
	多功能林	1 100	165	32	14.4	0.018 9	12.47
	优化效果	- 39%	9%	3%	- 4%	37%	- 14%
2 700	过密林	3 600	143	31	8.75	0.003 9	9.74
	多功能林	1 475	168	33	12.78	0.013 2	11.14
	优化效果	- 59%	17%	6%	46%	238%	14%

表 C.2 是与以林龄 30 年为例的传统经营的高密度林分相比，多功能管理密度导致的主导功能和主要功能的变化，表明密度要降低 39 ~ 68%，产水功能提高了 6 ~ 17%，林下植物种数在低海拔轻微减少（6%）但在中高海拔轻微增加（3 ~ 6%），林分蓄积年增长率在生长最适海拔（2400 m）有些减少（4%）但在偏低和偏高海拔明显增加（45 ~ 47%），单株材积年增长率在生长最适海拔显著增加 37% 和在其它海拔大幅增加 238 ~ 307%，固碳功能在生长最适海拔减少 14% 但在其它海

拔增加 3 ~ 14%。由此可见，多功能密度经营能明显提质增效。

研究中发现，因六盘山外围半干旱区的树木生长受水分不足限制严重，不能利用上面提及的交集法确定多功能管理密度区间（即在多个单一功能的合理密度之间不存在交集）。因此，对不同功能按其重要性排序给予了从大到小的权重，计算各单一功能对应的最优密度的加权平均值，并满足使林分本身稳定的郁闭度 0.6 ~ 0.8 对应的基本密度区间要求，作为多功能管理密度区间的中点，并向两端各扩展 15% 作为多功能管理密度区间。

对相同研究区内其它海拔和林龄所需要的多功能管理密度，可在表 C.1 的基础上内插确定，或进行上面所示的计算与权衡；对西北地区其它林区的华北落叶松林多功能经营，本案例的提供的管理技术和确定的多功能管理密度研究结果，均可作为借鉴。

附录 D (规范性)

森林多功能经营的决策步骤

进行林分尺度的多功能森林经营决策，一般应遵循如下 5 个步骤：

D.1 立地质量调查与分类

立地调查与分类是进行森林多功能经营决策的基础，因为林分的结构、功能和经营措施都和立地质量紧密相关。

在我国许多地区（包括六盘山地区）都进行过立地分类，但当初是为了指导造林工作而编制的，这就难免和现在指导多功能森林经营的要求存在一些差异，因此必要时可调整完善原有的立地分类，尤其是需增加不同立地类型的多功能利用评价。

为指导六盘山区的森林多功能经营而制定的多功能立地类型见附录 A。

D.2 立地主要功能及其优先性确定

为进行森林的多功能管理，常需在具有竞争关系的多种服务功能之间进行权衡。为此，应按服务功能对区域发展的重要性，对各立地类型提供的服务功能进行重要性排序。

一般来说，控制土壤侵蚀是最重要的服务功能，因为山区坡面易发生侵蚀，且土壤稀薄和侵蚀容量很低，尤其人为干扰较强烈和降水较少导致植被生长和地表覆盖较差的低海拔阳坡瘠薄立地。尽可能提供较大的产水功能，在干旱缺水地区也是森林经营的重要目标。在立地质量较好时，还应在满足水土调节功能要求的前提下尽可能多生产优质木材以提高经营收入。当然，森林的其它重要服务功能也应在经营决策中考虑，如保护生物多样性、固碳释氧、景观美化和生态旅游等。

在立地条件不同时，森林主要功能的重要性排序会变化，如在六盘山区较高海拔地段，因降水较多和森林植被生长较好，加上人为干扰较少，水土流失风险较低，宜将生产优质木材作为第一功能，产水作为第二功能，然后依次是物种多样性保护、固碳释氧、保护土壤免遭侵蚀等；在低海拔的阳坡和半阳坡，由于降水少、土层薄、植被生长差，土壤侵蚀风险高，宜将保护土壤作为第一或第二功能，不再追求木材生产功能，将产水列为第二功能或第一功能，然后依次是物种多样性保护、固碳释氧等；在地形平坦的沟谷立地，水土流失风险较小，是开展生态旅游的首选之地，可将美化景观列为第一功能，将生产优质木材并列为第一功能或列为第二功能，然后是保护土壤、保护物种多样性、固碳释氧等，不再提及产水功能是由于沟谷森林的蒸散耗水量肯定会超出降水量从而不可能产水（只能是想办法节水）。

六盘山区多功能立地类型划分及多功能排序见附录 A，其它地区需根据当地条件合理确定。

D.3 现有林分结构特征调查

为指导森林多功能经营决策，应定量调查现有森林的结构特征，包括树种组成、林龄、林分起源、林木密度、树木高度和胸径、林木枝下高、树木的优势度、枯落物层厚度和组成等指标，还有林冠郁闭度、林下天然更新、地表覆盖度，以及林木健康情况和受害程度与原因等。

如有可能，还应调查土壤剖面特征及理化性质。

D.4 现有林分结构与功能的诊断

林分的结构与功能的诊断应立足于立地质量及其应发挥的多种服务功能。

对不适合造林或生长森林的太差立地，不必非要造林，不必非要把现有的非林植被转换为森林，也不必非要维持由于造林不当而形成的稳定性日益下降的不健康森林；对于控制土壤侵蚀和尽量多产水的功能目标而言，将耗水较少的灌木和草本的地面覆盖度维持在一个较高水平反而有益。对适宜森林生长的较肥沃和肥沃立地，在没有特殊要求的情况下，一般应充分利用林地的生产力来生产优质大径材，但前提是要控制土壤侵蚀、追求较高产水量，并要充分发挥其它服务功能。

对生长在肥沃立地的森林，在制定进一步林分经营决策前，先要评价确定其发育阶段，如还是在幼林或疏林阶段时，一般还未形成笔直、无节疤和足够长的优良树干，这时不必着急开展任何间伐或疏伐，而是应维持较高的林冠郁闭度，以便充分利用自然整枝作用来促进形成具有足够枝下高的良好树干的目标树；如目标树的树干质量和枝下高长度达到了要求，则可将调查林分的结构指标与前面提及的理想水源林结构指标进行比较，主要是林冠郁闭度、地表覆盖度、树木高径比、树种组成、天然更新、林木健康等，以便发现林分结构的不足和针对性地确定经营管理措施。

D.5 面向结构与功能的经营计划编制

森林的功能与价值和林分结构及立地质量紧密相关，由于立地质量很难改善，所以需采取面向林分结构与功能的针对性经营措施，从而改善林分结构及其提供的服务功能。这些不同的经营措施主要包括如下几方面：

1) 封山育林：对生长在劣质立地上的森林，经常进行封育，即不采取整地、补植、集水、间伐（择伐）等任何经营措施，避免干扰破坏植被覆盖，从而维持合适的地表覆盖度，达到预防土壤侵蚀和尽可能多产水的目的。这个措施也经常用于幼林（指高度低于 4 ~ 6 m）或疏林（指在目标树优质树干形成前，林冠郁闭度低于 0.6），以促进和维持林冠的郁闭。

2) 择伐：为促进目标树生长和提高林木抵抗冰雪或风暴灾害的能力，择伐常作为一个措施用于林冠郁闭度 > 0.8 的过密林分，具体做法是伐除目标树附近的 1 ~ 3 株质量不好的竞争木。控制择伐强度的原则是择伐后的郁闭度应保持在 0.6，以便在促进林下天然更新和幼树生长、控制大量杂草侵

入林地、培育目标树的高质量木材、保护生物多样性、增加和维持森林碳汇、提高林地产水能力等具有竞争关系的功能要求之间达到平衡。在过密林分里，往往有很多树木需在短期内择伐，这就需把择伐任务安排在一定时期（如 10 年）内分 2 ~ 3 次实施，而不是进行容易导致树木倒伏的一次性高强度择伐。择伐和木材运输应在冬季的冰冻地面上进行，以减少对林地、枯落物层、幼树和目标树的伤害。

3) 促进林下天然更新：应主要针对目标树种和珍稀树种鼓励林下天然更新，具体是在伐除竞争木或劣质木后形成一些林窗。然而，仍需利用一定的林冠遮荫来进行自然整枝，以形成具有高质量树干的目标树，尤其是对阔叶树。如某些树种的母树缺乏，也可进行混交树种的林下补植，以提高林分的树种混交程度。

4) 应用林水关系研究结果：在确定择伐强度等经营决策时，还可参考利用有关森林结构与林地产水量的关系、水分或水资源的植被承载力等研究成果。

5) 经营活动计划：作为黄土高原重要水源区的水源涵养林，不允许有任何皆伐，但可利用近自然林业的经营理念与经营技术，以便降低经营活动对树木、地表植被、枯落物层和土壤的干扰。在明确了需采取的经营措施后，就可逐项确定其实施的时间、强度和频度，从而构成一个详细可行的森林经营方案。

附录 E (资料性)

森林多功能经营方案和年度作业设计的框架

针对西北地区土石山区华北落叶松林多功能经营要求，提出如下经营方案编制及作业设计框架。

E.1 森林经营方案编制

经营方案以林场（村）为单位，一般中期经营规划为期 10 年，至少包括以下内容：

- 1) 经营林场（村）概况：包括自然环境概况、社会经济概况；
- 2) 经营现状与分析：包括森林资源现状和特点、森林经营情况和面临的问题；
- 3) 经营方针与目标：包括林场（村）的功能定位、经营方针、经营目标、具体目标；
- 4) 经营类型及措施：包括经营原则与依据、经营类型划分、不同类型的经营措施；
- 5) 经营计划：包括经营小班细化、年度经营计划和采伐计划、经营效果监测计划；
- 6) 林分经营措施制定步骤：首先初选需开展多功能经营的林分，然后进行立地特征调查，依据立地特征所决定的多种功能提供潜力和区域及当地社会经济发展所决定的多种功能需求，确定该林分应发挥的主导功能和主要功能并进行重要性排序，之后进行林分结构的调查和描述，分析林分的结构与功能现状和其与理想状态的差距并进行原因诊断，之后确定需实施的林分经营措施，最后进一步确定经营活动的强度和行程安排，并进行经营成本估算；
- 7) 森林保护计划：包括森林防火、病虫害防治、森林管护等；
- 8) 资源利用计划：包括森林旅游、林下经济等；
- 9) 投资与效益分析：包括投资预算，经济、生态、社会效益预算。

E.2 年度作业设计编制

基于森林经营方案，进一步编制年度作业设计，以指导年度森林经营活动，主要包括以下内容：

- 1) 经营范围：在地形图上标出需经营的范围，并计算出经营面积；
- 2) 设计依据与原则：包括国家和本地有关森林政策和经营规划，经营需遵循的原则；
- 3) 经营规划：包括经营区设计、组织与施工，以及林区经营道路的设计和施工；
- 4) 技术措施：对不同森林类型，采取不同的技术措施，包括采伐的技术措施；
- 5) 经费预算：包括规划设计费、材料费、劳务费、管理费等；
- 6) 效益分析：包括经济、生态、社会效益。