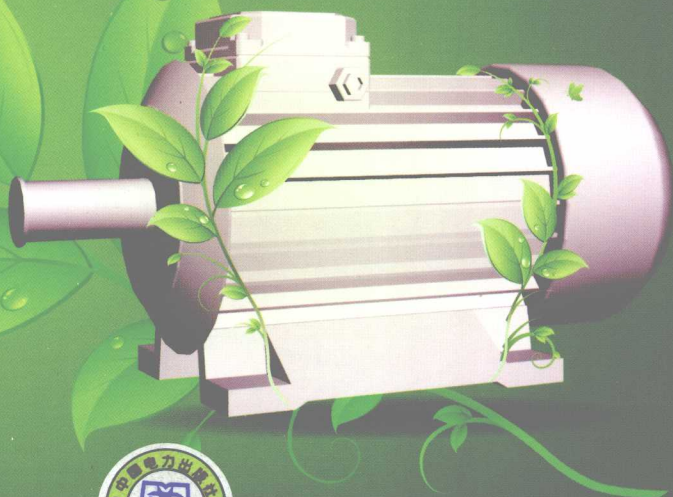


 企业用电与节能系列丛书

企业电动机选型与节能

广东电网公司广州供电局 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

 企业用电与节能系列丛书

企业电动机选型与节能

广东电网公司广州供电局 组编



224827

广西工学院鹿山学院图书馆



d224827



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

企业节电主要包括两部分内容,一是管理节电,二是技术节电。前者通过需求侧智能综合用电管理达到节电的目标;后者通过技术手段降低常用电器设备的损耗,提高效率实现节能。本书为《企业用电与节能系列丛书》中的分册之一,全书共5章,主要内容包括概述、常见电动机及其效率分析、电动机的选型和节能、电动机的变频调速节能运行和案例分析。

本书可供企业用电管理人员和相关技术人员在日常工作中参考使用,便于推动企业节约用电、安全用电与合理用电工作的开展,有助于提高企业节能减排意识。

图书在版编目(CIP)数据

企业电动机选型与节能/广东电网公司广州供电局组编. —北京:中国电力出版社,2011.2

(企业用电与节能系列丛书)

ISBN 978-7-5123-1415-3

I. ①企… II. ①广… III. ①电动机—选型②电动机—节能 IV. ①TM32

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第025456号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011年5月第一版 2011年5月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 10印张 164千字

印数0001—3000册 定价24.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

序 言

“十一五”期间单位 GDP 降耗 20% 的目标已经取得了提前完成的业绩，这对于推动科学发展，转变生产方式，调整经济结构，促进经济发展发挥了积极作用。目前，在国家“十二五”规划纲要中，节能成为专项规划，占国内生产总值 75% 的工业领域的节能降耗更是列入发展最重要的一环，降低能源消耗强度 16% 也以约束性指标出现。“十二五”期间，国家将以重点行业、重点企业为着力点，推动工业企业节能降耗迈上新台阶。

从另一方面看，随着中国市场经济体制的成熟，国内大多数企业面临全球化的市场竞争日益加剧，在中国工业企业的各项成本中，电费成本已成为紧随物料成本、人工成本之后的第三或第四大成本，特别是在某些高耗能企业中，电费成本已成为最主要的成本。企业节能的潜力与需求极大，通过节能降耗来降低生产成本势在必行。

一直以来，广州供电局在广州地区的节能工作中承担着巨大的义务和责任。在服务上，以客户为中心，加强各行业客户服务水平，发起“绿色行动”倡议；在管理上，做好电力负荷预测，积极配合产业结构调整政策，优先确保高效低耗的企业用电；在技术上，积极推进需求侧智能用电管理，降低电能二次消耗，提高企业用电管理水平；在推广上，广泛开展合理用电、科学用电、有序用电的宣传活动。

基于此种情况，以历届广州地区节能降耗论坛为平台，广州市经贸委、广州供电局组织人员组成编委会，共同编写了这套企业用电与节能系列丛书，力求从客户需求的角度，响应国家号召，开展节能降

耗，助力企业发展。丛书从企业的实际需求出发，集中对企业用电报装、新型高效电动机的选型和使用、供用电系统的综合管理和现代电子照明系统设计等方面的节能技术进行讲解和阐述。针对企业产业化模式、用电量、能耗水平等特点，结合不同领域的工业企业案例，站在需求侧的立场提出问题和解决问题，大大增强了丛书的实用性和功能性。

帮助企业进行节能降耗工作是供电企业的重点，也是难点。丛书在发挥供电企业自身优势的同时，及时、切实地为新形式下的企业节能提供了依据，对推动节能降耗工作具有重要指导意义。读过之后，对企业管理节能与技术节能的综合手段有了系统性的了解，甚至对未来“智能电网”的发展与完善增添了不少期待，是为序。

广东电网公司广州供电局局长



2011年3月9日于广州

前言

近年来随着我国经济的快速发展,能源供求状况显现出日益紧张的局面。一方面是由于能源供应不足,另一方面是工矿企业由于种种原因造成很大的能源浪费。能源问题不单纯是能源消耗和供需平衡的问题,同时还是一个影响到环境保护、可持续发展的重大战略问题。

电能作为一种最普遍的能源,它的使用情况最直接地反映了一个国家的技术水平和对能源的利用状况。据统计,我国工业用电量占全国用电量的72%左右,而每万元工业GDP用电量是世界平均水平的2倍多。因此我们认为,企业节能的潜力空间极大。

企业节电主要包括两部分内容,一是管理节电,二是技术节电。前者通过需求侧智能综合用电管理达到节电的目标;后者通过技术手段降低常用电器设备的损耗,提高效率,实现节能。

目前,我国企业在节约用电、安全用电与合理用电方面水平还不高,存在着许多问题,包括:

(1) 对电动机、变压器、照明等常用设备的能耗特征了解甚少,缺乏必要的设备运行及选用知识。

(2) 企业对自身供用电系统运行缺乏必要的了解,对电费的构成情况不了解,企业平均电费昂贵。

(3) 普遍存在盲目报装的现象,“大马拉小车”问题严重,不仅不利于电力系统安全经济运行,也给企业带来不必要的经济损失,同时也浪费了大量的电能。

针对上述问题,我们组织专家编写了这套企业用电与节能系列丛书,丛书第一期包括:《企业供用电系统综合管理与节能》、《企业用电报装与节能》、《企业电动机选型与节能》、《企业照明设计与节能》。今后我们将根据实际情况编写更多的企业用电与节能方面的书籍,使这套丛书更加完善。

《企业供用电系统综合管理与节能》主要介绍了企业用电系统综合管理、企

业供电系统经济运行及负荷管理、企业供用电综合管理系统、功率因数管理等内容。

《企业用电报装与节能》主要介绍了企业电费构成、客户供电方案及其受电装置、电力变压器与能效评价、企业电力负荷计算、合理报装等内容。

《企业电动机选型与节能》主要介绍了常见电动机及其效率分析、电动机的选型和节能、电动机的变频调速节能运行及案例分析等内容。

《企业照明设计与节能》主要介绍了现代照明技术及应用、企业照明设备选型与节能、照明设计案例分析等内容。

我们希望通过这套丛书的出版和发行，推动企业节约用电、安全用电与合理用电工作的开展，提高企业节能减排意识。

编 者

2011 年 1 月

企业用电与节能系列丛书

编 委 会

名誉主任 赵小穗 甘霖

主 任 叶佑新 王志勇

副 主 任 张宏伟 李敏虹 李江帆 伍伟华

主 编 伍伟华

主 审 张尧

委 员 黄天石 齐健婷 刘永强 杨向宇

李春茂 余飞鸥 曾宪毅 黄 山

罗冠姗 林伟宏 庞建军 陈广开

刘海宁

目 录

序言

前言

1 概述	1
1.1 电动机节能系统概况	1
1.1.1 我国电机系统能效现状	1
1.1.2 各国电机系统节能推进措施和项目	2
1.1.3 电机系统节能潜力分析方法	4
1.1.4 电机系统节能技术	5
1.2 电动机的种类	5
1.2.1 按工作电源分类	6
1.2.2 按结构及工作原理分类	6
1.2.3 按起动与运行方式分类	6
1.2.4 按用途分类	6
1.2.5 按转子的结构分类	7
1.2.6 按运转速度分类	7
1.3 不同类别电动机综合特性的比较	7
2 常见电动机及其效率分析	8
2.1 感应电动机的工作原理、工作特性与效率分析	8
2.1.1 三相感应电动机的工作原理与工作特性	8
2.1.2 感应电动机的损耗分析	10
2.1.3 感应电动机的效率特性分析	11
2.1.4 最佳效率工作点分析	13
2.1.5 不同工况下经济运行点的分析	14
2.1.6 高效感应电动机	16
2.2 永磁同步电动机的工作原理、工作特性与效率分析	24

2.2.1	永磁同步电动机的工作原理与工作特性	24
2.2.2	永磁同步电动机的损耗分析	31
2.2.3	永磁同步电动机的效率特性分析	31
2.2.4	永磁同步电动机的最佳效率点分析	32
2.2.5	不同工况下经济运行点的分析	36
2.2.6	高效永磁同步电动机	38
2.3	无刷直流电动机的工作原理、工作特性与效率分析	39
2.3.1	无刷直流电动机的结构与工作原理	39
2.3.2	无刷直流电动机的损耗分析	45
2.3.3	无刷直流电动机的效率特性分析	45
2.3.4	无刷直流电动机最佳效率点分析	47
2.3.5	不同类别电动机的效率曲线对比分析	47
2.4	其他特种电动机简介	48
2.4.1	步进电动机	48
2.4.2	直线电机	52
2.4.3	开关磁阻电动机	60
2.4.4	爪极电机	67
2.4.5	超声波电动机	70
2.4.6	无刷双馈电动机	71
3	电动机的选型和节能	83
3.1	电动机的选型	83
3.1.1	选择电动机结构类型的基本要求	83
3.1.2	电动机结构形式的选择	83
3.1.3	电动机种类的选择	84
3.1.4	电动机转速的选择	86
3.1.5	电动机容量的选择	87
3.1.6	电动机额定电压的选择	88
3.1.7	交流电动机的选择	88
3.2	电动机的节能	90
3.2.1	感应电动机的节能	92
3.2.2	永磁电动机的节能	97

3.2.3 无刷直流电动机的节能	99
4 电动机的变频调速节能运行	101
4.1 变频交流调速技术简介	101
4.1.1 交流调速技术国内外发展概况	101
4.1.2 变频调速存在的主要问题	104
4.2 变频器的结构和原理	105
4.2.1 变频器的工作原理	105
4.2.2 几种变频器的系统构成	106
4.2.3 变频器的控制方式	114
4.2.4 变频器设计和使用中的注意事项	116
4.2.5 开关器件	117
4.3 风机(泵类)设备的节能分析	119
4.3.1 节能原理	119
4.3.2 节能效果分析	121
4.4 变频调速的应用领域	125
4.4.1 电厂风机、泵类负载	125
4.4.2 传送带等搬运机械	128
4.4.3 机床	128
4.4.4 制茶机	129
4.4.5 畜舍的换气	130
4.5 绕线型感应电动机的串级调速	130
4.5.1 串级调速的基本原理	131
4.5.2 串级调速系统主回路主要设备的参数计算与选择	132
5 案例分析	137
5.1 变频节能的分析与应用	137
5.1.1 发电厂变频节能概述	137
5.1.2 发电厂电动机节能	138
5.2 采用高效稀土永磁电动机的节能应用	142
5.3 感应电动机的“大马拉小车”改造应用	143
参考文献	145

概 述

1.1 电动机节能系统概况

电动机广泛应用于工业、商业、农业、公用设施和家用电气等领域，用于拖动风机、泵、压缩机等各种设备。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，其用电量在各个国家的总用电量中均占有相当大的比重。根据美国能源部的统计数据，电机系统用电量占全美用电量的 50%，占工业用电量的 70%。根据欧盟的统计数据，电机系统用电量占欧盟总用电量的 42%，占工业用电量的 69%。根据国家发展和改革委员会 2003 年的调查结果，电机系统耗电约占我国用电量的 60% 以上。其中，风机、泵类、压缩机和空调制冷机的用电量分别占全国用电量的 10.4%、20.9%、9.4% 和 6%。国际铜业协会进行的“全国电机现状市场调研”结果显示：2007 年，我国各类电动机装机总容量约为 7.28 亿 kW，耗电量约为 19 566 亿 kWh。由于电机系统消耗了大部分的工业用电，因此提高该系统的能效水平对能源节约和环境保护均具有重要意义。欧盟预测，将不同功率的电机效率提高 1%~6%，可节能 3%，每年可节约电能 276 亿 kWh，相当于 5 座 100 万 kW 电站的供电能力。根据国际铜业协会预测，在我国通过提高电动机的能效标准和推广高效电动机的应用，到 2011 年可累计节电 764 亿 kWh，减排二氧化碳 7640 万 t。

1.1.1 我国电机系统能效现状

改革开放以来，我国制造业有了长足发展，近些年企业通过自主研发和消化吸收，电动机、风机、泵、压缩机等相关产业的产品性能、质量有了显著提高，对推动电机系统的节能工作起了很大的促进作用。但与发达国家相比，我国的电机系统尚存在很大的节能潜力和技术升级空间，主要表现在以下方面：

(1) 电动机和被拖动设备效率低。我国生产和在用的电动机以 Y 系列为主，

占据了近 90% 的市场份额, 其效率平均值为 87.3%。美国高效电动机效率平均值为 90.3% (该效率为美国能源政策法令所规定的市场准入水平), 超高效电机的效率平均值为 91.7%。即我国 Y 系列电动机效率比美国等先进国家的高效水平平均低 3%, 比美国超高效水平平均低 4.4%。虽然目前国内已有 40 多家企业能够生产高效电动机, 但高效电动机的市场规模依然较小, 仅占整个市场的 10.4%, 且相当一部分高效电动机出口海外, 真正用于国内的较少。风机、泵、压缩机产品虽然设计水平与国外先进水平相当, 但由于制造技术和工艺有差距, 平均效率比国外先进水平低 2%~4%。

(2) 系统运行效率低。系统匹配不合理, “大马拉小车” 现象严重, 设备长期处于低负荷运行状态。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%。电机系统就运行效率而言要比国外先进水平低 10%~20%。

(3) 节能技术和装备水平相对落后。电机传动调速及系统控制技术与国外相比差距较大, 电力电子变频调速技术与国际先进水平相差 5~10 年。国外变频调速技术和产品主导我国电机系统市场, 采用 IGBT/IGCT 电力电子器件的高压变频器及技术主要靠国外进口, 价格较贵, 而且安全可靠方面还有待进一步提高。同时, 企业不愿承担经济和技术风险。因此, 采用变频调速的电机系统仍为少数, 不到总量的 10%。

根据美国和欧盟电机挑战计划, 以及近年来在进行的大量电机系统节能测试评估和节能改造项目获得的经验, 空气压缩机系统的节能潜力多为 10%~50%, 泵系统的节能潜力为 20%~40%, 风机系统的节能潜力为 20%~60%。由于这三个系统用电量占了全国耗电量的 40.7%, 因此开展电机系统节能对我国实现建设节约型企业、发展循环经济和清洁生产任务具有重要意义。

1.1.2 各国电机系统节能推进措施和项目

由于电机系统耗电在世界各国均占有相当大的比重, 随着能源形势的日益紧张, 世界各国, 特别是发达国家均开展了电机系统节能工作。美国于 1999 年启动了“电机挑战计划”, 美国能源部成立了工业技术办公室, 专门致力于开展电机系统节能的推进, 开发了大量有关泵、风机和空气压缩机系统节能的技术资料和 MotorMater、PSAT、FSAT、AirMaster 等进行系统分析的软件, 并专门成立专家组和工业评估中心, 为企业提供技术培训、节能评估和开发示范项目等



服务。

欧盟也于 2003 年启动了“电机挑战计划”，促进其电机系统节能工作的开展。除此之外，欧美等发达国家还通过制定相关的财税政策，利用合同能源管理等市场机制来推动企业实施电机系统节能项目。

在联合国工业发展组织（UNIDO）的支持下，我国于 2001 年底以上海市和江苏省为试点，实施了为期 3 年的中国电机系统节能项目。其目的是将美国“电机挑战计划”的成功经验引入我国，通过专家培训、企业技术人员培训、现场测试评估、开发示范项目等措施，提高我国电机系统节能评估和实施项目的能力。在开展项目期间，上海市节能服务中心于 2002 年 6 月成功完成了上海第一个以合同能源管理方式实施的节能改造项目，通过对上海新亚药业有限公司循环水系统的节能改造，节能量超过 60%。接下来通过项目复制完成了上海虹港大酒店、永安百货、上海南方商城等中央空调系统的节能改造，节能效果均非常显著。

2005 年 6 月，在联合国开发署（UNDP）和全球环境基金（GEF）的支持下，我国启动了为期 12 年的终端能效项目。项目涉及电机系统的子项目有 C01（开发电机系统节能培训教材）、A06（制定和示范实施现有和新增电机系统优化设计准则）、A07（电机系统节能服务机构的能力建设）和 A15（企业电机系统节能的培训和教育）4 个子项目，具体如下：

（1）C01 子项目的工作任务是开发电机系统节能培训教材，作为国家和地方节能中心开展电机系统节能的培训教材。培训对象为政府主管节能管理人员、企业节能管理工程技术人员和能源服务机构的工程技术人员等。

（2）A06 子项目的工作目标是根据目前国内电机系统设计的特点，在广泛征求设计院、高等院校、研究所、电机制造商意见的基础上，制定新增和现有电机系统优化设计准则，并选择 4 家设计院进行对新增和现有电机系统优化设计准则的示范实施。

（3）A07 子项目的目标是通过国际专家对 4 家节能服务机构（上海市节能服务中心、江苏省节能服务中心、北京动力源科技股份有限公司、湖北三环发展股份有限公司）技术人员的技术培训，全面提升 4 家节能服务机构在风机系统、泵系统、压缩空气系统和高效电机等节能服务方面的能力。再通过这些机构为企业提供有针对性的、高质量的电机系统节能培训和服务，促进企业加强电机系统节能管理和实施节能项目，不断提高电机系统的运行效率和能源利用水平，实现显著的经济效益和环境效益。

(4) A15 子项目的主要目标是根据 C01 子项目编写出的电机系统节能培训教材,选择 6 个省级节能中心,对其辖区政府主管节能管理人员、企业节能管理工程技术人员和能源服务机构的工程技术人员进行技术培训。

除此之外,国家能源标准化委员会还修订了电机系统的产品能效限定值和节能评价标准、电机系统的经济运行标准、监测标准等相关标准,并制定了电动机的能效标识,从标准制定上促进我国电机系统节能技术的推进。

国家“节能中长期规划”中明确电机系统节能是我国十大重点节能工程之一,为了推进其开展,我国相关部委积极研究制定相关的财税政策和市场机制。上海从 2007 年就制定了节能技改项目的奖励政策,规定节约能量折算成标准煤超过 500t 的项目,每吨标准煤按照 300 元进行补贴。同时,对以合同能源管理方式实施的项目,且符合相关条件的,对合同能源管理公司进行一定的前期节能诊断补贴。

1.1.3 电机系统节能潜力分析方法

电能电机系统的流向依次为电动机起动机、供电线路、电动机速度控制装置、电动机、联轴器、拖动设备(泵、风机等)、流体系统,一直到终端负载,每个环节均有效率损失。因此,电机系统节能的目的是要达到整个系统效率的提高,它不仅追求电机和拖动设备等每个环节效率的最大化,而且要达到整体效率的最大化。由于电机系统是服务于终端负载的,因此对电机系统节能潜力的分析应与电能的流向相反,以终端负载为起点进行逆向分析。具体如图 1-1 所示。



图 1-1 电机系统电能流向和节能分析方向图

→ 能量流向; ← 节能分析方向

目前,针对电机系统节能可以选择的节能技术有很多,但并不是每一项节能技术用在任何一个系统中都会起到很好的节能效果。提高电机系统效率的最有效方法就是应用系统的方法对电机系统进行评估,不仅需要分析系统的供应端和使用端,还要分析两者之间的相互作用,把关注的重点从单一设备转移到整个系统。典型的系统分析方法通常需要进行以下工作: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。

1.1.4 电机系统节能技术

对于可用于电机系统的节能技术和措施，总的来讲可分为以下两类：

(1) 提高系统中单台设备的运行效率，如选用高效低耗的机电设备、电动机加装节能控制器、更换裕量过大的设备、开展有效的设备运行管理等。提高设备效率的本质在于降低设备自身的损失，当系统已经比较符合节能要求时，只要对这些设备进行简单的更换调整，就可使系统成为一个较佳系统，收到良好的节能效果。但提高单体设备效率在技术上毕竟有限制，对一个具体系统来说，其实际带来的经济效益往往不是很理想。

(2) 系统改造。若在对系统进行分析时发现系统因结构不合理、设备不配套、调节方式不恰当等而导致系统低效率运行时，则需要对其进行系统改造。系统改造的目的在于如何使总的输入能量尽量降低，输出能量尽量提高，以及尽可能多地回收能量，而较少考虑单台设备本身的效率。具体方法有：①改变工艺流程结构，选择合适的调节方法，减少调节损失；②改变操作条件，确定最佳运行参数，使设备发挥最大效能；③调整系统结构和设备的组合方式，合理配套，降低不必要的能耗等。对于一个具体的电机系统节能改造项目，可能有多个节能技术方案可供选择。需要强调指出的是，节能改造技术方案的最终确定，不可简单地根据各可选方案的节能效果来决断，也不可片面追求节能效果，而不考虑经济收益、产品产量和质量及工作环境等情况。应该根据有关经济原则，综合考虑产品的产量和质量、环境条件、技术的复杂程度和可靠性等多种因素，在此基础上对各方案进行技术经济综合评估，并确定最终的、最佳的节能改造技术方案。

1.2 电动机的种类

电动机按其功能可分为驱动电动机和控制电动机；按电能种类分为直流电动机和交流电动机；按电动机的转速与电网电源频率之间的关系可分为同步电动机与异步电动机；按电源相数可分为单相电动机和三相电动机；按防护型式可分为

开启式、防护式、封闭式、隔爆式、防水式、潜水式；按安装结构型式可分为卧式、立式、带底脚、带凸缘等；按绝缘等级可分为 E 级、B 级、F 级、H 级等。

1.2.1 按工作电源分类

根据电动机工作电源的不同，可分为直流电动机和交流电动机。其中交流电动机还分为单相电动机和三相电动机。

1.2.2 按结构及工作原理分类

电动机按结构及工作原理可分为异步电动机和同步电动机。

同步电动机还可分为电励磁同步电动机、永磁同步电动机、磁阻同步电动机和磁滞同步电动机。

异步电动机可分为感应电动机和交流换向器电动机。感应电动机又分为三相感应电动机、单相感应电动机和罩极感应电动机。交流换向器电动机又分为单相串励电动机、交直流两用电动机和推斥电动机。

直流电动机按结构及工作原理可分为无刷直流电动机和有刷直流电动机。有刷直流电动机可分为电磁直流电动机和永磁直流电动机。其中，电磁直流电动机又分为串励直流电动机、并励直流电动机、他励直流电动机和复励直流电动机；永磁直流电动机又分为稀土永磁直流电动机、铁氧体永磁直流电动机和铝镍钴永磁直流电动机。

1.2.3 按起动与运行方式分类

电动机按起动与运行方式可分为电容起动式电动机、电容起动运转式电动机和分相式电动机。

1.2.4 按用途分类

电动机按用途可分为驱动用电动机和控制用电动机。

驱动用电动机又分为电动工具（包括钻孔、抛光、磨光、开槽、切割、扩孔等工具）用电动机、家电（包括洗衣机、电扇、电冰箱、空调器、录音机、录像机、影碟机、吸尘器、照相机、电吹风、电动剃须刀等）用电动机及其他通用小型机械设备（包括各种小型机床、小型机械、医疗器械、电子仪器等）用电