



The China Sustainable Energy Program  
中国可持续能源项目

大卫与露茜尔·派克德基金会  
威廉与佛洛拉·休利特基金会 合盟  
能源基金会  
项目资助号: G-0404-07383

---

**主要工业耗能产品超前能效标准  
可行性研究**

**Feasibility Research of Reach Energy  
Efficiency Standards of Major Industry  
Energy Consumption Products**

中国标准化研究院

China National Institute of Standardization

2005年3月

# 主要工业耗能产品超前能效标准 可行性研究

## Feasibility Research of Reach Energy Efficiency Standards of Major Industry Energy Consumption Products

课题负责人	李爱仙		
课题研究人员	李爱仙	高级工程师	中国标准化研究院
	赵跃进	高级工程师	中国标准化研究院
	张新	工程师	中国标准化研究院
	梁秀英	高级工程师	中国标准化研究院
	金明红	高级工程师	中国标准化研究院
	郑家强	高级工程师	国家压缩机制冷设备质检中心
	李玉琦	高级工程师	江苏节能中心
	秦宏波	工程师	上海节能中心
	刘英洲	研究员	中国机械工业节能中心
	辛定国	研究员	国家发改委能源研究所

## 目 录

表 格.....	1
图 形.....	2
执行报告.....	4
(一) 项目概况.....	4
(二) 主要工作过程.....	5
(三) 项目实施效果预测.....	7
(四) 政策建议.....	10
一、 前言.....	12
二、 超前能效标准的提出.....	18
(一) 能效标准的作用.....	18
(二) 我国能效标准的特点.....	19
(三) 国际差距.....	20
(四) 实施超前能效标准的意义.....	21
三、 节能潜力计算方法.....	22
四、 中国主要工业耗能产品超前能效标准的节能潜力.....	30
(一) 泵.....	30
(二) 风机.....	57
(三) 空气压缩机.....	77
五、 实施超前标准的可行性分析及预期障碍.....	94
(一) 标准研制方面.....	94
(二) 标准执行方面.....	99
(三) 超前标准制定的排序.....	104
六、 政策建议.....	106
七、 结论.....	113
八、 基本参数附表.....	115
参考文献.....	116

## 表 格

表 0-1: 项目节能量预测表 .....	9
表 1-1: 全国近年废气中二氧化硫的排放量.....	13
表 1-2: 全国近年废气中主要污染物排放量.....	13
表 4-1: 泵类产品类型 .....	31
表 4-2: 泵的特性 .....	32
表 4-3: 清水离心泵运行时间统计表 .....	41
表 4-4: 提高清水离心泵效率的技术手段 .....	45
表 4-5: 国际泵类产品强制性能效标准和标识制度 .....	46
表 4-6: CO <sub>2</sub> 排放系数.....	50
表 4-7: 2002 年全国部分地区各用电领域平均电价.....	53
表 4-8: 风机产品类型 .....	58
表 4-9: 风机主要性能参数 .....	59
表 4-10: 通风机运行时间统计表 .....	66
表 4-11: 提高通风机效率的技术手段 .....	71
表 4-12: 空气压缩机产品类型 .....	78
表 4-13: 容积式空压机运行时间统计表 .....	84
表 4-14: 提高容积式空气压缩机效率的技术手段 .....	86
表 5-1: 生产商重视技术创新程度统计 .....	100
表 5-2: 生产商对提高产品能效的支持程度统计 .....	100
表 5-3: CCP、VF、DAC 产品制造水平调查.....	101
表 5-4: 超前能效标准制定排序 .....	105
表 6-1: 提高产品能源利用率的途径 .....	112
表 8-1: 基本参数汇总 .....	115

## 图 形

图 0-1: 项目节能量预测.....	9
图 1-1: 不同降水酸度城市比例.....	14
图 4-1: 离心泵典型特性曲线 .....	33
图 4-2: 2001 年泵产品市场份额.....	35
图 4-3: 2001 年清水离心泵产量比重.....	35
图 4-4: 不同规格清水离心泵的平均寿命 .....	37
图 4-5: 清水离心泵产量预测 .....	38
图 4-6: 清水离心泵社会保有量预测 .....	39
图 4-7: 清水离心泵配套功率趋势图 .....	40
图 4-8: 清水离心泵配套功率分布情况 .....	41
图 4-9: 清水离心泵能耗量预测表 .....	43
图 4-10: 清水离心泵通常可获得的效率 .....	47
图 4-11: 清水离心泵能效提高幅度企业调查情况 .....	48
图 4-12: 清水离心泵节能量预测表 .....	49
图 4-13: 大气污染物减排预测 (清水离心泵) .....	51
图 4-14: 2002 年全国部分地区电价.....	52
图 4-15: 1990-1999 年国家电力公司各电网平均电价变化趋势.....	54
图 4-16: 2002~2020 年普通工业平均电价预测.....	54
图 4-17: 清水离心泵投资增量预测 .....	56
图 4-18: 清水离心泵节能效益预测 .....	56
图 4-19: 风机典型性能曲线 .....	60
图 4-20: 2001 年风机产品市场份额.....	60
图 4-21: 2001 年通风机产品市场份额.....	61
图 4-22: 不同规格通风机的平均寿命 .....	62
图 4-23: 通风机产量预测 .....	63
图 4-24: 通风机社会保有量预测 .....	64
图 4-25: 通风机配套功率趋势图 .....	64
图 4-26: 通风机配套功率分布情况 .....	65
图 4-27: 通风机能耗预测 .....	67
图 4-28: 不同工业风机效率比较 .....	72
图 4-29: 通风机厂商对国家强制性最低效率值的期望 .....	73
图 4-30: 通风机节能量预测 .....	74
图 4-31: 污染物减排预测 (通风机) .....	75
图 4-32: 通风机投资增量预测 .....	76
图 4-33: 通风机节能经济效益预测 .....	77
图 4-34: 不同规格容积式空压机的平均寿命 .....	81
图 4-35: 容积式空气压缩机产量预测 (小型、微型) .....	82
图 4-36: 容积式空气压缩机产量预测 (大中型) .....	82
图 4-37: 容积式空压机保有量预测 (小型、微型) .....	83
图 4-38: 容积式空压机保有量预测 (大中型) .....	83

图 4-39: 容积式空压机能耗预测 .....	85
图 4-40: 容积式空压机厂家对国家强制性最低效率值的期望 .....	89
图 4-41: 空压机比功率分布情况 .....	89
图 4-42: 容积式空压机节能预测 .....	91
图 4-43: 污染物减排预测 (容积式空压机) .....	92
图 4-44: 容积式空压机投资增量 .....	93
图 4-45: 容积式空压机节能经济效益 .....	93
图 7-1: CCP、VF、DAC 节能总量预测 .....	113

## 执行报告

### (一) 项目概况

工业在我国能源消耗方面占有绝对主导地位，耗电量超过全国年总发电量的 70%，工业领域的节能也一直是我国政府节能工作的重点。随着我国工业化进程进入关键阶段，工业耗能毫无疑问仍将占据绝对优势。鉴于工业领域主要耗能产品例如电动机、泵类、空压机、变压器、工业锅炉等能效性能指标、评价方法不尽相同，某些重要耗能产品的超前能效标准已进行专项研究，本项目中所涉及的主要工业耗能产品包括风机、泵类和空气压缩机。

风机、泵类、空气压缩机是我国工业领域最主要的耗能设备，属于量大面广的产品，广泛应用于石油、化工、煤炭及矿产开采、电力、冶金、环保、城建等国民经济各领域。据专家估计，这类产品的年耗电总量占全国总发电量的 40%左右，配套电机容量约占电机额定年产容量的 60%。其中，泵类产品年耗电量约为全国总发电量的 20%，风机和空气压缩机产品则各占 10%左右。我国风机、泵类、空气压缩机的产品性能和能源效率水平与发达国家的产品水平相比还存在着一定的差距，能源浪费现象相当严重。加上近几年我国能源短缺，电力供应无法满足需求的现象屡见不鲜，2004 年用电高峰期，全国先后有超过 24 个省级电网出现拉闸限电的现象。节约能源，提高工业耗能产品能源利用效率进一步得到了我国政府的重视。

截至目前，我国已经相继研制完成了一系列工业领域主要耗能产品的能效标准。其中电动机能效标准于 2002 年开始实施；容积式空气压缩机的

能效标准于 2003 年 5 月份发布，并于 11 月 1 日开始实施；清水离心泵和通风机的能效标准正在进行公示，近期可望发布。这些已颁布的能效标准大多属于现状标准，一般在发布后半年内开始实施，因此此类能效标准中的指标普遍偏低。为了切实达到能效标准的节能效果，也为企业树立明确的发展目标，鼓励企业走上技术创新的发展道路，研究主要工业产品超前能效标准的可行性提上了工作日程。目前，在美国能源基金会、CLASP 的资助下，我们正在组织电动机超前能效标准的研究工作。与此同时，风机、泵类和空气压缩机超前能效标准的可行性研究项目也得到了美国能源基金会、大卫与露茜尔·派克德基金会和威廉与佛洛拉·休利特基金会的鼎力资助。本项目的起始时间为 2004 年 7 月至 2005 年 1 月，项目资助号：G-0404-07383。合同的执行单位为中国标准化研究院，项目开展得到了国际铜业协会、国家压缩机制冷设备质检中心等相关机构的帮助，在此表示衷心的感谢。

本项目的主要研究内容包括风机、泵类和空气压缩机产品最新的市场调查、研究和预测，产品能耗情况和节能经济效益模型分析，国内外相关产品的能效情况，超前能效标准的研制、执行障碍分析，产品能效标准研制排序表以及可行的政策建议和措施等方面。

## （二）主要工作过程

超前能效标准可行性研究工作可分为四个阶段。

第一阶段收集分析国内外相关资料。包括查询国家统计局、机械行业协会、国家信息中心等国内权威统计机构的统计信息，查阅相关行业报告、



学术论文、产品手册和书籍等。调查内容主要包括行业总体概况，三类主要工业耗能产品的产量、供需状况。通过对大量统计数据的收集和分析，我们确立了项目研究的分析对象，即在泵类、风机和压缩机产品中占据着主导地位的清水离心泵、通风机和容积式空气压缩机。此外，项目组对国外相关产品的行业概况、相关产品标准特别是能效方面的标准、产品的技术创新以及政府在推行高效产品时采用的政策措施等也进行了收集和研究。

第二阶段开展全国性的市场调查。研究所委托国内权威调查公司（北京智诚友邦信息咨询有限公司）对国内风机、泵类、空气压缩机生产企业进行全面调查，此次调查对象偏重于大中型生产商。调查的主要参数包括产品的平均配套功率、产品典型寿命、高效产品型号、先进生产技术、对提高产品能效标准限定值指标的态度等问题。由于调查内容繁多，涉及到三类主要工业耗能产品，加上项目经费有限，此次调查主要是定性调查。对于分析模型中关键参数的定量化，则主要参考了国家统计局的统计信息和专家的意见加以确定。

第三阶段确定技术指标和模型分析。根据市场调查反馈的信息、国家统计资料、专家意见以及三类产品现行能效标准中的能效限定值和节能评价价值来初步设定超前能效指标并进行模型分析，以便更好的检验指标是否合理。

第四阶段撰写研究报告。根据以上调研分析，比较三类产品的节能潜力、技术可行性，对产品超前能效标准制定的先后顺序进行排序，分析超前能效标准的制定和执行障碍，提出政策建议、措施，并撰写、修改、完

善研究报告。

### （三）项目实施效果预测

风机、泵类和空气压缩机属于通用机械类产品，在中国国民经济各行各业中占有很重要的地位。这类产品的突出特点是量大面广，几乎是无处不在。相对于发达国家，我国现有的风机、泵类和空压机产品的技术含量比较低，提升的空间很大，随之带来的节能和环保效益也是相当惊人的。以现行的（或处于公示阶段的）产品能效标准为依据，将清水离心泵和容积式空气压缩机的节能评价价值作为其超前能效标准中的能效限定值，将通风机的设计点效率值作为其超前能效标准中的能效限定值，根据节能模型分析，如果超前能效标准在 2008 年开始生效，那么预计清水离心泵到 2020 年将累计节电 3437.16 亿度，折合一次能源 1.28 亿吨标煤。由于节电而相应带来的污染物减排量到 2020 年累计为 9666.43 万吨碳、151.32 万吨氮氧化物、217.12 万吨二氧化硫和 922.03 万吨微细颗粒物；同时为峰值需求减少累计贡献 2.00 亿千瓦。对于通风机项目，预计到 2020 年将累计节电 1248.69 亿度，折合一次能源 4646.53 万吨标煤。由于节电而相应带来的污染物减排量到 2020 年累计为 3511.74 万吨碳、54.92 万吨氮氧化物、78.88 万吨二氧化硫和 334.97 万吨微细颗粒物；同时为峰值需求减少累计贡献 0.57 亿千瓦。容积式空气压缩机项目预计到 2020 年将累计节电 1165.93 亿度，折合一次能源 4339.68 万吨标煤。由于节电而相应带来的污染物减排量在 2020 年累计为 3278.97 万吨碳、51.33 万吨氮氧化物、73.65 万吨二氧化硫和 312.76 万吨微细颗粒物；同时为峰值需求减少累计贡献 0.54 亿

千瓦。详细数据如表 0-1 和图 0-1 所示。

表 0-1: 项目节能量预测表 (MMTce)

年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CCP	0.65	1.98	3.38	4.86	6.41	8.05	9.77	11.58	13.49
VF	0.24	0.73	1.24	1.78	2.34	2.93	3.60	4.22	4.91
DAC	0.24	0.73	1.28	1.89	2.31	2.77	3.28	3.85	4.30
TOTAL	1.13	3.44	5.90	8.53	11.06	13.75	16.61	19.65	22.70
年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
CCP	15.51	16.42	17.38	18.40	16.44	13.05	9.07	5.40	2.68
VF	5.63	5.95	6.29	6.65	5.94	4.72	3.28	1.95	0.97
DAC	4.79	5.34	5.96	6.65	5.41	3.50	1.77	0.75	0.28
TOTAL	25.94	27.72	29.64	31.70	27.79	21.27	14.12	8.10	3.93
年份	2026	2027	2028	2029	2030				
CCP	1.06	0.32	0.06	0.01	0				
VF	0.38	0.11	0.02	0.002	0				
DAC	0.07	0.01	0						
TOTAL	1.52	0.44	0.09	0.01	0				

注：CCP 代表清水离心泵；VF 代表通风机；DAC 代表容积式空气压缩机

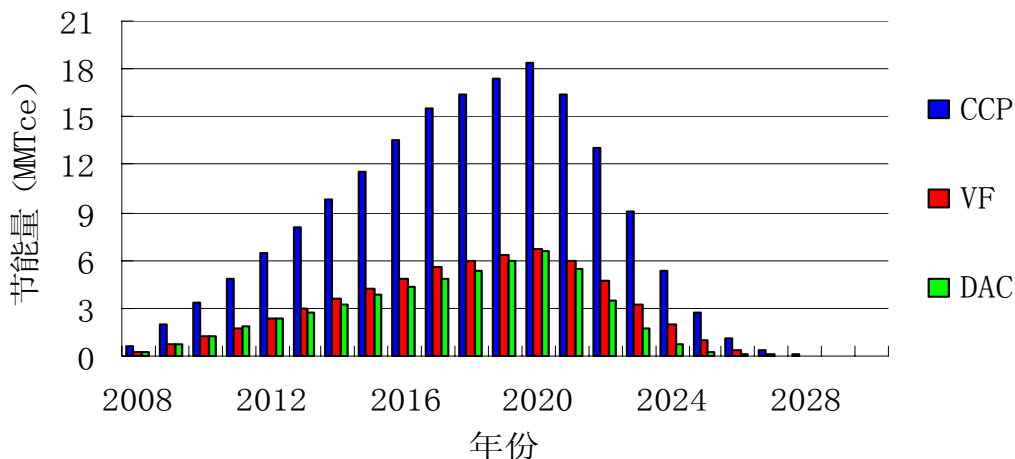


图 0-1: 项目节能量预测 (MMTce)

通风机、清水离心泵和容积式空气压缩机能效标准的提高所产生的节能效果是显而易见的，在目前国家能源严重紧缺，全国人民响应国家节能政策，开展节能行动的大环境下，进一步制定主要耗能产品的超前能效标准对规范产品市场、促进企业技术创新以及最终实现我国既定的节能战略目标都具有深远意义。

考虑到当前产品的技术水平、行业发展状况，征求主要生产企业和行业专家的意见，再结合工程/经济模型的分析结果，对三类工业产品超前能效标准制定的排序问题进行综合分析，建议首先针对清水离心泵制定超前能效标准，随后相继扩展到通风机和容积式空气压缩机。

#### (四) 政策建议

能效标准的制定、实施必须结合相应的配套政策和措施才能起到促进企业技术革新、规范市场行为、保证经济持续发展等作用。政府应该抓紧

完善实施高耗能产品淘汰制度等配套节能法规、建立有效的节能监督和管理机制、尽快建立财政资助和激励政策、加大用户宣传和培训等常规方法。另外，考虑到风机、泵类和空气压缩机产品在国际上还没有成熟的能效标准可以直接转化、国内通用设备的生产技术水平普遍较低，政府应该加大力度支持此类产品的研发工作，建立节能共性技术、通用设备的科研基地和信息平台，鼓励高新技术和先进技术的开发、引进和吸收，整合现有的产品性能信息和数据，从而为风机、泵类和空压机超前能效标准的制定和实施、为企业的技术革新和高能效产品市场的全面转型提供强有力的保障。

## 一、 前言

### 1. 当前能源环境形势

伴随着我国经济的高速发展，“电荒”、“煤荒”和“油荒”一时成为社会普遍关注热点，能源问题已经成为我国全面建设小康社会，实现国民经济可持续高速发展的一大瓶颈，能源供需矛盾已经相当突出。2003年，我国煤炭生产达16.67亿吨；石油生产1.7亿吨，进口油品1亿多吨；电力生产方面，全国总装机容量达到3.85亿千瓦，同比增长7.8%，全国累计发电19080亿千瓦时，同比增长15.3%；全国6000千瓦以上电厂设备利用小时数达到5250小时，比2002年增加390小时。另一方面，我国经济继续保持高速发展，国内生产总值比上年增长9.1%，达到11.7万亿元，按现行汇率计算，人均国内生产总值突破1000美元。经济的高速增长极大地刺激了能源需求，使我国能源资源的有限性与经济、社会发展对能源需求的无限性之间的矛盾全面激化。我国先后有20多个省级电网拉闸限电，特别是这两年夏天用电高峰期，石油、煤、电频频告急，严重影响工农业生产和人民群众的日常生活。

我国能源消费以煤为主，伴生的环境问题日益突出。2002年，煤炭消费量14.2亿吨，比1990年增长34%，年均增长2.5%。近70%的原煤没有经过洗选直接燃烧，燃煤造成的二氧化硫和烟尘排放量约占排放总量的70~80%，二氧化硫排放形成的酸雨面积已占国土面积的三分之一；化石燃料二氧化碳排放是我国温室气体的主要来源。根据中国环境保护总局2003年度报告，我国二氧化硫、颗粒物以及酸雨的污染相当严重并出现反弹的

现象。2003年,全国废气中二氧化硫排放量 2158.7 万吨,比上年增加 12.0%,达到了自 1999 年以来的最高点。

表 1-1: 全国近年废气中二氧化硫的排放量 单位: 万吨

项目 年度	二氧化硫排放量		
	工业	生活	合计
1999 年	1460.1	397.4	1857.5
2000 年	1612.5	382.6	1995.1
2001 年	1566.6	381.2	1947.8
2002 年	1562	364.6	1926.6
2003 年	1791.4	367.3	2158.7
年度增减率 (%)	14.7	0.6	12

资料来源: 中国环境保护总局 2003 年度报告

2003 年全国废气中烟尘排放量 1048.7 万吨, 比上年增加 3.6%。其中工业烟尘排放量 846.2 万吨, 占烟尘排放总量的 80.7%, 比上年增加 5.2%。

表 1-2: 全国近年废气中主要污染物排放量 单位: 万吨

项目 年度	烟尘排放量			工业粉尘 排放量
	合计	工业	生活	
1999 年	1159	953.4	205.6	1175.3
2000 年	1165.4	953.3	212.1	1092
2001 年	1069.8	851.9	217.9	990.6
2002 年	1012.7	804.2	208.5	941
2003 年	1048.7	846.2	202.5	1021
年度增减率 (%)	3.5	5.2	-2.9	8.5

资料来源: 中国环境保护总局 2003 年度报告



487 个市(县)的降水监测结果显示,2003 年降水年均 pH 值范围为 3.67 (江西省萍乡市)~8.40 (甘肃省嘉峪关市)。与上年相比,出现酸雨的城市比例增加 4.1%;降水年均 pH 值小于和等于 5.6 的城市比例上升了 4.7%,其中降水年均 pH 值小于 4.5 的城市比例增加 2.8%;酸雨频率超过 40%的城市比例上升了 7.2%,酸雨污染较上年加重。

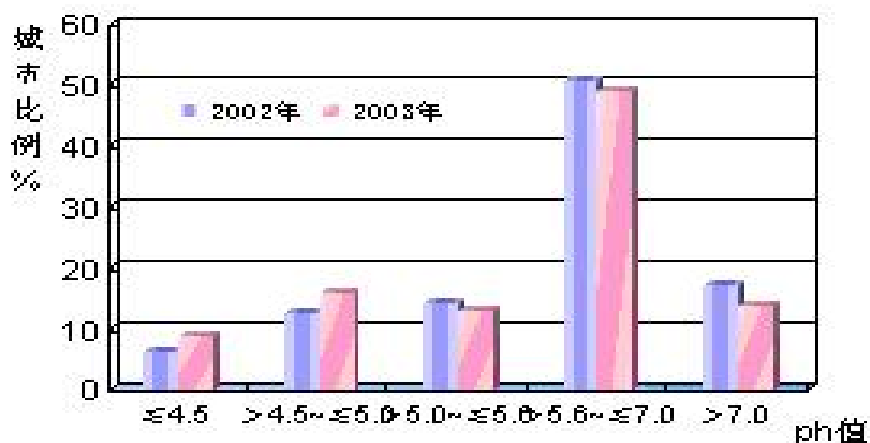


图 1-1: 不同降水酸度城市比例

## 2. 能源储量与分布

虽然我国地大物博,资源丰富,煤炭、石油、天然气、水电等几种常规能源的绝对储量居世界前列,但是由于我国人口基数庞大,一次能源资源情况不容乐观。2000 年人均石油剩余可采储量只有 2.6 万吨,人均天然气剩余可采储量 1074 立方米,人均煤炭剩余可采储量 90 吨,分别为世界平均值的 11.1%、4.3%和 55.4%。在作为能源主要形式的电力方面,中国人均用电仅为世界平均用电的 1/3,目前的电力缺口达到 9.93%。根据日本能源研究所的报告,电力缺口到 2010 年还会剧增至 15%,而中国的石油资源

也只够开采几十年，煤炭则只能维持约 200 年。

我国的能源消费结构中，煤炭占有绝对主要地位，其次是石油、水电和天然气。2002 年，我国能源消费结构为煤炭 66.1%，石油 23.4%，天然气 2.7%，水电 7.8%。相比较而言，美国 2001 年的能源消费结构为煤炭 24.37%，石油 38.69%，天然气 23.72%，水电 6.78%。显而易见，我国能源结构中煤炭所占比例过大，优质能源所占比例较小。这种消费结构造成我国能源效率和经济效益的低下（烧煤的工业锅炉平均热效率为 68%，而烧油平均热效率可达 87%）；又因我国煤炭资源分布不均，煤炭资源有 60%分布在华北，水力资源有 70%分布在西南。而经济发达、工业和人口比较集中（约占全国人口总数的 37%）的南方八省一市，能源却比较缺乏（其中煤炭占全国的 2%，水力占 10%）。我国人均资源储量的贫乏加上有限资源构成比例及分布的不合理使我国能源形势处于非常严峻的状态。

### 3. 能源利用

我国能源利用效率低是造成我国能源需求扩大的另外一个重要因素。以能源技术效率指标来衡量，我国包括能源加工、转换、储运和终端利用各个环节在内的能源效率由 1980 年的 26%提高到 2000 年的 33%，但是仍比先进国家约低 10 个百分点。以能源经济效率指标来衡量，单位产品能耗比发达国家高 20%~80%，加权平均高 40%左右。如火电供电煤耗高 28%，大中型钢铁企业吨钢综合能耗高 25%，大型合成氨综合能耗高 40%。2001 年，我国 1 亿美元 GDP 消耗能源约 11~12 万吨标准煤，单位产值能耗约为日本的 6.58 倍，德国的 4.49 倍，美国的 3.65 倍，巴西的 2.35 倍，印度的 1.24 倍，成为世界上单位产值能耗最高的国家之一。以上数据说明了我国在能

源利用方面存在的浪费相当严重，蕴藏着十分巨大的节能潜力。

#### 4. 能源需求预测

中国目前是全球第一煤炭消费大国，是仅次于美国的全球第二石油、电力消费大国。未来 20 年是我国实现工业化的关键时期，也是经济结构、城市化水平、居民消费结构发生明显变化的阶段。据专家预测，到 2020 年，中国石油需求量为 4 亿吨，年均递增 12%；天然气在一次能源消费中，所占比例将由目前的 2.7% 增长到 10% 以上；中国石油对外依存度从 1995 年的 7.6% 增加到 2000 年的 31%，预计到 2020 年接近 60%，与目前美国 58% 的对外依存度大体相当。即使按照最乐观的估计，中国的能源需求总量在 2020 年仍将达到近 25 亿吨标准煤，比 2000 年高出了 90%；而最为悲观的估计，约为 33 亿吨标准煤，则要高 152%。在政府实施增加能源开采量、建立畅通的能源流通系统、调整能源消费结构等诸多政策措施之际，节约能源，提高能源利用效率无疑是保障国家能源供应、实现可持续发展最为有效的措施之一。

#### 5. 政府节能规划及重点

改革开放以来，我国在能源领域实行“开发与节约并重，把节约放在首位”的方针，并且长期以来把节能重点放在工业领域，能源开发与节约工作取得重大进展，能源效率有明显提高。1980~2000 年，我国以能源年均 4.6% 的增长支持着国民经济年均 9.7% 的高速增长，实现了能源翻一番、经济增长翻两番的目标，保证了支撑国民经济发展的能源需要。

中国 2020 年能源发展的战略可概括为：节能优先、清洁环保、供应安

全、市场推动。节能是中国能源战略和政策的核⼼，要以终端节能为主，政策引导，辅以激励政策，重点抓好交通、建筑和工业节能。我国产业结构和工业高耗能产业比例的调整需要足够的时间，虽然现阶段交通和建筑部门的用能增长明显加快，但是在今后相当长的一段时期，工业部门的耗能仍将占据绝对的主导地位。因此，工业领域仍将是国家节能工作的重点所在。

## 二、超前能效标准的提出

### (一) 能效标准的作用

能效标准是近年来世界各国积极用以提高终端用能设备能源利用效率的重要节能手段之一。能效标准限制了高耗能产品的生产、销售和进口，并最终将它们从市场中淘汰。从美国、欧盟、加拿大、澳大利亚等发达国家实施能效标准后的效果和经验来看，能效标准的积极作用可以主要概括为以下几个方面：

#### 1. 缓解能源紧张局面，保障经济高速发展

为用能产品制定和实施能效标准，已成为世界各国提高产品能效、进而达到节能、环保目的的首选政策工具之一。我国从 1993 年成为能源净进口国，进口能源比例逐年增大，为了保障我国中长期经济目标的顺利完成，能源安全、能源节约是重要条件。专家的研究结果显示，到 2020 年能效标准的有效实施可累积节电 2657TWh，将超过 2001 年全国的能源生产总量。

#### 2. 完善市场经济体制，促进企业技术进步

能效标准的实施，其一，淘汰技术落后、高耗能的产品，规范了市场；其二，为企业制订了先进的节能目标，让企业意识到只有保持着行业中的技术领先地位，才能最终在市场经济体系下立于不败之地；其三，引导企业朝着正确的方向发展，加强管理，增加技术投资力度，提高产品的技术含量，增强我国用能产品在国内外市场上的竞争力。

### 3. 满足国际贸易的需要

我国正式加入 WTO 后，经济将快速向出口型经济转变，国内企业的进出口贸易将会大大增加。同时，世界各国尤其是发达国家基于节能和环保的需要，在贸易中先后设立了绿色贸易壁垒，对进出口产品的能效指标提出了更高要求，企业国际贸易的竞争更注重质量竞争，而提高质量竞争的能力首当其冲就是提高产品的能效标准，这样才能提高我国产品的国际竞争力，同时便于建立国际间的相互认可，减少贸易障碍。

### 4. 满足环境保护的需要

能源在生产、加工和利用过程中，必然会对生态环境造成污染，包括大气污染、渣污染和热污染，其中对人类危害最大的因素来自大气污染。中国的环境污染为典型的能源消费性污染，据有关部门测算，1997 年，全国共排放烟尘 1840 万吨，二氧化硫 2370 万吨，其中因能源消费造成的排放分别占到 70%和 85%。大气中 30%的二氧化碳来自火力发电，它也是温室效应的主要原因。能效标准通过提高能源的使用效率，从而减少了在能源生产和使用过程中产生的环境污染物。

## (二) 我国能效标准的特点

### 1. 能效标准的覆盖面窄

1995 年，在政府有关部门的领导和国际节能研究所、美国能源基金会等国际相关机构组织和专家的帮助下，我国开展了首批能效标准的修订和部分新的家用电器和照明产品的能效标准制定工作。但是到目前为止，能效标准覆盖的范围还比较小，涉及的产品集中在电冰箱、空调器、洗衣机

等主要家用电器以及少数照明器具和工业设备上，对于许多应用广泛的耗能电器和设备尚未制定能效标准。

## 2. 能效标准的指标偏低

由于我国目前在用的能效标准属于部分条款强制的现状标准，从发布到实施大约有半年的时间，留给制造商改进生产以满足标准要求的反应时间比较短，因此能效指标的设定水平相应偏低，能效限定值的确定以淘汰社会上 5~10%的高耗能的底层产品为原则，一般低于近期市场产品的平均能效水平，主要用来限制当前一段时期内高耗能产品的生产和销售；为开展节能产品认证提供科学依据的节能评价值也相对偏低，不利于推动和引导用能产品能效水平的大幅度提高。

## 3. 能效标准实施力度和效果不理想

目前我国已颁布 19 项能效标准，但是实施的力度和效果不是非常理想。一方面由于国家的配套政策如财政激励措施等没有及时跟上，导致企业仍然维持原有的生产规划，没有起到促进企业朝着技术革新、提高产品能效方向发展的作用；另一方面，由于新的能效标准中给出的指标偏低，一部分大中型企业当前的产品效率水平远高于能效指标，从而造成对企业起不到足够的节能引导作用，影响了整个能效标准系统的实施效果。

### (三) 国际差距

超前能效标准是在能效限定值的基础上对用能产品提出更高的要求，其实施准备时间比较长，一般为 3~5 年，标准水平高，标准中规定的能效

限定值通常高于目前市场上的平均能效水平，有时甚至高于目前市场上的最高能效水平。美国、欧盟、日本等绝大多数国家的能效标准属于超前能效标准，根据节能技术发展趋势，采用工程经济分析、节能模型计算等方法确定未来的能效水平，取得了非常好的节能环保效果。

#### **（四）实施超前能效标准的意义**

超前能效标准的积极作用主要表现在以下两个方面：

##### **1. 强调行业发展的目标**

超前能效标准是在能效标准规定了产品的能效限定值以后，对该类产品在能源效率方面所做出的更高要求。一方面是对能效限定值的肯定和延伸；另一方面则树立了行业中长期的发展目标，促进企业进行技术革新，提高企业竞争力。

##### **2. 提高标准的市场引导性**

标准必须对市场作出前瞻性的预测和确定更高的目标值才能对市场起到合理的引导作用。由于我国的能效限定值和节能评价值属于现状标准，不能很好地引导企业确立今后的节能目标，超前能效标准的指标正好弥补了这个缺陷。在对整个行业进行详细调查分析的基础上，提出一部分企业目前无法达到的限定值，为全行业有计划地开发节能高效产品、整体推动产品能效水平的提高、减少或避免不必要的能源浪费奠定基础。



### 三、 节能潜力计算方法

本项目采用的节能潜力分析方法主要借鉴于美国促进能源效益经济委员会开发的节能潜力计算模型，通过模型来计算实施超前能效标准后由于产品能效水平提高所带来的节能量。

要量化超前能效标准实施前后能效提高的水平，首先要确定基准。所谓超前能效标准是在当前产品能效标准的基础上提出更高的指标，树立行业发展目标。因此，超前能效标准的节能潜力基准则是国家现行产品能效标准的能效限定值。

节能潜力模型分析可以分解为节能分析、环境分析、经济分析和峰值需求分析，项目预测期截止到 2020 年。以下用简单的公式来介绍各种分析的过程。

#### 1. 节能分析

节能分析是节能潜力模型分析中最为重要和基础的一环。要量化用能产品运行能耗的下降必须先收集一系列必要的的数据，如产品年产量、平均销售系数、平均配套功率、平均年运行时间、超前能效指标、基准能效指标。风机、水泵单位产品年节能量的计算公式如下：

$$E_{s0} = P_{av} \times T_{av} \times \left( \frac{1}{\eta_2} - \frac{1}{\eta_1} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：  $E_{s0}$  ---- 单位高效产品年节能量，千瓦时/台；

$P_{av}$  ---- 产品平均配套功率，千瓦；

$T_{av}$  ---- 产品平均年运行时间，小时；

$\eta_1$  ---- 产品超前能效，%；

$\eta_2$  ----- 产品基准能效，%。

风机、水泵单位产品基准年耗能量计算公式表示为：

$$E_{c0} = \frac{P_{av} \times T_{av}}{\eta_2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：  $E_{c0}$  ----- 单位产品年能耗量，千瓦时/台·年；

空气压缩机单位产品年节能量的计算公式为：

$$E_{s0} = (\xi_1 - \xi_2) \times Q \times T_{av} \dots\dots\dots (3)$$

式中：  $\xi_1$  ----- 空压机输入比功率的能效限定值，千瓦/立方米·分钟；

$\xi_2$  ----- 空压机输入比功率的节能评价值，千瓦/立方米·分钟；

$Q$  ----- 空压机公称容积流量，立方米/分钟。

空压机单位产品年节耗能量的计算公式为：

$$E_{c0} = \xi_1 \times Q \times T_{av} \dots\dots\dots (4)$$

计算产品年节能量时，我们不是简单的以单位高效产品的年节能量乘以社会保有量来计算，而是考虑到每年新增的高效产品不可能在该年年初完成所有销售，是一个全年连续的过程，加上不同月份销售的产品首年的节能量各不相同，所以高效产品年终端节能量可按下述公式的计算：

$$E_{sn} = E_{s0} \times (I_n - 0.5S_n) \dots\dots\dots (5)$$

式中：  $E_{sn}$  ----- 第 n 年高效产品的总节能量，千瓦时；

$I_n$  ----- 第 n 年高效产品的市场保有量，台；

$S_n$  ----- 第 n 年高效产品的销售量，台。

其中，保有量是节能模型分析中非常重要的概念，它表示某一时间市场上高效产品的在用量，其大小决定于产品产量、销售系数以及产品寿命。风机、水泵和空气压缩机等产品的产量、销售量以及产品寿命的计算方法

各不相同，这里暂不论述，具体计算过程和公式见第四章。

节能量由千瓦时转换为标煤时，需要确定热值比（Heat Rate）和线损系数（T&D Losses）。转换公式可以表示为：

$$E_{sn}' = E_{sn} \times \frac{HR_n}{(1-TDL)} \dots\dots\dots (6)$$

式中：  $E_{sn}'$ ----- 第  $n$  年高效产品总节能量，百万吨标煤；

$HR_n$ ----- 第  $n$  年的热值比（Heat Rate），克标煤/kwh；

$TDL$ ----- 线损系数，%。

## 2. 环境分析

由于我国的能源结构中煤炭占据着绝对主要的地位，发电厂多数属于火力发电，燃烧煤炭等化石燃料发电的过程中排放出大量的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、颗粒物和其它有毒气体，严重污染了环境。超前能效标准通过提高用能产品的能效水平，减少了它们在运行中对能源，特别是电力的消耗，从而大量削减发电厂燃烧化石燃料所排放的环境污染物质。

环境分析计算反映了超前能效标准对主要大气污染物减排量的影响效果，主要包括二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和微细颗粒物。污染物减排量计算预测公式具体表示为：

$$C_n = \frac{E_{An}}{(1-TDL)} \times C_c \dots\dots\dots (7)$$

$$N_n = \frac{E_{An}}{(1-TDL)} \times N_c \dots\dots\dots (8)$$

$$S_n = \frac{E_{An}}{(1-TDL)} \times S_c \dots\dots\dots (9)$$

$$PM_n = \frac{E_{An}}{(1-TDL)} \times PM_c \quad \dots\dots (10)$$

式中：  
 $C_n$ ----- 第 n 年累计碳污染物减排量，百万吨；  
 $N_n$ ----- 第 n 年累计氮氧化物减排量，百万吨；  
 $S_n$ ----- 第 n 年累计二氧化硫减排量，百万吨；  
 $PM_n$ ----- 第 n 年累计微细颗粒物减排量，百万吨；  
 $E_{An}$ ----- 第 n 年产品累计节能量，TWh；  
 $C_c$ ----- 碳物质排放系数，kg/kWh；  
 $N_c$ ----- 氮氧化物排放系数，kg/kWh；  
 $S_c$ ----- 二氧化硫排放系数，kg/kWh；  
 $PM_c$ ----- 微细颗粒物排放系数，kg/kWh；

### 3. 经济分析

产品能效的提高会导致其生产成本的增加，销售价格也要相应上升，但由于高效产品在使用过程中减少了能源的消耗，降低了运行费用中的能源支出，因此有必要量化项目投资的成本效益问题。为此，我们引进寿命周期成本和回收期的概念。

#### (1) 寿命周期成本

价值工程中的产品寿命周期成本 LCC (Life Cycle Cost)，既包括产品研制、设计、制造、实验、销售的费用所构成的制造成本 MC (Manufacture Cost)，又包括使用、保养、维修、能耗、保险、报废的费用所构成的使用成本 OC (Operation Cost)，使用成本应计算折现率，制造成本和使用成本的总和就构成了产品的寿命周期成本。

通常制造成本在产品销售的时候以商品价值的形式得以体现，即消费者购买产品的价格，所以它可以作为一个整体变量来考虑，而使用成本则往往更加富有多变性，人们经常通过调整它包含的变量来降低某一产品的寿命周期成本。

我们分别考虑产品寿命周期成本中两个处于对立面的变量，并对之进行分析、合并和简化。制造成本前面已经论述过，它可以作为一个整体变量来衡量，以产品销售价格来反映其中任何一个参数变化所带来的制造成本的变化。产品的使用成本比较复杂，主要可以分解为两部分内容：一是产品的能源消耗费用；二是产品的保养、维修、报废处理等费用。我们用一个总的变量（ $\xi$ ）来衡量产品的保养、维修和报废处理等费用在产品更新前后的变化。根据当前掌握的数据，对这个变量做出准确的估计是不现实的。一般情况下，采用更先进技术的产品保养维修周期会相对加长，费用也增加。但是，精确到某一类型的产品，参数的变化时正时负，很难预测。为了简化计算模型，不妨假设 $\xi=0$ ，即新产品在保养、维修和报废处理等方面的费用和原（旧）产品相同。那么产品的使用成本即等同于能耗成本。计算寿命周期成本的公式可表示如下：

$$LCC = MC + \sum_{n=1}^N \frac{OC_n}{(1+r)^n} \dots\dots\dots (11)$$

式中： $LCC$  ---- 寿命周期成本，元；

$MC$  ---- 产品销售价格（制造成本），元；

$OC_n$  ---- 第  $n$  年的能耗成本（使用成本），元；

$r$  ---- 折现率；

$n=1, 2, 3, \dots\dots$ ；

$N$ ----- 统计年数。

## (2) 回收期

回收期 ( $PAY$ ) 是指通过降低使用成本 ( $OC$ ) 来抵消在购买高效产品时需增加成本的时间。它是衡量节能经济效果的一个重要指标, 回收期越短说明经济效果越好, 回收期越长说明经济效果越差。产品回收期的计算公式可表示为:

$$\Delta MC_0 - \sum_{n=1}^{PAY} \frac{\Delta OC_n}{(1+r)^n} \leq 0 \quad \dots\dots\dots (12)$$

公式 (12) 直观地反应出成本和效益的关系, 从成本增加和能耗减少这两个相对立的方面反映了高效产品的经济效益。为简化计算, 假设产品能效提高与产品销售价格增长之间为线性关系, 计算方法表示如下:

$$\Delta MC_0 = \kappa \times \frac{\Delta \eta}{\eta_2} \times MC_0 \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:  $\Delta MC_0$  ----- 单位高效产品的投资增加额, 元/台;

$\kappa$  ----- 比例系数 (经验值);

$\Delta \eta$  ----- 单位产品能效提高量, %;

$MC_0$  ----- 单位产品平均单价, 元/台。

另一方面, 提高能效后的产品将节省大量的电力消耗。结合全国平均工业用电价格的预测曲线, 相应各年的使用成本减少量可按下式计算:

$$\Delta OC_n = P_{en} \times E_{s0} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:  $\Delta OC_n$  ----- 第  $n$  年单位高效产品的节能经济效益, 元/台;

$P_{en}$  ----- 第  $n$  年普通工业平均电价, 元/kWh;

如果不考虑折现率影响和电价的增长, 产品回收期计算公式可简化为:

$$PAY \approx \frac{\Delta MC_0}{\Delta OC_0} \dots\dots\dots (15)$$

式中： $\Delta OC_0$  ----- 单位高效产品的节能经济效益，元/台。

另外，项目投资净现值、净收益和收益成本比也是衡量投资经济效益的重要参数，其计算公式如下：

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{V_n}{(1+r)^n} \dots\dots\dots (16)$$

式中：  $NPV$  ----- 项目净现值，百万元；

$V_i$  ----- 现金流（ $\Delta MC_T$  或  $\Delta OC_T$ ），百万元。

$$\Delta MC_T = \Delta MC_0 \times S_n \dots\dots\dots (17)$$

式中：  $\Delta MC_T$  ----- 第 n 年高效产品的总投资增加额，百万元。

$$\Delta OC_T = P_{en} \times E_{sn} \dots\dots\dots (18)$$

式中：  $\Delta OC_T$  ----- 第 n 年高效产品的总节能经济效益，百万元。

$$NB = NPV_{\Delta MC_T} - NPV_{\Delta OC_T} \dots\dots\dots (19)$$

式中：  $NB$  ----- 项目净收益，百万元；

$NPV_{\Delta MC_T}$  ----- 项目投资增量净现值，百万元；

$NPV_{\Delta OC_T}$  ----- 项目节能效益净现值，百万元。

$$BCR = \frac{NPV_{\Delta OC_T}}{NPV_{\Delta MC_T}} \dots\dots\dots (20)$$

式中：  $BCR$  ----- 项目收益成本比。

#### 4. 峰值需求分析

产品耗电量的减少缓解了电网在高峰时期的供电负担，从而提高电力系统运行的可靠性，也减少了对新发电厂的需求，使计划的电力扩容延期

或取消。峰值需求减少量可由节电量通过峰值系数转换得来，峰值系数是指用电设备在用电高峰期间的平均同时用电需求与其年耗电量之商。具体计算公式可以表示如下：

$$R_n = E_{sn} \times \mu \times \frac{\theta}{1-TDL} \dots\dots\dots (21)$$

式中：  $R_n$  ---- 第 n 年产品峰值需求减少量；

$\theta$  ---- 产品装机余量系数；

$\mu$  ---- 产品峰值系数。



## 四、 中国主要工业耗能产品超前能效标准的节能潜力

据国家统计局 2004 年 6 月对通用机械行业规模以上的 2598 家企业的统计，其中泵制造企业占 744 家，风机制造企业占 277 家，空气压缩机制造企业占 168 家。初步估计 2004 年全国工业泵产量约为 329 万台<sup>1</sup>，风机产量超过 100 万台<sup>2</sup>，空气压缩机产量超过 230 万台。为了研究方便，报告中假定中国机械工业年鉴（2002）中的统计数据可以代表国内市场泵类、风机不同类型产品之间的比例，泵类、风机和空气压缩机是主要工业耗能设备，三者年耗电约占全国总发电总量的 40%，多数产品的设计效率跟国际先进水平有较大的差距，运行不合理，导致能源的巨大浪费。因此，提高泵类、风机和空气压缩机产品的能效水平对于节约能源，增强企业国际竞争力具有非常重要的意义。

### （一）泵

#### 1. 产品状况

##### （1）基本描述

##### ① 定义

泵是把原动机的机械能转换为液体的能量的机器。原动机（电动机、柴油机等）通过泵轴带动叶轮旋转，对液体做功，使其能量（包括位能、

---

<sup>1</sup>从 2001 年 133 家泵协会会员企业的年产量估算 2001 年全国规模以上泵制造企业的年产量，本文初步假设产品范围主要存在于泵协会会员企业和未参加协会的规模以上的企业，并设统计外的上规模企业的平均产量为统计协会企业的 30%，估算出 2001 年全国上规模企业工业用泵的总产量，并假设 2001-2004 年的产量年均增长率为 15%。

<sup>2</sup>从 2001 年 80 家风机协会会员企业的年产量估算 2001 年全国规模以上风机制造企业的年产量，估算方法同泵。设统计外的上规模企业的平均产量为统计协会企业的 40%，2001-2004 年的产量年均增长率为 30%。

压能和动能)增加,从而使液体输送到高处或要求有压力的地方。

## ② 类型

目前国内泵类产品共有87个系列1288个品种,全部产品共分35类2200个品种,规格品种繁多,除核用电泵不能生产外,其它各种大型成套装置,如250万吨/年以上的炼油厂、60万千瓦以上的发电机组、30万吨乙烯、大型合成氨合尿素、复肥联合装置等特殊用途的泵都可以制造。

按工作原理和结构形式可以将泵类产品分类如下:

**叶片式泵:**依靠工作叶轮的旋转运动,将能量传递给流体,增加流体的能量。

**容积式泵:**依靠容积变化原理来工作的泵,即借助物体周期性的位移来增加或减少工作容积,从而进行能量的传递。

表 4-1: 泵类产品类型

泵类	叶片式泵	离心泵	单级泵、多级泵、单吸泵、双吸泵、蜗壳式泵、分段式泵、立式泵、卧式泵、屏蔽泵、磁力驱动泵、高速泵
		轴流泵	定叶片(单级、多级)、动叶片
		混(斜)流泵	
		旋涡泵	单级泵、多级泵、离心旋涡泵
	容积式泵	往复泵	电动泵(柱塞泵、活塞泵、隔膜泵、计量泵或比例泵)、蒸汽泵
		转子泵	齿轮式(外齿轮式、内齿轮式、渐开线齿轮式)、螺杆式(单螺杆、双螺杆、三螺杆)、滑片式、罗茨泵
	其他类型泵	喷射式、水锤式、气泡式、电磁泵、空气升液泵	

资料来源:《工业泵选用手册》

## ③ 主要参数和特性

由于泵的种类繁多，其主要性能参数也随之不同，为了简便起见，引用下表对主要泵类型的适用范围和特性作一个简单概括性的描述。

表 4-2： 泵的特性

指标		叶片式泵			容积式泵	
		离心泵	轴流泵	旋涡泵	往复泵	转子泵
流量	均匀性	均匀			不均匀	比较均匀
	稳定性	不恒定，随管路情况变化而变化			恒定	
	范围 m <sup>3</sup> /h	1.6~30000	150~245000	0.4~10	0~600	1~600
扬程	特点	对应一定流量，只能达到一定的扬程			对应一定流量，可以达到不同扬程，由管路系统决定	
	范围	10~2600m	2~20m	8~150m	0.2~100MPa	0.2~60MPa
效率	特点	在设计最高点，偏离越远，效率越低			扬程高时，效率降低较小	扬程高时，效率降低较大
	范围(最高点)	0.5~0.8	0.7~0.9	0.25~0.5	0.7~0.85	0.6~0.8
结构特点		结构简单，造价低，体积小，重量轻，安装检修方便			结构复杂，振动大，体积大，造价高	同离心泵

资料来源：《工业泵选用手册》

## ④ 特性曲线

通常把表示主要性能参数之间相互关系的曲线称为泵的性能曲线或特性曲线，实质上，泵的特性曲线是液体在泵内运动规律的外部表现形式，

通过实测求得。不同类型的泵由于结构、工作原理等各不相同，因此其特性曲线也存在着差异。

就应用最为广泛的离心泵而言，特性曲线包括：流量-扬程曲线（ $H-Q$ ），流量-效率曲线（ $\eta-Q$ ），流量-功率曲线（ $N-Q$ ），流量-汽蚀余量曲线（ $NPSHr-Q$ ）。性能曲线的作用是：泵任意流量点都可以在曲线上找出一组与其相对的扬程、功率、效率和汽蚀余量值，这一组参数称为工作状态，简称工况或工况点，离心泵最高效率点的工况称为最佳工况点，最佳工况点一般为设计工况点。一般离心泵的额定参数即设计工况点和最佳工况点相重合或很接近。在实践中选效率区间运行，既节能又能保证泵正常工作，因此了解离心泵的性能参数相当重要。

国内厂商提供的典型的离心泵特性曲线如下图所示：

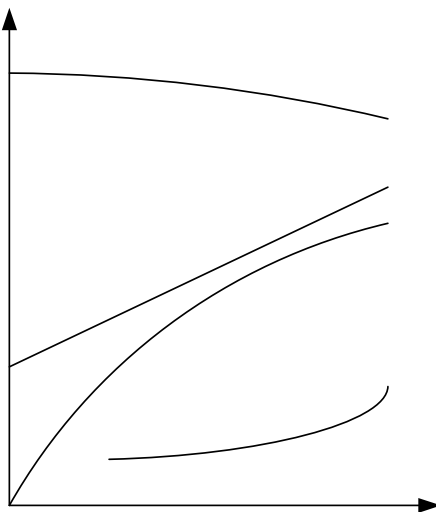


图 4-1：离心泵典型特性曲线

## (2) 市场分析

### ① 概况

中国是当今世界泵制造大国之一，2003 年中国泵市场表观需求额为 253.5 亿元，预计 2005 年中国泵表观需求额将达到 305 亿元。目前，国内泵生产企业超过 5000 家，大部分企业规模均较小，小型企业占绝大多数。国家统计局 2003 年统计表明：全国 696 家泵规模企业中，大型企业 14 家，中型企业 65 家，小型企业 617 家；国内泵制造行业前三十位企业销售收入为 62.1 亿元，占该行业销售收入比重的 30.31%，企业集中度略高于机械行业平均水平。专家估计目前国内泵的保有量约 2000 万台，年产量超过 200 万台，其中中国通用机械泵行业协会会员企业占主要份额（约 50.42%）。

### ② 产品效率

由于中国市场泵产品种类太多，产品的效率参差不齐。一些国营大中型企业，大型的集体、民营、私营企业，由于生产技术高，设备先进、齐全，产品的效率较高；一些小型民营企业和私营企业，设备简陋，技术落后，产品的效率较低。总的来说，国内市场泵产品总体效率水平偏低，究其原因主要有以下几个方面：

- 系统可靠性差，制造质量不高
- 国家干预手段少，除了对生产用在农机和化工行业上的产品的厂家发许可证外，其它的基本没有什么干预，这样就造成厂家多（全国大约 5000 多家），规模大小不一，产品种类繁多，质量参差不齐，以致产品的总体效率偏低
- 用户在选购产品时，对参数选得不够准确，或者在使用时，长时间的工

况点不在额定工况下工作，造成产品的运行效率偏低

- 一些厂家根据用户需要设计的非标产品，效率比较低
- 用户的效率意识差，在选购产品时，很少关心产品的效率问题。

### ③ 产量

根据中国通用机械泵行业协会对 133 个会员企业的统计，2001 年泵行业完成产品产量 1,090,672 台，比上年增长 5.9%。

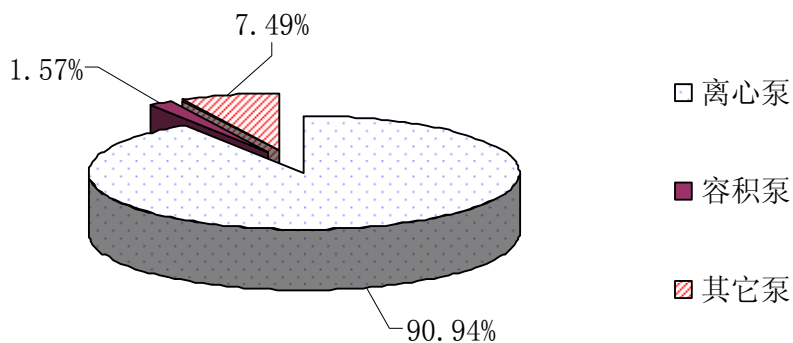


图 4-2： 2001 年泵产品市场份额

其中，清水离心泵共 534789 台，组成比例如图 4-3 所示：

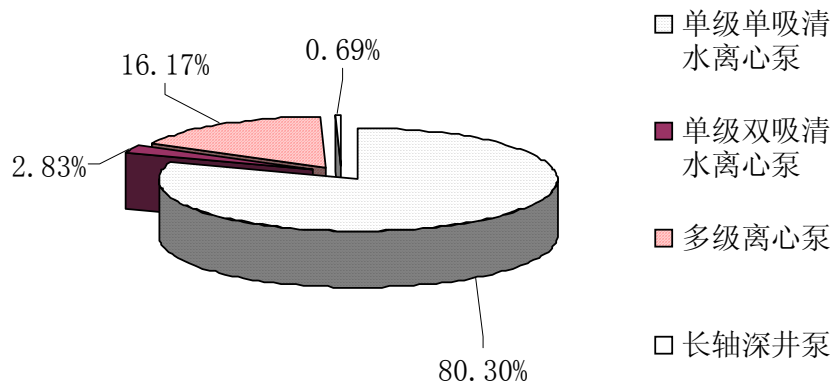


图 4-3： 2001 年清水离心泵产量比重

资料来源：中国机械工业年鉴 2002

分析中国机械工业年鉴 2002 年泵类产品的统计数据（见图 4-2、图 4-3），虽然目前国内市场泵产品种类繁多，但是离心泵占据绝对的主导地位，约为 91%。企业根据用户的具体的需求设计生产的一些非标产品，自行命名的其它类型泵约占 7%。进一步分析离心泵中不同类型产品，清水离心泵约占 2001 年泵产品总量的 49%，在所有离心泵产品中约占 54%。因此，首先考虑制订清水离心泵的超前能效标准是有科学依据的。

## 2. 能耗分析

### (1) 基准数据

#### ① 产品平均寿命

为了得到反映国内市场真实情况的准确数据，项目组委托国内权威调查公司友邦顾问于 2004 年 10 月 8 日开始对全国范围内的三类通用机械设备（清水离心泵、通风机、容积式空气压缩机）厂商进行有关提高产品效率需求的专项调查研究，于 2004 年 11 月初结束，历时一个多月。由于项目经费有限，此次调查主要针对国内有代表性的大中型企业展开定性调查，其中大中型生产企业占调查对象总量的 2/3。定量的问题占少量，主要包括产品的正常寿命、产品平均配套功率以及产品目前的市场价格。

综合各厂家的评估数据，发现 10kW 以下的小型清水离心泵的平均正常时间为 8.5 年，寿命相对低于 10kW 以上产品。100kW 以上的清水离心泵平均寿命能达到 10.6 年。

- 0-10kW，平均寿命 8.5 年
- 11-50kW，平均寿命 9.8 年
- 51-100kW，平均寿命 9.6 年

➤ 大于 100kW，平均寿命 10.6 年

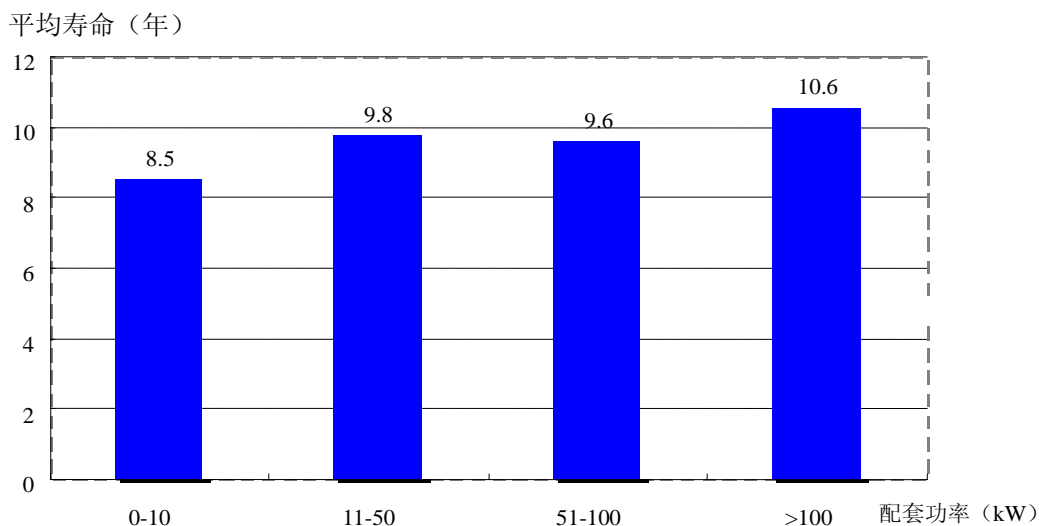


图 4-4：不同规格清水离心泵的平均寿命

资料来源：清水离心泵市场调查报告

从调查结果可以看出，清水离心泵的平均寿命随着配套功率的增加而略有递增，其中配套功率在 10 到 100kW 之间的清水离心泵的正常寿命接近 10 年，为了计算方便，不妨将 10 年作为这次项目研究对象清水离心泵的平均寿命。

## ② 产量和保有量

清水离心泵年产量的估算方法如下：按照中国机械工业年鉴对 1999 年、2000 年、2001 年泵行业 133 家骨干重点企业的统计数据，并以《中国通用机械工业年鉴 2004》中公布的泵行业增长速率推测 2002 年、2003 年清水离心泵的产量，以此五年的数据为基点，采用对数回归分析的方法对未来清水离心泵产量的趋势进行预测并计算得出年平均增长率。预测结果如图 4-5 所示：



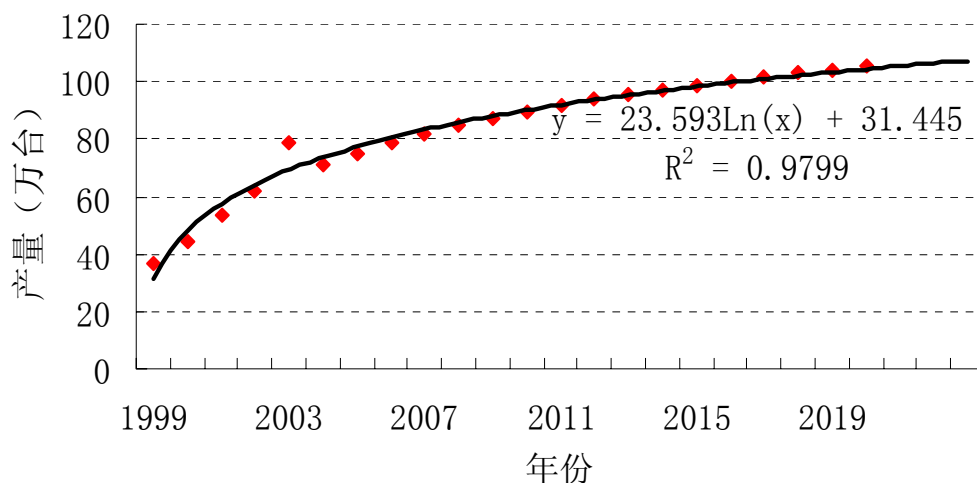


图 4-5： 清水离心泵产量预测

按照预测结果计算得出清水离心泵的年平均增长率为 6.64%。

根据 1999 年、2000 年、2001 年泵销售量和产量之比，算术平均求得清水离心泵的平均销售系数 ( $\omega$ )，以此系数乘上相应年份的产量则得到当年清水离心泵的销售量。计算公式简单表示为：

$$S_n' = O_n' * \omega \dots\dots\dots (22)$$

式中： $S_n'$ ---- 第 n 年协会企业清水离心泵的销售量，台。

$O_n'$ ---- 第 n 年协会企业清水离心泵的产量，台。

需要注意的是这里的清水离心泵的产量是工业协会统计的泵行业协会会员企业的产量，虽然在全国产量中占据相当的比例（约 50.42%），但是却不能以之代替全国泵年产量来计算节能量。这里则以全国范围内上规模企业的泵年产量总数来表示国内市场泵总量。2001 年，全国范围内上规模的泵生产商有 569 家，其中泵行业协会会员企业 133 家，经过专家和行业协会的反复讨论，假设非协会企业的年产量为协会企业平均年产量的 30%，那么全国清水离心泵总销售量的计算公式为：

$$S_n = \frac{S_n'}{133} \times 30\% \times (569 - 133) + S_n' \dots\dots\dots (23)$$

由于超前能效标准是 3~5 年后实施的能效限定值，我们不妨以 2008 年作为清水离心泵超前能效标准的有效实施年。因此，全国清水离心泵保有量的预测可以计算如下：

$$I_n = \sum_{i=\text{生效年}}^n S_i \dots\dots\dots (24)$$

2017 年后的清水离心泵保有量按下式计算（清水离心泵的正常寿命为 10 年）：

$$I_n = \sum_{i=n-9}^n S_i \dots\dots\dots (25)$$

按上述公式计算可得全国清水离心泵保有量变化趋势：

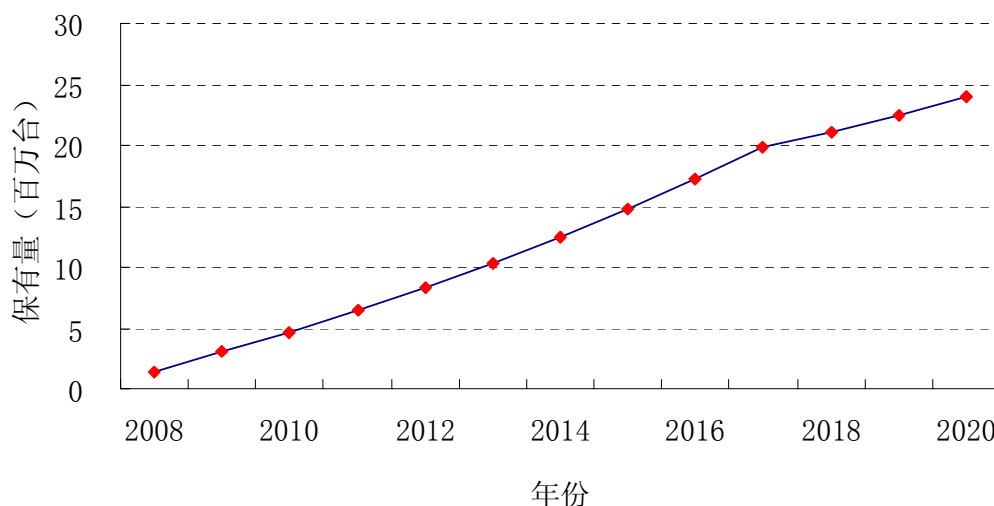


图 4-6： 清水离心泵社会保有量预测

从图 4-6 中可以看出，由于国内清水离心泵的正常寿命为 10 年，因此从 2018 年开始，清水离心泵保有量的增长率明显降低。

### ③ 平均配套功率

为了计算超前能效标准的节能潜力，我们必须确定清水离心泵产品的平均配套功率。由于调查经费所限，此次调查问卷中的产品的平均配套功率只是企业生产技术部门的一个估计值，不能用于具体的模型计算，但同样可以反映市场上清水离心泵产品配套功率的趋势。如图 4-7 所示：

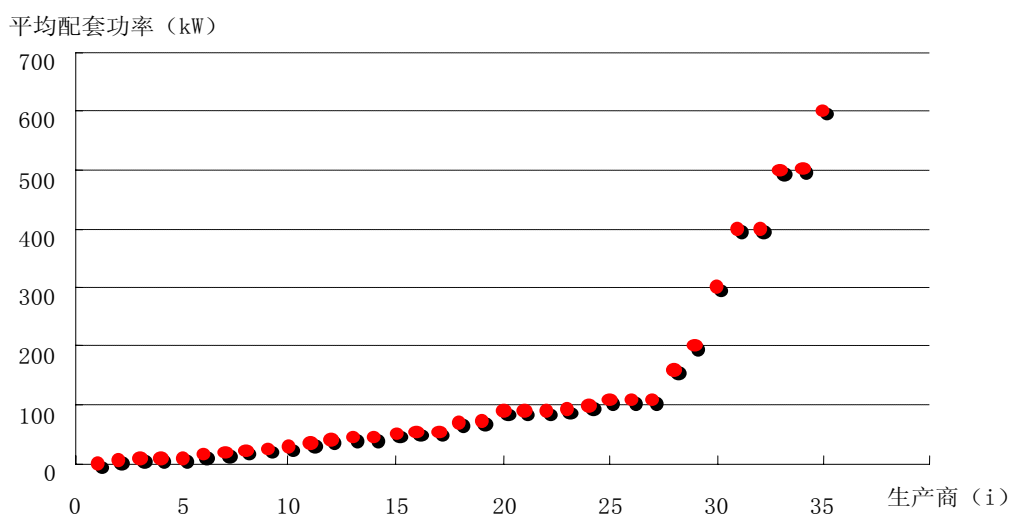


图 4-7：清水离心泵配套功率趋势图

资料来源：清水离心泵市场调查报告

从上图可以看出，清水离心泵产品的配套功率多数集中在 100kW 以下，在被调查的企业中，只有 30%的企业估计产品的平均功率超过 100kW。为了将平均配套功率这一参数定量化，我们采用今年电动机市场大型调查项目的数据。虽然两组数据反映的产品范围不是完全一致，电动机项目对应于所有类型的工业用泵，而本项目只考虑清水离心泵，但是考虑到清水离心泵占据主要的产品市场份额，我们暂且以此结果计算清水离心泵的平均配套功率。图 4-8 反映了清水离心泵配套功率的分布情况：

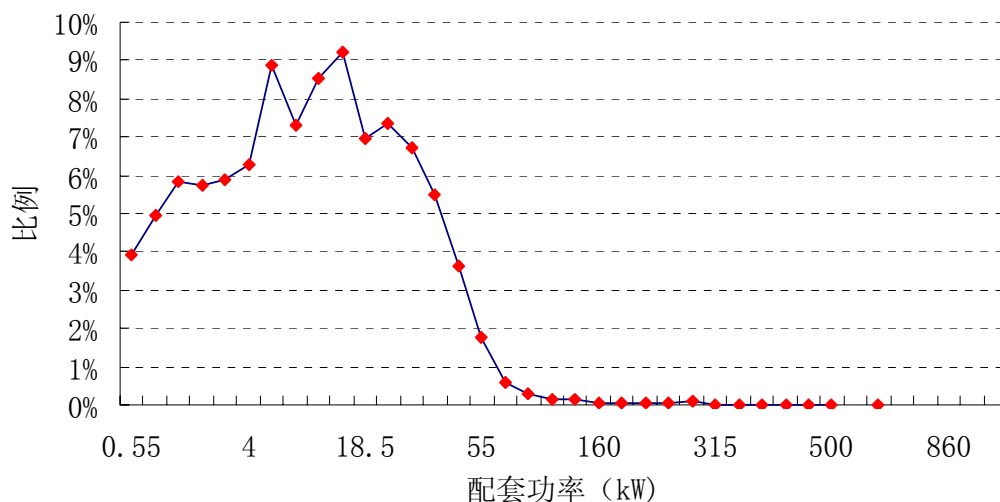


图 4-8： 清水离心泵配套功率分布情况

假定此配套功率分布情况在未来的泵行业发展中基本保持不变。那么，参考保有量可以计算得出国内市场上清水离心泵的平均功率为 15.62KW。

#### ④ 平均运行时间

根据调查公司反馈的数据，将全天 24 小时分为 8 个时间段，调查每个时间段内泵的使用率，调查结果见表 4-3。

表 4-3： 清水离心泵运行时间统计表

序号 i	1	2	3	4	5	6	7	8
时段 t	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24
频率 $\psi_i$	0.1	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	0.5	0.2
平均年运行时间 $T_{av}$	$T_{av} = \sum_{i=1}^8 \psi_i \times \frac{24}{8} \times 365 = 4270.5 \text{ 小时/年}$							

资料来源：中小型三相异步电动机项目市场调查报告

从上表统计数据中可以计算出清水离心泵的平均运行时间为 11.7 小时/天，考虑到此次研究对象是相对运行时间偏高的工业领域，这里不妨假设

一个复合参数 $\phi$ ，综合反映泵类产品用于工业领域的比例和产品开机率等影响年耗电量的因素。如果按照复合参数 $\phi=0.4$ 计算，那么清水离心泵等效年运行时间为 1708.2 小时。

## (2) 能耗量预测

目前，国家标准《清水离心泵的能效限定值和节能评价值》已处于公示阶段，此国家标准将作为计算基准能耗量和能耗预测量的准则。由于清水离心泵包含多种类型，如单级、多级、单吸、双吸清水离心泵，同时能效限定值及节能评价值又取决于清水离心泵的流量和比转速，为了用简洁明了的计算来说明问题，不妨取其中某一类型的清水离心泵在一组特定的参数条件下来计算其基准能耗量和能耗预测量。

所选的样品为单级单吸清水离心泵，流量不大于  $300\text{m}^3/\text{h}$ ，比转速小于 120 或大于 210。根据《清水离心泵的能效限定值和节能评价值》国家标准报批稿，按上述条件可以查得效率修正值 $\Delta \eta$ 为 3%，泵设计点的效率值为 77.3%，能效限定值为 74.3%，节能评价值为 79.3%。

计算得出单台清水离心泵年耗电 ( $E_c$ ) 为 35912kWh，参考之前得出的基准数据中清水离心泵产品社会保有量的预测结果，可以得出清水离心泵在保持当前效率水平的情况下，未来能耗的预测值。如图 4-9 所示：

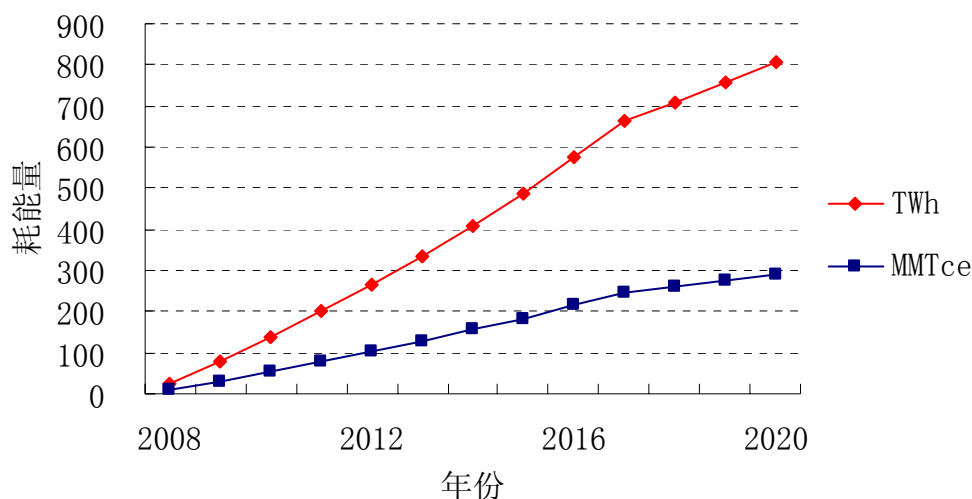


图 4-9: 清水离心泵能耗量预测表 (TWh, MMTce)

从图中可以看出，如果清水离心泵保持现有的效率，那么消耗的能源将是非常庞大的。预计 2010 年耗电约为 1379.4 亿度，折合一次能源约 5365.4 万吨标煤；到 2020 年，耗电量将剧增为 8058.9 亿度，折合一次能源约 2.92 亿吨标煤。

### 3. 节能技术方案

#### (1) CFD流场分析软件

泵内的液体流动是高度三维的，典型地包括涡流、紊流、不稳定性以及固定部分和转动部分之间很强的交互作用。由于流体的流场变化极其复杂，即使完善的流体力学理论目前仍无法解释。随着计算机技术的日益成熟，人们不断的试图利用计算机强大的计算能力来模拟真实的流场变化，从而为提高泵的设计效率提供强有力的支持。CFD 通过提供全面的流动数据和更好的流体流动图像，给设计者带来明显的有利条件。这种方法的好处很多：多种运行条件下的性能优化；减少水头损失；降低振动和噪音；减

少重复循环和流动分离现象；在进行昂贵的试验之前检验设计的效果；最大限度地缩短新设计的开发时间并降低风险；改善可靠性及耐久性能并降低维护费用。

## **(2) 利用先进的实验技术**

西方发达国家对泵设计技术的研发工作由来已久，流体机械内部非定常流动的数值与实验研究，是目前国内外研究的热点问题，特别是随着计算机技术和激光测量技术的发展，使得在这一方向上的研究更加深入。粒子图象速度场仪（PIV）、热线风速仪（HWA）及激光多普勒测速仪（LDV）和数采系统等对流动过程进行非定常、三维的流动物理量及湍流参量的测量、分析，探索流动规律及验证数值计算，这些实验技术的充分利用对提高清水离心泵的设计效率有着极大的帮助。

## **(3) 考虑泵自身的特性**

泵的设计应该考虑泵类产品自身的特点，通常可以通过以下措施来提高产品的设计效率。

- 采用特殊的轴承和密封技术，使其机械损失降到最低
- 采用特殊的接头间隙或形状，使其内部泄漏降到最低
- 降低壳体内湿润表面材料的粗糙度
- 采用导流叶片或分流叶片
- 采用减少泵类产品水利损失的特殊设计

## **(4) 技术人员建议**

当前，不少新技术有利于提高通用设备的效率，在清水离心泵的厂商心目中，以下技术是被认可的。

表 4-4: 提高清水离心泵效率的技术手段

1	采用 CFD 流场分析软件优化设计
2	采用 SFD 型喷嘴
3	利用计算机设计软件建立水利模型
4	机械密封; 试验手段; 制造工艺
5	提高加工工艺
6	提高叶轮的设计、铸造水平
7	无过载特性的设计
8	先进涂料
9	引进国外先进样机
10	引进德国、美国新的泵水利模型

#### 4. 能效标准国内外对比

##### (1) 国内现行能效标准及相关标准

- 清水离心泵能效限定值及节能评价值（报批稿）
- GB/T 3216 离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵 试验方法
- GB/T 5657 离心泵 技术条件（III 类）（eqv ISO 9908:1993）
- GB/T 7021 离心泵名词术语
- GB/T 13006 离心泵、混流泵和轴流泵 气蚀余量
- JB/T 443 长轴离心深井泵 技术条件

##### (2) 国外现行能效标准及相关标准

总的来说，目前国外关于工业领域风机、泵类和空压机的能效标准非常有限，只有少数国家（见表 4-5）实施泵类产品的强制性能效标准和配套的能效标识制度。另一方面，产品的测试评价程序在国家行业协会和国际标准化组织中存在着广泛的自愿性的共识，这些被广泛认可的测试程序为



将来能效标准和标识制度的制定奠定了基础。

表 4-5: 国际泵类产品强制性能效标准和标识制度

国家	产品类型	能效标准	能效标识	国家测试标准	参考测试标准
智利	民用离心泵		考虑中	NCh 2648:2002	NOM-004-ENER-1995
	深井泵		考虑中	NCh 2699:2002	NOM-006-ENER-1995
	潜水泵		考虑中	NCh 2700:2002	NOM-010-ENER-1996
墨西哥	民用离心泵	强制性	强制性	NOM-004-ENER-1995	ISO 3555 Class B
	深井泵	强制性		NOM-006-ENER-1995	
	潜水泵	强制性		NOM-010-ENER-1996	ISO 3555 Class B
	立式泵	强制性		NOM-001-ENER-2000	ISO 3555 Class B
伊朗	工业离心泵		强制性		

资料来源: CLASP 2004

泵类产品的设计效率由于设计方法、材料和制造工艺等因素的影响而存在着一定的差距。目前,我国清水离心泵的平均设计效率为 75%,比国外同类产品的的设计效率平均低 5 个百分点。

图 4-10 是美国 2000 年发布的离心泵设计和应用国家标准 (ANSI/HI1.3-2000) 对工业离心泵通常可获得的最佳效率水平给出了具体的参考指标。

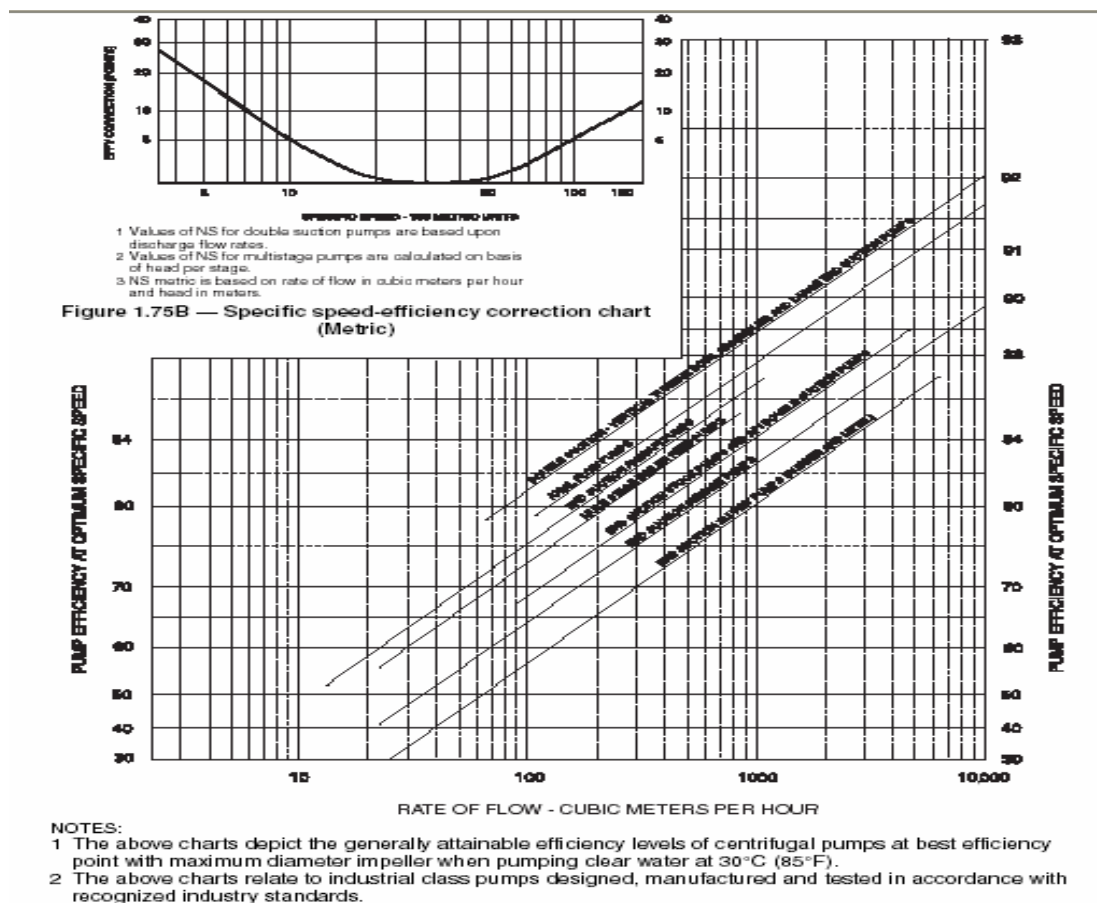


图 4-10： 清水离心泵通常可获得的效率

资料来源：ANSI/HI1.3-2000

### 5. 建议超前能效标准水平

超前能效标准的提出是为了配合国家总体节能战略目标的实现，为企业树立明确的目标，促进企业技术创新。标准的制订必须客观评价国内泵企业的技术水平，广泛地征求企业、行业以及相关专家的意见，尽可能使超前能效标准符合中国市场的实际情况，从而为国家的节能工作做出最大的贡献。

在未来 4~5 年后，如果国家实施强制性超前标准，规定更高的清水离心泵最低产品效率值，企业态度如何呢？调查反馈的厂家态度也在一定程度上反映了该企业的生产技术状况。调查数据显示：

- 2.9%的企业认为，强制性的国家最低产品效率值比当前产品的设计效率高 3%是符合本企业实际生产能力的。
- 25.7%认为高 2%是符合本企业实际生产能力的。
- 42.9%希望两者等同。
- 22.9%希望强制性最低产品效率值比当前产品的设计效率再低 2%。
- 如果超前能效标准最终决定采用“等于当前的产品设计效率”，则有 41.7%的企业在现阶段具备达到这个标准的能力。

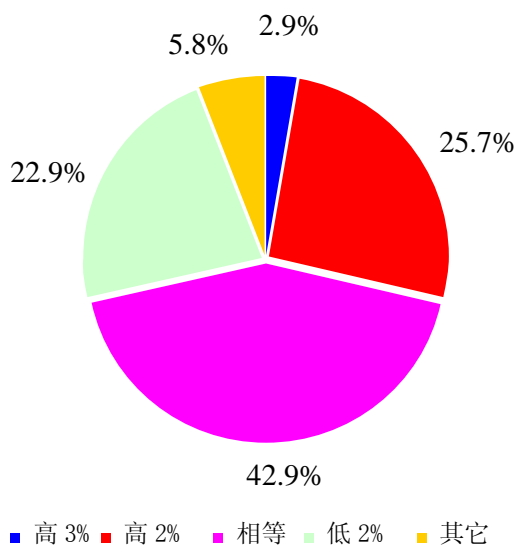


图 4-11：清水离心泵能效提高幅度企业调查情况

资料来源：清水离心泵市场调查报告

从市场的调查情况来看，目前国内清水离心泵的生产厂商的设计制造能力已达到了比较高的水平，将近 70%的企业有能力生产国际先进水平的产品。对目前清水离心泵能效标准中的设计点效率值而言，约 42%的企业现今就能达到要求，赞成以现清水离心泵设计点效率值或在此基础上提高 2%以

及 3%来作为通风机超前能效标准能效限定值的企业占了总数的 71.5%。以上数据充分说明了目前清水离心泵的能效限定值并不能达到促进企业技术创新，实现工业节能的要求。虽然此次调查以国内大中型的企业为主，技术力量比较雄厚，但是考虑到企业普遍为了自身的利益对强制性的国家能效标准采取比较保守的建议，经过行业协会与专家的反复讨论，认为超前能效标准中的能效限定值设定为现能效标准中的“节能评价”并设 2008 年作为预期生效时间是比较合理的，也是符合国内市场真实情况的。

## 6. 超前能效标准节能潜力

现暂时采用清水离心泵能效标准报批稿中的节能评价为其超前能效标准中的能效限定值，那么单位清水离心泵在采用超前能效标准后的年节能量 ( $E_{s_0}$ ) 经计算为 2264.33 千瓦时。节能量预测结果，如图 4-12 所示：

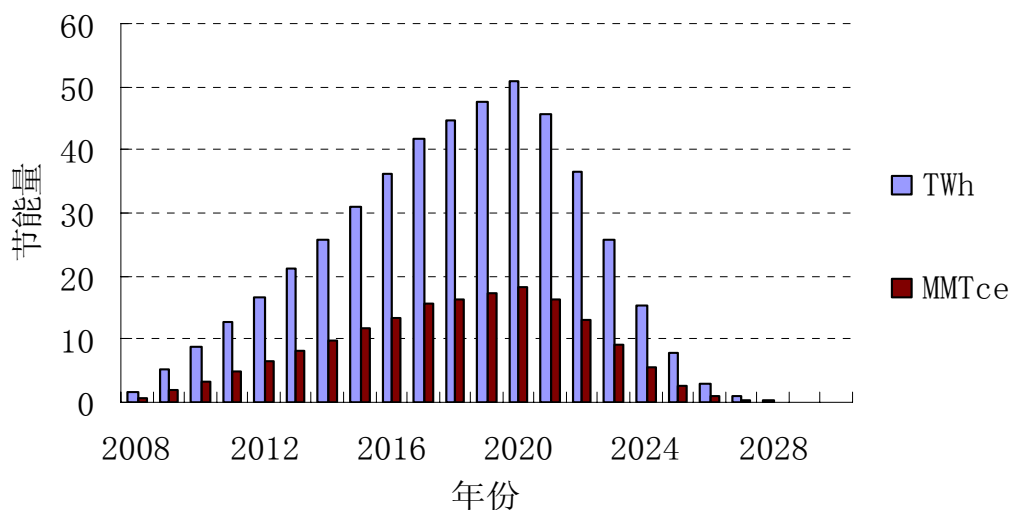


图 4-12: 清水离心泵节能量预测表 (TWh, MMTce)

从 2018 年开始，实施超前能效标准后的第一批清水离心泵已满 10 年寿命期而被淘汰。由于市场上清水离心泵保有量增长速率的降低而导致节

能量的增长速率也相应减慢。如果该项目的预测期到 2020 年，那么由于实施该超前能效标准所带来的节能效果将会一直延续到 2030 年，直到所有高效的清水离心泵全部淘汰出市场。

通过分析可知，针对清水离心泵制定实施超前能效标准将带来巨大的节能量。如上图所示，预计 2010 年当年节约电量 87.0 亿度，折合一次能源约 338.30 万吨标煤；2020 年当年预计节约电量 508.1 亿度，折合一次能源约 1840.15 万吨标煤。从 2008 年超前能效标准开始生效计，到 2010 年累计节约电量 154.1 亿度，约折合一次能源 601.57 万吨标煤；到 2020 年累计节约电量 3437.2 亿度，约折合一次能源 1.28 亿吨标煤。同时为 2020 年的峰值需求减少累计贡献 2.00 亿千瓦。

## 7. 超前能效标准减排潜力

提高能效、节约用电可减少火力发电而向大气排放的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等温室气体和大气污染物。

二氧化碳排放系数（ $\lambda$ ）的经验数据见表 4-6。

数据来源	煤炭	石油	天然气
DOE/EIA	0.702	0.478	0.389
日本能源经济研究所	0.756	0.586	0.449
中国工程院	0.680	0.540	0.410
国家环保局温室气体控制项目	0.748	0.583	0.444
国家科委气候变化项目	0.726	0.583	0.409
国家科委北京项目	0.656	0.591	0.452

资料来源：企业能源审计方法，孟昭利，清华大学出版社

注：DOE/EIA 为美国能源部能源信息署，1999；日本能源经济研究所，1999；中国工程研究院，中国可持续发展能源战略研究报告，1998；国家环保局，GEF，中国温室气体控制的问题与选择，1995；国家科委，ADB，中国全球气候变化国家对策研究，1994；国家科委，加拿大环境部，北京市温室气体排放及减排对策研究，1994。

2002 年中国供电煤耗为 383gce/kWh，目前国内学术界普遍引用的权威数据源自中国工程院，本报告也采用中国工程院的数据，即 $\lambda$ 为 267.27 克/kWh。

NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>和大气颗粒物排放系数取自《中国重点耗能产品节能潜力分析》所用排放系数：

NO<sub>x</sub> 排放系数：4.07 克/kWh

SO<sub>2</sub> 排放系数：5.84 克/kWh

PM<sub>10</sub> 排放系数：24.80 克/kWh

经计算，2008-2020 年，由于清水离心泵超前能效标准的实施所带来的污染物减排量累计为 9666.43 万吨碳、151.32 万吨氮氧化物、217.12 万吨二氧化硫和 922.03 万吨微细颗粒物。如下图 4-13 所示：

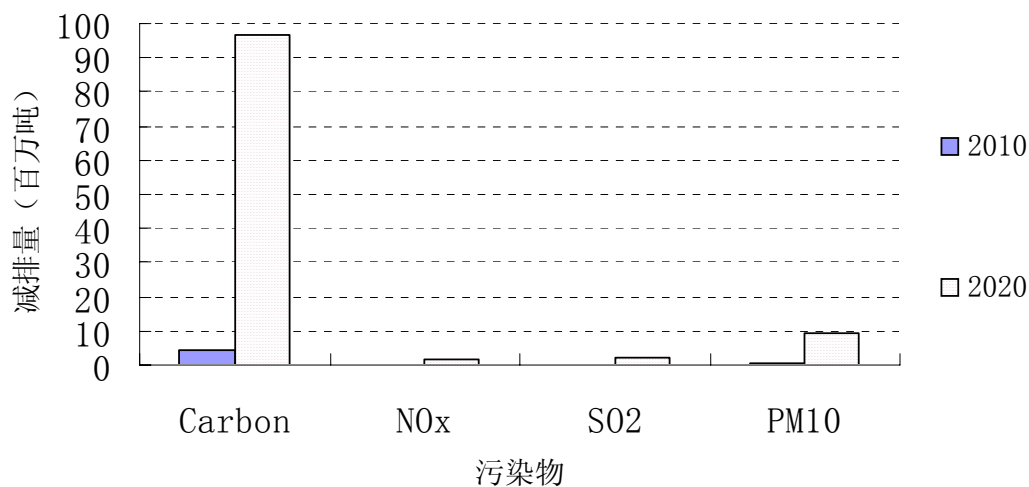


图 4-13：大气污染物减排预测（清水离心泵）

## 8. 超前能效标准成本效益分析

超前能效标准的成本效益分析可以进一步从经济效益的角度来论述超前能效标准的可行性。这里首先对模型中全国平均普通工业用电价格、清水离心泵样品的市场平均价格等成本效益分析中的必要参数进行定量化。

### (1) 电的价格

#### ① 2002 年电价分布

电的价格会因地区、行业和使用时间（高峰和低谷）的不同以及用电量的不同等因素而有所变化。我们调查了北京、上海、天津、河北省、江苏省、辽宁省、福建省等 13 个省市在居民生活、非居民照明（公共）、商业和工业领域的 2002 年电价数据（见图 4-14），并在不考虑各地用电量差别的情况下，计算出各地区电价的算术平均值（见表 4-7）。这些平均值将用于本项目成本效益分析时的电价输入。

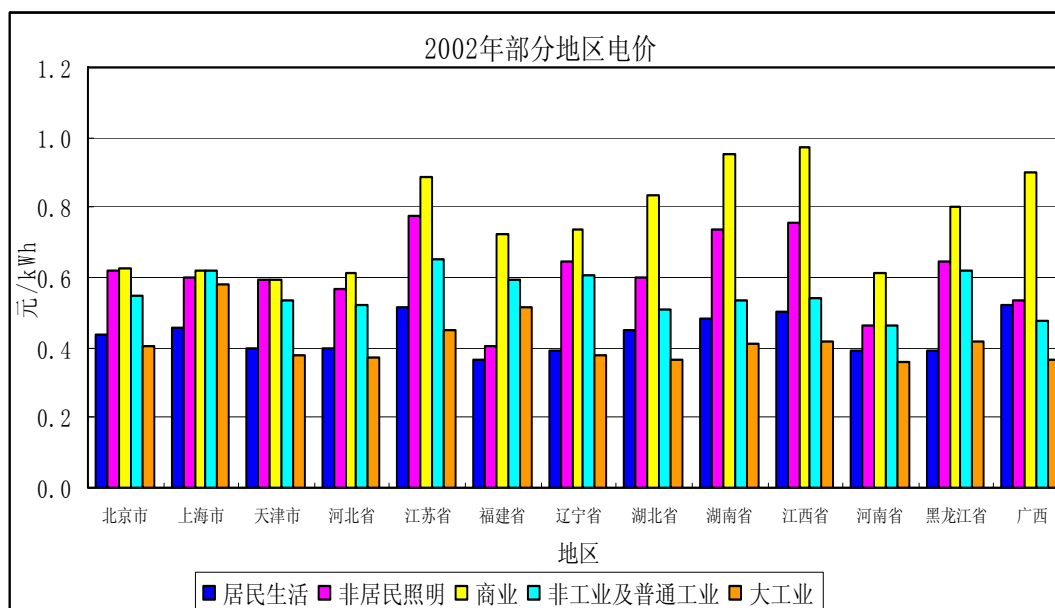


图 4-14： 2002 年全国部分地区电价（元/度）

表 4-7: 2002 年全国部分地区各用电领域平均电价 (元/度)

地区	居民生活	非居民照明	商业	非工业及普通工业	大工业
北京市	0.440	0.62	0.626	0.55	0.406
上海市	0.445	0.597	0.618	0.62	0.578
天津市	0.400	0.593	0.593	0.532	0.387
河北省	0.400	0.57	0.61	0.519	0.369
江苏省	0.515	0.776	0.884	0.649	0.451
福建省	0.365	0.405	0.725	0.592	0.513
辽宁省	0.392	0.647	0.736	0.607	0.377
湖北省	0.452	0.597	0.832	0.509	0.364
湖南省	0.481	0.735	0.955	0.536	0.411
江西省	0.501	0.755	0.975	0.543	0.418
河南省	0.391	0.461	0.615	0.461	0.360
黑龙江省	0.392	0.644	0.805	0.621	0.419
广西省	0.520	0.536	0.900	0.474	0.364
<b>平均电价</b>	0.439	0.610	0.760	0.555	0.416

注：电价随着地区、行业领域、使用量的不同而变化，上表中每个地区各用电领域的电价是不同电价的算术平均值，大工业电价不包括基本费用。

资料来源：各电网提供

由于本项目的研究对象是工业用途的清水离心泵、通风机和容积式空气压缩机的超前能效标准，所以在工程经济效益模型中，我们采用 2002 年非工业及普通工业的平均电价，即 0.56 元/度。

## ② 电价预测

根据 1990~1999 年全国部分电力公司的平均电价 (图 4-15)，可以做出电价变化趋势曲线，并结合实际情况对今后若干年的电价变化趋势作出预测。



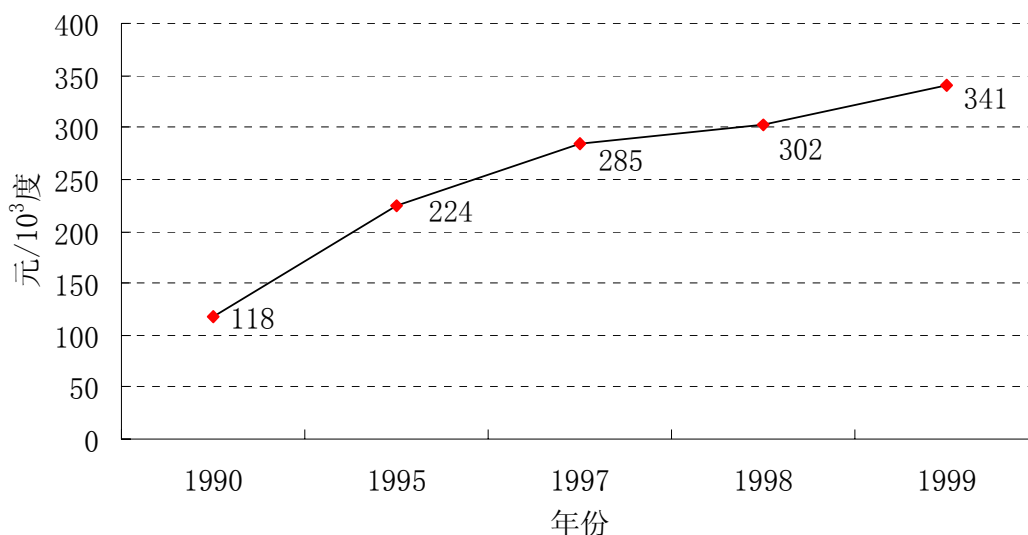


图 4-15: 1990-1999 年国家电力公司各电网平均电价变化趋势

资料来源: 国家电力公司网上公布

图 4-15 的电价变化趋势显示, 从 1990 年至 1999 年, 电价的年增长率为 18.9%, 但后两年的增长趋势变慢, 为 10% 左右, 1999 年至 2000 年, 电的价格基本维持不变。以这十年电价的变化为基点, 用对数回归的方法推测 2020 年以前我国工业领域电价的变化趋势, 预测结果如图 4-16。

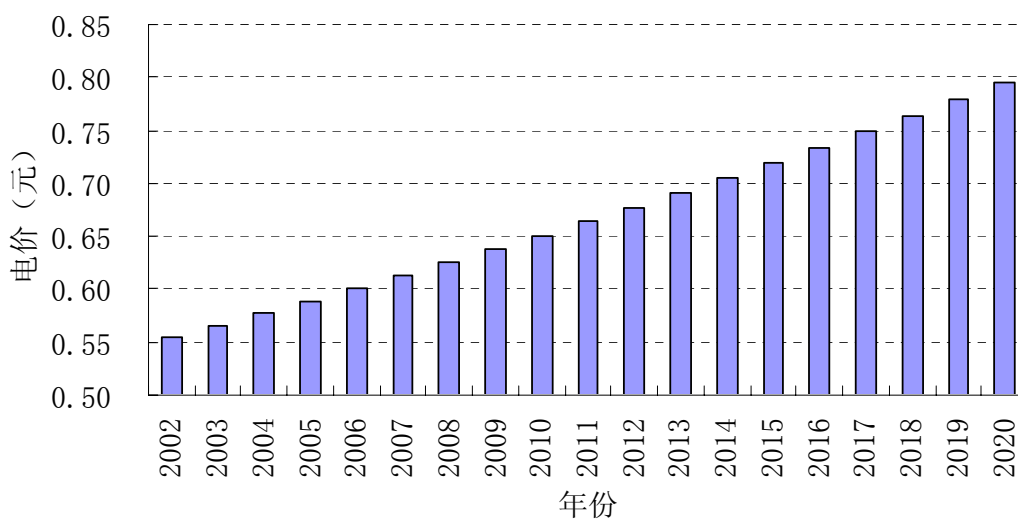


图 4-16: 2002~2020 年普通工业平均电价预测

从预测的数据可以算出今后我国普通工业的电价约以每年 2% 的速度增长。虽然近几年随着经济的快速增长各地又出现了电力紧张的局面，但是随着三峡工程的进展和电力建设步伐的加快，电力紧张的局面在三年后有望缓解，况且居民电价会保持相对稳定，因此预计全国的居民电价将呈现平缓的增长，今后电价维持在 2% 左右的增长率是比较合理的。

### (2) 产品单价

根据中国统计出版社出版的 2003 年中国机电产品报价目录，考虑到市场经济条件下同类型产品的价格应具有竞争力的市场准则，对安徽三联泵业股份有限公司等国家骨干泵企业 2003 年清水离心泵的销售价进行统计，对应于 15kW 配套功率的清水离心泵的市场平均价格为 7344 元。根据 1996 年美国能源部 (DOE) 的报告，能效提高 15%，价格相应提高约 25%，由此计算得出，我国清水离心泵超前能效标准的实施将会使高效泵产品的市场平均价格由 7344 元增加到 8168 元。

### (3) 成本效益分析

根据公式 (16)、(17)，取折现率为 7.6%，将清水离心泵销售量和其销售单价的增量代入相应的公式中，计算可得清水离心泵超前能效标准项目投资增量的预测值 (见图 4-17)。到 2020 年为止，这项投资的净现值为 137.62 亿元。：

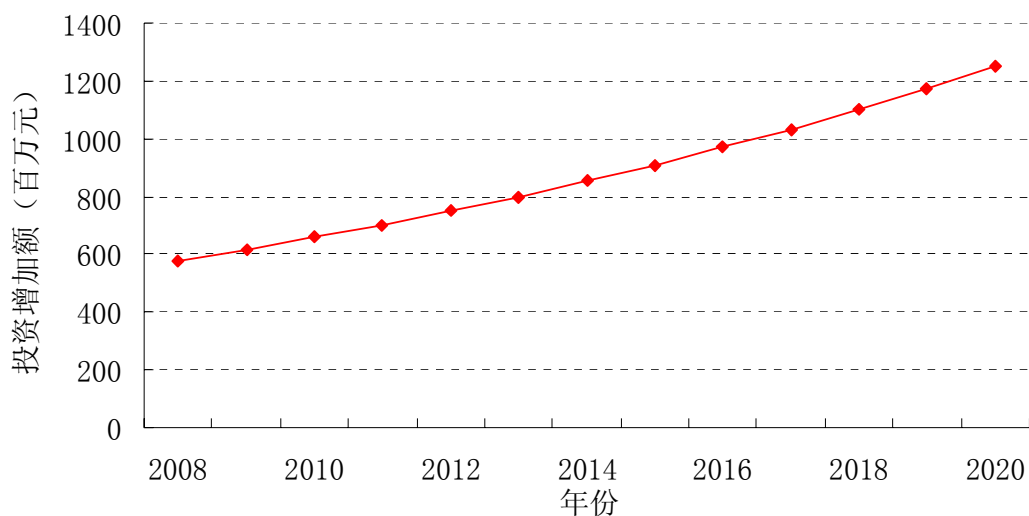


图 4-17: 清水离心泵投资增量预测

另一方面，根据公式（16）、（18），对项目进行效益预测分析。取折现率为 7.6%，将清水离心泵的年节能量乘上相应年份的预测工业电价即可得出每年的高效清水离心泵所带来的节能经济效益。但在计算收益时，2020 年售出的产品在其使用寿命中所带来的能源费用节约也在考虑之中。具体计算结果如图 4-18 所示：

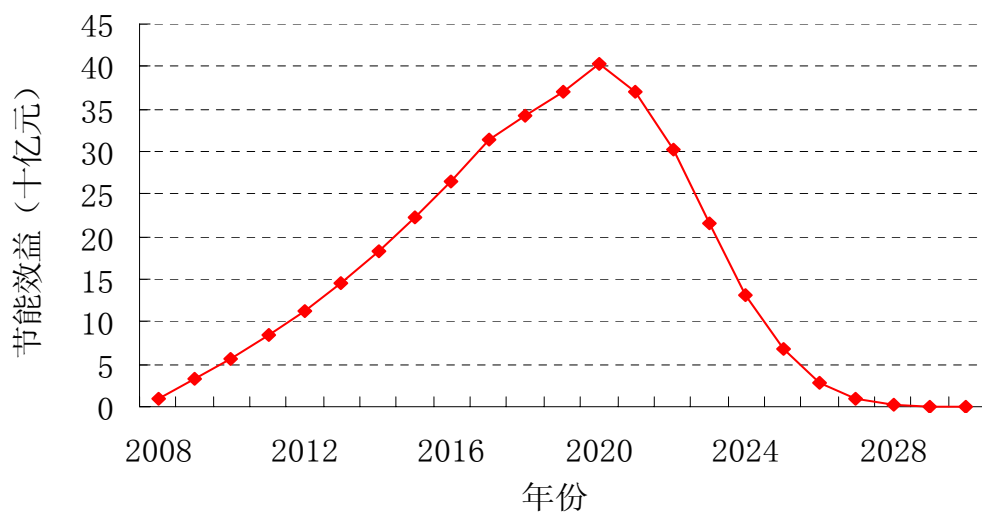


图 4-18: 清水离心泵节能效益预测

从2008年到2030年由于提高清水离心泵能效标准而带来的节能效益为1667.10亿，相比于投资增加金额，项目的净收益为1529.48亿，收益成本比为12.11，单位产品回收期约0.7年。

## (二) 风机

### 1. 产品状况

#### (1) 基本描述

##### ① 定义

风机是我国对气体压缩和气体输送机械的习惯简称。通常所说的风机包括通风机、鼓风机、压缩机和罗茨鼓风机，但是不包括活塞压缩机等容积式鼓风机和压缩机。气体压缩和气体输送机械是把旋转的机械能转换为气体压力能和动能，并将气体输送出去的机械。

##### ② 类型

风机制造业产品主要分为离心压缩机、离心通风机、轴流通风机及其他特种用途风机等八大类，产品有230个系列4500多种规格。不少产品填补了国内空白，基本上可以满足我国重大装备配套的需求，广泛应用于石化、冶金、矿山、轻纺、建工等各个部门。年产30万吨合成氨装置配套的空气压缩机、氨冷冻压缩机、天然气压缩机，年产52万吨尿素装置配套的二氧化碳压缩机，年产80万吨炼油催化裂化装置配套轴流压缩机，高炉用轴流压缩机，300~600MW电站轴流风机等都达到了当代国际先进水平。

风机按工作原理和结构可以分类如下：

叶片式(透平式)风机：靠工作叶轮的旋转运动，将能量传递给流体的

风机。

容积式风机：通过工作室容积周期性变化实现对流体传递能量的风机。

表 4-8： 风机产品类型

风机	叶片式(透平式)风机	离心式风机	
		轴流式风机	
		混流式风机	
	容积式风机	往复式风机	活塞式风机
			柱塞式风机
			隔膜式风机
		回转式风机	螺杆式风机
			罗茨式风机
			叶式风机
			滑片式风机

按气体出口压力（或升压）分类：

- ◆ 通风机（低压） <15kPa；
- ◆ 鼓风机（中压） 115 kPa ~ 350 kPa；
- ◆ 压缩机（高压） >350 kPa。

注：气温为 20°C，大气压为 101Pa。

### ③ 主要性能参数

风机主要性能参数包括流量（可分为排气与送风量）、压力、气体介质、转速、功率等（见表 4-9）。

表 4-9: 风机主要性能参数

项目		单位	备注
流量	风量	m <sup>3</sup> /min、m <sup>3</sup> /h、kg/s	
	标准风量	m <sup>3</sup> /min (NTP)、m <sup>3</sup> /h (NTP)	
压力	进气及出气静压、风机静压、全压、升压	Pa、MPa	
气体介质	温度	°C	
	湿度	%、kg/h	
	密度	kg/m <sup>3</sup> (NTP)	
	灰尘量及灰尘的种类	g/m <sup>3</sup> 、g/m <sup>3</sup> (NTP)、g/min	附着、磨损和腐蚀性
	气体的种类		腐蚀、有毒性和易爆性
转速		r/min	滑动 定速、变速（转速范围）
功率	输出功率	kW	

资料来源：机械工业部编的《风机手册》

#### ④ 典型性能曲线

风机的性能曲线是风机性能的图解。通常把表示风机主要性能参数之间关系的曲线称为风机的性能曲线或特性曲线，风机性能曲线是气体在风机内运动规律的外部表现形式，通过实测求得。特性曲线包括：风量-总风压曲线（ $Q-H_T$ ），风量-静风压曲线（ $Q-H_{ST}$ ），风量-效率曲线（ $Q-\eta$ ），风量-轴功率曲线（ $Q-N$ ），性能曲线的作用是风机的任意流量点都可以在曲线上找出一组与其相对的风压、功率和效率值，这一组参数称为工作状态，简称工况或工况点。传统上，这些参数是由手工实验测得，目前国内流行使用计算机为基础的数据采集系统和处理模块来代替传统的实验测定，从而极大地降低成本，减轻劳动强度，提高测量数据精度及可靠性，实现了数

据的连续检测。

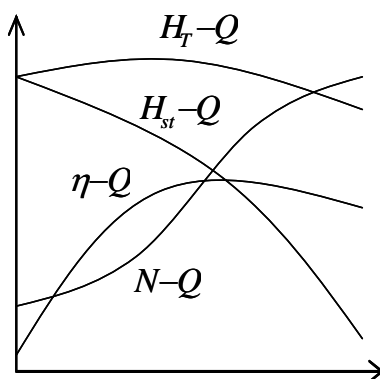


图 4-19： 风机典型性能曲线

资料来源：机械工业出版社《风机手册》

## (2) 市场分析

根据中国通用机械风机行业协会对 80 个会员企业的统计，2001 年风机行业完成产品产量 247,375 台，比上年减少了 3.9%。

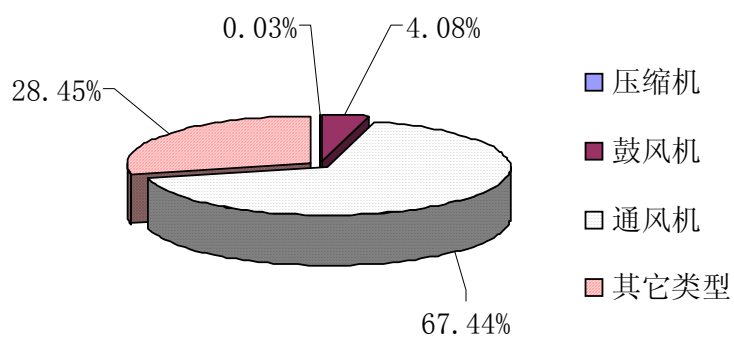


图 4-20： 2001 年风机产品市场份额

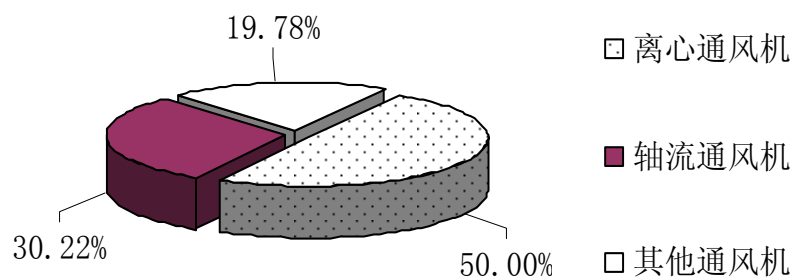


图 4-21: 2001 年通风机产品市场份额

资料来源：中国机械工业年鉴 2002

从以上两张图中可以看出通风机市场份额占有绝对优势。其他类型的风机是按照用户的具体要求进行设计生产的非标产品，此类产品已经占有 28% 的市场份额。压缩机占有的市场份额最小，其中，有能力生产离心压缩机、轴流压缩机的企业只有少数几家，如沈阳鼓风机厂、上海鼓风机厂有限公司和陕西鼓风机（集团）有限公司等。其余大部分企业均以生产离心通风机和轴流通风机为主。因此，风机行业开展节能工作的重点应为通风机产品。

## 2. 能耗分析

### (1) 基准数据

#### ① 产品平均寿命

综合各厂家的评估数据，发现 10kW 以下的小型通风机的平均正常运行时间为 8.9 年，寿命相对低于 10kW 以上产品。100kW 以上的通风机平均寿



命能达到 10.8 年。

- 0-10kW，平均寿命 8.9 年
- 11-50kW，平均寿命 9.5 年
- 51-100kW，平均寿命 9.8 年
- 大于 100kW，平均寿命 10.8 年

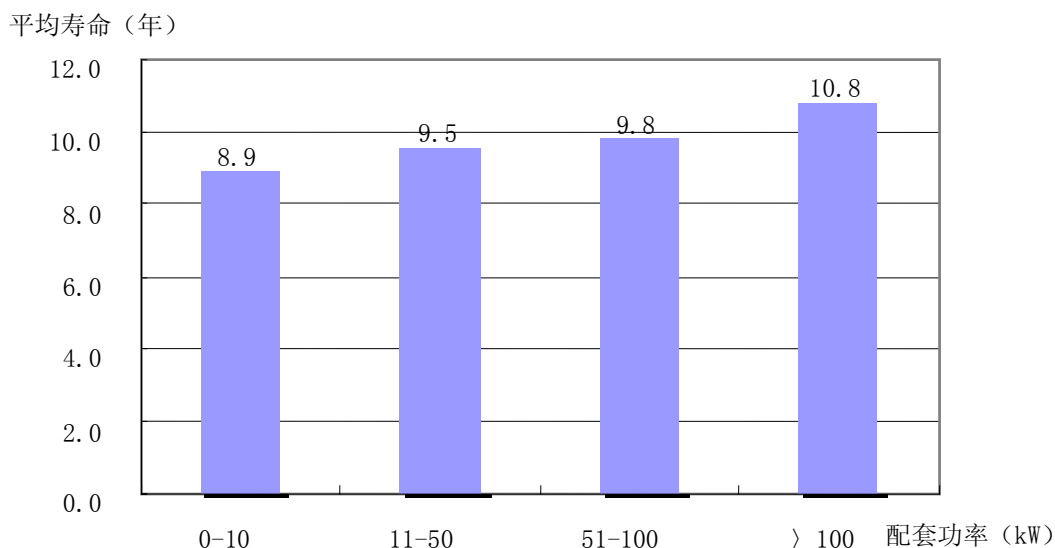


图 4-22：不同规格通风机的平均寿命

资料来源：通风机市场调查报告

通风机产品的平均寿命随着配套功率的增加而增加，不同配套功率的产品平均寿命为 9.75 年，为简化计算，我们将国内通风机产品的平均寿命近似定为 10 年。

## ② 产量和保有量

通风机年产量的估算如下：按照中国机械工业年鉴对 1999 年、2000 年、2001 年风机行业 80 家骨干重点企业的统计数据，并以《中国通用机械工业

年鉴 2004》中公布的风机行业增长速率推测 2002 年、2003 年清水离心泵的产量，以此五年的数据为基点，采用对数回归分析的方法对未来通风机产量的趋势进行预测并计算得出年平均增长率。预测结果如下图所示：

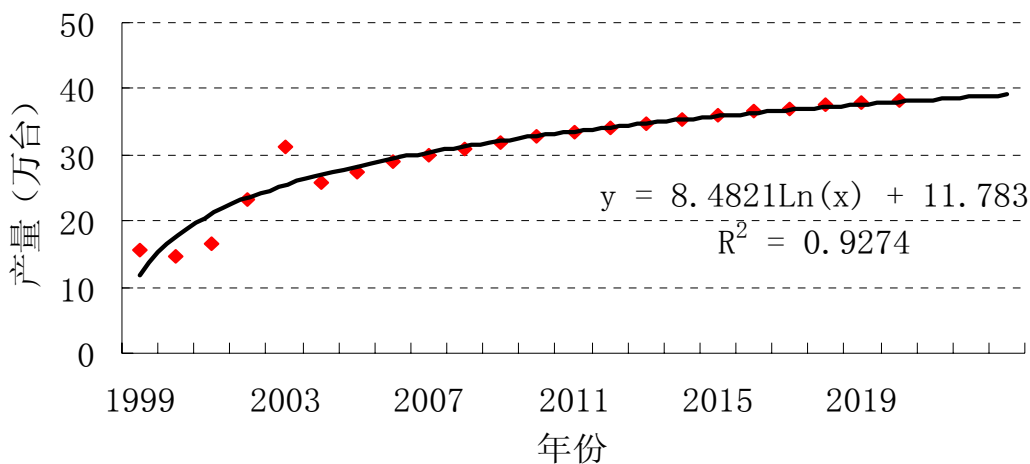


图 4-23： 通风机产量预测

按照预测的结果计算得出通风机的年平均增长率为 6.46%。某些专家和专业机构预测今后我国风机的增长速度约为 12%，但是在此模型中，为了跟离心泵项目达成一致，我们以中国通用机械统计年鉴的数据为基准来预测未来我国通风机的产量。由于统计年鉴上的数据只有产量而没有销售量，不妨假设通风机的平均销售系数  $\omega$  为 0.98，以此系数乘上相应年份的产量则得到当年通风机的销售量。

同样，需要把协会统计的数据扩大到全国范围，我们以所有上规模企业的通风机年产总量来表示国内市场通风机总产量。2001 年，全国范围内上规模的风机生产商有 237 家，其中风机行业协会会员企业 80 家，经过专家和行业协会的磋商，假设非协会企业的平均年产量为协会企业平均年产量的 40%，那么全国通风机保有量的预测结果如下图所示：

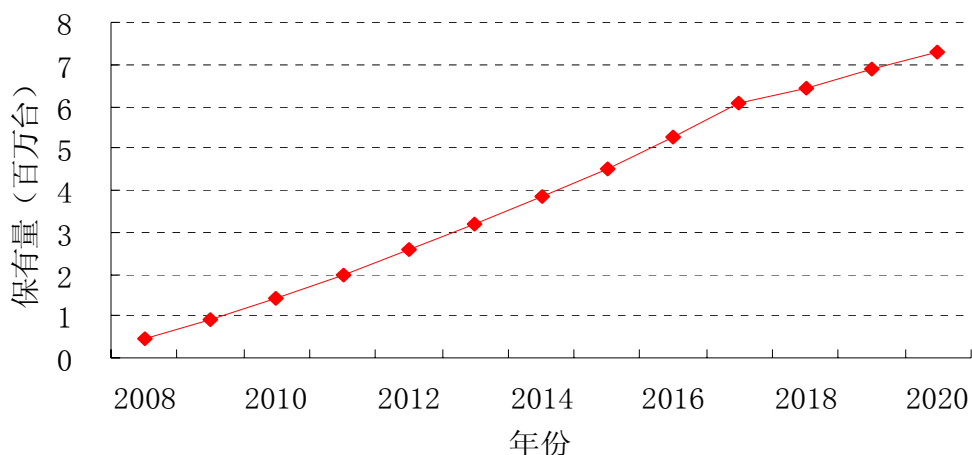


图 4-24: 通风机社会保有量预测

### ③ 平均配套功率

此次定性为主的调查同样涉及了通风机产品的平均配套功率的评估，虽然数据是企业生产部门的粗略估计，但是统计结果仍然可以反映国内通风机配套功率的概况和趋势。在所有调查企业当中，将近 50%的企业估计其产品的平均配套功率小于 100kW，100-200kW 的约占 24%，200kW 以上的约占 27% 具体分布情况见下图：

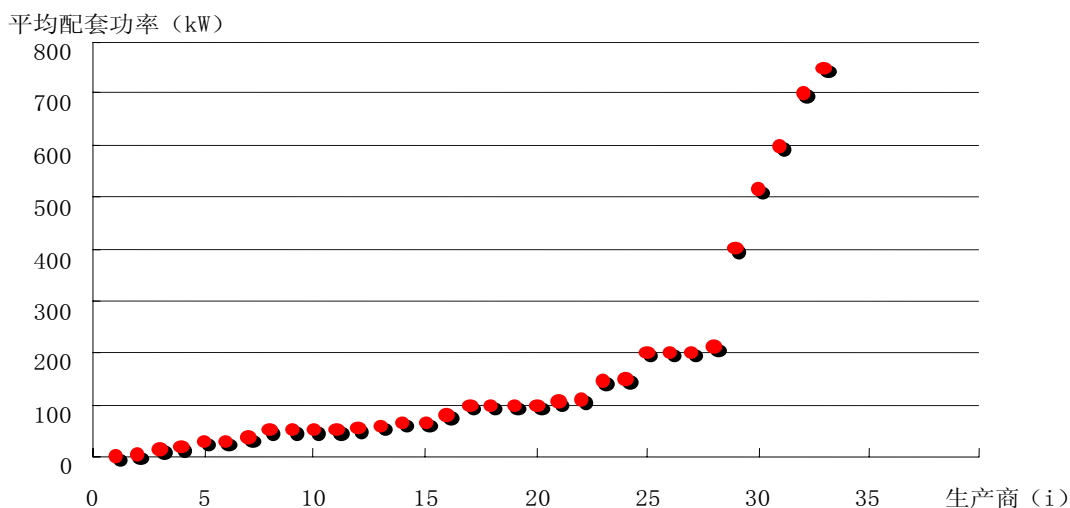


图 4-25: 通风机配套功率趋势图

资料来源：通风机市场调查报告

此次调查的平均配套功率分布情况只能反映其趋势和概况，无法计算其具体数值。与清水离心泵的处理方法相同，我们采用电动机项目调查的数据，虽然调查数据对应的产品范围不尽相同，但是考虑到通风机占国内风机市场的主要份额，我们暂且以电动机项目的调查结果来计算通风机的平均配套功率。图 4-26 反映了通风机配套功率的分布情况：

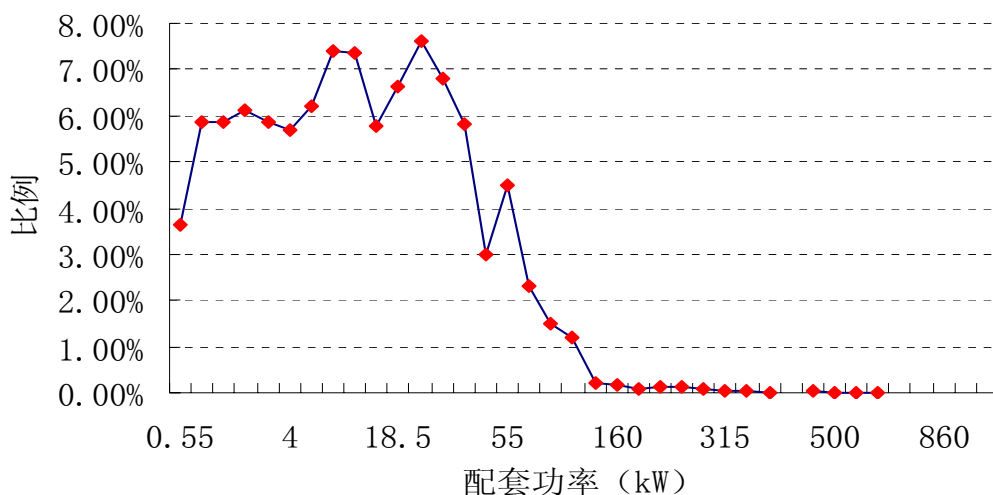


图 4-26： 通风机配套功率分布情况

数据来源：中小型三相异步电动机项目市场调查报告

假定此配套功率分布情况在未来的风机行业中基本保持不变。那么，按照 2008 年的预测保有量可以计算得出国内市场上通风机的平均功率为 20.71KW。

#### ④ 平均运行时间

根据调查公司反馈的数据，将全天 24 小时分为 8 个时间段，调查每个时间段内风机的使用率，调查结果见表 4-10。

表 4-10: 通风机运行时间统计表

序号 i	1	2	3	4	5	6	7	8
时段他	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24
频率 $\psi_i$	0.1	0.3	0.6	0.9	0.9	0.9	0.6	0.2
平均年运行 时间 $T_{av}$	$T_{av} = \sum_{i=1}^8 \psi_i \times \frac{24}{8} \times 365 = 4927.5 \text{ 小时/年}$							

资料来源：中小型三相异步电动机项目市场调查报告

表 4-10 反映了通风机运行时间的分布情况，从统计数据中可以计算出清水离心泵的平均运行时间为 13.5 小时/天，同样假设一个复合参数 $\phi$ ，综合反映通风机产品用于工业领域的比例和产品开机率等影响年耗电量的因素。如果按照复合参数 $\phi=0.5$  计算，那么通风机等效年运行时间为 2463.75 小时。

## (2) 能耗量预测

国家标准《通风机能效限定值和节能评价值》现处于公示阶段，此标准将作为计算基准能耗量和能耗预测量的准则。仿效清水离心泵的节能分析方法，我们取其中某一类型的通风机在一组特定的参数条件下来计算其基准能耗量和能耗预测量。

所选的样品为离心通风机，压力系数为 0.8，比转速  $30 \leq n_s < 45$ ， $5 \leq$  机号  $< 10$ 。根据《通风机能效限定值和节能评价值》国家标准报批稿，按上述条件可以查得能效限定值  $\eta_r$  为 74%，设计点效率值  $\eta$  为 77%，节能评价值  $\eta_r$  为 80%，那么通风机耗能量预测如下：

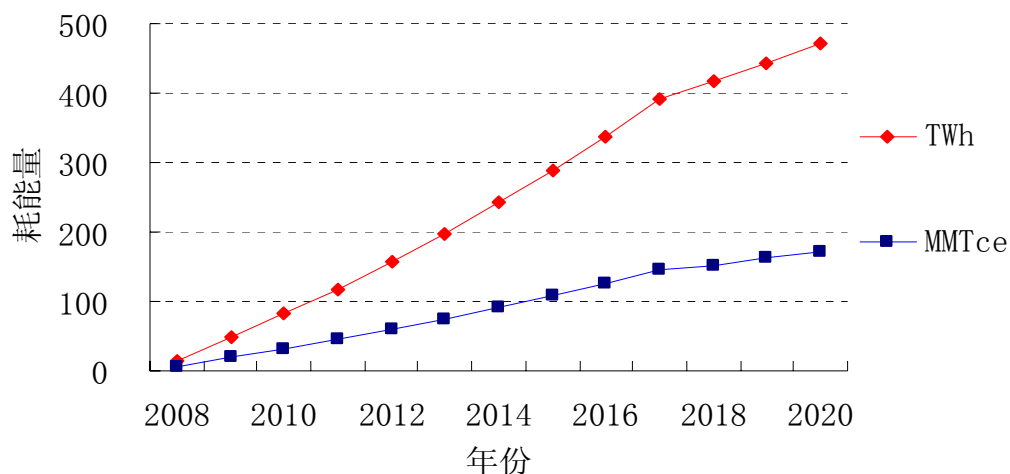


图 4-27: 通风机能耗预测

如图所示，通风机保持现有的效率，那么消耗的能源将是非常庞大的。预计 2010 年耗电约为 816.4 亿度，折合一次能源约 3175.62 万吨标煤；到 2020 年，耗电量将剧增为 4713.2 亿度，折合一次能源约 1.71 亿吨标煤。

### 3. 节能技术方案

提高通风机的设计效率达到能效标准的要求，企业必须增强技术研发的力度，不仅要学习国内先进的通风机设计技术，还要时刻关注国际领先水平的设计技术和经验。影响通风机设计效率的因素是多方面的，例如叶轮的设计、通风机壳体材料的选用和形状的设计等。只有解决了影响通风机设计效率的关键参数的确定问题，才能从整体上提高整个通风机的设计效率。

#### (1) 离心通风机

叶轮的设计是通风机设计中最核心的部分。长期以来，离心叶轮一直是用流动通道这一概念来进行设计的，发展到直接从有限叶片的流体通道出

发,进行二维或三维的无粘性流的位流理论分析,直到现今借助大型计算机软件(例如计算流体力学软件 CFD)来模拟流场的变化,几十年来人们不断努力借助于对旋转叶轮内部流场的测量,建立设计最佳化的理论骨架。高效离心叶轮的设计可以考虑以下一系列的优化策略:

① 优化叶轮进口宽度

叶轮进口处流动状况对叶轮损失和叶轮特性有着重大影响,如何减少其损失是设计中必须要考虑的。一方面加大轴向到径向拐弯曲率半径  $\xi$  ( $\xi = F_0/F_1$ ) 取值  $>1$ , 可以使进口处气流加速流动,缓和气流的分离倾向,减少二次流; 另一方面减小  $\xi$  值 ( $\xi <1$ ), 也可降低气流分离倾向。

② 优化进、出口直径比和平均进气角

同一流量  $Q$ 、相同的叶轮转速  $n$ 、相同的叶轮外径  $d_2$ , 对不同的进出口直径比 ( $d_1/d_2$ ), 进口相对速度  $W_1$  是变化的。而叶轮内流动损失和叶片通道边界层动量厚度的变化均与  $W_1$  有关, 只有当  $W_1=W_{1min}$  时, 叶轮损失较小, 当考虑流线曲率影响及泄露影响时,

$$(d_1/d_2)_{OPT} = \left[ \xi Q \sqrt{2} \frac{\psi m}{1-\gamma^2} \right]^{1/3}, t_s \beta_{OPT} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{1}{m}$$

其中:  $m$  为叶轮进口径向速度比, 埃克作过近似分析,  $m$  是进口宽度  $b$  与进口处曲率半径  $R_1'$  之比的函数,  $\frac{1}{m} = \frac{1}{3}(1+2e^{-\frac{b}{2R_1'}})$ ;  $\psi$  为泄露系数,  $\psi = 1 + \frac{\Delta Q}{Q}$ 。

按上述公式确定的  $(d_1/d_2)_{OPT}$ , 并配合适当的小攻角, 将使实测的最高效率点流量与设计流量相当接近, 一般误差不会超过 5%。

③ 优化叶轮出口参数  $b_2$ , 叶片出口安装角  $\beta_{2b}$  及叶片数  $Z$

当叶轮设计中确定了设计流量  $Q$ 、压头  $H$ 、转速  $n$  和叶轮外径  $d_2$ , 客观上存在一组  $b_2$ ,  $\beta_{2b}$  及  $Z$  的最佳值。由统计研究结果表明, 叶轮出口参数  $b_2$  与比转速  $n$  之间存在明显的线性关系; 叶片的出口安装角  $\beta_{2b}$  与风机性能特性和噪声特性有着直接的关系, 因此, 综合各种因素通盘考虑, 它与叶轮的其它主要几何参数关系不甚紧密。但在叶轮其它参数确定以后, 应满足设计的压头。如果未满足设计要求, 只需调整  $\beta_{2b}$  本身的大小即可, 不必改动叶轮的其它参数。

#### ④ 子午面成型优化

子午面的成型在风机的设计中也即限定前盘的型线, 前后盘构成的气流通称为子午通道, 优化准则的中心思想是减弱射流——层流结构, 减小二次流。习惯上采用气流速度沿流线的变化  $\frac{d_{cm}}{d_s} = const$  (常数) 规律, 采用接近于直锥型前盘 (如锥弧型) 将是有利的。不存在折点和过急的转弯, 能较好的减少二次流。

#### ⑤ 回转面成型(叶片到叶片)的优化与叶片的载荷分布

叶轮中叶片的设计必须要确保提出的气动性能, 并且有最小的损失, 同时便于精确而经济地给予加工, 为此, 必须满足积分关系式:

$$\int_1^2 \delta p b r dr = \frac{Q \psi H}{\omega Z} E$$

其中:  $Q$  为设计流量;  $H$  为设计全压;  $Z$  为叶片数;  $\psi$  为泄露系数;  $E$  为系数 (1.2~1.3);  $\omega$  为叶轮角速度。

设计的叶片型线其载荷分布即作功能力, 能确保叶轮要求的设计流量及压头。



## (2) 轴流通风机

### ① 采用合理的进口双曲风道

一般大中型轴流式通风机的传动部分都设在风道的吸入侧。因为通风机的电动机、传动轴及叶轮均在一条中心线上，所以进风道的吸风口必须偏离设备轴线一定距离，迫使进风道呈曲线形布置。曲线形进风道的曲率半径、断面形状及衔接部分的结构是否合理，对通风机的效率影响很大。

### ② 优化风机叶片的设计

叶轮是通风机的核心部件，注重风机叶轮叶片的改进对提高风机的效率会产生意想不到的效果。例如，采用新型的扭曲叶片取代机翼型叶片通常可以提高风机的风量、风压和效率，但是必须注意扭曲叶片的厚度、重量和尺寸的大小。另外，风机叶片末端的间隙会产生二次流现象，减小末端间隙可以限制由于二次流造成的能量损失。

### ③ 优化整体设计

风机转子和风机外壳、风机其他固定件如机杆等元件之间相互联系而构成整个风机设备，它们之间的相互影响需要仔细地调查，因为这不仅影响风机的效率，同时也是风机噪音的来源。

### ④ 应用先进的实验技术

发达国家对于推动航空发展、节约能源的项目比如在涡轮机组、透平机械等方面投入了大量的研究资金，发展了一系列先进的实验技术。对于风机的设计来说，现今从热丝风力计到快速压力传感器，再到激光的应用如 LDV 与 PIV，这些技术完全可以直接转移到风机设计研究中，从而帮助更好地理解风机内部能量损失，也为提高风机的设计效率奠定基础。

### ⑤ 利用计算机辅助设计

计算流体力学软件（CFD）已经广泛地应用于工程领域。像其他大型的计算机辅助设计软件一样，CFD 的诞生给风机设计者们带来了极大的便利。CFD 向设计者们提供详尽的流动信息（速度、分力、压力和温度等的分布）并处理与风机相关的几何复杂性，例如叶片扭曲以及端部间隙的流动。数据的图解表示法可以使流动图像化，以便在设计初期确定和修正流动分离、涡流、噪音、停滞及逆流等问题。也可以对现有和新型风机的性能进行准确的测算并应用参数化的模型迅速地对多种运行条件下的设计选择加以检验。设计者可以通过调整任何影响风机效率的因素来直观的判断设计出的效果，从而在理论上可以通过无限次的重复计算达到最优化的设计。

### （3）技术人员建议

根据调查资料，在通风机厂商心目中，以下技术是被认可的。

表 4-11：提高通风机效率的技术手段

1	CFD 技术
2	先进的模型（NEW3ACE 系列风机技术）
3	改进机翼叶片材料
4	二氧化碳保护焊
5	改变叶轮型线
6	改进冲压技术
7	三元流优化设计
8	提高制造精度
9	弯管组合
10	旋压技术

## 4. 能效标准国内外对比

### (1) 国内现行能效标准及相关标准

- 通风机能效限定值及节能评价值（报批稿）
- GB/T 1236-2000 工业通风机用标准化风道进行性能试验
- GB/T 10178 通风机 现场试验
- GB/T 13274 一般用途轴流通风机 技术条件
- GB/T 13275 一般用途离心通风机 技术条件
- JB/T 2977 风机和罗茨鼓风机术语

### (2) 国外能效标准

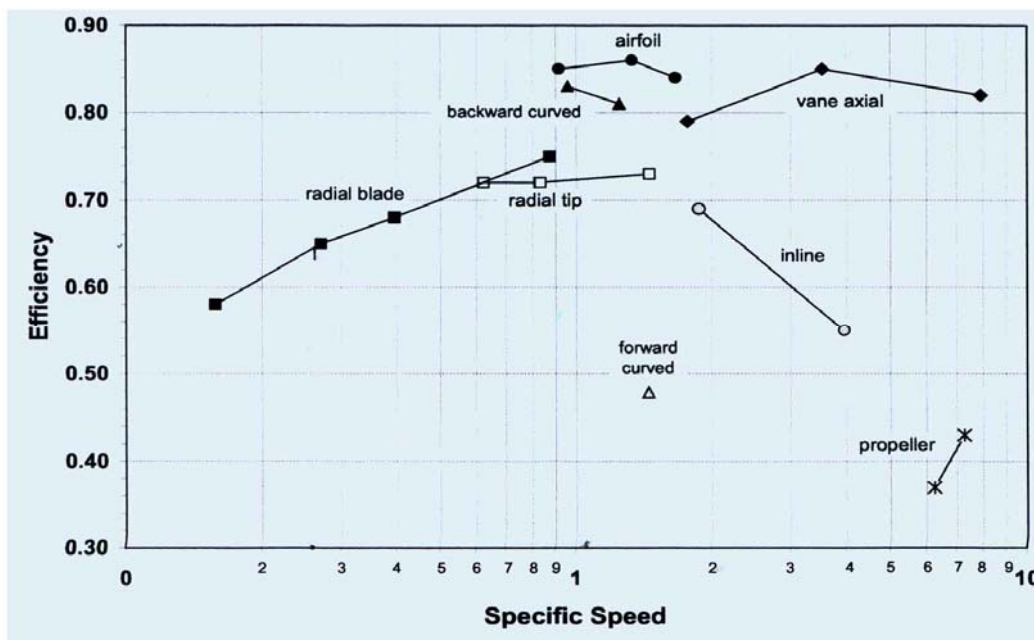


图 4-28: 不同工业风机效率比较

图 4-28 显示了对欧盟各种类型的风机效率的调查结果。从图上可以看出，由于风机的类型，叶轮的形式以及类似叶片倾角，材料等不同的设计方案对风机效率会产生很大的影响。总体上看，我国通风机能效标准中的限定值相对于欧盟风机效率水平来说普遍偏低 5~10 个百分点，这也说明

通风机的能效标准有着进一步提高的潜力。

### 5. 建议超前能效标准水平

为了合理地确定通风机超前能效标准的指标，了解目前国内通风机厂商的实际生产技术水平，针对厂商对超前指标的期望、产品的先进性作了专项调查，调查数据显示：

- 12.1%的企业认为，强制性的国家最低产品效率值比当前产品的设计效率高 3%是符合本企业实际生产能力的。
- 33.3%认为高 2%是符合本企业实际生产能力的。
- 24.4%希望两者等同。
- 12.1%希望强制性最低产品效率值比当前产品的设计效率再低 2%。
- 如果通风机的超前能效标准最终决定采用等于当前国家通风机能效标准中的“产品设计效率”，则有 24.2%的企业在现阶段具备达到这个标准的能力。

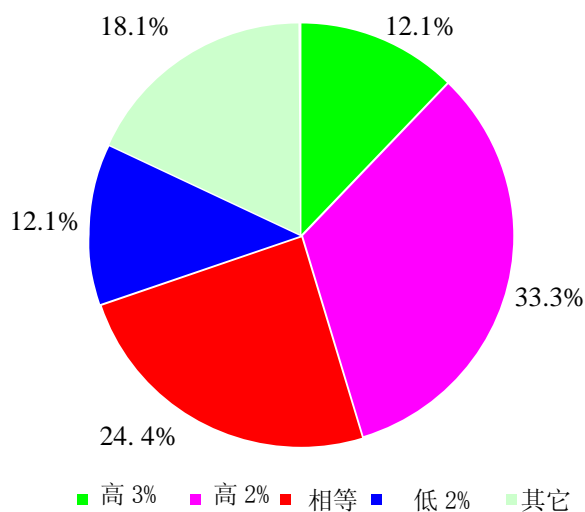


图 4-29：通风机厂商对国家强制性最低效率值的期望

相对于清水离心泵的市场调查数据，通风机产品的生产技术水平相对较低，虽然赞同超前指标定在现设计点效率值及以上的企业也将近占了70%，但是只有24.2%的企业认为目前有能力达到产品设计点效率。加上此次调查对象大多数是行业中的主要生产商，技术力量雄厚，代表着产品生产制造技术的高水平，虽然给出的意见由于自身利益而趋于保守，通风机设计点效率值在目前仍处于比较高的指标，作为3年后超前能效标准中的最低能效指标是合理的，也是符合我国目前市场的真实情况的。

## 6. 超前能效标准节能潜力

采用《通风机能效限定值及节能评价值》国家标准报批稿中风机设计点的效率值为通风机超前能效标准中的能效限定值，由节能模型计算通风机制定实施超前能效标准后的节能量，结果如下图4-30所示：

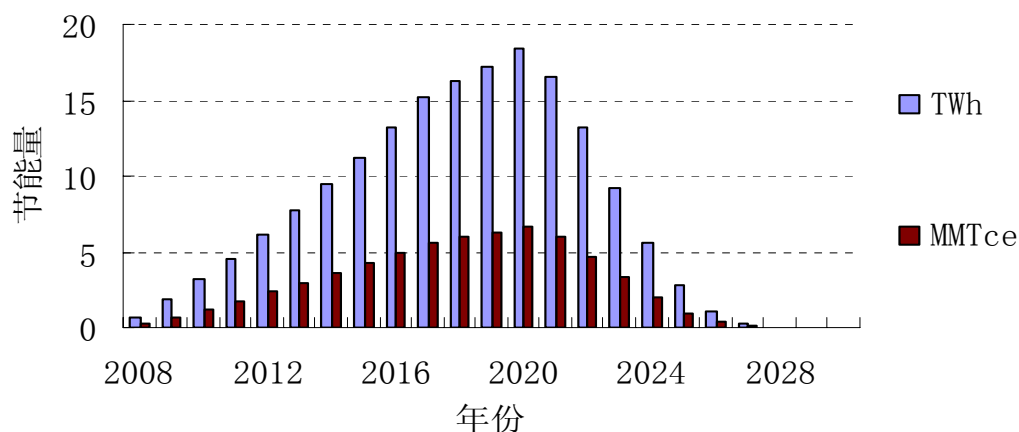


图 4-30：通风机节能量预测

通风机制定实施超前能效标准带来的节能量将是巨大的。如图所示，预计到2010年当年节约电量31.8亿度，折合一次能源约123.73万吨标煤；

到 2020 年当年预计节约电量 183.6 亿度，折合一次能源约 665.01 万吨标煤。从 2008 年超前能效标准开始生效计，到 2010 年累计节约电量 56.4 亿度，约折合一次能源 220.11 万吨标煤；到 2020 年累计节约电量 1248.7 亿度，约折合一次能源 4646.53 万吨标煤。同时为 2020 年的峰值需求减少累计贡献 0.57 亿千瓦。

### 7. 超前能效标准减排潜力

通风机超前能效标准的实施不仅减少了电力的消耗，而且极大地减少了大气污染物的排放，实现保护环境、可持续发展的目标。经测算，2008-2020 年，由于通风机超前能效标准的实施所带来的污染物减排量累计为 35511.74 万吨的碳、54.97 万吨的氮氧化物、78.88 万吨的二氧化硫和 334.97 万吨的微细颗粒物。具体如图 4-31 所示：

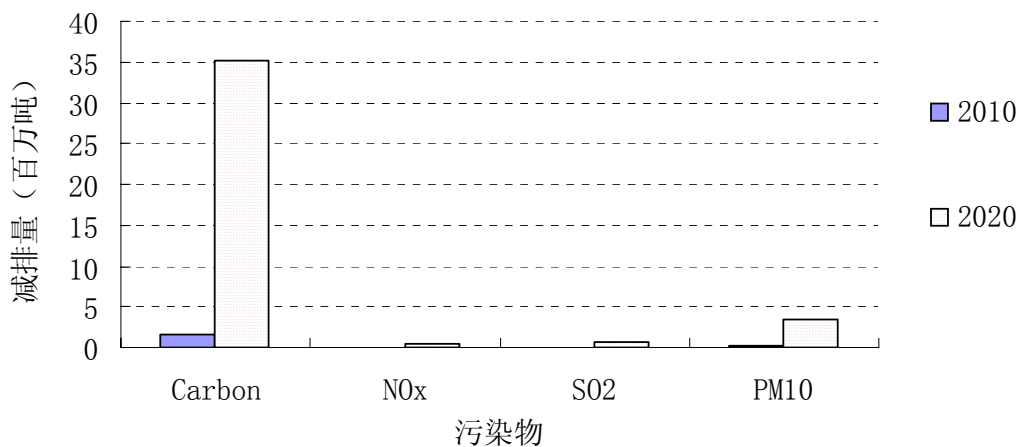


图 4-31： 污染物减排预测（通风机）

### 8. 超前能效标准成本效益分析

与清水离心泵类似，通风机超前能效标准的成本效益分析可以进一步

从经济效益的角度来论述实行超前能效标准的可行性。对模型中全国平均工业用电价格、通风机样品的市场平均价格等成本效益分析中的必要参数进行量化。

根据中国统计出版社出版的《2003 年中国机电产品报价目录》，考虑到市场经济条件下同类型产品的价格应具有竞争力的市场准则，对广州市兴华环保设备联合有限公司等国家骨干风机企业 2003 年离心通风机的销售价进行统计，对应于 18.5kW 配套功率的通风机市场平均价格为 14600 元。根据 1996 年美国能源部（DOE）的报告，能效提高 10%，价格相应地提高约 15%，由此计算得出，我国通风机超前能效标准的实施将会使得市场平均价格由 14600 元增加到 15488 元。通风机的成本效益分析方法与前述清水离心泵部分的内容完全一致，这里只给出计算结果。

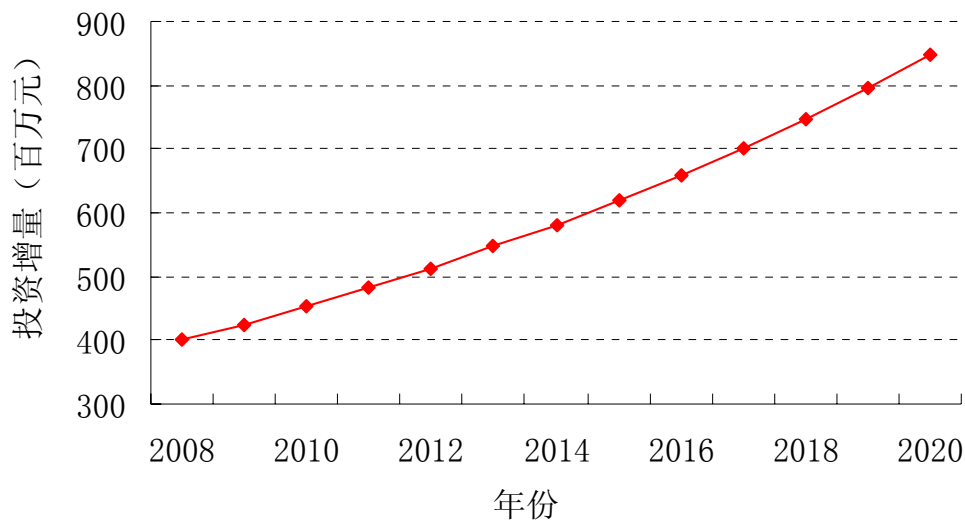


图 4-32: 通风机投资增量预测

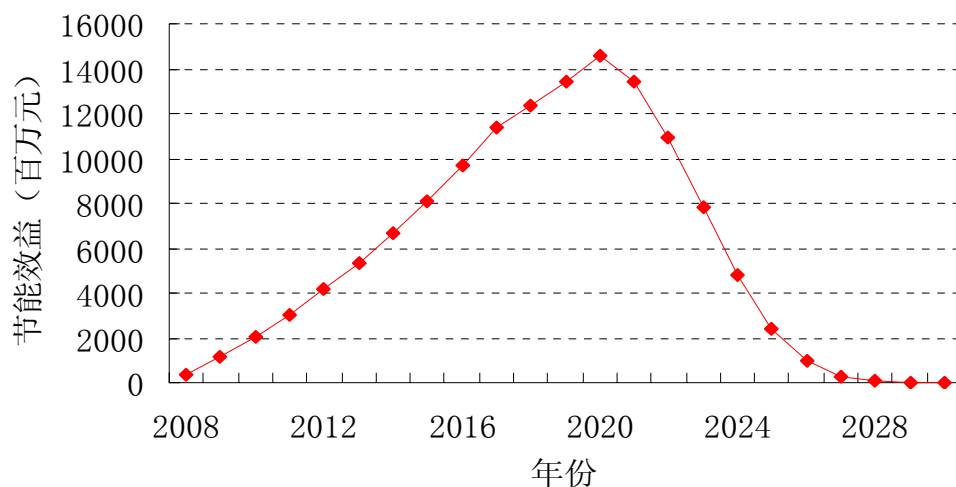


图 4-33: 通风机节能经济效益预测

高效通风机的投资金额的增加量随着通风机销售量的不断增加而逐年攀升，取折现率为 7.6%，到 2020 年为止，这项投资的净现值为 45.32 亿。但是，到 2030 年项目带来的节能效益为 605.22 亿，相对于项目的投资费用，净收益为 559.89 亿，收益成本比为 13.35，单位产品回收期不足半年。

### (三) 空气压缩机

#### 1. 产品状况

##### (1) 基本描述

##### ① 定义

压缩机是一种工业生产中广泛使用的机械设备。这种机械依靠在气缸内作往复运动的活塞或作旋转运转的转子的作用，使吸入气体的体积缩小而提高压力，以满足生产需要。



② 类型

空气压缩机按工作原理或按压缩机分类标准 GB/T4976-1985 (等同采用 IS05390-1977), 可分为容积式压缩机和动力式压缩机。

表 4-12: 空气压缩机产品类型

空气压缩机	动力式	喷射式	——
		透平式	离心式
	容积式		回转式
		转子式	
		螺杆式	
		往复式	滑片式
			活塞式
			膜式

资料来源: 化工出版社《常用机械电器实用手册》

动力式: 是靠气体在高速旋转叶轮的作用下得到较大的动能, 随后在扩压装置中急剧降速, 使气体的动能转变成势能, 从而提高气体压力。动力式主要有离心式和轴流式两种基本型式。

容积式: 是通过运动件的位移, 使一定容积的气体顺序地吸入和排出封闭空间以提高静压力的压缩机。容积式根据气缸侧活塞的特点又分为回转式和往复式两类。

回转式: 活塞作旋转运动, 活塞又称为转干, 转子数量不等, 气缸形状不一。回转式包括有转子式、螺杆式、滑片式等。

往复式: 活塞做往复运动, 气缸呈圆筒形。往复式包括有活塞式和膜式两种, 其中活塞式是目前应用最广泛的一种类型。

### ③ 主要性能参数

容积流量：是指每分钟内空压机最后一级排出的压缩空气量，经换算到第一级标准进气状态时的空气容积的大小，其单位为  $\text{m}^3/\text{min}$ 。

排气压力：是指空压机最后一级排出气体的表压力，单位为 Pa。

比功率：是空气压缩机产品现行国家或行业标准中规定的能效指标。其物理意义为在规定工况下单位排气量所耗的功率，单位为  $\text{kW}/\text{m}^3/\text{min}$ 。

## (2) 市场分析

2003 年中国通用机械行业协会压缩机分会有会员单位 105 家，待批准新会员 9 个，除少数科研院所外，绝大部分为主机、配件及相关联企业，约占行业全国企业数量的 1/4，基本上涵盖了行业的主体部分。空气压缩机产品处于生产许可证管理的产品，属于发证范围的生产企业约 400 家，其他制造商约 100 家，共计约 500 家。其中年产值亿元以上的企业 30 家左右，年产值三千万到一亿元企业 50 家左右，其余为年产值三千万以下企业。

早在 1987 年，机械工业系统的压缩空气站的总安装功率就约达  $9 \times 10^5 \text{kW}$ ，小时耗电量达  $3.5 \times 10^5 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，年耗电达  $1.3 \times 10^9 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，而当时国内总的发电量为 686.47 亿度，仅机械工业系统压缩空气站年消耗的电量就约占全国总发电量的 2%。大量机械工业企业能量平衡资料统计表明：压缩空气站的耗电量占企业总耗电量的 5%~20%（平均约为 10%），有的高达 30%。据不完全统计，空压机年耗电量约占我国总发电量的 10%。可见，降低空气压缩机的能耗，提高空气压缩机的能效，对节约能源、保护环境具有重大意义。

据国家统计局的统计数据，2001~2003 年国内压缩机全年产量的增长率

分别为 51.56%，35.52%和 58.7%，我国压缩机行业已步入快速增长的新时期。2003 年我国通用机械行业上规模企业总数为 2411 家，其中压缩机行业占 156 家，估计空压机在国内市场的年产量已超过 300 万台，其中，容积式空气压缩机在行业应用需求和产量上占绝对优势。据专家估计，2000 年我国小型微型和大中型容积式空压机的产量分别为 80 万台和 3 万台，相当一部分产量来自发展迅速的民营企业。因此，本项目的分析对象定为容积式空气压缩机。

## 2. 能耗分析

### (1) 基准数据

#### ① 产品平均寿命

综合各厂家的评估数据，发现 10kW 以下的小型容积式空气压缩机的平均正常时间为 4.1 年，寿命明显低于 10kW 以上产品。100kW 以上的容积式空气压缩机平均寿命能达到 9.8 年。

- 0-10kw，平均寿命 4.1 年
- 11-50kw，平均寿命 7.3 年
- 51-100kw，平均寿命 8.0 年
- 大于 100kw，平均寿命 9.8 年

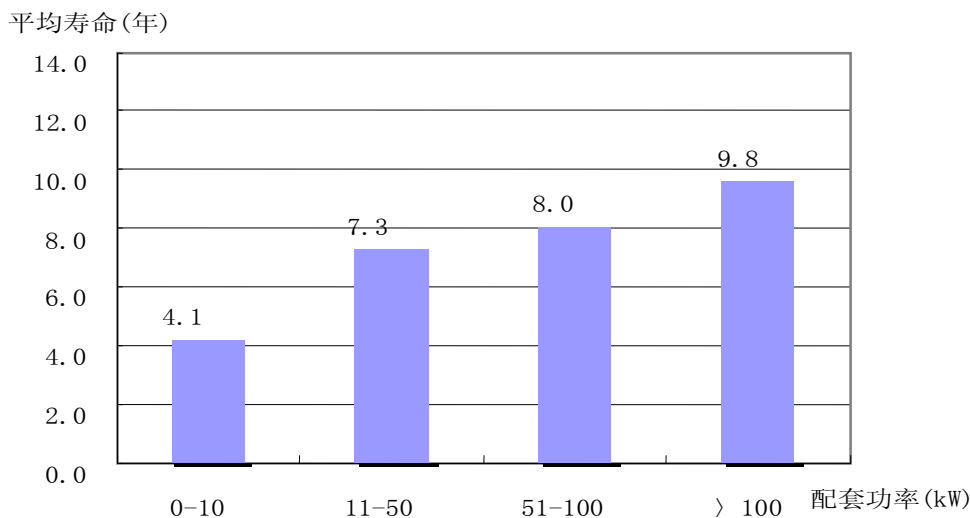


图 4-34: 不同规格容积式空压机的平均寿命

资料来源: 容积式空气压缩机市场调查报告

总的来说, 容积式空气压缩机产品寿命的波动幅度比较大。大中型容积式空压机的正常寿命长, 小型微型的空压机则比较短, 上图的统计数据可以粗略地反映出国内空压机寿命的趋势。节能模型分析中小型微型、大中型容积式空压机分别以 ZB-0.1/8 型、LW-10/10 型往复式空压机为代表, 根据专家估计, 两类产品的平均寿命分别为 4 年和 8 年。

## ② 产量和保有量

容积式空压机的年产量估算以 2000 年的产量为基点, 据专家估计, 2000 年小型、微型容积式空压机产量约 80 万台, 大中型容积式空压机的产量为 3 万台, 在此基础上根据《中国通用机械工业年鉴 2004》对空压机产量的统计数据, 并假设空压机的增速与容积式空压机的增速一致, 那么采用对数回归分析的方法就可以对未来容积式空压机的产量进行预测并计算出年平均增长率。预测结果如下所示:

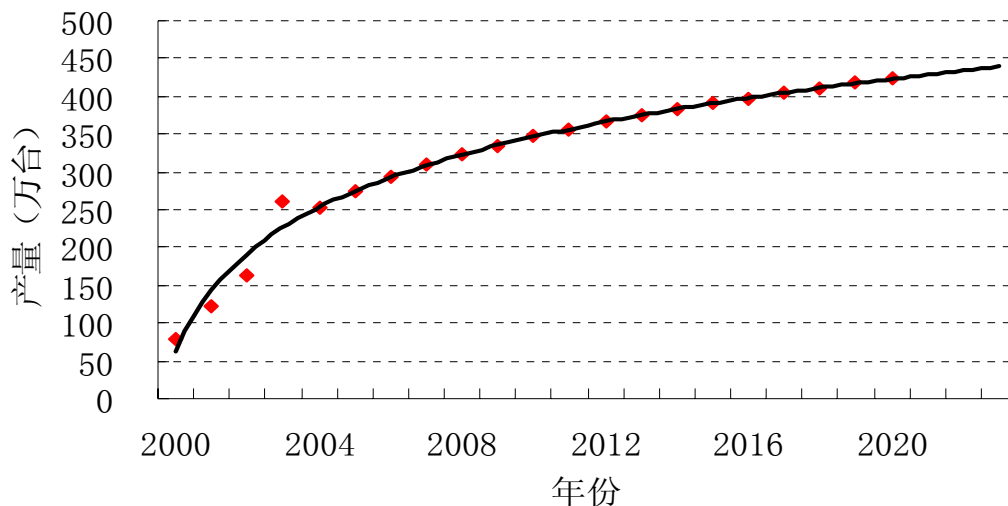


图 4-35: 容积式空气压缩机产量预测 (小型、微型)

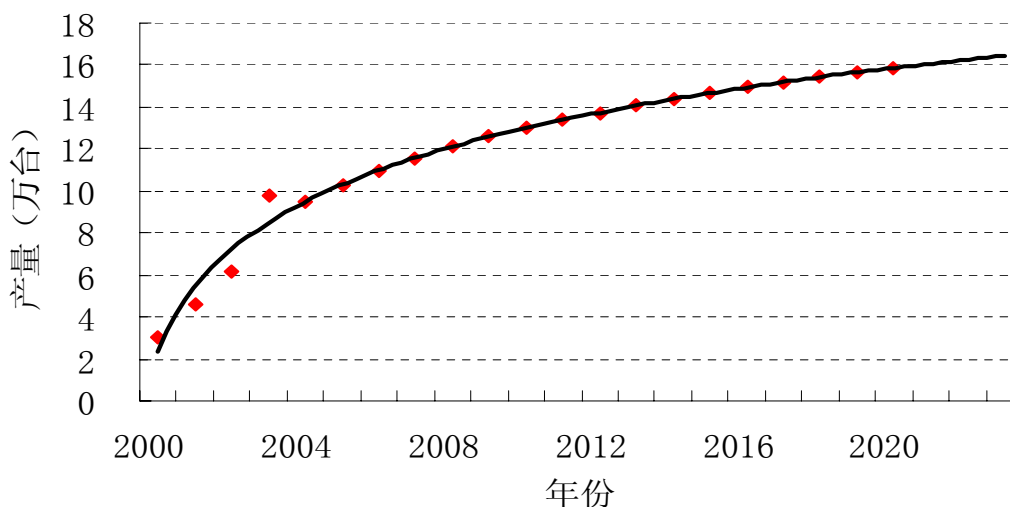


图 4-36: 容积式空气压缩机产量预测 (大中型)

按照预测的结果计算得出容积式空气压缩机的年平均增长率为 12.33%。假设容积式空气压缩机的平均销售系数  $\omega$  为 0.98，乘上相应年份的产量则得到当年容积式空压机的销售量，进一步得出保有量，计算结果表示如下：

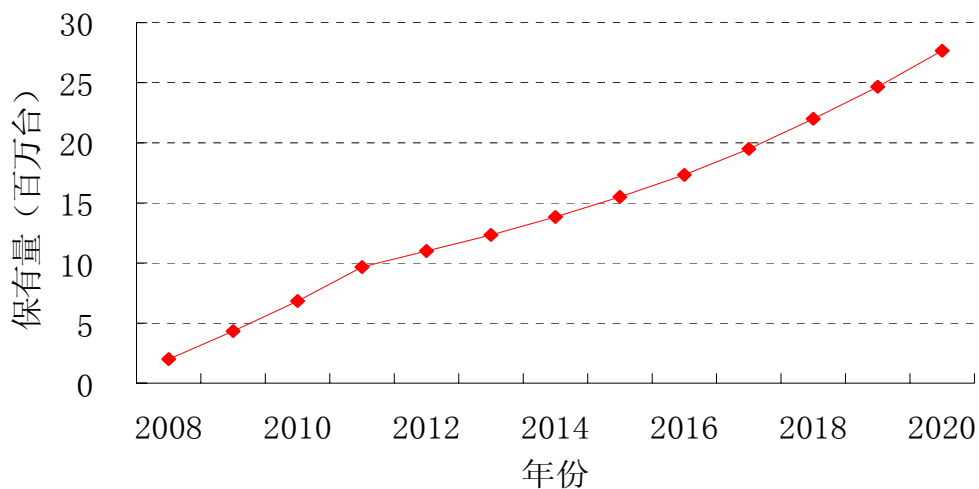


图 4-37: 容积式空压机保有量预测 (小型、微型)

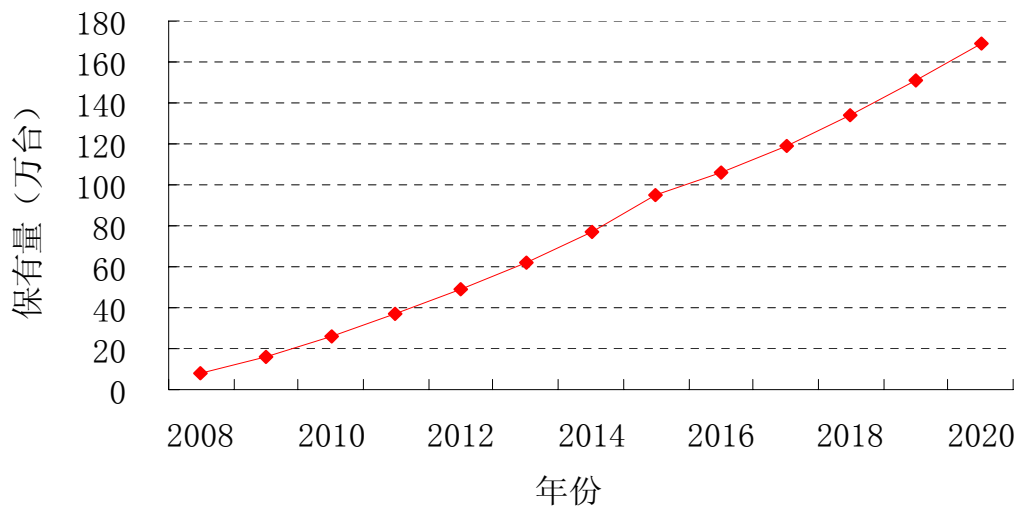


图 4-38: 容积式空压机保有量预测 (大中型)

### ③ 平均运行时间

根据调查公司反馈的数据，将全天 24 小时分为 8 个时间段，调查每个时间段内容积式空气压缩机的使用率，调查结果见表 4-14。

表 4-13: 容积式空压机运行时间统计表

序号 i	1	2	3	4	5	6	7	8
时段 t	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24
频率 $\psi_i$	0.1	0.2	0.6	0.9	0.9	0.9	0.5	0.3
平均年运行 时间 $T_{av}$	$T_{av} = \sum_{i=1}^8 \psi_i \times \frac{24}{8} \times 365 = 4818$ 小时/年							

资料来源：中小型三相异步电动机项目市场调查报告

表 4-13 反映了容积式空压机运行时间的分布情况，从统计表中的数据可以计算出其平均运行时间为 13.2 小时/天，假设一个复合参数 $\phi$ ，综合反映产品用于工业领域的比例和产品开机率等影响年耗电量的因素。如果按照复合参数 $\phi=0.5$  计算，那么容积式空压机等效年运行时间为 2409 小时。

## (2) 能耗量预测

国家标准《容积式空气压缩机能效限定值和节能评价值》已经由国家质检总局在 2003 年发布，仿效清水离心泵和通风机的节能分析方法，我们以此能效标准中设定的能效指标为依据，计算容积式空气压缩机超前能效标准所能带来的节能量。

由于容积式空气压缩机的型号众多，分别计算每种产品的节能量然后累计成总节能量不现实。模型计算中，我们对小型微型和大中型这两类容积式空压机分别选一种型号作为代表，以此来计算超前能效标准实施后所带来的节能量。型号 1：ZB-0.1/8，压缩级数为单级，驱动电动机输入功率为 1.5kW，额定排气压力 0.8MPa，公称容积流量为 0.1m<sup>3</sup>/s 的微型往复式空气压缩机；型号 2：LW-10/10，驱动电动机输入功率为 45kW，额定排气压力为 0.8MPa，公称容积流量为 2.5m<sup>3</sup>/s 的一般用固定的往复式空气压

缩机。根据 GB 19153-2003，按上述条件可以查得：型号 1 的输入比功率能效限定值和节能评价价值分别为  $12.5 \text{ kW/m}^3/\text{min}$  和  $11.1 \text{ kW/m}^3/\text{min}$ 。型号 2 的能效限定值和节能评价价值分别为  $8.12 \text{ kW/m}^3/\text{min}$  和  $7.64 \text{ kW/m}^3/\text{min}$ 。

对于 ZB-0.1/8 为代表的小型微型空压机单台年耗电为 3011.25kWh；以 LW-10/10 为代表的大中型空压机单台年耗电为 45891.5kWh。结合相应年份的销售量和保有量可得出容积式空气压缩机的能耗量：

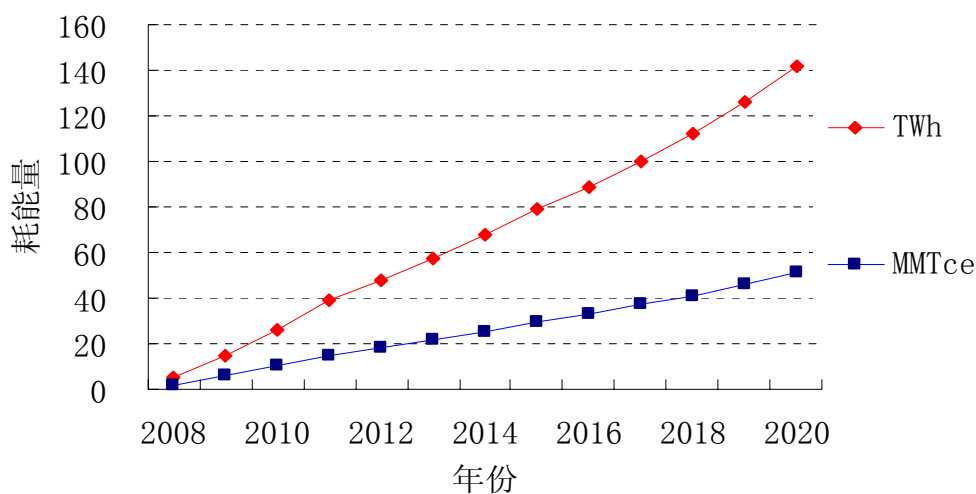


图 4-39：容积式空压机能耗预测

从图 4-39 中可以看出，如果容积式空压机保持现有的效率，预计 2010 年耗电约为 264.2 亿度，折合一次能源约 1027.83 万吨标煤；到 2020 年，耗电量将剧增为 1417.8 亿度，折合一次能源约 5134.45 万吨标煤。

### 3. 节能技术方案

对于往复压缩机，可以通过改进进、排气阀、单向阀、活塞环等的结构，以减小摩擦和气体阻力损失，优化压缩机主机与驱动电机的匹配等措施达到节能目的。对于回转压缩机可以通过改进啮合型线、减小油气分离



器等过滤装置以及保压阀的阻力损失、提高皮带传动效率等措施达到节能目的。

当前，不少新技术有利于提高通用设备的效率，在容积式空气压缩机厂商心目中，以下技术是被认可的。

**表 4-14：提高容积式空气压缩机效率的技术手段**

1	使用新材料（PEK 材料气阀阀片）
2	改进阀门设计
3	改进进气系统；进气阀以及管道技术
4	改进配件，提高配件适配率
5	密封技术
6	计算机数控技术
7	结构技术
8	气阀改造；噪音改进
9	使用新式的加工设备；提高加工精度
10	提高空气动力学性能

#### 4. 能效标准国内外对比

##### (1) 国内现行能效标准及相关标准

我国先后制定或等效采用国际标准出台了一系列空压机基础标准、产品标准、试验验收标准、使用操作标准、安全标准、质量分等、能效标准等，如：

- GB19153-2003 《容积式空气压缩机能效限定值及节能评价值》
- GB/T4975-1995 《容积式压缩机术语 总则》、
- GB/T13279-2002 《一般用固定的往复式活塞式压缩机》、

- GB/T13928-2002 《微型往复式空气压缩机》、
- JB/T8933-1999 《全无油润滑往复式空气压缩机》、
- JB/T8934-1999 《直联便携式往复式空气压缩机》、
- JB/T4253-2002 《一般用喷油滑片空气压缩机》、
- JB/T6430-2002 《一般用喷油螺杆空气压缩机》、
- GB/T3853-1998 《容积式压缩机验收试验》、
- GB10892-1989 《固定的空气压缩机 安全规则和操作规程》、
- JB8524-1997 《容积式空气压缩机 安全要求》、
- JB/T53054-1999 《一般用往复式空气压缩机 产品质量分等》、
- JB/T53056-1999 《一般用喷油螺杆空气压缩机 产品质量分等》、
- JB/T53225-1999 《一般用喷油滑片空气压缩机 产品质量分等》

## (2) 国外能效标准

ISO/TC118（国际标准化组织的“压缩机、气动工具和气动机械”技术委员会）制定了一系列相关国际标准：如 ISO1217《容积式压缩机验收试验》、ISO3857《压缩机、气动工具及机械—术语》、ISO5390《压缩机分类》；ASME 制定的 PTC9《性能试验规范容积式压缩机，真空泵和鼓风机》；DIN1952《用嵌装在圆形截面且全充满流体的圆管中的孔板，喷嘴和文丘利管测量流体流量（VDI 的流量测量规则）》；BS1517《容积式压缩机和排气机试验规范》等。

空气压缩机产品现行国家或行业标准中规定的能效指标是“比功率”。空压机能效限定值指标和能效分等指标尚无统一的国际标准。国外较大型的空压机制造企业一般均自行制订能效指标。我国活塞式空压机的能效指

标与国外大公司基本相当，有些机型还好于国外指标。但对于螺杆或滑片等回转式空压机，我国制订的相关标准指标与国外大公司差距还较大。

## 5. 建议超前能效标准水平

容积式空气压缩机超前能效标准的制订必须客观的评价国内容积式空压机生产的技术水平，广泛地征求重点企业、行业、大学、科研单位以及相关专家的意见，尽可能的使超前能效标准符合中国市场的实际情况从而为国家的节能工作做出最大的贡献。

### (1) 能效标准企业态度调查

调查数据显示，空气压缩机厂商对于提高产品能效标准，促进企业生产技术水平有着比较积极地反应。

- 7.3%的企业认为，强制性的国家最低产品效率值比当前产品的设计效率高 3%是符合本企业实际生产能力的。
- 41.5%认为高 2%是符合本企业实际生产能力的。
- 34.1%希望两者等同。
- 12.2%希望强制性国家最低效率值比当前产品的设计效率再低 2%。
- 如果最终决定采用等于当前的产品设计效率，则有 24.2%的企业具备达到这个标准的能力。

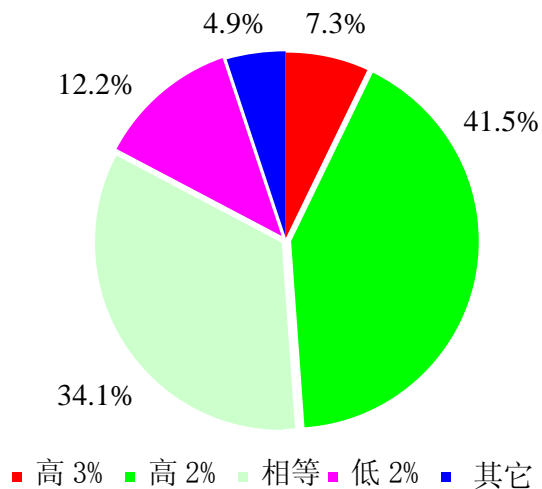


图 4-40： 容积式空压机厂家对国家强制性最低效率值的期望

资料来源：容积式空压机市场调查报告

## (2) 产品能效水平

根据 1985 年以来国家压缩机制冷设备质量监督检验中心所测的空气压缩机比功率的检测数据所做的统计图 4-41 可知，各种空气压缩机达到优等品的比例为 18%，达到一等品的比例为 55%，达到合格品的比例为 20%，不合格品的比例为 7%。

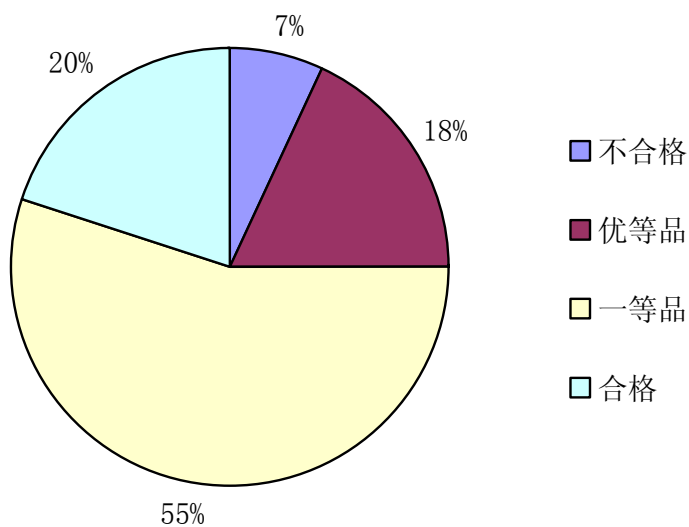


图 4-41： 空压机比功率分布情况

资料来源：国家压缩机质量监督检验中心历年统计数据

GB19153-2003《容积式空气压缩机能效限定值及节能评价值》中能效限定值是按现行产品标准中的比功率指标也即产品质量分等标准中的比功率合格品指标转换来的，从比功率的分布来看，处于偏低水平。空压机节能评价值是根据国家压缩机制冷设备质量监督检验中心的检测数据的统计，取20%-30%的空压机为节能产品时的比功率值换算而来：对于活塞机，比功率指标取分等标准的优等品和一等品平均值来换算；对于螺杆机，比功率取分等标准的优等品来换算，并在此基础上再提高3%；滑片机比功率换算参照螺杆机。

综合考虑企业调查和产品质量检验统计数据，支持将超前能效指标定在目前产品的设计点效率及以上的企业占总调查企业的82.9%。大约1/3的企业现阶段就有能力达到现行能效标准的设计点效率值。根据1985年以来国家压缩机质量监督检验中心的统计数据，37%的产品可以达到一等品水平，故在容积式空气压缩机的超前能效标准中，可以用GB19153-2003中的节能评价值来作为其超前能效标准中的能效限定值。

## 6. 超前能效标准节能潜力

根据单位空压机节能量的计算公式，得出小型微型容积式空压机（ZB-0.1/8）年节电337.26kWh；大中型容积式空压机（LW-10/10）年节电6745.2kWh。结合相应年份的销售量和保有量，容积式空气压缩机节能量可表示如图4-42：

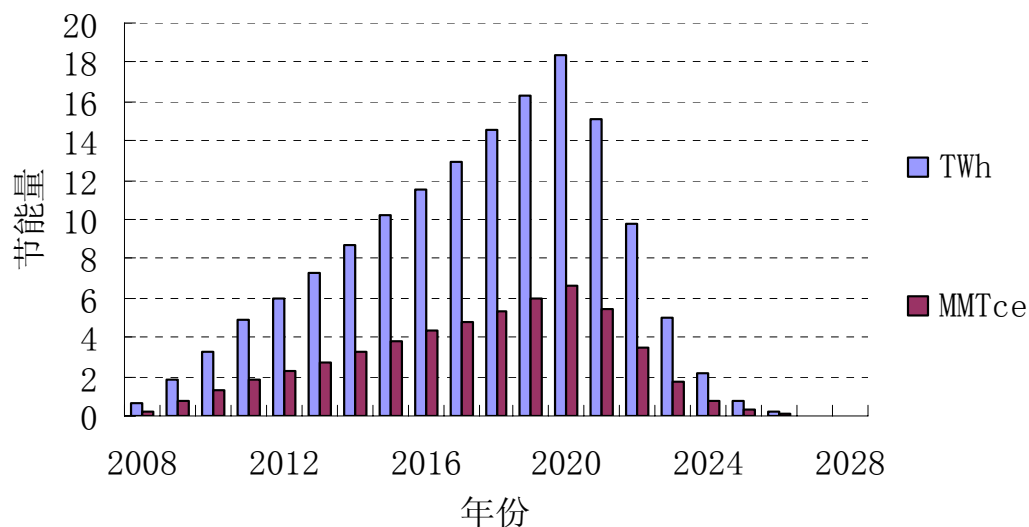


图 4-42： 容积式空压机节能预测

对小型、微型容积式空压机来说，从2012年开始，实施超前能效标准后的第一批产品已满4年平均寿命而被淘汰；从2016年开始，大中型容积式空压机满8年平均寿命被淘汰出市场。市场上容积式空压机保有量增长速率的降低导致节能量增长速率也相应减慢。尽管评估期以2020年为限，但实际上由于实施该超前能效标准所带来的节能效果对小型、微型空压机将会延续到2024年；对大中型空压机将会一直延续到2028年，直到所有高效的空压机全部淘汰出市场。

容积式空压机制定实施超前能效标准，将带来巨大的节能量。如图4-42所示，预计2010年节约电量32.96亿度，折合一次能源约128.19万吨标煤；2020年预计节约电量183.50TWh，折合一次能源约664.55万吨标煤。2008年超前能效标准开始生效，到2010年累计节约电量57.63亿度，约折合一次能源224.98万吨标煤；到2020年累计节约电量1165.93亿度，约折合一次能源4339.68万吨标煤。同时为2020年峰值需求减少累计贡献0.54亿千瓦。

## 7. 超前能效标准减排潜力

由于容积式空压机超前能效标准的实施带来的环境污染物质排放量的减少可以通过相同的计算方法得出，这里不再赘述。

2008-2020 年，经测算由于容积式空压机超前能效标准的实施所带来的污染物减排量累计为 3278.97 万吨的碳、51.33 万吨的氮氧化物、73.65 万吨的二氧化硫和 312.76 万吨的微细颗粒物。具体数据如下图：

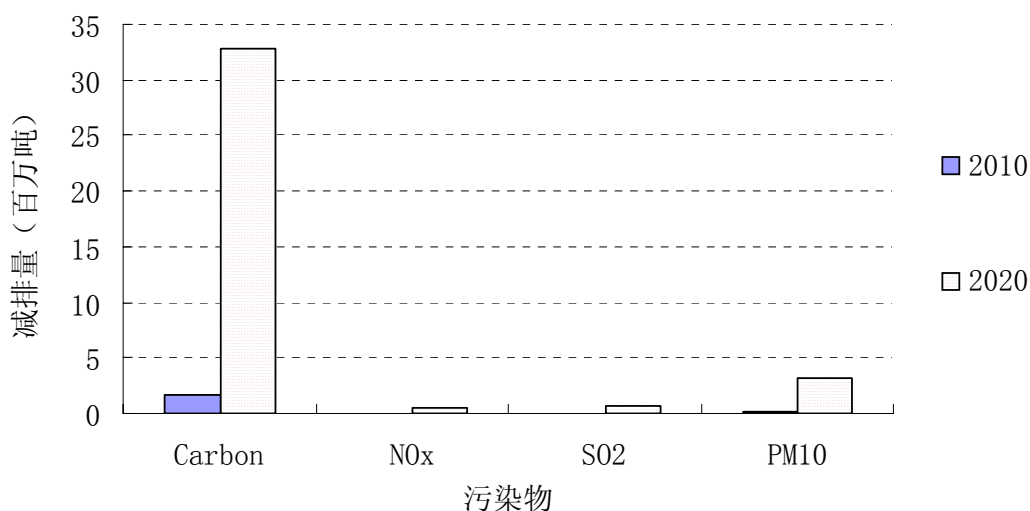


图 4-43： 污染物减排预测（容积式空压机）

## 8. 超前能效标准成本效益分析

根据 2003 年中国机电产品报价目录和专家估计，对应于项目中大中型、小型微型的空压机代表产品，其目前的市场平均价格分别为 70000 元和 400 元人民币。根据 1996 年美国能源部（DOE）的报告，能效提高 25%，价格相应地提高约 25%，由此计算得出，我国容积式空压机超前能效标准的实施将会使得这两款型号的容积式空压机单台平均生产成本分别提高 2572 元和 45

元。按成本效益计算方法得如下结果：

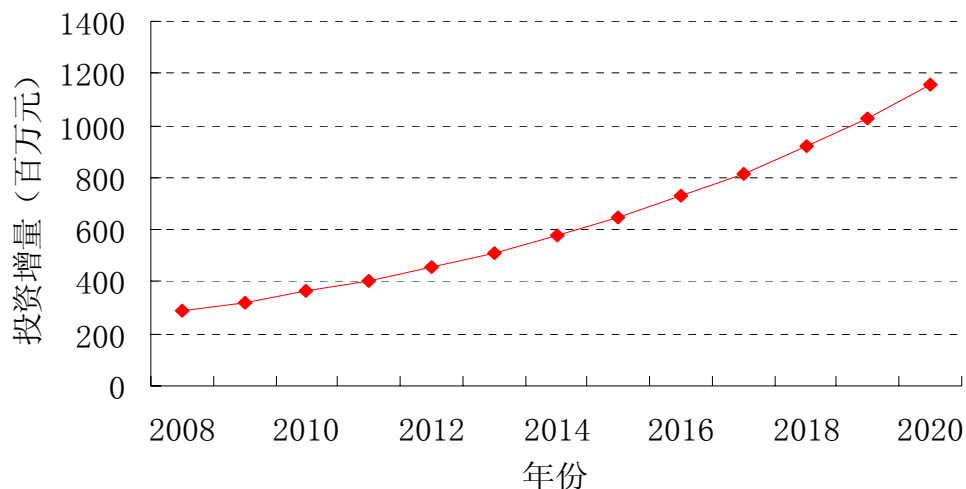


图 4-44: 容积式空压机投资增量

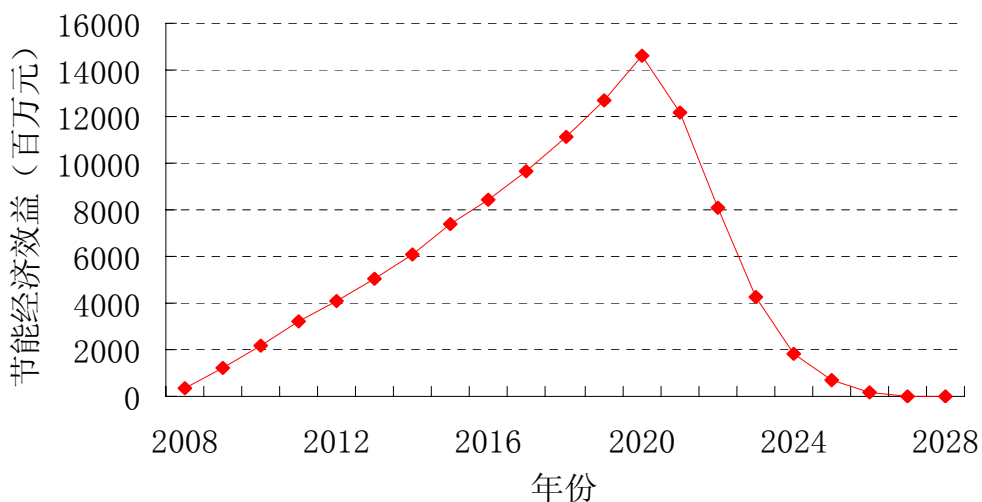


图 4-45: 容积式空压机节能经济效益

到 2020 年，小型微型高效容积式空压机的投资净现值为 14.45 亿，大中型空压机为 30.98 亿。两类空压机由于空压机能效标准提高而带来的节能效益分别为 232.40 亿和 301.90 亿；相对于项目的投资费用，净收益分别为 217.95 亿和 270.92 亿；收益成本比为 16.08 和 9.74；单位产品回收期小型微型空压机约 0.2 年，大中型空压机约 0.7 年。



## 五、 实施超前标准的可行性分析及预期障碍

### （一）标准研制方面

#### 1. 标准研制单位的能力

中国标准化研究院是国内唯一的国家级标准化研究机构，直属国家质量监督检验检疫总局领导，是我国重要的标准化研究和开发基地，为发展和开拓中国的标准化科学事业肩负着重要的责任。其中资源与环境标准化研究所从事能源、资源与环境领域内有关的基础性、综合性国家标准的制、修订及其标准化研究，包括能源基础标准化、节能标准化、节材标准化、节水标准化、资源综合利用标准化、环保产业标准化以及新能源和可再生能源标准化等。组织制定了 120 多项节能和能源方面的国家标准，包括基础标准、管理标准、方法标准和产品标准，覆盖了几乎所有的节能和能源工作领域。就能效标准来说，截至目前，我院组织制定并由国家质检总局颁布的能源效率标准达 19 项，其中包括《清水离心泵能效限定值及节能评价值》、《通风机能效限定值及节能评价值》和《容积式空气压缩机能效限定值及节能评价值》。我院在能效标准的研究、开发和组织制定的过程中形成了完善的研究体系，主要表现在：

#### （1）与国家节能行政主管部门建立了密切的联系

在开展节能标准化的工作中，我院与国家发展和改革委员会环境和资源综合利用司、国家科技部以及国家质检总局、国家标准化管理委员会等国家节能行政主管部门及标准化行政主管部门建立了密切的联系，在政策、技术、资金以及标准的立项、起草、颁布实施等方面得到了这

些部门的大力支持和具体指导。在今后的节能标准化工作，尤其是能效标准的制修订和实施方面，将进一步得到他们的相应支持，以保证有关工作的顺利进行。

### **(2) 形成了能效标准制修订工作的专家网络**

自 1981 年以来，全国能源基础与管理标准化技术委员会秘书处一直设在中国标准化研究院。全国能标委是从事全国节能和通用性、基础性、综合性能源标准化的技术工作组织，负责该领域内的标准化技术归口工作。我国国家能效标准申报、审定、报批工作也是通过该技术委员会进行的。此外，二十多年来，全国能标委、中国标准化研究院与能源专家和风机、泵类、空压机行业领域的专家保持着密切的联系和广泛的合作，其中包括沈阳水泵研究所、石家庄杂质泵研究所、沈阳鼓风机研究所、陕西鼓风机集团有限公司、上海鼓风机厂、国家压缩机制冷设备质量监督检验中心、机械工业节能中心等国家级研究机构。这些国家风机、泵类和空压机重点研究机构、重点企业的专家可为制定三类重点工业耗能产品的超前能效标准提供各方面的技术支持。

### **(3) 开展了广泛的国际合作研究**

中国标准化研究院与相关国际组织（如美国能源基金会、APEC 能效工作组、美国促进能源经济效益委员会（ACEEE）、美国能效标准的研究机构（LBNL）、欧盟的一些组织等）建立了密切的联系，在清水离心泵、通风机和容积式空气压缩机三项国家能效标准的制定过程中得到了这些组织的大力支持和帮助，为确切、及时地掌握国际前沿的技术资料，研究、吸收国外先进的能效标准制订经验，找出差距，提高我国能效标

准水平，深入开展能效标准的研究与制修订工作奠定了良好的基础。

#### **(4) 完善的研究梯队**

中国标准化研究院资源与环境标准化研究所在经历了几十年的发展之后，从几个人组成的研究室到现今中国标准化研究院的重点研究部门，研究队伍的建设已趋于完善。目前在职的研究人员当中，80%以上的研究人员具有高级工程师的技术职称，65%的人员具有硕士及以上学历，近40%的研究人员在能源标准化领域工作了10多年，积累了相当丰富的工作经验，形成了非常广泛的研究网络。

近几年来，中国标准化研究院抓住政府高度重视节能环保问题的机遇大量吸收新鲜血液，一群充满朝气的高学历青年加入到了研究队伍中。其中，既有国内中国科学院等著名研究机构的博士生，也有在美国、英国、加拿大等海外学成归国的留学生；既有能源、环境、机械、计算机等工科、理科专业背景的毕业生，又有法律、知识产权等专业国内顶级学府毕业的高材生，标准研究队伍在老、中、青年龄结构，工科、理科和文科专业结构以及人才的国际化方面都取得了前所未有的成就，从而为进一步推进标准化工作与国际接轨奠定坚实的基础。

## **2. 数据、资金的可得性**

### **(1) 数据方面**

在长期标准化工作，特别是多年能效标准研究工作基础上，研究人员对国内风机、泵类和空气压缩机等主要工业耗能产品有着全面而深刻的了解；与国内权威统计机构、相关协会、研究机构和大型国有企业（如国家信息中心、国家检测中心、国家环保局、机械工业协会、国家发改

委能源研究所等)保持着密切的合作与交流以获得权威统计数据 and 测试数据;与大型专业调查公司建立了长期合作关系,利用他们已有的资源对国家统计、测试机构统计以外的数据进行调查,为全面的了解我国真实的市场情况提供了强有力的保障。同时我们注重对国外相关资料的搜集,特别是与国际标准化组织及相关技术委员会、国际公益性、非公益性组织和专家的合作与交流,为我们进一步拓宽数据来源、提高研究水平奠定了良好的基础。

但是,由于风机、泵类和空气压缩机产品的能效标准方面的资料相对缺乏,包括美国、日本等发达国家也没有系统的关于三类工业产品的能效标准。一些反映产品能效的指标零星地分散在相关的产品性能标准中或在一定地域、一定范围的相关企业、行业内部是默认的技术指标但是还没有上升为标准。另外,一些大型的企业也有着他们自己制定的能效指标,但是由于技术保密、知识产权等原因很难得到详细的技术文件,从而给提出切实可行的技术革新方案、开展工程经济分析带来困难。

## (2) 资金方面

### ① 国家的支持

目前正值国家能源严重短缺,环境日趋恶化的大环境,政府对节能工作高度重视,尤其重点工业耗能产品(如电动机、风机、泵类、空气压缩机等)国家能效标准、经济运行标准的制修订工作必然会加速进行以进一步推动国家节能运动的开展。在能源方面,特别是节能领域的资金投入也将不断增加,有利于相应研究工作的开展。

## ② 国际相关组织的支持

以能效标准和标识为主要内容的节能活动在全球范围开展起来了，无论是发达国家还是发展中国家都在寻求可持续发展的道路，环境保护的紧迫性也促使着人们寻求节约能源、减少污染物排放的新途径。国际上许多基金、能源环境相关的公益性组织甚至某些国家的政府机构、研究部门都对节能投入了大量的财力和物力。能效标准研究资金的来源正朝着多元化不断努力。

## ③ 企业的支持

企业，作为市场经济的主体和能效标准的直接作用对象，目前还没有广泛地认识到国家能效标准的重要性，还没有意识到通过参与能效标准的制定，不仅能大量地减少能源费用，更为重要的是可以掌握行业发展方向、占据市场优势。能效标准市场化机制没有形成关键在于企业还没有主动的介入到能效标准的制、修订工作中。

近年来，随着生产技术的不断改进，国内通风机、离心泵和容积式空压机每年的出口量也在稳步的增长。在积极参与世界贸易竞争的同时，个别重点企业开始关注标准、重视标准及参与标准制修订工作。企业对待国家能效标准这种角色、态度的转变也必将引导标准化工作进入良性的市场经济循环，标准制、修订的资金问题也将迎刃而解。

## 3. 政府的态度

能源节约与资源综合利用是我国经济和社会发展的一项长远战略方针，是中国能源战略和政策的核心理念。我国政府从上个世纪 80 年代初期就开始重视节约能源的工作，提出能源开发和节约并重的方针。近几

年，能源需求急剧增长，能源短缺现象日益严重，节约能源、提高能源利用效率已被我国政府放在前所未有的高度。

在全面建设小康社会的进程中，我国经济规模将不断扩大，钢铁、水泥、化肥等高能耗工业产品的需求量将继续增加，能源消费将进一步增长。“能源节约要以终端节能为主，政策引导，辅以激励政策，重点抓好交通、建筑和工业节能”。不能把节能仅仅当作能源短缺时的缓解和弥补手段，而应作为一种长效机制。同时，中国在能源定价、能源统计等方面应采用国际通行准则，加强国际合作。

必须坚持“能源开发与节约并举，把节约放在首位”的方针，以提高能源利用效率为目标，以完善法规和创新机制为重点，搞好规划，健全法规，完善政策，改进技术，抓住重点，加强管理，有效推进全社会节能。工业能源消费量是大头，占总消费量的70%以上，其中钢铁、有色、化工、建材、石化等行业能源消费高，节约潜力大，是节能工作的重点。要继续深化工业节能，要从源头上提高建筑和机动车能源利用效率，要通过政府机构的节能带动全社会的节能。

## （二）标准执行方面

风机、泵类、空气压缩机超前能效标准中规定的能效限定值属于强制性指标，是企业产品今后进入国内市场的最低要求。它的确定充分地考虑了生产商的意见和建议，参考已发布的、公示阶段的相应产品的能效标准，同时结合了目前国内外产品技术创新的情况。

## 1. 制造商

本次三类主要工业耗能产品超前能效标准的专项调查结果显示多数生产商重视产品技术创新、支持提高产品的能效标准。表 5-1、表 5-2 是三类产品生产商态度的综合比较。

**表 5-1： 生产商重视技术创新程度统计**

厂商类别	非常重视	比较重视	一般	不重视
清水离心泵	65.7%	34.3%	0	0
通风机	57.6%	36.4%	6%	0
空压机	57.1%	31%	9.5%	2.4%

资料来源：风机（泵类、空压机）调查报告

**表 5-2： 生产商对提高产品能效的支持程度统计**

厂商类别	非常支持	支持	无所谓	反对
清水离心泵	42.9	48.6	8.5	0
通风机	21.2	63.6	9.1	6.1
空压机	38.1	47.6	14.3	0

资料来源：风机（泵类、空压机）调查报告

从上述表格的数据比较可以看出，清水离心泵生产商无论在重视技术革新还是在提高产品能效的态度方面相比之下都是最为积极的。通风机和容积式空气压缩机生产商虽然有极少数持不重视或反对的态度，但是从总体上来说，绝大多数企业（约 85%）是支持政府制定产品超前能效标准的。

另外，就三类产品国内主要生产厂商的生产制造实力而言，我们的调查显示，清水离心泵、通风机和容积式空气压缩机厂商所生产的达到国际先进水平产品产量均超过总产量的半数以上，而有能力生产达到能效标

准设计点效率值产品的企业基本达到 25%以上，特别是清水离心泵生产企业在高效产品的制造上达到了相当水平。这些数据充分说明经过未来 3 年的技术准备期，企业能够满足超前能效标准的要求，加上多数生产商对超前能效标准制定工作持支持态度，2008 年超前能效标准的实施奠定了良好基础。具体的调查数据见表 5-3。

表 5-3: CCP、VF、DAC 产品制造水平调查

调查项目	指标 (%)		
	CCP	VF	DAC
至少有一款产品达到国际先进水平的比例	68.6	51.5	35.7
达到国际先进水平的产品所占的产量比例	53.5	81.1	60.8
达到国际先进水平的产品的平均效率	77.6	77.6	83.2
支持将超前能效指标定在目前产品的设计点效率及以上的企业占总调查企业的比例	71.5	69.8	82.9
当前，有能力达到产品能效标准中设计点效率值的企业比例	41.7	33.3	24.2

资料来源：风机（泵类、空压机）调查报告

## 2. 研究机构方面

### (1) 泵行业

2000 年以来，随着国民经济的飞速发展，通用机械行业坚持以市场为导向，大力推进产品创新，通过引进、消化、吸收，不断开发新产品，极大地促进了行业的科技进步。沈阳水泵研究所（全国泵类产品设计研



究开发中心)多年来为能源、冶金、石油、化工、市政、环保等国民经济重要部门设计开发了约 30 多个系列千余种泵类产品。另外,其它泵行业骨干企业特别是一些近年来发展迅速的民营企业,敢于大胆引进国外先进的设计技术,培养本单位的技术人员,开发新技术、新产品。我国泵行业的技术发展呈现出多元化的格局,许多生产商拥有先进的生产技术和工艺。调查显示,68.6%的清水离心泵厂家至少有一款产品达到了国际先进水平,这些厂家能达到国际先进水平的产品占它们所生产的清水离心泵总产量的 53.3%。

## (2) 风机行业

近几年来风机行业发展良好,大力推进技术创新,调整产品结构,积极开发新产品,加快了企业的科技进步。共研制完成新产品 1,481 种 34,6161 台,获市级以上科技成果奖 89 项。其中:2002 年研制完成新产品 635 种 12,743 台,新产品产值 112,495 万元,获市级以上科技成果奖 30 项。2003 年研制完成新产品 847 种 13,129 台,新产品产值 205,831 万元,获市级以上科技成果奖 28 项。以沈阳鼓风机有限公司、陕西鼓风机有限公司、上海鼓风机厂、天津鼓风机总厂、浙江上风实业股份有限公司等风机行业骨干企业为代表的行业技术力量已经逐渐雄厚,不但在高技术含量的离心压缩机和轴流压缩机方面取得较大的进展,而且在鼓风机、通风机领域不断地提高产品制造技术和工艺。

## (3) 压缩机行业

2001-2003 年度,在市场需求的拉动下,压缩机行业新产品、新工艺、新技术的开发情况较前两年明显活跃。高压及大型往复式活塞式压缩

机的开发带动了行业骨干企业各自主要产品系列的拓展、充实和改进。其压缩机性能参数覆盖领域更加宽泛，可靠性进一步提高，新工艺、新材料和新技术的采用获得了长足进步。以西安交大流体机械及压缩机国家工程研究中心、沈阳气体压缩机股份有限公司、上海压缩机有限公司、南京压缩机有限公司等为代表的科研机构 and 行业骨干企业，在压缩机产品的技术革新方面取得了显著的成绩，积累了大量的研发经验，从而为节能产品的开发提供强有力的技术支持，也为建立协调的测试方法和必要的检测设备提供保障。

### 3. 政府方面

国家发改委环境与资源司作为推动节能、促进能效提高的国家行政主管部门，高度重视能效标准和标识的工作，并对此给予了积极的推动。在国家《能源节约与资源综合利用“十五”规划》中，已明确将制定和完善主要用能产品能效标准、在全国建立和实施能效信息标识制度、继续发展节能产品认证作为发改委“十五”期间的工作重点。目前颁布的能效标准已有 19 项，加上正在制修订的项目，涉及的范围包括家用电器、办公室设备、照明器具以及工业商业设备。

国家发改委于 2004 年 11 月 10 日印发了《节能中长期规划》，进一步明确制定和实施强化节能的激励政策，加大依法实施节能管理的力度等重要内容，包括制定和实施主要工业耗能设备强制性、超前性能效标准，建立产品能效标准执行情况的监督机制，采取强制性措施依法淘汰落后的耗能过高的用能产品、设备以及制定风机、水泵、空压机、电动机等《节能设备（产品）目录》，从国家政策上对今后我国重点工业耗

能产品的节能工作铺平了道路。

#### 4. 用户（消费者）方面

社会的发展给用户在能源的消耗量上提供了更大的空间，加上能源价格的不断上扬，用户能源消费的支出越来越大。由于风机、泵类和空气压缩机产品属于通用机械工业产品，在工业企业中，此类产品的运行特点是时间长、耗能量大，对于一个企业来说，电费的支出已经成为仅次于员工薪水的巨额花费。因此，此类工业产品的用户在采购时将会越来越多地考虑产品的能源消耗费用，节能型产品将具有非常大的市场空间。

### （三）超前标准制定的排序

首先，从产品的节能经济效益来看，清水离心泵在 2020 年的节能量达到 18.4MMTce；通风机和容积式空气压缩机的节能量则比较接近，分别为 6.65MMTce 和 6.64MMTce。产品投资回收期基本上都在半年左右。

其次，三类产品的生产技术水平也存在着差异。从表 5-3 的统计数据来看，清水离心泵的制造水平普遍较高，超过 41% 的厂家现阶段已有能力达到超前能效标准指标，68.6% 的厂家至少有一款产品达到国际先进水平；空气压缩机的制造水平相对比较弱，35.7% 的厂家有达到国际先进水平的产品，目前就有能力达到超前能效标准指标的厂家只占 24.2%。

最后，从生产商对能效标准支持程度、对技术革新的重视程度来分析三类产品超前能效标准的制定排序问题。如表 5-1、表 5-2 所示：清

水离心泵厂商的支持度是最高的，超过 90%的厂商支持提高产品的能效标准并且所有的厂商都重视技术的革新。通风机和容积式空气压缩机厂商在提高产品能效方面态度比较接近，在重视技术革新上通风机厂商相对比较积极。综合考虑各方面的因素并征求行业专家的意见，三类主要工业耗能产品的超前能效标准的制定建议排序如下：

**表 5-4：超前能效标准制定排序**

序号	评价参数			标准制定 推荐顺序
	效益分析	技术分析	厂商态度	
1	CCP	CCP	CCP	<b>CCP</b>
2	VF/DAC	VF	VF	<b>VF</b>
3	VF/DAC	DAC	DAC	<b>DAC</b>

资料来源：风机（泵类、空压机）调查报告

## 六、 政策建议

### 1. 建立节能信息中心

风机、泵类和空气压缩机产品超前能效标准中产品指标的确立是以国内现有企业生产水平为基础。通过广泛了解目前国际上先进的相关生产、制造技术，对一系列可能的技术方案进行工程经济分析并为企业的工艺改造提供技术支持。要实现以上目标，需要一个综合汇集、处理国内外数据、材料的信息中心，当然这个信息中心可以逐步地扩充到各个领域。利用现代信息传播技术，动员全社会的力量包括共享国家统计局、国家信息中心、国家海关总署等专业机构的数据库，及时整理、发布国内外产品能耗信息、先进的节能新技术、新工艺、新设备及先进的管理经验，引导企业挖掘潜力，提高能效，同时为国家标准研制单位收集全面、权威数据资料提供强大的平台，保证标准的客观性和先进性。

### 2. 建立节能技术开发和推广中心

据专家估计，我国风机、水泵平均设计效率为 75%，均比国际先进水平低 5 个百分点，系统运行效率低近 20 个百分点。空气压缩机行业的发展水平也存在着一定的差距，特别是螺杆式、滑片式空压机差距较大。近些年，风机、水泵和空压机行业加大了开发、引进新技术、新工艺、新设备的力度，节能技术水平有了很大的提高。但从总体上看，投入不足，创新能力弱，先进适用的节能技术，特别是一些有重大带动作用的共性和关键技术开发不够。建立节能技术开发和推广中心，集国内优秀的研发队伍，根据实际情况对风机、水泵和空压机企业提供适用

的节能技术支持和服务，并承担适当的节能技术宣传活动。

### 3. 鼓励相关企业参与

能效标准的研究是一项十分复杂的系统工程，数据的收集、大量的产品测试、验证工作和随后模型的建立和分析都需要企业、行业、政府乃至全社会给予充分的理解和支持。风机、泵类和空气压缩机企业积极参与国家标准的制、修订不但可以提供真实、全面的数据，更为重要的是可以逐步形成能效标准的市场机制。一方面解决了国家能效标准制、修订工作资金短缺的问题；另一方面，化企业被动的遵循产品指标为主动的提高产品标准、占据高端产品市场。同时也实现了国家节约能源，经济可持续发展的宏伟目标。

### 4. 完善节能法规

从已发布的能效标准的实施情况来看，我国的能效标准还没有充分发挥作用，主要原因是国家还没有建立、完善以《节约能源法》为核心的，配套法规、标准相协调的节能法律法规体系，致使市场上违反标准要求的用能产品能继续在市场上流通和交易，影响了标准的实施效果和应起的作用。风机、泵类和空气压缩机的超前能效标准具备一般能效标准的共性，因此也需要适用于一般能效标准的国家政策、法规加以扶持。各级政府应该根据地区经济差异，尽快制定出与能效标准实施相配套的规章制度，为能效标准的实施提供强有力的保障。

### 5. 加强政府监管

完善的节能监督和管理机制是能效标准得以贯彻实施，取得预期效

果的保障。目前，全国共有节能监测（技术服务）中心 145 个，绝大部分受政府委托开展节能执法监督和监测。但总体上看，多数节能监测（技术服务）机构能力建设滞后，信息缺乏，难以适应节能工作的需要。国家必须从不同层面上完善这些机构，专门负责节能监督和管理工作。对重大的节能项目进行连续检查，并充分利用媒体的宣传作用，对节能效果好的产品和企业予以表扬，提高企业及其产品的知名度；对违反规定的企业严肃处理，清理市场上不合格的产品并加以曝光，实现全民动员监督市场，节约能源，保护环境，以确保节能政策和能效标准的落实。

## 6. 运用经济手段

风机、泵类和空气压缩机等主要工业耗能产品的技术改进必然会伴随着产品制造成本的增加。许多生产商出于庞大资金的投入而不能或不愿采用节能新技术、新工艺；消费者由于价格偏高而拒绝采购。此时，政府的财政资助和激励政策很重要，它可用以克服产品制造成本增加这一障碍，鼓励犹豫不决的生产商果断进行技术革新和工艺改造，促进消费者选择节能产品。最常见的财政激励措施是给予消费者补贴、拨款补助、减税或加速折旧、贷款以及设备租赁等。

财政激励已经在很多国家被成功采用，是通过支付全部或者部分的额外费用而达到鼓励高能效产品的一种方法。这种经济优惠可以是多种形式，从直接的现金折扣到提高的免税资本限额。对于终端用户来说，优惠额度不应该大于采用一个高能效产品的额外费用。

## 7. 加大用户宣传和培训

对普通消费者来说，来自政府和其他独立机构的宣传信息最显著的特点就是信息的公正和权威性。这些宣传信息可能和来自于产品制造商的很相似，但是这种独立的信息来源具有更高的可信度。各级政府相关机构和其它独立机构如新闻出版、广播影视、文化等部门和有关社会团体，应该充分发挥这一优势，搞好节能宣传，形成强大的宣传声势，曝光那些高耗能、不符合能效标准的风机、泵类和空气压缩机等主要工业耗能产品，宣传节能型产品，促进产品市场的转型。

信息提供的方式有很多种（例如手册，传单，视频，软件），也可以用磁碟或者通过互联网来传播。实施中可以参考以下准则：

- 必须认真地规划目标人群的范围以及鼓励他们采取哪些行为。
- 确保所选用的媒介整体质量的高水平。
- 语言和技术细节的表达方式应该符合期望人群，并且注意这些技术细节的简洁性。
- 在最后公布之前，应该广泛征求供应商的意见或召开新闻发布会（这样既避免了随后的问题，同时也获得了某个行业的支持）。
- 重视行业意见以及反馈信息。

在政府或其他独立机构对节能产品进行宣传的时候，其中一个非常有效的手段是选取优秀的节能案例，这有点类似于节能示范工程的作用，但是案例宣传需要注意以下几点：

- 所选的案例应该具有代表性，在一般条件下容易推广实施。
- 要让目标群众认识到所宣传的节能案例完全能在他们身上实现。



- 选择具有高知名度的公司作为呼吁工具是最理想的。
- 宣传时应该突出个人行为，如个人签字仪式等。
- 案例研究应该从普通消费者的角度分析实际问题和可能遭遇的任何问题，并要保证研究的公正性。
- 尽可能不要宣传案例中产品的品牌，否则只有那个品牌的厂商会在随后的商品销售中受益。
- 用千瓦时和金钱等更有意义的方式来强调整节能。
- 要明确评价节能的方法及其条件。

## 8. 建立示范工程

示范工程通常具有技术示范和典型带动的作用，成功的示范工程具有显著的经济效益和环境效益，推动资源节约与环境保护技术进步，提高资源利用效率，增强污染防治能力，促进可持续发展。

示范项目一般选择大型的、技术力量雄厚的企业，在风机、泵类和空气压缩机行业有重大示范、推广作用，有助于提升资源节约与环境保护的整体技术水平，具有较好推广前景的项目应该优先考虑。实施示范项目的积极作用可以概括为以下几个方面：

- 鼓励通过一套综合的经济有效的方法，提高能效，直接减少温室气体排放，项目本身可以带来巨大的经济和环境效益。
- 运行成功的示范工程，通过制作案例、召开新闻发布会等方式，利用各种传媒（如互联网、电视、广播、报刊、杂志等）来宣传示范工程的效果和意义，发挥示范工程的引导和辐射作用，带动一批相关技术、产业的发展。

- 将示范工程中实施效果好、先进实用的技术、工艺、设备（产品），列入国家鼓励发展的技术、工艺和设备（产品）目录及重点推广目录，引导先进技术的推广应用，促进示范与推广的有机结合。
- 通过提高能效带来的经济效益和生产力的提高，提升对节能与环保的认识和管理水平。
- 允许公司选择自己认为最合理的技术方案，调动企业的活力，促进技术创新。
- 在政府与工业部门之间发展有成效的、灵活的伙伴关系。

## 9. 拓展标准的实施途径

能效标准可以通过多种途径得以实施。目前国际上广泛采用的主要有强制性法规政策、自愿性协议、产品采购标准、产品能效标识等措施：

- 法规将最低能效标准强加在市场上流通的产品上，对许多产品来说，法规可能是把低效产品淘汰出市场的最终措施。
- 自愿性协议是生产商和消费者在没有现有法规的情况下，试图达到同一个目标的协议。这种方法可能跟法规一样有效果，但是这是在法规实施之前“软化”市场的好方法。
- 采购标准是一群消费者认同的产品定义，用来描述他们为了某种特殊应用而采购的产品的特性，可能包括能效分级。对很大范围内的设备来说，这些标准已经存在，通常强调的是安全和操作上的要求，但是很容易扩充到包括效率在内的标准。
- 能源效率标识是附在产品或产品最小包装物上的一种信息标签，用于表示用能产品的能源效率等级等性能指标，为消费者（包括各级

政府、企业和个人)的购买决策提供必要的信息,以引导和帮助消费者选择节能高效产品。

一个产品能效的提高,乃至一个高能效产品市场的转型离不开多种节能措施的共同作用。对于企业来说,作为任何一个政策措施的直接作用对象,其看法将对一个政府节能政策的制定和实施有着非常重要的参考作用。调查报告显示,以下十种措施中,高耗能产品淘汰制度和节能产品认证制度在生产企业看来尤为重要,具体调查结果见下表 6-1:

表 6-1: 提高产品能源利用率的途径

措施		提及率		
		CCP	VF	DAC
1	提高产品的效率	<b>62.9%</b>	63.6%	47.6%
2	高耗能产品淘汰制度	<b>57.1%</b>	<b>90.9%</b>	<b>54.8%</b>
3	节能产品认证制度	<b>51.4%</b>	<b>75.8%</b>	<b>78.6%</b>
4	宣传节能产品的经济效益	40.0%	57.6%	35.7%
5	国家质量抽检	34.3%	<b>72.7%</b>	<b>78.6%</b>
6	节能产品推荐目录	34.3%	60.6%	47.6%
7	生产商之间的自愿协议	31.4%	51.5%	28.6%
8	实施产品标识制度	28.6%	66.7%	35.7%
9	能量/CO <sub>2</sub> 排放征税	8.6%	27.3%	11.9%
10	其他	11.6%	6.0%	2.4%

## 七、 结论

综上所述，我国在主要工业耗能设备（风机、泵类、空气压缩机）方面的节能潜力是非常巨大的。以目前我国发布的（或已处于公示阶段的）能效标准为基础，充分考虑当前国内外技术发展水平，建议将通风机产品的设计点效率值作为其超前能效标准中的能效限定值指标。对于清水离心泵和容积式空气压缩机，建议将当前产品的节能评价价值作为其超前能效标准中的能效限定值。由于指标的提出还通过市场调查的方式征求了各行业代表性企业的态度，因此，这些指标不仅在产品技术支持上是可行的，在生产商和政府、行业协会的态度上也是被认可的。

利用美国促进能源经济效益委员会为评估节能潜力开发的一套通用性的分析模型，对此三类主要工业耗能设备的超前能效标准的节能潜力进行量化，总的节能效果如下图 7-1 所示。

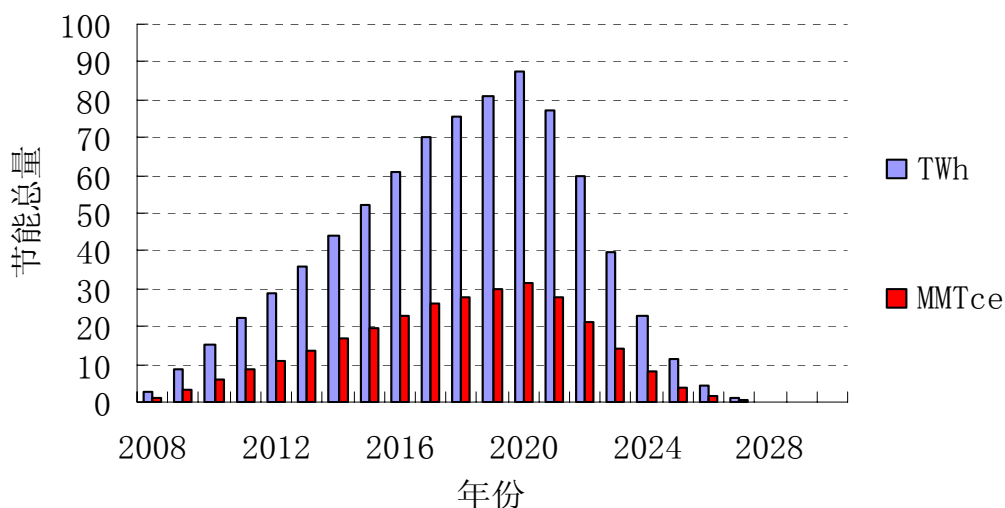


图 7-1: CCP、VF、DAC 节能总量预测

如果风机、泵类和空压机三类产品同时实行超前能效标准，那么三类主要工业耗能产品将带来的节能总量是非常巨大的。根据节能模型分析，如果超前能效标准在 2008 年开始生效，那么预计在 2020 年将节电 875.3 亿度，折合一次能源 3169.70 万吨标煤，到 2020 年累计节电量 5851.8 亿度，折合一次能源 2.18 亿吨标煤。由于节电而相应带来的污染物减排量到 2020 年累计为 1.65 亿吨碳、257.62 万吨氮氧化物、369.65 万吨二氧化硫和 1569.76 万吨微细颗粒物；同时为峰值需求减少贡献 3.12 亿千瓦。

通过此次的可行性研究，我们对国内目前风机、泵类和空压机产品的市场现状、技术水平等概况有了一个基本认识，同时也提出了建议超前能效标准的能效限定值指标，另外节能模型的分析结果强有力地支持有必要制定这三类主要工业耗能产品的超前能效标准。由于资金有限，我们此次资料收集的不够详尽，特别是技术革新方面的国内外资料；市场调查主要偏重于定性的问题，对于许多模型中必要的定量数据没有展开调查。为了制定出合适的超前能效标准，建议在今后相关研究中，加大市场调查的范围、力度，产品检测以及与产品技术专家的沟通，提出先进的、符合企业当前经济效益的切实可行的技术改造实施方案。

## 八、基本参数附表

分析中涉及到的基本参数查阅下表。

表 8-1: 基本参数汇总

参数名称	数值与单位
技术线路损失率 (TDL)	7.55%
装机余量系数 ( $\theta$ )	1.15
工业电价	0.56 元/度
折现率	7.6%
热值比 (2010 年)	359.6 克标煤/度
热值比 (2020 年)	334.8 克标煤/度
碳边际排放系数	267.27 克/度
NO <sub>x</sub> 边际排放系数	4.07 克/度
SO <sub>2</sub> 边际排放系数	5.84 克/度
PM <sub>10</sub> 边际排放系数	24.80 克/度

## 参考文献

- (1) 《2004年中国统计年鉴》 中国统计出版社
- (2) 《2002年中国能源统计年鉴》 中国统计出版社
- (3) 《2002年中国机械工业年鉴》 机械工业出版社
- (4) 《2002年中国通用机械工业年鉴》 机械工业出版社
- (5) 《2004年中国通用机械工业年鉴》 机械工业出版社
- (6) 《风机手册》 续魁昌主编 机械工业出版社
- (7) 《工业泵选用手册》 范德明主编 化学工业出版社
- (8) 《通用机械》 齐大信主编 化学工业出版社
- (9) 《制冷压缩机》 匡奕珍主编 中国商业出版社
- (10) 《2003年中国机电产品报价目录》 中国统计出版社
- (11) 《常用机械电器实用手册》 曹志超主编 化学工业出版社
- (12) 《中国重点耗能产品节能潜力与对策》 李爱仙主编 中国计量出版社
- (13) “通用机械行业统计分析报告汇编”. 中国通用机械工业协会 2004年10月
- (14) “中国工业泵制造业行业分析报告2003版”. 中华商务网机电部 2004年5月
- (15) GB/T 19153-2003《容积式空气压缩机能效限定值及节能评价》
- (16) 《通风机能效限定值及节能评价》报批稿
- (17) 《清水离心泵能效限定值及节能评价》报批稿
- (18) “三类通用机械设备（水泵、风机、空气压缩机）生产商关于改进机械效率的调查报告”  
北京智诚友邦信息咨询有限公司. October, 2004
- (19) “国民经济和社会发展第十个五年计划能源发展重点专项规划”  
<http://www.sdpc.gov.cn/> 中华人民共和国发展与改革委员会
- (20) “2003年中国环境状况公报” 中华人民共和国环境保护总局.  
<http://www.zhb.gov.cn/eic/649368303189360640/index.shtml>
- (21) *Market Study for Improving Energy Efficiency for Fans(Final Report)*. Peter Radgen(Ed.) July 2001
- (22) *Compressed Air Systems in the European Union(Final Report)*. Peter Radgen, Edgar Blaustein(Eds.) October 2000

- (23) *Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems*. Lars Frenning... (et al). Hydraulic Institute and Europump 2001
- (24) Easton Consulting. 1995. *National Market Transformation Strategies for Industrial Electric Motor Systems, Volume II: Market Assessment*, DOE/PO-0044, Volume II. Washington, D.C., USA: U.S. Department of Energy.
- (25) Hydraulic Institute. 2000. *American National Standard for Centrifugal Pump for Design and Application*, ANSI/HI 1.3-2000. Parsippany, N.J., USA
- (26) [CLASP] Cooperative Labeling and Standards Project. 2004. Worldwide Standards and Labeling Database, <http://www.clasponline.org>. Washington, D. C.
- (27) [AMCA] Air Movement and Control Association. 1999. *ANSI/AMCA Standard 210-99, Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating*, <http://amca.org>. Arlington Heights, IL.
- (28) [AMCA] Air Movement and Control Association. 2005. <http://amca.org>. Arlington Heights, IL