

ERNEST ORLANDO LAWRENCE
BERKELEY NATIONAL LABORATORY
劳伦斯伯克利国家实验室

啤酒厂改善能效和节约成本的机会

向能源和工厂管理人员提供的能源之星®指南

Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell and Bryan Lehman

能源分析处

环境能源技术部

劳伦斯伯克利国家实验室

2003 年 9 月

本报告由美国环保局的气候保护合作处资助，为“能源之星计划”的一部分。能源之星是一个由政府支持、以帮助企业通过优越的能效来保护环境的计划。这项工作是由环保局合同 DW-89-93934401-1 通过美国能源部合同 DE-AC03-76SF00098 所支持的。

免责声明

本文是对美国政府所赞助项目的记述。尽管我们相信本文所含的信息是准确的,但是美国政府和各有关部门、加州大学校务委员会以及它们的雇员并不对本文所披露的资讯、设备、产品、工艺的准确性、完整性、实用性作任何保证、表述、暗示及承担任何法律责任,而且并非代表它们的使用将不会侵犯任何私人权益。本文所引证的任何具体商业产品、加工工艺和服务的商业名称、商标、制造厂商等并非构成或暗示获得美国政府和各有关部门、加州大学校务委员会的认可、推荐或者赞赏。本文作者所表达的观点并非代表美国政府和各有关部门以及加州大学校务委员会。

劳伦斯·伯克利国家实验室是一个提供平等就业机会的雇主。

目录

1. 介绍.....	2
2. 啤酒厂的市场.....	3
3. 工艺过程介绍.....	6
4. 能源使用.....	10
4.1 能源的消耗和开支.....	10
4.2 能源强度	12
5. 能效的选择.....	14
6. 具体生产过程的措施.....	20
6.1 糖化和过滤槽工艺	20
6.2 麦汁煮沸和冷却.....	20
6.3 发酵.....	24
6.4 啤酒处理技术.....	25
6.5 包装技术.....	26
7. 跨工艺的措施.....	28
7.1 锅炉和蒸汽输配	28
7.2 电机和使用电机的系统	30
7.3 制冷和冷却.....	32
7.4 其他的公用设施	33
8. 提高材料效率的机会.....	37
9. 未来的技术.....	41
10. 总结和结论.....	42
11. 鸣谢.....	45
12. 参考文献.....	46
附录 I. 大型啤酒厂的地点和产能.....	53
附录 II. 职工在能效中的任务.....	54
附录 III. 能效最佳实践的能源管理系统评估.....	55
附录 IV. 改善工业能效的支持计划.....	56

图表

表 1. 1997 年主要啤酒厂的产品和发货价值.....	4
表 2. 1994 年麦芽酒饮料业主要的能源消耗和开支.....	10
表 3. 1994 年啤酒厂行业用电和来源.....	11
表 4. 估计各种酿造过程用能的百分比.....	11
表 5. 啤酒工业具体工艺的节能措施.....	15
表 6. 啤酒工业跨工艺和公用设施的节能措施.....	16
表 8. 具体工艺的能效措施的主要节能和归本的估计.....	43
表 9. 公用设施的能效措施的具体主要节能和归本的估计.....	44
图 1. 1980-1999 年美国的啤酒产量(百万桶).....	3
图 2. 美国啤酒厂的产量(百万桶) 1987-1999 年.....	5
图 3. 啤酒生产的工艺过程.....	8
图 4. 所选择的国家和公司啤酒生产的初级能源强度.....	12
图 5. 1998 年德国按规模统计的啤酒厂耗能量.....	13
图 6. 战略性能源管理体系的主要组成部分.....	18

啤酒厂改善能效和节约成本的机会 向能源和工厂管理人员提供的能源之星®指南

Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell and Bryan Lehman

能源分析处
环境能源技术部
劳伦斯 伯克利国家实验室

2003 年 9 月

摘要

在美国的啤酒厂每年的能源开支超过\$2 亿美元（约 16.5 亿人民币）¹。由于能源消耗是相当于啤酒生产成本的 3 - 8%，从而使改善能效成为减低成本的一个重要途径，特别是在能源价格波动大的时期。在总结了啤酒制造过程和能源使用以后，我们会分析可供啤酒厂应用的能效机会。我们将根据已实施的措施的案例分析，以及参考技术文献，提供每项能效措施具体的主要节能。如果有可能，我们也会列出了典型的归本期。我们的研究表明，在现有的技术条件下，啤酒工业仍然存在着能经济有效地减少能源消耗的机会。啤酒厂高度重视他们的啤酒的质量、风味和可饮性。啤酒公司正在或预期继续向符合这些质量、风味和可饮性要求和经济有效的节能措施投入资本。对于各个单独的工厂，需要对措施在经济上，以及对不同的啤酒厂的适用性，开展进一步的研究以评估所选择的技术的实施。

¹ 本文采用 2003 年美元对人民币之间的平均汇率：\$1 美元=8.2672 人民币

1. 介绍

由于美国的制造商面对着一个竞争日益增加的全球商业环境，他们要在对产量和质量不产生消极影响之下寻找减低生产成本的机会。当今市场上不稳定的能源价格会对预期的收入产生消极的影响，成为对啤酒工业中公开上市公司的关注。能源价格的上升会使成本增加并减少他们的增值，这一点对上市和私人公司都是相同的。向能效技术和实践成功地和经济有效地投资能经得起在减低生产成本之下仍然保持生产高质量产品的挑战。更重要的是能效技术常常包括了“额外的”收益，例如增加公司的生产力。

节能是公司环境策略的一个重要组成部分。末端治理可能是昂贵和低效的，而能效常常可能是减少规范的和其他的污染排放的廉价机遇。节能可以作为向达到所谓“三重底线”（即注重企业的社会、经济和环境责任）作出努力的一个有效策略。²

政府的自愿计划注重在协助各行业通过增加能效和减少对环境的影响来改善竞争力。能源之星[®]是美国环保局(EPA)管理的一个自愿计划，它强调需要有力的和策略的公司能源管理计划。能源之星[®]为公司成功地实行能源管理计划提供了能源管理的工具和策略。目前的报告介绍了为支持能源之星[®]以及它在啤酒工业的工作而开展的研究。这项研究向啤酒厂提供了潜在的能效机会的资讯。可以通过 www.energystar.gov 网站与能源之星[®]联系以了解更多的在美国工业中促进有力的能源管理实践的能源管理工具。

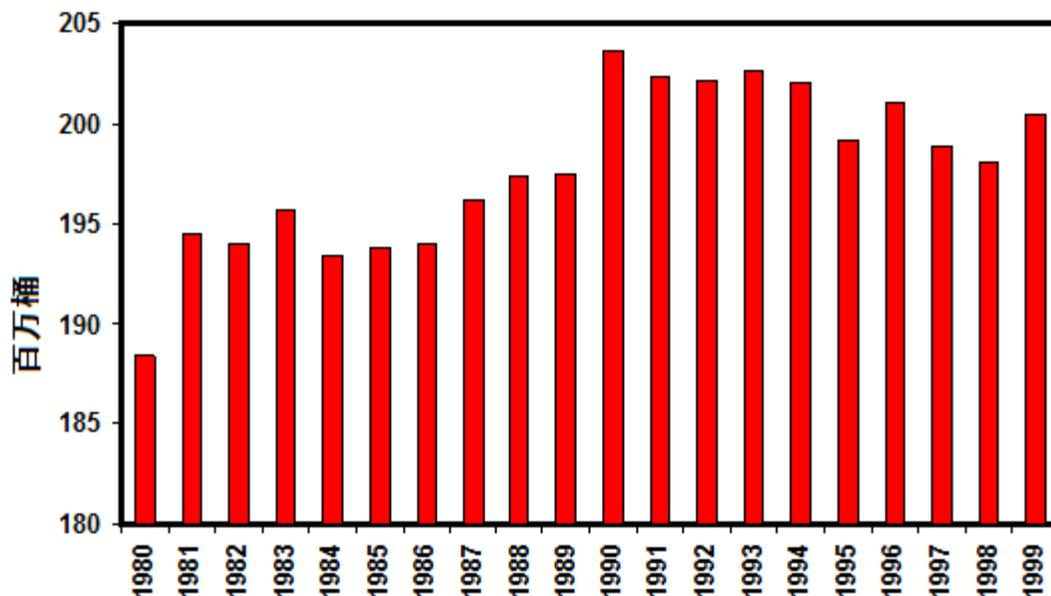
²“三重底线”的概念是由世界可持续发展工商理事会(WBCSD)提出的。三个方面是互联的：由于社会取决于经济，而经济取决于全球的生态系统，而其健康代表着最终的底线。

2. 啤酒厂的市场

美国的啤酒行业(行业分类代码 SIC 2082 或 NAICS 312120)由大约 500 家公司组成并且生产大约价值\$200 亿美元(约 1653 亿人民币)的发货量(DOC, 1999)。主要产品种类是罐装啤酒和整箱麦酒货品。生产设施分布全国。尽管生产过程大致上并未改变,但是行业日益移向规模经济。有超过 250 名雇员的大型企业占了行业中大约一半的增值(DOC ,1999)。至 1998 年,在全国超过 2000 家啤酒厂中有 43 家大型啤酒厂占了大多数的产量(参见附录 I) (Real Beer, 2000)。现在啤酒厂的数量是从 1933 年结束禁酒时期以来的最高水平 (Hein, 1998), 突出了啤酒饮料行业的蓬勃发展。

啤酒厂产品主要包括啤酒 (贮藏啤酒和麦酒)。图 1 显示了美国啤酒产量的历史。产量在 1990 年达到了顶峰,部分原因是由于在 1991 年生效的税法改变,即对啤酒产品加收货物税。在 90 年代的大多数时期中年产量的范围是 2 亿桶左右。³

图 1.1980-1999 年美国的啤酒产量(百万桶)



注: 1990-1999 的数据反映的是年历年而不是财政年度数据。

资料来源:啤酒研究院,2000 年。1999 年是来自啤酒研究院的一个估计。

³一桶啤酒是 31 加仑或 1.2 百升。

美国的啤酒产量在 1990 年达到了顶峰，长期(1980-1999) 则显示了人均趋向的轻微下降。美国的人均啤酒消费量在 1999 年是 22 加仑，比 1980 年的 23 有所下降。然而，各州的趋向是有所不同的(Hein, 1998)。影响啤酒消费量的因素有气候(降水、温度)、人口增长和分布、经济发展和与其他饮料的竞争。未来的消费量趋向将受与到其他酒精饮料(葡萄酒、烈酒)和非酒精饮料竞争的影响。当然，葡萄酒和软饮料近年来显示了最高的增长(Hein, 1998)。

瓶装和罐装啤酒的生产主导了市场。如表 1 所显示，罐装啤酒占了行业中一半的发货价值，而瓶装的啤酒占了三分之一。

表 1. 1997 年主要啤酒厂的产品和发货价值

产品	发货 (\$十亿美元)	发货 (¥亿人民币)
罐装啤酒和整箱装麦酒	9.6	794
12 盎司罐	8.4	694
16 盎司罐	0.7	58
其他	0.4	33
瓶装啤酒和整箱麦酒	6.2	513
12 盎司瓶 (可退瓶)	0.8	66
小于 12 盎司 (可退瓶)	< 0.1	<8
其他规格 (可退瓶)	< 0.1	<8
12 盎司瓶 (不可退瓶)	4.2	347
小于 12 盎司 (不可退瓶)	0.1	8
32 盎司 (不可退瓶)	0.3	25
其他规格 (不可退瓶)	0.6	50
大桶和小桶装啤酒和麦酒	1.1	90
半桶装	1.0	83
其他规格	0.1	8
所有其他啤酒酿造产品	0.6	50
麦芽酒精饮料, 没有特别指明种类	0.5	41
所有啤酒厂产品	18.1	1496

资料来源: DOC, 1999

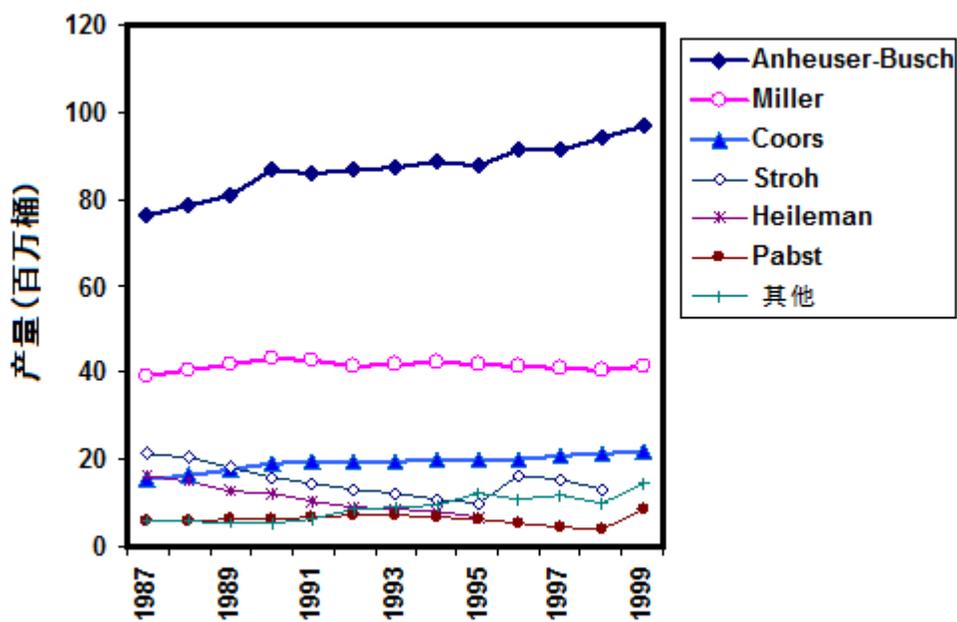
图 2 分别显示了所选择的公司在 1987 年和 1999 年之间的产量。Anheuser-Busch、Miller 和 Coors 公司共同占有了美国总产量的 83%。在这些公司中，最大销售量的品牌是百威 (Budweiser) (占 20%)，百威清啤 (Bud Light) (占 14%)，米勒系列 (Miller Franchise) (占 8%)，康胜清啤 (Coors Light) (占 8%) 和布施 (Busch) (占 5%)。清啤酒的份额正在继续增长并在目前夺取了三分之一的市场。正当国内主要品牌产量的增长仍然是相对地平坦时，行业中精酿啤酒⁴的份额开始显示出更强的增长并应该能持续，尽管它们的生产基地仍然是相对地小 (Edgell Communications, 2000)。在 1999 年前五位的精酿啤酒只占了不到 3 百万桶 (2.6

⁴精酿啤酒厂在此的定义是：不可由另一家高于 \$5 千万营业额的大型非精酿啤酒公司拥有超过三分之一的股份。

百万百升)。目前进口啤酒在美国市场中占了大约 7%，并且在继续增长(Hein, 1998)。主要向美国出口的是墨西哥、加拿大、荷兰、英国、德国和爱尔兰。美国啤酒工业主要向亚洲市场(日本、台湾、香港)，美洲(巴西、加拿大、墨西哥)和俄国出口。出口量曾经在增长，直到 1995 年由于亚洲、巴西和俄国的经济发展而开始减少。

增值是反映在出货的价值减去生产产品所需的进货成本。从 1980 年的\$37 亿到 1998 年的\$112 亿，啤酒工业增值的增长是平均每年 6.5% (DOC, 2000)。在同一时期中，雇员由 43000 人减少到 32000 人，每年下降 1.6%。这将啤酒工业在每名雇员的增值方面列入了前十位工业行业中。美国啤酒行业就业的减少可能反映了机械化水平的增长。

图 2. 美国啤酒厂的产量(百万桶) 1987-1999 年



资料来源: Edgell Communications, 2000; Hardwick, 1994

3. 工艺过程介绍

啤酒酿造工艺使用大麦麦芽和/或谷物、未发芽谷粒和/或糖/玉米糖浆(辅料)、啤酒花、水和酵母生产啤酒。美国的大多数啤酒厂使用大麦麦芽作为他们的主要原料。根据啤酒厂的地点和水源的水质，水通常要经过逆渗透碳过滤或其他类型的过滤系统的预处理。图 3 概述了美国啤酒厂的主要生产阶段。

酿造的第一步，**碾碎和碳过滤**，大麦麦芽从存贮设施输送到湿式或干式碾碎处理以保证能获得最多的提取物质(UNEP, 1996)。有时在碾碎之前需将谷物通过蒸汽或水的调理。

碾碎的麦芽、胶状的辅料和水的混合物称为麦芽浆(醪液)。**糖化**的目的是从碎麦芽取得最多的萃取物(甜麦汁)以保证产品的均匀度。糖化包括了在糖化锅中通过浸出、煎煮或两者的组合，混合和加热麦芽浆。在这个过程中，麦芽浆中的淀粉质成分被水解，产生了称为甜麦汁的酒料液。在浸出糖化过程中，使用在 160-180°F (71-82 °C) 之间的热水来增加在隔热的糖化锅中提取麦汁的效率。糖化的温度是取决于加热麦汁所使用的蒸汽盘管或夹套。在煎煮糖化过程中，将部分糖化混合物从麦芽浆中分离，加热到沸腾并再送回糖化锅。这个过程可以重复多次，而麦汁的整体温度随着每次浸入而增加。一部分的麦汁被蒸发掉。这个过程在中型啤酒厂中估计要需 12-13 kBtu/桶⁵ (约 431-467 克标准煤/桶) (Hackensellner, 2000)。所使用的糖化系统的种类取决于几个因素，例如谷物的成分、设备和所需要的啤酒类型。虽然煎煮糖化看来是在北美洲的首选系统(Hardwick, 1994)，但浸出糖化的能源强度却比煎煮糖化小，所需的燃料大致是 8-10 kBtu/桶 (约 288-356 克标准煤/桶) (Hackensellner, 2000)。

在完成糖化转换后，随即从麦芽浆中分离出麦汁。在大型啤酒厂中最常用的系统是过滤槽或麦芽浆过滤器(O' Rourke, 1999b)。一个更加传统的系统是使用组合的糖化桶/滤槽，通常称为糖化锅或糖化罐。在组合的糖化罐中，麦汁是通过锅底一系列开槽的板流出。麦芽浆则漂浮在麦汁的顶部。这往往是最慢的麦汁分离系统，尽管从资本支出来讲它的成本是最低的(O' Rourke, 1999b)。当使用大型过滤槽时，已转化的麦芽浆被移到一个过滤罐中，麦芽浆沉降在虚假的底部，因此可提取麦汁。过滤槽工艺是将糖化后的麦芽渣保留在开槽的板或有孔的管子上以便它形成滤垫的一个复杂的筛选法。麦汁会流经此滤垫(Hardwick, 1994)。在组合的糖化槽或过滤槽中，谷物层也要经过用水喷雾(即喷洒和混合)以回收附在麦糟上的任何残余的萃取物。经提取后的谷物，称为“酒糟”，最常用作动物饲料。在麦芽浆过滤器工艺中，麦芽浆搅拌器输入麦芽浆。由微孔聚丙烯板组成的过滤器形成一个紧密的滤垫，可取得非常高的萃取效率(超过 100%的实验室萃取法) (O' Rourke, 1999b)。然而，经过麦芽浆过滤器工艺过滤后的麦汁的质量可能会受影响，并且可能不适用于所有类型的酿造。

⁵在美国，用于酿造啤酒的能源一般用 kBtu/桶来表达。从 kBtu (更高的热值)转换成兆焦(MJ)需乘以 1.055 MJ/kBtu。从每桶啤酒转换成百升(hl)需除以 0.85 桶/hl。

下一个步骤，*麦汁煮沸*，在 1-1.5 小时内将麦汁煮沸和蒸发(蒸发率大约是 4-12%)。煮沸是强烈的反复煮沸而且是啤酒生产过程中燃料强度最大的步骤。Hackensellner (2000) 估计在德国，常规麦汁煮沸系统需使用 44 到 46 kBtu/桶(约 1.6-1.7 千克标准煤/桶)。煮沸将麦汁灭菌，凝固谷物蛋白质，停止酶的活性，除去挥发性化合物，导致金属离子、丹宁物质和油脂形成非溶性复合物，从啤酒花提取可溶性物质并且培养色泽和风味。在这个阶段中，可以加入啤酒花以提取它的苦涩树脂和精油。啤酒花可以全部或部份地用啤酒花浸膏代替，以减少煮沸时间并且免去了从煮沸的麦汁中提取啤酒花的需要。如果使用啤酒花，可以在煮沸以后由不同的过滤设备将他们除去，该工艺称为酒花滤清。正如那些用过的糖化谷物，有些啤酒厂通过向废啤酒花喷洒水并挤压来回收麦汁。为了除去啤酒花的碎屑，要将煮沸的麦汁通过沉淀、过滤、离心或者旋流(通过旋流槽)来澄清。在美国最常用的是旋流罐。

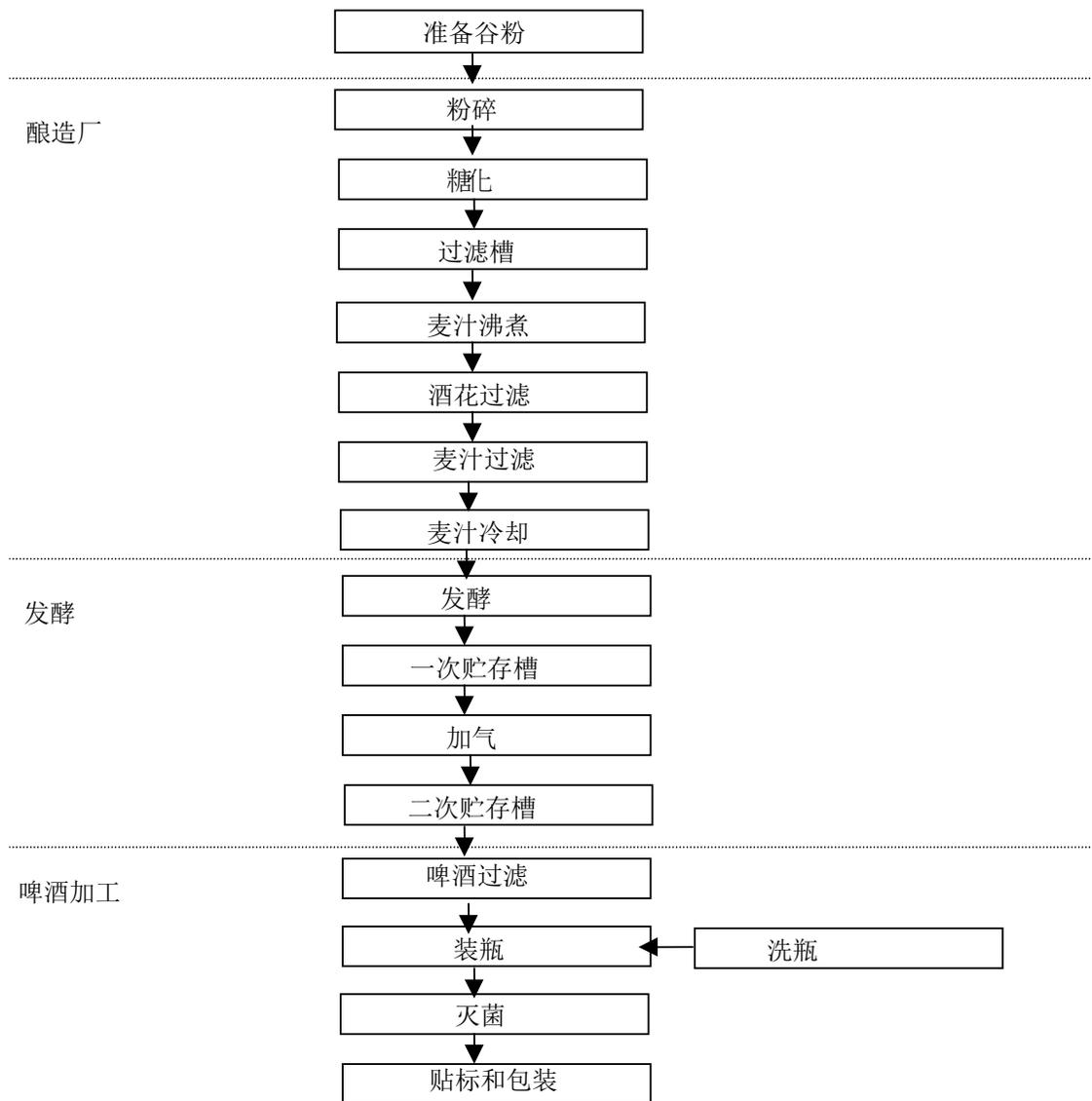
在澄清以后，将纯清的并带有啤酒花风味的麦汁冷却。冷却系统可使用空气或液体作为冷却的媒介。空气冷却使用空气提纯塔(由 Anheuser-Busch 所使用)，而液体冷却则使用平板热交换器。热交换器有两个类型：单级(仅用冻水)或多级(室温水 and 甘醇)。麦汁输入热交换器时在大约 205-210°F (96-99°C) 而到出口时已冷却到接种温度。接种温度则根据所生产的啤酒种类而变化。贮藏啤酒的接种温度是在 43-59°F (6-15°C)之间，而麦酒的接种温度较高，为 54-77°F (12-25°C) (Bamforth, 2001)。在由多级热交换器冷却的麦汁中潜在的回收热是 35-36 kBtu/桶(1.2-1.3 千克标准煤/桶) (Hackensellner, 2000)。某些啤酒厂在冷却前将麦汁加气以消除不需要的挥发性有机化合物。有些啤酒厂使用二次冷澄清来沉淀冷却残渣，一种出现在麦汁中的非溶性蛋白质沉淀物，来自冷却的过程中。

一旦麦汁冷却后，将它加氧并与酵母混和后送往发酵。⁶然后将麦汁放入发酵桶中。在大型啤酒厂中，圆柱形的发酵桶可以大到相当于 4000-5000 桶容量的槽(Bamforth, 2001)。在发酵期间，酵母代谢在麦汁中可发酵的糖而产生酒精和二氧化碳(CO₂)。该过程也会产生大量的热，因而必须进行散熟以避免破坏酵母。发酵桶是由盘管或冷却夹套来冷却。在闭合的发酵桶中，二氧化碳可以被回收并待以后再利用。发酵时间从麦酒的几天到贮藏啤酒的将近 10 天不等 (Bamforth, 2001)。速度取决于酵母菌株、发酵参数(象减少不需要的丁二酮水平)和啤酒厂想得到的风味特色 (Bamforth 2001; Anheuser Busch 2001)。

在第一轮发酵工艺结束时，通过振筛、吸取，锥形收集器，沉淀或离心分离的方式来除去酵母。有些酵母将被重复利用，而其他酵母将被丢弃。有些酿酒厂也会洗涤酵母。有些酿造方法需要第二次发酵，有时在成熟槽中加入糖或新鲜的、带有酵母的麦汁开始第二次发酵。在这个阶段中产生的二氧化碳将会溶解在啤酒中，从而在二氧化碳充气的工艺时需要较少的碳酸气。碳酸气化也会在第一次发酵中产生。一旦酵母成熟后就用沉淀或离心法除去。

⁶氧气对酵母细胞质膜的发展是必须的。

图 3. 啤酒生产的工艺过程



资料来源: UNIDO, 2000

啤酒成熟或调理是生产啤酒的最后一步。为了沉淀酵母和其他沉淀物并使啤酒成熟和稳定，需将啤酒冷却和贮藏。对于酵母细胞数量多的啤酒，可能有必要使用离心机进行预先澄清

和除去蛋白质和丹宁酸物质 (UNEP, 1996)。不同的啤酒厂用不同的温度来成熟他们的啤酒，部份是取决于想得到的风味特色。根据 Bamforth (1996)，在理想的情况下，这个阶段将啤酒冷却到大约 30°F (- 1°C)，然而在实践中变化的范围是从 30°F 到 50°F (- 1°C 到 10°C) (Anheuser Busch, 2001)。将啤酒存放在调理温度中数天到一个多月，然后是低温化处理和过滤。典型的是使用矽藻土(硅藻土)过滤器除去任何剩余的酵母。酿酒厂使用稳定剂作低温化处理。有些啤酒厂将色素、啤酒花浸膏和香料添加剂加入啤酒中。啤酒中的二氧化碳含量也可以用在发酵过程中收集的二氧化碳来调节。然后在包装之前将啤酒送到清酒(即过滤后的啤酒)罐中。在高浓酿造 (参见在效率措施部分的讨论) 中，将在调理阶段加入特别处理过的水，可以高达 50% 的显著容量 (Anheuser Busch, 2001)。

最后，在装瓶之前必须清除啤酒中所有剩余的有害细菌。达到此目的的一个方法(特别是对预计有长贮藏期限的啤酒)是巴氏灭菌法，将啤酒加热到 140°F (60°C) 以消灭所有的生物污染。巴氏灭菌技术分为隧道或瞬间灭菌。巴氏灭菌法所需要的能源对于隧道灭菌系统是每 1000 瓶为 19-23 千瓦时 (kWh) (Hackensellner, 2000)。其他的估计是 14-20 kBtu/桶 (504-718 克标准煤/桶) (Anheuser Busch, 2001)。另一个可选择的方法是使用无菌过滤(Bamforth, 2001)。然而，这是一个新的技术，有些人相信这些系统可能需要与他们所节约的能源相同的额外能源(Todd, 2001)。

在清洁过程中要使用大量的水。一家啤酒厂的进水量范围是每桶啤酒需要 4 到 16 桶水，而污水通常是比每桶啤酒的用水量少 1.3 到 2 桶(UNEP, 1996)。污水中含有生物污染物 (0.7-2.1 公斤 BOD/桶)⁷。主要的固体废料是酒糟、酵母、废啤酒花和硅藻土。穀渣估计占大约 16 公斤/桶麦汁 (36 磅/桶)，废酵母占另外的 2-5 公斤/桶啤酒(5-10 磅/桶) (UNEP, 1996)。这些废料主要用作动物饲料。二氧化碳和热也被作为废物来排放。

⁷ BOD 或生物氧气需求 (Biological Oxygen Demand)反映了有机材料的集中程度的计量。BOD，除非另外表明，它是在 5 天期间的测量 (UNEP, 1996)

4. 能源使用

4.1 能源的消耗和开支

食品及有关商品类(SIC 20) 在 1994 年消耗了大约 1585TBtu (1.7 MJ, 约 5700 万吨标准煤)⁸ 相等于大约 7% 的总体制造业初级能源消耗(EIA 1997)。在食品加工能耗中, 啤酒厂消耗了大约 4%, 相当于 67 TBtu (70 万 TJ, 约 241 万吨标准煤) 以及 40% 的饮料制造业 (包括如软饮料、酒庄和酒厂) 能耗。

天然气和煤炭占大约 60% 的麦芽酒精饮料业所消耗的初级能源总和。这些燃料主要用于输入锅炉生产供各种工艺和现场发电使用的蒸汽(参见表 2)。其他用途包括直接的工艺用途, 例如工艺加热、冷却、制冷和驱动机器, 以及直接非工艺用途例如设施供暖。净用电量, 包括发电损耗, 占 36% 的初级能源需求(参见表 2)。

在 1994 年, 麦芽酒饮料业的总能源开支是 \$2.21 亿美元 (约 18.3 亿人民币), 用电占了开支的 56%, 虽然净耗电量, 包括损耗, 是 36% (EIA, 1997)。1998 年制造业年度调查的数据显示该开支依然是相对地稳定在 \$2.1 亿 (约 17.3 亿人民币) - 尽管增加了产量 - 电的份额是 58% (DOC, 2000)。虽然近几年的整体能源开支数据也存在, 但 1994 年是由能源信息管理局公布啤酒行业详细的能源消耗和能源开支统计的最近年份 (EIA, 1997 and 2001)。在英国, 能源开支占大致 3-8% 的总生产成本 (Sorrell, 2000; McDonald, 1996)。Anheuser-Busch 表示能源开支占大约 8.5% (Anheuser-Busch, 2001)。最大的生产成本是包装材料、生产原料(谷物)和麦芽 (Sorrell, 2000)。

表 2. 1994 年麦芽酒饮料业主要的能源⁹消耗和开支

	消耗量			开支		
	TBtu	万吨标煤	(%)	\$百万	¥亿元	(%)
净电力(购买的)	8	29	12%	123	10	56%
电力损耗	16	58	24%	--	--	--
馏出燃油	0	0	0%	0.5	0.04	0%
天然气	22	79	33%	59	5	27%
煤	17	61	25%	28	2.3	13%
其他燃料	4	14	6%	11	0.9	5%
共计	67	241	100%	221	18	100%

⁸从 TBtu (更高的热值)转换成万兆焦(TJ), 乘以 1.055*10⁹ TJ/TBtu.

⁹终端能源是由最终的用户(或工厂)所购买的能源。初级能源的计算是以公共发电的平均效率来估计用于生产供啤酒工业使用的电力所需的燃料。我们使用的平均效率 32% 是根据美国发电厂的燃料消耗量。因此, 初级能源大约是终端能源的三倍。

资料来源:EIA, 1997

由于该行业除了对蒸汽有大量的需求之外，电力费用也相对地重要，从而促进了各个生产设施对原地发电的投资。1994 年的热电联产电力(同时生产热和电力，也称产热和发电结合或 CHP)是 6.44 亿 kWh (EIA, 1997)。在所有使用的电力中(净需求)，热电联产的电力占 22% 的设施总用电¹⁰。这个热电联产的比例与美国的其它工业相比是相对较高的。用电最多的是泵、压缩空气、酿酒设备和冷却工艺的机械驱动(参见表 3)。

表 3. 1994 年啤酒厂行业用电和来源

用途	百万千瓦时 million kWh	百分比
锅炉/热水/产生蒸汽	59	2%
工艺冷却或制冷	943	32%
机器驱动(泵、压缩机、电机)	1,360	46%
设施供暖、通风、空调(HVAC)	201	7%
照明设备	214	7%
其他	198	7%
共计	2,975	100%
来源	百万 kWh	百分比
购买	2,323	78%
热电联产	644	22%
其他(原地发电)	8	0%
共计	2,975	100%

资料来源：EIA, 1997 年

表 4 根据由英国的能源技术支持单位(ETSU)对一个桶装啤酒厂进行的调查显示了具体的啤酒厂工艺所使用的能源 (Sorrell, 2000)。正如该表所指出，大多数的热能是用于酿造操作和灭菌，而用电则在发酵、啤酒调理、场地和公用设施之中较均匀地分配。Anheuser-Busch 估计 64% 的热能是用于酿造(Meyer, 2001)。

表 4. 估计各种酿造过程用能的百分比

热能	啤酒酿造车间	30-60%
	包装	20-30%
	空间供暖	<10%
	公用设施	15-20%
电能	制冷	30-40%
	包装	15-35%
	压缩空气	10%
	啤酒酿造车间	5-10%
	锅炉房	5%
	照明设备	6%

¹⁰净需求是现场的总用电并且反映了事实上一些购买的燃料被用于生产供内部消耗的电力。1994 年，(购买的)净用电是 8 TBtu (23.11 亿 kWh)，而净需求是 10 TBtu (29.75 亿 kWh)。

	其他	10-30%
--	----	--------

资料来源: Sorrell 2000 年

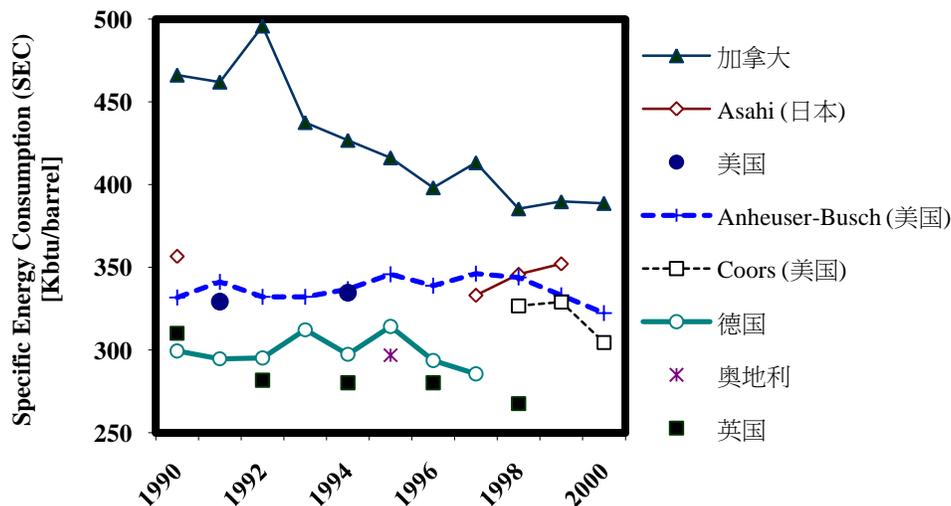
4.2 能源强度

能源强度或具体的能源消耗,反映了每个产品或活动的单位能源需求量。除了在产量结构上的变化,能源强度的下降也可能反映了技术上的改善。在啤酒厂行业中,能源强度的计量可以用实物指标和经济指标两者作为输出标准。图 4 描绘了美国和其他国家啤酒生产的平均实物初级能源强度(用电量包括了在输电和配电中的损耗)。

正如图 4 所表明,各个国家的单位能源消耗有很大的差别。美国的全国数据是根据 1991 年和 1994 年能源信息管理局 (EIA) 的能源数据和啤酒研究院提供的产量数据 (EIA, 1994 and 1997; Beer Institute, 2000)。(最新的 EIA 1998 年能源调查没有报告啤酒厂的能源消耗)。除了美国的全国数据之外,我们还包括了 Anheuser-Busch 的数据 (Anheuser-Busch, 2001) 和 Coors 的数据 (Coors, 2001) 的历来系列辑,两者合计在美国生产超过 60% 的啤酒。

在强度上的差别部分是受所生产的品种的影响。例如在英国,几乎 80% 所生产的啤酒是比其他类型啤酒的能源需求低的多的生啤酒,因为它不需进行加热灭菌 (Lom and Associates, 1998)。强度也根据啤酒厂的大小而变化。图 5 描绘了各种规模的德国啤酒厂的具体能源消耗的范围(以 kBtu/桶)。V 级包括了最大的啤酒厂(每年产量大于 500000 公石(百升))并且有最低的具体能源消耗。

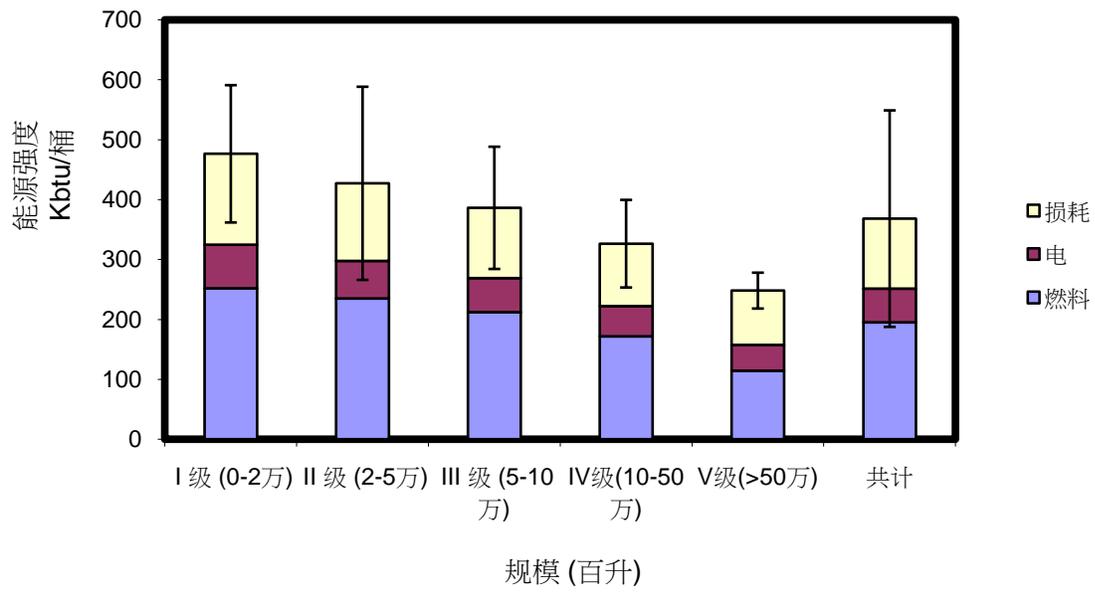
图 4. 所选择的国家和公司啤酒生产的初级能源强度 (kBtu/桶)



注: 初级强度反映了在用电中输配的损耗。我们采用 3.08 的系数将最终用电量转换成初级用电量。

资料来源: U.S. (EIA, 1997; Beer Institute, 2000), 1998 年啤酒厂的能耗并没有在 1998 年的报告 (EIA, 2001); Coors (U.S.) (Coors, 2001); Anheuser-Busch (Anheuser-Busch, 2001); Canada (Lom and Associates, 1998; Nyboer and Laurin, 2001); Austria (EC, 1998; Bkontakt, 2000); Asahi in Japan (Asahi Breweries, 2000); U.K. (Sorrell, 2000); Germany (Hackensellner, 2000)

图5. 1998 年德国按规模统计的啤酒厂耗能量



资料来源: Schu et al., 2001

5. 能效的选择

在维持或提高工厂现有的产品质量和生产力的同时，在啤酒厂的内部存在着各种各样减少能源消耗的机会。在啤酒厂改善能效应该从几个途径来着手。首先是啤酒厂所使用的设备如电机、泵、压缩机等。要有规律地保养、正确地操作，如果有必要时更换更加高效率的型号。因此，工厂能源管理的一个重要因素涉及到精心控制推动工厂生产的跨工艺设备。第二但也是同等重要的方面是适当地和有效地操作工艺。优化工艺过程和保证最高生产力的技术到位是在工厂营运中节能的关键。

如果一家公司有几间啤酒厂在营运，能源管理可能比只考虑一间工厂的需求更复杂。无论是一间工厂或整个集团公司，建立一个强大的和有组织的能源管理框架对保证有效地实施能效措施是重要的。

表 5 列出了已确定的在具体的糖化、麦汁煮沸和冷却、发酵、处理和包装工艺中的能效措施。表 6 列出了跨工艺的措施，由于他们会影响许多运行或者与公用设施有关，例如蒸汽或电力的生产，或者冷却。对归本期的估计是根据各项技术的实施。在一个项目中结合几项技术或改变管理实践可能会减低成本并且改善投资的生产率。

表 5. 啤酒工业具体工艺的节能措施

	典型的归本期	
	1-3 年	> 3 年
糖化和过滤槽		
捕获余热能量		
使用压缩过滤器(糖化)		
麦汁煮沸和冷却		
蒸气冷凝器		
热蒸气再压缩 ¹		
机械蒸气再压缩		
Steinecker Merlin 系统		
高浓酿造		
低压麦汁煮沸		
麦汁分离		
麦汁冷却-更多的热回收 ²		
发酵		
固定酵母的发酵桶		
热回收 ³		
新型的二氧化碳回收系统 ⁴		
处理		
澄清或灭菌的微滤		
生产无酒精啤酒的薄膜		
热回收-灭菌 ⁵		
瞬间灭菌		
包装		
用回收热清洗		
改善清洁效率		

注:

1. 归本期可能会更长; 2. 归本期取决于目前使用的系统并可能会更短; 3. 归本期取决于构成/排气气流、气候条件和电费率; 4. 小型水泵和以低价购买 CO₂ 将会使归本期更长; 5. 归本期基于更新 (Anheuser-Busch, 2001)。

表 6. 啤酒工业跨工艺和公用设施的节能措施

措施	典型的 归本期	
	<2 年	>2 年
锅炉和蒸汽配送		
维修		
改进的生产过程控制 ¹		
烟气热回收		
排污蒸汽回收		
凝汽阀维修		
自动监测凝汽阀		
泄漏修理		
冷凝水回流 ²		
改善蒸汽管道的隔热材料 ³		
整合生产过程		
电机和使用电机的系统		
变速驱动 ⁴		
减小电机、泵、压缩机的容量 ²		
高效率电机、泵、压缩机 ²		
制冷和冷却		
更好地匹配冷却容量和冷却负荷		
改善氨冷却系统的运行		
改善运行和维护		
系统的修改和改进设计		
冷管的隔热 ⁵		
其他公用设施		
照明设备		
减少空间供暖需求		
厌氧废水处理 ²		
薄膜污水过滤		
控制和监测系统 ²		
热电结合		
热电结合与吸收式制冷相结合		
发动机驱动的制冷系统		

注:

1. 归本期取决于现有系统的整调情况; 2. 归本期也许会更长; 3. 归本期取决于现有的情况; 4. 节能取决于电机在低于全速下运行的频繁程度; 5. 归本期取决于以前的系统清洗, 以及操作员进行抽取时的仔细程度 (Anheuser-Busch, 2001)。

在以下回顾中给出的数值提供了一个平均的估计或一套具体的数据点; 只有对一个具体的设施现场进行详细研究才能得出对该工厂的可靠估计。实际的节能将可能随着工厂的规模和运行特性而变化。若有可能, 我们在整个回顾中会提供在各种条件下所估计的节能范围。我们承认有些措施, 特别是新的技术, 可能没有足够的资讯(例如一套更多的经验) 来估计平均的工业节能和归本。对此我们仅提供了现有的资讯。我们也承认不同国家和不同啤酒厂的归本期是不同的, 而且一项措施也可能被一些个别的啤酒厂所采用, 但不是所有都采

用。另外，对于只减少电或煤气消耗量的措施，归本期是随着公用事业的收费率而变化的。为了将这些差别计算在归本期内，我们征求了美国啤酒业者的意见，采用了在美国的条件下可行的数据并调整我们的值域以体现他们的经验。

虽然对设备进行技术上的改进能帮助减少能源使用，职工在行为和态度上的变化也能有巨大的影响。应该培训职工在他们的日常工作中所应用的技能和公司对待能效的常规工作方式。各级人员应该意识到能源使用和改善能效的目标。这些信息常常由低层管理人员获取，但没有传达到高级管理层或其他职工(Caffal, 1995)。带有对职工的行为作定期反馈(例如奖励系统)的项目已取得了良好的成果。虽然职工在行为上的改变，例如关灯或关好门窗，每次仅节省少量的能源，然而如果能长时期持续执行，可能比更加昂贵的技术改善有更大的作用。最重要的是，公司需要设立有力的能源管理体系来监督整个公司的改善能效工作。能源管理体系将保证所有员工的活动都能对改善能效作出贡献。

参与自愿计划如 EPA 的能源之星计划，或者实施一个环境管理体系例如 ISO 14001 能帮助公司追踪能源和贯彻能效措施。一个能源之星的参与者指出，将能源管理体系与 ISO 14001 相结合对他们工厂的节能有很大的作用。

5.1. 能源管理体系

能源管理体系(EMS)和计划。通过实施整个机构范围内的能源管理计划以改变如何管理能源是达到改善能效的一个最成功和最经济有效的方式。

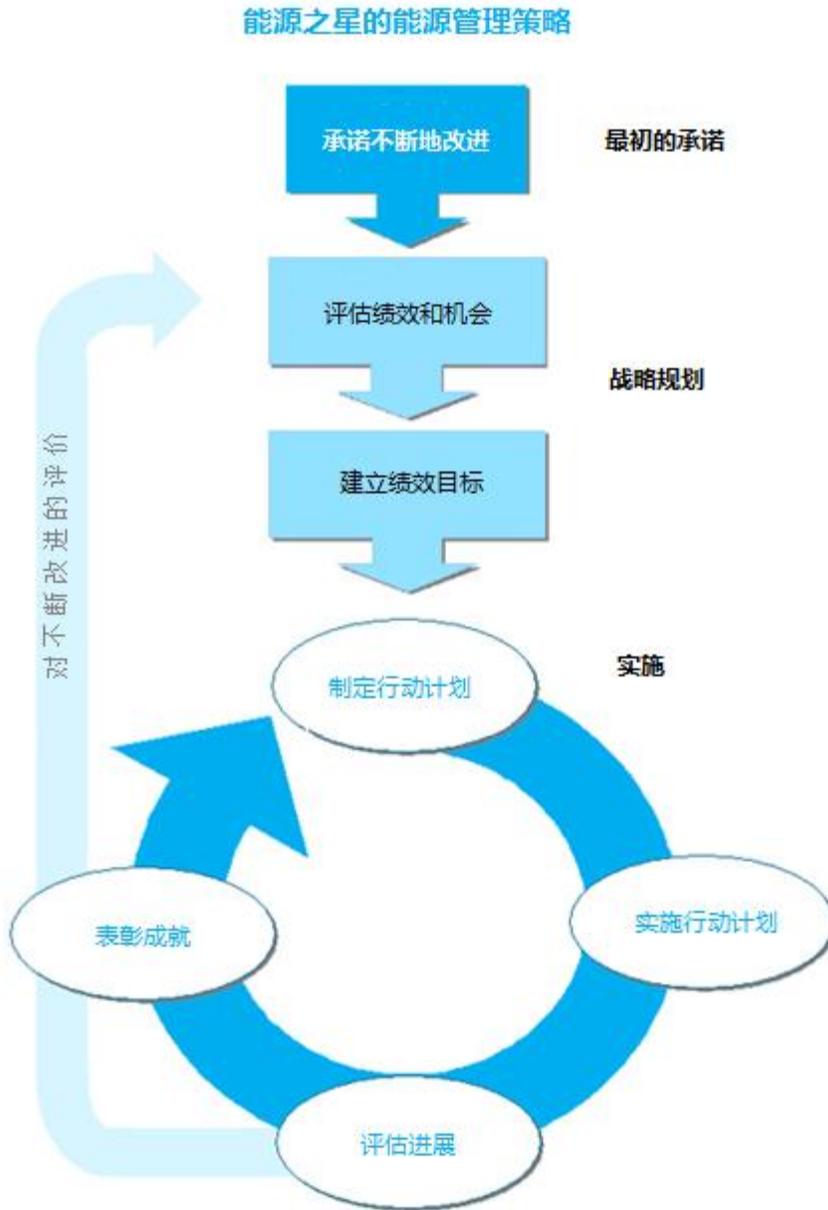
能源管理计划建立了一个改善的基础并对在整个机构范围内管理能源提供了指导。在没有制定一个清晰的计划的公司中，由于组织上的障碍可能使改善的机会被埋没或者未能得到推广和实施。这些障碍可能包括缺乏各车间之间的沟通，缺乏理解如何为能效项目建立支持，有限的资金，缺乏对措施的问责或对改变现状的认识。即使当能源已经成为一个工业的重大开支，许多公司仍然缺乏对改善能源管理的坚定承诺。

EPA 通过能源之星与许多主导的工业制造商合作以确定一个有效的能源管理计划的基本因素。¹¹ 图 6 列出了那些主要的因素。

一个成功的能源管理计划是始于对不断地改善能效作出坚定的承诺。这一般涉及到将监督和管理的职责指定给一位能源主任，建立能源方针和建立一个跨职能的能源小组。然后实行步骤和规程，通过对能源数据、技术评估和标杆的定期回顾来评估绩效。然后机构能够根据这个评估制定绩效基准和建立改进的目标。

¹¹能源管理体系的指南在 www.energystar.gov.

图 6. 战略性能源管理体系的主要组成部分



绩效目标能帮助策划行动计划的制定和实施。保证行动计划成功的一个重要因素是让机构中全体人员都参与。各级人员应该意识到能源的使用和能效的目标。要对职工在日常工作中的技能和对待能效的常规工作方式培训。另外，应该定期评估绩效成果并向全体人员通报，表彰高绩效者。附录 II 概述了一些简单的员工任务举例。

绩效的评估包括了定期回顾能源使用数据和作为行动计划的一部分所开展的活动。在惯例的回顾过程中收集的资讯能帮助建立新的绩效目标和行动计划并发现最佳的实践。建立一个牢固的沟通程序和实行对成就的表彰也是重要的步骤。牢固的沟通和表彰将帮助对未来的活动建立支持和动力。

对机构能源管理工作的一个快速评估可以通过将现行的计划与附录 II 所包括的列表进行对比。

5.2 能源监测系统

能源监测和生产过程控制系统能在能源管理和减少能源使用中起重要的作用。他们可能包括辅助计量和监控系统。他们可以减少执行复杂任务所需的时间，常常能改善产品和数据的质量和连贯性以及优化工艺的操作。许多工业生产过程控制系统的应用一般能节省大约 5% 或更多的能源和成本。这些节省适用于没有更新生产过程控制系统的工厂；许多美国的工厂可能已经拥有现代的生产过程控制系统以改善能效。

对企业能源管理体系的支持也可以是来自外部资源。一些公用事业公司与工业客户合作以达到节能。在这些情况下，公共事业人员直接与设施现场的管理人员一起更好地确定和实施更有效地针对该设施的实际情况的计划和措施。

6. 具体生产过程的措施

表 5 列出了我们为啤酒酿造工业找出的针对具体生产过程的措施以及他们典型的归本期。下面我们较详细地介绍每一项措施。

6.1 糖化和过滤槽工艺

捕获余热能量

在糖化过程中，可以从糖化或从热水槽中捕获余热。这些热量可以用于糖化或其他工艺。有些啤酒厂使用大约 170°F (75°C) 的热水槽向糖化工序注水。这个水槽有溢出的蒸汽可以用在灭菌过程中将水加热到 140°F(60°C)。如果需要更多的热，可以混和蒸汽或热水使水达到所需的温度 (UNIDO, 2000)。Hackensellner (2000) 指出要用 340°F (170°C) 的蒸汽加热糖化罐。但是从热回收器产生的 200-210°F(95-98°C)热水可以用于部份地加热糖化从而减少设施中蒸汽或热水的生产。需要在糖化罐改装换热器来回收余热。

压滤器在糖化工艺中的使用

每年生产大约 1 百万百升(0.9 百万桶) 的 Brand 啤酒厂(荷兰) 在糖化工艺用压滤器代替了平板过滤器。压滤器通过减少用水清洗过滤器而减少了清洁费用(因为它是由空气清洁)。也增加了工艺的出产量并且减少了用水。这项措施所节省的能源是 160 亿 Btu (16.8 TJ) 煤气(较低热值)，或 18.6 kBtu/桶 (16.8 MJ/hl, 约 670 克标准煤/桶) (NOVEM, 1999a)。安装过滤器的费用是 \$620000 (1.3 百万 Dfl, 约 5 百万人民币)，归本期大约是 2 年。这项措施的支持者宣称使用糖化过滤器技术可以缩短周期，减少酒糟的湿度，增加麦汁浓度(对高浓酿造尤其重要)，并且将每天的酿造次数增加到高达 12 次 (Stewart, 1999)。我们承认这是一项新的技术，而且它的采用要花时间，现在还没有足够的数据来支持所有的宣称，以及必须进一步评估对风味的潜在影响。

6.2 麦汁煮沸和冷却

使用蒸汽冷凝器回收热量

由于啤酒厂麦汁煮沸对燃料的需求很高，因此存在着几个回收热能的机会并可将它们用于啤酒厂的各种运行。高等级的热可以使用喷洒冷凝器或热交换器从煮沸锅的蒸汽回收 (Sorrell, 2000)。从蒸汽得到的热可以用于预热输入的麦汁，而从蒸汽冷凝器得到的热可以用来生产热水，用于啤酒厂的清洁、空间供暖、清洗啤酒桶或者其他用途。这样的系统可回收高达 60%的麦汁煮沸所需要的能源 (Sorrell, 2000)。

在 1991 年， Grolsch 啤酒厂(荷兰)在它连续的麦汁煮沸运行中安装了余热回收系统。整体节能是 350 亿 Btu。该系统也减少了用水、维护和运行开支。归本期仅节能一项是 3.5 年，如果将水和运行维修开支包括在内，归本期将是 2 年(NOVEM, 1991a)。在相关的技术上，巴伐利亚啤酒厂在 Lieshout (荷兰)安装了将麦汁蒸汽与加热盘管的蒸汽混合的系统。将混合物输入冷凝器，并将冷凝热用于加热一个热水管路，向麦汁预热器和其他几个部门(例如过滤和装瓶)供热。从系统得到的净节能是 1.144 百万 m³/年的天然气等值(即节省了 1.1717 百万 m³ 天然气但用电每年增加了 72000 kWh)。转换成净节能为 22 kBtu/桶(0.02

GJ/hl, 约 792 克标准煤/桶)。项目的归本期是 5.5 年(CADDET, 1993a; NOVEM, 1993a)。一家日本的啤酒厂安装了麦汁锅冷凝器将冷凝水回收成热水, 能显著地减少每年蒸汽的用量。蒸汽的节省是由于预热输入的麦汁缩短了麦汁加热时间(900 吨), 减少输入麦汁锅热水槽蒸汽管线加热器的蒸汽(670 吨)和减少混合的时间。估计节省了 1.3%的蒸汽消耗量(UNIDO, 1995)。在 New Belgium Brewing Company (科罗拉多), 从麦汁锅和麦汁煮沸及麦汁冷却回收的热可以生产足够的热水来满足所有酿造和一些清洁的需求(Farrell, 1998; Heyse et al, 1996; and UNIDO, 2000)。

麦汁煮沸使用热蒸汽再压缩

蒸汽再压缩是一种能减少用于蒸发的能源开支的完善技术。在蒸汽再压缩系统中, 使用高达 1.25 巴的压缩蒸汽将麦汁在外部煮沸到 216°F (102°C)。在热蒸汽再压缩中, 部分被蒸发的水蒸汽由高压蒸汽压缩并且被重复利用。麦汁在 212°F (100°C) 的锅中膨胀。蒸汽凝水由冷凝槽收集, 而热(用于预热水) 则通过平板热交换器回收(UNIDO, 2000)。这些系统在长期稳定运行的条件下效果最好(Sorrell, 2000)。热蒸汽再压缩车间自 1991 年起就在啤酒厂运行。热蒸汽再压缩比直接蒸汽加热的设计需要较少的昂贵机械, 但需要更高的压力蒸汽(Dedert, 2001)。在 Huppmann 的一个热蒸汽再压系统, 部分蒸汽(20-40%)被冷凝产生热水而部分(60-80%)在至少 6 巴的压力蒸汽作用下吮入蒸汽喷嘴压缩机。然后放出 1.3-1.4 巴的蒸汽用于加热外部煮沸锅(Hackensellner, 2000)。热蒸汽压缩机运行所需的能源估计是蒸发每桶水需要 120 kBtu (4.3 千克标准煤) (Hackensellner, 2000)。这个系统的缺点是由于被麦汁释放的蒸汽所污染, 冷凝水不能被送回蒸汽车间(Sorrell, 2000)。然而有蒸汽冷凝净水系统显示了两年的归本期(Hackensellner, 2000)。

作为由该技术演变成的一种类型, Löwenbrauerei 在 Schwaebish Hall (德国)安装了低压(0.8 巴)蒸汽再压缩并带有内煮沸器与计算机自动化的 300 百升酿造锅(Klein-Carl and Reichert, 1991)。这项研究显示该系统节省了大最的能源(40%)并增加热传递的效率, 减少对循环泵的需求和减少煮沸时间(Klein-Carl and Reichert, 1991)。用于为粉碎、糖化和麦汁煮沸而产生蒸汽的初级能源减少到 27 kBtu/桶(6.7 kWh/hl, 约 972 克标准煤), 节省了 16-18 kBtu/桶(4-4.5 kWh/hl, 约 576-648 克标准煤) (Klein-Carl and Reichert, 1991; Heyse et al. 1996)。

麦汁煮沸使用机械蒸气再压缩法

蒸汽再压缩是一种能减少蒸发的能源开支的完善技术。在蒸汽再压缩系统中, 使用高达 1.25 巴的压缩蒸汽将麦汁在外部煮沸到 216°F (102°C)。在热蒸汽再压缩中, 部分被蒸发的水蒸汽由高压蒸汽压缩并且被重复利用。麦汁在 212°F (100°C) 的锅中膨胀。蒸汽凝水由冷凝槽收集, 而热(用于预热水)则通过平板热交换器回收(UNIDO, 2000)。啤酒厂自 1980 年开始使用机械蒸汽再压缩(MVR)系统并能达到节能, 因为所产生的有用热比压缩蒸汽所需要的电力包含更多的能量(Hackensellner, 2000; Kidger, 2001)。MVR 系统在长期稳定运行的条件下效果最好(Sorrell, 2000)。制造商宣称 MVR 系统几乎能完全减少芳香气的排放, 通过降低压缩蒸气的压力提供一个温和的煮沸过程, 并且在许多情况下能显著减少或消除其他的蒸汽需求(Steineker, 2001)。

在 MVR 中，蒸发器的部件与蒸汽驱动的设备是相似的，但多了一台机械压缩机。机械能量通过压缩机或风机将蒸汽压缩到更高的压力(达到可重复利用它)。压缩机抽入从麦汁锅中出来蒸汽并将其压缩至高于大气压 0.25-0.4 巴。压缩的蒸汽可以重复地用来加热外部或内部煮沸器 (Hackensellner, 2000)。Steineker 指出对蒸发的要求从常规煮沸的 9.9%减少到 MVR 的 8.7%，并且估计燃料的消耗最低可降到 14 kBtu/桶(约 504 克标准煤/桶) (Steineker, 2001; Weinzierl et al., 2000)。然而，MVR 系统增加了驱动压缩机和麦汁循环泵所需要的电力。估计的用电量范围从 0.3 到 2.8 kWh 蒸发每桶 (0.1 到 0.7 kWh 蒸发每百升) (Hackensellner, 2000; Weinzierl et al., 2000)。其中一个对运行的主要挑战是为麦汁煮沸维持一个无空气的系统。这台蒸发器一般比热蒸气再压缩的更昂贵，但运行成本是明显地少了。估计的运行开支是大约 2-7%的投资成本 (Hackensellner, 2000)。

Steineker Merlin 麦汁煮沸系统

Merlin 麦汁煮沸系统是一个外部的麦汁煮沸系统。它的设计是将麦汁放入旋流存放桶并不断地输入到一个蒸汽加热的锥体容器。它包括一个旋流桶和一个带有煮沸设备的蒸发桶，使麦汁在循环回路中穿过两个桶 (Steineker, 2001)。使麦汁增加了对热的表面积和接触从而限制了所需要的蒸发。Steineker 宣称该系统的总体蒸发要求是 4% (与常规系统的 8%相比较)，并且减少燃料需求高达 65-75%。除节能之外，支持者宣称 Merlin 系统改善了产品的质量并减少了焦糖化反应和减少了泡沫，在清洗之间提供更多的酿造，并改善罐的利用率(O'Rourke, 1999a; Weinzierl et al., 2000)。对啤酒风味的潜在影响将减少这项措施的有效性。Flensburg 啤酒厂(德国)在 2000 年安装了一个可运行的 370 百升(315 桶)系统，但在美国还没有安装过这种系统。对在 Hof (德国)的 Scherdel 啤酒厂的分析发现，与没有从煮沸的蒸气回收热量的麦汁煮沸系统比较，节能的潜力是 31 kBtu/桶(约 1.1 千克标准煤/桶) (Steineker, 2001)。另一个对 Merlin 系统的分析发现它的燃料消耗是 22 kBtu/桶(约 792 克标准煤/桶)，与 36 kBtu/桶(约 1.3 千克标准煤/桶)的常规系统相比较 (Weinzierl et al., 2000)。当在 Merlin 系统中增加一个蓄能装置，燃料的使用进一步下降到 12.3 kBtu/桶(约 442 克标准煤/桶)，总体节能为 23.7 kBtu/桶(约 853 克标准煤/桶)。在所有的个案中，用电增加到 0.02 kWh/桶(Stippler and Felgentraeger, 1999; Weinzierl et al., 2000)。直至去年，全世界有至少四个运行中的 Merlin 系统工厂并预期会兴建更多。取决于能源的价格，安装一个系统的归本期可能是低至 2 年(Finkeldey, 2001)。

高比重(浓度)酿造

比重是物质与水相比的“重量”。啤酒可以在高浓度下酿造并在最后过滤之后用水稀释到所要求的酒精浓度(Sorrell, 2000; Muller, 1996)。据称在啤酒厂的节能范围是在 18%和 30%之间 (Sorrell 2000 年; muller 1996)。这项技术在第二次世界大战后首先在美国应用 (Muller, 1996)。如今它已成为大型及一些中型啤酒厂的标准技术。如今在北美洲由高浓酿造的啤酒比由常规方式酿造的要多(Stewart, 1999)。高浓酿造可以推迟资本支出，增加酿造容量(在更有效地利用工厂的设施的情况下)并且可能改善产品质量(有报告指有更好的一至性和特性，虽然最明显关心的是对风味的影响) (Muller, 1996; Stewart and Russell, 1998)。Anheuser-Busch 实施了高浓酿造以增加啤酒厂的生产能力(Meyer, 2001)。其他好处包括增加啤酒类型的灵活性，减少产品损失，减少用水，并且减少劳动力和清洁开支(Stewart, 1999; Muller, 1996)。一些可能存在的缺点除了有可能改变风味之外，包括减少酿造厂的

材料效率、减少酒花的利用率、减少泡沫稳定和对酵母的功能有不利影响(Stewart, 1999)。由于伴随着这些系统有许多另外的长处,可以迅速地归本(Muller, 1996)。

低压麦汁煮沸

在低压麦汁煮沸中,煮沸罐的最大运行压力的设计是 0.6 巴,对应于 235°F (113°C) 的温度(UNIDO, 2000)。也有使用较低的温度和压力 (Herrmann, 1998)。啤酒厂自 1979 年起就使用低压麦汁煮沸,而由这种方法演变成的动态低压麦汁煮沸,自 1996 年起就开始在商业上使用 (Hackensellner, 2000)。在动态低压麦汁煮沸中,4.5%到 6%的蒸发率就足以生产高质量啤酒。在某些情况下,能源可以从蒸气冷凝器回收并用于预热进入低压煮沸系统前的麦汁(Hermann, 1998)。在有大量最终麦汁的啤酒厂(即每天 8-12 次酿造),投资在这些系统变得更有经济效益。用于糖化和煮沸每桶最终麦汁的蒸汽消耗量估计在 26-28 kBtu (约 936-1007 克标准煤) 的范围(Hackensellner, 2000; Weinzierl et al., 2000)。与常规系统相比较,节约燃料的范围从 43-54%,取决于蒸发量。但这些系统的用电量是增加了一倍,从 0.01 kWh/hl 上升到 0.02 kWh/hl (Hackensellner, 2000; Vollhals, 1994; Hackensellner, 2001)。

麦汁提纯系统

Interbrew 介绍了对它的麦汁煮沸系统的改进并宣称只用一半的蒸汽消耗量。该系统有两个部分。在第一个阶段,将麦汁保留在一个常规锅中并保持麦汁煮沸温度,没有显著的蒸发。在第二个阶段,在澄清以后和在麦汁冷却之前,将麦汁送到麦汁提纯塔。以麦汁流速 0.5-2.0% 的流速注入新蒸汽,与往下流的麦汁逆向而上。蒸汽在塔中向上流动,收集了与常规煮沸中蒸发量相同的麦汁中的挥发物质以后冷凝和流走(Seldeslachts Seldeslachts, 1999; Anonymous, 1998; Meura, 2000)。麦汁的总蒸发量一般保留在总麦汁量的 2% 以下(Seldeslachts, 1999)。煮麦汁的时间从 65 分钟减少到 40 分钟而且没有在颜色、泡沫稳定或风味上起变化(Jacob et al., 2001)。控制和除去二甲基硫酸盐(DMS)和其他不需要的化合物使它们降低到所要求的水平 (Seldeslachts, 1999)。节能来自显著降低对蒸发的要求和无须将麦汁加热到同样高的温度(Seldeslachts, 1999)。在 Interbrew 试验的数据显示降低了能耗 42 kBtu/桶 (1.5 千克标准煤/桶) (与常规糖化和麦芽酒煮沸的 92 kBtu/桶 (3.3 千克标准煤/桶) 与 50 kBtu/桶 (1.8 千克标准煤/桶) 相比),相当于减少 46% (Seldeslachts, 1999)。其他研究显示了麦汁煮沸的燃料消耗为 31-42 kBtu/桶 (1.1-1.5 千克标准煤/桶),与常规技术相比,相当于为啤酒厂的麦汁煮沸节约燃料 30-40%, (Jacob et al., 2001; Seldeslachts et al., 1997)。

麦汁冷却的额外热回收

麦汁冷却在啤酒厂可能是其中一项最重大的节能措施,因此要尽力由冷却系统回收尽可能多的热水(Kidger, 2001)。麦汁通常通过平板热交换器冷却。热交换器有两个类型:单级(仅用冷水)或多级(室温和甘醇)。麦汁输入热交换器时大约是 205-210°F (96-99°C),到出口时被冷却到接种温度,底部发酵的啤酒是 41-48°F (5-9°C),而顶部发酵的啤酒是 59-64°F (15-18°C)。用过的冷却水(大约是 185°F (85°C)) 是可以被重复利用作为下一批麦芽浆的工艺用水(UNIDO, 2000)。两级冷却对输入能量的需求比单级冷却系统要少(Goldammer, 2000)。冷却的用电量范围从单级热交换器的 0.24 kWh/桶到两级氨冷却系统的 0.18 kWh/桶 (Hackensellner, 2000)。欧洲一家年产 1 百万百升的啤酒厂安装了一台新的麦汁冷却机。

新的冷却机减少了燃油消耗量 17 kBtu/桶（612 克标准煤/桶）、水消耗量 40000 m³ 和有大约 3 年的简单归本期(Lom and Associates, 1998)。

6.3 发酵

固定酵母的发酵桶以加速发酵

在 70 年代发展了连续发酵的试验工厂。但是这个工艺除了在新西兰的一家啤酒厂之外并没有被啤酒厂广泛采取，因为该系统没有达到风味的指标(Stewart and Russell, 1998)。从那时候起，这项技术得到了更进一步的发展从而使它成为一个更有吸引力的选择(Nedovic et al., 1999)。固定的细胞系统是将细胞在实体上限制在某一指定的区域空间并保留了他们的催化作用和生命力。最普遍的技术是圈闭在一个矩阵之内(Stewart and Russell, 1998)。Meura-Delta (比利时)最近开发了一个新的生物反应器工艺并宣称他们有能力将发酵过程从 5-7 天加速到一天。反应器的运作是将酵母固定在一个陶瓷载体，这样能增加麦汁和酵母之间的接触从而增加了发酵反应速度。芬兰国家研究协会开发了一个系统，将绿色啤酒通过一台固定酵母的反应器使成熟时间从 10-14 天减少到 2-3 个小时(Stewart, 2000)。该技术也在日本试用，他们的结果是 2-3 天的发酵时间(Stewart and Russell, 1998)。这些系统的投资成本比现有的发酵系统更低(Stewart and Russell, 1998)。该系统能通过再利用酵母和减少以后过滤所需要的矽藻土而节省了材料 (Nedovic et al., 1999)。另外还改善了工艺的质量管理 (Masschelein and Andries, 1996; Meura, 2000)。

热回收

在 1999 年，Moosehead 啤酒厂宣布他们有意在酒窖安装一个转轮热回收来减少当二氧化碳排气扇在二氧化碳浓度高时自动启动的冷冻损失(Moosehead, 1999)。基于对热轮技术的其他应用，我们估计归本期是大约 2-3 年(CADDET, 1996a; CADDET, 1998)。

新型的二氧化碳回收系统

在发酵过程中，酵母在麦汁的喂养下产生二氧化碳和酒精。这种二氧化碳可以用封闭的发酵槽来回收并在以后的充碳酸气工艺中使用。发酵工艺产生大约 8-10 磅 CO₂/桶麦芽酒(3-4 公斤 CO₂/hl) (Lom and Associates, 1998)。在典型的二氧化碳洗涤器的运行中每公斤二氧化碳需要 2 公斤水 (Dell, 2001)。如果装备了一个设计良好的车间从发酵中回收二氧化碳，一家大型啤酒厂可以在二氧化碳上自给自足。大型啤酒厂的标准回收系统在美国的市场几达到乎饱。但是现在该技术对微型、小型和中型的啤酒厂变得越来越有吸引力，可达到 2-3 年归本。Witteman，开发二氧化碳回收技术的主要公司中的一家，最近开发了一项将干燥机和除味塔相结合的新型回收系统设计，可适用于中型和大型啤酒厂。由于修改了装配的布局，新系统采用一次通过二氧化碳洗涤机的运行。这种新的“结构性装配”省去了驱动循环泵的电机。一个典型功率的电机将运行在 3-5 马力之间。据供应商称，虽然与旧的技术相比基于节能的归本是大于三年，但新系统需要较少的资本，运行和维修的开支更低，特别是在清洗和包装方面，而且能减少洗涤系统的用水 50% (Dell, 2000)。基于其他的收益，供应商相信这些系统的归本是接近 2 年(Dell, 2001)。Anheuser-Busch 估计美国啤酒厂的二氧化碳回收系统的归本是高于 3 年，取决于系统的规模和二氧化碳费用的高低 (Meyer, 2001)。

6.4 啤酒处理技术

微细过滤灭菌和澄清

在啤酒处理中需要各种各样的分离工艺。虽然巴氏灭菌法是啤酒灭菌的传统方法，另一个可选的方法使用过滤系统。使用硅藻土过滤器作包装之前的最后澄清是行业的标准。这种材料最近被归类为有害废料，因此处置的费用会变高(Fillaudeau, 1999)。膜滤法能显著地减少废料的数量，从而减少处置费用。使用典型微滤的能源消耗是大约 0.15-0.25 kWh/加仑(PG&E, 2000)。

有一种错流微滤的系统，使用滤膜连同膜上方的一个狭窄的通道中的高速切向工艺蒸汽流。滤液是由所加的压力推动通过滤膜。由于担心污染，产品的质量和滤液流量，这项技术还未得到广泛的接受 (O'Shaughnessy and McKechnie, 2000; Osmonics, 1992)。它在麦芽浆分离、啤酒澄清、瞬间灭菌或薄膜筒式过滤器中有潜在的用途(O'Shaughnessy and McKechnie, 2000)。最有可能的应用是在槽底过滤、啤酒发酵液澄清和澄清啤酒的冷灭菌，然而他们还不是在经济上可行(Fillaudeau, 1999)。对在啤酒澄清的错流微滤中使用振荡流的研究发现由于减少了对泵的需求，与标准微滤相比可节能 15-40%(Blanpain-Avet et al, 1998)。安装改善的酵母收集系统(例如微滤)能最终减少在工艺后期的废水处理所需的能源。但是我们发现膜滤技术在其他食物处理的应用中，2-4年归本是可能的，即使我们没有在啤酒厂的成本效益的具体数据(Martin et al., 2000a)。但是有些制造商相信目前的错流微滤系统可能需要与它们所节约的能源相等的额外能源(Todd, 2001)。

使用薄膜生产无酒精啤酒

无酒精啤酒在美国和海外变得越来越普遍。主要的脱醇过程是在发酵以后操控发酵或酒精的分离。当今大多数低酒度啤酒是使用将麦汁含量减少使工艺过程从低量的可发酵成分开始，或当达到所要求的酒精浓度时中断发酵过程(Stein, 1993)。其他常用的方法是降膜式蒸发和使用薄膜。从长远来看薄膜工艺是最有前途的(Stein, 1993)。

薄膜系统的一个举例是在 s' Hertogenbosch (荷兰) 的 Heineken 啤酒厂。啤酒厂通过从普通的啤酒中使用逆渗透过滤器除去酒精和水来生产无酒精啤酒 120000 hl/年。在 1997 年，将过滤器换成“螺旋”装置，即滤膜的形状象管状并根据错流原理来布局。这意味着啤酒以高速和高压流经过滤器。新工艺中泵的能源需求与以前相比减少大约 550000 kWh/年，而整个工艺中对水的需求与旧工艺相比减少了大约 24000000 公升/年。具体的节能是 5.6 kWh/桶 (4.6 kWh/hl 啤酒)。节省的开支大约是 \$50000/年 (约 413360 元人民币, NLG 101000/年)，而归本期大约是 4 年(CADDET, 1999a; NOVEM, 1997)。预计逆渗透(RO)过滤在下一个十年期间将成为完备的分离技术。

在系统的选择上成本起了一个重要的因素。酒精分离过程需要多一步工艺(与操控发酵相反) 并无法再改善口味。逆渗透膜的公用设施(能源和水) 开支估计为\$2.40/桶(\$2.04/hl)，相比之下透析的开支是\$4.10/桶(\$3.49/hl, 约 34 元/桶)，而逆渗透系统的维修费用比透析略低(\$0.6/桶 (5 元/桶) 与\$0.75/桶 (6.2 元/桶) 相比)(Stein, 1993)。

灭菌的热回收

当所有现代灭菌器使用某种形式的内置热再生时的，在废水中含有的热可以使用热泵或热交换器来回收(Sorrell, 2000)。热泵的运行可以与洗瓶机的加热和冷却需求相匹配。加拿大的一个啤酒厂能从它的灭菌工艺中回收 0.6 kBtu/桶（22 克标准煤/桶）(Singleton, 2000)。

瞬间(平板)灭菌

瞬间灭菌法是啤酒在灌装啤酒桶和小箱啤酒之前的在线热处理，以达到稳定微生物的目的。根据 Goldammer (2000)，北美洲的啤酒厂并不广泛使用瞬间灭菌法，虽然它在奶制品和果汁行业是非常普遍。瞬间灭菌法已被欧洲和亚洲的啤酒厂广泛采用。瞬间灭菌法在短时间内将液体迅速地加热到高温，然后迅速地将产品冷却。与常规隧道灭菌相反，瞬间灭菌需要较少的空间、蒸汽、电和冷冻剂。最优化的热回收是 94-96%，但平板系统往往要在包装之前将啤酒略为冷却(Kidger, 2001)。能源消耗估计在大约 3-7 kBtu/桶（108-252 克标准煤/桶），估计是隧道灭菌所需能源的 1/3 (Hackensellner, 2000; Singleton, 2000; Dymond, 1997)。由于瞬间灭菌法系统与隧道系统相比是相对地紧凑，因此最初的投资成本较低，大致在\$30/桶(\$26/hl, 约 248 元/桶)，或者大约是隧道系统的 15% (Battaglia, 2001; Hyde, 2000)。瞬间灭菌系统的运行和维护开支估计是\$0.25/桶 (\$0.2/hl, 约 2 元/桶)，相对于隧道灭菌器的\$1.7/桶 (\$1.4/hl, 约 14 元/桶) (Dymond, 1997)。由于瞬间灭菌与无菌灌装技术的购买和使用组合性地相连，使用瞬间灭菌可能要包括有关无菌过滤所要求的显著额外开支。

6.5 包装技术

热回收-洗涤

在洗瓶和洗桶过程中的热是有机会回收的。一项研究注意到，安装热回收系统的洗桶机估计能节约 40% 洗桶的能源并且可回收加热输入水所需热量的 85% (Sorrell, 2000)。Moosehead 啤酒厂(加拿大) 安装了壳管式热交换器用以回收在洗瓶部门的冷凝水和燃油加热器的冷凝水的热能(CIPEC, 1998)。

建造大多数酿造工业的在线装桶系统的 Burnett and Rolfe (2001) 指出，在线装桶已有所改进并因此使用较少的能源。较旧的工厂使用蒸汽清洗来清除第 2 次和第 3 次洗涤。在较新的系统中，蒸汽空气清洗取代了第 2 次洗涤的蒸汽清洗，从而减少了 50%的蒸汽消耗量，从 0.8 公斤蒸汽/桶到 0.4 公斤蒸汽/桶。另外，第 3 次洗涤的水被重复利用作为第 1 次洗涤的洗涤媒介，在使用它之前，将水通过热交换器，用取得的热量来预热输入的洗涤水。Burnett and Rolfe (2001)估计热交换器可减少蒸汽消耗量 0.88，即处理每个桶用 1.46 公斤蒸汽。另外，水的消耗量从 20 公升/桶减少到 12 公升/桶 (Burnett & Rolfe, 2001)。这相当于节能大约 6 kBtu/桶（216 克标准煤/桶）和能在 3 年以下归本(Burnett & Rolfe, 2001)。

清洁效率的改善

Brand Brewery (Wijlre, 荷兰)安装了高效率的洗瓶装置。在荷兰，啤酒瓶被送回到啤酒厂进行清洁和再使用。啤酒厂开发了一个结合几个碱液浴循环和热回收的新型清洁和清除标签工艺。为了减少后期清洁阶段的热需求，瓶子在余热浴中被预热，使用离开洗瓶机的瓶子的热量。在新的情况下，碱液循环流过一个 Rehman 过滤器被不断地清洁，使其再生并且去除标签残余。由于连续的清洁，每年只须更换一次液体。瓶子由蒸汽消毒，同时也逐出空气，节省了真空阶段所需的能源。在算入清洁过程所增加的蒸汽需求之后，净节能

是 11250 GJ/年（约 383 吨标准煤/年）(CADDET, 2000b)。设施的总产量是 550000 百升/年，净具体节能估计是 25 kBtu/桶(21 MJ/hl, 约 900 克标准煤/桶)。项目归本是 3.4 年 (CADDET, 2000b)。

7. 跨工艺的措施

公用设施对保持啤酒厂生产过程的运行是极其重要的(Benson et al., 1997)。特别是它们为加热、蒸汽、制冷、照明、电机、泵、压缩机、风机和输送系统提供燃料和电力。不影响酿造过程的跨工艺公用设施能效措施可能有直接的和经济有效的节能潜力。以下我们将讨论在热水和蒸汽输配、热水和蒸汽生产、电机和电机系统、制冷和冷却以及其他公用设施如照明等的可减少能源消耗的跨工艺能效改善措施。各单独措施的节能量可能相对地少；但是这些措施的累积作用可能有很大的潜力。

7.1 锅炉和蒸汽输配

锅炉的养护

一个简单的养护计划能保证锅炉的所有部件在最佳状态运行可取得显著的节能。在缺乏一个好的养护系统时，燃烧器和冷凝回归系统可能会磨损或失调。这些因素可能导致蒸汽系统在 2-3 年期间减少高达 20-30%的最初效率 (OIT, 1998)。Lom and Associates (1998) 指出，减少水垢和污染的化学处理措施能使效率有重大改善，因为减少 1 毫米 (mm) 的水垢能减少 2%的燃料使用。

改善的生产过程控制

使用烟气监测器分析锅炉燃烧排气的成分将可保持最佳的火焰温度和监测一氧化碳、氧气和烟。排气中的含氧量是过量的空气(故意引入以改进安全或减少排放)和渗透的空气(渗漏入锅炉的空气)的组合。通过结合氧气监测与进气气流监测，甚至有可能查出细小的泄漏。仅 1%的空气小渗漏能导致高于 20%的氧气读数。排气中有较高的一氧化碳或烟含量标志着没有足够的空气使燃料完全燃烧。利用一氧化碳和氧气的读数相结合，有可能优化燃料/空气的混合以达到高的火焰温度(因此得到最佳的能效)和低排放。Lom and Associates (1998) 提出，减少 10%的过量氧气将增加锅炉效率 1.5%。这项措施在小型锅炉系统可能由于太昂贵而不能实施(IAC, 1999)。Miller 在 Milwaukee, Wisconsin 的工厂将气动控制转换成电子控制锅炉从而节约了 2.1 kBtu/桶 (76 克标准煤/桶) (Miller Brewing Co., 2000)。

烟气的热回收

锅炉烟气的热可以用于在节热器中预热锅炉供水或预热锅炉进气。虽然这项措施在大型锅炉中是常用的，但仍经常有回收更多热量的空间。烟气热回收的局限因素是它必须保证节热器的墙壁温度不能降到低于烟气中酸的露点以下，例如在含硫矿物燃料中的硫酸。根据以往经验，排气温度每降低 20-25 C°相当于节省了百分之一所使用的燃料(Ganapathy, 1994; Lom and Associates, 1998)。这类系统的投资成本归本可能大于 3 年(Lom and Associates, 1998)。Miller 在 Milwaukee, Wisconsin 的工厂安装了节热器后能增加从烟气的热回收并减少使用能源 1.0 kBtu/桶 (36 克标准煤/桶) (Miller Brewing Co., 2000)。

排污蒸汽回收

要从锅炉定期地放水以清除积累的杂质。当水从高压锅炉水柜喷出以去除杂质时，常常由于压力减少而产生大量的蒸汽。该种蒸汽是低级的，但可以用作空间供暖和供水预热或在啤酒厂的其他用途。我们假定这项措施在小型锅炉中可节约 1.3% 的 锅炉燃料。¹²这个系统的运行开支也许会轻微地增加。我们估计这项措施的整体归本为 2.7 年 (Einstein et al., 2001)。

凝汽阀的养护

凝汽阀有在没有损失任何流动蒸汽之下消除凝结的蒸汽和不凝结的气体的功能。由于如果没有适当地监测，这些凝汽阀可能会放出大量的蒸汽，简单的检查和维修计划能以很少的开支来节约相当可观的能源。如果没有定期地监测凝汽阀，15-20%的凝汽阀可能会发生故障。保守地估计定期的凝汽阀系统检查和后续养护可节能 10% (OIT, 1998; Jones 1997)。Miller 在 Milwaukee, Wisconsin 的工厂能通过为 1500 个凝汽阀实施一个凝汽阀管理计划减少了 3.5 kBtu /桶 (126 克标准煤/桶) 的能源损失(Miller Brewing Co., 2000)。我们估计这项措施的归本是少于一年(Einstein et al. 2001)。

自动凝汽阀监测

附有自动化监测器的凝汽阀与维护计划并用可节省更多的能源，而且无需显著地增加开支。这个系统是单独改善凝汽阀维护，因为它能更快地通知凝汽阀故障，并且能探测到凝汽阀没有以最高的效率运行。保守地估计仅使用自动监测一项就能节约另外的 5% 能源，而归本则少于一年(Johnston, 1995; Jones, 1997; Martin et al., 2000a)。另外需要少量的监测器运行和维护费用。

泄漏修理

与凝汽阀一样，如果没有定期的检查和养护计划，输配管道常常有未被注意的泄漏。除了能节省能源开支 3% 之外，这样的计划能减少要修理严重泄漏的可能性(OIT, 1998; Martin et al., 2000a)。仅发出微弱的嘘声和几乎不可见的蒸汽雾的小泄漏能导致每小时损失 1 公斤的蒸汽，或者相当于生产 200 百升(170 桶)啤酒所需的能源 (UNEP, 1996)。

凝结水回归

重复利用锅炉的热凝结水可节省能源和减少对经处理的锅炉供水的需求。通常必须对淡水进行处理以去除可能会在锅炉中积累的固体杂质，回归的凝结水能极大地减少购买用于处理水的化学制品的数量。啤酒厂中一个好的冷凝回归目标是至少 75% (Kidger ,2001)。事实上这项措施可节省相当大的能源开支和购买化学制品的开支，使建立回归管道系统更有吸引力。在某些情况下在啤酒厂安装蒸汽驱动(而不是用电)的冷凝水回归泵可能会更加有效 (Lom and Associates, 1998)。我们假定可节能 10% (OIT, 1998)。对于不适合重新循环的冷凝水也有可能使用热交换器来回收热能，正如 Moosehead 啤酒厂(加拿大)所做的 (CIPEC, 1998)。

改善蒸汽输配系统的隔热

对现有隔热材料的使用进行仔细的分析能常常获得节能。选择材料的因素包括低导热性、在温度变化之下保持稳定的尺寸、不吸水和阻燃。根据从美国能源部的“蒸汽挑战”计划

¹²基于以下假设：有 10% 的锅炉水是用于排污(OIT, 1998)，并有 13% 的能源可以从此回收(Johnston, 1995)。

得到的数据，改善现有的热输配系统的隔热将平均节省 3-13%，而平均归本是 1.1 年 (Einstein et al., 2001)。

生产过程的整合或夹点分析

生产过程的整合或夹点分析是指开发各个系统中固有的相互影响潜力，包括多个有共同作用的组分。在有多个加热和冷却需求的工厂中，使用生产过程整合技术能显著地改进效率。

在 70 年代初开发的生产过程整合现在已成为连续生产过程的一个确立的方法(Linnhoff, 1992; CADDET, 1993c)。该方法包括以热力学优选的方式将生产过程中的热流和冷流连接起来(即不在所谓的‘夹点’上)。生产过程整合是保证将各组分非常合适地安排和根据大小、功能和能力匹配的一种技巧。夹点分析采取系统化的方法来识别和纠正在任何生产过程中限制绩效的约束(或夹点)(Kumana, 2000a)。它源自 70 年代后期由英国曼彻斯特大学等(Linnhoff, 1993)为了回应 70 年代的能源危机，以及需要通过优化热交换器网络的设计以减少炼油厂和化工厂的蒸汽和燃料消耗而开发。从此以后，夹点方法被延伸到一般的资源节约，无论该资源是资本、时间、劳动力、电力、水或一个具体的化合物，例如氢气。

应用夹点分析的关键革新是为供热和冷却开发“组合曲线”，它代表了整体热能需求和对整个生产过程的可用性特征。当这两条曲线绘在温焓图时，他们显露了生产过程中的夹点位置(温度最接近的点)和最少的热力供热和冷却要求。这些称为能源目标。该方法包括首先确定目标，然后遵循一个系统性的规程来设计热交换器网络来达到这些目标。在夹点的最佳接近温度是取决于平衡投资与能源的权衡来达到预期的归本。该规程对新设计的工厂和现有工厂的更新都很适用。

该分析的分析方法在文献中有很好的记载(Kumana, 2000b; Smith, 1995; Shenoy, 1994)。使用夹点分析的节能潜力远远超出那些知名的常规技术，例如锅炉烟气热回收、隔热材料和凝汽阀的管理等。Kumana (2000b) 回顾了将近 60 家美国工厂的夹点分析，发现节省成本的潜力在 3-50%之间，而归本期的范围是从 0.6 到 4.7 年。

使用夹点分析技术对 Valaisanne 啤酒厂(瑞士)的生产过程进行的能源分析达到了节约 25% 的初级能源 (Helbing, 2000)。安大略省电力局(加拿大)指出，使用夹点技术来减少啤酒厂的制冷负荷能削减高峰负荷 35%，每年节约接近\$600000 (约 5 百万人民币) (Singleton, 2000)。在一个工业化啤酒厂的四座酿造车间的具体模型确定了一个减小设备规模和减少蒸汽消耗高峰的重大机会，削峰的潜力达 20% (Mignon, 1995)。

7.2 电机和使用电机的系统

电机和使用电机的系统包括压缩空气、泵及电机本身。使用“系统化的方法”优化能源的供应和需求能常常产生更多的节省。例如对于泵，用系统的方法分析供应和需求两边以及他们如何互动，将分析的焦点从各自的组分转移到整体系统的表现。我们所确定的以下措施反映了这个系统化方法的各种因素，包括匹配的速度和负载(可变速驱动)，正确地估量系统规模，以及系统元件升级。

变速驱动(VSDs)或可调速驱动(ASDs)

变速驱动能更好地将负载的要求与电机的运行匹配，从而改进整体的电机运行效率。在啤酒厂的泵系统和压缩机系统对使用可变速驱动是特别有吸引力。在许多情况下，每年压缩空气系统运行所需要的能源开支往往大于他们的最初成本。变速驱动与差压控制一起使用时，当需求减少时显示了非常好的节能（例如当啤酒厂不在满产能营运）。根据由 Xenergy (1998) 收集的盘点数据，82%的泵有空载调节功能(或 VSD)。相似于在电机系统中能调节负载，包括装有调节功能的泵估计能节约泵的能源消耗在 15-45%之间，并有相对短的归本期，取决于电机的大小、负载和负载的变化(Xenergy, 1998)。

一个在 Romford(英国)的啤酒厂为他们的二次制冷回路循环泵安装了电子变速驱动。安装变速驱动是为了调控冷冻剂的供应与需求匹配。通过引进变速驱动使电机的平均功率显著地降低了大约 45% (CADDET, 1993a)。项目的归本期少于两年(CADDET, 1993a)。在 Musashino(日本)的 Suntory 啤酒厂在五台电机上安装了变速驱动。他们能减少这些电机的用电量在 32-65%之间，以少于 2 年的归本期 (CADDET, 1992)。工厂每年的总节电量是 709000 kWh (CADDET, 1992)。

减小电机、泵和压缩机的容量

当不适当地配置电机和泵的容量时会造成不必要的损失。有时能以降低最大负载来减少电机的容量。Xenergy (1998)估计改正电机的超容量能节约 1.2%的用电量(更小的电机可以节省更多)，而将泵与负载匹配可在美国的制造工业节约 4%的泵能源消耗。对于泵系统，减少泵负载的措施包括考虑采用不同的泵配置和改善运行和维护的方法。Stroh's Heileman 啤酒厂 (美国) 开展了对泵负载的一个系统分析并通过调整叶轮使他们的泵电机从 150 马力降低到 75 马力(ECW, 1998)。每年估计可节能 508000 kWh，投资的回报是 200% (ECW, 1998)。

美国能源部(2001)指出泄漏有时可能浪费 20-30%的压缩机输出。Lom and Associates (1998)指出几项基本的内部清理和维护工作能减少压缩空气负载，因此导致减少压缩机的容量。这些措施包括使用检漏仪，保持不过高的适当压力，围遮压缩机，从最凉的位置进气和将空气干燥机的再生周期减到最小。如此的归本可少于一年(Lom and Associates, 1998)。Ford Monroe (美国) 的减少泄漏计划导致减少压缩空气的使用 50%，从每天 1 千 7 百万立方英尺(mcf) 减少到每天 9 百万立方英尺并每天节省\$2000（约 16534 人民币）(U.S. DOE, 2001)。Milford 市 (美国)决定用一个 35 马力的泵替换一个 75 马力的泵。由于较小的泵产生较少的流量，该泵必须更频繁地运行；然而，由于减少了平均流速，因而减少了系统的摩擦损失和增加了平均效率。新的泵配置在能源和维护上的节约提供了 1.7 年归本(U.S. DOE, 2001)。

使用高效率的电机、泵和系统部件

高效率的电机通过改进的设计、更好的材料和改进的生产工艺来减少能源损失。使用改善的泵部件在美国的制造工业可节省 0.5%的泵能源消耗(Xenergy 1998)。如果安装妥当，高效率的电机在运转时的温度会较低，因而有更高的使用系数、更长的轴承和绝缘材料寿命以及较少的振动。要被认可为高效率，电机必须符合全国电气制造商协会(NEMA)发出的性能标准。多数制造商提供比 NEMA 的规定标准高得多的电机种类(U.S. DOE, 2001)。目

前 NEMA 和其他机构正主办“电机决定的重要性(Motor Decisions Matter)”宣传以向工业界推广 NEMA 批准的优质高效率电机(NEMA, 2001)。根据铜发展协会的数据, 升级到高效率电机与达到能源政策法案所规定的最低效率的电机相比, 50 马力的电机的归本是少于 15 个月(CDA, 2001)。

7.3 制冷和冷却

要使制冷系统在最佳状况下运行就要在减少冷凝器的状态和蒸发器的状态之间的差别上努力。对于冷凝器, 目标是取得冷冻剂可达到的最低的冷凝温度和压力。这样能减少功率输入同时增加制冷量。对于蒸发器, 提高温度和压力会增加压缩机的功率输入, 但能显著地增加系统的制冷量。提高每一度蒸发器的温度能减少压缩机的用电量大约 3% (Hackensellner, 2001; Lom & Associates, 1998)。另外, 湿冷却系统一般比干系统的效率高, 因为湿球温度是开放在大气中并且比干球温度低 9°F (5°C)。

更好匹配冷却的容量和冷却的负载

为了向不同的生产过程提供更好的冷却, Grolsch 啤酒厂在 Groenlo (荷兰)安装了一个新的压缩机系统, 用一台螺杆式压缩机供应基本的负载, 由原有系统的五台压缩机提供辅助。新系统能够在不影响致冷机的能效比之下向所有的温度要求供冷。节能是 324000 kWh/年或者大约 0.35 kWh/桶(0.3 kWh/hl) (CADDET, 1999b)。投资\$283000 (约 234 万元人民币, NLG 577,000) 的归本期是大约 3.6 年 (CADDET, 1999b)。Bavaria 啤酒厂(荷兰)安装了类似的系统, 减少电力消耗 0.49 kWh/桶(0.42 kWh/hl) (NOVEM, 1996)。

改善氨制冷系统的运行

在荷兰的其中一家 Heineken 啤酒厂车间使用一个以氨作为冷却剂的中央制冷系统。由于长时间在满载下运行, 因此该系统使用螺杆压缩机。目前在压缩机的压力边安装了一台最近开发的洗气机。使用这种新技术, 离开压缩机的气体中油的含量减少到 1 ppm 以下。每年节能大约在 840000 kWh。除了节能之外, 非能源的收益增加了\$16000 (约 132275 元人民币, NLG 28500), 因此 \$360000 (约 297 万人民币, NLG 640000) 的投资在 5.5 年内得到了归本。新技术增加了制冷系统的寿命并减少了运行和维护的开支(CADDET, 1993b; NOVEM, 1993c)。然而, 直接氨系统可能会增加建造开支和安全考虑, 因为需要将发酵罐的夹套设计成能承受与氨有关的额外系统压力和有直接泄漏到产品中的潜在威胁(Kidger, 2001; Anheuser Busch, 2001)。Grolsch 啤酒厂(荷兰)在 1995 为它的氨制冷系统安装了一台机油分离器并且用一台较大的螺杆压缩机替换五台较小的压缩机。啤酒厂的节电估计是 2% 的用电量或 0.07 kWh/桶(0.06 kWh/hl) (NOVEM, 1995; CADDET, 1999b)。

改善冷却系统的运行和维护

注意改善运行和维护是常常可能以非常低的投资成本来达到节能(Caffal, 1995)。这样的改善可能包括关好门, 设定正确的压头, 维持冷却剂的正确水平, 有效地维护冷却塔; 并且在部分负载时选择适当的压缩机运行数量。也可以通过清洗冷凝器和蒸发器达到节能。冷凝器中的水垢会增加功率输入和减少制冷量。三毫米的水垢能增加功率输入 30%和减少制冷量 20% (Kidger, 2001)。水处理和排污或者磁性水处理可以消除水垢。在氨系统的蒸发器中的油有积累的趋势, 所以需要排放以避免减少传热。在冬季, Colorado 的 New

Belgium 啤酒厂利用室外冷空气来减少制冷能源的负荷(Farrell, 1998)。Miller 啤酒公司在它的 Milwaukee, Wisconsin 酿造营运中降低系统的季节性系统压力从而节省了 1.1 kWh/桶(1.0 kWh/hl)(Miller Brewing Co. 2000)。

系统修改和改进冷却系统的设计

使用闭合回路系统的压缩机和冷凝器能通过简化制冷周期来改善总体的制冷效率(Lom and Associates, 1998)。这项措施的归本期估计是三年或更短。在 Zoeterwoude (荷兰) 的 Heineken 啤酒厂将它的冷却水流与二氧化碳和空气压缩机分开, 从而减少制冷的用能和用水 20%。整体节能是 0.13 kWh/桶(0.11 kWh/hl) (NOVEM, 1999b)。在 Colorado 的 New Belgium 酿造公司安装了蒸发式冷凝器冷却系统从而简化了系统的运行, 在冷却过程中取消了一级热交换, 并且增加了效率 (New Belgium Brewing Co., 2001)。在荷兰的 Grolsch 啤酒厂安装了一台自动除气机以改善冷凝器的传热能力。估计可节省 4% 的啤酒厂用电或 0.14 kWh/桶(0.12 kWh/hl) (NOVEM, 1995)。

冷却管道和夹套的隔热

如果管道是无隔热的, 加以隔热常常是经济有效的, 因为冷却管道和周围环境之间有显著的平均温度差别(例如高于 15°F, 9°C)。如果管道已经是隔热的, 升级可能不是经济有效的。由于减少了热损失, 隔热的夹套槽比在隔热闭室(冷冻间) 中的槽使用较少的冷量 (Kidger, 2001)。

吸收式制冷

吸收式制冷需要一个廉价的热源进行制冷。因此吸收式制冷在热电联产(CHP)的设施中是最有利的。见以下提供的热电联产举例。

7.4 其他的公用设施

照明

照明在美国啤酒厂的用电量占 7%, 有几个减少照明的能源消耗的机会存在。在 Romford (英国) 的一个啤酒厂中, 使用更细小和更高效率的荧光灯管、小型荧光灯(而不是钨丝灯), 萤光灯具或高压钠灯(而不是水银放电灯) 替换或升级有故障的、毁坏的、过时的或者是过高照明度的灯具, 并在所有萤光灯具中使用电子启动器。由于这些措施, 整体装置的负荷减少了 50%。加上照明设备控制, 照明设备的用电量减少了 66%。估计每年可节省几乎 650000 kWh, 归本期是 2.5 年 (CADDET, 1994)。在 Colorado 的 New Belgium 酿造公司也通过尽可能利用自然光的设计(包括光导管)和通过安装高效荧光灯与行动感应器大幅度地减少了照明设备负荷 (Farrell, 1998)。Miller 在 Milwaukee, Wisconsin 的工厂重新以高效照明设备和控制装备啤酒厂, 减少能源消耗 0.6 kWh/桶(Miller Brewing Co. 2000)。Moosehead 啤酒厂有一个用更高效率的 T8 灯替换旧式的 T12 荧光灯的项目 (Moosehead, 1999)。Lom and Associates (1998) 估计用高效灯管替换标准萤光灯具的归本期是少于 2 年。除了节能之外, 照明翻新也能增加生产力和工作场所的吸引力。

减少空间供暖需求

正如我们在几项措施中所注意到的, 可以有机会从各种酿造过程中取得低等级热(例如麦汁煮沸和冷却, 瓶和桶的清洗)供空间供暖。另一个例子是在冬天时利用气冷压缩机

的排风提供空间供暖，并且从水冷压缩机回收热(Lom and Associates, 1998)。加拿大一家啤酒厂的从制冷车间回收热的项目估计能节省 7.6 kBtu/桶的热能(Singleton, 2000)。

厌氧废水处理

工业污水一般在排放之前经过耗氧系统处理以除去污染物。由于耗氧系统的耗电量相对地高，因此在使用上可能是不利的。有些啤酒厂在污水处理上花费大量费用。厌氧废水处理对于清洁工业污水是一个可供选择的方法，它将污水中的有机化合物转化成沼气并且可供设施本身使用。如果污水的浓度是大约 1 公斤的生化需氧量(BOD)/m³，这些系统是可行的(UNEP, 1996)。厌氧处理厂的负荷通常是在 5-10 公斤化学需氧量(COD)/m³ 或 8-15 公斤生化需氧量(BOD)/m³ 的范围内(UNEP, 1996)¹³。在被注入反应器之前，将污水输入一个平衡或水解槽存放 4-8 个小时以过滤掉悬浮的物质(UNEP 1996)。

在 Enschede (荷兰)的 Grolsch 啤酒厂使用一个厌氧预净化系统。该系统减少每年所购买的天然气的消耗量 730000 Nm³，同时增加用电量 150000 kWh。净节约是 2.04 百亿 Btu (21.5 TJ，约 734 吨标准煤)，相当于 11.9 kBtu/桶(10.2 kBtu/hl，约 428 克标准煤/桶)(CADDET, 1997; NOVEM, 1993b; Anonymous, 1998)。在他们对厌氧系统的分析中，Heyse et al. (1996) 估计能源的生产范围是 2.3-6.8 kBtu/桶(83-245 克标准煤/桶)，取决于化学需氧量(COD)的实际负荷水平和污水量。Anheuser-Busch 在美国的 12 家啤酒厂中的 8 家安装了生物能源回收系统。达到在购买的燃料消耗中节能 10-15%而且归本期是少于二年(Anheuser-Busch, 2000)。当包括了减少污泥产生和处置时，归本可下降到少于一年(Martin et al., 2000a)。其他的收益包括需要较少的投资来扩展现有的设施和显著减少了污水和固体垃圾。在奥地利的一家啤酒厂安装了一个在厂内的废水处理系统(带有能源回收)达到节电 0.3 kWh/桶(0.3 kWh/hl)和节热 1.4 kBtu/桶(1.2 MJ/hl，约 50 克标准煤/桶)(EC, 1998)。在一个最近的发展中，Ince et al. (2001)报导了关于在厌氧消化器系统中使用错流超滤膜的试验，亦称为厌氧消化超滤处理(ADUF)。这个系统相对于传统的厌氧系统可能有以下几各优点，包括减少设备(没有沉淀池)，使所需的反应器容量减到最小以及改善了控制。然而，目前仅有从试验所得的数据(Ince et al., 2001)。

用膜滤法处理废水

面对日益增长的处置高水平生物污染污水费用的公司可能发现对应用薄膜技术有经济上的吸引力。薄膜技术主要使用半透膜和施加压差将水与污染物分离开。错流微滤膜可用于去除从 0.05 到 2 微米大小的微粒(CERF,1997)。从普通啤酒厂流出的污水含有 1500 到 2500 mg/l 的 COD 和 1000 到 1500 mg/l 的 BOD⁵(Heyse et al. 1996)。与传统的沉淀和过滤系统相比使用薄膜能够显示出经济有效、减少用电需求和占用较少空间(Pearce, 1996; CERF, 1997)。系统的成本范围从每平方米\$900(约 7440 元人民币)到\$1300(约 10747 元人民币)，而过滤的费用范围每加仑过滤液从 0.5 美分(4 分人民币)到 10 美分(8 角人民币)(NFPA, 1996)。与薄膜应用有关的问题包括薄膜的生物污染和膜表面的脆弱(CERF,1997)。我们目前估计这项技术的归本为五年，虽然这取决于技术的应用(Martin et al., 2000b)。

¹³化学需氧量(COD)是测量污水排放中有机材料浓度的一个方式。啤酒厂正常运行时的比率是 1.5-1.7 COD/BOD。

控制和监测系统

与许多工业一样，使用生产过程控制系统可以在减少能源使用中起重要作用。控制系统能减少执行复杂任务所需的时间，常常能改进产品质量和稳定性以及优化工艺的运行。控制系统的具体例子包括冷冻和啤酒厂公共设施的生产控制。这包括使用计量设备(例如对于压缩机)和在生产过程运行中使用自动化。监测和目标设置系统需要建立动态信息反馈回路以便能不断地调整和优化运行 (Macdonald, 1996)。

许多工业应用的典型节约可以是 2-5%或更多。Tui 啤酒厂在它的 Mangatainoka 工厂(新西兰) 通过安装自动监控系统而减少能源开支 12.5%，并且得到几乎是立即的归本(EECA, 2000)。在英国，使用监测和目标系统为 19 个啤酒厂确定了平均每个啤酒厂节约高于 \$300000 (约 250 万人民币)，而归本期的范围是 2-5 年(McDonald, 1996)。在 Lieshout (荷兰)，Bavaria 啤酒厂为它的氨冷却系统安装了一个自动冷冻控制系统。该系统每年减少用电量 450000 kWh 或 0.15 kWh/桶(0.13 kWh/hl) (NOVEM, 1996)。El Aguila Heineken 啤酒厂(西班牙) 同样为他们的冷却设施安装了一个监测和控制系统，减少用电量 0.67 kWh/桶(0.57 kWh/hl) (NOVEM, 1991b)。此项目的归本期大约是 2 年。Carlsberg-Tetley 啤酒厂(英国)安装了一个制冷故障诊断系统对冷冻系统中的问题提供评估和建议。该专门系统在 9 个月的监测期间节省了 524000 kWh (30%的用电量) 并且在 8 个月中归本(CADDET, 1996b)。Labatt 啤酒厂(加拿大)在 1992 年开始实施了一个监测和追踪计划，因此节能 23% (CIPEC, 1998)。在对一家保加利亚啤酒厂的研究中，Askounis and Psarras (1998)估计通过安装信息管理和监测系统可以有 11-13%的节能潜力。最后，Miller 在 Milwaukee, Wisconsin 的工厂安装压缩机控制并达到了节能 0.24 kWh/桶 (0.2 kWh/hl) (Miller Brewing Co. 2000)。

产热和发电相结合(CHP)或热电联产

对于象啤酒厂这类有工艺加热/蒸汽或冷却和电力需求的工业，使用热电联产系统是一项重要的节能和减少污染的措施。热与电比率 2:1 是典型的热电联产合适候选者 (Batts, 1998)。当一个设施能够每年至少有 5000 个小时在满负荷下运行，热电联产很可能是在经济上可实行的(Sorrell, 2000)。往复式蒸汽机比汽轮机便宜两到两倍半，但不能生产同样数量的蒸汽，并且不能达到和联合循环系统相同的效率(Kidger 2001)。

创新的燃气轮机技术使热电联产对于在热需求上有大幅度变化的设施更有吸引力。注蒸汽燃气轮机(STIG 或 Cheng 循环)能吸收剩余蒸汽(例如由于季节性的减少供热需求)，通过将蒸汽注入涡轮机来提高发电量。典型的注蒸汽燃气轮机的大小由大约 5 MWe 开始。在各种工业和应用中都能见到注蒸汽燃气轮机，特别是在日本和欧洲，以及在美国的国际电力技术(International Power Technology)(加利福尼亚)在美国的不同食品工业安装了注蒸汽燃气轮机(例如 Sunkist Ontario, 加利福尼亚)。节能和归本期将取决于当地的情况(例如 能源的模式，电力的销售条件)。Heineken 在他们的's-Hertogenbosch (荷兰) 啤酒厂安装了一个基于注蒸汽燃气轮机的热电联产设施。

在美国，Coors 啤酒公司有一个大型热电联产系统(40 兆瓦)。在 1995 年，Coors 将它的热电联产营运外包给 Trigen 能源公司(Trigen Energy Corporation)。Coors 已经取得了重大的

节能成果，自从开始热电联产项目以来每桶的能耗下降了 20% (Trigen Energy Corporation, 2000)。Labatt 在安大略省(加拿大)的啤酒厂于 1993 年安装了一台高效率 5 兆瓦 Allison 气轮驱动热电联产系统。Heineken (荷兰)有三台 Allison 燃气涡轮发动机能生产大约 11 兆瓦的电力，而回收的蒸汽在原地供他们的 Zoeterwoude 啤酒厂使用 (Brezonick, 1994; Kidger, 2001)。苏格兰的第三大啤酒厂 Belhaven 啤酒厂集团，通过安装一个小型热电联产设施(60 千瓦)来显著减少能源费用，使初级能源的使用降低了 30% 以上并且以 3.5 年归本 (CHPA, 1998; Energy Advantage Co. 2000; Kidger, 2001)。

与吸收式制冷结合的热电联产

从热电联产系统排出的余热可以用于运行冷却系统。取决于冷冻机蒸汽的几种效应，冷却的需求可能在 4.5 kg/kW 到 8.3 kg/kW 的范围内 (Moné et al. 2001)。在吹田(日本)的一个啤酒厂安装了一个组合气轮热电联产系统和两台制冷机(一个 4MW 汽轮机产生 1.5 MPa 的蒸汽(高压)推动一台背压蒸汽驱动制冷机。该系统减少了燃料需求 14% 和电力需求 40% (CADDET, 2000a)。在 Colorado 的 Coors 酿造设施由中等压力蒸汽驱动制冷设备 (Island Press, 1999)。一个对利用热电联产吸收式制冷系统作空间冷却的研究发现，它需要 4.5 年才能归本 (Maidment and Prosser, 2000)。

发动机驱动的制冷系统

在东京(日本)的 Kirin 啤酒公司为热电联产系统安装了一台 596 千瓦燃气发动机与一个使用沸水的冷却系统(为了回收蒸汽)以及一台 560 千瓦发电机。以一个余热锅炉来利用发动机的排气所产生的 8 巴中等压力蒸汽，供省热器用来预热锅炉供水。投资成本可以在四年内归本 (CADDET, 1994)。该公司达到了节电 10% (CADDET, 1994)。美国天然气技术学会与 Tecogen 合作推广燃气发动机驱动的制冷机的市场。美国有几家啤酒厂都安装了这类制冷系统，尽管递增的投资成本大致是电动制冷机的两倍，但在电费高的地区的归本期是 2-4 年 (Glick, 2001)。

8. 提高材料效率的机会

改善使用原材料的效率或减少产品损失能间接地减少能源的使用(材料效率)。例如,减少啤酒的废物可减少处理相同数量的原料的需要,结果使啤酒厂和其他工艺程序节省能源。由于减少了处置固体和液体废物的费用,减少用料也可降低生产成本。以下部分介绍了我们在文献调查中发现的一些主要的减少材料措施。

使用啤酒花浸膏而不用啤酒花

虽然啤酒花浸膏可能会改变啤酒的风味,但它能节省空间,减少煮沸时间并且免去啤酒花分离过程(UNIDO, 2000)。

干磨大麦牙

制造一桶啤酒至少要用四桶水(UNEP, 2001)。干磨大麦牙是减少用水的一种方法。但是这种方法在美国的节水是有限的,因为大多数的麦芽粉碎已经采用干磨(Hardwick, 1994)。

水的再利用和节约措施

啤酒厂典型的排污费每年可能达到\$1-2百万(约800-1600万人民币)(Bland, 1993)。啤酒厂存在着许多减少用水或循环用水的机会。用四到五桶水制成一桶啤酒可认为是好的方法(Anonymous, 1998; UNEP, 1996)。正如热的回收和再利用,节水和水的再利用的方法是寻找各种最佳的对应用途来再利用高质量,中等质量和低质量的水(Bland, 1993)。减少用水不仅将减少排污费,而且也将减少购买水和处理水的开支,以及用于处理和泵水的能源。

- 在啤酒厂厂区,有可能存放过滤槽排出的水以作为随后酿造的补充水。这些液体必须通过沉淀、离心或者活性炭预处理,但利用他们能减少用水开支,免除排污费用和减少能源的使用(Watson, 1993; UNIDO, 2000)。
- 逆渗透过滤器可以用于净化蒸气冷凝水和回收干净的工艺用水。对于产生大约8.3百万加仑(31500 m³)蒸气冷凝水的啤酒厂,过滤器的投资成本估计是大约\$80000(约661376元人民币)。取决于水的费用,投资的归本可能少于两年(Hackensellner, 2000)。
- 热液汁槽的溢出可以用于预热输入灭菌器的冷水。实行这项措施取决于具体的啤酒厂配置(Watson, 1993)。
- 在发酵部门,有一个选择是重复利用定量、发酵和储存槽的最后冲洗液作为下一次清洁使用(Watson, 1993)。
- 在包装部门有可能使用从灭菌器流出的水作为在洗瓶阶段的最初冲洗,或者有可能收集和重复利用灭菌器的溢出水作为补充水送回到灭菌器(Watson, 1993; Bland, 1993)。提高灭菌器的啤酒输出温度的极限能同样减少灭菌器的水损耗。洗瓶的水也可能回收并用于灭菌器以及作为传动机润滑系统稀释水。当与在灭菌器中的水回收系统结合时,使用洗瓶水能使一些灭菌器系统的补充水减少90%(Bland, 1993)。
- 洗瓶水也可用于啤酒厂中几乎所有在线清洁冲洗的来源(Bland, 1993)。
- 在整个工厂中,使用开放式冷却系统的水冷系统,可以改装成闭路循环系统来冷却。这些可包括隧道灭菌器、制冷压缩机和冷凝器、空气压缩机和二氧化碳压缩机(UNEP, 1996; Bland, 1993)。亚洲的一家啤酒厂(产能40万桶)将它的隧道灭菌器改换成一个闭路循环系统。设备的投资是\$45000(约372024元人民币),而归本期是大约一年

(UNEP, 1996)。一个研究指出, 在冷却塔和锅炉系统增加循环浓缩能减少排污(即水和能源损失) (Bland, 1993)。另一个再利用的机会是回收除气器泵密封的冷却水(Bland, 1993)。

- 其他机会包括在真空泵装瓶设施中安装循环槽, 优化洗瓶设施, 在线清洁(CIP), 减少在线清洁(CIP)后的冲洗水和阶梯用水(例如冷却塔排污)。有一个阶梯用水系统替啤酒厂在总体排污中节省了400000加仑/天(1514立方米/天)。

回收弱麦汁

在滤去麦汁后的谷物中仍然含有大量的精华, 可以将它们回收以减少损失。留在过滤槽中含有低量的精华的麦汁称为弱麦汁。弱麦汁一般是麦汁量的 2-6%, 其中 1-1.5% 是精华(UNEP, 1996)。回收这些麦汁将减少在污水中的生物污染物负荷并增加产量。弱麦汁可以用装有加热套和慢速搅拌器的槽来收集, 并可用于下一次酿造的糖化。还有其他机械分离方法如振动筛或离心机等(O' Rourke, 1999a)。

回收废啤酒花液体

从煮沸的麦汁中滤出以后, 向啤酒花洒水并且通过压榨来回收麦汁。从洒水后得到的液体可以再用于麦汁煮沸过程。这项措施能减少材料的使用并有少量的节能(UNIDO, 2000)。

发酵残渣的回收

残渣是指在麦汁冷却期间得到的非溶性蛋白质沉淀物。从一个有效的旋流槽得到的残渣数量是 0.2-0.4%的麦汁量或者是 150-300 mg/ml (UNEP, 1996; O'Rourke, 1999a)。残渣可以送回到糖化锅或过滤槽。可以回收小部分的提取物, 其余的可用作动物饲料(UNEP, 1996)。可以安装离心机或倾析器从热残渣中分离剩余的麦汁。

收集废酵母和回收啤酒

收集残余和废弃的酵母可作为动物饲料(牛或猪)出售或卖给其他啤酒厂。在每立方米的啤酒中, 从残余的酵母可得到大约 15 公升, 从废弃的酵母可得到 3-4 公升, 或者大致是 2-3% 的总啤酒产量(UNIDO, 2000; Bock and Oechsle, 1999)。UNEP (1996) 指出每桶啤酒可产生 5-11 磅的废酵母浆。

在发酵工艺中, 啤酒在储存槽中冷却和存放。通过压榨可以从发酵槽的冲洗液中回收酵母, 从而减少污染负荷。酵母可以被回收和重复利用或者作为动物饲料出售。任何含有酵母的液汁都可以经过滤来回收酵母或啤酒。一家产能为每年 80 万桶(1 百万 hl/年)的欧洲啤酒厂对安装从酵母回收啤酒的系统的投资作了估计。该系统包括了两个放置离心以后的酵母的容量为 40 桶的槽, 一台容量为每小时 17 桶(20 百升)的离心机, 两个放置回收的啤酒的容量为 40 桶的槽, 以及管道和泵。估计成本是\$500000-\$700000 (约 413-579 万元人民币), 以及基于每年回收 17000 桶(20000 百升)的 3-4 年归本 (UNEP, 1996)。

另一种方法是使用薄膜技术来回收啤酒和废酵母, 有超过 50% 的酵母沉淀可回收成为啤酒(Bock and Oechsle, 1999)。该技术可以设置成分批、半分批和连续处理。在最常见的连续处理中, 连续地去除截留物和滤出液。基于系统的大小, 该系统的归本是在 1-4 年范围(Bock and Oechsle, 1999)。PallSep 振动膜滤技术可能是经过改良的传统错流膜技术, 能回

收超过 20%干重的酵母浓缩和回收 3%的啤酒。PallSep 系统的营运成本估计在\$0.50/桶 (\$0.43/hl, 约 4 元人民币/桶) (Snyder and Haughney, 1999)。

回收酵母也对减少污染物负荷有作用。估计使用压榨来减少 75%的发酵槽化学需氧量 (COD) 负荷也会减少了储存槽的负荷(Watson, 1993)。

回收过滤以后的矽藻土

在过滤以后, 矽藻土可以被回收并作为动物饲料出售。其他的应用是作为在水泥生产和制砖中的一种原料(UNEP, 1996; Anonymous, 1998)。一般来说, 根据最初的清晰度、酵母细胞计数和啤酒类型使用 0.3-0.8 磅/桶((100 到 300 g/hl)矽藻土。使用离心法可以减少啤酒厂使用矽藻土的数量。但是, 安装离心机需要与增加用电需求取得平衡。泡沫则使用螺旋或螺杆泵回收。

啤酒损耗的回收

在各个生产阶段中都有啤酒残余的损失, 包括在倒空的处理槽, 在矽藻土过滤器中, 在管道中, 在包装部门的不合格产品, 以及回收和破损的酒瓶(UNEP, 1996)。废啤酒可占总产量的 1-6% (UNEP, 1996; UNIDO, 2000)。大多数的这类啤酒可以被收集和在生产过程中重复利用, 从而改进出产量。在装瓶区, 可以安装金属板来收集溢出的啤酒(UNIDO, 2000)。

减少胶水和标签的损失

使用条形或点形而不是球形上胶以减少胶水材料。使用防湿标签也能减少对胶水的需求。

使用可多次灌装瓶或 PET 瓶

如果能重复使用足够的次数, 使用可多次灌装的玻璃瓶或由聚乙烯(PET)制成的瓶可能比他们的一次性使用的同类产生 较少的垃圾(Saphire and Azimi, 1991)。目前仅有大约 6%的啤酒和软饮料在可多次灌装的容器中出售。在 1990 年啤酒和软性饮料的容器构成了大约 8 百万吨垃圾 (占全部固体垃圾的大约 4%)。根据 David Saphire, 如今的可多次灌装的玻璃瓶或 PET 可以被重灌 25 次(Saphire and Azimi, 1991)。在减少对玻璃制造的需求或使用较少的能源来制造 PET 瓶方面可以达到节能, 并且能在该行业减少空气和水的污染(Saphire and Azimi, 1991)。在 1985 年对纽约州的啤酒公司的一个调查中发现一些公司将一次性容器转换成可多次灌装瓶后每桶可节省\$4-\$15 (约 33-124 元/每桶, 每百升\$3-\$13) (Saphire and Azimi, 1991)。由于每辆货车可运送更多的半成形瓶子到使用地点然后用吹塑设备将它们完全成形, PET 瓶的运货可减少运输费(New Belgium Brewing Co., 2001)。这些系统在装瓶设备上 需要另外的投资, 并且对 PET 瓶因氧气渗透入瓶中而导致较短的贮藏期限有所关注。 Miller 啤酒将它的一些啤酒以塑料容器包装销售, 主要供在体育和演出场馆消费。目前这些容器仅定为一次性使用。现在一些回收的容器经剥落, 再加工, 并且在制造新瓶时作为五层之一 (Phillip Morris, 2000; Beer News, 2000; BEERWeek, 2000)。在有选择的地区进行产品试点之后, Anheuser-Busch 去年决定取消它的塑料瓶装酒计划 (BEERWeek, 2000)。

节约碱液的措施

在啤酒厂中常用碱液作为一种洗涤剂。可以安装一个与洗瓶机相连的碱液沉淀槽。当啤酒厂不运作时，可以将洗瓶机的内容抽到沉淀槽并除去杂质和沉淀。经沉淀后的碱液将被送回洗瓶机(UNEP, 1996)。

9. 未来的技术

我们也包括了对可能在将来有前途，但目前仍然在研究与开发阶段中的技术的介绍。

连续的麦汁煮沸

连续麦汁煮沸是在压力下进行的，麦汁通过一系列的热交换器并通过一系列的闪蒸容器将压力减少到大气水平。麦汁的逗留可以减少到几分钟，而且系统可以在任何蒸发率下运行(O' Rourke, 1999a)。这个工艺的好处是能保持稳定的优质麦汁，减少能源需求，容易将系统整合，充分利用能源来预热麦汁，可变的蒸发率和节能量高(UNIDO, 2000)。缺点是在产品质量上可能有负面的变化(特别是如果将麦汁热存放)，但如果将麦汁冷存放就有感染微生物的可能性(O' Rourke, 1999a)。目前还没有连续的麦汁煮沸系统在运行，现有的系统都是分批加工。

水力旋流和超声波分离

其他仍然在初生阶段但有工业应用潜力的技术包括水力旋流和超声波分离。水力旋流已经用于从液体中分离密集、坚实的微粒的紧凑型分离器，而且正在研究将他们的应用扩大到发酵的饮料，例如清除残渣(UNIDO, 2000)。绿色啤酒酵母清除和在粉末过滤之前的预先澄清(O'Shaughnessy and McKechnie, 2000)。这项技术为人所知的特点是可靠和维护要求低、容易安装以及可模块化。目前还没有节能的数据。初步研究也表明高频率超声波驻波可以用于从工艺流体中集聚和分离固体悬浮物。使用这项技术可以实现连续的分离(O'Shaughnessy and McKechnie, 2000)。

使用超高压为啤酒灭菌

法国的 Institut Francais des Boissons 开发了一个在室温下用高压为啤酒灭菌的技术。目前该技术还不适用于罐装和瓶装。费用估计在\$0.08 美元/公升(约 0.7 元人民币/公升)(Anonymous, 1998)。没有得到这项技术的节能资料。

10. 总结和结论

美国的啤酒厂每年在能源上要花费 \$2 亿美元（约 16.5 亿人民币）多。能源消耗相当于 3 - 8% 的啤酒生产成本，从而使改善能效成为减少和控制生产成本的一个重要途径。我们在啤酒工业发现了在公用设施和各种生产过程中的改善能效机会。对酿造工艺无直接影响的跨工艺公用设施的能效措施显示了迅速和显著的经济有效节能潜力。针对具体工艺的措施和使人感兴趣的新技术可减少能源和改善产品质量 (在质量上或产量上)。每项能效措施都提供了具体的主要节能，基于实行所介绍的措施和参考技术文献的案例分析。如果有可能，也列出了典型的归本期。表 8 和 9 总结了能效的机会、典型的节能量和归本期。

我们也提供有关材料效率和预防废物产生方面的其他机会的资讯，包括新兴的技术。我们的研究结果显示在现有的技术条件下，啤酒工业仍然存在经济有效地减少能源消耗的机会。许多被评估的节能措施不仅能节省能源，还能在一个短的归本期内做到，同时也累积了其他的收益，例如减少二氧化碳排放，减少垃圾或者节约用水。要评估在各个啤酒厂实施所选择的技术，还需要在经济上对措施进行进一步研究，以及研究他们对不同的酿造方式的适用性。

表 8.具体工艺的能效措施的主要节能和归本的估计

具体工艺			
措施	归本 (年数)	主要节能 ^A (kBtu/桶)	主要节能 ^A (gce/桶)
糖化和过滤槽			
余热回收	n/a	数据有限	数据有限
使用压滤器	2	19	684
麦汁煮沸和冷却			
蒸气冷凝器	<2-5	<1 - 22	<36-792
热蒸气再压缩	>2	16-18	576-648
机械蒸气再压缩	^D	23	828
Steineker Merlin系统	2	31	1116
高浓酿造	<1	13-22	468-792
低压麦汁煮沸	n/a	32-40	1152-1440
麦汁分离	n/a	20-42	720-1512
麦汁冷却	3	17	612
发酵			
固定酵母的发酵桶	n/a	数据有限	数据有限
热回收	>2	数据有限	数据有限
新型的二氧化碳回收系统	>2	数据有限	数据有限
处理			
微滤	2-4	数据有限	数据有限
薄膜(无酒精)	4	19	684
热回收-灭菌	n/a	1	36
瞬间灭菌	n/a	6-14	216-504
包装			
回收热清洗	≤3	6	216
改善清洁效率	3.4	23	828

^A 主要节能是以节省燃料使用、用电和电力输配损耗来统计的。我们采用根据美国发电厂的平均热耗率的一个从终端到初级用电转换系数 3.08。节能数据主要采用在文献中的案例分析。要将 kBtu/桶转换成 kWh/hl 使用转换系数 0.25 kWh/hl/kBtu/桶。要将 kBtu/桶转换成 GJ/hl，使用转换系数 0.0009 GJ/hl/kBtu/桶

^B 基于两个来源的数据 (EIA, 1997; Beer Institute, 2000)，我们假设美国啤酒厂的平均燃料用量是 212 kBtu/桶 (53 kWh/hl)，90 %–100%的燃料是用于锅炉，而平均的锅炉换能效率是 85%。我们估计整体工厂的用电是 122 kBtu/桶(30.5 kWh/hl)(EIA, 1997)

^C 我们假设电机和系统的使用构成 46%及工艺冷却构成 32%的啤酒厂用电(EIA, 1997)

^D 取决于啤酒厂的规模和工厂的配置，结果会有很大的变化

n/a 这项措施的归本不能根据现有的数据来估计

表 9.公用设施的能效措施的具体主要节能和归本的估计

公用设施				
措施	归本 (年数)	主要节能 ^A (kBtu/桶)	主要节能 ^A (gce/桶)	
锅炉和蒸汽配送^B				
维修	<1	4	144	
改进的生产过程控制	<1	3	108	
烟气热回收	>3	2	72	
排污蒸汽回收	2.7	2-3	72-108	
凝汽阀维修	<1	3.4	122	
自动监测凝汽阀	<1	<1	<36	
泄漏修理	<1	6	216	
冷凝水回流	>1	19-21	684-756	
蒸汽管的隔热	1	6-28	216-1008	
整合生产过程	^D	47-84	1692-3024	
电机和使用电机的系统^C				
变速驱动	2-3	6-25	216-900	
减小容量	2	1-2	36-72	
高效率	1-2	1-2	36-72	
制冷和冷却^C				
更好地匹配冷却容量和冷却负荷	3.6	1-2	36-72	
改善氨冷却系统的运行	5.5	<1 - 2	<36-72	
改善运行和维护	<1	4	144	
系统修改和改进设计	≤3	5-8	180-288	
冷管的隔热	n/a	数据有限	数据有限	
其他 公用设施				
照明设备	<2-3	2-6	72-216	
减少空间供暖需求	n/a	8	288	
厌氧废水治理	>2	5-9	180-324	
薄膜污水过滤	≤5	数据有限	数据有限	
控制和监测系统	<1 - 5	<1 - 37	<36-1332	
热电结合	3.5	67-100	2412-3600	
热电结合与吸收式制冷相结合	4.5	79	2844	
发动机驱动的制冷系统	2-4	12	432	

^A 主要节能是以节省燃料使用、用电和电力输配损耗来统计的。我们采用根据美国发电厂的平均热耗率的一个从终端到初级用电转换系数 3.08。节能数据主要采用在文献中的案例分析。要将 kBtu/桶转换成 kWh/hl 使用转换系数 0.25 kWh/hl/kBtu/桶。要将 kBtu/桶转换成 GJ/hl，使用转换系数 0.0009 GJ/hl/kBtu/桶

^B 基于两个来源的数据 (EIA, 1997; Beer Institute, 2000)，我们假设美国啤酒厂的平均燃料用量是 212 kBtu/桶 (53 kWh/hl)，90 %-100%的燃料是用于锅炉，而平均的锅炉换能效率是 85%。我们估计整体工厂的用电是 122 kBtu/桶(30.5 kWh/hl)(EIA, 1997)

^C 我们假设电机和系统的使用构成 46%及工艺冷却构成 32%的啤酒厂用电(EIA, 1997)

^D 取决于啤酒厂的规模和工厂的配置，结果会有很大的变化

n/a 这项措施的归本不能根据现有的数据来估计

11. 鸣谢

这项工作是由美国环保局的气候保护合作处作为能源之星计划的一部分，由美国环保局合同 DW-89-93934401-1 通过美国能源部合同 DE-AC03-76SF00098 所支持。

本报告的作者希望感谢 Anheuser-Busch 的 Mike Meyer、Gene Haberl、Don Schlechte、Hugh Share、John Stein、Michael Kraemer、James E. Lambert 和 Charles Goodale，Coors 的 Bob Brody 和 Hugo Patino，Miller 的 David Ryder 和 Becky Francisco，Labatts 的 Barry Elliot，Pyramid Breweries 的 Pesch and Stuart Glaun 以及 New Belgium Brewing Company 的 Ryan Trail 分享他们在酿造、注释和评论报告方面的经验和资讯。我们感谢 Willem van Zanten(NOVEM，荷兰) 提供啤酒工业能效机会的资讯。我们也感谢 Lom and Associates 的 Paul Kidger 和 Tom Lom，在 Davis 的加州大学的 Charlie Bamforth 以及 Burnett and Rolfe 的人员所提供的注释和评论。尽管他们作出了努力，任何余下的错误则由作者负责。

12. 参考文献

- Anonymous. (1998). Don't Let Your Profits Escape You. *Brewer's Guardian*. July: 15-19, p. 39.
- Anheuser-Busch. (2000). Environmental Health and Safety report, Bio-Energy Recovery System. www.abehsreport.com/data/bioene.html.
- Anheuser-Busch. (2001). Personal Communication.
- Asahi Breweries. (2000). Environmental Report 2000. www.asahibeer.co.jp.
- Askounis, T. and J. Psarras. (1998). Information System for Monitoring and Targeting of Energy Consumption in Breweries. *Energy: the International Journal* **23**(5).
- Bamforth, C. (2001). UC Davis. Personal Communication.
- Battaglia, P. (2001). Personal communication. Alfa Laval.
- Batts, Y. (1998). Cogeneration; an Energy Saving Opportunity for Breweries MBAA Technical Quarterly. **34**(4): pp. 197-202.
- Beer Institute. (2000). Website and statistical information. www.beerinst.org.
- Beer News. (2000). Miller Rolls Out Plastic Bottles. March 9th. <http://realbeer.com/news/articles/news-000738.html>
- BEERWeek. (2000). Miller To Sell Beer In Plastic Bottles. *BEERWeek* 5(11), March 13-20th. http://beerweek.com/archive/beerweek_200011.html#bw4
- Bkontakt. (2000). Website on Czech Brewery. http://www.czechbeer.cz/eng/pivo_frame.htm.
- Bland, J. (1993). Water Reuse and Energy Conservation in the 90's Brewery...Practical Considerations, Advantages and Limitations. *MBAA Tech. Quart.* **30**: pp. 86-89.
- Blanpain-Avet, P., N. Doubrovine, C. Lafforgue, M. Lalande. (1999). The Effect of Oscillatory Flow on Crossflow Microfiltration of Beer in a Tubular Mineral Membrane System- Membrane Fouling Resistance Decrease and Energetic Considerations. *J. of Membrane Science.* **152**: pp. 151-174.
- Bock, M. and D. Oechsle. (1999). Beer Recovery from Spent Yeast with Keraflux-Membranes, *The Brewer* July: pp. 340-345.
- Brezonick, M. (1994). New-Generation Gas Turbine Helping Brewery Lighten Energy Costs. *Diesel and Gas Turbine Worldwide*, October: pp. 18-19.
- Burnett & Rolfe. (2001). Personal communication on new in-line keggling systems.
- Caffal, C. (1995). Energy Management in Industry. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). Analyses Series 17. Sittard, the Netherlands,
- Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC). (1998). Heads Up Newsletter with a Focus on the Brewing Industry. II (22). http://buildings.nrcan.gc.ca/bulletins/cipec_II_22.htm.
- Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (1992). Inverter Speed Control Reduces Power Consumption of Electric Pumps at a Brewery. Case study JP-90.141.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1993a). Process Integration in a Brewery. Case study NL-93-516.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1993b). Oil Removers in Ammonia Cooling Systems. Case study NL-93-520.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1993c). Proceedings IEA Workshop on Process Integration, International Experiences and Future Opportunities, Sittard, the Netherlands.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1994). Energy Efficient Lighting in a Brewery. Case study UK-94-544.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1996a). Rotary Heat Exchanger for an Industrial Heat Reclaim Application. Case study AU-96-508.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1996b). Refrigeration Fault Diagnosis System. Case study UK-94-565.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1997). Anaerobic Water Purification in a Brewery in the Netherlands. Case study, NL-97-517.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1998). Waste Heat Recovery Using a Heat Wheel. Case study AU-98-501.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1999a). Membrane Filtration in the Production of Light and Near Beer. Case study NL-99-511

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (1999b). An Energy Efficient Ammonia Cooler at a Brewery. Case study NL-99-513.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET). (2000a). Saving Energy with Cogeneration in a Brewery. CADET Newsletter No. 3, November: 20-22.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET) (2000b). New Energy-Efficient Bottle Cleaning Machine at a Brewery.

Civil Engineering Research Foundation (CERF). (1997). Clean Technologies in U.S. Industries: Focus on Food Processing. Report prepared for the United States Asia Environmental Partnership (US-AEP), www.usaep.org/reports/food.htm.

Combined Heat and Power Association (CHPA). (1998). Scottish Brewery Cuts Energy Bills with CHP. Press release. www.chpa.co.uk.

Coors. (2001). Coors Website, section on Energy at http://www.coors.com/community/ehspr99_energy.asp

Copper Development Association (CDA). (2001). High-Efficiency Copper-Wound Motors Mean Energy and Dollar Savings. <http://energy.copper.org/motorad.html>.

Dedert Corporation. (2001). Web page. <http://nell.com/data/dedert/ddrtevap.htm>

Dell, L. (2001). Witteman. Personal Communication.

Department of Commerce (DOC), U.S. Bureau of the Census. (1999). 1997-Economic Census Breweries, Manufacturing Industry Series. EC97M-3121D.

Department of Commerce (DOC). (2000). Annual Survey of Manufacturers. <http://www.census.gov/econ/www/ma0300.html>

Department of Energy (DOE). (2001). Best Practices Program. <http://www.oit.doe.gov/bestpractices>.

Dymond, G. (1997). Pasteurization of Beer in Plate Heat Exchangers: Lower Costs and Higher Quality. *Cerevisia* 22(4): 37-48.

Benson, J. T., A. R. Coleman, J. E. B. Due, A. W. Henham, J. G. P. Twaalfhoven and W. Vinckx. (1997). Brewery Utilities. European Brewery Convention Manual of Good Practice. Prepared for the EBC Technology and Engineering Forum with assistance of the EU under the AIR Programme.

Edgell Communications. (2000). Americans are Drinking It Up. *Beverage Industry* 91(2).

Einstein, D., E. Worrell and M. Khrushch. (2001). Steam Systems in Industry: Energy Use and Energy Efficiency Improvement Potentials. In: Proceedings of the 2001 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, DC.

Energy Advantage Co. (2000). Belhaven CHP Project Description. <http://www.energyadvantage.co.uk/cs01.htm>.

Energy Center of Wisconsin (ECW). (1998). Impeller Trim Saves Heileman Brewery \$19,000 a Year. (Case study). Madison, WI.

Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy. (1994). In: Manufacturing Consumption of Energy 1991. EIA, Office of Energy Markets and End Use, Washington, DC.

Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy. (1997). In: Manufacturing Consumption of Energy 1994. EIA, Office of Energy Markets and End Use, Washington, DC.

Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy. (2001). Manufacturing Consumption of Energy 1998. EIA, Office of Energy Markets and End Use, Washington, DC.

Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA). (2000). You can't manage what you can't measure, says DB's Tui Brewery. Energy-Wise Case Study-21. EECA, New Zealand.

European Commission (EC). (1998). Interdisciplinary Analysis of Successful Implementation of Energy Efficiency in the Industrial, Commercial and Service sector. III: Documentation of Company Case Studies.

Farrell, J. (1998). New Belgium brewing Company Focuses on Efficiency. Reprint of article on Colorado Sustainability Project Inc.'s website at <http://www.sustainablecolorado.org>.

Fillaudeau, L. (1999). Cross-flow Microfiltration in the Brewing Industry—an Overview of Uses and Applications. *Brewer's Guardian*. July: pp. 22-30.

Finkeldey, J. (2001). Personal communication on Steineker's Merlin System

Ganapathy, V. (1994). Understand Steam Generator Performance. *Chemical Engineering Progress* 90 (12): pp. 42-48.

Glick, J. (2001). Tecogen, personal communication.

Goldammer, T. (2000). The Brewer's Handbook. Located at www.beer-brewing.com.

Hackensellner, T. (2000). Efficient energy Use in the Brewhouse, The Huppman Group, Kitzingen, Germany.

- Hackensellner, T. (2001). Dynamische Niederdruckkochung- Optimierte energie und Verfahrenstechnik. *Brauwelt*: pp. 17-21.
- Hardwick, W. (1994). Handbook of Brewing, Marcel Dekker Inc, New York.
- Hein, M.A. (1998). The State of the Brewing Industry. *Brewers Digest*, January 1998: pp. 12-25.
- Helbing. (2000). Process Simulation and Optimization Project Write-up. http://www.helbing.ch/dienst/HIU-energie_prozess_e.htm.
- Herrmann, H. (1998). Wort Boiling – Innovations with Impact on Product Quality and Plant Efficiency. *MBAA Tech. Quart.* **35**(2): pp. 84-89.
- Heyse, K.U., N. Hiller, R. Beer. (1996). Environmental Protection in the Brewery. *MBAA Tech. Quart.* **33**(4): pp. 246-254.
- Hyde, A. (2000). Plate Pasteurization for Keg and Smallpack. *The Brewer*. June: pp. 248-250.
- Ince, B. K., O. Ince, K. Anderson, S. Arayici. (2001). Assessment of Biogas Use as an Energy Source from Anaerobic Digestion of Brewery Wastewater. *Water, Air, and Soil Pollution* **126**: pp. 239-251.
- Industrial Assessment Center (IAC). (1999). Industrial Assessment Center Database. http://oiepa-www.rutgers.edu/site_docs/dbase.html.
- Island Press, 1999. Trigen Energy Corporation and Coors case study. Cool Companies: How the Best Businesses Boost Profits and Productivity by Cutting Greenhouse Gas Emissions. <http://www.islandpress.org/ecocompass/coolcomp/index.html>
- Jacob, F., R. Krieger, R. Wahl. (2001). Wuerze-Stripping—Auswirkungen auf die wurze—und Bierqualitat. *Brauwelt* **5**: pp. 166-170.
- Johnston, B. 1995. 5 Ways to Greener Steam. *The Chemical Engineer*. 594 (August): pp. 24-27.
- Jones, T. (1997). Steam Partnership: Improving Steam Efficiency through Marketplace Partnerships. In: American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, D.C.
- Klein-Carl, G. and R. Reichert. (1991). Energy Savings through Use of Low-Pressure Steam Re-compression in a Brew Kettle with Interior Cooker. *MBAA Tech. Quart.* **28**: pp. 142-144.
- Kidger, P. (2001). Personal communication on CHP and other brewery efficiency measures.
- Kumana, J. (2000a). Personal communication, 2000.
- Kumana, J. (2000b). Pinch Analysis – What, When, Why, How. Additional publications available by contacting jkumana@aol.com
- Linnhoff, B., D.W. Townsend, D. Boland, G.F. Hewitt, B.E.A. Thomas, A.R. Guy, R.H. Marsland (1992). A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy (1992 edition), Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK.
- Linnhoff, B. (1993). Pinch Analysis: A State-of-the-Art Overview. *Chemical Engineering* **71** (AS): pp.503-522.
- Lom and Associates. (1998). In: Energy Guide. Energy Efficiency Opportunities in the Canadian Brewing Industry. Brewers Association of Canada, Ontario, Canada.

- Maidment, G.G. and G. Prosser (2000). The Use of CHP and Absorption Cooling in Cold Storage. *Applied Thermal Engineering* **20**: pp. 1059-1073.
- Martin, N, N. Anglani, D. Einstein, M. Khrushch, E. Worrell, and L.K. Price. (2000a). Opportunities to Improve Energy Efficiency and Reduce Greenhouse Gas Emissions in the U.S. Pulp and Paper Industry. LBNL-46141.
- Martin, N.; E. Worrell, M. Ruth, L. Price, R. N. Elliot, A. M. Shipley, J. Thorne. (2000b). Emerging Energy-Efficient Industrial Technologies. LBNL-46990.
- Masschelein, C.A. and M. Andries. (1996). The Meura-Delta Immobilized Yeast Fermenter for the Continuous Production of Beer,” *Cerevisia* **21**(4): pp. 28-31.
- McDonald, W. (1996). Energy Monitoring and Targeting in the UK Brewing Industry. *MBAA Tech. Quart.* **33**(3): pp. 136-148.
- Meura. (2000). www.meura.com
- Meyer, M. of Anheuser-Busch. (2001). Personal communication.
- Mignon, D and J. Hermia. (1995). Retrofitting and New Design of the Brewhouses of an Industrial Brewery. *Monatsschrift Fur Brauwissenschaft* 48(5-6): pp. 178-183.
- Miller Brewing Company. (2000). PowerPoint presentation of the Milwaukee Brewery <http://www.millerbrewing.com>.
- Moné, C.D., D. S. Chau and P. E. Phelan. (2001). Economic Feasibility of Combined Heat and Power and Absorption Refrigeration with Commercially Available Gas Turbines. *Energy Conversion and Management* **42**(13): pp. 1559-73.
- Moosehead Breweries Ltd. (1999). An Action Plan for Reducing Greenhouse Gas Emissions.
- Muller, W.K. (1996). High Gravity Brewing. *MBAA Tech. Quart.* **33**(1): pp. 16-19.
- National Electrical Manufacturers Association (NEMA). (2001). <http://www.nema.org>.
- National Food Processor’s Association (NFPA). (1996). Statement of Need Regarding the Reduction of Food Processing Waste Stream Volume Through Membrane Filtration. <http://www.fpc.unl.edu/fmc/need-06.htm>.
- Nedovic, V., I. Leskosek-Cukalovic, G. Vunjak-Novakovic. (1999). Immobilized Cell Technology (ICT) in Beer Fermentation – a Possibility for Environmentally Sustainable and Cost-Effective Process. <http://www.rcub.bg.ac.yu>.
- Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1991a). Hergebruik van Warmte bij een Bierbrouwerij. Project factsheet.
- Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1991b). Controle en sturing van een Koelinstallatie Bij een Bierbrouwerij. Project factsheet.
- Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1993a). Procesintegratie in een Brouwerij. Project factsheet.
- Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1993b). Anaerobe/aerobe Afvalwaterzuivering bij een Bierbrouwerij. Project factsheet.
- Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1993c). Ammoniakwassers in NH₃-koelinstallatie van een Bierbrouwerij. Project factsheet.

Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1995). Volledig Geïntegreerde Geautomatiseerde Olivrij NH₃-koelinstallatie. Project factsheet.

Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1996). Integratie en Monitoring Ammoniak Koelinstallaties in de Voedingmiddelen –en Drankenindustrie. Project factsheet.

Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1997). Membraanfilterinstallatie Bij de Bereiding van Alcoholvrij Bier. Project factsheet.

Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1999a). Terugdringing Spoelwater Bij Maischfilter. Project factsheet.

Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM). (1999b). Energie en Waterbesparing Door een Verbetering in de Koelwaterhuishouding. Project factsheet.

New Belgium Brewing Company. (2001). Personal communication with energy engineer.

Nyboer, J. and A. Laurin. (2001). Energy Intensity Indicators for Canadian Industry 1990-1999. Canadian Industry Energy End-Use Database and Analysis Center: Simon Fraser University.

Office of Industrial Technologies (OIT), U.S. Department of Energy. (1998). Steam Challenge Information, Best Practices Program.

O'Rourke, T. (1999a). Wort Boiling (part 2). *Brewer's Guardian*. September: pp. 38-41.

O'Rourke, T. (1999b). Mash Separation. *Brewer's Guardian*. July: pp. 48-50.

O'Shaughnessy, C. and M. McKechnie. (2000). The Future of Separations Technology. *The Brewer March*. http://www.brewworld.com/the_brewer/9603/br1.html.

Osmonics. (1992). Methods of Water Purification. In: The Pure Water Handbook. www.osmonics.com

Pacific Gas and Electric (PG&E), 2000. Membrane Technology in Industrial Processes. http://www.pge.com/003_save_energy/003b_bus/pdf/membrane_tech.pdf

Pearce, G. (1996). Quality and Cost Control in Breweries Using Membranes. *Filtration & separation*. October.

Phillip Morris. (2000). Annual Report.

Real Beer Website. (2000). Beer Expedition Informational page. <http://www.beerexpedition.com/index.html>

Saphire, D. and S. Azimi. (1991). Case Reopened: Reassessing Refillable Bottles, Rethinking Resources: New Ideas for Community Waste Prevention. www.informinc.org/sp3-exec.html#refill.

Schu et al. (1999). Verfahrenskombination im Sudhaus—Neues Würzekochsystem und Externe Würzeerhitzung. *Brauwelt* **32**: pp. 1424-1430.

Seldeslachts, D., E. Van den Eynde, L. Degelin. (1999). Wort Stripping. Paper delivered at the 1997 EBC Congress.

Shenoy, U. (1994). Heat Exchanger Network Synthesis. Houston, TX: Gulf Publishing Company.

Singleton, M. (2000). Measuring the Potential of GHG Emissions Reductions in the Food and Beverage Processing Sector in Ontario. Project 50156, Final Report for the Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Jacques Whitford, Environment Ltd: Ontario. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/policy/Climate%20Change/Index.html>

- Smith, R. (1995). Chemical Process Design. New York, NY: McGraw-Hill Inc.
- Snyder, J. and H. Haughney. (1999). Use of a Vibrating Membrane Filter for the Recovery of Beer from Surplus Yeast. *MBAA Technical Quarterly* **36**(2): pp. 191-193.
- Sorrell, S. (2000). Barriers to Energy Efficiency in the UK Brewing Sector. Science and Technology Policy Research (SPRU), University of Sussex.
- Stein, W. (1993). Dealcoholization of Beer. *MBAA Tech. Quart.* **30**: pp. 54-57.
- Steineker, 2001. Energy Technology Acceptance of the New Wort Boiling System Merlin. <http://www.steinecker.com/>
- Stewart, G. G. and I. Russell. (1998). An Introduction to Brewing Science and Technology, Series III Brewer's Yeast, The Institute of Brewing, London.
- Stewart, G. (1999). High Gravity Brewing. *Brewer's Guardian*. September: pp. 31-37.
- Stewart, G. (2000). A brewers delight. *Chemistry and Industry*. 6 (November): pp. 706-709.
- Stippler, K. and J. Felgentraeger. (1999). Vergleich Energiesparender Wurzekochsysteme mit dem Merlin-System. *Brauwelt* **35**: pp. 1556-1558.
- Todd, D., of LCI Corporation. (2001). Personal communication.
- Trigen Energy Corporation. (2000). Customer Solutions: Coors Brewing Company. <http://www.trigen.com/globalpdf/coors.pdf>
- United Nations Environment Program (UNEP). (1996). Environmental Management in the Brewing Industry, Technical Report No. 33. ISBN: 92-807-1523-2.
- United Nations Environment Program (UNEP). (2001). Clean Production Fact Sheet—Breweries and Wine Manufacturers. UNEP Working Group on Cleaner Production in the Food Industries. <http://www.geosp.uq.edu.au/emc/CP>
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (1995). Food Processing Industry: Output of Seminar on Energy Conservation in the Food Processing Industry. Sponsored by UNIDO and the Ministry of International Trade and Industry.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2000). Sectoral Profile of Brewing Industry. <http://www.unido.org/ssites/env/sectors/sectors101.html>.
- Vollhals, B. (1994). Energy Saving in the Brewhouse. *MBAA Tech. Quart.* **31**: pp. 1-4.
- Watson, C. (1993). Wastewater Minimization and Effluent Disposal at a Brewery. *MBAA Tech. Quart.* **30**: pp. 86-89.
- Weinzierl, M., H. Miedaner, K. Stippler, K. Wasmuht, J. Englmann. (2000). Merlin – A New Wort Boiling System. *MBAA Tech. Quart.* **37**(3): pp. 383-391.
- Xenergy, Inc. (1998). In: United States Industrial Electric Motor Systems Market Opportunities Assessment. U.S. Department of Energy's Office of Industrial Technology and Oak Ridge National Laboratory. Washington, DC/Oak Ridge, TN.

附录 I. 大型啤酒厂的地点和产能

公司	地点 (城市)	地点 (州)	开始营运的年份	产能 (百万桶)
Anheuser-Busch	Fairfield	CA	1976	3.8
Anheuser-Busch	Los Angeles	CA	1954	12.0
Anheuser-Busch	Ft. Collins	CO	1988	6.1
Anheuser-Busch	Houston	TX	1966	10.0
Anheuser-Busch	St. Louis	MO	1879	14.4
Anheuser-Busch	Columbus	OH	1968	7.1
Anheuser-Busch	Merrimack	NH	1970	3.0
Anheuser-Busch	Baldensville	NY	1983	7.7
Anheuser-Busch	Newark	NJ	1951	10.0
Anheuser-Busch	Williamsburg	VA	1972	10.0
Anheuser-Busch	Cartersville	GA	1993	6.6
Anheuser-Busch	Jacksonville	FL	1969	7.9
Miller	Albany	GA	1980	10.3
Miller	Eden	NC	1977	9.7
Miller	Ft. Worth	TX	1969	8.8
Miller	Orinda (Irwindale)	CA	1980	6.8
Miller	Milwaukee	WI	1855	9.2
Miller	Trenton	OH	1991	10.5
Miller	Tumwater	WA	1896	3.5
Coors	Golden	CO	1873	20.0
Coors	Memphis	TN	1990	5.0
Latrobe Brewing/Labatt	Latrobe	PA	1933	1.5
Minnesota Brewing Co.	St. Paul	MI		2.0
Boston Beer Co.	Boston	MA	1984	1.2
Highfalls Brewing	Rochester	NY	1933	3.0
Pittsburgh Brewing	Pittsburgh	PA	1861	1.0
Yuengling	Tampa	FL	1831	0.6
Pabst (于 2001 年关闭)	Lehigh Valley	PA	1971	3.5
Rainer Brewing (已关闭)	Seattle	WA	1916	7.9
共计				

资料来源: <http://www.beerexpedition.com/northamerica.shtml>, 与 Anheuser Busch, Miller, Coors, Pittsburgh Brewing and Boston Beer Company 公司的电话联系

附录 II. 职工在能效中的任务

一个成功的能源管理计划中的一个关键步骤是使所有的职工都参与。要对职工在日常工作中的技能和对待能效的常规工作方式培训。各级人员都应该意识到能源的使用和能效的目标。通过将信息传达给每个人，每个职工可能每天都能节约能源。另外，应该定期评估绩效并向所有的人员通报，并表彰高绩效者。以下包括了职工可以做到的一些简单任务的举例(Caffal, 1995)：

- 当不用时关掉电机、风机和机器，特别是在工作日结束或下班、小息时在不影响生产、质量或者安全的情况下。同样，在开工时不要早于设备达到正确的设定(温度、压力等)所需的时间启动设备。
- 关掉不需要的灯并在有可能时尽量依靠自然采光。
- 在周末和夜间将办公室或有空调的建筑的暖通空调设定调低。
- 发现漏水(工艺用水和水龙头滴水)、蒸汽和压缩空气泄漏要及时报告并且保证迅速将其修理。检查泄漏的最佳时机是如周末等的安静时间。
- 寻找无人的供暖或空调区域并关闭供暖或空调。
- 检查是否将供暖控制的设定调得过高或空调控制的设定调得太低。在这种情况下，经常会打开门窗来降低温度而不是降低供暖。
- 检查和确定设备的压力和温度设定是否调得过高。
- 防止从没有妥善安装的密封和门窗漏风，因而泄漏凉或暖空气。
- 对能耗设备进行定期保养。
- 保证工艺加热设备的隔热材料是有效的。

附录 III. 能效最佳实践的能源管理系统评估

机构		系统的监测		技术		营运和维修	
责任	机构	监测和锁定目标	公用设施管理	评审	规划	营运和维修	
0	没有有用能责任的意识。在会议中没有特别讨论能源。	没有能源管理人员或“能源先锋”。	没有确定设施中工艺的能效。很少定期监测工艺的参数。	没有监测公用设施的消耗量。	没有进行具体的评审。	没有公布改善能源的计划。	没有对影响能效的实践作书面的规程。
1	操作人员明白设施的能效绩效目标。	能源管理人员分担其他的任务和职责使每人只有少于10%的时间用于具体的能源活动。	每年或每月制定设施的能效。制定了设施年度的能效目标。对一些重大的工艺参数进行监测。	基于整个设施对公用设施进行监测(如电力和燃料消耗)。	能源只作为其他评审的一部分。	公布了改善能源的计划,但只基于对机会的任意评估。	没有规程供操作人员使用。
2	制定能效绩效指标并向操作人员通告。定期的能源宣传活动。间歇性的能源评审会议。	向指定的能源管理人员提供大于10%的时间用于能源工作。偶尔提供有关的能源问题的培训。	监测设施和工艺每周的能效动向,监测与目标的对比。监测工艺参数与目标的对比。	每周监测蒸汽/电力的平衡。	偶尔的能源评审。	公布基于对机会评估的能源绩效计划。	有供操作人员使用的规程,但近期没有回顾。
3	为所有能耗部门制定能效绩效参量。通知操作人员有关绩效。所有职工都了解能源政策。每个月召开一次绩效评审会议。	向指定的能源管理人员提供大于30%的时间用于能源工作。安排特别的培训。向管理层汇报能源绩效。	监测设施和工艺每天的能效动向,监测与目标的对比。监测工艺参数与目标的对比。	每天监测蒸汽/电力。每天调整蒸汽和燃料的平衡。	定期进行工厂/设施的能源评审。	公布基于由能源评审而确定的机会的改善能源五年计划。	有供操作人员使用的规程并在最近三年内曾对其进行回顾。
4	将能效绩效指标包括在个人表现评价中。全体职工都参与设施的能源目标和改善计划。每周定期召开绩效评审会议。	向指定的能源管理人员提供大于50%的时间用于能源工作。定期开展能源培训。向管理层汇报能源绩效并跟进所采取的行动。	和3一样,另外参与制定能效目标。注意工艺参数的动向。	实时监测燃料、蒸汽以及蒸汽/电力的平衡。保持最佳的平衡。	至少每五年一次对整个设施进行能源分析并跟进行动的进展直到完成。	公布基于能源评审的改善能源十年计划并且整合到经营计划中。	定期回顾和更新规程以加入最佳的实践。操作员和管理员经常使用。

附录 IV. 改善工业能效的支持计划

本附录向工业界提供了一系列现有的支持能效计划。并对所提供的计划或工具作了一个简要的说明，以及有关它所针对的对象的资讯和计划的网页地址。联邦和各州的计划都有包括在内。通过网页地址可得到每一个资源的更多信息。已尽力提供尽可能完整的一览表;然而，这个一览表的信息可能会随着时间而改变。

自我评估的工具

蒸汽系统评估工具

描述： 用来评估蒸汽系统能效改善项目的一套软件。它包括了经济分析的功能。
目标群体： 任何有蒸汽系统运行的工业
形式： 可下载的软件套件 (13.6 MB)
联络： 美国能源部，工业技术办公室
网址：<http://www.oit.doe.gov/bestpractices/steam/ssat.html>

蒸汽系统观察工具

描述： 工厂管理人员用以确定在工业蒸汽系统中的能效机会的数据表工具。
目标群体： 任何工业蒸汽系统操作员
形式： 下载的软件(Excel)
联络： 美国能源部，工业技术办公室
网址：<http://www.oit.doe.gov/bestpractices/steam/docs/steamtool.xls>

MotorMaster+

描述： 高效电机的选择和管理工具，包括 20000 个交流电机的目录。它包含电机存货管理工具、维修记录追踪、效率分析、节约评估、能源会计和环境报告的功能。
目标群体： 任何工业
形式： 可下载的软件(也可订制光盘)
联络： 美国能源部，工业技术办公室
网址：<http://mm3.energy.wsu.edu/mmplus/default.stm>

ASD Master： 可调速驱动的评估方法和应用

描述： 帮助确定采用可调速驱动的经济可行性，预计通过使用可调速驱动能节约的电能和搜寻标准驱动的数据库的软件程序。
目标群体： 任何工业
形式： 一套软件(不是免费)
联络： EPRI, (800) 832-7322
网址：<http://www.epri-peac.com/products/asdmaster/asdmaster.html>

AirMaster： + 压缩空气系统评估和分析软件

描述： 通过改进运行和维护的方式来取得最大的压缩空气系统效率和绩效的建模工具
目标群体： 任何有压缩空气系统运行的工业
形式： 可下载的软件
联络： 美国能源部，工业技术办公室
网址：<http://www.compressedairchallenge.org/>

泵系统的评估工具(PSAT)

描述: 该工具帮助工业用户估计泵系统的运行效率。PSAT 使用从水力研究院的标准中可达到的泵绩效数据和从 MotorMaster+数据库中的电机绩效数据来计算替代的能源和伴随的成本的节省。

目标群体: 任何工业泵用户

形式: 可下载的软件

联络: 美国能源部, 工业技术办公室

网址: <http://public.ornl.gov/psat/>

能源之星组合管理员

描述: 通过提供涉及到全国的建筑市场的 1-100 等级建筑能源绩效帮助评估建筑的能源绩效的在线软件工具。测量到的能源消耗将成为划分等级的依据。

目标群体: 任何建筑的用户或业主

形式: 在线软件工具

联络: 美国环保局,

网址: http://www.energystar.gov/index.cfm?c=business.bus_index

优化锅炉蒸汽管道的隔热- 3E Plus

描述: 可下载的软件用以确定锅炉系统是否可以通过锅炉蒸汽管道的隔热来优化。该软件为各种运行条件计算最经济的工业隔热材料厚度。它使用包括在软件中的一般隔热材料的热力性能关系进行演算。

目标群体: 能源和工厂管理人员

形式: 可下载的软件

联络: 工业技术办公室, 美国能源部

网址: http://www.oit.doe.gov/bestpractices/software_tools.shtml

评估和技术协助

工业评估中心

描述: 中小型规模的制造业设施可获得一个免费的能源和浪费评估。审计由来自美国 30 所参与计划的大学的工程系教职员和学生小组执行, 他们将评估工厂的绩效并且推荐改进效率的方式。

目标群体: 年度毛营业额\$7.5 千万以下和在工厂中少于 500 名员工的中小型制造业设施。

形式: 工程系教职员和学生小组探访工厂并且准备一个带有能效、减少浪费和提高生产力建议的书面报告。

联络: 美国能源部, 工业技术办公室

网址: <http://www.oit.doe.gov/iac/>

整个工厂的审计

描述: 一个专门针对工业的团队对总能耗进行现场分析并且确定在营运以及电机、蒸汽、压缩空气和工艺加热系统的节能机会。本计划支付 50% 的审计费用。

目标群体: 大型工厂

形式: 征求(由能源部定期公布)

联络: 美国能源部, 工业技术办公室

网址: http://www.oit.doe.gov/bestpractices/plant_wide_assessments.shtml

制造业发展合作 (MEP)

描述: MEP 是一个有 400 个地方办公室的全国性非营利中心网络, 它向中小型制造商提供技术协助。该中心为工厂提供配制得当的包括注重在洁净生产和能效技术方面的经验和服务。

目标群体: 中小型工厂

形式: 直接与当地的 MEP 办公室联系

联络: 美国标准与技术研究院, (301) 975-5020

网址: <http://www.mep.nist.gov/>

小型企业发展中心 (SBDC)

描述: 美国小型企业管理局(SBA)实施的小型企业发展中心计划(SBDC)通过 58 个地方中心向小型企业提供管理上的协助。如果一家小型企业不能负担咨询服务, 小型企业发展中心计划可以在财政, 营销、生产、机构、工程和技术问题和可行性研究方面提供咨询、培训和技术协助。

目标群体: 小型企业

形式: 直接与当地的 SBDC 联系

联络: 美国小型企业管理局, (800) 8-ASK-SBA 网址:

网址: <http://www.sba.gov/sbdc/>

能源之星-为企业选择和采购能效产品

描述: 能源之星确认并且标识高能效的办公设备。采购时要选取得了能源之星的产品。他们符合环保局制定的严密的节能指南。办公设备包括了计算机、复印机、传真机、显示屏、多功能设备、打印机、扫描器、变压器和冷水机等。

目标群体: 任何有标识的设备的用户。

形式: 网站

联络: 美国环保局

网址: http://www.energystar.gov/index.cfm?c=business.bus_index

培训

最佳实践计划

描述: 美国能源部工业技术办公室的最佳实践计划提供培训和培训教材以支持在公用设施(压缩空气和蒸汽)和电机系统(包括泵)开展改善效率的计划。定期在不同的地区举办培训。针对上述系统的具体单元提供一天或数天的培训。最佳实践计划也为其他工业能源设备提供培训, 常常与其他会议协调举办。有一个信息交换中心为技术问题和现有的机会提供解答: 202-586-2090 或 <http://www.oit.doe.gov/clearinghouse/>

目标群体: 技术支援人员、能源和工厂管理人员

形式: 各种培训工作坊(一天和数天的工作坊)

联络: 工业技术办公室, 美国能源部

网址: <http://www.oit.doe.gov/bestpractices/training/>

能源之星

描述: 作为能源之星促进优越的能源管理系统工作的一部分, 向参加能源之星的公司的能源管理人员提供与合作计划中的其他能源管理人员交流的机会。每月举办一次的交流会集中在具体的能源管理关键课题以训练和强化能源管理人员制定和实施公司的能源管理计划。

目标群体: 公司和工厂能源管理人员

形式: 在互联网上的电话会议

联络： 气候保护合作处，美国环保局
网址：<http://www.energystar.gov/>

经济援助

以下我们总结了向能效投资提供帮助的主要联邦计划。许多的州也为能效项目提供资金或税务优惠等支持(参见以下各州的计划)。

未来的工业 -美国能源部

描述： 在九个重要行业开展合作研发。合作包括为具体的行业和技术制定技术方向图，并且分担在这些部门的研发项目开支。
目标群体： 所选择的九个行业：农业、铝、化学制品、林产品、玻璃、金属铸件、采矿、石油和钢铁。
形式： 征求(以行业或技术)
联络： 美国能源部-工业技术办公室
网址：<http://www.oit.doe.gov/industries.shtml>

发明和创新(I&I)

描述： 该计划通过分担开支来提供经济上的协助：1)早期的开发和建立创新的节能设想和发明的技术绩效(高达\$75000)，2)开发产品原型或者将技术商业化(高达\$250000)。合作项目以协作的方式开展，并且必须用于解决行业中具体的优先问题。
目标群体： 任何行业(焦点放在能源消耗量大的行业)
形式： 征求
联络： 美国能源部-工业技术办公室
网址：<http://www.oit.doe.gov/inventions/>

通过能源、环境和经济加强全国工业的竞争能力 (NICE³)

描述： 促进在工业中节能、洁净生产和经济竞争的费用分担计划，由各州政府与工业(大型和小型企业)在开发和展示能效和洁净生产方面的先进技术项目的合作。申请者必须经过各州的能源与预防污染或企业发展办公室递交项目申请。非联邦的开支份额必须至少是项目总成本的50%。
目标群体： 任何工业
形式： 征求
联络： 美国能源部-工业技术办公室
网址：<http://www.oit.doe.gov/nice3/>

小型企业管理(SBA)

描述： 小型企业管理为小型企业的投资(包括节能的工艺技术)提供几种贷款和贷款担保计划。
目标群体： 小型企业
形式： 直接与 SBA 联系
联络： 小型企业管理
网址：<http://www.sba.gov/>

州和地方政府的计划

许多的州及地方政府都有普遍的工业和商业发展计划可用于帮助企业评估或资助节能的工艺技术或建筑。请与您所在的州和地方政府联系以确定有何税务优惠、资助补贴，或其他可向您的机构提供的协助。不应将以下列出的当作完整的清单，而仅作为开始寻找项目资助机构的一览表。下面我们总结了所选择的专门用于支持能效活动的计划。

加利福尼亚 - 公共利益能源研究(PIER)

描述: **PIER** 向在加利福尼亚州的能效、环境和可再生能源项目提供资助。虽然把焦点放在电力上, 矿物燃料的项目也是有资格的。

目标群体: 位于加利福尼亚州的有针对性的工业(如食品工业)

形式: 征求

联络: 加利福尼亚能源委员会, (916) 654-4637

网址: <http://www.energy.ca.gov/pier/funding.html>

加利福尼亚 - 能源创新小额补助计划(EISG)

描述: **EISG** 为在加利福尼亚州开发创新的能源技术提供小额补助。补助金的限额是\$75000。

目标群体: 所有在加利福尼亚州的企业

形式: 征求

联络: 加利福尼亚能源委员会, (619) 594-1049

网址: <http://www.energy.ca.gov/research/innovations/index.html>

印第安纳 - 工业计划

描述: 印第安纳商务部的能源政策处开展了两个工业计划。工业能效基金(IEEF)是一个帮助印第安纳制造业提高生产过程能效的零利息贷款计划 (高达\$250000)。该资金用于更换或转化现有的设备, 或者购买新的设备作为扩充工艺/工厂以降低能耗的一部分。分布发电津贴计划(DGGP) 对合格的开支提供高达\$30000 或高达 30% 的补贴用于安装效率高于 50% 的分布发电和研究分布发电技术如燃料电池、微型涡轮、热电联产、热电结合和可再生能源资源。其他的支持计划可支持公司使用生物质作为能源, 研究或者建筑效率。

目标群体: 位于印第安纳州的任何工业

形式: 全年都可申请 IEEF 并可直接与 DGGP 联系

联络: 能源政策处, (317) 232-8970。

网址: http://www.in.gov/doc/businesses/EP_industrial.html

衣阿华 - 另类能源的循环贷款计划

描述: 创立另类能源循环贷款计划(AERLP) 是为了在该州促进可再生能源生产设施的发展。

目标群体: 可再生能源的任何潜在用户

形式: 全年都受理在\$50000 以下的提案。更大的提案按每季度来受理。

联络: 衣阿华能源中心, (515) 294-3832

网址: <http://www.energy.iastate.edu/funding/aerlp-index.html>

纽约 - 产业研究与开发节目

描述: 纽约州能源研究和发展局(NYSERDA) 为纽约的企业开展各种经济援助计划。各种不同的计划集中在特别的专题, 包括工艺技术、热电结合、减少和控制高峰负载的系统。

目标群体: 位于纽约州的企业

形式: 征求

联络: NYSERDA, (866) NYSERDA

网址: <http://www.nyserda.org/industry/industrialprograms.html>

威斯康辛 - 注重能源

描述: 能源顾问提供免费的服务以确定和评估节能机会, 推荐能效措施, 为企业制定能源管理规划, 并将全国和州的各种计划中的单元整合。而且也能提供培训。

目标群体: 在威斯康辛的工业

形式: 全年开放
联络: Wisconsin Department of Administration, (800) 762-7077
网址: <http://focusonenergy.com/page.jsp?pageId=4>