



PI7800MF 系列中频感应加热电源

大连普传科技股份有限公司

深圳市普传科技有限公司

企划部/工程部

www.powtran.com

第一部分 感应加热与变频电源

一、基本原理

1、集肤效应及感应加热

1.1 集肤效应：当交流电流通过导线时，在导线周围产生**交变的磁场**，处在交变磁场中的整块导体的内部会产生感应电流，由于这种感应电流在整块导体内部自成闭合回路，形似水的旋涡，称做**涡流**。

在直流电路内，均匀导线的横截面上的电流密度是均匀的，而当交流电通过导线时，由于交变磁场的作用，在导线截面上各处电流分布不均匀，中心处电流密度小，而越靠近表面电流密度越大，这种电流分布不均匀的现象称为**集肤效应**(也称趋肤效应)。交流电的**频率**越高，则集肤深度越深，同时其交流阻抗也变大，因此在相同数值的电流作用下，负载所获得的**能量**也越高，而电流及线路损耗相应地也会变小，从而提高了加热效率，同时还可起到节约电能的目的。变频加热电源正是基于这一原理，利用变频技术，可将运行频率提高到工频的数倍，加热效果会明显提高。

1.2 感应加热：1831年法拉第发现**电磁感应**规律、1868年福考特提出**涡流**理论、1840年焦耳-楞茨确定了**电阻发热**的关系式 $Q=I^2Rt$ ，构成感应加热之理论基础。

交变的电流产生交变的磁场，再利用交变磁场来产生涡流达到加热的效果。感应加热的加热效率高、速度快、可控性好，易于实现高温和局部加热。随着电力电子技术的不断成熟，感应加热技术得到了迅速发展。

在金属加工上，感应加热热处理用感应电流使工件局部加热的表面热处理工艺。这种热处理工艺常用于表面淬火、局部退火或回火，有时也用于整体淬火和回火。

将工件放入感应器(线圈)内，当感应器中通入一定频率的交变电流时，周围即产生交变磁场，交变磁场的电磁感应作用使工件内产生封闭的感应电流，感应电流在工件截面上的分布很不均匀，工件表层电流密度很高，向内逐渐减小，工件表层高密度电流的电能转变为热能，使表层的温度升高，即实现表面加热。电流频率越高，工件表层与内部的电流密度差则越大，加热层越薄。在加热层温度超过钢的临界点温度后迅速冷却，即可实现表面淬火。

2、感应加热的作用及应用

感应加热早期主要用于有色金属熔炼和热处理工艺，其加热效率高、速度快、可控性好及易于实现自动化等优点，广泛应用于金属熔炼、透热、热处理和焊接等工业生产过程中，成为冶金、国防、机械加工等部门及铸、锻和船舶、飞机、汽车制造业等不可缺少的技术手段。如表1所列。

感应加热的广泛应用，究其原因，主要是它本身相对于别的加热方式所具有的一些独特性。

1) 加热速度快，可节能。感应加热是从金属内部，透入深度层开始加热，大大节省了热传导时间。其它加热是从外到内，导热时间长。据实验，加热同一坯料到一定温度，感应加热只需火焰炉加热时间的1/10。

2) 加热温度高，是非接触式的电磁感应加热。

3) 可进行局部加热，容易控制加热部位。被加热产品质量稳定，加热工件的质量再现性与重复性好，各种参数容易控制。

4) 控制温度的精度高，可保证温差在 $\pm 0.5\% \sim 1\%$ 范围内。

5) 感应加热的热效率高，一般可达50%-70%，而火焰炉的热效率一般只有30%左右。

6) 容易实现自动化控制。

- 7) 作业环境好, 环保, 几乎无热、噪声、粉尘等污染。作业占地少, 生产效率高。
- 8) 能加热形状复杂的工件, 加热或熔炼都能间歇工作。
- 9) 熔炼中溶液有**电磁搅拌**作用。可以均匀地调整金属液成分, 溶液温度均匀, 不

表 1 感应加热的应用领域

应用行业	主要用途
冶金	黑色、有色金属的熔炼和保温; 金属材料的热处理; 坩埚熔炼、区域熔炼、合金材料生产、悬浮熔炼等制取超纯材料; 锻造、挤压、轧制等型材生产的透热; 焊管生产的焊缝
机械制造	黑色和有色金属的铸造和精密制造金属的熔炼; 机器零件的淬火, 特别是表面淬火以及淬火后的回火、退火、正火等热处理的加热; 化学热处理的感应加热; 压力加工(锻、挤、轧等)前的透热, 特别是模锻、精锻、钎焊、对焊、硬质合金的熔焊、加热弯管; 低温金属涂层及其它场合的加热烘干; 热装配等
轻工	罐头封口加热; 医药瓶金属膜封口包装; 软包装铝箔密封; 合成纤维生产中间加热; 民用感应加热锅炉; 电磁炉、淋浴器等
石油化工	化学反应釜等容器的加热; 输油管道缝焊接, 现场退火; 输油管路的加热和保温; 钻铤、钻杆的热处理
电子	电子管、显象管生产中内部件的真空除气和加热
金属材料	板材、管材的热镀锌, 线材的表面镀铜等; 板材的横向加热; 电磁包浇铸

会出现局部高温。金属烧损少, 这一点, 对熔炼稀有金属更为重要。

二、变频电源

1、电源的分类

根据交变电流的频率高低, 将电源分为超高频、高频、超音频、中频、工频。

1) 工频 (50 /60 Hz) 感应加热电源这种电源比较实用, 用于大型工件的整体透热、大容量炉的熔炼和保温;

2) 中频电源 (50 Hz 或 60 Hz 以上-10 kHz) 晶闸管感应加热电源已完全取代了传统的中频发电机组和电磁倍频器。国外的单台容量已达数十 MW。

3) 超音频电源 (10kHz -100 kHz)

4) 高频电源 (100kHz 以上) 正处在传统的电子管振荡器向固态电源的过度阶段。

2、构成

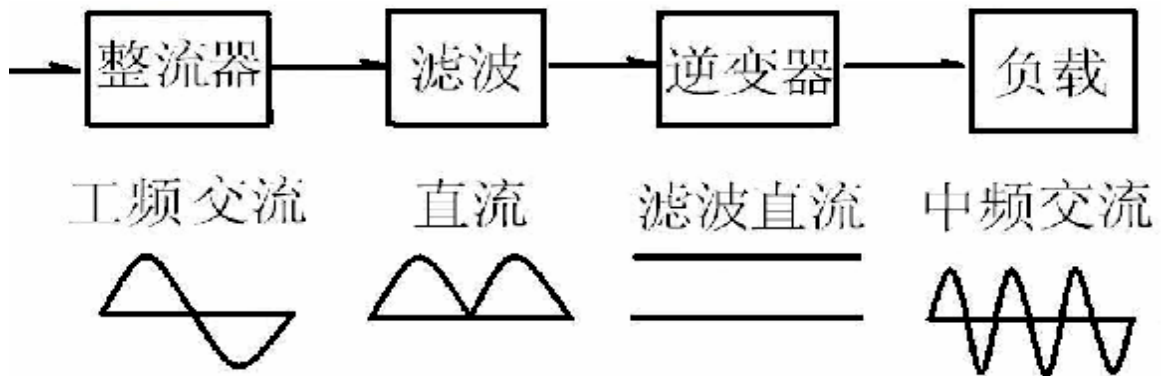
感应加热装置由两部分组成, 一部分是提供能量的**交流电源**, 也称变频电源; 另一部分是完成电磁感应能量转换的**感应线圈**, 称感应炉。

制约感应加热发展的主要原因是感应加热电源, 而电源又受制于高频或大功率的开关器件。因此电力电子功率器件的发展, 才真正促进了感应加热电源的发展。

3、原理

中频加热电源主电路为 **AC-DC-AC 变频结构**, 由**整流电路、滤波、逆变电路和保护电路**组成。其工作原理是将三相 50Hz 工频交流电经过三相全控整流桥 V1~V6 整流成电压可调的脉动直流, 再通过电容将脉动的直流电滤波变成光滑平稳的直流电送到单

相逆变桥 V7~V10，最后通过逆变桥将直流电变成**单相频率可调**的中频交流电供给负载。



采用三相全控桥式整流电路，它的输出电压调节范围大，而移相控制角的变化范围小，有利于系统的自动调节，输出电压的脉动频率较高，可以减轻直流滤波环节的负担。

逆变电路是由全控器件 IGBT 构成的串联谐振式逆变器：核心部分逆变器由大功率 IGBT 半桥组成。由锁相环控制工作频率，自动跟踪负载固有频率及其它参数的变化，保持 IGBT 工作在零电压开关状态，损耗小，安全区大。由 SPWM 电路控制输出功率，由功率检测电路组成闭环控制。

电解电容 Cd 主要起滤波、稳定电压和改善功率因数的作用

4、国内感应加热电源技术与现状

我国感应加热技术的应用，起源于上世纪 50 年代，主要用于机床、纺机、汽车、拖拉机等制造业，感应加热集中在工件表面淬火方面，熔炼和透热方面用的较少。60 年代，开始感应加热技术独立发展，直到改革开放后，由浙大开发了第一台并联式晶闸管中频电源，并向全国推广。有关单位相继也生产了容量在几百 kW，频率 500 Hz~8 kHz 的中频电源。电子管式超音频电源也研制成功，填补了我国 8~200 kHz 之间的频率缺口。

感应加热电源真正大量应用于工业生产则是 20 世纪 80 年代后。近 20 多年间我国在感应加热电源和感应加热领域发生了令人瞩目的变化，此阶段从德国、美国、英国、法国、日本、意大利、西班牙、比利时和俄罗斯等工业发达国家引进了数百套感应加热成套装置（含电源）。粗分类有：各种淬火设备及电源；透热设备及电源；高频钎焊设备；熔炼设备及电源；熔炼设备无心感应炉、有心感应炉。

20 世纪 90 年代，国外的一些感应电炉公司直接到中国来办厂，如美国的英达感应加热公司，彼乐公司等，他们的产品技术含量高，电源功率大，炉子吨位大，生产线规模大，占据了国内的很大一部分市场。

国内感应加热方面从地域上还分“南派”和“北派”技术和产品方面的竞争。“南派”以浙江大学为中心源，从技术和人事关系上衍生出浙江、上海、江苏一带的感应电炉公司，其代表有振昊、四达、兆力等公司，主导着南方的熔炼炉市场。“北派”是以西安交大、西安电炉研究所、西安重型电炉厂（现西安鹏远重型电炉厂）所在地西安为中心，衍生出西安，洛阳，山东，河北，山西等地的电炉公司。仅西安市感应加热的公司就达百家之多，是名副其实的中国电炉设计、制造中心。这些厂家中比较有影响的有西安电炉研究所、西安鹏远重型电炉厂、西安机电研究所、陕西海意机电制造有限公司、西安动化、博大、秦翔、华立等电炉公司。

感应加热的市场发展前景看好，据行内人士讲，西安的几个大的感应炉公司，在

2006年、2007年的年产值均在几千万至一个亿之间，而且产值逐年度快速递增。其中电炉所、海意公司、机电所、动化公司等有多台感应炉出口第三世界国家。

5、感应加热领域技术先进性标志主要表现

- 1) 高频电源采用半导体功率器件，一般是输出功率越大，技术越先进。
- 2) 感应熔炼中频炉，电源功率越大，整流的脉波数较多，如 18、24 脉波，配置的炉体越大，说明技术越先进。
- 3) 真空感应炉，一般是吨位越大技术越先进。
- 4) 特种感应加热，被加热金属温度越高或温度控制的精度误差越小，其技术含量越高。
- 5) 感应加热的双供电电源（一拖二）和多供电电源（一拖多），一般是功率越大，拖的炉子越多，技术含量越高。
- 6) 感应加热、熔炼、淬火过程的计算机软件对其系统的检测、控制、管理的简单化、傻瓜化、智能化、网络化和故障自诊断，加上触摸屏技术的采用，都是感应加热技术先进性的标志。

【参考文献】田志明“感应加热电源综述”

第二部分：普传科技 PI7800MF 中频感应加热电源

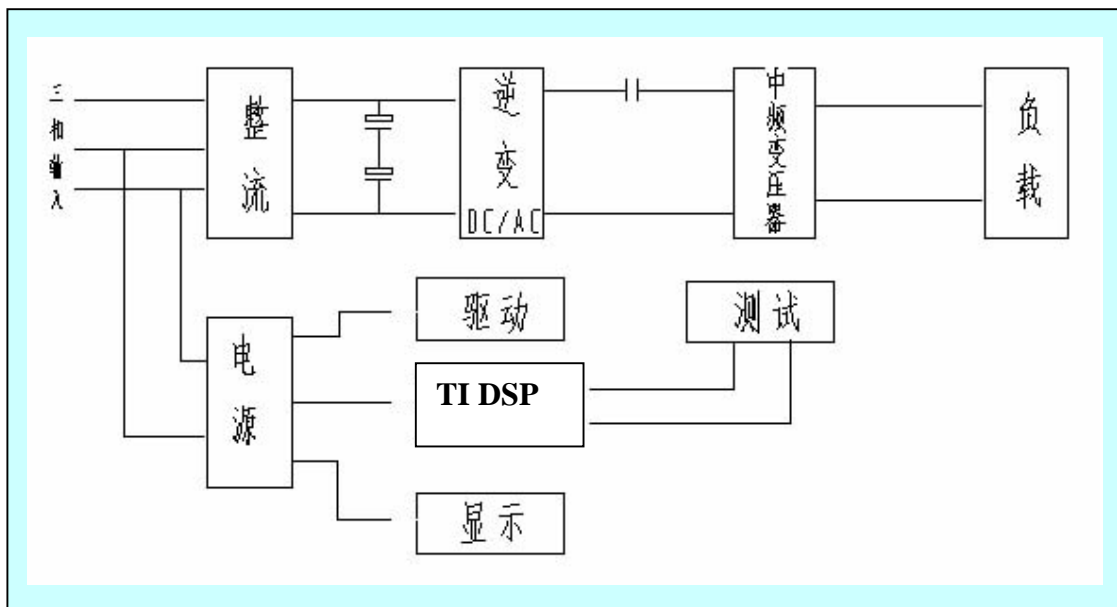
【前言】

普传科技股份有限公司根据冶金和石油行业特殊用途，基于公司产品研发战略，在成功开发冶金行业电磁搅拌器专用电源基础上，开发生产了新一代数字化控制高性能特殊电源——PI7800MF 中频感应加热电源，主要应用领域有：金属熔炼、透热、钎焊、晶体生长、稀有金属加工及石油工业的感应电加热采油（稠油井的空心抽油杆电加热）、石油集输管道的感应加热等设备，还可以应用于集输管道加热和其它类型的中频电源相比，在结构、性能及可靠性方面，具有非常明显的优势，控制电路采用高性能专用 32 位 DSP 及大规模数字专用集成电路，IGBT/IPM 功率器件，整流控制、逆变控制、功率调节、操作接口、保护等部分均集成在一块控制板上，调试、维护方便，可靠性提高，节能效果好。

在石油工业应用上，由于中频电源涡流感应加强，导致集肤效应更强，漏磁减少，因此电加热效果大大好于工频电源。该设备可替代现有的工频加热电源，节能效果达到 30% 以上，大大地降低了采油生产能源的消耗。本专用电源对电网没有污染，与同类产品相比，提高了电源的可靠性，减少了因停机造成的生产损失。

一、 电源基本框图

电路基本构成如下：



二、 性能特点

- u 采用 32 位美国德州仪器 TI 公司专用控制芯片 DSP，控制系统性能增强，电路简化，负载适应性强。实现电源控制的全数字化，智能化。
- u 采用先进的大功率绝缘栅双极性晶体管（IGBT）作为功率开关器件，逆变频率可调。
- u 具有相序自适应功能，无需鉴别进线相序。
- u 输出可进行恒功率、恒电压、恒电流控制。

U 采用零压软启动,启动成功率高无冲击。完全能够满足广大热加工行业用户的需求。

U 采用扫描式零压启动方式和自动重复启动电路,启动成功率可达 100%。采用中频电压作为取样信号,无中频电流互感器,输出部分和负载的连接不需区分极性。

U 控制电路采用电压、电流双闭环系统,并设有阻抗调节器,逆变角调节器,使电源的运行更加稳定可靠。

U 人机对话的显示界面,可通过键盘的选择显示工作频率及电流,输出脉冲的占空比、电流变比等,并可显示故障状态及原因,使显示更直观,更易于操作。显示与主控板共用一个线路板,排列更紧凑,避免了信号传输过程中的干扰,工作更稳定。

U 保护功能齐全:具有过压、过流、缺相、控制电源欠压、水压低等故障报警功能。

U 输出电压、电流连续可调,可以使加热系统处于最佳工作状态,能源利用率高,节能效果明显恒输出电压/恒输出功率控制选择功能。

U 高效节能,全功率范围内,极高的功率因数和电源效率。



三、 主要技术参数及产品型谱

型号	PI7800MF		输出功率范围	60-700KVA
输入电源	相数/电压/频率	三相/380V-1140V/50Hz		
	允许波动	电压 ±15% 频率 ± 2%		
输出频率	工作频率	在 260-1500Hz 之间任意设定		
	精度	1Hz		
输出电压	300~3000V (根据变压器选定)			
控制	面板操作/远程操作、上位机			
输出功率	60-700KVA			
稳压精度	0.5%			
输入功率因数	≥ 0.9			
转换效率	> 95% (电源本体)			
显示	运行频率、输出占空比、输出电流、故障代码等			
保护功能	短路、过压、欠压、缺相、过热、过流等			
运行环境	工作环境温度	-20°C—+40°C		
	相对湿度	<90%RH 无凝霜		
	无导电、易燃、易蚀、易爆及损害绝缘气体的场合			

*用户有特殊要求的,可个性化定做,具体尺寸、技术参数等以技术协议为准

第三部分：应用实例

1、普传科技变频加热电源在稠油井抽油系统上的应用

【摘要】：本文介绍了基于变频调速器的变频加热电源在稠油井抽油系统上的应用。

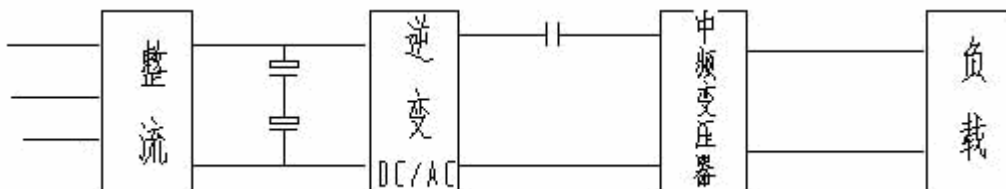
【关键词】：稠油 变频电源 集肤效应

【前言】在我国石油开采中，稠油井的比例占相当大一部分，这类井原油粘度高、凝固点高、密度大、含蜡量高，难以开采。目前国内外开采这类油井的最广泛效果最好的采油工艺是稠油热采。采用空心杆电加热工艺技术，使稠油变稀，可实现稠油的顺利开采。以前的空心杆加热技术，采用工频加热，因负载为单相，需要有一个独立的变压器，将三相输入变为单相输出，造成三相电网的不平衡，功率因数低，电能消耗大，对电网的污染大，加热效果不明显，造成电能的极大浪费。因此，需要探讨一种先进的加热方式，以提高功效，增强加热效果。经过多方试验，采用现已掌握的较成熟的变频技术，为该加热装置提供一种新的变频电源—PI7800MF 系列中频加热电源。该设备可提供 260—1500Hz 的频率，实现了输出电压、电流的连续可调，以达到输出功率连续可调的目的，提高了加热效果，目前已在胜利油田、辽河油田稠油加热，输油管道加热及油井井口加热，很受油田采油人员的欢迎。应用感应加热法开采高粘度石油或为输油管线解除油路堵塞，目前，加热元件主要采用感应加热器和空心加热杆，前者为感性负载，后者为阻性负载。

一、变频加热电源的基本原理

感应加热原理为产生交变的电流，从而产生交变的磁场，在利用交变磁场来产生涡流达到加热的效果。基于加热理论中“集肤效应原理”，当频率增大时，则集肤深度越深，同时其交流阻抗也变大，因此在相同数值的电流作用下，负载所获得的能量也越高，而电流及线路损耗相应地也会变小，从而提高了加热效率，同时还可起到节约电能的目的。变频加热电源正是基于这一原理做成的，利用变频技术，可将运行频率提高到工频的数倍，加热效果会明显提高。

变频电源工作首先将 380V/50HZ 的三相交流电经整流、滤波成直流电，经逆变电路变成频率连续可调的单相电，再经中频变压器隔离后，输送到加热电缆给油层加热。



其主功率器件采用的是西门子第四代大功率器件 IGBT，控制器件为德州仪器 TI2812 系列 DSP，它具有很强的环境自适应能力和抗干扰能力，工作可靠，寿命长等优点。

二、变频加热电源的特点

PI7800MF 系列油井采油中频感应加热电源通过 DSP 控制 IPM/IGBT 功率器件，实现功率和频率可调的中频电源输出。该产品具有节能省电、加热效果高、故障率低之优点。

它充分利用中频集肤效应、邻近效应和圆环效应原理，通过感应加热器和油管柱，使电能有效的转化为热能，从而达到油井降粘降稠、稳产高产的目的。

1、采用了先进的移相控制技术和软起动技术，使工作更可靠。

2、人机对话的显示界面，可通过键盘的选择显示工作频率及电流，输出脉冲的占空比、电流变比等，并可显示故障状态及原因，使显示更直观，更易于操作。显示与主控板共用一个线路板，排列更紧凑，避免了信号传输过程中的干扰，工作更稳定。

3、输出部分采用环形中频变压器，用于隔离输入、输出电压，同时经电容组与控制柜输出相连接，起到隔直作用，防止由于直流偏磁或过励磁产生的磁饱和，同时可起到串联谐振的作用。

中频变压器为非晶钛材料，导磁率高，工作频率高，自身能量损耗极低，整机效率提高。若频率再提高，其体积可做得更小，工作效率更高。

4、保护功能齐全。

设置了过流、短路、机内温升过高及过、欠压保护，功能更齐全，工作更可靠，避免了由于各种不正常因素而造成的损坏。

三、应用效果

产品面市以来，普传科技在胜利油田、辽河油田等几个稠油井分布的区域内成功运用了中频加热电源技术。通过现场调整，结合加热电缆及功率，一般将频率调至 500Hz-800Hz 左右，比工频提高了 10 倍，根据功率调整电流，一般 75kW 的电源输出电流在 80A 左右，93kW 的电源在 100A 左右，通过中频变压器，输出电压 800V 左右（串联输出电压：500V、600V、700V、800V），其加热效果十分明显，较之工频加热：

1、功率因数明显提高，原工频加热，功率因数约在 0.7 左右，而用变频加热，经测试都在 0.95 以上。

2、减少了对电网的污染。原工频加热，需三相变二相，造成变压器输入三相电压严重不平衡，对电网污染严重。应用变频器以后，功率因数提高，谐波含量明显减少，减轻了对电网的污染。

3、加热效果明显。根据集肤效应，频率提高后，负载所获得的能量提高，线路损耗也相应减少从而提高了加热效果。据测试，变频加热可比工频加热提前 1—2 小时达到预定效果，而且温度也要高。

4、保护功能齐全。原工频柜因无单片机控制，其保护功能差，往往由于负载的短路、断路及电压的不稳定，造成变压器烧毁、工作不稳定。而变频电源柜由于 DSP 的控制，其保护功能齐全，避免了由于电网及负载的故障引起的问题，保证系统的稳定运行。

5、节能效果明显。据测试，每台变频电源柜比相应的工频柜节电都在 20% 左右，有力的节约了电能，提高了工作效率，保证了加热系统的效果。

总之，变频加热是稠油热采的一次革命。我国的稠油资源相当丰富，推广该技术，是采油行业节能减排和提高效率的有效途径。

2、普传科技中频感应加热电源在钢铁行业应用

实践中，在以下加工中很好地利用了中频感应加热技术。



铝壳炉体



出钢



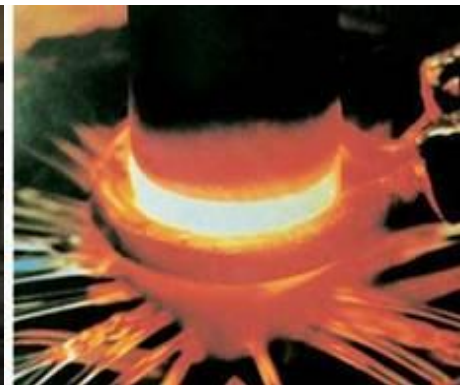
大型钢板加热感应器



钢轨淬火



透热设备



淬火