



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-0402-07265

中国电源适配器国家能效标准 技术支持报告

Technical supporting report on China energy
efficiency standard for external power supplies

中国标准化研究院

China National Institute of Standardization

2005年12月

中国电源适配器国家能效标准 技术支持报告

Technical supporting report on China energy
efficiency standard of external power supplies

课题负责人	张国钦		
课题研究人员	陈海红	高级工程师	中国标准化研究院
	李爱仙	高级工程师	中国标准化研究院
	李艾珍	高级工程师	中标认证中心
	李占师	教授	中国电源学会
	刘群兴	高级工程师	中国赛宝实验室
	宋丹玫	高级工程师	中国赛宝实验室
	陈大为	高级工程师	中国电子技术标准化研究所
	林 栋	经理	台达能源技术(上海)有限公司
	成建宏	高级工程师	中国标准化研究院
	刘 伟	高级工程师	中国标准化研究院

目录

执行报告	5
(一) 项目概况.....	5
(二) 主要工作过程.....	8
一、电源适配器技术概述	14
(一) 电源适配器概述.....	14
(二) 电源适配器的分类.....	14
(三) 电源适配器的结构.....	15
(四) 电源适配器的主要技术参数.....	21
二、电源适配器相关标准介绍	22
(一) 国际相关标准.....	22
(二) 国内相关标准.....	26
三、电源适配器市场状况	27
(一) 电源适配器市场概述.....	27
(二) 国内主要电源相关企业简介.....	28
(三) 推动我国电源适配器发展的重要因素.....	29
(四) 电源适配器的成本.....	30
四、影响电源能效的因素及提高能效的方法	31
(一) 影响电源能效的因素.....	31
(二) 提高电源适配器能效的方法.....	34
(三) 电源适配器能效水平的提升空间及可行性.....	35
五 能效标准的技术内容	37
(一) 标准制定的依据与指导思想.....	37
(二) 标准主要技术内容介绍.....	37
六、典型产品使用高效电源的经济技术分析	47
(一) 分析模型.....	47
(二) 产品的选择.....	48
(三) 数据来源及预测.....	49
(四) 分析结果.....	58

图 形

图 1 内置电源.....	15
图 2 外置电源适配器.....	15
图 3 线性电源内部结构图.....	16
图 4 基本线性直流电源电路.....	16
图 5 复合滤波电路.....	17
图 6 稳压管稳压电路图.....	18
图 7 串联反馈式稳压电路的一般结构图.....	18
图 8 集成稳压器外形图.....	19
图 9 开关电源内部结构图.....	19
图 10 基本开关直流电源电路.....	20
图 11 我国电源适配器产量趋势.....	27
图 12 1998 年~2004 年手机产量.....	30
图 13 我国手机产量在全球所占比重.....	30
图 14 电源成本比较图.....	31
图 15 硬开关电路的开关过程.....	33
图 16 软开关电路的开关过程.....	35
图 17 输出功率同为 9W 的线性电源（左）和开关电源（右）.....	41
图 18 样品平均效率测试数据和符合能效限定值情况.....	42
图 19 样品空载功率测试数据和符合能效限定值情况.....	42
图 20 样品平均效率测试数据和符合节能评价价值情况.....	44
图 21 样品空载功率测试数据和符合节能评价价值情况.....	45
图 22 替代前后能耗的对比.....	59

表格

表格 1 线性电源与开关电源的主要技术指标.....	22
表格 2 能源之星平均效率指标.....	23
表格 3 能源之星待机功耗指标.....	23
表格 4 加州强制性第二阶段电源平均效率.....	24
表格 5 加州强制性第二阶段阶段空载状态功率.....	24
表格 6 欧盟指令电源效率.....	25
表格 7 欧盟指令空载功率.....	26
表格 8 电源适配器改进效果和成本增加对比.....	37
表格 9 平均效率能效限定值.....	41
表格 10 空载状态能效限定值.....	41
表格 11 现有样品测试结果能够满足能效限定值情况.....	42
表格 12 平均效率节能评价值.....	44
表格 13 空载状态节能评价值.....	44
表格 14 现有样品测试结果能够满足节能评价值情况.....	45
表格 15 典型的使用外部电源适配器的终端产品.....	48
表格 16 潜在的节能量和节能率.....	58

执行报告

（一）项目概况

近年来，随着我国经济的快速发展，特别是部分地区和高耗能行业盲目投资、低水平扩张，导致我国能源供应不足的矛盾有所加剧，每年都有二十几个省份不同程度地出现了电力供应紧张，拉闸限电的现象，对生产生活产生了负面影响。实现党的十六大提出的国内生产总值到2010年力争比2000年翻两番，基本实现工业化这一宏伟目标，随着人口增加、工业化和城镇化进程的加快、特别是重化工业和交通运输的快速发展，能源需求量将大幅度上升，经济发展面临的能源约束矛盾和能源环境问题将更加突出。我国能源相对不足，而能源基础设施建设投资大、周期长，还面临交通运输、水资源制约等一系列问题，因此节能是缓解能源是解决能源环境问题的根本措施，是提高经济增长质量和效益的重要途径，是增强企业竞争力的必然要求。

我国一贯重视节能工作，近年来为了缓解能源约束矛盾，颁布了一系列政策和措施，2003年在我国八大能源战略重“节能优先、效率为本”被列在首位；2004年，国务院发布了30号文件《关于在全国范围内开展资源节约活动的通知》，号召全国连续三年开展全国资源节约活动和宣传；2004年国家发改委和国家质检总局联合发布了《能源效率标识管理办法》；2004年11月国家发改委第一次向全社会公开发布《节能中长期专项规划》；2004年12月胡锦涛总书记在中央经济工作会议上发表重要讲话，指出：“要制定并强制推行更加严格的节能、节材、节水标准”；2005年，财政部和国家发改委联合出台了《节能产品政府采购实施意见》等等。刚刚结束的党的十六届五中全会提出了“十一”目标是：在优化结构、提高效益和降低消耗

的基础上，实现 2010 年人均国内生产总值比 2000 年翻一番，单位国内生产总值能源消耗比“十五”期末降低 20%左右。再次证明了节能工作对我国经济可持续发展的重要性。由于投资少见效快，为用能产品制定和实施能效标准和能效标识、实施节能产品认证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，也是各国构筑贸易壁垒的一个组成部分。据国际能源署统计，到目前为止，已有 34 个国家成功实施了能效标准与标识计划。1998 年 1 月 1 日我国颁布实施了《中华人民共和国节约能源法》，明确提出了节能产品认证制度和高耗能产品淘汰制度，以促进我国耗能产品节能技术水平不断提高，创造一个公平竞争、规范的市场。为了配合我国《节能法》的实施，从二十世纪九十年代开始，在国家发改委和国家标准委的重视和支持下，我国陆续制定并颁布了 21 项强制性国家能效标准。

随着人民生活水平的不断提高和办公条件的日益改善，越来越多的带有外部电源（也称电源适配器）的电器产品，例如手机、笔记本电脑、数码相机、MP3 播放器等等，进入家庭和办公室。随着手机、笔记本电脑和数码产品的迅速普及，外部电源的产量也在激增。全球在用的外部电源有 100 亿只，中国在用的外部电源约 7 亿只。外部电源是劳动密集型产业，中国的大量廉价劳动力资源吸引了世界上越来越多的劳动密集型企业入驻中国，中国已成为外部电源最大的生产国和出口国。据国外机构的调查数据，我国交直两用单路输出电源 2001 年的销售额为 7.23 亿美元，约占电源市场总量的 60%，预计 2002-2007 年增长率为 12.4%。

因为外部电源是将交流的电网高电压转换成一个稳定的直流或交流低电压，在高压和低压的转换过程中，就会有能量损失，测试数

据表明一些外部电源的转换效率只有 20%~40%，而高效的外部电源转换效率可以高达 90%。据测算，高效电源设计可以节约 15%-20% 的电能而且都是已经应用的成熟技术。因此提高外部电源的能效，推广和采用高效电源产品，对于电源产品保有量迅速增长的我国来讲，是很好的降低能耗的途径，进而降低对环境的负面影响。

外部电源能效提高一直不被重视的一个重要原因就是外部电源几乎全部是和终端产品，例如手机、笔记本电脑、数码相机等配套销售的，采购外部电源的是终端产品的生产商而不是支付电费的消费者。外部电源没有统一的能效标准也没有供消费者了解产品能耗的任何标识或信息，消费者没有选择权。此外行业竞争激烈，利润降低，导致企业提高能效的积极性降低。

2003 年外部电源能效问题开始得到我国相关机构的关注，并进行了初步的行业调查。2003 年该项目得到了美国能源基金会的资助，被列为能源基金会中国可持续能源项目之一。2003 年 5 月中标认证中心（原中国节能产品认证中心）开始着手制定节能产品认证技术要求，与此同时美国环保局能源之星项目、美国加州最低能效标准项目、澳大利亚温室气体办公室最低能效标准项目也于同期开始研究测试方法和技术要求。美国、中国以及澳大利亚开展了深入的交流与合作，在各自的国家开始了样品测试和试验方法比对工作。在国际相关组织的关注下，2004 年 2 月在美国加州召开了“全球电源高级研讨会”，美国环保局、美国加州能源委员会、中国标准化研究院、中标认证中心、澳大利亚温室气体办公室、国际能源署、欧盟委员会、美国能源基金会、美国劳伦斯伯克利国家实验室、加拿大、新西兰、日本和韩国相关机构的代表都出席了会议，经过研讨，代表们就外部电源作为第一个能效全球一致化项目达成了共识，即建立统一的测试方法，并

在各国全部的测试数据基础上建立一套统一技术指标要求，各个国家可以根据不同的国情选择实施的日期，以便于国际贸易以及认证结果的互认。2004年5月全国能源基础与管理标准化技术委员会开始着手申请国家能效标准立项工作，并得到了国家发改委和国家标准委的大力支持。2005年5月，外部电源国家能效标准被正式列入国家标准制修订计划，计划项目编号：20050974-Q-469。

（二）主要工作过程

标准起草工作共分为四个阶段。第一阶段建立和发布测试方法。2003年中标认证中心、中国标准化研究院和美国环保局共同组织专家和有关机构开始起草测试方法，得到了包括中国赛宝实验室、国家计算机质量监督检验中心、美国加州能源委（CEC）、澳大利亚温室气体办公室、美国伯克利国家实验室，美国UL实验室，欧洲联合研究中心等单位和机构的积极响应和支持，经过多方征求意见以及中国和美国多次比对试验，测试方法于2004年3月完成，并正式开始用于数据的收集和技术指标的建立。

第二阶段收集测试数据。2003年中国赛宝（总部）实验室对中国500个电源产品进行了测试。与此同时，美国和澳大利亚的合作机构也采集300个不同型号的电源产品的进行了测试。共计800个产品的测试数据汇总到美国“能源之星”项目的电源技术要求起草组进行分析。

第三阶段节能产品认证技术要求起草颁布。在对测试数据分析的基础上，2004年3月份，中国、美国、澳大利亚合作机构的起草人员共同协商起草了外部电源产品技术要求的第一个草案，分别在美国和中国召集电源生产企业、用户企业和业内专家讨论修改意见和建

议。起草组对这些意见和建议进行了分析研究，并对技术要求进行了修改，在 2004 年 6 月形成技术要求的第二个草案，随后又分别在美国和中国召集电源生产企业、用户企业和业内专家讨论修改，并在网上征求意见。依据各方对第二个草案的修改意见和建议，在 2004 年 8 月出台技术要求的第三个草案，在美国“能源之星”网站上征求意见。由于美国国家电协会（AHAM）基于自身的利益，提出缩小产品范围，即不包括下列产品所使用的、具备为可充电电池进行充电功能的电源：

- 手电筒；
- 可产生机械运动、空气流动或产生热量的终端产品（例电动工具和可再充真空管）；
- 或上述产品使用的可分离的电池。

美国“能源之星”依据 AHAM 意见进行修改出台技术要求的第四个草案。中标认证中心采用走访和通过电话、电子邮件等方式广泛征求了中国企业和业内专家对于界定技术要求涉及的产品范围的意见，决定不采纳第四个草案，采纳第三个草案。与此同时，美国加州能源委（CEC）、澳大利亚温室气体办公室也不同意 AHAM 的修改意见。2004 年 9 月至 11 月，起草组通过面议、召开电话会议方式与美国“能源之星”、美国加州能源委（CEC）、澳大利亚温室气体办公室几方经过反复协商，除美国“能源之星”采用根据 AHAM 意见进行修改的技术要求第四个草案外，其他几方均表示同意采用技术要求的第三草案。2004 年 12 月中标认证中心经过审定正式颁布了 CSC/T30-2005《单路输出式交流—直流和交流—交流外部电源节能产品认证技术要求》，2005 年 1 月 15 日和美国“能源之星”同步启动了外部电源节能产品认证工作。

第四阶段国家能效标准起草阶段。按照项目的策划，国家能效标准中的节能评价将直接采纳中标认证中心颁布的技术要求。按照项目进度安排，2004年4月由全国能标委组织在广东东莞召开了标准第一次研讨会，参加会议的有中国标准化研究院、中标认证中心、中国电源学会、中国赛宝（总部）试验室、深圳三马电器有限公司、飞宏（东莞）电子有限公司、联德电子(中国)有限公司、珠海三美电机有限公司、光宝电子有限公司等单位的代表，美国 ECOS 公司的专家通过电话进行了项目介绍和研讨。代表们经过对标准草案 1 稿的讨论，达成以下共识：

1. 对单路输出式外部电源的定义须做进一步的界定；
2. 对标准适用的功率范围做进一步界定；
3. 对线性电源是否与开关电源制定统一的最低限定值做进一步的研究。

2004年9月由中标认证中心组织在北京召开了“中美高效电源节能认证项目研讨会”，参加会议的有国家发改委、中标认证中心、中国标准化研究院、中国电源学会、美国环保局、ECOS 公司、中国赛宝（总部）实验室、广州日用电器检测所、中华环境保护基金会、国家计算机质量监督检验中心、爱普生中国有限公司、佳能（中国）有限公司、ICF 咨询公司、苹果电脑公司、奥尔特亚太中心、鸿运电子股份有限公司、飞宏（东莞）电子有限公司、戴尔计算机（中国）有限公司、松下电器（中国）有限公司、惠普计算机公司、横河电机株式会社、华讯电子有限公司、索尼（中国）有限公司、帕沃英蒂格盛有限公司、香港科汇（亚太）有限公司、雅达电子有限公司、惠州侨兴电信/电讯工业有限公司、ON 半导体公司、福建实达电脑设备有限公司、南京通华电信有限公司、PanPower AB 公司、MEA 公司、美

国加州大学劳伦斯伯克利国家实验室等单位共 40 多位代表参加了研讨会，会议对单路输出外部电源的定义、适用范围、节能评价值以及国家能效讨论 2 稿进行了讨论，进一步明确对线性电源须做进一步研究。

2005 年 3 月由全国能标委组织在北京召开了小型研讨会，中国标准化研究院、中标认证中心、信息产业部电子计量中心、台达能源技术（上海）有限公司、天津三美电机有限公司、光宝电子有限公司的代表出席了会议，会议对需要进一步做的行业调查以及节能潜力的研究提出了意见和建议。

2005 年 5 月由全国能标委组织在杭州召开了国家能效标准第二次大型研讨会，中国标准化研究院、中标认证中心、信息产业部电子计量中心、浙江大学、台达能源技术（上海）有限公司、戴尔计算机（中国）有限公司、索尼（中国）有限公司、西门子（中国）、上海横河国际贸易有限公司、ON 半导体公司、嘉兴和泰电子科技有限公司、深圳市航嘉驰源科技有限公司、天成塑胶电子有限公司、凤冠电机有限公司、南京通华电信有限公司等单位近 30 位代表参加了研讨会，会议重点对能效限定值进行了研讨，一致认为应本着尽快与国际接轨的原则修改草案 3 稿。根据会议精神修改完成征求意见稿。

2005 年 7—9 月由全国能标委组织以电子邮件的形式发放征求意见稿 54 份，并将征求意见稿放在能效标识网(www.energylabel.gov.cn)和中国节能节水环保认证网(www.cecp.org.cn)上，广泛征求相关专家、检测机构、生产企业和用户的意见，共收到 4 单位书面意见 22 条。

在开发国际一致的技术要求同时，美国环保局、澳大利亚温室气体办公室为了贸易监管的需要，开发出一套“外部电源国际符合性标

志”，并正式建议作为国际协调一致项目重点参与国家的中国能够采纳该标志，以促进该标志的推广。为了探讨在中国能效标准中引入该标志的可行性，全国能标委于2005年9月26日在北京组织召开了“外部电源国家能效标准与标识国际研讨会”。国家发改委能源局、全国能标委副主任委员白荣春、国家标准委工交部肖寒博士，本项目的资助方美国能源基金会的项目主管张瑞英女士、澳大利亚项目专家Mark Ellism 先生和国际专家 Stuart Jeffcott 先生，中国电源学会李占师副秘书长、中标认证中心、外部电源检测机构的代表、外部电源重点用户的代表，以及外部电源重点生产企业及部件生产企业的代表和标准起草人员共33人应邀出席了会议。

与会代表在听取了项目介绍、以及 Mark Ellism 对外部电源国际行动、各国计划以及外部电源国际符合性标志情况介绍后，围绕外部电源国家能效标准征求意见稿回函意见以及外部电源国际符合性标志在我国实施的可能性两大议题展开了热烈的研讨，并初步达成以下共识：

1. 对外部电源的定义不要限制过死；
2. 对试验方法中测试条件描述应更灵活便于操作和考核，并考虑本国差异；
3. 由于我国已经建立了节能产品认证和能源效率标识制度，考虑到外部电源国际符合性标志与节能产品认证标志以及能源效率标识样式和内容的差异，需要慎重考虑外部电源国际符合性标志与节能认证和能源效率标识的关系以及其实施监督保障体系的建立，因此将外部电源国际符合性标志引入中国尚需要进行深入研究；但是由于中国是外部电源的出口大国，而美国、澳大利亚和欧盟都即将或已经将外部电源国际符合性标志作为贸易必须条件，考虑到作为国际贸易的一

项应对措施，有必要将外部电源国际符合性标志的分级指标及要求提供给中国的生产商，因此拟将外部电源国际符合性标志相关内容作为标准资料性附录。

根据会议精神和《外部电源国际符合性标志协议》修改补充了标准资料性附录 B，完成送审稿。

2005 年 12 月 2 日，全国能标委在北京召开了《单路输出式交流一直流和交流—交流外部电源能效限定值及节能评价值》国家标准审定会。国家发改委和国家标准委的有关领导出席会议。全国能标委、电源学会的有关专家、外部电源重点生产企业有关代表、国家标准技术审查部、中国节能产品认证中心的代表和标准起草人员，以及项目资助方美国能源基金会项目主管共 28 人应邀出席了会议。

审定组由 18 名专家组成。审定组主任委员由全国能标委副主任委员白荣春担任。审定组听取了标准起草组就制定标准背景、标准起草过程、标准主要内容等作的说明，并进行了质询。审定组本着科学求实、积极负责、协调一致的原则对标准送审稿的各项内容，进行了充分、认真、细致的讨论和逐章、逐条的审查，提出以下主要修改意见：

1. 对范围中“低压直流或低压交流输出”中“低压”进行限定；
2. 删除引用文件；
3. 删除定义 3.1 和 3.2 中 7) 条；
4. 调整表 2 技术指标；
5. 删除第 6 章能效标志；
6. 其他文字修改。

按照审定会意见，项目组对标准进行修改并形成报批稿上报国家标准委审批。

一、电源适配器技术概述

（一）电源适配器概述

随着电子信息技术的不断发展，越来越多的可移动式、便携式电子产品进入了人们的工作和生活中，这些设备中的绝大多数都需要通过外部电源适配器进行供电或充电。目前，电源适配器的使用非常广泛，据估计全球在用的电源适配器有 60 亿只。

电源适配器就是将交流电网电压转换为直流低电压或交流低电压的电子装置。基本结构包括外壳、电源变压器、整流电路和稳压电路、滤波电路等。

我国大陆地区是目前世界上最大的电源适配器生产基地，拥有 2800 家电源适配器制造商，04 年产量达到 34 亿只，约占全球总销量的 40%。并且，我国的电源适配器产量以 11% 的年均速度增长，预计 05 年的产量将达到 40 亿只，06 年达到 48 亿只。

（二）电源适配器的分类

电源适配器按不同的性质，有不同的分类方式。常见的有以下几种分类方式：

1. 按工作方式的不同，可分为线性电源（Linear Mode Power Supply, LMPS）和开关电源（Switched Mode Power Supply, SMPS）适配器。这是电源适配器最基本的一种分类方式，目前市场上销售的电源适配器产品主要是开关电源适配器；

2. 按输出电压类型的不同，可分为交流输出型（AC-AC、DC-AC）和直流输出型（AC-DC、DC-DC）；

3. 按与被供电设备相对位置的不同，可分为外部电源和内部电源两种类型。其中，内部电源位于用电设备内部，其作为用电设备的一

部分（如图 1 所示）；外部电源（即电源适配器）位于用电设备以外，与用电设备独立。外部电源适配器按连接方式的不同可分为：插墙式和桌面式（如图 2 所示）。



图 1 内置电源



桌面式电源适配器



墙插式电源适配器

图 2 外置电源适配器

本报告中讨论的电源适配器，在未作特殊说明的情况下均指 AC-AC、AC-DC 外置电源适配器。

（三）电源适配器的结构

从电路的基本结构上讲，电源适配器分为线性电源和开关电源两种。

1. 线性电源

线性电源是一种传统的电源，出现较早。线性电源技术比较成熟，并且已有大量集成化的线性稳压电源模块，具有稳定性好、输出纹波电压小、使用可靠等优点。但通常都需要体积大且笨重的工频变压器与体积和重量都很大的滤波器。由于线性电源的调整管工作在放大区内，所以功耗较大，电源效率很低，一般只有 45%左右。线性电源适配器的内部结构如图 3 所示，线路板后面的部分为工频变压器。



图 3 线性电源内部结构图

线性电源通过改变功率调整管的导通程度，使其工作在线性区域，靠调整管之间的电压降来稳定输出电压。其典型结构如图 4 示。

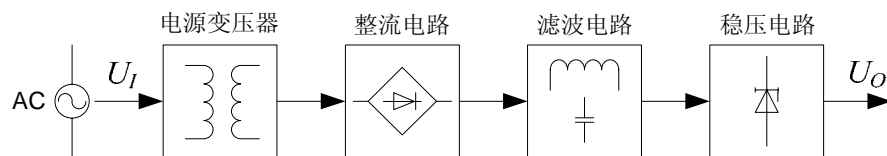


图 4 基本线性直流电源电路

电源变压器：将交流电压变换成所需要的交流低电压，确保稳压电路的调整管工作在放大范围内。同时，电源变压器还起到使交流输入电压和输出电压电气隔离的作用。变压器是线性电源中能量损耗

最大的部分，也是提高能效需要重点关注的部件之一；

整流电路：利用整流元件（如整流二极管、晶闸管、整流桥等）的单向导电性，将大小、方向变化的正弦交流电变换成单向脉动的直流电；

滤波电路：利用储能元件（如电容、电感）及其组合组成的复合电路（如图 5 所示），将整流后的单向脉动直流电压或输出电压中的纹波成分尽可能滤除掉。复合滤波电路分为 LC 滤波（如图 5 a）、 π 形 LC 滤波（如图 5 b）和 π 形 RC（如图 5 c）滤波三种。线性电源的滤波电路包括输入滤波和输出滤波两部分；

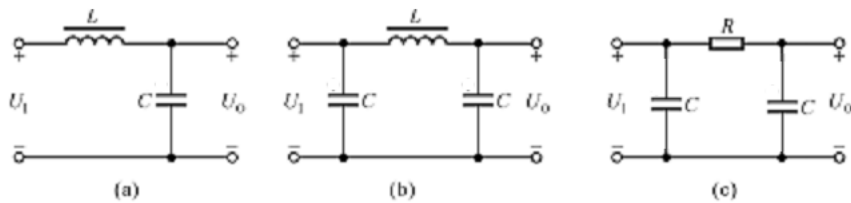


图 5 复合滤波电路

稳压电路：由于负载变化或输入线电压的变化都会引起输出电压的变化，所以需要采用稳压电路对输出的直流电压进行反馈控制，使输出不受负载或输入电压的影响，保持相对稳定。

线性电源按稳压方式的不同，可分为稳压管稳压式、串联稳压式和集成稳压式三种。

(1) 稳压管稳压式

这是一种最简单的线性稳压方式（如图 6 所示），图中的限流电阻 R 和稳压管 DZ 组成稳压电路， R_L 为负载电阻。

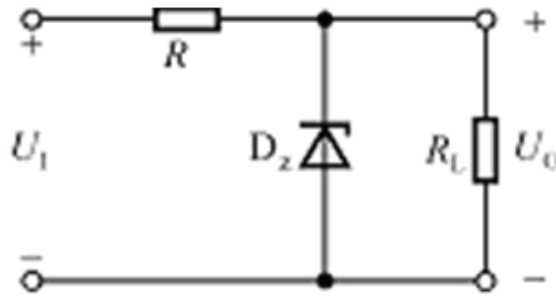


图 6 稳压管稳压电路图

这是一种最简单的稳压方式，但其稳压响应时间较慢、稳压精度不高，且由于串联电阻 R 会消耗大量电能，从而影响到电源的效率。这是早期采用的一种稳压方式，目前很少采用。

(2) 串联型稳压式

图 7 为串联反馈式稳压电路的一般结构图。其中， T 为调整管， A 为比较放大器。电阻器 R_1 、 R_2 、 R_3 组成取样电阻网络用来实现对输出电压的采样。采样得到的输出电压经比较放大器放大后控制调整管 T 的集电极与发射极之间的电压，从而达到稳压的目的。由于起调节作用的调整管 T 与负载电阻 R_L 串联，故称为串联式稳压电源。

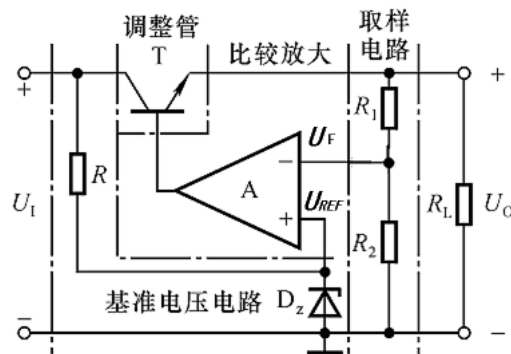


图 7 串联反馈式稳压电路的一般结构图

(3) 集成稳压式

顾名思义，集成稳压式就是通过集成稳压器件实现稳压。集成稳压器包括三端固定式和三端可调输出式，包括输入端、输出端和公共

端（如图 8 示）。

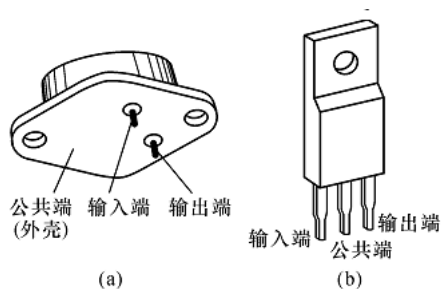


图 8 集成稳压器外形图

集成稳压器内部具有过流、过热及短路保护等电路，具有安全可靠、接线简单、维护方便等特点。三端稳压器由取样、基准、放大和调整等单元组成，其稳压原理同串联反馈式稳压原理基本相同。不同点是集成稳压器将串联反馈式稳压电路集成为一个器件。

2. 开关电源

开关电源相对于线性电源来说，出现较晚。其功能管工作在饱和区和截止区，即开关状态。采用功率半导体器件作为开关，通过控制开关的占空比调整输出电压。在输出功率相同的条件下，开关频率越高，电源的体积就可以越小。



图 9 开关电源内部结构图

开关电源典型的基本结构如图 10 所示。

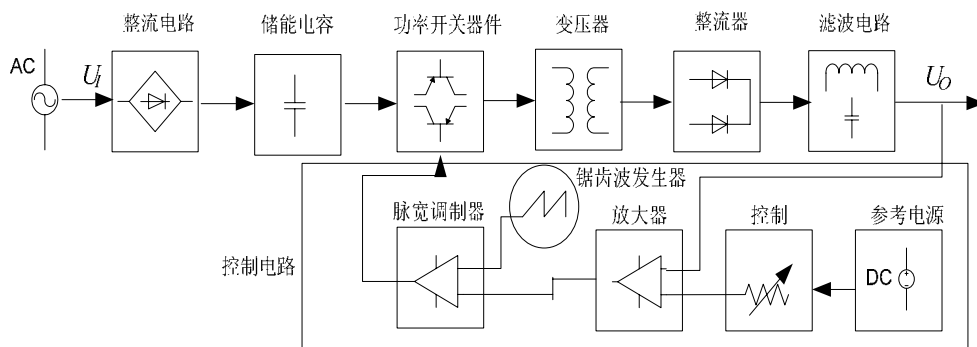


图 10 基本开关直流电源电路

各组成部分作用如下：

整流电路：利用整流元件（如整流二极管、晶闸管、整流桥等）的单向导电性，将交流输入电压变换成单向脉动的直流高电压；

储能电容：储存电能，防止因输入电压降低或负载电流突然变大造成的输出电压降低；

功率开关器件：通过开关器件的高频通断，控制输送给负载的功率，从而实现对电压的控制。开关器件的开关频率越高，体积、重量、与输出功率之比就越小；

滤波电路：利用储能元件（如电容、电感）或其组合电路，将整流后的单向脉动直流电压中的纹波成分尽可能的滤除掉，以保证输出电源的稳定；

变压器：将开关器件产生的高频电压变换成适合的电压。与线性电源中变压器的根本区别是该变压器工作在高频，为高频变压器。

开关电源通常具有体积小、重量轻、稳定可靠、效率高、功率密度大、输入电压范围宽等优点。缺点是纹波较大（相对于线性电源）。

实用化的电源适配器在以上介绍的基本电路基础上，增加了各种保护电路，如极性保护、程序保护、欠压保护、过流保护、过压保护、过热保护、输出短路保护等。在某些适配器中，还会有功率补偿电路、

调压电路、输出电压切换电路等附加功能单元。

(四) 电源适配器的主要技术参数

供电电源的质量直接影响到受电设备性能的发挥和设备自身的安全，故电源适配器的性能指标至关重要。电源适配器的性能指标分为三种：输入特性指标、输出特性指标和附属性能指标等。

1、输入特性指标就是与电源适配器输入有关的性能指标要求，主要包括：输入电压和电压变动范围、输入电压的频率和频率变动范围、输入相数、输入功率因数、输入电流、输入谐波等。

2、输出特性指与电源适配器输出有关的性能指标，主要包括：输出功率、输出电压、纹波、稳压精度、稳流精度效率、输出特性等。其中，稳压、稳流精度参数包括输入电压调整率、负载调整率和时效偏差等。

3、附属性能指标指影响电源适配器性能，但又不能包含在上述两类指标内的性能，如：功率密度、保持时间、瞬变恢复时间、温度系数、绝缘电阻、绝缘电压、热阻系数等。

下面对其中几个比较关键的参数作一介绍：

电源调整率：电源在输入电压变化时提供稳定输出电压的能力。通常是在固定负载条件下，测量电源在低输入电压 V_{\min} 、额定输入电压 V_{nomal} 及高输入电压 V_{\max} 条件下对应的输出电压 $V_{\text{out-min}}$ 、 $V_{\text{out-nomal}}$ 和 $V_{\text{out-max}}$ ，计算公式为 $\max[(V_{\text{out-nomal}} - V_{\text{out-min}})/V_{\text{nomal}}, (V_{\text{out-max}} - V_{\text{out-nomal}})/V_{\text{nomal}}]$ ；

负载调整率：电源在输出负载电流变化时，其提供稳定输出电压的能力。通常是在正常输入电压下，测量电源在大负载 L_{\max} 、正常负载 L_{nomal} 及小负载 L_{\min} 条件下对应的输出电压 $V_{\text{out-min}}$ 、 $V_{\text{out-nomal}}$ 和 $V_{\text{out-max}}$ ，计算公式为 $\max[(V_{\text{out-nomal}} - V_{\text{out-min}})/V_{\text{nomal}}, (V_{\text{out-max}} - V_{\text{out-nomal}})/V_{\text{nomal}}]$ ；

输出纹波：输入电压与输出负载电流均不变的情况下，其平均直

流输出电压上的周期性随机偏差量的电压值；

输入电压范围：电源正常工作时，允许的输入电压最大变化范围；

效率：输出功率与输入功率之比值，即 $\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\%$ 。

功率密度：单位体积的电源适配器所能提供的最大功率；

瞬变恢复时间：电源适配器从输出电压发生阶跃变化起到恢复到稳压值时止所需要的时间；

保持时间：电源从输入切断电源起到电源输出电压下降到稳压范围外为止的时间。

表 1 给出了线性电源与开关电源的主要性能指标：

表格 1 线性电源与开关电源的主要技术指标

特性指标	线性电源	开关电源
电源调整率	0.02~0.05%	0.05~0.1%
负载调整率	0.02~0.1%	0.1~1.0%
输出波纹	0.5~2mV (RMS)	25~100mV (P-P)
输入电压范围	±10%	±50%
效率	40~65%	60~85%
功率密度	0.5W/in ³	2~3W/in ³
瞬变恢复时间	50ms	300ms
保持时间	2ms	32ms

另外，国际和国内还对电源适配器的电气安全性和电磁兼容性等提出了一些要求。

二、电源适配器相关标准介绍

目前，国内、外与电源适配器相关的标准有很多。而且，这些标准主要集中在电气安全、电气性能测试等方面，而对于电源效率方面标准较少。下面分别对国际和国内标准作简单介绍。

（一）国际相关标准

国际上，电源适配器相关的标准有很多，IEC（International Electrotechnical Commission, 国际电工委员会）和 UL（Underwriter Laboratories Inc, 保险商试验所）等均有一系列的标准。下面分别

作简单介绍。

IEC 已经制定了一些有关电源的标准，如直流稳定电源标准：IEC478.1—1974《直流输出稳定电源术语》；IEC478.2—1986《直流输出稳定电源额定值和性能》；IEC478.3—1989《直流输出稳定电源传导电磁干扰的基准电平和测量》；IEC478.4—1976《直流输出稳定电源除射频干扰外的试验方法》；IEC686—80《交流输出稳定电源》；IEC478.5—1993《直流输出稳定电源电抗性近场磁场分量的测量》。

UL 的电源标准更侧重于电气安全方面，如：UL1012 - 第 2 级以外的电源装置标准（1994 年 6 月 28 日颁布）；UL1310 - 第 2 级电源装置标准（1994 年 7 月 28 日颁布等。

关于电源适配器能效方面的标准，欧盟、美国能源之星都已经或正在制定相应的标准规范。

1. 美国能源之星标准

能源之星是美国的一个具有政府背景的能效自愿认证组织，其宗旨是为厂商和用户 提供高效解决方案。能源之星为美国的高效能源利用发挥了重要的作用，其能效标准在世界上也具有很大的影响力。

能源之星的电源适配器节能评价方法分两个阶段实施，2005 年 1 月 1 日开始实施第一阶段技术要求；2006 年 7 月 1 日实施第二阶段技术要求。第一阶段的要求如表 2 和表 3 所示。

表格 2 能源之星平均效率指标

输出功率标称值 W	最小平均效率 (用小数表示)
$0 < P_o < 1$	$0.49 * P_o$
$1 \leq P_o < 49$	$0.09 * \ln(P_o) + 0.49$
$P_o \geq 49$	0.84

表格 3 能源之星待机功耗指标

输出功率标称值 P_o	空载状态下的最大有效功率
---------------	--------------

W	W
$0 < P_o \leq 10$	0.5
$10 < P_o \leq 250$	0.75

目前，能源之星第二阶段的指标正在制定过程中。

2. 加州强制性最低能效标准

美国加州能源委员会负责组织最低能效标准的制定并以法律形式颁布强制实施。由于加州能源紧缺，因此加州的节能标准通常比较严厉，但是很多能效标准在加州实施一定时期后，会被别的州采纳甚至最终被纳入联邦节能法，在全国范围内被强制执行。加州电源项目是与能源之星项目同期进行的，并于2004年2月~2005年3月与美国电源协会（PSMA）合作发起一项国际设计竞赛，以奖励能效最高的电源设计作品。加州强制性最低能效标准的实施框架是：2006年7月1日实施第一阶段技术要求，技术指标与能源之星第一阶段技术指标一致，2008年1月1日实施第二阶段技术要求，技术指标见表4和表5。

表格 4 加州强制性第二阶段电源平均效率

输出功率标称值 W	最小平均效率 (用小数表示)
$0 < P_o < 1$	$0.5 \times P_o$
$1 \leq P_o < 51$	$0.09 \times \ln(P_o) + 0.5$
$P_o \geq 51$	0.85

表格 5 加州强制性第二阶段阶段空载状态功率

输出功率标称值 P_o W	空载状态下的最大有功功率 W
$0 < P_o \leq 10$	0.5
$10 < P_o \leq 250$	0.5

3. 澳大利亚强制性最低能效标准

澳大利亚温室气体办公室负责澳大利亚强制性最低能效标准的

制定工作并由澳大利亚标准局颁布成为澳大利亚和新西兰标准。中国和美国电源项目开始不久，澳大利亚随即加入并提供了近 80 个测试数据，与中国和美国进行了广泛深入的交流与合作。澳大利亚最低能效标准的实施框架是，2006 年实施第一阶段技术要求，技术指标与能源之星第一阶段技术指标一致，2010 年可能强制实施第二阶段技术要求，技术指标与加州第二阶段技术指标一致。标准正在审批之中。

4. 欧盟指令

早在 2003 年欧盟就对电源颁布了能效指令，但是技术指标为空载功率和 100% 负载时的工作效率。欧盟指令修订后的技术指标将包括空载功率和平均功率，具体实施框架见表 5 和表 6。第一阶段实施日期为 2005 年 1 月 1 日~2006 年 12 月 31 日，效率指标要求见表 6，或者是能源之星第一阶段效率指标，即表 1 要求。第二阶段实施日期为 2007 年 1 月 1 日开始，效率指标为能源之星第一阶段效率指标，即表 1 要求。空载功率指标见表 7。

表格 6 欧盟指令电源效率

额定输出功率 W	表 1 最低平均效率或者 100% 负荷时效率 %
$0 < P_o < 1.5$	30
$1.5 < P_o < 2.5$	40
$2.5 < P_o < 4.5$	50
$4.5 < P_o < 6.0$	60
$6.0 < P_o < 10.0$	70
$10.0 < P_o < 25.0$	75
$25.0 < P_o < 150.0$	80

表格 7 欧盟指令空载功率

额定输出功率 W	空载功率 W	
	2005.1.1	2007.1.1
$0.3 < P_o < 15$	0.30	0.30
$15 < P_o < 50$	0.50	0.30
$50 < P_o < 60$	0.75	0.30
$69 < P_o < 150$	1.00	0.50

(二) 国内相关标准

国内也有许多电源适配器相关的标准, 这些标准主要集中在电气安全、电磁兼容等方面, 基本上都是以国际标准为基础制定的。故其体系结构基本上与国际保持一致。

这些国家标准包括:

GB4943-2001: 信息技术设备的安全

GB8898-2001: 音频、视频及类似电子设备安全要求

GB9254-1998: 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法

GB17625.1-2003: 电磁兼容限值谐波电流发射限值(设备每相输入电流 $\leq 16A$)

GB17618-1998: 信息技术设备的抗扰度限值及测量方法

GB13028-1991: 隔离变压器和安全隔离变压器技术条件

GB/T14714-93: 微小型计算机系统设备用开关电源通用技术条件

GB/T14715-93: 信息技术设备用不间断电源通用技术条件

此外, 国内还有许多电子行业标准(原电子工业部), 如 SJ/T10541

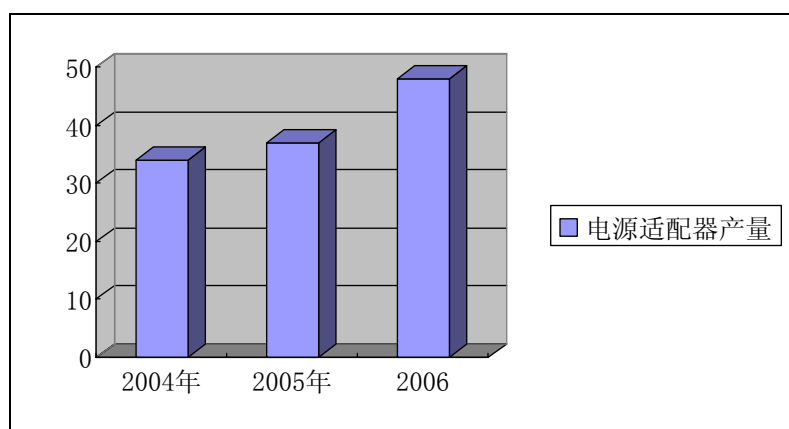
—94《抗干扰型交流稳压电源通用技术条件》、SJ/T10542—94《抗干扰型交流稳压电源测试方法》、SJ/Z9035—87《测量用稳定电源装置》、SJ1670—80《电子设备电源名词术语》、SJ2811.1—87《通用直流稳定电源术语及定义、性能与额定值》、SJ2811.2—87《通用直流稳定电源测试方法》等。这些行业标准对我国直流稳定电源的科研、生产起到了很大的作用，推动了我国电源产业的发展。

三、电源适配器市场状况

(一) 电源适配器市场概述

我国是世界上最大的电源适配器生产基地，目前拥有 2800 多家电源适配器制造商，2004 年国内电源适配器产量已达 34 亿只，占全球销量的 40%。并且，我国的电源适配器产量正在以每年 10%左右的速度增长，预计 2005 年产量将接近 37 亿只，2006 年产量将超过 48 亿只（源自环球资源报告），如图 11 所示。

图 11 我国电源适配器产量趋势



据不完全统计，国内市场上开关电源占 75%，线性电源 25%。大型企业以生产开关电源为主，中小型企业一般开关、线性电源均生产。目前，有些厂家正在开发开关、线性混合电源适配器。

1 线性电源适配器市场

目前，线性电源在市场中所占的比例不大，大约在 25%左右，国外线性电源的比例更少。这主要是由于开关电源技术的迅速发展，导致线性电源在性能和价格上处于劣势。线性电源由于其存在的固有弊端（如笨重、效率低等），导致发展远远落后于开关电源的发展。市场上的线性电源输出功率基本上都在 12 瓦以下，因为在 12 瓦以上相对于开关电源，线性电源在价格上不存在任何优势。

线性电源适配器主要面向的用电设备包括无绳电话、电子琴、某些医疗设备等，还有一些就是已经停产但是仍有使用的用电产品，其用量一般不大。生产线性电源适配器的厂商主要是一些中小型电源适配器厂。

2 开关电源适配器市场

开关型稳压电源采用功率半导体作为开关，通过控制开关的占空比调整输出电压。开关型稳压电源直接对电网电压进行整流、滤波、调整，然后由开关调整管进行稳压，不需要笨重的工频变压器。开关电源的内部结构如图 15 所示。由于开关管功率损耗小，所以开关电源功耗小，效率可高达 70%~95%。

（二）国内主要电源相关企业简介

国内目前拥有电源适配器厂商约 2800 家，国内主要的电源适配器包括主要有：台达、光宝、飞煌亚士、雅达电子、飞宏电子等。这些厂家中的大部分都是台湾商在大陆地区设立的生产基地，设计由台湾提供，产品也绝大部分用于出口。大陆本土的电源适配器企业一般规模不大，较大型的厂家有：深圳航嘉驰源科技有限公司、浙江奉化天成塑胶电子有限公司等。

电源适配器所用的控制芯片大部分来自 PI、ST 等国外大公司。国内也有比较成熟的电源管理产品制造商，如南京通华芯微电子有限公司等，其产品主要集中在低功率电源 IC 的研发上。

大型厂家的产品主要用于量大面广的笔记本电脑、手机等产品配套电源。电源产品价格非常敏感，一般均为客户定制型产品。

（三）推动我国电源适配器发展的重要因素

手机、笔记本电脑、移动媒体播放器以及其他便携式电子设备等市场占有率的急剧增加，是推动这个市场发展的最重要的动力。

以手机为例，1998 年，我国手机产量为 800 万部，占全球产量的 4.6%；到 2004 年，我国产量达到 23300 万部，占全球的 35.2%。图 12 给出了 1998 年至 2004 年期间，我国手机年产量与世界总产量的对比情况。

图 13 显示的是 1998 年到 2004 年期间，我国手机产量在世界总产量所占比重的情况。

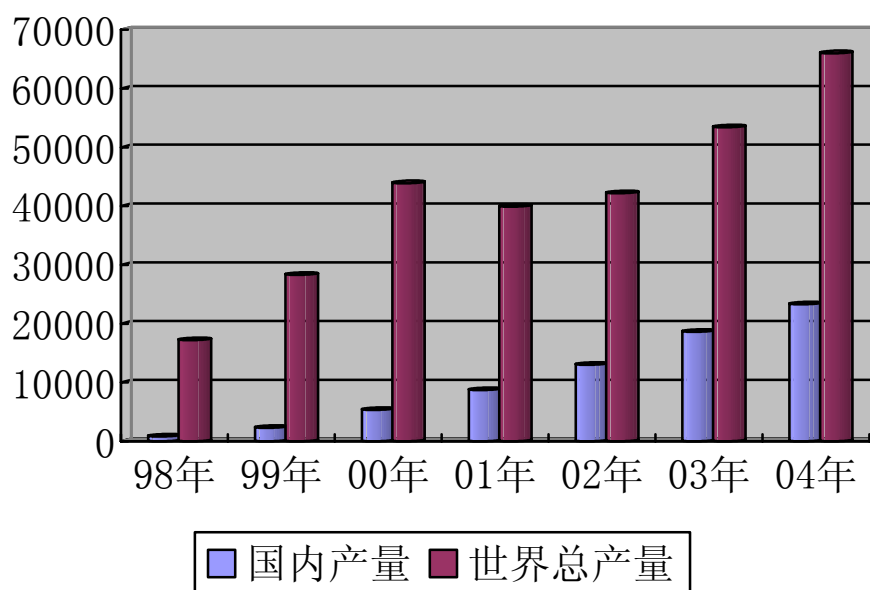


图 12 1998 年~2004 年手机产量

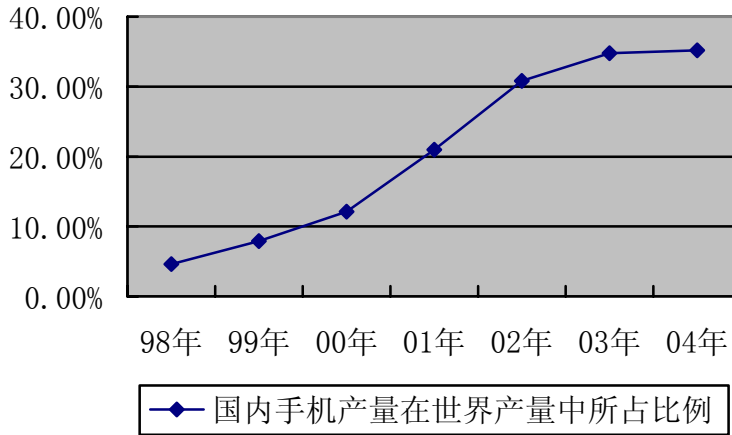


图 13 我国手机产量在全球所占比重

(2) 由于中国的劳动力成本低及国内的优惠政策等，世界上许多大型电源适配器生产厂商纷纷将生产基地转向中国大陆地区。

开关电源适配器是目前应用最广泛的一种电源，约占电源总量的75%左右，其应用比例有进一步扩大的趋势。

(四) 电源适配器的成本

由于生产规模和生产工艺等的不同，各电源适配器厂家生产的电源适配器的成本价格会有所不同。

线性电源与开关电源的价格也有一定的差异。一般来说，在10~12瓦左右以下，线性电源的价格有一定的优势（如图14）；而在大功率段，线性电源的成本要高于开关电源，所以线性电源主要集中在12瓦以下。

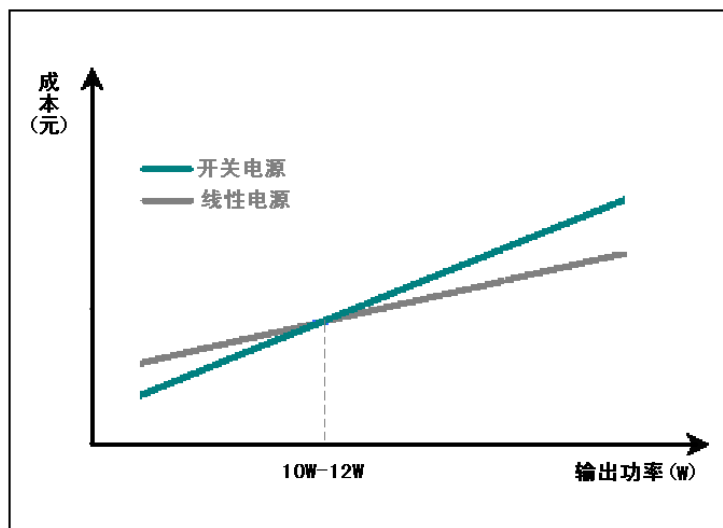


图 14 电源成本比较图

根据我们的调查：开关电源的成本大体在 1 元/W，线性电源成本为 8 元（12 瓦以下）。

四、影响电源能效的因素及提高能效的方法

评价电源适配器能效水平的标准有两个，从而提高电源适配器能效水平也相应的包括两方面内容：降低待机功耗和提高平均效率。要提高电源的能效水平，就需要首先分析影响电源适配器能效的因素。

（一）影响电源能效的因素

由于电源适配器具有两种不同的基本结构，影响开关电源和线性电源能效的因素也不完全相同，所以对影响电源适配器能效的因素也分别介绍。对于开关电源或者线性电源，不同的电路形式其功率损耗方式也不完全相同，这里仅给出电路常见的几种功率损耗方式。

1、线性电源

影响线性电源效率的主要因素是线性变压器的磁芯损耗（铁损）和绕组损耗（铜损）、调整管损耗、线路损耗等。其中，最主要的是变压器损耗。

1) 变压器损耗

变压器损耗分为铁损和铜损，铁损又包括磁滞损耗和涡流损耗。其中，磁滞损耗就是因磁滞现象导致铁磁体发热引起的一种损耗；涡流损耗就是当变压器的初级绕组通电后，线圈所产生的磁通在铁心流动，从而在垂直于磁力线的平面上就会感应电势，这个电势在铁心的断面上形成闭合回路并产生电流，导致能量损耗；变压器铜损是由于变压器的线圈导线存在着电阻，电流流过时电阻会消耗一定的功率，变成热量而消耗掉。

铜损随着工作频率升高而下降，铁损随着工作频率的升高而增大。线性电源的变压器工作在工频 50Hz 下，所以线性电源的变压器损耗主要是铜损，即由线圈导线电阻引起的损耗。

2) 调整管损耗

由于线性电源的调整管是工作在线性放大区，故在负载电流较大时调整管的集电极损耗 ($P = U_{ce}I_o$) 很大，需要消耗大量的能量。

3) 线路及外围控制电路损耗

线路损耗是由电源线路印制板上线路电阻及电源引线等引起的损耗。外部控制电路如参考电压源、电压比较电路、各种保护电路等，这些附加电路也会消耗一定的电能。

2、开关电源

开关电源的功率损耗主要包括开关损耗、变压器损耗、导通损耗、以及外围控制电路损耗等，其中最主要的是开关损耗。

1) 开关损耗

开关器件是在大电压或大电流的条件下，由栅极或基极控制开关的通断。由于开关过程中电压、电流不同时为零，从而出现了电压和电流的重叠区（如图 15）。这样在开关器件中既有电流由存在电压差，从而会有功率消耗，由于这种由开关过程引起的损耗称为开关损耗。

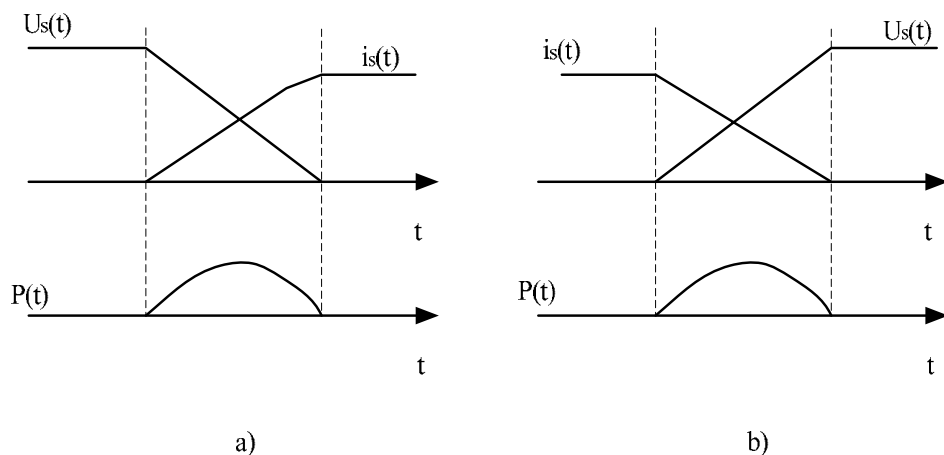


图 15 硬开关电路的开关过程

a) 硬开关开通过程

b) 硬开关关断过程

开关器件消耗的瞬时功率为：

$$p(t) = u_s(t)i_s(t)$$

开关电源的开关损耗大致会占总输入功率的 5%~10%，所以开关损耗是影响开关电源效率的主要因素。

2) 导通损耗

导通损耗是由于电流流过阻抗元件引起的损耗，由于开关电源的效率较高，所以在开关电源中该损耗也占有相当的比例。导通损耗与漏电流的平方成正比。但在电源处于待机状态过程中，该项损耗可以忽略不计。

3) 变压器损耗

与线性电源中变压器的损耗方式相同，开关电源的变压器损耗也包括铁损和铜损。由于开关电源的变压器是工作在高频下的，所以其损耗主要是铁损。开关电源变压器的铁损与线性电源变压器有所不同，即除了线圈电阻外还存在集肤效应造成的铁损。

4) 外围控制电路损耗

外围控制电路，如参考电压源、锯齿波发生电路、比较电路等会

消耗一定的功率。此外，各种保护电路等也会消耗一定的功率。这些都会造成开关电源效率的降低。

（二）提高电源适配器能效的方法

分析电源损耗的各种因素，就可以从各个方面采取相应的措施，来提高其能效水平。下面针对以上的功率损耗方式，给出相应的解决方法。

1 线性电源

1) 改善变压器性能

线性电源的变压器损耗主要是铜损，即由变压器线圈电阻引起的。铜损可以通过提高线圈绕线的导电性、改善绕制方法等减小；铁损主要是磁滞损耗，可以选用软磁体材料作为变压器的铁心。

2) 减少调整管的耗散功率

调整管损耗也是影响线性电源效率的一个重要因素，可以通过选用低导通电阻的调整管以及降低调整管两端的电压差等方式改善。

3) 降低线路及外围控制电路损耗

通过改善电源的拓扑结构和布线方式，降低线路损耗；对于外围控制电路，可以采用无损吸收技术等予以改善。

2 开关电源

1) 降低开关损耗

在正常工作状态，开关电源的功率损耗主要来源于开关损耗。对于开关损耗的降低，目前主要是采用软开关技术来实现。

软开关技术就是利用电容与电感谐振，使开关器件中电流（或电压）按正弦规律变化。当电流过零时，使器件关闭；当电压过零时，使器件导通，实现开关损耗为零（如图 16 所示）。按控制方式，软开关技术包括：脉冲调频调制（Pulse Frequency Modulation, PFM）、

脉冲宽度调制 (Pulse Width Modulation, PWM) 和脉冲移相控制 (Pulse Shifted, PS) 三种方式。

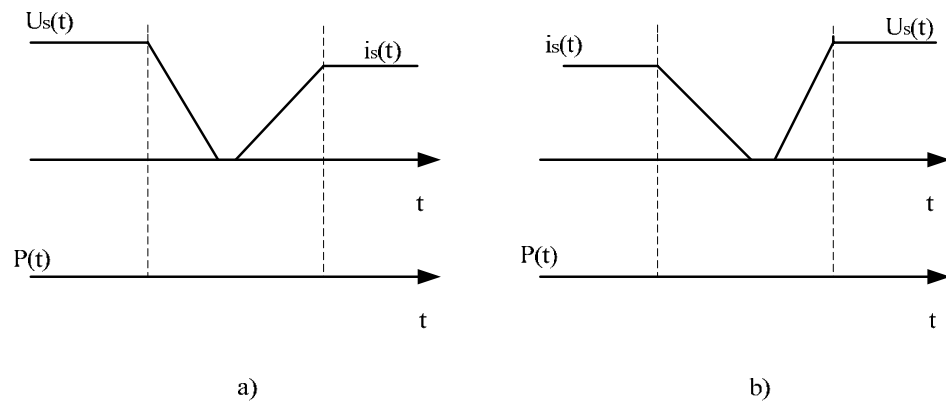


图 16 软开关电路的开关过程

a) 软开关开通过程

b) 软开关关断过程

2) 降低导通损耗

降低导通损耗的方面，与上面提到的降低线性调整管方法相同。

3) 降低变压器损耗的方法

开关电源的变压器损耗主要是铁损，即由磁滞和涡流引起的损耗。可以通过改善变压器的尺寸、结构（如平板变压器、薄膜变压器、片式变压器等）和绕制方法、选用优良的磁芯材料等来降低其损耗。除了以上介绍的方法，还可以通过功率因数校正 (PFC)、采用无损吸收网络、改进电源适配器的拓扑结构等方式来改善总体电源效率，但是额外的电路会增加设备在轻负载或无负载状态下的功耗。

待机功耗的降低和平均工作效率提高在某种程度上存在着矛盾。因为要提高平均效率有时需要增加一些附加电路，而这些附件电路会消耗掉一定的电能，所以导致待机功耗的增大。这样，就必须在两者之间找一个平衡点，使电源的节能效果达到最佳。

(三) 电源适配器能效水平的提升空间及可行性

1 电源适配器能效提升空间

目前，国内电源适配器的能效水平还有一定的提升空间，尤其是低端产品。所以必须出台相关的标准法规，来规范电源适配器市场。使得在用的电源适配器水平提升 10~15%，从而为我国节省大量的能源。

但是，国内大、中功率电源适配器（50~220W）的市场基本在几个大公司手中，由于技术先进，产品能效水平较高，提升空间不是特别大。

所以，电源适配器能效提升主要集中在 50w 以下。尤其是 10~50w 电源适配器的待机功耗（平均为 1.2W），其待机功耗比 50W 以上的产品（平均为 0.7W）都大。

2 提升电源适配器能效的技术路线

1) 变压器优化：从磁芯（材料、结构及参数）、线圈（结构、绕线方式）、变压器整体结构（如新型的压电式、平面式等）等方面对变压器进行改进；

2) 选用高性能半导体器件：如整流器件、滤波器件、开关器件等，并合理优化器件的匹配参数；

3) 选用新型电源管理、控制芯片，改进电源控制方法等；

4) 增加附加的节电电路，如功率因子校正（PFC）电路、无损吸收网络、并联均流电路等。

5) 优化电源的拓扑结构，拓扑结构就是用于转换、控制和调节输入电压的功率开关元件和储能元件的不同配置。

3 能效提高水平和成本增加的关系

要提高电源适配器的能效水平，不可避免的会带来其成本的增加。如新产品的开发成本以及采用新器件、新工艺等增加的成本等。

在提高能效水平的同时，要对其经济性能进行评估。我们同一些

生产厂商进行了部分能效提高试验的验证，对其效果及其成本的增加进行了评估。表 8 是我们得到的相关结论数据。

表格 8 电源适配器改进效果和成本增加对比

输出规格	平均效率提高	待机功耗降低 (W)	成本提高 (元)
5V × 0.45A	14.1%	0.045	2
5V × 2A	13.2%	0.204	2
12V × 2A	10.5%	0.115	3
19.5V × 5A	6.1%	0.127	8
24V × 5A	5.2%	0.213	7

五 能效标准的技术内容

(一) 标准制定的依据与指导思想

在标准的制定过程中，主要遵循了下列原则作为整个标准编制的指导思想：

- 1 按照 GB/T1.1-2000 的要求和规定编写本标准内容；
- 2 本标准应尽量与国际上的相关标准、法规接轨，但也要充分考虑我国外部电源产品的实际情况和发展水平，使标准具有很高的科学性、先进性和可操作性，促进我国外部电源的发展，增强我国外部电源在国内、国际市场上的竞争力。
- 3 本标准的主要内容是我国能源政策实施的技术依据，所以标准中的技术要求应反映出我国能源政策的导向。

(二) 标准主要技术内容介绍

本标准主要有三个方面的内容。

第一个内容是对外部电源的能效限定要求，它在标准实施时将作为强制性指标。能效限定值是国家允许产品的最低能效值，低于该值

的产品则是属于国家明令淘汰的产品，不能进入市场。能效低的产品不但额外消耗了大量能源，同时也相对加大了用户在用能方面的支出，根据《中华人民共和国节约能源法》的有关条款的规定，本标准中的能效限定值是对外部电源行业的监督管理，防止能效低的产品进入市场，是国家淘汰高耗能产品的依据。

第二个内容是对外部电源的节能评价要求，属于推荐性指标，是开展节能产品认证的技术依据。节能产品认证是我国《节能法》规定的一个重要的节能管理制度，以引导和激励企业提高产品的能源利用率。当产品达到节能评价要求时，就可向国家节能产品认证机构申请节能产品认证并获得其颁发的节能标志和证书。

第三个内容是目标限定值，提供了一个将在2年后开始生效的能效限定值指标，该指标为生产企业提供一个国家能源政策信息，使企业有一定的时间去提高用能产品的节能技术，改进产品结构或生产工艺，从而变堵为疏，使产品的能效能够在良性环境中稳步提高，并进一步促进产品的更新换代，增强产品的竞争力。

1. 范围

外部电源主要分四大类，交直流两用单路输出、交直流两用多路输出、直流一直流单路输出以及直流一直流多路输出。由于这四类产品测试方法有差异，因此本标准只适用第一大类产品，即单路输出交流一直流和交流一交流外部电源（以下简称为电源）。具体定义为：

- 1) 将交流电网电压转换成直流和交流低电压；
- 2) 每次使用时只提供一个固定的直流电压输出；
- 3) 与用电负载配套销售、使用；
- 4) 可与用电负载分离；
- 5) 通过电线、电缆或其他永久性连线与终端产品相连接；

- 6) 不配备任何电池；
- 7) 额定输出功率不大于 250W。

其他三类产品的能效标准将会陆续制定。为了扩大应用范围，审定会上将定义中“不带有化学电池，不带选择开关和指示灯，不带有充电状态指示器”删除。

2. 规范性引用文件

送审稿中规范性引用文件有一个即 GB/T 17478《低压直流电源设备的特性和安全要求》。由于有些单位提出出厂检验抽样方案应由企业根据自己的质量控制水平自行决定，因此将征求意见稿中的 GB/T2828《逐批检查计数抽样程序及抽样表(适用于连续批的检查)》、GB/T2829《周期检查计数抽样程序及抽样表(适用于生产过程稳定性的检查)》删除。由于 GB/T17478 仅针对低压直流电源，而本标准适用范围包括低压交流电源，仅引用 GB/T17478 不全面，而且安全要求是强制性要求，是必须执行的要求，因此根据审定会意见，报批稿中将引用文件一章删除。

3. 定义

为了更好地理解标准内容，本标准对单路输出交流一直流外部电源、单路输出交流一交流外部电源、工作状态、空载状态、工作效率、平均效率以及能效限定值和节能评价价值分别给出了定义。两个电源的定义分别给出了 6 个限制条件，严谨地说明了本标准的适用范围。工作状态和空载状态是电源连接负载和没有连接负载时的两种状态，虽然工作状态的能耗占整个能耗的 70%，但是对于有些产品，空载状态的时间会很长，而且空载功耗是无用功耗，降低空载能耗是非常有意义的。因为平均功率是本标准考核电源能效的一个指标，因此给出了工作效率和平均效率的定义。能效限定值和节能评价价值是能效标准

中的两个固定术语，所以也在标准中给出了定义。

4. 能效参数的确定

在本标准中评价电源能效的参数有两个：

1) 工作状态下的平均效率：在工作状态下，被测试样品在其额定输出电流的 100%、75%、50%和 25%时的效率的平均值。

2) 空载状态下的有功功率：电源输入端连接到了电网上，而输出端不连接负载或负载不消耗功率时的有功功率。

为了有效地评价产品在待机和工作状态下的能效，产品须同时满足两项要求。

1) 能效限定值和目标能效限定值

标准中的能效限定值和目标能效限定值是强制性指标，也是在中国、美国和澳大利亚 800 多个测试数据的基础上经过统计分析确定的，确定原则是同时考虑中国的市场状况和国际相关标准的进展，尽量与国际接轨。

由于我国市场还存在一定的线性电源，能效限定值制定的一个难题就是是否给线性电源和开关电源分别制定技术要求？从测试数据可以看到样品的平均效率和空载功率的离散度都很大，其差别并不显著。线性电源平均效率为 15%~76%，平均值为 49%，空载功率为 0.35~3.8W，平均值为 1.02W；开关电源平均效率为 17%~88%，平均值为 64%，空载功率为 0.1~3.8W，平均值为 0.92W。典型的线性电源和开关电源输入—输出曲线见图 17。

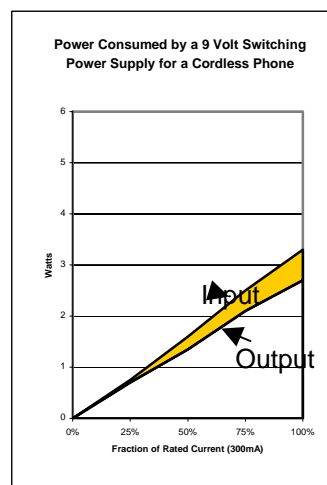
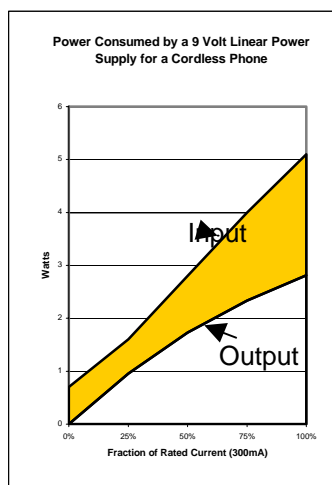


图 17 输出功率同为 9W 的线性电源（左）和开关电源（右）
输入—输出曲线

从图 17 可以看出由于自身功耗较大的原因，无论是空载功率还是工作效率，开关电源都要优于线性电源，因此提高能效一个最有效的途径就是提高开关电源的市场占有率，逐步淘汰线性电源。市场调查表明，由于价格优势，线性电源主要集中于 12W 以下的小功率产品，大于 12W 的产品由于没有价格优势，线性电源已经逐渐被开关电源所替代。由于只有价格因素，因此本标准对线性电源不作特殊考虑，即只制定一套技术指标，适用于线性电源和开关电源。

能效限定值见表 9、表 10 和图 18 和图 19。

表格 9 平均效率能效限定值

输出功率标称值 W	最小平均效率 (用小数表示)
$0 < P_o < 1$	$0.39 \times P_o$
$1 \leq P_o < 49$	$0.107 \times \ln(P_o) + 0.39$
$P_o \geq 49$	0.82

表格 10 空载状态能效限定值

输出功率标称值 P_o W	空载状态下的最大有功功率 W
$0 < P_o \leq 10$	0.75
$10 < P_o \leq 250$	1.0

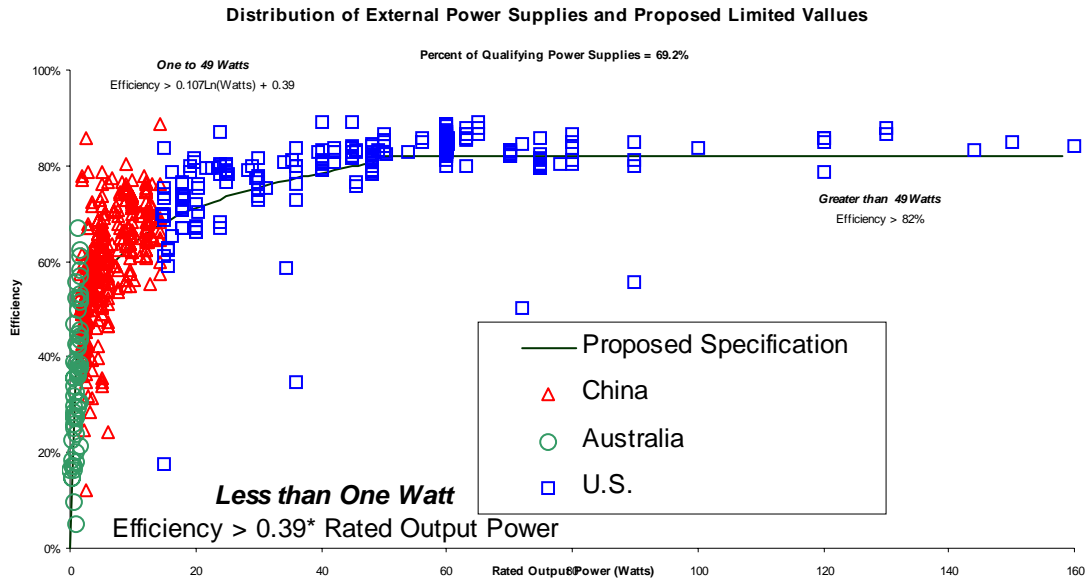


图 18 样品平均效率测试数据和符合能效限定值情况

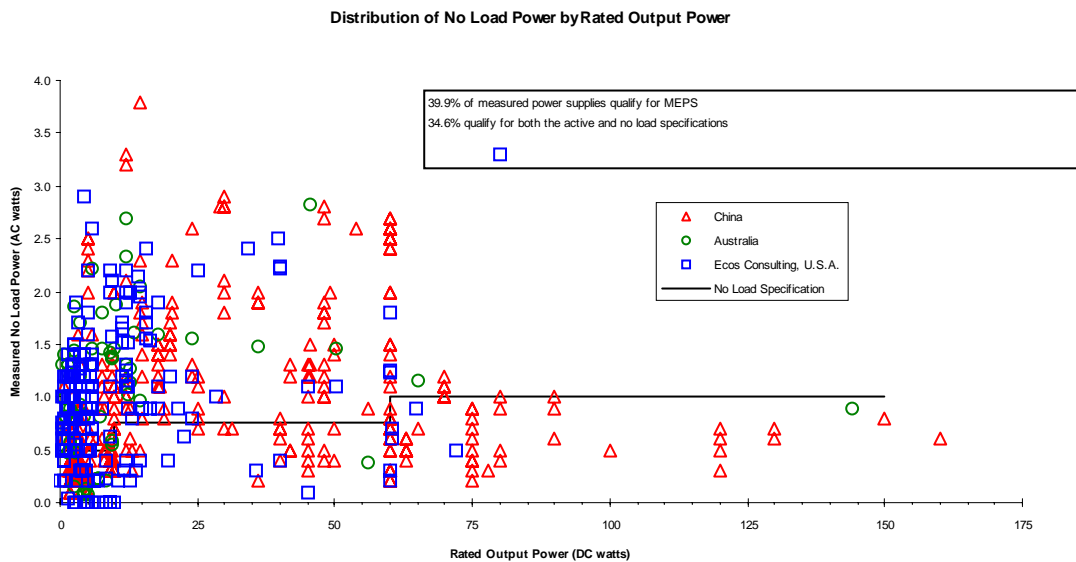


图 19 样品空载功率测试数据和符合能效限定值情况

现有样品测试结果能够满足能效限定值指标要求的情况见表 11。

表格 11 现有样品测试结果能够满足能效限定值情况

额定功率 W	平均效率符合率 %	额定功率 W	空载功率符合率 %
$0 < P_o < 1$	59.38	$0 < P_o \leq 10$	42.65
$1 \leq P_o \leq 10$	67.35		
$10 < P_o < 49$	71.27	$10 < P_o \leq 60$	25.12

$49 \leq P_o \leq 250$	61.86	$60 < P_o \leq 250$	85.71
平均	69.21	平均	39.90
两项均符合	34.60		

为了明确传达国家的节能政策信息，给企业更多的整改时间，使企业有步骤有计划地进行节能技术提高，标准中除了能效限定值外，同时给出了2年后实施的目标能效限定值。根据杭州会议精神，原标准讨论3稿中提出的3年后（即2009年）达到能源之星第一阶段要求，根据代表意见，认为尽快与国际接轨有利于企业安排生产，有利于产品出口，提高竞争力，故本征求意见稿将目标能效限定值调整为2年（即2008年）达到能源之星第一阶段要求。

2. 节能评价值

标准中的节能评价值是在中国、美国和澳大利亚800多个测试数据的基础上经过统计分析确定的，原则是市场产品能效前20%左右产品符合要求。由于全部平均效率的数据均值拟合为一指数曲线，因此经过分析，依据不同的标称输出功率分为三个指标：输出功率为0~1W时，平均效率受输出功率影响较大，平均效率与输出功率成直线关系；输出功率为1~49W时，平均效率与输出功率成指数关系；输出功率为49~250W时，由于平均效率受输出功率影响不大，因此为一固定值。测试数据表明，目前市场上空载功率的分布较大，节能潜力很大。

标准中空载功率的确定主要是根据国际上家用电器降低待机能耗的步伐和趋势，经过中国、美国、澳大利亚、欧盟等国家多次讨论和征求意见后确定的。为了达到认证结果的互认，节能评价值与美国能源之星保持了完全的同步和一致，节能评价值见表12、表13和图20和图21。

表格 12 平均效率节能评价

输出功率标称值 (Po) W	最小平均效率 (用小数表示)
$0 < P_o < 1$	$0.49 \times P_o$
$1 \leq P_o < 49$	$0.09 \times \ln P_o + 0.49$
$49 \leq P_o \leq 250$	0.84

表格 13 空载状态节能评价

输出功率标称值 (Po) W	空载状态下的最大有功功率 W
$0 < P_o \leq 10$	0.5
$10 < P_o \leq 250$	0.75

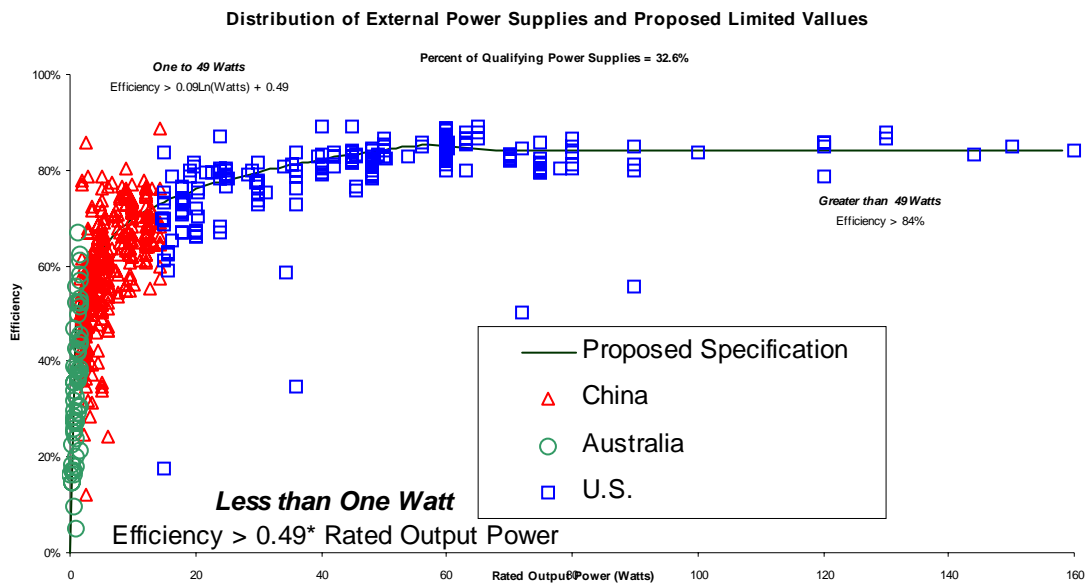


图 20 样品平均效率测试数据和符合节能评价情况

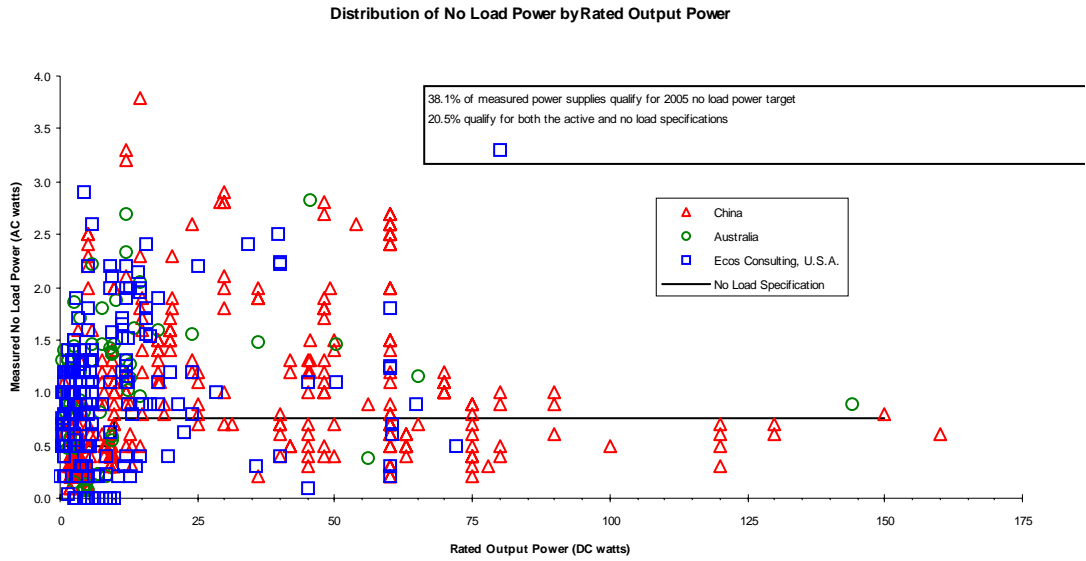


图 21 样品空载功率测试数据和符合节能评价价值情况

现有样品测试结果能够满足节能评价价值指标要求的情况见表 14。

表格 14 现有样品测试结果能够满足节能评价价值情况

额定功率 W	平均效率符合率 %	额定功率 W	空载功率符合率 %
0 < P _o < 1	31.25	0 < P _o ≤ 10	42.65
1 ≤ P _o ≤ 10	28.23		
10 < P _o < 49	33.70	10 < P _o ≤ 250	31.44
49 ≤ P _o ≤ 250	44.33		
平均	32.6	平均	38.1
两项均符合	20.5		

5 试验方法

本标准以规范性附录的形式给出了电源平均效率和空载功率的测试方法。该测试方法是由中国和美国、澳大利亚共同开发的。测试方法分为三部分，测试基本要求、测试方法和测试结果判定。

1) 测试环境

- ✓ 环境温度：23 ± 5℃

- ✓ 靠近样品处的空气流动速度应不大于 0.5m/s
- ✓ 不应采用外部的风扇、空调或散热器来降低待测样品的温度
- ✓ 样品应置于隔热材料上

2) 测试电压和频率

为了适应不同国家的电压和频率：

- ✓ 根据审定会意见，对宽幅电压产品，为了国际贸易一致的需要，测试所用电压和频率为 115V，60Hz 和 230V，50Hz 两种模式；对只在国内销售的单一电压产品，用 220V，50Hz 测试点以适应本国情况。
- ✓ 测试时采用稳压电源，波动不大于 $\pm 1\%$
- ✓ 电源能够提供的最大功率不低于 10 倍的测试功率
- ✓ 稳压电源的 13 次谐波的总谐波失真不得大于 2%
- ✓ 测试电压的峰值应当介于其真有用值的 1.34 和 1.49 倍之间

3) 测试设备

- ✓ 0.5W 或以上的有功功率测量的不确定度不超过 2%
- ✓ 0.5W 以下的有功功率测量的不确定度不得大于 0.01W
- ✓ 功率表有功功率测试的精度应该达到或高于 0.01W
- ✓ 测试中电压和电流的不确定度不得大于 2%
- ✓ 测试回路应该尽可能的短。

4) 测试方法

- ✓ 待测样品进行 30 分钟预热
- ✓ 输出电流按照其额定输出电流的 100%，75%，50%，25%的顺序变化
- ✓ 是输出电流的变化而非输出功率的变化。

六、典型产品使用高效电源的经济技术分析

为了对典型产品使用高效电源的情况进行分析研究，以确定产品的节能潜力并据此提出政策措施建议，中国标准化研究院、中标认证中心和美国劳伦斯伯克利国家实验室在能源基金会的资助下，对终端产品的节能潜力进行了技术分析。

（一）分析模型

在分析的过程中，项目组采用了与美国 LBNL 实验室相同的分析模型，即通过用高效电源对现有的电源产品进行替代来确定节能量和环境效益。这一分析模型是建立在对现有使用外部电源的产品的市场结构、保有量、能源消耗情况、典型产品的能源效率水平和使用习惯的基础上。模型通过用高效产品替代现有产品从而对未来的节能量进行了预测。

为了确定分析产品，项目组对产品可能的节能潜力，市场竞争情况以及产品的分销渠道等多种因素进行了综合考虑。在分析过程中，为了使分析模型得到进一步简化，分析仅仅对产品替代进行了预测，如果考虑到市场结构的调整和技术进步的影响，预期的节能潜力将会更大。本分析中所使用的数据，也将为进一步对具体产品的整体节能潜力的分析提供参考和借鉴。

(二) 产品的选择

由于外部电源的使用场合非常广泛，在分析的过程中，项目组参考和借鉴了美国在进行类似分析中的经验和部分分析结果，并充分考虑中国的国情和数据收集的渠道和准确性，项目组确定了典型使用外部电源的产品清单并展开分析：

表格 15 典型的使用外部电源适配器的终端产品

序号	产品领域	产品/设备名称
1	通讯	无绳电话
2	视听	MP3
3	通讯	手机
4	计算机和办公设备	计算机音响
5	计算机和办公设备	使用外置电源的喷墨打印机
6	计算机和办公设备	笔记本电脑
7	综合应用	信用卡读卡器(POS 机)
8	计算机和办公设备	PDA
9	计算机和办公设备	使用外置电源的冶金显示器
10	家用电器及充电器	独立式充电器

11	计算机和办公设备	使用外部电源的热转印打印机
12	家用电器及充电器	数码照相机

(三) 数据来源及预测

1 通用要求

为了进行分析工作，项目组对每一种选定产品的下列数据进行了收集：

1) 产品数据：

- 产品总使用量(保有量)
- 使用外部电源的比率
- 使用外部电源的总量
- 产品 2002 年销售量
- 产品 2003 年销售量

2) 能耗数据

- 单一产品工作状态能耗
- 单一产品睡眠状态能耗
- 单一产品关机或待机状态能耗

3) 使用数据)

- 每天工作时间
- 每天睡眠时间
- 每天待机或关机状态时间
- 每天与电网断开连接时间

4) 电源属性

- 典型电源产品

- 现有产品能效
- 拟替代产品能耗

2 典型产品的数据来源

为了保证分析结果的可靠性，项目组对分析中使用的数据来源进行了严格的规定。鉴于电源产品使用的广泛性，项目组也依据国际相关分析和国内的研究结果，对部分数据进行了合理的假设。具体的数据情况为：

1) 无绳电话

信息产业部的有关报告指出，到 2000 年，我国无绳电话的保有量约为 50 万台，来自赛迪顾问的调查结果显示 2001 年我国无绳电话的销售量为 410 万台，并将以每年大约 12% 的数量增长。依据这些数据我们预测我国无绳电话的社会保有量约为 1433.5 万台。同时在分析中我们假设所有的无绳电话都使用外部电源适配器。

国家计算机质量监督检验中心的测试表明，我国典型无绳电话产品的能耗为：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
1.73 瓦	1.61 瓦	1.29 瓦

在分析中，我们使用了中标认证中心在 2001 年对使用习惯的调查数据，对我国消费者使用电话的典型情况进行了假设：

工作状态时间	睡眠状态时间	关机或待机状态时间
2.0	20	2.0

2) MP3

MP3 作为一种新兴的个人电子娱乐设备在最近的 3-4 年间得到了普及，依据 It 界非常有名的摩尔定律，随着技术水平的不断提高，这类产品的使用寿命一般不会超过 3 年。所以在分析过程中，我们假设 MP3 产品的市场保有量为最近三年销售产品数量的总和。CCID 的研究表明，2001 年我国 MP3 产品的市场销量为 22 万 4 千台，2002 年为 52.8 万台，2003 年为 177.3 万台，因此我们假设 MP3 产品的市场保有量为 252.5 万台。由于大多数的 MP3 产品使用电池供电，因此我们假设大约有 10% 的 MP3 产品使用外置电源充电。

中国赛宝实验室的研究测试表明，MP3 产品使用的电源在工作状态的能耗大约为 4.1 瓦，在睡眠和关机状态下的能耗为 0.4 瓦。

由于 MP3 产品是一个新兴的时尚产品而且大多为年轻人使用，而这且年轻人在产品使用习惯上大都是全球趋同的，因此在分析中我们使用了美国 LBNL 实验室在他们的分析中所使用的数据。

3) 手机

随着 It 和通讯技术的发展，收集在中国得到了迅速的应用和普及，信息产业部的体积数据表明，到 2003 年，我国手机的保有量达到了 3.2 亿，而这些手机至少需要一只外置式电源充电。

国家计算机质量监督检验中心的测试表明，一个典型的手机充电器的能耗为：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
3.29 瓦	1.92 瓦	0.94 瓦

对于使用习惯我们假设手机需要每四天充电一次，充电一次一般需要 12 小时。在这 12 小时中，有 8 小时电源处于工作状态为电池充

电，其余的 4 小时则处于待机状态（即电池处于饱和状态）。我们同时假设，以我国消费者的使用习惯，在每次手机充电完成后都会拔掉电源。因此，我们在分析中的使用习惯假设为：

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间
2.0 小时	1 小时	21.0 小时

4) 计算机扬声器

商务部的研究表明，目前我国大约有 8000 万台计算机在用，我们假设在这些计算机中大约有 60%配备了扬声器，而这些扬声器大约有 50%使用了外置电源供电。基于这些假设我们预计大约有 2400 万台计算机扬声器使用了外置电源。

由于全世界的计算机产品及其附属配件都没有较大差别，因此在分析过程中我们的能耗和使用习惯使用了和美国 LBNL 实验室在研究中所使用的数据：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
20 瓦	-----	4 瓦

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间
3.0	---	21.0

5) 使用外置电源的喷墨打印机

信息产业部经济改革和运行司的研究报告表明，我国在 2003 年喷墨打印机的市场保有量为 892 万台。

中国赛宝实验室所作的测试表明，一个典型的喷墨打印机用外置电源的能耗为：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
13 瓦	7.8 瓦	0.3 瓦

中标认证中心在 2003 年对政府机构能耗情况调查中发现，打印机的使用习惯为：

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间
2.0	7.5	14.5

6) 笔记本电脑

赛迪顾问公司的数据表明到 2002 年，我国笔记本电脑的市场保有量为 1260 万台。来自 sohu 网的报道指出我国在 2003 年销售的笔记本电脑大约为 141.1 万台。因此，我们在分析中假设目前我国笔记本电脑的市场保有量为 1494.2 万台。同时在分析中我们还假设所有的笔记本电脑都使用了外部电源。

国家计算机质量监督检验中心的测试表明，一个典型的笔记本电脑电源的能耗为：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
34.88 瓦	1.39 瓦	1.47 瓦

同时在分析中，我们也假定我国笔记本电脑的使用习惯与美国 LBNL 在作相关分析研究中所使用的数据相同。

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间	平均每天切断电源的时间
2.8	8.3	8.3	4.6

7) 信用卡读卡器 (POS 机)

依照中国人民银行的报告，目前我国大约有 35 万台信用卡读卡器，在分析中我们假设这些产品全部使用外置电源。

对信用卡读卡器的有关能效数据是按照美国 LBNL 实验室的结果，与工作状态能耗相比，这些产品在待机和关机状态下的能耗可以忽略，典型产品的能耗数据为：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
8 瓦	0	0

在分析中，我们同时认为我国的信用卡读卡器长时间处于工作状态，因此对各种状态的使用时间进行了如下假设：

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间
24 小时	0	0

8) 掌上电脑 (PDA)

慧聪研究的结果表明,掌上型电脑 2001 年在我国的销售量为 259 万 4 千台, 2002 年为 270 万台, 2003 年为 290 万台, 依据上述数据, 我们预计我国掌上型电脑的市场保有量为 819.4 万台。我们同时假设这些产品都使用外置式电源。

国家计算机质量监督检验中心的测试表明, 一个典型的掌上型电脑电源的能耗为: :

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
1.77 瓦	0	0.96 瓦

在分析中, 我们对我国消费者的使用习惯进行了如下假设:

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间
12	0	12

9) 使用外置电源的液晶显示器

赛迪顾问公司的研究数据表明, 目前我国液晶电脑显示器的保有量为 416 万台, 在分析中, 我们同时假设在这些显示其中大约有 70%

使用外置电源。

中国赛宝实验室的测试数据表明，一个典型液晶显示器用外置电源的能耗为：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
31.5 瓦	3.5 瓦	2.95 瓦

中标认证中心在 2002 年对政府机构能耗情况调查中发现，电脑显示器的使用习惯为：

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间
7.5	6	10.5

10) 独立式充电器

依据中国电源行业报告，目前我国电池产量大约为 190 亿只，大约有 100 亿只在国内销售和使用，我们假设在这些电池中，有 1% 的产品是可充电的。由此我们推测大约每 10 只可充电电池使用一个充电器。因此我们在分析中假设我国目前电池充电器的市场保有量为 1000 万个。

国家计算机质量监督检验中心的测试表明，一个典型的电源充电器的能耗为：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
4.16 瓦 t	3.9 瓦	1.21 瓦

在分析中，我们对电池充电器的使用习惯进行了如下预测：

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间
2	16	2

11) 使用外置电源的热转印打印机

中国计算机用户协会的数据表明，目前我国热转印打印机的市场保有量大约为 55 万台，在分析中我们假设所有这些打印机都使用外置电源。

对热转印打印机的有关能效数据是按照美国 LBNL 实验室的结果，典型产品的能耗数据为：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
60 瓦	--	0

在分析中，我们同样假设我国的热转印打印机式中连接到电网电源上，典型的产品使用习惯为：

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间
1.2	0	22.8

12) 数码相机充电器

中国赛诺市场研究公司的数据表明，目前我国数码相机的保有量为 380 万台。最近中国市场转换网的研究表明 2001 年我国数码相机的销售量为 18.5 万台，同时该机构还表明，2002 年我国数码相机的

销售量为 61.8 万台。依照中国计算机世界的调查，2003 年我国数码相机销售量为 89.2 万台。依据上述数据我们最终确定了数码相机的市场数据并假设在这些相机中，大约有 10% 的产品使用外置电源。

测试数据使用了 LBNL 实验室的数据。由于这些充电器大多长期工作，我们可以忽略产品的待机和关机状态能耗。典型产品的能耗数据为：

工作状态	睡眠状态	关机或待机状态
5 瓦	--	--

产品的使用习惯相应为；

平均每天工作状态时间	平均每天睡眠状态时间	平均每天关机或待机状态时间
24	0	0

(四) 分析结果

通过模型的分析计算，仅仅通过对分析产品所使用电源的简单替换，就可以有巨大的节能潜力。所分析的 12 种产品就具有约每年 12.324 度电的节能潜力，下表列出了每一种产品的潜在节能能力和节能率：

表格 16 潜在的节能量和节能率

设备/产品名称	替代后节能量 (Billion kWh/year)	潜在的节能率
计算机扬声器	0.4208	33.33%

手机	0.3083	31.25%
笔记本电脑	0.1472	22.22%
使用外置电源的喷墨打印机	0.1073	16.67%
独立式电池充电器	0.0835	31.25%
使用外置电源的液晶电脑显示器	0.0681	22.22%
无绳电话	0.0626	31.25%
掌上型电脑	0.0218	22.22%
信用卡读卡机(POS)	0.0072	29.41%
数码照相机	0.0028	16.67%
使用外置电源的热转印打印机	0.0024	16.67%
MP3	0.0004	22.22%
总计	1.2324	27.58%

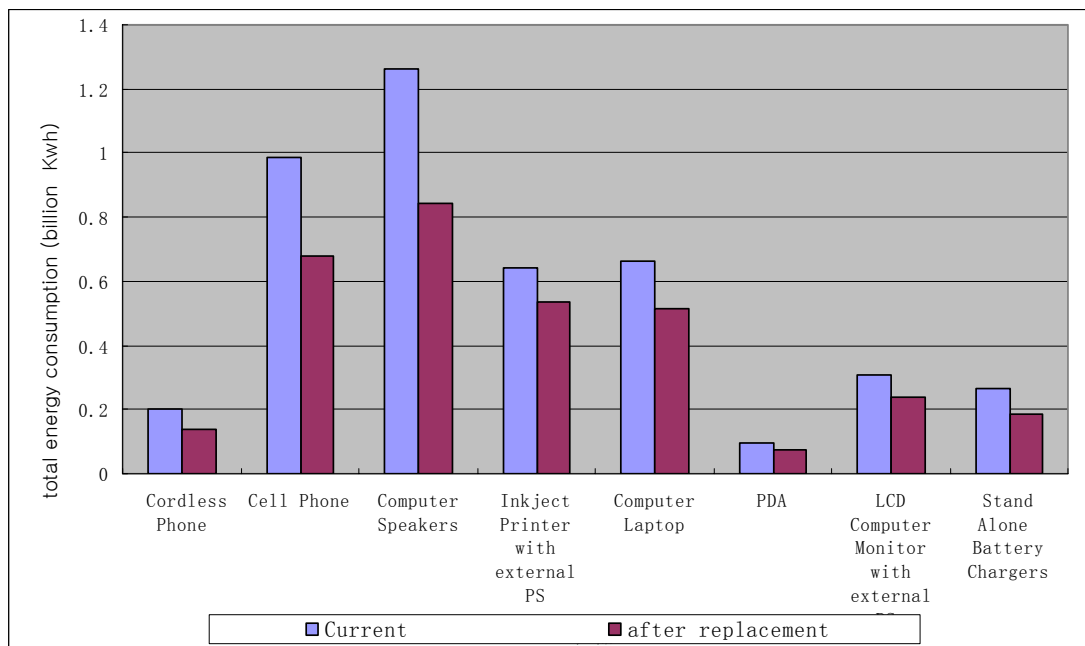


图 22 替代前后能耗的对比