LBNL-3991E

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

# 工业能源审计指南:
# 在工业设施内进行能源审计的指南

*Ali Hasanbeigi, Lynn Price*

中国能源研究室
能源分析处
环境能源技术部

**2010 年 10 月**

本项工作通过美国能源部，由能源基金会中国可持续能源项目与陶氏化学公司的慈善捐款所资助，合同编号为 DE-AC02-05CH11231。

# 免责声明

本文件编写工作由美国政府资助。同时，虽然本文件中的信息被认为是准确的，但是无论是美国政府或是其机构、加州大学董事会或是其雇员都既不对文件的准确性、完整性、信息的有用性、仪器、产品、以及披露的过程、或是其使用不侵犯私有权进行明示或暗示的保障，也不负法律责任。此处提到的任何具体商业产品、过程或有商标名称、商标、制造商名的服务，并不一定构成或暗示美国政府或其机构、加州大学董事会的认可、推荐、或偏袒其使用。作者在这里表示的观点和意见，并不一定代表美国政府及其机构，或加州大学董事会。

劳伦斯伯克利实验室是一个机会均等的雇主。

# 工业能源审计指南:
# 在工业设施内进行能源审计的指南

**Ali Hasanbeigi, Lynn Price**

中国能源研究室
能源分析处
环境能源技术部

## 摘要

不同国家进行的许多研究显示,工业部门仍有很多改善节能做法的机会,其中不少能效做法具成本效益。这些能效选择有适合各行业与某些特定行业。但这些工厂并不一定知道改善能效的潜力。进行能源审计是识别这些潜力的首要步骤之一。尽管如此,许多工厂并无能力进行有效的能源审计。某些国家的政府政策和项目着重于通过提高能效来帮助企业提高竞争能力,但改善能效所需的资金和技术却常常相当有限,特别是一些中小型企业。因此,应准备能源审计与实践的信息并发送给工厂。

本指南提供能源审计人员多项重要指南,包括准备能源审计、盘点和测量能源使用量、分析能源帐单、对标、分析能源的使用型态、识别节能的机会、进行成本效益分析、准备能源审计报告和审计后的活动等关键因素。本指南目的在协助工厂的能源审计人员和工程人员进行有组织及有效的能源审计。

# 目录

**1. 工业能源审计介绍 ..... 1**

1.1.能源审计的定义 ..... 1
1.2.目的 ..... 2
1.3.能源审计的类型 ..... 2
1.4.能源审计程序概要 ..... 2

**2.能源审计的准备 ..... 4**

2.1.审计标准定义 ..... 4
2.2.确定审计的范围 ..... 4
2.3.能源审计组的挑选 ..... 4
2.4.制定审计的计划 ..... 5
2.5.准备审计检查单 ..... 5
2.6.进行初步“走过式”巡视 ..... 5
2.7.收集能源帐单和现有的数据和资料 ..... 5
2.8.进行初步分析 ..... 6

**3.分析能源帐单 ..... 7**

3.1.电费单 ..... 7
3.2.天然气帐单 ..... 8
3.3.煤炭和燃油帐单 ..... 8
3.4.对历史用能情况进行图解分析 ..... 8

**4.能源消耗的盘点和测量 ..... 11**

4.2.盘点热能的使用 ..... 12
4.3.测量特定能源系統 ..... 13
4.4.能源平衡 ..... 13

**5.分析用能和生产的模式 ..... 14**

5.1.负载/需求概况 ..... 14
5.2.用散布图呈现能源-生产的动态关系 ..... 16
5.3.在散布图上解释能源生产数据的模式 ..... 17

**6.对标和比较能源效能分析 ..... 18**

**7.识别能效和减少能源开支的机会 ..... 19**

7.1.电力需求的控制 ..... 20
7.2. 跨产业能源效率改善的机会 ..... 21
*7.2.1. 电机电机的能源效率改善机会 ..... 21*
*7.2.2. 压缩空气系统的能源效率改善机会 ..... 23*
*7.2.3. 泵系统的能源效率改善机会 ..... 26*
*7.2.5. 照明系统的能源效率改善机会 ..... 30*
*7.2.7.工艺加热系统的改善能效机会 ..... 35*
7.3.部分工业中行业特有的改善能效机会 ..... 36

**8.能效机会的成本效益分析 ..... 37**

8.1.生命周期成本分析(LCCA) ....38
8.2.生命周期成本(LCC)方法 ....38
8.3.净现值(NPV)方法 ....41
8.4.内部收益率(IRR) 方法 ....42
8.5.简单的归本期(SPP)方法 ....42

**9.准备能源审计报告 .... 43**

**10.审计后的活动 .... 45**

10.1.为实施能效措施而制定的行动计划 ....45
10.2.实施行动计划 ....46

**首字母缩略词 .... 49**

**参考文献 .... 51**

**附录 1.转换系数 .... 58**

表 A-1 转换系数 ....58

**附录 2.能源审计的仪器 .... 59**

A.2.1.注意安全 ....59
A.2.2.测量电气参数 ....59
A.2.3.温度测量 ....60
A.2.4.流量的测量 ....61
A.2.5.废气的测量 ....61
A.2.6.转动设备的转速测量 ....62

**附录 3 特定工业的能源效率改善机会一览表 .... 63**

A.3.1. 水泥工业 ....63
A.3.2. 钢铁工业 ....65
A.3.3. 纺织工业 ....68
A.3.4. 石化工业 ....77
A.3.5. 玻璃工业 ....78
A.3.6. 汽车装配工业 ....79
A.3.7. 果蔬加工业 ....80

# 工业能源审计指南:
# 在工业设施内进行能源审计的指南

**Ali Hasanbeigi, Lynn Price**

中国能源研究室
能源分析处
环境能源技术部
劳伦斯伯克利国家实验室

能源审计帮助工业公司或设施了解他们如何使用能源并且帮助寻找产生浪费和存在改善机会之处。本指南提供了进行工业能源审计的指南，即使从未进行过能源审计的人员也可以很容易地理解，并按照指南从事审计。 本指南的使用对象既可以是工厂内部的审计人员，也可以是受雇于工厂的能源审计顾问。

加拿大工业节能计划(CIPEC)出版了题为《节能计划和管理指南》的指南(CIPEC 2002), 对开展工业能源审计的步骤进行了全面的讨论。最近，CIPEC 还出版了一本专门针对能源审计的指南, 称为《节能工具箱- 能源审计手册和工具》(CIPEC 2009)。这两本 CIPEC 指南是本文第 1 部分到 4 部分的主要参考来源。

另外，美国机械工程师协会(ASME)已出版能源评估标准,此标准含盖对泵、压缩空气、蒸汽与工艺加热系统的评估。这些标准介绍了对上述系统进行测量和评估的具体步骤，这些步骤是开展任何能源审计的关键要素，因此强力推荐能源审计人员和主管使用(ASME, 2009a,b,c, 2010)。

## 1. 工业能源审计介绍

能源审计是评估一家工厂的能源绩效和制定能源管理计划的关键。能源审计的典型步骤是：

- 准备和策划
- 数据采集和核查
- 工厂调查和系统测量
- 观察和检查运行方法
- 数据记载和分析
- 报告结果和建议

本章的以下部分将分别和详细地解释这些步骤。

### 1.1.能源审计的定义

能源审计有几个相对相似的定义。CIPEC(2002)在它的指南中对能源审计的定义是:

按照审核标准有系统地、有记录的核实工作以客观地获取和评估能源审核证据,然后将审核结果通知客户。
在印度节能法 2001(BEE 2008)中对能源审计的定义是：
“核实、监测和分析能源的使用并提交技术报告,内容包括对改善能源效率的建议并带有成本效益的分析和减少能源消耗的行动计划。”
应该注意的是，“能源评估”一词有时与“能源审计”在某些国家,象美国, 是互换使用的。

**1.2.目的**

每一个工厂开展能源审计的目的可能不同。然而开展能源审计通常是为了了解工厂内的能源使用情况和寻找改善机会和节能。有时开展能源审计是为了评估节能项目或计划的效率。

**1.3.能源审计的类型**

工业能源审计的类型取决于功能、规模、行业的种类、审计所要求的深度和期望达到的节能和减少开支的潜力和幅度。根据这些标准，工业能源审计可以被分为两个类型：初步审计(“走过式”审计)和详细审计(诊断审计)。

**a) 初步审计(“走过式”审计)**

在初步能源审计中，主要是利用现成的数据为工厂的能源使用和状况作简单的分析。这类审计不需要很多的测量和数据采集。这些审计一般相对地较短，结果也是一般，能提供普通的节能机会。经济上的分析一般也局限于简单的归本期计算, 即通过节能偿还初期资本投资所需要的时间。

**b) 详细审计(诊断审计)**

详细(或诊断)能源审计需要更加详细的数据和资料。通常要进行测量和数据整理，并且对不同的能源系统(泵、风机、压缩空气、蒸汽、工艺加热等)进行详细评估。因此这类审计所需的时间比初步审计长。由于他们对工厂的能源状况有更精确的描述, 并能提供更加具体的改进建议, 这些审计的结果应该是更加全面和有用的。对所建议的节能措施进行的经济分析一般超出简单的归本期,通常会包括内部收益率(IRR)，净现值(NPV)和生命周期成本(LCC) 的计算。

**1.4.能源审计程序概要**

图 3 显示了一个详细工业能源审计的程序概要。初步审计(“走过式”审计)包括了某些与所显示的程序相同的步骤，但数据采集和分析的深度可能由于审计的范围和目的而有所不同。总之, 这个程序有三个主要步骤(审计后的活动除外),每个主要步骤之下还分几个次要步骤。这三主要步骤是:准备、执行和报告。

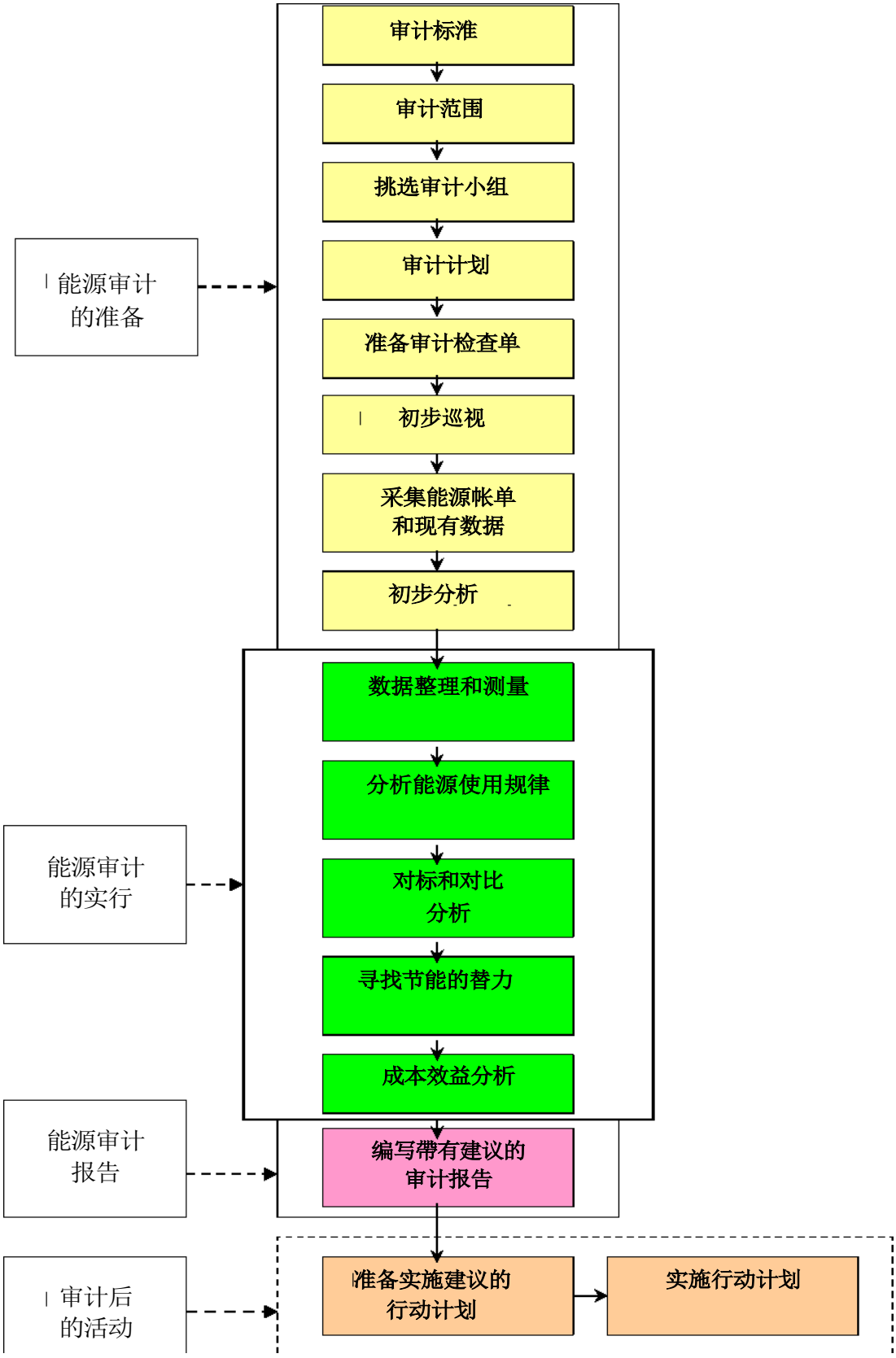



图 1. 工业能源审计的概要

## 2.能源审计的准备

### 2.1.审计标准定义

在开始能源审计之前应该确定审计的标准。应该考虑到以下的标准：

- 审计的目的
- 审计的类型
- 审计的方法和标准
- 员工的参与
- 现場或公用设施的界限
- 时间的安排
- 报告的要求
-

### 2.2.确定审计的范围

审计范围需要考虑现有的资源例如员工、时间、审计的界限、分析的水平、期望的结果、详细的程度和开展能源审计的预算等。审计范围将取决于具体审计的目的，并且可能由政府或公司的整体审计计划来决定。还应该确定审计中所包括的工艺占工厂总能耗的份额,以及最终建议的完整性和详细程度。

对大型工厂而言，确定审计范围本身就是项演练。美国能源部已开发一套快速能源分析工具(Quick PEP) 来确定需要纳入审计的能源系统并划定审计范围。快速能源分析工具是基于网络的软件，用来协助美国工厂快速了解工厂能源的购买和使用情况，同时有助于找到节省成本与能源的潜在机会。快速能源分析工具旨在提供工厂对其能源利用情况的宏观概述，主要用途在引导用户发掘进一步的资源和工具。此工具就如同路径图，能帮助用户了解工厂目前的能源现状，发掘更能直接节能与省钱的方法(US DOE ITP, 2008)。

### 2.3.能源审计组的挑选

挑选能源审计组和能源审计人员是工厂管理人员的一个关键决定。工厂的高级管理层在征求各部门管理人员的意见后必须决定审计是由工厂内部的员工或雇用外部顾问进行。如果公司有几个工厂，一个工厂的员工可以向另一进行能源审计的工厂提供支持。

根据他们的资格, 可以任命分别从事电气和热能的能源审计[1]或从事整个设施的全部能源审计的能源审计员。当使用外部审计人员时，最好选择由政府、非政府或者其他授权机构认可的审计人员。

审计小组负责人确定各审计组成员的角色和责任。如果选择由外部顾问进行审计，大多数的审计组成员也将是来自厂外(由顾问公司的职员进行审计)加上一些来自被审计的工厂和区域中指定与能源审计人员合作的员工。

[1]考虑到这些被审计的系统和设备，能源审计可以被划分成两类：1)电气审计：设备或系统用于生产、转换、传输、分配或者消耗电能，2)热能审计：设备或系统用于生产、转换、传输，分配或者消耗热能。

### 2.4.制定审计的计划

审计规划概述了审计的策略和程序。审计规划能帮助审计人员检查审计过程的一至性和完整性, 而且没有忽略或轻视任何要点。审计规划应该提供以下几点(CIPEC 2009) ：

- 审计范围
- 审计时间、审计期以及审计过程中每个步骤的时间安排
- 审计中的优先部分
- 每名审计组成员的责任和任务
- 审计报告的格式和概述
-

### 2.5.准备审计检查单

审计检查单能帮助审计人员以系统和一致的方式开展工作。检查单应该包括：

- 在能源审计中采取的步骤
- 应该采集的数据和资料
- 现有的测量仪器和所记录的数据
- 在能源审计中所需的测量和测量参数一览表
- 需要较详细评估的主要设备
- 列出审计报告中结果部分的主要成分作为指导
- 其他主要有关事项和考虑
-

### 2.6.进行初步“走过式”巡视

进行初步“走过式”巡视的目的是为了让能源审计组熟悉将被审计的设施。审计人员可以在以后再详细了解将要审计的工艺过程和设施。审计组可以观察设备上现有的测量仪器和所记录的数据，从而他们可以确定在审计期间需要什么额外的测量和数据采集。这个审计的阶段是相当有用的,特别是如果审计人员不是由工厂员工组成。审计组也能认识将被审计的区域的管理人员,提供对审计过程的介绍和建立一般的理解。在“走过式”巡视期间，审计人员可以征求设施员工的意见并采集现成的数据。

### 2.7.收集能源帐单和现有的数据和资料

在审计过程开始时应收集能源帐单及其他目前和以往与能源和生产有关的数据和资料
掌握越多的历史性数据，审计人员越能更好地了解工厂在每天不同的时刻、在不同的的季节和在不同的生产情况下的状况。在能源审计初期应采集的数据包括如下：

- 最近 2 到 3 年的能源帐单和发票(电和燃料)
- 最近 2 到 3 年的月度生产数据
- 审计期间的气象数据
- 可能由现有的记录仪器测量的存挡纪录
- 工厂和设备的建筑和工程规划

- 能源管理和实施节能措施的状况
- 有关于工厂的一般资料(兴建年份、产权归属状况、整修、产品的类型、运行日程表、运行时间、预定的停工等) 。

**2.8.进行初步分析**

初步分析通过提供工厂的能源使用、运行和能源损失的一般描述帮助能源审计人员更好地了解工厂。这项工作为对审计计划作出任何必要的更改提供了足够的资料。

在初步分析中，可以建立一个流向图来显示被审计的系统的能源流程。这个流向图应该显示单位的运作、重要的工艺步骤、使用材料和能源的区域和产生浪费的根源等概要。审计人员应该明确在每个工艺步骤的各种输入和输出。初步流向图是简单的，但关于输入和输出流动的详细资料和数据可以在详细能源审计以后再补充。图 2 显示了一个纺织品印染厂的初步流向图举例。

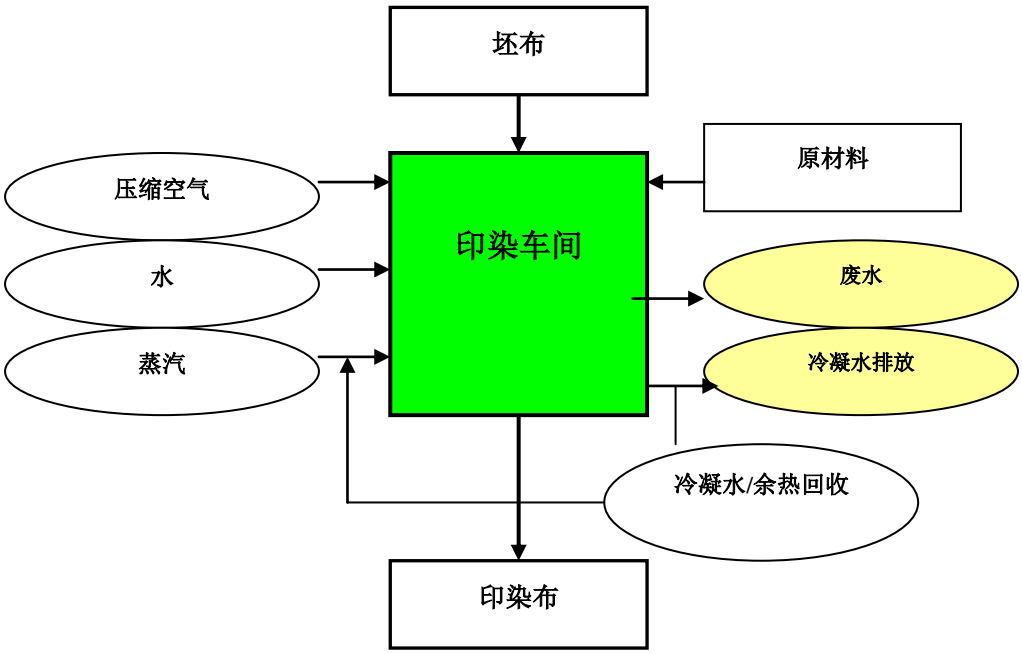



**图 2.纺织品印染厂的能源流向图**

## 3.分析能源帐单

能源帐单(特别是电和天然气)对了解和分析工厂的能源开支是非常有用的。了解这些帐单中不同的组成部分对进行正确和有用的分析是重要的。

### 3.1.电费单

电费单一般包括几种费用。大多数电价内包括了一个固定的服务(或客户)费,它不受用电量的影响,并以每度(kWh)电为收费单位对用电量的总数收费。大多数电费单(非常小的设施除外)也包括了以每千瓦(KW)为收费单位的需求费。需求费是根据每个月的最高(或峰顶)的用电，在一个短时段内(通常15分钟)取一个平均值。在有些帐单中，需求费和用电费被结合成一个单独费用。

在大多数工业用户的电费单中还有用电时间的收费。根据用电的时间，每度和每千瓦的电价将会不同。在工业电费单中的另一项收费是根据工厂的电力负载种类而定的“无功功率 ”。例如，由于多电感负载而需要增加输电容量,设施中有许多电动机就可能要付罚款。了解电价对规划能效更新也是重要的。要以最高的准确度预计所节约的能源费用，必须根据使用的时间和当时每段时间所实行的价格来计算节能量(California Energy Commission 2000)。

根据从电费单获得的数据和资料可以用来做几项计算。在一些国家(例如在美国的一些州)在高峰时间的负载决定了属于某一类的全部用电收费率。因此，减少高峰时用电可以导致较低的能源(度)使用开支。此外，在一些国家中电力在有些季节是更加昂贵的。例如在某些欧洲国家，因为住宅区使用电力取暖使对电力的需求量显著增加,因此公司在冬季的用电会更昂贵。以下提供了其他两个可能的分析。另外，在第 5 部分将更详细地讨论对需求状况的分析。

计算每天的用电量 (千瓦小时/天)
电费单覆盖期间的用电量可以被除以这段期间的天数。由于电费单读表的间隔可能不同，度/天在确定消耗量趋向时比电费单的总度数更有用。以后可以用来精确地计算每月的用电量，并且可以用作图解分析。

计算负载系数(LF)
负载系数是在一个特定期间(由电费单提供)内的能源消耗与在同一期间内如果保持最大需求所消耗的能源的比率。

$$\text{负载系数}(\%) = \frac{\text{在特定期间使用的能源(千瓦小时)}}{\text{最大需求(千瓦)}\times\text{所研究的相同时间(小时)}} \times 100$$

通常负载系数是少于100%。即所消耗的能源比最大电力需求乘以电费单的期间要少。

一般来说，如果减少工厂中的负载系数，总的用电开支就会增加 (Morvay and Gvozdenac 2008)。换句话说，负载系数是一个有用的方法来确定工厂是否在连续地使用消耗能源的

设备(较高的负载系数),或因短时间使用这些设备(较低的负载系数)而付出了需求上的惩罚。因此，应该分析工厂的负载系数来确定改善和控制需求的机会。

### 3.2.天然气帐单

根据市场规则的限度,天然气帐单可能在不同的国家中是不同的。以下从 CIPEC(2009)摘抄的定义是相当标准的，尽管这些例子都是来自加拿大。对于工厂的天然气帐单中的具体术语的定义，审计人员可与天然气公用事业的代表联系。帐单的典型组成部分是：

- 天数: 目前帐单包括的天数。有一个重要的注意点是因为读表之间的时间间隔可能有±5 天的变化，使一些月份的帐单的费用会高于或低于其他的月份。
- 读表日期: “使用天数” 和“读表日期”可以用于将消耗量或需求的增加联系到生产或气候因素。
- 合同的需求(CD): 事先经谈判商定的每天最大使用量，一般用 米 $^3$ /天 作单位。
- 超出量: 在任何一天的用气量超过合同的需求量(例如 105%).
- 客户费: 固定的每月服务费,与任何用气量或合同的需求量无关。
- 需求费: 根据合同的需求量确定的固定月费,与真实的用气量无关。
- 供气费: 购买气体的产品费(分/米 $^3$); 一般称为商品费。这是天然气帐单中有竞争的部分。如果工厂从供应商购买天然气(而不是与它连接管道的天然气设施公司)，这个费用将由那个合同或供应商决定。天然气设施公司也会在这个方面提供预设的费用。
- 输送费(有关合同的需求量): 根据合同的需求量确定的固定月费,与真实的用气量无关。
- 输送(商品)费(被输送的气体): 为输送已购买的气体的固定或批量输送费(分/$m^3$)。
- 超出量收费: 作为超出量来购买的天然气费用。
-

### 3.3.煤炭和燃油帐单

由于煤炭和燃油的消耗量通常没有测量，要准确地跟踪它们的使用是困难的。每月的消耗量一般是根据燃料交货日期进行估计，可能与实际消耗量不对应。煤炭消耗量可以从燃煤设备的燃烧效率和能量输出进行估计。燃油的消耗量可以从装在的储油罐输出口的计量表(如果已经安装)获取,如果燃油消耗设备沒有安装计量器,则要用与估计煤碳消耗量相同的方法来估计。

### 3.4.对历史用能情况进行图解分析

对工厂使用的每种能源的每小时/每日/每月/每年使用的图解分析能帮助更好地了解工厂的能源使用规律。有时那些规律是意想不到的，并且可能因此找到改变能源使用方式的机会和节省能源。例如，一般不会想到象水泥工业等重型加工业会出现由于气候变化而导致季

节性的能源使用变化的情况。尽管如此，如果一个季节性规律在图解分析中出现，可能表明需要调查能源损失的潜在根源。

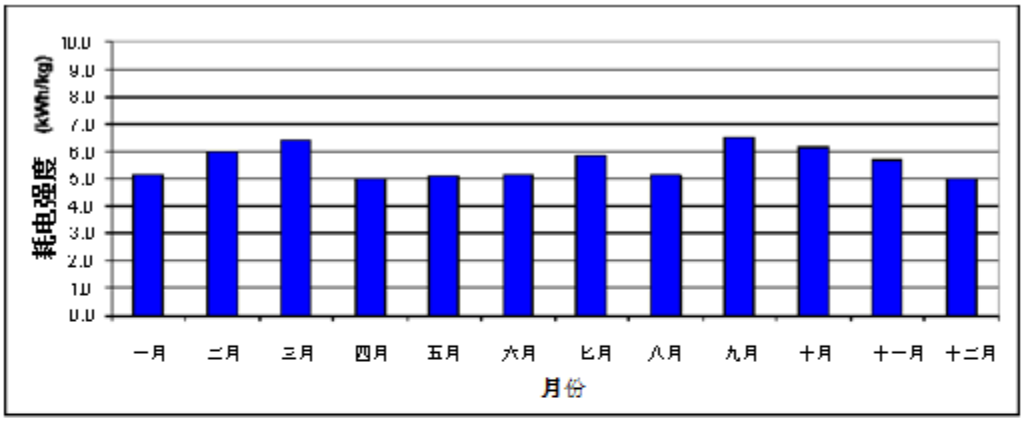
一个工厂的运行条件或能力会逐年变化是很平常的。因此，单独就能源使用的变化可能不能真实地反映工厂的能源效率状况。更好和更准确的方法是进行对工厂的能源强度(EI)的图解分析，即是每个单位产量所消耗的能源。能源强度可以通过使用从每个月的能源帐单上得到的能源消耗数据和每个月的生产数据计算得到。

$$\text{能源强度(千瓦小时或 GJ/吨)} = \frac{\text{能源消耗(千瓦小时或 GJ)}}{\text{产量(吨)}}$$

图3 提供了在一个四季性气候的国家的一家纺纱厂使用电和燃料的能源强度的一个假定的举例。由此所见,全年用电强度的规律变化不大，而燃料强度的规律则随着季节而变化。原因是在纺纱厂中,燃料只是用于在寒冷的月份供暖，因为厂内的温度和湿度需要保持全年相同。

另一种可以用来对用能和费用数据历史进行图解分析的是圆形分析图。圆形分析图可以用图象来显示各种所使用的能源的份额和它们的费用。每月和每年的数据可以用来绘成这样的图表(Hooke et al.2003)。图 4 显示了每种终端能源[2]的份额和它们的费用份额与全年总能源费用的关系的一个假定举例。从图 4 也能看出，虽然煤炭占所有终端能源使用的60%，但它只占总能源费用的 35%。另一方面，电代表了每年能源费用的最高份额，但只占总能源消耗量的 20%。

[2]值得注意的是，电与矿物燃料一起显示在同一张图表, 或者是电的使用与矿物燃料的使用的总和得到了总能源使用量，电和燃料全部被表达成终端能源(考虑到发电、输电和分配的损失)作为最终使用, 而不是一次能源。



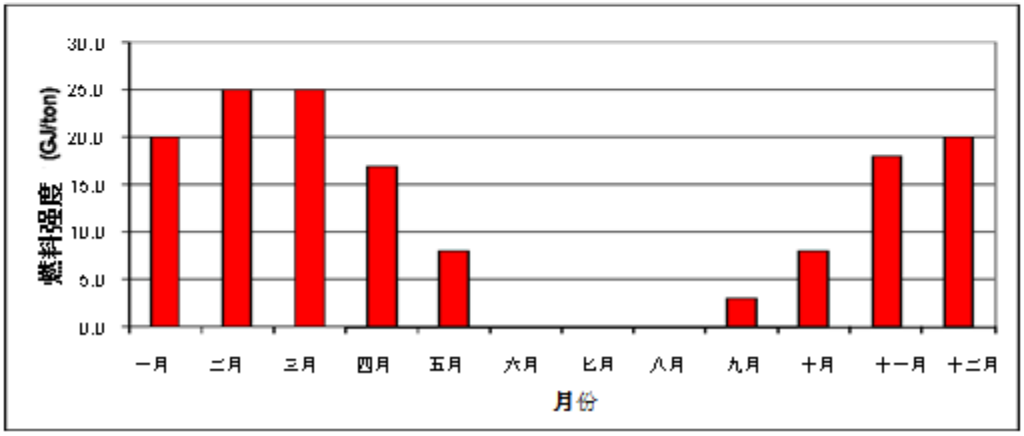
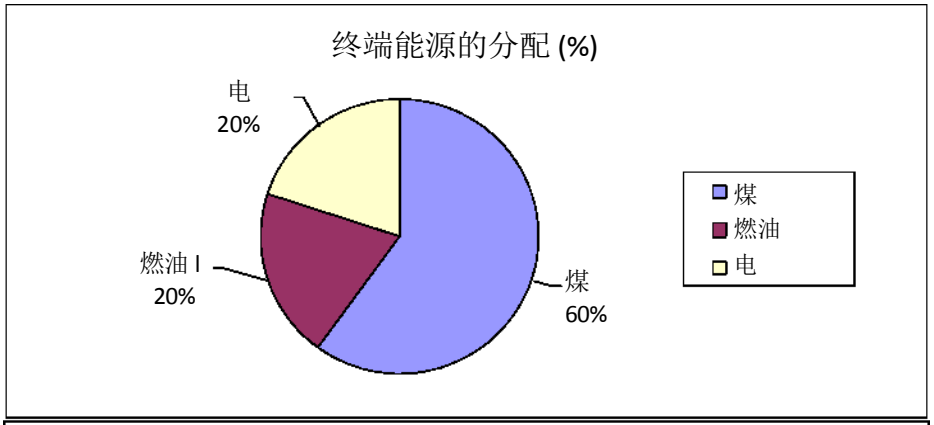




**图3. 纺纱厂的历史性电力和燃料强度规律**



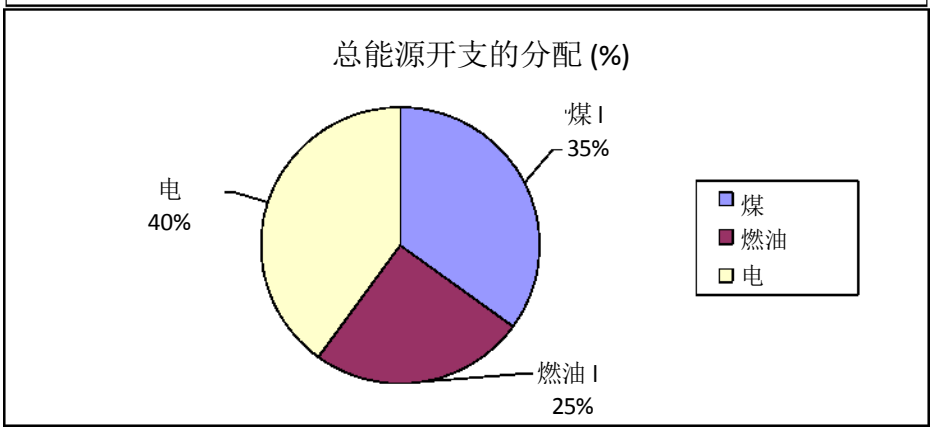




**图 4.终端能源的使用和费用分类**

## 4.能源消耗的盘点和测量

通过盘点和测量来采集数据是能源审计的主要活动之一。没有充分和准确的数据就不可能成功地完成能源审计。一些现有的数据是可以利用的，并且可以从被审计的工厂的各个部门采集。其他一些数据可以通过测量和纪录来采集。能源审计组应该配备所有必要的测量仪器。这些仪器可以是便携式或者安装在某一设备上(CRES 2000)。在审计过程中最常测量的数据是：

- 液体和气体燃料的流量
- 电的测量，例如电压、电流强度和功率以及功率因素
- 固体和液体表面的温度
- 在管子、炉或容器里的流体压力
- 废气排放(二氧化碳、一氧化碳、氧气和烟雾)
- 相对湿度
- 亮度

本报告的附录 2(能源审计的仪器)将更详细地解释常用的工业能源审计测量仪器。其它关于计量和测量的资料可从 Hooke et al.(2003)中找到。其余的这个部分将集中在应该进行的电力和热能设施的测量种类以及可以由那些测量所做的分析。这对能源审计人员是有用的，并且能帮助他们在评估工厂的能源使用和状况时采用系统化的方式。在这本指南中的分析将集中于盘点用电负载和热能的使用。

### 4.1.盘点用电负载

盘点在工厂中所有用电负载的目的是为了回答两个重要问题：电用在哪里？每个种类的负载使用多少电和使用的速度有多快？以负载的大小作为选择优先的节电机会的一种方法。因此將工厂内不同的负载识别和分类是有用的。由于盘点负载时也确定了与每个负载或每组负载相关的需求量(即用电的速度有多快)，它对进一步解释需求状况是有价值的。本指南的第 5 部分将进一步讨论需求状况。要在工厂中进行盘点用电负载，审计人员可遵照在 CIPEC(2009) 里解释的 8 个步骤。

### 4.2.盘点热能的使用

在图 2 所显示的能源流向图对辨别热能流向是有帮助的。能源流向图能显示所有流入设施的能源、所有从设施流向外界的能源以及在设施内的所有重大能源流。能源流向图的目的不是详细描述工艺过程。事实上，它一般不会显示在各下属系统内发现的具体装置和设备。能源流出的总和应该等于合计的流入能源。以这些资料是可能经常发现节能和回收能源的机会。

辨别能源流的种类：
表 1 为辨别从下属系统或设施流出的热能提供一了个检查单。这个单子所列出的流出的热能是不详尽的，但包括了主要的热能流程，在此经常可以找到能效的潜力。

**表 1.热能输出一览表 (CIPEC 2009)**

| 能流类型 | 举例 | 配备/功能 |
|---|---|---|
| 传导 | 墙壁，窗口 | 建筑结构 |
| 气流- 易察觉 | 一般排气 | 排气和新风系统，助燃空气进气 |
| 气流-潜在 | 烘干机尾气 | 洗衣店尾气， 水池通风，干燥处理，设备<br>排气 |
| 热或冷的流体 | 排放的暖水 | 家用热水，加工热水，<br>加工冷却水，<br>水冷空气压缩机 |
| 管道热耗 | 蒸汽管道 | 蒸汽管， 热水管道，所有热的管道 |
| 容器热耗 | 热流体动容器 | 存贮和收集容器 |
| 制冷系统输出热 | 冷藏 | 制冷机， 冷冻机，加工冷却，空调 |
| 蒸汽泄漏和泄气孔 | 蒸汽泄气孔， 凝汽阀等。 | 锅炉厂，输配系统，<br>蒸汽器具 |

**估计能源流出和流入的计算：**

解释热能流程的具体计算是超出了这本指南的范围。但是关于热能流程计算的详细资料有多种现有的参考材料,例如 Morvay 和 Gvozdenac (2008), CIPEC (2009)，和 EERE(2004)等。审计人员可以利用能源流向图开始给流入和流出的能源定量。在许多情况下，进行这些能源计算所需要的资料在一些设备和工艺中是现成的。两个这类资料的来源是铭牌额定值和蒸汽流量计。

### 4.3.测量特定能源系统

一个工厂内有不同能源系统诸如泵、风机风机、压缩空气、蒸汽蒸汽和工艺加热系统。这些系统各有各的独特性且通常须用有不同的测量技巧与器具。美国机械工程师协会(ASME) 有出版能源评估标准，涵盖泵、风机风机、压缩空气、蒸汽蒸汽和工艺加热系统。这些标准介绍如何按步骤测量和评估这些系统 (ASME, 2009a,b,c, 2010)。

### 4.4.能源平衡

能源平衡的好处之一是所有能源输入可以与所有能源输出等量和平衡。它的一个方便的图象表示法就是 Sankey 图(桑基图)。在 Sankey 图中，根据从能源帐单和发货单得到的现有数据、计算和在工厂的现場测量、能源的损失或流出、能源的获取或者流入、以及有用的能源在一个特定能源系统代表了定量的和成比例的总能源流入。在 Sankey 图的帮助下在视觉上表达出能源的流动能帮助找出能源系统中更关键的能源消耗区域，同时寻找导致能源损失的根源。图 5 提供了能源流 Sankey 图的例子。Sankey 图可以用手简单地绘出。但是也有专门的软件套装用来制作 Sankey 图。

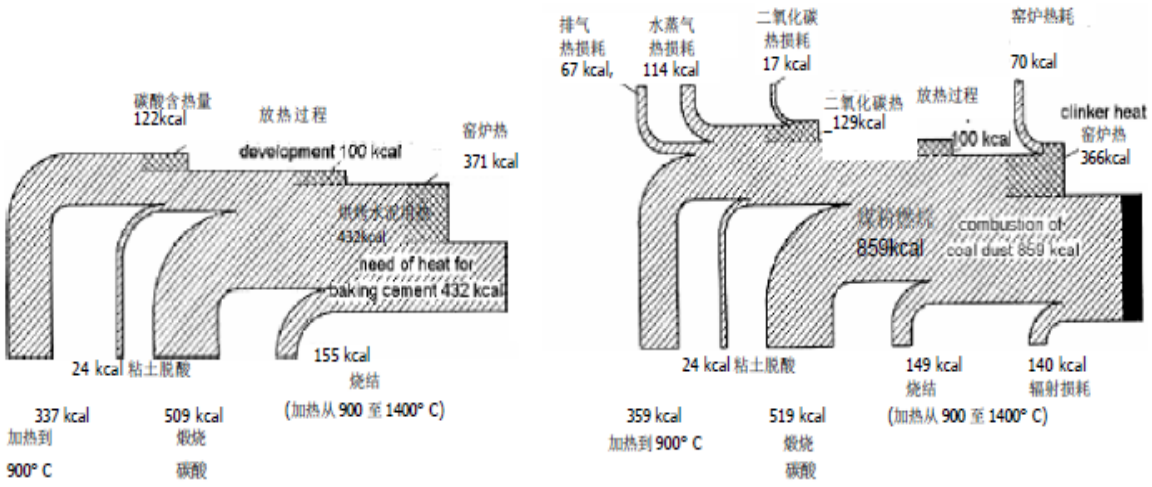



**图 5. Sankey 图显示了在水泥生产中理论上的热能支出(左边)和实际的热能消耗(右边) (Schmidt, 2008)[3]**

[3]注意：图中提供的热值是旧的，不适用于现今的水泥厂。然而，这个图清楚地显示了水泥生产的能源流程。

# 5.分析用能和生产的模式

## 5.1.负载/需求概况

基于终端用户需求上的变化,电负载能随着时间而改变。用于显示装置或设备随时间变化的负载形状的图表称为负载/需求概况或负载/需求图。如果这个图描绘了工厂中所有用电设备的负载需求，它可以用来确定电力需求的特征和了解供电经济。事实上，负载图的形状是电费单的主要收费项目和各种收费制度的的依据(Morvay and Gvozdenac 2008)。图 6.显示了每天的负载概况的样版。负载概况的形状取决于进行审计的工厂的运作安排、工艺过程的性质和能源系统。例如，如果设施三班制工作，负载概况可能是相当平坦的，然而如果公司仅工作一或两轮班，24 小时的负载概况将有峰顶和低谷,如图所示如下。

负载概况可以以每月、每日、每小时或在可能之下更加频密。负载概况的时间间隔取决于需要负载概况的最后分析的目的。大多电费单提供了足够的为制作月度负载概况所需要的资料。表 2 提供可以从负载概况获得的一些有用的信息.

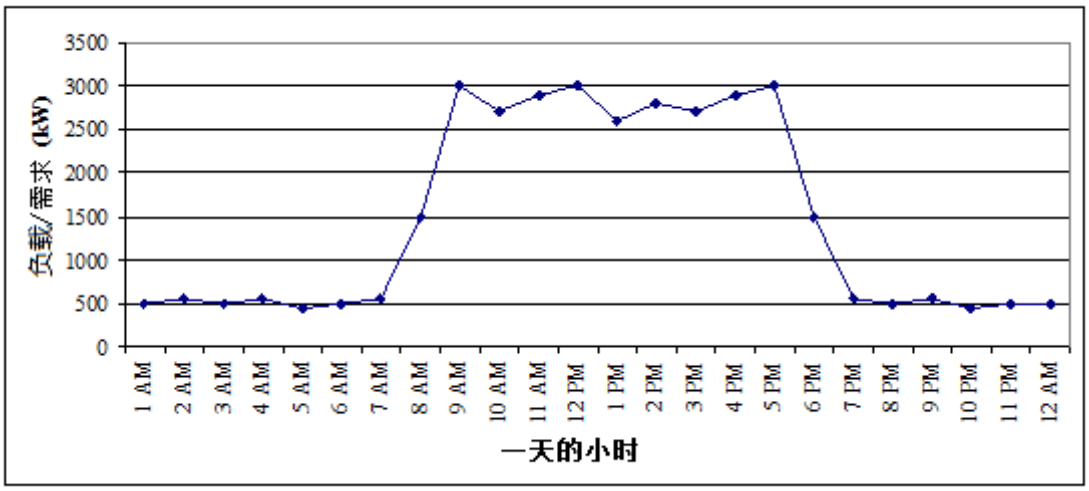



**图 6..一个一班制的工厂每天的负载概况样板**

**表 2. 与负载概况有关的资料(CIPEC 2009)**

| 资料 | 描述 |
|---|---|
| 高峰负载 | 高峰负载时段的时间、幅度和时段或要确定的时段。 |
| 夜间负载 | 清楚地确定在晚上(或在没人使用的时段)的负载。 |
| 起动 | 确定起动运行对负载和高峰负载的影响。 |

| | |
|---|---|
| 停止运行 | 确定停止运行时关闭的负载。它应该等于起动的递增。 |
| 气侯影响 | 气候条件对电力负载的影响可以从日间到夜间(并有气温的变化)和从季节 到季节进行辩别, 并比较每个季节的负载概况。 |
| 循环的负载 | 负载概况显示了许多负载的负载周期。可以与所期望的进行比较。 |
| 相互影响 | 系统之间的相互作用可以是明显的： 例如当通风阀打开时电供热就会增加负载。 |
| 生产影响 | 增加生产设备的负载的影响应该在负载概况中显示。 |
| 问题区域 | 例如，一台短循环的压缩机通常是容易从负载概况中察觉。 |

**负载周期图**

除了负载概况之外，另一实用的评估用电运行效能的分析是“负载周期”图。负载周期图可以从负载概况建立，以便将观测期间的任何独特负载的累积周期按顺序绘制在一起,如图 7.所示。负载周期图的有用特点是：

- 它不仅会显示最大负荷，而且也会显示在观测的时段中的最大负荷时段,这对制定需求控制策略是重要的。
- 它提供了对可变和固定需求的洞察,为确定运行效能提供依据。在理想的情况下，可变需求是仅由生产变化而造成，而固定需求则反映了难免的并与产量无关的最小消耗量。然而在现实中，两者都不会如此。在工厂中经常有减少需求的固定部分和可变部分的好机会。常常会有所谓“假的”固定需求,即某些负载被当作固定来运行，而实际上这些运行不是一直需要的(Morvay and Gvozdenac 2008)。
- 它也能帮助确定在非生产时间的负载以减少能源的使用。由于一些设备可能在非生产时间作无必要的运行, 因而经常可能发现重大的节能机会。

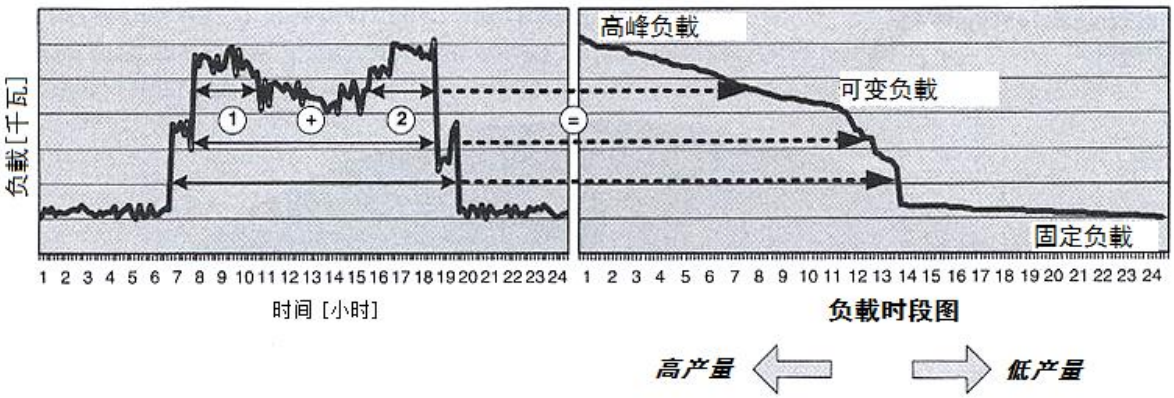



**图 7. 建立负载时段图 (Morvay and Gvozdenac 2008)**

本指南提供了一个作为辅助的 Excel 数据表以协助能源审计人员制作一个工厂或能源系统的以每日、每周、每月和每年为基础的负载概况。值得注意的是，每日的负载概况可以被制成几个连贯的天数。在每日和每月负载概况的数据表中也提供了制作负载时段图的样板。

### 5.2.用散布图呈现能源-生产的动态关系

用能的变化在一定程度上是由于生产的可变性。然而，经常性的用能过份变化并不能用生产上的变化来解释。在这种情况下，过份变化的原因可以用包括一些以下说明在内的各种方式来确定。为此需要能源和生产的数据和生产过程的充分知识。在第 3.4 部分，简要地介绍了如何建立和解释电和燃料强度的模式。在这个部分和以下的两个部分将根据 Morvay 和 Gvozdenac(2008)介绍散布图的制作以及如何对它作定性和统计的解释。

X 轴显示了作为独立变量的产量,而 Y 轴则显示了作为独立变量的能源的散布图提供了用能和生产之间的潜在关系的有用信息。图 8 显示了每月的用能和生产散布图的举例。这样的散布图没有任何时间维度。如果生产发生变化，预期用能也将变化。散布图中每个位置的点是在观测期间所发生并有可以解释的起因和生产情况的结果。当用能-生产的关系在散布图中形象化时，效能上的变化立刻变得可见，审计人员能开始解释这些变化和采取行动。下一步将讨论对散布图提供的能源-生产关系的定性分析和解释。然后介绍用于分析散布图中的数据的统计方法(Morvay and Gvozdenac 2008)。

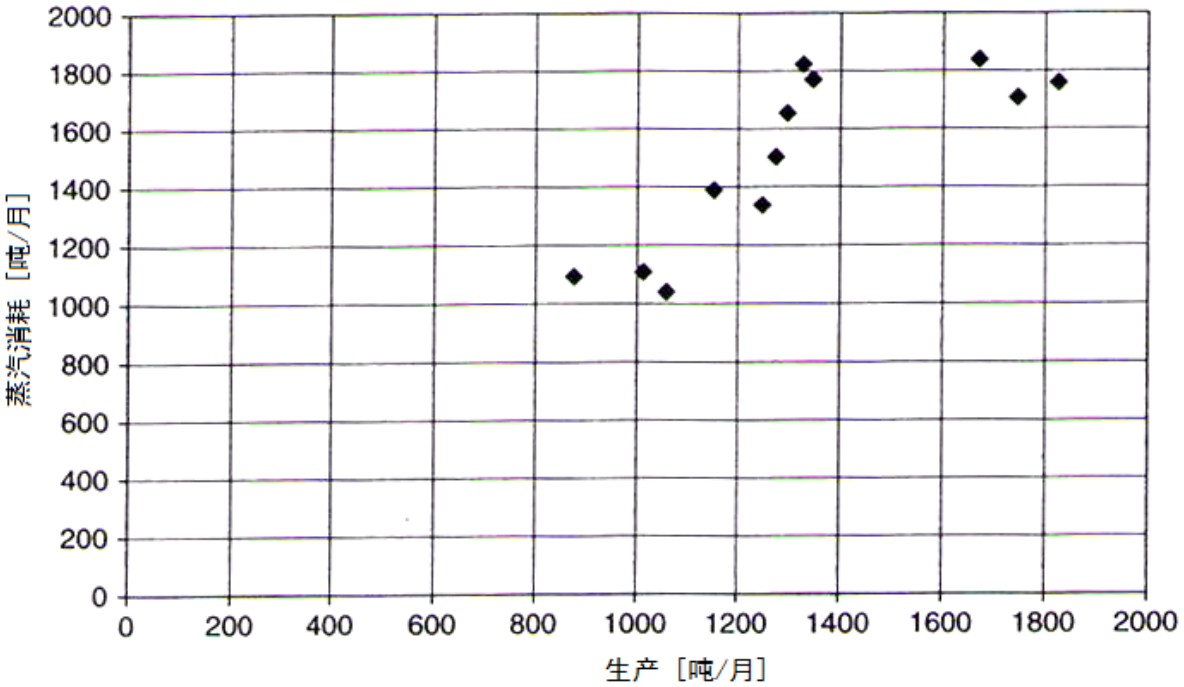



**图 8.生产和用能数据模式的散布图举例 (Morvay and Gvozdenac 2008)**

**5.3.在散布图上解释能源生产数据的模式**

能源审计人员需要解释在散布图上出现的异常的数据模式。例如，图 8 标绘的数据包括了图 9 所示的四个应该注意之处,解释如下。

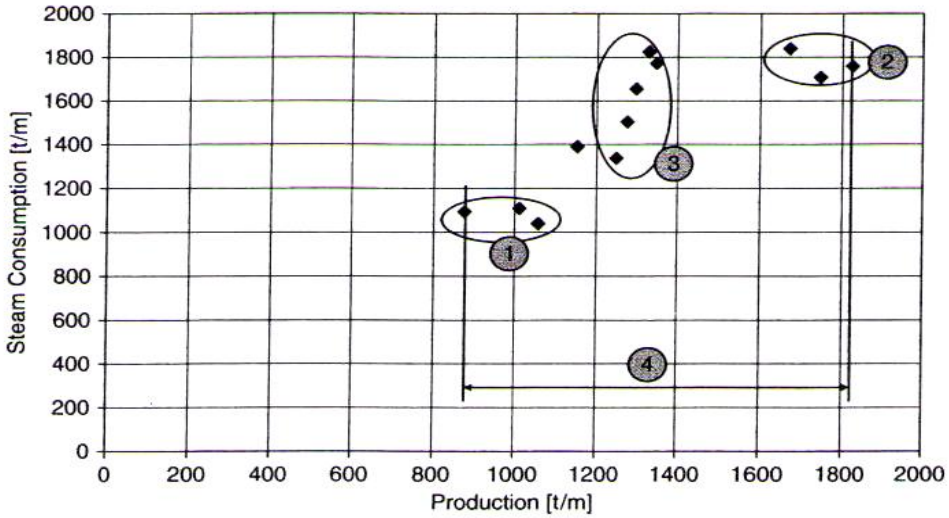



**图 9..解释散布图中数据的模式 (Morvay and Gvozdenac 2008)**

数字 1 和 2 旁边显示的数据表明用能并不随着产量的改变而有很大的变化。而且当产量更高时，用能则倾向于较低，这可能是能源管理和控制较弱的标志。换句话说，如果没有用能的变化，并不一定意味着能源使用效能是好的。相反，以同样规格的生产过程，如果产量下降或增长，用能也应该按能源与产量的关系比率下降或增长。数字 3 旁边显示的数据表明在几乎相同的产量输出中, 有几点不同的记录到的能源使用量,范围从 1300 到 1800 吨蒸汽。在这种情况下，能源审计人员应该要问“如果 1300 吨蒸汽已足够用于生产，为什么不总是足够？”基本上，如果生产是稳定的，只要生产规格没有改变,用能应该也是平稳的。

数字 4 旁边显示的数据表明了记录到的产量变化范围是从 876 到 1825 吨/月。这是非常大的生产变化。有时当产量降低时具体的能源消耗反而更高(即较差的能源效能)，这是由于工厂的生产能力利用率低的缘故。通常如果生产经常变化并且规模较大，要将用能保持在最佳水平可能是较难的; 因而在用能上会产生更大的变化。然而，有时生产的变化是在工厂的控制之外,因为它是由市场需求决定的。但是，当用每日的生产和能源数据建立散布图时，这个问题也可以显示出来。通过更好的生产规划是可以控制每日的生产，并且避免大幅度的变化。如果生产的需求设在最大的生产能力之下，有一种选择是让机器在满负

荷下作短时间的运行,而不是让它们全部时间都在部份负荷下运行(Morvay and Gvozdenac 2008)。

散布图將用能模式形象化，并且可以用作如上所述的定性分析，但它不能提供定量的资料。要进行定量分析，应使用回归分析等统计方法。其中一些统计方法在 Morvay Gvozdenac (2008), CIPEC (2009), CenterPoint Energy (2004), 和 U.S. Environmental Protection Agency (2007a)有解释。

本指南提供了一个作为辅助的 Excel 数据表以协助能源审计人员和能源管理人员发展用于作进一步统计分析的具体能源消耗及散布图。

## 6.对标和比较能源效能分析

能效对标和对比可以用于评估公司相对于它的竞争者或它在以前的表现。对标也可以用來评估由于实行能效措施所取得在能源效能上的改善。而且国家的政策制订者可以使用对标来选择优先的节能方案和制定减少温室效应气体排方的政策。国际上的能效对比可以提供标杆让公司或行业将它们的效能与其他国家的同一类型的公司或行业相衡量(Phylipsen et al.2002)。本指南的这个部分集中于设施的层次而不是政策的层次。

将设施的能源效能进行对标能使能源审计人员和管理人员辩别可以复制的最佳实践。它建立了供管理人员衡量和奖励好绩效的参考点。它能找到高效能的设施以树立形象,而让效能差的设施优先实行改善(Ptm 2009)。对标可以有不同的方法。工厂的绩效可使用以下作对标：

- 以往的绩效: 將目前与历史的表现相比较。
- 行业的平均值:与已建立的效能衡量标准相比较，例如同类型组织中被认可的平均效能。
- 在同行业中最好: 以行业中最好的,而不是平均的作对标。
- 最佳的实践: 定性地与被认为是行业中最佳的某些惯例或技术相比较。

对标的关键步骤包括：

- 确定对标的层次(例如技术、加工线或设施等)
- 制定衡量标准：选择有效地和适当地表达工厂的能源效能的测量单位(例如千瓦小时(度)/吨产品、千兆焦耳/吨产品、千克标准煤/吨产品等)
- 进行对比以确定被研究的工厂或系统与标杆相比的绩效。
- 追踪一段时期以确定在这段时间内能源效能是有所改善或是更加恶化,从而采取适当的行动(US EPA 2007)。

进行对标时，要明确用能的关键因素，并调整或规范对标的衡量标准,例如根据气候、生产水平或者影响用能的产品特点。规范数据保证对比是有意义的并且避免将“苹果与桔子”来对比。将对标的结果进行评估和采取行动与对标活动一样重要。成功的对标也需要采用监督和验证的方法来保证不断地改善(US EPA 2008c)。有几种对标工具可供能源审计人员和管理人员在工业设施进对标。然而这些工具目前只能提供选择性的工业行业和/或仅在某些国家使用。

通过工业能源之星计划，美国环保局(EPA)制定了工厂能源效能指标(EPI)使能源审计人员、管理人员和企业经营者能通过与美国的相似设施相对比来评估工厂的能源效率。用户输入了工厂的运行数据就能收到对工厂的能源效率评分(等级从 1 到 100)。EPIs 目前能向下列行业提供： 水泥制造业、容器玻璃制造工厂、玉米精炼、平面镜制造工厂、冰冻炸土豆加工厂、果汁加工厂、机动车制造业和制药厂。EPI 工具可以免费从美国 EPA 下载(2008a)。

另一种对标工具是由劳伦斯・伯克利国家实验室(LBNL)与能源研究院(ERI)和其他中国伙伴合作开发的水泥工业“对标和节能工具(BEST)”。BEST-水泥是以工艺过程为基础的对标工具,基于商业上已有,并在世界各地的水泥工业都能适用的能效技术。最新版的设计是为了在中国使用，并且标杆中国和国际水泥设施的最佳实践。但它经过少量修改以后也可以在其他国家使用。中国的 BEST-水泥版是有中、英文的，并且可以从 LBNL & ERI 下载(2008)。

劳伦斯・伯克利国家实验室也制作了另一个称为 BEST-酿酒厂的对标工具。它將目标酿酒厂的效能与一个类似的参考酿酒厂进行对比。BEST-酿酒厂中的参考酿酒厂是以一个效率非常高,使用商业上已有的先进节能和节水技术的酿酒厂为基础。BEST-酿酒厂工具和它的手册是可以免费从 LBNL(2007)得到。

加拿大工业节能计划(CIPEC)也为几个行业例如纸浆和造纸厂、钢铁工业、制氨工业、钾盐生产设施、鱼的腌制和干燥处理和龙虾处理、汽车零件工业和纺织品湿处理等开发和出版了一系列能源对标和最佳实践指南。这些指南是可以免费从 CIPEC 得到(2009b)。

## 7.识别能效和减少能源开支的机会

在几乎所有的工厂中都能找到各种各样的能源系统,例如电机系统、蒸汽系统、压缩空气系统、泵和风机系统等。这些都是所谓的“跨行业”技术。另外，每个行业的下属部门有它自己独特的生产技术和过程。在跨行业和行业中独特的领域中都能找到能效的机会。由于许多工业部门有众多类型的技术和机器，详细讨论每种技术、系统或行业的能效机会已经超出了这本指南的范围。

这个部分首先说明如何利用负载概况(在第 5 部分描述)来减少能源开支。然后简要地介绍一下供能源审计人员进一步分析, 并适用于被审计工厂的跨行业技术能效措施的一览表。

具体能效措施的详细说明可以在每个部分的参考文献中找到。最后介绍各种工业部门专门的能效措施的出版刊物作为参考,能源审计人员可以利用它们到跨行业技术以外去寻找生产过程中的节能机会。

### 7.1.电力需求的控制

需求的控制通常是由能源审计人员在建立需求或负载概况后进行的后续分析。需求的控制是拉平负载概况图的一个简单技巧,即“削”峰和“填”谷(图 10)。需求控制和负载管理的主要好处是减少电费。实际上，由于很少可能在固定的功率消耗下运行,工厂的需求极限是高于平均的电力要求。在需求控制计划中的第一步是分析电力公司的收费结构和工厂以前的用电需求历史。在第 3 部分解释过的负载系数概念是需求控制分析的有用工具。 最大需求和总的千瓦小时可以容易地从过去的电费单中得到。

减少最大负荷的最简单方法是规划生产活动,使最大的用电者完全不在高峰期运行,或者尽可能至少一部分不在同时运行。机器排序是一个根据每天中的时间、每星期中的日期、日期的类型或其他可变因素和生产的需要而开动或停止设备的方法。通过考虑到生产中的能源因素的有效的生产规划可以达到改进机器排序。这是其中一个避免机器空转和减少高峰需求的最有效方式。第二个方法是在高峰期中的一个预设时段依靠自动控制来关闭非基本负载, 可使用某种负载管理设备例如简单的开关装置、单负荷控制设备、需量限制器或者计算机化的负载管理系统等(Morvay and Gvozdenac 2008)。

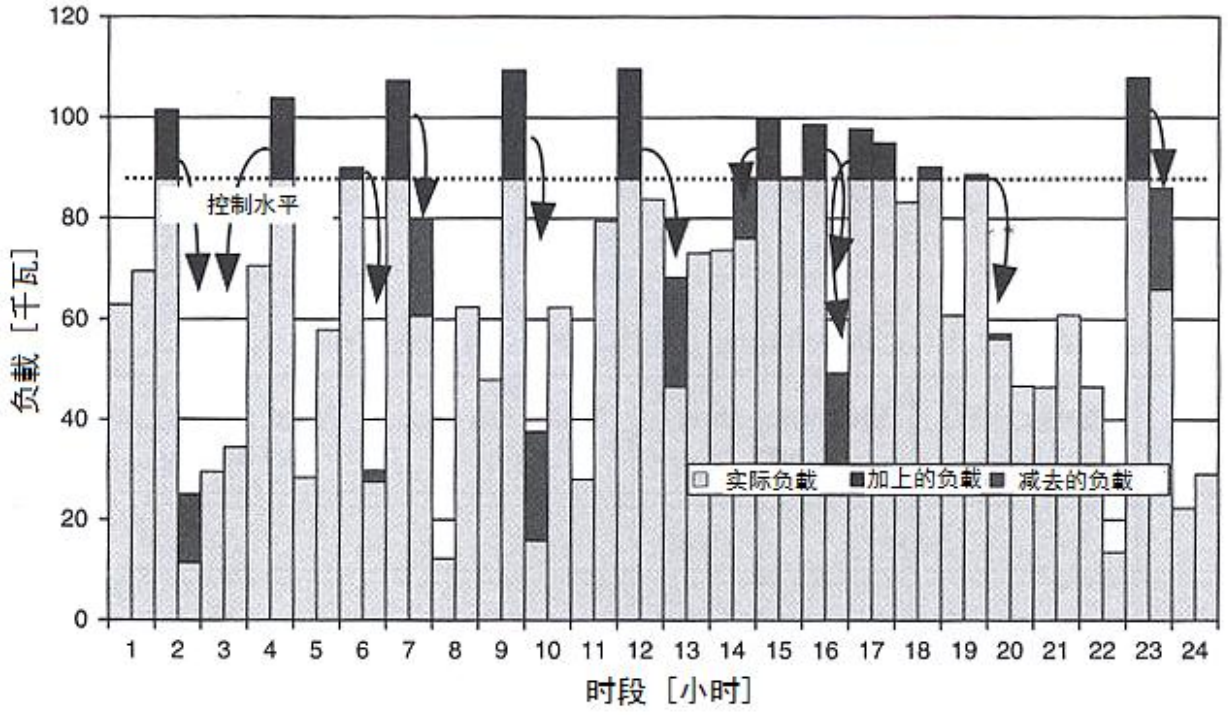



图 10.有负载系素控制的负载概况 (负载系素 LF = 80%)

## 7.2. 跨产业能源效率改善的机会

### 7.2.1. 电机电机的能源效率改善机会[4]

在考虑改善工厂电机系统的能源效率时，必须采用整合泵、压缩器、和风机的的系统方法，以求得最佳节能和功效。下面将介绍关于电机系统的能源使用与节能机会的一些考虑，部分例子是以个案研究来说明。泵、风机和压缩空气系统将与电机电机分开讨论。

**电机电机管理计划**

电机管理计划是工厂实施能源管理策略实很重要的部分。有了电机管理计划能帮助企业了解长期电机系统的能源节省情况，同时确保电机故障时能以快又有成本效益的方法处理。电动电机节能计划建议，一个健全的电机管理计划应纳入以下要点:

1. 为电机建立一个调查与追踪项目
2. 建立积极主动维修/更换决定的准则
3. 建立备用零件库存以应对电机故障
4. 制定采购规范
5. 制定维修规范规格
6. 制定并实施预见性及预防性质的电机维护项目

**保养维护**

保养维护电机的目的在于延长电机使用年限并预知电机何时会故障。因此电机的维护措施可区分为预防性或预见性。预防性措施,包括将电压不平衡降至最低、考虑用电负载、电机校准、润滑与电机通风。下面将进一步讨论这些措施中的几个。请注意其中有些措施目的是避免电机温度的升高，因为高温将增大绕线电阻、缩短电机使用年限并增加能耗。预见性电机维护目的在于持续观察电机温度、振动与其他运行数据，从而在故障发生前找出需要修理或更换电机的时间 (Barnish et al., 1997)。

一个持续进行的电机维护项目，其节能范围是整个电机系统能耗的 2%到 30% (Efficiency Partnership, 2004)。

**高效电机**

高效电机经由改善设计、使用较佳材质、更高耐度与改进制造技巧来降低能源损失。只要妥善安装,高效电机同时能保持在较低温度,这或许有助降低工厂的热负载、提高使用系数、提高轴承寿命、提高隔热寿命与降低振动。

---

[4]本节摘自 Worrell 等人 (2010 年)。但 Worrell 等人提供的每节出处在本文也有提及。个案研究的出处不同,也有提供。

是否安装高效电机常取决电机运作条件与投资相关的生命周期成本。一般来说,用高效电机取代一年运作逾 2 千小时的电机是最具经济效益的。有时以高效电机替代现有电机甚至会缩短投资回收期。根据铜合金发展协会（CDA）的数据,相较符合 1992 年能源政策法规明定最低效能的电机,升级到 50 马力的高效电机能使回收期缩短至 15 个月内(CDA, 2001)。

**电机重绕**

在某些情况下,重绕现有高效电机可能比购置新电机具成本效益。依据经验,重绕成本超过新电机成本 60%以上时,买新电机可能是较好的选择（CEE,2007）。

修理或重绕电机时,挑选遵守电机重绕最佳实践标准的电机服务中心,以将潜在的效能损失降至最低。电器服务协会(EASA)提供这些标准(EASA, 2006)。如采用电机重绕的最佳实践,效能损失一般低于 1%( EASA, 2003)。MotorMaster 等软件工具有助依据工厂的特殊条件,找出适合于该工厂的高效电机及应用的地方。

**电机选配**

长久以来的一个迷思认为过大的电机,尤其是些运作低于 50%额定负载量的电机,因为效率低下应该立即更换为具有适当大小的高效电机。事实上,要完成节能的正确评估须有许多信息,包含电机负荷、电机在特定负载点的运作效率、要被更换的电机的满载速度(每分钟转动次数),及较小电机的满载速度（用来替换原有电机）。

普通电机与高效电机的效率一般运转到满载值的 75%时即达高峰,然后就降至 50%的负载点。较高负载量电机能以相当节能,低至 25%额定负载方是合理运转。另有二种趋势:较高负载量电机能同时显示较高满载与部分负载能效值,较小负载量较常出现电机运作效能低于 50%负载点。软件包如 MotorMaster 有助选购合适的电机。

**调速驱动器(ASD)[5]**

调速速驱动器能为电机运转调配适合负载要求的速度,以确保电机的能源使用在特定用途上能达优化。因为电机的能源使用和流速体积[6]大致成比例,将流速稍微调降至符合泵的速度,就能产生显著的节能效果。

供应变速驱动器系统的供货商很多,全球都买得到。Worrell 等人(1997 年)对变速驱动统广泛运用下的的节能效果有简介,典型的节能幅度介于 7%到 60%间,以简单期间回收法计算,预测 0.8 年到 2.8 年就可收回成本(Hackett et al., 2005 年)。

**功率因子校正**

---

[5]实务上,用来描述可由不同速度驱动的机械负载的电机系统,包括调速驱动器(ASDs)、变速驱动器(VSDs),频率调节驱动器(AFDs)、和变频驱动器(VFDs)。这些词汇在本指南中可互用。

[6]这个公式只适用动态系统。调速驱动器对只含有解除(静态头系统)的系统没有帮助(反而常让系统变得更没效率),因为他们不受流速影响。同样的,有更多静电头的系统比大多动态(摩擦)系统的收益更少。系统的确切收益要经过仔细的精算。

功率因子是有效功率与表观功率的比值,用来测量电力使用的有效程度。高功率因子代表用电利用率高,低电功率代表用电利用率低。有感负荷如变压器、电动电机和氙气灯可能会产生低功率因子。可通过将电动电机空闲时间减到最少(关闭的电机不耗电)、改用高效电机、在交流电路上安装电容器以降低电机系统的无效功率的规模，对功率因子进行校正(U.S. DOE, 1996)。

**将电压不平衡降至最低**

电压不平衡会降低三相电机的效能和缩短其使用年限,同时引起电流不平衡,进而导致转矩脉动、增加振动与机械压力、能耗增加与电机过热,这些会降低电机的绕线绝缘的隔热寿命。电压不平衡可能是因为不当操作功率因子校定设备、变压器组不平衡或断路电压。依经验,尽管 1%的不平衡在变负荷运转时会降低电机的效能,电机端子的不平衡电压不应超过 1%。不平衡达 2.5%时将降低电机满载运转时的效能。

透过定期监测电机端子的电压与以热像法检测电机,可发现电压不平衡。同时建议确认单相负载有平均分配,并依规定装设接地故障指示设备。另一电压不平衡的讯息是振动达 120 赫兹,此时应该立即检查电压平衡度(U.S. DOE-OIT, 2005b)。在美国为低负载电机安装电压控制设备的回收期一般是 2.6 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

### 7.2.2. 压缩空气系统的能源效率改善机会[7]

仪器设备会大量消耗厂内许多个别地方的压缩空气,且容易造成漏损。多数漏损发生在螺纹接头、塑料管接头、阀门、调解器、封带与老旧气压设备。针织过程常见漏气,漏气量有时相当大。这种情形会导致大量隐藏成本,这样会损害整体设备。含针织运转的综合工厂应该检查针织与染整区域的压缩空气系统。

输入空气压缩器的电能超过 85%以废热气形式流失,剩下不到 15%的电能转换成气动压缩空气能源(U.S. DOE-ITP EM, 2008)。这让压缩空气在作为能源传输工具上较空气系统昂贵许多。降低压缩空气系统的能耗有很多方法。要达最佳节能与效率,建议采用系统的方法。以下将介绍压缩空气系统的节能方法。

美国机械工程师协会(ASME)已公布含有压缩空气系统评估的标准,在此空气压缩系统的定义是由联合许多部件组构成的许多子系统的大系统,旨在持续、稳定与有效地使用能源。此标准对压缩空气系统的能源评估程序和步骤与节能机会有详细介绍。

**需求降低**

因为压缩空气系统的营运成本相对较高,应在尽可能短的时间内使用最小量的压缩空气，经常监控、并和其他可替代方法再次比较。

[7]本节摘自 Worrell 等人（2010 年）。但 Worrell 等人提供的每节出处在本文也有提及。个案研究的出处不同, 也有提供。

**保养维护**
保养维修不够会降低压缩效能,增加漏气或气压产生变化,以至于运作温度升高、湿度控制不佳与过多的污染。好的保养维护可减少这些问题, 同时节能。

**监控**
使用适当的仪器设备进行监控，有助保养维护。这些设备仪器包括 (能源技术示范研究与传播中心,1997 年):

- 测量每个接收器或主要支线的压力,并对所有干衣机、过滤器等设备进行差压流量测量。
- 对压缩器与其冷却系统进行温度测量以发现是否有堵塞。
- 用流量器测量空气用量。
- 测量露点温度以监控空气干燥机的效率。
- 压缩机驱动上装置千瓦小时电度表与运行时间计读器。

**减少(管线与设备) 漏气**
漏气会增加压缩机的能耗与维护成本。最常漏气的地方是接头、软管、可拆除装置、气压调节器、疏水阀、截断阀、管路接头、端子与管路螺纹密封胶。快速连接可拆除装置一定会漏气,应该避免使用。漏气不仅增加能耗,还会降低气压系统/设备的效率并对生产有不良影响、缩短设备使用年限、导致要更多保养维护,同时增加设备不定期的停用。

一般没有做好保养维护的工厂,其整体压缩空气的产能会流失 20%至 50% (Ingersoll Rand 2001)。修补漏气与之后的保养维护有时能将产能流失降至 10%以下。Gergel 等人也引用过类似数据。大体上,修补漏气可降低压缩系统 20%的年能耗 (Radgen and Blaustein, 2001)。

侦测大规模漏气的简单方法是将肥皂水倒在怀疑有漏气的地方。最好的方法是用超声波检测器,该仪器可辨识因漏气引起的高频声音。

**电子疏水阀 (ECDTs)**
因为须除去系统中的冷凝水,透过迫使接收器疏水阀打开的持续抽干法,已是常用的一般作法,但因为漏气,这做法很浪费又高成本。电子疏水阀 (ECDTs)较可靠,同时效率很高,因为排冷凝水时几乎没有浪费任何气体。回收期长短得看能减少多少漏气量,并由压力、运作时数、漏气的实际规模和电力成本等因素决定。

**降低入风温度**
降低入风温度能降低压缩机的能耗。在许多工厂是有可能借从楼房室外空气以降低入风温度。进口新鲜空气的回收期最高可达 5 年,取决于压缩机入风口的位置 (CADDET, 1997)。根据经验,每降低摄氏 3 度可省下压缩机 1%的能耗 (CADDET, 1997; Parekh, 2000) 。

**将进气口露点压力调至最大**

选用可将露点压力调至最大与最有效能的的干燥机。根据经验,干燥剂干燥机的压缩机能耗占压缩机总能耗的 7%至 14%,冷冻干燥机能耗占压缩机总能耗的 1%至 2% (Ingersoll-Rand,2001 年)。可考虑使用有浮动露点的干燥机。要注意暴露于冷冻环境的气压管线,不适用冷冻干操机。

**优化压缩机的用电负载**

在安全边际或预期未来有额外需求的考虑下,工厂人员常会采购超过所需大小的设备。由于压缩机在未满载运作时更耗能,所以要避免这情形发生。有些工厂安装模块化系统,以模块方式让许多较小型的压缩机满足压缩空气的需要 (Cergel et al., 2000)。某些情况下,所需压力很低,用鼓风机代替压缩机就可满足需求,节能量相当可观,因为鼓风机的能耗只有压缩机的一小部分 (Cergel et al., 2000)。

**适当管路尺寸**

管路体积一定要正确,才能发挥最佳效能,或者应配合压缩系统重新重设大小。不合适的管路体积会导致漏压、增加漏气并提高制造成本。增加管路直径一般能降低压缩机一年能耗的 3% (Radgen and Blaustein, 2001)。

**热能回收**

如前所说,工业用空气压缩机有 85%的电力能耗会转换成热能 (美国能源部工业技术计划 EM,2008 年)。一个 150 马力的压缩机排出的热能相当 90 千 瓦电阻加热器或 422 兆焦耳天然瓦斯暖气炉 (Cergel et al., 2000)。

在许多例子,一个热能回收器能回收 50%至 90%的可用热能转作为室内暖气、工业热制程、水加热、外气空调采暖、锅炉补给水预热、工业染整、工业洗净过程、热泵、洗衣或预热吸气燃油炉 (Parekh 2000)。大型水冷式压缩机的回收效能一般是 50%至 60% (U.S. DOE, 1998)。 用作室内暖气时,回收的热能是一年空气压缩系统能耗的 20% (Radgen and Blaustein, 2001)。投资回收期一般不到一年。在某些例子,空气经压后的温度低于其在冷冻干燥机的露点,从而可凝结并除去空气中的水蒸汽。除湿机和后置冷却器排出得的废气可再生并用于室内采暖、给水加热或热制程。

**调速驱动器(ASDs)**

负荷或环境温度变动很大时,压缩机的负和和效率将会出现很大变动。此时安装可调速驱动器或可让回收期变短 (Heijkers et al. 2000)。在旋转式压缩系统安装可调速驱动器可节下该系统 15%的能耗 (Radgen and Blaustein, 2001)。

### 7.2.3. 泵系统的能源效率改善机会[8]

泵系统包含泵、驱动器、管路装置和控制器(如可调速驱动器或节流阀),也是整体电机系统的一部分。以下将介绍泵系统的能效机会。此外,美国机械工程师协会已出版涵盖对泵系统评估的标准。泵系统的定义是一个或多个泵，及与之相关连的诸多配件,从而共同实现液体向所希望的方向流动(ASME, 2009b)。根据此标准,以下就泵系统的进行详细能源评估的步骤和程序以及相关能源效率机会做介绍。

**保养维护**

保养维护如果不够，会降低泵系统效能,加速泵的毁损并增加成本。保养维护如果得当，可减少这些问题并节能。具体作法如下(Hydraulic Institute, 1994; U.S. DOE, 1999);

- 更换损坏的叶轮,特别是在腐蚀性或半固体地方所用的叶轮
- 接受检查与修复
- 接受更换润滑油,一年一次或半年一次
- 检查和更换包装密封
- 检查与更换机械密封
- 更换磨耗环与叶轮
- 检查泵/电机定位
- 最好的机会通常是避免节流阀遗失

就美国工业而言，对泵系统的运作和保养维护省下的能源一般预估是在泵电耗的 2%至7%之间。回收期通常不到一年 (Xenergy, 1998; U.S. DOE-OIT, 2002)。

**监控**

维护和运行措施同监控措施一并使用可以及时发现问题，并找出相应的解决方案，使系统更高效的运行。监督措施能够发现如下的运行事故：部件间出现接合间隙，出现障碍物、叶轮损坏、吸力不足、运行参数异常、泵体或管路发生阻塞和充气，以及泵磨损等。监控系统的功能包括：

- 磨损监控
- 震动分析
- 压力和流量监控
- 电流或功率监控
- 泵的扬程变化及温度上升状况的监控（也称热力学监控）
- 配送系统的结垢或污染物堆积的监控

作为监控的最佳指示信号之一是单位流速的能耗或电力消耗 (Hovstadius, 2007)。

[8]本节摘自 Worrell 等人（2010 年）。但 Worrell 等人提供的每节出处在本文也有提及。个案研究的出处不同, 也有提供。

**控制**
控制的战略目标在关闭不必要的泵或降低个别泵的负载。远程控制可以相当快速又正确地启动与关闭泵系统,相对传统控制系统所需的人力较少些。

**降低需求**。
液体存储器可用来均衡生产过程中使用的流体，可以提高能效，潜在的减少对泵能力的需求。此外，还应去掉旁通管路和其它不必要的管流。在这些措施中，每项措施都可节能高达 5%～10% (Easton Consultants, 1995)。采取降低过程静压、降低从吸液池到排液池的高程差、使用虹吸管减少静态高程变化、降低喷射口的流体出口速度等措施，可以降低泵的总扬程。

**高效泵**
在泵的使用寿命内，泵效率可能会降低 10%～25%。然而，业界的专家认为，问题并不一定是泵使用时间的长短而造成的，而是由于工艺过程发展了变化，造成泵和运行之间不匹配。不过,买个泵有时会更有效率,也因为新泵的效能较高。

市场上可买到多种针对特定压力头和流速功能要求而设计的泵。买对了泵常可省下营运成本与购买另一个泵的资本设备成本。在合用时能以最高速运转的泵一般是最具效能,初期成本也最低 (Hydraulic Institute and Europump, 2001)。例外情况是泥浆泵、特定高速泵或在作用时,该泵的泵入口需要最低净正吸水头。

换用新高效能泵可节能 2%至 10% (Nadel et al. 2002)。有证据显示高效能泵可提高泵系统的效能 2%至 5% (Tutterow, 1999)。

**适当泵大小**
泵如果在节流阀条件与流速变化超过高旁路流速达 30%的条件下运作,所用泵大小可能不符目前所需 (U.S. DOE-OIT, 2005)。能降低高峰负载值,就能降低泵大小。但小一点的泵不见得都可节能,还要看电机的负载量。只有较大型电机处在低效能状态下运作时,更换才会有节能效果。藉由更改泵设定与改善运作与管理的方法或有可能降低泵的负载。

泵体积特别过大时,可用齿轮或皮带驱动或较低速马达等方式降低速度。但这做法不常见。采用这些解决方法的回收期不到一年(U.S. DOE-OIT, 2002)。体积过大与装有截流阀的泵因会制造过多的压力,相当适合以更换叶轮或「修剪」的方式来节能与降低成本。调整体积过大大的泵可省下(美国工业平均数)15%至 25%的泵电能耗(Easton Consultants, 1995)。

**不同负载用不同泵**
对不同负载使用不同的泵通常是最具成本效益,也是最节能的方式,特别是以静压头为主的系统。另外,动态系统也可考虑采用可调速驱动器 (见下文) 。

并联泵组可提供冗余度并增加稳定度。就美国工业而言，一般为变动很大的负荷安装并联系统,可省下泵电耗的 15%至 25%的 (Easton Consultants, 1995)。

**修剪叶轮(或修简滑车轮)**
修剪叶轮会降低叶轮的端速,进而降低注入用泵打入液体的能源量,结果同时降低泵的流速和压力。因此,小一点或经修剪的叶轮可有效用在目前会过热的叶轮上 (U.S. DOE-OIT, 2005)。在食品加工业、造纸和石化工业,修剪叶轮或降低齿轮比率可为特殊用途的泵可省下估计高达 75%的电能耗 (Xenergy, 1998)。

**可调速驱动器(ASDs)**
可调速驱动器可为泵的负载要求做较好的配速。就电机而言,泵的能耗和流速立方[9]成比例,因此流速稍减就能产生大量的节能。安装新泵的回收期可能较短。另外,安装可调速驱动器会改善整体生产力、控制和产品质量、减少设备的耗损,因此减少将来的保养维护成本。

如同能调节电机系统的负载量,电机的模块功能预估也能省下 20%至 50%的泵能耗,回收期相对较短,取决于用途、泵大小、负载量与负载变量(Xenergy, 1998; Best Practice Programme, 1996)。从经验来看,除非泵的特性曲线特别得平, 调节 10%的流量可为泵节能 20%,而 20%的调节应该能节能 40% (最佳实践项目,1996 年)。

**避免用节流阀**
变速驱动器或开观调节系统总是比节流阀节能(Hovstadius, 2002)。所以要避免用节流阀。广泛使用节流阀或旁路环,可能意谓泵体积过大(Tutterow et al., 2000)。

**适当管路尺寸**
采用最合适的管路直径尺寸,可减少因摩擦造成的能源流失,达到节能。所须摩擦功率取决于流量、管路直径尺寸、管路全长、管路特性(表面粗糙程度、材质等),以及用泵打出来的液体的属性。在系统设计阶段 （成本限制较少）就应该决定正确的管路尺寸(U.S. DOE-OIT, 2005)。

**更换皮带传动机**
多数泵是直接传动。但有些泵使用标准 V 型带,这种带子容易延展、滑动、弯曲和压缩,导致效能损失。改用镶齿带可节能、省钱,即便是给机器设备装新配件。更好的做法是改用直接转动系统,可逐步省下达 8%的泵系统能耗,回收期可短到 6 个月(Studebaker, 2007)。

**精确铸造、表面涂料或抛光**
使用铸造、涂料或抛光可减少表面粗操感,进而增加能效,长期来看， 也有助维持能效,此法对较小型的泵更具效果。

**改善密封**

[9] 本公式仅适用动态系统。

在许多应用上,高达 70%的泵故障是缘于不当密封(Hydraulic Institute and Europump, 2001)。泵的密封配置有助吸收功率,通常使用阻气密封、平衡密封与非接触迷宫式密封.有助提高泵效能到最佳程度。

### 7.2.4. 风机系统的能源效率改善机会

风扇系统的效能因为叶轮种类的不同而有很大的差异。美国制造业用的风扇系统,一般节能潜力估计是 6%( Xenergy,1998 年)。要达最佳的节能与效能建议采系统性作法。以下将介绍风扇系统的节能机会。

**压力最小化**

压力在减少能源成本方面往往有很多机会。有良好气流设计(风道速度与大小设定在最佳状态)、搭配合适的控制仪器、压力监视器与变频驱动器的风机系统,有助管理系统压力。系统使用年限期间,多数集尘袋或其他集尘设备的压力下降会不同。袋式除尘器在较高压降时通常有更好的除尘效率,但能耗更大。压力监控系统可控制系统的容积流量，品质好的系统，即使是中型尺寸，每年仍可省下数千美元。由于可调速驱动器的价格愈来愈便宜,安装的工厂也愈来愈多。但要注意风道的低效率与风机风机系统的作用(例如进气口和出气口的拐弯等等)。这些快捷方式做法会增加系统的静压和运作成本。

**控制密度**

管道或容器的温度、水分、分子量、高度和绝对压力会影响输送天然气的密度。密度变化可能会影响系统对硬件的要求。例如蒸发冷却会减少体积,但较高密度的空气更耗电。降低较小管道、控制装置和风机所降低的成本(以及价值较低的体积流率方程)会大大抵消这部分的能耗成本 (Lanham, 2007)。

**风机效率**

任何设计的关键选择合适的风机。风机和风机叶片的设计会明显影响风机的效能和功率需求。实验室测得的峰值效率未必是最稳定的运作点。如果峰值效率和压力曲线的峰值相同时,可能操作有问题,因为体积流速会随系统压力的变化而变动。设计者在选择最好的风机以及优化稳定性与用电量的操作点时,必须考虑这两条曲线。合适的选择可由风机类型决定。翼型车轮,虽然较有效率,在处理空气微粒上可能不是个好的选择 (Lanham, 2007)。

**正确风机尺寸**

特殊用途的风机大部分尺寸过大,这会造成 1%至 5%的效率损失 (Xenergy,1998)。但控制速度比更换风机系统更符合成本效益。

**可调速驱动器(ASDs)**

风机安装调速驱动器可大量节能源。风机改造安装调速驱动器后的节能幅度介于风机系统能耗的 14%至 49%(Xenergy,1998)。

**高效率带(带齿皮带)**

皮带在很多任务厂的风机系统占很大部分。标准 V 型带易伸展、滑动、弯曲和压缩,进而造成效率的损失。用带齿皮带取代标准 V 型带可节能和节费,甚至只是改造都可。齿皮带运行温度更低、使用寿命更长、需要较少的维护,效率比标准 V 带高约 2%。一般投资回收期介于不到一年至三年(Xenergy,1998)。

### 7.2.5. 照明系统的能源效率改善机会

下面介绍在减少能源使用上具成本效益的一些节能机会。

**照明控制系统**

在非工作时间,照明灯可以通过自动控制系统自动关闭。比如人体感应传感器,当无人时灯会自动关闭。在一些较小区域,自动控制和手动控制同时使用以节省更多的能源。照明控制系统的回收期一般不到二年 (Worrell and Galitsky, 2004)。

**T-8 直管荧光灯或金属卤化物灯替代 T-12 直管荧光灯**

工业上一般是用 T-12 直管荧光灯。T-12 是指管径为 1/8 英寸的 12 倍(即管径为 12/8 英寸或 3.8 cm)的荧光灯。T-12 的初始输出功率较高,但能耗也较高。T-12 直管荧光灯的效率低,灯寿命短,易光衰,显色指数低。维护和能源成本也都很高。用 T-8 直管荧光灯替代 T-12 后,能效可近乎提高一倍,进而省电(Worrell and Galitsky, 2004)。

**用高压钠灯或金属卤化物灯替换水银灯**

在一些显色要求较高的工业部门，与水银灯或荧光灯相比，金属卤化物灯可节能 50％ (Price and Ross, 1989) 。在显色要求不高的部门，与水银灯相比，高压钠灯可节能 50％～60％ (Worrell and Galitsky, 2004)。

**用高强度荧光灯替代金属卤化灯**

可用高强度荧光灯来替代传统的金属卤化灯(HID)。新的系统把高效荧光灯、电子镇流器以及高效灯具整合起来,能使工作场所的输出功率最大化。新系统的优点有很多:低能耗、灯的整个寿命期内光衰较低,较好的调旋光性,启动快,重启迅速,显色好和较高的初始透光率和低眩光。高强度荧光灯系统比金属卤化灯灯节能 50%。原本在金属卤化灯上不可能实现光的调控,在新系统中得以实现,从而节约了大量的能源。更新改造系统时,包括安装费在内每套灯具需花费约 185 美元。除了节能和较好的照明质量外,高强度荧光灯还有助于提高生产率,降低维护成本 (Worrell and Galitsky, 2004)。

**用电子镇流器替换电感镇流器**

镇流器是一种机械装置,可以调节照明设备启动时所需的电量,并可使光的输出量保持稳定。电子镇流器比电感镇流器节电约 12%~25% (Worrell and Galitsky, 2004)。

**优化工厂生产和非生产部门的照明(优化 lux)** [10]

[10]Lux 是 SI 单位的亮度,相当于每平方米流明。

许多任务厂的照明系统并非专为这过程而设计。每个类型的纺织工艺都有 lux 标准。例如,织造所需 lux 通常高于湿处理。即使在一个工艺中,需要的 lux 也会因为不同的生产步骤而不同。例如,在棉纺纱工艺中,在开清棉房所需的照度应远低于环锭细纱机。不管在哪个生产步骤,如果光线高于标准(必要的 lux)的,会浪费电力。因此,工厂的工程师应根据标准的 lux 为每个特定过程的照明系统进行优化。

**优化利用自然阳光**

很多任务厂没有最好地利用自然阳光。除优化窗户的大小外,屋顶可安装透明板,好让更多阳光进到生产区域。这可以减少白天所需照明。

### 7.2.6. 蒸汽系统的能源效率改善机会[11]

纺织厂常有蒸汽系统,该系统消耗大量终端能源。提高锅炉效率和捕获余热能节省大量能源与改善生产。以下介绍工业蒸汽系统在蒸汽制造与输送上常见的提高能效机会。

此外,美国机械工程师协会(ASME)已出版的标准也包括了对蒸汽系统的评估标准。蒸汽系统的定义是包括蒸汽制造机或其他蒸汽来源,蒸汽的输送网和终端使用设备(ASME,2009a)。本标准对蒸汽系统进行详细的能源评估以及能源效率机会均有说明。

**蒸汽发电**:

**需求匹配**

锅炉在高火设定下效率较高。由于工艺加热需求可能随时间而改变,会出现锅炉运作未达最佳效率。此外,锅炉可能因为前所未有的增添或扩充而过大。实施节能措施或实施热回收措施也可能降低对热能的需求。因此,该设施可有多个锅炉,每台额定在几次最大预期负载(U.S. DOE-OIT, 2006)。锅炉过大常见的另一问题是“短循环”,即一个超大的锅炉快速完成工艺或室内采暖的需求后就会关闭,一直到再次需要热能时。

在系统增加小锅炉可节省燃料,大小要符合该设施的平均负载。对经营者而言,多个小锅炉能有可靠性和灵活性，可依据负载变化调整,而不至于发生过热与短循环。尤其是设施对蒸汽的需求有很大季节性变化时,更应在需求下降时用小锅炉,而不是整年都用大锅炉。针对高火设定下运作的锅炉实施操作措施,平均回收期为 0.8 年,安装小锅炉以增加高火循环的平均回收期为 1.9 年（U.S. DOE-IAC, 2006）。

**控制锅炉分配**

[11]本节摘自 Worrell 等人（2010 年)。但 Worrell 等人提供的每节出处在本文也有提及。个案研究的出处不同, 也有提供。

包含多个锅炉的系统利用适当的分配策略可达到节能。如果多个锅炉同时在低火下运作,更能节能。

自动控制器可替该设施中的每个锅炉设定出增量成本(蒸汽成本变化/负载变化),然后据以转换负载。这最大限度地提高效率,降低能源成本。

可能的话,为锅炉负载订时间表,以帮助优化锅炉系统效能。热水锅炉的效率可借由自动流量阀而提高。流量阀自动关闭未运转的锅炉,防止热锅炉的热水在通过没运作的锅炉时变冷,因为阀门一直开着时,平均流量温度会低于最初的设定,进而耗用更多燃料（CADDET，2001）。

**烟道关闭档板**

锅炉因负载变动而定期关闭者时,烟囱损失的热能会很大。解决之道是装置可完全关闭的管道截气阀,该装置会在锅炉不用时开启。另一种方法是在风机口安装类似的气密截阀（CADDET，2001）。

**维护**

在没有一个很好维护系统时, 燃烧器和凝冷水回流系统可能磨损或者无法调节。这些因素在 2～3 年的时间可使蒸汽系统只能达到最初效率的 20%～30％ (U.S. DOE-OIT, 2001)。一 个简单的维护计划可确保锅炉所有组件在最高能效下运作,这可大量节能并减少空气污染物的排放。可能的节能估计平均为 10% (U.S. DOE-OIT, 2001)。 建立锅炉维护计时间表的 平均回收期为 0.3 年 (U.S. DOE-IAC, 2006)。

**改进保温**

一个有良好维护的锅炉,其外壳的热损耗应低于 1%。新保温材料的效果更好,且需要较少热容量,但加热组件的输出温度更容易有波动。因此要强化控制以维持旧耐火砖系统的输出温度范围。同时采用改进保温与提高暖气的电路控制作法,可节能 6%至 26% Caffal, 1995)。

**减少污染**

炉边锅炉管与锅炉结垢水边的污垢的应加以控制。试验证明,0.03 英寸(0.8 毫米)厚的煤烟会降低 9.5%的传热,而厚度 0.18 英寸(4.5 毫米)会减少 69%的热传递(向 CIPEC,2001)。水垢沉积时,会造成多数供水中常见的钙,镁与硅,持续在锅炉热交换管的水边累积。试验显示,水管锅炉污垢累积 0.04 英寸(1 毫米)会多消耗 2%燃料(CIPEC,2001)。在火管锅炉结垢会浪费高达 5%的燃料(U.S. DOE-OIT, 2006)。此外,结垢会造成炉管无法使用。

除垢可以通过机械方式或酸性清洗。从烟气温度可判断是否有结垢,或利用锅炉关闭维护时以肉眼检查锅炉管。烧煤锅炉比天然瓦斯或烧油锅炉 (烧固体燃料的锅炉如煤 ,应经常检查,因为他们比液化燃料锅炉,更常有污染)。(U.S. DOE-OIT, 2006)。

**优化锅炉排污率**

排污不足可能导致结转的水进入蒸汽锅炉,或形成结垢。过度排污会浪费能源、水和化学品。最佳排污率取决于多种因素,包括锅炉类型,运作压力,水处理和补给水的质量。视锅炉给水流量,排污率通常介于 4%至 8%,但在补给水含大量的固体物时,排污率可高达 10%(U.S. DOE-OIT, 2006)。因此将排污率降到最低，可大幅降低能量损耗、补给水和化学处理的费用(U.S. DOE-IAC, 2006)。优化排污率可用自动排污控制系统完成。在许多情况下,使用这系统所致的节能,简单的投资回收期为 1 至 3 年（U.S. DOE-OIT, 2006）。

**减少烟气量**

过多的烟气通常是由锅炉和烟道漏出,不仅减少转移到蒸汽的热量,同时增加抽气的必要性。这些渗漏通常容易修复。措施包括视觉定期维修检查或烟道气体监测,以下会有说明。

**减少过量空气**

用于烧燃料的空气越多,就浪费更多的热于加热空气。超过燃料空气理论比例的空气供给量,在安全上是必要的,同时可减少氮氧化物排放量,但要看燃料的种类。维修不善的锅炉可导致高达 140%的过剩空气,进而到至过量的废气。不过,一个高效能的天然气炉需要 2%至 3%的超额氧气,或烟气内要多含 10%至 15%的空气,用以烧燃料却不会形成一氧化碳。依据经验,每减少 15%的过量空气可提高锅炉效能 1%(U.S. DOE-OIT, 2006)。锅炉的燃料空气比值应定期检查。平均而言, 分析适当的空气/燃料混合物的回收期为 0.6 年。

**烟气监测**

废弃的氧气成分包含额外的空气(这是刻意引入以提高安全或减少排放)和空气渗透(漏到锅炉的空气)。一并进行氧气监测与进气气流监测,有可能检测出(小)泄漏。与一氧化碳和氧气的读数并用,可以优化燃油/空气混合物让火焰温度更高(这也是最好的节能)和降低排放。安装烟气分析仪来确定适当的空气/燃油比例平均为的回收期为 0.6 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

**利用烟气热量预热锅炉给(废气预热器)**

热废气可用在省煤器以预热锅炉给水。借由预热供水,供水温度在锅炉入口已升高,减少生产蒸汽所需热能,进而节能。尽管这措施常见于大型锅炉,回收更多热能的潜力仍大。一般来说,烟气温度每降低 22℃,锅炉效能就提升 1% 。通过回收废气,可省下一部废气预热器 5%至 10%的燃料需求,回收期不到 2 年(U.S. DOE-OIT, 2006)。

**回收锅炉排污热量**

从高压锅炉槽吹水时,压力减少往往产生大量的蒸汽。高达 80%的排放热能适可经由闪蒸器和热交换器来回收(CADDET,2001)。回收的热能随后可作室内采暖与供水与热,以提高系统的能效。任何锅炉连续排污超过 5%的蒸汽率是很适合作排污余热回收。如果是非连续排污系统,则考虑选择替换为能兼作热回失的连续排污系统(U.S. DOE-OIT, 2006)。高压锅炉的节能幅度较大。利用从排污锅炉来的热能的回收期平均是 1.6 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

**回收冷凝水**

通过安装冷凝节能器,企业可以提高整体热回收及蒸汽系统的效率高达 10%(U.S. DOE-OIT, 2007)。许多锅炉可受益于这种额外的热量回收。冷凝式节能器需要特定地点施工和设计,并需要深入了解这些设备对现有蒸汽系统和水化学的影响。

热凝结水可以转回锅炉以节能与减少将锅炉给水处理为冷凝水的必要。冷凝水极为纯净且具有较高的热容量。增加冷拟水的回收量的做法,投资回收期平均为 1.1 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。冷凝水也可作为热水供应,回收期平均为 0.8 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

**热电联产(CHP)**

热电联产(CHP)是将单一燃料来源、二种不同型态的有用能源进行序列生产。多数的热电联产,将燃料的化学能转换为机械和热能。机械能一般用来发电,而热能用于生产蒸汽,热水或热空气。

相较传统能源系统,如传统电厂只发电,锅炉系统只生产蒸汽或热水供工艺使用,热电联产系统可从燃料中抽取更多有用的能源。热电联产有机会将内产的燃料用来发电,让电网运作更独立,甚至出口到网格。这增加供电的可靠性以及成本效益。此外,当热电联产系统位于或靠近终端用户时,输送过程的能损可到最低 (Oland, 2004)。

供电至电网的成本效益取决于该工业所处国家的法令规定,但至少提供很大的经济诱因。不是所有国家都准许电力传输(即透过电网直接卖电给顾客)。允许电力传输的国家,有关卖电予电网经营者在关税结构上的法规也可能不同。

**蒸汽传输系统:**

**关闭多余的传输线**

装置及蒸汽需求会随着时间而改变,如此可能造成蒸汽传输容量利用率不足与额外的热能损失。要优化系统以应付蒸汽需求的改变可能又太贵。但检查多余的传输线和并加以关闭,是减少传输线内蒸汽损失又具成本效益的的方法。

**适当管道尺寸**

设计新的蒸汽输送系统一定要考虑速度和压力下降,这可降低蒸汽管道过大的风险。管道过大不仅攸关成本,也造成更多热能损失。过小的管道可能有腐蚀和压降情况增多现象。(Van de Ruit, 2000)。

**绝缘相关措施**

绝缘一般可减少 90%的能量损失,并确保工厂设备维持正确的蒸汽压力(U.S. DOE-OIT, 2006)。采用绝缘作法能大量节省能源成本,投资回收期又相当短。例如,蒸汽与热水管的投资回收期一般是 1.0 年、冷凝水管道是 1.1 年、供水槽是 1.1 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。美国能源部开发了软件工具 3E-Plus 可用于评估蒸汽系统的绝缘情况。

**检查和监测蒸汽疏水阀**

建立蒸汽疏水阀检查计划以确定其运作正常可大量节能。如果蒸汽疏水阀 3 至 5 年没有维护,有 15～30%会出现故障,造成新鲜蒸汽进入冷凝水回收系统。有定期保养计划的系统,会渗漏的疏水阀应占不到 5%(U.S. DOE-OIT, 2006)。修理和更换蒸汽疏水阀的平均回收期为 0.4 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。定期检查蒸汽疏水阀与有后续维修的蒸汽系统的节能幅度预估可达 10% (Jones, 1997; Bloss, 1997)。

**恒温疏水阀**

采用现代恒温疏水阀可减少能耗,并提高可靠度。主要优点是温度接近饱和蒸汽(2℃以内)时会开启,每次开启后会清除非凝性气体,并可在启动选项上打开让蒸汽系统快速暖机。这些疏水阀也很可靠,适用于大范围的蒸汽压可(Alesson, 1995)。节能幅度会因所装的蒸汽疏水阀和维修情况而不同。

关闭蒸汽疏水阀其他节能措施包括过热蒸汽管在线的疏水阀不用时就关闭,这作法的回收期平均是 0.2 年(U.S. DOE-IAC, 2006)。

**减少输送管漏水**

如同蒸汽疏水阀,如果没有一个定期检查与维护的计划,输送管也常有渗漏。修渗漏洞的回收期平均是 0.4 年。(U.S. DOE-IAC, 2006)。

**闪蒸汽回收**

当蒸汽疏水阀将冷拟水从加压蒸汽输送系统排到环境压力时,就会产生闪蒸汽。根据当时的压力,闪存蒸汽约保留原有冷凝水能量的 10%至 40%。这能源可透过换热器回收,再用于室内采暖或供水预热。(Johnston, 1995; U.S. DOE-OIT, 2006)。这项措施有多少潜力得看工厂,因为工厂不太可能盖一个全新的管道系统来传输质量低的蒸汽,除非 可和蒸汽疏水阀靠着用。使用多种压力蒸汽系统的工厂可将高压冷凝水生成的闪蒸汽透过固定管路输送,以降低系统压力。

**预先筛选煤[12]**

在使用燃煤锅炉的一些纺织工厂(常见于中国和其他国家),原煤送入锅炉,进行燃料链烧,这会让体积小的煤穿过链子而浪费掉。为解决这方面的损失,公司应采取螺旋煤屏技术来筛选原煤。这装置大大提高好煤与坏煤的分离率,防止小煤颗粒从加燃料链上掉落并提高燃煤的热值。依据中国的个案研究,湿法加工厂安装一个螺旋煤屏器的节能量是一吨布料可节省 79 公斤的煤(1.8 吉焦/吨布料)。筛选器所需费用估计为 35,000 美元,回收期约五个月(Greer et al., 2010)。

### 7.2.7.工艺加热系统的改善能效机会

[12]这机会仅适用燃煤的工业锅炉。虽然在中国很常见燃煤锅炉,其他国家却不一定常用,因此这里的建议并不一定适用。

改善工艺加热系统的效能和效率的机会可以归纳到以下类别。完整的工艺加热系统能效措施一览表和说明可以从美国能源部的工业技术计划中找到 DOE ITP (2004)。

另外，美国机械工程师协会出版的一套标准中包含了工艺加热系统。这系统的定义是一个工厂在生产物品过程中用来加热材料的一组(或一套或合并)的加热设备(ASME,2009c)。该标准介绍了对工艺加热系统进行详细能源评估的程序，并介绍了工艺加热系统存在的节能机会。

**在热源的机会**

- 控制空气对燃料的比率(节省 5 到 25%)
- 预热助燃空气(节省 15 到 30%)
- 使用富氧的助燃空气(节省 5 到 25%)

**在热传递的机会**

- 以先进的燃烧器和控制改进热传递(节省 5 到 10%)
- 改进在炉内的热传递 (节省 5 到 10%)

**在热阻隔的机会**

- 减少墙壁的热流失(节省 2 到 5%)
- 炉压控制(节省 5 到 10%)
- 维护门和管密封(节省可高达 5%)
- 减少内部部件的冷却 (节约可高达 5%)
- 减少辐射热耗(节约可高达 5%)

**在热回收的机会**

- 预热助燃空气 (节省 10 到 30%)
- 预热流体或负载 (节省 5 到 20%)
- 热复叠(节省 5 到 20%)
- 流体加热或蒸汽发生器(节省 5 到 20%)
- 吸收制冷(节省 5 到 20%)

### 7.3.部分工业中行业特有的改善能效机会

美国环保局(EPA)为一些行业提供了“能源之星”能源指南，它们是由劳伦斯・伯克利国家实验室(LBNL)开发的。这种指南是有关美国工业在能源使用和能源强度方面的趋向,以及对适用于世界各地制造业工厂的能效机会的系统性分析和讨论的资源。能源审计人员和管理人员可以使用这些指南来辨别可以改善的领域、评估潜在的节能选择、为节能工作制定行动计划和检查单,以及教育公司员工。现有的节能指南包括(US EPA,2008b)：

- 啤酒制造工业
- 水泥工业
- 玉米精炼

- 食品加工
- 玻璃制造业
- 机动车工业
- 炼油
- 石化工业
- 制药工业

除了为“能源之星”开发指南之外，LBNL 也发展了评估其他一些行业的能效工业技术的研究。技术评估包括了对技术的描述、评估节能的潜力及投资和所节省的开支(包括非能源的收益)。这些研究是为特定的工业领域以及一些跨行业技术类别(例如电机、蒸汽系统等)进行的。现有的有关各行业节能措施的报告有化工产品、水果和蔬菜处理、钢铁和酿酒厂等。附录 3 以表格形式列出特定行业的节能方法,让工厂工程师与审计人员作为检查表之用。能源审计人员和管理人员可以从 LBNL(2009)和美国环保局(2008b)下载每个工业的完整报告。

还有由欧洲综合污染预防与控制局(IPPC)开发的各种工业部门最佳的现有技术(BATs)的参考文件。简而言之，每个最佳的现有技术(BAT)参考(BREF)文件一般都提供了在欧洲共同体中的一个特定工业行业、用于这个行业的技术和工艺、目前的排放量和消耗量、确定最佳的现有技术的方法、最佳的现有技术和一些新兴技术的资料。报告全文可以从欧洲共同体下载(2009)。由加拿大自然资源部(NRC)赞助的加拿大工业节能计划(CIPEC)也为加拿大各种工业行业开发了最佳实践指南。这些指南是可免费从 CIPEC 得到(2009b)。

美国能源部的工业技术计划(ITP)着重于帮助工业减少能源强度和碳排放。从 ITP 的网站可以找到大量关于不同工业行业的当今先进技术和能源管理的最佳实践。提示、情况介绍、指南、对不同工业行业的案例分析、技术刊物以及针对不同的能源系统例如蒸汽、工艺加热、电机、泵、风机和压缩空气等的软件/工具等资源可以从美国能源部的 ITP 下载(2009)。

所有上述的资源可以供世界上任何国家的能源审计人员和管理人员使用。另外，关于为工厂的办公楼寻找具体的节能措施(本指南没有谈及), 能源审计人员可以使用其他资源例如美国美国能源部 BTP (2009)、Moss K.J.(2006)以及许多其他可从互联网上得到的资料。

## 8.能效机会的成本效益分析

在确认适用于设施的能效措施一览表以后，审计人员也可以对措施进行经济上的可行性分析, 即所谓的“成本效益分析”，以便为他们的实施提出建议。以下就为能源审计人员介绍生命周期成本、折现、净现值、内部收益率、节能与投资比率和归本期的逐步指导以便对节能措施的财政活力评估进行一般的经济分析。

## 8.1.生命周期成本分析(LCCA)

生命周期成本分析(LCCA)是算入从拥有、运行、维护到废置项目的所有费用的项目财政评估的一种经济方法。生命周期成本分析对于评估能效项目是有用的，因为能效项目的投资成本是在项目开始时就立即发生，而节省则发生在项目的从始至终。因此，生命周期成本分析能根据项目或设备从始至终所减少的能源费用和其他成本,从投资者的观点来确定这些项目是否合算。

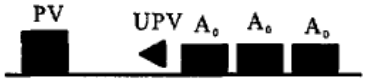
而且改善系统的能效常常有几个成本效益高的选择。在这些情况下，生命周期成本分析可以在具体的应用中找到成本效益最高的选择。这个选择通常是最低的生命周期成本。生命周期成本分析与简单的归本期(SPP)方法是直接对立的,因为后者只注重于初期投资的回归速度。因为这种归本期方法不是计量项目的长期经济绩效或盈利。归本期方法一般会忽略达到归本以后所发生的所有费用和节省。它也不区分在供选择的项目之间有不同的生命周期，而且它经常使用任意的归本限值。另外,常用的归本期方法在比较未来的一连串节省与最初的投资成本时忽略了货币的时间价值(Fuller and Petersen 1996)。

## 8.2.生命周期成本(LCC)方法

生命周期成本是项目或技术的整个生命周期中拥有、运行、维护到废置这项技术的总成本。这个方法调整了所有的费用(折现)以反映货币的时间价值。一项技术或措施的生命周期成本本身是没有什么价值的;它最有用的是与其他目的相同、能达到相同功能的选择的生命周期成本相比较时,可确定哪一个选择有最高的成本效益。这些选择都是典型的“互相排斥”选择,因为在被评估的每个系统中只有一个选择可以被选中实施。

将未来金额折算到现值：
在不同时间发生的与项目有关的费用在被结合到此项目的生命周期成本估价之前,必须将它们折现到基准日期的现值。将末来的现金流量折现到现值所用的折现率是根据投资者货币的时间价值。在私营企业中，投资者对于相等风险和时期的投资的折现率一般取决于投资者可接受的最少回报率(MARR)(Fuller and Petersen 1996)。表 3 显示了生命周期成本分析中最常用的四个折现公式。

**表 3.四个常用于生命周期成本分析的现值公式**
**(Fuller and Petersen 1996)**

| | |
|---|---|
| 单一现值(SPV): 这个公式用于计算发生在年底 t ( Ft)的未来现金额的现值,PV，给予折现率(d)。 $$PV = F_t \times \frac{1}{(1+d)^t}$$ | |
| 等额现值(UPV): 这个公式用于计算一系列相等的、在 n 年期间每年都发生的现金额 $A_0$ 的现值 PV, ,给予 d。 |   |

| | |
|---|---|
| $$PV = A_0 \times \sum_{t=1}^{n} \frac{1}{(1+d)^t} = A_0 \times \frac{(1+d)^n - 1}{d(1+d)^n}$$ | |
| 加入价格上升修正的等额现值 (UPV*)： 这个公式用于计算每年都按一个固定递升率 e 变化的、在 n 年期间每年都发生的金额的现值 PV，给予 d。 $$PV = A_0 \times \sum_{t=1}^{n} \left(\frac{1+e}{1+d}\right)^t = A_0 \frac{(1+e)}{(d-e)}\left[1 - \left(\frac{1+e}{1+d}\right)^n\right]$$ | |
| 与能源费用一起使用并加入价格上升修正的等额现值 (UPVe*): 这是用于计算在 n 年期间每年都发生的,并以非固定 逐步递升率变化 的年度能源费用的现值 PV。美国能源部根据它自己对能源价格的预见为计算这类折现预先算好了折算的因数。然而，在美国以外应该简单地采取最佳的展望/假设项目自始至终期间逐步递升的能源价格,并加到每年能源费用的计算中。然后，每年的现值 PV 应该使用以上提供的单一现值 SPV 公式 分别计算。最后，应将所有年份的现值 PV 加起来算出在基准年的总现值 PV。如果任意地假设固定的能源价格递升，则能使用 以上提供的等额现值 UPV*公式。 | |

要将发生在不同的时刻的费用作有意义的比较，必需将那些费用按货币的购买力变化(美元、元，或者其他货币)进行调整,通过估计未来的以固定的美元(或者其他货币)来核算的开支和节省, 并使用不包括通货膨胀的真正折现率。在这种情况下，如果需要考虑价格的逐步递升，就应该使用真正的价格递升。将名义折现率和递升率转换成真正折现率和递升率的公式分别是方程式 4 和 5 。

$$d = (1+D)/(1+I) - 1 \qquad \text{(公式 4)}$$

式中：

“d”是真正的折现率，“D”是名义折现率，而“ I”是通货膨胀率。

$$e = (1+E)/(1+I) - 1 \qquad \text{(公式 5)}$$

式中：

“e”是真实的价格递升率，“E”是名义价格递升率，而 “ I”是通货膨胀率。

现金流量图

项目的现金流量图提供了一个简单和清楚的方式将所有相关的费用和它们的时间形象化(图 11)。水平的时间线代表了研究期间或项目的存在期并有每个年份和重要日期的标记;例如基准日、服务日期和项目的研究期间或存在期的结束。现金流量图没有标准的惯例来显示费用，但正向费用一般显示在水平的时间线以上而负费用(例如残值)则一般显示在水平的时间线之下。最初的投资成本、运行和维护费用、与消耗量相连的费用和重置成本都是普通的费用类别。每年在消耗量的节省(能源、水、材料等)和运行和维修费用的节省都是可以作为收入的举例显示在现金流程图中。图 11 显示了一个普通的暖通空调设计的现金流量图举例。

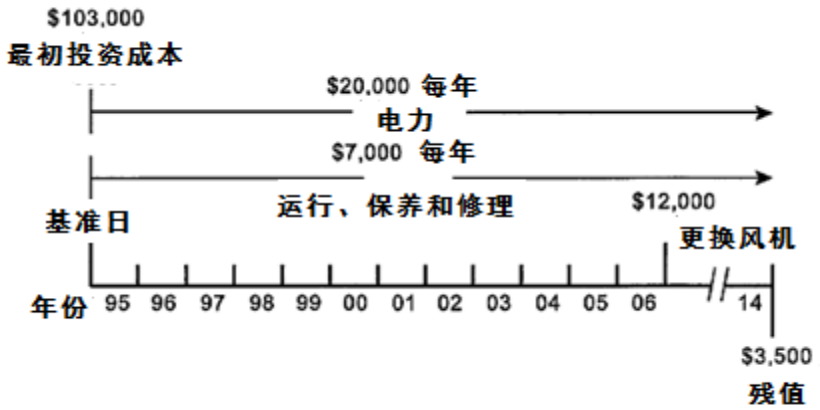



**图 11.普通的暖通空调设计的现金流量图**
**(Fuller and Petersen 1996)**

生命周期成本(LCC)的公式
以下提供计算生命周期成本(LCC)现值的通用公式：

$$\text{LCC} = \sum_{t=0}^{N} \frac{C_t}{(1+d)^t} \qquad \text{(公式 6)}$$

式中：
LCC =项目总的生命周期成本的现值(元)，
$C_t$ =所有相关费用的总和，包括最初和未来的费用或任何发生在年 t 的正向现金流量，
N =研究期间的年数，d =将现金流量调整到现值 PV 的折现率。
公式 6 所示的生命周期成本通用公式要求以年份和数额识别所有的费用。这个通用公式，从理论的观点来看是直接了当的，但需要大量的演算，特别是当研究期超过数年时。
用于工业能效项目的一个简化的生命周期成本(LCC)公式如公式 7 所示。:

$$\text{LCC} = \text{I} + \text{Repl} - \text{Res} + \text{E} + \text{W} + \text{OM\&R}$$

(公式 7)

式中:
LCC =项目总的生命周期成本的现值(元)，
I =投资成本的现值，
Repl =资本重置费用的现值，
Res =残值(转售价值、报废价值、回收价值)或处置费用的现值，
E =能源费用的现值，
W =水费的现值，
0M&R =非燃料的运行费用及保养和修理费用的现值。

生命周期成本方法提供了一个一致的方式来计算在特定的研究期间所有与特定的能效项目有关的费用。一般来说，生命周期成本分析需要显示出，相对于基准实例,对能效项目的额外投资成本可以被相应减少的运行和维修费用(包括能源和水的费用)抵销。当使用生命周期成本方法作方案评价时应该考虑到的一些关键问题是：

- 从两个以上互相排斥的选择中根据最低的生命周期成本挑选。
- 所有选择必须符合所制定的最低效能要求。
- 所有选择必须使用同一个基准日期、服务日期、研究期间和折现率来评估。
- 正向现金流(如果有的话)必须从开支中减去。
- 如果结果不是以货币来计量, 那它必须是无关紧要的、所有的选择都相同或者以其他方式计量(Fuller and Petersen 1996)。

有三个与生命周期成本方法是一致的经济分析补充方法可用于对方案的评价。它们是净现值(NPV)、内部收益率(IRR)和节省与投资的比率(SIR)方法，解释如下。

**8.3.净现值(NPV)方法**

项目的净现值(NPV)是用来判断接受或拒绝一个项目的基本经济标准之一。如果是基于经济原因而接受项目，必须满足以下两个条件：

1. 当以适当的折现率折算时,预期的项目净收益的现值(或净现值(NPV))必须不是负面的。
2. 预期的项目净现值必须不低于互相排斥的选择的预期净现值。

净现值(NPV)可以按以下公式计算：

$$B_0 - C_0 + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \ldots + \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} + \ldots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \qquad \text{(公式 8)}$$

式中：
$B_t$ 是在年 t 的收益 ，$C_t$ 是在年 t 的费用，r 是折现率，n 是项目的存在期(World Bank, 1998)。

净现值(NPV)可以使用数据表软件(例如微软的 Microsoft Excel)来计算，它有一个内嵌的净现值(NPV) 功能。

### 8.4.内部收益率(IRR) 方法

除净现值之外，内部收益率(IRR)也是常用的评价项目在经济上的可行性的方法。内部收益率是一个使项目的净现值变零的折现率;因而内部收益率与净现值紧密相关。如果内部收益率等于或超出适当的市场折现率，则项目的净现值不会是负的，从而从净现值来看此项目也是可接受的。公式 9 是内部收益率(IRR)的计算公式。内部收益率(IRR)可以使用数据表软件(例如微软的 MicrosoftExcel)来计算，它有一个内嵌的内部收益率(IRR)功能。
内部收益率(IRR)可以用以下方式计算：

$$B_0 - C_0 + \frac{B_1 - C_1}{(1 + IRR)} + \frac{B_2 - C_2}{(1 + IRR)^2} + \ldots + \frac{B_t - C_t}{(1 + IRR)^t} + \ldots + \frac{B_n - C_n}{(1 + IRR)^n} = 0$$

**(公式 9)**

式中:
$B_t$ 是在年 t 的收益，$C_t$ 是在年 t 的费用，IRR 是内部收益率，n 是项目的存在期。

在许多情况下，净现值和内部收益率算法将会得出同样的结果。如果一个项目的净现值在某一折现率之下大于或等于零, 通常它的内部收益率也是大于或等于那个折现率。

但是内部收益率标准是有一定难度的,用它来作决定时须小心,特别是当对比互相排斥的选择时。首先，并不是每个项目都有内部收益率。例如，如果项目的净收益开始得很早导至项目在每年都显示正净收益，内部收益率就不存在。其次，有些项目可能有超过一个的内部收益率。在这些情况下就不能使用内部收益率的方法。当项目的净收益在项目的存在期间超过一次改变正负标志就会产生多个内部收益率。例如项目在最初两年内是负净收益的,以后两年是正净收益, 然后在第五年又是负净收益(可能是由于新的投资),从此以后都是正净收益,这样就有多达三个内部收益率。通常可以有和一连串净收益中的正负标志转换次数一样多的内部收益率(World Bank, 1998)。

### 8.5.简单的归本期(SPP)方法

与净现值和内部收益率方法相比，简单的归本期(SPP)计算不使用打折现后的现金流量。简单的归本期也忽视归本期内在价格上的任何变化(例如能源价格的递升)。项目可接受的归本期一般定在比项目预期的服务期通常更短的任意时段。归本期忽略发生在归本日期以后的所有的费用、节省和任何残值。归本不是一个在多个、互相排斥的项目选择中进行挑选的有效方法。归本方法也不应该用于为分配资助而对单独的项目进行分级。一般来说，归本方法最好作为一种筛选方法来确认有显著经济效益的唯一项目选择,以至不需要全面的生命周期成本分析(Fuller and Petersen 1996)。

本指南提供了一个作为辅助的 Excel 数据表以协助能源审计人员和能源管理人员开展以上说明的经济分析。

## 9.准备能源审计报告

在完成能源审计以后，审计组应该编写能源审计报告。在报告中，审计人员应该以一个构造良好的格式来说明他们的工作和结果。能源审计报告应该简明和精确,并用让目标读者容易领会的方式来写。编写审计报告时应该记住的一些主要事项是：

- 审计报告的写作方式应该提供合适的信息给报告的潜在读者, 他们可能是首席执行官或工厂经理，工程部或维修部的主管和工厂的轮班主管。
- 审计报告应该简明和精确并使用容易明白的直接语言。
- 使用更多的图示而不是表格来介绍数据、结果和趋向。
- 推荐部分应该具体、清晰和有足够的细节。
- 应该清楚地解释在分析时所做的假定。也应该说明改变关键性的假定是会如何影响结果的。敏感性分析对此是一个非常有用的工具。
- 审计人员应该尽量避免在报告中的差错和错误,特别是在结果方面。即使只有几个错误也可能损坏审计的可信程度。
- 能源审计报告中所用的结构和术语应该是一致的。
- 应该清楚地解释在分析工作时所做的计算。在报告的主体或附录可以提供每一类计算的举例使其更加清晰 (CIPEC 2009)。

以下提供了典型的能源审计报告的内容和格式。以下的格式可适用于为大多数行业的工厂进行详尽的能源审计。但格式可以为适应特殊类型的工业或能源审计的具体要求而作修改 (APO 2008; CIPEC 2009)。

能源审计报告的典型内容：

1. 行政摘要
    - 1.1 关于关键审计结果的概要信息(年消费量和/或能源预算、主要绩效显示等)
    - 1.2 所推荐的节能措施(对每一个作简要的说明)
    - 1.3 所推荐措施的实施费用、节省和经济指标(例如内部收益率、净现值、简单的归本期)
    - 1.4 其他任何与实施节能措施有关的有用信息

2. 审计目的、范围和方法

3. 工厂概观
    - 3.1 工厂的一般细节和描述
    - 3.2 生产成本的组成 (原材料、能源、化学制品、人力、日常开支及其他)
    - 3.3 主要能源的使用和使用者

4. 生产过程描述

4.1 制造过程的简要描述

4.2 工艺流程图

4.3 主要原料的输入、数量和费用

5. 能源和公用事业系统说明

5.1 公用事业一览表

5.2 简要说明每项公用事业 (以下任何一个可适用的)

5.2.1 电

5.2.2 蒸汽

5.2.3 水

5.2.4 压缩空气

5.2.5 冷冻水

5.2.6 冷却水

5.2.7 工艺加热

6. 详细的工艺流程图以及能源和材料平衡

6.1 显示所有输入-输出流动的流量、温度和压力流向图

6.2 设施内主要部门的水平衡

7. 分析在公共事业和工艺系统的能源使用(以下任何一个可适用的)

7.2 评估锅炉的效率

7.3 分析熔炉或窑的效率

7.4 评估冷却水系统的性能

7.5 制冷系统的性能

7.6 压缩空气系统的性能

7.7 总结负载的盘点结果

8. 工厂的能源使用和能源费用分析

8.1 具体的能源消耗

8.2 总结能源帐单的分析结果

8.3 总结分析用能和生产模式的结果

8.4 总结对标分析的结果

8.5 总结所有重要计算所用的假定和举例

9. 能效的选择和建议

9.1 根据免费/低费用、中等费用和高投资费用来分类的节能选择一览表,并带有它们每年可节省的能源和费用

9.2. 总结节能措施的成本效益分析

10. 总结以及一个简要的实施能效选择的行动计划

鸣谢

附录

A1. 能源审计工作一览表
A2. 能效技术供应商和其他技术细节一览表

# 10.审计后的活动

## 10.1.为实施能效措施而制定的行动计划[13]

实际上经常有阻碍成功实施能源审计报告所建议的节能措施的障碍。因此，建立一个清楚的规程有利于保证成功地实现所建议的改进。实施行动计划应该以简单的方式描述清晰的目标、节省的指标以及在实行中对角色和责任的规定(Austrian Energy Agency 2007)。

一个详细的行动计划能帮助保证有系统地实施能效措施。可以定期(通常以每年为基础)更新行动计划以反映最近的成就、性能的变化和优先顺序的改变。虽然行动计划的范围和规模经常取决于组织机构，以下的步骤概述了制定计划的基本出发点：

1. 规定技术步骤和指标
2. 确定角色和资源

在最后定下行动计划之前，最好咨询工厂管理人员和主要工程师们以听取他们对行动计划的意见(US EPA, 2007b)。

**规定技术步骤和指标**

能源审计结果可以提供工厂的技术能力和它与高效率效能之间的差距的标志。由此可以辨认和优先考虑改善能效的机会。三个关键步骤是：

- **建立绩效目标:** 为机构中的每个设施、部门和操作建立绩效目标来追踪达到目标的进展。
- **建立时间表**: 为行动设立时间安排，包括关键员工的定期会议来评估进展、完成日期、项目阶段和期望的结果。
- **建立监督系统:** 建立监督系统来追踪和监督行动的进展。这个系统应该追踪和测量用能和项目/计划的活动。

**确定角色和资源：**

确定内部角色

行动计划应该确定谁将参与节能计划和他们的责任是什么。取决于组织机构和行动计划，可能包括的部门如下：

- 设施和运行管理
- 财政管理-资本投资、预算规划

[13] 除非指明不同出处,本节摘自美国环保局(2007b)。

- 人力资源-雇用员工、训练和表现标准
- 维护
- 供应管理-采购规程、能源购买及设备和材料
- 建筑和工厂设计
- 工程技术部
- 新产品/工艺开发小组
- 传播营销
- 环境、健康和安全

确定外部角色
行动计划应该确定顾问、服务提供者、供应商和其他产品供应者的使用程度。有些机构可能选择将他们的整体行动计划外包,其他可能只要将有限的项目与特定的供应商定合约。如果使用承包商，行动计划应该确定用什么标准来评估投标并且将那些度量结合到与承包商的协议里。

确定资源
为行动计划中的每个项目或计划，根据人力资源和资本/开支估计每个项目的费用。然后，制定一个商业个案来证明和获得批准资助行动计划的项目和资源的需要(US EPA, 2007b)。

**10.2.实施行动计划[14]**

要成功地实施行动计划，获得工厂内参与改善能效计划的人员的支持是极为重要的。实施行动计划应该考虑以下步骤：

1. 建立沟通计划：为重要的宣传对象制定有关能效行动计划的有针对性的信息。
2. 提高意识：在机构的所有层次获得对能效计划和目标的支持。
3. 培养能力：通过培训、获取信息和传输成功的实践和规程来扩展工厂员工的能力。
4. 激发：建立鼓励员工通过改进能源效绩来达到目标的奖励。
5. 追踪和监督：使用作为行动计划的一部分而建立的追踪系统定期追踪和监督进展情况。

**评估进展：**

工厂管理人员可使用能源数据和回顾作为行动计划的一部分所采取的行动与所建立的目标进行对比,来评价他们的活动进展情况。这项回顾可以用于修正行动计划和看到所学到的教训。定期评估能源绩效和能效计划也使能源管理人员能够：

- 测量所实施的项目和计划的有效性
- 对未来的能源项目作出明智的决定
- 奖励个人和团队所取得的成就
- 记载更多的节省机会以及无数可计的收益作为对未来计划的支持(US EPA, 2007b)。

[14] 除非指明不同出处,本节摘自美国环保局(2007b)。

值得突出的是,事实上公司需要有一个能源管理计划才能充分受益于能源审计的结果并能有持久的能效改善。如果没有一个能源管理计划，审计将可能是一个一次过事件，而且实施审计建议的实施率将是低的。更多关于能源管理计划的资料可从美国环保局获得(2007b)。

# 致谢

这项工作得到了能源基金会的中国可持续能源项目通过美国能源部合同 DE-AC02-05CH11231 的支持。作者衷心感谢劳伦斯·伯克利国家实验室的沈波、乌得勒支大学(Utrecht University)的 Ernst Worrell、管理协助项目(RAP)的 David Crossly 、自然资源保护委员会(NRDC)中国办公室的李玉琦、气候工作基金会( ClimateWorks)的 Julia Reinaud ，橡树岭国家实验室(ORNL)的 Michaela Martin, Sachin Nimbalkar and Nasr Alkadi 以及能源环境效率管理公司(E3M Inc.)的 Arvind Thekdi 等为这本指南提供的宝贵意见。

## 首字母缩略词

| | |
|---|---|
| APO | 亚洲生产力组织<br>(Asian Productivity Organization) |
| BAT | 最佳的现有技术<br>(Best Available Technique) |
| BEE | 印度节能局<br>(Bureau of Energy Efficiency-India) |
| BEST | 对标和节能工具<br>(Benchmarking and Energy Savings Tool) |
| BREF | BAT 参考文件<br>(BAT Reference document) |
| CIPEC | 加拿大工业节能计划<br>(Canadian Industry Program for Energy Conservation) |
| CO2 | 二氧化碳<br>(carbon dioxide) |
| CRES | 可再生能源资源中心<br>(Centre for Renewable Energy Sources) |
| DOE | 能源部<br>(Department of Energy) |
| EAP | 能源审计计划<br>(Energy Audit Program) |
| EI | 能源强度<br>(energy intensity) |
| EPA | 环保局<br>(Environmental Protection Agency) |
| GJ | 千兆焦耳<br>(gigajoule) |
| IRR | 内部收益率<br>(Internal Rate of Return) |
| ITP | 工业技术计划<br>(Industrial Technologies Program) |
| KW | 千瓦<br>(kilowatt) |
| kWh | 千瓦小时(度)<br>(kilowatt-hour) |
| LBNL | 劳伦斯・伯克利国家实验室<br>(Lawrence Berkeley National Laboratory) |
| LCC | 生活周期成本<br>(life cycle cost) |
| LCCA | 生命周期成本分析 |

| | |
|---|---|
| | (life-cycle cost analysis) |
| LF | 负载系数 |
| | (load factor) |
| NPV | 净现值 |
| | (net present value) |
| Ptm | 马来西亚能源中心 |
| | (Pusat Tenaga Malaysia) |
| SIR | 节省与投资的比率 |
| | (savings-to-investment ratio) |
| SMEs | 中小企业 |
| | (small-and-medium enterprises) |
| SPP | 简单的归本期 |
| | (simple payback period) |
| TJ | 万兆焦耳 |
| | (terajoule) |
| UPV | 等额现值 |
| | (uniform present value) |
| UPV* | 加入价格上升修正的等额现值 |
| | (uniform present value modified for price escalation) |
| UPVe* | 与能源费用一起使用并加入价格上升修正的等额现值 |
| | (uniform present modified for price escalation for use with energy costs) |

## 参考文獻


Alesson, T.， 1995 年。“不是所有疏水阀都一样”。 碳氢化合物加工。74。

亚洲生产力组织 (APO)， 2008年。工业能源审计的工作手册。在网页： http://www.apo-tokyo.org/00e-books/GP-13_WorkingManualEnergy.htmhttp://www.apo-tokyo.org/00e-books/GP-13_WorkingManualEnergy.htmhttp://www.apo-tokyo.org/00e-books/GP-13_WorkingManualEnergy.htm

美国机械工程师协会(ASME), 2009a。”蒸汽系统的能源评估”。在网页: http://catalog.asme.org/Codes/PrintBook/EA3_2009_Energy_Assessment.cfm

美国机械工程师协会(ASME), 2009b。 “泵系统的能源评估”。在网页: http://catalog.asme.org/Codes/PrintBook/EA2_2009_Energy_Assessment.cfm

美国机械工程师协会(ASME), 2009c。 “工艺加热系统的能源评估”。在网页: http://catalog.asme.org/Codes/PrintBook/EA1_2009_Energy_Assessment.cfm

美国机械工程师协会 (ASME), 2010 年。 “压缩空气系统的能源评估”。在网页: http://catalog.asme.org/Codes/PrintBook/EA4_2010_Energy_Assessment.cfm

奥地利能源局 2007 年。“实施能源管理的逐步指导”。SMEs 明智的能源项目中的标杆和能源管理计划-欧洲。在网页： http://www.iee-library.eu/index.php?option=com_jombib&task=showbib&id=1013&return=index.php%3Foption%3Dcom_jombib%26amp%3BItemid%3D30%26amp%3Bcatid%3D48http://www.iee-library.eu/index.php?option=com_jombib&task=showbib&id=1013&return=index.php%3Foption%3Dcom_jombib%26amp%3BItemid%3D30%26amp%3Bcatid%3D48http://www.iee-library.eu/index.php?option=com_jombib&task=showbib&id=1013&return=index.php%3Foption%3Dcom_jombib%26amp%3BItemid%3D30%26amp%3Bcatid%3D48

Barnish, T. J., M. R. Muller,D. J. Kasten,1997 年。”电机保养维护:工艺调查与结果”。1997 年美国能效率经济委员会(ACEEE)产业能源效率暑期研究论文集。华盛顿特区,美国。

最佳实践项目, 1996 年。”300 个最佳实践个案研究:缩小泵 Impeller 体积来节能” 。在网页：http://www.carbontrust.co.uk/default.htm

Bloss, D、 R. Bockwinkel, N. Rivers， 1997 年。”用输水阀节能”。1997 年美国能效率经济委员会(ACEEE)产业能源效率暑期研究论文集。华盛顿特区,美国。

印度节能局(BEE)，2008 年。《能源管理和能源审计的一般因素》第 3 章. 能源管理和审计. 在网页： http://www.bee-india.nic.in/index.php?module=tri&id=4http://www.bee-

india.nic.in/index.php?module=tri&id=4http://www.bee-india.nic.in/index.php?module=tri&id=4

Caffal, C， 1995 年。《产业能源管理》。展示能源科技的分析与发布中心 (CADDET), Sittard,荷兰。

加利福尼亚能源委员会 2000 年。“能源会计：管理能源费用的一个关键工具”。在网页：http://www.energy.ca.gov/reports/efficiency_handbooks/index.htmlhttp://www.energy.ca.gov/reports/efficiency_handbooks/index.htmlhttp://www.energy.ca.gov/reports/efficiency_handbooks/index.html

加拿大工业节能计划(CIPEC)，2002 年。《节能规划和管理指南》。在网页：http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/Managementguide_E.pdfhttp://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/Managementguide_E.pdfhttp://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/Managementguide_E.pdf

加拿大工业节能计划(CIPEC)， 2007 年。“团结起来为节能-风机和泵。”在网页：http://faq.rncan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?act=online&id=5716&format=PDF&lang=01http://faq.rncan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?act=online&id=5716&format=PDF&lang=01http://faq.rncan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?act=online&id=5716&format=PDF&lang=01

加拿大工业节能计划(CIPEC)， 2009年。《节能工具箱-能源审计手册和工具》。在网页： http://www.oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/energy-audit-manual-and-tool.pdfhttp://www.oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/energy-audit-manual-and-tool.pdfhttp://www.oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/energy-audit-manual-and-tool.pdf

加拿大工业节能计划(CIPEC)， 2009b。《能源标杆和最佳实践指南》。在网页：http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?act=searchhttp://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?act=searchhttp://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?act=search

展示能源科技的分析与发布中心 (CADDET),1993 年。一个地毯工厂的能源效率。在网页:http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/ici/caddet/english/pdf/R138.pdf

展示能源科技的分析与发布中心 (CADDET),1997 年。高效率压缩空气系统的节能。. Maxi Brochure 06, Sittard,荷兰。

展示能源科技的分析与发布中心 (CADDET),2001 年。蒸汽生产与输送的节能。Maxi Brochure 13,在网页:www.caddet.org。Sittard， 荷蘭。

可再生能源资源中心(CRES), 2000. 《能源审计指导– A部分: 方法和技术》。在网页: http://www.cres.gr/kape/pdf/download/guide_a_uk.pdfhttp://www.cres.gr/kape/pdf/download/guide_a_uk.pdfhttp://www.cres.gr/kape/pdf/download/guide_a_uk.pdf

Cergel, Y.A., B.G. Shiva Prasad, R.H. Turner, RH and Y. Cerci, 2000 年。"降低压空气成本“。碳氢化合物,2000 年 12 月,57-64 页。

加拿大工业节能计划 (CIPEC), 2001 年。锅炉与暖气的节能改善。加拿大天然资源节能办公室。Ottawa 与 Ontario,加拿大。.

铜发展协会(CDA),2001 年。”高效能铜卷电机的平均节能与节费”。在网页: http://energy.copper.org/motorad.html.

能源效率研讨会(CEE),2007 年。电机规划装备,2.1.版,波士顿, 马萨诸塞州。

Easton 顾问公司,1995 年。在北美 OEM 市场推广节能电机系统的战略。Easton 顾问公司,Stamford, 康涅狄格州, 美国。

效率夥伴，2004 年。工業產品指導手冊─製造與處理設備：馬達。Flex Your Power, 舊金山，加州。

电子仪器服务协会(EASA),2003年。修复与重卷对提高电机效率的影响。

电子仪器服务协会(EASA),2006年。修复回转电子仪器的推荐作法。美国国家标准组织(ANSI)与美国电子仪器服务协会(EASA) 2006年AR100 标准。

欧洲执行委员会(EC),2009年。最佳的现有技术参考文件。在网页:http://eippcb.jrc.es/reference/http://eippcb.jrc.es/reference/http://eippcb.jrc.es/reference/

Fuller, S.K. and Petersen, S.R., S.R. 1996 年。《联邦能源管理规划的生命周期成本指南》。美国国家标准技术研究院。在网页：www.bfrl.nist.gov/oae/publications/handbooks/135.pdfwww.bfrl.nist.gov/oae/publications/handbooks/135.pdfwww.bfrl.nist.gov/oae/publications/handbooks/135.pdf

Greer, L., Egan Keane, S,. and Lin, Z, 2010 年。美国自然资源保护委员会(NRDC) 节费又能降低污染的 10 个最佳纺织厂。在网页:http://www.nrdc.org/international/cleanbydesign/files/rsifullguide.pdf

Hackett, B., Chow, S. and A.R. Ganji, 2005 年。” 新鲜蔬果加工/冷藏设备的节能机会”。2005 年年美国能效率经济委员会(ACEEE) 产业能源效率暑期研习论文集。美国能源效率经济委员会,华盛顿特区,美国。

Heijkers, C., E. Zeemering and W. Altena, 2000 年。“考虑在冷冻设备装置变速与电机驱动压缩机”。碳氢化合物加工处理,8,79,第 61-64 页,2000 年 8 月。

Hooke, J.H.; Landry, B.J.; Hart, D., 2003 年。《能源管理信息系统》。在网页：http://oee.nrcan.gc.ca/Publications/industrial/EMIS/EMIS_eng.pdfhttp://oee.nrcan.gc.ca/Publications/industrial/EMIS/EMIS_eng.pdfhttp://oee.nrcan.gc.ca/Publications/industrial/EMIS/EMIS_eng.pdf

Hovstadius, G., 2002 年。与 ITT 流体技术公司的 Gunnar Hovstadius 的个人通信。 液压学会, 1994 年。离心泵的效益预测方法。Parsippany, 新泽西州,美国。

液压学会和欧洲泵业组织, 2001 年。泵的生命周期成本:泵系统生命周期成本分析的指南。Parsippany, 新泽西州,美国。

Ingersoll-Rand, 2001 年。空气解决方案集团 —压缩空气系统节能基础。在网页：http://www.air.ingersoll-rand.com/NEW/pedwards.htm. June 2001.

Jones, T. , 1997 年。蒸汽伙伴关系:通过市场的伙伴关系提高汽轮机效率”。 1997 年美国能效率经济委员会(ACEEE) 能源效率产业暑期研习论文集。华盛顿特区,美国。

Johnston, B., 1995 年。“更节能蒸汽的 5 种方法”。化学工程师,594,第 24-27 页(8 月)。

Lanham, G., 2007 年。”降低能源成本的 4 个因素”。金属生产及加工。2007 年 1 月/2 月。第 45 卷第 5 期,第 8-8 页。

劳伦斯・伯克利国家实验室(LBNL)， 2007 年。《BEST 酿酒厂：对标及节能和节水工具》。 在网页： http://best-winery.lbl.gov/http://best-winery.lbl.gov/http://best-winery.lbl.gov/

劳伦斯・伯克利国家实验室(LBNL)，2009 年。《行业评估报告》工业能源分析。在网页： http://industrial-energy.lbl.gov/node/96http://industrial-energy.lbl.gov/node/96http://industrial-energy.lbl.gov/node/96

劳伦斯・伯克利国家实验室和能源研究院(LBNL & ERI)，2008年。《中国的BEST-水泥》。《水泥工业的对标工具：工具和手册》。在网页：http://china.lbl.gov/research/industry/benchmarking/best-cement/best-cement-chinahttp://china.lbl.gov/research/industry/benchmarking/best-cement/best-cement-chinahttp://china.lbl.gov/research/industry/benchmarking/best-cement/best-cement-china

Morvay, Z.K. and Gvozdenac, D.D., 2008 年。《应用工业能源和环境管理》. John Wiley & Sons Ltd. 英国。

Moss, K.J., 2006 年。 《建筑的能源管理》Taylor & Francis,纽约，美国。

Nadel, S., R. N. Elliott, M. Shepard, S. Greenberg, G. Katz and A. T. de Almeida, 2002 年。节能电机系统:技术手册、程序和政策。

Oland, C.B., 2004 年。锅炉业主和经营者整合热能和电力系统的指南。Oak Ridge 国家实验室。Oak Ridge,田纳西州,美国。在网页：http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices

Parekh, P., 2000 年。”投资级压缩空气系统审计、分析和升级。”在:第二十二届全国工业能源技术研讨会论文集。休斯敦,德州,美国。 4 月 5 日至 6 日:第 270-279 页。

Phylipsen, D., Blok, K., Worrell, E., de Beer, J., 2002 年。“荷兰工业节能标杆：评估预期的能源消耗和二氧化碳排放的影响”。《能源政策》 30 (2002) 663-679。

Radgen, P. and E. Blaustein, 2001 年。欧盟的压缩空气系统、能源、排放、节能潜力和政策行动。Fraunhofer 研究所,Karlsruhe,德国。

Schmidt, M., 2008 年。《能源和原料流动管理的散布图。第 I 部分：历史》。工业生态学杂志.，第 12 册，第 1 号。

Studebaker, P., 2007 年。 2007 年最佳实践奖得主。工厂服务,2007 年 2 月。

马来西亚能源中心 (Ptm)， 2009 年。《标杆分析和它的工具介绍》,马来西亚工业节能改善项目(MIEEIP)。 在网页：http://www.ptm.org.my/mieeip/pdf/ebenchmarking.pdfhttp://www.ptm.org.my/mieeip/pdf/ebenchmarking.pdfhttp://www.ptm.org.my/mieeip/pdf/ebenchmarking.pdf

Turner, W.C. and Doty, S., 2007 年。 《能源管理手册(第六版) 》。 Fairmont 出版公司。美国.

Tutterow, V., 1999 年。泵系统的能源效率:纸浆和造纸工业的经验与趋势。美国能效率经济委员会(ACEEE)。

Tutterow, V., D. Casada and A. McKane, 2000 年。“从你的抽水系统获利”。2000 年泵用户世博会会议纪录。九月。Louisville, 肯塔基州,美国。泵和系统杂志, Randall 出版公司。

美国能源部,1996 年。降低工率因子成本。美国能源部的电机挑战计划。1996 年 9 月。

美国能源部, 1998 年。改善压缩空气系统效能:产业数据手册。由美国劳伦斯伯克利国家实验室(LBNL)和资源动态公司(RDC)为美国能源部准备的电机挑战计划。

美国能源部, 1999年。改善泵系统效能：产业数据手册。由美国劳伦斯伯克利国家实验室(LBNL)和资源动态公司(RDC)为美国能源部准备的电机挑战计划。美国能源部建筑

技术项目 (US DOE BTP), 2009年。在网页：
http://www1.eere.energy.gov/buildings/technologies.htmlhttp://www1.eere.energy.gov/buildings/technologies.htmlhttp://www1.eere.energy.gov/buildings/technologies.html

美国能源部工业技术计划(US DOE ITP)， 2004 年。改进工艺加热系统性能-工业资料手册。在网页： www1.eere.energy.gov/industry/.../pdfs/proc_heat_sourcebook.pdf

美国能源部工业技术计划办公室, 2008年。工厂能源速查/综合工具套件。在网页：
http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software_quickpep.html

美国能源部产业评估中心(U.S. DOE-IAC), 2006 年。产业评估中心(IAC)数据库。美国能源部。在网页：http://iac.rutgers.edu/database/index.php

美国能源部工业技术计划办公室(U.S. DOE-ITP EM), 2001 年。能源很重要。2008 年冬季版。美国能源部工业技术计划项目,能源很重要。在网页：http://apps1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/energymatters/

美国能源部工业技术办公室(U.S.DOE-OIT), 2001 年。节省蒸汽成本的战略;降低你的蒸汽系统的能源账单。美国能源部工业技术办公室工业技术项目。华盛顿特区,美国。在网页:：http://www1.eere.energy.gov/industry/

美国能源部工业技术办公室(U.S.DOE-OIT), 2005 年。泵:成本节省的战略。美国能源部工业技术办公室工业技术项目。华盛顿特区,美国。在网页:：
http://www1.eere.energy.gov/industry/

美国能源部工业技术办公室(U.S.DOE-OIT), 2005 年。泵系统提示。2006 年 1 月。美国能源部工业技术办公室工业技术项目。华盛顿特区，美国。

美国能源部工业技术办公室(U.S.DOE-OIT), 2005b。 能源提示:估计电压不平衡。信息表。美国能源部工业技术办公室工业技术项目。电机系统提示表#7。

美国能源部工业技术办公室(U.S.DOE-OIT), 2006 年。蒸汽提示。 2006 年 1 月。美国能源部工业技术办公室工业技术项目。华盛顿特区,美国。在网页：http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices

美国能源部工业技术办公室(U.S.DOE-OIT), 2007 年。蒸汽提示。 2007 年 8 月。美国能源部工业技术办公室工业技术项目。华盛顿特区,美国。在网页：
http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices

美国环境保护局(US EPA)， 2007a。《精益和能源工具箱》。在网页：
http://www.epa.gov/lean/toolkit/LeanEnergyToolkit.pdf

美国环境保护局 (US EPA)， 2007b。《能源管理指南》 能源之星计划。在网页：
http://www.energystar.gov/index.cfm?c=guidelines.guidelines_indexhttp://www.energyst

ar.gov/index.cfm?c=guidelines.guidelines_indexhttp://www.energystar.gov/index.cfm?c=guidelines.guidelines_index

美国环境保护局(US EPA)， 2008a。“工厂能源绩效指标”。《能源之星计划》。 在网页：http://www.energystar.gov/index.cfm?c=in_focus.bus_industries_focus#planthttp://www.energystar.gov/index.cfm?c=in_focus.bus_industries_focus#planthttp://www.energystar.gov/index.cfm?c=in_focus.bus_industries_focus#plant

美国环境保护局 (US EPA)， 2008b。“能源指南-在重点工业中改善能效的机会”。《能源之星计划》。 在网页：http://www.energystar.gov/index.cfm?c=in_focus.bus_industries_focus#planthttp://www.energystar.gov/index.cfm?c=in_focus.bus_industries_focus#planthttp://www.energystar.gov/index.cfm?c=in_focus.bus_industries_focus#plant

美国环境保护局 (US EPA)， 2008c 。“通过标杆分析来节省能源-通过节能保护我们的环境”。《能源之星计划》。在网页：www.energystar.gov/ia/.../Benchmarking_to_Save_Energy.pdfwww.energystar.gov/ia/.../Benchmarking_to_Save_Energy.pdfwww.energystar.gov/ia/.../Benchmarking_to_Save_Energy.pdf

联合国环境规划 (UNEP), 2006 年。《亚洲工业能效指南》。 在网页：www.energyefficiencyasia.org

Van de Ruit, H., 2000 年。” 提高凝结水回收系统”。烃加工,12,79, 第 47 – 53 页(2000 年 12 月)。

世界银行 1998 年。《投资运作的经济分析手册》。华盛顿特区:世界银行。在网页：http://www.worldbank.org/education/economicsed/project/projwork/Handbook.pdf

Worrell, E., Bode, J.W. , and De Beer, J.G., 1997 年。产业的节能技术 (欧盟执委行委员会 Atlas 项目)。Utrecht 大学, Utrecht，荷兰。

Worrell, E. and Galitsky, C., 2004 年。水泥生产的能源效率改善机会。为能源和工厂管理者参考的能源之星指南。报告编号 54036。加州柏克莱:劳伦斯伯克利国家实验室。在网页: http://industrialenergy.lbl.gov/node/324/print

Worrell, E.; Blinde, P.; Neelis, M.; Blomen, E.; Masanet, E., 2010 年。美国钢铁产业的能源效率提升和成本节约机会。为能源和工厂管理者参考的能源之星指南。 (报告正出版中)。

Xenergy,1998 年。美国工业电动电机系统市场机会评估。由 Xenergy 公司为美国能源部工业技术办公室和橡树岭国家实验室撰写 。

## 附录 1.转换系数

**表 A-1 转换系数**

| 从 | 转换到 | 乘以 |
|---|---|---|
| 克 (g) | 公制吨 (t) | $1 \times 10^{-6}$ |
| 公斤 ((kg)) | 公制吨 (t) | $1 \times 10^{-3}$ |
| 兆克(megagrams) | 公制吨 (t) | 1 |
| 千兆克(gigagrams) | 公制吨 (t) | $1 \times 10^{3}$ |
| 磅 (lb) | 公制吨 (t) | $4.5359 \times 10^{-4}$ |
| 吨 (长)(ton) | 公制吨 (t) | 1.016 |
| 吨 (短)(ton) | 公制吨 (t) | 0.9072 |
| 桶 (石油，美国) | 立方米 ($m^3$) | 0.15898 |
| 立方英尺($ft^3$) | 立方米 ($m^3$) | 0.028317 |
| 公升(litres) | 立方米 ($m^3$) | $1 \times 10^{-3}$ |
| 立方码(cubic yards) | 立方米($m^3$) | 0.76455 |
| 加仑 (液体，美国) (gallons) | 立方米($m^3$) | $3.7854 \times 10^{-3}$ |
| 英制加仑 | 立方米($m^3$) | $4.54626 \times 10^{-3}$ |
| 焦耳(joule) | 千兆焦耳(GJ) | $1 \times 10^{-9}$ |
| 千焦耳 | 千兆焦耳(GJ) | $1 \times 10^{-6}$ |
| 兆焦耳 | 千兆焦耳(GJ) | $1 \times 10^{-3}$ |
| 万兆焦耳(TJ) | 千兆焦耳(GJ) | $1 \times 10^{3}$ |
| Btu (英制热量单位) | 千兆焦耳(GJ) | $1.05506 \times 10^{-6}$ |
| 卡路里(calories) | 千兆焦耳(GJ) | $4.187 \times 10^{-6}$ |
| 吨油等值(toe) | 千兆焦耳(GJ) | $4.22887 \times 10^{-3}$ |
| 千瓦小时(kWh) (度) | 千兆焦耳(GJ) | $3.6 \times 10^{-3}$ |
| Btu /英尺 $^3$ | 千兆焦耳/米 $^3$ | $3.72589 \times 10^{-5}$ |
| Btu /磅 | 千兆焦耳/公尺吨 | $2.326 \times 10^{-3}$ |
| 磅 /ft $^3$ | 公尺 吨 /米 $^3$ | $1.60185 \times 10^{-2}$ |
| psi (磅/平方英寸) | 巴 (bar) | 0.0689476 |
| kgf /cm $^3$ (技术 atm) | 巴 (bar) | 0.980665 |
| atm (标准大气压) | 巴 (bar) | 1.01325 |
| 英哩 (法定哩) | 公里 | 1.6093 |
| 吨 $CH_4$ | 吨 $CO_2$ 等效 | 21 |
| 吨 $N_2O$ | 吨 $CO_2$ 等效 | 310 |
| 吨碳 | 吨 $CO_2$ | 3.664 |

来源： UNEP 2006 年.

# 附录 2.能源审计的仪器[15]

## A.2.1.注意安全

对工厂的能源审计需要在现場工作，接近公用事业设施和生产机械。对安全的考虑是任何工业能源审计中的一个非常重要的部分。要向审计组详细交代安全设备和规程,在进行审计时决不让自己处于一个危险的处境中。审计员在对电气系统或高温设备如锅炉、加热器等进行任何测量时应该极为小心。应该带上合适的电气或石棉手套。

当检查任何运行中的设备，特别是那些开放式的传动轴、传送带或齿轮，或者任何形式的旋转机械时，审计员也应该非常小心。当审计员将要查看设备时应该通知设备的操作员或主管，并且可能需要从机器的某些部件获取资料。审计员决不应该接近和检查设备如果没有事先通知操作员或主管(Turner and Doty 2007)。以下是分条列述的安全一览表：

**电气**

- 如有可能,避免带电工作。
- 在设备上工作之前要将电路断开并稳当地锁好。
- 当做带电测量时总要设法将一只手放在自己的口袋里，以帮助防止心跳停止。

**呼吸**

- 当有需要时，佩带一个有合适尺寸过滤微粒的全面罩呼吸器。
- 当在低浓度有毒气体附近工作时,使用活性碳过滤罐面具并定期更换过滤罐。
- 当在有毒环境中工作时,使用自给式呼吸器。

**听力**

- 当在高噪声的机器附近工作时使用泡沫耳塞，将噪声水平减少到 30 分贝。
-

## A.2.2.测量电气参数

用于测量电气参数的仪器包括以下几种：

1. 电流表：测量电机/机器吸收的电流。
2. 电压表：测量电网或电路的电压或电压降。
3. 功率表：测量电机/机器的瞬间功率需求和发电机的性能。
4. 功率因数表：测量功率因素或监测整流设备。
5. 万用电表：测量所有上述数值和其他数值(如频率、无功功率、相位角等)

**图 A-1. 钳式万用表(UNEP 2006)**

[15] 除非指明不同出处,本节摘自可再生能源资源中心 (CRES) (2000)。

所有上述仪器通常都是便携式的。他们用钳口与电路联接，并可能有数据记录器的功能(图 A-1)。对所有能源消耗量大的环节和设施都应进行电能和能源消耗的测量。

在测量所有上述数值的期间，总功率(以 kVA 计量)和有功功率(通常以 kW 计量)应该是分开的。需要小心预期不会呈现正弦波的负荷，如变速驱动(VSDs)。普通的测量仪器是基于正弦波的，测量变速驱动时就会显示不正确的读数。在这种情况下，需要用能测量真有效值 RMS(均方根)的电表。这种电表的功能是基于数字取样。测量电气参数要使用一种称为功率分析仪的复杂仪器。当仪器与被测量的机器或配电站的配电板妥善地连接以后，显示器会显示测量的读数，包括对每个相位和总电压的瞬间和可控时段的测量、电流、视在的无功和有功功率、功率因数和能源消耗量。瞬间测量每 20 秒重覆一次(CRES,2000)。

### A.2.3.温度测量

最常用的温度测量技术包括：
a) 电阻温度传感器(RTD)：其中一种技术最先进的仪器, 有用于校准和复位的内部信号和很高的精确度。
热电偶：使用广泛和价格低廉，覆盖的温度范围广，从几度到高达 1000°C 和通常是便携式的。他们需要频繁地用专业仪器校准。他们的主要缺点是信号微弱，容易受工业噪声的影响。
c) 热敏电阻：作为永久测量表、价格低廉并且有自动复位的能力。
d) 红外温度计：从一定距离通过感应热辐射来测量温度。他们能感应“热点”和绝缘材料有问题的区域。便携和容易使用，但准确性有限。

红外温度计在工业上的应用变得更广泛。红外照相机(图 A-2)装有将表面的红外辐射转换成电压差的传感器并通过适当的软件将电压差转换成有色谱对应于辐射水平的图象。

在审计供热系统之前(例如锅炉)，设备应该处于它的正常温度运行，因而来自测量的数据可以代表实际的性能。照相机应该在测量之前运行大约 5 分钟，以保证完成自动校准。为了确定建筑外壳的热耗，以及绝缘材料的缺陷点，室内温度应该高于室外温度。因此，应该选择阴冷和多云的天气以避免入射辐射造成墙壁的热效应(CRES,2000)。

**图 A-2. 非接触式或红外线温度计 (UNEP 2006)**

### A.2.4.流量的测量

要估计流经流体的热量，有必要测量它的通量(质量或容量)。这种测量一般包括对气体和液体燃料、蒸汽和热水或冷水或者气流的测量。将温度差的测量与流量的测量相结合能计量热量和能源的流量。应该仔细选择仪器，考虑到流体的类型、所有的稀释和腐蚀性物质、速度范围和相关的费用。测量流体的传感器可以分类如下：

- 差压压力计(膜片式、文丘里管或皮托管型)
- 干涉流量计(变截面、正位移、涡轮或者漩涡测量型)
- 非干涉流量计(超声波或磁性仪表型)
- 质量流量计(科氏或角动量型)

图 A-3. 超声波流量计
(UNEP 2006)

皮托管通常伴随于一台电测压器用于测量速度。超声波流量计的技术也有进步，可提供高精确度。它们需要相对纯净的流体并且容易使用。它们可以简单地安装在被测量的管道上(图 A-3)。应该根据制造商的编目使用仪器，并且应该定期地校准(CRES,2000)。

### A.2.5.废气的测量

废气测量包括二氧化碳、一氧化碳、硫化物、氮化物、烟气成分和温度的测量。传统上这些测量采用低成本的便携式仪器。如今也有电子气体分析仪，它可以迅速地测量所有上述数值，同时可计算燃烧效率(图 A-4)。

传统的测量仪器是在干燥的气体条件下测量,而电子测量仪器能在实时条件下连续地测量气体的成分。因此，当对比结果时应该考虑这个因素。另外,在进行任何现場测量之前，锅炉应该已经运行了一段时间以达到它的标准运行温度。
气体分析仪的采样探针是从烟囱插入的，它的末端必须放在废气的核心安置(烟囱的中部)。这可以准确地做到，因为现代的气体分析仪有能力显示探针在任何位置的温度。所以，合适的采样点是在温度最高的地方，在气流的正中间。

一旦得到合适的采样，气体分析仪会分析气体并通过内置的算法确定废气中的一氧化碳、二氧化碳、氧气、二氧化硫、氮气和氯化氢的百分比。现代的气体分析仪是全自动的，所以当采得合适的样品后，锅炉的效率和以上提到的气体的百分比都会在气体分析仪上显示出来(CRES,2000)。

图 A-4. 气体分析仪
(CRES, 2000)

### A.2.6.转动设备的转速测量

测量取样电机的转速是重要的, 由于它们会因频率、传送带滑动和负载而变化。速度测量仪器主要有两类：转速表和闪光测速仪(图 A-5)。在接触型转速表，转速表的轮子与转动的部件相接触。由于两者间的摩擦，在几秒钟后转速表的轮子的速度与转动部件的速度是相同的。这个速度以 rpm(每分钟自转)被显示在仪表上。

图 A-5. 转速表（左）和闪光测速(右)

数字式闪光测速仪是一个闪光灯源用于测量快速移动物体的速度或为观察、分析或者高速摄影的目的而产生的静止或减慢高速行动的光学效应。当测量一个物体的旋转速度时，最初将闪光率设到高于估计的物体速度。然后慢慢地减低闪光率，直到第一个单一图象出现。这时，闪光灯的闪光率与物体的旋转速度是相等的，并且可以直接地从数字显示读出转速(UNEP 2006)。

## 附录 3 特定工业的能源效率改善机会一览表

谨注:本表中所列的节能、节费与回收期是针对参考报告中所列的明确条件。执行这些措施能有额外(非能源)的益处。请详阅报告中引述的每个措施,才能对节能与节费有完整了解。

### A.3.1. 水泥工业

**表 A-2. 水泥工业[16]采用特定工艺的节能技术与措施,所节省的燃料、电力与资本成本以及在年度运作与维护成本上的变化。**

| 项次 | 技術/措施 | 燃料节约 (吉焦/吨熟料) | 节电量 (千瓦时/吨熟料) | 资金成本 (美元/吨熟料) | O & M 年度成本變化(美元/吨熟料) |
|---|---|---|---|---|---|
| | **燃料制备** | | | | |
| 1 | 高效煤分离器 | | 0.26 | 0.01 | 0.0 |
| 2 | 辊式磨用于燃料制备 | | 1.47 | 0.05 | 0.0 |
| 3 | 安装变速驱动器与更换磨煤机袋式集尘器 | | 0.16 | 0.03 | 0.0 |
| | **原料制备** | | | | |
| 4 | 立磨的过程控制优化 | | 1.41 | 0.51 | 0.0 |
| 5 | 高效分选机 | | 5.08 | 3.44 | 0.0 |
| 6 | 高效辊式磨 | | 10.17 | 8.60 | 0.0 |
| 7 | 高效输送送系统 | | 3.13 | 4.69 | 0.0 |
| 8 | 原料预均化系统 | | 2.66 | 5.79 | 0.0 |
| 9 | 原料机通风机装变频驱动器 | | 0.33 | 0.03 | 0.0 |
| 10 | 原料輸送斗式生提機 | | 2.35 | 0.23 | 0.0 |
| 11 | 原料机通风机装變頻高效風扇 | | 0.36 | 0.03 | 0.0 |
| | **熟料烧成** | | | | |
| 12 | 减少窑表面热损失 | 0.26 | | 0.25 | 0.0 |

[16]本表摘自 Price, L., Hasanbeigi, A., Lu, H., Wang, L., 2009 年。中国山东省水泥工业的节能机会分析。加州伯克利劳伦斯伯克利国家实验室编号 LBNL-2751 E.报告。http://china.lbl.gov/publications/ analysis-energy-efficiency-opportunities-cement-industry-shandong-province-china

| 项次 | 技術/措施 | 燃料节约 (吉焦/吨熟料) | 节电量 (千瓦时/吨熟料) | 资金成本 (美元/吨熟料) | O & M 年度成本變化(美元/吨熟料) |
|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 加强能源管理与过程控制 | 0.15 | 2.35 | 1.00 | 0.0 |
| 14 | 风机系统变频调速 | | 6.10 | 0.23 | 0.0 |
| 15 | 优化热回收/改造熟料冷却机 | 0.11 | -2.00 [a] | 0.20 | 0.0 |
| 16 | 低温余热发电 | | 30.80 | US$1335 /kWh capacity | 0.8 |
| 17 | 高效窑传动 | | 0.55 | 0.22 | 0.0 |
| 18 | 预热机从 5 级提高至 6 级 | 0.11 | -1.17 [a] | 2.54 | 0.0 |
| 19 | 预热器窑升级为预分解窑 | 0.43 | | 18.00 | -1.1 |
| 20 | 为浮预热器安装低压损旋风筒 | | 2.60 | 3.00 | 0.0 |
| 21 | 蓖式冷却机冷却风机安装变频器 | | 0.11 | 0.01 | 0.0 |
| 22 | 窑生料安装斗式提升机 | | 1.24 | 0.35 | 0.0 |
| 23 | 用高效风机取代预热机风机 | | 0.70 | 0.07 | 0.0 |
| | **产品粉磨** | | | | |
| 24 | 加强能源管理和过程控制 | | 4.00 | 0.47 | 0.0 |
| 25 | 竖磨机取代球磨机 | | 25.93 | 7.82 | 0.0 |
| 26 | 高压辊压机 | | 24.41 | 7.82 | 0.0 |
| 27 | 改良研磨介质（球磨机） | | 6.10 | 1.10 | 0.0 |
| 28 | 高效选粉机 | | 6.10 | 3.13 | 0.0 |
| 29 | 用高效风机取代水泥研磨机通风机 | | 0.13 | 0.01 | 0.0 |
| | **通用措施** | | | | |
| 30 | 使用其他燃料 | 0.60 | | 1.10 | 0.0 |
| 31 | 高效电机 | | 4.58 | 0.34 | 0.0 |
| 32 | 变速驱动器 | | 9.15 | 1.41 | 0.0 |
| | **改进产品** | **燃料节约 (吉焦/吨熟料)** | **节电量 (千瓦时/吨熟料)** | **资金成本 (美元/吨熟料)** | **O & M 年度成本變化(美元/吨熟料)** |
| 33 | 混合水泥(添加物: 飛灰、火山灰與高爐礦渣) | 1.77 | -7.21[a] | 0.72 | -0.04 |
| 34 | 普通 石灰石水泥 | 0.23 | 3.30 | 0.12 | -0.01 |

a 节电量为负值显示,本措施虽可节约燃料,却会增加用电量。但应注意的的是,这些措施所用的初级能源的总节能量是正值。

### A.3.2. 钢铁工业

**表 A-3. 综合鋼鐵生產[17]采用特定工艺的节能技术与措施,所节省的燃料、电力与资本成本以及在年度运作与维护成本上的变化**

| 选项 | 节省燃料 (GJ/顿粗钢) | 节省电力 (GJ/顿粗钢) | 年运作成本 (US$/顿粗钢) | 改造投资费用 (US$//顿粗钢) |
|---|---|---|---|---|
| **铁矿准备 (烧结)** | | | | |
| 烧结厂热回收 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.66 |
| 减少空气泄漏 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 |
| 增加燃烧床深 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 环节控制的改进 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.03 |
| 烧结厂使用废燃料 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.04 |
| **炼焦** | | | | |
| 煤调湿技术 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 14.69 |
| 程序性加热 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.07 |
| 焦炉气压缩机的变频调速 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.09 |
| 干熄焦 | 0.37 | 0.00 | 0.15 | 20.99 |
| **炼铁--高炉** | | | | |
| 粉煤喷射 130 kg/thm | 0.69 | 0.00 | -1.78 | 6.24 |
| 粉煤喷射 225 kg/thm | 0.51 | 0.00 | -0.89 | 4.64 |
| 天然气喷射 140 kg/thm | 0.80 | 0.00 | -1.78 | 4.46 |
| 顶压回收发电 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 17.84 |
| 高炉气体回收 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.27 |
| 热风炉自动化 | 0.33 | 0.00 | 0.00 | 0.27 |
| 热风炉换热器 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 1.25 |
| 控制改进高炉的系统 | 0.36 | 0.00 | 0.00 | 0.32 |
| 熔融还原工艺* | 3.2 | 0.00 | -6.3 | -120 |
| **炼钢-底吹氧气炉** | | | | |
| BOF 气体及显热回收（抑制燃烧 | 0.92 | 0.00 | 0.00 | 22.00 |
| 通风机的变频调速 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 |
| **综合铸造** | | | | |
| 采用连续铸造 | 0.24 | 0.08 | -5.35 | 11.95 |
| 有效钢包预热 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.05 |
| 薄扁钢坯铸造 | 3.13 | 0.57 | -31.33 | 134.25 |
| 薄带铸造* | - | - | - | 180 |

[17]本表摘自劳伦斯伯克利国家实验室,2006 年。钢铁工业的能源效率改善机会, 伯克利, 加州:劳伦斯伯克利国家实验室。http://china.lbl.gov/energy.efficiency.guidebooks

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **综合热轧** | | | | |
| 热炉料 | 0.52 | 0.00 | -1.15 | 13.09 |
| 热钢带轧机的环节控制 | 0.26 | 0.00 | 0.00 | 0.61 |
| 换热式烧嘴 | 0.61 | 0.00 | 0.00 | 2.18 |
| 炉子的绝热 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 8.73 |
| 控制氧水平和通风机的变频调速 | 0.29 | 0.00 | 0.00 | 0.44 |
| 节能驱动（热轧机） | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.17 |
| 废热回收 (冷水) | 0.03 | 0.00 | 0.06 | 0.70 |
| 低 NOx 燃烧器 | 0.77 | -0.02 | 0.36 | 2.5 |
| **综合冷轧和精炼** | | | | |
| 退火线的热回收 | 0.17 | 0.01 | 0.00 | 1.55 |
| 减少蒸汽的使用 (酸洗机组 e) | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 1.61 |
| 自动监控和目标系统 | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.63 |
| **总计** | | | | |
| 预防性维护 | 0.43 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| 能源监测和管理系统 | 0.11 | 0.01 | 0.00 | 0.15 |
| 联合发电 | 0.03 | 0.35 | 0.00 | 14.52 |
| 烟气处理、泵和通风机的变频调速 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 1.30 |

*这些措施是仍在开发中的先进措施，并可能影响钢铁行业能效的长期趋势，但并非钱能买到的。因此，成本和节能信息并不完备。

**表 A-4. 二级钢铁生产[18]采用特定工艺的节能技术与措施,所节省的燃料、电力与资本成本以及在年度运作与维护成本上的变化**

| 选项 | 节省燃料 (GJ/顿粗钢) | 节电 (GJ/顿粗钢) | 年运作成本(US$//顿粗钢) | 改造投资费用(US$//顿粗钢) |
|---|---|---|---|---|
| **控制改进的环节（神经网络）** | | | | |
| 燃气监控 | 0.00 | 0.11 | -1.00 | 0.95 |
| 变压器-UHP 变压器 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 2.00 |
| 炉底搅拌/吹气 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 2.75 |
| 泡沫渣技术 | 0.00 | 0.07 | -2.00 | 0.60 |
| 氧燃料烧嘴 | 0.00 | 0.07 | -1.80 | 10.00 |
| 现有炉子偏心炉底出钢 (EBT) | 0.00 | 0.14 | -4.00 | 4.80 |
| 直流(DC)弧炉 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 3.20 |
| 废钢预热– 隧道式炉 (CONSTEEL) | 0.00 | 0.32 | -2.50 | 3.90 |
| 废钢预热, 二次燃烧 – 炉身(FUCHS) | 0.00 | 0.22 | -1.90 | 5.00 |
| 双壳直羚 w/ 废钢预热 | -0.70 | 0.43 | -4.00 | 6.00 |
| IHI 工艺* | 0.00 | 0.07 | -1.10 | 6.00 |
| Contiarc 工艺* | - | - | - | - |
| Comelt 工艺* | -0.03 | 0.77 | -10 | - |
| 二级铸造 | -0.25 | 0.44 | -8 to -10 | 3.90 |
| **有效钢包预热** | | | | |
| 薄扁钢坯铸造 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.05 |
| 薄带铸造* | 2.86 | 0.57 | -31.33 | 134.29 |
| 控制改进的环节（神经网络） | - | - | - | 180 |
| **二级热轧** | | | | |
| 热钢带轧机的环节控制 | 0.26 | 0.00 | 0.00 | 0.61 |
| 换热式烧嘴 | 0.61 | 0.00 | 0.00 | 2.18 |
| 炉子的绝热 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 8.73 |
| 控制氧水平和通风机变频调速 | 0.29 | 0.00 | 0.00 | 0.44 |
| 热轧机的节能驱动 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.17 |
| 冷水中废热回收 | 0.03 | 0.00 | 0.06 | 0.70 |
| 低 NOx 燃烧器 | 0.77 | -0.02 | 0.36 | 2.5 |
| **通用技术** | | | | |
| 预防性保养/维修 | 0.09 | 0.05 | 0.02 | 0.01 |
| 能源监控系统 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.15 |

*****这些措施是仍在开发中的先进措施，并可能影响钢铁行业能效的长期趋势，但并非钱能买到的。因此，成本和节能信息并不完备。

[18]本表摘自劳伦斯伯克利国家实验室,2006 年。钢铁工业的能源效率改善机会, 伯克利, 加州:劳伦斯伯克利国家实验室。http://china.lbl.gov/energy.efficiency.guidebooks

### A.3.3. 纺织工业

**表 A-5 纺纱工艺[19]在特定工艺采用节能工艺与措施所节约的燃料、电量与资金成本**

| 项次 | 节能技術/措施 | 燃料节约 | 节电量 | 资本费用 (美元) | 回收期 (年)** |
|---|---|---|---|---|---|
| **5.1** | **纺纱** | | | | |
| 5.1.1 | **准备工艺** | | | | |
| 1 | 用电子式粗纱断头自动停止侦测器替代气压系统 | | 3.2 兆瓦时/年/机器 | 180/粗纱机 | < 1 |
| 2 | 高速梳棉机 | | | 100,000/梳棉机 | <2 |
| **5.1.2** | **环锭细纱机** | | | | |
| 3 | 用节能纺锭油 | | 环锭细纱机能耗的 3% - 7% | | |
| 4 | 优化纺锤锭脚的油量 | | | | |
| 5 | 用较轻的纺锤替代传统纺锤 | | 23 兆瓦时/年/环锭细纱机 | 13,500 /环锭细纱机 | 8 |
| 6 | 合成多层带 | | 4.4 - 8 兆瓦时/环锭细纱机/年 | 540 -683/环锭细纱机 | 1 - 2 |
| 7 | 就纱线量优化环锭细纱机直径 | | 环锭细纱机能耗的 10% | 1600 /环锭细纱机 | 2 |
| 8 | 环锭细纱机截面装假天花板 | | 8 千瓦时/年/纺锤 | 0.7/纺锤 | 1.2 |
| 9 | 加装节能电机 | | 6.3 -18.83 兆瓦时/年/电机 | 1950 - 2200 /电机 | 2 - 4 |
| 10 | 吸口上加装超节能风机以替代传统铝风机 | | 5.8 - 40 兆瓦时/年/风机 | 195 - 310 /风机 | < 1 |
| 11 | 使用较轻的缠线管 | | 10.8 兆瓦时/年/环锭细纱机 | 660 /环锭细纱机 | < 1 |

[19]本表摘 Hasanbeigi, A., 2010 年。纺织工业的能源效率改善机会,伯克利,加州:劳伦斯伯克利国家实验室 (即将出版)。

| 项次 | 节能技術/措施 | 燃料节约 | 节电量 | 资本费用 (美元) | 回收期 (年)** |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 高速环锭细纱机 | | 环锭细纱机能耗的 10% - 20% | | |
| 13 | 电机驱动上加装软启动器 | | 1 – 5.2 兆瓦时/年/环锭细纱机 | | 2 |
| **5.1.3** | **绕线、并线与后整理工艺** | | | | |
| 14 | 自动络筒机上加装变频器 | | 331.2 兆瓦时/年/工厂 | 19500/工厂 | < 1 |
| 15 | 自动络筒机/锥形绕线机的空筒子输送机设在间歇模式 | | 49.4 兆瓦时/年/工厂 | 1100/工厂 | < 1 |
| 16 | 修改倍捻机外部的纺丝罐 | | 二合一机能耗的 4% | | |
| 17 | 优化倍捻机的气球设定 | | | | |
| 18 | 纱抛光机的加热系统由电子式改蒸汽式 | 提高 31.7 吨蒸汽/年/机器 | 19.5 兆瓦时/年/机器 | 980/加湿設備 | < 1 |
| **5.1.4** | **冷气系统与加湿系统** | | | | |
| 19 | 纱线给湿房改用节能雾气喷嘴 | | 31 兆瓦时/年/加濕設備 | 1700/加湿設備 | < 1 |
| 20 | 在加湿工厂的洗衣机电机泵加装变频器 | | 20 兆瓦时/年/加濕設備 | 1100/加湿設備 | < 1 |
| 21 | 加湿风机与冷却塔风机用高效玻璃纤维增强塑料(F.R.P)叶轮取代现有的铝合金风机 | | 55.5 兆瓦时/年/风机 | 650/ 风机 | < 1 |
| 22 | 在加湿系统风机电机上加装变频器以控制流量 | | 18 -105 兆瓦时/年/风机 | 1900 -8660/ 风机 | 1 - 2 |
| 23 | 在加湿系统泵上加装变频器以控制流量 | | 35 兆瓦时/年/加濕設備 | 7100/加湿設備 | 2.7 |
| 24 | 加湿系统上加装节能控制系统 | | 50 兆瓦时/年/加濕設備 | 7300 ~ 12,200/加湿設備 | 2 - 3.5 |
| **5.1.5** | **纺纱工厂通用措施** | | | | |
| 25 | 机顶巡回清洁器(OHTC)采用节能措施 | | 5.3 - 5.8 兆瓦时/年/ 机顶巡回清洁器 | 180 -980/机顶巡回清洁器 | 0.5 - 2.5 |
| 26 | 机顶巡回清洁器用高效鼓风机 | | 2 兆瓦时/年/风机 | 100/风机 | < 1 |
| 27 | 改善工厂的功率因子 (减少无效功率) | | 24.1 兆瓦时/年/工厂 | 3300/工厂 | 1.8 |
| 28 | 用齿轮 V 型皮带取代一般 V 型皮带 | | 1.5 兆瓦时/年/皮带 | 12.2/皮带 | < 1 |

*本表中所列的节能、资本费用与回收期是针对参考报告中所列的明确条件，执行这些措施能带来额外(非能源)益处。请详阅报告中引述的每个措施，才能对节能量与资本费用有完整了解。
**没列投资回收期，但有节能量与资本费用者，投资回收期的计算是假设电力价格为 75 美元/兆瓦时（约合 0.075 美元/千瓦时）。

## 表 A-6　湿法工艺[20]在特定工艺采用节能工艺与措施所节约的燃料、电量与资金成本

| 项次 | 节能技術/措施 | 燃料节约 | 节电量 | 资金费用 (美元) | 回收期 (年) *** |
|---|---|---|---|---|---|
| 5.3 | 湿法工艺 | | | | |
| **5.3.1** | **准备工艺** | | | | |
| 31 | 将准备处理工作进行整合 | 达 80%准备处理的能耗 | | | |
| 32 | 冷轧卷堆预备处理 | 达 38%预备处理的能耗 | 达预备处理用電量的 50% | | |
| 33 | 漂白槽回收系统** | 省 38,500 - 118,400 美元 | 80000 -246,000 | 2.1 | |
| 34 | 用逆流洗涤 | 洗涤能耗的 41% - 62% | | | |
| 35 | 连续清洗机的钳口和槽加装盖子 | | | | |
| 36 | 连续清洗机加装自动阀 | | | | < 0.5 |
| 37 | 连续清洗机加装热回收设备 | 5 吉焦/吨布料 | | | |
| 38 | 降低连续清洗机直接蒸汽压 | | | | |
| 39 | 连续清洗机采用使用点热水器 | 达洗涤能耗的 50% | | | |
| 40 | 将纱线丝光机上排风罩的风机运转与水盘移动联锁 | | 12.3 兆瓦时/年/机器 | | < 0.5 |
| 41 | 将冷却鼓风机电机布气与烧毛机的主要电机联锁 | | 2.43 兆瓦时/年/机器 | | < 0.5 |
| 42 | 将剪毛机的鼓风机电机和主要电机联锁 | | 2.43 兆瓦时/年/机器 | | < 0.5 |

[20]本表摘 Hasanbeigi, A., 2010 年。纺织工业的能源效率改善机会,伯克利,加州:劳伦斯伯克利国家实验室 (即将出版)。

| 项次 | 节能技術/措施 | 燃料节约 | 节电量 | 资金费用 (美元) | 回收期 (年) *** |
|---|---|---|---|---|---|
| 43 | 酶催化消除法去除漂白后残留的双氧水 | 2,780 吉焦/年/工厂 | | | |
| 44 | 酶催化洗毛 | | | | |
| 45 | 洗毛厂使用除污/油脂回收一体化线圈 | 2 兆焦/公斤脂羊毛 | | 615,000 - 1,230,000/系统 | 2 - 4 |
| **5.3.2** | **染色与印花工艺** | | | | |
| 46 | 在毛条染色机的泵电机加装变频器 | | 26.9 兆瓦时/年/机器 | 3100 /机器 | 1.5 |
| 47 | 处于高温/高压的染色机进行热绝缘 | 210 - 280 吉焦/年/工厂 | | 9000 - 13,000 /工厂 | 3.8 - 4.9 |
| 48 | 染色厂自动准备与分配化学品 | | | 化学品分配: 150,000 - 890,000 ; 染料溶解及分布: 100,000 - 400,000; 粉粒溶解及分布 ::76,000 - 600,000 | 1.3 - 6.2 ; 4 - 5.7 ; 3.8 - 7.5 |
| 49 | 布印花厂自动准备染料** | | | 23,100 - 2,308,000/系统 | |
| 50 | 染色机自动调节器 | | | 57,000 - 150,000/系统 | 1 - 5 |
| 51 | 回收分卷染色机(喷气、经轴、包装、绞、卷染机和绳状染色机)的冷水 | 1.6 - 2.1 吉焦/吨布料 | | 143,000 - 212,000/系统 | 1.3 - 3.6 |
| 52 | 冷轧卷堆染色系统 | 16.3 吉焦/吨染布料 | | 1215000/系统 | 1.4 - 3.7 |
| 53 | 中断气流染色机的印染 | 达机器燃料用量的 60% | | 190500 - 362,000/机器 | |
| 54 | 在循环泵和色槽搅拌器安装变频器 | | 138 兆瓦时/年/工厂 | 2300/工厂 | < 1 |
| 55 | 重复使用染浴 | 省 4500 美元 / 染色机 | | 24,000 - 34,000/染色机 | |
| 56 | 优化绳状染色机的设备 | | 机器用电量的 | | |

| 项次 | 节能技術/措施 | 燃料节约 | 节电量 | 资金费用 (美元) | 回收期 (年) *** |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 30% | | |
| 57 | 优化喷射染色机的设备 | 1.8 - 2.4 公斤蒸汽/公斤布料 | 增加 0.07 - 0.12 千瓦時/公斤布料 | 221,000 机器 | 1.4 - 3.1 |
| 58 | 单绳流动染色机 | 2.5 公斤蒸汽/公斤布料 | 0.16 - 0.20 千瓦時/公斤布料 | | < 1 |
| 59 | 微波染色设备 | 比轴染色节能 96% | 比轴染色节能 90% | 450000/ 机器 | |
| 60 | 降低湿式分卷高压染色机的工艺温度 | | | | |
| 61 | 分卷染色机(绳状染色机、卷染机)的直接蒸汽加热，换成蒸汽盘加热 | 4580 吉焦/年/工厂 | | 165500/工厂 | |
| 62 | 降低湿式高压染色机的工艺时间 | | | | |
| 63 | 在常压湿式分卷机安装盖子或罩子 | | | | |
| 64 | 严格控制常压湿式分卷处的温度 | 27 - 91 公斤蒸汽/小时 | | | |
| 65 | 卷染机使用不同溶液流率 | 传统小滑车比,节能 26% | | | |
| 66 | 从高压釜的废热水回收热量 | 554 兆焦/批次产品 | | | |
| 67 | 高压釜表面做好隔热处理 | 15 兆焦/批次产品 | | | |
| 68 | 降低染色工艺再加工处理的必要 | 10% -12% | | | |
| 69 | 从高温洗涤水回收热量 | 1.4 - 7.5 吉焦/ 吨冲洗布料 | | 44,000 - 95,000 | < 0.5 |
| 70 | 重复使用洗涤与冲洗水 | | | | |
| 71 | 降低洗涤水的温度 | 10% | | 0 | |
| **5.3.3** | **干燥工艺** | | | | |
| | 提高滚筒干燥机的能效 | | | | |
| 72 | 采用机械预干燥 | | | | |
| 73 | 选择混合系统 | 25% - 40% | | | |
| 74 | 回收冷凝水与闪蒸汽 | | | | |
| 75 | 配电箱绝缘 | | | | |

| 项次 | 节能技術/措施 | 燃料节约 | 节电量 | 资金费用 (美元) | 回收期 (年) *** |
|---|---|---|---|---|---|
| 76 | 为低水附加特性选择流程 | | | | |
| 77 | 避免中間干燥 | | | | |
| 78 | 避免過度干燥 | | | | |
| 79 | 减少空转时间与同时烘干多个布料 | | | | |
| 80 | 在高蒸汽压下操作汽缸 | | | | |
| 81 | 维护烘干机 | | | | |
| 82 | 使用调频烘干机烘干腈纶纱 | 省 45,000 美元 /工厂 | | 200000/工厂 | |
| 83 | 用低压微波干燥机烘干取代干蒸汽加热器来干燥梭蕊 | | 107 千瓦时/吨纱线 | 500000/工厂 | < 3 |
| 84 | 染色后用高频减压烘干机烘干梭蕊 | | 200 千瓦时/吨产品 | 500000/机器 | |
| 5.3.4 | **后整理工艺** | | | | |
| | 提高拉幅机的能效 | | | | |
| 85 | 将拉幅机和烘干机的热流加热系统换成直接燃气燃烧系统 | 11000 吉焦/年/工厂 | 120 兆瓦时/年/工厂 | 50000/工厂 | 1 |
| 86 | 用拉幅机前，先用机械脱水或接触干燥 | 拉福机能耗的 13% - 50% | | | |
| 87 | 避免过度干燥 | | | | |
| 88 | 空转时关闭废气流 | | | | |
| 89 | 调高干燥温度 | | | | |
| 90 | 关闭并密封侧面板 | | | | |
| 91 | 正确绝缘 | 拉福机能耗的 20% | | | |
| 92 | 优化排气湿度 | 拉福机能耗的 20 - 80% | | | |
| 93 | 安装热回收设备 | 拉福机能耗的 30% of | | 77,000 - 460,000/系统 | 1.5-6.6 |
| 94 | 直接燃气系统用高效火口技术 | | | | |
| 95 | 拉幅机加装传感器和控制系统 | 拉福机燃料用料的 22% | 拉福机用电量的 11% | 湿度控制器: 20,000 – 220,000 ; | 湿度控制器: 1.5 - 5 ; |

| 项次 | 节能技術/措施 | 燃料节约 | 节电量 | 资金费用 (美元) | 回收期 (年) *** |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 停留时间控制: 80,000 – 400,000 | 停留时间控制: 4 - 6.7 |
| **5.3.5** | **湿法工艺的通用节能措施** | | | | |
| 96 | 退浆、染色与后整理用自动蒸汽控制阀 | 3250 吉焦/年/工厂 | | 5100/工厂 | |
| 97 | 自湿法工艺工廠回收冷凝水 | 1.3 - 2 吉焦/吨布料 | | 1000 - 16,000 | 1 - 6 |
| 98 | 将空气压缩机回收的热量用于燥织尼龙网 | 7560 吉焦/年/工厂 | | 8500/年/工厂 | |
| 99 | 利用热交换器回收湿法工艺排放的废水 | 1.1 – 1.4 吉焦/吨成品布 | | 328820 /系统 | |

*本表中所列的节能、资本费用与回收期是针对参考报告中所列的明确条件，执行这些措施能带来额外(非能源)益处。请详阅报告中引述的每个措施，才能对节能与资本费用有完整了解。
**此措施所節約的是淨年度運作節約(每工廠平均），包括能源和非能源方面的節約。

***没列投资回收期，但有节能量与资本费用者，投资回收期的计算是假设电力价格为 75 美元/兆瓦时（约合 0.075 美元/千瓦时）。

## 表 A-7 人造纤维制造[21]在特定工艺采用节能工艺与措施所节约的燃料、电量与资金成本

| 项次 | 节能技術/措施 | 燃料节约 | 节电量 | 资本费用(美元) | 回收期(年)** |
|---|---|---|---|---|---|
| **5.4** | **人造纤维生产** | | | | |
| 100 | 生产粘胶长丝时，在后处理干燥机的热空气风机上安装变频驱动器(VFD) | | 105 兆瓦时/年/干燥机 | 11,000/干燥机 | 1.3 |
| 101 | 用轻量碳强化的纺纱罐，替代钢强化的纺纱罐 | | 9.6 兆瓦时/纺纱机/年 | 680/机器 | < 1 |
| 102 | 在人造纤维纺纱厂的加湿系统的清新空气风机上，安装变频驱动器 | | 32.8 兆瓦时/风机/年 | 5600/风机 | 2.3 |
| 103 | 在溶解器的电机上安装变频驱动器 | | 49.5 兆瓦时/搅拌器/年 | 9500/搅拌器 | 2.6 |
| 104 | 后处理工序的洗涤泵安装附有变频驱动器的压力控制系统 | | 40.4 兆瓦时/泵/年 | 930/泵 | < 1 |
| 105 | 纺纱机的纺丝罐间安装铅隔板 | | 7 兆瓦时/机器/年 | | < 0.5 |
| 106 | 用节能的真空高压蒸汽喷射器替代真空低压蒸汽喷射器，进行黏胶液脱泡 | 3800 吉焦/年/工厂 | | 29000/工厂 | |
| 107 | 生产粘胶长丝时,干燥机使用换热器 | 1 吉焦/干燥机运转时数 | | 66700/系统 | |
| 108 | 优化倍捻机的气球设定 | | 205 兆瓦时/年/工厂 | | |
| 109 | 溶液纺丝高速纱线制造设备(聚氨酯聚合物除外的长丝) | | 500 兆瓦时/机器(16 纺锤)/年 | 200000/机器 | 5.3 |
| 110 | 用高速多线程线纱制造设备生产尼龙和聚酯长丝 | | 55% | 320000/机器 | |
| 111 | 安装假天花以减少人造纤维生产纺纱厅的高度 | | 788 兆瓦时/年/工厂 | 190000/工厂 | 3.2 |
| 112 | 提高假捻变形机的电机效率 | | 73 兆瓦时/年/工厂 | 80,000/机器 | 14.6 |

[21]本表摘 Hasanbeigi, A., 2010 年。纺织工业的能源效率改善机会,伯克利,加州:劳伦斯伯克利国家实验室 (即将出版)。

*****本表中所列的节能、资本费用与回收期是针对参考报告中所列的明确条件，执行这些措施能带来额外(非能源)益处。请详阅报告中引述的每个措施，才能对节能量与资本费用有完整了解。
**没列投资回收期，但有节能量与资本费用者，投资回收期的计算是假设电力价格为 75 美元/兆瓦时（约合 0.075 美元/千瓦时）。

### A.3.4. 石化工业

### 表 A-8 石化工业[22]在特定工艺上的节能技术与措施

| 工艺特别措施 (第 16 章 ) | |
|---|---|
| **工艺** | **措施** |
| 乙烯 | 多準備选择性炉线圈 |
| | 改进在线换热器 |
| | 二次 在线换热器 |
| | 提高裂开火炉效率 |
| | 与先整合气体涡轮至裂解炉 |
| | 汽油分馏塔底部的温度较高 |
| | 改进热回收水淬火 |
| | 减少压缩机级间压降 |
| | 脱乙烷塔上另装扩展器 |
| | 额外的重沸锅炉(冷回收) |
| | 扩展换热器表面 |
| | 优化蒸汽和电力平衡 |
| | 改进压缩机 |
| 芳香剂 | 改进产品回收系统 |
| 聚合物 | 低压蒸汽回收 |
| | 齿轮泵取代挤出机 |
| | 在线复式混炼机 |
| | 再利用溶剂、油和催化剂 |
| 氧化乙烯/乙二醇 | 增加選擇性催化劑 |
| | 优化环氧乙烷/乙二醇节 |
| | 多效蒸发器(乙二醇) |
| | 回收与出售二氧化碳副产品 |
| | 工艺整合 |
| 二氯乙烷/氯乙烯单体 | 优化回收循环 |
| | 气体阶段直接氯化乙烯 |
| | 优化环氧乙烷/乙二醇节 |
| 苯乙烯 | 回收冷凝水与整合工艺 |
| 甲苯二异氰酸酯 | 回收放热 |
| | 回热式焚化炉 |

[22] 本表摘自 Neelis, M., Worrell, E., and Masanet, E., 2008 年。石化工业的能源效率改善与节约成本的机会。能源与工厂管理人的能源之星指南。伯克利,加州:劳伦斯伯克利国家实验室。http://china.lbl.gov/energy .efficiency.guidebooks

### A.3.5. 玻璃工业

### 表 A-9 玻璃工业[23]在特定工艺上的节能技术与措施

| 配料准备 (第 5.7 节) | |
|---|---|
| 磨碎—新技术 | 节能电机 |
| 混合 | 可调节/变速驱动器 |
| 助熔剂 | 高效能皮带 |
| 减少批料润湿程度 | 输送带系统 |
| 选择性配料 | 碎玻璃分离与磨碎系统 |
| 优化输送带 | 碎玻璃准备 |
| 电机尺寸调整 | |
| **熔化工作—现有炉火的改变 (第 5.8.1 节)** | |
| 工艺控制系统 | 耐火料/隔热 |
| 减少过量空气/减少漏气 | 燃烧器正确定位 |
| 预混燃烧器 | 密封燃烧器 |
| 燃烧风机装变速驱动器 | 低氮氧化物燃烧器 |
| 废气锅炉 | 换热式然施烧器 |
| 起泡器 | 垂直燃煤炉 |
| **熔化工作—氧气燃料炉 (第 5.8.3 节)** | |
| 合成空气 | 氧气燃料炉的热回收 |
| 富氧空气分级 | 高亮度燃烧器(氧气燃料) |
| 氧气燃料炉 | 高冠顶炉(氧气燃料) |
| **熔化工作—碎玻璃使用与预热 (第 5.8.4 节)** | |
| 使用更多岁玻璃或滤器灰尘 | 配料与碎玻璃预热 |
| **熔化工作—电炉 (第 5.8.5 节)** | |
| 顶部加热 | 改用燃料炉 |
| 优化电极置放 | |
| **供料道和成形 (第 5.9 节)** | |
| 工艺控制 | 氧气燃料供料道 |
| 高能效供料道 | 提高隔热 |
| **退火与后整理 (第 5.10 节)** | |
| 控制 | 隔热 |
| 优化厂房布局 | 产品干燥系统升级 |
| 减少漏气 | 玻璃涂料 |
| **新兴技术 (第 5.11 节)** | |
| 振荡燃烧 | 先进玻璃熔炉 |
| 分段熔炉 | 空气底部循环 |
| 等离子炉 | 玻璃纤维回收 |
| 高速热对流 | 用废玻璃切割 |
| 改造工艺以缩短在槽里的时间 | 其他新兴技术 |
| 浸没燃烧融化 | |

[23]本表摘自 Worrell, E., Galitsky, C., Masanet, E., and Graus, W., 2008 年。玻璃工业的能源效率改善与节约成本的机会。能源与工厂管理人的能源之星指南。伯克利,加州:劳伦斯伯克利国家实验室。http://china.lbl.gov/energy.efficiency.guidebooks

### A.3.6. 汽车装配工业

**表 A-10 汽车装配工业[24]在特定工艺上的节能技术与措施**

| 涂漆系统 | |
|---|---|
| 维护与控制 | 湿对湿油漆 |
| 将稳定期缩至最短 | 新漆—粉末 |
| 减少油漆车间的气流 | 新漆—粉末涂层浆料 |
| 隔热 | 新漆—其他 |
| 热回收 | 超滤/废水清 理反渗透 |
| 有效通风系统 | 碳滤器与其他挥发性有机碳去除器 |
| 烘箱类型 | 高压水射流系统 |
| 红外线涂料固化 | |
| 紫外光涂料固化 | |
| 微波加热 | |
| **车体焊接** | **冲压** |
| 计算机控制 | 变压控制 |
| 高效焊接/变频技术 | 空气驱动器 |
| 多焊接机组 | |
| 调频直流焊机 | |
| 液压成形 | |
| 电动机器人 | |

[24]本表摘自 Galitsky, C., and Worrell，E., 2008 年。汽車裝配工业的能源效率改善与节约成本的机会。能源与工厂管理人的能源之星指南。伯克利加州:劳伦斯伯克利国家实验室。http://china.lbl.gov/energy.efficiency.guidebooks

### A.3.7. 果蔬加工业

### 表 A-11 果蔬加工业[25]在特定工艺上的节能技术与措施

| 特定工艺的节能措施 (第 13 章) | |
|---|---|
| **漂白** | |
| 蒸汽漂白器升级 | 从漂白器水或冷凝水回收热能 |
| 加热与维持技巧 | 蒸汽再循环 |
| **干燥与脱水** | |
| 维护 | 废气热回收 |
| 隔热 | 使用干空气 |
| 机械脱水 | 产品进行热回收 |
| 直燃式干燥机 | 工艺控制 |
| **蒸发** | |
| 维护 | 机械蒸汽再压缩 |
| 多效果蒸发器 | 采用膜过滤进行浓缩 |
| 热力蒸汽再压缩 | 冷冻浓缩 |
| **油炸** | |
| 油炸机废气的热回收 | 吸附冷却的热回收 |
| 废气燃烧的热回收 | 用油炸油作为燃料 |
| **杀菌与消毒** | |
| 消毒柜绝缘 | 螺旋换热器 |
| 体积小的浸渍管换热器 | 液体加热感应 |
| **剥皮** | |
| 排出蒸汽的热回收 | 干燥腐蚀剥皮 |
| 多级磨料剥离 | |

### 表 A-12 果蔬加工业在特定工艺上的节能技术与措施

| 新兴节能技术(第 14 章) | |
|---|---|
| 热泵干燥 | 二氧化碳当冷却剂用 |
| 电阻加热 | 空调系统用地热热泵 |
| 有设定条件的电机监控 | 脉冲电场杀菌 |
| 红外线干燥 | 先进回转式锅炉 |
| 脉冲液床式烘干器 | 磁场耦合调速驱动器 |

[25]本表摘自 Masanet, E., Worrell, E.,Graus, W., and Galitsky, C. 2008 年。果蔬加工业的能源效率改善与节约成本的机会。能源与工厂管理人的能源之星指南。伯克利,加州:劳伦斯伯克利国家实验室。http://china.lbl.gov/energy.efficiency.guidebooks