

Fuel Supply Handbook for Biomass-Fired Power Projects

生物质直燃发电项目 燃料供应手册



THE WORLD BANK



Energy Sector Management Assistance Program

生物质直燃发电项目 燃料供应手册 (参考译文)



THE WORLD BANK



生物质直燃发电项目燃料供应手册

委托方：世界银行/ESMAP

主要作者：BTG生物质技术集团公司

P.O. BOX 835

7500 AV Enschede

电话 +31-53-4861186

传真 +31-53-4861180

www.btgworld.com

office@btgworld.com

2010年5月

出版能源领域管理援助计划(ESMAP)相关报告是为了尽快公布ESMAP所支持活动的工作结果。报告中所用到的一些资料可能来源于未发表的非正式文件。

报告中涉及到的内容，解释以及结论完全是作者的观点，并不代表世界银行或其附属组织，其执行董事会成员以及其代表的国家，以及ESMAP的观点。世界银行和能源领域管理援助计划并不能保证出版物的数据准确性，概不为任何其使用的后果承担任何责任。在本卷中的任何地图或边界中出现的边界，颜色，名称等其他信息，并不意味着世行集团对任何领土的合法地位的观点。

目录

致谢	vii
术语表	viii
缩略语	x
内容摘要	xii
1 简介	1
2 作为能源来源的生物质	2
2.1 生物质原料的来源	2
2.2 中国普遍使用的生物质原料	2
2.3 三类生物质废弃物	3
2.4 生物质燃料特性与燃料选择所需考虑的因素	3
2.4.1 生物质化学组成	4
2.4.2 实质密度、堆积密度和能量密度	4
2.4.3 颗粒大小与粒度分布	5
2.4.4 含水量	5
2.4.5 热值	6
2.4.6 灰分含量和质量	7
2.4.7 元素分析	7
2.4.8 污染物	8
2.5 举例：生物质燃料供给系统方面的经验	10
2.6 结论和建议	10
2.6.1 结论	10
2.6.2 建议	11
3 生物质资源评估	12
3.1 生物质资源潜力类型	12
3.2 生物质资源评估的基本方法	12
3.2.1 统计评估方法	13
3.2.2 空间直观评估方法	13
3.3 生物质资源评估步骤	13
3.4 中国的农作物秸秆资源评估	14
3.5 农作物秸秆资源的空间精确评估方法：欧洲案例	15
3.5.1 每个地区的农作物秸秆资源潜力	15
3.5.2 5x5 公里网格单元范围内的农作物秸秆资源潜力	17
3.6 生物质电厂规模	18

3.7 结论和建议	18
3.7.1 结论	18
3.7.2 建议	19
4 农作物秸秆资源供应	21
4.1 简介	21
4.2 农作物秸秆生产技术与方法	21
4.2.1 农作物秸秆的生产、搂耙和收集	21
4.2.2 农作物秸秆的运输	22
4.2.3 长期贮存	22
4.2.4 运输（从长期贮存处）至发电厂	23
4.2.5 在生物质电厂进行处理	24
4.3 中国农作物秸秆供应现状	24
4.3.1 中国农作物秸秆的可获得性	24
4.3.2 中国农作物秸秆收集实践	24
4.4 中国农作物秸秆供应：案例研究	25
案例研究 A：山东省 30 兆瓦生物质直燃电厂	25
案例研究 B：河南省 12 兆瓦生物质直燃电厂	26
案例研究 C：河南省 30 兆瓦生物质直燃电厂	26
案例研究 D：江苏省 24 兆瓦生物质直燃电厂	26
4.5 欧洲农作物秸秆供应：案例研究	26
案例研究 E：Ensted（丹麦）39.7 兆瓦生物质电厂	26
案例研究 F：Ely（英国）38 兆瓦秸秆直燃电厂	26
案例研究 G：Sangüesa（西班牙纳瓦拉）25 兆瓦农作物秸秆直燃电厂	27
4.6 结论与建议	27
4.6.1 结论	27
4.6.2 建议	28
5 林业废弃物资源供应	29
5.1 简介	29
5.1.1 林业废弃物类型与产量	29
5.1.2 林业废弃物生产成本系数	29
5.2 采伐（集采）	30
5.2.1 与终伐有关的集采	30
5.2.2 与除伐和疏伐相关的集采	31
5.3 切削	31
5.3.1 在贮木场切削	31
5.3.2 来源地切削	33
5.3.3 终端设备切削	34
5.3.4 燃料集散站切削	37
5.4 生物质贮存	37
5.4.1 林业废弃物贮存在路边	37
5.4.2 林业废弃物贮存在生物质电厂	38
5.5 中国生物能源燃料链案例研究	38

5.6 欧洲生物能源燃料链案例研究	38
5.7 结论和建议	39
6 生物质燃料供应管理	42
6.1 生物质燃料供应的组织	42
6.2 生物质燃料合同	42
6.2.1 生物质燃料数量	43
6.2.2 生物质燃料质量	43
6.2.3 生物质燃料定价	44
6.2.4 生物质供应合同应考虑的其他事项	44
6.3 生物质燃料供应控制	45
6.3.1 燃料质量控制措施介绍	45
6.3.2 燃料供应控制的质量管理	46
6.3.3 案例研究：丹麦农业废弃物的质量管理	47
6.3.4 案例研究：芬兰林业废弃物的质量管理	47
6.4 供应风险管理的减缓策略	48
6.5 结论与建议	49

附件

1 能源作物种植的国际经验	55
2 燃料标准与技术规范	58
3 固体生物质燃料在不同含水量和能源密度情况下净热值的测算 (EN 14961-1)	61
4 生物质资源潜力类型	63
5 农作物及其废弃物产量的确定	64
6 生物质资源调查准备指南	66
7 芬兰有关降低生物质供应成本的调查	67
8 生物质燃料供应合同样本	68
9 木屑的能量密度	77
10 将能量含量反映到生物燃料价格上的选择方案	80
11 木质燃料抽样和处理过程实例	81
12 固体生物质供应的质量管理系统	82
13 燃料供应风险矩阵	84

插图目录

2.1 生物质外形与体积	4
2.2 净热值 (NCV) (NCV0=19 MJ/kg) 为湿 / 干基含水量 (M 和 u) 的函数	6
2.3 飞灰是从烟灰净化中产生的灰分 (左图) 底灰存入存储罐中 (右图)	8
3.1 可持续性标准对生物质资源潜力的影响	13
3.2 农作物秸秆产量为谷物产量的函数	16

3.3	欧洲各个区域的农作物秸秆总产量分布 (吨)	16
3.4	7 每头牛所用的农作物秸秆	17
3.5	欧洲各个地区农作物秸秆的可获得量分布 (吨)	17
3.6	每 (5x5 公里) 网格单元农作物秸秆的可获得量 (吨)	17
4.1	农作物秸秆打包之前, 进行翻晒或搂耙	21
4.2	正在作业的拖拉机、打捆机和累加器	21
4.3	在田间装载农作物秸秆	22
4.4	进行户外堆垛储存	23
4.5	加利福尼亚的杆柱仓房, 用作稻秆贮存	23
4.6	卡车长途运输农作物秸秆	23
4.7	一次作业卸载 12 个捆包	23
5.1	芬兰木屑的典型成本构成 (到厂价格, 不包括增值税, 2002)	30
5.2	在路边 (贮木场) 切削的木屑生产链	32
5.3	削片粉碎机卡车	33
5.4	在来源地切削的木屑生产链	34
5.5	在终端设备切削松散型废弃物的木屑生产链	35
5.6	Timberjack 1490D 废弃物打捆机	35
5.7	将复合残木捆包装载到运转车上	36
5.8	复合残木捆包贮存	36
5.9	复合残木的生产链	36
5.10	整合不同供应概念的木屑运送系统	39
5.11	成捆伐木废弃物运送为基础的林业废弃物供应系统	40
6.1	不同林业废弃物的成本结构	45
6.2	质量保证 (QA) 应用和实施方法学	47
A2.1	生物质—生物燃料—生物能源领域的 CEN TC 335 标准	58
A2.2	根据产地和来源、主要交易形式和性能的分类实例	59
A2.3	用于散装交付的燃料质量声明的例子	60
A9.1	所选燃料的能量密度, 显示一吨油当量所需的装载体积	78
A12.1	客户要求确定	82

表格目录

2.1	一次、二次、三次废弃物的典型特征	3
2.2	不同类型生物质的化学组成 (% 无含水量)	4
2.3	不同生物质原料的堆积密度 (参考值)	5
2.4	测量木片堆积密度的方法	5
2.5	燃料 (含水) 的典型数据	7
2.6	确保充分利用热能的情况下, 灰分所含元素的指导值和范围	9
2.7	确保充分利用热能的情况下, 生物质能燃料所含元素的指导值和范围	9
3.1	中国主要农作物秸秆的产量及其热值 (2005)	15
3.2	不同规模不同类型的生物质电厂的典型规模	19
5.1	芬兰的林业生产力	30
A9.1	芬兰含水量 40% 的林业生物质木屑和碾压树皮的能量密度	70

致谢

本报告出版物是能源领域管理援助计划（ESMAP）资助的技术援助项目之一，旨在促进生物质项目在内蒙古的发展。生物质项目在中国其它省份（以及其它发展中国家）都因面临相同的燃料供应问题，造成一些项目延期，甚至出现了改变原有项目建设方案的情况。

本技术报告由BTG生物质技术集团公司¹撰写完成。本报告最初由BTG生物质技术集团公司的John Vos先生和Lud Uitdewilligen先生完成，此外，芬兰技术研究中心（VTT）的Eija Alakanga女士、曼彻斯特大学的Eija Patricia Thornley女士以及BTG生物质技术集团公司的Alexandre Thebaud先生也为本报告的完善修改做出了贡献。本报告将在世界银行的努力下，通过分享国际上关于可再生能源的成功经验，有助于发展中国家生物质项目的成功实施。

¹.BTG生物质技术集团公司是一家荷兰公司，其专家在生物质转化技术方面具有二十多年的专业经验。

中节蓝天投资咨询管理有限责任公司的国内专家团队——丁航女士、贾小黎先生、李晓真女士等完成了本项目背景调研报告的撰写，对中国生物质发电产业发展现状进行了分析，并为本报告提供了很多有价值的资料。

世界银行工作小组负责管理咨询专家工作及指导本报告的完成，其成员包括组长彭喜明先生和能源顾问Noureddine Berrah先生。世界银行工作小组在此特别要感谢其同事世界银行高级能源专家王晓东女士、中国国家发展改革委员会能源研究所生物质专家秦世平先生以及国能生物发电有限公司经理庄会永先生为本报告提出宝贵意见。同时，还要感谢Defne Gencer女士、Rebecca Kary女士、Sherrie Brown女士、Gemma Drohm女士以及Laura Johnson女士为本报告最终出版做出的努力。

世界银行工作小组还要向Ede Ijjasz先生和Amarquaye Armar先生致谢，感谢他们为本报告的出版提供的支持和帮助。

非常感谢ESMAP为本研究提供的经济以及技术上的支持。ESMAP是一个由双边援助国出资并由世界银行管理的全球性知识和技术援助机构，它主要资助低收入和中等收入国家，帮助他们提供现代的能源服务，实现脱贫和环境可持续发展的经济发展。

ESMAP由双边援助国和多边机构组成的协商小组共同管理和出资，这些机构包括澳大利亚、奥地利、加拿大、丹麦、芬兰、法国、德国、冰岛、荷兰、挪威、瑞典、英国和世界银行集团。

术语表

农业废弃物 (Agricultural residues)：农业生产（农田种植以及收割）中所产生的副产品，即“一次农业废弃物”；农产品加工（如食品或饲料加工）中所产生的副产品，即“二次农业废弃物”。例如，麦秆和玉米秆为一次农业废弃物，而甘蔗渣和稻壳为二次农业废弃物。

生物能源 (Bioenergy)：从生物燃料提取的各种能源，包括林业生物质能源与农业生物质能源。

生物燃料 (Biofuel)：任何产自生物质的固体、液态或气态燃料。

生物质 (Biomass)：植物光合作用所产生的有机物。生物质的来源在一定程度上取决于当地的可获得性。基本上，用于生物质燃料生产的原材料可以分成五类：林业废弃物、能源作物、农业废弃物、食品垃圾、工业废弃物及副产品等有机废弃物。

生物质直燃发电 (Biomass-fired power generation)：生物质在专门设计的锅炉内燃烧，产生高压蒸汽，驱动汽轮机带动发电机发电。

生物质资源评估 (Biomass resource assessment)：用于确定对于电厂的生物质资源可获得性的评估。在讨论生物质可获得性时，生物质资源潜力是一个关键的评估条件，因为它决定了生物质资源评估的方法与途径，从而也决定了进行生物质资源评估的数据要求。

堆积密度 (Bulk density)：固体燃料的质量除以在给定条件下装载该部分的固体燃料容器的容积。

热值 (Calorific value, heating value)：单位质量（或体积）的燃料完全燃烧时所发出的热量。

密度 (Density)：质量与体积之比。在使用时，必须说明所指密度是具体颗粒的密度还是物料的堆放密度，而且物料的含水量是否包括在内。

干燥基 (Dry basis)：固体生物燃料不含水分时的状态。

干重量 (Dry matter)：在给定条件下去除水分后的绝干物质。

能源作物 (Energy crops)：以生产生物燃料为目的，或其能量含量被直接利用的种植植物。商业化的能源作物通常采用高密度种植的高产作物品种，如芒属、柳属或杨属植物。

原料 (Feedstock)：任何能够转化为能源或生物燃料的生物质。例如，玉米是作为生产乙醇的原料，豆油是作为生产生物柴油的原料。纤维素生物质有可能成为生物燃料的最大原料来源。

林业废弃物 (Forestry residues)：一次废弃物，如种植及采伐作业的废弃物（枝桠、枝条、疏伐材等）；二次废弃物，如所有加工工序产生的物质（锯屑、树皮、造纸黑液等）。

化石燃料 (Fossil fuel)：动植物生命有机体的废弃物在地下经过漫长的地质年代逐渐形成的一种液态（石油）、固态（煤、泥炭块）和气态（天然气）形式的不可再生能源。

灰秸秆 (Grey straw)：堆在田间地头一段时间，经雨淋之后的农作物秸秆。其腐蚀性物质如氯和钾的含量会降低。相对于“黄”秸秆，由于“灰”秸秆所含侵蚀锅炉壁面及管道表面的部分物质被清除，因此其损害锅炉程度较轻，而且热值也比黄秸秆高。

有机物 (Organic matter)：干重量的可燃部分。

粒度分布 (Particle size distribution)：固体燃料中各种粒度的比例。

可再生能源 (Renewable energy)：来源于可无限再生的能源。例如水能、太阳能、地热能、风能以及可持续生产的生物质。

原木 (Roundwood)：自然状态下采伐的带树皮或不带树皮的木材。

锯屑 (Sawdust)：锯木时所产生的细小颗粒。

农作物秸秆 (Straw)：农作物秸秆是为农业副产品，是谷类作物脱粒后所剩余的干燥部分。

质量管理体系 (Quality management system)：一种控制整个供应链燃料质量的工具。

体积 (Volume)：一个物体所占空间的大小。

湿基 (Wet basis)：固体生物燃料含有水分时的状态。

木屑 (Wood chips)：具有规定粒度的碎片形式的林业生物质。经由刀片等锋利工具的机械处理而产生。木片的形状类似于矩形，一般长度为**5至50**毫米，其厚度小于其它尺寸规模。

缩略语

BEE	Biomass Energy Europe, 生物质能源欧洲项目	GCV = HHV	Gross Calorific Value, 总热值
C	Carbon, 碳	GIS	Geographical Information System, 地理信息系统
Ca	Calcium, 钙	H	Hydrogen, 氢
CCP	Critical Control Point, 关键控制点	HCL	Hydrochloric acid, 氯化氢
Cd	Cadmium, 镉	HFO	Heavy fuel oil, 重油
CEDR	Centre for Effective Dispute Resolution, 有效争议解决中心	HHV	Higher Heating Value, 高热值
CEN	European Committee for Standardization, 欧洲标准化委员会	K	Potassium, 钾
CHP	Combined Heat and Power, 热电联产	LHV	Lower Heating Value, 低热值
Cl	Chloride, 氯化物	MBS	Multifunctional Bioenergy Systems, 多功能生物能源系统
CRESP	China Renewable Energy Scale-Up Program, 中国可再生能源规模化发展项目	MC	Moisture content, 含水量
CRL	Composite residue log, 复合原木废弃物	MSW	Municipal solid waste, 城市固体废弃物
d.b.	Dry basis, 干燥基	N	Nitrogen, 氮
DIN	Deutsches Institut für Normung (German standardization institute), 德国标准化协会	NCV = LHV	Net Calorific Value, 净热值
ESMAP	Energy Sector Management Assistance Program, 能源领域管理援助计划	NOx	Nitrogen oxides, 氮氧化物
EU	European Union, 欧盟	O	Oxygen, 氧
Eurostat	European statistics agency, 欧盟统计局	Odt	Oven Dry Tonne, 烘干吨
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations, 联合国粮农组织	OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development, 经济合作与发展组织
FME	Failure Mode and Effect, 失效模式及效应	ONORM	Osterreichisches Normungsinstitut (Austrian standardization institute), 奥地利标准化协会
		PCDD/F	Emissions of polychlorinated dibenzodioxin and dibenzofuran, 多氯氧化二苯和二苯并呋喃的排放量
		QA	Quality Assurance, 质量保证
		QC	Quality Control, 质量控制

QM	Quality Management, 质量管理	度量单位	
RCG	Reed Canary Grass, 草芦 (禾本科 藨草属)	cm	Centimetre, 厘米
RD&D	Research, development and demonstration, 研发与示范	GJ	Gigajoule, 千兆焦耳
RE	Renewable Energy, 可再生能源	GW	Gigawatt, 千兆瓦
RF	Recoverability Factor, 采收率	GWh	Gigawatt hour, 千兆瓦时
RPF	Residue-to Product Factor, 废弃物- 产品比	ha	Hectare, 公顷
RPI	Retail Price Index, 零售价格指数	hr	Hour, 小时
S	Sulphur, 硫	kg	Kilogram, 公斤
SCR	Selective Catalytic Reduction, 选择 性催化还原	km	Kilometre, 公里
SRC	Short- Rotation coppice, 短期轮作 矮林	km ²	Square kilometre, 平方公里
SNCR	Selective Non Catalytic Reduction, 选择性非催化还原	kWh	Kilowatt-hour, 千瓦时
SOx	Sulphur oxides, 硫氧化物	kWth	Kilowatt-thermal, 千瓦热
SPPH	Straw produced per head of cattle, 每头牛所产生的农作物秸秆	m	Meter, 米
SRWC	Short-Rotation Woody Crops, 短轮 伐期灌木	m ²	Square metre, 平方米
SUPH	Straw used per head of cattle, 每头 牛所用的农作物秸秆	m ³	Cubic metre, 立方米
UK	United Kingdom, 英国	MJ	Mega Joule, 兆焦耳
UN	United Nations, 联合国	mu	Chinese unit of area (1 ha = 15 mu), 亩, 中国面积单位 (1公顷=15 亩)
USA	United States of America, 美利坚合 众国 (美国)	MW	Megawatt, 兆瓦
w.b.	Wet basis 湿基	MWe	Megawatt electric, 兆瓦电
Wt% on d.b.	Weight percent on dry weight basis, 干基重量百分比	MWh	Megawatt hour, 兆瓦时
Zn	Zinc, 锌	MWth	Megawatt thermal, 兆瓦热
		MWh/m ³	Megawatt-hours per cubic meter, 兆瓦时每立方米
		t	Ton (metric), 吨 (公制)
		tce	Ton of coal equivalent, 吨标煤
		toe	Ton of oil equivalent, 吨标油
		TWh/a	Terawatt-hours per year, 十亿千瓦 时每年
		yr	Year, 年

内容摘要

中国生物质能源的发展得到了“能源领域管理援助计划 (ESMAP)”的支持，项目名称为“中国生物质能热电联产发展”。BTG生物质技术集团公司受世界银行委托，特撰写本实用性手册，旨在为生物质项目投资者在项目规划与准备阶段有关燃料供应风险管理的行业指导。本手册共分六章，其中正文为五章，主要包括以下内容：

作为能源来源的生物质

作为燃料的生物质，其特性不但会直接影响生物质电厂的设计、运行与性能，而且还会影响燃料处理（收集、运输、预处理、贮存等）的方式。燃料的单一性程度和/或燃料质量越低，就需要更先进的燃烧系统。因此，选择适合的燃料是燃料供应风险管理的关键所在。现有的燃料标准与技术规范应有利于燃料供应并符合发电系统的要求。在项目设计和环境影响评估阶段，建议应尽可能地体现燃料灵活性，有利于应对生物质燃料供应中可能发生的改变。

生物质资源评估

在生物质直燃电厂的项目规划阶段，就需要对生物质资源进行评估，以确定项目所在地生物质资源的可获得性。倘若该项目已做过生物质资源评估，最好不要完全依赖于该评估，而应进行专门调查，收集、核查和/或核证有关生物质资源数据。采用统一的生物质资源评估方法十分重要，即不仅采用理论谷草比，而且也需考虑到生物质的竞争性用途，以及在生物质收集、贮存及运输过程中因气

候、湿度和其它原因所导致的生物质资源减损。此外，还需要经验丰富的专业人士（或咨询机构）协助进行资源评估。

农作物秸秆资源供应

在生物质发电项目的准备阶段，需要对生物质资源供应链有一定认识并进行优化组织，从而实现电厂的最佳燃料供应。当以农作物秸秆作为电厂原料时，供应链物流与传统的农作物秸秆应用并无根本性区别。然而，前者的运作规模却比后者要大得多，需要一定程度的机械化和自动化操作。中国农作物秸秆供应商所面临的挑战就是如何以最低的成本收集到尽可能多的农作物秸秆。自20世纪80年代末以来，丹麦在以麦秆为原料的生物质电厂和热电联产项目方面取得了丰富的实践经验，具有一定的借鉴作用。然而，鉴于中国的具体国情，不能直接照搬丹麦的经验。

林业废弃物资源供应

为了实现生物质直燃电厂燃料供应的最佳管理，需要对生物质资源供应链进行深入了解和优化组织。在利用林木废弃物进行能源生产时，关键是要充分考虑采伐（集采）、粉碎（削片/碾压）、运输及贮存方面的成本。在选择林业废弃物燃料采伐技术时需要进行综合的技术分析，包括林业废弃物燃料及其它燃料的年需求量、林业废弃物燃料每年的可获得量、电厂的厂区规模、生物质电厂类型、木屑生产主流技术、地理信息系统（GIS）的应用及成本分析等。

另外，各个国家和地区在木屑的生产与成本构成方面存在很大差异。一般而言，成本取决于供应链中各环节的组织与结构。而采购系统的效率很大程度上取决于操作环境与基础设施。同时也受经济、社会、生态、工业及教育等因素以及当地传统的影响。因此，没有一个木屑生产系统可以说能适用于所有国家，或者是可针对某个国家的所有条件提供最佳解决方案。

生物质燃料供应的管理

签订生物质燃料供应合同目的在于确保生物质燃料在合理价格条件下的长期稳定供应；因此，长期合同是首选。在生物质电厂规划阶段，应于项目

运行前就签订生物质燃料供应合同，以确保电厂在试运行之前有充足的生物质燃料供应。

在电厂运行阶段，还应确保输送至生物质电厂的生物质燃料达到合同规定的燃料标准和技术规范。不符合合同规定标准与技术规范的生物质燃料会导致燃烧过程中出现运行问题或者降低设备的使用寿命。所以，在整个供应链的各个环节都必须对燃料进行质量监控，或是建议投资方采用一些质量管理（QM）体系。更为重要的是，要将实际操作过程编写成工作指南，用来指导生物质燃料供应链中的各环节工作，从而使所有流程与操作完全纳入控制之中。最后，本手册将对燃料供应风险进行评估并提出相关风险规避的策略。

1.简介

本手册主要概述了大型生物质电厂的生物质燃料供应所需考虑的几个主要问题。这将有助于中国的投资者，在当地生物质供应专家的协助下，制定其自身的解决方案。主要是侧重于生物质废弃物，尤其是农业废弃物（主要为农作物秸秆）和林业废弃物（主要为林业生产加工过程中的废弃物）。

本手册可帮助读者全面了解有关生物质能电厂投资的规划与准备方面等相关问题。本报告的每个章节都包含如下内容：（1）相关主题介绍；

（2）中国及国外的最佳实践与案例研究，介绍国际经验；（3）向生物质电厂投资者（意向投资者）提供经验教训、实践方法及建议。特别是本报告对斯堪的纳维亚国家的经验予以了阐述，将其作为最佳实践的例证。丹麦是世界上利用农作物秸秆进行大规模能源生产的领先国家，芬兰和瑞典是世界上利用林业废弃物进行大规模能源生产的领先国家。

关于生物质供应方面，每个生物质电厂均需根据当地条件与环境，制定自己的解决方案。与中国所不同的是，斯堪的纳维亚的生物质能源生产已

实现高度机械化。根据丹麦、芬兰与瑞典等国的经验，可以使在中国的投资者（意向投资者）大致了解所需组织机构、可达到的生产力水平以及当前技术发展现状等方面的信息，以便能够更好地认识实施大规模高度机械化生物质供应的可能性及所面临的挑战。虽然对于斯堪的纳维亚国家已制定并应用的解决方案，中国不能全盘照搬，但是可以借鉴国外的有关方法、技术与物流管理等，从而为投资者在中国建立并优化生物质燃料供应链提供见识和灵感。

本报告涵盖了在生物质电厂规划与准备阶段中与生物质燃料供应风险相关的各方面问题。第二章主要介绍了作为能源来源的生物质，包括燃料选择所应考虑的因素、与燃料供应相关的燃料标准和技术规范以及发电系统适用性。第三章论述了项目规划阶段的生物质资源评估问题。第四章和第五章分别介绍了农作物秸秆和林业废弃物的生物质燃料供应。第六章阐述了燃料供应管理，包括电厂规划阶段与运作阶段所需考虑的问题，燃料检测与质量控制的方式方法，以及燃料供应风险评估与风险规避的策略方法。

2. 作为能源来源的生物质

本章介绍了根据来源的不同而适合于能源利用的生物质原料的不同分类（第2.1节），阐述了本手册侧重于生物质农林废弃物的原因（第2.2节），并对生物质农林废弃物进行了分类（第2.3节）。

此外，对生物质废弃物（农业和林业废弃物）的重要燃料特性进行了描述，同时探讨了生物质电厂在设计、运作与性能方面的相关问题。最后，列举了北美在有关生物质燃料输送系统操作经验方面的实例（第2.5节）。

2.1 生物质原料的来源

生物质能燃料来源广泛，一定程度上取决于当地的可获得性。生物质可基本上依据来源不同分为五类（生物质能源中心，2009）：

- **林业废弃物**：从森林、树木的种植与管理或木材加工过程中产生的废弃物。木质燃料产生于常规的林业作业、树木管理、以及公园、花园和道路树篱的管理。
- **能源作物**：专门用作能源应用而种植的高产作物。能源作物可分为不同的种类，包括短轮伐期能源作物、草类和农业能源作物以及藻类（水耕法）。
- **农业废弃物**：农业收割或加工所产生的废弃物。农业废弃物可分为农作物废弃物（如农作物秸秆或谷糠）、动物粪便和尿、垫草（如家禽粪便）以及过剩生产或

需求不足所产生的有机材料（如草类青贮饲料）。

- **食品垃圾**：产生于食品饮料生产、制备和加工以及消费后的废弃物。在整个食品供应链中，所产生的大量废弃物分为干性与湿性。大部分食品废弃物含水量都较高。
- **工业废弃物与副产品**：从制造与工业加工中产生。在工业生产工程中产生的废弃物或副产品，可分为木质和非木质材料（如纸浆及其他废弃物、纺织污水或废水污泥）。

2.2 中国普遍使用的生物质原料

在中国，原则上，上述所有原料种类均可用于发电，且符合2006年1月1日开始实施的“可再生能源法”。实际上，生物质发电产业的发展主要是基于利用农业废弃物，如玉米秸秆、棉秆、麦秆、稻秆及稻壳等。一些项目也利用林业废弃物，例如，果树枝条、树皮、速生杨树的树根、灌木平茬以及木材加工废弃物。利用什么燃料主要取决于是否有充足的可获得量且价格在可承受范围内。尽管能源作物极具潜力，特别对中长期前景而言更是如此，但由于其在数量上以及“可再生能源法”对生物质发电的财政补贴现状，以能源作物为原料的生物质发电在经济上还不具可行性。总体而言，从长远来看，专门化的能源作物耕种对于大规模生物质能源生产仅仅是一个可行的选择²。基于这一理由，本手册将侧重于近年来在中国建立的生物质直燃电厂所广泛使用的生物质，如生物质农林废弃物。

2.3 三类生物质废弃物

生物质废弃物可分为一次废弃物、二次废弃物和三次废弃物，分别产生于收割、加工中或最终使用后³三类不同废弃物的典型特征，见表2.1。

农业废弃物包括农业生产（农田种植以及收割）中所产生的副产品，即“一次农业废弃物”；农产品加工（如食品或饲料加工）中所产生的副产品，即“二次农业废弃物”。例如，麦秆和玉米秆为一次农业废弃物，而甘蔗渣和稻壳即为二次农业废弃物。

林木生物质指的是用于木材供应的森林采伐物。林木废弃物包括一次废弃物，如种植及采伐作

2.附件1 探讨了为固体生物质生产所种植的不同类型能源作物的国际经验。

3.截至2006年，大部分中国的生物质发电装机容量均以二次废弃物为基础，特别是甘蔗渣或甘蔗和高粱秆经压榨榨汁后所剩下的纤维素废弃物。二次废弃物通常是生物能源生产最具吸引力的原料，因为它们集中产生且较干净。一次废弃物是最佳替代品。尽管其收集成本较高，但可获得量很大。

业的废弃物（枝桠、枝条、疏伐材等）；二次废弃物，如所有加工工序产生的物质（锯屑、树皮、造纸黑液等）。

2.4 生物质燃料特性与燃料选择所需考虑的因素

由于生物质种类较多，即便是仅限于对农业和林业废弃物进行评估，其燃料特性仍显著不同。本节探讨了主要的生物质燃料特性，如生物质化学组成、堆积密度和能量密度、颗粒大小及粒度分布、含水量、热值、秸秆灰含量和质量、元素分析以及有害成分。

生物质燃料特性关系到生物质能电厂的设计、运行与性能。同时，生物质燃料的可获得性可能会随着时间的推移（出现其它机会或原有燃料源枯竭时）而发生改变，考虑到这点很重要。选择适当的燃料在燃料供应风险管理中也非常重要（见第六章）。

表 2.1 一次、二次、三次废弃物的典型特征

内容	一次废弃物	二次废弃物	三次废弃物
来源	收割废弃物	加工废弃物	最终使用后的废弃物
典型事例	农作物秸秆、稻草、疏伐材	甘蔗渣、壳皮、锯屑	残木、有机废弃物
产生时间	收割季节	一年中的部分时间，或全年	全年
可获得性	在收割季节分布在田地里	较高。一般在工厂加工过程中集中产生。	最终使用后在废弃物收集点
收集成本	成本高	成本低	成本低或中等
污染	可能是沙，会导致含灰量高	一般较低	取决于使用方式，外来材料（其它废弃物材料）会增加风险
选择性用途	主要是土壤施肥和牛饲料及垫料	牛饲料，工厂能源需求	能源回收焚化

来源：BTG 生物质技术集团公司

表 2.2 不同类型生物质的化学组成（重量百分比，无含水量）

生物质类型	纤维素	半纤维素	木质素	提取物	灰分
软木	41	24	28	2	0.4
硬木	39	35	20	3	0.3
松树皮	34	16	34	14	2
农作物秸秆（小麦秸）	40	28	17	11	7
稻壳	30	25	12	18	16
泥煤	10	32	44	11	6

来源：Wagenaar等，1994

Wiltsee (2000) 提出，在电厂设计的选择和申请项目批复时，确保原料使用的最大灵活性，是应对多种燃料构成发生潜在变化的最佳策略。

2.4.1 生物质化学组成

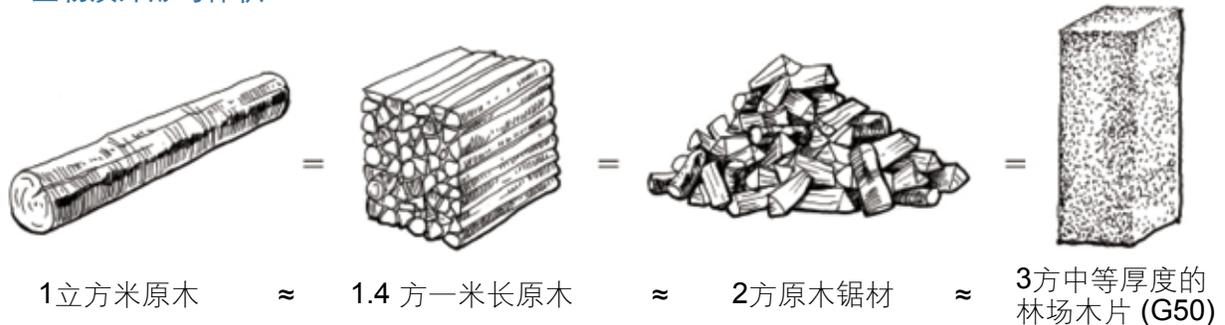
生物质在分子层面上由三种分子类型组成：纤维素、半纤维素和木质素。纤维素是绿色植物细胞壁的主要成分。纤维素是由许多纤维素大分子形成的连续结构，由数千个葡萄糖基(C₆-)组成。半纤维素分子由约200个C₅-和C₆-糖单元聚合而成，聚合度较低，嵌在植物的细胞壁中。木质素，分子式大致为CH_{1.5}O_{0.6}，是三维聚酚化合物。木质素在细胞间相当于“黏接剂”。表2.2列出不同类型生物质的化学组成。

2.4.2 实质密度、堆积密度和能量密度

不同生物质的实质密度差别并不大。然而，生物质却存在着各种形状与大小（木材还可以是原木、楞堆、木碎或木片），如图 2.1（来源：Francescato et al., 2008）所示，会影响到生物质的重量和体积。因此，讨论生物质的堆积密度更为合理。表2.3 所列为农作物秸秆、木材和煤炭的堆积密度（来源：Pastre, 2002）。

与煤炭或天然气相比，生物质的堆积密度和能量密度较低，因此，相同的电力输出需要更多的生物质，且锅炉的设计也应有所不同。能量密度是用堆积密度除净热值得出，它会影响到燃料物流（运输与贮存）、燃料供给系统以及热量转换过程的过程

图 2.1 生物质外形与体积



来源：Francescato等，2008

表 2.3 不同生物质原料的堆积密度（参考值）

生物质形状	堆积密度 (kg/m ³)
农作物秸秆（剁碎）	50
农作物秸秆（打捆）	130
农作物秸秆颗粒	600
木片	250
锯屑	200
木质颗粒	650
煤炭	850

来源：Francescato等，2008

控制（Van Loo and Koppejan, 2002）。若生物质直燃电厂利用低堆积密度的生物质能燃料，则可能需要根据原料收集区与电厂之间的运输距离对原料进行压实处理。

2.4.3 颗粒大小与粒度分布

根据供应链的需要，生物质燃料既可包装也可散装供应电厂。由于农业废弃物（如农作物秸秆）通常都是以打捆形式（包装）运输，而木材经常以木片或颗粒（散装）形式运输，因此颗粒大小与粒度分布需与所采用的燃料供给系统和燃烧技术仔细匹配。

生物质燃料供给系统对原料的大小与形状进行了限制。例如，过大的燃料颗粒会阻塞某些燃料供给系统。有些供给系统能够处理各种大小的颗粒（如移动床和推进式给料机），而有些供给系统则仅可接受一定粒度范围内的颗粒（如颗粒燃烧器）。粒度变化或粒度分布有的较均匀（如粒状），有的则不均匀（如未经处理的树皮）。

根据生物质燃料的类型、大小、形状和质量的不同，需采用不同的燃烧技术。均匀度不高或低质燃料需要更为先进的燃烧系统。低质生物质燃料仅适合在中大型系统中燃烧。

表 2.4 测量木片堆积密度的方法

1. 使用已知体积的桶（如13升）和一副磅秤。
2. 从货车厢中取出有代表性的样本，如从40m³的车厢（参考CEN/TS 14778-1）中装满3桶没有压实的木片。
3. 对样本称重，并将其平均值（公斤）除以已知体积（升）— 如(3.25 公斤 x 1000 升): 13 升 = 250 公斤/每次测量。

来源：Francescato等，2008



生物质能源也引入了燃料标准，成为具有通用定义、通用方法和明确分类系统的商品燃料。在欧洲，欧洲标准化委员会（CEN）设立了一个技术委员会（CEN/TC 335），为各种固体生物质燃料制定标准，包括木片、木质颗粒和成型燃料、原木、锯屑以及农作物秸秆捆包等。CEN/TC 335标准支持热转换系统与燃料供应的匹配。有关燃料标准与技术规范的详细信息请参看“附件2”。

2.4.4 含水量

含水量是影响生物质燃料燃烧特性、绝热燃烧温度以及每单位能量所产生烟气量的生物质重要特性。含水量较高的燃料，其质量大，堆积密度高，但其能量密度低，因此，产生一定热量所需的燃料量要多。生物质燃料的含水量取决于生物质种类、

收割时间、预处理方式以及贮存方式和时间等诸多因素 (Van Loo and Koppejan, 2002)。农作物秸秆的含水量介于10%至25%之间。林业生物质的含水量，根据露天干燥持续时间不同，介于15%至60%之间 (Francescato et al., 2008)。

为保证生物质锅炉的最佳运行，应尽可能地确保含水量恒定。燃料燃烧时，若其含水量高于设定值，则会降低转换效率和功率输出，导致有害物质排放量增加 (Van Loo and Koppejan, 2002)。因此，在实践中通常是每台锅炉仅采用一种生物质。也可以将同质燃料进行混合或在生物质供应链中对其进行烘干处理。

2.4.5 热值

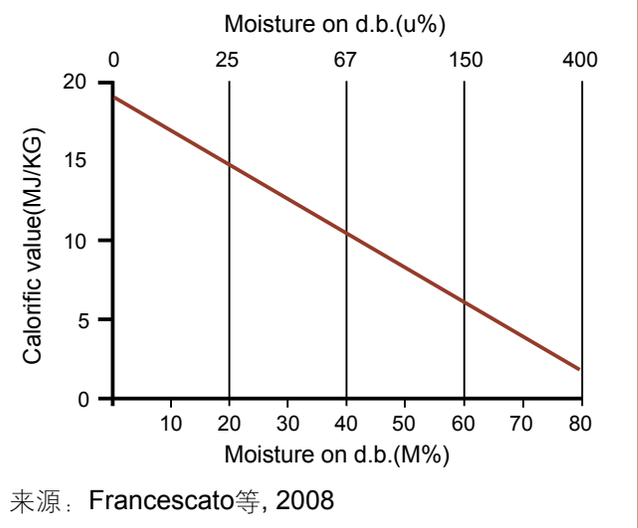
热值指的是燃料的发热潜力，是对其能源含量(MJ/kg)的一种测量方法。根据水分在燃烧产物中的排放方式，热值可表示为总热值(GCV)或净热值(NCV)⁴。第一种情况，水分以液态方式排放出去，第二种情况，水分以汽态形式释放，应扣除汽化所需的热能。如没有特别注明，热值所指通常为净热值 (NCV)。

含水量低的生物质燃料因其热值较高，成为热转化的首选。图 2.2显示了木材含水量 (MC) 对净热值 (NCV) 的影响。表2.5显示了农作物秸秆、木材、煤炭和天然气的热值。根据Van Loo and Koppejan (2008)，生物质燃料的总热值 (GCV) 通常介于18到22 MJ/kg (干燥基)之间，可使用以下公式进行合理计算：

$$GCV = 0.3491 \cdot X_C + 1.1783 \cdot X_H + 0.1005 \cdot X_S - 0.0151 \cdot X_N - 0.1034 \cdot X_O - 0.0211 \cdot X_{ash} \text{ [MJ/kg, d.b.]}$$

以上公式中，Xi 代表碳 (C)、氢 (H)、硫 (S)、氮 (N)、氧 (O)的含量和灰分的干基重量百

图 2.2 净热值 (NCV) (NCV0=19 MJ/kg) 为湿/干基含水量 (M 和 u) 的函数



分比 (wt%d.b.)。根据标准化程序，可采用弹式热量计对总热值进行精确测量。如 Van Loo and Koppejan (2008)所提到的，C、H 和 S 的含量对总热值 (GCV) 有积极作用，而N、O 和生物质灰分对总热值 (GCV) 则有负面作用。

根据以下公式，考虑燃料的含水量和氢含量，从总热值 (GCV) 中计算出净热值 (NCV)：

$$NCV = GCV \left(1 - \frac{w}{100}\right) - 2,444 \times \frac{w}{100} - 2,444 \times \frac{h}{100} \times 8.936 \left(1 - \frac{w}{100}\right) \text{ [MJ/kg, w.b.]}$$

上式中，w为燃料的含水量，按重量百分比计 (wt%) (湿基)；h为氢的浓度，按重量百分比计 (wt%) (干基)；2.444为气态水和液态水在25°C时两者之间的焓差；8.936 为 MH₂O / MH₂，即H₂O和H₂之间的摩尔质量比。

欧洲标准EN 14961:2005《固体生物燃料-燃

4. 有时也分别称为高位热值 (HHV) 和低位热值 (LHV)。

表 2.5 燃料（含水）的典型数据

元素	单位	黄秸秆 ^a	灰秸秆 ^a	木片	煤炭	天然气
含水量	%	10-20	10-20	40	12	0
挥发性	%	> 70	> 70	> 70	25	100
灰含量	%	4	3	0.6-1.5	12	0
碳含量 (C)	%	42	43	50	59	75
氢含量 (H)	%	5	5.2	6	3.5	24
氧含量 (O)	%	37	38	43	7.3	0.9
氯化物含量 (Cl)	%	0.75	0.2	0.02	0.08	-
氮含量 (N)	%	0.35	0.41	0.3	1	0.9
硫含量 (S)	%	0.16	0.13	0.05	0.8	0
可燃基热值 (不含水分和灰分)	MJ/kg	18.2	18.7	19.4	32	48
收到基热值	MJ/kg	14.4	15	10.4	25	48
灰分软化温度	° C	800-1000	950-1000	1000-1400	1100-1400	

来源：Nikolaisen等, 1998

说明：被雨淋过的堆在田间地头的农作物秸秆，其腐蚀性物质——氯和钾的含量已降低。与“黄”秸秆相反，由于“灰”秸秆所含的侵蚀炉壁面及管道表面的部分物质已去除，因此其损害锅炉较轻，而且热值也比黄秸秆高。来源：Nikolaisen等 (1998)。

料规格和分类》规定了如何计算干基净热值。具体内容详见附件3。

干燥的生物质燃料可增加其热值。

2.4.6 灰分含量和质量

生物质燃料进行热转化之后，剩下底灰、飞灰和/或结渣（取决于所使用的燃料和技术）。底灰来自炉底（存入存储罐中，见图 2.3的左侧部分），另一部分灰分在锅炉内随着助燃空气流动，进入除尘系统（飞灰，见图 2.3的右侧部分）。飞灰可通过静电除尘器和布袋除尘器进一步分为气旋轻灰与颗粒。应考虑以存储或销售方式处理所收集到的灰分。灰分通常可回收，并可在建筑材料中循环应用。

灰分的数量与质量是选择生物质燃料所应考虑的重要特征。两者在很大程度上均取决于所用的生物质燃料的种类。根据Francescato等人 (2008)的研究，去皮木材是灰含量最低的生物质，而农业废弃物一般灰含量较高。去皮木材的生物质灰含量通常低于1%，农业废弃物的灰含量为5-10%，而稻壳的灰含量却高达20%。

除了灰分质量，灰分的化学成分也很重要，因其可影响到熔化性能。由于农作物秸秆灰熔点低于木材的灰熔点，因此会产生结渣。根据Nikolaisen et al. (1998)，对于希望使用高温高压锅炉达到高效率的电厂来说，这点尤为重要。表2.6显示了灰分所含元素的指导值与范围，以及可能会出现的问题和将数值降低到指导范围内的一些技巧。

图 2.3 飞灰是从烟灰净化中产生的灰分（左图）底灰存入存储罐中（右图）



来源：Francescato等, 2008

2.4.7 元素分析

生物质含有少量的矿物质、盐分和在生长过程中从土壤或空气中吸收到的其它物质。表2.7显示了麦秆、木材、煤炭和天然气的燃料典型数据及元素分析。根据Pastre (2002)，由于杀虫剂的使用及施肥作用，农作物秸秆所含元素氮（N）、硫（S）和氯化物（Cl）的浓度较高。

关于各种生物质原料的化学和物理特性，可详见Phyllis数据库，www.ecn.nl/phyllis。

盐分、矿物质和其它元素在一定程度上决定了气态/颗粒排放物、灰渣的程度。表2.7显示了生物质燃料中元素的部分指导值和指导范围，包括可能出现的问题及将数值降低到指导范围内的技巧。

生物质燃料特性，诸如原料来源地、灰分含量、化学成分以及含水量等，均会影响排放到空气中的污染物的水平和成分。在规划/获批/取得许可的过程中，要很重视当地空气质量控制，污染物的排放将直接关系到生物质燃料的适用性问题。由于

5. 中国许多已运行的生物质电厂均为高温高压炉排锅炉。

氮氧化物的排放（热量NOx和燃料-NOx）会对环境产生有害影响，因此欧洲对其排放设定了较为严格的标准。为达到NOx的排放标准，重点在于应在尽可能低的温度下作业，并对燃烧空气(Vos, 2005a)进行精确控制，此外，还要重点考虑使用减排设备。

使用农作物秸秆时，由于农作物秸秆的钾含量相对较高，因此燃料结渣问题相当严重。结渣指的是底灰的熔化，农作物秸秆在800-900℃的温度时会发生结渣（表2.6）。农作物秸秆中存在的氯和碱也会在烟气中与氯化钠（NaCl）和氯化钾（KCl）起反应。氯化物对锅炉的钢铁具有很强的腐蚀作用，尤其是处于高温状态下⁵（DTI, 2007a）。

2.4.8 污染物

生物质自身存在污染物，如果不妥善处理，则会导致空气和土壤污染，除此之外，生物质原料也会受到一些物质如粪便或石头、金属或塑料等的污染。这些污染物会阻塞燃料供给系统。沙子在燃烧过程中会造成玻璃的形成（Carbon Trust, 2005a）。为防止这种污染，重点在于设计一个合

表 2.6 确保充分利用热能的情况下，灰分所含元素的指导值和范围

元素	灰分的指导浓度 (干基重量百分比)	限制参数	超出指导浓度范围，问 题则会出现于	降低到指导范围内的技 巧
钙	15-35	生物质灰—熔点	农作物秸秆、谷类、草	炉排及炉内温度控制
钾	< 7.0	生物质灰—熔点， 沉积、侵蚀	农作物秸秆、谷类、草	抗腐蚀：见CI（表7）
	--	浮质形成	农作物秸秆、谷类、草	高效灰分颗粒沉积、燃 料渗滤
锌	< 0.08	灰分回收	树皮、木片、锯屑	重金属分离
	--	颗粒排出	树皮、木片、锯屑	高效灰分颗粒沉积、冷 凝处理
镉	< 0.0005	灰分回收	树皮、木片、锯屑	参见“锌”
	--	微粒排出	树皮、木片、锯屑	参见“锌”

来源：Van Loo and Koppejan, 2002

说明：根据ISO 1171-1981，与生物质灰分相关的灰分指导值为550°C；灰分分析的建议方法为：封闭压力酸溶和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)或火焰原子吸收光谱法(AAS)。

表 2.7 确保充分利用热能的情况下，生物质能燃料所含元素的指导值和范围

元素	浓度指导值 (干基重量百分比)	限制参数	超出浓度指导范围，则会 出现问题于	降低到指导范围内的 技巧
氮	< 0.6	NOx 排放	农作物秸秆、谷类、草	主要措施（空气分段燃烧、还 原带）
	< 2.5		废木材、纤维板	次要措施（SNCR或SCR）
氯	< 0.1	腐蚀	农作物秸秆、谷类、草	<ul style="list-style-type: none"> • 燃料过滤 • 自动换热器清洗 • 锅炉管道涂层 • 选择合适的材料
	< 0.1	HCL 排放	农作物秸秆、谷类、草	<ul style="list-style-type: none"> • 干式吸法 • 废气处理设备 • 燃料过滤
	< 0.3	PCDD/F 排放	农作物秸秆、谷类、草	<ul style="list-style-type: none"> • 活性炭吸附 • 催化转换器
硫	< 0.1	腐蚀	农作物秸秆、谷类、草	参见“氯”
	< 0.2	SOx 排放	草、干草	参见“HCL 排放”

来源：Van Loo and Koppejan, 2002

说明：氮和硫的分析建议通过燃烧/气相色谱法进行；氯的分析建议通过燃烧-离子色谱法进行。

注：SNCR指选择性非催化还原法；SCR指选择性催化还原法；PCDD/F指戴奥辛及呋喃的排放。

适的物理处理装置，将燃料从其贮存地转移到燃烧地（Carbon Trust, 2005a）。

2.5 举例：生物质燃料供给系统方面的经验

全球相关经验表明，燃料供给系统是生物质电厂在运行初期经常需要应付的问题。这种现象并不罕见：在电厂运行的前几年里，需要投入大量的时间和财力，解决诸如设备过度磨损、燃料阻滞、供给系统障碍，以及夹杂金属分离等问题。有来自北美的实例，美国塔科马市的生物质电厂（自1991年开始运作），即强调需要在项目开始时特别留意燃料供给系统的设计，美国缅因州斯瑞顿市的电厂（自1989年开始运作），其初建项目业主在电厂开始运作的第一年里，就斥资约180万美元改善燃料贮存场的运作。加拿大英哥伦比亚的威廉斯莱克生物质电厂（自1993年开始运作）在燃料处理系统启动后即进行了改进，如增加了倾料车上拖链的翻转能力（以防止燃料阻塞），以及在每个圆盘筛上增加三个以上的滚轴，以减少经常会导致堵塞的微粒进入（Wiltsee, 2000）。

中国新建的生物质电厂在初期运行时出现的燃料供给系统问题，尚无充分的文件记录。然而据报道，此类问题并不罕见。例如，外界都知道，河南省的一些生物质电厂由于设计不能适应中国国情，也曾遇到此类问题。

2.6 结论和建议

2.6.1 结论

用作燃料的生物质的特性直接影响到生物质电厂的设计、运行及性能，包括燃料供给系统、锅炉技术和排放物控制。此外，也影响到燃料处理（收集、运输、预处理与贮存等）的最佳途径。燃料的单一性程度较低和/或低质燃料需要更先进的燃烧系统。燃料的一些重要特性包括：

- 含水量，以及与之最为关联的热值。就热转化而言，含水量低的生物质是首选。
- 堆积密度对供应物流和运输成本有极大影响。如果燃料的堆积密度低（如碎秸秆），则需要在运输前进行压实。
- 在生物质粒度/粒度分布与燃料供给系统/燃烧技术之间的相互匹配非常重要，以避免供给系统经常发生的问题（如过度磨损、燃料阻滞、夹杂金属分离等问题）。需引入燃料标准与技术规范，以确保燃料供应与热转换系统的恰当匹配。
- 灰分的数量、质量和成分是选择生物质燃料要考虑的重要问题。燃烧农业废弃物比燃料林业废弃物所产生的灰分要多。灰分的成分会对熔化性能造成影响，尤其是秸秆灰，会产生结渣问题。无论何种情况，都应对灰分进行妥善处理、存储及销售。

减排措施不仅取决于所用生物质燃料的类型，还取决于当地的环保要求及现行环保法规。

选择合适的燃料对燃料供应风险管理至关重要。

2.6.2 建议

- 慎重确定电厂应使用的生物质燃料类型、燃料的技术指标（粒度及分布、含水量、热值等）。
- 充分利用现行燃料标准与技术规范，实现燃料供应与能量系统之间的良好匹配。
- 最大程度利用二次废弃物，因其具有最为廉价、集中排放且相对清洁的优点。
- 确保电厂设计及批复具有最大限度的燃料灵活性，以便及时、灵活地应对生物质燃料供应中可能发生的改变（随着时间的推移，由于其它机会的出现或旧燃料来源枯竭，燃料往往发生很大变化）。
- 尽量保持生物质能燃料含水量的恒定，以便电厂实行最佳运作。
- 由于生物质能燃料的污染物可能导致出现操作（堵塞等）和过度排放问题，因此应避免此类污染。
- 慎重选择减排设备，以便达到相关的排放限值，如氮氧化物。
- 为了允许使用不同类型的生物质，要优先考虑安装双重给料系统。为不同类型的生物质安装专用锅炉，也是一种选择。

3. 生物质资源评估

3.1 生物质资源潜力类型

探讨生物质的可获得性时，其资源潜力类型是一项关键标准，因其在很大程度上决定了生物质资源评估的方式和方法，因而也决定了相关的数据要求。生物质资源潜力通常分为四类（有关不同类型的生物质资源潜力的详细论述请参考附件4）：

- 理论资源潜力：根据对生物质总产量的计算或测量结果而得出的资源潜力。
- 技术资源潜力：通过考虑地形限制、土地使用及环境条件、收集方式以及许多其它技术和社会等限定因素，确定资源潜能。
- 经济资源潜力：通过考虑成本因素，如采收、运输和加工成本，限定资源潜力。
- 实施资源潜力：通过考虑经济、制度和社会约束以及政策激励因素，限定资源潜力。

理论上存在第五类资源潜力，可称之为环保型或生态型可持续资源潜力，能够满足某些环境可持续性标准。全球范围内，都强烈要求将可持续性纳入资源评估中。“可持续生物质”的概念包含了环境、经济和社会等诸多方面的因素，但对这些因素的测定较为复杂，比如，如何测定生物多样性或能源作物对气候改变的影响。将可持续性纳入生物质资源评估的可行性正处在研究之中⁶。

6. 生物质能源欧洲（BEE）项目（<http://www.eu-bee.com>）目前正在开发一套标准方法，考虑如何将可持续性纳入生物质资源评估中。BBE项目将于2010年公开相关结果。

在按照可持续性标准对生物质资源潜力进行分析时，区域受限与否（如，指定为自然保护区而不能用作生物能源区域）或产量预期性（如，在敏感区域实行非强化管理）问题，都通常使最终的资源潜力发生减少。该方法详见图3.1。有时，应用可持续性标准会使生物质资源潜力稍有增加，如，将景观保护活动所产生的生物质纳入其中。

根据不同目标要求，要使用不同类型的生物质资源评估方式。例如，目标可以是为了支持预期发展计划，就选用理论资源潜力；如果目标对象是开发商和投资商，就选用可行的“实际”资源潜力，对于后者，诸如可选择土地利用、供应物流管理、财务可行性以及可持续性问题都应认真考虑。本报告重点讨论第二种目标。

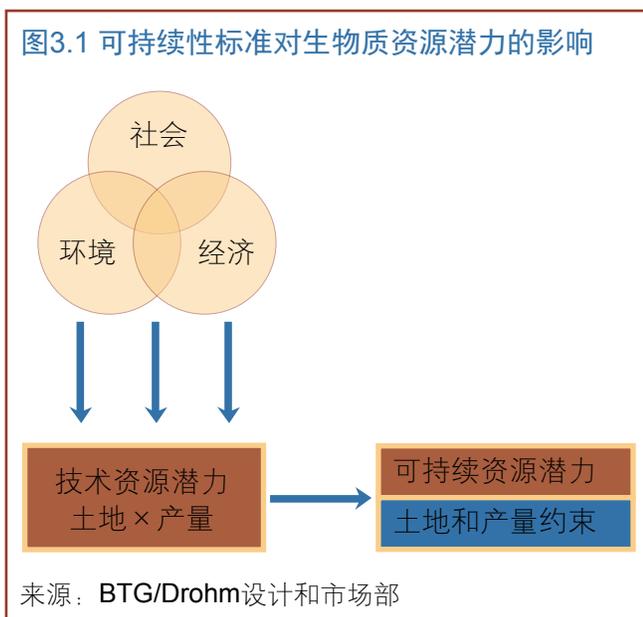
3.2 生物质资源评估的基本方法

根据侧重点是否为生物质资源供应、生物质资源需求，还是两者的结合，有三种不同的生物质资源评估方法：

- 资源导向型评估方法
- 需求驱动型评估方法
- 综合评估方法

资源导向型评估方法通常用于确定理论资源潜力或技术资源潜力，而需求驱动型评估方法用于确定经济资源潜力或实际资源潜力。通过综合评估方法，可确定上述四种潜能中的任何一种。通常，具体的手段方式在很大程度上决定了常用的方法论，

图3.1 可持续性标准对生物质资源潜力的影响



而方法论的确定在很大程度上又决定了数据的使用。为此，基于本手册的编制目的，主要倾向于资源导向型评估方法。

资源导向型评估方法对生物能源资源基本情况和资源的竞争用途进行调查，如侧重于生物质资源供应这一方面。资源导向型评估通常对理论资源潜力或技术资源潜力进行评估，因而，通常需要考虑农业用地需求，以及食品和材料生产对生物质的需求。

资源导向型评估可进一步分为统计评估和空间直观评估。

3.2.1 统计评估方法

统计评估主要是利用有关土地使用情况、作物产量、作物生产的各种统计数据以及森林调查和研究方面的数据，将统计数据与换算系数相结合，如每公顷产量、农林废弃物系数等。此类系数通常是根据专家判断、实地考察或相关研究得出的。此外，考虑到生物质的其它用途或土地利用情况，还需对用于能源生产的生物质的可供性作进一步的评估分析。

如第3.4节所述，生物质资源评估的统计评估方法在中国得到了广泛应用。

3.2.2 空间直观评估方法

最为先进的资源导向型评估包括有关土地与林木的可获得性和可用性方面的空间直观数据，以及以空间直观数据，例如，气候、土壤类型、植物类型和管理方面的生长模型为基础，对农林作物产量进行计算。如果可得到详细的统计数据，则统计评估结果就可以空间直观评估的方式予以呈现。

如第3.5节所示，近年来，欧洲在利用空间直观评估方法，确定所选地区的农作物秸秆的可获得性方面作出了很多努力。

3.3 生物质资源评估步骤

资源评估通常包括以下步骤：

- 数据收集：通常涉及大量的数据源及其种类和范围（如果可行，甚至会利用卫星图像）。
- 数据分析：选出最为相关的数据源，使用草谷比等。
- 数据完善：补充空缺的数据以适应所确定的生物质资源利用过程。

用于生物质资源评估的各个方法有所不同，取决于：

- 所需数据的使用目的；
- 数据详细程度的要求；
- 相关国家、地区或当地的已有信息。

“生物质评估手册”（Rosillo-Calle等，2006）提出了一种循序渐进的方法，用以确定农作物和农业废弃物的可获得性（附件5）。

- 换算系数的确定：在资源评估中，通常由废弃物-产品比（RPF）和采收率（RF）组成。然而，人们更多关注于RPF的确定，在RF评估上所做的研究则很少。
- 需要进行实地调查：除非所选地区的详细调查已存在，否则，应该在所选典型地点进行详细的现场调查，以对数据进行验证和调整。诸如拜访政府部门、林业机构、大型农业企业等，从而有助于资源数据的收集和补充。

从环境保护和生物多样性（如土壤肥力）角度而言，应对合理利用资源最大潜力予以重视。在北欧国家（芬兰和瑞典），采用下列原则来计算可采收林业废弃物的资源潜力（AEBIOM, 2007）：

- 75 %终伐的最大潜能
- 45% 疏伐材
- 20 %终伐平茬
- 25 %额外采伐（如，未利用新增或原木的采伐）

对于农业废弃物而言，同样重要的也是应做到对资源最大潜力的合理利用。土壤有机物（SOM）实质上对所有土壤特性都会造成影响，如物理结构、易于种植、易于根系生长、腐蚀、营养素及生物多样性。一般而言，土壤有机质越多越好。另外，可通过锁住大气中的碳元素，有益于环境。

3.4 中国的农作物秸秆资源评估

农作物秸秆资源的长期可获得性以及签订合理价格（承受得起的价格）的农作物秸秆收购合同对于秸秆直燃电厂的有效运行颇为关键。为有助于确保每年都能以合同方式取得足量农作物秸秆，电厂业主/开发者应保守估计“实施”资源潜力总量

以及所占份额并以合同方式确认。生物质能发电公司不愿受到当地农民抬高农作物秸秆价格的影响，因此，普遍的做法是保有50-75%或以上的储备资源，也用来应对每年由气候、土地使用、作物构成、价格及其它因素的变化而造成的资源波动变化。

根据附件6的原则，中国生物质资源评估一般使用的统计数据包括：土地使用、作物产量、作物生产、森林资源调查资料等，并将此类数据与诸如每公顷产量、草谷比等各种换算系数相结合而得数据。此类系数通常是专家判断、实地考察或相关研究得出的。此外，还对用于能源生产的生物质资源作进一步的评估分析。

在最近一项研究报告中采用了该方法，李效顺等(2009)估计出每年可用于发电的农作物秸秆量为7亿吨以上（见表3.1）。

在中国，生物质资源评估的主要问题是总体上缺乏“标准”方法，农作物秸秆资源评估更是如此。例如，浙江省能源研究会ZERS（2008）、南京农业大学NAU（2008）和中节蓝天投资咨询管理有限责任公司CECIC Blue Sky（2009b）的研究都有所提及。特别是，中节蓝天投资咨询管理有限责任公司（2009b）还起草了关于农作物秸秆的“农作物秸秆直燃发电项目资源评价技术规范”。

尽管没有相关标准，中国对于需采用的合适的资源评估方法已有一定了解。此外，中节蓝天投资咨询管理有限责任公司起草的资源评价技术规范提出需要有适当的实施途径。对于调查数据的质量和可能性应更加关注。虽然在确定农业生态区的“废弃物-产品比”方面已做出了一些努力，但正如世界上其它地区一样，中国对采收率（Recoverability Factor）的评估关注还较少。

为提高数据的有效性，并更精确地评估实际农作物秸秆资源潜力，可通过以下方式扩大调查范围和覆盖面：

- 对农作物秸秆的所有用途进行实际现场测评。
- 增加调查的时间连续性（如，对未来几年内的情况进行跟踪重复调查）。
- 将品种结构变化相关问题纳入农作物秸秆供应与需求调查中，尤其是大型农作物秸秆用户的未来需求，如其它生物质电厂。

3.5 农作物秸秆资源的空间精确评估方法：欧洲案例

为了对小麦和大麦的技术资源潜力进行评估，(Edwards 等 2006)利用欧洲统计局的有关全欧洲每一行政区的小麦和畜牧生产的统计数据，并结合“地理信息系统 (GIS)”有关土地覆盖与行政边界的信息。同时，还参考了农作物秸秆转化为能源的有关研究。

该研究作为空间直观评估方法的一个令人感兴趣的例子，其方法被其它作者所仿效，在确定大型农作物秸秆直燃电厂的资源潜力方面行之有效。原则上，该方法适用于任何谷类作物，包括玉米秆和棉花秆等，并提供了草谷比计算公式。如果有一些基本的GIS信息，则该方法可适用于世界上任何地方，包括中国。

3.5.1 每个地区的农作物秸秆资源潜力

根据 (Edwards等 2006) 的研究，可通过将农作物秸秆产量（耕地中的农作物秸秆，单位[吨/公顷]）作为谷物产量（谷物，单位[吨/公顷]）的函数进行评估。根据有关收割指数（谷物/留茬生物质）的经验范围值(Edwards等 2006)，推算出草谷比（作为谷物产量的函数）：这种不连续关系可用函数较清楚表述。

$$\text{农作物秸秆} = \text{谷物} * 0.769 - 0.129 * \arctan [(\text{谷物} - 6.7) / 1.5],$$

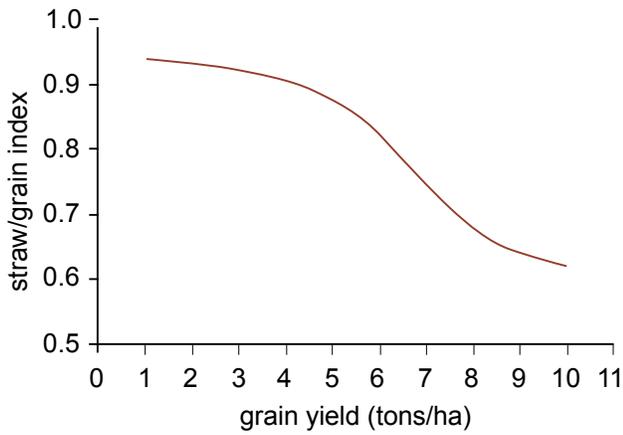
上式中，“谷物”代表每公顷的谷物产量，单位[吨]；“arctan”代表反正切函数。

表 3.1 中国主要农作物秸秆的产量及其热值（2005）

主要作物	作物产量/10 ⁶ 吨	系数	农作物秸秆产量/10 ⁶ 吨	高位热值/10 ⁶ J kg ⁻¹	低位热值/10 ⁶ J kg ⁻¹
水稻	180.59	1	180.59	15.24	13.97
小麦	97.45	1	97.45	16.67	15.36
玉米	139.37	0.5	278.73	16.90	15.54
薯类	36.48	1	36.48	15.61	14.23
豆类	21.58	0.67	32.37	17.59	16.15
花生	14.34	0.5	28.68	18.60	17.23
油菜籽	13.05	0.33	39.16	15.23	13.81
棉麻	6.85	0.33	20.46	17.37	15.99
总计	509.67	-	713.91	-	-

来源：李效顺等2009，中国环境科学3 (3): 348-53

图 3.2 农作物秸秆产量为谷物产量的函数



来源：Edwards等，2006

该函数（见图3.2）显示了草谷比随着谷物产量的增加，由最大值0.94降至最小值0.62。虽然该公式以小麦的数据为基础，但专家们已确认其对于大麦也基本适用，但这仅限于低产量和高秸秆比率的曲线一端。

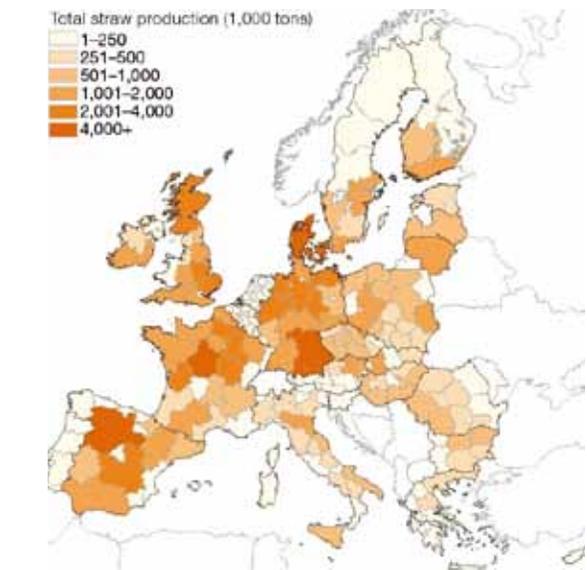
该函数适用于GIS NUTS2⁷地区的欧洲统计数据（欧盟统计局）（小麦和大麦产量，面积和产出）。图3.3显示了区域性小麦和大麦秸秆资源潜力的评价结果。

不是所有的农作物秸秆均可用于能源生产。首先需要量化的两个限制因素为：环境保护限制与农作物秸秆的竞争性用途。

环境保护限制制约了从土壤条件不利的田地收集农作物秸秆。土壤条件的不利方面表现为：有机物含量低、降解过程的风险、水资源短缺以及恶劣的气候条件。在此类情况下，农作物秸秆还田有助于维持土壤的肥力。

7. 统计用地域单位命名法（NUTS 代表法语中的 nomenclature d'unités territoriales statistiques）是一个以统计为目的的涉及各国行政区划的地理编码标准。

图 3.3 欧洲各个区域的农作物秸秆总产量分布（吨）



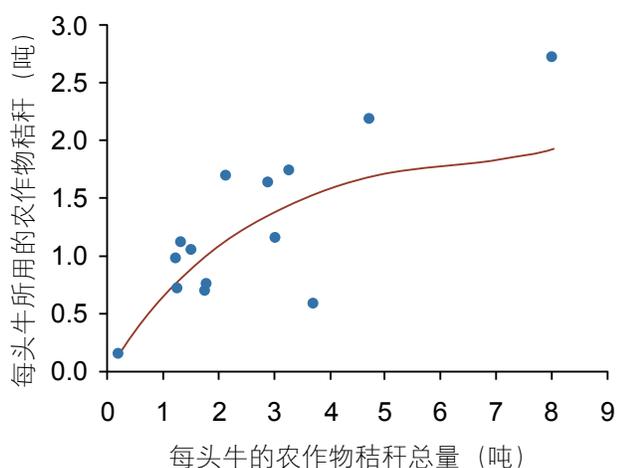
来源：Edwards等，2006

在欧洲，农作物秸秆的竞争性用途主要为牛垫草/褥草。也有大量的农作物秸秆用于园艺、蘑菇生产或用于工业过程。涉及的具体数量难以估计。国际、国内和地区的研究公开信息并不一致，且经常根据专家的猜测得出，缺少方法学和术语方面的文献资料。也有一些相关的调查，但受上述相同原因所限，很难进行相互比较。

人们普遍认为，牛饲养是农作物秸秆使用的最大竞争性用途。每头牛所消耗的农作物秸秆量取决于牛待在室内的时间长短（因气候和地理条件的不同而不同），所用牛棚的类型，以及该地区农作物秸秆的可获得性。根据可查阅到的零散研究数据（Edwards et al, 2006），通过经验公式（见图3.4），根据该地区每头牛所产生的农作物秸秆总产量（SPPH，吨/头）估算出每头牛所用的农作物秸秆量（SUPH，吨/头）：

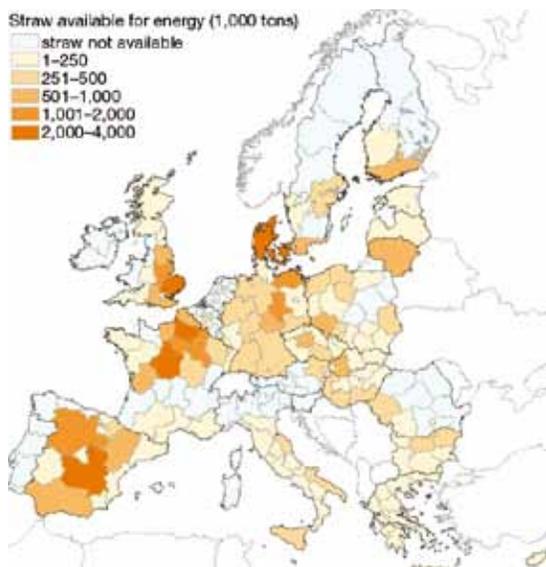
$$SUPH = 2 * [1 - \exp(-SPPH/2)]$$

图 3.4 每头牛所用的农作物秸秆



来源：Edwards等, 2006

图 3.5 欧洲各个地区农作物秸秆的可获得量分布 (吨)

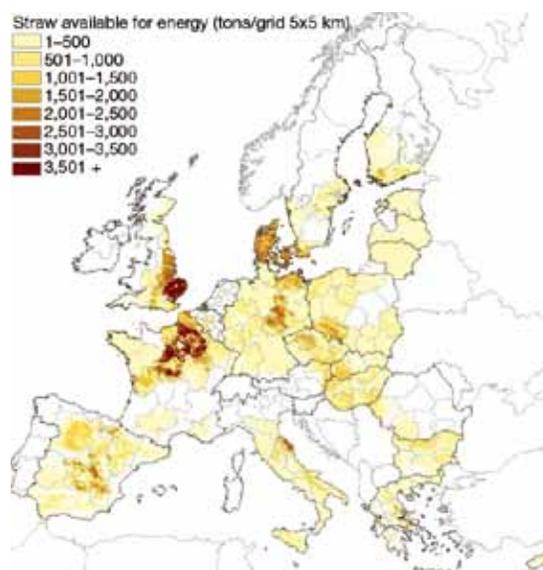


来源：Edwards等, 2006

上式中，“SUPH”代表每头牛所用的农作物秸秆吨数，“exp”代表指数函数，“SPPH”代表该地区每头牛所产出的总农作物秸秆吨数。

利用该公式，估计出不同地区每头牛每年所用农作物秸秆总量介于0.1至2.0吨之间。减去竞争性用途的估算值，得出各地区农作物秸秆的净盈余并

图 3.6 每(5x5 公里) 网格单元农作物秸秆的可获得量 (吨)



来源：Edwards等, 2006

绘成图（见图3.5）。部分地区显示出净逆差。

3.5.2 5x5公里网格单元范围内的农作物秸秆资源潜力

上述计算中所用的欧盟统计局数据虽然包括NUTS2地区的详细数据，(Edwards等, 2006)认为其详细度还不够，并使用CORINE⁸的2000年土地覆盖数据（简写：CLC 2000），从空间上将统计地区的信息分解到以5x5公里为一个网格单元的规范内。

假设按照CLC2000类别211（耕地），小麦和大麦的面积均匀地分布于网格单元内，并按每5x5公里网格单元做出估计。进而，每5x5公里网格单元的农作物秸秆产量可通过下述方法得出：将组成网格单元的每个NUTS2区的农作物秸秆净盈余按比例分配到每网格单元的小麦和大麦的区域内，能得出农作物秸秆可获得量的详细分布图。

8.CORINE 代表环境协调信息，CORINE土地覆盖数据（CLC: Corine Land Cover）是欧洲生物物理土地使用数据库。

3.6 生物质电厂规模

生物质电厂的理想规模取决于两大竞争性成本因素：单位投资成本随着规模变大，作为规模经济的结果，得以降低；而运输成本，则随着生物质运输距离的变长，有所增加。这些成本因素促使生物质电厂的理想规模应以生物质能源生产的最低成本为准（Searcy and Flynn, 2008）。

进行生物质电厂规划时，除了考虑理想规模之外，还需考虑许多其它因素。为了将运输成本控制一定范围内，建议生物质电厂的选址应在生物质资源可获得区域附近。较为明智的做法是将电厂设在铁路或者甚至于水路旁边。除非生物质的获取成本为零或接近于零甚至于负成本，否则，一般建议采用热电联产模式进行发电，以实现生物质资源的有效利用。因此，应将电厂设在一个或多个大型供热用户的附近。据了解，中国于2006-2008年期间所建立的许多生物质电厂并没有考虑上述因素。

若取得足够数据，则可计算出随着生物质直燃电厂规模的进一步增加，其整体经济成本降低的转折点。但不能仅凭借经验得出结论。从经济运输角度考虑，一般可接受的未加工生物质距电厂的最大距离为50公里。如果生物质可事先转化为高能量密度的固体或液态燃料，或者可以弃陆路运输而选择水路运输，则其运输距离较远也可以接受。

(Sims, 2007)的研究概述了不同规模的生物质电厂（见表3.2）的一般燃料要求、车辆运输次数、土地面积要求以及资源供应范围。该表说明，在中国建立的生物质电厂，一般装机规模（20-30 MWe），所需农业耕地面积为其50公里半径范围的2-5%。(Li, 2008)提出，在内蒙古，一个24 MWe的玉米秸秆生物质热电联产电厂的最大资源供应范围应在半径50公里以内。

如果在同一地区，有其它大型生物质电厂运行或计划运行，则对资源的竞争将更加激烈。山东省和江苏省的一些生物质电厂确实发生了以上情况。因此，建议对可用土地面积和相关生物质资源的可获得性作保守性估算。

3.7 结论和建议

3.7.1 结论

生物质资源潜力的类型多种多样。对于中国的生物质直燃电厂的投资者而言，最为相关的是“实施”资源潜力。这就需要考虑土地的使用、供应物流管理、财务可行性及可持续性等相关问题。

确定生物质资源可获得性的方法也各不相同。投资生物质直燃电厂时，资源导向型评估方法最为相关。

生物质资源评估步骤包括数据收集、数据分析和数据完善。可获得或收集到的数据质量越高，则评估结果就越准确。

运用详细的废弃物-作物系数可能会对精确性产生一定误导，尤其是生物质选择性用途的相关信息不完整或质量较差时。

近年来，世界上许多国家和组织已就提高生物质资源评估方法付出了诸多努力。例如，“欧洲委员会联合研究中心”（意大利伊斯普拉）对欧洲成员国的农作物秸秆的可获得性进行了研究；欧盟支持的“生物质能源欧洲项目”着眼于欧洲范围内，特别是着重于中欧和东欧的各种类型生物质废弃物与作物的可获得性的研究；帝国理工学院（英国伦敦）对于各地区例如太平洋和非洲地区所作的研究与调查工作。在中国，中节蓝天投资咨询管理有限责任公司已开展了与农作物秸秆资源评估相关的工

表 3.2 不同规模不同类型的生物质电厂的典型规模

电厂类型	供热或发电能力, 及年运作小时数	所需生物质燃料 (烘干吨数/年)	生物质运送至电厂所需的车辆运次	生产生物质所需的土地面积 (占给定半径范围内的面积总数的%)
小型供热	100 - 250 kWth 2,000hr	40 - 60	3 - 5 / 年	1公里半径范围内的1 - 3 %
大型供热	250 kWth - 1 MWth 3,000hr	100 - 1,200	10 - 140 / 年	2公里半径范围内的5 - 10%
小型热电联产	500 kWth - 2 MWe 4,000hr	1,000 - 5,000	150 - 500 / 年	5公里半径范围内的1 - 3%
中型热电联产	5 - 10 MWe 5,000hr	30,000 - 60,000	5 - 10 / 天	10公里半径范围内的5 - 10%
大型电厂	20 - 30 MWe 7,000hr	90,000 - 150,000	25 - 50 / 昼夜	50公里半径范围内的2 - 5%

来源: Sims, 2007

注: 不管是在哪种装机规模, 运输和使用土地要求均应达到生物质年需求量。农林业废弃物或能源作物的年生物质资源产量假定为每公顷 5-10烘干吨。

作。上述开拓型工作所开发的方法和所获成果对于在中国计划开展生物质资源调查大有裨益。

中国政府应该为在中国占主导地位的生物质资源 (比如稻秆, 玉米秆) 空间直观评估方法学的开发给予支持。

3.7.2 建议

使用统一的生物资源评估方法不是简单地使用谷草比理论系数来计算生物质资源的可获得量, 而要考虑生物质资源的竞争性用途, 以及在生物质收集、贮存和运输过程中, 由于气候、湿度和其它原因所导致的资源损失。

进行现场调查, 确认并核证现有的生物质资源评估数据。还应特别关注:

- 当地农业和林业生物质资源的类型、数量、季节性和用途
- 转换系数, 包括谷草比系数 (RPF) 和可回收利用率 (RF)
- 时间连续性的数据
- 当地生物质直燃发电项目 (已运行、在建或待批项目) 的现状及其燃料要求

尽量收集时间跨度为一年以上的数据, 以此建立季节模式和趋势。

在进行走访时, 应通过下列方法扩大范围:

- 对农作物秸秆的所有用途进行实际现场测评
- 采用连续性调查 (如, 对未来几年内的情况进行跟踪重复调查)

- 将品种结构变化相关问题纳入农作物秸秆供应与需求调查中

在进行资源调查时，应参考使用相关主题的手册出版物，如，“生物质评估手册”（Rosillo-Calle 等, 2006）。此类手册较详细地对生物质资源调查的规划和实施提出有用且可行的指导原则。

不要将生物质的可获得性与生物质合同可签性混同。（第六章将讨论生物质合同的有关内容）

为确保环境保护或生物多样性（如土壤肥力），对于确定为收集/采收农林废弃物的区域，应做到合理开发和资源化利用。

不要计划使用所确认的生物质可获得量的**25%**以上。理想的做法是，一家生物质直燃电厂的生物质使用量不应在其可获得量的**10-15%**以上。建议采用如此大的储备系数，是为了确保每年可通过合理价格获得足够量的生物质废弃物。这一储备系数还可以应对由天气、土地使用、作物种植结构、价格及其它因素变化而造成的每年资源量的波动。

不要采用自行调查的方式，而应该聘请有经验的专业顾问参与资源调查。专业顾问能够对调查方法学给出建议。他们也能够掌控整个调查工作的组织管理工作，通过走访、问卷及专题会的形式，从当地利益相关者（包括当地政府部门的官员、农业专家、养殖场主和种植场主、谷物加工厂业主以及农户）手中得到第一手的信息。

4. 农作物秸秆资源供应

4.1 简介

在农作物收割季节，农作物秸秆作为谷物的副产品可作为燃料使用。自1986年，丹麦政府开始实施了一项将农作物秸秆转化为能源的政策。在过去的20年里，丹麦在利用农作物秸秆大型热电联产（CHP）方面取得了更为丰富的经验。以能源为目的的大规模农作物秸秆处理已发展为农业特别是大型农场和农机制造商投资的一门独立学科。在丹麦，签署农作物秸秆合同的大部分农场主每年可产出几百吨的农作物秸秆。一些大型农场和农机制造商的年农作物秸秆处理量已达10,000-30,000吨。最近，欧洲的其他地方（西班牙、英国和波兰等）设立了将农作物秸秆转化为能源的电厂，但也有些例外，即小规模，主要用以供热。

第4.2节讨论了大批量农作物秸秆供应的最新技术。主要以丹麦的经验为基础，丹麦是迄今为止

除中国外已设立多个大型农作物秸秆直燃（供热）电厂的唯一国家。农业机械化高度发达的其他国家可照搬丹麦所开发的供应链模式。第4.3节介绍了中国的农作物秸秆供应实践。当前农作物秸秆供应模式最多可达到半机械化程度。第4.4和4.5节分别阐述了中国和欧洲的大型生物质电厂农作物秸秆供应方面的案例研究。

4.2 农作物秸秆生产技术与方法

4.2.1 农作物秸秆的生产、搂耙和收集

农作物秸秆是联合收割机收割谷物（如小麦、黑麦、大麦、黑小麦以及燕麦）时所产生的副产品。当联合收割机收割完毕后，田间剩余的就是秸秆。

遇到降雨时，将农作物秸秆进行翻晒或搂耙对保证其质量至关重要。该类工作可由配备耙地机的拖拉机完成（见图4.1）。

图 4.1 农作物秸秆打包之前，进行翻晒或搂耙



来源：BTG/Drohms设计和市场

图 4.2 正在作业的拖拉机和打捆机



来源：BTG/Drohms设计和市场

图 4.3 在田间装载农作物秸秆



来源：BTG/Drohms设计和市场

农作物秸秆在完全干燥后，即可使用配备打捆机和累加器的拖拉机对其进行打捆（见图4.2）。打捆机有几种类型和规格，包括：小型打捆机、圆形打捆机、中型打捆机和大型打捆机。

在丹麦，只接受大捆包，即所谓的大型和中型捆包。大捆包的尺寸为120 x 130 x 240厘米，密度为140-185 公斤/立方米，重量为500-800公斤。大型打捆机每小时可打捆12-25吨。近年来，引入了中型捆包（长宽高尺寸为120 x 90 x 240厘米）。每个捆包的重量为425-500公斤。短捆包的优势在于其捆包密度稍高，拖拉机/卡车可装运3层高的中型捆包，而大捆包只能2层。装载处理能力也得到提高。其缺点在于需对电厂的农作物秸秆起重机进行相应调整。

4.2.2 农作物秸秆的运输

依据当地的具体条件不同，在农作物秸秆运输工程中，需采用不同技术和方法。大捆包由前端式装载机、挖沟机、装载拖拉机、伸缩式装载机或类似机械进行装卸。由于伸缩式装载机在堆垛时可伸长高度，因此适用于卸载。前端式装载机的应用最为普遍，根据其设计参数、提升能力、拖拉机负

载能力及其稳定性和当地条件，可同时操作一个或两个捆包。（见图4.3）。当前端式装载机同时操作两个捆包时，装载能力已达最高值，但如果不在拖拉机后部加上平衡重量，则拖拉机的前轴负载过大，会造成拖拉机稳定性急剧下降。改造过的卡车或卡车拖车已广泛应用，其装载量为6至18捆包不等。长距离运输时，一辆拖拉机常牵引两辆拖车，每次拖拉载重量可达24个大捆包。

4.2.3 长期贮存

农作物秸秆可贮存在室内或室外。室内贮存可保持稳定的含水量并防止发霉，因此损失最小。最大贮存能力为1.5-2.5吨/平方米。室外贮存的成本较低，但主要适用于短期贮存，并需要加盖防水油布。

(Huisman, Jenkins 和 Summers, 2002) 对稻秆捆包的贮存系统进行了评估，并总结出以下贮存系统：

- 无遮盖物
- 防水堆垛
- 经包装的捆包
- 单独包装
- 圆捆
- 杆柱仓房
- 金属建筑
- 玻璃大棚
- 纤维材料建筑
- 桁架拱篷布

不同贮存系统之间的堆垛能力、堆垛布置、系统寿命和成本都存在着巨大差异。((Huisman, Jenkins 和 Summers, 2005) 的研究得出结论：除了包装，在其他任何情况下，成本会随着贮存量的增加而降低。800吨和4,000吨之间的差别很大，

图 4.4 户外堆垛储存



来源：BTG/Drohms设计和市场

4,000吨和20,000吨之间的差别较小，而20,000和100,000吨之间的差别则非常小。大捆包的无遮盖贮存（见图4.4）仅适用于短期贮存（最长为6个月），其最上层部分会遭到损失。对于稻秆的贮存，采用杆柱仓房（见图4.5）似乎是最低成本的解决方案，这种仓房只有一个房顶。金属建筑的成本稍贵，但其各个侧面都是封闭的，因此可更好地防雨水渗漏、并防止动物侵入和纵火（防火）。

4.2.4 运输（从长期贮存处）至发电厂

根据运输距离的不同，可选择卡车或拖拉机将农作物秸秆运送到发电厂。如果由运输合同商运

图 4.5 加利福尼亚的杆柱仓房，用作稻秆贮存



来源：BTG/Drohms设计和市场

图 4.6 长途运输农作物秸秆的卡车



来源：BTG/Drohms设计和市场

输，则由农场主或运输合同商将农作物秸秆装载到卡车上，并由运输合同商运到电厂，电厂员工使用叉车、桥式起重机或类似机械卸载。如果由拖拉机运输，则操作速度较慢，装载量也相应较小，随着运输距离的增加，这种差别还会不断加大。

当利用卡车运输时，通常将秸秆分别装在卡车及其拖车上，每节拖车分两层各装12捆包的农作物秸秆（见图4.6）。利用拖拉机运输时，也会使用同样的装车方法，但每辆车的装载量为16或20捆包，特别是队伍短途运输更是如此。

图 4.7 一次作业卸载12个捆包



来源：丹麦技术研究院，Lars Nikolaisen

在电厂如果利用起重机卸载，通常要求捆包整齐地码放在运输车上，捆包要有特定的尺寸，且不能超出一定重量。起重机卸载要求使用大捆包，因为发电厂配备的设备适用于该规格的捆包（见图4.7）。

4.2.5 在生物质电厂进行处理

由于农作物秸秆本身的密度低，因此其贮存所占空间较大。平均而言，丹麦发电厂的贮存设备可供8天满负荷运行。农作物秸秆供应商通过卡车或拖拉机拖车将农作物秸秆运送到电厂。电厂利用叉车、桥式起重机或类似设备进行卸载。

卸载时，利用地磅或平台秤对捆包称重。利用地磅称重速度最快，因为仅需要2次称量操作（卡车的毛重和皮重）。卡车利用平台秤时，先把前轮开上平台秤的入口平台，每卸下一个捆包，对卡车称重一次。地磅的价格比平台秤高出2—3倍，因此，两者的选择关系到增加投资和工作时间的问题。

对于含水量的确定，利用带有叉刺的测量仪器，伸到农作物秸秆捆包中进行测量。测出两个电极之间的电阻并转化为含水率。通常，同一捆包要测量三次，计算出平均含水量。根据惯例或合同要求，可拒绝接受一些捆包或整车捆包。通常拒收含水量大于20%的捆包，因为此类捆包的燃烧会极其不稳定，特别是在非满负荷运行下。

所有大型电厂都配备一架自动起重机，将捆包从贮存处运到农作物秸秆工作台。该起重机按编好的程序以一定顺序提起捆包，因此，重要的是卡车司机/叉车司机在卸载时，需将捆包放置到所标记的区域，然后采用农作物秸秆切割机、粉碎机或农作物秸秆分割器把捆包好的农作物秸秆散开。

4.3 中国农作物秸秆供应现状

4.3.1 中国农作物秸秆的可获得性

中国农作物秸秆资源丰富，有200多种农作物秸秆具有生产能源的潜力。主要的农作物类型包括水稻、小麦、玉米、棉花、豆类、油料作物以及土豆。根据中国2006年统计年鉴，农作物总播种面积为1.55亿公顷，主要农作物的总产量约为5.1亿吨。运用相关的废弃物-产品比，（李效顺等，2009）估算出农作物秸秆总产量达7亿吨以上。农作物秸秆主要来自中国的东部地区。运用类似方法，（国家发展改革委，2008）估计每年农业废弃物可获得量为6.81亿吨。

80%的农业废弃物被认为可进行回收再利用。除用于肥料、牲畜草料和工业材料（例如造纸）之外，用于能源生产的农业废弃物的总量为3亿吨以上。然而，由于近二分之一的农作物废弃物被农户用来取暖和做饭，可供生物质发电利用的农业废弃物总量约为1.5亿吨，相当于7500万吨标准煤（tce）。

4.3.2 中国农作物秸秆收集实践

中国拥有大量分散的不同类型的季节性农作物秸秆，均可用于发电。然而，依靠传统收集技术与方式，难以大量收集农作物秸秆，从而达到大规模、标准化和持续性供应农作物秸秆的工业化要求。

中节蓝天投资咨询管理有限责任公司（CECIC，2009a）最近的研究探讨了中国生物质直燃电厂的农作物秸秆收储运模式。目前，生物质供应链结构多种多样，因此几乎没有标准化可言，即使是对于投资者、燃料类型和发电容量都相同的项目也是如此。供应链模式繁多也不足为奇，因为一方面生物质燃料供应市场相对不成熟，另一方面，每个生物

质电厂有其独特的设置，至少在一定程度上需要有自己的解决方案。

燃料供应模式包括：

- 专业的生物质燃料收购站。由生物质电厂投资建立，或由其他投资者与当地政府或其他机构共同设立。
- 与专业经纪人合作。经纪人负责生物质的收集、预处理与贮存。电厂与专业经纪人之间应达成有关生物质燃料收集的协议。该协议至少应涉及燃料价格确定、燃料数量、燃料质量以及交易方式等。
- 与多个（数以千计）的不同燃料供应商合作，包括小型和中型的生物质燃料经纪人以及单个农户。
- 上述三种模式的结合（CECIC, 2009a）。

燃料收集模式包括：

- 农户：对生物质燃料直接收集并贮存，并直接运送至电厂收购站或运送至电厂。
- 燃料经纪人：在农村地区（田间地头或农户）采购生物质燃料，并将其运送至电厂收购站，或贮存在自己的燃料储存地。
- 电厂：购买收割设备，组织收割队伍，通过减免收割费用，直接负责生物质的收集、贮存和运输（CECIC, 2009a）。

燃料贮存模式包括：

- 大容重的棉秆与木片通常露天堆垛。
- 对麦秆、玉米秆和稻秆进行分散打捆处理，存放在料仓；此类农作物秸秆很少以生物质压块方式处理（CECIC, 2009a）。

下文四个案例研究，阐述了在中国应用的生物质采购模式。

当前中国的农作物秸秆收集实践充其量只达到“半机械化”程度，包括以切草机削片棉秆，以液压打捆机进行打包的传统运作方式。

迄今为止所获得的经验表明，必须应用机械化方法才能确保原料供应的质量和数量。此外，需要明智地选择收集范围。如果收集范围太小，则无法满足生物质燃料的需求；如果扩大收集范围，则运输距离更长、成本更高且要求有合适的贮存设备，这样一来收集成本也相应增加（CECIC, 2009a）。

为了应对原料收集技术缺乏的现状，“国能生物集团发电有限公司”（在中国拥有十多家大型生物质电厂）和“中国农业机械化科学研究院”已提议开展一项研究，对棉秆和玉米秆的收集新设备进行研发和示范。该项目从农作物秸秆收集、捆包、削片的现有技术研究出发，旨在对关键技术实现突破，包括农作物秸秆机械压缩、自动捆包、棉秆收集与高效削片等。该提案已提交给2009年“生物质发电竞争性赠款机构（CGF）”（由“中国可再生能源规模化发展项目（CRESP）”所组织的生物质招标单位），并正被考虑给予拨款。棉秆联合收割机的生产能力应为10-14亩/小时（相当于0.67-0.93公顷/小时），大型方形棉秆打捆机的生产能力应为9-12亩/小时（0.6-0.8公顷/小时）。

4.4 中国农作物秸秆供应：案例研究

本节通过一些简短案例研究，阐述几个中国生物质电厂的农作物秸秆供应情况。相关信息来自（CECIC, 2009a）。

案例研究A：山东省30兆瓦生物质直燃电厂

该厂每年的燃料需求约为220,000公吨。为确保生物质供应（棉秆以及林业废弃物如树皮和木片），该厂设立了八个燃料收购点，以便进行农作

物秸秆采购、贮存和运输。采购点的选址主要是依据生物质资源的分布、运输、自然条件、水资源以及电力供应等因素。燃料收购站大多由当地的燃料经纪人收集供应。项目所有者与燃料经纪人就燃料数量、质量与价格方面签订合同。生物质燃料由燃料收购点或燃料经纪人进行预处理，无需在生物质电厂作进一步预处理。

案例研究B：河南省12兆瓦生物质直燃电厂

所用生物质原料主要为棉秆、麦秆、玉米秆、花生壳、树皮和木片。生物质燃料主要由小型燃料经纪人供应，或者由当地农户直接供应。电厂与燃料供应人之间并无合同。为鼓励当地农户直接将生物质燃料送到电厂，所有相关农户均被允许免费通过道路收费站。生物燃料在电厂内进行预处理。

案例研究C：河南省30兆瓦生物质直燃电厂

所用生物质能燃料包括农作物秸秆（小麦、玉米和其它作物）、树皮和树根。最初，生物质电厂设立了几处农作物秸秆收购站，配备了资本密集型处理设备，如打捆机。燃料供应情况并不令人满意。因此，生物质电厂放弃经营其自建的燃料收购站，代之与大约十个大型燃料经纪人签订合同，确保燃料供应。这些燃料经纪本身拥有贮存场地和打捆机，且可对燃料进行预处理并将之送到电厂。此外，还有大约100个小型燃料经纪人和当地农户；他们将生物质燃料送到燃料经纪人那里进行预处理。

案例研究D：江苏省24兆瓦生物质直燃电厂

燃料年需求量（主要为麦秆、稻秆、以及其它“黄”秸秆）大约为30万吨。燃料经纪人与当地农户自身有贮存场地和打捆机，可进行燃料预处理，确保燃料供应。由于附近150公里半径范围内有七家生物质能电厂对农作物秸秆收购形成竞争，因此该地区的燃料可获得性受到限制，需要从远至

150公里处收集生物质燃料。另外，造成燃料供应困难的第二个因素是每年的梅雨季节从6月一直持续到7月。在这期间，麦秆无法自然干燥，并极易腐烂，导致低热值和高含水量，燃料价格受影响也相应上涨。

4.5 欧洲农作物秸秆供应：案例研究

本节列举的一些简短案例研究，阐述了欧洲生物质电厂的农作物秸秆供应情况。丹麦、英国和西班牙各举一例，说明主要欧洲国家利用农作物秸秆发电情况。

案例研究E：Ensted（丹麦）39.7兆瓦生物质电厂

位于（丹麦）Enstedværket的生物质电厂由两个锅炉组成，一个为农作物秸秆燃烧锅炉，所产生的热量高达470°C；另一个为木片燃烧锅炉，将农作物秸秆燃烧锅炉产生的蒸汽加热至542°C，进入Enstedværket 3号机组的高压蒸汽系统中。农作物秸秆的年消耗量约为120,000吨，木片的年消耗量约为30,000吨，生物质直燃锅炉可产生88MW的热能，其中包括39.7MW的电力。

每天平均有40辆卡车将农作物秸秆运送至电厂，每辆卡车装载24捆包农作物秸秆，平均每包重量为500公斤。每天有五辆卡车载量的木片（80-100m³）运至电厂。

农作物秸秆燃烧锅炉的给料系统实现完全自动化。该系统包括自动起重机和输送机，可将农作物秸秆捆包输送到四条给料线上。农作物秸秆在水冷振动炉内燃烧。

案例研究F：Ely（英国）38兆瓦秸秆直燃电厂

英国Ely的38兆瓦秸秆直燃电厂在其建造当时，是世界上最大的农作物秸秆直燃电厂，每年消

耗200,000吨农作物秸秆以及其他一些生物燃料和最多10%的天然气。该厂的主要燃料为谷物生产所产生的农作物秸秆，如小麦、燕麦、大麦和黑麦。供应到电厂的农作物秸秆打捆成所谓的Hesston捆包，每个重量约为500公斤。农作物秸秆捆包分别贮存在两个料仓内，每个料仓所存农作物秸秆可供全厂几乎24小时的满负荷运行。料仓中的农作物秸秆捆包由大型双轨起重机处理，农作物秸秆捆包经自动传送系统从农作物秸秆料仓运送到蒸汽炉的焚烧系统内。

案例研究G：Sangüesa（西班牙纳瓦拉）25兆瓦农作物秸秆直燃电厂

Sangüesa电厂每年消耗的农作物秸秆和玉米秆总量约为160,000吨。农作物秸秆由距离电厂75公里半径范围内的农民供应。农作物秸秆捆包由卡车运送至电厂。卡车将燃料运送至农作物秸秆料仓贮存区，并对其含水量和重量进行测量。通过记录秸秆的含水量与重量数据，用来作为采购方决定农作物秸秆价格的依据。料仓分为三个区域，贮存量可供电厂运行三天。

电厂配备了三台自动双轨起重机。起重机将秸秆从卡车上卸载下来，并根据预置系统将农作物秸秆按堆存放。起重机还负责将农作物秸秆捆包输送到自动传送带上，再由传送带将农作物秸秆从农作物秸秆料仓输送到锅炉房内。捆包到达给料系统时，由全自动小刀将捆包绳切断，然后进入粉碎机，农作物秸秆捆包在送入锅炉之前按照要求和控制的流速松散开。

4.6 结论与建议

4.6.1 结论

当农作物秸秆作为能源利用时，其物流原则上与传统的农作物秸秆运用没有区别。然而，操作规模却要大得多，特别是涉及到贮存，要保证适

当的含水量以及全年可获得量。

最近，中国出现了各种各样的生物质收集、贮存和运输模式，即使项目的投资方、燃料类型和发电装机容量都相同，其所选择的生物质收集、贮存和运输模式也不尽相同，没有什么标准化可言。这种现象也不足为奇，一方面，供应市场刚刚起步且不成熟，另一方面，每个生物质能电厂因其独特的设置，一定程度上决定了对不同解决方案的需要。

运输物流被认为是电厂经济化运行的关键。对于低密度农作物秸秆，其收集地区应尽量小。如果收集范围扩大，运输距离会相应变长、成本就更高而且要求有合适的贮存设备，这样一来收集成本就会相应增加。根据运输距离的长短，可考虑采用以颗粒化或压块形式对农作物秸秆进行致密加工。

由于农作物秸秆的季节性特点，电厂所用的很大一部分农作物秸秆需要贮存几个月。鉴于农作物秸秆仅有2个月的收集时间，因此所需的贮存量极大。另外，因为需要考虑（火灾风险、防雨等）问题，所以很难确定最为理想的贮存规模。根据每天农作物秸秆量（每天需500-1000吨）的需求，电厂内的贮存能力通常较为有限（在几天的范围内）。一般情况，丹麦电厂的贮存设施可供全厂8天满负荷运行。

需要对农作物秸秆的长期可获得性进行资源评估（也需要考虑当前和未来的竞争性用途）。例如，江苏省的生物质电厂（案例研究D，4.4节），由于其附近150公里半径范围内有7家其它生物质电厂成为其竞争对手，因此，该电厂不得不对地区燃料可获得性的受限问题。为解决供应瓶颈问题，值得探索使用多种生物质燃料组合，而且还应注意市场变化、短期的天气因素以及长期的气候变化等方面的影响。长期生物质合同（见第六章）是确保电厂燃料供应的另一手段。

中国农作物秸秆供应商所面临的挑战在于农作物秸秆收集，即需以最低的成本收集到最多的秸秆量。丹麦的经验教训可以借鉴，自20世纪80年代末以来，丹麦已取得利用麦秆的生物质电厂和热电联产电厂的成功实践经验。

然而，中国不能直接照搬丹麦的经验。应考虑中国的当地条件和实际情况。例如，中国的农民数量更为庞大、机械化程度较低、谷类作物种类繁多、在单价与价格结构等方面与丹麦也不尽相同。

尽管中国农村劳动力较为低廉，但丹麦的经验表明，需要以高度机械化方式确保农作物秸秆供应的质量和数量。与其它地方一样，中国的农作物秸秆采收季节也仅仅持续两个月。因此，应当保证农作物秸秆采收过程中采用一定程度的机械化和自动化。这一观点得到了中国最大的生物质发电厂的经营者“国能生物集团发电有限公司（NBE）”的认同。NBE与“中国农业机械化科学研究院”已发起了棉秆和玉米秸秆的捆包收集与粉碎新设备的开发工作。

为确保规模经济，中国电厂经营者和/或燃料供应商可以合力开发高吞吐量的农作物秸秆收集设备。中国政府应积极促进此类合作。

4.6.2 建议

- 确保对农作物秸秆的运输物流进行精心管理，因为其在运输燃料成本中所占份额高，且限制电厂规模。
- 建议大型装机容量电厂使用大方型捆和地磅。
- 农作物秸秆供应方面，至少应有一些不同的燃料供应商（经纪人），以防单一燃料供应商（经纪人）控制燃料价格（见案例研究B，4.4节）。
- 不要将农作物秸秆长期贮存在户外（最多为6个月）。虽然室内贮存成本较高，但能够保持稳定的含水量并防止发霉（损失将会最小）。
- 根据惯例和生物质合同，不接受含水量过高的农作物秸秆（在丹麦，通常拒收含水量超过20%的农作物秸秆）。否则燃料的燃烧会非常不稳定，特别是在电厂实行部分负荷运行时。

5. 林业废弃物资源供应

5.1 简介

5.1.1 林业废弃物类型与产量

林业废弃物是由林场除伐、疏伐或终伐后的小杆、枝杈、梢头、木截头和非商品材组成。全球关于林业废弃物大规模应用于电力生产方面的经验比较有限。事实上，大多数国家根本不会以发电为目的进行林业废弃物的收集。高昂的运输、采收与处理成本是阻碍其利用的主要因素。

森林资源丰富的北欧国家芬兰和瑞典可能是将林业废弃物用于相应规模电力生产的世界仅有的两个国家。这两国已经历了相当长的时间，通过支持采伐、处理和运输技术以及物流的发展和优化，促进相关应用领域的发展。通过运用燃料供应与物流链的先进技术，提高了林业废弃物的利用率，将其作为新型原料资源，作为木屑进行高效利用。此类技术仍在开发中，并不断取得进步。

林业废弃物包括终伐所留下的枝桠材、疏伐和除伐后的枝桠材和小杆以及非商品材。终伐产生的林木废弃物或枝桠材包括森林作业（木材采伐）后遗留在地上的废弃物。枝桠材主要由梢头、茎干、枝杈、树叶、树桩和树根组成。在瑞典，终伐产生的枝桠材所占份额最大（1996年为71%，2003年所占比例甚至更大）。

林木燃料采集和森林终伐，不仅是可再生能源的来源，同时，通过移走终伐区的废弃物可促使林

木再生，从而为森林所有者带来高收益。枝杈与梢头的生物质占树桩以上生物质的20-30%。“芬兰木材能源技术发展项目”VTT调查了芬兰南部森林（Hakkila, 2004）在典型管理体制下生物质废弃物的产量。其结果详见表5.1。

5.1.2 林业废弃物生产成本系数

化石燃料产生于大型矿床中且成本固定，与之相比，林木燃料比较分散，必须从较多的场地进行收集。其生产成本取决于物流链中的多个步骤，如林木采伐（集采）、粉碎（削片/碾压）、贮存和运输，以及运作规模、生物质来源与生物质的质量要求（见表5.1）。

采购成本的最大一部分由地形和公路运输成本组成，因此，木屑物流重点在于对运输的管控。采用木片加工机、碾压机或打捆机将生物质转化为便于运输的形式也是物流系统的一个重要部分。

早期疏伐与终伐所产生的燃料成本相差很大，这是因为疏伐时产生的小杆还需要切削与捆扎，成本较高。而在采购链的其它阶段，疏伐与终伐的成本差距相差不大。如果不支付伐木开支，则芬兰的整株木屑的成本为12.8欧元/兆瓦时，皆伐木屑的成本为8.4欧元/兆瓦时（2002年数据）。附件7给出了芬兰有关降低生物质供应成本调查的部分主要成果。

表5.1 芬兰的林业生产力

处理	林龄(年)	木材产量 (立方米/公顷)	生物质废弃物		
			立方米/公顷	吨标油/公顷	千兆焦耳/公顷
商用疏伐前	10-20	-	15-50	3-9	125-375
第1次商用疏伐	25-40	30-80	30-50	6-9	250-375
第2次商用疏伐	40-60	50-90	20-40	4-8	165-335
第3次商用疏伐	50-70	60-100	20-40	4-8	165-335
终伐	70-100	220-330	70-130	13-24	545-1005
轮伐期内总计	n.a	360-600	155-310	30-58	1255-2430

来源：Hakkila, 2004 注：n.a. 代表此处不适用。

5.2 采伐（集采）

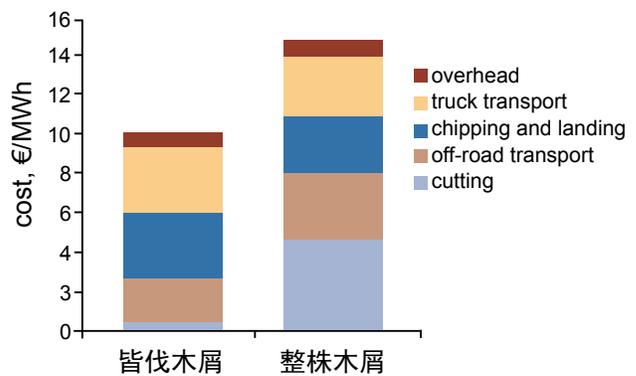
5.2.1 与终伐有关的集采

林木燃料集采的采伐由传统机械进行操作，但须使用特殊方法。采伐时，伐木机操作员把林木燃料如枝条和梢头聚集成堆。树被砍倒后向前倾斜，林木燃料堆沿着驾驶通道堆放，高度为100–150厘米。砍倒后，林木燃料堆通常搁置在空地上，以便树冠叶丛脱离。这是由于树冠叶丛含有高度营养，留下来可以增加森林土壤的肥力。树冠叶丛最好均匀地散布于终伐区，但在实践中却难以操作。通常在夏季，当采伐后，由转运车将林木燃料堆拖运至路边装卸。拖拉机应配备一个开放式抓爪，以避免在装载时带起石头和泥块。为了实现大装载量，也应配备加长型拖车，装载应从后往前，侧面进行。在林木燃料集采时，不需要对机械进行改装。林木燃料应成堆贮存在露天干燥场所，便于继续干燥。林木燃料堆也可用油毡覆盖，用几捆采伐废弃物进行固定。在林木燃料堆进行削片加工后，木屑燃料主要由配备可拆车体系统和车厢的卡车运走 (Emilsson, 2006)。

在机械终伐后，可采用多种不同技术或操作顺序的林木燃料集采系统，这些系统的操作顺序及技术有所不同。

- 林木燃料可直接运到临时设在林场的能源电厂或燃料集散站，并在那里进行削片或碾压。该系统的问题在于难以做到充分紧凑包装，以使运输成本在财务上切实可行。为此，正在不断进行技术改进。

图 5.1 芬兰木屑的典型成本构成（到厂价格，不包括增值税，2002）



来源：BTG/Drohms 设计和市场，根据Hakkila, 2004
注：图中方框依次为公共开支、卡车运输、削片与贮存、远离公路拖运、切割。

- 在采伐区用移动削片机削片，然后将木屑燃料倒入停在林道边的车厢内或往返运输车内。
- 有时采伐后，林木燃料就被立即从采伐区拖运至林道边，此时燃料的树冠叶丛仍在。该方式较适宜于氮沉积物较多的严重酸化土壤，否则，集采树冠叶丛会降低土壤的含氮量。同样，削片作业可在路边进行或运送至供热厂或燃料集散站后进行。如果对树冠叶丛未脱落的绿色林木燃料进行集采，则需要对灰分进行循环利用。
- 还有一些技术，可将带有树冠叶丛的新产林木燃料捆扎成形似原木的捆包，便于像处理原木那样进行处理。该技术的主要优势在于可利用标准的木材卡车来运输，并可协调其他木材与林木燃料的运输。该方法要求在供热电厂或燃料集散站配有适当规格的碾压机。
- 采用传统的疏伐伐木机对较密的林木进行疏伐。该方法与机械终伐所用的方法相似。
- 可在林场中进行木片加工，最好在滑道边上，之后就可将木片进行堆装。
- 还可选用“长梢头”疏伐方法。采用此方法时，伐木机采伐梢头的直径比正常采伐时要粗，且所集采的林木燃料为未修整的长梢头。虽然此方法可产生更多林木燃料，但却损害了纸浆用木材。
- 林木燃料也要结合草地和牧场恢复及能见度清理等情况进行集采，采用类似于疏伐和除伐相结合的技术系统。

5.2.2 与除伐和疏伐相关的集采

将林木燃料集采与森林作业如疏伐或除伐相结合，是一种相对较新的实践。除伐会使森林所有者产生净支出（有时会被忽视），导致大面积幼林的茎干需要处理。出于成本原因，主要通过机械疏伐或除伐进行集采。由于集采量少于与终伐相结合所产生的量，因此增加了财务压力。通常使用多树堆垛处理采伐机，砍去茎干，将其堆积成捆，放在滑道边以便拖运。与单树处理相比，该技术通过简化拖运，效率得以极大提高。林木燃料可在堆垛时削片，也可直接运至燃料集散站或锅炉房处理。由于与终伐相结合，集采可采用多种方法及其组合 (Emilsson, 2006)。

5.3 切削

切削（燃料的大小分级）是林木燃料生产链中最为重要的阶段，因为其对系统效率产生关键影响。切削可在以下场所进行：**(a)**路边或贮木场 **(b)**来源地 **(c)**终端设备 **(d)**燃料集散站。

林木燃料生产系统主要是切削阶段。生物质采购链中削片机或碾压机的位置很大程度上决定了生物质在运输中的状态，并因此决定了随后的机器是否能相互依存。如果存在这种依存，则生产系统为“热”系统，生产链称为热链。如果不存在这种依存，则生产系统为“冷”系统，生产链称为冷链。

5.3.1 在贮木场切削

在贮木场或路边切削是木片生产的传统选择。生物质由转运车拖运至贮木场，并堆成4至5米高的堆垛。

图 5.2 在路边（贮木场）切削的木屑生产链



转运车与切削粉碎机独自运行。在贮木场进行切削时，对于小型作业，可使用农场拖拉机驱动的削片粉碎机，对于大规模作业，则可使用安装在重型卡车上的削片粉碎机或固定粉碎机（见图 5.2）。

木屑被直接吹到装载量为**100-130**立方米的卡车拖车中。装木屑的卡车通常配备了底部输送机或侧翻斗车，卸载重量约为**23**吨。卡车拖车的最大装载量为**37**吨（像芬兰可允许总量为**60**吨）。如果木屑非常潮湿，可能会超载。而若是干燥木片，总装载量则不会超过上限。

如果切削在贮木场或路边进行，则削片粉碎机与卡车相互依存，该系统为热系统，由于机器须互相等待，易导致运行效率降低。因此，削片粉碎机与卡车之间的物流是保持燃料供应在经济上可行的关键。然而，如果削片粉碎机与卡车分属不同的合同商，则物流优化可能会有所不同。

另一个问题是，与其它替代系统相比，所需的卸载面积更大，这是因为生物质在路边存放较多，且削片粉碎机与卡车同时在场。

贮木场削片粉碎机不能在远离公路的地方操作，因此比全地形削片粉碎机更重、更强劲且更有效。其技术可靠性高、使用寿命较长，需要有高效率。为避免由于进料速率发生突然变化而对机械产生峰值压力，削片粉碎机应有较长的进料台，以促进原材料顺畅流动。辊式削片粉碎机比盘式削片粉碎机更适用。辊式削片粉碎机可产出更为均匀的木片（裂片更少），不受杂质的影响。如果生物质（如树桩和树根）含有石头和土，那么就on应该使用比削片粉碎机更有耐力的碾压机。

路边切削的生产力受到原材料特性、贮存、作业场地安排以及削片粉碎机性能的影响。一般而言，每有效工作小时的生产力介于**40-80**立方米之间。通常处理新产林木废弃物比处理干燥原材料要快。对林木废弃物的根部过分利用并没有益处，相反，由于地面其它坚硬物体可能损坏削片机刀片，从而可能会产生大量额外成本。

为防止系统过热，卡车配装的削片粉碎机和削片卡车可由单一削片粉碎机卡车代替（见图 5.3），这样可将木屑直接吹到集装箱并拖运至电

图 5.3 削片粉碎机卡车



来源：L&T Biowatti

厂。由于削片粉碎机卡车自身配备了削片设备和起重臂，因此其载重能力受限围绕电厂的作业半径而缩小。相反地，由于仅需一个设备单元，因此削片粉碎机卡车适用于小型工作场地，向小规模电厂运送木屑。

5.3.2 来源地切削

就地或在来源地切削要求使用移动性强的削片粉碎机，此类削片机适合在远离公路的地方操作，并配有15–20立方米的可倾卸车厢。全地形削片粉碎机通常安装输送底盘。削片粉碎机在土路的地形上移动，并利用抓钩装载机将生物质运送至削片设备的进料器上。木屑被拖运至路边并被倒入在

地面上或在卡车拖车上的卡车集装箱中。（见图5.4）。

由于只利用一种设备对生物质进行切削且远离公路运输，所以，降低了移动设备的成本，同时也使较小型的林场具有商业运行可行性。通过使用低底盘拖车或在短距离公路上驾驶全地形削片粉碎机，可将全地形削片粉碎机从一个工作场地移动至另一处。使用集装箱车厢可减少削片粉碎机与卡车之间的依存性，虽然不能完全替代这种依存性，该系统在一些地方使用还比较多。卡车集装箱不需要大型贮木场，只要求场地平坦坚固。

图 5.4 在来源地切削的木屑生产链



为便于远离公路操作，削片粉碎机的重量越轻越好，但须保证足够的强度和稳定性。即使如此，全地形削片粉碎机在软土上使用仍然太重，可就地使用碾压设备。全地形削片粉碎机由于其装载量小且速度较慢，因此要求在300–400米以内地面平坦；但在冬天下雪时，会导致木片含水量增加，除非全地形削片粉碎机在贮木场进行作业。

假如有足够的集装箱可用，使用可互换的木屑集装箱进行长途运输，并不会产生形成热链的危险。木屑卡车通常使用30-50立方米的木屑集装箱，可同时一次使用2或3个集装箱，承载总量可高达80-100立方米。

在进行长距离林木拖运时，全地形削片粉碎机不具有成本竞争力。如果有大量的林木燃料，全地形削片粉碎机就很难满足需求。

5.3.3 终端设备切削

林业废弃物的第三个处理方式是在终端设备进行削片或粉碎。在该系统中，削片作业与卡车运输完全互相独立，避免了热链问题的产生。

这样，不仅设备的技术和操作可行性增加，而且提高了生产能力，降低了成本。此外，还促进了对采购过程的控制，减少了人力需求，并改善了燃料质量控制。因重型固定粉碎机适合于粉碎各种生物质，包括树桩、树根和再生木材，所以可取代移动削片粉碎机。

在芬兰，在处理量很大（只有大型电厂具备固定粉碎机的购买力）且运输距离不超过55公里的情况下，终端设备切削使用固定粉碎机是最经济的选择。燃料流量越大，则越能显示出其优势。需要配有一台重型起重机以及相当宽敞的贮存空间和处理空间。不过，需要对可能产生的噪声和粉尘排放问题予以重视。

该处理方式的主要问题与林木废弃物的长距离运输有关。卡车运输生物质传统上都是松散的林木废弃物、整株或树桩、树根。生物质的低堆积密度是该系统的薄弱环节。如果不对林木废弃物进行压实，则卡车装载量仍然很小。

图 5.5 在终端设备切削松散型废弃物的木屑生产链



来源：VTT, Eija Alakangas

提高卡车装载量的传统方法无非是压实装载物和/或扩大装载空间。新方法就是将松散的林木废弃物打捆为复合残木（CRL）。运输前在林场进行打捆。下面就这两种方法予以讨论。

松散型林木废弃物的切削

图5.5 展现了在终端设备处理松散型林木废弃物的基本工程。林木废弃物的长途运输对于运输设备有一些要求：

- 卡车的装载空间应根据所允许的最大尺寸进行建造。
- 装载空间必须有封闭底部和封闭侧面。
- 卡车应配备专用起重机，要适于装卸废弃物以及压实装载物。
- 特制的林木废弃物抓手比传统的木材抓手要更适于装载。

可通过使用单独的液压汽缸和横撑杆加大林木废弃物的运输密度。该系统的缺点是增加了额外成本，且设备结构较为复杂。图 27展示了运输林木废弃物的典型卡车。

捆包式林木废弃物的切削

对林木废弃物进行打捆是压实原材料的一种方法，旨在提高长途运输能力。按照Fiberpac的设计建造，较早引入于瑞典。Timberjack（现在为部分，且已更名为John Deere）对此技术进行进一步开发，研制出了1490D废弃物打捆机（见图 5.8）。

在该系统中，林木废弃物被压实并捆扎成直径0.7米、长3米的捆包或复合残木（CRL）。一捆“绿色”废弃物的重量为500-550公斤，所含能量约为1兆瓦时。捆包由传统运转车（图 5.7）

图 5.6 Timberjack 1490D废弃物打捆机



来源：Drohms设计和市场//Deere & 公司图像画廊

图 5.7 将复合残木捆包装载到运转车上



来源：Drohm设计和市场//Deere & 公司图像画廊

图5.8 复合残木捆包贮存



来源：Drohm设计和市场//Deere & 公司图像画廊

运至路边，在路边贮存一至三个月以便干燥（图 5.8）。然后，传统的木材卡车再捆包运至电厂。一辆运转车的装载量大约为**12**个捆包，一辆木材卡车的装载量约为**65**捆或**30**吨（卡车拖车组合）。复合残木也可与商用木材如纸浆用木材一起被运至最终使用场地。芬兰的某些电厂利用火车进行长途运输。

在最终使用场地卸载复合残木所用的设备类似于卸载纸浆用木材所用的设备。在大多数情况下，复合残木直接从卡车卸载到粉碎机的进料台上（见图 5.9）。

如果不仅考虑加工链上单独作业环节的成本，同时还考虑到物流、操作可行性、过程控制、可靠性、规模大小以及环境影响因素等情况，大型作业

图 5.9 复合残木的生产链

Comminution at plant
Logging residues



来源：VTT, Eija Alakangas

中应用废弃物捆包方法，其优势更为明显：

- 机器操作相互独立
- 在工业木材采购中灵活整合
- 库存信息准确实时
- 噪音、灰尘和垃圾污染的问题少
- 场所要求低，贮存简便
- 运输成本和日常管理成本降低
- 加强对燃料流量和交货可靠性的控制

其优点还体现在不会产生打捆的额外成本。在芬兰，工厂内废弃物捆包和切削系统在非常短的时间内很快盛行起来。负责为林业采购原材料的组织发现打捆技术是在整合燃料生产中的一个具有吸引力的方法。其它一些国家包括奥地利、法国、德国、意大利、西班牙、瑞士、瑞典、葡萄牙、美国、匈牙利以及捷克共和国都对**John Deere**（原为**Timberjack**）废弃物打捆机进行了测试，部分国家已将其用于商业运行。

针对短途运输，由于是未经处理的松散材料，林木废弃物直接运输至较短距离的电厂仍较为经济。

5.3.4 燃料集散站切削

燃料集散站切削介于贮木场切削和终端设备切削之间。未经切削的生物质拖运至燃料集散站，减短尺寸，变成木屑运往电厂。

如果燃料集散站布点密集，则从林场至燃料集散站的距离就较短。该系统与传统做法即在贮木场切削并无太大区别。

如果燃料生产商仅运营少数燃料集散站，且燃料集散站的位置与生物质资源地的距离较远，则需要分别用转运车进行远离公路运输、用卡车进行公路运输。燃料集散站的规模较大，该系统与在工厂

切削的做法无太大区别。可能需要在燃料集散站铺路，并可能使用固定粉碎机。

燃料集散站可控制采购过程。在冬季，燃料需求高涨而林场工作条件较为困难，这时可将未经切削的生物质贮存在燃料集散站，并对其加工。这样就有可能采用打捆技术为尚未配备固定粉碎机的小型能源电厂供应木屑。

5.4 生物质贮存

根据Vares (2005)，在电厂的燃料贮存量以及其贮存能力取决于几个因素，同时包括与燃料供应商所达成的协议类型（见第六章）。必须保证最低贮存量以便实现燃料的持续供应，达到最高贮存量时要注意防火安全。此外，木屑贮存会有吸入过敏粉尘或微生物的危险，因此，工作人员不应在贮存场单独工作，而且还应保证贮存场四周通风良好。若贮存期较长，则应对林业废弃物加盖覆盖物，以防止霉菌生长。

贮存林业废弃物的最好方法就是将其置于光照充足且通风良好的场所，其地表作过防水处理（水泥和/或沥青）并上面附有覆盖物(Francescato et al., 2008)。然而，考虑到生物质燃料供应链的管理以及生物质电厂旁是否可以存放燃料，林业废弃物可贮存在路边或电厂所在地。通常要求短期贮存一定量的林业废弃物从而保证电厂一天或几天不间断运作。

5.4.1 林业废弃物贮存在路边

根据Savolainen 与 Berggren (2000)，将林木废弃物卸在路边，需遵循以下要求：

- 由于“热链”问题，需要进行仔细规划，比如，削片粉碎机/木屑运载卡车，在一个

环节上做无效工，浪费时间，就会立即影响到整个工作链。

- 场地一定要宽敞、平坦且有良好的承受力。不应出现树桩、大石块或任何其它有碍运输的障碍物。
- 不应靠近电线或电话线。
- 应留有足够空间以便车辆调头或通过。
- 应具备林业废弃物堆放所需的空间，如高宽约5米的堆垛，则每100立方米的林木废弃物所需间隔约为10米宽。

其它与路边贮存相关的注意事项：

- 林业废弃物堆垛应尽量大（实践中，堆垛的最外边缘可最远距离路边5—6米处）。
- 小型堆垛在贮存期间容易变湿。
- 在冬季，为防止林业废弃物污染和受冻，应将几捆整树（或梢头）横放在其底部。
- 林业废弃物堆在路边时，应将树木较粗的一端朝着公路的方向。
- 应避免纵横交错堆垛。

5.4.2 林业废弃物贮存在生物质电厂

根据Vares (2005)，将生物质贮存在电厂必须满足以下基本要求：

- 保证燃料免受天气、地表面及地下水的影响。
- 因自动化能力加强，所以贮存应机械化。
- 运送燃料的车辆必须可直接进入贮存地进行卸载或具有机械化接收装置。

在生物质电厂的燃料贮存至少包括两部分：

- 可供电厂运作数天（一般为2至8天）的临时料仓。

- 配备一个给锅炉供应燃料的自动化终端燃料集散站，要保证电厂长达24小时运作所需的燃料。

在多数情况下，这两部分在同一建筑内，然而，也有可能是在不同的地方。在小型电厂，一台推土机便可将林业废弃物燃料从临时料仓拖运到终端燃料集散站。在大型电厂，使用自动化起重机为终端燃料集散站供应燃料。

5.5 中国生物能源燃料链案例研究

众所周知，在中国至少有一些生物质发电厂使用林业废弃物作为其燃料之一（如山东省和河南省的30兆瓦发电厂，主要使用树皮和木屑），但尽管如此，还是很少看到有关用于发电的林业废弃物的英文公开资料。

5.6 欧洲生物能源燃料链案例研究

如5.1节所述，芬兰和瑞典在使用林业废弃物进行电力生产方面最具经验。在EUBIONET-2项目框架中(www.eubionet.net)，由欧盟执行委员会资助，开展了30多个供应链方面的案例研究，描述了整个欧洲的生物能源电厂的生物物质供应链。芬兰和瑞典同时包括以林业废弃物为基础的供应链⁹。

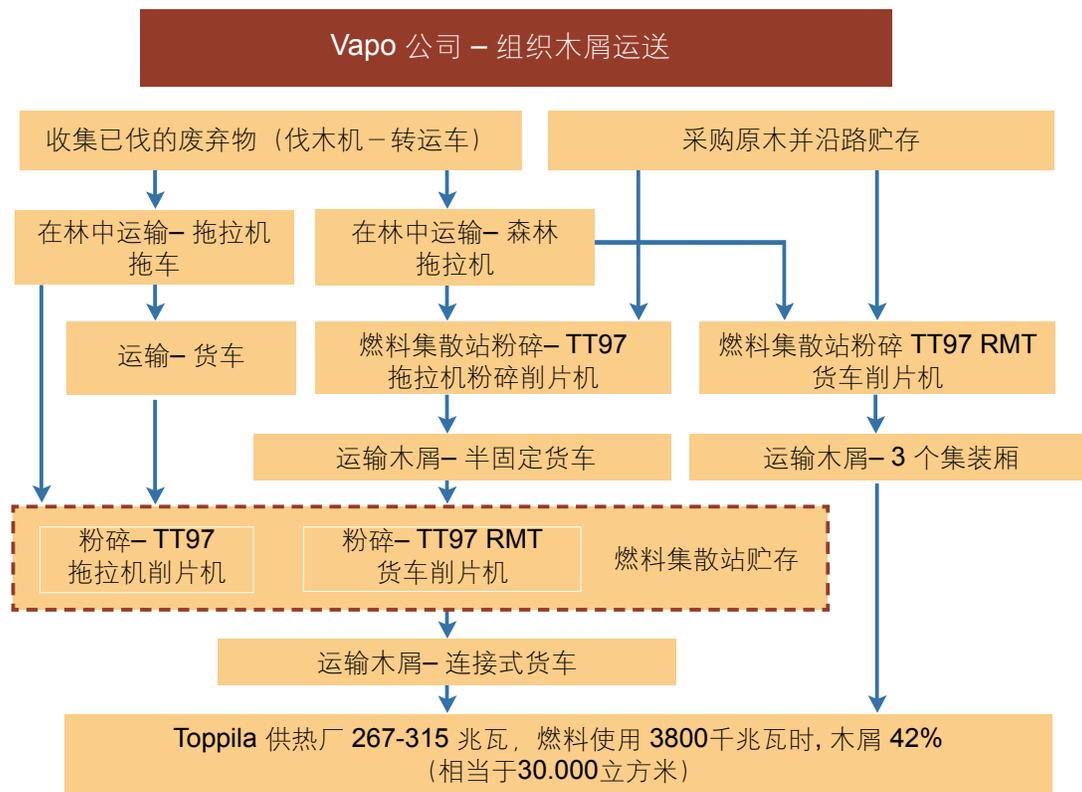
案例研究的另一个颇具价值的来源便是5EURES项目，该项目也由欧盟执行委员会资助¹⁰。

9.案例研究#2 芬兰中部 CHP 电厂的林业废弃物供应链和案例研究#7

瑞典早期间伐所产生的木屑供应链。案例研究详见 eubionet2.ohoi.net。

10.项目5EURES-欧洲5个地区生物能源生产技术指南的研究资料详见 www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/5Eures/study_material_index2005.htm

图 5.10 整合不同供应概念的木屑运送系统



来源：BTG/Drohms 设计和市场，根据 Pöysti, 2005

图 5.10 和图 5.11 以图例形式展示了两个林业燃料供应系统的样本，该样本分别为 VAPO 和 UPM-Kymmene 公司所运用（来源：Jyrki Pöysti, 2005）。本章之前的章节，特别是 5.2-5.4 节讨论了组成各个燃料供应链的多个单元作业。请注意每种生物质燃料不同，其供应系统也不同。

5.7 结论和建议

结论

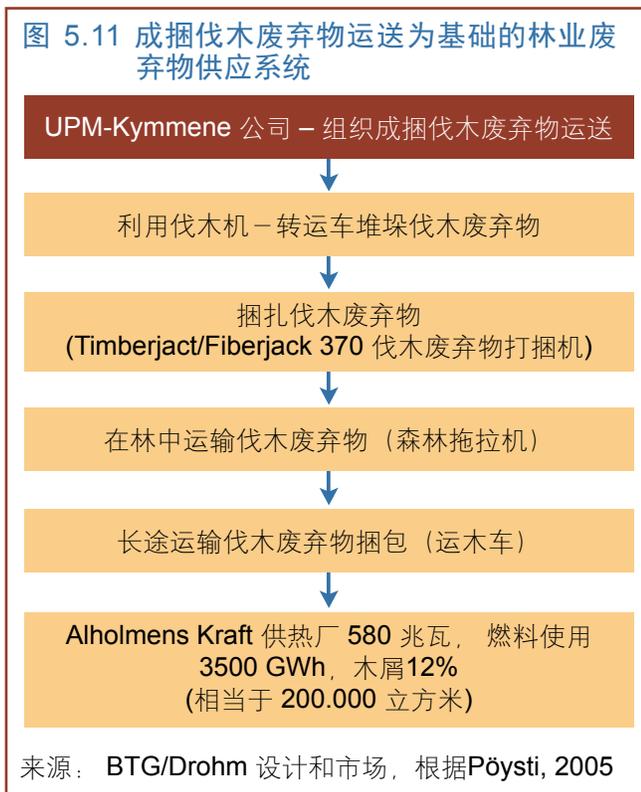
中国林业废弃物供应商所面临的问题在于燃料收集，即需以最低成本实现最大收集量。可借鉴瑞典和芬兰的重要经验教训，这两个国家过去几十年

里，在利用林业废弃物燃料进行区域供热、热电联产和发电方面积累了丰富的实践经验。

中国不能直接照搬北欧国家在大规模木屑供应方面的经验。不同国家和地区之间在木屑生产方式和成本构成方面的差异很大。应考虑到中国当地条件和实际情况。一般而言，成本取决于供应链中的各操作环节组织与设计的好坏。此外，采购系统的效率很大程度上取决于当地的环境和基础设施。同时也受到经济、社会、生态、工业和教育因素及当地传统的影响。

选择林业燃料采伐技术，需要进行全面的技术分析，应考虑：

图 5.11 成捆伐木废弃物运送为基础的林业废弃物供应系统



- 林业燃料和其它燃料的年需求量
- 林业燃料的年供应量
 - 燃料组合 (废弃物、小杆、树桩)
 - 森林中/公路网络的运输距离
- 电厂地址 (位于市中心或郊区)
- 电厂场院大小 (贮存)
- 生物质电厂的类型 (仅发电、仅供热还是热电联产)
- 木屑生产的主导技术
- GIS (地理信息系统) 适用性和成本分析。

燃料切削加工是生产链中最为重要的环节，因此林业燃料供应链应设在削片粉碎机和碾压机附近。为选择最为合适的切削系统，应重点考虑以下问题：

- 热链还是冷链。在路边进行切削，削片粉碎机与卡车互相依赖 (“热链”)，因

此，削片粉碎机或削片卡车相互等待，其操作时间可能会被浪费，导致利用率低，切削成本高。在终端设备切削，削片粉碎机和卡车互不依赖 (“冷链”)，可确保较高的利用率，因而切削成本也较低。

- 装载量。未处理材料的低堆积密度/装载量是终端设备切削系统中的薄弱环节。新技术 (如，伐木废弃物的捆扎或小杆条桠的采伐) 将有助于加大堆积密度并降低运输成本。
- 投资成本。集中化切削设备的成本较高，终端设备切削系统仅适合于大型电厂。路边卸货切削系统适用于较小型的能源电厂。

由于森林资源、年采伐量以及设备成本结构的不同，各国的木屑供应成本和生产力也有所不同。成本通常取决于在 “供应链” 中所有操作环节的功能发挥程度。一般而言，林业废弃物的生产成本很大程度上取决于以下标准：

- 切削类型
- 运输距离
- 贮存和干燥
- 机械化程度
- 地面坡度
- 所用设备的类型和大小
- 国内劳动力成本

当有多处林业废弃物采伐点供选择时，从生物质供应角度考虑进行选择。一个好的林业废弃物采伐点应具备的特征包括：

- 带有大量树叶和枝条且在林场所占比例大的树种如云杉 (挪威云杉)，能够实现良好的回收利用率与生产力

- 足够肥沃的土壤
- 足够规模的采伐点或林木集中点
- 易于穿行且具备良好承受力的地面
- 无阻碍林产的林下灌木丛
- 短距离地形运输
- 具有长途运输所需的宽敞的路边贮存区。

至电厂的拖运距离的长短有助于确定最经济的采伐链。拖运距离应保持在合理范围内。如果距离过长，难以向大型生物质电厂提供足量的生物质燃料，则不妨更明智地选择向小型电厂或者是生物质混燃电厂供应。

6. 生物质燃料供应管理

6.1 生物质燃料供应的组织

生物质电厂的运行需要有生物质燃料。为了实现电厂的连续运行，特别是在电厂最初运行阶段，需要贮存一定量的生物质燃料。这需要定期向电厂供应生物质燃料，以补充库存。如果是大型发电厂，则有可能每天都需要几十辆卡车或几节列车载量的生物质燃料。

为确保生物质供应链有效运行，在电厂的规划阶段和运作阶段，都需要对燃料供应商进行良好组织。组织效率高，就能以可接受的成本购买燃料，从而才能确保电厂经营获利。此外，如果有向生物质电厂提供投资资金支持的相关实体，则通常要求在提供项目资金之前，燃料供应合同已准备就绪。

由于生物质供应链取决于多个因素，因此如何对生物质燃料供应链进行最佳组织与周密安排，这方面并无标准办法可言。但可以了解燃料供应所应考虑的一些重要问题。本章将就相关内容予以阐述。

第6.2节提出了与生物质燃料合同相关的主要问题。这些问题需要在项目规划阶段仔细考虑。第6.3节针对项目运作阶段，提出应关注电厂的活动（取样、排除、监控等），以确保所收集的生物质燃料符合供应合同要求。同时，也阐述了对燃料进行检查和质量控制的方法途径。

由于各种原因，燃料供应的实际价格、数量、技术规范等方面内容可能与合同规定不符，因此，相应地制定一套策略方法以缓解燃料供应的不规则问题和风险，对生物质电厂而言颇为重要。第6.4节阐述了利用燃料供应风险矩阵制定缓解策略的方法。

6.2 生物质燃料合同

在电厂规划阶段，中国的生物质直燃电厂最好应签订一份长期生物质燃料供应合同，以确保电厂运行所需的大量生物质燃料。生物质燃料合同指的是以适当方法适质适量适时适价地确保生物质燃料供应的所有活动。

生物质燃料供应合同主要涉及的问题有燃料数量、燃料质量（包括质量标准与技术规范）、燃料定价、及燃料交付。生物质燃料供应合同所涉及的其它重要条款通常包括担保、抽样、付款条件、超出买方或卖方所控条件时的免责条款、对未遵守约定的处罚以及其它条款和条件。

生物质电厂可选择与单个、几个或多个供应商签订燃料供应合同。建议至少与几个不同的燃料供应商签订合同，以避免因一个主要供应商的问题而出现燃料中断，或燃料价格太高导致临时停运。例如，河南省12兆瓦生物质电厂已选择与许多小型燃料经纪人合作，以防止一个大型燃料供应商或经纪人操控燃料价格。

如果电厂决定与几个首选的供应商交易，就应对其实力和可靠性进行全面评估，以确证燃料供应。如果电厂与为数众多的供应商交易，则此类评估不足为重（也许甚至并不可行）。

如电厂选择与少数几家供应商进行合同交易，燃料的个体所有者（土地所有者/作物种植户）可进行捆绑，与电厂合作并签订合同。另外，个体燃料供应商可以作为土地所有者/作物种植户与电厂之间的中介进行经营。

附件8是一份生物质燃料供应合同，并附有指导说明，由**Carbon Trust**（英国）碳信托公司制定。包含了目前中国生物质燃料供应管理方法的相关调查。

6.2.1 生物质燃料数量

生物质电厂所需的燃料数量与电厂装机能力、运行小时数、负荷系数及转换效率直接相关。其它重要因素包括：生物质燃料使用类型、其堆积与能量密度、含水量、热值等¹¹。即使生物质（木材）类型相同，此类参数也会有较大变化¹²。

第一步就要确定电厂需要使用哪种（些）类型的生物质燃料，并估定每一时段（如每天、每周、每月或每年）所需的每种生物质类型的大约数量。众所周知，中国电厂通常设计得极为灵活，并具备了所需的运行许可证，以便对不同类型的生物质进行混烧。

实际合同签署使用哪种生物质燃料，并不完全依赖于生物质燃料本身的可获得性，而在于其价格是否合理。这一概念也被称为“收缩性”。以下这些重要因素有助于确定特定供应商在特定时间里提供的特定类型生物质的可获得性：

- 供应半径情况
- 竞争性用途（应用）
- 其它供应商的竞争
- 季节模式（作物生长/采收季节）
- 地形条件（在冬季或梅雨季节期间禁止进入）等。

在生物质资源评估未涉及这些因素的情况下，电厂与燃料供应商在签订任何合同之前，都应将这些方面问题考虑在内。

6.2.2 生物质燃料质量

生物质燃料质量对于燃烧过程和设备使用寿命均有巨大影响。特别是小型电厂对生物质燃料质量要求更高。为此，将质量要求纳入生物质燃料供应合同中是非常必要的。

为帮助生物质发电厂制定质量要求，采用燃料标准比较可行。固体生物质标准已引入欧洲和个别欧洲国家，这有助于生物质燃料成为一种具有共通定义、共通方法与明确分类系统的商品。在欧洲，欧洲标准化委员会（**CEN**）制定各项标准，以描述各种形态的固体生物质，包括木屑、木质颗粒和压块燃料、原木、锯屑以及农作物秸秆捆包。有关**CEN**生物质燃料标准与技术规范的详细信息，见附件2。

¹¹相关燃料特性的具体信息，参见第2章

¹²虽然不同木材种类之间的能量含量（根据重量）差别很少，但密度相差却巨大。因此，如果最终用户以称重方式购买生物质，则木材的种类不是问题（虽然很明显，生物质的水分含量是个问题）。然而，如果根据体积购买生物质，则能量含量将取决于木材的种类。例如，软木木屑的热值一般为**0.70**兆瓦时/立方米，水分含量为**30%**，而硬木碎片的热值为**1.02**兆瓦时/立方米，含水量为**30%**。此外，堆积密度相差巨大，将导致体积差别急剧扩大，切削**1**立方米固体木材，其削片是最初体积的**2至5.5**倍。来源：**Carbon Trust (2005a)**，见附件9。

如果燃料不符合燃料技术规范，经买卖双方协商一致，买方可拒收该燃料或降价收购。

6.2.3 生物质燃料定价

为确保生物质电厂能够实现长期经济运行，关键在于能以可接受的价格获得生物质燃料。生物质电厂应确保低成本原料供应。电厂所需支付的生物质燃料价格取决于多个因素，包括燃料类型（种类）、质量、供应商的供应量、可靠性、当地市场条件、可获得性（取决于如季节、天气以及市场竞争条件）以及运输距离和成本。既然生物质燃料的最终价格受到诸多不同因素的影响，建议确定基准价并每隔一段时间进行市场调查（就当前废弃物供应量与需求及未来竞争对手方面进行数据收集与分析）。

最终价格可以是与燃料供应商协商达成的固定价格，也可以由供应给电厂生物质的全部成本的初始价格加价格指数构成。

初始价格随着时间推移，根据定期协商达成的指数而变化（Carbon Trust, 2005b）。

在谈判时，生物质电厂的所有者了解生物质燃料的成本结构是非常重要的。高度发达的丹麦“农作物秸秆转化为能源”市场，以及芬兰和瑞典的“木材转化为能源”市场，每隔多年，都要对燃料成本结构进行调查。（DTI, 2007a和DTI, 2007b）提供了丹麦小麦秸秆（大捆包生产）的成本结构，包括田间小麦秸秆的价值（每吨5欧元）、翻晒/搂耙（每吨5欧元）、打捆（每吨19欧元）、装载、运输与卸载（每吨6欧元）以及贮存于农场（每吨14欧元）等方面（DTI, 2007）。图 6.1为不同种类林业废弃物的成本结构的举例。

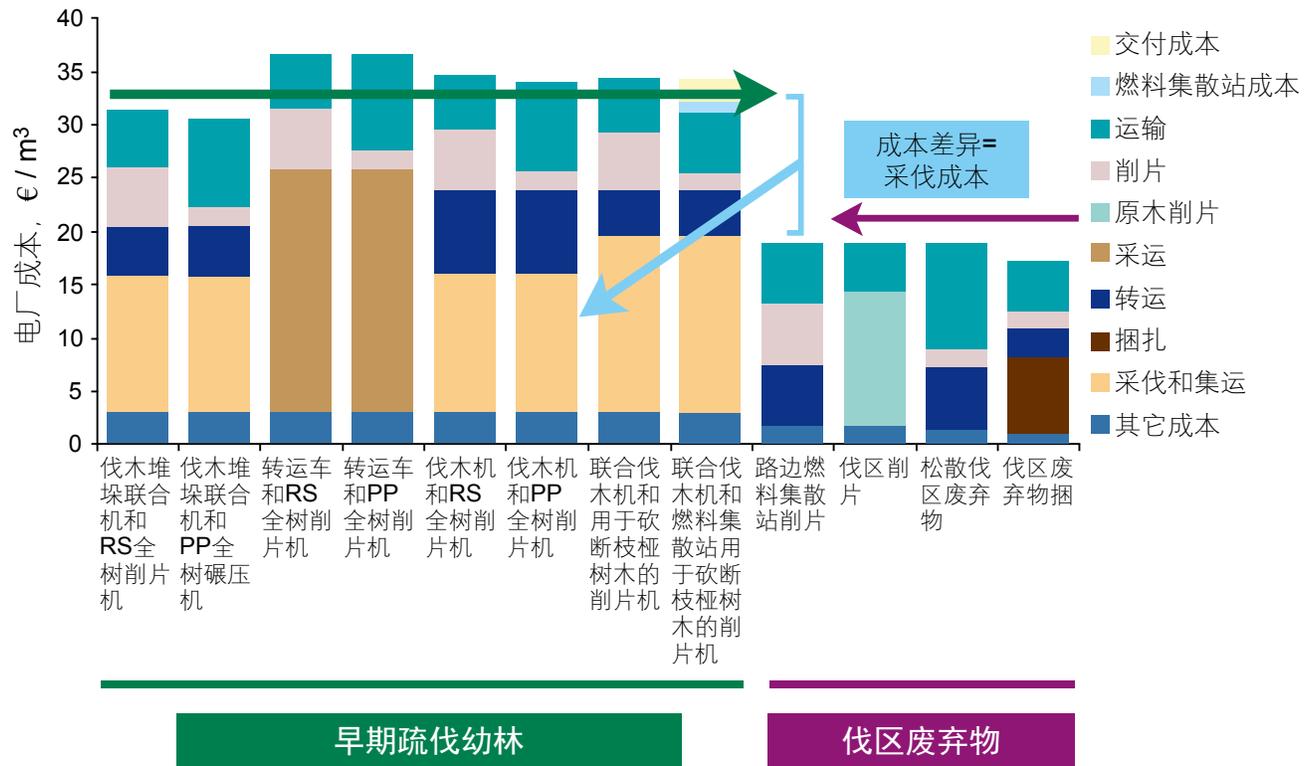
对所有生物质燃料而言，含水量是一项非常重要的质量指标。干生物质比湿生物质所含的特定能量更多。为此，建议在生物质合同里，应尽可能将含水量体现在生物质的定价上。Van Loo and Koppejan (2008) 提到三种不同的选择方案，可将燃料价格定价反映到所交付的能量含量上。详细内容见附件10。

用于能源生产的农林废弃物的需求和使用的增加（比如，在同一个区域内建起了一座新的生物能源电厂）会提高其原料供应价格。首先，对于原材料本身，是对其使用竞争加剧的直接结果。其次，是原材料的运输，有可能需要从更为困难和遥远的地点获得原材料。有两个实例可说明价格的上升趋势。在芬兰，伐区剩余物木屑的价格在20世纪80年代和90年代是下降的，但在本世纪初价格却又有所回升，部分原因就在于需求增加了。在荷兰，小麦秸秆利用的急剧竞争（还田、牛饲料、园艺、郁金香的垫草）导致价格高达每吨100欧元。新生物能源技术的开发和应用会进一步加剧农林废弃物的市场竞争。相关例子包括第二代乙醇生产或“生物质转化为液体”用于供热。

6.2.4 生物质供应合同应考虑的其他事项

6.2.4.1 季节性限制：特定燃料，如农林废弃物可能仅在特定期限或在某种田间条件下才能获得。斯堪的纳维亚国家由于地形所限，一年里有部分时间是无法进行森林作业的。农业废弃物的收割时间一般仅为2个月左右。为解决此类季节性限制，重要的是构建一定的生物质存储能力，并具备足够大的燃料库存（在生物质电厂或供应链的任何环节）。此外，生物质电厂要尽可能与农业种植户/森林拥有者一起制定种植/收集方案。例如，当农作物秸秆在某一期间内可收割时（即使一般农作物

图 6.1 不同林业废弃物的成本结构



来源: Laitila, 2005 注: RS = 路旁; PP = 电厂。

秸秆的收割时间为2个月), 在该时期就应较少贮存农作物秸秆, 从而使贮存成本降低。

6.2.4.2 初始燃料库存构建: 在电厂最初运行时特别关注。最初运行所需的生物质燃料应该与供应商签订合同, 并在电厂开始全面运作之前的几个月里陆续到位。这要求提早签订燃料合同并建造有效的防火防雨贮存场所, 还要有充足运行资金用来支付燃料供应与设备支出。为了能把临时停运的风险降至最低, 生物质电厂应始终保持燃料的缓冲库存, 以免出现燃料供应中断。

6.2.4.3 合同持续时间: 生物质电厂一般采用长期生物质供货合同。一方面, 因为项目融资方要

求收入保证; 但另一方面, 农民/土地所有者倾向于维持收入保证(长期合同)和保持一定灵活性之间的平衡。

6.3 生物质燃料供应控制

6.3.1 燃料质量控制措施介绍

在电厂运行阶段, 需要在电站开展许多工作, 以确保所收集的生物质燃料满足供货合同的要求。这些工作包括: 厂外运输、厂内燃料检查与质量控制、燃料到厂价格的确认、厂内燃料装载、运输与贮存的管理、员工培训与管理等。每项工作都应与其它方面良好协调以确保燃料供应和降低风险。

相关工作内容包括(CECIC, 2009a):

- **厂外燃料运输系统**: 主要包括厂外道路的建设与维护、装载系统和运输的选择与改善、与当地运输部门的沟通协调等。目前, 装载系统与运输通常由燃料供应商自己进行管理, 电厂负责道路维护, 并与当地运输部门进行协调。
- **厂内检查与质量控制系统**: 燃料质量控制是生物质发电厂运行的关键步骤。需要根据评估等级、评估指数以及生物质锅炉与其它设备方面的要求, 进行燃料评估。不断完善质量控制与评估记录管理较为重要。附件11是芬兰对木质燃料所采用的抽样和处理过程的例子。
- **燃料到厂价格**: 燃料的价格根据不同的燃料类型、不同的季节、不同的质量以及燃料供需方面的关系而波动。同时, 需要设立科学可行的定价和燃料采购方法, 以鼓励农户将燃料收集起来并运送到电厂。
- **厂内装载、运输与贮存系统**: 以25兆瓦的生物质发电项目为例, 该项目每天所需生物质燃料超过500吨。通过有效的燃料装载、选择合适的给料系统、燃料贮量和模式来确保燃料的充足供应是非常重要的。此外, 还应确保厂内道路布局与建设, 以及防火防水系统的设计和施工。
- **员工培训与管理**: 目前, 在中国的生物质直燃电厂, 约有50%的员工与生物质燃料供应有关。他们在燃料供应系统效率与发电成本控制方面发挥着重要作用。

6.3.2 燃料供应控制的质量管理

为确保所交付的生物质燃料符合供货合同中的质量标准与技术规范, 需要在整个生物质供应链实行燃料检查与质量控制。所有参与到生物质供应链相关工作的操作员都应采用燃料质量控制措施。特别是生物质发电厂的大门口处是进行实物(物理)接收的地点, 应在此对燃料进行抽样、排除与监测。

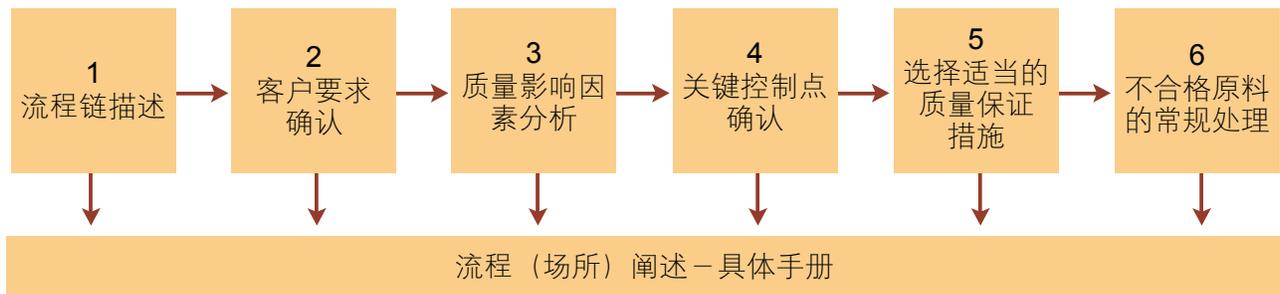
在整个供应链中进行燃料质量控制的可行手段就是使用“质量管理”体系。Langheinrich and Kaltschmitt (2006) 制定了一项“6步法”, 用以设计固体生物质供应的质量管理(QM)体系(见图6.2)。他们建议在操作指南中应包含质量管理(QM)体系的具体实施, 以确保所有流程与相互关系都纳入控制范围。该手册最起码应涉及以下内容:

- 起始(原材料追溯地)文档
- 流程链中的各个步骤、关键控制点(CCP)、确保对关键控制点进行适当控制的标准与方法、不合格产品(生产要求)
- 关于运输、预处理与贮存的描述
- 质量声明/标注(最终生产技术规范)

该方法的描述更详细见附件12。

质量保证(QA)应(a)简单易行(b)不会引起不必要的官僚作风(c)为生产商和用户节约成本。运用质量保证(QA)措施应能够降低质量控制措施成本并降低损失成本。

图 6.2 质量保证 (QA) 应用和实施方法学



来源: BTG/Drohms 设计和市场, 根据 Langheinrich和Kaltschmitt 2006

质量控制 (QC) 包括选择和运用适当的抽样技术、缩小样品范围技术以及测试方法。质量控制 (QC) 对于评估所交付燃料的性能很重要, 但并不直接对产品质量产生作用。抽样与测试方法的实施费用较高, 应谨慎使用, 且不可作为常规事项 (Langheinrich and Kaltschmitt, 2006)。

6.3.3 案例研究: 丹麦农业废弃物的质量管理

在“农作物秸秆转化为能源”高度发达的丹麦市场, 农作物秸秆如出现发霉现象, 大部分都能凭肉眼察觉。电厂利用自动化测量系统测重, 而小型的区域供热厂则通过卸载以手工测重。通过将测量矛插入农作物秸秆捆包中, 测定其含水量。通常, 对每辆车的装载量 (16–24捆包), 测量矛至少要插入4个捆包的不同位置进行测量。然后根据所测定的含水量确定生物质的价格。

如果平均含水量超出13%, 则每超出13%含水量一个百分点, 应付装载量将减少两个百分点。虽然付款单位仍为欧元/吨, 但装载价格却降低了。如果两个捆包的平均含水量超过23%, 则该装载将被拒收。如果平均含水量低于13%, 则每低于13%

含水量一个百分点, 应付装载量将增加两个百分点, 但最高只能增加十个百分点。如果含水量低于10%, 则不对价格做继续调整 (DTI, 2007b)。

6.3.4 案例研究: 芬兰林业废弃物的质量管理

芬兰中部的“木材转化为能源”市场高度发达, 燃料价格根据能量含量而定, 热电联产厂内的燃料检查通常注重两个方面: 含水量与净热值。当卸载林业废弃物时, 卡车司机利用特殊的样品桶, 用手收集燃料样品。样品桶直径约为15厘米。根据标准, 从一辆卡车拖车装载量里取4–6个样品。在实践中有时仅从卡车和拖车中各取一个样品。这导致单个装载量的性能确定并不准确, 但如果年供应量较大, 偶然出现的过错可平摊到多个装载量内。将单一燃料样品进行组合, 并从组合的样品中每天测出每个供应商所供燃料样品的含水量。热值的测定频率要低些, 例如每月一次。粒径大小的测定仅在比如引入新机器或新原料时进行, 或在随机控制时进行 (DTI, 2007a)。使用地磅测定重量, 随后根据“欧洲技术标准CEN/TS 15234”计算出能量含量。

6.4 供应风险管理的减缓策略

除了在正常条件下组织有效的燃料供应，生物质电厂还应制定应急体系以应对可能发生的燃料供应中断。造成燃料供应中断原因各不相同，在大量供应风险中，与生物质电厂最为相关的，应视具体情况而定。对生物质电厂的所有者/经营者而言，重要的是要制定自己电厂的风险评估。比如，仔细检查可能引起生物质供应中断的因素，并制定恰当的减缓措施，以便能够格外注意到那些最具可能性和/或产生最大影响的风险。

生物质燃料供应风险矩阵是确定生物质燃料供应主要风险和减缓方案的适用工具。风险矩阵由以下步骤组成：

- **原因**：识别在生物质燃料供应链中导致供应中断的风险。在风险识别过程中，所有潜在的燃料供应风险，不管其概率高低和影响程度大小，都可被识别出来。风险是阻碍项目目标实现的不良事件。
- **潜在影响（事件）**：当事件发生时，确定该事件对生物质燃料供应所产生的后果。
- **风险概率分类**：
 - 风险概率（低/中/高）；风险事件发生的可能性
 - 风险影响（低/中/高）；风险事件发生后所产生的后果将影响到项目目标的实现
- **补救方法**：制定解决方案将风险减至最小或根除风险（减缓策略）。减缓策略方面的例子包括生物质合同、燃料检查（抽样、排除、监控等）、工程设计（两个给料系统、燃料供给缓冲能力、贮存）以及替代生物质燃料的可获得性。

可采用以下两种可能的方法来划分风险等级：

- **数字尺度**，确定风险概率和影响程度并以数值形式反映，从**0.01**（非常低）到**1.0**（可确定）
- **序号尺度**，识别风险并进行风险等级划分：从非常高到极不可能

将识别出的每个风险反馈到矩阵中，包括风险（原因与后果）、风险发生概率及可能产生的影响。发生概率高且影响大的风险比发生概率低且影响小的风险对生物质发电项目所产生的威胁要严重得多。

许多潜在的风险源可能影响到电厂以合理价格持续获得原料 (Thornley, 2009)¹³。相关的文献研究以及作者本人在世界各地开发生物能源项目的长期经验表明，对于燃料供应风险的管理是电厂实行高效经济运行的关键。附件13中所述生物质燃料供应风险矩阵用来举例说明一般性的供应风险与减缓因素。没有对中国几个电厂的经验进行详细（现场）研究，就不可能正确识别最为相关的供应风险并对其进行等级划分。建议电厂在项目规划阶段制定燃料供应风险矩阵。由生物质供应专家协助，可确定供应风险并制定出最为恰当的减缓策略。

世界各地经验表明，并不是只有中国的生物质电厂才碰到生物质燃料供应风险管理方面的问题。比如在美国（中西部、东南部以及德克萨斯州（美国）的以木质生物质为燃料的发电项目，也正面临

¹³.来源：Patricia Thornley博士，曼彻斯特大学Tyndall气候变化研究中心。在她的研究中，已为生物质电厂识别出几百项风险因素。

¹⁴.网络研讨会名称为“用于发电的木质生物质供应风险管理”，举办时间为2009年10月16日。

现有林业生物质供应商的实际供应能力不能满足电厂燃料的需求。如前所述，生物质燃料供应专家可帮助确定关键性的实物（物质）交付风险、减缓策略以及价格风险管理方面的挑战与机会。此类问题已在最近由**Electric Utility Consultants Inc.**组织¹⁴的网络研讨会上有所涉及。

6.5 结论与建议

建议生物质电厂谨慎选择生物质燃料供应商，与首选供应商建立长期合作关系，并签订长期供货合同。

与几个或多个燃料供应商（经纪人）签订长期合同有助于降低生物质供应风险。农民/土地所有人通常考虑到收入安全性（长期合同）与灵活性之间的平衡，他们可能倾向于签订短期合同。

生物质发电厂只有与燃料经纪人或其它外包单位签订了全面燃料供应合同，在这种情况下才可以，其真正参与到燃料供应环节是从发电厂的大门口开始。

生物质电厂应始终保有一定燃料库存。对于像中国的大型生物质电厂，每天都需要有各种燃料交付。所以电厂的设计应具有一定的燃料灵活性，并且很重要的是构建足够的贮存能力，从而能考虑到在燃料供应中出现预期的（如中国新年（春节）放假）或不可预见的燃料供应中断。

为确保电厂全年生物质能源的供应，电厂所有者/经营者可采取一些方法。此类方法包括与农业种植户/森林所有者制定种植计划、构建充足的贮

存能力以便持续运作，以及制定生物质燃料交付的进度计划。

将燃料质量标准与技术规范纳入合同内容，从而使所供应燃料与所安装的能量系统相匹配。如果生物质燃料不符合合同规定，可予以拒收或降低燃料价格。

在进行燃料供应谈判交涉时，对于生物质电厂的拥有者来说，了解生物质燃料的成本结构非常重要。因为含水量关系到燃料热值，建议将其反映在生物质燃料价格上。

建议确定生物质燃料的基准价格，并定期进行市场调查（对可获得量、当前和未来的需求以及竞争对手进行数据收集与分析）。

用于能源生产的农林废弃物的需求和使用的增加会使原料价格上涨。

除了在正常条件下组织有效燃料供应，生物质电厂还应制定应急体系以应对燃料供应中可能出现的燃料中断现象。燃料供应风险的管理是电厂实行高效经济运作的因素。建议在实物交付风险管理方面，不要依赖于单一类型的生物质燃料。

发电厂应进行燃料供应风险评估，如仔细检查造成生物质燃料供应中断的原因，制定合适的减缓策略。应优先处理高概率和/或最具影响的风险。

生物质燃料供应风险矩阵是确定生物质燃料供应主要风险和减缓方案的适当工具。生物质供应专家有助于协助发电厂确定供应风险并制定出最合适的风险减缓策略。

建议投资者使用一种工具对生物质燃料供应进行管理，如“质量管理”体系（QM）。在操作指南中应包含质量管理（QM）体系的具体实施步骤，用来指导供应链上相关操作者的工作。

在价格风险管理时，一个令人感兴趣的做法是给首选的生物质供应商电厂股份。生物质供应成本是电厂财务绩效的重要参数。如果生物燃料供应商在电厂运作中拥有财务股份，这将减少其不合理提高燃料价格的情况发生。

- 5 EURES Project of the European Commission. not dated. Study material Page: Bioenergy Production Know-How to Five European Regions. www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/5Eures/study_material_index2005.htm.
- AEBIOM. 2007. "Procurement of Forest Residues." Brochure produced in the frame of the RestMac project. Brussels, August 2007.
- Alakangas, E. Properties of wood fuels used in Finland, Technical Research Centre of Finland, VTT Processes, Jyväskylä, Finland. Project report PRO2/P2030/05 (Project C5SU00800), BIOSOUTH publication. 90 p. + app. 10 p. http://www.biosouth.com/pdf/BIOSOUTH_Wood_fuel_properties_Oct2005_rev2.pdf
- Alakangas, E. 2008. "European Standards for Solid Biofuel. Fuel Specification and Classes, Multipart Standard." Prepared for the PHYDADES project (www.phydades.info). VTT Energy, Jyväskylä, Finland.
- Alakangas, E. & Virkkunen, M. Biomass fuel supply chains - from large to small scale, EUBIONET III publication, 32 p. (www.eubionet.net) www.eubionet.net/GetItem.asp?item=file;4950
- Alakangas, E., T. Sauranen, and T. Vesisenaho. 1999. "Production Techniques of Forestry Residues in Finland." Training Manual ENE39/T00039/99. VTT Energy, Jyväskylä, Finland.
- Bertani, Ruggero. 2008. "World Geothermal Generation in 2007." Ente Nazionale per l'Energia Elettrica, International Division, Renewable Energy Business Development, Rome.
- BENET. 2002. Wood Fuels Basic Information Pack. Second edition. Textbook coordinated by BENET Bioenergy Network of Jyväskylä Science Park Ltd (Finland).
- BIOENER. Various fact sheets at company Website www.bioener.dk.
- Biomass Energy Centre (2009), Website www.biomassenergycentre.org.uk. Accessed August 2009
- BTG (Biomass Technology Group BV). 1996. "Synthesis Report of the European Energy Crops Overview (EECO) Project." Enschede, the Netherlands.
- . Forthcoming. Harmonization of Biomass Resource Assessments. Volume 1: Best Practices and Methods Handbook. Report of the Biomass Energy Europe (BEE) project. Enschede, the Netherlands.
- Carbon Trust. 2005a. "Biomass Heating. A Practical Guide for Potential Users." London, UK. <http://www.renewableeast.org.uk/uploads/CTG012-Biomass-EU-AF-v16-160109%281%29.pdf>.
- . 2005b. "Draft Biomass Fuel Supply Contract." London, UK. <http://carbontrust.co.uk/NR/rdonlyres/CB93D028-792D-4353-857E-39A1AF0CECA9/0/REVISEDCONTRACTFORSUPPLYOFBIOMASSFUEL2.doc>.
- . 2005c. "Guidance Notes for Completion of Biomass Fuel Supply Contract." London, UK. <http://www.carbontrust.co.uk/NR/rdonlyres/1A006068-F55F-4B97-A1E5-68772D28414B/0/GuidancenoteforfuelsupplycontractCTTemplate.pdf>.

- CECIC. 2009a. "A Fuel Supply Handbook for Biomass-Fired Power Projects." Draft report prepared for the WB/ESMAP China Biomass Cogeneration Development Project. Beijing: CECIC Blue-Sky Investment Consulting & Management Co., Ltd.
- . 2009b. "Study on Developing Technical Guidelines on Biomass Combustion Power Generation Projects." Prepared for the China Renewable Energy Scale-Up Program, Beijing. CECIC Blue-Sky, March.
- DTI (Danish Technological Institute). 2002. "Straw for Energy Production: Technology—Environment—Economy." Second edition. DTI. Aarhus, Denmark. <http://www.videncenter.dk/>.
- . 2007a. "Supply Chain for Straw to District Heating Plant." EUBIONET 2 Supply Chain Fact Sheet No. 11—Denmark. Produced by Danish Technological Institute—Centre for Renewable Energy and Transport, Aarhus, Denmark. <http://eubionet2.ohoi.net/GetItem.asp?item=file;4862>.
- . 2007b. "Supply Chain for Straw Pellets to Power Plants." EUBIONET 2 Supply Chain Fact Sheet No. 12—Denmark. Produced by Danish Technological Institute—Centre for Renewable Energy and Transport, Aarhus, Denmark. <http://eubionet2.ohoi.net/GetItem.asp?item=file;4863>.
- Edwards, R. A. H., M. Šúri, T. A. Huld, and J. F. Dallemand. 2006. "GIS-Based Assessment of Cereal Straw Energy Resource in the European Union." In Proceedings of the Expert Consultation "Cereals Straw Resources for Bioenergy in the European Union." (Ispra, Italy: European Commission, DG Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit).
- EECI (European Energy Crops InterNetwork). <http://www.eeci.net>.
- Emilsson, Stig. 2006. "International Handbook—From Extraction of Forest Fuels to Ash Recycling." Produced for the EC-funded RecAsh project (LIFE program). Swedish Forest Agency. http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=brochure&fil=Recash_International_Handbook_Final2006_EN.pdf.
- EUBIA (European Biomass Industry Association). 2005. "There are four main supply chains of forest residues." <http://www.eubia.org/191.98.html>.
- . Case study 2, "Forest Residue Supply Chain for CHP Plants in Central Finland," and case study 7, "Supply Chain for Wood Chips from Early Thinning in Sweden." eubionet2.ohoi.net.
- Forestry Commission Scotland. 2009. Wood Energy Website: www.usewoodfuel.co.uk.
- Francescato, V., E. Antonini, L. Z. Bergomi, C. Metschina, C. Schnedl, N. Krajnc, K. Koscik, P. Gradziuk, G. Nocentini, and S. Stranieri. 2008. "Wood Fuels Handbook: Production, Quality Requirements, Trading." Italian Agroforestry Energy Association (AIEL), Legnaro, Italy. http://nuke.biomassstradecentres.eu/portals/0/d2.1.1%20-%20wood%20fuels%20handbook_btc_en.pdf.
- GIEC (Guangzhou Institute of Energy Conservation). 2005. "Consultation on Biomass Power Generation Technology Improvement." Prepared for the China Renewable Energy Scale-Up Program (CRESP). Guangzhou.
- Graham, R. L., E. Lichtenberg, V. O. Roningen, H. Shapouri, and M. E. Walsh. 1995. The Economics of Biomass Feedstocks in the United States. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge, Tenn. <http://bioenergy.ornl.gov/papers/bioam95/graham3.html>
- Hakkila, P. 2004. Developing Technology for Large-Scale Production of Forest Chips. Wood Energy Technology Programme 1999–2003. Technology Programme Report 6/2004. Helsinki, Finland: TEKES. www.tekes.fi/julkaisut/Wood_Energy_Final.pdf
- Huisman, W., B. M. Jenkins, and M. D. Summers. 2002. "Cost Evaluation of Bale Storage Systems for Rice Straw." Department of Biological and Agricultural

- Engineering, University of California, Davis. <http://faculty.engineering.ucdavis.edu/jenkins/projects/RiceStraw/RiceStrawDocs/HuismanBioenergy2002.ppt>.
- . 2005. “Storage Systems for Rice Straw in California.” University of California, Davis. <http://www.fte.wur.nl/NR/rdonlyres/3B4A9556-8AE9-44B3-97BD-D9317266E63F/40598/StorageSystemsforricestrawinCalifornia1.pdf>.
- Impola, R. 1998. Puupolttoaineiden laatuohje. (Quality instructions for wood fuels).
- Jyväskylä, FINBIO, Publication 5. 33 p.
- Laitila, J. 2005. “Cost Structure of Supply Chains in Finland.” Northern WoodHeat Symposium, Finnish Forest Research Institute, Joensuu, Finland,.
- Langheinrich, C., and M. Kaltschmitt. 2006. “Implementation and Application of Quality Assurance Systems.” *Biomass and Bioenergy* 30 (30): 915–22.
- Li, J. 2008. “Report on Maize Straw to Crop Ratio and Availability in Ulanhot, Inner Mongolia.” Center for Science and Technology Development, Ministry of Education, Beijing, April.
- Li, Xiaoshun, Futian Qu, Dongmei Jiang, Peixin Zhu. 2009. “Integrated Benefits of Power Generation by Straw Biomass—A Case Study on the Sheyang Straw Power Plants in Jiangsu.” *Frontiers of Environmental Science and Engineering in China* 3 (3): 348–53.
- Luger, E. 2002. “Energy Crop Species in Europe.” BLT, Wieselburg, Austria. http://www.blt.bmlf.gv.at/vero/veroeff/0732_Energy_crops_species_e.pdf
- NAU (Nanjing Agricultural University). 2008. “Proposal for the Assessment for Jiangsu Provincial Biomass Energy Resources and Study on the Development Planning.” Submitted to CRESPPMO.
- NDRC (Energy Bureau of National Development and Reform Commission). 2008. “China Renewable Energy Development Overview.” Beijing.
- Nikolaisen, L., C. Nielsen, M. G. Larsen, V. Nielsen, U. Zielke, J. K. Kristensen, and B. Holm-Christensen. 1998. *Straw for Energy Production. Technology—Environment—Economy*. The Centre for Biomass Technology. Aarhus, Denmark. <http://www.videncenter.dk/>
- Pastre, O. 2002. “Analysis of the Technical Obstacles Related to the Production and Utilisation of Fuel Pellets Made from Agricultural Residues.” Report prepared by EUBIA for the ALTENER project Pellets for Europe.
- Pöysti, Jyrki. 2005. “Value Chain Systems and Bioenergy Fuel Chain.” Paper prepared for the 5EURES project. Finpro, London.
- Richards, G., and D. Maunder. 2008. “Biomass Fuel Quality Standards—Where They Are at and What’s on the Horizon.” Presented at “REA Bioenergy 2008,” Birmingham, United Kingdom, October 7.
- Richardson, J., R. Björheden, P. Hakkila, A. T. Lowe, and C. T. Smith, eds. 2002. *Bioenergy from Sustainable Forestry—Guiding Principles and Practice*. Forestry Sciences 71. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Searcy, E., and P. Flynn. 2008. “The Impact of Biomass Availability and Processing Cost on Optimum Size and Processing Technology Selection,” *Applied Biochemistry and Biotechnology* 154 (1–3): 92–107.
- Rosillo-Calle, F., S. Hemstock, P. de Groot, and J. Woods. 2006. *The Biomass Assessment Handbook*. (London: Earthscan).
- Savolainen, V., and H. Berggren. 2000. “Wood Fuels Basic Information Pack.” Finnish Bio-Energy Network. Jyväskylä, Finland.
- Schieder, D. 2006. “Cereals Straw for Bioenergy and Competitive Use,” Report at session 2 of “Cereals

- Straw Resources for Bioenergy in the European Union,” Pamplona, October 18–19.
- Sikanen, L., and T. Tahvanainen. 2006. “Estimation of Forest Fuel Potential.” Presentation given at the International Training Session on the Acquisition of a Biomass Power Plant. 5EURES project, Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Centre, Finland.
- Sims, R. E. M. 2007. “Good Practice Guidelines: Bioenergy Project Development and Biomass Supply.” International Energy Agency, Paris . <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/biomass.pdf>.
- Stricker, J. A., S. A. Segrest, D. L. Rockwood, and G. M. Prine. 2000. “Model Fuel Contract—Co-Firing Biomass with Coal.” *Crop Science Society of Florida Proceedings* 59: 98–102.
- SUEZ. 2007. “Biomass, an Energy Source.” www.suez.com.
- Thornley, P. not dated. “Bioenergy Project Risk,” Tyndall Centre for Climate Change Research, University of Manchester, UK.
- Thornley, P. 2009. Personal communication, October 2009
- van Loo, S., and J. Koppejan. 2002. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*, First edition. (London: Earthscan).
- . 2008. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*, Second edition. (London: Earthscan).
- Vares, V., Ü. Kask, P. Muiste, T. Pihu, and S. Soosaar. 2005. “Manual for Biomass Users.” Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia.
- Vos, J. 2005a. “Best Practice Guidelines Part B: Forest Fuel Supply.” Prepared for the UNDP/GEF project Biomass Energy for Heating and Hot Water Supply in Belarus. BTG, Enschede, the Netherlands.
- . 2005b. “Energie uit biomassa,” SenterNovem, Utrecht.
- Vos, J., H. Knoef, Z. Luo, C. Han, and J. Yin. 2009. “Support for the Development of Biomass-Fired Power Generation under the China Renewable Energy Scale-Up Program (CRESU).” Poster presented at the 17th European Biomass Conference and Exhibition, Hamburg, June 29–July 1.
- Wang, Chunfeng. 2009. “Policies and Actions on Forests in China.” Presented at Asia-Pacific Network for Sustainable Forest Management and Rehabilitation (APF-Net) meeting, New Delhi, India, October 21, 2009. State Forestry Administration, Beijing, China. http://moef.nic.in/downloads/others/CC_wang.pdf.
- Wagenaar B.M., W. Prins and W.P.M. van Swaaij, 1994. Pyrolysis of biomass in the rotating cone reactor: modelling and experimental justification. In: *Chemical Engineering Science*, Volume 49, Issue 24, Part 2, December 1994, Pages 5109-5126
- Wang, M., and M. Xiao. 2008. “Biomass Resource Assessment for China.” Prepared for COMPETE project. Chinese Association of Rural Energy Industry (CAREI), Beijing.
- http://www.compete-bioafrica.net/publications/publ/2nd_Report/Annex4-2-3-COMPETE-032448-2ndReport-D4.1-China.pdf.
- Wiese, A., M. Kaltschmitt, and W. Y. Lee. 2009. “Renewable Power Generation—A Status Report.” *Renewable Energy Focus* 10 (4): 64–69.
- Wiltsee, G. 2000. “Lessons Learned from Existing Biomass Power Plants.” Appel Consultants, Inc., Valencia, CA. www.doe.gov/bridge.
- ZERS (Zhejiang Provincial Energy Research Society). 2008. “Draft Implementation Plan for the Zhejiang Provincial Biomass Resource Assessment.” Prepared for the China Renewable Energy Scale-Up Program, Beijing

附件1: 能源作物种植的国际经验

生物质的保质、稳定供应是生物质发电具有经济可行性的关键所在。也可从专门种植的能源作物中获取部分生物质原料，但这部分生物质可获得量有限。本附件简要讨论了能源作物的种植状况（简称为“能源林场”）及其提供生物燃料供应的情况。短轮伐期作物（如柳树、杨树）和草本能源作物（如芒属植物、柳枝稷）均为潜在的生物质来源。

20世纪90年代，受农业领域的综合支持系统应用的驱动，能源林场在欧洲设立。在部分欧盟国家，能源作物种植在示范田里，如希腊（高粱、桉树）、德国（芒属植物）、芬兰（草/芦苇草），等等。在当时15个欧盟成员国中，大部分国家能源作物仅限于部分田间试验的栽种。林木生物质能源作物的商业栽种在瑞典得到了发展，其商业柳树林场占地15,000-17,000公顷。以下是有关欧洲经验更详细的描述。

全世界短轮伐期作物（SRWC）的商业林场达数千公顷，如柳树、杨树、桉树以及南方松。这些林场提供了有关产量、繁殖技术、品种开发、以及最佳管理实践方面的有价值信息。美国最近的研究表明，用于生物能源的短轮伐期作物（SRWC），与非能源用途相比，其经济性并不良好，并且短轮伐期作物（SRWC）燃料木材与电煤、在美国占主导地位的化石燃料以及中国的电力生产相比，并不具有竞争力（Graham, 1995）。

可采用不同方法提高短轮伐期作物（SRWC）的相对竞争力并促进其利用。

- 瑞典的经验表明，如果进行合理的定位、设计和管理，能源作物林场不仅产出可再生能源，还可以对当地环境产生益处。有关此类多功能生物能源系统（MBS）的例证为：柳属作物林场有助于土壤的碳元素蓄积、增强土壤肥力、减少养分流失，具有更多的利益。另一类林场是专门为环境服务的，如防止土壤侵蚀的防护林带、清除污染耕地的镉元素林场（植物吸收），对富氧水和污染水进行处理的植被过滤带（Van Loo 和 Koppejan, 2008）。
- 生物质原料供应的市场评估可纳入环境效益如碳排放信用额度或气体排放减排。

短轮伐期作物（SRWC）用作生物质发电的相对竞争力仍受地理条件限制，并且各地区之间也可能不同。从长远来看，提高产量以及利用更有效的采收技术或许能在降低短轮伐期作物（SRWC）的单位成本方面发挥更大作用。

就草本能源作物而言，迄今所获的经验相对有限。柳枝稷在美国以及芒属植物在欧洲都进行了相对大规模的试验。基础研究与应用研究相结合，不仅研究其产量和管理，还应研究它们需要满足什么条件可被成功采用。采用因素，除了利润率，还包括能源作物对现有农耕方式、机械设备、时间分配和农耕专门技术的适应性。

欧洲种植木质和草本能源作物的经验

Luger (2002)概述了20世纪90年代欧洲能源作

物的种植经验。其文章涉及了木本作物、草本作物和油料作物。以下讨论了前两类，耕种面积在其研究出版后可能并没有太大改变。

就木本作物而言，柳树（柳属）主要种植于欧盟的北部地区。瑞典种植了大约**17,000**公顷的柳树。其他欧盟柳树林场，尤其是英国、芬兰、丹麦、爱尔兰以及荷兰等国的总种植面积约为**1000**公顷。杨树（杨属）可种植在比柳树气候更温暖的地方。在有些国家如英国、爱尔兰、奥地利及德国，柳树和杨树都种植。荷兰已种植了约**32,000**公顷的杨树，但不以能源为目的。在法国，已种植约**350**公顷，用于纸浆生产。短轮伐期桉树（尤加利树）在欧洲的最大种植国家是葡萄牙，种植面积约为**500,000**公顷，用于纸浆生产。法国已种植约**500**公顷的桉树，用于纸浆生产，希腊和意大利只种植了几公顷的试验区，用作研究。

就草本作物而言，芒属植物作为一种装饰性植物引入欧洲。作为**C4**多年生禾草，更适合于较温暖气候。丹麦种植面积约**30**公顷、德国约**100**公顷、法国和奥地利几公顷。比利时、希腊、爱尔兰、英国、意大利、葡萄牙和西班牙建有小型研究样区，作为“欧洲芒属植物网络”的一部分。草（**RCG**）产于瑞典本土以及北欧的许多地区。瑞典已种植数千公顷的草（**RCG**），然而仅有极少部分用作能源生产。芬兰的种植面积约**50**公顷。英国、爱尔兰、德国和丹麦已建立小型研究样区。刺菜蓟（刺苞菜蓟）为多年生蓟状植物，似乎更适应地中海的干燥条件，那里大部分的降水发生在冬季。西班牙约有**50**公顷的试验田。在刺菜蓟网络内，希腊、葡萄牙和意大利在冬季进行了绿色菜蓟草料扦插的试验。高粱（双色高粱）为来自热带的一年生**C4**作物。因此，主要适合在欧洲南部地区种植。已对甜高粱与纤维高粱用于能源生产进行了测试。西班牙、希腊、法国（约**15**公顷）、

比利时、葡萄牙和意大利均种植高粱。大麻作为纤维作物，已有悠久的历史，但作为能源还是个新观念。在荷兰，大麻用于纸浆生产，种植了约**5**公顷作为能源使用，而在商业用途方面，种植了约**1,000**公顷用作纤维。奥地利种植了**160**公顷大麻作为种子和纤维使用（Luger, 2002）。

（Luger, 2002）得出结论：一些能源作物不处于研发阶段，已实现商业化。之所以出现商业化方面的例子，是因为有些国家给予了政策和财务方面的支持，它们为欧洲能源作物的未来需求提供了有价值的信息。用作生物质发电的大型商业能源作物种植的最为有名的例子是瑞典的柳树栽种。

经济核算显示，生产和交付到电厂的基本成本在**34-86** 欧元/绝干吨范围内（此处注意：1996数据），瑞典计算出柳树的基本成本为**59**欧元/绝干吨是最有根据的。与此相比，生物质废弃物（如，木屑）的当时市场价，在瑞典约为**32-68** 欧元/绝干吨，而在丹麦约为**80**欧元/绝干吨，丹麦秸秆的市场平均价格为**70**欧元/绝干吨。化石燃料（欧元/GJ）的市场价低于此类生物质的市场价。（Luger, 2002）

上述成本范围表明，在某些情况下，即土地租金和农民利润不计算在内，能源作物的基本生产成本可以与现有生物质市场价及化石燃料价格的相竞争。

中国种植木质和草本生物能源作物的经验

（Wang 和 Xiao, 2008）提供了适于燃料木材生产的品种。在中国，合适的品种包括：

- 四川省和云南省高山地区的桉树、铁刀木、桦树和栎木等。
- 四川省和陕西省山区的麻栎、栓皮栎、柟

木、马桑和洋槐。

- 云南南部和中部低山区的栎木、桉树、黑荆树、任木和木荷等。
- 浙江西北、安徽南部和江西西北部低山和丘陵地区的栎木、马尾松、化香树、洋槐、胡枝子以及南酸枣等。
- 江西省南部、湖北省西南部、贵州省东南部、广东省中部和北部以及广西省山区的银栲、光皮栲、马尾松、桉树、任木和木荷等。

(Wang 和 Xiao, 2008) 报告称华北地区，燃料木材森林的年种植面积为**600,000**公顷。估计每年可收集**1**亿吨木质材料。根据国家林业局编制的“全国能源林建设规划”，在“十一五”（**2006–2010**）期间，计划建设超过**1000**万亩的示范能源林，这将为未来能源生产提供巨大潜力。

2005年，中国森林覆盖总面积为**1.75**亿公顷，其中**68%**为天然林（**1.21**亿公顷），**32%**为人工林（**5400**万公顷）。林木存量分布不均，大部分集中在五大主要林区，占总林木蓄积量的**90%**。现有林木的**70%**处于中年和青年树龄。

自**20**世纪**90**年代以来，中国的各级政府坚持积极的造林政策。随着每年约**300–400**万公顷的造林速度，全国的森林覆盖率可望于**2005**年的**18.21%**提高到**2010**的**20%**。除了要提高覆盖率，中国还努力提高林木质量、加强每单位面积林木的固碳能力、适度提高森林木材的利用率和使用期限，并加强森林产品的碳贮量。

国家林业局副司长王春峰博士推测，到**2010**年，将有高达**3**亿吨的林业生物质可取代煤炭用于能源生产 (Wang, 2009)。

附件2: 燃料标准与技术规范

生物质燃料标准的引入使得生物质燃料成为一种具有通用定义、通用方法与明确分类的商品。重要之处在于燃料应切合使用目的（燃料供应与能量系统的正确匹配），并根据质量标准与技术规范进行交付。以此方式，燃料质量标准也鼓励通过用户信任度来获得生物质燃料（Richards and Maunder, 2008）。

在欧洲，欧洲标准化委员会（CEN）成立了一个技术专业委员会（CEN/TC 335 – 固体生物质），为生物质/生物燃料领域内各种形态的固体生物质制定标准（图A2.1），包括木屑、木质颗粒和压块材料、原木、锯屑以及农作物秸秆捆包。CEN/TC 335 还对燃料的所有相关性能进行描述，同时包括技术规范信息（必须提供）和告知性信息（可以提供）。CEN/TC 335除了提供燃料的物

理和化学特性，还要求提供资料来源的有关信息。

CEN/TC 335标准希望能成为通用标准。然而，欧洲的许多国家也制定了自己的关于固体生物能源的标准。例如，奥地利的ÖNORM标准，德国的DIN标准，及瑞典的SS标准等。

标准

要投资生物质发电厂，应了解大多数类型转化设备的有效运行要与生物质燃料的所选类型及形式相匹配。如前所述，有不同的标准可以遵循。不管运用哪种标准，都要与燃料供应商和系统安装单位紧密协作，以确保所购燃料适用于系统，即燃料供应商承诺所交付的燃料质量稳定，且可以对燃料进行贮存和预处理(Carbon Trust, 2005a)。

图 A2.1 生物质—生物燃料—生物能源领域的CEN TC 335标准



来源：BTG/Drohms设计和市场，根据 CEN/TC 335标准的相关工作

规格与分类

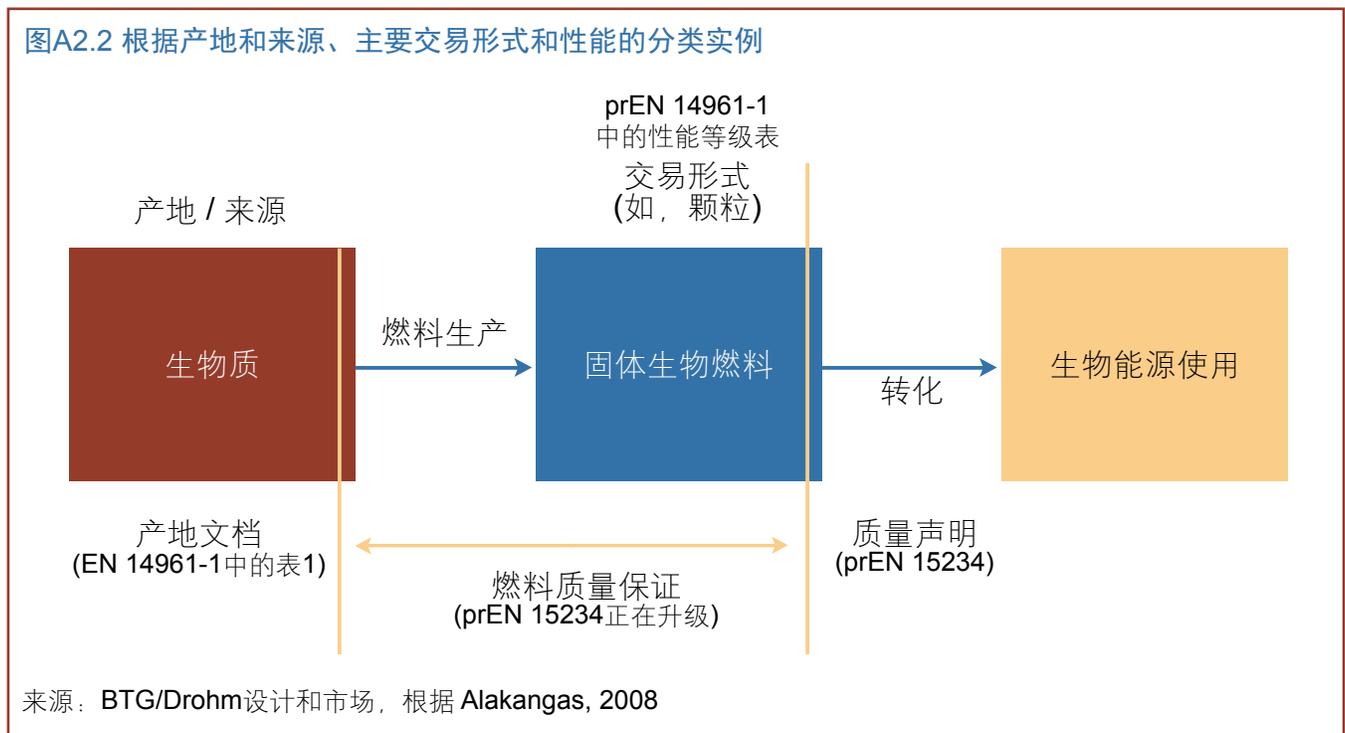
生物质根据其产地/来源、主要交易类型和性能，进行分类。分类对于锅炉/燃烧器制造商较有用，因为他们可据此选择恰当的产品类别。此外，可在产品上标明分类信息，上包装可标明包装信息；对于散装材料，可用燃料质量声明（CEN/TS 15234），（见图A2.2）。

根据Alakangas (2008)，燃料质量声明的最低要求为：

- 供应商（机构或企业）的信息，包括联系信息

- 遵守CEN/TS 15234的参考说明
- 产地与来源（prEN 14961-1）
- 交易形式（(prEN 14961-1或其他部分）
- 标准化特性
- 如果所交易的生物质需要经过化学处理，则进行化学处理
- 签名（授权人）、姓名、日期和地点
- 燃料质量声明可以以电子形式批准（签名和日期可通过签署运单或在包装上作戳记予以批准）

图A2.3 为根据第1部分所做的一个散装交付质量声明的例子。



图A2.3 用于散装交付的燃料质量声明的例子

	EN 14961-第一部分	
	生产商	EAA生物燃料
	木质颗粒工厂	Jyväskylä, 芬兰
	原产地	1.2.1.2 (Sawdust, pine)
	交易形式	木质颗粒
标准化特性	尺寸	D08
	含水量, w-%	M 10
	灰分, w-% 干	A0.5
	机械耐受力 w-% 测试后的颗粒	DU97.5
	微粒数量, w-% (小于 3,15 mm)	F1.0
	添加剂, w-% 加压质量	0.5 w-% 糊状
	堆积密度, kg/m ³	BD 650
	净热值, kWh/kg	Q4.7
说明	硫, w-% 干基	0.05
	氮, w-% 干基	N0.3
	氯, w-% 干基	Cl 0.03

来源: BTG/Drohms设计和市场, 根据 Alakangas, 2008

附件3:

固体生物质燃料在不同含水量和能源密度情况下净热值的测算 (EN 14961-1)

D.1 干燥基净热值计算

根据以下公式，在恒定压力下，干标本（干基，干物质）的净热值的恒定数值可依据总热值得出(EN 14918) (1)。

$$q_{p,net,d} = q_{p,gr,d} - 212,2 \times w(O)_d - 0,8 \times [w(O)_d + w(N)_d] \quad (1)$$

其中，

$q_{p,net,d}$ 指（在恒定压力下）干物质的净热值，单位为焦耳每克（J/g）或千焦每千克（kJ/kg）；

$q_{V,r,d}$ 指干物质的总热值，单位为焦耳每克（J/g），或千焦每千克（kJ/kg）；

$w(H)_d$ 指氢含量，物质中所占百分比，无含水量的（干）生物燃料（包括矿物质水化合物中的氢及生物燃料物质中的氢）；

$w(O)_d$ 指氧含量，物质中所占百分比，无含水量的生物燃料；

$w(N)_d$ 指氮含量，物质中所占百分比，无含水量的生物燃料。

使用D.2中的公式（2）可计算收到基净热值。公式（1）的计算结果单位为焦耳每克（J/g），或千焦每千克（kJ/kg），应该乘以1000，变为兆焦每千克（MJ/kg）。

注意： $[w(O)_d + w(N)_d]$ 可通过减去含水量为100（w-%）的灰分、碳、氢和硫获得。

D.2 收到基净热值计算

a) 干基情况下的计算

在公式（2）中，在恒定压力下，可根据干基的净热值计算出收到基（湿生物燃料）的净热值。

$$q_{p,net,ar} = q_{v,net,d} \times \left(\frac{100 - M_{ar}}{100} \right) - 0,024\,43 \times M_{ar} \quad (2)$$

其中，

$q_{p,net,ar}$ 指（在恒定压力下）收到基的净热值，单位为兆焦每千克（MJ/kg）；

$q_{p,net,d}$ 指（在恒定压力下）干物质的净热值，单位为兆焦每千克（MJ/kg）；

M_{ar} 指收到基的含水量[w-%]；

0,024 43 指（在恒定压力下）水在25 ° C时的汽化热修正值（单位为兆焦每千克（MJ/kg）1 w-%含水量）。

b) 干基和无灰分情况下的计算

在公式（3）中，在恒定压力下，可根据干基和无灰分情况下的净热值计算出收到基（湿生物燃料）的净热值。

$$q_{p,net,ar} = \left[\left(\frac{q_{p,net,daf} \times (100 - A_d)}{100} \right) \times \left(\frac{100 - M_{ar}}{100} \right) \right] - 0.02443 \times M_{ar} \quad (3)$$

其中,

$q_{p,net,ar}$ 指在恒定压力下)收到基的净热值,单位为兆焦每千克 (MJ/kg);

$q_{p,net,daf}$ 指(在恒定压力下)干基和无灰分情况下的净热值,单位为兆焦每千克 (MJ/kg);

M_{ar} 指收到基的含水量(w-%);

A_d 指干基的灰分含量(w-%);

0,024 43 指在恒定压力下)水在25 ° C时的汽化热修正值(单位为兆焦每千克 (MJ/kg) 1 w-%含水量)。

以上a)和b)两种情况中,热值既可以根据具体情况确定,也可以通过典型数值得出。

- 如果灰分含量很低而且较稳定,热值的计算可根据干基公式中 $q_{p,net, d}$ 的典型数值计算。
- 如果具体不同的生物燃料其灰分含量大(或高),热值的计算可根据干基和无灰分情况公式中 $q_{p,net,daf}$ 的典型数值计算。

计算结果误差为0,01 MJ/kg。

D.3 收到基的能源密度

小型供热厂及户用木质燃料通常是基于体积和能源含量(净热值),单位为千瓦时 (MWh) 每堆积密度。堆积密度和含水量是测算或估算的。

收到基的能源密度可根据公式(4)得出。

$$E_{ar} = \frac{1}{3600} \times q_{p,net,ar} \times BD_{ar} \quad (4)$$

其中,

E_{ar} 指收到基的生物燃料的能源密度,单位为千瓦时每立方米(MWh/m³)堆积体积;

$q_{p,net,ar}$ 指(在恒定压力下)收到基的净热值,单位为兆焦每千克 (MJ/kg);

BD_{ar} 指堆积密度,例如,生物燃料收到基的体积重量单位为千克每立方米(kg/m³)堆积体积;

$\frac{1}{3600}$ 指由能源单位兆焦 (MJ) 变为兆瓦时 (MWh) 的转化系数。

计算结果误差为0,01 MWh/m³堆积体积。

公式中净热值和堆积密度的计算,既可以通过测算,也可以根据生物燃料的典型数值得出。固体生物燃料的典型净热值具体参见该欧洲标准的附件B。

附件4: 生物质资源潜力类型

该附件内容来源于BTG公司承担的生物质能源欧洲（BEE）项目的相关工作。（即将出版）

理论资源潜力

理论资源潜力指的是在基本生物物理的范围内，理论上被视为可用于生物能源生产的陆地生物质的全部最高限额。理论资源潜力通常以焦耳初级能源的形式表示，例如能源含有未经处理、未经加工的生物质。初级能源转化为次级能源，例如电力、液体燃料和气体燃料。对于农林生物质，理论资源潜力则代表考虑了温度、太阳辐射和降雨等限制因素，并在最佳管理状态下而产生的最大生产能力。对于由剩余物和废弃物产生的生物质，理论资源潜力等于其所产生的最大量。

技术资源潜力

技术资源潜力为理论资源潜力的一部分，在相关技术结构框架条件及当前可能的技术条件下所能获得的资源。也需考虑空间限制因素，如土地使用竞争（用于食品、饲料和纤维生产）、生态（如自然保护区）和其他非技术限制因素。技术资源潜力通常作为一次能源以焦耳方式表示，但有时也以二次能源的方式表示。

经济资源潜力

经济资源潜力为技术资源潜力的一部分，在给定的框架条件下达到经济可行性可获得资源。经济资源潜力一般指的是二次生物能源，不过，有时也被视为一次生物能源。

“实施”资源潜力

“实施”资源潜力为经济资源潜力的一小部分，指在一定时间框架内以及具体的社会政治结构条件下，可予以实施，包括经济、制度和社会约束及政策激励等方面。侧重于可行性或生物能源政策的经济、环境或社会影响也包括在该类别内。

对生物资源潜力的分类有助于读者理解相关信息。例如，有些生物质类型显示出很高的技术资源潜力，但由于收集与运输成本很高，其经济资源潜力颇受限制。因此，关键在于每个生物质资源评估都应明确注明资源潜力的类型。

附件5: 农作物及其废弃物产量的确定

生物质评价手册（Rosillo-Calle等，2006）描述了确定农作物及其废弃物可获得量的调查方法学。以下是对该方法学的简要介绍。

为了精确评估农业废弃物的可获得量，需要各区域、地区农作物产量的可靠数据。如果无法得到此类数据，则需要进行调查。调查应包括农业废弃物（包括用于燃料）的所有用途信息（例如田间焚烧、还田、动物饲料以及房屋建筑等），由此可计算出用做燃料的资源可获得量。

农业废弃物的评估应包括以下步骤：明确生物质类型：仅考虑某地用作燃料的农作物及其废弃物的相关数据，而不是生物质的总产量。

获取有关产量与库存的数据：必须精确确定有关农作物产量和库存、经量化的可获得性、热值以及贮存和/或转化效率。对项目所在地区的居民社会文化活动进行调查，有助于确定生物质的使用模式与未来趋势。

计算技术资源潜力：估算农作物废弃物的一个方法便是利用“农作物废弃物指数”进行估算。其定义为：所产生废弃物的干重与具体品种的主要农作物总产量的比率。

技术资源潜力 = 农作物年产量 × 废弃物-产品比 (RPF)

每种农作物和农作物品种以及每个正在考虑中的农业生态区的农作物废弃物指数均需要在现场确定。重要的是要明确作物是已加工状态还是未加工状态。以稻谷为例，稻壳就包括在农作物重量内。

为了准确对农业废弃物的产量进行评估，重要的是要对所在国家、区域和地区的农作物产量进行适当估算。这可能需要进行调查，特别是在生活领域，以确定农作物及其废弃物的产量。如果仅要求对农作物废弃物进行一般估算，则可从国家统计局或“联合国”（如“联合国粮食和农业组织（FAOSTAT）”）获取农作物产量数据。然而，此类数据可能是在安排农业产生计时估算得出的，因此，如要获得准确数据，则仍需进行现场调查。

计算经济资源潜力和“实施”资源潜力：农作物废弃物所产生的可用做燃料的生物质的数量仅占技术资源潜力的一小部分，因为不是所有的生物质都能以合理成本获得。

农作物废弃物的可获得性主要取决于其所在地点与经济价值。所在地点决定了收集成本。如果收集成本高出废弃物的经济价值，农作物废弃物将不用做燃料。

不是所有的废弃物都用于能源生产。作为燃料的农业废弃物不得与其他替代用途进行竞争，尤

其是用做保护土壤肥力、保持水分、给土壤提供养分以及其他多种用途，最为普遍的是用作饲料、纤维以及燃料。因此，鉴于环境和财务因素，部分废弃物不能作为生物质燃料使用。

考虑到收集成本与替代用途，通常需要定义“采收率（RF）”。

“实施”潜能 = 技术潜能 x 采收率（RF）

评定采收率RF的一般方法是通过与农业废弃物（预期）用户面谈而定，如农户或乡镇企业。该

方法简单直接，但流程很多。因此，所收集数据的可靠性和利用价值可能不高。用户不愿对每天免费获得的农业废弃物（体积和/或重量）进行密切监控，更谈不上有关利用模式和长期趋势的相关信息的检测，充其量他们只尽其所能地估计目前的使用情况。他们可能由于每年农作物秸秆可获得量或高或低，所以难以准确地记起每年农作物秸秆使用的波动情况。并且他们也可能给出社会性理想答案。很明显，准确的生物质评估不可能仅依靠面谈就能完成。

附件6: 生物质资源调查准备指南

生物质评估手册（Rosillo-Calle 等，2006）提供了有关进行生物质资源调查准备工作的有益指导。

确定调查的规模以及所要求的详细程度。为什么进行资源评估？有什么目标？应采取什么活动？在该阶段确定下来，从而确定所问问题的类型、所用的方法以及所需资金与其他资源。

确定哪些数据已经存在。如果所需信息中，部分已存在或可从现有数据中获取，则可节省大量时间和金钱。有用的资料来源包括国家、地区和当地的数据库以及由政府和非政府组织提供的统计数据。已发布的表、图以及换算表均有可能提供森林和林地的库存与产量方面的估计数据。

应仔细检查现有信息，并由具判断力和经验丰富的人员对其做出解释。甚至也有可能（或需要）

添加来自其他地区和国家的数据。需要强调的是，对数据进行严格审查是做出正确评估的关键。

将现有数据转换为标准单位，以便尽可能在各地区间进行简单对比。

进行供需分析。在难以获取生物质供应数据的情况下，使用需求分析数据可有助于填补信息空缺。

决定现场调查的可行性与工作范围。理想的做法是，如若可行，所有信息都应通过特定的现场调查予以核实。现场调查可提供最准确、最新的信息，但数据获得较为困难且成本较高。

旨在收集时间序列数据。只有经过长时间（例如五年）所收集到的数据才能显示出使用趋势，并能顾及气候变迁状况（年度和季节性的）。

附件7:

芬兰有关降低生物质供应成本的调查

“芬兰木材能源技术项目（1999—2003）”旨在降低木质燃料供应成本，着重进行物流开发与优化的调查。该项目的一些令人感兴趣的发现，包括：

- 将粉碎作业移至终端用户设施处或燃料集散站是提高采购系统可靠性的有效方法。废弃物捆包有助于使物流通畅：系统受损性降低、消除了机器间的等待时间、促进冬季贮存，且整个流程变得易于控制。废弃物打捆技术仅适用于大型电厂，并且终端用户设施处需配备碾压机。这样可以接收树桩和树根，拓宽原材料和燃料供应。**150**立方米的大型卡拖车可将松散的林木废弃物、捆包、砍伐后没有去掉枝条的树段以及树桩和树根单独或混合运送到电厂。
- 然而，更为常见的情形是，林木燃料以木屑形式运到终端用户设施处。如果运输距离短、贮木场拥挤或电厂接待处受限，则卡车不用带拖车。这时最大装载量为**60**立方米。反之，则卡车需配备拖车，装载量一般为**100—130**立方米。
- 燃料卡车排队现象产生了不必要的成本，应予以消除。大型电厂门口可能发生排队情况，特别是在寒冷冬季燃料需求较高时。繁忙时间一般是在上午。为避免排队，应从接收系统入手解决，对到货情况进行有计划的安排。
- 遗憾的是，在木屑采购方面，几乎无法实现机器的兼容性。缺乏兼容性的原因在于采伐从早期的非商业性幼林疏伐到成熟林的终伐，林业条件有所不同，且技术仍处于起步阶段。也使用一些替代性的生产系统，即每个系统的使用无需与其他系统兼容的特殊设备。但是在实践中不同做法会产生问题。合同商的灵活性受到限制，且当由于技术原因无法将一个系统更改为另一系统时，投资将面临风险。此外，机械制造市场较为分散，无法实现对系列产品的生产，且机器设备的价格仍然很高。因此，在林业生物质的采伐和运输中应尽可能地使用传统设备。这一观点同时也建议在中国采纳。然而，在供应链的许多阶段，仍需使用特殊设备。

附件8： 生物质燃料供应合同样本

生物质能燃料供应合同样本（场所）

来源：CarbonTrust

(<http://carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/biomass-online-resources.htm>)

<供应商>与<最终用户>就向<场所>供应固体生物质，签订本合同。

前言：

- a. <供应商公司名称> 为私营/国营公司，注册办公室位于<地址>，公司注册号为XXXX，以下简称为供应商；
- b. <最终用户名称> 为私营/国营公司，注册办公室位于<地址>，公司注册号为XXXX，以下简称为最终用户；
- c. <地址>为最终用户<所拥有和>经营的场所，是最终用户要求的生物质的交付地，以下简称为“场所”。

1. 合同

- 1.1 根据下列条款和条件所规定的技术规范、数量、期限和价格，供应商同意向最终用户提供生物质，且最终用户同意从供应商处购买生物质。
- 1.2 为维持对基本质量的控制，最终用户同意不购买或使用其他来源的或来自其他供应商的生物质，除非发生下列情形：供应商未能在预定日期后的三个工作日内交付生物质，或所交付的生物质未达到生物质技术规范要求。

2. 生物质技术规范

- 2.1 含水量。根据【相关标准】[见指导说明]，湿基的含水量应达到XX%，但在任何情况下不得超过XX%。
- 2.2 污染物如泥土或石头、金属或塑料的重量应低于总生物质装载量的2%。
- 2.3 生物质粒径大小应符合【相关标准】。

3. 合同期限

- 3.1 本合同期限为<XX>，起始日期为<日期>，终止日期为<日期>，（合同生效后的前三个月，应对合同进行正式审查，以确定是否有调整合同的必要）。对合同的任何调整都必须得到最终用户与供应商的一致同意。如果供应商或最终用户不同意调整内容或就调整内容达成一致意见时，如一方希望，均可在3个月后终止本合同。

- 3.2 在本合同的最初合同期限到期之前的至少三个月内，双方可协商延长本合同期限。
- 3.3 如果任何一方未能履行其在本合同项下的合同义务，则另一方有权在向该方（违约方）发出通知后的三个月内，终止本合同，除非违约方纠正其违约行为直到非违约方表示合理满意。如果一方实质性违约了本合同条款，非违约方经合理判断，认为该实质性违约不能在十个工作日内予以纠正，则非违约方可以书面通知形式终止本合同。

4. 数量

- 4.1 在本合同所定义的期间，根据第3条所定义的技术规范，生物质的最低月供量为XX立方米或XX吨（删去不适用的）。
- 4.2 除了4.1条所规定的数量外，最终用户可增加订购量，要求供应商额外供货，并规定所需数量以及日期和时间，日期和时间不迟于最终用户根据7.4条要求交货的时间。如果供应商能满足其要求，则供应商应通知最终用户并将所要求的数量合理可行地尽快交货。供应商可根据第5条规定，按照合同价格收取额外所交货物的费用。如果供应商不能满足要求，则供应商应将其理由告知最终用户。

5. 价格

- 5.1 5.1交付给最终用户作燃料贮备的生物质的价格应以下列（删除不适用的）的价格表为基础直到<日期>：
- 每立方米生物质 XX 英磅；
 - 或：
 - 每吨生物质 XX 英磅
- 5.2 5.2不同体积/重量（删除不适用的）的装载量可根据上述费用标准按比例收取费用。
- 5.3 5.3生物质价格每年提价一次【见指导说明】并经与最终用户协商同意，确定每年的<月份>进行提价。

6. 燃料来源

- 6.1 生物质的来源应为（删除不适用的）：
- 经许可采伐的森林木材；
 - 锯木废弃物；
 - 庭院剪枝废弃物；
 - 短期轮作矮林（SRC）；
 - 农业废弃物（如，农作物秸秆）；
 - 能源作物，如芒属植物；
 - 被“垃圾焚烧指令”豁免的清理再生木材
- 生物质的来源为（插入适用的）。

7. 生物质交付

- 7.1 所供应的生物质应以袋装/捆包/松散的形式（删除不适用的），以合适的交通工具，交付到最终用户的料仓。
- 7.2 供应商应根据最初的现场考察以及与最终用户的讨论，提前制定风险评估与方法说明，应考虑到生物质交付与卸载期间现场存在的危险和威胁到现场行人、车辆及财物的风险因素。每年需进行

一次正式审查，或只要确定有任何可能成为现场危险和因素时，就需进行审查。

- 7.3 发运任何生物质货物时，供应商应以电子邮件或传真形式向最终用户发送“交货通知”和“燃料质量声明”。每次发运时，都应在交货点向最终用户提供一份“交货通知”的纸面复印件。
- 7.4 最终用户要求生物质交货的通知期至少应为XX天。
- 7.5 最终用户负责在料仓检查生物质等级，并将其决定的燃料交货需求通知供应商。
- 7.6 如果要求交货的日期早于第7.4条所规定的通知期，最终用户应支付XX英镑的额外费用，以支付供应商的紧急交货成本。
- 7.7 除非事先取得最终用户的同意，否则，交货时间应介于XX.00和YY.00小时之间，或提前与最终用户所达成的星期一至星期XX的其他时间。
- 7.8 如果不能在合同规定的时间内完成交货，或由于最终用户现场存在障碍物，超出了供应商所能控制的范围而导致不能全部或部分交货，则供应商有权要求赔偿运输费用及占所订购生物质价值的XX%的额外附加费，除非最终用户已在上述第7.4条所规定的通知期内将上述障碍物情况通知供应商。
- 7.9 生物质交付到最终用户时，最终用户应对其进行目视检查，以确保生物质符合所认同的技术规范。
- 7.10 如果检查结果显示生物质不符合第2条所认同的技术规范，则最终用户保留拒收全部装载量的权利。如果直至生物质进入料仓之前都无法对燃料装载量进行目视检查，而在交货后的24小时内才发现木屑不符合所认同的技术规范，则最终用户可保留拒收燃料的权利。供应商应自费撤走被拒收的燃料。任何有关生物质技术规范方面的纠纷均可根据条款予以解决。
- 7.11 供应商应负责清理卸载过程中所产生的溢出物，并提供适合的清理工具。
- 7.12 在生物质交付到公司（如，生物质已卸载到最终用户的仓库）且生物质的所有权转给最终用户之前，供应商仍需承担一切相关风险。

8. 抽样

- 8.1 最终用户可在任何时间将代表性样品送去评估、分析、检验和通过。所有样品均须达到技术规范要求。此类检验费用由最终用户承担。
- 8.2 一旦生物质交付到最终用户场地，则最终用户需负责维持生物质的初始质量。

9. 付款方式

- 9.1 供应商应按月向最终用户开具发票。应根据所记录的（按照重量或体积）装载量开具发票并在每月的XX日进行审定。发票金额应为装载次数乘以按体积或重量相应调整的每次装载价格（根据第5.1条内容），加上开票时正在实施的增值税费率。
- 9.2 费用按月支付，自开票之日起的XX日内付款。
- 9.3 如果逾期付款，供应商有权在所逾期未清发票结算完毕之前，拒绝进一步供货。
- 9.4 未付款的利息应根据英格兰银行每日公布的基本利率加上2%计算并予以支付。

10. 其他条款和条件

- 10.1 锅炉停机或操作不当直接导致的非标准维护，对锅炉的滥用/忽视或锅炉本身的缺陷并非供应商的

责任，在这种情况下，因供应商不能交付燃料而导致的任何费用应由最终用户承担。

- 10.2 供应商应向最终用户赔偿因其所引起的燃料处理和燃烧设备的维修费，或因其未能按照第2.1条、2.2条和2.3条所规定的技术规范供应生物质而引起的损失，间接损失除外，比如支付其他来源提供的热能的费用，最高限额为XXXX英磅 [见指导说明]。
- 10.3 供应商应有5,000,000/10,000,000英磅的公共责任险[见指导说明]。
- 10.4 本合同项下供应商的责任（包括任何赔偿）应限于XXXX英磅 [见指导说明]

11. 出现纠纷时

- 11.1 如果出现因合同而引起的或与合同有关的任何纠纷，双方应本着诚信原则，在一方将该纠纷通知到另一方后的三十天内，协商共同解决纠纷。最初拟将纠纷通知到另一方的一方应以书面形式发出通知。另一方应在收到有关潜在纠纷通知起的5个工作日内，做出书面回复。如果潜在纠纷与最终用户现场或供应商有关，通常在该潜在纠纷被提出而引起另一方注意起的8个工作日内，应举行联合现场会议。
- 11.2 如果通过一场或几场会议包括现场会议（如果适用）后达成了解决方案，则双方应将相关事项以书面形式沟通并作记录。
- 11.3 如果经多次努力无法就解决方案达成一致，则各方应尽量根据“有效争议解决中心（CEDR）示范仲裁程序”解决纠纷。除非双方另有约定，否则，仲裁员由CEDR提名。

12. 不可抗力

- 12.1 如果一方已遵循第12.3条的规定，不应视为对本合同的违约，也不承担由于其所无法合理控制的（不可抗力事件）行为、事件、不作为或事故而导致未能履行或延误履行（并且，根据第12.4条，履行义务的时间也应相应延长）本协议项下的任何义务的责任，（不可抗力事件）包括但不限于以下任何一项：
- 不可抗力，包括但不限于火灾、洪水、地震、暴风或其他自然灾害；
 - 战争、战争威胁或战争准备、武装冲突、施加制裁、禁运、断绝外交关系或类似行为；
 - 遵守任何法律；
 - 火灾、爆炸或意外伤害；
 - 极端恶劣的天气条件；
 - 建筑结构倒塌、电厂机器、机械、电脑或车辆故障；
 - 任何劳务纠纷，包括但不限于罢工、劳工行动或停工；
 - 供应商或分包商（除了与试图依赖该条款的一方所在同一集团内的公司）的不履行；和
 - 公用事业服务中断或故障，包括但不限于电力、煤气或水。
- 12.2 另一方的相应义务应依据首先受不可抗力事件影响的一方义务范围而中止。
- 12.3 遭受不可抗力事件影响的任何一方不应视为对本合同的违约，如果：
- 受影响的一方应立即以书面形式将导致无法履行或延误履行（合同义务）的不可抗力事件的性质和影响程度通知其他各方。
 - 受影响的一方无法在不可抗力事件发生之前对注意到的事项采取预防措施以避免不可抗力事件的影响，理应采取措施，但没有；以及
 - 受影响的一方已付出一切合理努力将不可抗力事件的影响降至最低，以一切合理可行的方式执行其在本合同项下的义务，并尽快恢复履行其义务。

12.4 如果不可抗力事件持续六个月以上，任何一方可提前**14**天向其他各方发出书面通知，终止本合同。通知期届满时，本合同终止。

13. 第三方权利

不是本合同一方的任何人不具有本合同项下或与本合同相关的任何权利。

14. 管辖法律及司法管辖权。

14.1 本合同及其主要事项引起的或与本合同及其主要事项有关的任何纠纷或主张应受英格兰及威尔士法律的管辖，并据此解释。

14.2 各方必须同意英格兰及威尔士法院拥有专属管辖权，以解决因本合同或其主要事项引起的或与其相关的任何纠纷或申索。

双方同意 <日期>

姓名_____ 职位_____

(<最终用户>代表)

姓名_____ 职位_____

(<供应商>代表)

完成生物质燃料供应合同的指导说明（重量或体积）

这项指导说明旨在帮助完成按重量或体积计费的生物质能源供应合同样本。样本合同与本说明均不属强制规定，必须考虑到现场的具体问题和供应商/最终用户的关系。建议双方在签订有法律约束力的合同之前，进行法律咨询。其他有关生物质燃料、贮存、预处理的背景信息以及其他与Carbon Trust的生物质供热指南相关的信息，可在该网站下载：www.carbontrust.co.uk/biomass

前言

本节内容简单易懂。然而，最终用户无需拥有自己的场地或装置—他们可代表客户（所有者）操作该装置，在这种情况下，场地所有者需要在本合同的这一部分另行定义。

1. 合同

供应商和最终用户双方可能认为第1.2条的内容太过严苛—可能在质量控制方面需要，但即使对由单一供应商供应生物质的安全性存在疑问，仍限制最终用户寻求替代方案。或者，最终用户可选择一个生物质合作方（如“西南木质燃料”），在这种情况下，虽然仅有一位供应商向最终用户提供生物质，但该供应商是提前从供应链上的多个供应商中选出的。

2. 生物质技术规范

适当的生物质技术规范取决于燃料类型（见第6节），并在一定程度上取决于锅炉的性能技术规范。生物质标准对于其是否能成为最终用户可放心购买的商品燃料至关重要。

“欧洲标准化委员会（CEN）”设立了一个“技术专业委员会（CEN/TC 335—固体生物质）”，为欧洲范围内的各种固体生物质制定标准，包括木屑、木质颗粒和成型燃料、原木、锯屑和农作物秸秆捆包。该标准对燃料的所有相关性能、物理和化学特征以及含水量的抽样与评估方法等进行了描述。然而，部分标准还是讨论稿，但已在英国得到越来越广泛地使用，并有几个途径可供查阅，包括“生物质能源中心”（www.biomassenergycentre.org.uk）。

另一个标准是奥地利标准化协会（Osterreichisches Normungsinstitut，简称为 ONORM）的M7 133标准或德国标准化学会（Deutsches Institut für Normung）DIN 66 165，实际上有遍及欧洲的趋势，且已在英国广泛使用。

最终，最终用户应从锅炉制造商处寻求建议，从而避免对任何特约条款进行让步，然后根据制造商的建议选择最为合适的生物质技术规范。

3. 合同期限

供应商和最终用户可协商达成为期1至5年的适当合同期限。建议对于合同延期或终止应给予三个月的合理通知期，也可根据供应商和最终用户的一致要求而有所变化。

4. 数量

本合同模板考虑到按体积或重量供应生物质的情况，以最终用户与供应商所达成的选择为准。

尽管不同种类木材之间的能量含量（根据重量计算）相差无几，但密度却相差巨大。因此，如果最终用户以称重方式购买生物质，则木材的种类不成问题（虽然很明显，生物质的含水量是个问题）。然而，如果根据体积购买生物质，则能量含量将取决于木材的种类；例如，软木木屑的热值一般为**0.70 MWh/m³**，含水量为**30%**，而硬木木屑的热值为**1.02 MWh/m³**，含水量为**30%**。此外，堆积密度相差巨大，将导致体积差别急剧扩大，从**1m³**固体（实木）木材到削片时是初始体积的**2至5.5倍**。来源：**Carbon Trust (2005)**林务人员倾向于按体重作业。虽然颇有争议，但如果提前规定并同意了含水量（以锅炉技术规范为基础），且供应时遵守所同意的含水量，则称重购买的问题较少。

从供应商的立场出发，重要的是应以合同方式交付所规定的数量（按重量或体积计算），尽管对最终用户要求额外供应所要求的生物质（但应有一个合理的通知期）有所规定。

5. 价格

人们普遍认为大多数种类的新采伐木材的重量是每一固体立方米重约**1吨**，但随着木材逐渐风干，所损失的重量可能会达到原重的四分之一或一半。附件**2**阐述了不同种类木材之间的差异。然而，如果木材被削成木屑，其体积则得以增加。一般经验是：**1吨木屑为4立方米**。然而，必须谨慎使用这种换算方法，因为该方法并没有考虑含水量的变化。

最终价格（按重量或体积计算）取决于各种因素，包括生物质质量、当地市场条件、可获得量以及运输距离。建议最终用户在与所选供应商达成最终价格之前，应对当地市场进行评估以确定基准价格。

根据将生物质供应至现场的全部成本，设定初始价格，并将该初始价格与物价指数挂钩，使其指数化。然后，运用所协商同意的指数，定期对初始价格进行调整。一方面，生物质成本需要继续与化石燃料价格相比具有竞争性以便维持最终用户的经济可行性，另一方面，生物质供应商也要有足够利润空间，以维持其业务的经济可行性。化石燃料成本的上升往往对生物质价格产生连锁反应（如，关于采伐、加工与运输成本，此类处理成本均依赖于化石燃料）。

指数化运用的不同形式：

- 主要燃料的价格指数，如“商业、企业和木材改革部”所提出的[中等规模]制造企业的重质燃料油（或气）的指数，包含在“季度能源价格”中（如，表**3.1.1**：根据制造业消费规模而来的重质燃料油（HFO）、电、气的**2007年第2季度与2008年第2季度**间的移动百分比价格），可查阅网站：<http://www.berr.gov.uk/files/file47741.pdf>;
- 综合指数为所占“零售价格指数（RPI）”的商定比例，以下情况除外：在为期**12个月**的一个期间里，拖运成本（生物质燃料的重要成本因素）的上升超过零售价格指数（RPI）的两倍以上，供应商有权重新讨论价格。
- 可根据所商定的年度比例如**2%或5%**进行提价。

最合适的指数化运用应通过供应商和最终用户双方的最终协商达成一致。

6. 燃料来源

生物质的来源在一定程度上取决于当地的可获得量。本合同的制定旨在支持各种生物质燃料的供应，包括农作物秸秆、堆积材、木屑、木质颗粒、短轮伐期矮林（SRC）如杨树和柳树、草以及非木材能源作物如芒属植物(*miscanthus giganteus*)，柳枝稷 (*Panicum virgatum*)，藎草(*Phalaris arundinacea*)，黑麦 (*Secale cereale*)，芦竹 (*Arundo donax*)以及大麻 (*Cannabis sativa*)。

7. 生物质交付

燃料的交付条件取决于现场条件，但需要充分考虑到最终用户场地的行人健康与安全风险、车辆和财产等方面。重要的是，供应商应提前进行现场调查，在与最终用户就交付的最为合适的日期与时间进行协商之前，确定现场存在的所有风险和危险。例如，如果场地位于学校附近，则应考虑更适当的做法，交付时间不应在学校正常上课期间，将对学生的危险降至最低。此外，需要让一名最终用户的代表（如维护操作员、现场监督员）参与到交付活动中，以确保健康和安全。在某些场地可选择实行周末交付，这取决于安全政策和道路通行安排。

7.4根据交付通知期，供应商可能需要3–7天时间计划交付事宜。

7.5如果最终用户距离较远且无人在现场，则根据之前达成的协议，将由供应商决定燃料的等级。

8. 抽样

当前与抽样相关的标准包括CEN技术规范14778-1、固体生物质 – 抽样 – 第一部分：抽样的方法和/或CEN技术规范14778-2、固体生物质 – 抽样 – 第二部分：货车运输的颗粒材料的抽样方法。然而，这两项技术规范对某些场所来说可能有些复杂（不必要的复杂）。第2部分主要是介绍关于大容量电厂每天接收到多辆货车交付物的情况。

在含水量为关键因素的情况下，此类技术规范可能被视为最合适的方法：CEN技术规范14774-2：2004固体生物质 – 含水量的确定方法 – 烘干法 – 第2部分：总水分 – 简化方法。

附件1 – 风干木材的重量与体积关系

风干木材	重量（公斤/立方米）
山毛榉、橡树	750
岑树、桦树	716
小无花果树	662
榆树	581
杨树	486
松树	550
云杉	465
落叶松	560
黄杉	580

9. 支付条款

尽管支付条款取决于供应商的销售标准条款和条件，而开票日期取决于最终用户的财务会计期。但无论采用哪种条款，双方都应事先达成一致，以免日后发生纠纷。

10. 其他条款和条件

供应商的公共责任险的等级可能取决于最终用户的标准要求。双方都应就此事先达成一致，以免日后发生纠纷

第10.2和10.4条有关赔偿责任的限制达成一个适当的数额是很重要的。该数额应代表最终用户可能的损失总额，但根据市场惯例，通常该数额不应超出供应商合同价值的最高额（如，在合同期间所供应的燃料总量的价值）。

附件9: 木屑的能量密度

热值由按干燥燃料或新鲜燃料的单位质量确定。由于林木生物质通常按体积购买和测量，其运输和贮存设施也是按体积而不是按质量建造，因此，了解单位体积的有效热值也很重要。这就是燃料的能量密度。基本密度，如每一生材（新伐材）体积的烘干质量（按公斤/立方米计），充当从质量到固体体积的换算系数。

树木基本密度和生物质成分的变化大于干燥质有效热值的变化。因此，当根据体积计算时，差别更大。高密度树种的能量密度最高，如橡树。在北欧，单位立方米固体（实木）桦树皮的热值为**0.30**吨油当量(TOE)欧洲赤松树皮的相应数值仅为**0.13**吨油当量（见表A9.1）。

表A9.1 芬兰含水量40% 的林业生物质木屑和碾压树皮的能量密度

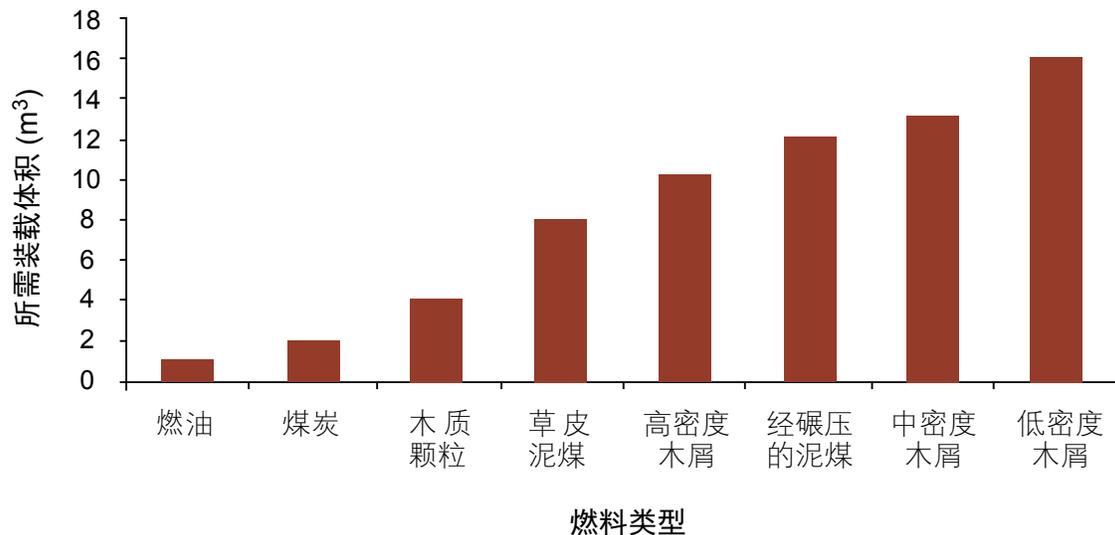
来源	基本密度Kg/ m ³	发电量 TWh/a ^a		
		MJ/m ³	kWh/m ³	TOE/m ³
整树				
欧洲赤松	395	7,100	1,970	0.169
挪威云杉	400	7,020	1,950	0.167
桦树	475	8,270	2,300	0.197
树皮				
欧洲赤松	280	5,460	1,520	0.130
挪威云杉	360	7,090	1,970	0.169
桦树	550	12,490	3,470	0.297
无叶梢头				
欧洲赤松	405	7,780	2,160	0.185
挪威云杉	465	8,400	2,330	0.200
桦树	500	9,040	2,510	0.215
带叶梢头				
欧洲赤松	405	7,660	2,130	0.183
挪威云杉	425	7,730	2,150	0.184

来源：Richardson 等, 2002

林业中的主要体积单位为 m^3 （立方米）固体（实木）木材。对于生物质木屑，虽然“ m^3 实木”作为实用单位在不同堆积密度的木材种类之间进行比较时使用，但“ m^3 松散木”单位的使用却更加普遍（尽管准确度低一些）。因此，木屑的堆积密度或固体含量，如木屑的实木体积与松散体积的比率，必须了解。木楔的固体含量受以下因素影响：

- 颗粒形状。木屑颗粒的对角线与厚度的比率越大，固体含量越低。
- 粒度分布。具有不均匀粒度分布的材料，其颗粒之间的空间较小。整树或林业废弃物所产生的木屑燃料所含的细粒材料多于纸浆原木所产生的均匀木屑所含的细粒材料，其固体含量也往往更高。
- 树木种类。低密度脆性材料所产生的燃料木屑含有更多细粒和更高的固体含量。
- 枝条含量。新鲜枝条和柔韧嫩枝往往产生长颗粒，降低了木屑的固体含量。
- 贮存。经贮存的生物质往往比新鲜材料含有更多细粒材料和更少的长颗粒。新鲜生物质所产生木屑的固体含量也稍高些。
- 季节。冷冻生物质由于其易脆性，在粉碎过程中产生的细粒材料更多，从而产生更高的固体（实木）含量。
- 装载方法。通过削片机的喷口将木屑吹送进卡车，提高了木屑的每单位体积的固体含量，该含量远高于从输送机，拖拉料料箱，装载机或筒仓自由下落的木屑的固体含量。从上吹送比从侧面吹送的固体含量更高。风扇压力越强，颗粒压得越紧。
- 沉积。由于振动和沉积作用，车载木屑的固体含量在运输过程中增加。促进沉积的因素为装载量最初的固体含量、拖运长度、道路的平坦度以及木屑可能的冰冻度。一开始，木屑快速沉积，但在第一个10-20公里的运输距离后，沉积变慢。从高效运输的角度来看，更需要关注运输前的固体含量。

图A9.1 举例：所选燃料的能量密度，显示一吨油当量所需的装载体积（HDW、MDW、LDW是指高、中、低密度木材）



来源：BTG/Drohms 设计和市场，根据Richardson et al, 2002

基于上述因素，燃料木屑的固体含量介于**38%**和**44%**之间。普遍使用的换算系数为**40%**。因此**1m³**的实木木材可产生约**2.5 m³**松散木屑。低能量密度问题是生物质木屑的一个特征。提供等量能源的木屑运输和贮存所需空间是油料运输和贮存所需空间的**11 – 15**倍，是煤炭运输与贮存所需空间的**3 – 4**倍，从而导致成本增加。因此，传统上的理想的做法是靠近来源地使用燃料木屑。如果林木生物质放置于地面上、变干燥且进行压块处理，则其能量密度将极大提高。（见图A9.1）

随着生物质木屑工业需求的增加，利用地点与来源地的平均距离也随之增加，同时运输成本也相应提高。与化石燃料相反，规模经济对木质燃料产生负面影响，尽管批量运输（火车或船舶）降低了运行操作对距离的依赖性。为了控制大型电厂的燃料成本，林业生物质木屑通常与树皮、锯屑、泥炭块、煤炭或城市废弃物一同燃烧。

附件10： 将能量含量反映到生物燃料价格上的选择方案

该附件内容基于Van Loo 和 Koppejan (2008) 的研究。

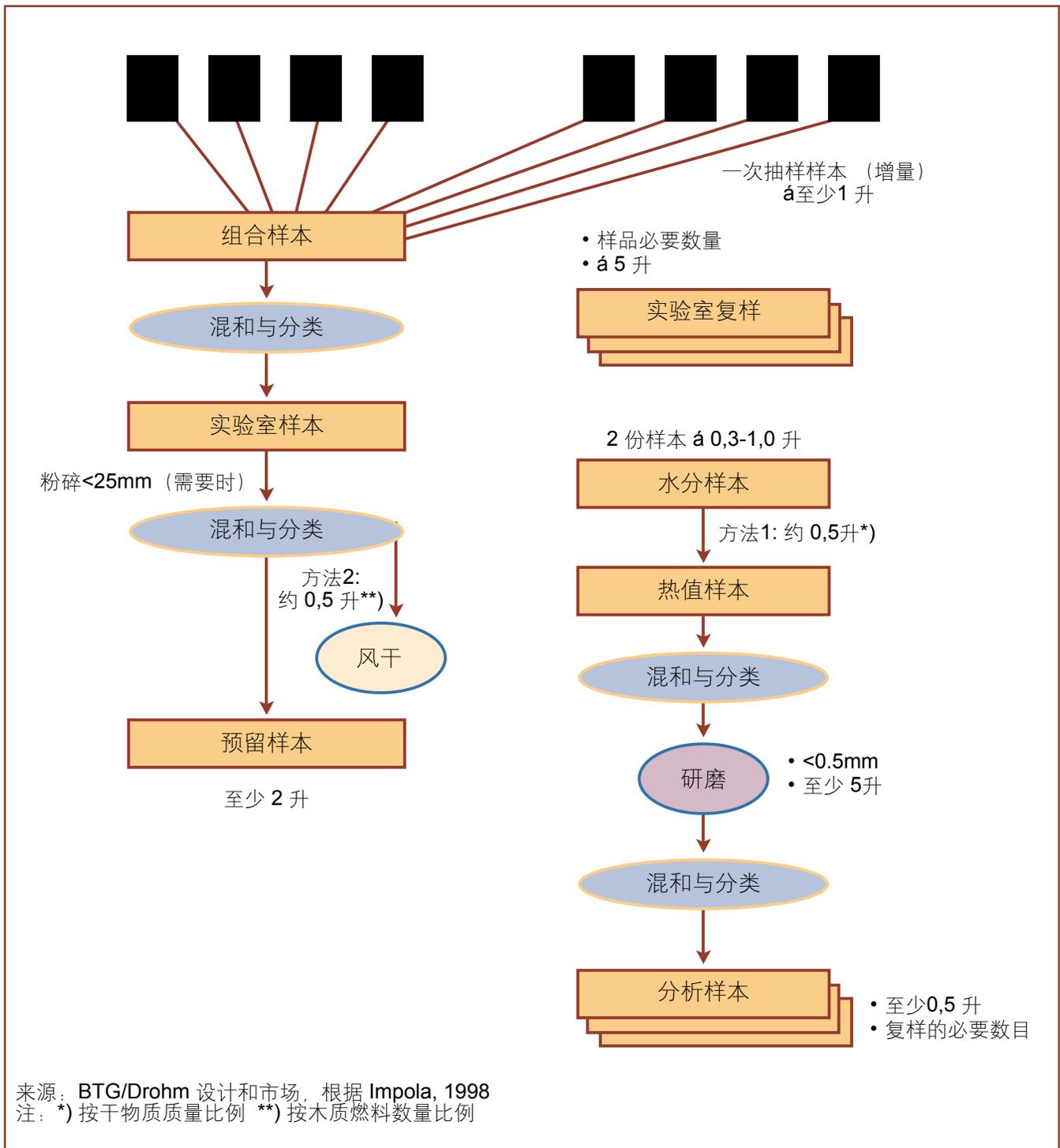
建议方法：将能源含量体现在生物燃料价格的方法建议根据重量和净热值（NCV）计算能量含量。在称量房间对装载量称重以及测定所交付的燃料样品的含水量的一个典型方法就是使用能够快速提供结果的水分测定仪。可利用所交付燃料的总热值（GCV）计算出净热值（NCV），并通过测量方法测定含水量（见2.2节）。每项燃料来源的总热值（GCV）应在首次交付之前利用化学分析进行确定。能量含量可通过净热值（NCV）乘以生物质燃料的质量得出，这决定了交付燃料的价格。

选择方案1：评估方法备选方案之一，但准确度较低。在没有称量房间的情况下使用，此方法是根据所交付的体积而不是重量进行测量。可利用特定生物质燃料的堆积密度的平均值将体积转换为重

量。重要的是，所有交付生物质燃料的堆积密度应在首次交付之前测定，以提高评估过程的准确度。该方法的不可靠之处在于(a)在大多数情况下，对所交付生物质燃料进行体积估算和测定，其精确度低于重量测定，且(b)生物质燃料的堆积密度各不相同。

选择方案2：另外一个方案是根据对电厂所产热量进行测量表，计算燃料的价格。此方法应考虑到电厂的燃料效率，以确定燃料所应达到的合理市场价格。优点在于质量、体积或含水量的确定并不影响成本，且经校准的热量计量表非常准确。缺点在于当有较多供应商时，难以将所产生的热量分配到具体燃料供应商所提供的具体燃料量。另一个缺点在于操作条件会影响电厂效率，因为这将降低燃料的价格（锅炉清洗不充分可降低锅炉的效率）。最后一个缺点是，在贮存过程中，会降低燃料的能量含量，这样也会降低燃料的价格。

附件11: 木质燃料抽样和处理过程实例



附件12： 固体生物质供应的质量管理系统

Langheinrich和Kaltschmitt (2006)制定了6步法，用以设计固体生物质供应的质量管理（QM）系统。建议应将质量管理（QM）系统的实际执行写入操作指南中。该六步法，针对农林废弃物供应进行相关调整，可简述如下。

1. 流程链描述

操作手册开始就对供应链的所有详细的单个步骤（单元环节操作）的充足水平进行了完整描述：即从农业和林业废弃物的收集到生物质发电厂的交付。建议使用流程图描述所有单元环节操作及其之间的关联。本手册的第4章和第5章分别描述了农业和林业废弃物的供应链。以此方式对供应链进行描述有助于有逻辑地建构单元环节操作，确定各个关联环节并确定流程责任人（责任分配）。

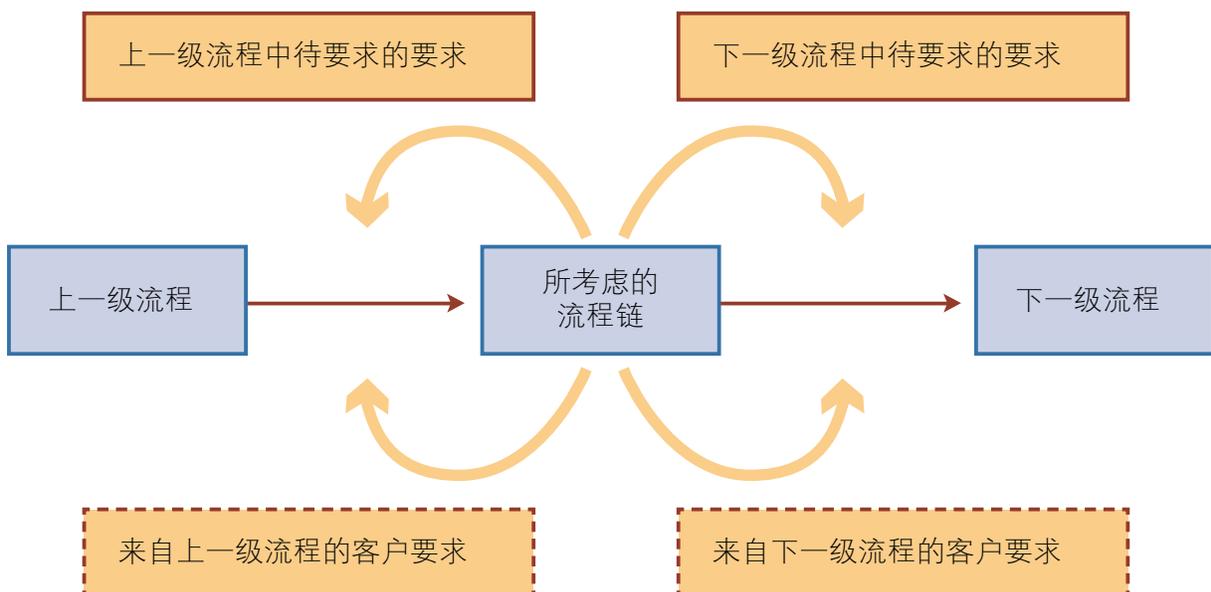
2. 客户要求确定

下一步，客户要求得以确定（见图A12.1）。此类要求取决于上一级和下一级单元环节操作。在单元环节操作层级上的产品要求可能与适用于最终产品的产品标准有所不同。然而，供应链里下一个操作员的要求始终应予以满足。每个操作员应：

- 确保来自于上一级流程的原料符合相关的 CEN/TS 14961¹⁶标准
- 考虑到原料相关特性的可能的易变性，以及其他因素
- 应考虑到文档和物流的要求，因为物流在定性性能中十分重要。

16.欧洲固体生物质能燃料技术标准

图A12.1 客户要求确定



来源：BTG/Drohms设计和市场，根据Langheinrich and Kaltschmitt 2006

3. 质量影响因素分析

步骤3涉及对最影响生物质燃料质量的因素进行分析。一般因素包括：

- 对燃料源进行初步检查的有效性
- 对收到装载物进行检查的有效性
- 材料处理、贮存和加工所运用方法的适当性
- 所采用的质量控制措施
- 公司管理和责任
- 员工资质与知识

4. 关键控制点（CCPs）确定

关键控制点（CCPs）如同流程内或流程之间的界面，应从使质量控制成本最小化的角度出发进行确定，从而为追溯系统打下基础。有关原料来源以及原料所经历流程的数据应进行系统收集并分析。关键控制点包括最易对相关性能进行评估的点位，以及在质量改善和/或成本降低方面最具潜力之处。

- 在收集/购买原材料时
- 在原材料进行预处理并装载好以交付到供应链中的下一点且在最终供应商处时
- 在材料状态被（或可被）故意改变时
- 在最终产品装载好以备交付时
- 在最终用户场地进行交付时

5. 选择适当的质量保证措施

根据方法论中前几步骤的结果，应制定和运用适当的质量保证（QA）措施。应考虑以下方面：

- 责任分配
- 工作指令详细说明
- 处理和测试结果的适用文件
- 员工培训
- 投诉流程系统
- 顾客满意度以及质量保证系统管理
- 对原材料供应商进行初步调查并制定接受标准
- 召开质量保证会议
- 故障模式和效果分析

6. 对于不合要求材料的常规做法

如果目测检查或测试方法显示在电厂大门处的原材料不合要求，则应拒绝接受整车装载量（在装载量倾卸之前）。必须备有适用程序以处理各种不合要求的情况。当发现不合要求时，必须形成不合要求报告，并与最终用户达成处理方法。

附件13: 燃料供应风险矩阵

原因 (供应风险的例子)	潜在后果（事件）	可能性	影响	减轻影响的对策
<ul style="list-style-type: none"> • 生物质可获得量少 • 竞争性用途 • 燃料供应商控制燃料供应 • 原有燃料源枯竭 	生物质燃料价格提高（原材料），未来增加	高	大	<ul style="list-style-type: none"> • 确定基准价 • 委托独立市场调研 • 签订长期燃料供应合同 • 与多个燃料供应商签订合同 • 确保燃料供应灵活性并储备一定的燃料供应量
<ul style="list-style-type: none"> • 因恶劣的收割条件或地理条件限制而导致收割量降低 • 以非机械化方式进行生物质收集、贮存和运输 • 运输距离增加 • 由于故障或其他不可预测的情况导致净输出功率降低而增加了机械开支 • 缺乏实践经验 	生物质燃料采购成本增加（供应物流管理）	高	大	<ul style="list-style-type: none"> • 委托生物质资源评估，确保在合理运输距离内的土地可获得性 • 签订长期燃料供应合同 • 运输控制 • 要求对生物质加密以降低运输成本 • 将供应商利益与电厂利益挂钩，促使燃料供应商参与到电厂经营中 • 与种植户/森林所有者安排种植计划 • 可供持续运行的贮存量 • 制定生物质燃料交付的固定时间表 • 进行员工培训，提供清晰的工作指令以及责任分配

(继续)

原因 (供应风险的例子)	潜在后果（事件）	可能性	影响	减轻影响的对策
<ul style="list-style-type: none"> • 生物质燃料与给料系统未完全匹配（不合技术规范） • 缺乏实践经验 	符合电厂运行技术规范 的农业和/或林业废弃物不足	中	大	<ul style="list-style-type: none"> • 供应合同应包括标准与技术规范 • 监控燃料质量（质量管理体系） • 电厂运作验证不同燃料技术规范 • 对不符合技术规范的生物质燃料予以拒收或降低其价格（对燃料供应商或种植户实行激励或处罚措施） • 员工培训，清晰的工作指令及责任分配
<ul style="list-style-type: none"> • 运输成本增加 • 可预见到的生物质灰分含量较高 • 法规发生变化 	去除生物质灰分的价格提高	中	中	<ul style="list-style-type: none"> • 签订去除生物质灰分方面的长期合同 • 合同中包括生物质灰分数量和质量的标准
<ul style="list-style-type: none"> • 缺乏去除外来异物的设备 • 给料系统出现问题 	异物的出现会中断操作	中	中	<ul style="list-style-type: none"> • 签订去除生物质灰分方面的长期合同 • 合同中包括生物质灰分数量和质量的标准
<ul style="list-style-type: none"> • 法规发生变化 	由于缺乏所要求的许可证，停止供应	低	大	<ul style="list-style-type: none"> • 尽可能地获得提高燃料灵活性的许可

来源：Thornley，无出版日期，口头交流



The Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) is a global knowledge and technical assistance trust fund program administered by the World Bank and assists low- and middle-income countries to increase know-how and institutional capability to achieve environmentally sustainable energy solutions for poverty reduction and economic growth.

ESMAP是由世界银行管理的全球性的知识和技术援助信托机构，其目的是帮助低收入和中等收入国家提高管理能力和增长知识，帮助他们提供现代的能源服务，实现脱贫和环境可持续发展的经济发展。