

节能技术改造财政奖励项目 节能量计算方法及案例

北京鉴衡认证中心

中节能咨询有限公司

方圆标志认证集团产品认证有限公司

中国质量认证中心

国宏美亚（北京）工业节能减排技术促进中心

2013年1月

目录

I 工业锅炉（窑炉）节能技改项目案例.....	1
1.1 技术构成.....	1
1.2 审核要点.....	2
1.3 确定方法.....	3
1.4 常见问题分析.....	9
1.5 单位产品能耗指标参考.....	9
II 余热、余压利用项目案例.....	15
2.1 技术构成.....	15
2.2 审核要点.....	20
2.3 确定方法.....	21
III 电机系统节能项目案例.....	28
3.1 技术构成.....	28
3.2 审核要点.....	30
3.3 确定方法.....	30
3.4 节能量经验值.....	39
IV 能量系统优化及绿色照明项目案例.....	40
4.1 技术构成.....	40
4.2 审核要点.....	40
4.3 确定方法.....	40
4.4 常见问题分析.....	50
4.5 节能量经验值.....	50

I 工业锅炉（窑炉）节能技改项目案例

1.1 技术构成

1.1.1 锅炉的节能技改途径

1、控制运行参数节能

采用先进的控制手段、改进燃烧空气系数、减少过剩空气量等技术对锅炉进行系统优化，提高燃烧效率，从而达到节能的目的；

2、系统改造节能

针对现有锅炉系统主辅机不匹配、自动化程度和系统效率低等问题，集成现有先进技术，提高锅炉系统整体运行效率；

3、更新、替代低效锅炉节能

采用新型高效锅炉及热力系统，淘汰结构落后、效率低、热损失大、环境污染重的低效锅炉，提高锅炉热效率，节省能源；

4、其他方式节能

1.1.2 窑炉的节能技改途径

工业窑炉的类型繁多、用途多样，因此，工业窑炉的节能技术改造途径很多。目前工业窑炉的节能技术改造途径主要包括燃烧系统改造、窑炉结构改造、窑炉保温改造、控制系统节能改造以及烟气余热回收利用改造等。

1、燃烧系统改造

对于燃油和燃气窑炉，燃烧系统改造主要是采用新型燃烧器取代老式燃烧器。例如，采用平焰、双火焰、高速、可调焰等新型烧嘴等，有条件时可利用回收烟气的余热来预热助燃空气，采用机械化加煤减少冷空气漏入，煤粉燃烧对燃煤窑炉进行改造等。

2、窑炉结构改造

工业窑炉的种类繁多，其结构也因行业、工艺的不同而异。通过工业窑炉的结构改造，可以有效改善燃烧状况、缩小散热面积、增大窑炉的有效容积，从而达到减少能源消耗和提高产品质量和产能的目的。

3、窑炉保温改造

工业窑炉的保温状况与其能源消耗直接相关，特别是对于运行温度在数百甚至上千摄氏度以上的窑炉尤为重要。例如，可将炉顶改造为由耐火砖或轻质耐火砖加耐火纤维和保温材料构成的复合结构；采用复合浇注料吊挂炉顶，减少炉顶散热等。以玻璃熔窑为例，由于玻璃熔窑的散热面积大、外表面温度高，其散热量约为总热量的 20%~30%，尤其在用重油作燃料和使用电熔耐火材料后，散热损失更大。加强窑体保温后，燃料可节省 15%~20%，火焰温度可提高 20~30℃。

4、窑炉烟气余热利用改造

窑炉烟气余热的回收利用改造的途径很多，如采用合适的烟道换热器和余热锅炉等回收烟气的余热，根据烟气余热的不同温度水平，可利用烟气预热助燃空气或利用余热发电等，既可有效降低排烟温度，也可收到良好的节能效果。

5、窑炉密封改造

窑炉密封改造的目的是提高其密封性以减少冷空气的渗入和热空气的泄漏所造成的热损失。例如可以尽可能减少开孔与炉门数量，采用浇注料炉衬结构外加炉墙钢板等。

6、控制系统改造

控制系统改造主要是将采用手动控制或半自动控制系统改造成自动控制系统或对已有自动控制系统进行升级改造和优化，按产品工艺要求，对窑炉的运行过程进行自动控制，使窑炉在良好的工况下运行，可以取得良好的节能效果。

1.2 审核要点

1、分散供热改为集中供热及“以大代小”项目要注意核实原小锅炉的台数、容量、供暖面积以及小锅炉的年耗煤量等；

2、项目产能在改造后发生变化，则在计算过程中按照原产能情况进行计算。可以通过技术文件、购买设备合同及现场核查改造前后锅炉的容量之和，对于工业项目核实用热单元的产品产能变化情况，对于供热项目，核实供暖面积的变化情况；

3、对于以管网、换热站等基础设施为主的集中供热系统的节能改造项目，要注意核实原管网的长度、保温材料、运行时间等数据（通过查阅原设计图纸、说明书等文件核实）；

4、核实项目改造的边界，通过现场核查情况核对申报材料的符合度；

5、审核基准年的选择。按照规定，基准年是指项目实施前一年，如果前一年产量不能正确反映该产品的正常产量，则可采用前三年的算术平均值；

6、选用折标准煤系数。国家标准规定，除电力按国家公布的折标准煤系数外，其余折标准煤系数应以实际购入能源的化验数据为依据折算标准煤量；尤其原煤的折标煤系数各企业差别很大，往往按国家推荐的折标煤系数计算会产生较大误差，现场审核要特别注意；

7、企业申报节能量时，基本上均采用可研报告的计算数据，而实际效果与计算数据存在差异，现场审核尤其需要注意核实。如有的供热量按最大热负荷计算，实际年供热量应按平均负荷计算，前者将比后者的年供热量无根据地高 30% 左右，年节能量就人为地产生较大误差。

1.3 确定方法

1.3.1 初审项目节能量计算

（一）按照锅炉效率及耗电量计算节能量

1、节能量计算公式

在对外供热量不变的条件下采用下式计算节能量

$$\Delta E = n \times \Delta E_n = n \times \left[\left(1 - \frac{\eta_0}{\eta_1} \right) \times E_0 + (\varepsilon_0 - \varepsilon_1) \times b_{gd} \times 10^{-3} \right]$$

其中： ΔE -锅炉改造的总节能量，tce

ΔEn -单台锅炉改造的节能量， tce

n -改造锅炉数量

η_0 -改造前单台锅炉平均热效率， %

η_1 -改造后单台锅炉平均热效率， %

ε_0 -改造前锅炉房用电量， kwh

ε_1 -改造后锅炉房用电量， kwh

b_{gd} -全国火电平均供电标煤耗， 取值0.335kgce/kwh（2011年）

E_0 -改造前单台锅炉年耗标煤量， tce

2、计算说明

上述节能量计算，系由两部分组成，前部分是通过锅炉改造后热效率的提高得到的节能量，后部分是通过改造锅炉或供热供电等系统的改造节电而得到的节能量。

节能量的计算主要考虑如下内容：

（1）审核锅炉改造前后热效率测试数据的真实性，检测单位的合法性，检测条件是否符合规范要求等，最后确定改造前后的锅炉热效率的可信性；

（2）查阅企业改造前的能源消耗统计报表、台帐、原始记录以及煤质分析报告等资料，核实改造前锅炉年耗能量及耗电量等数据。

3、基期数据核实

特别对于“以大代小”项目，原小锅炉已经拆除，对于原能源消耗量无法准确核实的情况下，可以通过理论计算核实企业改造前的能源消耗量是否在合理范围之内，理论计算方法可参考以下公式进行：

年能源消耗量理论计算值： $E = b_{gr} \times Q_y \times 10^{-3}$ ，

其中： E -年锅炉能源消耗量， tce

b_{gr} -单位供热标煤耗率， kgce/GJ

Q_y -采暖期年供热量, GJ

根据各地区的不同设计热指标, 按实际供热面积估算企业的年供热量。

(1) 采暖期年供热量

$$Q_y = Q_{AV} \times T = Q_{di} \times \frac{t_B - t_{AV}}{t_B - t_{ou}} \times T = \sum_i^n q \times F \times \frac{t_B - t_{AV}}{t_B - t_{ou}} \times T$$

其中, Q_{AV} -采暖期的平均供热负荷, GJ/a

T -当地的年采暖小时数

Q_{di} -设计供热负荷, w

t_B -室内设计温度, °C;

t_{AV} -采暖期室外平均温度, °C

t_{ou} -采暖期室外计算温度, °C

q -不同建筑物的设计热指标, w/m²

F -不同建筑的建筑面积, m²

(2) 单位供热标煤耗率

$$b_{gr} = \frac{34.12}{\eta_{gl} \times \eta_{gd}} + b_{gd} \times \varepsilon$$

其中, η_{gl} -锅炉热效率, %

η_{gd} -管道热效率, 取值 98%

ε -单位供热用电量, 目前可按 5.73-7.5kwh/GJ 的范围计算

b_{gd} -全国火电平均供电标煤耗, 取值 0.335kgce/kwh (2011 年)

(二) 利用吨热水/蒸汽单耗计算锅炉节能量

1、节能量计算公式

$$\Delta E = \left(\frac{E_0}{G_0} - \frac{E_1}{G_1} \right) \times G_0$$

其中： ΔE -改造锅炉的总节能量，tce

E_0 -改造前锅炉年耗煤量，tce

E_1 -改造后锅炉年耗煤量，tce

G_0 -改造前所有锅炉年热水/蒸汽产量，t

G_1 -改造后所有锅炉年热水/蒸汽产量，t

2、计算说明

当锅炉改造前后的效率难以得知或者锅炉掺烧其他废弃物，则根据企业提供的能源计量数据，利用吨热水/蒸汽单耗来计算节能量。

通过查阅锅炉的能源消耗统计报表、台帐和原始记录表，核实改造前后锅炉年耗能量和产生的热水/蒸汽量，并将能耗量都折算成标煤。若改造后热水/蒸汽品质发生明显变化，则通过查阅利用水及蒸汽焓熵表，查出改造前后热水/蒸汽各自的焓值，通过焓值的比例，将改造后的实际热水/蒸汽量折算为与改造前相同品质的热水/蒸汽量。

3、基期数据核实

如果企业的热水/蒸汽计量存在较大误差，对于企业实际的供热量无法准确核实的情况下，可以通过理论计算核实企业改造前的热水/蒸汽供应量是否在合理范围之内。对于供热企业，理论计算方法可参考上述方法进行；对于工业用热水/蒸汽，可以参考企业产品的单位产品耗汽量指标进行核实。

(三) 利用供电煤耗和供热煤耗计算节能量

1、节能量计算公式

$$\Delta E = E_0 - E_1 = (E_{c0} + E_{d0}) - (E_{c1} + E_{d1})$$

$$E_c = Q_c / (\eta_{Cr} \times Q_{dw})$$

$$E_d = W \times 3600 / (\eta_{td} \times Q_{dw})$$

其中： ΔE -改造锅炉的总节能量，tce

η_{cr} -年平均供热效率，%

η_{td} -年平均机组综合供电效率，%

E_c -年供热耗标煤量，t/a

E_d -年发电耗标煤量，t/a

Q_{dw} -标煤低位热值，kJ/kg

W -年供电量， 10^4 kWh/a

Q_c -年供热量，GJ/a

E -年耗标煤量，t/a

2、计算说明

热电联产项目进行节能技术改造时，则根据企业提供的计量数据，采用供电煤耗和供热煤耗计算节能量。通过查阅改造前锅炉的能源消耗统计报表、台帐和原始记录表，确定热电联产项目的年均供热效率以及年平均机组综合供电效率，确定企业的热电比是否在合理范围之内，通过预计改造后的年供热、发电标煤量计算企业的节能量。

3、基期数据核实

如果企业的蒸汽计量存在较大误差，对于企业实际的供热量无法准确核实的情况下，可以通过理论计算核实企业改造前的蒸汽供应量是否在合理范围之内。对于供热企业，理论计算方法可参考上述方法进行；对于工业用热水/蒸汽，可以参考企业产品的单位产品耗汽量指标进行核实。

(四) 利用产品单耗计算窑炉节能量

1、节能量计算公式

$$\Delta E = (E_{u0} - E_{u1}) \times M_0 = (E_0/M_0 - E_1/M_1) \times M_0$$

其中： ΔE -节能量，单位为tce

E_{u0} -改造前单位产品能耗， tce/t

E_0 -改造前年耗标煤量， tce

E_1 -改造后年耗标煤量， tce

E_{u1} -改造后单位产品能耗， tce/t

M_0 -改造前产品折为标准产品产量， t

M_1 -改造后产品折为标准产品产量， t

2、计算说明

对于窑炉的改造，可利用产品单耗来计算节能量。通过查阅项目实施前一年企业能源消耗统计报表和生产统计报表，核实改造前耗能量和产品年产量，计算改造前单位产品能耗；根据企业上报的可研报告或设计数据，预计项目改造完成后的产品产量以及能源消耗量，计算出理论的单位产品能耗情况，通过改造前后的单位产品能耗得出节能量。

3、基期数据核实

对于改造前的能源消耗量，可以通过理论计算核实企业改造前的能源消耗量是否在合理范围之内。理论计算可以通过对标的方式进行，即通过与目前国内相应水平的工业窑炉能耗水平进行对比，核实企业所上报的能耗消耗量是否在理论计算范围之内，从而保证基期能耗量不出现较大偏差。

1.3.2 终审项目节能量计算

（一）计算原则

终审项目的节能量计算方法与初审项目相同。终审项目的节能量审核是在企业的节能技术改造完成后实施的节能量计算，节能量的计算原则是必须按照企业改造前后的实际能源消耗量进行计算，不能采用预计节能量的计算方法进行。

（二）计算方法

终审项目的节能量计算方法与初审项目相同，只是改造后的能源消耗量的取

值为实际的能源消耗数据。

通过查阅企业的能源消耗统计报表、台帐、原始记录以及煤质分析报告等资料，核实改造前后锅炉年耗能量；通过查阅企业的生产经营报表、生产运行记录以及产品销售记录等资料，核实企业改造前后的产品产量。

1.4 常见问题分析

1.4.1 被替代采暖小锅炉的实际热效率

有比较完整的燃煤量、供热量以及供热面积等的计量统计数据，可通过核算确定被替代采暖小锅炉的实际热效率，无上述数据时，可按实际积累的经验数据估算，一般热效率（实际）可在 50%-55% 的范围内取值。

(1) 当小锅炉群中，单台最大容量 $\leq 4.2\text{MW}$ 时，取下限 $i_{gl}=50\%$ ；

(2) 当小锅炉群中，单台最大容量 $\leq 7\text{MW}$ 时，取中值 $i_{gl}=52\%-53\%$ ；

(3) 当小锅炉群中，单台最大容量 $> 7\text{MW}$ 时，且占吨位比例较高时，应取上限。

1.4.2 单位面积耗热指标

应考虑建筑是否是节能建筑或非节能建筑以及公共建筑在总供热面积中所占比例等因素，根据目前经验，初步认为公建面积 $\leq 20\%$ 时，可取计算耗热指标 $60-63\text{w/m}^2$ ；公建面积占 40% 左右时，可取计算耗热指标 65w/m^2 ；普通建筑的计算耗热指标最高取 70w/m^2 。（说明：计算耗热指标中包括外网热损失，按计算耗热指标计算出的热负荷，为采暖期中的最大用热量，仅在最冷天时短时出现）。

供热系统改造为 100 万平米节能量为 1 万 tce 左右，最多不超过 70 万平米 1 万 tce。老旧设备节能改造节能量为基准总能耗的 0~30%

1.5 单位产品能耗指标参考

根据标准的要求，企业单位产品的能耗应不高于单位产品能耗限额的限定

值，具体各种情况如下（由于窑炉种类庞杂，目前只针对常见的玻璃及烧结砖窑炉的能耗限额给出参考指标，其他类型窑炉可根据下一步工作逐步展开）。

（一）发电机组能耗限额

1、现有机组能耗限额

根据标准的要求，企业现有机组单位产品的供电煤耗应不高于单位产品能耗限额的限定值。具体的单位产品能耗限额限定值如下表所示：

现有发电机组的能耗限额限定值

压力参数	容量级别	供电煤耗	备注
	MW	gce/kWh	
超临界	600	≤320	
亚临界	600	≤330	
	300	≤340	
超高压	200,125	≤375	服役期满关停
高压	100	≤395	运行满 20 年关停

注：1、表中未列出的机组容量级别，可按低一档标准考核
2、对于特定类别（早期国产和原苏联东欧设备）机组、坑口电站机组，可按低一档标准考核

目前国内现有发电机组单位产品能耗限额先进值可参考下表：

现有发电机组的能耗限额先进值

压力参数	容量级别	供电煤耗
	MW	gce/kWh
超临界	600	≤300
亚临界	600	≤319
	300	≤327
超高压	200,125	≤355

注：表中未列出的机组容量级别，可按低一档标准考核

2、新建机组能耗限额

国内新建机组单位产品供电煤耗的能耗限额准入值可参考以下数据：

新建机组单位产品供电煤耗的能耗限额准入值

类别	供电煤耗	备注
	gce/kWh	
一般地区	300	
坑口电站	309	

注：一般地区新建机组发电煤耗为 286gce/kWh，坑口电站发电煤耗为 295gce/kWh

(二) 供热锅炉能耗限额

国内供热锅炉综合能耗限额可参考以下标准：

供热综合能耗限额

分类		年限		
		2008	2010	2012
热电联产		44kgce/GJ	43kgce/GJ	42kgce/GJ
区域供热锅炉	热水锅炉	54.5kgce/GJ	53.5kgce/GJ	53kgce/GJ
	蒸汽锅炉	56.5kgce/GJ	55.5kgce/GJ	55kgce/GJ

注：统计期内脱硫效率大于 90%的燃煤热电厂限额可以乘以 1.02 的系数

(三) 玻璃窑炉能耗限额

各种玻璃熔制的能耗限额指导指标参考以下值：

1、日用玻璃类：

1)、瓶罐玻璃类：

a、高白料：(Fe₂O₃ 含量≤0.05~0.06%)

(1) 燃油玻璃窑炉(含燃天然气炉)：每 kg 玻璃液能耗≤7.3MJ (约为 1750kcal，或 0.25kg 标准煤)

(2) 燃发生炉煤气的玻璃窑炉：每 kg 玻璃液能耗 \cong 9.1MJ (约为 2170kcal, 或 0.31kg 标准煤)

b、普白料：

(1) 燃油炉(含燃天燃气炉)：每 kg 玻璃液能耗 \cong 5.9MJ (约为 1400kcal, 或 0.20kg 标准煤)

(2) 燃发生炉煤气的玻璃窑炉：每 kg 玻璃液能耗 \cong 7.6MJ (约为 1820kcal, 或 0.26kg 标准煤)

c、颜色料 (棕色、翠绿色)：

(1) 燃油炉(含燃天燃气炉)：每 kg 玻璃液能耗 \cong 5.3MJ (约为 1260kcal, 或 0.18kg 标准煤)

(2) 燃发生炉煤气的玻璃窑炉：每 kg 玻璃液能耗 \cong 7.3MJ (约为 1750kcal, 或 0.25kg 标准煤)

d、其它普通钠钙料：每 kg 玻璃液能耗 \cong 8.2MJ (约为 1960kcal, 或 0.28kg 标准煤)

2)、器皿玻璃类：

a、机吹制器皿类：每 kg 玻璃液能耗 \cong 9.4MJ (约为 2240kcal, 或 0.32kg 标准煤)

b、机压制器皿类：每 kg 玻璃液能耗 \cong 8.2MJ (约为 1960kcal, 或 0.28kg 标准煤)

3)、保温瓶、电光源玻璃类：

a、常规保温瓶类 (5 磅、8 磅瓶)：每 kg 玻璃液能耗 \cong 10.3MJ (约为 2450kcal, 或 0.35kg 标准煤)

b、异形保温瓶类：每 kg 玻璃液能耗 \cong 10.8MJ (约为 2590kcal, 或 0.37kg 标准煤)

c、电光源玻璃类：每 kg 玻璃液能耗 \cong 11.1MJ (约为 2660kcal, 或 0.38kg 标准煤)

2、仪器玻璃类：

1)、高硼硅玻璃(高耐热玻璃)：

a、10T / d 以上全电熔池炉：每 kg 玻璃液能耗 \cong 4.7MJ (约为 1.3kwh / kg

公斤玻璃液)

b、10T / d 以下全电熔池炉：每 kg 玻璃液能耗 $\leq 5.6\text{MJ}$ (约为 1.5kwh / kg 公斤玻璃液)

2)、中性硼硅仪器玻璃(一般仪器)火焰炉：每 kg 玻璃液能耗 $\leq 13.2\text{MJ}$ (约为 3150kcal, 或 0.45kg 标准煤)

单耗指标 $\leq 450\text{kg}$ 标准煤 / T 玻璃液

3、平板玻璃类：

1)500吨级以上玻璃窑炉：每 kg 玻璃液能耗 $\leq 7.3\text{MJ}$ (约为 1750kcal, 或 0.25kg 标准煤)

2)500吨级以下玻璃窑炉：每 kg 玻璃液能耗 $\leq 7.9\text{MJ}$ (约为 1890kcal, 或 0.27kg 标准煤)

4、药用玻璃类：

1)中性硼硅安瓶玻璃：每 kg 玻璃液能耗 $\leq 13.2\text{MJ}$ (约为 3150kcal, 或 0.45kg 标准煤)

2)其它玻璃：每 kg 玻璃液能耗 $\leq 10.3\text{MJ}$ (约为 2450kcal, 或 0.25kg 标准煤)

5、中碱玻璃球类：

每 kg 玻璃液能耗 $\leq 8.8\text{MJ}$ (约为 2100kcal, 或 0.30kg 标准煤)

(四) 烧结砖窑炉能耗限额

烧结砖生产企业的单位产品综合能耗限额可参考下表参数：

现有烧结砖企业单位产品综合能耗限额

分类	综合能耗 (kgce/万块标砖)
自然干燥, 轮窑烧成	≤ 220
人工干燥, 轮窑烧成	≤ 400
人工干燥, 隧道窑烧成	≤ 450
大中型断面隧道窑一次码烧	≤ 470

新建、改建烧结砖生产企业(限新型墙体材料产品)单位能耗限额准入值可参考下表参数：

新建、改建烧结砖企业单位产品综合能耗限额准入值

分类	综合能耗 (kgce/万块标砖)
----	------------------

大中型断面隧道窑一次码烧	≤ 417
大中型断面隧道窑二次码烧	≤ 417
人工干燥，轮窑烧成（限改建）	≤ 382

II 余热、余压利用项目案例

2.1 技术构成

余热余压利用主要是从生产工艺上来提高能源利用效率,通过改进工艺结构和增加节能装置以最大幅度的利用生产过程中产生的势能和余热。目前,钢铁、煤炭、建材、化工、纺织、冶金等行业的余热余压以及其他余能仍未得到充分利用,主要原因在于利用余热余压的装置一次性投资过高和投资回报率较低。随着能源价格的节节升高,余热余压利用的投资回报逐渐被人们认可,余热余压利用对企业节能减排工作也日趋重要。

2.1.1 余热资源的分类

余热资源按来源不同可划分为六类:

(1) 高温烟气的余热。这种余热数量大,分布广,高温烟气余热分布在冶金、化工、建材、机械、电力等行业,如各种冶炼炉、加热炉、石油化工装置、燃气轮机、内燃机和锅炉的排汽排烟,某些工业窑炉的高温烟气余热甚至高达炉窑本身燃料消耗量的30%~60%。他们的温度高,数量多,回收容易,约占余热资源总量的50%。

(2) 高温产品和炉渣的余热。工业上许多生产要经过高温加热过程,如金属的冶炼、熔化和加工,煤的汽化和炼焦,石油炼制,以及烧制水泥、砖瓦、陶瓷、耐火材料和熔化玻璃等,他们最后出来的产品及其炉渣废料都具有很高的温度,达几百至1000℃以上,通常产品又都要冷却后才能使用,在冷却时散发的显热就是余热。这部分余热往往占设备燃料消耗量的比重较大,如炼钢炉渣显热占冶炼燃料热的2%~6%。

(3) 冷却介质的余热。为保护高温生产设备,或生产工艺的需要,都需要大量的冷却介质。通常介质是水、空气和油。它们的温度受设备要求的限制,通常较低,如电厂汽轮机冷凝器的冷却水,不能超过25~30℃,内燃动力机械的冷却水为50~60℃;温度最高的是冶金炉和窑炉冷却水,也不超过80~90℃。因此,对此部分低温余热的利用比较困难,需要较大的设备投资,如利用热泵或低

沸点工质动力设备等。不过这部分余热还是相当多的，占余热资源总量的15%~23%。如冶金炉的冷却介质余热占燃料消耗量的10%~25%，高炉占2%~3%，凝汽式发电厂各种冷却介质带走的热量约占其燃料消耗量的50%。

(4) 可燃废气、废液和废料的余热。生产过程中的排气、排液和排渣中，往往含有可燃成分。这种余热约占余热资源总量的8%。如转炉废气、炼油厂催化裂化再生废气、炭黑反应炉尾气、造纸生产中的纸浆黑液，以及煤焦油蒸馏残渣等。表1表示它们的发热量。

表 II-1 主要余热资源的发热量

废气、废液、废料	可燃成分			低位发热量/(kJ/m ³)
	CO	H ₂	CH ₄	
炼焦煤气	5~8	55~60	23~27	16300~17600
高炉煤气	27~30	1~2	0.3~0.8	3770~4600
转炉煤气	56~61	1.5		6280~7540
铁合金冶炼炉气	70	6		>8400
合成氨甲烷排气			15	1460
化肥厂焦结煤球干馏气	6.5	19.3	5	4200~4600
电石炉排气	80	14	1	10900~11700
造纸黑液				6000~12000kJ/kg
甘蔗渣				6300~11000kJ/kg

(5) 废汽、废水余热。这是一种低品位蒸汽及凝结水余热，凡是使用蒸汽和热水的企业都有这种余热，这部分包括蒸汽动力机械的排汽（其余热占用汽热量的70%~80%）和各种用汽设备的排汽，在化工、食品等工业中由蒸发、浓缩等过程中产生的二次蒸汽，还有蒸汽的凝结水和锅炉的排污水以及各种生产和生活废热水。废水的余热占余热资源的10%~16%。

(6) 化学反应热。这种余热主要存在于化工行业，是一种不用燃料而产生的热能，他占余热总量的10%以下。例如硫酸制造过程中利用焚硫炉或硫铁矿石沸腾炉产生的化学反应热，使炉内的温度达到850~1000℃，可用于余热锅炉产生蒸汽，约可回收60%。

有上述可知，余热的来源各异，不同工业行业的余热性质和数量相差很大。据估计，冶金部门总余热资源占其燃料消耗量的50%以上，机械、化工、玻璃搪瓷、造纸等企业占25%以上。

按照余热资源的温度可划分为3类：

(1) 高温余热。指温度高于 500℃的余热资源。属于高温范围的余热大部分来自工业窑炉，其中有的是直接燃烧燃料产生的，如熔炼炉、加热炉、水泥窑等。有的主要靠炉料自身燃烧产生，如沸腾焙烧炉、炭黑反应炉等，国外城市垃圾热值为 3349~10465kJ/kg，离开焚烧炉的烟温达到 840~1100℃，可以回收利用。

(2) 中温余热。温度在 200~500℃的余热资源属于中文余热。各种热能动力装置及某些窑炉设备中的高温气体在燃烧室或炉膛中做功或传热后排出的气体一般在中温范围内。这档温度比较适中，有些可以继续做功，有些可以产生蒸汽或预热空气等，利用前景良好。

(3) 低温余热。温度低于 200℃的烟气及低于 100℃的液体属于低温余热资源。

低温余热的来源有两个方面，一是有些余热在排放时本身温度就是低的；另一方面是在高、中温余热回收中仍然会有剩余的低温余热放出，由于低温余热回收时温差小，换热设备庞大，经济效益不太明显，回收技术比较复杂，因此过去对此不予重视。但当其面广量大时，回收总量也十分可观。随着能源的短缺和科技的进步，近年来对低温余热的回收利用日益受到重视并取得了进展。

表 II-2 按温度范围划分的余热资源情况

高温余热		中温余热		低温余热	
来源	温度/℃	来源	温度/℃	来源	温度/℃
熔炼用反射炉	1000~1300	工业锅炉排烟	230~480	生产过程中的蒸汽 凝结水	55~90
精炼用反射炉	650~1650	燃气轮机排气	370~540	轴承冷却水	30~90
沸腾焙烧炉	850~1000	往复式发动机 排气	320~600	成型模冷却水	30~90
钢锭加热炉	930~1035	热处理炉排烟	420~650	内燃机冷却水	66~120
水泥窑（干法）	620~735	干燥、烘干炉排 烟	230~600	泵冷却水	25~90
玻璃熔窑	980~1540	催化裂化装置	430~650	空调和制冷用冷凝 器	32~45
垃圾焚烧	845~1100	退火炉冷却系 统	430~650	生产过程中热流体 或热固体	30~230

我国工业企业的余热利用的潜力很大，余热利用在当前节约能源工作中占有重要地位。余热资源的回收利用，要满足工艺上的需要、技术上可行、经济上合

理和保护环境的要求。也就是说，利用这些能量在技术上应是可行的，在经济上也必须是合理的。例如，欲回收 100℃ 以下的低温余热，就要有解决相应技术难题的能力；要从高温高腐蚀性介质中回收余热，首先必须有耐热耐蚀性很强的材料等。因此，余热资源的数量是随着生产和科学技术的发展水平而不断变化的。

2.1.2 可利用的余热、余压

余热：温度在 200℃ 以上，热值 2000kcal 以上，

余压：2 个大气压以上。

具体行业可利用余热资源情况如下：

(1) 冶金工业：

钢铁企业的余热种类及温度状况见表 3

总体来看，钢铁工业可回收的余热资源约为总能耗的 50%。一座现代化的钢铁厂所排放出来的能力，其中 40% 是存在于各种介质的高温其他中，15% 存在于低温蒸汽和热水中，还有 10% 为辐射损失，可见其节能潜力很大。

表 II-3 钢铁企业余热的种类、温度及来源

单位：℃

余热种类	成品放热	废气	蒸汽或热水	热熔物
烧结	600~700	100~450	——	——
炼焦	1000~1200	100~800	——	——
炼铁	1200~1400	150~400	40~60	1300~1500
炼钢	1200~1500	1000~1400	40~60	1300~1500
连续铸造	600~800	——	40~60	——
分块压延	1100~1200	500~800	40~60	——
压延线材	600~1200	500~800	40~60	——

(2) 石油工业

石油加工过程中需要消耗燃料、蒸汽、电力等各种能源。据石油工业部统计，每加工 1t 原油平均消耗燃料（油）42.42kg，蒸汽 570kg，电力 34.5kwh。将它们统一折算相当于 $358 \times 10^4 \text{kJ}$ 。其中 50% 以上的能源消耗是通过各种油加热炉和蒸汽锅炉的烟气热实现的；空气冷却器和水冷却器被排放而损失掉，其中相当一部分还比较集中，可以利用。例如一座年产 250 万吨的炼油厂，通过空冷、水冷和

烟道三方面排出的热量高达 $480 \times 10^6 \text{kJ/h}$ ，其温度都在 $100 \sim 550^\circ\text{C}$ 范围内。

(3) 化工工业

化工企业所消耗的能量约占总能耗的 20%，但其能量利用率也不高。这主要是由于工序车间操作条件的改变，部分能量由于工艺物流的降低、降压而释放出来，成为废热和废功而散失于周围环境中。以轻柴油和石油脑为原料的大型乙烯装置中，裂解气温度高达 800°C 左右，可以用来产生高压蒸汽。以重油为原料的合成氨工厂中，气化炉里进行强化放热反应，裂解气温度高达 1350°C ，也可以用来产生高压蒸汽。一套年处理量为 240 万 t 的大型催化裂化装置，可供回收的能量达 2 万 kW，除了可以满足本装置主风机需要的巨大动力（1.5 万 kW）疑问，尚有余热可供其他使用。

(4) 机械工业

机械行业中有各种加热设备及窑炉。余热资源也相当丰富，例如锻件加热锅炉的烟气温度高达 1000°C 以上。可利用余热锅炉产生蒸汽。蒸汽锻锤的排汽压力在大气压以上，而且数量也大。如某汽车制造厂的锻造分厂锻锤排汽就达 13t/h 以上，每年损失热量折合标煤超过 5000t。又如，各种热处理炉的排气温度达 $425 \sim 650^\circ\text{C}$ ，干燥炉和烘炉的排气温度达 $230 \sim 600^\circ\text{C}$ ，这些都是很好的余热资源。

(5) 其他行业

有色金属、建材、造纸、玻璃、丝绸、纺织、食品等工业部门均有丰富的余热资源，例如各类工厂供热系统产生的凝结水，以往多数不回收，造成燃料的浪费达 5%~8%。又如一些设备和部件的工业冷却水，水温为 $35 \sim 90^\circ\text{C}$ 。这是极为丰富的低温余热资源。

据初步了解，我国主要行业的余热资源情况见表 4

表 II-4 我国主要行业的余热资源情况

行业	余热资源来源	推广节能技术	占燃料消耗量的比例
冶金	轧钢加热炉、均热炉、平炉、转炉高炉、焙烧窑余热等。	干法熄焦技术、高炉炉顶压差发电技术、纯烧高炉煤气锅炉技术、低热值煤气燃气轮机技术、转炉负能炼钢技术、蓄热式轧钢加热炉技术。建设高炉炉顶压差发电装	33% 以上

		置、纯烧高炉煤气锅炉发电装置、低热值高炉煤气发电—燃汽轮机装置、干法熄焦装置等	
化工	化学反应热、如造气、变换气、合成气等的物理显热可燃化学热，如炭黑尾气、电石气等的燃料热。	焦炉气化工、发电、民用燃气，独立焦化厂焦化炉干熄焦，节能型烧碱生产技术，纯碱余热利用，密闭式电石炉，硫酸余热发电等技术。	15%以上
有色金属	高温烟气	烟气废热锅炉及发电装置，窑炉烟气辐射预热器和废气热交换器，回收其他装置余热用于锅炉及发电。	
建材	高温烟气、要顶冷却、高温产品等	水泥窑余热发电、人造板锅炉烟气余热利用、玻璃窑炉烟气余热利用	约 40%
玻璃搪瓷	玻璃熔窑、搪瓷窑、坩埚窑等	玻璃生产企业也推广余热发电装置，吸附式制冷系统，低温余热发电—制冷设备；推广全保温富氧、全氧燃烧浮法玻璃熔窑，降低烟道散热损失；引进先进节能设备及材料，淘汰落后的高能耗设备。	约 20%
造纸	烘缸、蒸锅、废气、黑液等		约 15%
纺织	烘干机、浆纱机、蒸煮锅等	推广供热锅炉压差发电等余热、余压、余能的回收利用，鼓励集中建设公用工程以实现能量梯级利用。	约 15%
机械	锻造加热炉、冲天炉、热处理炉及汽锤、乏汽等	可利用余热锅炉产生蒸汽，用于生产工艺需要。	约 15%

2.2 审核要点

2.2.1 合规性评价

余热、余压利用项目的节能量审核，需要首先对项目的合规性进行审查，重点关注改造主体是否为淘汰目录中，是否为国家规定的新生产线配套建设项目，改造主体的运行时间是否在三年以上，是否利用本企业的余热和余压。

2.2.1 项目边界确定

余热、余压利用项目的项目边界可以为改造设备，也可为整条生产线，以改造设备作为项目边界，通常计算方法应为余热、余压利用后产生的能源或热力；而以生产线为项目边界的话，计算方法需要考虑产品单耗的变化。

审核时，重点关注余热、余压的获取，余热、余压的转换，余热、余压能源

的利用，一般情况下，这三个部分都应划在项目边界内。

2.2.2 改造前基准能耗

余热、余压利用项目改造前基准能耗可以视为零，但在以生产线为项目边界时，需要对生产线改造前能耗进行确定。

2.2.3 余热、余压可利用率

废气的燃烧利用，应关注废气的热值、回收量；烟气的余热利用，应关注烟气的温度的变化，通常需要考虑烟道损失，一般可认为 60% 的烟气可回收利用。

废气的混燃，应考虑锅炉效率，一般可为 80% 以上；烟气余热利用，应关注热交换器的效率，可为 80% 以上，同时要考虑蒸汽管网的损失，可计为 5%-10%。

2.3 确定方法

2.3.1 节能量初审项目

对于初审项目，现场审核时项目基本都未改造或在改造过程中，因此核算节能量为预计节能量。在核算项目预计节能量的时候，需要以企业最终可实现回收利用余热余压的能量作为节能量计算的依据

（一）余热发电项目

对未建成余热发电项目，可以用装机容量进行预计节能量的计算，具体核算方法和过程如下：

$$\Delta E = W/10 \times T \times k \times (1 - P) - E_0$$

其中： ΔE ——项目年节能量，单位为吨标准煤；

W ——装机容量，单位为 MW

T ——全年运行小时数

k ——每万 kWh 电力折合的等价值标准煤量。按国家统计局发布的当年供电煤耗计算，单位为吨标准煤/万 kWh

P ——电站自用电率，若不能提供设计的厂用电率，则可按行业内的估计值

8%取值。

E_0 ——项目基准能耗，单位为吨标准煤。取值标准同上。

例 1 硫磺制酸装置余热发电

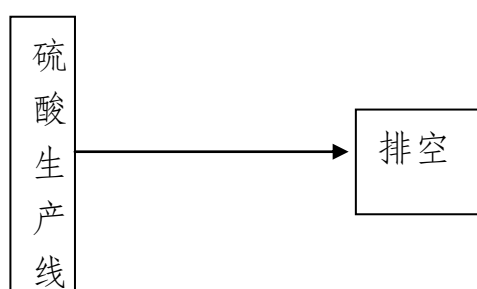
1) 项目简介

某公司依托现有 33 万 t/年硫磺制酸装置余热资源，新上 40t/h 中温中压火管式余热锅炉，配套建设 1 套装机容量为 6000kW 的余热发电机组及辅助设施。在此之前企业的余热未被利用。现场审核时，项目还未完成，所以按照电站年运行 7440h，自用电率 8% 计算节能量。

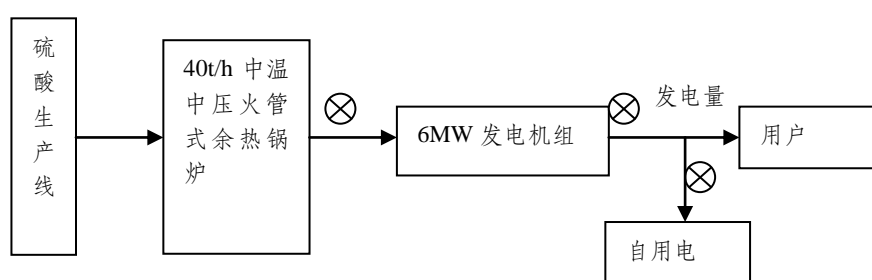
2) 项目解析

A、项目边界图

改造前：



改造后：



a. 蒸汽流量计

b. 电表

B、项目能耗核实情况

$$W=6000\text{kW}=6\text{MW}$$

$$T=24\text{h/天} \times 310 \text{天}=7440\text{h}。$$

$$k=3.5$$

$P=8\%$ 。

C、项目节能量计算步骤及结果

$$\Delta E=W/10\times T\times k\times (1-P)-0=14374.1 \text{ tce}。$$

对于未建成的水泥发电项目的预计节能量计算，以上的公式同样适用，同时也可采用如下公式：

$$\Delta E=G\times M\times k/1000\times (1-P)-E_0$$

其中， ΔE ——项目节能量，单位为 tce

G ——吨熟料余热发电量，单位为 kW（目前行业内的数据为 32-40kWh）；

M ——年熟料产量，单位为 t；

k ——每万 kWh 电力折合的等价值标准煤量。按国家统计局发布的当年发电煤耗计算，单位为吨标准煤/万 kWh。

P ——电站自用电率，行业内一般认为是 8%

E_0 ——项目基准能耗，单位为 tce。取值标准同上。

（二）余热用于发电之外的生产工序

节能量初审审核时，企业项目尚未改造完成，因此，对于部分余热余压回收利用用于生产工序的项目，应重点核实节能量计算数据的来源和计算过程。

对于余热余压利用后会对某个生产工序产生了重大影响的项目，应根据项目可回收余热的性质、回收利用措施，参考企业可行性研究报告中有效的计算数据，综合计算企业可能实现的节能效果。同时，可参考国家发改委公布的《重点技术推广目录》中类似的项目，确定项目的合理性和节能量计算的有效性。

对于项目难以通过计算获得改造后预计节能效果的，可参考以往改造项目的案例，预估项目改造后单位产品能耗的下降量，从而计算项目预计节能量。

节能量计算公式如下：

$$\Delta E=(E_{u0}-E_{u1})\times M_0$$

其中， ΔE ——项目节能量，单位为吨标准煤；

E_{u0} ——项目改造前的项目边界内单位产品能耗，单位为吨标准煤/吨；

E_{u1} ——项目改造后的项目边界内单位产品能耗，单位为吨标准煤/吨；

M_0 ——项目改造前的项目边界内产量，单位为吨。

(三) 余热发电+余热用于生产工序

有些项目在进行余热余压回收利用时，为了更有效地利用不同等级的蒸汽，首先利用部分高品位的余热资源进行余热发电改造，同时对各个环节产生的低品位余热资源回收并应用于其他生产工艺环节。

此部分计算节能量时，需要划清计划用于生产工艺和用于发电部分余热的性质和数量，单独计算各部分节能量。

2.3.2 节能量终审项目

节能量现场终审审核时，主要核实企业实际达到的节能效果，因此需要保证企业进行节能技术改造后实现了一个持续稳定的节能效果。

(一) 余热发电项目

已建成的余热余压发电项目，实际年节能量为项目实施后余热余压电站的发电量减去自用电量，按电力等价值折算成标准煤，再减去基准能耗。按照以下公式计算：

$$\Delta E = k (P_t - P_s) \times (T_1 \div T_2) - E_0$$

其中：

ΔE ——项目节能量，单位为吨标准煤；

k ——每万 kWh 电力折合的等价值标准煤量。按照国家统计局发布的当年的发电煤耗计算，单位为吨标准煤/万 kWh；

P_t ——项目实施后余热余压电站年总发电量，万 kWh；

P_s ——项目实施后余热余压电站年自用电量，万 kWh；

T_1 ——项目实施前产品产量；

T_2 ——项目实施后产品产量；

E_0 ——项目基准能耗，单位为吨标准煤。

若余热资源在项目实施前未被利用，基准能耗指标为零；若余热余压资源在项目实施前已有部分被利用（非发电），项目实施后原有利用余热余压资源的工序或设备需另用其他能源替代，则基准能耗指标为原工序或设备利用的余热余压资源量。

（二）余热用于发电之外的生产工序

（1）若余热余压的改造使得原工序中某个耗能设备完全被取代或者能耗大大降低，而耗能设备的改造前后能耗可知，且企业产品产量变化不大，则可以利用设备改造前后能耗变化作为节能量。节能量计算公式如下：

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

其中， E_0 ——设备改造前的耗能量；

E_1 ——设备改造后的耗能量。

（2）若余热余压或可燃副产品利用的改造，使原工序中总体能耗下降，但是具体设备能耗的改变无法可知，只能知道改造前后的总体耗能和产品产量。此时则利用改造前后的单耗变化来计算项目的预计年节能量。

节能量计算公式如下：

$$\Delta E = (E_0/M_0 - E_1/M_1) \times M_0$$

其中， ΔE ——项目节能量，单位为吨标准煤；

E_0 ——项目改造前的项目边界内总体能耗，单位为吨标准煤；

M_0 ——项目改造前的项目边界内产量，单位为 t；

E_1 ——项目改造后的项目边界内总体能耗，单位为吨标准煤；

M_1 ——项目改造后的项目边界内产量，单位为 t。

(三) 余热发电+余热用于生产工序

此部分计算节能量时，需要划清实际用于生产工艺和用于发电部分余热的性质和数量，单独计算各部分节能量。

例 2 某煤炭企业利用富裕高炉煤气和转炉煤气发电项目

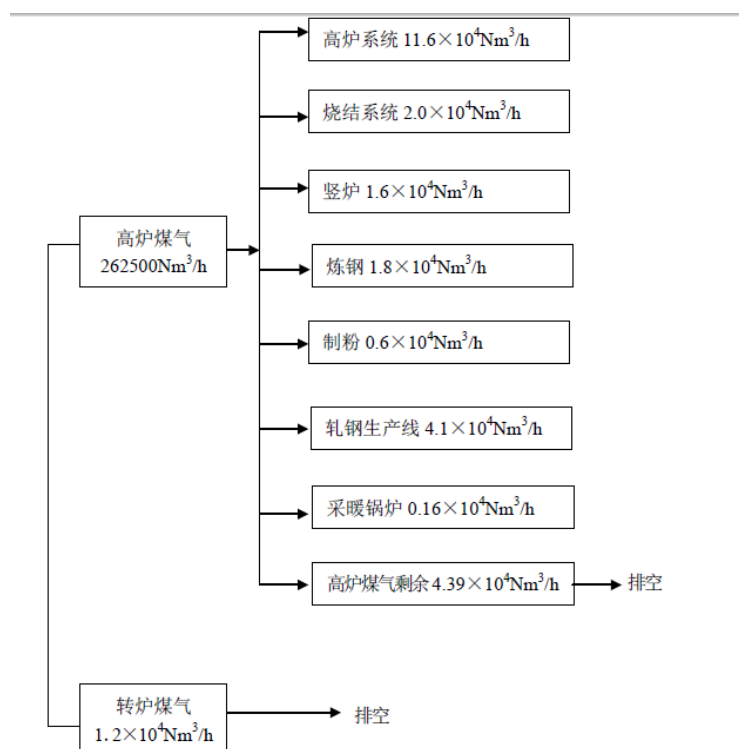
1) 项目介绍

该企业在生产过程中部分高炉煤气部分自用，富裕的高炉煤气量为 $43900\text{Nm}^3/\text{h}$ 和转炉煤气量为 $12000\text{Nm}^3/\text{h}$ 排空。项目实施后，排空的高炉煤气和转炉煤气回收并用于余热发电。

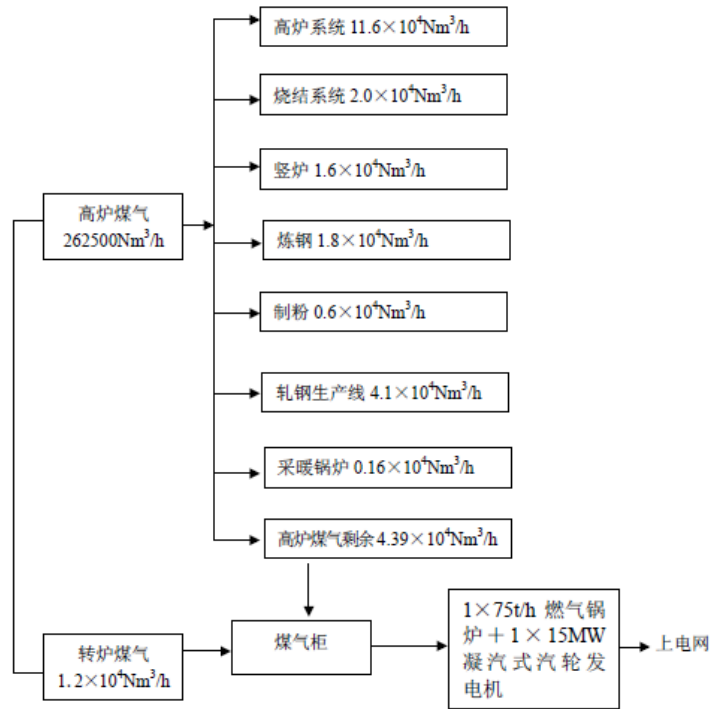
2) 项目解析

项目边界图

项目改造前，高炉煤气和转炉煤气均排空：



项目实施节能改造后，将实现对原有排空的富裕煤气和转炉煤气的收集，并配套建设 $1 \times 75\text{t/h}$ 燃气锅炉 + $1 \times 15\text{MW}$ 凝汽式汽轮发电机组用于发电。工艺流程如下图。



3) 节能量计算

项目预计节能量计算如下;

$$\Delta E = W/10 \times T \times k(1-P) - E_0$$

其中: ΔE —项目节能量, 单位为吨标准煤;

W —装机容量, 15MW;

T —全年运行小时数, 按与高炉同步运行以 7200h 计;

k —根据国家发改委公布的最新的火电厂煤耗标准, 每万千瓦时电力折合的等价标准煤量, 取 3.35 吨标准煤/万 kWh;

P —电站自用电率, 按可研中 4% 取值;

E_0 —项目基准能耗, $E_0=0$ 。

项目每年可节约标煤量:

$$\begin{aligned} \Delta E &= W/10 \times T \times k(1-P) - E_0 \\ &= 15/10 \times 7200 \times 3.35 \times (1-4\%) - 0 \\ &= 34560.17 \text{ 吨标准煤} \end{aligned}$$

III 电机系统节能项目案例

电机系统包括电动机、被拖动装置、传动控制系统及管网负荷。我国电动机总装机容量约 5 亿 kW，电机系统用电量约占全国总用电量的 60%，其中风机、泵类、压缩机和空调制冷机的用电量分别占全国总用电量的 10.4%、20.9%、9.4% 和 6%。

我国 80% 以上的电机产品效率比国外先进水平低 2—5 个百分点，虽然国产高效电机与国外先进水平相当，但价格高、市场占有率低；风机、泵、压缩机产品效率比国外先进水平低 2—4 个百分点，虽然设计水平与国外先进水平相当，但制造技术和工艺有差距；电机传动调速及系统控制技术差距较大，产品效率比国外先进水平低 20—30%。我国电机系统量大面广，但是能量利用率相对于国际先进水平较低，节电潜力巨大。全国现有各类电机系统总装机容量约 4.2 亿千瓦，运行效率比国外先进水平低 10—20 个百分点，相当于每年浪费电能约 1500 亿千瓦时。

电机系统存在的主要问题是：电动机及被拖动设备效率低，电动机、风机、泵等设备陈旧落后，效率比国外先进水平低 2—5 个百分点；系统匹配不合理，“大马拉小车”现象严重，设备长期低负荷运行；系统调节方式落后，大部分风机、泵类采用机械节流方式调节，效率比调速方式约低 30%。

3.1 技术构成

电动机系统节能是指对整个系统效率提高，不仅仅要求异步电动机和被拖动的设备（如风机、泵类、空气压缩机等）单元效率最优化，还要使得系统各单元相匹配及整个系统效率的最优化。根据负载特性的要求，有必要使设备选型和配套合理，使其负载与电动机功率相匹配；根据负载变化的要求，采取一定的技术措施，使其电动机保持在经济负载率状态下运行。总而言之，应采取一切行之有效的措施来提高整个电机系统效率，达到节能降耗的目的。

针对上述问题，目前电机系统节能改造主要集中于以下几个方面：

(一)更新淘汰低效电动机及高耗电设备：采用高效节能电动机、风机、泵及空压机等设备的项目；推广高效节能电动机、稀土永磁电动机，高效风机、泵、

压缩机，高效传动系统等。更新淘汰低效电动机及高耗电设备；采用高效节能电机及系统相关节电设备新装电机系统。逐步限制并禁止落后低效产品的生产、销售和使用。对老旧设备更新改造，重点是高耗电中小型电机及风机、泵类系统的更新改造及定流量系统的合理匹配。

(二)提高电机系统效率：改善电机系统配置以及调节方式；推广变频调速、永磁调速等先进电机调速技术，改善风机、泵类电机系统调节方式，逐步淘汰闸板、阀门等机械节流调节方式。重点对大中型变工况电机系统进行调速改造，合理匹配电机系统，消除“大马拉小车”现象。

(三)被拖动装置控制和设备改造：以先进的电力电子技术传动方式改造传统的机械传动方式，逐步采用交流调速取代直流调速。采用高新技术改造拖动装置，重点是大型水利排灌设备、电机总容量 10 万千瓦以上大型企业的示范改造等。

(四)优化电机系统的运行和控制：推广软启动装置、无功补偿装置、计算机自动控制系统等，通过过程控制合理配置能量，实现系统经济运行。

重点改造领域包括：

电力：用变频、永磁调速及计算机控制改造风机、水泵系统，重点是 20 万千瓦以上火力发电机组。

冶金：鼓风机、除尘风机、冷却水泵、加热炉风机、铸造除鳞水泵等设备的变频、永磁调速。

有色：除尘系统自动化控制及风机调速。

煤炭：矿井通风机、排水泵调速改造及计算机控制系统。

石油、石化、化工：工艺系统流程泵变频调速及自动化控制。

机电：研发制造节能型电机、电机系统及配套设备。

轻工：注塑机、液压油泵的变频、永磁调速。

其他：企业空调和通风、楼宇集中空调的电机系统改造等。

3.2 审核要点

（一）审核基准能耗核查

按照规定，基准年能耗是指项目实施前一年能耗，如果前一年产量不能正确反映该产品的正常产量，则可采用前三年的算术平均值。

（二）项目边界的确定

核实项目改造的边界，电机系统节能项目边界可以为改造设备，也可为整条生产线，必须通过现场核查情况核对申报材料的符合度。

（三）核实改造电机的功率、数量

对照资金报告、可行性报告上企业申报改造的电机清单，现场核实数量及有效功率；采取抽查的方式，以大功率电机为主，小功率电机为辅，查阅设备采购发票、付款凭证，核实电机是否进行了改造。

3.3 确定方法

3.3.1 利用单耗计算

对于项目涉及到的电机数量较多，且范围较广，被改造的电机分布在企业生产线的各个环节，这类涉及全局的节能技改项目，节能量测量及计算应尽可能建立在以单位产品电耗这一指标上；如果项目只涉及到企业内的某一个子系统，且被改造电机数量较多，电力计量仪表配备不全，此时节能量计算也可建立在该子系统的单位产品电耗这一指标上。

通过查阅项目实施前一年内的电耗统计报表和生产统计报表，核实改造前年耗电量和产品年产量，并采用以下公式计算改造前单位产品电耗。

$$E_{i0} = E_0 / M_0$$

其中： E_{i0} —改造前单位产品电耗，单位为万千瓦时/吨

E_0 —改造前年耗电量，单位为万千瓦时

M_0 —改造前产品产量，单位为吨

节能量计算步骤:

1. 项目改造完成正常运行后，采取与改造前相同的方法核实改造后单位产品电耗。

2. 采用以下公式计算节能量。

$$\Delta E_u = (E_{i0} - E_{i1}) \times M_0 \times \text{电力折标系数}$$

其中： ΔE_u —节能量，单位为吨标准煤

E_{i0} —改造前产品电耗，单位为万千瓦时/吨

E_{i1} —改造后产品电耗，单位为万千瓦时/吨

M_0 —改造前产品产量，单位为万吨

电力折标系数—采用等价值，单位为吨标煤/万千瓦时

例 1：电机系统节能（单耗计算节能量）

（1）项目介绍

某纺织企业对电机系统进行改造，其改造内容如下：

①一车间电机改造 10000 台；

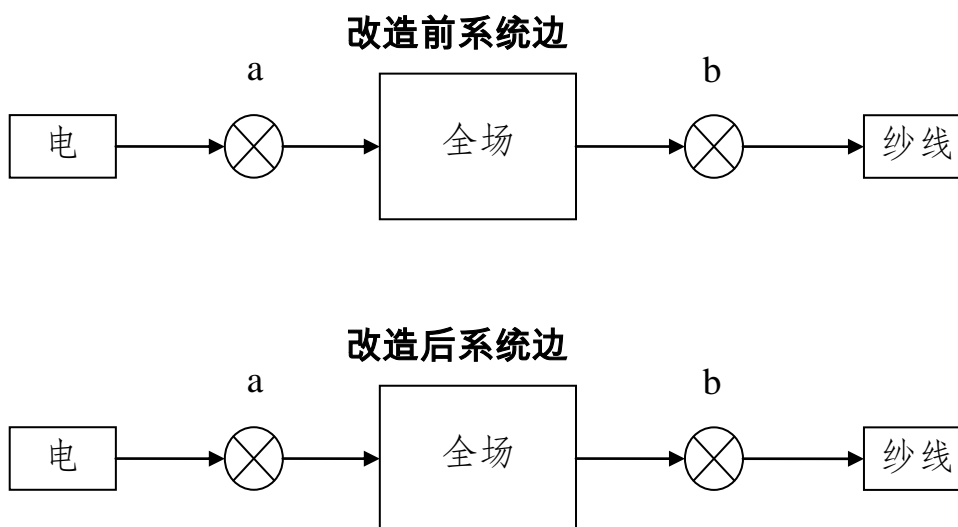
②二车间电机改造 8000 台；

③三车间电机改造 8000 台。

审核时项目已经完成一年，通过对企业能源统计表和企业台帐的审查，得知企业全厂的电耗和产品产量。

（2）项目解析

A、项目边界图



注：a：电表；b：纱线计

B、项目能耗核实情况

项目改造前、后能耗指标情况

项目实施前	时间	2007.1—2007.12
	耗电量（万千瓦时）	8000
项目实施后	时间	2009.8—2010.7
	耗电量（万千瓦时）	6000

项目改造前、后产品产量

项目实施前	时间	2007.1—2007.12
	全厂产纱量（吨）	53000
项目实施后	时间	2009.8—2010.7
	全厂产纱量（吨）	55000

C、项目节能量计算步骤及结果

$$E_0=8000 \text{ (万千瓦时)} \quad E_1=6000 \text{ (万千瓦时)}$$

$$M_0=53000 \text{ 吨} \quad M_1=55000 \text{ 吨}$$

$$E_{u0} = E_0 / M_0 = 8000 / 53000 = 0.151 \text{ (万千瓦时/吨)}$$

$$E_{u1} = E_1 / M_1 = 6000 / 55000 = 0.109 \text{ (万千瓦时/吨)}$$

节能量为：

$$\begin{aligned} \Delta E &= (E_{u0} - E_{u1}) \times M_0 \times \text{电力折标系数} \\ &= (0.151 - 0.109) \times 53000 \times 3.5 = 7791 \text{ (吨标煤)} \end{aligned}$$

8.3.2 电机变频改造节能量计算

对于采用变频调速方法的电机改造项目，可采用以下方法计算节能量：

(1) 项目实施前基准能耗 × 节电率

$$E_0 = \text{总功率} \times \text{平均负载率} \times \text{运行时间} \times \text{运转率}$$

$$\Delta E = E_0 \times \text{节电率} \times \text{电力折标系数}$$

(2) 实测耗电量 × 节电率

$$\Delta E = E_{\text{耗电}} \times \text{节电率} \times \text{电力折标系数}$$

其中节电率可通过以下方式确定：

(1) 当被改造电机数量较少时，可以依照变频调速节能效果的测算方法或根据电机节能效果测试报告，按台确定节电率；

(2) 当改造电机数量较多时，则可根据被改造设备进行适当地分类，如将被改造设备分为泵类设备、风机类设备、压缩机类设备等，并在每类设备中选择

典型设备进行变频节能效果测试，以确定项目节电率，并以此节电率估算同类设备的节能量；

当电机数量都较多，且电机设备难以分类，节电率测试较困难或项目还未改造完成时，可根据以下不同的运行工况，对电机变频改造的节电率和项目节能量进行估算：

(a) 电机平均工作转速已知，可利用以下方法估算节电率：

各种风机、水泵类的功率 P 与年平均工作转速 n 有对应关系，其节电率计算公式如下：

$$P\% = S^3$$

$$\text{节电率 } K_i = 1 - P\% = 1 - S^3$$

式中： $P\%$ —实际消耗功率百分值

S —实际转速与额定转速的比值

例：某风机改造后，年平均工作转速 n 为额定转速的 90%，

则， $P\% = S^3 = 73\%$ ，

故， $K_i = 1 - P\% = 27\%$ 。

(b) 对风机、泵类平方转矩负载的变频调速

节能风机、泵类常用阀门、挡板进行节流调节，增加了管路阻尼，电机仍旧以额定速度运行，能耗较大。如果用变频器对风机、泵类设备进行调速控制，不需要再用阀门、挡板进行节流调节，将阀门、挡板开到最大，管路阻尼最小，能耗将大为减少。此类情况利用 GB12497《三相异步电动机经济运行》强制性国家标准实施监督指南中的计算公式对节电率进行计算：

$$P_L = \left[0.45 + 0.55 \left(\frac{Q}{Q_N} \right)^2 \right] P_e \text{ (kW)}$$

式中：P_L—系统节流调节时消耗的电能

P_e—额定流量时电机输入功率 KW

Q_N—额定电流

若流量的调节范围 (0.5-1) Q_N，可用下式计算电机在节流调节电耗基础上的节电率：

$$K_i = \frac{\Delta P_L}{P_L} = \frac{P_L - P_e \left(\frac{Q}{Q_N} \right)^3}{P_L} = 1 - \frac{\left(\frac{Q}{Q_N} \right)^3}{0.45 + 0.55 \left(\frac{Q}{Q_N} \right)^2}$$

例：有一电机 4 级 P_e=55KW，驱动风机的实际风量 Q 与额定风量之比 Q/Q_N 为 0.8，现在采用变频调速，求节电率。

$$K_i = 1 - \frac{(0.8)^3}{0.45 + 0.55(0.8)^2} = 1 - 0.64 = 0.36$$

节电率为 36%。

(c) 恒转矩类负载的电机系统变频调速

对恒转矩类负载电机输入功率为：

$$P_L = \frac{T_L n_1}{9550}$$

式中：T_L—为电机恒定转矩

电机的输入功率与转速的一次方成正比，采用变频调速后节省的功率可由下式计算：

$$k_i = \frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

式中：n₁—为电机改造前转速

n₂—为电机变频改造后转速

例 2：电机系统节能（利用节电率计算节能量）

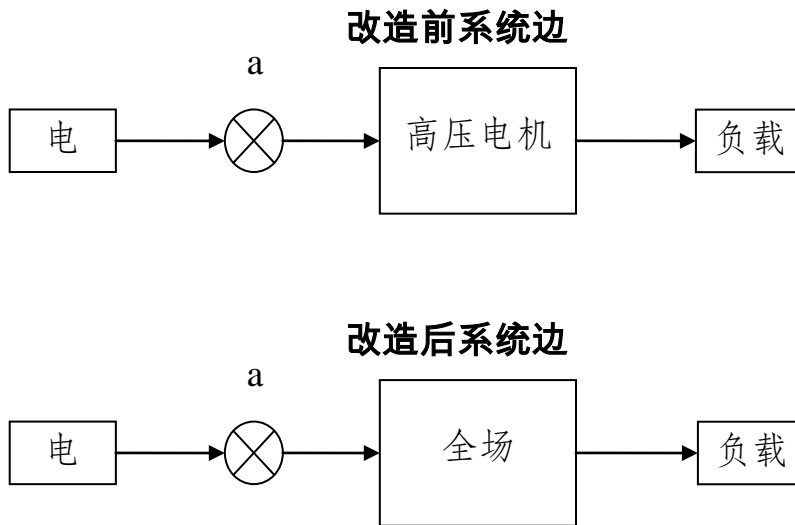
（1）项目介绍

某公司共有 5 个分厂，共有空压机、制冷机等高压电机 30 台，改造前未采取节能措施，由于电机所在系统工况变化幅度较大，故设备耗电量大。

公司决定对这些电机进行改造，根据各类电机设备使用工况的不同，对这些高压电机加装变频智能控制系统，实现节电。

（2）项目解析

A、项目边界图



注：a：电表

B、项目能耗核实情况

改造实施前

经查设备台账，这 30 台电机总装机功率为 30000kW（见改造设备清单），年平均运行时间 8000 小时，电机平均负载率为 90%，电机平均运转率为 90%，则这 30 台电机年耗电量为：

$$E_0 = \text{总功率} \times \text{平均运行时间} \times \text{平均负载率} \times \text{平均运转率}$$

$$= 30000 \times 8000 \times 90\% \times 90\% = 19440 \text{（万千瓦时）}$$

改造实施后

为配合项目改造，企业按变频控制系统投运、不投运分别控制，进行对比实验，经多次测试，见下表，改造后平均节电率为 23.71%。

序号	测试时间	不投运	投运	节电量	节电率
1	2009.06.10-06.17	115334	88350	26984	23.40%
2	2009.06.20-06.27	115136	88688	26448	22.97%

3	2009.07.01-07.07	115670	87026	28644	24.76%
合计		346140	264064	82076	23.71%

C、项目节能量计算步骤及结果

节能量为：

$$\Delta E = E_0 \times \text{节电率} \times \text{电力折标系数}$$

$$= 19440 \times 23.71\% \times 3.5 = 16132 \text{ (吨标煤)}$$

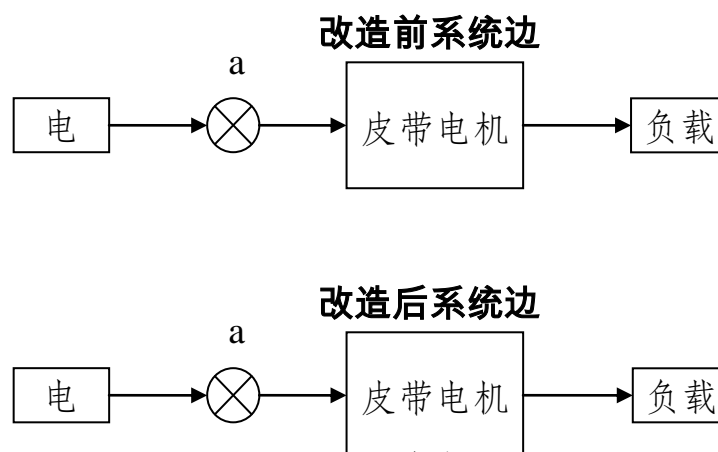
例 3：电机变频改造（节能量估算）

(1) 项目介绍

某公司对上料大倾角皮带、运输皮带电机实施变频改造。

(2) 项目解析

A、项目边界图



注：a：电表

B、项目能耗核实情况

改造实施前

经查设备台账，这两台电机总装机功率为 221kW，全年运行时间 300 天，24 小时连续运行，运行系数为 90%，则这 2 台电机年耗电量为：

$$\begin{aligned} E_0 &= \text{总功率} \times \text{运行时间} \times \text{运行系数} \\ &= 221 \times 300 \times 24 \times 90\% = 143.2 \text{ (万千瓦时)} \end{aligned}$$

改造实施后

改造后按全年运行时间 300 天计，每天 14 小时运行在 80% 负荷(频率按 40Hz 计算)，10 小时空载运行，负荷在 40% (频率按 20Hz 计算)，运行系数为 90%，两台电机年耗电量为：

$$\begin{aligned} E_1 &= 221 \times 300 \times 14 \times (40/50)^3 \times 90\% + 221 \times 300 \times 10 \times (20/50)^3 \times 90\% \\ &= 46.6 \text{ (万千瓦时)} \end{aligned}$$

C、项目节能量计算步骤及结果

节能量为：

$$\begin{aligned} \Delta E &= (E_0 - E_1) \times \text{电力折标系数} \\ &= (143.208 - 46.5904) \times 3.5 = 338 \text{ (吨标煤)} \end{aligned}$$

3.4 节能量经验值

一般情况下，电机节能改造可实现的节电率在 25% 左右，电机变频改造的节能效果主要与电机实际负载率有关。

IV 能量系统优化及绿色照明项目案例

4.1 技术构成

能量系统优化（系统节能）主要包括以下几个方面：

- (一)企业生产系统过程工艺的用能优化项目；
- (二)企业不同生产装置（工序）用热的集成优化项目；
- (三)企业公用工程供能和用能的合理匹配项目；
- (四)企业电力输变系统的调整优化项目。

4.2 审核要点

这一类型的项目可能涉及到多个节能技改措施，在审核时可综合前面四种审核要点进行审核。

4.3 确定方法

4.3.1 分工序计算

对于很多工序的节能改造，但是每个工序互相之间的改造相对独立，并且节能量容易单独计算得出的情况，此时可以分工序计算出单独节能量，总体的节能量等于各个工序节能量的相加。其公式如下：

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n \Delta E_i \dots\dots\dots (14)$$

其中： ΔE_i ——各种工序各自的节能量

ΔE ——总节能量

例 1：能量系统优化（分工序计算）

(1) 项目介绍

××公司该项目拟将公司能源系统进行优化改造，内容包括：

- 1.将 1#， 3#两台 75t/h 的中压锅炉改造成 150t/h 的次高压锅炉，；

2.新建“三气”余热锅炉，利用低温甲醇产生的废气、同时副产 0.8MPa 蒸汽,其蒸汽的折标系数为 0.0729;

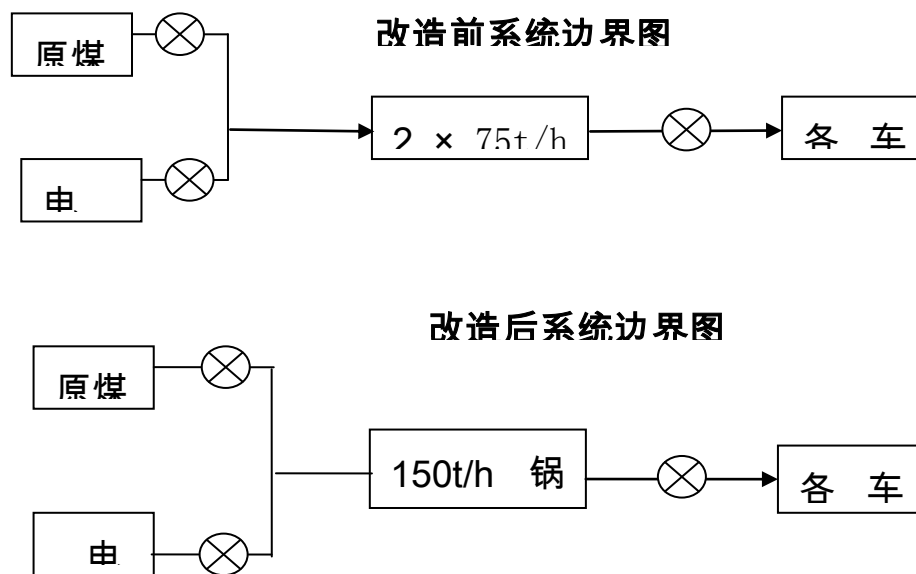
3.采用交流变频调速技术对重质碱两台 132kw 鼓风机、一台 110kw 引风机、联碱干铵剩余六台 110kw 鼓风机、六台 110 引风机、精铵一台 132kw 风机共 16 台设备进行变频改造，根据统计改造后 16 台设备平均工作频率为 46HZ。

审核时项目已经完成一年，通过对企业能源统计表和企业台帐的审查，得知企业全厂和各个工序的能耗和产品产量。

(2) 项目解析

A、项目边界图

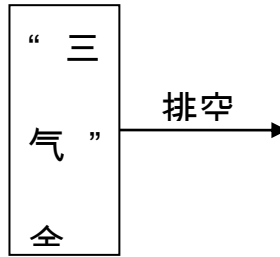
①锅炉项目边界图



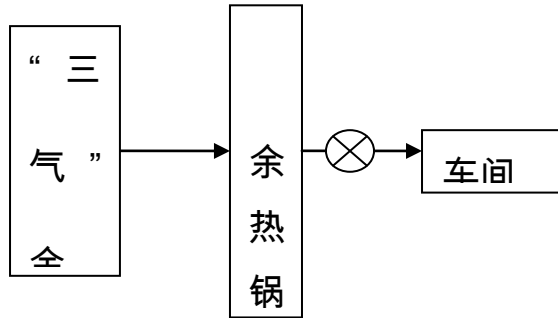
a : 地磅和煤质分析仪 : b : 电表 : c : 蒸汽

②余热利用项目边界图

改造前系统



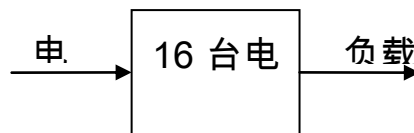
改造后系统边



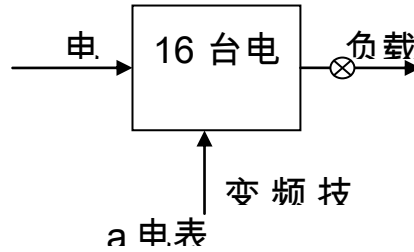
a : 蒸汽

③变频改造项目边界图

改造前系统



改造后系统边



B、项目能耗核实情况

项目改造前、后能耗指标情况

项目实施前	时间	2006年1月至2006年12月			
项目实施前	1#, 3#锅炉能耗	原煤(吨)	115066.32	折标系数	0.7143
		电(万千瓦时)	1420.8	折标系数	3.5
	余热锅炉系统	无能耗		折标系数	
	电机系统	电(万千瓦时)	1181.2	折标系数	3.5
项目实施后	时间	2007年3月至2008年2月			
	1#, 3#锅炉能耗	原煤(吨)	138325.8	折标系数	0.7143
		电(万千瓦时)	1213.1	折标系数	3.5
	余热锅炉系统	电(万千瓦时)	266.6	折标系数	3.5

项目改造前、后生产情况

项目实施前	时间	2006年1月至2006年12月			
项目实施前	1#, 3#锅炉能耗	蒸汽产量(吨)	672156	折标系数	
	余热锅炉系统	蒸汽产量(吨)	0	折标系数	
项目实施后	时间	2007年3月至2008年2月			
	1#, 3#锅炉能耗	蒸汽产量	930234	折标系数	
	余热锅炉系统	蒸汽产量	94104	折标系数	0.0729

C、项目节能量计算步骤及结果

1) 锅炉改造节能量

原锅炉能耗和蒸汽产量折标煤:

$$E_0_{\text{锅炉}} = 115066.32 \times 0.7143 + 1420.8 \times 3.5 = 87164.7 \text{ (吨标煤)}$$

$$M_0_{\text{蒸汽}} = 672156 \text{ 吨}$$

现锅炉能耗折标煤:

$$E_1_{\text{锅炉}} = 138325.8 \times 0.7143 + 1213.1 \times 3.5 = 103051.9 \text{ (吨标煤)}$$

$$M_{1\text{蒸汽}}=930234 \text{ 吨标煤}$$

锅炉改造的节能量为

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{锅炉}} &= (E_{0\text{锅炉}} / M_{0\text{蒸汽}} - E_{1\text{锅炉}} / M_{1\text{蒸汽}}) \times M_{0\text{蒸汽}} \\ &= (87164.7 / 672156 - 103051.9 / 930234) \times 672156 \\ &= 12702.9 \text{ (吨标煤)} \end{aligned}$$

2) 余热利用节能量

余热锅炉的产生的蒸汽和新消耗的电能折标煤:

$$E_{\text{余热蒸汽}}=94104 \times 0.0729=6860.2 \text{ (吨标煤)}$$

$$E_{\text{新消耗电能}}=266.6 \times 3.5=933.1 \text{ (吨标煤)}$$

余热利用的节能量为

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{锅炉}} &= E_{\text{余热蒸汽}} - E_{\text{新消耗电能}} \\ &= 6860.2 - 933.1 = 5927.1 \text{ (吨标煤)} \end{aligned}$$

3) 电机变频改造节能量

电机系统改造前后耗电量的折标煤:

$$E_{0\text{电机}}=1181.2 \times 3.5=4134.2 \text{ (吨标煤)}$$

$$\text{节电率 } N\% = 1 - \left(\frac{46}{50}\right)^3 = 22\%$$

$$\Delta E_{\text{电机}}=4134.2 \times 22\%=909.5 \text{ (吨标煤)}$$

总节能量为

$$\Delta E = \Delta E_{\text{锅炉}} + \Delta E_{\text{锅炉}} + \Delta E_{\text{电机}} = 12702.9 + 5927.1 + 909.5 = 19539.5 \text{ (吨标煤)}$$

4.3.2 利用单耗计算

当项目较为复杂,界区内包含的设备和工序较多,并且互相联系,无法单独计算节能量时,宜将界区内所有设备和工序看作一个整体考虑,通过查阅项目实施前一年内的能源消耗(载能工质)统计报表和生产统计报表,核实改造前年耗能量和产品年产量,并采用以下公式计算改造前单位产品能耗。

$$E_{i0} = E_0 / M_0 \dots\dots\dots (15)$$

其中: E_{i0} —改造前单位产品能耗,单位为吨标准煤/吨

E_0 —改造前年耗能量，折算为吨标准煤（注：原煤折标系数采用实测；
电力折标系数采用等价值）

M_0 —改造前产品产量，单位为吨

如果计算出的单位产品能耗不能准确反映该产品的正常能耗状况，则采用国家强制性能耗标准中的单位产品能耗限定值作为基准能耗指标。

节能量计算步骤：

1. 项目改造完成正常运行后，采取与改造前相同的方法核实改造后单位产品能耗。

2. 采用以下公式计算节能量。

$$\Delta E_u = (E_{i0} - E_{i1}) \times M_0 \dots\dots\dots (16)$$

其中： ΔE_u —节能量，单位为吨标准煤

E_{i0} —改造前产品能耗，单位为吨标准煤/万吨

E_{i1} —改造后产品能耗，单位为吨标准煤/万吨

M_0 —改造前产品产量，单位为万吨

例 2：能量系统优化（单耗计算节能量）

（1）项目介绍

某化肥生产企业进行能量系统优化项目节能改造，其措施如下：

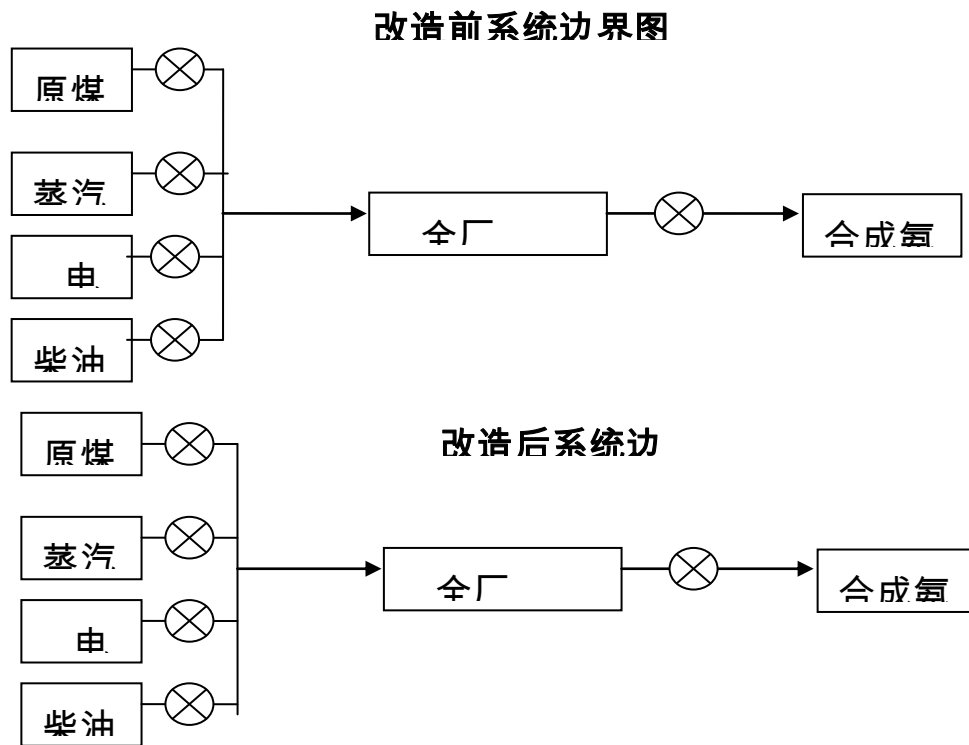
- 1、改造原料气净化工艺，即采用醇烃化工艺，取代传统的铜洗工艺，该工艺联产甲醇，醇氨比可调节。铜洗停止运行后，减少电机装机容量 852kw。
- 2、改造三废混燃炉，充分回收废气、废渣。造气吹风气、合成工段驰施气，用作“三废混燃炉”燃料。造气炉产生的废渣及渣末等作为锅炉燃料，产生蒸汽供生产系统使用。

- 3、 电机变频调速、溴化锂制冷、脱碳闪蒸气变压吸附技术回收氨氮气，以及污水终端处理技术等。其中，44 台电机共 2593.7kw 安装了变频调速装置。
- 4、 工业汽轮机替代电机拖动机、泵设备，两台 3000kw 的氢氮气压缩机、一台 550kw 锅炉给水泵、6 台 500kw 风机改为汽轮机拖动，节约部分电能。

审核时项目已经完成一年，通过对企业能源统计表和企业台帐的审查，得知企业全厂的能耗和产品产量。

(2) 项目解析

A、项目边界图



a : 地磅和煤质分析仪 : b:蒸汽剂流量计: c:电表: d:柴油流

B、项目能耗核实情况

项目改造前、后能耗指标情况

项目实施前	时间	2006年1月至2006年12月			
	全厂总能耗	原煤(吨)	301771	折标系数	0.82
		外购蒸汽(吨)	78304.41	折标系数	0.129
		电(万千瓦时)	38335	折标系数	3.5
	柴油(吨)	37	折标系数	1.45	
项目实施后	时间	2007年3月至2008年2月			
	全厂总能耗	原煤(吨)	375712	折标系数	0.91
		外购蒸汽(吨)	24448.8	折标系数	0.129
		电(万千瓦时)	46436	折标系数	3.5
	柴油(吨)	58	折标系数	1.45	

项目改造前、后产品产量

项目实施前	时间	2006年1月至2006年12月
	合成氨(吨)	217513
项目实施后	时间	2007年3月至2008年2月
	合成氨(吨)	320978

C、项目节能量计算步骤及结果

$$E_0 = 301771 \times 0.82 + 78304.41 \times 0.129 + 38335 \times 3.5 + 37 \times 1.45$$

$$= 391779.6 \text{ (吨标煤)}$$

$$E_1 = 375712 \times 0.91 + 24448.8 \times 0.129 + 46436 \times 3.5 + 58 \times 1.45$$

$$= 507661.9 \text{ (吨标煤)}$$

$$M_0 = 217513 \text{ 吨} \quad M_1 = 320978 \text{ 吨}$$

$$E_{u0} = E_0 / M_0 = 391779.6 / 217513 = 1.80 \text{ (吨标煤/吨)}$$

$$E_{u1} = E_1 / M_1 = 507661.9 / 320978 = 1.58 \text{ (吨标煤/吨)}$$

节能量为:

$$\Delta E = (E_{u0} - E_{u1}) \times M_0 = (1.80 - 1.58) \times 217513 = 47852.86 \text{ (吨标煤)}$$

4.3.4 照明产品等用电类设备节能改造

(一) 按照照明设备功率计算节能量

1、节能量计算公式

$$\Delta E = n \times (P_0 - P_1) \times h \times b_{gd} \times 10^{-3}$$

其中： ΔE -改造设备的总节能量，tce

n -改造设备数量

P_0 -改造前设备功率，kw

P_1 -改造后设备功率，kw

h -年使用小时数，h

b_{gd} -全国火电平均供电标煤耗，0.335kgce/kwh（2011年）

2、计算说明

改造内容为采用节能型照明灯具替代落后照明灯具的项目，可以采用改造前后设备功率的变化计算节能量。

节能量的计算主要考虑如下内容：

(1) 掌握灯具改造前后功率的测试数据，通过现场以及资料确认实际照度前后的变化不大；

(2) 查阅企业改造前的能源消耗统计报表、台帐以及原始记录等资料，核实改造前的灯具数量、年耗能量等数据。

3、基期数据核实

对于只是考虑电力消耗的节能量项目，一般企业的电力消耗数据相对准确；但重点需要确认改造项目的边界，确定属于改造范围内的电力消耗数据。可以通过理论计算的方式核实基期能耗情况，理论计算方法可参考以下公式进行：

$$\text{年能源消耗量理论计算值： } E = n \times P_0 \times h \times b_{gd} \times 10^{-3},$$

其中：E-年能源消耗量，tce

n -改造设备数量

P_0 -改造前设备功率，kw

h -年使用小时数，h

b_{gd} -全国火电平均供电标煤耗，0.335kgce/kwh（2011年）

通过理论计算，核实企业改造边界内的能源消耗量与实际统计数据之间的合理关系，从而保证企业统计数据的真实性。

（二）按照照明设备节电率计算节能量

1、节能量计算公式

$$\Delta E = n \times \Delta E_n = n \times \eta \times P_0 \times h \times b_{gd} \times 10^{-3}$$

其中： ΔE -改造设备的总节能量，tce

ΔE_n -单台改造设备的节能量，tce

P_0 -改造前设备功率，kw

n -改造设备数量

η -改造前后的节电率，%

h -年使用小时数，h

b_{gd} -全国火电平均供电标煤耗，0.335kgce/kwh（2011年）

2、计算说明

改造内容为采用节能器类产品进行节能改造的项目，可以采用改造前后节电率的变化计算节能量。

节能量的计算主要考虑如下内容：

- 1) 通过现场以及资料确认改造前后实际照度的变化不大，掌握节能器类产品的适用范围、能效测试报告及相关数据；

2) 查阅企业改造前的能源消耗统计报表、台帐以及原始记录等资料，核实改造前的灯具数量、年耗能量等，核实实际需要安装的节能器数量等数据。

3、基期数据核实

基期数据核实方法与按改造前后设备功率的变化计算节能量的核实方法相同。

4.4 常见问题分析

4.4.1 系统设备效率

设备技改后没有专门的效率测试时，根据工艺流程将技改内容分段核实。有条件的情况下，采用设备的计量统计台账进行效率计算。

4.4.2 项目边界扩大

当系统中分段计量设备不完善，且没有测试设备情况下采用单耗计算会导致项目边界扩大，节能量准确度降低。在该情况下，结合企业资金申请报告，确保单耗计算节能量低于申请节能量。

4.5 节能量经验值

(一)电机系统优化项目的节能量为基准总能耗的 0~20%

(二)绿照系统节能改造节能量为基准总能耗的 0~50%