

第一章

黑龙江省森林生态系统连续观测与清查体系

黑龙江省森林生态系统服务评估基于黑龙江省森林生态系统连续观测与清查体系(图 1-1)。黑龙江省森林生态系统连续观测与清查体系简称黑龙江省森林生态连清体系,是指以生态地理区划为单位,依托国家现有森林生态系统国家定位观测研究站(简称森林生态站)和黑龙江省内的其他林业监测点,如:退耕还林生态效益监测点、低产林改造生态效益监测点和长期固定实验点,采用野外长期定位观测技术和分布式测算方法,定期对黑龙江省森林生态系统服务进行全指标体系观测与清查。它与黑龙江省森林资源二类调查数据相耦合,评估一定时期和范围内的黑龙江省森林生态系统服务,进一步了解其省内森林生态系统服务的动态变化。

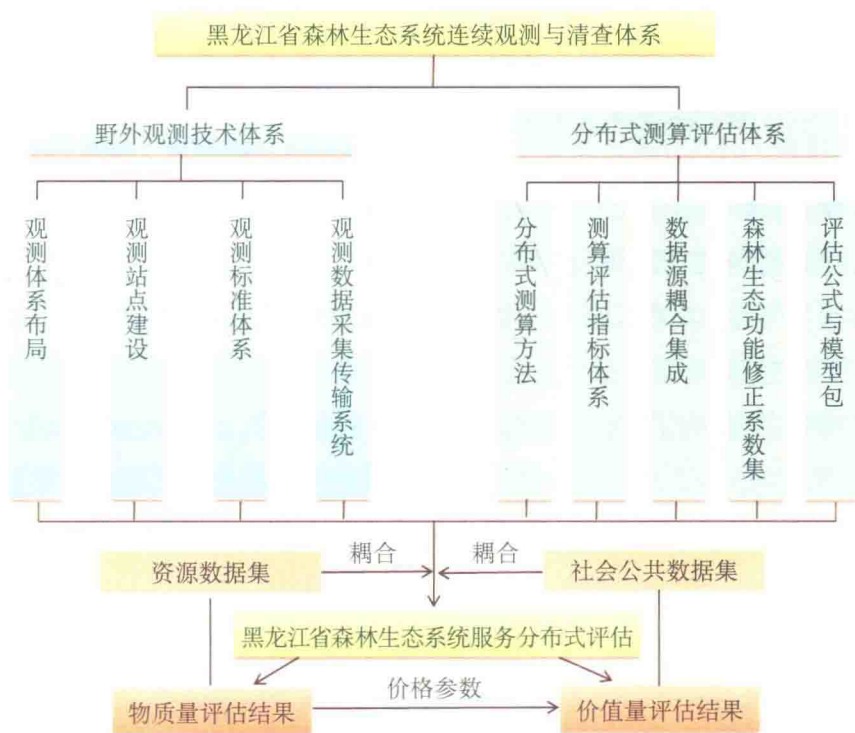


图 1-1 黑龙江省森林生态系统连续观测与清查体系框架



第一节 野外观测技术体系

一、黑龙江省森林生态系统服务监测站布局与建设

野外观测技术体系是构建黑龙江省森林生态连清体系的重要基础,为了做好这一基础工作,需要考虑如何构架观测体系布局。国家森林生态站与黑龙江省内各类林业监测点作为黑龙江省森林生态系统服务监测的两大平台,在建设时坚持“统一规划、统一布局、统一建设、统一规范、统一标准,资源整合,数据共享”原则。

森林生态站网络布局是以典型抽样为指导思想,以全国水热分布和森林立地情况为布局基础,选择具有典型性、代表性和层次性明显的区域完成森林生态网络布局。首先,依据《中国森林立地区划图》和《中国地理区域系统》两大区划体系完成中国森林生态区,并将其作为森林生态站网络布局区划的基础。同时,结合重点生态功能区、生物多样性优先保护区,量化并确定我国重点森林生态站的布局区域。最后,将中国森林生态区和重点森林生态站布局区域相结合,作为森林生态站的布局依据,确保每个森林生态区内至少有1个森林生态站,区内如有重点生态功能区,则优先布设森林生态站。

黑龙江省各地区的自然条件、社会经济发展状况各不相同,因此在监测方法和监测指标上应各有侧重。目前,依据黑龙江省13个市级行政区的自然、经济、社会的实际情况,将黑龙江省分为4个大区,即西北部大、小兴安岭森林生态区(大兴安岭地区、黑河市、伊春市)、西部松嫩平原生态区(大庆市、绥化市、齐齐哈尔市、哈尔滨市)、东南部长白山森林生态区(七台河市、鸡西市、牡丹江市)和东北部三江平原生态区(鹤岗市、佳木斯市、双鸭山市),对黑龙江省森林生态系统服务监测体系建设进行了详细科学的规划布局。为了保证监测数据精度和获取足够的监测数据,需要对其中每个区域进行长期定位监测。黑龙江省森林生态系统服务监测站的建设首先考虑其在区域上的代表性,选择能代表该区域主要优势树种(组),且能体现土壤、水文及生境等特征,以及交通、水电等条件相对便利的典型植被区域。为此,项目组和黑龙江省相关部门进行了大量的前期工作,包括科学规划、站点设置、合理性评估等。

森林生态站作为黑龙江省森林生态系统服务监测站,在黑龙江省森林生态系统服务评估中发挥着极其重要的作用。这些森林生态站有一部分分布在黑龙江省内(漠河森林生态站、小兴安岭森林生态站、凉水森林生态站、雪乡森林生态站、帽儿山森林生态站、牡丹江森林生态站、黑河森林生态站、七台河森林生态站、嫩江源森林生态站和伊勒呼里山森林生态站),还有一部分分布在临近省份,但是均与黑龙江省处在同一生态区内(内蒙古大兴安岭森林生态站、伊图里河森林生态站、特金罕山森林生态站、吉林省松江源森林生态站、长白山西坡森林生态站、长白山森林生态站)。黑龙江省内的辅助监测点还包括:①由



黑龙江省科学院自然与生态研究所与国际生物多样性计划中国委员会联合建立的黑龙江大兴安岭兴安落叶松林 25 公顷样地；②其他长期固定实验点，如东北林业大学在帽儿山林场建立的生态实验站等（图 1-2）。

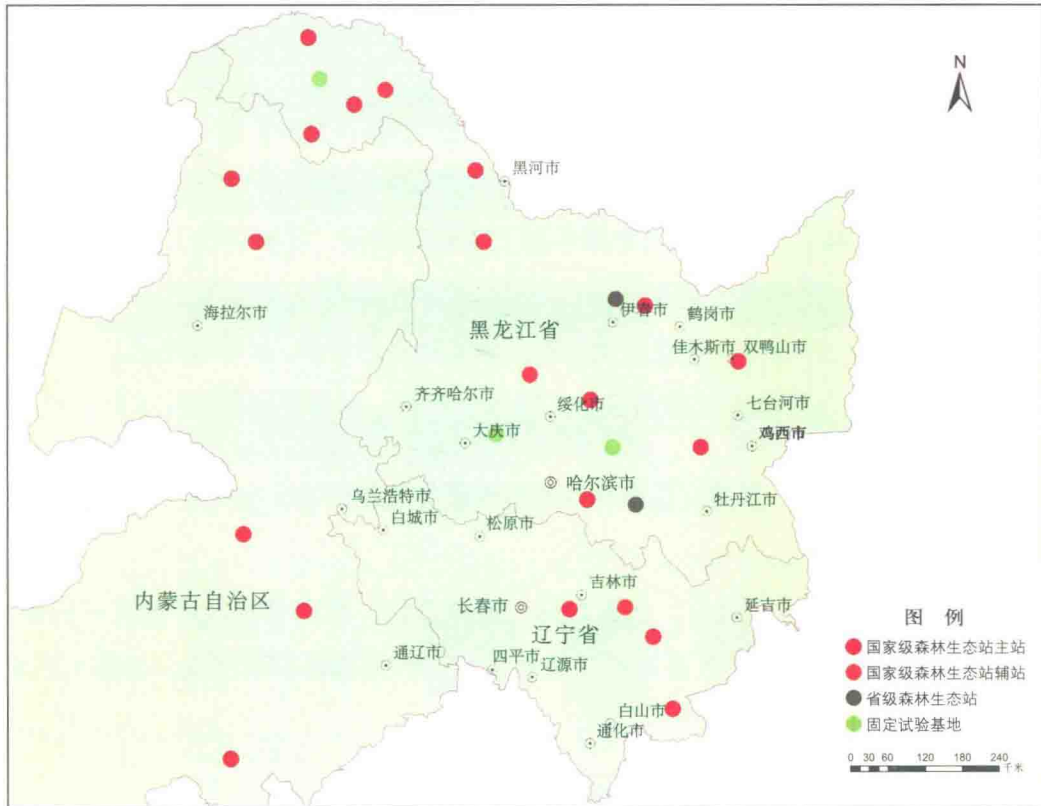


图 1-2 黑龙江省森林生态系统服务监测站点分布

目前的森林生态站和辅助站点在布局上能够充分体现区位优势 and 地域特色，兼顾了森林生态站布局在国家 and 地方等层面的典型性和重要性，目前已形成层次清晰、代表性强的森林生态站网，可以负责相关站点所属区域的森林生态连清工作。

借助上述森林生态站以及辅助监测点，可以满足黑龙江省森林生态系统服务监测和科学研究需求。随着政府对生态环境建设形势认识的不断发展，必将建立起黑龙江省森林生态系统服务监测的完备体系，为科学全面地评估黑龙江省生态建设成效奠定坚实的基础。同时，通过各森林生态系统服务监测站点长期、稳定的发挥作用，必将为健全和完善国家生态监测网络，特别是构建完备的林业及其生态建设监测评估体系做出重大贡献。

二、黑龙江省森林生态连清监测评估标准体系

黑龙江省森林生态连清监测评估所依据的标准体系包括从森林生态系统服务监测站点建设到观测指标、观测方法、数据管理乃至数据应用各个阶段的标准（图 1-3）。黑龙江省

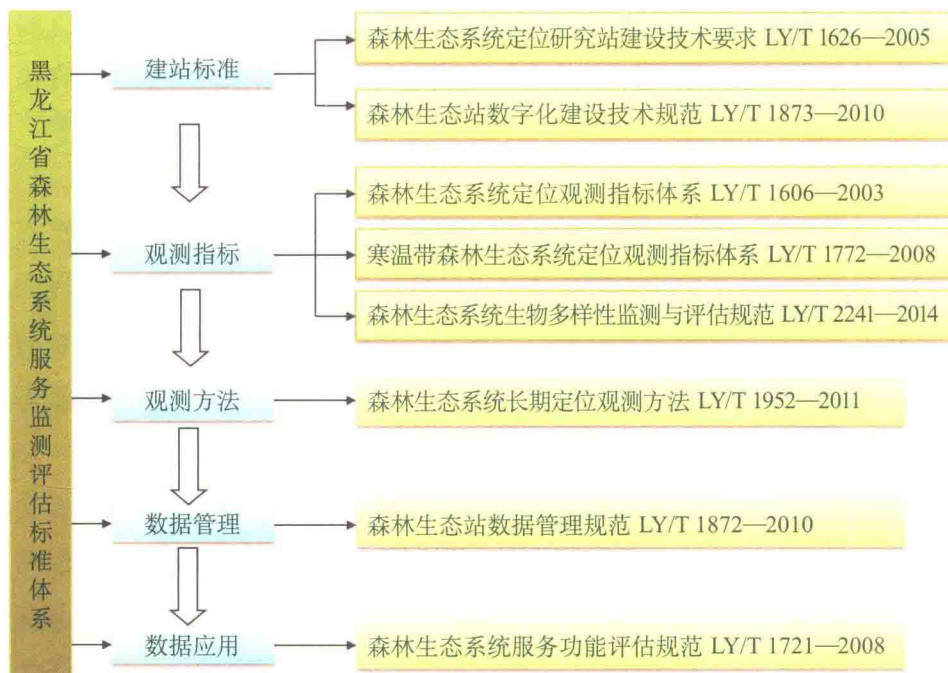


图 1-3 黑龙江省森林生态系统服务监测评估标准体系

森林生态系统服务监测站点建设、观测指标、观测方法、数据管理及数据应用的标准化，保证了不同站点所提供的黑龙江省森林生态连清数据的准确性和可比性，为黑龙江省森林生态系统服务评估的顺利进行提供了保障。

第二节 分布式测算评估体系

一、分布式测算方法

分布式测算源于计算机科学，是研究如何把一项整体复杂的问题分割成相对独立运算的单元，然后把这些单元分配给多个计算机进行处理，最后把这些计算结果综合起来，统一合并得出结论的一种计算方法（Hagit Attiya, 2008）。

最近，分布式测算项目已经被用于使用世界各地成千上万位志愿者的计算机的闲置计算能力，来解决复杂的数学问题，如 GIMPS 搜索梅森素数的分布式网络计算和研究寻找最为安全的密码系统如 RC4 等。这些项目都很庞大，需要惊人的计算量。而分布式测算就是研究如何把一个需要非常巨大计算能力才能解决的问题分成许多小的部分，然后把这些部分分配给许多计算机进行处理，最后把这些计算结果综合起来得到最终的结果。随着科学的发展，分布式测算已成为一种廉价的、高效的、维护方便的计算方法。

森林生态系统服务功能的测算是一项非常庞大、复杂的系统工程，很适合划分成多个



均质化的生态测算单元开展评估 (Niu 等, 2013)。因此, 分布式测算方法是目前评估森林生态系统服务所采用的一种较为科学有效的方法, 通过诸多森林生态系统服务功能评估案例也证实了分布式测算方法能够保证结果的准确性及可靠性 (牛香等, 2012)。

基于分布式测算方法评估黑龙江省森林生态系统服务功能的具体思路为: 首先将黑龙江省按行政区划分为哈尔滨市、齐齐哈尔市、双鸭山市、伊春市、佳木斯市、七台河市、牡丹江市、黑河市、绥化市、大庆市、鸡西市、鹤岗市、大兴安岭地区等 13 个一级测算单元; 每个一级测算单元又按不同优势树种 (组) 划分成赤松林、樟子松林、云杉林、红松林、冷杉林、落叶松林、栎类、柳树林、水胡黄 (水曲柳、胡桃楸、黄檗)、杨树林、榆树林、桦木林、椴树林、其他硬阔类、其他软阔类、阔叶混交林、针叶混交林、针阔混交林、灌木林、经济林、其他等 21 个二级测算单元; 每个二级测算单元按照不同起源划分为天然林和人工林 2 个三级测算单元; 每个三级测算单元再按龄组划分为幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林 5 个四级测算单元, 再结合不同立地条件的对比观测, 最终确定了 2730 个相对均质化的生态服务功能评估单元 (图 1-4)。

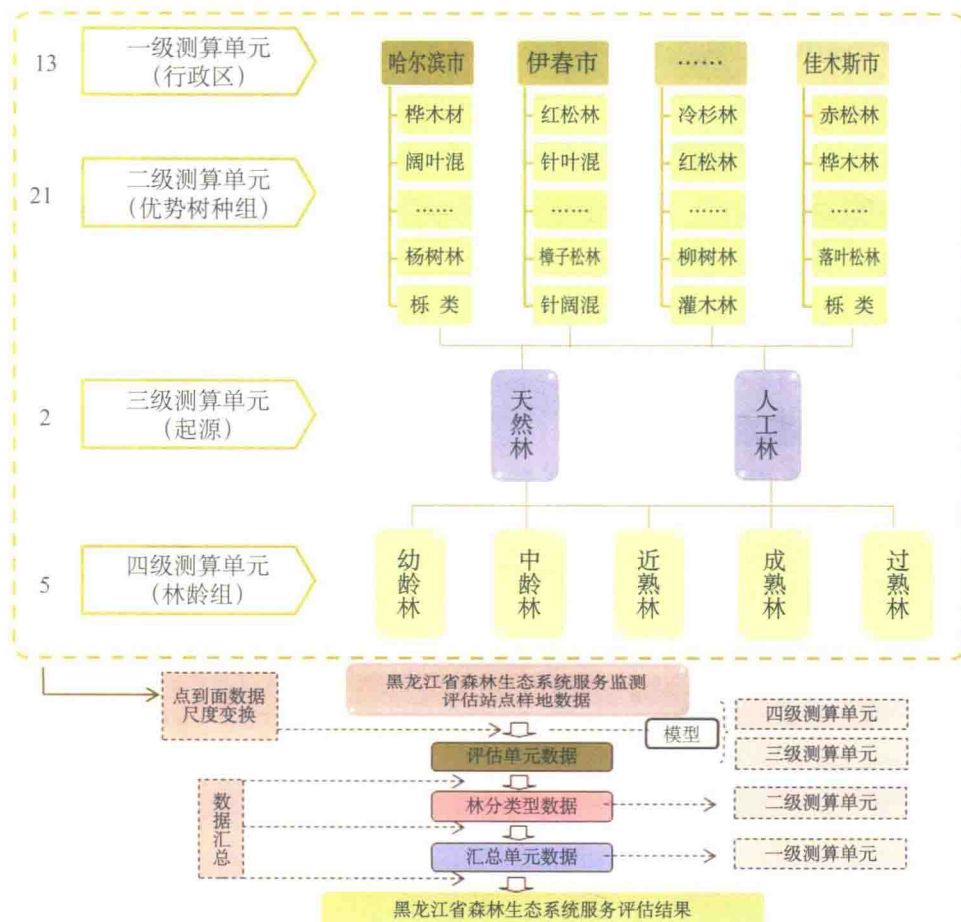


图 1-4 黑龙江省森林生态服务功能评估分布式测算方法



基于生态系统尺度的生态服务功能定位实测数据,运用遥感反演、过程机理模型等先进技术手段,进行由点到面的数据尺度转换,将点上实测数据转换至面上测算数据,即可得到各生态服务功能评估单元的测算数据。具体方法如下:①利用改造的过程机理模型 IBIS (集成生物圈模型),输入森林生态站各样点的植物功能型类型、主要优势树种(组)、植被类型、土壤质地、土壤养分含量、凋落物储量以及降雨、地表径流等参数,依据中国植被图或遥感信息,推算各生态服务功能评估单元的涵养水源、保育土壤和固碳释氧生态功能数据。②结合森林生态站长期定位观测的监测数据和黑龙江省年森林资源档案数据(蓄积量、树种组成、龄组等),通过筛选获得基于遥感数据反演的统计模型,推算各生态服务功能评估单元的林木积累营养物质生态功能数据和净化大气环境生态功能数据。将各生态服务功能评估单元的测算数据逐级累加,即可得到黑龙江省森林生态系统服务功能的最终评估结果。

二、监测评估指标体系

森林生态系统是地球生态系统的主体,其生态服务功能体现于生态系统和生态过程所形成的有利于人类生存与发展的生态环境条件与效用。如何真实地反映森林生态系统服务的效果,观测评估指标体系的建立非常重要。

在满足代表性、全面性、简明性、可操作性以及适应性等原则的基础上,通过总结近年的工作及研究经验,本次评估选取的测算评估指标体系包括涵养水源、保育土壤、固碳释氧、林木积累营养物质、净化大气环境、森林防护、生物多样性保护、森林游憩和提供林产品等9项功能23个指标(图1-5)。其中,降低噪音等指标的测算方法尚未成熟。因此,本报告未涉及它们的功能评估。基于相同原因,在吸收污染物指标中不涉及吸收重金属的功能评估。

三、数据来源与集成

黑龙江省森林生态连清评估分为物质量和价值量两大部分。物质量评估所需数据来源于黑龙江省森林生态连清数据集和黑龙江省森林资源连清数据集;价值量评估所需数据除以上两个来源外还包括社会公共数据集(图1-6)。

主要的数据来源包括以下三部分:

1. 黑龙江省森林生态连清数据集

黑龙江省森林生态连清数据主要来源于黑龙江省及周边省份的19个森林生态站和辅助观测点的监测结果。其中,森林生态站以国家林业局森林生态站为主体,还包括省级森林生态站和长期固定试验基地等以及植物监测固定样地,并依据中华人民共和国林业行业标准《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721—2008)和中华人民共和国林业行业标准《森林生态系统长期定位观测方法》(LY/T 1952—2011)等开展观测得到黑龙江省森林生态连清数据。

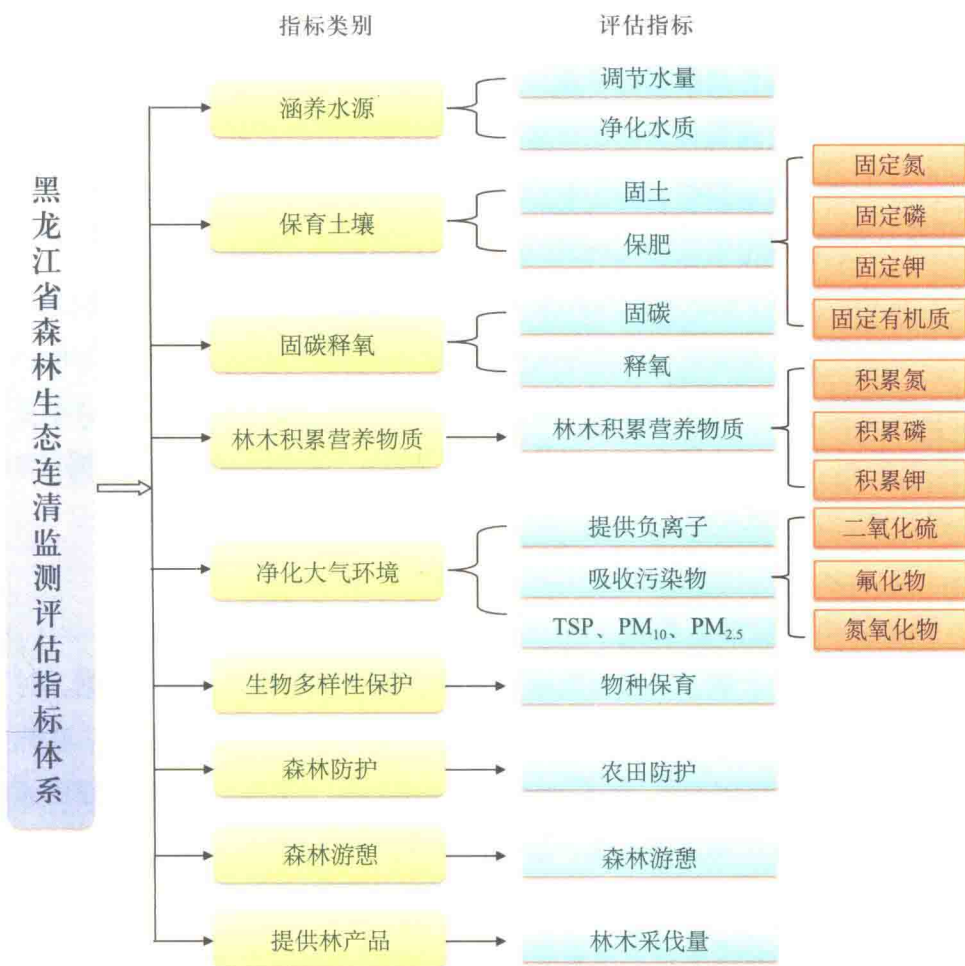


图 1-5 黑龙江省森林生态连清监测评估指标体系

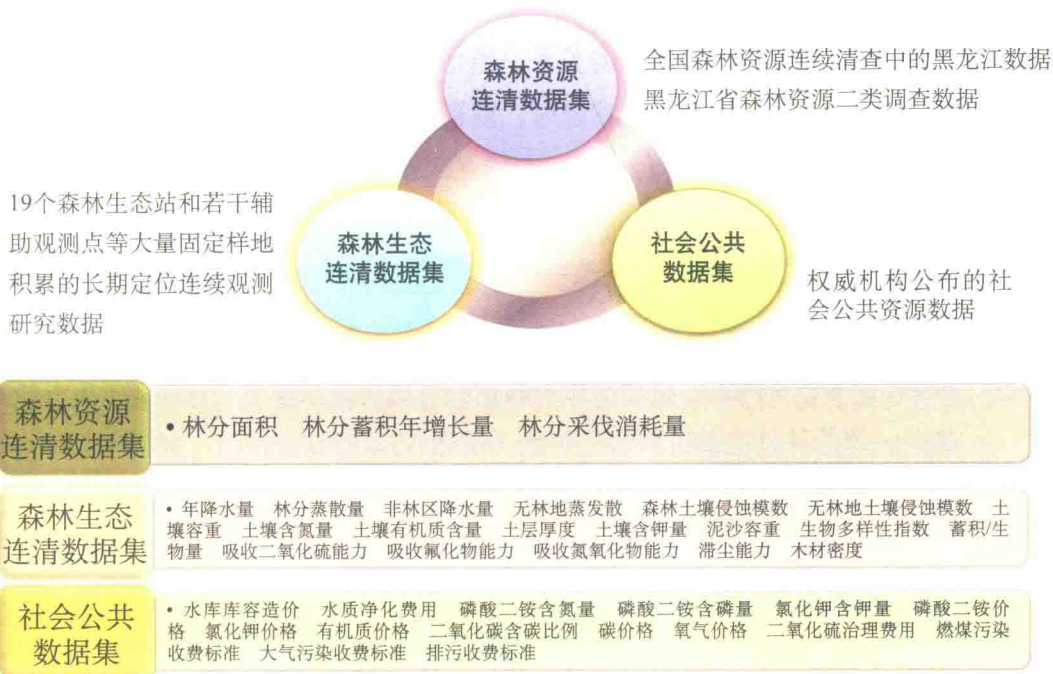


图 1-6 数据来源与集成



2. 黑龙江省森林资源连清数据集

黑龙江省森林资源连清数据的来源,是利用第九次全国森林资源连续清查中的黑龙江省数据,结合第八次全国森林资源连续清查中的黑龙江数据及其对应的森林资源二类调查数据,拟合至“十三五”末期(2020年)的森林资源二类调查数据。

3. 社会公共数据集

社会公共数据来源于我国权威机构所公布的社会公共数据,包括《中国水利年鉴》《中华人民共和国水利部水利建筑工程预算定额》、农业部信息网(<http://www.agri.gov.cn/>)、国家卫生计生委网站(<http://www.nhfpc.gov.cn>)、中华人民共和国国家发展和改革委员会第四部委2003年第31号令《排污费征收标准及计算方法》、黑龙江省物价局官网(<http://www.hpj.gov.cn>)等。

四、森林生态功能修正系数

在野外数据观测中,研究人员仅能够得到观测站点附近的实测生态数据,对于无法实地观测到的数据,则需要一种方法对已经获得的参数进行修正,因此引入了森林生态功能修正系数(Forest Ecological Function Correction Coefficient,简称FEF-CC)。FEF-CC指评估林分生物量和实测林分生物量的比值,它反映了森林生态系统服务评估区域森林的生态质量状况,还可以通过森林生态功能的变化修正森林生态系统服务的变化。

森林生态系统服务价值的合理测算对绿色国民经济核算具有重要意义,社会进步程度、经济发展水平、森林资源质量等对森林生态系统服务均会产生一定影响,而森林自身结构和功能状况则是体现森林生态系统服务可持续发展的基本前提。“修正”作为一种状态,表明系统各要素之间具有相对“融洽”的关系。当用现有的野外实测值不能代表同一生态单元同一目标优势树种(组)的结构或功能时,就需要采用森林生态功能修正系数客观地从生态学精度的角度反映同一优势树种(组)在同一区域的真实差异。其理论公式为:

$$FEF-CC = \frac{B_e}{B_o} = \frac{BEF \cdot V}{B_o} \quad (1-1)$$

式中:FEF-CC——森林生态功能修正系数;

B_e ——评估林分的单位面积生物量(千克/立方米);

B_o ——实测林分的单位面积生物量(千克/立方米);

BEF——蓄积量与生物量的转换因子;

V——评估林分的蓄积量(立方米)。

实测林分的生物量可以通过森林生态连清的实测手段来获取,而评估林分的生物量在黑龙江省森林资源二类调查结果中还没有完全统计出来。因此,通过评估林分蓄积量和生



物量转换因子, 测算评估林分的生物量 (方精云等, 1996, 1998, 2001)。

五、贴现率

黑龙江省森林生态系统服务价值量评估中, 由物质量转价值量时, 部分价格参数并非评估年价格参数, 因此需要使用贴现率 (Discount Rate), 将非评估年价格参数换算为评估年价格参数以计算各项功能价值量的现价。

黑龙江省森林生态系统服务功能价值量评估中所使用的贴现率指将未来现金收益折合成现在收益的比率。贴现率是一种存贷款均衡利率, 利率的大小, 主要根据金融市场利率来决定, 其计算公式为:

$$t = (D_r + L_r) / 2 \quad (1-2)$$

式中: t ——存贷款均衡利率 (%) ;

D_r ——银行的平均存款利率 (%) ;

L_r ——银行的平均贷款利率 (%)。

贴现率利用存贷款均衡利率, 将非评估年份价格参数, 逐年贴现至评估年的价格参数。贴现率的计算公式为:

$$d = (1 + t_{n+1})(1 + t_{n+2}) \cdots (1 + t_m) \quad (1-3)$$

式中: d ——贴现率;

t ——存贷款均衡利率 (%) ;

n ——价格参数可获得年份 (年) ;

m ——评估年份 (年)。

六、核算公式与模型包

(一) 涵养水源功能

森林涵养水源功能主要是指森林对降水的截留、吸收和贮存, 将地表水转为地表径流或地下水的的作用 (图 1-7)。主要功能表现在增加可利用水资源、净化水质和调节径流三个方面。本研究选定 2 个指标, 即调节水量指标和净化水质指标, 以反映森林的涵养水源功能。

1. 调节水量指标

(1) 年调节水量。森林生态系统年调节水量公式为:

$$G_{\text{调}} = 10 A \cdot (P - E - C) \cdot F \quad (1-4)$$

式中: $G_{\text{调}}$ ——实测林分年调节水量 (立方米 / 年) ;

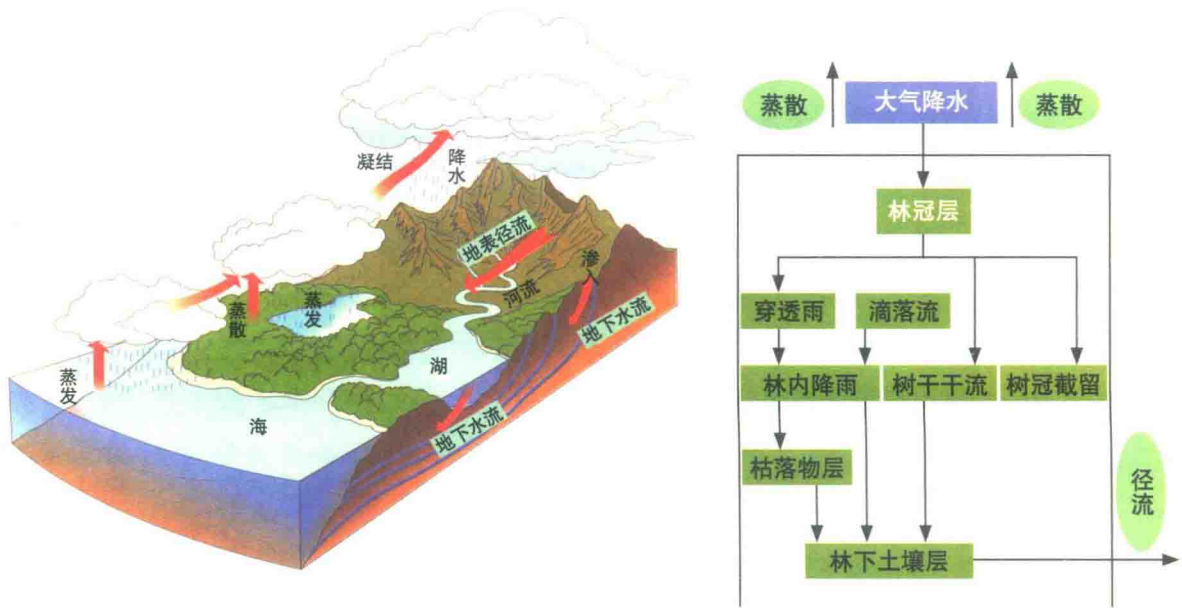


图 1-7 全球水循环及森林对降水的再分配示意

- P ——实测林外降水量 (毫米/年)；
 E ——实测林分蒸散量 (毫米/年)；
 C ——实测地表快速径流量 (毫米/年)；
 A ——林分面积 (公顷)；
 F ——森林生态功能修正系数。

(2) 年调节水量价值。森林生态系统年调节水量价值根据水库工程的蓄水成本 (替代工程法) 来确定, 采用如下公式计算:

$$U_{\text{调}} = 10 C_{\text{库}} \cdot A \cdot (P - E - C) \cdot F \cdot d \quad (1-5)$$

- 式中: $U_{\text{调}}$ ——实测森林年调节水量价值 (元/年)；
 $C_{\text{库}}$ ——水库库容造价 (元/立方米, 见附表)；
 P ——实测林外降水量 (毫米/年)；
 E ——实测林分蒸散量 (毫米/年)；
 C ——实测地表快速径流量 (毫米/年)；
 A ——林分面积 (公顷)；
 F ——森林生态功能修正系数；
 d ——贴现率。

2. 年净化水质指标

(1) 年净化水量。森林生态系统年净化水量采用年调节水量的公式:



$$G_{\text{净}} = 10 A \cdot (P - E - C) \cdot F \quad (1-6)$$

式中： $G_{\text{净}}$ ——实测林分年净化水量（立方米/年）；

P ——实测林外降水量（毫米/年）；

E ——实测林分蒸散量（毫米/年）；

C ——实测地表快速径流量（毫米/年）；

A ——林分面积（公顷）；

F ——森林生态功能修正系数。

(2) 净化水质价值。森林生态系统年净化水质价值根据净化水质工程的成本（替代工程法）计算，公式为：

$$U_{\text{水质}} = 10 K_{\text{水}} \cdot A \cdot (P - E - C) \cdot F \cdot d \quad (1-7)$$

式中： $U_{\text{水质}}$ ——实测林分净化水质价值（元/年）；

$K_{\text{水}}$ ——水的净化费用（元/立方米，见附表）；

P ——实测林外降水量（毫米/年）；

E ——实测林分蒸散量（毫米/年）；

C ——实测地表快速径流量（毫米/年）；

A ——林分面积（公顷）；

F ——森林生态功能修正系数；

d ——贴现率。

（二）保育土壤功能

森林凭借庞大的树冠、深厚的枯枝落叶层及强壮且成网络的根系截留大气降水，减少或避免雨滴对土壤表层的直接冲击，有效地固持土体，降低了地表径流对土壤的冲蚀，使土壤流失量大大降低。而且森林的生长发育及其代谢产物不断对土壤产生物理及化学影响，参与土体内部的能量转换与物质循环，使土壤肥力提高，森林凋落物是土壤养分的主要来源之一（图 1-8）。为此，本研究选用 2 个指标，即固土指标和保肥指标，以反映森林保育土壤功能。

1. 固土指标

(1) 年固土量。林分年固土量公式为：

$$G_{\text{固土}} = A \cdot (X_2 - X_1) \cdot F \quad (1-8)$$

式中： $G_{\text{固土}}$ ——实测林分年固土量（吨/年）；

X_1 ——有林地土壤侵蚀模数 [吨/(公顷·年)]；

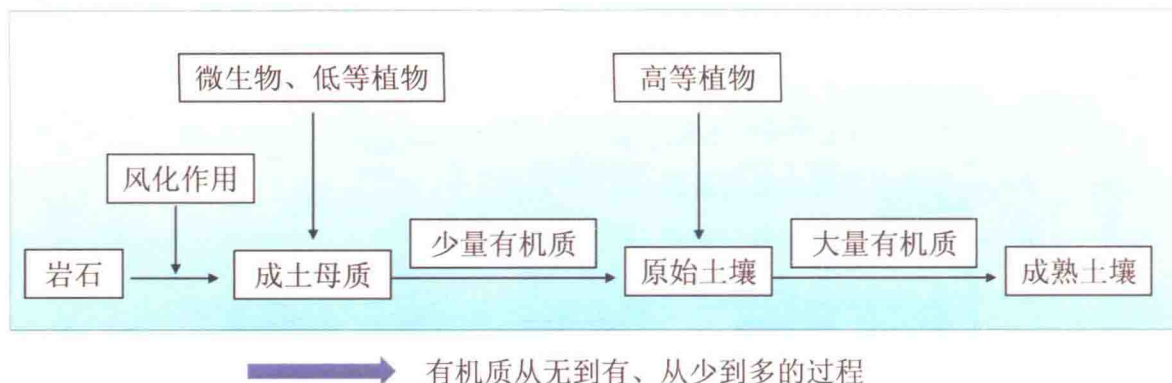


图 1-8 植被对土壤形成的作用

X_2 ——无林地土壤侵蚀模数 [吨/(公顷·年)]；

A ——林分面积 (公顷)；

F ——森林生态功能修正系数。

(2) 年固土价值。由于土壤侵蚀流失的泥沙淤积于水库中，减少了水库蓄积水的体积，因此本研究根据蓄水成本（替代工程法）计算林分年固土价值，公式为：

$$U_{\text{固土}} = A \cdot C_{\pm} \cdot (X_2 - X_1) \cdot F \cdot d / \rho \quad (1-9)$$

式中： $U_{\text{固土}}$ ——实测林分年固土价值 (元/年)；

X_1 ——有林地土壤侵蚀模数 [吨/(公顷·年)]；

X_2 ——无林地土壤侵蚀模数 [吨/(公顷·年)]；

C_{\pm} ——挖取和运输单位体积土方所需费用 (元/立方米，见附表)；

ρ ——土壤容重 (克/立方厘米)；

A ——林分面积 (公顷)；

F ——森林生态功能修正系数；

d ——贴现率。

2. 保肥指标

(1) 年保肥量。

$$G_N = A \cdot N \cdot (X_2 - X_1) \cdot F \quad (1-10)$$

$$G_P = A \cdot P \cdot (X_2 - X_1) \cdot F \quad (1-11)$$

$$G_K = A \cdot K \cdot (X_2 - X_1) \cdot F \quad (1-12)$$

$$G_{\text{有机质}} = A \cdot M \cdot (X_2 - X_1) \cdot F \quad (1-13)$$

式中： G_N ——森林固持土壤而减少的氮流失量 (吨/年)；



- G_p ——森林固持土壤而减少的磷流失量 (吨/年)；
 G_k ——森林固持土壤而减少的钾流失量 (吨/年)；
 $G_{\text{有机质}}$ ——森林固持土壤而减少的有机质流失量 (吨/年)；
 X_1 ——有林地土壤侵蚀模数 [吨/(公顷·年)]；
 X_2 ——无林地土壤侵蚀模数 [吨/(公顷·年)]；
 N ——森林土壤平均含氮量 (%)；
 P ——森林土壤平均含磷量 (%)；
 K ——森林土壤平均含钾量 (%)；
 M ——森林土壤平均有机质含量 (%)；
 A ——林分面积 (公顷)；
 F ——森林生态功能修正系数。

(2) 年保肥价值。年固土量中氮、磷、钾的数量换算成化肥即为林分年保肥价值。本研究的林分年保肥价值以固土量中的氮、磷、钾数量折合成磷酸二铵化肥和氯化钾化肥的价值来体现。公式为：

$$U_{\text{肥}} = A \cdot (X_1 - X_2) \cdot \left(\frac{N \cdot C_1}{R_1} + \frac{P \cdot C_1}{R_2} + \frac{K \cdot C_2}{R_3} + M \cdot C_3 \right) \cdot F \cdot d \quad (1-14)$$

- 式中： $U_{\text{肥}}$ ——实测林分年保肥价值 (元/年)；
 X_1 ——有林地土壤侵蚀模数 [吨/(公顷·年)]；
 X_2 ——无林地土壤侵蚀模数 [吨/(公顷·年)]；
 N ——森林土壤平均含氮量 (%)；
 P ——森林土壤平均含磷量 (%)；
 K ——森林土壤平均含钾量 (%)；
 M ——森林土壤平均有机质含量 (%)；
 R_1 ——磷酸二铵化肥含氮量 (%，见附表)；
 R_2 ——磷酸二铵化肥含磷量 (%，见附表)；
 R_3 ——氯化钾化肥含钾量 (%，见附表)；
 C_1 ——磷酸二铵化肥价格 (元/吨，见附表)；
 C_2 ——氯化钾化肥价格 (元/吨，见附表)；
 C_3 ——有机质价格 (元/吨，见附表)；
 A ——林分面积 (公顷)；
 F ——森林生态功能修正系数；
 d ——贴现率。



(三) 固碳释氧功能

森林与大气的物质交换主要是二氧化碳与氧气的交换，即森林固定并减少大气中的二氧化碳和提高并增加大气中的氧气（图 1-9），这对维持大气中的二氧化碳和氧气动态平衡、减少温室效应以及为人类提供生存的基础均有巨大和不可替代的作用（Wang 等，2013）。为此本研究选用固碳、释氧 2 个指标反映森林生态系统固碳释氧功能。根据光合作用化学反应式，森林植被每积累 1.0 克干物质，可以吸收 1.63 克二氧化碳，释放 1.19 克氧气。



图 1-9 森林生态系统固碳释氧作用

1. 固碳指标

(1) 植被和土壤年固碳量。

$$G_{\text{碳}} = A \cdot (1.63 R_{\text{碳}} \cdot B_{\text{年}} + F_{\text{土壤碳}}) \cdot F \quad (1-15)$$

式中： $G_{\text{碳}}$ ——实测年固碳量（吨/年）；

$B_{\text{年}}$ ——实测林分净生产力 [吨 / (公顷·年)]；

$F_{\text{土壤碳}}$ ——单位面积林分土壤年固碳量 [吨 / (公顷·年)]；

$R_{\text{碳}}$ ——二氧化碳中碳的含量，为 27.27%；

A ——林分面积（公顷）；

F ——森林生态功能修正系数。

公式得出森林的潜在年固碳量，再从其中减去由于森林采伐造成的生物量移出从而损失的碳量，即为森林的实际年固碳量。

(2) 年固碳价值。森林植被和土壤年固碳价值的计算公式为：



$$U_{\text{碳}} = A \cdot C_{\text{碳}} \cdot (1.63 R_{\text{碳}} \cdot B_{\text{年}} + F_{\text{土壤碳}}) \cdot F \cdot d \quad (1-16)$$

式中： $U_{\text{碳}}$ ——实测林分年固碳价值（元/年）；

$B_{\text{年}}$ ——实测林分净生产力 [吨 / (公顷·年)] ；

$F_{\text{土壤碳}}$ ——单位面积森林土壤年固碳量 [吨 / (公顷·年)] ；

$C_{\text{碳}}$ ——固碳价格（元/吨，见附表）；

$R_{\text{碳}}$ ——二氧化碳中碳的含量，为 27.27% ；

A ——林分面积（公顷）；

F ——森林生态功能修正系数；

d ——贴现率。

公式得出森林的潜在年固碳价值，再从其中减去由于森林年采伐消耗量造成的碳损失，即为森林的实际年固碳价值。

2. 释氧指标

(1) 年释氧量。公式为：

$$G_{\text{氧气}} = 1.19 A \cdot B_{\text{年}} \cdot F \quad (1-17)$$

式中： $G_{\text{氧气}}$ ——实测林分年释氧量（吨/年）；

$B_{\text{年}}$ ——实测林分净生产力 [吨 / (公顷·年)] ；

A ——林分面积（公顷）；

F ——森林生态功能修正系数。

(2) 年释氧价值。年释氧价值采用以下公式计算：

$$U_{\text{氧}} = 1.19 C_{\text{氧}} \cdot A \cdot B_{\text{年}} \cdot F \cdot d \quad (1-18)$$

式中： $U_{\text{氧}}$ ——实测林分年释氧价值（元/年）；

$B_{\text{年}}$ ——实测林分年净生产力 [吨 / (公顷·年)] ；

$C_{\text{氧}}$ ——制造氧气的价格（元/吨，见附表）；

A ——林分面积（公顷）；

F ——森林生态功能修正系数；

d ——贴现率。

(四) 林木积累营养物质功能

森林在生长过程中不断从周围环境吸收营养物质，固定在植物体中，成为全球生物化学循环中不可缺少的环节，为此本研究选用林木营养积累指标反映森林积累营养物质功能。



1. 林木营养物质年积累量

$$G_{\text{氮}} = A \cdot N_{\text{营养}} \cdot B_{\text{年}} \cdot F \quad (1-19)$$

$$G_{\text{磷}} = A \cdot P_{\text{营养}} \cdot B_{\text{年}} \cdot F \quad (1-20)$$

$$G_{\text{钾}} = A \cdot K_{\text{营养}} \cdot B_{\text{年}} \cdot F \quad (1-21)$$

式中： $G_{\text{氮}}$ ——植被固氮量（吨/年）；

$G_{\text{磷}}$ ——植被固磷量（吨/年）；

$G_{\text{钾}}$ ——植被固钾量（吨/年）；

$N_{\text{营养}}$ ——林木氮元素含量（%）；

$P_{\text{营养}}$ ——林木磷元素含量（%）；

$K_{\text{营养}}$ ——林木钾元素含量（%）；

$B_{\text{年}}$ ——实测林分净生产力 [吨/(公顷·年)]；

A ——林分面积（公顷）；

F ——森林生态功能修正系数。

2. 林木营养年积累价值

采取把营养物质折合成磷酸二铵化肥和氯化钾化肥方法计算林木营养积累价值，公式为：

$$U_{\text{营养}} = A \cdot B \cdot \left(\frac{N_{\text{营养}} \cdot C_1}{R_1} + \frac{P_{\text{营养}} \cdot C_1}{R_2} + \frac{K_{\text{营养}} \cdot C_2}{R_3} \right) \cdot F \cdot d \quad (1-22)$$

式中： $U_{\text{营养}}$ ——实测林分氮、磷、钾年增加价值（元/年）；

$N_{\text{营养}}$ ——实测林木含氮量（%）；

$P_{\text{营养}}$ ——实测林木含磷量（%）；

$K_{\text{营养}}$ ——实测林木含钾量（%）；

R_1 ——磷酸二铵含氮量（%，见附表）；

R_2 ——磷酸二铵含磷量（%，见附表）；

R_3 ——氯化钾含钾量（%，见附表）；

C_1 ——磷酸二铵化肥价格（元/吨，见附表）；

C_2 ——氯化钾化肥价格（元/吨，见附表）；

B ——实测林分净生产力 [吨/(公顷·年)]；

A ——林分面积（公顷）；

F ——森林生态功能修正系数；

d ——贴现率。

(五) 净化大气环境功能

近年灰霾天气频繁、大范围的出现，使空气质量状况成为民众和政府部门关注的焦点，大气颗粒物（如 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ ）被认为是造成灰霾天气的罪魁祸首出现在人们的视野中。特别是 $PM_{2.5}$ 由于其对人体健康的严重威胁，成为人们关注的热点。如何控制大气污染、改善空气质量成为众多科学家研究的热点。

森林能有效吸收有害气体、吸滞粉尘、降低噪音、提供负离子等，从而起到净化大气环境的作用（图 1-10）。为此，本研究选取提供负离子、吸收污染物（二氧化硫、氟化物和氮氧化物）、滞尘、滞纳 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 等 7 个指标反映森林生态系统净化大气环境能力。由于降低噪音指标计算方法尚不成熟，所以本研究中不涉及降低噪音指标。

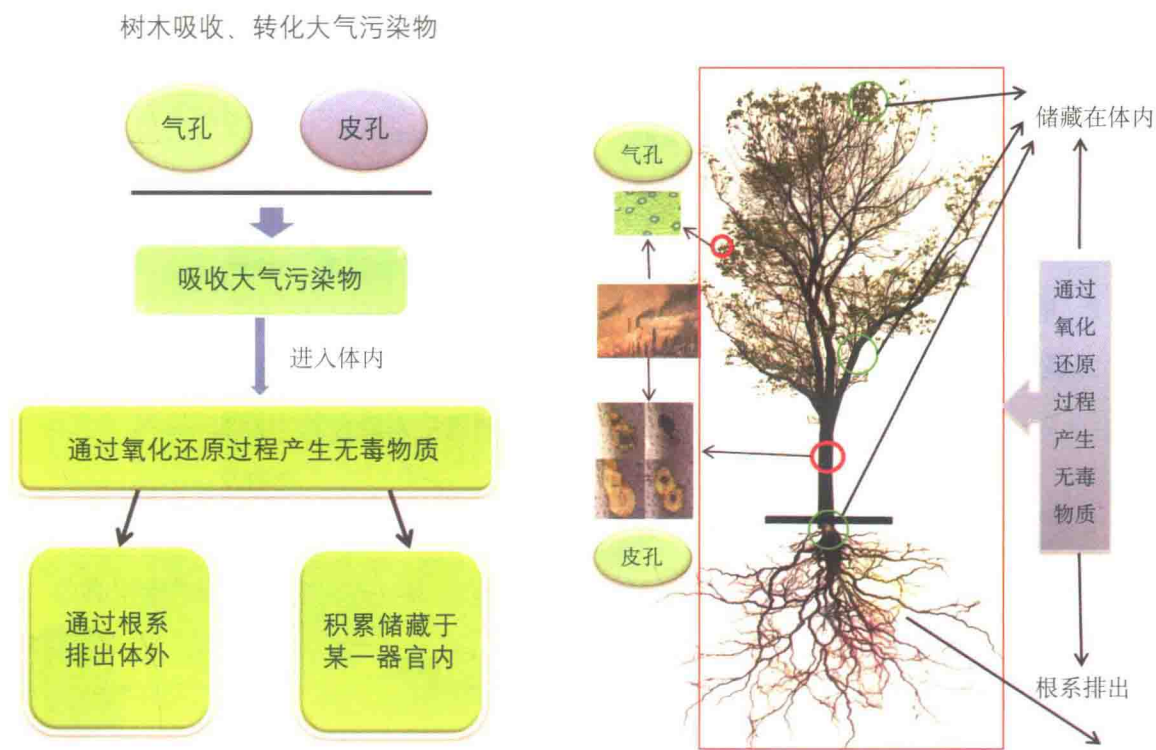


图 1-10 树木吸收空气污染物示意

1. 提供负离子指标

(1) 年提供负离子量。

$$G_{\text{负离子}} = 5.256 \times 10^{15} \cdot Q_{\text{负离子}} \cdot A \cdot H \cdot F / L \quad (1-23)$$

式中： $G_{\text{负离子}}$ ——实测林分年提供负离子个数（个/年）；

$Q_{\text{负离子}}$ ——实测林分负离子浓度（个/立方厘米）；