



高效电机及电机系统节能

杨向宇



2016年5月
华南理工大学 广州

一、高效电机的定义

二、国内外标准及政策规定

三、电机能效提升计划

四、发展趋势

五、电机及其传动系统的节能

一、高效电机的定义

二、国内外标准及政策规定

三、电机能效提升计划

四、发展趋势

五、电机及其传动系统的节能

定义

高效电机是指效率较高的电机，效率能够满足相关的能效等级要求，其功率等级、安装尺寸关系及其他性能要求与一般电机相同。

高效电机最早出现在上世纪七十年代第一次能源危机时，与一般电机相比其损耗下降约20%左右。由于能源供应的持续紧张，近年又出现了超高效电机，其损耗又比高效率电机下降15%~20%。

定义

高效电机从设计、材料和工艺上采取措施，例如采用合理的定、转子槽数、风扇参数和正弦绕组等措施，降低损耗，效率可提高2%——8%，平均提高4%。2002年，中国电动机总容量约400GW，其中近80%为中小型，年用电量660TW·h。中小型电动机平均效率87%，国际先进水平为92%。中国中小型电动机节电潜力约为12TW·h。

从节约能源、保护环境出发，高效率电动机是现今国际发展趋势，美国、加拿大、欧洲相继颁布了有关法规。欧洲根据电动机的运行时间，制定的CEMEP标准将效率分为eff1（最高）、eff2、eff3（最低）三个等级，从2003-2006年间分步实施。最新出台的IEC 60034-30标准将电机效率分为IE1（对应eff2）、IE2（对应eff1）、IE3、IE4（最高）四个等级。我国承诺从2011年7月1日起执行IE2及以上标准。

定义

随着我国加入WTO，我国电机行业所面临的国际社会的巨大竞争压力和挑战日益加剧。从国际和国内发展趋势来看，推广中国高效率电动机是非常有必要的，这也是产品发展的要求，使我国电动机产品跟上国际发展潮流，同时也有利于推进行业技术进步和产品出口的需要。据统计，2002年我国电机耗电占全国耗电量的60%以上，其中小型三相异步电机耗电约占35%，是耗电大户，所以开发中国高效电动机是提高能源利用率的重要措施之一，符合我国发展的需要，是非常必要的。

定义

目前我国工业能耗约占总能耗的70%，其中电机能耗约占工业能耗的60%~70%，加上非工业电机能耗，电机实际能耗约占总能耗的50%以上。而现今高效节能电机应用比例低。根据国家中小电机质量监督检验中心对国内重点企业198台电机的抽样调查，其中达到2级以上的高效节能电机比例只有8%。这对整个社会资源产生了极大的浪费。

有机构做过计算，如果将所有电动机效率提高5%，则全年可节约电量达765亿千瓦时，这个数字接近三峡2008年全年发电量。所以说节能电机行业的发展空间大、需求性强。政策方面，国家标准化管理委员会于2012年发布了强制性标准《GB 18613-2012 中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》。

一、高效电机的定义

二、国内外标准及政策规定

三、电机能效提升计划

四、发展趋势

五、电机及其传动系统的节能

国内外高效电机标准



美国电动机能效标准

1992年通过
EPACT法令，
以法律形式
执行NEMA
12-10标准

2007年通过立法，
2010年12月17日
开始执行IE3标准
(等同于NEMA
Premium)

1989年制定
NEMA 12-9标
准，后在此标准
基础上先后制定
NEMA 12-10、
NEMA 12-11

2002年
制定
NEMA
Premium
标准

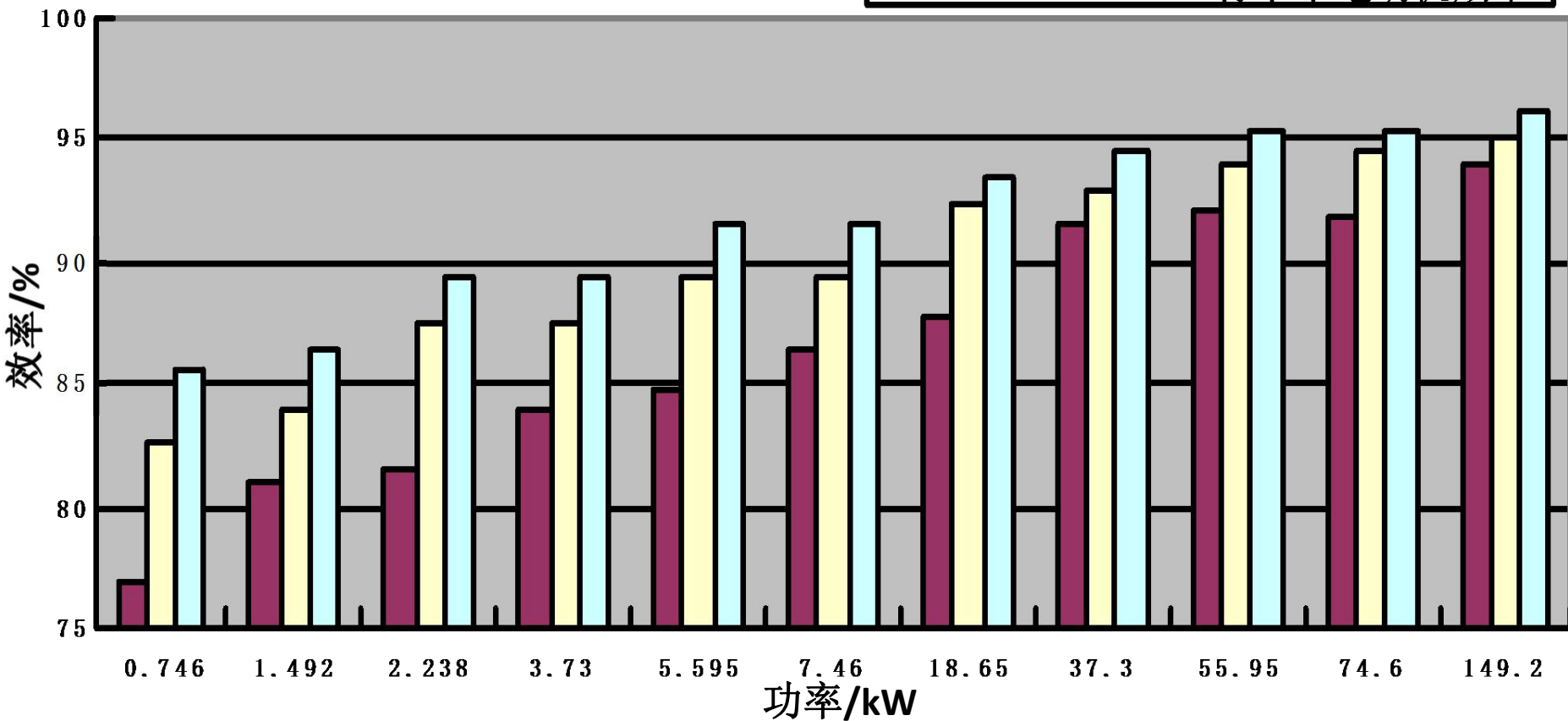
国内外高效电机标准



美国电动机能效标准

美国电动机能效标准与一般工业电动机效率的比较

- 一般工业电动机效率
- EPACT法令中电动机效率
- NEMA Premium标准中电动机效率



国内外高效电机标准



欧盟电动机能效标准

1999年欧盟提出
EU-CEMEP协议：
将电动机效率分为
EFF1、EFF2、
EFF3三级

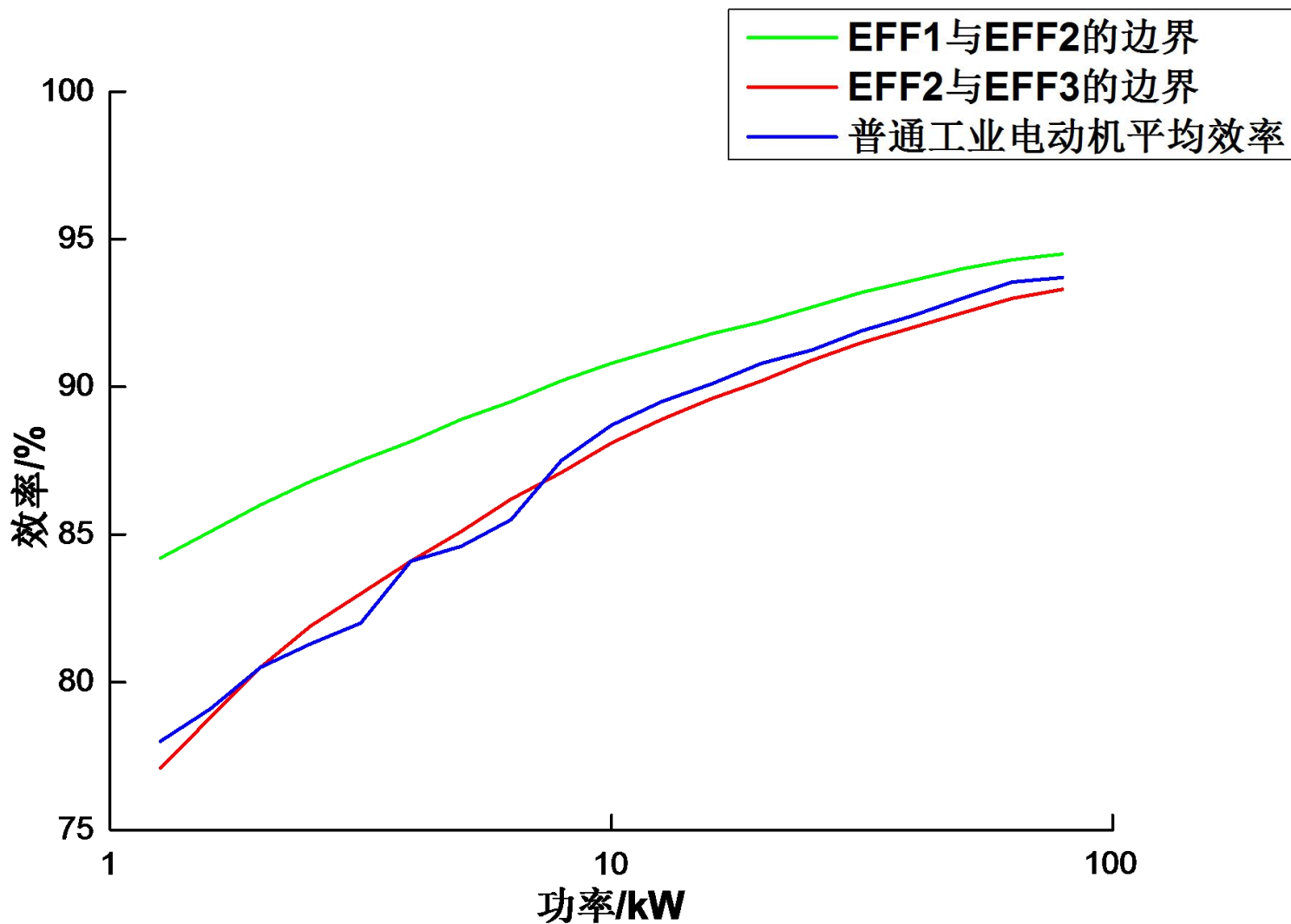
2005年底执行
EFF2标准（IE1）

2007年8月11日，
欧盟Eup环保指令正
式转化为各成员国
法规，2011年起执
行EFF1标准（IE2）

国内外高效电机标准



欧盟电动机能效标准



国内外高效电机标准



中国电动机能效标准

2002

1月正式发布《中小型三相异步电动机能效限定值及节能评价价值（GB 18613-2002）》标准。

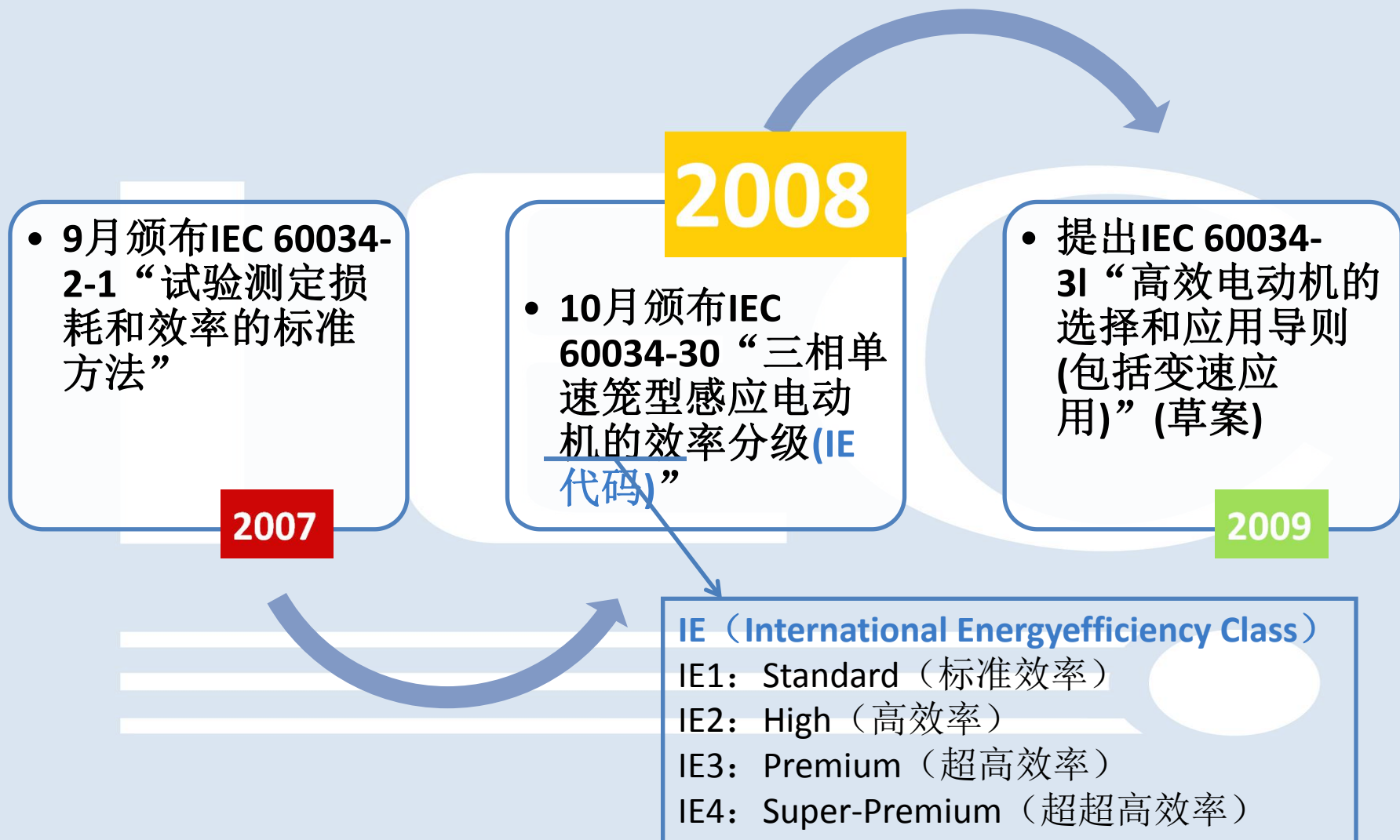
2005

修订《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级（GB 18613-2006）》，规定2011年7月1日起实施国家二级能效标准（IE2高效电机）。

2012

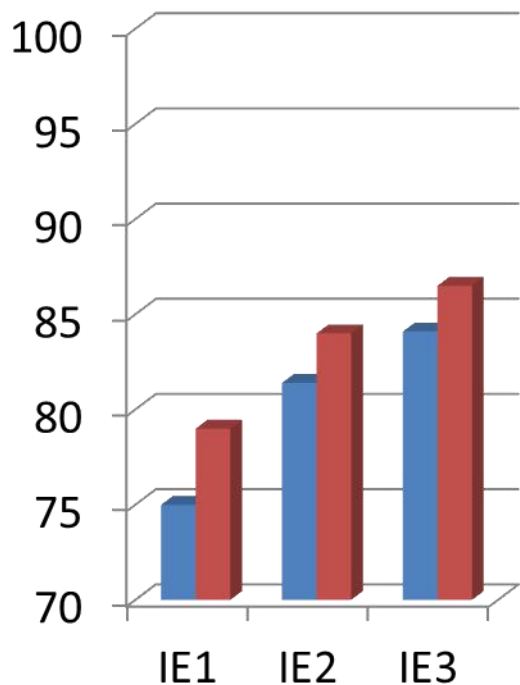
9月1日发布《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级（GB 18613-2012）》，规定2016年9月1日起实施新的国家二级能效标准（IE3超高效电机）。

国际电工委员会(IEC)电动机能效标准

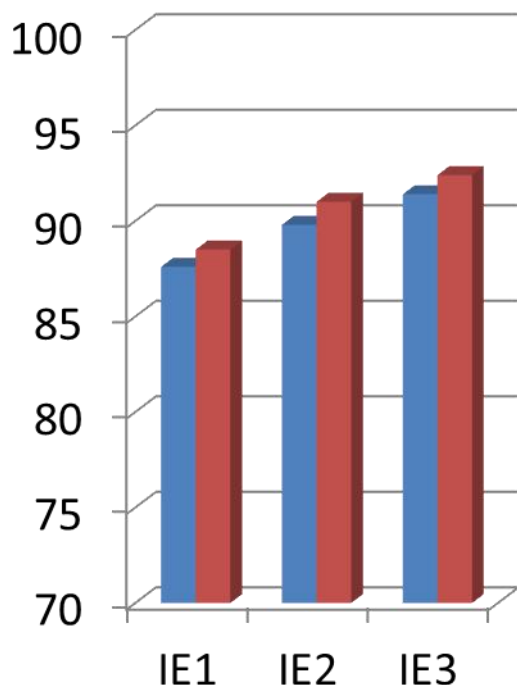


国际电工委员会(IEC)电动机能效标准

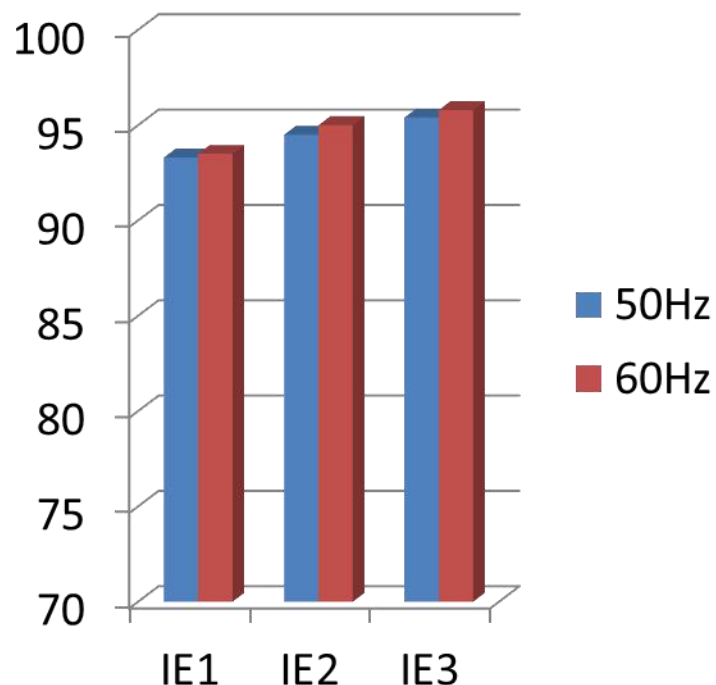
典型效率数值 (4极电机)



1.1kW



11kW



110kW

国内外高效电机标准



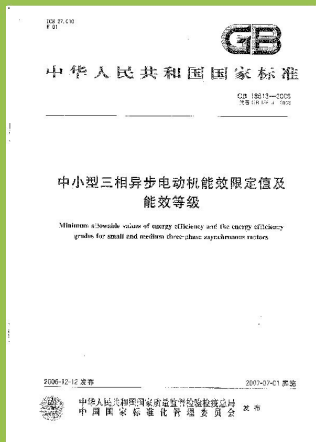
国际、国家能效等级及其他能效指标的关系

		IEC	欧洲	中国		美国	能效限定值年限
				GB18613-2006	GB18613-2012		
能效分级	超超高效	IE4			1级		
	超高效	IE3		1级	2级	NEMA Premium	YE3 2016.9.1
	高效	IE2	EFF1	2级	3级	EPAct	YX3 2011.7.1
	标准效率	IE1	EFF2	3级			Y 2007.7.1
	低效率		EFF3				

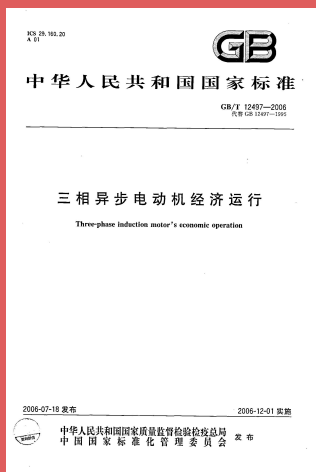
推广政策

2011年3月财政部、发改委联合颁布了《关于做好2011年高效电机推广工作的通知》（财建2011-62号），对购买和使用高效电机的企业给予一定额度的财政补贴，该补贴标准持续到2012年年底前：

产品类型	额定功率（千瓦）	补贴标准（元/千瓦）
低压三相异步电机	$0.55 \leq \text{额定功率} \leq 22$	58
	$22 < \text{额定功率} \leq 315$	31
高压三相异步电机	$355 \leq \text{额定功率} \leq 25000$	26
稀土永磁电机	$0.55 \leq \text{额定功率} \leq 100$	100



GB 18613-2012《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》规定，2012年9月1日起，凡是能效低于限定值的产品将不能继续生产销售。



GB/T 12497-2006《三相异步电动机经济运行》规定，2006年12月1日起，年运行时间超过3000小时，负载率大于60%的电动机应优先选用能效指标符合节能评价值的节能（高效）电机。

规定

国务院[2005]40号
《产业结构调整指导
目录(2005年本)》：
淘汰类：J02、J03系
列，JD02、JD03系列，
YB隔爆型

国家发改委[2011]9号
《产业结构调整指导目
录(2011年本)》：
淘汰类：YB、YBF、YBK
系列隔爆型三相异步电
动机
限制类：Y、Y2系列电
机

工信部[2009]67号《高
耗能落后机电设备(产
品)淘汰目录(第一
批)》：
J02、J03系列，JD02、
JD03系列，J2、JZ系列
三相异步电动机(停止
生产、尽快更换)

工信部[2012]14号
《高耗能落后机电设
备(产品)淘汰目录
(第二批)》：
Y、Y2系列电机(停
止生产，规定期限内
停止使用)

上海市经信委、发改委[2012]181号文件：
《关于落实本市2012年高效电机推广任务的通知》

- ①GB18613-2006 能效三级（普通效率）禁止生产，在用逐步淘汰
- ②新建、搬迁选用高效电机
- ③工信部[2009]67号涉及电机（J、JO、YB）2013年底前淘汰
- ④JS/JSQ电机2015年底前淘汰

一、高效电机的定义

二、国内外标准及政策规定

三、电机能效提升计划

四、发展趋势

五、电机及其传动系统的节能

计划时间：2013-2015



华南理工大学 电力学院
South China University of Technology

背景

为贯彻落实“十二五”节能减排规划和工业节能“十二五”规划，推动高效电机开发和推广应用，促进电机产业升级，全面提高电机能效水平，工业和信息化部、质检总局决定组织实施全国电机能效提升计划。

计划时间：2013-2015



华南理工大学 电力学院
South China University of Technology

主要目标

- 到2015年，实现电机产品升级换代，50%的低压三相笼型异步电动机产品、40%的高压电动机产品达到高效电机能效标准规范；累计推广高效电机1.7亿千瓦，淘汰在用低效电机1.6亿千瓦，实施电机系统节能技改1亿千瓦，实施淘汰电机高效再制造2000万千瓦。
- 2015年当年实现节电800亿千瓦时，相当于节能2600万吨标准煤，减排二氧化碳6800万吨。

计划时间：2013-2015



华南理工大学 电力学院
South China University of Technology

基本原则

1

调整与增量提升相结合

2

研发与推广示范相结合

3

坚持淘汰低效电机与电机高效再制造相结合

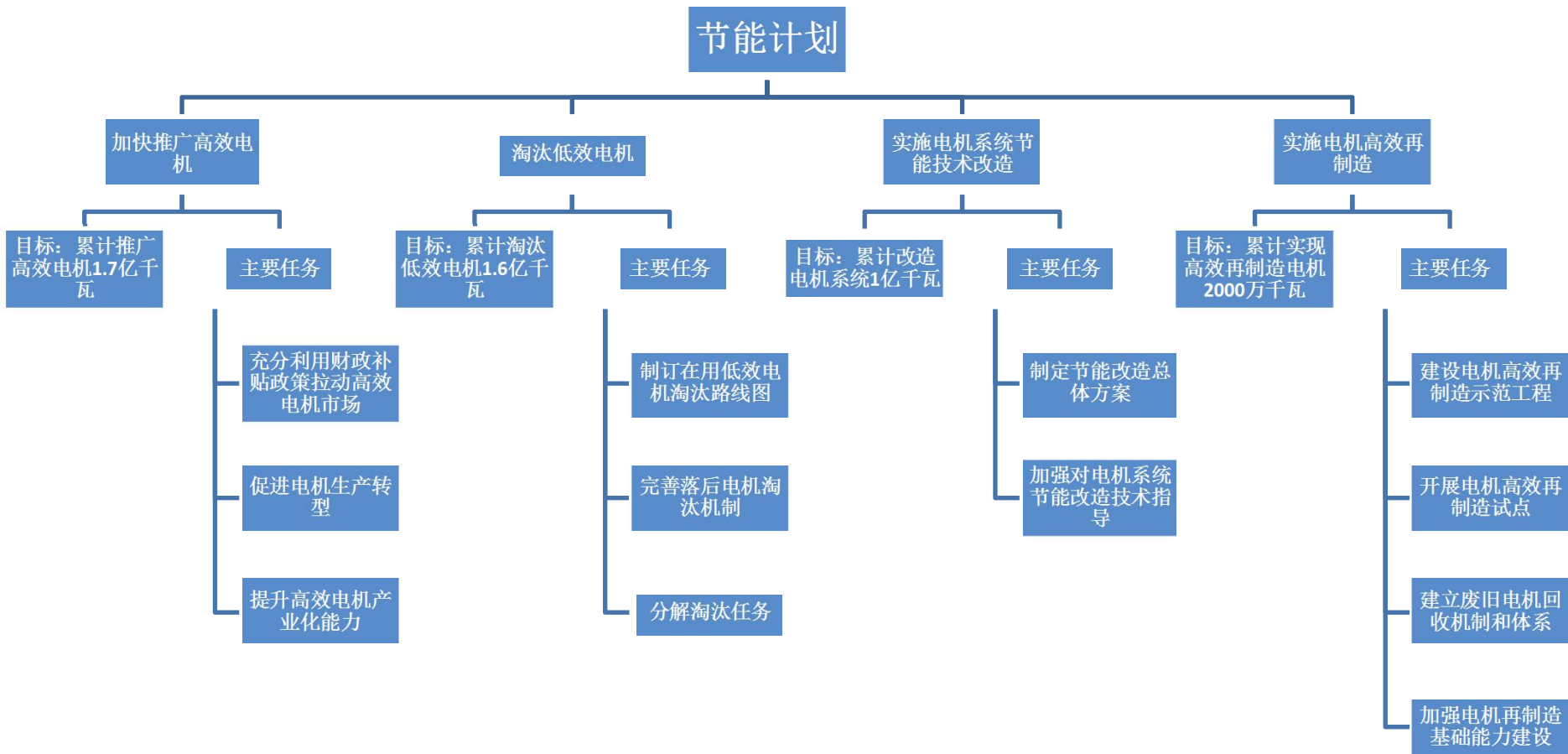
4

激励与标准约束相结合

计划时间：2013-2015



节能计划




一、高效电机的定义

二、国内外标准及政策规定

三、电机能效提升计划

四、发展趋势

五、电机及其传动系统的节能



效率进一步提高

市场占有率将有明显上升

高效节能电机将促进产业结构调整

一、高效电机的定义

二、国内外标准及政策规定

三、电机能效提升计划

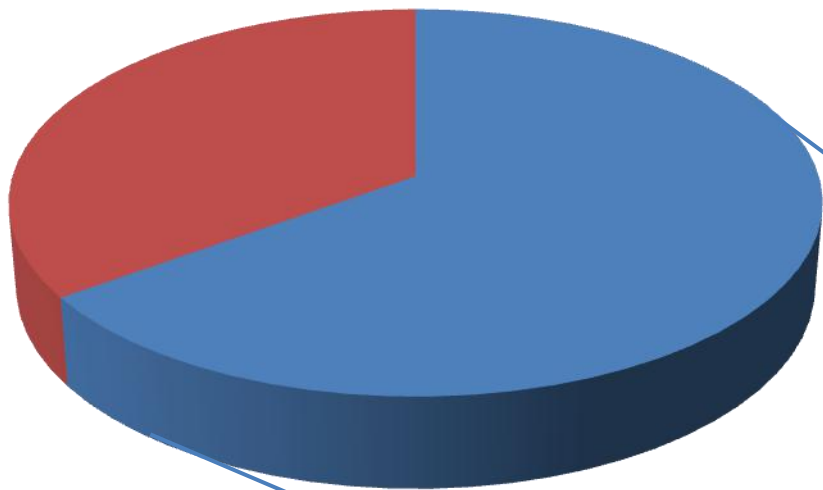
四、发展趋势

五、电机及其传动系统的节能

全国用电情况

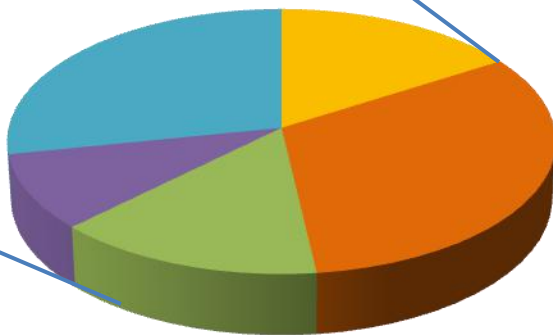
全国总耗电量

- 电机
- 其他



电机总耗电量

- 风机
- 泵类
- 压缩机
- 空调制冷机
- 其他



节能方式

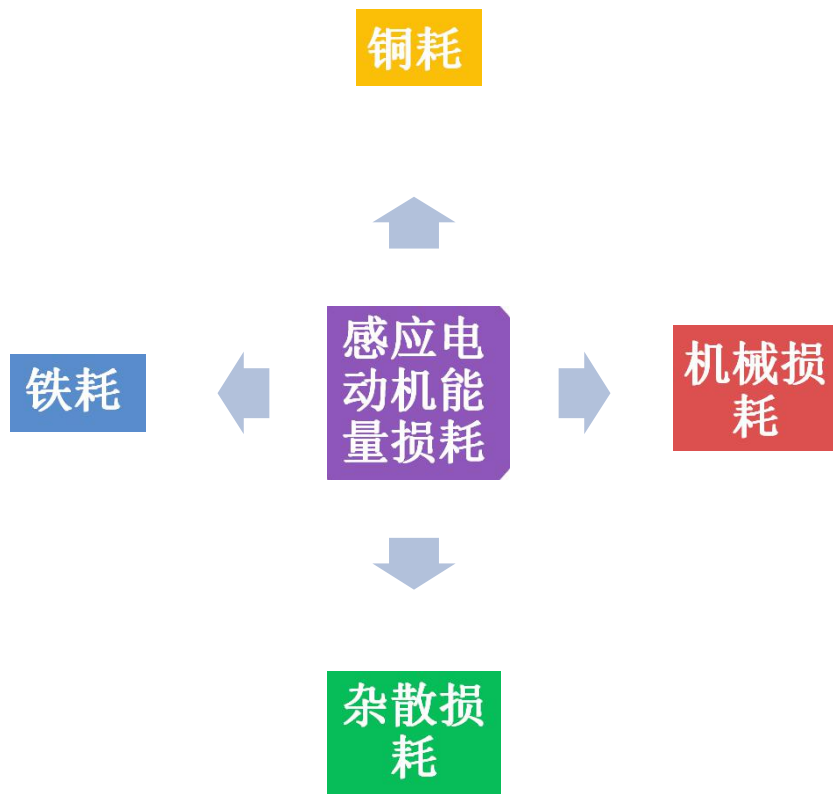
1

从电机本身实现节能

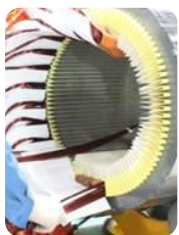
2

从电机系统实现节能

感应电动机节能



感应电动机节能



降低铁耗

- 选用高效硅钢片，确保材质的低损耗、高磁感特性
- 先进合理的槽形设计
- 更薄的硅钢片

降低杂散损耗

- 优化的电磁设计
- 更高要求的制造工艺措施



降低转子铝耗

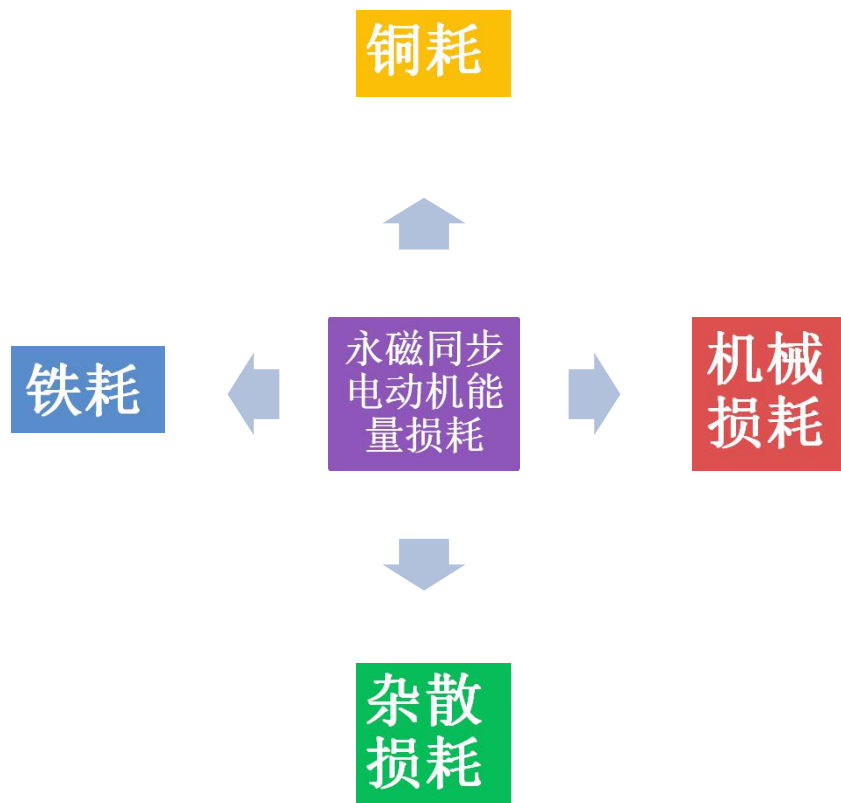
- 优异的转子压铸工艺
- 改进转子绝缘
- 高压冲模铸铝转子
- 高的转子动平衡



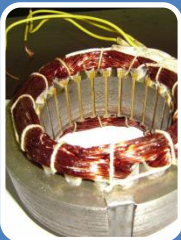
降低机械损耗

- 不降低冷却效果的前提下，使用更小尺寸的风扇
- 更高品质的轴承
- 更高等级的定转子同心度，降低振动、摩擦

永磁同步电动机节能



永磁同步电动机节能



降低定子铜耗

- 合理设计空载反电势
- 更高质量等级铜线
- 紧凑的端部设计
- 良好的槽满率
- 优异的浸漆工艺
- 适当增加铁心长度（降低电流密度）



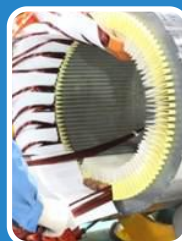
降低铁耗

- 优化气隙磁场波形
- 选用高效片，确保材质的低损耗、高磁感特性。
- 先进合理的槽形设计。
- 更薄的硅钢片



降低机械损耗

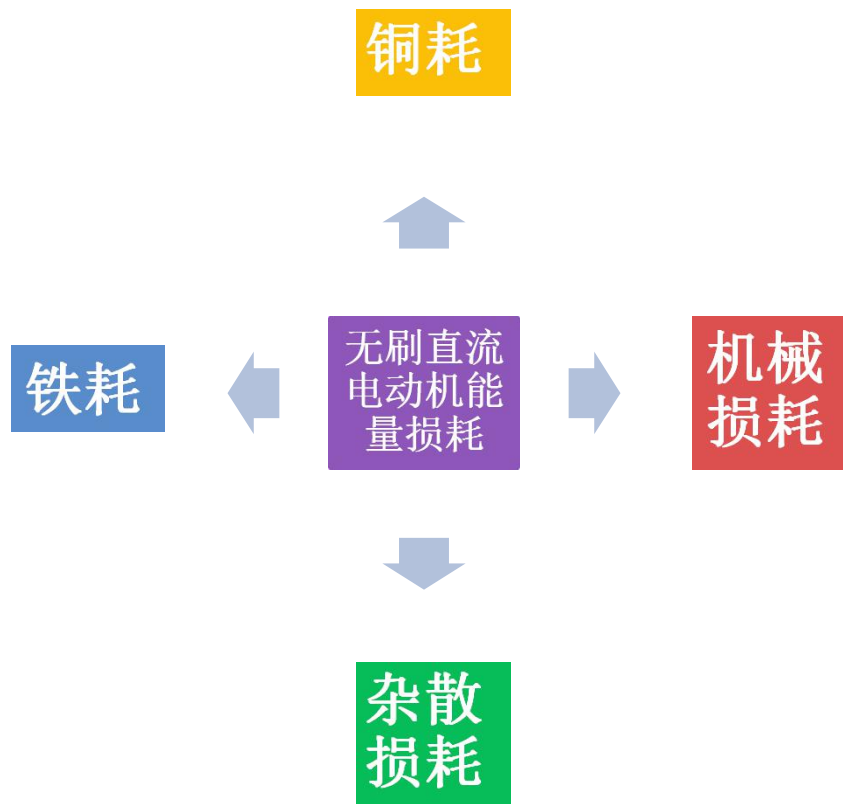
- 不降低冷却效果的前提下，使用更小尺寸的风扇
- 更高品质的轴承
- 更高等级的定转子同心度，降低振动、摩擦



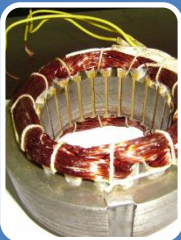
降低杂散损耗

- 合理设计极弧系数
- 选取合适的槽配合
- 采用合适的绕组形式
- 减小槽口宽度或采用闭口槽适当增大气隙长度
- 定子斜槽

无刷直流电动机节能



无刷直流电动机节能



降低定子铜耗

- 合理设计空载反电势
- 更高质量等级铜线
- 紧凑的端部设计
- 良好的槽满率
- 优异的浸漆工艺
- 适当增加铁心长度（降低电流密度）



降低铁耗

- 优化气隙磁场波形
- 选用高效片，确保材质的低损耗、高磁感特性。
- 先进合理的槽形设计。
- 更薄的硅钢片



降低机械损耗

- 不降低冷却效果的前提下，使用更小尺寸的风扇
- 更高品质的轴承
- 更高等级的定转子同心度，降低振动、摩擦



降低杂散损耗

- 合理设计极弧系数
- 选取合适的槽配合
- 采用合适的绕组形式
- 减小槽口宽度或采用闭口槽适当增大气隙长度
- 定子斜槽

我国电机系统能效现状

- 电动机和被拖动设备效率低
- 系统运行效率低
- 节能技术和装备水平相对落后

各国电机系统节能推进措施和项目

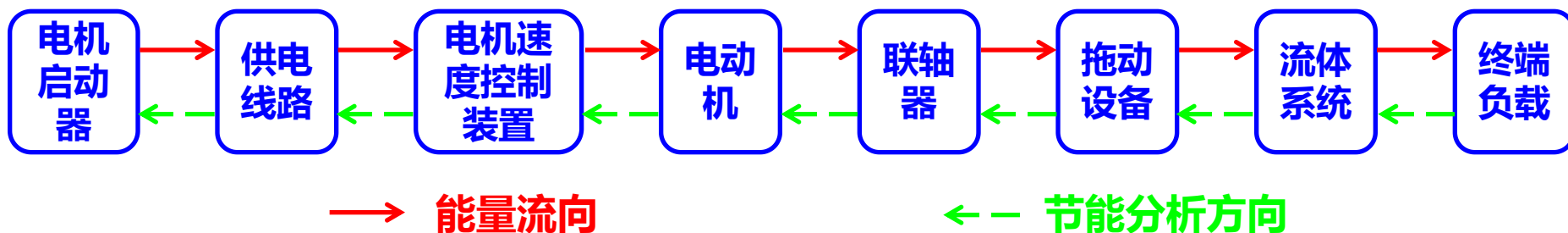
1999年美国
“电机挑战
计划”

2001年上海、
江苏“中国
电机系统节
能项目”

2003年欧盟
“电机挑战
计划”

2005年中国
“终端能效
项目”

电机系统节能潜力分析方法



- (1) 分析当前的工艺生产需求，以及未来的生产发展需求；
- (2) 了解系统当前的运行状态和参数；
- (3) 收集系统运行数据并对其进行分析；
- (4) 提出替代的系统设计方案和改进；
- (5) 对潜在的节能方案进行比较，确定技术上最可行、投资回报最合理的方案；
- (6) 对确定的方案进行实施；
- (7) 继续检测和优化系统；
- (8) 继续运行并维护系统，保证系统高效运行。



电机系统节能技术

提高系统
中单台设
备的运行
效率

系统
造

变频节能的分析与应用



变频节能的分析与应用

某发电厂为单机200 MW国产发电机组，电机容量设计在发电机满负荷时还有10%~15%的余量。年负荷率不到75%（一般在150 MW运行）工况下运行，所以运行经济性能差，2008年上半年综合厂用电率达9.89%，供电煤耗383g/kWh。

负载类型	额定功率	额定电流	电机极数	功率因数	机组
引风机	1800 kW/6 kV	201 A	6	0.85	3号~6号
送风机	450 kW/6 kV	56 A	6	0.77	
一次风机	1250 kW/6 kV	140 A	4	0.86	
凝升泵	360 kW/6 kV	41.3 A	6	0.85	

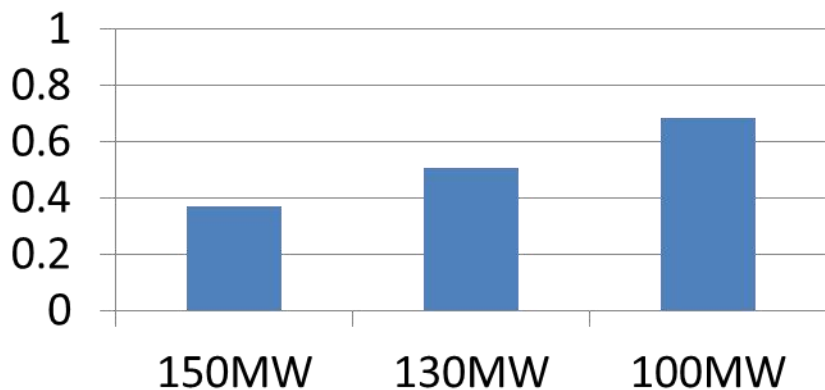
电机工频运行能耗： $P_0 = \sqrt{3}U_N I \cos \varphi$

变频运行频率： $50x$ Hz 功率降为额定功率的 x^3 倍： $P = x^3 P_e$

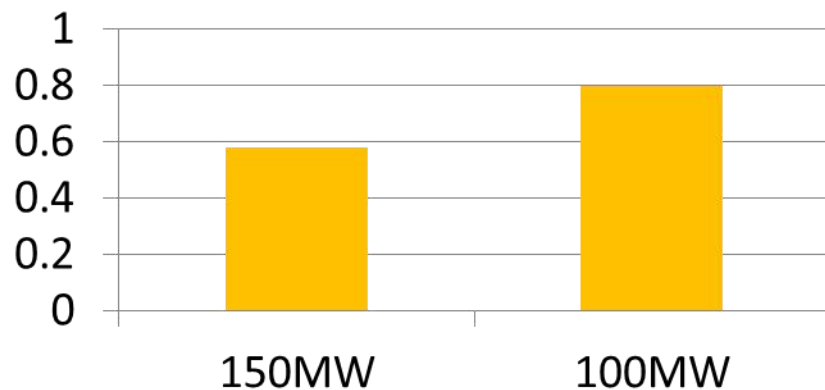
预计节能： $P_i = P_0 - x^3 P_e - 10\% P_e = \sqrt{3}U_N I \cos \varphi - x^3 P_e - 10\% P_e$ 节能比： P_i/P_0

变频节能的分析与应用

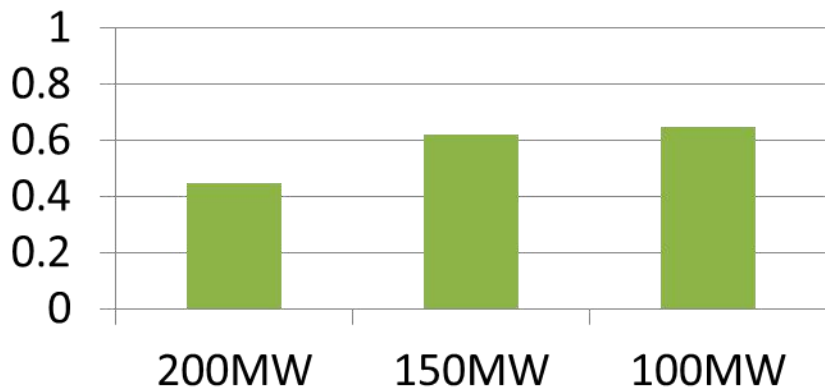
引风机不同负荷节能比



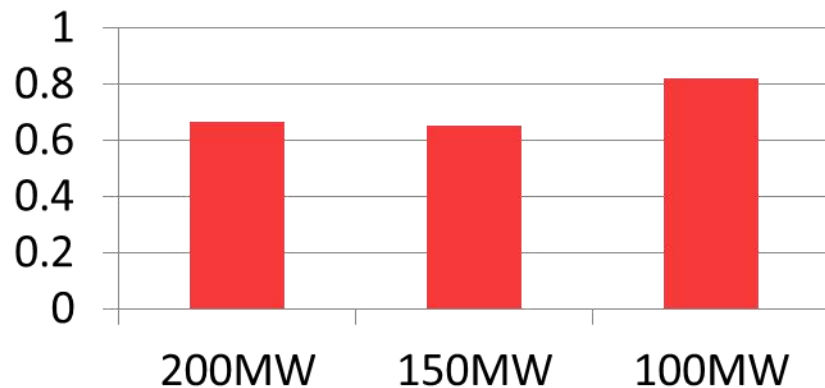
送风机不同负荷节能比



一次风机不同负荷节能比



凝升泵不同负荷节能比



变频节能的分析与应用

2008年该发电厂对3号~6号机组32台转机实施了变频节能改造，共安装变频器28台，一次性投资3453万元。根据以上分析计算每年可节电约6313万kWh，按0.6元/kWh计算，可节约3787.8万元。

采用高效稀土永磁电机的节能应用

以7.5 kW-4P的纺织细纱机专用高效（稀土）永磁同步电动机为例，其节能效果如下：

7.5 kW-4P高效永磁电动机效率按95%，功率因数按0.95计算，普通感应电动机效率按87%，功率因数按0.85计算。

则感应电动机输入功率为

$$P_{1i} = \frac{7500}{0.87} = 8621(\text{W}) = 8.621(\text{kW})$$

高效永磁同步电动机输入功率为

$$P_{1s} = \frac{7500}{0.95} = 7895(\text{W}) = 7.895(\text{kW})$$

按1 kWh的电费为0.65元计算，一年以350天计算，一天20小时工作，一年节省的电费为：

$$0.65 \times (P_{1i} - P_{1s}) \times 350 \times 20 = 0.65 \times (8.621 - 7.895) \times 350 \times 20 = 3303.3(\text{元})$$

感应电动机的“大马拉小车”改造应用

某纺织电机厂原先配用的是0.8kW的感应电机，而换成0.6 kW的感应电机。将两台电机分别装在织机上，并各自装上三相电度表。改造前后数据比较：

电机型号	功率 (KW)	厂商	产量 (m/年)	电耗 (kWh/年)	线路百米耗电 (kWh/年)
FO-54-8	0.8	某纺织电机厂	10630	11214	103.5
FO-54-6	0.6	某纺织电机厂	10695	10357	94.5



谢谢！

