

LBNL-57260-修订版

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

**Energy Efficiency Improvement
and Cost Saving Opportunities
for the Pharmaceutical Industry**
制药工业改善能效和节约成本的机会

An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers
向能源和工厂管理人员提供的能源之星®指南

*Christina Galitsky, Sheng-chieh Chang,
Ernst Worrell, and Eric Masanet*
Environmental Energy Technologies Division
环境能源技术处

**Sponsored by the U.S. Environmental
Protection Agency**
由美国环保局赞助

2008 年 3 月

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。

制药工业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, Sheng-chieh Chang, Ernst Worrell, and Eric Masanet

能源分析处
环境能源技术部
劳伦斯 伯克利国家实验室
加利福尼亚大学

Energy Analysis Department
Environmental Energy Technologies Division
Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory
University of California
Berkeley, CA 94720

2008 年 3 月

作为能源之星计划的一部分，本报告由美国环保局的气候保护合作处资助。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通过美国能源部合同 DE-AC02-05CH11231 所支持的。

制药工业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, Sheng-chieh Chang, Ernst Worrell, and Eric Masanet

能源分析处
环境能源技术部
劳伦斯 伯克利国家实验室
加利福尼亚大学

2008 年 3 月

摘要

美国的制药工业每年要消耗将近\$10 亿（约 83 亿人民币）的能源¹。改善能效是减低这些成本和增加可预期的收入的一个重要途径，特别是在能源价格波动大的时期。在美国制药工业的各个工厂中存在着各种以经济有效的方式来减少能源消耗的机会。本指南讨论了可以在部件、工艺过程、系统、机构层面上实施的能效实践和能效技术。也提供了对趋向、结构、以及美国制药工业的特征的讨论并带有对主要药品制造工艺步骤的介绍。根据世界各地在制药和有关设施的实际应用的案例分析数据，对许多能效措施提供了预期在能源和与能源有关的节约。如果有可能，也会提供典型的措施归本期以及在技术文献中的详尽资讯的索引。本能源指南中的资讯是希望能帮助能源和工厂管理人员在达到规管制度的要求和保持所生产产品的质量的同时以经济有效的方式来减少能耗。在各个不同的工厂中，需要对措施在经济上，以及对不同的生产方式的适用性，开展进一步的研究以评估所选择的技术在实施上的可能性。

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。

目录

1. 介绍	1
2. 制药工业	2
3. 生产过程介绍	6
3.1 研究和开发.....	6
3.2 转化原料药.....	7
3.3 成品的配制.....	9
4. 美国制药工业的能源使用	10
5. 制药工业的能效机会	15
5.1 能源管理体系和计划.....	15
5.2 供暖、通风和空调(HVAC)系统.....	18
5.3 排烟柜.....	25
5.4 洁净室.....	26
5.5 电机和电机系统.....	27
5.6 压缩空气系统.....	32
5.7 泵.....	38
5.8 冷冻.....	41
5.9 照明.....	43
5.10 热和蒸汽的配送.....	47
5.11 热电联产.....	52
5.12 其他措施.....	54
6. 总结和结论	56
7. 鸣谢	59
8. 参考	60
9. 词汇	72
附录 A: 工厂人员的基本能效行动	75
附录 B: 能源之星的能源管理计划评估对照表	76
附录 C: 改善工业能效的支持计划	80

1. 介绍

由于美国的制造业面对着一个竞争日益增加的环境，他们要在对产品的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。当今市场波动的能源价格会对预期的收入产生负面的影响，成为对制药工业中公开上市公司的关注。通过向能效技术和能效实践投资能经得起在减低生产成本的同时仍然保持高质量产品的挑战。能效技术常常提供了额外的收益，例如改善质量、增加产量、增加工艺过程的效率而导致进一步提高生产力。由于改善能效常常导致减少污染排放，因此它是公司环境策略的一个重要部分。一个有力的能源管理计划也对公司的温室效应气体管理计划提供了坚实的基础。简单地来说，在当今的制造业环境中向能效投资是一个完善的商业策略。

为了帮助工业通过提高能效和减少对环境的影响来改善竞争能力，联邦政府提供了一些自愿的计划。“能源之星”是美国环保局(EPA)与美国能源部(DOE)协调开展的一个自愿计划，它强调需要有力的和有策略的公司能源管理计划。能源之星也提供许多能源管理的工具和策略来支持实行企业的能源管理计划。本能源指南报导了为支持美国环保局的“能源之星制药工业的重点”所作的研究，即与美国的制药工业共同确定改善能效的资讯和资源。欲了解更多的能源之星资讯以及促进企业的能源管理实践的工具，请访问网站 <http://www.energystar.gov/>。

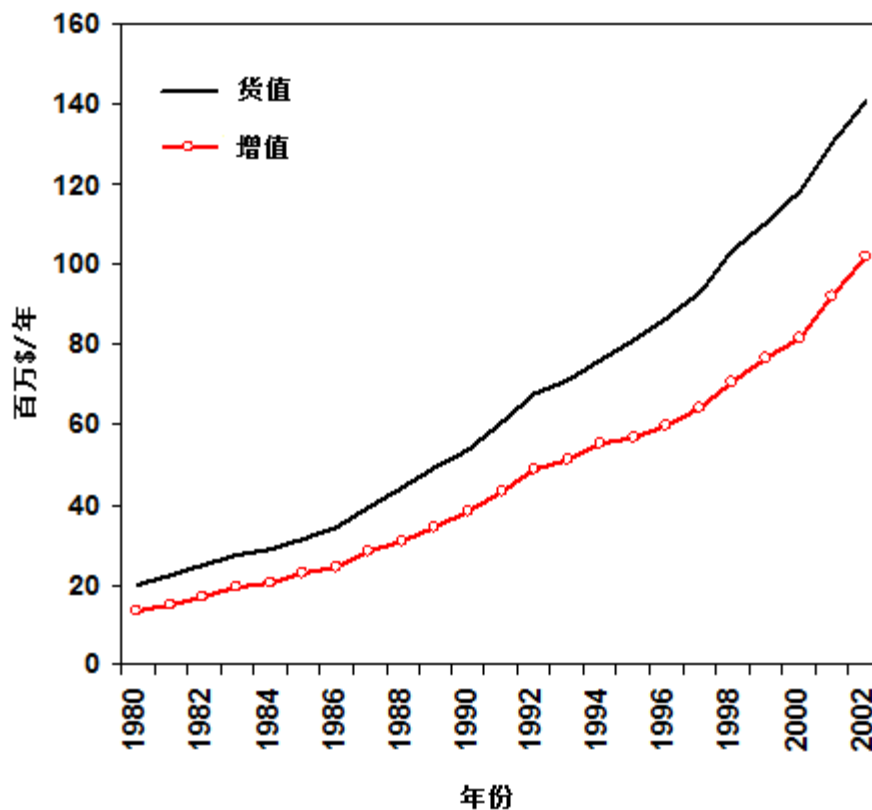
本能源指南评估了美国制药工业的能效机会。生产药品和药物是美国的重要工业。在 2002 年，美国制药工业生产了超过 \$1.4 千亿（约 12 千亿人民币）的产品，比 1999 年的 \$1.08 千亿（约 9 千亿人民币）有所增加 (U.S. Census 2001, 2005a)。该工业在 2002 年直接地雇用了将近 250000 人(U.S. Census 2005a)。制药生产设施分布在全美国；然而，生产主要集中在几个州。虽然能源开支在制药工业中一般只代表了总体生产成本的少量百分比，但能源的开支仍然是相当大的。美国制药工业在 2002 年购买燃料和电力的总开支是 \$9.2 亿（约 76 亿人民币）(U.S. Census 2005a)。此外，由于美国的天然气和电力费用的上涨使能源开支迅速地增长，使能源管理成为改善营运和生产力的重要焦点。

本能源指南首先介绍了美国制药工业的趋向、结构、生产特征。然后介绍主要的生产过程和讨论在制药工业的能源使用，包括能源的主要终端用途。由于美国制药工业的产品和生产方法范围广泛，所以不可能介绍所有的能源最终用途。因此，本能源指南着重于典型的美国制药厂中最重要的能源终端用途。最后在本能源指南余下的部分讨论在美国制药厂中改善能效的机会，集中在美国和国外的各个工厂中表现成功的能效措施和技术。虽然新的能效技术正在不断地发展(参见 Martin et al.2000 的举例)，但本能源指南将着重于已被证实和目前已经商业化的技术和实践。

2. 制药工业

美国的制药工业包括了很的产品。本能源指南把焦点放在由北美洲工业分类系统 (NAICS)代码 3254 指定的美国“制药和医药生产”工业。²美国的制药和医药生产工业包括医药和植物药剂生产(NAICS 325411)，药物制配生产(NAICS 325412)，体外诊断药物生产(NAICS 325413)和生物制品(除了诊断以外)生产(NAICS 325414)。药物制配生产有史以来代表着美国的制药和医药总产量最大的组份(大约 75%)。虽然其他行业部门在过去十年中已显示了强大的增长，例如生物制品生产，这些部门乃然只生产占 25% 的美国制药工业总增值(U.S. Census 2005a)。

图 1 1980-2002 年美国制药工业的货值和增值



资料来源：国家经济研究局(2000);美国统计局(2003, 2005a)

如表 1 所示，美国制药工业的总产值在过去 20 年来迅速地增长。图 1 绘出了美国制药工业从 1980-2002 年的增值和货值情况。从表 1 可以看出这项工业产生的增值的增长几乎与产量的增长平行。在过去二十年中美国制药工业由货值带来的增值几乎稳定在 70%左右。2002 年，美国制药工业的产值(\$1410 亿，约 11,656 亿人民币)是美国

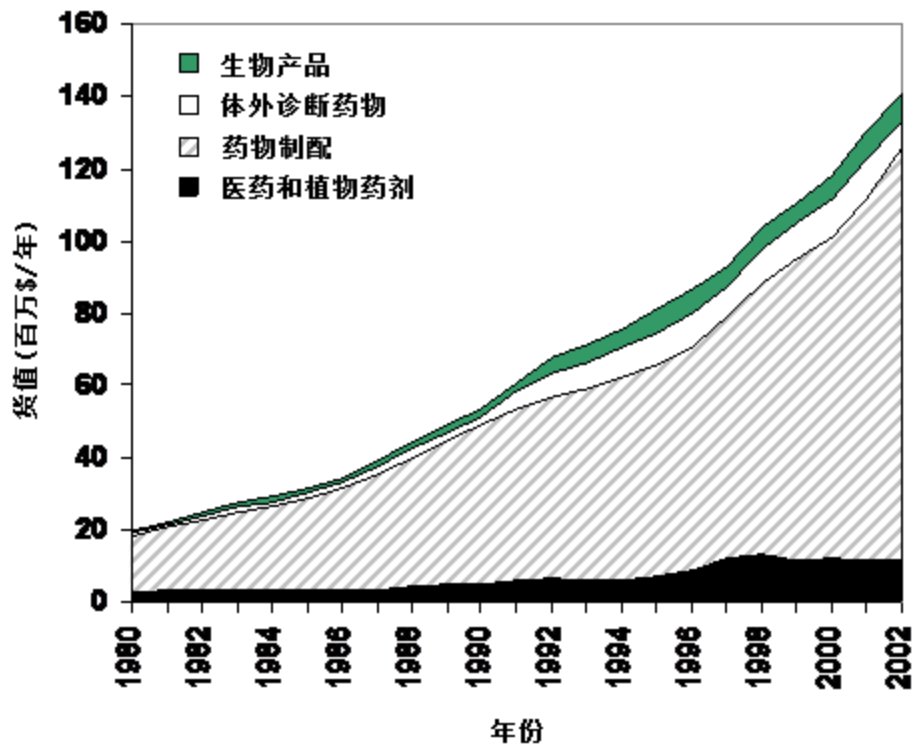
²以前的标准工业分类(SIC)代码 283。

化学工业整体产值(\$4600 亿, 约 38,000 亿人民币)的四分之一以上(U.S. Census 2005a)。

2002 年的全球药品市场估计刚超过\$4 千亿 (约 33,000 亿人民币) (IMS Health 2003)。在此之中, 美国显然是最大的市场, 占将近一半的全球药品销售量。美国的市场也是世界上增长最快的药品市场, 自 1999 年以来平均每年的增长率是 14%(IMS Health 2005)。

图 2 绘出了美国制药工业的四个主要部门的货值历史数据, 清楚地展现了药物配制生产的重要性, 尽管其他部门也有强大的增长。图 2 也展示了在过去二十年中美国制药工业强大的整体增长。

图 2 美国制药工业的四个主要部门的货值



资料来源: 国家经济研究局(2000);美国统计局(2003, 2005a)

目前美国的制药工业由几个大型药品制造商主导, 他们也在全世界经营。在 2002 年, 前十大公司占了全世界药品销售的将近一半(Sellers 2003)。该工业的主要收入来源常常是来自几种药物。例如在 2002 年全世界名列前茅的五种药物的销售共计是\$280 亿 (约 2,315 亿人民币) (IMS Health 2003)。

表 1 汇总了在美国的主要制药公司。虽然药品的生产设施遍及美国各地, 但大多数公司的总部都设在东北的各州。美国制药工业在 2002 年直接地雇用了将近 250000 人

(U.S. Census 2005a)。美国制药工业的生产地点主要位于宾夕法尼亚(Pennsylvania)、北卡罗来纳(North Carolina)、加利福尼亚(California)、新泽西(New Jersey)和纽约(New York)(参见表 2)。在美国的波多里哥(Puerto Rico)联邦也有可观的药品生产。根据波多里哥的制药工业协会，波多黎哥的制药工业在 2003 年提供了 30000 个直接工作职位并从该岛出口了价值将近\$370 亿（约 3,056 亿人民币）的药品(PIAPR 2005)。

表 1 美国的主要制药公司³(以首字母的顺序排列)

公司	在美国的总部	2002 年销售量 (十亿\$)	2002 年销售量 (亿人民币)
Abbott Laboratories	Abbot Park, Illinois	9.27	766.4
Amgen	Thousand Oaks, California	4.99	412.5
AstraZeneca	Wilmington, Delaware	17.84	1,474.9
Aventis	Bridgewater, New Jersey	17.25	1,426.1
Baxter Healthcare	Deerfield, Illinois	3.10	256.3
Bayer	West Haven, Connecticut	5.12	423.3
Boehringer Ingelheim	Ridgefield, Connecticut	7.92	654.8
Bristol-Myers Squibb	New York, NY	14.70	1,215.3
GlaxoSmithKline	Research Triangle Park, North Carolina	28.20	2,331.4
Hoffman-La Roche	Nutley, New Jersey	10.81	893.7
Johnson & Johnson	New Brunswick, New Jersey	17.20	1,422.0
Eli Lilly	Indianapolis, Indiana	11.07	915.2
Merck & Co.	Whitehouse Station, New Jersey	21.63	1,788.2
Novartis	East Hanover, New Jersey	15.36	1,269.8
Pharmacia ⁴	见注释	12.03	994.5
Pfizer	New York, New York	28.28	2,338.0
Schering-Plough	Kenilworth, New Jersey	8.70	719.3
Wyeth	Madison, New Jersey	11.70	967.3

制药工业也从事大量的研究工作。表 1 列出的主要制药公司在 2002 年花费了大约 \$420 亿（约 3,472 亿人民币）在研究与开发(R&D)上，或以平均来计，相当于 17% 的全球销售量(Sellers 2003)。因此无论在世界上或在美国，制药工业是最多研发的行业之一。药品的生产和研究也紧密地相结合；事实上，在许多地方的生产设施是位于同一地点的研发实验室旁边。

³表 1 的销售量包括了每家被美国国家统计局归类为“制药公司”的公司的所有销售量，也可能包括除了处方药物之外的如医疗保健或其他产品的销售。销售数据是根据 2002 年的全球性销售量(Sellers 2003)。

⁴ Pfizer 在 2003 年收购了 Pharmacia，使 Pfizer 成为世界上最大的制药公司。

表 2 2002 年美国制药工业在各州的地理分布。⁵ 以就业和总货值为计的前十个州。各州以首字母的顺序排列。

州	2002 年的货值			2002 年的雇员	
	十亿 \$	亿人民币	占美国的份额 (%)	人数	占美国的份额 (%)
California	10.60	876.32	7.5%	59,253	23.8%
Connecticut	3.09	255.46	2.2%	7,819	3.1%
Illinois	8.34	689.48	5.9%	22,373	9.0%
Indiana	7.52	621.69	5.3%	8,956	3.6%
Massachusetts	3.63	300.10	2.6%	9,118	3.7%
Michigan	3.78	312.50	2.7%	6,269	2.5%
New Jersey	13.10	1,083.00	9.3%	31,164	12.5%
New York	17.09	1,412.86	12.1%	22,264	8.9%
North Carolina	15.53	1,283.90	11.0%	13,413	5.4%
Pennsylvania	19.77	1,634.43	14.0%	11,770	4.7%
U.S.	141.15	11,669.15		249,384	

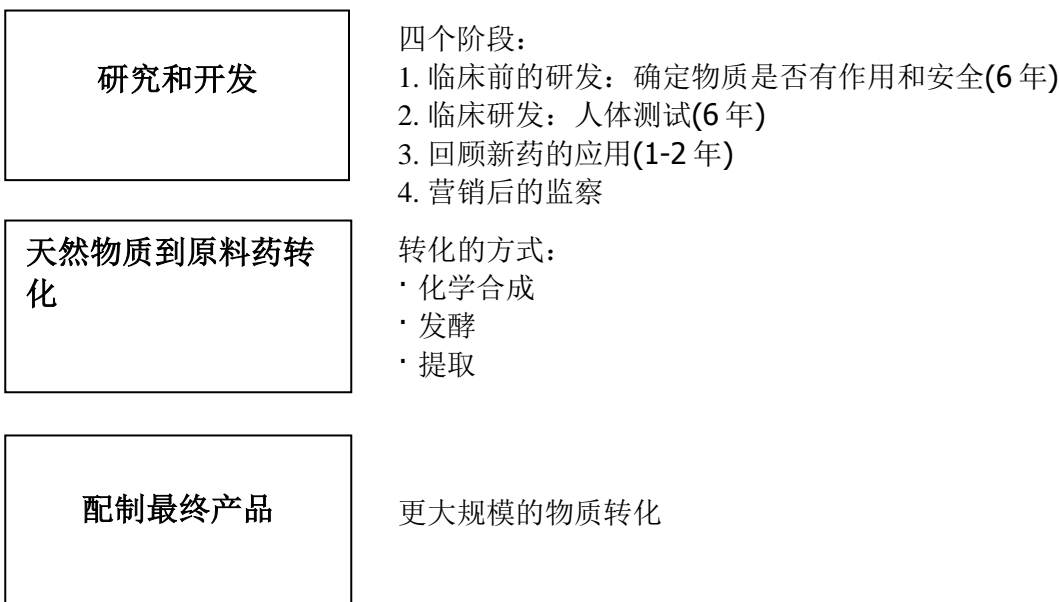
资料来源: 美国统计局(2005a-2005e)

⁵编写此报告时还没有美国国家统计局有关 2002 年波多里哥制药业的数据。然而, 美国国家统计局在 1997 年对波多里哥的统计数据显示了波多里哥制药业有 24892 个直接就业和\$231.2 亿的总货值(U.S. Census 2000)。

3. 生产过程介绍

在原料药品的生产中有三个整体阶段：(1)研发，(2)天然物质到原料药的转化，(3)配制最终产品。图 3 介绍了在药品制造中的主要工艺阶段。以下会更详细地介绍每一个阶段。⁶

图 3 药品制造中的主要工艺步骤



3.1 研究和开发

由于研发是受严格管制的，因此它是药品制造中最长的阶段。在研发的开始阶段中确定了上千种化合物以后，仅有一种会成为新药。这个开发阶段需要投入很多的资源。

图 3 列出了研发的四个基本阶段：(1)临床前的研发、(2)临床研发、(3)回顾新药的应用、(4) 营销后的监察。在临床前的研发阶段，用动物来测试化合物以确定生物的作用和安全性。这项测试平均需要大约六年来完成。在临床前试验以后，要向美国食品和药物管理局(FDA) 提出“研发新药申请”，目的是提供数据以显示开始在人体测试一种新药是合理的。

下一个阶段是临床研发，一般有三个阶段，每一个进行更进一步的人体参与。临床研发的第一个阶段要确定新药的安全性，第二个阶段要确定新药的效用，第三个阶段将进一步证实安全和效用并测定任何副作用。临床研发阶段平均一共要用大约六年来完成。

⁶有关药品制造过程的详情可以在美国环保局的“药品制造工业的特征”中找到(U.S. EPA 1997)。

在下一个阶段中制药公司要向美国食品和药物管理局提出一个“新药申请”(NDA)。1996年新药申请的审批时间大约是15个月(U.S. EPA 1997)。

最后，在批准新药营销以后，美国食品和药物管理局通过营销后的监察来监测该上市药品的持续安全性。而制药商将评估各种大规模配制药品的的方式以取得最佳的供货方法。

3.2 转化原料药

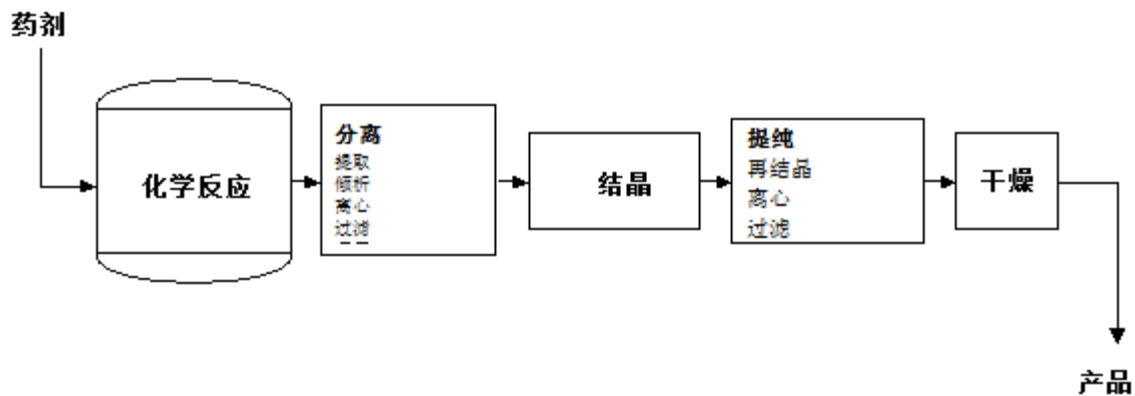
原料药物是通过化工合成、提取、发酵或这些加工过程的组合生产的(U.S. EPA 1997)。抗组胺剂、心血管制剂、中枢神经系统兴奋剂和激素是由化工合成生产的。酵素和助消化药、抗过敏药、血液制剂、胰岛素、抗癌药物和疫苗是从自然产生的物质中提取的。多数的类固醇，抗生素和一些食品添加剂(如维生素)，是通过发酵生产的。抗生素、抗肿瘤的制剂、中枢神经系统抑制剂和维生素一般是由这三个加工中超过一个的过程生产的。

以下将分别论述化工合成、提取和发酵。欲了解关于这些加工的详情，请见美国环保局的“药品制造工业的特征”。(U.S. EPA 1997)。

化工合成

图4显示了制药化工合成过程的简化图。化工合成有五个主要阶段：(i)反应，(ii)分离、(iii)结晶、(iv)净化、(v)干燥。以下将逐一介绍这五个阶段。

图4. 简化的化学合成图 (采用美国环保局 1997)



(i)反应。在反应过程中，将原材料输入反应器的容器中进行烷化、氢化或溴化等反应。最常用的反应器容器的类型是罐型反应器。这些反应器一般由不锈钢或有玻璃衬里的碳钢制成，容量范围从50加仑（约189升）到数千加仑。这些反应器可以加热或冷却，而反应也可以在大气压或加大的压力下，或者在真空下进行。反应的温度和压力一般会被监测和控制。可能需要用氮气来清洗反应器，一些半成品也可能被循环到输入原料中。一些反应要由搅拌器产生的混合作用来协助。可能需要用冷凝器系统来控制

制排气的损失。反应器经常与污染控制设备相连接以消除排放气体中的挥发性有机物或其他化合物。

(ii) *分离*。分离过程的主要类型是提取、倾析、离心法、过滤和结晶。许多工厂使用的结晶方法将在下面分别讨论。

提取过程是用于分离液体混合物。提取是利用混合物在可溶性上的区别。在混合物中加入仅适宜与其中的一种成份结合的溶剂。这个过程的结果形成了两种液体：萃取物，是包含所需的混合物成分的充满溶剂的溶液；残液，是包含不需要的混合物成分的残余溶液。

倾析是从沉淀在反应器或沉淀器底部的非溶性固体中除去液体的一个简单过程。可以从容器中抽出或倒出液体，只剩下固体和小量的液体留在容器中。

离心法是利用离心力的原理从液体中除去固体的过程。将液体和固体混合物加入到一旋转的容器-或离心机-向外的力量将液体推过过滤器但保留了固相。将固体用手工或内置刮板从容器的边上刮下。在操作期间，为了避免空气滤渗，离心机通常在氮气之中运行并在运行中保持密封。

过滤是使流体流过多孔的媒介以过滤掉固体微粒来分离流体/固体混合物。制药工业广泛使用的批量过滤系统包括平板和框架过滤器、筒式过滤器、nutsche 过滤器和过滤器/干燥机的组合。

(iii) *结晶*。结晶是一个广泛使用的分离技术，它常常被单独使用或与一个或多个以上提到的分离过程相结合。结晶是指在过饱和的溶液中形成固体结晶。实际中最常见的超饱和方法是冷却、溶剂蒸发和化学反应。结晶后的溶质随后用离心或过滤从溶液中取出。

(iv) *净化*。在分离之后是净化，典型的是使用上述的分离方法。通常需要几个步骤才能达到所需的纯度。再结晶是在净化中使用的一个常用技术。另一种常用的方法是以更多的溶剂洗涤，然后进行过滤。

(v) *干燥*。化工合成的最后一步是将产品(或半成品)干燥。干燥是将溶剂从固体中蒸发掉。然后将溶剂浓缩供再使用或废弃。制药工业使用几种不同类型的干燥机，包括盘式干燥机，旋转式干燥机、鼓或滚筒式干燥机、或压力过滤干燥机。在 1980 年以前，制药工业最常用的是干燥机是真空盘式干燥机。然而目前最常用的干燥机是滚筒式干燥机或过滤器与干燥机的组合。在过滤器/干燥机组合中，首先将输入的浆液过滤成饼状，然后将热的气体媒介吹向过滤饼，直到达到所需的干燥度。滚筒式干燥机的典型容量范围是从 20 到 100 加仑（76 到 379 升）。在滚筒式干燥机中，一个旋转的圆锥形壳在混和干燥机内的物质时加强了溶液的蒸发。滚筒式干燥机运用了热空气循环或将真空与加热的表面传导相结合。

产品的提取

从天然来源提取的有效成分常常是以非常低的浓度存在。制成品的份量往往是在数量级上少于原材料，使产品的提取自然成为一个昂贵的工序。

在提取过程使用沉淀、净化和溶剂萃取的方法来回收有效成分。可以由调整酸碱度、成盐、或者在沉淀时加入抗溶剂来分离所需要的成分以改变溶度。可以用溶剂从固体化合物象植物或动物组织中提取有效成分，或者从所需的产品中消除脂肪和油。在自然提取中常用氨作为控制 pH 值的手段。

发酵

在发酵中，一般将微生物放入液体中以生产作为正常微生物新陈代谢副产物的药物。发酵过程一般是在一套带氧或厌氧的条件下控制在一个特定的温度和酸碱度水平以有助于微生物的迅速成长。该工序有三主要步骤：**(i)**准备种菌、**(ii)**发酵、**(iii)**收取产品。

(i)准备种菌。发酵过程是从准备种菌开始，在种菌槽内小批量地生产接种物(包含微生物的媒介)。种菌槽的大小一般是生产用的发酵槽的 1-10%(U.S. EPA 1997)。

(ii)发酵。在种菌准备阶段制造了接种物以后，将接种物引入生产发酵桶。发酵桶一般是通过搅动、通气和控制酸碱度、温度和溶氧的水平以得到最佳的发酵过程。发酵过程可持续数个小时到数个星期，取决于产品和工艺。

(iii)收取产品。当发酵完毕时，要从发酵的液体混合物中收取所需的药物副产物。可以使用溶剂萃取、直接沉淀和离子交换来收取产品。另外，如果产品包含在用于发酵的微生物内，可能要使用加热或超声波来打破微生物的细胞壁。在溶剂萃取中，使用有机溶剂从水状溶液中分离产品。然后可用结晶法从溶剂中收取产品。在直接沉淀中，使用金属盐等沉淀剂将产品从溶液中沉淀出来。在离子交换中，将产品吸附在离子交换树脂上，然后使用溶剂、酸或碱从树脂中收取。

3.3 成品的配制

药品生产的最后阶段是将原料药转化成可使用的最终形式。常见的药品形式包括药片、胶囊、液体、乳脂和软膏、喷剂、药贴和可注射的剂量。片剂占了美国口服固体药物中的大多数(U.S. EPA 1997)。

要配制药片，需将有效成分与填料(例如糖或淀粉)、黏合剂(例如玉米糖浆或淀粉)、以及有时用的润滑剂(例如硬脂酸镁或聚乙二醇)结合。填料保证了有效成分的适当浓度；黏合剂的目的是将药片的微粒结合在一起。润滑剂可以在制造药片期间协助设备运行，并且可以帮助减慢有效成分的分解。

生产药片是通过将粉末压缩。可以使用湿法制粒或干法制粒工艺。在湿法制粒中，将有效成分与填料制成粉末并加以混合，在溶液中湿化并与黏合剂混和，再与润滑剂混合，最后被压缩成药片。干法制粒是用于片剂的成份对潮湿或干燥温度有敏感反应时。

如果使用包衣，则将药片放入一个倒入包衣溶液的滚筒中。一旦涂上包衣，将药片在滚筒中烘干；也可能送入另一个滚筒中抛光。

在美国最常用的口服药物中胶囊剂是仅次于片剂占第二位(U.S.EPA 1997)。胶囊首先使用模子将一般由明胶制成的胶囊外壳成形。在成形期间所控制的温度决定了明胶的黏度，反过来确定了胶囊壁的厚度。然后将胶囊剂的内含倒入(硬胶囊)或注入(软胶囊)模子。

在配制液体药剂时，将称好的有效成分溶解到一种液基中。然后将得到的溶液放在有玻璃衬里或不锈钢容器和槽中混合。可能会在溶液中加入防腐剂以防止霉菌和细菌的生长。要对用于口服或注射的液体进行灭菌。

软膏是通过将有效成分与石油衍生物或蜡混和。将混合物冷却、展开、倒入软膏管，并加以包装。

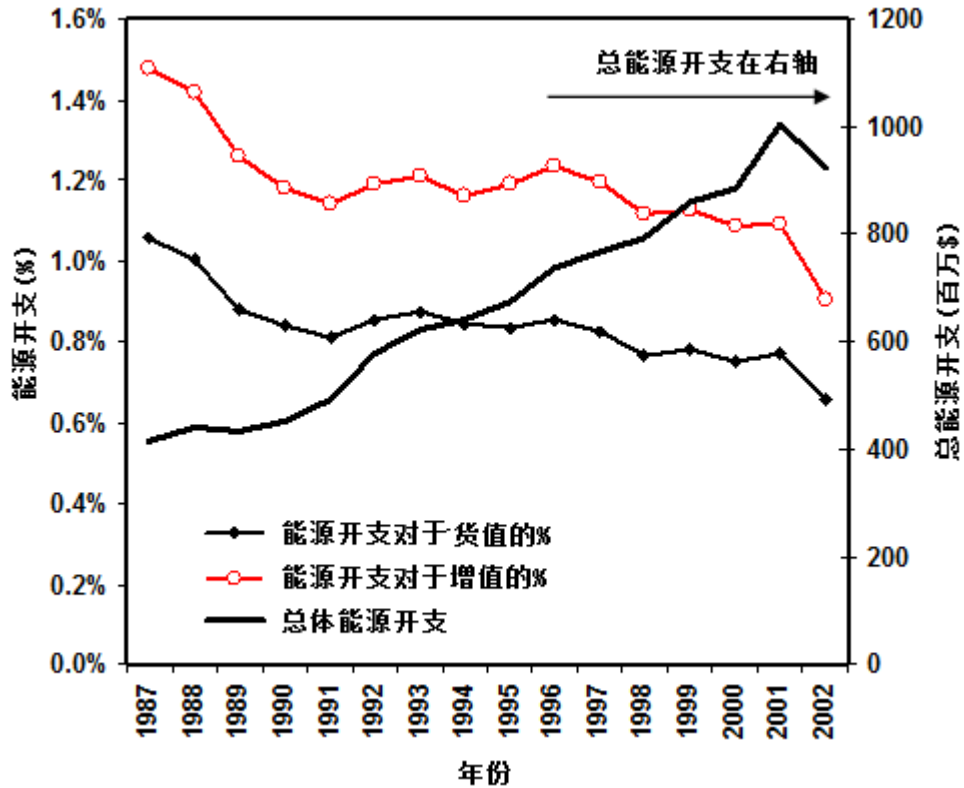
乳脂是水包油或油包水的半固体乳剂；每个阶段是分别地加热然后混合在一起形成最终产品。

4. 美国制药工业的能源使用

自 1987 年以来美国制药工业的能源开支一直在平稳地增长，并与过去二十年中产业的增值和货值的增加紧密相连(参见图 1)。图 5 绘出了美国制药工业从 1987-2002 年的能源开支，能源开支相对于增值的百分比，能源开支相对于货值的百分比。图 5 显示了自 1987 年以来总体能源开支在平稳地增加，而能源开支相对于产量(即增值和货

值)的百分比在同一期间有所减少。能源开支相对于增值和货值的百分比的下降趋势可能归结于产业在活动和盈利上的变化，并不一定表明实际单位产品所消耗的能源在同一个期间有所改变。

图 5 美国制药工业能源开支的历来走向。

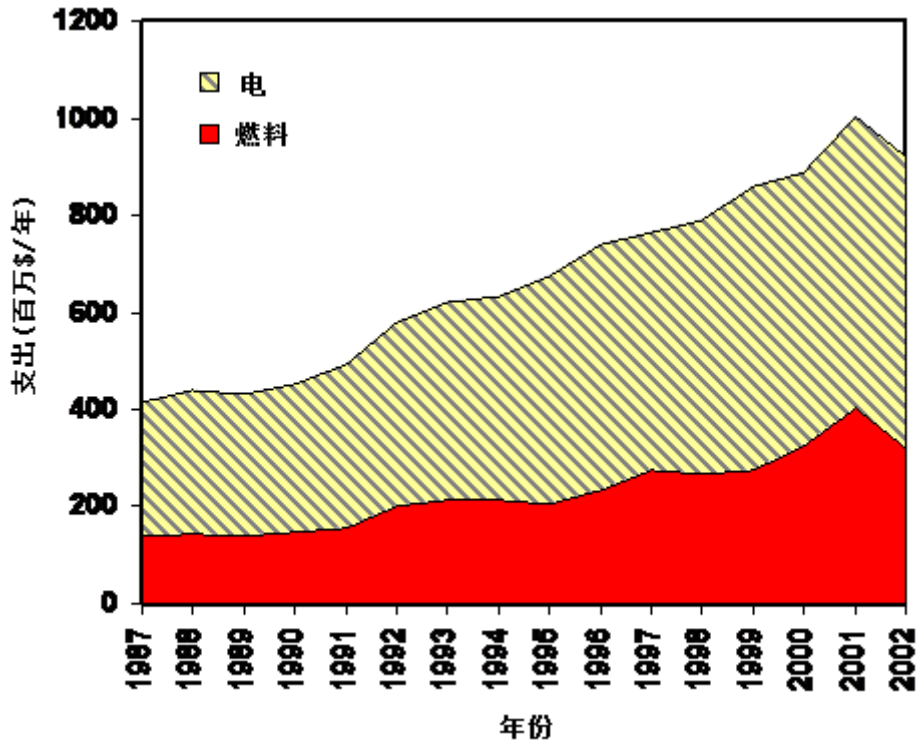


资料来源: U.S. Census (1990, 1993, 1995, 1996, 1998, 2003, 2005a).

图 6 显示了从 1987-2002 年美国制药工业的能源消耗，将电和燃料的开支分开。自 1987 年以来电和燃料的开支都在平稳地上升。然而电力开支的上升率比燃料开支更高。美国制药工业的实际用电并没有象电费上升得那样快，如图 7 所示。

图 7 显示了从 1987-2002 年美国制药工业的总耗电趋向。从表 7 也能看出尽管从 1987 年以来有轻微的增长，热电联产在美国制药工业的使用仍然是有限的。在 1987 年，所发的电占了 4.8%的总用电量；到 2002 年该百分比已上升到 8.8%。

图 6 历来美国制药工业的能源开支。



资料来源: U.S. Census (1990, 1993, 1995, 1996, 1998, 2003, 2005a).

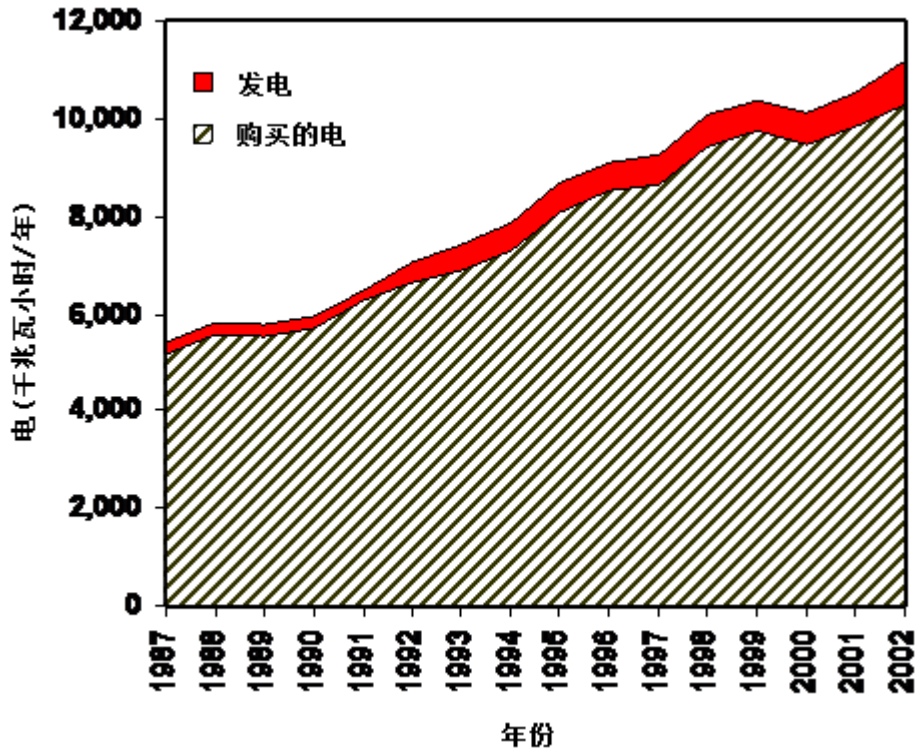
能源在美国制药工业中有广泛的应用。第 3 章论述了用于药品生产的不同工艺技术的范围; 各个工厂和各种产品所使用的具体生产过程是有所不同的。因此, 各个地点的能源使用情况也有很大的变化。影响工厂能源消耗的关键因数包括设施的类型(如研发或大批量生产), 所生产的产品, 工厂的地点和工厂主要系统的效率。然而, 根据药品生产过程中的典型步序和支持这个过程所需要的终端能源用途, 就有可能为该行业的能源消耗作出一个粗略的分类统计。

表 3 提供了估计的整体美国制药工业能源消耗的分类统计, 以主要活动范围(以横列列出)和最终用途(以竖行列出)分类。在表 3 的估计中不提到任何具体的工厂, 亦不试图估计一个“典型的”制药厂的能源使用。⁷ 另外, 表 3 显示了每个活动范围的主要能源使用和最终用途分类。在表 3 中的能源分配可能不适用于所有的设施亦不假设是详尽的。

供暖、通风和空调 (HVAC) 在制药工业中一般是最重要的能源最终用途。表 3 同时显示了研发和大批量生产也一般是制药工业中最重要的能源消耗活动。

⁷由于如今在制药工业中各工厂之间有不同的变化, 有些设施只包含一项在表 3 中所列出的活动, 本能源指南不试图定义“典型的”制药厂。

图 7 美国制药工业的历来用电量。



资料来源: U.S. Census (1990, 1993, 1995, 1996, 1998, 2003, 2005a).

表 3 制药工业能源使用的分布

	总体	插座负荷和工艺	照明	供暖、通风和空调 (HVAC)
共计	100%	25%	10%	65%
研发	30%	显微镜 离心机 电动搅拌机 分析设备 灭菌处理 培养器 步入/开放范围(大型 冷冻柜)	工作和天花照明设备	洁净室和排气柜通风 需要 100%补气的区域 冷冻水 热水和蒸汽
办公室	10%	办公设备包括计算机、传真机、复印机、打印机 热水器(9%) *	工作、天花和户外照明设备	空间供暖(25%) * 冷却 (9%) * 通风(5%) *
大批量生产	35%	离心机 灭菌处理 培养器 干燥机 分离工艺	工作和天花照明设备	洁净室和排气柜的通风 需要 100%补气的区域 冷冻水 热水和蒸汽
配制, 包装和灌装	15%	搅拌器 电机	主要是天花照明设备, 有一些是工作照明设备	控制微粒的通风
仓库	5%	铲车 热水器(5%) *	主要是天花照明设备	空间供暖(41%) * 冷冻(4%) *
其他	5%		天花照明	

*水的加热、空间供暖、冷却、制冷和通风的百分比是从美国能源部为商业办公室或仓库建筑所作的商业建筑能源消耗调查(CBECS)获得(U.S. DOE 1999)。这些数据只显示了最初估计值而实际上各个设施都有所不同。

5. 制药工业的能效机会

在美国的制药实验室、生产设施和其他建筑中存在着在保持或提高生产力的同时减少能源消耗的各种机会。表 4 按照表 3 所列出的六个主要活动范围将可行的能效机会分类：(1)研发，(2)大批量生产，(3)配制、包装和灌装，(4)仓库，(5)办公室，(6) 其他。表 4 也为每个主要活动范围提供了对应于本能源指南中讨论有关能效措施的章节。对措施的讨论包括对美国制药厂的案例分析并带有具体能源和成本节省数据，如果有该案例分析的数据。对于没有美国制药厂数据的措施，本能源指南包括了来自非美国制药厂的案例分析数据，或对类似产业(例如化工制造业)的案例分析数据。

对于各个制药设施，与任何措施有关的实际归本期和节省将随着设施的活动、配置、规模、地点和营运特点而变化。因此，在能源指南中提出的数值仅作为一种指引。在有可能的情况下，本能源指南将为每项措施提供在各种条件下的节省和归本期的典型范围。

虽然对设备进行技术上的改进能节省能源，职工在行为和态度上的变化也能有巨大的影响。能效培训计划能帮助公司的职工将能效实践结合到他们的日常工作中。各级人员应该意识到能源使用和公司改善能效的目标。这些信息常常由低层管理人员获取，但没有向上传达到高级管理层或向下传达到职工中(Caffal 1995)。带有对职工的行为作定期反馈(例如奖励体系)的能效计划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。其他的职工行动例如关上排烟柜的调节门能达到显著和直接的改善。本能源指南的第 5.1 节将对能源管理计划和实践作进一步的论述。

为管理能源而建立注重不断地改进的正规管理结构和体系是帮助公司管理能源的使用和实施能效措施的重要战略。美国环保局的能源之星计划根据所发现的先进公司的最佳实践制定了一个能源管理的框架。其他管理框架，例如 ISO14001，可以用于保证更好的机构性能源管理。一个能源之星的参与者指出，将能源管理体系与 ISO14001 相结合对他们工厂的节能产生了比所有其他战略更大的作用。

5.1 能源管理体系和计划

改善能效应该从几个方向着手。在整个公司范围内必须有一个有力的能源管理计划。在理想的情况下，该计划将包括设施、营运、环境、卫生和安全以及管理人员。对于跨工艺的能效改善技术，⁸例如使用高能效的电机和优化压缩空气系统等，在节能上有充分记载的机会。优选系统的设计和运行，如尽量减小实验室的通风，也能显著地减少能源的使用。另外，优化生产过程常常可产生相似的节省。

⁸跨工艺技术的定义是在许多不同的部门使用的同类设备，例如锅炉、泵、电机、压缩空气系统和照明设备等。

能源管理计划

实施整体机构的能源管理计划以改变能源的管理是达到最成功和最经济有效地改善能效的方式之一。

能效工作不会自行发生。它需要一个强有力的能源管理计划来为改良创造基础以及向整个机构中的能源管理提供指导。能源管理计划也能帮助保证在持续的改善工作中不断地确认和实施，而不会产生一次过的现象。此外，如果没有一个完善的能源管理计划作为依托，能效改善也可能不会发挥它们的全部潜力，由于缺乏一个系统的观念和/或适当的维护和跟进。

表 4 制药工业按照主要活动范围分类的能效机会，每项都带有在本能源指南中的对应章节索引。

研究与开发	大批量生产
能源管理(5.1) 暖通空调(5.2) 排烟柜(5.3) 洁净室(5.4) 照明(5.9)	能源管理(5.1) 暖通空调(5.2) 洁净室(5.4) 电机系统(5.5) 压缩空气系统(5.6) 泵(5.7) 制冷(5.8) 热和蒸汽配送(5.10)
配制、包装和灌装	办公室
能源管理(5.1) 暖通空调(5.2) 洁净室(5.4) 电机系统(5.5) 压缩空气系统(5.6) 泵(5.7) 制冷(5.8) 照明(5.9)	能源管理(5.1) 暖通空调(5.2) 照明(5.9) 其他(5.12)
仓库	其他
能源管理(5.1) 暖通空调(5.2) 电机系统(5.5) 制冷(5.8) 照明(5.9)	能源管理(5.1) 暖通空调(5.2) 电机系统(5.5) 照明(5.9) 热和蒸汽配送(5.10) 热电联产(5.11) 其他(5.12)

在缺乏一个清晰的计划的公司中，由于组织上的障碍，改善的机会可能会被发现，但并没得到推广或实施。这些障碍可能包括缺乏车间之间的沟通，缺乏对如何对能效项

目提供支持的理解，资金上的限制，缺乏对措施的问责或机构中对改变现状的认识。即使能源是一个重大的开支，许多公司仍然缺乏对改善能源管理的坚定承诺。

美国环保局通过能源之星计划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。⁹图 7 列出在战略性的能源管理计划中的主要元素。

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组织上的承诺。这一般涉及到将监督和管理的职责指定给一位能源主任，制定能源方针和建立一个跨职能的能源小组。然后实行各步骤和规程，通过对能源数据、技术评估和对标的定期回顾来评估绩效。机构能够根据这个评估制定能源使用的基准和建立改进的目标。绩效目标能帮助规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进行培训。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 A 概括了一些简单的员工任务举例。

进展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。一旦确立了最佳的实践，跨功能的能源组的目标应该是在整个机构中复制这些实践。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能源管理计划与附录 B 提供的能源之星能源计划评估对照表进行对比。¹⁰

内部的支持对企业的能源管理计划是关键的；然而，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，公共事业人员将直接与公司的设施合作。

能源监测系统

能源监测和生产过程控制系统是在能源管理和减少能源使用中起重要作用的关键工具。它们可能包括辅助计量和监控系统。它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。监测的和测量系统也能在提醒能源管理组发生问题之处以及指派能源使用的责任中扮演关键的角色。另外，该系统可以用于公司的温室气体核算计划；它们也对描述能源之星的参加者的能源使用特征有帮助。

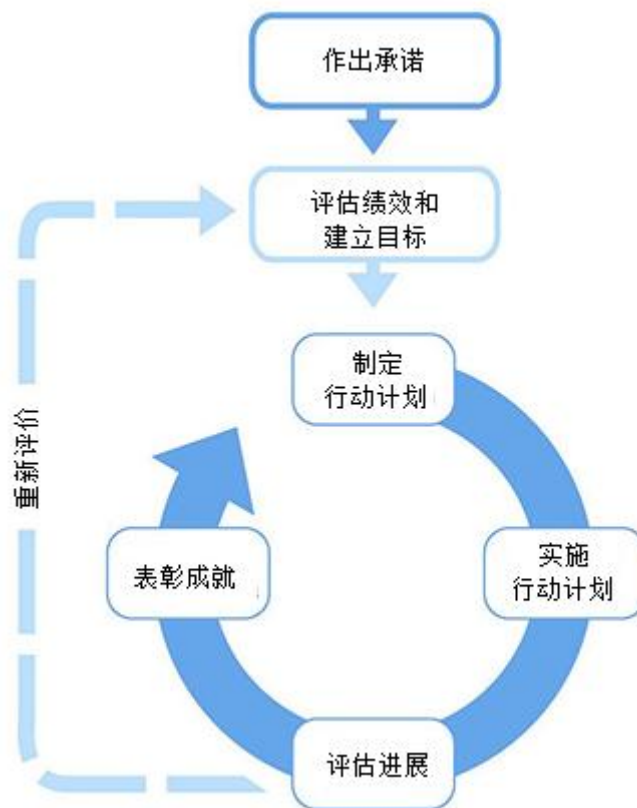
⁹欲了解更多关于战略性能管理体系的指南,可在 www.energystar.gov.

¹⁰实施能源管理计划的另一有用的参考是美国环保局和能源部赞助的报告《能效建筑的十五项营运和保养的最佳的实践》(PECI 1999)。

监测和控制系统在许多工业中的应用典型地能节省大约 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。

在巴西 Campinas 的 Wyeth Fort Dodge 动物健康药品制造设施安装了具有先进技术水平的计量，监测和导向系统来帮助减少在高峰期的电力需求。这个项目达到了减少用电 48%，相当于减少了设施开支的 10%，并且在职工中增加了对能源的意识(Wyeth 2004)。

图 7 战略性能源管理计划的主要元素。



5.2 供暖、通风和空调(HVAC)系统

供暖、通风和空调(HVAC)系统的部件一般包括风闸、供气和排气扇、过滤器、加湿机、抽湿机、加热和冷却盘管、送风管和各种传感器(Cole 1998)。在表 3 中估计制药工业中的暖通空调部件所消耗的电力和燃料的平均百分比大约是 65%。

不同的空间和建筑用途需要应用不同的暖通空调。在美国制药工业的生产设施和一些实验室设施中，暖通空调的部件以及对它们的修改都是由美国食品和药物管理局严密监督的。而且美国的制药工业要达到许多国内和国外的标准(例如美国联邦政府的法规标准、英国的标准和欧盟的标准)。国际标准化组织(ISO)正在努力将这些标准归集到一套统一的标准。由于这些规章制度，使影响工作环境的能效措施必须接受详尽的审查以保证所提出的修改不会影响对法规的遵守。美国食品和药物管理局要求公司依照cGMP(目前的良好制造业实践)，要求公司书面记录准备如何设计和营运他们的设施。按照理论上cGMP允许新的方法，但要对这些新的方法进行辩解。更多的辩解(和延迟兴建计划的批准有关的风险)也使在某些情况下永远存在着能效较低的设计。

当公司必须改造现有的建筑以遵守新的规定时，翻修设施所造成的停产时间有利于实施能效措施。然而，对于不受监管的建筑如办公室和仓库等，实施能效措施可以不同于需要得到法规部门批准的用于生产和研发的建筑空间。

一间在Rzeszow (波兰)的Novartis工厂对如何在暖通空调系统上投资以取得显著的节能提供了一个好例子。Novartis在Rzeszow的工厂的暖通空调系统中安装了微处理器控制，它编排的程序可以根据室外温度来平衡工厂的供暖，并能在周末减少供暖负荷。预期这项改造能导致减少10%的整体供热能耗。Novartis也为工厂的婴儿食品灌装工序投资了一个更加现代化的暖通空调系统。旧的暖通空调系统包括了对流加热器和热风机系统。Novartis用一个微处理器控制的加热和通风组合系统替换了这个系统，从而在冬季和夏季期间都能提供改善的空气质量 and 改进的温度调节。这项改动导致了在空气质量和舒适程度上的巨大改善。通过在系统的排气口安装热回收过滤器达到了进一步增加电力效率，期望可提供大约5%的节能(Novartis 2004)。

有许多能效措施可以应用在暖通空调系统中；以下将讨论一些最重大的机会。此外，有许多适用于电机、压缩空气系统以及热和蒸汽配送系统的能效措施也可用于支持改进暖通空调系统的效率。本能源指南的第5.5节、第5.6节和第5.9节将会较详细地讨论电机、压缩空气系统以及热和蒸汽配送系统的措施。

高能效的系统设计

新建工业设施在设计阶段的暖通空调系统存在着最巨大的能效机会。通过适当地配套设备和将能效设计到新的设施中，制药商能从一开始就能将工厂的暖通空调系统的能源消耗和营运成本减到最低。这种方法从长远来看常常能节省金钱，因为在兴建建筑时安装高能效的暖通空调系统一般要比将来在建成的建筑中升级高能效的暖通空调设备来得低廉，特别是那些升级会导致停产。将来改造暖通空调也可能需要经美国食品和药物管理局的审核和批准，这可能会导至进一步的延迟和停产。

美国环保局的“二十一世纪的实验室”(Labs 21)计划汇编了新建实验室和洁净室的能效设计提示，其中有很多能用于制药工业设施(U.S. EPA/DOE 2000)。有关Labs 21计划的详细信息可以在<http://www.labs21century.gov/>网页找到。

重新校验

在为改善能效而更换暖通空调系统的部件之前，应该探讨重新校验暖通空调系统的可能性。重新校验基本上是与校验的过程一样，但适用于建筑中现有的暖通空调、控制和电力系统(U.S. EPA 2004)。

校验是核实新建的建筑是否达到所预期的功能和向建筑管理小组传达所预期的性能的过程。这通常发生在将新的建筑移交给使用者的时候。校验的费用实际上并不包括在设计费中而且常常与其他活动相竞争。结果很少会进行恰当的校验。对建筑进行校验以保证它达到能源性能和运行目标是很重要的。为达到此目的，能源之星有以下推荐：

- 在校验期间传达能源性能目标以保证达到设计目标。鼓励追踪能源的使用将有可能在以后的时期将性能进行比较。
- 在项目合同中指明详细的校验活动。为校验工作寻求分开的资金以保证给予它适当程度的重要性。
- 聘用专门从事建筑校验的专家。在项目的初期就将从事校验的公司作为设计小组中的一部分包括在内。
- 完成并且移交一套包括系统和部件制造商的说明的技术文件。补充带有总结和预期的操作的技术说明。对创新的设计特点提供更多的解释。

重新校验包括了对现有设备的性能和保养程序作详细的评估以便与所预期的或设计所要求的性能和保养程序作对比，确认和纠正可能会阻碍建筑能效的问题。再校验本身可能是一种经济有效的翻新，有时所取得的节省要比翻新措施的开支要多。例如，重新校验可能会帮助免除安装新的或附加的设备需要，从而节省了资本投资。

美国环保局的能源之星建筑升级手册(U.S. EPA 2004)推荐了一种步进式的重新校验方法，按顺序实行一系列有规划顺序的建筑“调校”计划。首先应该评估照明设备和辅助性负载，然后是建筑的围护结构，以后是控制、测试、调整和平衡，接着是热交换设备，最后是加热和冷却系统。这些步骤中的大多数与直接影响暖通空调系统能源消耗的暖通空调系统部件或因素有关(例如建筑的围护结构和照明设备)。欲了解更多信息，参阅美国环保局的能源之星建筑升级手册(U.S. EPA 2004)(也可参阅 <http://www.energystar.gov>)。在本能源指南以后的章节中能找到更多详细的用于重新校验的措施。

Pfizer 于 2002 年在四个位于新泽西州 Morris Plains 的建筑实施了暖通空调重新校验项目(Dome-Tech 2005a)。迄今这个项目给 Pfizer 带来了净减少 21%的度-日能耗。

Ethicon 在位于新泽西州 Somerville 的一个 180000 平方英尺的多用途设施的重新校验项目确认了 231 个节能的机会(Dome-Tech 2005a)。该重新校验项目包括了对设计和安装的审核，记录数据资料以确认不合要求的区域，空气处理机的实物检查以及核实暖通空调系统的平衡和送往各个空间的气流(还有其他的工作)。项目的实施费用是 \$53000 (约 438,161 人民币)；每年节约的燃气和电力共计 \$48000 (约 396,826 人民币)，并带来仅 1.1 年的归本期。

能源监测和控制系统

能源监控系统以监测、控制和追踪系统的能源消耗来支持暖通空调系统的高效率运行。这类系统能连续地管理和优化暖通空调系统的能耗，同时向建筑师和能源管理人员提供有价值的诊断工具用于追踪能源消耗和确认潜在的暖通空调系统问题(U.S. EPA/DOE 2000)。在美国的几个工业案例分析表明暖通空调控制系统的平均归本期是大约 1.3 年(IAC 2003)。

非生产时间的温度调节

在不使用时，例如周末或非生产时间对建筑的温度设定进行调节(例如在冬季将建筑的温度设定调低而在夏季将其调高)，能显著地节约暖通空调的能源消耗。同样在非使用期间将洁净室和实验室的通风减少也能带来节能。在最近对制药和类似的工业的实验室和洁净室的研究中，发现暖通空调系统占了设施能源消耗的三分之二(Tschudi and Xu 2003)。因此，在非使用期间调节暖通空调的能源消耗可以有重要的作用。

在 Merck 的新泽西州 Rahway 的实验室设施，将暖通空调系统设计成单程空气交换是基于安全的考虑。为改进这些系统的能效，Merck 运用了控制技术在夜间和周末将所选择的房间的温度从 72°F (24°C) 降低到 64°F (18°C)。一个与房间的照明设备联动的装置将会超控该设定。在低温不会影响科研设备的房间实施了这个控制方法，包括了总面积超过 350000 平方英尺(约 32,516 平方米)的 150 个单独的实验室。与这个项目有关的节能共计每年将近 30000 MBtu (约 1,080 吨标煤)。通过这个项目防止了与能源有关的二氧化碳(CO₂)排放每年共计超过 1700 吨(Merck 2005)。

修理送风管泄漏

暖通空调系统的送风管泄漏会浪费相当多的能源。减少送风管泄漏的措施包括安装送风管保温材料和实行定期检查和保养送风管，包括不断的泄漏检测和修理。根据劳伦斯·伯克利国家实验室的研究，在工业和商业设施修理送风管泄漏能减少高达 30% 的暖通空调能源消耗。一个在加利福尼亚州 Apple Valley 的商业建筑采用了一种称为流动发泡密封胶注射系统(MASIS)的技术来减少送风管泄漏。MASIS 的应用带来了将整体送风管的泄漏从 582cfm (约每分钟 16 立方米) 减少到 74cfm (约每分钟 2 立方米)，使建筑的暖通空调系统整体效率增加了 34% (Carrier Aeroseal 2002)。

排风温度管理

在有补气处理系统的设施中，必须重新加热已冷却的补气会造成能源浪费。当对冷却的需求减少时，设定较高的排风温度可以减少不必要的重新加热补充的供气。在 Genentech 的 Vacaville 设施，实施了一个新的控制系统将在冷却需求低的期间的排风温度从 55°F (13°C) 重新设定到 60°F (16°C)。这项温度调整防止了过度的冷却和随后的不必要的重新加热供气，从而节约了冷冻水和蒸汽车间的能源。这项措施预期每年能节约能源开支大约 \$150000 (约 124 万人民币) (CIEE 2000a)。

变风量(VAV)系统

变风量系统根据当时房间或空间的气流需求调节流入该房间或空间的气流，因而优化了暖通空调送风管网内的气流。通过优选气流，可以减少建筑的空气处理器的负荷，从而减少用电量。

可调速驱动(ASDs)¹¹

可调速驱动可以安装在变风量空气处理器，以及循环风机，以精确地匹配空气处理系统的流量和压力要求。由于它们不是永恒地在全速运行，可以明显地降低风机的能耗。可调速驱动也可以用于制冷机的泵和供水系统的泵以根据系统需求尽量减少电力消耗。

美国国家卫生研究院的 Louis Stokes 实验室最近实施了一个变风量系统和可调速驱动。可调速驱动控制的暖通空调送风和排气机比过去使用的进气口叶片控制提高了 25% 的效率。虽然变风量系统比原先的控制系统更昂贵和复杂，但是变风量系统比原先的系统少用了 30-50% 的能源，从而在长时期能节省显著的能源开支(U.S. EPA/DOE 2001b)。变风量系统也减少了建筑无人时所提供的空气容量，从最大容量 400000 cfm（每分钟 11,327 立方米）或每小时换气(ACH)15 次减少到 160000 cfm（每分钟 4,531 立方米）或每小时换气 6 次，提供了更进一步的节能。在类似的情况中，安装在华盛顿州西雅图 Fred Hutchinson 癌症研究中心的变风量系统将必要的换气从每小时 10 次减少到每小时 6 次(U.S.EPA/DOE 2001a)。

热回收系统

热回收系统利用设施排气的热能来减少加热或冷却设施进气的能源。一般的热回收系统包括热回收轮、热管和循环回路。对于需要 100% 补气的区域，有研究表明由于每度(华氏)进气温度的上升/下降，热回收系统可以减少设施的加热/冷却开支大约 3%。典型的归本期是三年或更少(Tetley 2001)。安装在佐治亚州亚特兰大的 Whitehead 生物医学研究大楼的热转轮展示了 75% 的热交换效率和少于 4 年的归本期(U.S. EPA/DOE 2003)。热管的效率则在 45-65% 范围(U.S.EPA/DOE 2003)，而循环回路的效率会稍高，在 55-65% 的范围(U.S. EPA/DOE 2001a)。

在新泽西州 Rahway 的 Merck 的 37000 平方英尺（约 3,437 平方米）实验室大楼在 2004 年安装了从暖通空调排气中回收热的甘醇循环回路系统。在安装以后，大楼能以回收的能量预热和预冷高达 120000cfm（每分钟 3,398 立方米）的外部空气。与这项措施有关的节能每年共计大致是 265 MBtu（约 9.5 吨标煤），并带来每年减排 30 吨的二氧化碳(Merck 2005)。

改善暖通空调的制冷机效率

¹¹在实际应用中几个术语用于描述允许以使用者选择的速度来驱动机械负荷，包括可调速驱动(ASDs)，可变速驱动(VSDs)，可调频驱动(AFDs)和可变频驱动(VFDs)。本能源指南全部使用“可调速驱动”ASD 以保持一致性。

制冷机的效率可以通过降低冷凝器的水温来增加冷冻水的水温差别。这样可以减少泵的能源需求。另一种可能的效率措施是安装分开的高温制冷机来进行冷却(Tschudi and Xu 2003)。

选配合适的制冷机以改善制冷负荷与需求的平衡也是一个重要的能效策略。在加利福尼亚州 Vacaville 的 Genentech 设施选用了两台 1400 吨制冷机和一台 600 吨制冷机而不是用三台大小相等的制冷机。作这种选择是为了使制冷机尽可能在接近全负荷运行，这正是它们的最高效率。两台较大的制冷机在全负荷运行，而小的制冷机仅在有需要时才运行以提供额外的冷却，达到减少能源需求。与这个制冷机的选择策略有关的开支节省估计每年有\$113250（约 936,260 人民币）(CIEE 2000a)。

风机的修改

改变风机滑轮的大小或形状能帮助优化风机的效率和气流，从而减低能耗。在丰田的一个工厂中，在安装可调速驱动的同时也优化了风机的滑轮。丰田发现修改滑轮的节省和归本期比期望从可调速驱动中得到的要多(Toyota 2002)。

高效率的排气扇

排气扇是所有暖通空调系统中的标准部件。混流叶轮排气扇提供了除了传统的离心排气扇以外的另一个高效率的选择。混流叶轮风扇的效率一般比离心风扇高 25%，并且在安装和保养上可以更加低廉。这项措施所期望的归本期是大约 2 年(Tetley 2001)。

冷却水回收

如果有可能，来源于市政的二次冷却水可以用于支持减少制冷机的能源消耗。在华盛顿州，Boeing 与 Puget Sound 电力和照明以及 King County 的市政服务部合作，回收二次处理的冷却水供它的制冷机系统使用。通过这种方法，Boeing 每年减少用水 4800 万加仑（约 1.82 亿升）并且预期可节约 20%的冷却能耗(Michaelson and Sparrow 1995)。作为一种额外的收益，Boeing 预期可节省冷却塔的冷冻剂和处理水的化学制品。

太阳能空气供暖

太阳能空气供暖系统，例如 Solarwall®使用漆成黑色的常规铁板外壁来吸收太阳辐射作为保温。新鲜空气从底部进入面板然后经过暖和的吸收体被加热。风机将空气配送。使用这种技术，在芝加哥的福特公司冲压车间将它的朝南墙壁变成一台巨大的太阳能集热器(CREST 2001)。与常规的燃气空气系统相比估计每年可节能超过\$300000。投资成本是\$863000（约 713 万人民币）(每平方英尺\$14.90（每平方米 1,326 人民币），包括了安装)并有少于 3 年的归本期。除了节能以外，该系统可向职工提供干净的新鲜空气，平衡工厂中的热点和冷点，并且能减少排放。然而，这项措施仅对处于气候寒冷地区的建筑是有利的，并且应该根据每个设施的当地条件分析潜在的收益。

建筑的反射

在晴朗和炎热的气候下，在建筑的屋顶使用反射性涂层可节约内部的空调费用。两个位于北加利福尼亚州的医疗办公室在他们的建筑使用了反射性屋顶；一个减少了空调

需求 8%，另一个减少了的空调需求 12%(Konopacki et al.,1998)。在较冷的气候中，要考虑由于冷屋顶造成的热损失(例如在冬天)常常会抵消节能。除了地点和气候之外，其他影响节能的主要因素包括屋顶的保温、空调的效率和建筑的年龄等。反射性屋顶材料可以有不同的形式和颜色。

在平屋顶上的屋顶花园改善了建筑对于冷和热的绝缘，从而提供了供热(在冬天)和空调(在夏天)。绿色屋顶在冬天可能会结冰，因此它们会损失少量的热，但仍然能产生净节能(Holtcamp 2001)。另外，屋顶花园可延长屋顶的寿命，提供和减少雨水溢流并减少空气污染和尘土。目前德国每年安装了 1 千万平方英尺(约 929,030 平方米)以上的绿色屋顶，部分是由于经济刺激的帮助(Holtcamp 2001)。Gap 在 San Bruno(加利福尼亚州)的总部在 1997 年安装了绿色屋顶(Greenroofs.com 2001)。除了比传统的屋顶更能节约能源和有更长的寿命之外，屋顶花园能吸收雨水，减慢雨水溢流到当地的雨水下水道。

在某些条件下存在着其他减少建筑的暖通空调能源消耗的简单方法。在炎热的气候中庇荫树可减少对冷却的需求。种植在建筑的西侧和西南侧(基于夏天太阳的轨道)的庇荫树应该是落叶树(在夏天提供树荫但在冬天则无)(McPherson and Simpson 1995)。在寒冷的气候下建筑的北侧种植的树可以在冬天挡风从而减少供暖。藤类植物能提供庇荫和挡风。

建筑的保温

给设施增加保温几乎总会带来减少公用事业的费用。许多在美国现有的建筑并没有做到最佳的保温水平。旧的建筑比新的可能会使用更多能源，导致了非常高的供暖和空调开支。即使在新的建筑中，增加保温所节约的公用事业费用可能在几年内足以支付措施本身的费用(U.S.DOE 2002a)。¹²

各州对建筑保温都有规定和指南，例如加利福尼亚州的住宅和非住宅能效标准(Title 24)(CEC 2001)。超过规定的保温水平可能在经济上是有利的，并且应该考虑作为设计新建筑的一部分，以及对现有建筑的改建。而冷库应该有更高的保温程度(参见第 5.8 节)。

低辐射(Low-E)窗

低辐射窗是另一个改善建筑保温的有效策略。由于低辐射窗能降低传入建筑的热因而增加了它的保温能力。低辐射玻璃有两类:高透型(用于冬季有较高的公用事业开支的地区)和遮阳型(用于夏季有较高的公用事业开支的地区)(U.S.DOE 1997)。美国能源部支持发展新的窗和玻璃技术，而能源之星则提供一系列额定的低辐射窗供选择。全世界都在不断地发展新的窗和玻璃技术。¹³

¹²能源之星为不同的气候地区中的住房建立了首选的保温水平指南(参见:

http://www.energystar.gov/index.cfm?c=home_sealing.hm_improvement_insulation_table)。

¹³有关 Low-E 窗的详情见: <http://www.efficientwindows.org/>。

5.3 排烟柜

排烟柜通常安装在制药工业的研发实验室设施。排烟柜能将实验室活动和工业加工产生的有害气体捕获、控制、排出，保障职工避免吸入有害的物质(Mills and Sartor 2004)。加热和冷却实验室排烟柜的补气所需要的能源占了实验室暖通空调能源消耗的一个重要部分。排烟柜经常以很高的气体交换率运行以保证在设施中人员的安全。然而，使用低流量排烟柜和变流排气系统常常可实现重大的节能。

改善存贮或内务清理

排烟柜在实验室环境中常常是用作临时的化学制品和仪器储藏处。然而，这种作法要求排烟柜的排气系统连续地运行，导致不必要的高能耗。改进内务清理和存贮方式，即永远将化学制品和仪器放在适当的存储位置，并且保持关闭不使用的排烟柜，可帮助减少排烟柜的能源消耗。

限制调节门的开闭程度

限制排烟柜调节门的开闭程度减少了必须维持横跨排烟柜正面的稳定气流速度的容积流量率。减少对容积流量的要求可促进降低变风量柜的能源消耗。限制排烟柜调节门的开闭程度可以通过约束垂直调节门的移动或使用水平的调节门来阻挡排烟柜的进口(Mills and Sartor 2004)。此外，在有可能的情况下应尽量保持无人管理的排烟柜调节门关闭。假设在一个有 48 个排烟柜的实验室中，估计通过关闭在变风量系统中无人管理的排烟柜的调节门(参见有关变风量柜的讨论如下)，每年的节能大约是\$3200 (约 26,455 人民币) (RC Associates 2002)。

增进在排烟柜顶上的漩流

“双稳的”漩流能提高排烟柜的围护性能，同时减少它的直接和间接能源消耗。通过在排烟柜顶部的可调整面板在排烟柜内增进和维持漩流。据一个制造商称，双稳的漩流柜能提供最大的围护，但只消耗 40%的常规柜所需要的能源(United Lab Equipment 2001)。另外，双稳的漩流柜能降低必要的空气交换率，从而节省了设施的暖通空调能源消耗。

变风量(VAV)柜

不管柜面气流的要求而维持恒定容积排气率的定风量(CAV)柜，是许多美国实验室中的主流。变风量柜使用可变速驱动和直接数字控制系统根据正面的流速要求来调整排气气流，与定风量柜相比可提供可观的节能。变风量柜通过减少排气的容积流量来节能，即是能显著减少必须由建筑的暖通空调系统调节的排气量(Mills and Sartor 2004)。美国国家卫生研究院的 Louis Stokes 实验室最近安装了变风量柜，从而比常规的定风量柜节省了高达 70%的能耗(U.S. EPA/DOE 2001b)。Pharmacia 也采用了变风量柜，当排烟柜的调节门关闭时削减了排气气流容量 50%，从而减少了调节补气所需要的能源(U.S. EPA/DOE 2002a)。

伯克利(Berkeley)柜。由劳伦斯·伯克利国家实验室开发的“伯克利柜”比传统的排烟柜有几个优点(Bell et al. 2003)。首先，伯克利柜减少了 50-70%的排气气流要求，

每年每个排烟柜能带来的节能大约是\$2100（约 17,361 人民币）。减少排气气流的要求是通过安装在柜的调节门顶部和底部的低速风扇，在柜的内部和外部之间形成一个“空气分割器”，从而减少了内部气流的要求。其次，它比传统的变风量排烟柜提供更低的安装费用。第三，它的高效率照明系统可降低柜的照明用电 50%。¹⁴

目前伯克利柜还不能在商业上应用。其中一个商品化的主要障碍是目前的职业安全与健康管理局(OSHA)的标准中对围护性能的要求是规定排烟柜正面的流速至少是每分钟 100 英尺（每分钟 30 米），而不是以空气的质量作规定。然而，未来将伯克利柜与标准排烟柜在围护性能上的对比应该证明它是足够的。

5.4 洁净室

洁净室可以被定义为包括空气中的微粒、温度、噪声、湿度、气压、空气流动、振动、和照明等环境状态受到严格控制的封闭区域。洁净室在制药和生物技术设施面积中占有重要的部分(Mills et al.1996)。通常在洁净室中最大的能源消费是暖通空调系统(例如冷冻水、热水、蒸汽系统)和加工设备。一项最近的研究发现暖通空调系统占了 36-67%的洁净室能耗(Tschudi et al.2001)。另一项最近的研究估计洁净室运行的能源是按以下比例分配的：56%是冷却，36%是供热，5%是风机，3%是泵(IEC 2002)。

在美国制药工业中，洁净室必须保持适当的过滤和压差以达到美国食品和药物管理局的严格要求。许多关于优化暖通空调系统的问题已在先前的部分讨论过；以下将讨论其他具体的洁净室节能措施。

Labs 21 计划为洁净室和实验室场地开发了一个网上能源对标工具(U.S. EPA/DOE 2005)。通过对比设施的能源绩效，对标能帮助向一个设施提供有关它与同类设施相比的绩效资讯。此外，这个对标过程也考量了各个设施之间可能存在的在空气质量、规模和其他系统参数上的区别。

减少循环空气交换率

有时可以减少洁净室的空气循环率但仍然达到质量管理和管理标准。在爱尔兰的一个对洁净室的模拟研究显示，有可能减少空气循环设备的每小时空气交换率，从而通过减少风机的能耗和热负荷的总量来节省显著的开支(IEC 2002)。

改善空气过滤的质量和效率

高效空气微粒(HEPA)过滤器和超低渗透空气(ULPA)过滤器常用于制药工业中过滤补充和循环空气。采用其他的过滤技术可能会降低能源消耗。例如能捕集超细范围(0.001-0.1 微米)微粒(目前的过滤技术在这个范围并不有效)的新型空气过滤技术可能会减少重新加热/冷却洁净室的空气所需的能源(CADDET 1999)。低压降过滤器也可以提供节能：在瑞典工业和技术发展国家委员会(Nutek)进行的测试中，发现一些维持在低压降的空气处理机过滤器可以比正常过滤器降低空气处理的能源消耗一半。在 Nutek 测试

¹⁴关于伯克利柜的详细信息请见 <http://ateam.lbl.gov/hightech/fumehood/fhood.html>。

的最高性能的过滤器中每个过滤器每年能节能大约\$46（约 380 人民币）(Camfil 1997)。

优化冷冻水系统

很少对供应洁净室的冷冻水系统进行能效优化(Tschudi et al.2002)。在文献中对改善冷冻水系统的效率已有大量的记载;然而, 制药设施的许多设计师和操作人员可能会从回顾已公布的建议中受益。有些改进冷冻水系统性能的建议已在第 5.2 节讨论过。

冷却塔

在许多情况下, 可以用冷却塔代替冷冻水来满足水冷却的需要。水塔比冷冻机能更有效地将水冷却, 并且可减少洁净室的暖通空调系统的整体能源消耗。让多个冷却塔在减低风机转速下运行而不是以少数塔在全速下运行是进一步降低冷却水能源消耗的另一方法(Tschudi and Xu 2003)。

减少洁净室的排气

加热和冷却洁净室补气所需的能源占了洁净室暖通空调能耗的一个重要部分。因此减少洁净室排气气流容量的措施可以带来重大的节能。这些措施包括已在前面的部分介绍过的使用高效率排烟柜技术等。另外, 注重在洁净室排气系统的热回收的措施也能有效地减少整体暖通空调系统的能耗(参见第 5.2 节)。

降级

偶尔洁净室的归类比它在目前使用中所需要的洁净水平更高, 可能是由于保守的设计或随着时间转变了它的生产特性。对于这种洁净室的一项简单可行的有效措施是在仍然符合生产所要求的污染控制和空气交换率的前提下, 将它从较高的洁净级别降低到较低的洁净级别。例如, 在伊利诺伊州 Northbrook 的一个 Motorola 的设施中, 将洁净室场地的归类从 10000 级减少到 100000 级以降低营运开支。结果降低了气流率, 每年带来的节省是\$150000（约 124 万人民币）, 而归本期是仅 7 个月(CIEE 2000c)。

5.5 电机和电机系统¹⁵

电机和驱动在制药工业中用于运行暖通空调系统, 驱动实验室或大批量生产的设备(包括搅拌器、泵、离心机和干燥机), 并在配制和包装阶段用于输送和设备的运行。以下部分所介绍的能效措施适用于所有使用电机的系统。在适当的时候会列出具体的例子来详述每项措施所应用的系统类型和成功的程度。

¹⁵美国能源部的工业技术计划为改善工业电机系统的效率提供了各种资源, 可以咨询有关在本部分提出的许多措施的详细资讯。关于一系列的提示、工具和关于电机效率的工业案例分析, 参见工业技术计划的电机、泵和风机最佳实践网站在: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/systems.html>。此外, Motor Decisions MatterSM 宣传活动也为改进电机系统效率提供了几个极好的资源 (<http://www.motorsmatter.org/>)。

当考虑改善设施电机系统的能效时，重要的是采用“系统方法”。系统方法是努力优化整个电机系统的能效(即电机、驱动，所驱动的设备如泵、风机、压缩机、控制等)，而不只是电机和各个部件的能效。系统方法会分析电机系统的能源供应和需求两侧以及它们的互动性来优化总体系统性能，不仅包括了能源的使用，而且还有系统的正常运行时间和生产力。

系统方法一般涉及以下步骤。首先，应该找出和确定设施中所有电机的应用。其次，应该记录每个电机的状况和规格以提供一个目前系统的清单。第三，应该评估电机系统的需求和实际使用以确定电机的容量是否合适以及每个电机是否适合它所驱动的设备需要。第四，应该收集关于对电机系统潜在的修理和升级资料，包括实施修理和升级的经济费用和收益以促使改善能效的决策行动。最后，如果决定进行升级，应该监测升级后电机系统的绩效以确定实际所节省的开支(SCE 2003)。

以下的电机系统能效措施反映这个系统方法的重要因素，包括匹配电机的速度和负载，合适的电机容量以及系统部件的升级等。压缩空气系统和泵将在第 5.6 节和第 5.7 节分别作较详细地讨论。

电机管理计划

电机管理计划是工厂能源管理战略的一个主要部分。设立电机管理计划能帮助公司实现长期的电机系统节能，并将保证以快捷和经济有效的方式处理电机的故障。“电机决定的重要性”(Motor Decisions MatterSM)宣传活动对一个完善的电机管理计划建议了以下关键因素(MDM 2007):

1. 建立电机的统计和追踪计划。
2. 制定主动的修理/更换决定的指南。
3. 设立备用存货为电机故障作好准备。
4. 制定采购的规范。
5. 制定修理的规范。
6. 制定和实施预测性和预防性的保养计划。

“电机决定的重要性”宣传活动的《电机规划套件》包含了每一个因素的进一步细节(MDM 2007)。

有策略地选择电机

在选择一个电机时有几个重要的因素，包括电机速度、马力、机壳类型、额定温度、效率水平、电源的质量。选择和购买电机时也应谨重考虑电机的生命周期成本而不是它最初的购买和安装费用。高达 95%的电机开支可归因于它终身消耗的能源，一般仅有大约 5%的电机开支归因于购买、安装和保养(MDM 2007)。生命周期开支(LCC)是一个为不同的投资方式计算拥有权总成本的核算框架，从而在电机的购买和修理或者更换作决定时对所有的选择有更完善的评估。在为泵系统制定的一个具体的生命周期开支指南(Fenning et al.2001)中也提供了对电机系统生命周期开支的介绍。

选择高能效的电机可以是减少电机系统生命周期成本的一个重要策略。高能效电机通过改进的设计、更好的材料、更严密的公差和改良的生产工艺来减少能源损失。通过妥善的安装，高能效电机在运行时可以产生较少的热量(也许能帮助减少设施的热负荷)并有更高的服务系数、更长的轴承寿命、更长的绝缘材料寿命和较少的振动。

要在美国被认可为高能效，电机必须符合全国电气制造商协会(NEMA)公布的性能准则。美国节能协会(CEE)阐述了美国高能效电机标准的演化，对了解“高效率”电机命名原则是有帮助的(CEE 2007)：

- NEMA 高能效(NEMA EE)是在 80 年代中期为电机市场的“高能效”一词作出定义而制定的。NEMA 标准刊物第 MG-1 期(第 3 版)的表 12-11 为一系列电机的效率水平作出了定义(NEMA 2002)。
- 1992 年的能源政策法(EPACT)要求在美国销售的许多常用的电机遵守 NEMA“高能效”指标。
- 在 1996 年制定的 CEE 超高效率标准指标是用作推广比 EPACT 要求的效率水平更高的电机，用于 EPACT 包括的同一级的电机。CEE 效率水平的规定一般是高于两档 EPACT 要求的 NEMA 效率分档(表 12-10, NEMA MG-1 第 3 版)。
- NEMA 在 2001 年制定了超高效(Premium®)电动机的指标以解决在如何成为市场上现有的最高效率的电机上的混淆。这个规格由 NEMA、CEE 和其他利益相关者制定并采用了 CEE 在 1996 的标准。目前它成为了超高能效电机的标杆。NEMA 超高效(Premium®)也成为符合这个指标的电机的一个品牌。这个指标特别包括了拥有以下特性的电机：
 - 速度：2、4、6 极
 - 容量：1-500 马力(hp)
 - 设计：NEMA A 和 B
 - 外壳类型：开式和封闭
 - 电压：低中电压
 - 级别：普通，专用和特殊用途

选择安装一个超高效电机极大程度取决于电机的运行条件和与投资有关的生命周期开支。一般来说，当更换每年运行超过 2000 个小时的电机时，超高效电机是最有经济上的吸引力。然而，软件工具例如 MotorMaster+ (参见附录 C)能根据工厂的具体条件帮助确认超高效电机具有吸引力的应用。

有时甚而用一个超高效的型号更换一个还能运行的电机也可能会有一个短的归本期。根据从铜发展协会得到的数据，升级到高效率电机与达到 EPACT 指定的最低效率要求的电机相比较，一台 50 马力的电机可有少于 15 个月的归本期(CDA 2001)。归本的时间将随着容量、负载系数、运行时间、当地的能源费用和可利用的折扣和/或刺激而变

化(参见附录 C)。就以快速的归本时间, 购买现有的最高效率电机通常是合理的(U.S. DOE and CAC 2003)。

NEMA 和其他组织创办了“电机决定的重要性”宣传活动以帮助工业和商业客户评估他们在电机的修理和更换上的选择, 推广 NEMA 的超高效 Premium® 电机和修理的“最佳的实践”, 并支持在电机发生故障之前制定电机管理计划。

有二十三个关于安装在美国制药工业的高效率电机的案例分析, 包括了升级和更换, 显示了少于 3 年的平均归本期(IAC 2003)。¹⁶

明尼苏达采矿和制造业(3M)在 123 号建筑进行了设施内部的电机系统性能优化。123 号建筑包含了试验工厂、机械和电气维修车间、实验室和支持功能。通过对建筑中所有大于 1.5 马力的电机的评估确认了 50 台较旧的、每年运行超过 6000 个小时的标准效率电机。将这些电机中的二十八台更换成高能效电机。预期每台更换的电机可改善能效 2-5%。还有采取了其他措施, 例如更换滑轮以降低驱动的负荷、减小电机容量以更好地与系统的需求相匹配以及修理和清洁零件以减少效率的损失。这个项目的归本期估计是 3.1 年(U.S. DOE 2002b)。

在某些情况下, 以重绕现有的高能效电机取代购买新的电机可能是经济有效的。根据经验, 当重绕费用超过 60% 新电机的费用时, 购买新的电机可能是一个更好的选择(MDM 2007)。当重绕电机时, 最重要的是要选择遵守电机重绕最佳实践标准的电机服务中心以尽量减少潜在的效率损失。电气设备服务协会(EASA)为修理和重绕电机提供了由 ANSI 批准并推荐的最佳实践标准(EASA 2006)。当实施最佳的重绕实践时, 典型的效率损失是少于 0.5%到 1%(EASA 2003)。然而, 质量差的重绕可能会导致更大的效率损失。因此询问电机服务中心是否遵守 EASA 最佳实践标准是重要的(EASA 2006)。

保养

电机保养的目的是延长电机的寿命和预见电机的故障。电机保养措施可以分成预防性或预测性两类。预防措施的目的是防止电机意想不到的停运, 包括电气上的考虑、尽量减低电压的不平衡、负载上的考虑, 以及电机的通风、校准和润滑。预测性电机保养的目的是通过持续地观察电机的温度、振动和其他运行数据以确定在发生故障之前何时需要大修或更换电机(Barnish et al.1997)。与持续的电机保养计划有关的节约是显著的, 可能是总体电机系统用能的 2%到 30%(Efficiency Partnership 2004)。

合适的电机容量

没有适当地选配电机的容量会导致多余的能源损失。如果可以减少所驱动的设备最高负荷, 也可能减少电机的容量。用适当大小的电机替换过大的电机, 能为美国工业

¹⁶工业评估中心(IAC)的数据库包含了范围广泛的工业节能措施案例分析数据。每个案例分析提供了包括实施费用和节约程度等各种广泛的资讯。使用 IAC 数据库, 算出了所有 23 个案例分析的平均归本期。为了准确地代表制药工业可适用的技术, 在计算中仅使用与制药工业的 SIC 代码有关的数据。

平均节约 1.2%的总体电机系统用电量(Xenergy 1998)。较小的电机和单独的电机系统经常可达到更多的节约。

要确定合适的电机容量就需要以下的数据：电机的负载，电机在该负载点的运行效率，将要更换的电机的满载速度和用来替换的电机的满载速度。美国能源部的最佳实践计划提供了能协助作出替换过大和低负载的电机的决定的一份情况说明书(U.S. DOE 1996)。另外，软件套件如 MotorMaster+ (参见附录 C)能帮助选择适当的电机。

可调速驱动(ASDs)

可调速驱动能更好地匹配电机运行中的速度和负载的要求，并且保证在特定的应用中优化了电机的能源使用。很多供应商都能提供可调速驱动系统而且在全世界都有应用。Worrell et al.(1997)提供了可调速驱动在广泛的应用中所取得的节能的概况；典型的节能量显示在 7%至 60%的范围之间。美国制药工业的四个案例分析显示了可调速驱动的平均归本期是少于 2 年(IAC 2003)。这四个案例分析包括了在冷却塔风机、通风设备和集尘器安装的可调速驱动电机。

Genentech 在加利福尼亚州 Vacaville 的设施的变风量空气处理机中安装了可调速驱动，因而显著地减少了能耗。每年所节约的与这项措施有关的能源开支预计是大约\$23000 (约 190,146 人民币) (CIEE 2000a)。在加利福尼亚州 Sunnyvale 的 Hine Design，在洁净室循环风机中安装了可调速驱动和相关的控制，带来了所预期的每年节能\$36000 (约 297,619 人民币) 以及 1.5 年的简单归本期(CIEE 2000b)。

功率因素修正

电感的负载如变压器、电机、高强度气体放电(HID)照明设备等可能会导致降低功率因素。低功率因素可能会增加电力消耗因而增加了电费。功率因素可以通过尽量减少电机的空转(停运的电机不会消耗能源)，将电机换成超高效电机(参见上述)，并在交流电路中安装电容器以减少系统中的无功功率幅度。

减小电压失衡

电压失衡减低了三相电机的性能并且会缩短其寿命。电压失衡会导致电流失衡，从而导致扭矩脉动、增加振动和机械疲劳、增加损耗和电机过热(因而减少电机的线圈绝缘材料的寿命)。电压失衡可能由功率因素修正设备的故障、失衡的变压器组或者断路造成。根据经验，在电机接线端的电压失衡不应该超过 1%。即使失衡 1%也会减少电机在部分负荷运行时的效率，而失衡 2.5%将减少电机在全负荷运行时的效率。

对于一部每年运行 8000 个小时的 100 马力电机，将电压失衡从 2.5% 修正到 1%可带来节电 9500kWh，或按\$0.05/kWh (0.4 人民币/千瓦时) 的电费率可节省接近\$500 (约 4,134 人民币) (U.S. DOE 2005)。

确认电压失衡可以通过定期监测在电机接线端的电压和通过定期对电机的热像检测。同时建议核实单相负荷是否均匀地分配和如有需要可安装接地故障显示器。另一个电

压失衡的征兆可能是 120 赫兹的振动，应该立即检查电压的平衡(U.S. DOE 2005)。在轻负载的电机安装电压控制器在美国的典型归本期是 2.6 年(IAC 2003)。

替换皮带传动

现存的数据建议有 4%的泵是使用三角皮带(V-belt)传动，其中许多能用直接耦合来代替以节省能源(Xenergy 1998)。基于对几个产业的评估，与代替三角皮带在关的节能估计有 4%。投资成本估计是每节约 1kWh 需要\$0.10 (0.83 人民币) 而其简单归本期是高达 2 年。

5.6 压缩空气系统

压缩空气在美国工业中一般代表着其中一个最低效的能源使用，由于较差的系统效率。压缩空气典型的系统效率 - 从压缩空气生产到终端使用只是大约 10% (U.S. DOE and CAC 2003)。由于效率低，如果使用压缩空气，也应该是极小的数量和尽可能最短的时间；也应该经常监测和与其他的选择权衡。

许多减少压缩空气系统能源消耗的机会并不是非常昂贵；一些方法的归本期可以是极端地短。从改进压缩空气系统取得的节能是系统总用电量的 20%到 50%范围(McKane et al. 1999)。以下将讨论常用的工业压缩空气系统节能措施。另外，许多在第 5.5 节讨论过的与电机有关的措施，可能也适用于压缩机以减少它们的能源消耗。

系统的改进

应该在对系统作完整的评估之后才考虑增加另外的压缩机。在许多情况下，压缩空气系统的效率可以通过采各种方法和重新安排后以更高的效率运行，无需购买另外的压缩机。以下将讨论利用多种能效措施为压联缩机进行系统改进。压缩空气系统服务供应商为系统评估和持续的系统保养的需要提供综合的服务，减少了与几个不同的企业联系的需要。“压缩空气的挑战” (Compressed Air Challenge ®) (<http://www.compressedairchallenge.org>)提供了大量的系统方法培训和技术刊物，以及为选择合适的综合服务供应商提供免费的网上指导。并且为“走过式”评估、系统评估和完全仪器化的系统审计提供指南(CAC 2002)。

保养

保养不足会降低压缩效率和增加漏气或压力变化，并且导致增高运行温度，不良的湿度控制和过份的污染。改善保养将减少这些问题并且能节省能源。适当的保养包括如下(U.S. DOE and CAC 2003; Scales and McCulloch 2007):

- *经常检查和保养过滤器。* 阻塞的过滤器会增加过滤器两侧之间的压降，浪费系统能源。通过定期检查和清洗过滤器，可尽量减小过滤器的压降。修理运行不当的过滤器也将防止污染物进入设备而可能导致过早的磨损。通常当压降超过 2psi 到 3psi 就应该更换清除微粒和润滑剂的部件。定期地清洁和更换过滤器预期可减少压缩空气系统的能源消耗大约 2%(Radgen and Blaustein 2001)。

- *保持压缩机电机妥当的润滑和清洁。* 电机冷却不良会增加电机的温度和线圈的阻抗，缩短电机的寿命和增加能源消耗。每 2 至 18 个月应该换一次压缩机的润滑剂并定期检查以确信它在适当的水平。此外，适当地润滑压缩机电机将减少系统的腐蚀和退化。
- *检查风扇和水泵*以保持良好的性能。
- *检查疏水阀*以保证它们没有被困在开放或关闭的位置并且是干净的。有些用户将自动凝水疏水阀一直保持在部份地开放以不断地排水。这种方法浪费了相当多的能源因此决不应该采用。反而应该使用简单的压力驱动阀门。应该清洗和修理发生故障的疏水阀而不是让它长期开放。一些自动的疏水阀，例如浮控开关或电子疏水阀不会浪费空气。检查和维修疏水阀的典型归本期是少于两年 (U.S.DOE 2004a)。
- *保养压缩机的冷却器*以保证干燥机得到尽可能低的进气温度(U.S.DOE and CAC 2003)。
- *检查压缩机传动带。* 在使用皮带传动压缩机时，应该定期检查磨损和调节传动带。根据一个好的经验，每运行 400 个小时就作一次调节。
- 根据规定或更频繁地 *更换油气分离器*。螺旋式压缩机的油气分离器一般在开始时有 2psi 到 3psi 的满载压降。当压降增加到 10 psi 时应该更换分离器(U.S. DOE and CAC 2003)。
- *定期检查水冷系统的水质(酸碱度和总体溶解固体)、流量、温度。* 应该根据制造商的规定更换和清洗水冷系统的过滤器和热交换器。
- *尽量减少整个系统的压缩空气泄漏。*
- 应该检查在压缩空气使用中 *过高的压力、时间或容量*。对无需最大系统压力的应用应该加以调控，可将生产线分区或通过设备中的压力调节器。使用高于所需的压力会浪费能源并也能导致缩短设备寿命和更高的维修费用。案例分析显示出这项措施的归本期可以是短于半年(IAC 2003)。

监测

除适当的保养之外，在压缩空气系统中的连续监测系统可节省大量的能源和运行开支。有效的监测系统一般包括以下几项(CADDET 1997a):

- 每台接收器或主要管线都要有压力表，并且在跨过干燥机的两端有压差计、过滤器等。
- 在压缩机和它的冷却系统中都有温度计以查出污垢和阻塞。

- 有流量计来测量使用的空气量。
- 有露点温度计来监测空气干燥器的效率。
- 在压缩机的驱动上有电度表和运行时数计。
- 在重新配置设备之后要检查压缩空气配送系统以保证没有空气流到不使用的设备或弃置的压缩空气配送系统部分。
- 检查系统中任何类型的对流体的约束，例如阻碍或不平滑等会不必要地提高系统的工作压力。根据经验，每提高 2psi 由于流体的阻力所造成的压力会增加 1% 的压缩机能源消耗(U.S. DOE and CAC 2003)。最高的压降通常位于使用点，包括太小或漏气的软管、管道、接头、过滤器、调压器、阀门、喷嘴和润滑器(需求侧)，以及油气分离器，二次冷却器、水气分离器、干燥机和过滤器。
- 检查生产时间以外的压缩空气使用。

减少泄漏

漏气是能源浪费的重要根源。一个典型的未有很好地保养的工业设施的泄漏率可能是总体压缩空气生产能力的 20%到 30%(U.S.DOE and CAC 2003)。总之，修理泄漏预期每年可减少压缩空气系统的能源消耗 20%(Radgen and Blaustein 2001)。

能源损失的大小与在管道或设备中泄漏孔的尺寸有关。一台每年在 87psi 运行 2500 个小时的压缩机的一个直径 0.02 英寸(1/2毫米)的漏孔估计每年会损失 250 kWh; 0.04 英寸(1 毫米)每年会损失 1100 kWh; 0.08 英寸(2 毫米)每年会损失 4500 kWh; 而 0.16 英寸(4 毫米)每年则会损失 11250 kWh(CADDET 1997a)。有几个工业的案例分析显示减少泄漏措施的归本期一般是少于两个月(IAC 2003)。

除了增加能源消耗之外，泄漏可使气动设备减低效率，缩短设备寿命和导致额外的维修费用并增加了不定期的停工。泄漏也增加了压缩机的能源和维修开支。

最常见的泄漏点是接口、喉管、管道、连接件、压力调节器、开启的凝汽阀，以及截流阀、管道接口、快接口和螺纹密封胶。检查泄漏的最佳方式是使用超声波探测器，它可以辩认出与漏气有关的高频嘘声。泄漏检测和修理应该是持续性的工作。

Mead-Johnson Nutritionals，一个婴幼儿配方奶粉和成人营养补充剂的制造商，于 1994 年在印第安纳州 Evansville 的工厂实施了一个压缩空气系统改进项目。节能措施包括了引进监控系统，安装新的压缩机和修理泄漏。该工厂经改善的压缩空气系统的效率提高到仅需要将三分之二的压缩空气容量保持在线运行。该公司每年节约了 \$102000 (约 843,254 人民币)的压缩空气系统能源开支(占工厂总动力开支的 4%)并

有刚超过 2.5 年的归本期。另外，该项目帮助该工厂避免了购买一台新的压缩机 (\$900000, 约 744 万人民币)(DOE 2001d)。

关闭不需要的压缩空气

对于不再使用压缩空气的设备应该将压缩空气完全关闭。可以使用一个简单的电磁阀来实行。当重新配置设备时应检查压缩空气的配送系统，以保证压缩空气没有流到未使用的设备或弃用的压缩空气配送系统。

修改系统以适应增加的压力

对于个别需要更高压力的应用，应该考虑特别的设备修改，例如使用增压器、增加气缸直径、改变齿轮的比率或者将运行时间改到非高峰期，而不是提高整个系统的工作压力。

以其他动力源来取代压缩空气

除了压缩空气以外，还有许多可以在经济上和效率上更好地使用能源来完成操作的选择(U.S.DOE 2004b,2004c)。各种可以取代使用压缩空气的选择包括：

- 电气箱的冷却：使用空调风扇来取代压缩空气流管。
- 使高压空气流过喷嘴来制造真空：应该使用真空泵系统来取代压缩空气文丘里管方法。
- 冷却、抽气、搅动、混合或充气包装：使用吹风机而不是压缩空气。
- 清洁零件或清除杂质：应该使用刷子、吹风机或者真空泵系统而不是压缩空气。
- 活动的机件：应该使用吹风机，电动传动器或者液压而不是压缩空气。
- 工具或传动器：应该考虑电动机因为它们比使用压缩空气有更高的效率(Howe and Scales 1995)。然而，据报道电机与压缩空气相比有精确度不够高，寿命较短和不够安全等不足。在这些情况下，使用压缩空气可能是一个更好的选择。

根据多个工业案例分析，用其他方法取代压缩空气的平均归本期估计在 11 个月(IAC 2003)。

改善负载管理

由于压缩机消耗很多的能源，无论是否在全速运行都应该避免在部份负载下运行。例如，空载的螺旋压缩机仍然会消耗 15%到 35%的满载功率，然而并没有提供有用的效能(U.S.DOE and CAC 2003)。

储气筒可以用在高需求的区域附近以提供供气缓冲来满足可能超出正常压缩机容量的短期需求跃升。这样可能减少所需的在线压缩机的数量。多级压缩机在理论上比单级

压缩机能更有效地运行。多级压缩机通过冷却各级间的空气，减少了压缩空气所要求的容量和工作而节省能源。以两级压缩机代替单级压缩机的归本期一般是二年或者更少(Ingersoll-Rand 2001)。用多台较小的压缩机取代一台大型压缩机也能节省能源。当空载时大型压缩机比多台整体容量相似的小型压缩机会消耗更多电。一个在美国的案例分析了优化压缩机容量的平均归本期大约为 1.2 年(IAC 2003)。

减小压降

过份的压降会导致不良的系统性能和过份的能源消耗。在一个系统中任何类型的流体约束，例如障碍或粗糙，会导致比真实的需求更高的工作压力。对流体的阻力增加了容积式压缩机的驱动能量，每 2 psi 的差别会增加 1%的连接功率(U.S.DOE and CAC 2003)。在使用点常常会发现最高的压降，包括太小或漏气的喉管、管道、快接口、过滤器、压力调节器、阀门、喷嘴、润滑器(需求侧)，以及润滑回转式压缩机和二次冷却器的油气分离器、气水分离器、干燥机和过滤器(供应侧)。

减小压降是需要设计和保养上采用系统的方法。应该在特定的最高运行条件和最佳性能下尽可能选择低压降的空气处理部件。应该遵照制造商对保养的建议，特别在空气过滤和干燥设备中，可能有损害性的水气造成管道的腐蚀等现象。最后，应该尽量减小空气经过配送系统的距离。对工业设施的审计发现这项措施的归本期一般是少于 3 个月(IAC 2003)。

减低进气温度

如果保持恒定的气流，减少进气的气温可减少压缩机使用的能源。在许多工厂中，有可能通过从建筑外面吸气来减低压缩机进气的温度。根据经验，每降温 5°F (3°C)将能节省 1%的压缩机能源(CADDET 1997a; Parekh 2000)。有报告指出输入新鲜空气的归本期是二到五年(CADDET 1997a)。除了节能之外，当使用外面的冷空气时，压缩机会增加容量。工业中的案例分析发现输入外部空气的平均归本期是少于 1.7 年(IAC 2005)，但费用会根据设施的布局有很大的变化。

控制

压缩机控制策略的主要目的是关闭不需要的压缩机和推迟增加压缩机直到有需要为止。有报告指出完善的压缩机控制每年可节能大约 12%(Radgen and Blaustein 2001)。在压缩空气挑战(Compressed Air Challenge®)的《压缩空气系统的最佳实践》(再版)中有一个对压缩机控制的很好回顾 (Scales and McCulloch 2007)。常用的压缩空气系统控制策略包括：

- *开机/停机(开/关)控制*，启动或停止压缩机的电机以回应机器的排气压力。开机/停机控制可以应用在非常低负载循环并可适用于往复式或旋转式螺旋压缩机。典型的开机/停机控制归本是一到两年(CADDET 1997a)。
- *装载/卸载控制*，或恒速控制，允许电机连续地运转，但当排气压力足够时会卸载压缩机。在大多数情况下，卸载的旋转式螺旋压缩机仍然消耗 15%到 35%

的满载功率，但并不提供有用的效能(U.S.DOE and CAC 2003)。因此，装载/卸载控制可能是低效率的。

- *调制或节流器控制*，利用关闭进气阀来限制空气输入以达到改变压缩机的输出。节流控制适用于离心和旋转式螺旋压缩机。
- *单机主控顺序控制*，采用将各台压缩机容量在线和离线以回应受监测的系统压力需求并停止任何不必要的压缩机运行。多台压缩机的系统控制一般比独立的压缩机控制更能提供较高的效率。
- *多机主控*，是压缩空气系统控制的最新技术。多机主控有能力控制四台或更多的压缩机并通过由各个单独控制器组成的网络来提供单独压缩机控制和系统控制(Martin et al.2000)。各控制器会分享信息，使系统能更迅速地和准确地对需求的变化作出反应。一个控制器会成为主控，调控制体的运行。这个策略使每台压缩机都能在最有效的整体运行水平上工作。使高度控制的系统压力减低到接近最低的需求水平(U.S.DOE and CAC 2003)。根据 Nadel et al.(2002)，采用这种先进的压缩机控制预计能达到大约 3.5%的节能。

除节能之外，控制的应用有时能消除对一些现有的压缩机的需要，从而可以将多余的压缩机出售或留作备用。另外可以不用购买压缩机而扩展容量。减少运行的压力也将帮助减少系统的保养要求(U.S.DOE and CAC 2003)。

使用适当直径的管子

在可行和经济的情况下尽可能增大压缩空气系统管子的直径能帮助减少压力损失和泄漏，从而减少系统的工作压力并可节能。增加管子的直径一般能减少 3%的压缩空气系统能耗(Radgen and Blaustein 2001)。通过保证适当地选择系统的其他部件(如过滤器、连接件和喉管等)能达到进一步的节约。

热回收

工业空气压缩机使用的电能中有多达 90%被转变成热。在许多情况下，热回收设备可回收 50%到 90%的该种热并将其用于空间供暖、工艺加热、水的加热、补气的加热、锅炉供水预热和热泵(Parekh 2000)。估计每 100cfm（约 2.8 立方米/每分钟）的压缩机容量每小时可以回收大约 50000Btu（约 1.8 千克标煤）的热(U.S.DOE and CAC 2003)。典型的归本期是少于一年(IAC 2003)。

回收水冷压缩机的热来提供空间供暖并不是很常用，因为需要更多一级的热交换，而且可利用热的温度较低。然而对于大型的水冷压缩机的典型回收效率可达 50%到 60% (U.S.DOE and CAC 2003)。

天然气发动机驱动的空气压缩机

用燃气发动机驱动的空气压缩机代替电动压缩机有其长处和短处。燃气发动机驱动的压缩机更加昂贵，而且保养开支也较高，但整体的运行成本可能会较低，取决于电和

燃气相对的费用。可变速是燃气压缩机的标准功能，因此能对大范围的负载提供高的效率。可以从发动机的夹套和排气系统中回收热。然而，燃气发动机驱动的压缩机也有一些缺点：它们需要更多的保养，可用的寿命也较短，并且可能经受更长的停机期。

美国的一家特种塑料袋制造商 **Ultra Creative Corporation** 在位于纽约州 **Brooklyn** 的工厂中安装了燃气发动机驱动的压缩机。最初成本是两台每台为**\$85000**（约 **702,712** 人民币）的 **220** 马力和一台**\$65000**（约 **537,368** 人民币）的 **95** 马力。公司的报告表明每月节约了**\$9000**（约 **74,405** 人民币）的公用事业费用(每年平均为**\$108000**,约 **892,858** 人民币)(Audin 1996)。

Nestlé Canada 发现它的燃气发动机驱动空气压缩机系统在妥善运行时是一种经济有效的选择。公司估计预期的归本期是:若带有效率为 **75%**的热回收系统的可低至 **2.6** 年，而不带热回收系统的则可能高达 **4.2** 年(Audin 1996)。

5.7 泵¹⁷

在美国，泵系统在制造业设施的用电中占了大约 **25%**。在制药设施中常用泵来抽取如甘醇或冷冻水等冷却剂而它们也是重大能耗的来源。研究表明，泵系统所消耗的能源中有超过 **20%**可通过改进泵设备和/或控制系统来节约(Xenergy 1998)。

值得注意的是，最初成本只是泵系统的生命周期开支的一小部分。能源开支，有时也包括运行和保养开支，在泵系统的终身开支中是更加重要。一般来说，对于一个寿命为 **20** 年的泵系统，泵和电机的最初投资成本只占总开支的 **2.5%**(Best Practice Programme 1998)。相反，能源开支构成了大约 **95%**泵的终身开支。保养费用占了剩余的 **2.5%**。因此，泵系统的最初选择应该高度取决于对能源费用的考虑而不是最初的成本。

泵系统包括泵、驱动电机、管道网络和系统控制(例如可调速驱动或节流器)。以下介绍的能效措施适用于所有泵的使用。由于泵是一个巨大的电机系统的一部分，在第 **5.5** 节中介绍的许多措施也适用于泵系统(包括优化能效的“系统方法”)。如有可能，会提供与特定措施有关的案例分析数据来展示典型的能源和/或成本的节约。

保养

不足够的保养会降低泵系统的效率，使泵更快地磨损并且增加了开支。良好的保养将减少这些问题并且节省能源。对泵系统的妥善保养包括如下(Hydraulic Institute 1994; U.S.DOE 1998):

¹⁷美国能源部的工业技术计划为改进泵效率提供了各种资源，对于本节所提到的许多措施的详细信息可以向其咨询。美国能源部的《改进泵系统的性能：工业的资料册》是一个特别有用的资源(U.S. DOE 2006)。有关一系列的提示、工具以及关于电机和泵效率的工业案例分析，参见工业技术计划的“最佳实践”(BestPractices)中的电机、泵和风机网站：
<http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/systems.html>.

- 更换破损的叶轮，特别是在腐蚀性或半固体中使用。
- 检查和修理轴承。
- 每年或每半年定期更换轴承的润滑。
- 检查和更换密封垫。允许的密封垫泄漏通常是在每分钟 2-60 滴之间。
- 检查和更换机械密封。允许的泄漏一般是每分钟 1-4 滴。
- 更换口环和叶轮。如果叶轮小于最大的直径并增加口环的间隙，泵的效率会降低 1-6 点。
- 检查泵或电机的对中。

虽然运行和保养的节能比其他的措施少，但估计在美国的设施中的典型节约是泵用电的 2%和 7%，而归本期是少于 1 年(Xenergy 1998; U.S.DOE 2002b)。

监测

监测与适当的保养计划相结合可以用于检查问题和确定建立更高效泵系统的方案。监测能确定需要调整的间隙，指出障碍、叶轮损伤、不适当的抽吸、在非最佳状态下运行、堵塞或充满气体的泵或管道，或磨损的泵。监测应该包括以下的内容：

- 监视磨损。
- 分析振动。
- 监测压力和流程。
- 监测电流或功率。
- 跨泵的扬程差别和温度上升(亦称热力学监测)。
- 检查配送系统的结垢或污物积累。

减少对泵的需求

储存罐可以用于平衡生产周期的流量、提高能效和有可能减少增加泵容量的需要。另外，应该消除迂回环路和其他多余的流程。每一个以上的步骤在美国的设施中能平均节省 5-10%的泵系统用电量(Easton Consultants 1995)。降低工作静压，尽量减少从吸入贮罐到出料罐的提升高度，通过虹吸管减少静态高度的变化，降低喷嘴速度也都可以减少对总扬程的要求。

控制

任何控制策略的目的都是关闭不需要的泵，或者另一种方法是减少泵的负载直到有需要为止。Cisco Systems 在 2000 年对它的喷泉泵控制进行了升级，从而在高峰时间将泵关闭(CEC and OIT 2002)。一个无线控制系统能从一个地点同时控制所有的泵。该项目每年节约了 \$32000（约 264,550 人民币）和 400000kWh，代表了节省 61.5%的喷泉泵总能耗。对\$29000（约 239,749 人民币）总成本的简单归本是 11 个月。除了节能之外，该项目还减少了保养费用并且增加了泵系统设备的寿命。

高效率泵

根据清点的数据，在工业中使用的泵有 16%是超过了 20 年。泵的效率在它的整个寿命期中可能会减低 10-25%(Easton Consultants 1995)。较新的泵的典型效率是高出 2-5%，而高效率电机也显示出可增加泵系统的效率 2-5%(Tutterow 1999)。在第 5.5 节可找到更多关于高效率电机的信息。

现有几种高效率的泵可用于特定的扬程和流速容量的需求。选择正确的泵常常能节省运行成本和投资成本。对于特定的负载，选择一个泵在适合使用要求之下以最高的速度运行，一般可成为更高效率和最低最初成本的选择(Hydraulic Institute and Europump 2001)。例外的有包括渣浆处理泵、高比转速泵，或者在泵的进口要求非常低的最小净正吸头的泵。

使用适当容量的泵

使用容量不适当的泵会造成不必要的损失。当可以减少最大负荷时，也可以减少泵的大小。用适当容量的泵取代过大的泵能节省泵系统耗电量的 15-25%(美国工业的平均值) (Easton Consultants 1995)。当泵显著地过大时，可以用齿轮或皮带传动或慢速电机来减低它的转速。实施这些解决方法的归本典型的是少于 1 年(U.S.DOE 2002b)。

作为美国能源部“电机挑战计划”的参加者，Welches Point 泵站(位于康涅狄克州 Milford 的一家中型水处理厂)将他们系统中四台相同的泵中的一台换成一台较小的型号(ITT Flygt 2002)。他们发现较小的泵可以更有效地处理典型的系统流量，而其余的三台较大的泵可以作为高峰流量时的后备。由于较小的泵需要较长的运行时间来处理相同的总流量，因而较慢的流速和减低的压力导致了较少与摩擦有关的损失和较少的磨损。换成较小的泵使每年可节约超过 20%的泵系统耗电量。如果城市中的 36 个泵站每一个都使用这个系统每年将节能\$100000（约 826,720 人民币）。除了预期的节能之外，较少的磨损可导至较少的保养，较少的停机时间和更长的设备寿命。另外，较小的泵也显著减低了泵站的噪音。

对可变负载使用多个泵

使用多个泵常常是解决可变负载的最经济有效和最高能效的方法，特别是在以静压头为主的系统中。为变化幅度大的负载安装并行系统可节省 10-50%的泵用电量(美国工业的平均值) (Easton Consultants 1995)。并行的泵也能提供余量和增加可靠性。对芬兰的纸浆和造纸厂的一个案例分析表明另外安装一个小泵(“小马泵”)与现有的用于循环

从造纸机到两个槽的水泵并行，可减低大泵除了起动以外的所有负载。估计每年可节能\$36500（约 301,753 人民币）（或每年 486 MWh）而归本仅需 6 个月(Hydraulic Institute and Europump 2001)。

调整叶轮

如果在运行流速时存在着大的压差(表明有过份的流量)，可以通过调整叶轮直径(也称为“刮轮”)使泵不再产生这样高的扬程。在食物加工、造纸和石化工业中，调整叶轮或降低齿轮比率估计能节约多达 75%的泵用电量(Xenergy 1998)。

在化工加工业的一个案例分析中，将泵的叶轮从 320 毫米减少到 280 毫米，从而减少了超过 25%的泵功率需求(Hydraulic Institute and Europump 2001)。每年的能源需求减少了 83MWh(26%)。以\$390（约 3,244 人民币）的投资成本，单单在节能上的归本是 23 天。除了节能以外，也减少了保养费用，改进了系统的稳定性，减少了泵的气蚀，并且消除了过份的振动和噪音。

为减少能源消耗和改进啤酒冷却过程的性能，Stroh 啤酒公司对位于威斯康辛州 La Crosse 的 G. Heileman 分部的酿造设施中用于成批冷却啤酒产品的甘醇循环系统进行了分析。通过简单地减少泵叶轮的直径和完全开启出口阀门，将冷却循环系统的用能减少了 50%，在第一年就节省了\$19000（约 157,077 人民币）。以\$1500（约 12,400 人民币）的成本，这个电机挑战计划的示范项目达到了大约 1 个月的简单归本(U.S.DOE 2001c)。

5.8 冷冻

冷冻是制药工业的另一个重要的生产过程并且有着许多不同的用途。在制冷系统中的部件、工艺和系统范围都可以取得节能(ATLAS Project 1997)。节能措施包括减少冷凝器的压力、正确地选择和排序压缩机、优化保温、消除在工厂内的非基本热负荷。另外，在本能源指南的前面部分介绍过的许多对于电机、压缩机、泵、建筑(外壳)的能效措施也适用于冷冻系统。

运行和保养

通过注意改善冷冻系统的运行和保养常常能以非常低的投资成本达到节能(Caffal 1995)。这类改善可能包括关紧门，设定正确的压头，维持制冷剂的正确水平，有效地保养冷却塔，在部分负载时选择和运行合适的压缩机。也可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冷冻输出。三毫米的水垢可能增加 30%的功率输入和减少 20%的输出(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倾向，因而需要排放以避免减少热传递。另外，在冬季凉快的室外空气有时可能起到减少设施的冷却能源负荷的作用(Farrell 1998)。

系统监测

在制冷系统中引入自动监测能帮助能源管理人员和设施的工程师追踪能源消耗，分析不良的性能，优化系统性能，以及在需要大修之前确认问题的范围。能源绩效的自动监测还不是很普及，但它可以非常有利于暴露不良的部分负载效率和确认系统的恶化(如低制冷剂量的影响)。自动化监测的费用与系统的大小成正比，而在新的系统中可能会较少，因为大多数的数据常常可以从控制系统中得到。监测系统应该有能力向操作人员提供系统和部件层次的信息以及向管理部门提供高性能的绩效汇总。采用这项措施估计可节省 3% 的冷冻能耗。

监测制冷剂量

在许多小型的直接膨胀(DX)系统中存在着低制冷剂量的情况，它也可能存在于大型满液式或循环式系统中而没有明显的显示。没有适当的监测来保证制冷剂被充满到合适的程度，相当多的能源可能会浪费在制冷系统中。Scott(2004)估计对于 DX 系统，每六台中有一台有低制冷剂量(或有时过多地充灌)的问题，足以增加能耗 20%。制冷剂量的监测一般对于大型氨系统是不必要的。

优化冷凝器和蒸发器的参数

一个优化的制冷系统应在冷凝器的条件和蒸发器的条件之间的差别最小的情况下运行。对于冷凝器，目标是要得到制冷剂可达到的最低凝结温度和压力。这样能减少输入功率并增加冷冻输出。对于蒸发器，增加温度和压力会增加压缩机的输入功率，但能显著增加系统的冷冻输出。每增加一度蒸发器的温度能减少压缩机的用电量大约 3% (Hackensellner 2001; Lom and Associates 1998)。

监察吸入管路的过滤器

当吸入管路过滤器被碎片阻塞时，会增加跨过过滤器的压降，从而减少系统的效率。另外，监察碎片是否由回归的蒸气所带来的也是重要的。如果属实，有可能是吸入管的内表面发生了侵蚀，从而会导致过早的管道故障。如果找到了碎片，就应该实施腐蚀率测试项目(Dettmers 2004)。

这项措施通常适用于较小规模的 DX 系统(通常以卤烃为基础的系统，不是以氨为基础的系统)。然而，所有的制冷系统都可以监测可能来自许多来源的异常压降(Scott 2004); 这种监测可能取得大约 3% 的节能。

监测制冷剂的污染

应该定期监测制冷剂中的污染物(如油、水等)以保证及早检测到系统在运行和保养上的问题。由于实行这项措施而取得的节能估计是 2%。

冷冻管线和夹套的保温

如果冷冻管线是无保温的而且管线与周围环境的平均温差是显著的(例如超过 15°F)，那对它实施保温常常是经济有效的。如果管线已经有保温，保温升级就可能不是经济有效的。有趣的是，保温的夹套槽比处于保温的封闭空间(冷冻间)内的槽使用更少的冷冻能源，由于减少了损耗(Kidger 2001)。

余热回收

在可行之处可以回收制冷系统的余热来提供空间供暖或水的加热，能减少加热所需要的电力和/或燃料消耗。制冷系统的余热回收技术与压缩空气系统的压缩机余热回收技术是相似的(参见第 5.6 节)。

在较低的系统压力下运行

制冷系统的高运行压力会导致压缩机的高能耗和压头损失。较低的运行压力能减少压缩机的能耗，同时也减少了系统的保养开支(如管道)。然而，在降低系统运行压力时也必须考虑冷凝器和蒸发器的最佳压力和温度要求(之前在本节讨论过)以保证最大的能效。两个案例分析都显示了与降低运行压力有关的归本期是少于 1.5 年(IAC 2003)。

吸收式制冷机

吸收式制冷机使用热而不是机械能量来提供冷却。在吸收式制冷机中，来自制冷系统的蒸发器的制冷剂蒸气首先由在吸收器中的溶液吸收。然后将这种溶液从吸收器用泵抽到发生器中，在此利用余热(例如蒸汽)将制冷剂再次汽化作为能量来源。最后，耗尽制冷剂的溶液通过一个节流器回到吸收器，从而完成了循环。吸收式制冷机比机械制冷机的性能系数(COP)更低；但由于它们使用低级余热作为能源，吸收式制冷机能减少运行成本。现有的低压和由蒸汽驱动的吸收式制冷机的容量是从 100 到 1500 吨(U.S.DOE 2003)。吸收冷却和制冷与热电联产相结合可能会更有吸引力(所谓的三联产；参见第 5.11 节)。

5.9 照明

在制药工业中典型的照明所使用的能源是少的。但是还有可能找到经济有效地减少照明能耗的能效机会。照明是用于提供生产、存贮和办公室空间的整体环境照明或提供具体区域的低棚和工作照明。前者使用高强放电(HID)光源，包括金属卤化物灯、高压钠灯和水银蒸气灯。荧光灯，紧凑型荧光灯和白炽光则一般用于在办公室的工作照明。“能源之星”在它的网站提供了更多在优化办公室和建筑照明方面有用的资讯(<http://www.energystar.gov>)。

与电机系统一样，最有效和最高效率的策略是使用系统化的方法去满足照明的需求。例如，美国国家卫生研究院的 Louis Stokes 实验室采用了策略的组合来改进他们的照明系统效率。首先将所有的荧光灯具换成更加高效率的 T-8 灯和电子镇流器。然后安装了行动传感器控制的灯和发光二极管(LED)安全出口标示灯。接着安装了一个程序控制的照明设备控制系统。最后使用双倍高的窗口和曲线的天花板让更多的日光照入实验室空间。由于这些措施，每个单位照明范围的平均能源消耗率减少到令人敬佩的每平方英尺建筑面积 1.6W (每平方米建筑面积 17.22W) (U.S. EPA/DOE 2001b)。

位于新墨西哥州 Albuquerque 的 Sandia 国家实验室的处理和环境技术实验室采取了与 Louis Stokes 实验室相似的措施。预期能使照明水平降低到每平方英尺 1 W，但是在措施实施以后发现实际的能源消耗更低了 25%，即每平方英尺 0.75W (每平方米 8W) (U.S.EPA/DOE 2001c)。

照明也会产生相当多的热。因此照明设备效率措施也带来了设施暖通空调的运行和能耗的节省。所带来的节省幅度取决于气候和天气情况(Sezgen and Koomey 2000)。

关掉无人活动区域的灯

一项容易和有效的措施是鼓励员工关掉在无人活动的建筑空间的灯。注重改善员工对于能源的意识能源管理计划能帮助职工养成关掉不用的灯和其他设备的习惯。

照明控制

可以通过自动控制将灯在非工作时间关掉，例如活动感应器能在当室内无人活动时将灯关掉。活动感应器能节省 10-20%的设施照明用能。多个在美国各地的案例分析提出活动感应器的平均归本期是大约 1 年(IAC 2003)。

在位于新泽西州 Rahway 的 Merck 办公和存贮大楼，将照明控制板的程序编排成在预期的非使用时间中自动关掉大楼的(在入口走廊的超控开关能够在需要时手动开灯)。每年共计节约 1310 MBtu (约 47 吨标煤)，相当于每年减少与能源有关的二氧化碳排放将近 260 吨(Merck 2005)。

手动控制与自动控制相结合可用于在小范围中节省更多的能源。其中一项最容易的措施是安装允许居住者控制灯具的开关。重要的是使员工意识到在无人活动的空间将灯关掉的重要性(EDR 2000)。其他照明控制包括对室内和室外的灯实行日光控制，即根据现有的日光调节电力照明设备的强度。

图 8 照明的安排和控制

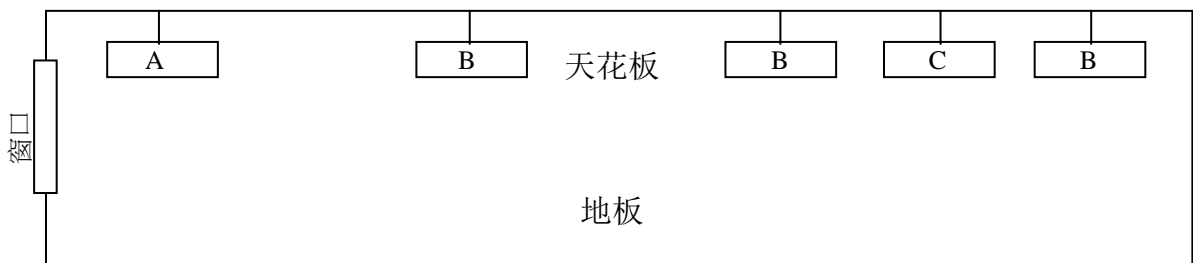


图 8 显示了一个能效照明控制的举例，它描绘了在工作区的五排顶灯。在白天日光最明亮的期间，窗口提供了充足的日光因而只需开亮 C 排的灯。当日光强度下降时，开亮所有 B 排的灯并关掉 C 排的灯。仅在晚上或天非常阴时才有必要开亮 A 和 B 排的灯(Cayless and Marsden 1983)。这些方法可以作为一种控制策略用于更新现有的照明设备。例如在白天日光最明亮的期间只将远离窗口的照明行列开亮，然后根据需要才开亮补充的行列。

安全出口标示灯

将安全出口标示灯从白炽灯改为 LEDs(发光二极管)或镭条可减少能源开支。一个白炽标示灯使用大约 40W，而 LED 标示灯可能只使用大约 4-8 W，减少了 80-90%的用电

量。照明设备研究中心在 1998 年的调查发现所出售的安全出口标示灯中大约有 80% 是发光二极管(LRC 2001)。发光二极管安全出口标示灯的寿命大约是 10 年，与白炽标示灯的 1 年相比能减少可观的维修费用。除了安全出口标示灯以外，越来越多的发光二极管使用在道路标志和紧急通道指示系统。由于它们的寿命长和工作时发热少因而能嵌入塑料材料中成为最适合这类的应用(LRC 2001)。

一个新的发光二极管安全出口标示灯的典型费用是\$20-\$30（约 165-248 人民币）。有用以替换现有标示灯的套件以相似的价格出售。归本期可以低至 6 个月。美国环保局的“能源之星”计划网站(<http://www.energystar.gov>)提供了发光二极管安全出口标示灯的供应商名单。

另一个选择是本身发光而不需要任何电源的氙气安全出口标示。这些标示的寿命估计大约有 10 年而费用可达每个\$200（每个约 1,653 人民币）或以上。这样高的投资成本使这个类型的标示对新建工程或没有电源的位置有吸引力。

电子镇流器

镇流器是调控开启照明设备时的电量要求和维持稳定的照明输出的装置。电子镇流器比它们的磁性前辈能节省 12-30%的电力(Cook 1998; EPA 2001)。新型的电子镇流器有平滑和安静的调光能力，除了长寿(长达 50%)之外，还有更快的启动时间和工作时发热更少(Eley et al. 1993; Cook 1998)。新型的电子镇流器也对有故障或寿终的灯有自动关闭的能力。

估计与电子镇流器替换磁性镇流器有关的节能典型地大致是 25%; 然而，总体节能将取决于有多少磁性镇流器乃然在使用。

将 T-12 灯管换成 T-8 灯管

在许多工业设施中常见 T-12 灯管的使用。T-12 灯管的直径是 12/8 英寸("T-"指的是灯管的直径是以每 1/8 英寸来递增)。T-12 灯管消耗相当多的电，并且有极差的效率、寿命、光通量衰减和显色指数。因此，T-12 灯管的维修和能源开支是高的。把 T-12 灯管换成 T-8 灯管(更小的直径)使功效比前者增加了将近两倍。而且 T-8 灯管的寿命一般比 T-12 灯管长 60%，从而节省了维修费用。把 T-12 灯管换成 T-8 灯管的典型节能是大约 30%。根据一些美国工业设施的经验，把 T-12 灯管换成带有电子镇流器的 T-8 灯管的成本估计是节省每度(kWh)电需要\$0.25 -\$0.30（2-2.5 人民币）。

将水银灯换成金属卤化物灯或高压钠灯

在注重色彩还原的场所用金属卤化物灯替换水银或萤光灯可节能 50%。位于加利福尼亚州 Santa Monica 的 Gillette 公司生产设施将 4300 盏 T-12 灯换成 496 盏金属卤化物灯，并另外将 10 个手控开关换成 10 个日光控制开关(U.S. EPA 2001)。他们每年减少了 58%的用电量和节省了\$128608（约 106 万人民币）。项目的总开支是\$176534（约 150 万人民币），因此归本期是少于 1.5 年。

在色彩还原不很重要的场所，与水银灯相比高压钠灯可提供节能 50-60%(Price and Ross 1989)。

减低高强度气体放电 (HID)灯的电压

减低照明系统的电压也可以节省能源。丰田的一个工厂安装减低电压的 HID 灯从而达到了减少照明能耗 30%(Toyota 2002)。在市场上有可接到中央开关板(可由计算机控制)上的限制流到灯具的电流的产品，从而在难以觉察的光损失之下能减低电压和节省能源。电压控制器可用于 HID 灯和萤光照明系统并且有多个供应商。

高强度荧光灯

传统的 HID 照明设备可以换成高强度荧光灯。这些新的系统通过结合高效率荧光灯、电子启动器和高效率灯具来向工作场所输出最大的照明量。新的系统有很多的长处；它们有更低的能源消耗，在灯的寿命期间有更低的光通量衰减，更好的调光选择，更加快速的启动和再启动能力、更好的色彩还原、更高的眼瞳流明率和较少眩光(Martin et al. 2000)。高强度萤光系统比标准的金属卤化物 HID 系统节电 50%。在金属卤化物 HID 灯中不实用的调光控制在高强度萤光系统中也能节省大量能源。系统改造的费用大约是每套装置\$185（约 1,529 人民币），包括了安装的费用(Martin et al. 2000)。

在波兰 Rzeszow 的一间 Novartis 工厂中，以往是由低照明效率和高电力消耗的水银灯提供照明。水银灯也不符合“危险分析和关键控制点”(HACCP)的要求。工厂管理部门决定在设施现代化规划的一个广阔框架之内投资一个新设计的使用非常有效率的现代化萤光灯系统。结果增加了 85%的照明强度、减少了 30%的电力消耗，以及通过对灯具的特别破裂安全设计达到了 HACCP 的要求(Novartis 2004)。

采光

采光涉及到在建筑中有效地利用自然光源以减少对人造光源的需求。在房间内增加日光的水平可减少电力照明设备的负荷 70%(CADET 2001; IEA 2000)。不同于常规的天窗，一个高效的采光系统可提供分布均匀的光而不会产生热增量。与天窗相比减少热增量将减少对冷却的需求。由于将它的特点整合到建筑物的建筑设计中，因而采光与其他能效措施有所不同；所以它主要应用于新的建筑中并且在设计阶段加以整合。然而，现有的建筑常常能经济有效地改装采光系统。市场上有各种现成的采光系统，其中一些可以作为套件供改装现有的建筑。

采光可以与照明控制相结合来最大地发挥它的长处。由于它的可变性，采光几乎总是与人造光源相结合来提供在多云或天黑以后所需的照明(也参见图 8)。采光技术包括适当安置和遮蔽的窗口、天井、定向或传统(平的)的屋顶灯、高窗、采光棚和导光管。高窗、采光棚和导光管能适应太阳的各种角度并且使用墙壁或反射器改变日光的方向。

设施中不是所有的部分都适合使用采光。采光最适用于有人在白天工作的区域。取决于设施和建筑，取得的节省将有很大的变化范围。采光系统典型地有大约 4 年的归本期，虽然有些取得了更短的归本期。

关于采光的更多资讯可以从由威斯康辛州的能源中心领导的“采光合作”的网站上找到 (<http://www.daylighting.org/>)。另外，Labs 21 计划也为在实验室空间应用采光制定了具体的指南(U.S. EPA/DOE 2000)，“国际能源机构”也出版了采光的资源手册(IEA 2000)。

位于伊利诺州 Skokie 的 Pharmacia 的大楼 Q，使用 Low-E 玻璃的窗户来过滤掉红外线，只允许可见光进入大楼。在大楼中和两个 skylit 天井也允许更多的光照入它的内部。他们的采光设计的能源消耗预期是每平方英尺的建筑面积 4.5 kWh（每平方米建筑面积 48kWh）；实施后发现能源消耗只有每平方英尺的建筑面积 3.1 kWh（每平方米建筑面积 33kWh）(U.S. EPA/DOE 2002a)。

5.10 热和蒸汽的配送

锅炉是蒸汽系统的核心，而配送系统的目的是将从锅炉产生的蒸汽送到使用它的工艺中。在许多工业设施中锅炉和蒸汽配送系统导致了主要的能源损失；因此一向是有可能对它们实行大量的效率改善。以下列出了许多常见的锅炉和蒸汽配送系统的节能措施。这些措施围绕着改善运行控制、减少热耗和改进热回收。除了以下措施以外，值得注意的是，几乎所有的锅炉应该总是按用户所需的配置来建造。预先设计好的锅炉经常有可能是过时的设计，因此不可能调整到实际的蒸汽生产和配送系统的需要(Ganapathy 1994)。

锅炉的运行控制

烟气监测器能保持最佳的火焰温度并监测一氧化碳(CO)、氧气和烟。废气中的含氧量是由过量的空气(故意引入以改善安全或减少排放)和渗漏的空气(渗漏入锅炉的空气)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。假定这项措施仅可以应用于大型锅炉，因为小型锅炉不容易筹集最初的投资成本。有几个案例分析表明这项措施的平均归本期是大约 1.7 年(IAC 2003)。

减少烟气体量

过量的烟气体常常起因于锅炉和/或烟道的泄漏。这样会减少转移到蒸汽的热量并且增加了泵的需求。修理这些泄漏经常是很容易的。节省共计是 2-5%的锅炉以前使用的能源(U.S. DOE 2001a)。这项措施与烟气监测不同因为它包括根据目测检查的定期修理。由于它们是解决同样的损失，从这项措施和从烟气监测得到的节能是不能累计的。

减少过量的空气

越多的过量空气用于燃料的燃烧，就越多热量被浪费在加热这些空气而不是在生产蒸汽。空气轻微超出理想的化学计量空气/燃料比是为了安全的需要和减少氧化氮(NOx)的排放，但大约 15%的过量空气就足够了(DOE 2001d; Ganapathy 1994)。大多数锅炉已经在 15%或以下的过量空气中运行，因而这项措施可能不会被广泛地应用(Zeitz

1997)。然而，如果锅炉使用过量的空气，许多案例分析表明这项措施的归本期是少于一年(IAC 2003)。根据常用的经验，减少每 15%的过量空气或减少烟道气温 40°F (22°C)，锅炉效率就可以增加 1%(DOE 2001d)。加拿大工业节能计划(CIPEC)估计减少烟气中的氧气 1%可增加锅炉效率 2.5%(CIPEC 2001)。

适当地选择锅炉系统的容量

将锅炉系统正确地设计在适当的蒸汽压力能以减少烟囱温度，减少管道系统的散热损失以及减少气阱和其他来源的泄漏来节省能源。在加拿大对 30 个锅炉厂进行的研究显示，这项措施可节省 3-8%的总体燃气消耗量(Griffin 2000)。当蒸汽压力减少到 70 psig 以下时所得的节省是最大的。

当不在或不接近满载运行时使用更小的锅炉也能减少能源的使用。在加拿大萨斯喀彻温省监狱安装了两个新的小型锅炉供他们在夏天运行和补充冬天的运行。它们取代了大多数时间都在低火下运行的旧的容量过大的锅炉。他们发现节约了燃气 17% (或 18321MBtu, 660 吨标煤)，从而每年节省能源费用\$50000 (约 413,360 人民币) (CIPEC 2001)。一个案例分析显示，正确的锅炉容量能节省\$150000 (约 124 万人民币) 而归本期只是 2.4 月(IAC 2003)。费用和节省很大程度取决于对目前系统的利用。

锅炉的保温

有可能使用新的材料，例如同时能更好地保温和具有更低的热容量(因而可以更迅速地加热)的陶瓷纤维。如果将改善保温与改善加热器线路控制相结合可达到节省 6-26%。由于新材料具有更低的热容量，锅炉的输出温度更容易受加热元件的温度波动的影响 (Caffal 1995); 因此常常需要改进控制以适应新的保温材料来保持所需的输出温度范围。

锅炉的保养

一个简单的保养计划以保证锅炉的所有部件都在最佳状态运行可取得显著的节能。在缺乏一个良好的保养系统时，燃烧器和冷凝回收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(U.S. DOE 2001d)。与改进锅炉保养有关的节能估计平均在 10%(U.S. DOE 2001d)。改进保养也能减少排放标准的空气污染物。

在锅炉壁管火焰侧的污垢或水冷侧的水垢也应该受到控制。燃煤锅炉比用天然气或燃油的锅炉有更多的污垢和水垢问题(应该经常检查烧固体燃料如煤的锅炉，因为它们比液体燃料锅炉有更高的污垢倾向)。试验证明 0.03 英寸(0.8 毫米)的烟灰层可减少热传递 9.5%，而 0.18 英寸(4.5 毫米)的烟灰层可减少热传递 69%(CIPEC 2001)。至于水垢，0.04 英寸(1 毫米)的积累可增加燃料消耗 2%(CIPEC 2001)。

烟气的热回收

根据 CIPEC(2001)，回收烟气的热是蒸汽系统中最佳的热回收机会。烟气的热可以用于在节热器中预热锅炉供水。虽然这项措施在大型锅炉中是常用的，但经常仍有回收更多热量的余地。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低到低于烟气中酸的露点以下(例如在含硫矿物燃料中的硫磺酸)。在传统上是将从节热器出

来的烟气保持在显著高于酸的露点。实际上由于水有较高的传热系数，节热器墙壁的温度是取决于供水温度多过烟气温度。因此，有理由在送入节热器之前将供水预热到接近酸的露点。这就允许将节热器设计成排出的烟气只稍高于酸的露点。排气温度每降低 45°F (25 C°) 相当于节省了百分之一所使用的燃料(Ganapathy 1994)。案例分析显示这项措施的平均归本期大约是 2.7 年(IAC 2002)。在美国半导体制造工业应用这项措施显示了短至 11 个月的归本期(Fiorino 2000)。

在弗吉尼亚州 Elkton 的 Merck 的生产设施在两个主锅炉安装了热回收系统，用于预热锅炉供水和供燃烧的空气。热回收系统使锅炉系统接近 95% 的整体热效率。该项目减少了 2.85% 的锅炉燃料，相当于每年 39185 MBtu (1,410 吨标煤)。每年防止了将近 2350 吨的二氧化碳 排放(Merck 2005)。

冷凝水的回收

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，并可回收高达 100°C (212°F) 可感热的水。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，回收的凝结水能大量减少购买用于处理水的化学制品。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，使建立回收管道系统更有吸引力。例如在美国的一家金属制品厂以最初的 \$2800 (约 23,148 人民币) 实施费用安装了一个凝结水回收系统，每年达到了节省 \$1790 (约 14,798 人民币) 而且归本期仅 1.6 年(Kirk and Looby 1996)。

位于康涅狄格州 Groton 一家 Pfizer 的工厂对他们的凝结水回收系统进行了升级，从而达到减少用电量 9% 和减少用水以及污水排放 8%(Pfizer 2001)。结果，Pfizer 每年通过避免购买的油、气和水节省了大约 \$175000 (约 145 万人民币)。

回收排污蒸汽

当水从高压锅炉水柜喷出时，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。回收排污蒸汽在小型锅炉中可节约 1.3% 的锅炉燃料。¹⁸在美国半导体制造工业的应用显示了归本期短至 1.5 年(Fiorino 2000)。两个其他的审计显示了这项措施的归本期为 0.8 年和 2.5 年(IAC 2003)，表示了一个正确的评估要对当地条件进行评定的重要性。除了节能之外，回收排污蒸汽也可能减少在蒸汽系统管道中潜在的腐蚀损害。

更换锅炉

将低效率的燃煤锅炉换成燃气锅炉能增加能效和减少排放。在英国的 Bristol Aerospace 用三台高效率双燃料天然气/电力锅炉替换两个过时的锅炉从而达到每年节能 \$23000 (约 190,145 人民币) (Caffal 1995)。

配送系统的保温

¹⁸根据以下假设：10% 的锅炉水是由于排污 (DOE 2001d)，在排污水中 13% 的热能是可以被回收 (Johnston 1995)。

在应用中使用更多的保温材料或使用最佳的保温材料可在蒸汽系统中节省能源。选择保温材料的关键因素包括低导热性、在温度变化之下能保持稳定的尺寸、不吸水和阻燃。取决于应用的情况，保温材料的其他特点也可能是重要的。这些特点包括对大幅度温度变化的容限，对系统振动的容限，以及当保温材料承重时有充分的耐压强度 (Baen and Barth 1994)。改善美国现有的热配送系统的保温将会在所有系统平均节省 3-13%(U.S. DOE 2001d)。两个案例分析表明改善保温材料的归本期是大约 1 年(IAC 2003)。加拿大工业节能计划(2001a)估计投资于一段 10 英尺(3 米)长、4 英寸(10 厘米)直径的蒸汽管道的保温可以在少于 6 个月内得到归本。

常常发现当热配送系统经过某种形式的修理之后，保温材料并没有被更换。另外，某些种类的保温材料经过一段时间以后可能会变得脆弱或腐烂。因此对保温有一个定期的检查和保养系统可节省能源(Zeitz 1997)。未知该措施确切的节能和归本期而且它们是基于现有的实践而变化。

凝汽阀的改善

使用现代温控元件的凝汽阀能在改进可靠性的同时减少能源的使用。这些汽阀的主要效率优点是能在非常接近饱和和蒸气温度(在 4 °F 或 2°C 之内)时打开，每次打开后清除了不可压缩的气体，并且在起动时打开使蒸汽系统快速加热。这些汽阀也有高度可靠和能用于各种广泛的蒸汽压力的优点(Alesson 1995)。

凝汽阀的保养

一个用以保证它们妥善地运行的简单凝汽阀检查计划能以很少的开支来节约可观的能源。如果没有定期地监测凝汽阀，高达 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保养可节能 10%(U.S. DOE 2001d; Jones 1997; Bloss et al.1997)。一个案例分析表明归本期是少于 4 个月(IAC 2003)。虽然这项措施能提供快速的归本期，但它常常没有被实施，因为保养和能源开支的预算是分开的。除了节省能源和成本之外，正常工作的凝汽阀将减少蒸汽配送系统被腐蚀的风险。

凝汽阀的监测

附有自动监测器的凝汽阀与保养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的保养，因为它能更快地注意凝汽阀故障，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 5%的能源，而归本期是一年¹⁹ (Johnston 1995; Jones 1997)。能实施凝汽阀保养的系统也很有可能实施自动监测。

泄漏的修理

与凝汽阀一样，如果没有定期的检查和保养计划，配送管道常常有未被注意的(以平均来讲)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

¹⁹计算是基于英国一个 0.75 年的归本期。由于能源价格在美国更低，因此在美国的归本要更长，而投资成本则是相似的。

性，因而从长远来看可节省更多(U.S.DOE 2001d)。在 IAC 数据库的一个案例分析显示了一个短于一个星期的归本期(IAC 2003)。

闪蒸汽的回收

当凝汽阀将有压力的蒸汽配送系统中的冷凝水释放到常压环境时会产生闪蒸汽。与锅炉排污时产生的闪蒸汽一样，它们可以用于空间供暖或给水预热(Johnston 1995)。这项措施的潜力极大地取决于设施的情况，因为产生闪蒸汽者不大可能会建造一个新的管道系统来将这些低档蒸汽输送到使用的地方。从另一方面看，如果该低档热的使用地点已经非常接近凝汽阀，这项措施就容易实施并且可能节省可观的能源。

预防性保养

一个普通的预防性保养(PM)计划将不断的蒸汽系统检查、修理和升级制度化以保持蒸汽配送系统在高峰效率下运行。一般的预防性保养计划将结合以上介绍过的许多措施并一般能得到显著的节省。例如，在马里兰州 Chestertown 的 Velsicol 化工公司的设施中，实施了一个改良的预防性保养计划以不断地确认蒸汽系统中的能源损失。实施这项预防性保养计划的费用是 \$22000 (约 181,878 人民币)。这项措施减少了该工厂的基于每个生产单位的能源消耗 28%并且有刚好超过 2.5 月的归本期。该工厂由于该项目而获得了 1997 年度化学制品制造业协会的节能奖(U.S. DOE 2000)。

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 et al. 1992; CADDET 1993)。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。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)。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，它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 2000; 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、保温和凝汽阀的管理等。

夹点分析和与其竞争的生产过程整合工具在近几年得到了进一步的发展。在能源方面最重要的发展包括了有选择的热回收工艺例如热泵和热转换器，以及批量生产过程的夹点分析(或换言之在热整合的分析中引入时间作为一个因素)。在批量生产过程使用生产过程整合技术对制药工业是尤其重要，由于它主要使用的是批量生产过程。

此外，可将夹点分析应该用于新的生产过程和工厂的设计，因为生产过程整合超出了优化热交换器网络的范围(Hallale 2001)。尽管是新的设计，还是能够找到更多的改善能效机会。夹点分析也延伸到水的回收和效率方面以及氢气的回收。

5.11 热电联产

对于象药物制造这类有工艺加热、蒸汽、和电力需求的工业，使用热电联产(CHP)系统可以节能和减少污染。热电联产厂比标准发电厂的效率显著更高，因为它们可利用余热。另外，由于热电联产系统处于或者靠近工厂使传输损失减到最小。正如在第4章所提到的，美国制药工业对热电联产的使用还是有限的，有向合适的地点扩展的余地。

公用事业公司经常与各个公司一起合作为他们的工厂发展热电联产系统。在这种情况下，公用事业公司会拥有和操作工厂的热电联产系统；因此公司可避免与热电联产项目有关的资本支出，但能从获得更高能效的热和电的来源中受益。

除了节能之外，热电联产系统也比公用发电有相同或更好的服务效率。例如在汽车工业中，有报告指出典型的热电联产装置能成功地在 95-98%的所计划的运行时间中工作 (Price and Ross 1989)。对于最初投资大的设施，有可能将多个小规模的热电联产装置分布在各使用地点也是经济有效的。

目前，大多数大型的热电联产系统使用的是蒸汽轮机。由于能增加发电的能力，改成基于天然气的系统将改进热电联产系统的功率输出和效率。虽然基于蒸汽轮机的热电联产系统的总体系统效率(80%，最高热值-HHV)是高于基于燃气轮机的热电联产系统(74%，HHV)，但基于燃气轮机的热电联产系统的电力效率更高(典型的工业规模燃气轮机为 27-37%)(Energy Nexus Group 2002a, 2002b)。基于蒸汽轮机的热电联产系统的功热比是非常低的(限制在大约 0.2)，因而限制了发电量。基于燃气轮机的热电联产系统的功热比则高得多(在 0.5 到 1.0 之间)，因而同量的燃料可生产更多的电。这样有可能改善基于燃气的热电联产装置的收益，但要取决于发电厂的电价。现代的基于燃气的热电联产系统的保养费用低，并且能减少相当多由发电产生的氮氧化物、二氧化硫、二氧化碳和微粒物质的排放，特别是当取代燃煤锅炉时(Energy Nexus Group 2002a, 2002b)。

一般来说，用一个标准的基于燃气的热电联产装置取代一个传统的系统(即一个用基于锅炉蒸汽和基于电网供电的系统)估计可节能 20%-30%。当取代较旧或保养不足的锅炉时可获得更高的效率。

联合循环(结合燃气轮机和背压式蒸汽轮机)为大型设施的电力和蒸汽生产提供了灵活性,并且在较小的设施也有应用潜力。注蒸汽燃气轮机(STIG)能吸收剩余的蒸汽(例如由于季节变化而减少对热的需求)通过将蒸汽注入汽轮机到来增强发电。典型的注蒸汽燃气轮机的容量由大约 5 兆瓦开始。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。例如, **International Power Technology** 于 1985 年在加利福尼亚州 **Ontario** 的 **Sunkist Growers** 安装了注蒸汽燃气轮机。这个类型的汽轮机使用从燃烧式汽轮机的排气热将水变成高压蒸汽。然后将蒸汽反馈到燃烧室与燃气混合。这个系统的优点是(**Willis and Scott 2000**):

- 通过涡轮增加蒸汽的流量从而增加了大约 33% 的功率。
- 通过消除用于联合循环燃气轮机的额外气轮机和设备来简化所用的机器。
- 与燃气相比蒸汽的温度是较低的,从而能帮助冷却气轮机内部。
- 比联合循环装置能更快地达到系统的最高输出(30 分钟对 120 分钟)。

另外的优点是可以调节汽轮机产生的功率和热能以满足目前的功率和热能(蒸汽)负载。如果当蒸汽的负载减少时,蒸汽就可以用来发电,增加了输出和效率(**Ganapathy 1994**)。缺点包括更加复杂的汽轮机设计。在设计阶段需要另外注意汽轮机设计和材料的细节。因此与传统型号相比可能会给汽轮机带来更高的投资成本。

热电联产系统的经济效益极大地取决于当地的情况,包括对电力的需求、对热的需求、电力的购买和销售价格、天然气价格、联网的标准和费用,以及公用事业对后备电力的收费(后备费)。有些州可能有提供支持设立热电联产或三联产系统的计划(另见附录 C)。

三联产

此外,新的热电联产系统可提供三联产的选择,除了电和热之外,还可提供冷却。冷却可以由吸收或吸附技术提供,两者都使用从热电联产过程中回收的热。

吸收制冷系统利用事实上氨极端容易溶解在冷水中,但在热水中就少得多。因此,如果将水-氨溶液加热,它就会逐出氨。在吸收过程的第一个阶段,将水-氨溶液暴露在热电联产的余热中,藉以将氨逐出。在热消散以后,仍然在高压中的氨气体会液化。液体氨流动入吸收器中的一个部分与氢气接触。氢气吸收氨气时产生冷却效应。氢-氨混合物然后再与冷水的表面接触,再次将氨吸收,完成了循环。吸收制冷机可由多个供应商生产(如 **Carrier**、**York**、**Trane**、**Robur**、**McQuay**、**LG Machinery** 和 **Century**)。

相反地,吸附制冷是利用某些物质能将水吸附在它们表面的能力,然后加热使它们再次分离。吸附装置使用从热电联产来的热水。这些系统不使用氨或腐蚀性的盐,而是

使用硅胶(也能帮助减少保养费用)。吸附装置最初是在日本开发的,而美国现在也有销售。

吸收和吸附系统的热性能是相似的,性能系数在 0.68 到 0.75 之间。两个系统的投资成本也是可比的。然而,吸附装置的可靠性预计会更好,因而保养费用预计会较低。

Johnson & Johnson Pharmaceutical Research & Development 在 2004 年 3 月正式致力于一个新的热电冷三联产系统的安装和运行,作为它为加利福尼亚州 La Jolla 设施的研发进行重要扩展的一部分。这套 2200 千瓦的系统每年将生产 15 GWh 的电再加上 360000therms (约 1,296 吨标煤)的热和 1.6 百万吨-小时的冷冻水。这将向设施提供超过 90% 的供电以及大多数的供热和冷却需求。如果有需要,这个三联产系统也能使该研发设施与加利福尼亚州的电网分开运行。此外,每年可减少 3 百万磅(1360 吨)以上的 CO₂ 温室气体排放。再加上每年可节省\$1 百万(约 827 万人民币)以上的电和天然气。San Diego 地区能源办公室帮助了对该项目的资助(SDREO 2004)。

功率回收汽轮机

蒸汽一般是在高压下产生的(典型的在 120-150 psig),但经常要将压力减低(可低至 10-15 psig)以供各种生产过程使用。在一般的情况下是通过减压阀将压力减低,不会回收在降压时体现的能量。这种能量可以通过使用微型背压式蒸汽轮机来回收,它们是由几家制造商生产的。这种技术的商业应用已出现在校园设施以及纸浆和造纸、食品和木材工业。功率回收汽轮机有生产 13.5 kWh/MBtu 蒸汽的能力(Casten and O'Brien 2003)。在各个实际设施的发电量是根据蒸汽的压力和蒸汽的使用而变化。

5.12 其他措施

以下提供的是以前没有讨论过但可能也适用于制药厂的其他节能措施。

待机用电

许多生产过程中的仪器在没有需求时也会连续地运行,例如诊断仪器、测量设备和实验室计算机等。将这类设备在不用时转换到待机状态(或在合适的情况下可将它们关掉)可以减少工厂的整体能源负荷。除了生产和研发设施的仪器之外,也应该将办公室中的计算机、显示屏、打印机、影印机和其他电子设备设置到在断续的非使用期间进入待机状态,并且应该在较长时间不使用时将它们关掉(例如夜间和周末)。一项最近的研究建议仅有很小百分比的办公室电子设备的节电功能得到了应用,而且有许多设备在夜间也不必要地开着(Roberson et al.2004),这样在办公室中会造成重大的能源损失。

节能的办公设备

当更换或采购办公设备时,应该考虑只购买最节能的型号,例如取得了“能源之星”办公用品资格的产品,包括计算机、影印机、外部电源适配器、传真机、邮戳机、显示屏、打印机、扫描器、自动售货机和冷水器。总之,有“能源之星”办公用品资格的产品比一般的同类设备少用大约一半的电力,从而能在整个机构中取得重大的节能。有

关获取“能源之星”办公用品资格的产品清单，以及许多其他的能效设备可见能源之星网站(<http://www.energystar.gov/>)。

滤膜

滤膜能从液体或气体中有选择地分离一种或多种材料并且可以代替能源强度大的分离过程。滤膜可以由有机或无机材料制成，或者由两者混合。有机滤膜可以用于温度在 150°C 以下的生产过程。无机滤膜可以用于更高的温度环境，范围从金属滤膜的 500-800°C 到多种陶瓷滤膜的 1000°C 以上。混合滤膜的有机分子可对水和溶解的物质进行过滤而无机分子可提供稳定性。

滤膜可以用于各种需要分离的应用中(Srikanth 2004)。滤膜的一个典型用途是在水和废水的处理。在水处理中，应用滤膜进行超过滤和超滤可减少净化水所需的步骤。从而减少保养和运行的开支，并减少用电量。超低压超薄复合滤膜比醋酸纤维滤膜在运行上要少用 50%的能量(CADDET 2000)。

来自制药工业的污水可能含有不同的污染物，包括生物有机化合物和有机污染物。这样的污水在排放或回收供工厂再使用之前需要进行净化。传统的废水处理方法包括使用化学制品(凝聚剂)来除去杂质、絮凝、沉淀以及过滤微粒(如沙子)。废水处理的费用和能源使用在很大程度上取决于设施、流程上的区别、污染物的种类、以及所使用的设备种类。推动滤膜的应用主要是废水处理的费用，而不是能源的使用，虽然滤膜与蒸发相比可减少能源的使用。使用压力驱动滤膜工艺、新的、相对较小的水处理设施(每天少于 20000 立方米)的生命周期成本应该少于使用常规工艺来去除微粒或减少溶解的有机物的新设施(Wiesner and Chellam 1999)。一项最近的研究估计废水处理滤膜技术的平均投资大约为\$30000 (约 248,016 人民币)，而每年可节约\$6400 (约 52,910 人民币)的营运成本，形成了一个在 5 年以下的简单归本期和大约 20%的内部收益率(Martin et al.2000)。在一些应用中，每年由于减少与污水有关的劳动成本而节省的营运成本带来了 3 年或以下的简单归本期(Nini and Gimenez-Mitsotakis 1994; Pollution Engineering 2002)。

要从实施水处理滤膜来估计潜在的节能，在没有对具体情况作出详细的研究之下是困难的。对于特定的应用，与蒸发所需的能源相比节能量可能会高达 40-55%。通过产品质量、减少用水、减低运行开支能经常取得额外的生产节约，还要取决于各设施的特点。

6. 总结和结论

药品制造业消耗了相当多的能源。2002年美国制药工业在能源上花费了\$9亿（74亿人民币）以上，使能源成为该工业的一个重大的支出费用。改善能效是减少这些开支和增加可预测的收入的一个重要方式，特别是在能源价格波动大的时候。

美国制药工业存在着大量改善能效的潜力。一个有着重点和战略性的能源管理计划将帮助在整个机构中确认和实施能效措施和实践。由于稳步上升的能源价格，美国制药工业的许多公司已经接受了改进他们的能效的挑战；这些公司也开始获得了向能效投资的收益。

美国制药工业的各个工厂有各种各样的机会可以用来以经济有效的方式减少能源消耗。本能源指南确认了许多可以在部件、生产过程、系统和机构层面实施的能效实践和能效技术。根据从实际工业应用的案例分析得到的数据，为许多节能措施提供了预期的节省和有关能源的费用。另外，如果有可能也会提供典型的归本期以及在技术文献中的详细资讯的索引。

表5总结了在本能源指南中提出的能效措施。虽然在表5中的一些个别措施的预期节省也许是相对地较小，但这些措施在整个工厂中所积累的作用有可能是相当大的。另外，在表5中的大多数措施有相对短的归本期。实施这些措施的程度将随着工厂和最终用途而变化；对这些措施进行不断的评估将会在持续的能源管理计划中帮助确定进一步地节省成本。

对于在本能源指南中提出的能效措施，各个工厂应该对措施在经济上进行进一步的研究，以及不同的措施对于本身独特的生产实践的适用性，从而估计实施措施的可行性。

表 5 美国制药工业节能措施的总结。

一般	
能源管理计划	能源监测系统
暖通空调系统	
能效的系统设计	重新校验
能源监测和控制系统	在非生产时间的温度调节
送风管泄漏修理	排风温度管理
变风量系统	可调速驱动
热回收系统	改善制冷机的效率
风机的改造	高效率排气扇
冷却水回收	太阳能空气供暖
建筑的反射	建筑保温
低辐射窗口	
排烟柜	
改善存贮/内务清理	限制调节门的开闭
增进漩流	变风量柜
伯克利柜	
洁净室	
减少循环空气交换率	改善空气过滤的质量和效率
优化冷冻水系统	冷却塔
减少洁净室的排气	降级
电机	
电机管理计划	策略性的电机选择
保养	合适的电机容量
可调速驱动	功率因素修正
减小电压失衡	替换皮带传动
压缩空气系统	
系统的改进	改善负载管理
保养	减小压降
监测	减低进气温度。
减少泄漏	控制
关闭不需要的压缩空气	使用适当直径的管子
修改系统	热回收
以其他动力源来取代压缩空气	天然气发动机驱动的空气压缩机
泵	
保养	监测
减少对泵的需求	控制
高效率泵	使用适当容量的泵
多台泵用于可变的负载	调整叶轮

表 5 (续上)

冷冻	
运行和保养	系统监测
监测制冷剂量	优化运行的参数
监察吸入管路的过滤器	监测制冷剂的污染
冷冻管线和夹套的保温	余热回收
在较低的系统压力下运行	吸收式制冷机
照明	
关掉无人活动区域的灯	照明控制
安全出口标示灯	电子镇流器
将 T-12 灯管换成 T-8 灯管	替换水银灯
减少高强度放电灯的电压	高强度 荧光灯
采光	
热和蒸汽的配送	
锅炉的运行控制	减少烟气量
减少过量的空气	适当地选择锅炉系统的容量
锅炉的保温	锅炉的保养
烟气的热回收	冷凝水回收
回收排污蒸汽	更换锅炉
配送系统的保温	凝汽阀的改善
凝汽阀的保养	凝汽阀的监测
泄漏的修理	闪蒸汽的回收
预防性保养	生产过程的整合或夹点分析
热电联产	
热和电相结合	三联产
功率回收汽轮机	
其他措施	
待机用电	节能的办公设备
滤膜	

7. 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通过美国能源部合同 DE-AC02-05CH11231 所支持。

许多在制药工业之中和之外的人员在本能源指南的准备工作中提供了宝贵的经验。作者希望对下列提供过有帮助性的评论和建议的人员表示感谢：3M 的 Steve Schultz, Aventis Pharmaceuticals 的 Bret Steele, Baldor Electric Company 的 John Malinowski, Bayer Healthcare 的 Karen Hedlund 和 Ron Roberts, 节能协会(Consortium for Energy Efficiency)的 Ted Jones 和 Ilene Mason, 电气设备服务协会的 Linda Raynes, Eli Lilly and Company 的 Diane Colson, GlaxoSmithKline 的 Christian Berry, ICF Consulting 的 Don Hertkorn, 劳伦斯 伯克利国家实验室的 Austin H. Bonnett(IEEE Fellow)、Paul Mathew、Evan Mills、Dale Sartor、Bill Tschudi, Merck 和 Company 的 Vincent Gates and Helene Ferm, Pfizer 的 Henry Molise, Shering-Plough 的 Peter Sibilski 以及美国环保局的 Walt Tunnessen。

在本能源指南中任何其余的错误将由作者负责。本能源指南中所表达的观点并不一定是反映了美国环保局、美国能源部或者美国政府的观点。

8. 参考文献

Alesson, T. (1995). All Steam Traps are not Equal. Hydrocarbon Processing. Gulf Publishing Company, Houston, Texas.

ATLAS Project. (1997). Refrigeration – Future Potential. Brussels, Belgium.
http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/refdfut.html

Audin, L. (1996). Natural Gas Engine-Driven Air Compressors, New Money-Saving Option Requires Careful Analysis. E-Source Tech Update. July.

Baen, P. R. and R. E. Barth. (1994). Insulate Heat Tracing Systems Correctly. Chemical Engineering Progress. September: 41-46.

Barnish, T. J., M. R. Muller, and D. J. Kasten. (1997). Motor Maintenance: A Survey of Techniques and Results. Proceedings of the 1997 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Bell, G., D. Sartor, and E. Mills (2003). The Berkeley Hood: Development and Commercialization of an Innovative High-Performance Laboratory Fume Hood. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. Report # LBNL-48983 (rev.)

Best Practice Programme. (1998). Distributed Small-scale CHP on a Large Manufacturing Site, Land Rover. The UK Department of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency. Good Practice Case Study 363.

Bloss, D., R. Bockwinkel and N. Rivers. (1997). Capturing Energy Savings with Steam Traps. Proceedings of the 1997 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Caffal, C. (1995). Energy Management in Industry. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET), The Netherlands. Analyses series 17, December.

California Energy Commission (CEC). (2001). 2001 Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings. California Energy Commission, Sacramento, California. P400-01-024.
http://www.energy.ca.gov/title24/2001standards/2001-10-04_400-01-024.PDF

California Energy Commission (CEC) and the Office of Industrial Technologies (OIT), Energy Efficiency and Renewable Energy, U. S. Department of Energy. (2002). Case Study: Pump System Controls Upgrade Saves Energy at a Network Equipment Manufacturing Company's Corporate Campus. January.

California Institute of Energy Efficiency (CIEE). (2000a). Cleanroom Case Study: Genentech, Vacaville: New Energy Efficient Site. Oakland, California.

California Institute of Energy Efficiency (CIEE). (2000b). Cleanroom Case Study: Hine Design: Variable Speed Drive Control on Recirculation Fans for Class 100 Cleanroom. Oakland, California.

California Institute of Energy Efficiency (CIEE). (2000c). Cleanroom Case Study: Motorola: Cleanroom Declassification from Class 10,000 to Class 100,000. Oakland, California.

Camfil AB. (1997). Hi-Flo's Prizeworthy Performance. Camfil AirMail. #2/97.

Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC). (2001a). Boilers and Heaters, Improving Energy Efficiency. Natural Resources Canada, Office of Energy Efficiency. August.

Carrier Aeroseal, LLC. (2002). Case Studies: West Coast - Single Story, Commercial. Indianapolis, Indiana. http://www.aeroseal.com/hmcis_west_01.html

Castellow, C., C. E. Bonnyman, H. G. Peach, J. C. Ghislain, P. A. Noel, M. A. Kurtz, J. Malinowski, and M. Kushler. (1997). Energy Efficiency in Automotive and Steel Plants. Proceedings of the 1997 ECEEE Summer Study, Stockholm, Sweden.

Casten, S. and T. O'Brien. (2003). Free Electricity from Steam Turbine-Generators: A System-Level Economic Analysis. Direct Energy. First Quarter: 1-3.

Cayless, M. A. and A. M. Marsden (Eds.). (1983). Lamps and Lighting. Edward Arnold, London.

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

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (1994). High Efficiency motors for Fans and Pumps. Case study UK94.502/2B.FO5.

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

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (1997a). Saving Energy with Efficient Compressed Air Systems. Maxi Brochure 06.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (1997b). Energy Savings with New Industrial Paint Drying and Baking Oven. Case study CA97.504/2X.F06.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (1999). Air Purification in Gene Laboratories. Newsletter No. 2.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (2000). Membrane Filtration in A Water Purification Plant. Special Issue on Netherlands.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (2001). Saving Energy with Daylighting Systems. Maxi Brochure 14.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). (2003). A Refrigeration Plant within a Brewery Efficiently Storing Cold Heat and Recovering Waste Heat from its Refrigeration Machines. Case Study JP-2003-013.

Center for Renewable Energy and Sustainable Technology (CREST). (2001). Solar Thermal Catalog—Chapter 5.2: Ford Motor Company/ Chicago Stamping Plant. Renewable Energy Policy Project (REPP), Washington, D.C. http://solstice.crest.org/renewables/seia_slrthrm/52.html

CIPCO Energy Library (CEL). (2002). Motors and Drivers - Rewinding motors. A P O G E E I n t e r a c t i v e , I n c .
<http://cipco.apogee.net/mnd/merovr.asp>

Cole, G. C. (1998). Pharmaceutical Production Facilities: Design and Applications. 2nd Edition. Taylor & Francis, New York, New York.

Compressed Air Challenge (CAC). (2002). Guidelines for Selecting a Compressed Air System Service Provider and Levels of Analysis of Compressed Air Systems.
<http://www.compressedairchallenge.org>.

Consortium for Energy Efficiency (CEE) (2007). Energy-Efficiency Incentive Programs: Premium-Efficiency Motor & Adjustable Speed Drives in the U.S. and Canada. Boston, Massachusetts. May.

Cook, B. 1998. High-efficiency Lighting in Industry and Commercial Buildings. Power Engineering Journal. October: 197-206.

Copper Development Association (CDA). (2000). Cummins engine company saves \$200,000 per Year with Energy-Efficient Motors. New York, New York. Case Study A6046.

Copper Development Association (CDA). (2001). High-Efficiency Copper-Wound Motors Mean Energy and Dollar Savings. New York, New York.

Copper Development Association (CDA). (2003). Energy Efficiency Case Study: Brass Mill Cuts Costs with NEMA Premium[®] Motors. New York, New York.
http://www.copper.org/applications/electrical/energy/Brass_Mill_Cuts_Cost_A6089.html

CREST. (2001). Solar Thermal Catalog—Chapter 5.2: Ford Motor Company/ Chicago Stamping Plant. http://solstice.crest.org/renewables/seia_slrthrm/52.html

Dome-Tech Group. (2005a). Pfizer Retro-Commissioning. Edison, New Jersey. <http://www.dome-tech.com/projects/pfizer.asp>

Dome-Tech Group. (2005b). Retro-Commissioning, Ethicon, Somerville, NJ. Edison, New Jersey. <http://www.dome-tech.com/projects/pfizer.asp>

Dunn, R.F. and G.E. Bush. (2001). Using Process Integration Technology for CLEANER Production. Journal of Cleaner Production. (9): 1-23.

Easton Consultants, Inc. (1995). Strategies to Promote Energy-Efficient Motor Systems in North America's OEM Markets. Stamford, CT.

Efficiency Partnership. (2004). Industrial Product Guide – Manufacturing and Processing Equipment: Compressed Air Equipment. Flex Your Power, San Francisco, California.

Electric Apparatus Service Association (EASA) (2003). The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency. St. Louis, Missouri.

Electric Apparatus Service Association (EASA) (2006). ANSI/EASA Standard AR100-2006. Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus. St. Louis, Missouri.

Eley, C., T. M. Tolen, J. R. Benya, F. Rubinstein and R. Verderber. (1993). Advanced Lighting Guidelines: 1993. Report prepared for the Department of Energy, California Energy Commission, and Electric Power Research Institute. California Energy Commission, Sacramento, California.

Energy Design Resources (EDR). (2000). Building Case Study – Biotech Lab and Office. <http://www.energydesignresources.com/>

Energy Nexus Group. (2002a). Technology Characterization: Gas Turbines. Arlington, VA. February.

Energy Nexus Group. (2002b). Technology Characterization: Steam Turbines. Arlington, VA. March.

Farrell, J. (1998). New Belgium brewing Company Focuses on Efficiency. Energy Services Bulletin. Western Area Power Administration, Lakewood, Colorado.

Fenning, L. et al. (Eds.) 2001. Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. Hydraulic Institute/Europump/ United States Department of Energy. ISBN: 1-880952-58-0.

Fiorino, D. P. (2000). Steam Conservation and Boiler Plant Efficiency Advancements. 22nd National Industrial Energy Technology Conference Proceedings. Houston, Texas. April 5-6: 184-202.

Ford Motor Company (2002). Personal communication from corporate energy manager.

Ganapathy, V. (1994). Understand Steam Generator Performance. Chemical Engineering Progress. December.

Greenroofs.com. (2001). Greenroofs 101. Alpharetta, Georgia. <http://www.greenroofs.com/>

Griffin, B. (2000). The Enbridge Consumers Gas “Steam Saver” Program. 22nd National Industrial Energy Technology Conference Proceedings. Houston, Texas. April 5-6: 203-213.

Hackensellner, T. (2001). Dynamische Niederdruckkochung- Optimierte energie und Verfahrenstechnik. Brauwelt: 17-21.

Hallale, N. (2001). Burning Bright: Trends in Process Integration. Chemical Engineering Progress. July: 30-41.

Holtcamp, W. (2001). A Grass-Roofs Effort, Secret Gardens Conserve Energy and Cool the Air. Sierra Magazine. May/June.

Howe, B. and B. Scales. (1995). Assessing Processes for Compressed Air Efficiency. E-Source Tech Update. November.

Hydraulic Institute. (1994). Efficiency Prediction Method for Centrifugal Pumps. Parsippany, New Jersey.

Hydraulic Institute and Europump. (2001). Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. Parsippany, New Jersey.

Industrial Assessment Center (IAC). (2003). Industrial Assessment Center Database version 8.1. Rutgers University, New Brunswick, New Jersey. <http://iac.rutgers.edu/database/>

IMS Health. (2003). IMS World Review 2003. London, UK.

IMS Health. (2005). IMS Health Market Insight. London, UK.
<http://www.ims-global.com/insight/insight.htm>

Ingersoll-Rand. (2001). Air Solutions Group—Compressed Air Systems Energy Reduction Basics. Annandale, New Jersey. June.
<http://www.air.ingersoll-rand.com/NEW/pedwards.htm>

International Energy Agency (IEA). (2000). Daylight in Buildings: A Sourcebook on Daylighting Systems and Components. Paris: IEA. <http://www.iea-shc.org/>

Irish Energy Centre (IEC). (2002). Good Practice Case Study 12: Energy Use in Cleanrooms. Dublin, Ireland.

ITT Flygt. (2002). Case Study: Flygt Helps City of Milford Meet the Challenge. Sundbyberg, Sweden. <http://www.flygt.com/>

Johnston, B. (1995). 5 Ways to Greener Steam. The Chemical Engineer. 594 (August 17): 24-27.

Jones, Ted. (1997). Steam Partnership: Improving Steam Efficiency through Marketplace Partnerships. Proceedings of the 1997 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Kidger, P. (2001). Personal communication.

Kirk, M. C. Jr. and G. P. Looby. (1996). Energy Conservation and Waste Reduction in the Metal Fabrication Industry. 18th National Industrial Energy Technology Conference Proceedings. Houston, Texas. April 17-18: 1-7.

Konopacki, S., H. Akbari, L. Gartland and L. Rainer. (1998). Demonstration of Energy Savings of Cool Roofs. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. Report # LBNL-40673.

Kumana, J. (2000). Pinch Analysis – What, When, Why, How. Additional publications available by contacting jkumana@aol.com.

Lighting Research Center (LRC). (2001). Lighting Futures. LEDs: From Indicators to Illuminators? Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York. <http://www.lrc.rpi.edu/index.asp>

Linnhoff, B., D.W. Townsend, D. Boland, G.F. Hewitt, B.E.A. Thomas, A.R. Guy, and R.H. Marsland. (1992). A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK.

Linnhoff, B. (1993). Pinch Analysis: A State-of-the-Art Overview. Chemical Engineering (71): 503-522.

Lom and Associates. (1998). Energy Guide: Energy Efficiency Opportunities in the Canadian Brewing Industry. Brewers Association of Canada, Ontario, Canada.

Martin, N., M. Ruth, L. Price, R. N. Elliott, A. M. Shipley, and J. Thorne. (2000). Emerging Energy-Efficient Industrial Technologies. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C. October.

McKane, A., J. P. Ghislain, and K. Meadows (1999). Compressed Air Challenge: Market Change from the Inside Out. Proceedings of the 1999 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. Saratoga Springs, New York, 15-18 June 1999. LBNL-43882.

McPherson, G., and J.R. Simpson. (1995). Shade Trees as a Demand-Side Resource. Home Energy. March/April.

Merck and Company, Inc. (2005). Personal communication with Helene Ferm, Rahway Site Energy Team, Rahway, New Jersey, September 7th.

Michaelson, D. A. and F. T. Sparrow. (1995). Energy Efficiency in the Metals Fabrication Industries. Proceedings of the 1995 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, Partnerships, Productivity, and the Environment, New York. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Mills, E., G. Bell, D. Sartor, A. Chen, D. Avery, M. Siminovitch, S. Greenberg, G. Marton, A. de Almeida, and L.E. Lock. (1996). Energy Efficiency in California Laboratory-Type Facilities. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. Report # LBNL-39061.

Mills, E., and D. Sartor. (2004). Energy Use and Savings Potential for Laboratory Fume Hoods. Energy (30):1859–1864.

Motor Decisions Matter (MDM) (2007). Motor Planning Kit. Boston, Massachusetts. <http://www.motorsmatter.org/tools/mpkv21.pdf>

Nadel, S., R.N. Elliott, M. Shephard, S. Greenberg, G. Katz and A.T. de Almeida (2002). Energy-Efficient Motor Systems: A Handbook on Technology, Program and Policy Opportunities. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

National Bureau of Economic Research. (2000). Manufacturing Industry Database. National Bureau of Economic Research, Cambridge, Massachusetts. <http://www.nber.org/nberces/>.

National Electrical Manufacturers Association (NEMA). (2001). Motor and Generator Section. Rosslyn, Virginia. <http://www.nema.org/prod/ind/motor/>

National Electrical Manufacturers Association (NEMA) (2002). NEMA Standards Publication No. MG-1, Motors and Generators, Revision 3. Rosslyn, Virginia.

Nini, D., and P Gimenez-Mitsotakis. (1994). Creative Solutions for Bakery Waste Effluent. American Institute of Chemical Engineers, Symposium Series, No. 300, Vol. 90: 95-105.

Novartis AG. (2004). Target and Results - Energy and water consumption. Novartis Health, Safety, and Environment, Corporate Citizenship. Basel, Switzerland. http://www.novartis.com/corporate_citizenship/en/hse_energy_water_cons.shtml

- Parekh, P. (2000). Investment Grade Compressed Air System Audit, Analysis and Upgrade. 22nd National Industrial Energy Technology Conference Proceedings. Houston, Texas. April 5-6: 270-279.
- Pfizer. (2001). 2000 Environmental, Health, and Safety Report. New York, New York.
- Polley, G.T. and H.L. Polley. (2000). Design Better Water Networks. Chemical Engineering Progress. February: 47-52.
- Pollution Engineering. (2002). Casebook: National Raisin Cuts Wastewater Costs and Protects Environment. Pollution Engineering. September. <http://www.pollutionengineering.com/>
- Portland Energy Conservation, Inc (PECI). (1999). Fifteen O&M Best Practices for Energy-Efficient Buildings. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Department of Energy. Portland, Oregon.
- Price, A. and M. H. Ross. (1989). Reducing Industrial Electricity Costs – an Automotive Case Study. The Electricity Journal. July: 40-51.
- Pharmaceutical Industry Association of Puerto Rico (PIAPR). (2005). About Us. Guaynabo, Puerto Rico. <http://www.piapr.com/>
- Radgen, P. and E. Blaustein (Eds.). (2001). Compressed Air Systems in the European Union, Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions. LOG_X Verlag, GmbH, Stuttgart, Germany.
- RC Associates Distributing, LLC. (2002). The Automatic Sash Positioning System Provides Energy and Capital Savings. Saginaw, Michigan. <http://www.newtechtm.com/ASPSenergy.html>
- Roberson, J. A., C. A. Webber, M. C. McWhinney, R. E. Brown, M. J. Pinckard, and J. F. Busch. (2004). After-hours Power Status of Office Equipment and Energy Use of Miscellaneous Plug-Load Equipment. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. Report # LBNL-53729-Revised.
- San Diego Regional Energy Office (SDREO). (2004). J&JPRD Powers R&D Facility Expansion with New Green Cogeneration System. San Diego, California. <http://www.sdenergy.org/ContentPage.asp?ContentID=257&SectionID=252&SectionTarget=78#success>
- Scales, B. (2002). Personal written communication.
- Scales, W., and D. M. McCulloch (2007) Best Practices for Compressed Air Systems- Second Edition, Compressed Air Challenge[®]. Washington, DC. <http://www.compressedairchallenge.org/>
- Scott, Doug, 2004. Personal communication with Doug Scott, PG&E Consultant, November 2004.
- Sellers L.J. (2003). Fourth Annual Pharm Exec 50. Pharmaceutical Executive. May: 42-52.
- Sezgen, O. and J. G. Koomey. (2000). Interaction between Lighting and Space Condition Energy Use in U.S. Commercial Buildings. Energy (25): 793-805.
- Shenoy, U. (1994). Heat Exchanger Network Synthesis. Gulf Publishing Company, Houston, Texas.

Smith, R. (1995). Chemical Process Design. McGraw-Hill Inc., New York, New York.

Southern California Edison (SCE). (2003) Saving Money with Motors in Pharmaceutical Plants. Southern California Edison Educational Publication. Rosemead, California.
http://cee1.org/ind/mot-sys/Pharm_Bro.pdf

Srikanth, G. (2004). Membrane Separation Processes – Technology and Business Opportunities. News and Views. Technology Information, Forecasting & Assessment Council (TIFAC), New Delhi, India.

Tetley, P.A. (2001). Cutting Energy Costs with Laboratory Workstation Fume Hood Exhaust. Pharmaceutical Engineering, 21 (5): 90-97.

Toyota Motor Corporation. (2002). Personal communication with Brad Reed, Toyota Motor Manufacturing of North America, May 2002.

Tschudi, W. F., K. Benschine, S. Fok, and P. Rumsey. (2001). Cleanroom Energy Benchmark in High-tech and Biotech Industries. Proceedings of the 2001 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Tschudi, W. F., D. Sartor, E. Mills, and T. Xu. (2002). High-Performance Laboratories and Cleanrooms. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. Report # LBNL-50599.

Tschudi, W. F. and T. Xu. (2003). Cleanroom Energy Benchmarking Results. Proceedings of the 2003 ASHRAE Annual Meeting, Kansas City, Missouri. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, Georgia.

Tutterow, V. (1999). Energy Efficiency in Pumping Systems: Experience and Trends in the Pulp and Paper Industry. Proceedings of the 1999 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

United Lab Equipment, Inc. (2001). Bi-stable Vortex II Fume Hood. Depew, New York.

United States Census. (1990). 1988 Statistics for Industry Groups and Industries. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # M88 (AS)-1.

United States Census. (1993). 1991 Statistics for Industry Groups and Industries. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # M91 (AS)-1.

United States Census. (1995). 1993 Statistics for Industry Groups and Industries. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # M93(AS)-1.

United States Census. (1996). 1994 Statistics for Industry Groups and Industries. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # M94(AS)-1.

United States Census. (1998). 1996 Statistics for Industry Groups and Industries. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # M96(AS)-1.

United States Census. (2000). 1997 Economic Census of Outlying Areas, Manufacturing, Puerto Rico. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # OA97E-4.

United States Census. (2001). 1999 Statistics for Industry Groups and Industries. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # M99(AS)-1 (RV).

United States Census. (2003). 2001 Statistics for Industry Groups and Industries. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # M01(AS)-1.

United States Census. (2005a). 2003 Statistics for Industry Groups and Industries. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # M03(AS)-1 (RV).

United States Census. (2005b). 2002 Economic Census, Industry Series, Medicinal and Botanical Manufacturing. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # EC02-31I-325411 (RV).

United States Census. (2005c). 2002 Economic Census, Industry Series, Pharmaceutical Preparation Manufacturing. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # EC02-31I-325412 (RV).

United States Census. (2005d). 2002 Economic Census, Industry Series, In-Vitro Diagnostic Substance Manufacturing. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # EC02-31I-325413 (RV).

United States Census. (2005e). 2002 Economic Census, Industry Series, Biological Product (Except Diagnostic) Manufacturing. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report # EC02-31I-325414 (RV).

United States Department of Energy (DOE) (1996). Replacing an Oversized and Underloaded Electric Motor. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Fact Sheet DOE/GO-10096-287.

United States Department of Energy (DOE). (1997). What's New in Building Energy Efficiency – Selecting Windows for Energy Efficiency. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Building Technology Program. Washington, D.C.

United States Department of Energy (DOE). (1998). Improving Compressed Air System Performance - A Sourcebook for Industry. Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington, D.C.

United States Department of Energy (DOE). (1999). 1999 Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS). Energy Information Administration, Washington, D.C.

United States Department of Energy (DOE). (2000). Best Practices. – Improved Steam Trap Maintenance Increases System Performance and Decreases Operating Costs. Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington, D.C.

United States Department of Energy (DOE). (2001a). Best Practices Program. Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy, Washington, D.C.
<http://www.oit.doe.gov/bestpractices/>

United States Department of Energy (DOE). (2001b). Best Practices. – Compressed Air System Renovation Project Improves Production at a Food Processing Facility. Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington, D.C.

United States Department of Energy (DOE). (2001c). Showcase Demonstration - The Challenge: Improving The Efficiency of A Brewery's Cooling System. Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington, D.C.
<http://www.oit.doe.gov/bestpractices/motors/mc-cs12.shtml>.

United States Department of Energy (DOE). (2001d). Information on Steam. Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy, Washington, D.C.
<http://www.oit.doe.gov/bestpractices/steam/>

United States Department of Energy (DOE). (2002a). Insulation Fact Sheet – Introduction. Energy Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington, D.C.

United States Department of Energy (DOE). (2002b). Best Practices. – Optimization Electric Motor System at a Corporate Campus Facility. Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington, D.C.

United States Department of Energy (DOE). (2003). Energy Matters Newsletter. Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington, D.C.
http://www.oit.doe.gov/bestpractices/energymatters/fall2003_absorption.shtml

United States Department of Energy (DOE). (2003b). Laboratories for the 21st Century: Best Practice Guide Daylighting for Laboratories. Washington, D.C. See also:
http://www.labs21century.gov/pdf/bp_daylight_508.pdf

United States Department of Energy (DOE) (2004a). Energy Tips – Compressed Air: Remove Condensate with Minimal Air Loss. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Compressed Air Tip Sheet #13.

United States Department of Energy (DOE) (2004b). Energy Tips – Compressed Air: Eliminate Inappropriate Uses of Compressed Air. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Compressed Air Tip Sheet #2.

United States Department of Energy (DOE) (2004c). Energy Tips – Compressed Air: Alternative Strategies for Low-Pressure End Uses. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Compressed Air Tip Sheet #11.

United States Department of Energy (DOE). (2005). Energy Tips: Estimate Voltage Unbalance. Information Sheet. Office of Industrial Technologies, Washington, DC. Motor Systems Tip Sheet #7.

United States Department of Energy (DOE) (2006). Improving Pumping System Performance, A Sourcebook for Industry. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Report DOE/GO-102006-2079.

United States Department of Energy (DOE) and Compressed Air Challenge (CAC) (2003). Improving Compressed Air System Performance - A Sourcebook for Industry. Office of Industrial Technologies, Washington, D.C.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (1997). EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the Pharmaceutical Manufacturing Industry. Office of Compliance, Washington, D.C.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2001). Green Lights Program. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. http://www.energystar.gov/index.cfm?c=lighting.pr_lighting

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2004). ENERGY STAR Building Upgrade Manual. Office of Air and Radiation, Washington, D.C.: EPA. <http://www.energystar.gov/ia/business/BUM.pdf>

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2005). Guidelines for Energy Management. Washington, D.C. http://www.energystar.gov/index.cfm?c=guidelines.guidelines_index

United States Environmental Protection Agency and Department of Energy (U.S. EPA/DOE). (2000). An Introduction to Low-energy Design. Laboratories for the 21st Century. <http://www.labs21century.gov/>

United States Environmental Protection Agency and Department of Energy (U.S. EPA/DOE). (2001a). Case Studies – Fred Hutchinson Cancer Research Center, Seattle, Washington. Laboratories for the 21st Century. <http://www.labs21century.gov/>

United States Environmental Protection Agency and Department of Energy (U.S. EPA/DOE). (2001b). Case Studies – the Louis Stokes Laboratories, Building 50, National Institute of Health, Bethesda, Maryland. Laboratories for the 21st Century. <http://www.labs21century.gov/>

United States Environmental Protection Agency and Department of Energy (U.S. EPA/DOE). (2001c). Case Studies – Process and Environmental Technology Laboratory of Sandia National Laboratories, New Mexico. Laboratories for the 21st Century. <http://www.labs21century.gov/>

United States Environmental Protection Agency and Department of Energy (U.S. EPA/DOE). (2002a). Case Studies – Pharmacia Building Q, Skokie, Illinois. Laboratories for the 21st Century. <http://www.labs21century.gov/>

United States Environmental Protection Agency and Department of Energy (U.S. EPA/DOE). (2003). Best Practices - Energy Recovery for Ventilation Air in Laboratories. Laboratories for the 21st Century. <http://www.labs21century.gov/>

United States Environmental Protection Agency and Department of Energy (U.S. EPA/DOE). (2005). Energy Benchmarking. Laboratories for the 21st Century. <http://www.labs21century.gov/toolkit/benchmarking.htm>

Wiesner, M.R. and S. Chellam. (1999). The Promise of Membrane Technology. Environmental Science and Technology 33(17): 360-366A.

Worrell, E., J.W. Bode, and J.G. de Beer. (1997). Energy Efficient Technologies in Industry - Analysing Research and Technology Development Strategies - The 'Atlas' Project. Department of Science, Technology & Society, Utrecht University, Utrecht, the Netherlands.

Wu, G. (2000). Design and Retrofit of Integrated Refrigeration Systems. Ph.D. Thesis, The University of Manchester, Manchester, UK.

Wyeth. (2004). Awards and Recognition: External Recognition. Madison, New Jersey. <http://www.wyeth.com/EHS/performance/awards.asp>

Xenergy, Inc. (1998). United States Industrial Electric Motor Systems Market Opportunities Assessment. Prepared for the United States Department of Energy's Office of Industrial Technology and Oak Ridge National Laboratory. Burlington, Massachusetts.

Zeitz, Ronald A. (ed.). (1997). CIBO Energy Efficiency Handbook. Council of Industrial Boiler Owners, Burke, Virginia.

9. 词汇

ACH	每小时换气次数
ASD	可调速驱动
Btu	英国热量单位
CAV	恒定空气容量
cGMP	目前好的制造业实践
cfm	每分钟立方英尺
CHP	热电联产
CIPEC	加拿大工业节能计划
CO	一氧化碳
CO ₂	二氧化碳
COP	性能系数
DX	直接膨胀
EASA	电气设备服务协会
ft ²	平方英尺
GWh	千兆瓦小时
HACCP	危险分析和关键控制点
HEPA	高效空气微粒
HHV	高热值
HID	高强度放电
hp	马力

HVAC	暖通空调
IAC	工业评估中心
ISO	国际标准化组织
kWh	千瓦小时(度)
LED	发光二极管
低 E	低辐射
m ³	立方米
MASIS	流动发泡密封胶注射系统
MBtu	百万英国热量单位
MW	兆瓦
MWh	兆瓦小时
NAICS	北美洲工业分类系统
NDA	新药申请
NEMA	全国电气制造商协会
N _x	氧化氮
OSHA	职业安全与健康管理局
PM	预防性保养
psi	磅每平方英寸
psig	磅每平方英寸 (表压)
R&D	研究与发展
STIG	注蒸汽燃气轮机

ULPA	超低渗透率空气
U.S. DOE	美国能源部
U.S. EPA	美国环保局
U.S. FDA	美国食品和药物管理局
VAV	可变空气容量
W	瓦特

附录 A：工厂人员的基本能效行动

各级人员都应该意识到能源的使用和机构的能效目标。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，应该定期评估绩效并向所有的人员通报，并表彰高绩效者。以下概括了职工可以做到的一些简单任务的举例(Caffal 1995)。

- 消除设备不必要的能源消耗。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。
- 对耗能设备进行定期保养。
- 保证工艺加热设备的保温是有效的。

附录 B: 能源之星的能源管理计划评估对照表



介绍

美国环保局根据能源之星参加者的成功实践为建立和开展的有效的能源管理计划制定了一些指南。

在图中展示的这些指南由七个包含着特定活动的基本管理元素构成。

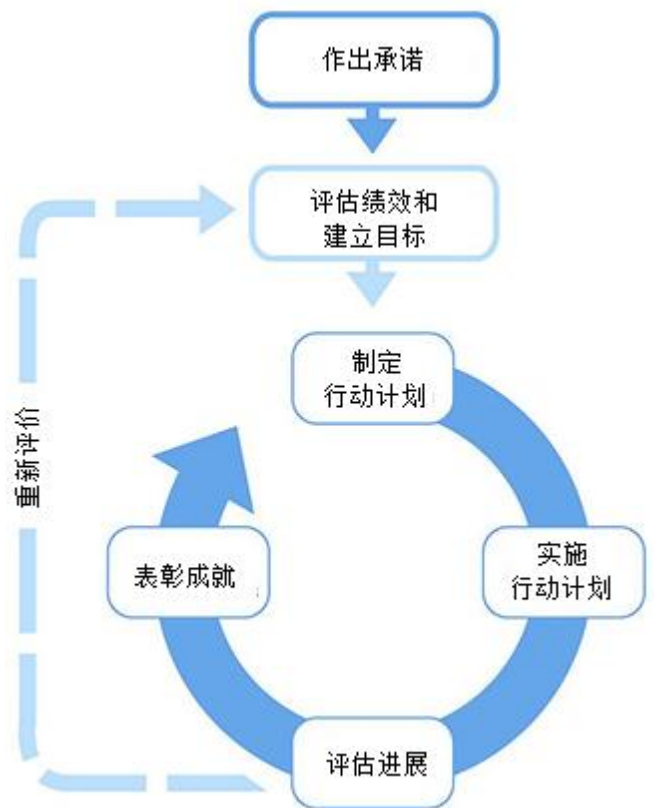
这个评估对照表是为了帮助机构和能源管理人员将他们的能源管理实践与在指南中概括的相对比。完整的指南可以在能源之星的网站查看 - <http://www.energystar.gov/>。

如何使用评估对照表

对照表概括了在能源之星的能源管理指南中确认的关键活动和实施的三种程度：

- 没有实施的证据
- 实施了大部分
- 充分实施

1. 打印出评估对照表。
2. 通过将您的机构的计划与指南对比来确定最相适的实施程度。
3. 用荧光笔填在能最好地描述您的计划的实施程度的那一格。您现在可以看到您的计划与能源之星的能源管理指南的元素的对比。
4. 确认充分实施能源管理的元素所需要的步骤并将其记录在下一步工作的那一栏中。



能源管理计划评估对照表				
	很少或没有证据	有些实施	充分实施	下一步工作
对不断地改善做出承诺				
能源主任	没有公司的中心资源分散的管理	没有授权公司或机构的资源	经授权的公司领导并有高级管理层的支持	
能源小组	没有公司的能源网络	非正式的组织	活跃的跨功能团队引导能源计划	
能源政策	没有正式的政策	参考环境或其他政策	得到管理层认可的正式独立的能效政策	
评估绩效和机会				
收集和追踪数据	很少测量/没有追踪	局部或部份地测量/追踪/报告	所有设施向中心汇报集中/分析	
规范	没有着手	一些单位测量或气候调整	所有重要的调整供公司分析	
建立基准	没有基准	各种由设施所建立的基准	建立标准化的公司基准年和标准	
对标	没有着手或仅有同一设施的历史上的对比	一些在公司设施之间的内部对比	定期的内部和外部对比和分析	
分析	没有着手	有一些确认和纠正短期跃升的尝试	确认趋向、峰值、低谷的起因的特征	
技术评估和审计	没有着手	设施内部的审核	由多功能的专家组审核	
制定绩效目标				
确定范围	没有可计量的目标	短期设施目标或有名无实的公司目标	短期和长期的设施和公司目标	
估计改善的潜力	处理过程没有到位	基于有限的供营商预计的特定项目	基于经验由设施和公司制定	
建立目标	没有着手	宽松地定义或松散地应用	在机构各级有具体的和可计量的目标	
建立行动计划				
定义技术阶段和目标	没有着手	有机会时会在设施级考虑	详细的多级目标并带有走向目标的时间安排	
确定职责和资源	没有着手或根据特别依据去做	非正式感兴趣的人在争夺资助	确定内部/外部的职责和资助	

能源管理计划评估对照表				
	很少或没有证据	有些实施	充分实施	下一步工作
实施行动计划				
建立沟通计划	没有着手	偶尔使用针对某些群体的工具	定期对全体有关人员进行沟通	
提高意识	没有推广能效	间歇性地提及能源工作	机构各级都支持能源目标	
培养能力	仅有间接的培训	对关键人员有一些培训	在技术和最佳实践上的广泛培训/认证	
刺激	没有或偶尔联络能源使用者和职工	警告不执行者或间歇性的提示	表彰、财政和表现奖励	
追踪和监测	没有监察进展的系统	由设施进行年度审核	定期审核和更新的集中化系统	
评估进展				
计量成果	没有回顾	与历史上的相比	与目标、计划、竞争者对比使用情况和开支	
回顾行动计划	没有回顾	非正式地检查进展情况	根据结果、反馈和企业因素修改计划	
表彰成就				
提供内部表彰	没有着手	确认成功的项目	表彰个人、团队、设施的贡献	
取得外部表彰	没有寻求	偶发性的或供营商的表彰	由政府或第三方突出成就	



CHANGE FOR THE
BETTER WITH
ENERGY STAR

能源管理计划 评估对照表

解释对比的结果

将您的计划与对照表中确认的实施程度相比较应该能帮助确认您的计划的强处和弱点。

美国环保局观察到那些能充分实施在指南中概括的实践的可达到巨大的成果。因此鼓励机构尽可能充分实施指南。

通过突出对照表中的单元，您能容易地发现您的能源计划相对于指南中的整个管理成分的平衡程度。在与职工和管理人员讨论时可以使用这个对照表来显示您的能源管理计划。

使用对照表中的“下一步工作”一栏来制定改进您的能源管理实践的行动计划。

资源和帮助

能源之星提供了各种工具和资源来帮助机构加强他们的能源管理计划。

以下是您能根据能源之星采取的一些下一步工作：

1. 阅读指南中有关您的计划还没有充分实施的部分。
2. 如果您还未成为能源之星的合作伙伴，请即参加。
3. 回顾能源之星的工具和资源。
4. 在 <http://www.energystar.gov/industry> 找到更多特别针对各个产业的能源管理信息。
5. 联络能源之星以得到另外的资源。

附录 C: 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
网址: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.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
网址: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

3E Plus - 优化锅炉蒸汽管道的保温

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保温来优化。该软件为各种运行条件计算最经济的工业保温材料厚度。它使用包括在软件中的一般保温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: 美国能源部
网址: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

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、能源核算和环境报告的功能。
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
网址: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

ASD Master : 可调速驱动力的评估方法和应用

描述: 帮助确定采用可调速驱动力的经济可行性, 预计通过使用可调速驱动能节约的电能和搜寻标准驱动力的数据库的软件程序。

目标群体： 任何工业
形式： 软件套件(不是免费)
联络： EPRI, (800) 832-7322
网址： <http://www.epri-peac.com/products/asdmaster/asdmaster.html>

电机管理方法的 1-2-3

描述： 一步步的电机管理指南和报表工具用来帮助电机服务中心、供应商、公用事业、能效组织、以及可从完善的电机管理中取得财政收益的其他机构。

目标群体： 任何产业
形式： 下载的 Microsoft Excel 报表
联络： 节能协会(CEE), (617) 589-3949
网址： <http://www.motorsmatter.org/tools/123approach.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
网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

风机系统评估工具(FSAT)

描述： 风机系统评估工具(FSAT)能帮助定量优化风机系统的潜在收益。FSAT 计算了风机系统使用的能源，确定了系统的效率，并且定量了升级系统后的节省潜力。

目标群体： 任何风机的用户
格式： 下载的软件
联络： 美国能源部
网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

热电结合的应用工具(CHP)

描述： 热电结合的应用工具(CHP) 能帮助工业用户评估供热系统如燃料炉、锅炉、烤箱、加热器和热交换器的热电结合可行性。

目标群体： 任何工业热和电用户
形式： 下载的软件
联络： 美国能源部
网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

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
网址: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

快速确定工厂的能源特征

描述: 快速确定工厂的能源特征或 Quick PEP, 是美国能源部提供的一个网上软件工具用于帮助美国的工厂管理人员确定在他们的工厂是如何购买和消耗能源的, 并且确认潜在的能源和开支的节省。Quick PEP 的用途是让用户在大约 1 小时内就能得出工厂的能源特征。Quick PEP 的网上指导解释了需要哪些工厂的信息来完成 Quick PEP 个案。

目标群体: 任何工业工厂
形式: 网上软件工具
联络: 美国能源部
网址: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

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=evaluate_performance.bus_portfoliomanager

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
网址: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/iacs.html>

“节能从现在开始”评估

描述: 美国能源部对工厂进行能源评估来帮助全国各地的制造业设施确认节省能源和资金的迅速机会, 主要通过着重于能源消耗量大的系统, 包括工艺加热、蒸汽、泵、风机和压缩空气。

目标群体: 大型工厂
形式: 网上请求
联络: 美国能源部
网址: <http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/>

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套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: <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。它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

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/>

最佳实践计划

描述: 美国能源部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。

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://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/training.html/>

压缩空气的挑战[®]

描述： 非营利的压缩空气的挑战[®]通过在美国和加拿大的赞助机构网络制定和提供有关压缩空气系统能效的培训。现有三种培训的程度：**(1)基本(1天);(2)高级(2天);(3)合格的专家(3-1/2天加上考试)**。培训的方向是支持在工业设施中实施行动计划。

目标群体： 压缩空气系统管理人员，工厂工程师
形式： 培训工作坊
联络： 压缩空气的挑战： Info@compressedairchallenge.org
网址： <http://www.compressedairchallenge.org/>

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)。但是这些计划会随着时间而改变，因此建议在作出任何财政上的决定时要回顾目前的政策。

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.eere.energy.gov/industry/technologies/industries.html>

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.eere.energy.gov/inventions/>

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。但是这些计划会随着时间而改变，因此建议在作出任何财政上的决定时要回顾目前的政策。

各州的电机和驱动效率计划

描述： 提供在州一级的支持使用 NEMA Premium[®]电机、可调速驱动、电机管理服务、系统优化和其他能源管理策略的报告。
目标群体： 任何产业
联络： 节能协会(CEE)，(617) 589-3949
网址： <http://www.motorsmatter.org/tools/123approach.html>

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>

加利福尼亚-由设计来节省

描述： 向建筑的业主和他们的设计组提供设计能效建筑的协助。当新建筑的效率超出最小的规限值(一般比加利福尼亚的 Title 24 标准更好 10%)时可以向业主提供财政奖励。对业主的最大奖励是每个独立建筑或每个表 \$150000。对设计组的奖励是当设计的建筑节约了至少 15%，对设计小组的最大奖励是每个项目\$50000。

目标群体: 非住宅的新建工程或主要装修项目
形式: 全年开放
网址: <http://www.savingsbydesign.com/>

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.iedc.in.gov/Grants/index.asp>

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/programs/Commercial_Industrial/default.asp?i=2

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>