

# 美国生物能源技术研发的五年计划及管理措施

杜艳艳, 石家惠

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

**摘要:** 2013 年 5 月, 美国生物能源技术办公室 (BETO) 公布了生物能源技术研发的《五年计划草案》(MYPP)。该草案阐明了 BETO 的结构与重点研究领域, 确定了该办公室未来 5 年中的研究、开发、示范和部署 (RDD&D) 活动。RDD&D 活动的主要目标是实现到 2022 年达到年产 360 亿加仑可再生交通燃料, 从而降低美国对化石燃料的依赖, 减少运输行业温室气体 (GHG) 的排放; 主要任务是通过拟行的研究、开发、示范和部署活动, 开发可再生生物质资源, 并将之转变成商业上可行的高性能生物燃料、生物制品和生物电力。分析美国发展生物能源技术研发的框架、主要内容和管理措施, 以期为我国相关部门制定生物能源发展政策提供参考和借鉴。

**关键词:** 美国; 生物能源; 研发计划; 管理措施

**中图分类号:** TK 6-171.202      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2014.06.006

美国在《2007 年能源独立与安全法案》(Energy Independence and Security Act of 2007, EISA) 中确定了积极进取的生物燃料发展目标: 截至到 2022 年, 美国境内销售的运输燃料至少含 360 亿加仑可再生燃料, 包括先进的纤维素生物燃料和生物质柴油。美国能源部 (DOE) 在其战略计划中设定了一个目标, 希望通过可靠、清洁和廉价的各类能源供应来提升国家能源安全, 从而降低美国对化石燃料的依赖, 减少运输行业温室气体 (greenhouse gas, GHG) 的排放<sup>[1]</sup>。为了实现 EISA 和 DOE 的目标, 隶属于 DOE 的能源效率和再生能源办公室 (EERE) 的生物能源技术办公室 (Bioenergy Technologies Office, BETO) 与其他政府机构、行业和学术界合作, 一起致力于研究、开发、示范, 以及部署生物燃料、生物产品和生物能源技术。2013 年 5 月, BETO 制定了研发生物能源技术的《五年计划草案》(Multi-Year Program Plan, MYPP)。MYPP 是美国生物能源行业战略计划的一个关键构成部分, 旨在解决美国对进口石油的持续

依赖问题, 加大对国内各种可持续能源资源的利用, 减少能源生产和消耗之中的碳排放量。

美国对进口石油的依赖性暴露了其在燃料供应上的严重不足, 给企业和个人带来了经济与社会不确定因素, 并且影响美国的国家安全。MYPP 支持生物能源技术的研究、开发、试验和商业化应用等活动, 从而开发、展示和部署利用木质纤维素生物质与藻类生物质进行先进生物燃料生产的各项技术, 以实现可再生的生物燃料、生物产品与生物能源的可持续生产, 保障美国的能源安全, 降低美国对石油的依赖性, 减少美国的 GHG 排放量。该计划不但能为轿车、货车与喷气机提供燃料, 生产化工产品, 产生能量供给输电网, 而且还能在农业、制造业和服务部门中催生新的经济机会和就业岗位。

## 1 生物能源技术的 RDD&D 框架

美国 BETO 使用一个综合框架来管理其研究、开发、示范与部署 (RDD&D) 计划, 该计划的愿景、任务与目标见图 1 所示。BETO 通过对各

第一作者简介: 杜艳艳 (1963—), 女, 研究员, 主要研究方向为农业科技信息。

收稿日期: 2014-02-26

种应急技术进行系统调查与评估，最终选择最有前景的一些技术。这种筛选方式支持应用研发（R&D）中多种多样的技术组合，为后续行业规模的示范与部署确定了最有前景的目标。<sup>[2]</sup>

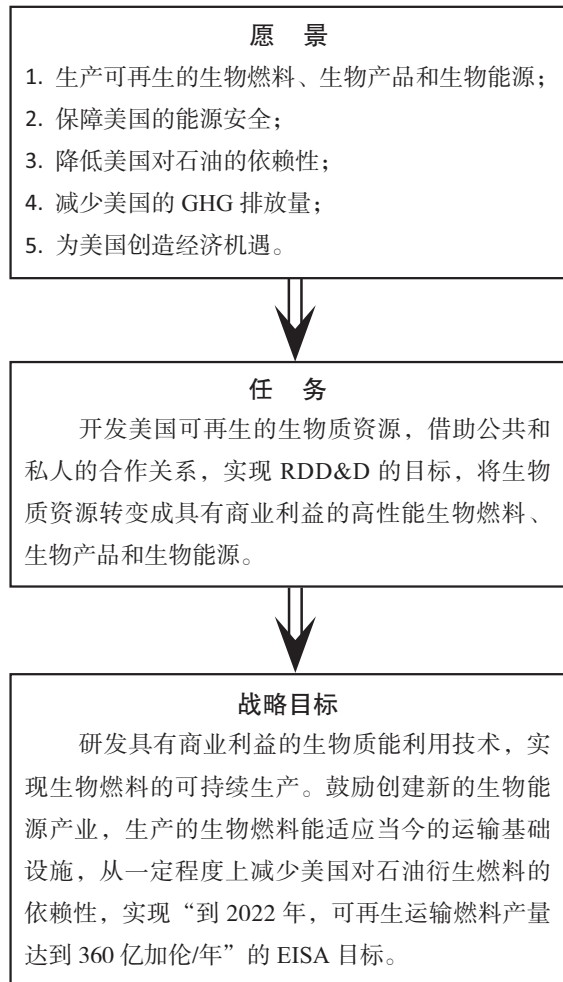


图 1 美国 BETO RDD&D 计划的战略框架

BETO 通过围绕 RDD&D 活动与交叉活动建立了一系列资源载入计划来部署 RDD&D 计划的战略框架。资源载入计划过程采用一种严格的方式：通过 RDD&D 计划中技术成熟度的分段把关制度，来确定关键途径活动和推进所选技术所需的资源。主要活动包括：基础型研究；应用型研究；关键功能研究；实验室测试；实验室测试集成或半集成系统；原型系统验证；集成中试系统验证；系统并入商业设计；系统验证和在全面商业开发方面的成熟度测试。RDD&D 计划的战略框架具有以下特点：

(1) 确保 BETO 将会对原料和生物燃料、生物产品与生物能生产的各种转化技术进行检查；

(2) 将资源与技术成熟阶段（从应用研究到商业部署）有效地联系起来；

(3) 资源载入计划过程确定了技术组合中的缺口，以及各 RDD&D 阶段之间的关键联系；

(4) 具有充分的灵活性，能容纳新想法与新方法，以及各式各样的原料组合和实际生物炼制的各种工艺；

(5) 实施分段把关，保证了一系列的定期技术成熟性检查，有助于启发后续的选择过程。

## 2 生物能源技术研发的主要内容

美国 BETO 的 RDD&D 工作主要围绕 3 个关键性技术和 3 个关键性跨环节要素来展开（见图 2 所示）。3 个关键技术：一是原料供应技术；二是转化技术；三是技术示范和部署，重点是研发生物能源技术、一体化生物炼制和配送基础设施。3 个关键性跨环节要素：一是可持续性；二是战略分析；三是战略沟通，重点是解决可能阻碍生物质技术发展的问題。

### 2.1 三个关键性技术的研发目标和重点

RDD&D 计划研发活动的重点是解决技术障碍、提供工程解决方案，并开发生物能源产业的科学与工程基础结构。短期和中期研发，着重将现有的原料和转化技术，由理论应用到小试，再到中试；长期研发的目标是制定生物质基本知识、生物体系及生化和热化学转化程序，其最终目的是应用于开发新技术或完善技术，以提高转化效率或降低转化成本，RDD&D 计划所资助的研发均由美国国家实验室、大型企业和大学来进行。

#### 2.1.1 可持续性优质原料供应系统

原料供应系统包括资源评估和原料物流。

##### (1) 资源评估

资源评估的目标是：建立地理、经济、质量和环境标准，按照这些标准，到 2017 年，美国每年的可用原料将达到 1.55 亿 kt；建立具有地理、经济、质量和环境标准的原料资源评估模型，根据这些标准，可确定藻类资源供应，以协助到 2017 年时种植出 100 万 t 无灰干重（AFDW）藻类生物质，到 2022 年时，种植出 2 000 万 t AFDW<sup>[3]</sup>。

##### (2) 原料物流

原料物流的目标是：论证原料供应和物流体

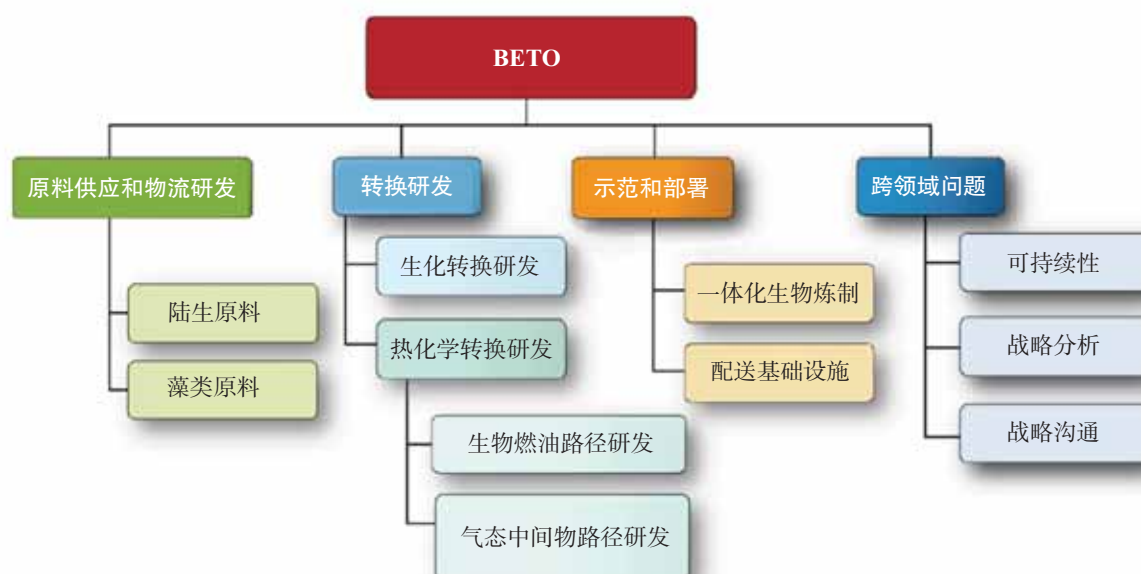


图2 美国生物能源技术办公室 (BETO) 工作分解结构图

系，到2017年，该体系可根据所需转化规格，以等于或低于80美元/kt (DT) (2011年)的价格向转化反应堆交付非纸浆用木材原料；在2022年时，验证藻类供应和物流体系每英亩耕种面积每年出产5200加仑油（或同等生物燃料中间物），实现原始生物燃料中间物的模型化第 $n$ 个工厂最低售价为3.27美元/GGE (2011年)（相当于计划的可再生柴油最低燃料售价为3.73美元/GGE）的潜力<sup>[4]</sup>。

原料供应和物流研发的重点是开发可持续性技术，以提供可靠、可负担且可持续的生物物质供应，从而形成新兴且不断发展的生物能源行业。原料供应和物流研发针对的是农业废物、能源作物、森林资源和基于藻类的转化途径所需的原料，直接强调和支持原料的评估、生产、收获、储存、预加工和交付。该研发主要关注2个领域——陆生和藻类原料。由美国农业部 (USDA) 领导陆生生物物质原料研发和生产，且与DOE及其他联邦机构合作，并由根据2005年《能源政策法案》成立的生物物质研究开发理事会来进行协调，为美国生物能源行业提供一个安全、可靠、符合经济效益的生物物质原料供应。BETO的主要焦点是原料资源评估和原料物流（即：收割、储存、预处理和运输）。DOE领导对藻类原料领域的研发，包括资源评估、菌株改良、有效栽培体系、收割/排水和原料预处理。原料供应和物流研发的最终成果（2030年及以后）就是研发的技术和方法能够通过可持续且符合成本效

益的方式每年提供超过10亿t的生物物质原料。<sup>[5]</sup>

### 2.1.2 生物质转化技术

生物质转化技术包括：生化转化研发、生物油生产途径研发、气态中间产物生产途径研发以及一体化生物炼制。

(1) BETO生化转化研发的目标是：开发商业可行性技术，即借助生化途径将生物物质原料转化成能量密集、可替代的液体运输燃料以及副产品或者化学中间物和生物能。该研发方案强调并支持开发各种技术，这些技术是高密度原料生产燃料和副产品（包括草本、木质和藻类原料以及来自城市固体废弃物 (MSW) 的物质）所必需的。根据综合性中试数据，到2022年，BETO将实现3美元/GGE (2011年)的总体绩效目标。BETO研发的重点是开发商业上可行的技术，用于将陆生和藻类原料转化为液体燃料、生物产品和生物电源。

(2) BETO生物油生产途径研发的目标是：到2017年，通过生物油生产途径实现美加仑总体混合原料的转化成本为1.83美元 (1.73美元/GGE) (2011年)。研发工作的重点是使用生物物质生产糖分、其他碳水化合物中间物和其他生物物质，并将这些中间物转化为燃料、化学中间物或产品的途径。<sup>[6]</sup>

(3) BETO气态中间产物生产途径研发的目标是：到2022年，通过催化改质，将生物物质合成气转化为汽油和柴油范围的烃类，实现3美元/GGE



(2011年)的总体绩效目标；到2014年时，验证先进生物燃料的年产量能否达到8000万加仑。研究的重点是使用生物质生产蒸汽、油和气态中间物，并将这些中间物转化为燃料、化学中间物、产品和/或电源的途径。

(4) BETO 一体化生物炼制的目标是：到2017年，根据实际的一体化生物炼制项目绩效数据，验证乙醇生产成熟技术的试验成本，并将与2.15美元/加仑乙醇（2007年）的目标值进行比较<sup>[7]</sup>。

### 2.1.3 综合生物炼制技术的产业化示范与部署

生物能源技术研发示范和部署活动的重点是一

体化生物炼制应用（IBR）、生物燃料配送基础设施和最终使用。IBR 活动解决中试规模到商业规模部署之间所谓“死亡之谷”中遇到的问题。

对于生物燃料，BETO 示范和部署的目标是：建立从小试规模到预先商用规模的新兴转化技术，最终由产业来建造最早的生物燃料生产厂。BETO 与其他联邦机构合作，促进在全美国范围内将生物燃料配送基础设施和生物燃料兼容汽车投入市场，并扩大所占市场份额。BETO 这些示范和部署工作与生物质到生物能源供应链一致，其工作范围如图3所示。



图3 美国生物能源技术办公室 (BETO) 示范和部署工作范围

BETO 技术示范和部署的最终目标是：开发所需的支持性基础设施，从而根据该基础设施在美国建立可操作，且可持续的生物质到生物能源的成熟价值链。BETO 与产业和其他主要利益相关者合作来进行示范和部署，包括两项主要技术要素。

#### (1) 原料供应和物流研发的可持续性技术

该技术提供可靠、可负担且可持续的生物质供应，从而形成新兴且不断发展的生物能源行业。该研发主要关注2个领域——陆生和藻类原料。

#### (2) 转化研发在商业上可行的技术

该技术用于将陆生和藻类原料转化为液体燃料、生物产品和生物电源。

## 2.2 三个关键性跨环节要素分析

### 2.2.1 跨环节的可持续性分析

BETO 可持续性活动的目标是：2013年，确定农业废物、能源作物和森林资源的土质和空气质量指标并设定目标，确定至少一条转化途径；到2022年时，评估、量化和记录农业废物、能源作物、森林资源和藻类生物燃料可持续综合性中试生产。

BETO 可持续性活动的重点是开发以环保方式发展生物质能源行业所需的资源、技术和系统。因替代石油是BETO任务的重点，提高长期可持续性变得越来越重要。现有和新兴生物能源产业包括多个行业，例如，农业、废物管理和汽车制造，需根据经济可行性和市场需求来投资多个体系，还应

处理更重要的关注问题，例如，食品安全和环境可持续性。因此，BETO 致力于明确说明可持续生物能源生产的相关挑战并与其他机构合作，通过基础和应用研究及分析来共同解决面临的挑战。

### 2.2.2 跨环节的战略分析

BETO 战略分析的目标是：2013年，选定并完成技术-经济建模，并设定至少2个碳氢化合物途径的目标；2014年，选定并完成技术-经济建模，并设定至少2个附加碳氢化合物途径的目标。

战略分析包括一系列范围广泛的跨环节分析，以支持计划性决策、面向目标的示范进度和直接研究活动。计划性分析有助于建立BETO的整体目标和优先顺序，并包含影响所有技术领域的事项，例如，生物能源的GHG排放物的生命周期评估<sup>[8]</sup>。技术领域分析有助于监测BETO在各个技术领域的成就。持续与生物质科学团队进行公共/私营合作和多实验室合作工作，将有助于确保本实验室分析结果的透明度、可转移性和可比性。

### 2.2.3 跨环节的战略沟通

BETO 战略沟通的目标是：2013年，完成达到纤维素乙醇成本目标的重点研发和外联工作；2014年，完成专注于BETO新技术、途径和方向的外联工作，完成专注于生物替代燃料所产生的GHG减排的外联工作。

战略沟通的重点是识别和解决生物能源采用和

使用的非技术和市场障碍，以实现全面的市场渗透。战略沟通通过使利益相关者参与有意义的合作，提升 BETO 成就和客户接受程度来提高意识和认可程度。战略沟通活动包括向利益相关者分发信息，传达关键的办公室目标、优先顺序、活动和成绩。

### 3 生物能源技术研发的管理措施

#### 3.1 战略层面的目标管理

在 DOE 和 EERE 的战略目标基础上，根据计划预算框架内的任务和目标，BETO 将基础研究、市场需求和技术研发方案相结合，制定出如下 3 个战略层面的目标：支持 RDD&D 活动范围内的技术或市场需求目标；支持产品价格优先的生物能源技术研发目标；支持促进美国生物能源产业发展目标。

#### 3.2 完成计划（MYPP/RLP）目标所需的项目管理

根据 BETO 制定的多年计划目标，每个技术领域都通过内部评估和公开协作会议，确定该技术领域的绩效目标和阻碍。为实现绩效目标，并解决相关障碍，每个技术领域都制定了多年资源配置计划（RLP），以确定战略性活动和实现各个目标的相关资源。RLP 是多年项目计划（MYPP）中所有活动的基础，每个技术领域的 RLP 可并入办公室的广泛计划中，并就差异和联系性接受评估。虽然解决了所确定的差异，但是技术领域之间的联系性也较为重要，因此，供应链的所有部分一直被反复开发直至达到相对成熟的水平。设计 MYPP 是用于接受审查，并定期更新，以便将技术革新、研究成果的方向和优先级别的变化纳入计划中。计划中解决障碍的优先顺序，通过平衡政府活动范围内新兴产业背后的需求和驱动力来确定。

#### 3.3 计划项目实施的评估方案

为达到 MYPP 的技术和市场目标，制定单个项目管理计划（PMP），确保项目实施阶段所选研究方案的评估。评估项目因素包括潜在效益、范围、成本、进度计划和风险，重点在于考虑特定项目和项目间相互对比方式，以及项目与计划的关联性。在项目初始阶段，制定一份 PMP 用以说明整个项目持续期限，并特别注意当年规划的活动。根据实际进展情况、中期阶段审查结果和 MYPP 更新情况，每年更新 PMP。

#### 3.4 项目进展的绩效评估系统

项目进展的绩效评估工作涉及一套监督和评估绩效的多级别绩效评估系统。项目管理办公室基于 PMP 中所述基本进度计划、范围和成本，每季度评估项目绩效。每两年开展项目管理办公室的子项目要素同行评审和整体办公室同行评审，以决定日后资金的投向。审查单个项目级别的阶段性成果，主要是评估技术、经济、环境和市场潜力及风险。对于涉及公开合作关系的大型示范项目和先进转换设施项目，通过独立专家分析和阶段性成果判定，BETO 评定项目可持续评估风险，确定推进或不推进决策。

#### 3.5 项目执行周期的规划管理

项目执行周期的规划和整合工作包括跨领域技术和办公室整合工作，此类工作旨在辅助计划和项目经理加强管理方法，确定除技术示范和部署的有效整合方法以外的协调研究开发工作。重大决策判定的难点是，每个供应链要素中技术选择的多样性、基础科学应用及开发到示范部署的资金分配等。

## 4 结语

由于受化石燃料的影响，美国能源市场一直不稳定，为此，美国能源部门积极探寻解决方案，确保美国经济和能源安全。美国生物能源技术研发五年计划草案的作用是投资关系国家未来的高风险、高价值的生物能源技术 RDD&D，充分发挥和拓展了农业的功能定位，强调生物质原料的生产、生物能源技术的转化和基础设施的完善。通过该计划的有效执行，将有助于降低美国对进口石油的依赖性，减少 GHG 与其他污染物的排放量，提供更多的农业与林业就业机会。美国生物能源技术研发计划值得我国借鉴的经验是：我国应该从战略上重视生物能源的发展，制定可行的目标和相应的政策，促进生物能源的发展；从技术上支持生物能源的开发和利用，结合生物技术、化学和工程等范围广泛的技术进行开发，对国家所属实验室的生物质研发项目进行统筹，协调研发资源，提供技术支持，促进国家研究机构与私人机构之间的合作；从经济上奖励生物能源的使用，确保国内可靠、廉价、环保生物能源供应的可实现性，大力推进生物燃料在我国的发展。■

参考文献：

- [1] United States Congress. Energy Independence and Security Act of 2007[R/OL]. Washington: Government Printing Office, 2007.
- [2] U.S. DOE, BETO. Multi-Year Program Plan[R/OL]. (2013-05)[2014-02-16]. [http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/mypp\\_may\\_2013.pdf](http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/mypp_may_2013.pdf).
- [3] The University of Tennessee, Institute of Agriculture. Agricultural Policy Analysis Center Research Tools: POLYSYS[EB/OL]. [2014-02-16]. <http://www.agpolicy.org/polysys.html>.
- [4] U.S. Department of Energy. Annual Energy Outlook 2012 with Projections to 2035 (DOE/EIA-0383)[R/OL]. Washington: Government Printing Office, 2012.
- [5] U.S. Department of Energy. U.S. Billion-Ton Update: Biomass Supply for a Bioenergy and Bioproducts Industry[R/OL]. (2011-08)[2014-02-18]. [http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/billion\\_ton\\_update.pdf](http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/billion_ton_update.pdf).
- [6] U.S. Department of Energy. Annual Energy Outlook 2012: High Oil Price Case[R]. Washington: Government Printing Office, 2012.
- [7] Renewable Fuels Association. Accelerating Industry Innovation 2012: Ethanol Industry Outlook[R/OL]. (2012)[2014-02-27]. [http://ethanolrfa.3cdn.net/d4ad995ffb7ae8fbfe\\_1vm62ypzd.pdf](http://ethanolrfa.3cdn.net/d4ad995ffb7ae8fbfe_1vm62ypzd.pdf).
- [8] Frank E D, Han J, Palou-Rivera I, et al. Methane and Nitrous Oxide Emissions Affect the Life-Cycle Analysis of Algal Biofuels[J]. Environmental Research Letters, 2012(7): 014030.

## Multi-Year Program Plan of Bioenergy Technologies Research in the U.S. and Its Management Measures

DU Yan-yan, SHI Jia-hui

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

**Abstract:** The U.S. Bioenergy Technologies Office announced the *Multi-Year Program Plan* (MYPP), a research and development draft in the bioenergy technology field in May 2013. The draft clarifies the structure and key research fields of U.S. Bioenergy Technology Office, and determines the research, development, demonstration and deployment (RDD&D) activities of the office in the next five years. The main objective of RDD&D activities is to achieve the goal of an annual output of 36 billion gallons of renewable transportation fuels by 2022, in order to reduce the U.S.'s dependence on fossil fuels and greenhouse gas (GHG) emissions of the transport sector in U.S. The main task is to develop renewable biomass resources through the proposed research, development, demonstration and deployment activities, and to transform those resources into commercially viable high-performance bio-fuels, bio-products and bio-electricity. The paper analyzes the framework, main content and management measures of the U.S. bioenergy technology research and development, which is worthwhile to be shared by the Chinese counterparts to formulate the bioenergy development policy.

**Key words:** U.S.; bioenergy; research and development plan; management measures