

《电焊机能效限定值及能效等级》修订（报批稿）

编制说明

一、标准工作简况

1、背景

电焊机在航空航天、造船、汽车、压力容器、石油化工、工程机械、矿山及机械制造业有广泛的应用。中国的电焊机行业的焊接设备制造企业数量有 600 家以上，最多的时候达到 800 家以上。根据不同年份公布的数据看，用于焊接的电焊机的用电量处于工业产品用电量的第 5~8 位。电焊机的平均使用寿命超过 8 年，每台电焊机在其生命周期内会消耗大量的能源，有必要研究电焊机的能效指标及其检测方法，为国家标准 GB 28736 的修订提供支撑，为节能型电焊机的设计和生产提供指引和帮助。为提高我国的能源利用率、减少环境污染、保护环境做贡献。

2008 年 9 月获得原国家质量监督检验检疫总局批准立项—质检公益性行业科研专项项目《电弧焊机能效的研究》（项目编号 200810729），2008 年~2009 年，由全国电焊机标准化技术委员会牵头组织，国家电焊机质量监督检验中心执行该项目，对 400 多台各类电弧焊机的能效指标进行测试和统计分析。本项目的研究成果对首次起草《电弧焊机能效限定值及节能评价值》标准（计划编号：20081230-Q-469）标准的制订起到技术支撑作用。

2、任务来源

由于电焊机制造技术和新产品发展较快、电力电子器件性能的提升、产品标准要求的变化等因素，除交流手工焊条电弧焊机以外的其他电弧焊机的变化很大，有必要对电弧焊机的能效进行差异性研究和技术补充。

因电阻焊的焊接机理完全不同于电弧焊，电阻焊的工作环境相对干净、卫生，一般不需要焊接材料。近几年，电阻焊机的应用得到大力发展。所以，这次对电阻焊机的能效进行了深入地研究，也向修订 GB 28736 的标准起草组提供研究成果，希望为 GB 28736 的修订起到技术支撑作用。

二、工作简况

2017 年 5 月专门在成都开会，启动和布置电焊机的能效研究，中国标准研

究院还专门派赵跃进研究员和刘韧博士后到会作技术指导。

2017年11月底在无锡召开专题会议，并邀请中国标准研究院赵跃进研究员和刘韧博士后到会指导。经过与会专家的讨论、辩论，发现一些理论上的难题。项目组根据无锡会议中专家提出的问题，有针对性的进行能效指标定义方法的符合性验证，找到了解决办法。

2018年5月在成都三方电气有限公司召开GB 27836修订的专题会议，并邀请中国标准研究院赵跃进研究员和刘韧博士后到会作主题发言。大家对验证测试的结果和测试方法进行详细的讨论，对验证测试的数据和测试方法是认可的，同时提出了很多建议。

三、标准修订的依据与指导思想

1、GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》是编写国家标准的指导性文件，所以在本标准修订时仍按GB/1.1的2009版要求格式编写的。

2、本标准要与已颁布实施的相关标准要求很好的衔接，并在它们的基础之上实施；

3、本标准应尽量与国际上的相关标准接轨，但也要充分考虑我国电焊机产品的实际情况和发展水平，使本标准具有很高的科学性、先进性和可操作性，促进我国高效电焊机的发展，增强我国电焊机在国内、国际市场上的竞争力；

4、修订本标准的目的是为适应我国节能政策的变化和国际上能效标准的发展方向。标准内容和能效指标的高低应根据我国节能政策的变化而变化，并使我国电焊机能效水平能够跟上国际发展潮流。

四、主要技术内容介绍及分析

1、项目内容

本次主要研究了以下几个方面：

- a、导致电弧焊机能效指标中的效率和功率因数发生变化的因素；
- b、GB 28736-2012的电弧焊机能效指标的适宜性及调整方案；
- c、电弧焊机的能效测试方法的适宜性及改进建议；
- d、提高电弧焊机能效的几点措施建议；
- e、电阻焊机的能效定义及指标研究；

f、电阻焊机的能效测试装置和测试方法研究；

g、电焊机能效标识的可行性研究；

h、电焊机使用现场的能效监测方法初步研究；

2、电弧焊机的能效研究

2008年《电弧焊机能效的研究》(项目编号 200810729)质检公益项目和《电弧焊机能效限定值及节能评价值》(计划编号: 20081230-Q-469)标准计划项目需要的研究和标准验证基本上是在 2009 年~2011 年的产品进行的。特别明显的是: 当时大于 250 安培电流 TIG 焊机是以晶闸管焊机为主, 小电流 TIG 焊机是以逆变焊机为主, 但现在都是以逆变焊机为主。经过 6 年多的发展, 电弧焊机的产业结构、产品技术、产品标准都很大的变化, 其效率 (η) 和功率因数 (pf) 等能效指标也随之变化。主要变化情况见表 1。

表 1 主要电弧焊机的产业结构和产品结构的变化及其对 η 和 pf 的影响

序号	产品类型	产业结构的变化	2010 年与 2017 年的产品结构差异	对 η 和 pf 的影响
1	交流手工电弧焊机	由于成本高, 产值和产量双下降	铜和铁是主要成本, 技术含量低, 没有技术突破, 产品结构没有变化。	产品没变化, 对 η 和 pf 无影响。
2	直流手工电弧焊机	由于电力半导体器件、微晶和非晶导磁材料的性能提高、价格下降等成本原因, 逆变式电焊机具	1、由于成本压力和 ISO/IEC60974-6 的变化, 小型交流弧焊机基本被 200 安培左右的单相逆变焊机代替了, 这种焊机都是采用电解电容滤波;	第 1 种变化使 η 和 pf 双下降; 第 2 种变化使 pf 略为升高; 第 3 种变化使 η 略为下降。
3	MIG/MAG 弧焊机		2、焊接电流较大的三相输入电源的电弧焊机除对电弧稳定要很高要求	
4	直流 TIG 焊机		的产品, 大部分产品的大容量电解电容滤波改为小容量 CBB 电容滤波, 电容的容量减小近 100 倍; 3、	
5	直流埋弧焊机	有成本优势, 其产值和产量双上升; 非逆变式电焊机没有成本优势, 其产值和产量双下降。	由于对 EMC、电网冲击等逐步要求, 逐渐会出现在输入回路加入电感、EMC 部件、pfc 部件的趋势。	1、这两种产品的单相焊机很少; 2、第 2 种变化使 pf 略为升高; 3、第 3 种变化使 η 略为下降。
6	等离子弧切割机			

2.1、导致电弧焊机能效指标中的效率和功率因数发生变化的因素

由于铜材和钢材构成了交流手工电弧焊机和非逆变式电弧焊机的主要成本,

固化成本较高。铜材和钢材不是逆变电弧焊机的主要成本，电力半导体器件、微晶和非晶导磁材料才是逆变式电弧焊机的主要器件，由于这些器件的性能提高、价格下探等原因，逆变式电焊机具有很大的成本优势，其产值和产量逐年上升，非逆变式电弧焊机没有成本优势，其产值和产量逐年下降。非逆变式电弧焊机与逆变式电弧焊机的能效参数，尤其是 η 和 pf 必然不同。

目前的 160 安培~220 安培的小型单相逆变式电弧焊机（俗称的民用机）的产量特别大，这种机器的负载持续率低，效率 η 必然偏低，而且都是采用大容量的电解电容滤波，绝大部分产品没有采用电感矫正功率因数，更没有 pf c 电路，所以，功率因数 pf 很低。

由于电弧焊机的 EMC 标准 GB 15579.10 的逐步应用，个别企业的招标文件中也明确提出要求。生产高品质电弧焊机的企业已逐步重视，在电流较大的电弧焊机的输入端采取一定的功率因数矫正措施或增加抗电网冲击的电感。因功率因数矫正电路或抗电网冲击的电感的加入，必然会降低效率 η ，提升功率因数 pf 。

经过逆变式电弧焊机技术的发展，除特别追求焊接电弧稳定性的小部分产品以外，大部分电流较大的产品的滤波回路的电容已由现在的小容量无极性电容替代原来的电容量电解电容。因滤波回路的电容容量变小，功率因数 pf 必然上升。

3、GB 28736-2012 的电弧焊机能效指标的适宜性及调整方案

通过大数据分析可以看出，国内电弧焊机能效能达到 2 级的比例很少，达到 1 级的更是微乎其微。2015 年和 2016 年的数据显示全国几百家企业只有 10 几家的产品能达到 2 及以上能效，只有不到 10 家的产品能达到 1 级，而且，进行能效检测的电弧焊机的送检企业和产品数量越来越少，这说明现行的 GB 28736-2012 标准中的部分能效指标已不适宜，应做相应的微调，见表 1。

表 1 建议 GB 28736 修订时调整电弧焊机效率和功率因数的方案

序号	产品类型	3 级	2 级		1 级		
			η	pf	η	pf	I_{10}/I_{IN}
1	交流手工电弧焊机	不调整	不调整	不调整	不调整	不调整	不调整
2	直流手工电弧焊机	3 级属于最低要求，市场上还有一部分非逆变	除个别电流规格的产品外，指	除埋弧焊机和个别电流规格	除极个别电流规格的产品外，	除埋弧焊机和等离子弧切割	比较适宜，建议不调整。
3	MIG/MAG 弧焊机						
4	直流 TIG 焊机						

5	直流埋弧焊机	式电弧焊机，建议不调整。	标略为下调。	产品外，指标略为上调。	指标略为下调。	机外，指标略为上调。	
6	等离子弧切割机						

4、电弧焊机的能效测试方法的适宜性及改进建议

现行的 GB 28736-2012 没有专门规定试验方法，而是直接引用 GB 8118 的试验方法，GB 8118 没有对测试用电源做规定。但是，GB/T 15579.1 的附录 G 对测试用电源（指被测试的样品的电源接入口，而不是指测试单位的电源系统）的内阻给出了说明。为了验证测试的样品的电源接入口的供电电源对能效测试的影响，成都三方电气有限公司专门进行验证。验证结果见表 2、表 3 和表 4。

表 2 验证用样品：逆变式 MIG/MAG 焊机 验证时间：2013 年 02 月

接电源的地点	测试装置	I_{a0} (A)	I_{b0} (A)	I_{c0} (A)	I_a (A)	I_b (A)	I_c (A)	Pf	η (%)
地点 A	TDC-750	1.10	0.97	1.03	31.5	31.2	31.4	0.85	87.6
地点 B	TDC-2000	0.78	0.84	0.94	32.0	32.6	32.5	0.86	83.7
地点 C	PTE-2000	0.95	0.92	1.07	31.1	30.8	30.8	0.86	87.2
进口纯净电源	自带分析仪	0.65	0.73	0.84	25.1	25.2	25.4	0.96	85.4
	TDC-750	0.65	0.73	0.84	25.1	25.2	25.4	0.96	85.3
1250kVA 输出口	TDC-750	0.88	0.82	0.96	25.1	25.0	25.2	0.96	85.6

表 3 验证用样品：晶闸管手工焊机 验证时间：2013 年 02 月

接电源的地点	测试装置	I_{a0} (A)	I_{b0} (A)	I_{c0} (A)	I_a (A)	I_b (A)	I_c (A)	Pf	η (%)
地点 A	TDC-750	2.0	1.9	1.2	32.2	31.9	31.4	0.64	69.4
地点 B	TDC-2000	2.0	1.9	1.2	32.0	31.5	32.0	0.62	69.6
地点 C	PTE-2000	1.9	1.1	1.9	32.1	31.5	32.4	0.66	69.3
进口纯净电源	自带分析仪	1.2	2.2	2.0	31.6	32.3	32.5	0.61	69.6
	TDC-750	1.2	2.2	2.0	31.9	32.6	32.8	0.64	69.5
1250kVA 输出口	TDC-750	2.0	1.9	1.2	32.2	31.9	31.4	0.66	69.5

表 4 验证用样品：220V 单相逆变式手工焊机（输入接法：L-N）
验证时间：2013 年 02 月

接电源的地点	测试装置	I_{10} (A)	I_1 (A)	Pf	η (%)
地点 A	TDC-750	0.70	19.1	0.67	84.8
地点 B	TDC-2000	0.98	19.6	0.66	86.0
地点 C	PTE-2000	0.87	18.3	0.70	85.7
进口纯净电源	自带分析仪	0.95	23.5	0.59	82.5
	LST-250	0.95	23.4	0.59	82.8
1250kVA 输出口	LST-250	0.78	21.4	0.63	82.8

注 1：1250kVA 变压器直馈时的电压可能不是刚好等于 380V 或 220V；

注 2：为了使电弧焊机的输出电流恒定，并可连续工作，没有采用额定输出电流，是在连续电流下进行的验证试验；

注 3：地点 A、地点 B、地点 C 属于不同的馈电地点（不同的地点的配电柜）；

注 4：TDC 和 LST 是数字表式的数字化测试台，PTE 是基于计算机采样和数据处理的测试系统，进口纯净电源和自带分析仪是用于 EMC 谐波测试的一套系统，但电源和分析仪可以单独使用。

从表 2、表 3 和表 4 的验证结果可以看出：①. 样品在不同的配电柜（不同的电源接入地点）测试表 2 和表 4 的逆变式电弧焊机的输入电流（ I_{10} 或 I_1 或 I_a 、 I_b 、 I_c ）、输入有功功率（ P_1 ）和功率因数（pf）有明显差异，由于 P_1 的差异，导致效率 η 出现差异，最终导致能效指标都出现差异。但分别采用纯净电源与 1250kVA 变压器的输出端口馈电时，则差异很小；②. 样品在不同的配电柜（不同的电源接入地点）测试表 3 的非逆变式电弧焊机的输入电流（ I_{10} 或 I_a 、 I_b 、 I_c ）、输入有功功率（ P_1 ）和功率因数（pf）没有有明显差异，与采用纯净电源和 1250kVA 变压器的输出端口馈电的差异也很小，能效指标也没有差异。

出现上述情况的原因：①. 逆变式电弧焊机的谐波比非逆变式电弧焊机大很多；②. 不同的配电柜（不同的电源接入地点）的供电回路阻抗（也不就是供电回路的内阻）有差异；③. 纯净电源和 1250kVA 变压器的输出端口的供电回路阻抗很小。

建议：修订 GB 28736 是必须对被测电弧焊机的供电电源及供电回路的内阻提出要求，同时，对供电电源的品质提出要求。这与电弧焊机的 EMC 标准中对不

同 R_{sce} 情况下使用的电弧焊机的谐波大小要求不一样，其基本原理是相通的。

5、提高电弧焊机能效的几点措施建议

上世纪 90 年代前后，电焊机行业对某些电弧焊机的效率和空载电流占负载时输入电流的比例有要求。自 90 年代中后期，除部分电弧焊机产品标准对空载电流有要求，安全标准都未涉及电弧焊机的这些指标，大部分企业没有对产品做能效方面的设计，在设计时一般只考虑产品的安全指标和可焊性。

能效设计包括很多方面，如安装结构、电路结构、功率元器件选择、制造工艺等等。对已有产品进行部分设计更改或制造工艺改进，会提高一部分能效指标，而且不一定会增大成本，有时可能还会降低成本。几点措施建议如下：

①. 安装结构：整流桥或电抗器的位置直接与连接到输出端的电缆或导电排的长度有关，电缆或导电排的长度越长，其消耗在内部的功率越大。

②. 电路结构：逆变器开关模式的选择、PFC 电路、滤波电路的选择、冷却风机是热启动还是常转等。

③. 功率元器件的选择：应考虑 IGBT、VMOS、晶闸管和整流管的管压降；电抗器的内阻；电流取样传感器的功率损耗等。

④. 制造工艺：变压器、电抗器线头的长短；内部主回路（特别是次级）螺栓连接头的数量和损耗；非逆变焊机主变的铁芯装配（特别是铁芯焊接）带来的涡流损耗等。

⑤. 能效指标与谐波指标关联性：逆变焊机（特别是单相逆变焊机）呈现出很大的谐波，能效指标中的功率因数低，负载下的输入电流增大，这一点可以从输入功率和功率因数的定义得出结论。

6、电阻焊机的能效定义及指标研究

2017 年 5 月专门在成都开会，启动和布置电阻焊机的能效研究，中国标准化研究院还专门派赵跃进研究员和刘韧博士后到会作技术指导。项目的初期阶段，项目组未考虑到因电弧焊机与电阻焊机的原理差别，使项目的研究走了很多弯路，也浪费了一定的试验器材，耽误了时间。

项目初期，项目组按电弧焊机的模式，以效率、功率因数、空载电流占负载下的电流的百分比等来定义电阻焊机的能效指标。专门定制了 20000 安培 0.5 级的电流互感器、20000 安培/1 伏特和 20000 安培/2 伏特的专用负载，特别开发了测试逆变式电阻焊机输入电流、功率和输出功率的测试系统。通过对各种电

阻焊机的测试验证，总会随机出现不规律或有矛盾的情况。2017年11月底在无锡召开专题会议，并邀请中国标准化研究院赵跃进研究员和刘韧博士后到会指导。经过与会专家的讨论、辩论，发现一些理论上的难题。项目组根据无锡会议中专家提出的问题，有针对性的进行能效指标定义方法的符合性验证，找到了解决办法。

1)、电弧焊机和电阻焊机应采用不同的能效指标定义

①. 电弧焊机与电阻焊机的规格定义不同：电弧焊机的规格是以对应负载持续率下的输出电流值进行定义，电阻焊机的规格是以50%负载持续率对应的输入容量值进行定义。

②. 电弧焊机与电阻焊机的测试方法完全不同：电弧焊机是用功率因数不小于0.99阻值可调节的稳定电阻替代电弧作为模拟负载，保证输入电压为铭牌值，调节模拟负载电阻的大小，使输出电流和电压满足规定的关系式时进行测试，输出电压的取样点为电弧焊机的输出端口，这样就完全排除了不同的二次回路连接带来的影响。电阻焊机是将输出加载或短路，以50%负载持续率对应的输入容量换算其输入电流或以名牌标称的输出电流，调节输入电压或配套的变频器的输出电压占空比，使输入电流达到50%负载持续率对应的输入容量换算的输入电流值或输出电流达到名牌标称的输出电流，无法排除相同容量的电阻焊机的不同水冷电缆长度、焊钳形状、电极臂长度和开口尺寸等二次回路带来的影响。二次回路的变化会造成输入和输出功率、功率因数无复现性。

③. 电弧焊机与电阻焊机的输出阻抗差异很大：电弧焊机的次级匝数至少在几匝以上，绝大部分输出电压的范围是60V~100V，且输出电流较小，在百安培级别。绝大部分电阻焊机的次级是与二次回路共同形成1匝，绝大部分输出电压范围是5V~20V，且输出电流大，属于万安培级别。因此，电弧焊机的输出阻抗比电阻焊机的输出阻抗大几百倍。电弧焊机类似于恒压电源或恒流电源，而电阻焊机类似于配电变压器。

④. 逆变直流电弧焊机与逆变中频直流电阻焊机的产品组成差异大：目前的电弧焊机是以逆变直流电弧焊机为主，逆变直流电弧焊机主要由输入整流与滤波、逆变与变频、中频变压器、输出整流和输出滤波电感组成，所有这些组成部件同时组成电弧焊机产品。逆变中频电阻焊机是电阻焊机的发展方向，逐步成为电阻

焊机的主导产品，逆变式中频电阻焊机主要由中频变压器和输出整流组成的整流式阻焊变压器、变频器（或称变频控制器）组成，他们是可以相互配套的独立产品。有的企业只生产不带变频控制器的电阻焊机（只含器身、变压器和二次回路），不生产变频控制器；有的企业只生产变频控制器，不生产电阻焊机；也有企业既生产电阻焊机，也生产变频控制器。变频控制器和不含变频控制器的电阻焊机（只含器身、变压器和二次回路）可以使单独出售的购买的产品，大家相互配套。

⑤. 逆变直流电弧焊机与逆变中频直流电阻焊机的内部损耗主体差异：逆变直流电弧焊机的内部损耗主要由输入整流、逆变与变频、中频变压器、输出整流和输出滤波电感等部分组成，逆变中频直流电阻焊机的内部损耗主要由中频变压器、输出整流部分及控制器组成。输出整流的二极管的电压降为 0.7V~1.2V 之间，与电流大小有关，电流越大，电压降越大。逆变直流电弧焊机的输出整流的二极管的损耗在百瓦级别，约占其总损耗的 15%，输出整流管不是逆变直流电弧焊机内部损耗的主体。逆变中频直流电阻焊机的二极管的损耗在千瓦级别，占其总损耗的 60%以上，输出整流管是逆变中频直流电阻焊机内部损耗的主体。

⑥. 电弧焊机的能效指标：为了与电弧焊机的规格定义和该产品的其他参数的测试方法保持统一与协调一致，采用效率（%）和额定最大负载状态下的功率因数和空载电流占额定输入电流百分比（%）三个指标分别作为能效指标。

⑦. 电阻焊机的能效指标：为了与电阻焊机的规格定义和该产品的其他参数的测试方法保持统一与协调一致，并排除电阻焊机外接的不同水冷电缆长度、焊钳形状、电极臂长度和开口尺寸等二次回路带来的影响，采用短路损耗、空载电流和空载损耗三个指标分别作为能效指标。

⑧. 电弧焊机与电阻焊机能效指标项目不相同的说明：

a. 电弧焊机是以输出电流的值大小确定产品的规格，若以损耗作为指标，与该产品所涉及的其他电参数的测试方法不一致，标准之间没有协调性；功率因数完全由电弧焊机自身决定，且对电网资源的利用率有较大影响，所以将功率因数作为能效指标之一。

b. 电阻焊机是以50%负载持续率对应的输入容量值确定产品规格，控制器、水冷电缆、点焊钳、电极臂长度等属于用户选配或更换的配套产品或部件，没有唯一性，且水冷电缆、点焊钳、电极臂的变化会使二次回路的阻抗发生变化，将

导致电阻焊机的效率发生变化，但相同的短路条件下的损耗具有唯一性；功率因数，尤其是逆变中频直流电阻焊机的功率因数与配套的变频控制器直接相关，不完全由电阻焊机决定，所以不将功率因数作为电阻焊机的能效指标。

对电弧焊机与电阻焊机能效指标采用不相同的项目分别定义，更加科学、合理，与电焊机产品的国家标准和国际标准对其他电参数的定义和测试方法更为统一协调，也符合实际情况。

⑨. 电弧焊机的效率具有复现性，电阻焊机的效率无复现性的推导过程：

设：电焊机的等效总内阻为 r （初级和次级的等效内阻之和），对于成品， r 为一个定值；额定工作电压为 U_n ；负载等效总电阻为 R ；直流电焊机的次级整流二极管的电压降为 U_d ，基本为常数，约为 $1V$ ；电焊机的输出电流为 I ；电焊机的总输入功率为 P_1 ；电焊机的负载消耗功率为 P_2 ；电焊机的总损耗功率为 P_3 。

$P_1=P_2+P_3$ ，设电焊机的效率为 η 。则有 $P_2=I^2 \times R$ ；交流电焊机的总损耗功率 $P_3=I^2 * r$ ；直流电弧焊机和中频直流电阻焊机的总损耗功率 $P_3=I^2 * r + I * U_d$ 。

交流的效率 $\eta = P_2 / P_1 = P_2 / (P_2 + P_3) = (I^2 * R) / (I^2 * R + I^2 * r) = R / (R + r) \text{ --- (式1)}$ ；

同理，直流的效率 $\eta = I^2 R / [I^2 * (R + r) + I * U_d] = R / [(R + r) + U_d / I] \text{ --- (式2)}$ 。

因式2中的电流 I 很大，所以 U_d / I 可忽略不计。从式1和式2可见， R 与 r 的比值越大，效率受 R 的影响越小。举例如下：

a. 以较大规格的500安培直流手工电弧焊机为例： $U_n = 20 + 0.04 I_n$ ， U_n 达到44V时，恒定为44V。500A对应的 U_n 为40V，是一个定值，效率在85%左右为多数，则可推出 $R = 80m\Omega$ ，是一个定值， $r = 14m\Omega$ ， R 约为 r 的6倍，且 R 为测试用模拟负载。按标准要求配置，对于同型号规格的电弧焊机，外界的负载相同， R 不变，则效率具有复现性。

b. 以100kVA的中频直流电阻焊机为例，该焊机的大部分变比52，中频输入电压为540V，空载电压为10.4V，则输出电流为9600A，因存在内部损耗和二次整流管的电压降（约1V），因二次回路的差异，输出9600A时的输出电压在4V~6V之间，则可推算出 $r = 0.31m\Omega \sim 0.52m\Omega$ ， $R = 0.42m\Omega \sim 0.63m\Omega$ 。 R 与 r 很接近，且 R 会随电阻焊机外配的二次回路部件的变化而变化，这就造成电阻焊机效率不具有复现性。