

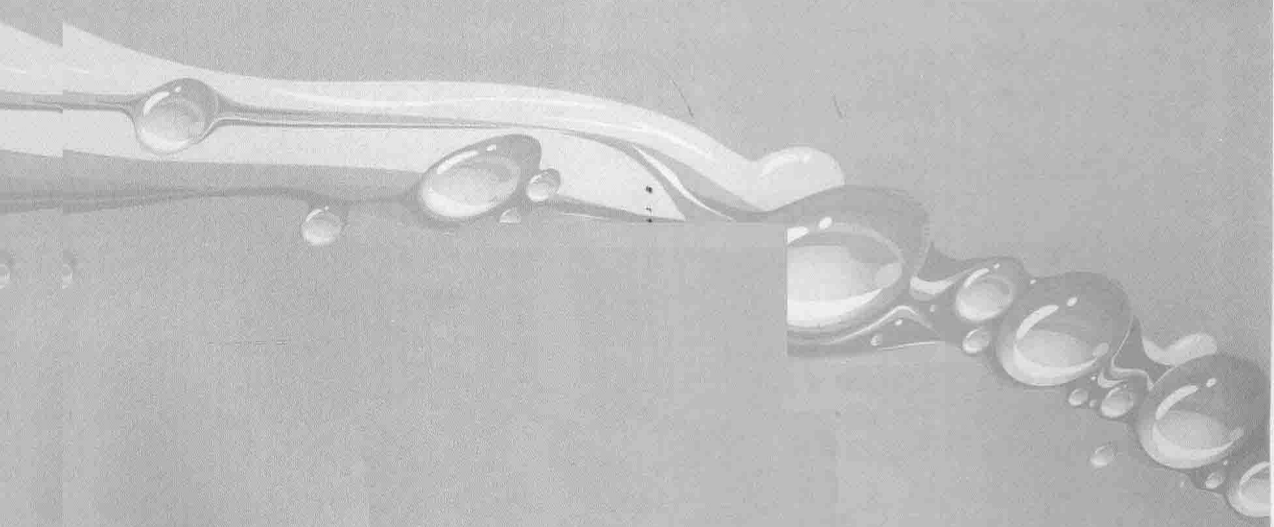
# 工业糖浆及 糖醇能源化工概述

徐道清 顿宝庆 主编

中国农业科学技术出版社

# 工业糖浆及 糖醇能源化工概述

徐道清 靳常庆 主编



中国农业科学技术出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

工业糖浆及糖醇能源化工概述 / 徐道清, 顿宝庆主编. —北京:  
中国农业科学技术出版社, 2015. 8  
ISBN 978 - 7 - 5116 - 2104 - 7

I. ①工… II. ①徐…②顿… III. ①糖浆 - 糖醇 - 乙醇 -  
化工生产 IV. ①TQ233. 12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 105656 号

责任编辑 崔改泵  
责任校对 贾海霞

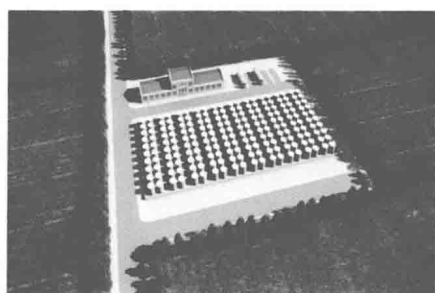
出 版 者 中国农业科学技术出版社  
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081  
电 话 (010)82109194(编辑室) (010)82109702(发行部)  
(010)82109709(读者服务部)  
传 真 (010)82106650  
网 址 <http://www.castp.cn>  
经 销 者 各地新华书店  
印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司  
开 本 710mm × 1 000mm 1/16  
印 张 12  
字 数 196 千字  
版 次 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷  
定 价 50.00 元

# 《工业糖浆及糖醇能源化工概述》

## 编 委 会

主 编 徐道清 顿宝庆

编 委 徐宝剑 王 智 郑亮伟



用甜高粱秸秆、玉米秸秆、鲜红薯、鲜木薯等生产工业糖浆

我国有年产 12 亿吨标浆（含糖 50% 的工业糖浆）的生产潜力

可以生产 3 亿吨以燃料乙醇为主的糖醇能源化工产品

可以替代 4 亿多吨石油

# 序 言

在 2012 年的一次生物质能源研讨会上，我听了徐道清先生关于《制取玉米秸秆工业糖浆》的报告，当时就引起我极大的兴趣。因为我是一名作物科学工作者，长期和农作物打交道，知道做秸秆有糖液，没有想到徐道清先生居然把玉米秸秆的糖汁榨出来，还浓缩成工业糖浆。我意识到这是农业生产上的一个创新，要支持徐道清先生的工作。于是，我和徐道清先生就成了共同开发秸秆工业糖浆的战友。

现代作物育种和作物栽培，均致力于作物高产。作物高产的基本原理是构建合理的株型结构，使叶片生产更多的光合产物（糖），尽可能延长叶片的生理功能，通过茎秆中的输导组织把糖运送到作物的籽粒中储存起来，成为粮食。育种家培育出的高产品种都具有“穗黄秸秆青绿”的特性。作物栽培专家的丰产模型，也具有“早熟不早衰”的特征。现代的作物生产，当种子成熟时，秸秆多是青绿的。因此，作物收获时秸秆仍含有大量的汁液，汁液中含有丰富的糖分。以玉米为例：亩产 600kg 左右的玉米田块，成熟时，每亩约有 1 000kg 的秸秆，茎秆汁液 70% 左右，茎秆汁液含糖量 8% ~ 11%。通过压榨，每亩可取出 500kg 汁液，进一步浓缩，可制取 50% 浓度的工业糖浆 100kg。工业糖浆每吨以 2 500 元计算，每亩糖浆收入 250 元。榨取糖浆的秸秆渣，可做优质的青贮饲料。因为经过压榨，细胞壁破裂，粗硬的秸秆变得非常柔软，适口性增强。每亩可制成 500kg 青贮饲料，每千克按 0.5 元出售，可收入 250 元。这样每亩玉米秸秆的产值就可达到 500 元。

机械化的推行，玉米秸秆的收获、压榨取汁、秸秆渣打包青贮等都可以实行机械操作，使玉米秸秆工业糖浆的大规模生产变为可能。徐道清先生已在内蒙古投资建厂，中国农业科学院作物科学研究所生物质能源课题组的同志也在跟踪进行研究。科研与生产相结合，相信不久便会结出硕果。

如果，徐道清先生成功了，作物秸秆工业糖浆将是一个大产业。除玉

米秸秆外，水稻秸秆、甜菜叶、甘薯秧、马铃薯秧等作物茎秆都可以用来榨取糖汁。巨大的经济、社会、生态效益将展现在我们面前。

万事开头难，我们不展开那诱人的前景，先把今年的工作落实做好。2015 年，徐道清先生将投入 5 亿元，在内蒙古自治区兴安盟建设 10 座玉米秸秆工业糖浆厂，全部建成投产后，年处理玉米秸秆 500 万 t。再经过几年运行，到 2018 年就可进行项目验收。届时，我们将对秸秆工业糖浆做出准确、科学的评价。

### 路 明

原农业部副部长、国家能源专家咨询委员会新能源  
分会主任、第九届全国政协常委、民建中央副主  
席，现任中国农业科学院博士生导师

2015 年 3 月 22 日

# 目 录

## 第一篇 基础理论

|                      |      |
|----------------------|------|
| 第一章 能源的本质 .....      | (3)  |
| 第一节 能源的分类 .....      | (3)  |
| 第二节 太阳能 .....        | (10) |
| 第三节 生物能(化学能) .....   | (16) |
| 第四节 电能和液体能源 .....    | (21) |
| 第二章 糖醇能源、化工基础 .....  | (25) |
| 第一节 糖醇能源、化工的概念 ..... | (25) |
| 第二节 糖醇能源化工的原料 .....  | (27) |
| 第三节 糖醇能源化工发展途径 ..... | (32) |
| 第四节 糖醇能化与石油能化 .....  | (34) |
| 第五节 世界糖醇能源化工预测 ..... | (38) |

## 第二篇 生产实践

|                        |      |
|------------------------|------|
| 第三章 工业糖浆概述 .....       | (45) |
| 第一节 工业糖浆 .....         | (45) |
| 第二节 工业糖浆的标准 .....      | (62) |
| 第四章 糖醇能源化工 .....       | (71) |
| 第一节 糖醇能源化工的生物学途径 ..... | (71) |
| 第二节 糖醇能源化工产品 .....     | (79) |

## 第三篇 工程规划

|                     |      |
|---------------------|------|
| 第五章 “甜高粱工程” .....   | (95) |
| 第一节 “甜高粱工程”概述 ..... | (95) |

|     |                          |       |
|-----|--------------------------|-------|
| 第二节 | “甜高粱工程”的资源调查和总体规划 .....  | (98)  |
| 第三节 | 以植树造林为主的生态恢复工程 .....     | (99)  |
| 第四节 | 以平整土地为主的农田水利基本建设工程 ..... | (100) |
| 第五节 | 以种植甜高粱为主的农业工程 .....      | (102) |
| 第六节 | 以鲜植物中的糖分保存为主的制糖浆工程 ..... | (103) |
| 第七节 | 糖醇能源化工产品生产与使用工程 .....    | (105) |
| 第八节 | 相适应的政策法律体系 .....         | (110) |
| 第九节 | 玉米秸秆中糖的生物学基础 .....       | (111) |

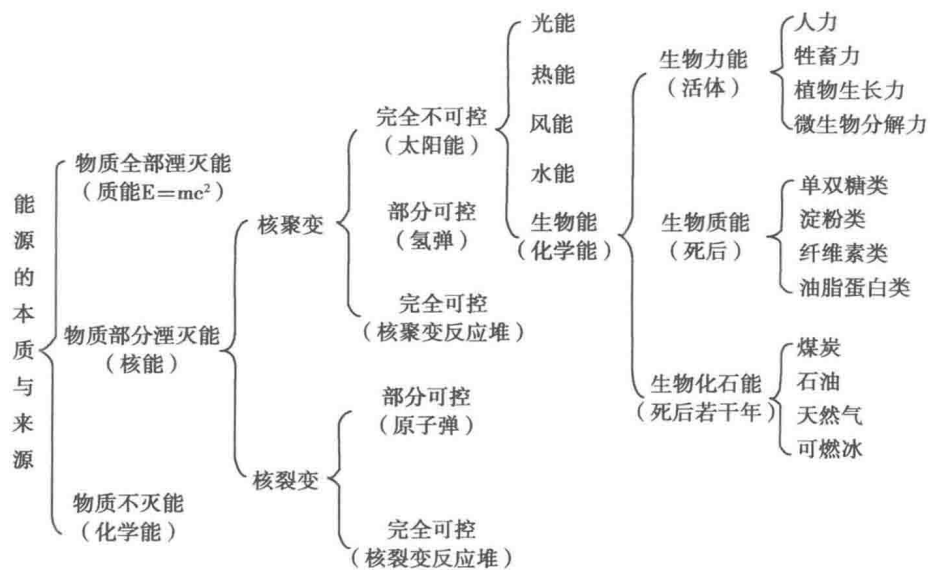
## 附 录

|      |                         |       |
|------|-------------------------|-------|
| 附录一  | “甜高粱工程”实践案例 .....       | (117) |
| 附录二  | 我国工业糖浆和糖醇能源化工产能预测 ..... | (122) |
| 附录三  | 全国工业糖浆和糖醇能源化工潜能汇总 ..... | (176) |
| 参考文献 | .....                   | (179) |
| 后记   | .....                   | (181) |

# **第一篇**

## **基础理论**

## 能源的本质



# 第一章 能源的本质

什么是能源？能量的来源叫能源。那么能量从哪里来的呢？现代科学证明，宇宙是物质在能量的作用下，沿着时间横轴和空间纵轴的单向运动。物质包括物质、反物质和暗物质。

物质是能量的凝聚态，能量是物质的表现形式之一，产生于物质又作用于物质。物质和能量可以相互转化： $E = mc^2$ 。这就是著名的爱因斯坦质能方程，方程揭示了物质和能量的本质关系，或者说揭示了能量来源即能源的本质。

## 第一节 能源的分类

根据物质产生能量的形式，可以将能源分为 3 类：

- ① 物质全部湮灭能——质能；
- ② 物质部分湮灭能——核能；
- ③ 物质不灭能——化学能。

### 一、物质全部湮灭能——质能

$$\begin{cases} M + (-M) = 0 \\ E = mc^2 \end{cases} \quad (1-1)$$

式中， $M$  是由带正电的原子核和负电子组成的，亦即我们平常所表达的物质； $-M$  是由带负电的原子核和正电子组成的，也就是所谓的反物质。目前，人类已经能从太空俘获也能够人为制造反物质。当等量的物质和反物质相遇，物质（ $M$ ）和反物质（ $-M$ ）全部湮灭（消失），并全部转化为能量，即  $E = mc^2$ 。其中， $c$  为光的速度， $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

物质和反物质湮灭时产生巨大的能量，这时物质的能量密度最高，1kg（千克）反物质在与物质湮灭时产生的能量相当于 310 万 t 的标准煤

燃烧释放的能量：

$$E = mc^2 = 1\text{kg} \times (3 \times 10^8 \text{m/s})^2 = 9 \times 10^{16} \text{ (J)}$$

$$1\text{t 标准煤燃烧释放的能量} = 2.93 \times 10^{10} \text{ (J)}$$

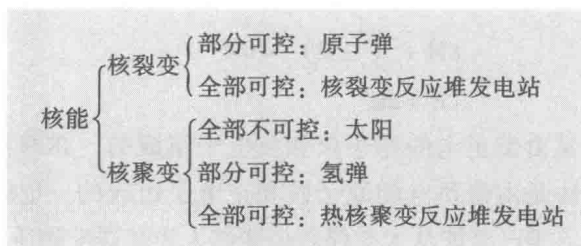
$$(9 \times 10^{16}) \div (2.93 \times 10^{10}) = 3.1 \times 10^6 = 310 \text{ (万 t)}$$

在湮灭时，能量的释放效率达 100%，也就是说，物质和反物质全部消失，没有固体残渣也没有气体微尘。这是一种最理想的能源，不造成任何污染，也不产生核辐射。

质能有许多优点，但是获得反物质却极其不易。该领域世界上最大的科研机构——位于瑞士的欧洲原子核研究中心（简称欧核中心），直到现在生产量也只有几滴（以微克计），生产成本也极高，“欧核中心”生产的这几滴反物质换算成克（g）计算，生产 1g 反物质要耗资 6 万亿美元。也就是说生产 1g 反物质要耗掉美国年 GDP 的 37%，而中国一年的 GDP 才能生产约 1.7g 反物质。另外，还有人工控制问题，任何能源如果不能人工控制，人类就不能有效利用。

只有在人类有效控制下，能量能够持续产生并均匀输出的能源，才能被人类利用。质能瞬间产生巨大能量，这个能量是不好控制的，人类目前还没有找到控制办法。从上述困难可以看出，人类利用质能的目标还遥遥无期。

## 二、物质部分湮灭能——核能



### （一）核裂变能

核裂变能存在于原子核内部，只有使它释放出来才能被人类所利用。重核在核裂变反应过程中会释放出巨大的能量，称为核裂变能。核裂变能

应用是缓和世界能源危机的一种经济有效的措施。目前被人们利用的核能包括制造原子弹及建造核电站。

现在的原子弹、核裂变反应堆发电站使用的核燃料，在裂变时，物质减少了约 1% ~ 2%，这 1% ~ 2% 的物质也可以认为是物质湮灭成为能量。相对于质能来说，这里没有反物质（ $-M$ ）参与。

$$\begin{cases} m = M_{\text{前}} - M_{\text{后}} \\ E = mc^2 \end{cases} \quad (1-2)$$

式中， $M_{\text{前}}$ 、 $M_{\text{后}}$  分别是核裂变前后核燃料（如铀 235）的质量， $m$  在核裂变时全部转化为能量  $E = mc^2$ 。其中， $c$  为光速， $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

例如，1kg (kg) 铀 235 裂变后，质量减少约 1.5% 即  $15 \times 10^{-3} \text{ kg}$ ，湮灭为能量：

$$E = mc^2 = 15 \times 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2 = 1.35 \times 10^{15} \text{ (J)}$$

相当于标准煤（每吨放热  $2.93 \times 10^{10} \text{ J}$ ）：

$$(1.35 \times 10^{15}) \div (2.93 \times 10^{10}) \approx 4.6 \times 10^4 \text{ (t)} \approx 4.6 \text{ (万 t)}$$

也就是说，1kg 铀 235 裂变后产生的能量大约相当于 4.6 万 t 标准煤燃烧后产生的能量。

在实际中，核裂变并没有这么大的能量输出，这可能是因为：

- (1) 物质并没有湮灭掉 1.5%，可能在 1% 左右。
- (2) 能量不仅仅是以热的形式输出，比如还有光能和其他射线（核辐射）等。
- (3) 产生、输出的热能也没有全部用来发电，浪费较多。

从 1957 年前苏联建立起第一座核裂变电站以来，人类目前已经享用多年核能源，全世界的核电站已有 400 多座，这些电站都是利用核裂变能发电。核裂变能相对于煤炭能源具有许多优点：

- (1) 能量密度高，原料运输成本低。
- (2) 不排放固体残渣和污染性气体。
- (3) 发电成本低廉。

但是目前核裂变能利用也有一些缺点，主要有：

- (1) 核裂变物质在地球上储量较少，据说按目前速度消耗，仅仅能维持 40 年左右。
- (2) 核辐射严重，废料难处理。

(3) 一旦发生事故,灾难非常可怕。比如1986年前苏联切尔诺贝利核电站事故。

(4) 建设费用高昂。目前1kW大约需要1万元的建设费。

## (二) 核聚变能

核聚变的过程与核裂变相反,是几个原子核聚合成一个原子核,同时释放出巨大能量的过程,且比核裂变放出的能量更大。只有较轻的原子核才能发生核聚变,在地球上能发生核聚变的原料主要是氢的同位素氘。氘在海水中含量较多,约有0.015%。从能源的角度讲,是取之不尽用之不竭的。核聚变不像核裂变时产生核辐射。氘聚变能源原料易得,又清洁环保,是一种理想的能源,可能也是人类在地球上的终极(电、热)能源。

虽然如此,但是,直到现在全世界还没有一座核聚变发电站,主要原因是氘聚变人类还不能完全有效地控制。主要原因有以下几点。

(1) “点燃”氘聚变、引起自持反应的温度很高,要求在1亿℃以上。

(2) 启动氘聚变后,能量瞬间释放太大,温度很高,大约可达2亿℃以上。

(3) 氘聚变时产生大量的中子流,还不能完全控制。

目前,对核聚变发电的研究仍处于试验阶段。

## 三、物质不灭能——化学能

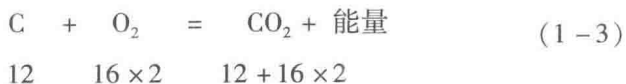
人类目前使用的大多数能源均属于化学能。例如,煤炭、石油、天然气、树木、农作物秸秆等物质与氧气发生化学反应,剧烈燃烧,释放出光、热等能量,人类可用来照明、取暖、发电或驱动内燃机等。我们把物质在化学反应时释放的能量称为化学能。

### (一) 煤炭

煤炭是古代植物埋藏在地下经历了复杂的生物化学和物理化学变化逐渐形成的固体可燃性矿物。是一种固体可燃有机岩,主要由植物遗体经生物化学作用,埋藏后再经地质作用转变而成,俗称煤炭。煤炭被人们誉为

黑色的金子、工业的食粮，它是 18 世纪以来人类世界使用的主要能源之一。

煤炭燃烧的化学方程式如下：



煤炭燃烧前原子质量：

$$M_{\text{前}} = 12 + 16 \times 2 = 44$$

煤炭燃烧后原子质量：

$$M_{\text{后}} = 12 + 16 \times 2 = 44$$

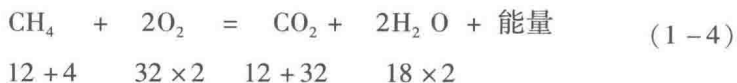
得出： $M_{\text{前}} = M_{\text{后}}$

## (二) 石油、天然气

石油是一种黏稠的深褐色液体。地壳上层部分地区有石油储存。主要成分各种烷烃、环烷烃、芳香烃的混合物。石油主要被用作燃料油和汽油，燃料油和汽油在 2012 年组成世界上最重要的二次能源之一。石油也是许多化学工业产品如溶剂、化肥、杀虫剂和塑料等的原料。2012 年开采的石油 88% 被用作燃料，其他的 12% 作为化工业的原料。实际上，石油是一种不可再生资源。

天然气是指自然界中天然存在的一切气体，包括大气圈、水圈和岩石圈中各种自然过程形成的气体（包括油田气、气田气、泥火山气、煤层气和生物生成气等）。而人们长期以来通用的“天然气”的定义，是从能量角度出发的狭义定义，是指天然蕴藏于地层中的烃类和非烃类气体的混合物。在石油地质学中，通常指油田气和气田气。天然气主要用途是作燃料，可制造炭黑、化学药品和液化石油气，由天然气生产的丙烷、丁烷是现代工业的重要原料。天然气主要由气态低分子烃和非烃气体混合组成。和石油一样，也是一种不可再生资源。

石油、天然气燃烧的化学方程式如下：



石油或天然气燃烧前原子质量：

$$M_{\text{前}} = 12 + 4 + 32 \times 2 = 80$$

石油或天然气燃烧后原子质量：

$$M_{\text{后}} = 12 + 32 + 18 \times 2 = 80$$

得出： $M_{\text{前}} = M_{\text{后}}$

### (三) 木柴、农作物秸秆

木柴和农作物秸秆中含有大量的木质素或纤维素，其燃烧过程实质是木质素或纤维素与氧气进行放热反应的过程。木柴和农作物秸秆是人类最早利用的燃料（图 1-1），但是随着人类社会的发展，其弊端也逐渐显现，主要有如下几种。

(1) 增加空气中  $\text{CO}_2$  的含量，加剧温室效应（其中，秸秆燃烧导致  $\text{CO}_2$  的提高比例远远大于燃烧普通树木的比例）。

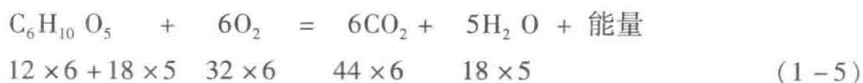
(2) 增加空气中的可吸入颗粒物，此颗粒物为白色粉末状固体。

(3) 降低空气的能见度，燃烧时秸秆生成大量的白色固体烟雾。由于固体极小，所以呈粉末状飘散，极其影响城市、高速公路、机场等地的能见度。同时也是形成雾霾的罪魁祸首之一。



图 1-1 农村用于做饭、取暖囤积的柴草

木柴、农作物秸秆燃烧的化学方程式如下：



木柴或农作物秸秆燃烧前原子质量：