

金属涂镀技术专集

国家科委科技成果管理办公室编

内 容 简 介

本专集汇编了部分单位研究和应用金属涂镀技术的成果资料。内容包括：金属涂镀技术的概述、涂镀电源设备、涂镀用的溶液种类、涂镀工具及其配套设备。并详细介绍了涂镀工艺、涂镀层性能的研究、金属涂镀技术在各方面的应用实例及涂镀废水的处理等。

本书可供从事金属涂镀技术的科技人员、技术工人以及高等院校的有关专业师生阅读。

金属涂镀技术专集

国家科委科技成果管理办公室编

科学技术文献出版社出版

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆。 印张：14.25 字数：363 千字

1985年5月北京第一版第一次印刷

印数：1—12,000册

科技新书目：95—62

统一书号：15176·617 定价：2.65元

前 言

金属涂镀是一项很有发展前途的新技术，它对修复和强化金属零件表面十分有效，特别是对修复精密设备和零件的精密部分有显著成效，已在铁路、机械、汽车、船舶、航空、军工等部门推广应用，取得了较大技术经济效益。

金属涂镀技术，已列为第六个五年计划期间国家40项新技术推广项目之一。为促进金属涂镀技术在更大范围内推广应用，我们将部分单位研制、应用金属涂镀技术的成果资料汇编成册，以便让更多的单位和人员掌握这项新技术，使它发挥更大的效益。

目前国内对金属涂镀名称有多种称呼，不利于国内外技术交流，为此，1984年11月全国电刷镀技术协作组工作会议决定将“涂镀”统一命名为“电刷镀”。由于本专集早已排版征订，为不延误出版时间，因此在本专集中仍保留了各单位的习惯称呼，未作统一更改，特此说明。

在编辑工作中，得到了有关科研、生产单位的热情支持，在此，我们表示衷心的感谢。

我们热情地欢迎读者将本单位推广应用金属涂镀技术的情况及取得的经济效益及时告诉我们。

由于时间仓促，不妥之处，在所难免，恳请读者批评指正。

· 国家科委科技成果管理办公室

1984年12月

目 录

金属涂镀技术	铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所 (1)
一、金属涂镀技术概述.....	(1)
二、TD 型直流涂镀电源.....	(5)
三、涂镀用溶液.....	(15)
四、镀具、辅具及其配套.....	(29)
五、金属涂镀工艺.....	(41)
六、金属涂镀层的性能.....	(62)
七、金属涂镀技术的应用.....	(73)
八、金属涂镀维修的经济性.....	(81)
九、涂镀工的安全操作.....	(83)
附录镀层与基体金属结合强度的试验方法.....	(84)
铜—镍组合涂镀层和铜—镍组合涂镀层抗粘附磨损性能的试验研究	
.....	铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所 (91)
二十二种快速电镀溶液的研制	中国科学院上海有机化学研究所 (103)
快速笔涂电镀技术	中国人民解放军装甲兵技术学院 (111)
一、快速笔涂电镀电源设备.....	(111)
二、快速笔涂电镀溶液的特性.....	(124)
三、快速笔涂电镀镍镀层的硬度和耐磨性试验.....	(130)
四、零件表面光洁度对镀层组织和硬度的影响.....	(137)
五、用正交表分析快速镍刷镀层的耐磨性.....	(139)
六、快速笔涂电镀在机械维修中的应用.....	(144)
七、快速笔涂电镀工艺中废水治理的探讨.....	(150)
涂镀技术的研究	
.....	交通部公路科学研究所、云南省交通科学研究所 (156)
一、涂镀铁和铁合金的研究.....	(156)
二、涂镀铁和镍的应用.....	(164)
金属涂镀在民航飞机、发动机及附件维修中的应用	
.....	中国民航局北京维修基地中心试验室 (170)
金属涂镀技术在“前进”型蒸汽机车修理上的应用	
.....	铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所、铁道部铜陵机车工厂、铁道部上海铁路局 (174)
高速转动件——45GP802型涡轮增压器转子轴颈磨损的涂镀修复	
.....	铁道部戚墅堰机车车辆工厂 (186)
铸铁箱体孔壁磨损超差后同轴度和轴线平行度的涂镀修复	
.....	铁道部戚墅堰机车车辆工厂 (192)
应用金属涂镀技术修复零部件汇总表	铁道部戚墅堰机车车辆工厂 (206)

金属涂镀技术

铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所

一、金属涂镀技术概述

涂镀是在工件表面局部快速电沉积金属的新技术。

涂镀技术能提高零件的使用寿命和可靠性，提高设备的利用率，减少配件的生产和储备，特别是在增产节约、修旧利废、节约能源、提高经济效益等方面具有重要作用，有着广阔的前途。

涂镀是从电镀（槽镀）技术上发展起来的具有独特工艺的一项新技术。一件镀品从镀槽中取出后，发现个别部位镀层起泡或未镀上，如何处理呢？一般有三种办法：报废、去掉整个镀层并重新入槽电镀、局部修复镀层。最后一种办法对人们最有吸引力。再如一个大型的零件仅局部需要电镀（例如一根轴，只是轴颈部位磨损需要修理），受到镀槽尺寸的限制，或者要进行大量的遮蔽（阴极保护），或者要进行解体和运输，在这种情况下，槽镀或者不可能、或者不经济，有没有更好的方法电镀呢？几十年来人们在顽强地探索着不用镀槽把金属镀复到工件上去的方法。在六十年代初期，国外有人提出一种新的电沉积金属方法，即选择镀（Selective Plating）。这种新技术不用镀槽，设备简单、工艺灵活，与以往的“刷镀”相比，有明显的改进，我们称为涂镀。

涂镀层的性能好，主要用于机械保护和维修，较少用于装饰。涂镀技术问世以来，得到了迅速的推广和应用，其使用范围有飞机、舰船、机车车辆、汽车、电子、电力、仪表、机械、冶金、印刷、印染、石油、化工、模具以及文物保护和艺术品装饰等方面。

国内在六十年代中期，有人曾研究过刷镀，但其设备、阳极、溶液、工艺及其应用都与现在所说的涂镀有很大的不同。在随后的十年里，由于明显的原因，使这项技术濒于湮没。

1979年铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所开始涂镀技术的研究工作。在各方面的努力和支持下，涂镀技术的研究工作顺利展开。当年，戚墅堰机车车辆工艺研究所就研究成功四种表面准备溶液（TGY-1、THY-1、THY-2和THY-3），两种镍沉积金属溶液（TDY101和TDY102），随后又研究成功两种铜沉积金属溶液（TDY401和TDY403）。与此同时还研究成功两种容量的涂镀专用电源（TD-30和TD-60），四种通用型涂镀笔（TDB-1、TDB-2、TDB-3和TDB-4），八种型式三十余种规格的通用阳极，以及阳极包套和一系列工辅具、辅助材料的研制和选择定型工作。为了进一步加快研究工作的速度，与中国科学院上海有机化学研究所合作研究成功另外三种溶液（TDY103、TDY104和TDY402）。1980年，进行了钢、铁、铝、铜、不锈钢等金属的涂镀工艺研究，修复了一大批重要的零件进行运用考核，并取得成

功。1980年10月，铁道部对涂镀技术进行了鉴定。

1981年国内其它单位开始从事涂镀技术的应用研究。我们在抓科研成果转化为生产力的同时继续进行开发性的研究工作，相继研究成功小型涂镀电源（TD-10）和大型涂镀电源（TD-150），钴、锡、锌、镉涂镀溶液（TDY201、TDY511、TDY521和TDY531），TDB-5型涂镀笔和TYB-15型涂镀液供送泵。进行了蒸汽机车、内燃机车以及军舰和其它各类机械中典型零件涂镀工艺研究和镀层性能研究，取得成功。

涂镀技术鉴定以后，在1980年12月交通部召开的广州镀铁会议上，我们首次向国内介绍了涂镀技术。

1981年以来，国家经委连年拨款在国内推广涂镀技术。国家经委1983年4月在常州召开了《全国金属涂镀技术经验交流推广会》，成立了全国涂镀技术协作组，把涂镀技术列为“六五”期间全国重点推广项目之一。全国各省市自治区的经委根据本地区的具体情况，制定了推广应用计划。目前已经形成了推广、应用、研究涂镀技术的壮阔势头。初步估计，到1983年底，全国拥有各类涂镀设备1500—1700套，消耗涂镀液约十万升，节约价值可达4—5千万元以上。涂镀技术已在祖国的大地上生根开花，在四化建设中将发挥越来越大的作用。

从技术角度讲，涂镀技术今后面临着开发研究和巩固提高两方面的任务。

要研究新的涂镀液。目前有镍、铜、锡、锌、钴、镉、铬、镉、铁、金、银、铋、碲、汞、铟、镓、铅、钡、铂、铈、铈、镱等二十二种元素可制成涂镀液，一种元素可制成多种用途的溶液，因此国际上有近百种涂镀液。国内目前仅有前十一一种金属的涂镀液，共有二十余个牌号。合金溶液的研究需大大加强。

要研制新型电源。目前国内仅有恒压式涂镀电源，容量在150A以内。为适应大型零件的涂镀，应研究大容量的涂镀电源。要研究恒流式的涂镀电源。电流的波形和频率对镀层的性能有明显的影响，要研制特殊波形的涂镀电源。

要开展涂镀机理的研究。目前，涂镀的实践远远走在理论研究的前面。理论研究的落后状态势必会影响涂镀技术的进步。涂镀与槽镀虽同属于电沉积技术，但由于阳极、溶液、涂镀工艺（包括涂镀时采用较大的电流密度）与槽镀不同，因而在阴极极化、镀层结构、镀层与基体金属的结合型式、镀层机械性能等方面均与槽镀时有较大的不同，开展涂镀机理的研究有着重大的理论意义和实践意义。

在工艺技术方面，要不断完善各种材料，特别是难镀材料，如铬、镁合金等的涂镀工艺，要尽快研究出镀层结合强度的定量试验方法和无损检验的方法。要研究大面积涂镀的技术，以及相应的专用阳极和溶液的使用方法。要结合涂镀工艺的特点，研究涂镀层与工况的适应关系，研究涂镀层与摩擦副的顺应关系，从而提高涂镀层的工作能力。

要抓紧技术力量的培训工作。近三年来，我们培训了五千多名涂镀工人和技术人员，这些同志回到生产岗位，一般都起到良好作用，为涂镀技术的推广做出了贡献。许多同志回到单位后又举办各种类型的学习班，积极宣传推广涂镀技术。其它研究单位也多次举办涂镀学习班，初步估计，国内有一万名以上经过培训的技术力量。但是发展是不平衡的，有的省市还刚刚起步，发展较早的省市还有继续普及的必要。在一万名经过培训的人员中，由于受训时间不同、师资水平的差异，特别是涂镀技术发展速度很快，因此，在极短时间之内就有更新知识的问题。

本着相互交流，共同提高，为推广应用涂镀技术尽一份力量的愿望，我们把近年来的涂

镀技术研究成果作一简单介绍。

(一) 金属涂镀技术原理

涂镀是一种电沉积的过程。涂镀时,专用直流电源的负极与工件相连接,正极接到涂镀笔上,涂镀笔上的阳极包裹着棉套,蘸上快速沉积金属溶液,与工件接触并相对运动,溶液中的金属离子在电场的作用下向工件表面迁移,放电后结晶沉积在工件表面上形成镀层,图1。随着时间的延长和通过电量的增加,镀层逐渐增厚,直至要求的厚度,达到技术维护、修理工件和改善金属表面理化性能的目的。镀层的厚度由电源控制,镀层的种类由金属涂镀液来决定,根据需要来选用。

一个完整的涂镀过程,还包括镀前工件表面的电清洗和电活化工序,这些操作一般都使用同一台电源设备和类似的涂镀笔来进行的,但是每个工序使用的溶液和电流方向不同。为了技术规格的一致性,对电源的电流方向作了如下的规定:

涂镀电源配备的输出电缆线中,带插头的电缆线接到电源的“+”接线柱上,该电缆线与涂镀笔连接;带夹头的电缆线接到电源的“-”接线柱上,该电缆线与工件相连接。当电流由涂镀笔(阳极)流向工件(阴极),称正向电流,或称正极性。当电流方向由工件流向阳极,称反向电流,或称反极性。改变电流方向时,不用换接电缆线,只须拨动电源面板上的换向开关。换向开关拨向“+”即为正极性,换向开关拨向“-”即为反极性。

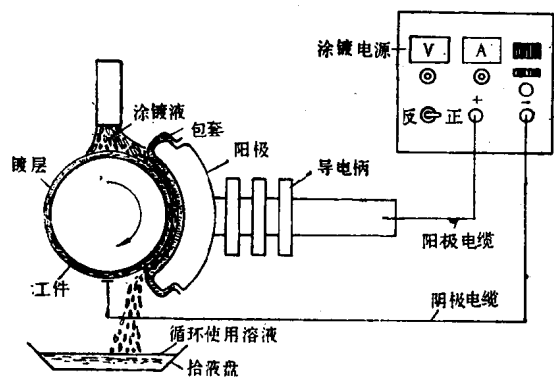


图1 涂镀示意图

金属涂镀与国内通常所说的“刷镀”有以下四个区别:

(1) 研制和使用专用电源,该电源具有各种用途的开关和指示仪表,具有涂层厚度监控装置,工艺过程合理可靠。

(2) 研制成功先进的涂镀工具—涂镀笔,采用不溶性阳极,不靠添加金属和阳极的“牺牲”来补充或调整镀液的成分;对镀液的维护极为简单,允许使用大的电流密度。

(3) 涂镀金属溶液为有机络合物水溶液,金属离子含量高,沉积速度快,性能稳定,可长期存放,使用中不要调整成份。

(4) 采用专门的表面准备溶液,对各种金属零件表面进行电-化学清洗和活化。因此,涂镀层与基本金属结合强度高。

涂镀技术主要用于各种机械零件的技术维护和修理。技术维护就是在已精加工的零件表面,根据使用工况,选用合适的涂镀层代替原有的工件表面,提高使用寿命,节约贵金属或使生产工艺合理化。修理是指对已磨损或加工超差的零件,采用涂镀的方法恢复尺寸,同时使零件获得更好的或者是与原来相当的工作性能。

(二) 金属涂镀技术的特点

涂镀是四种基本的金属维修技术(焊接、喷涂、槽镀、涂镀)之一,概括地讲,涂镀技

术具有以下特点:

1. 涂镀层具有良好的机械性能和物理-化学性能。

涂镀层与基体金属的结合强度比槽镀和喷涂高,在钛、铝、铜、铬及高合金钢和石墨上也具有很好的结合强度。涂镀层具有良好的耐磨性、耐蚀性,并有防渗碳、防氮化性能 and 改善钎焊性能等。

2. 设备轻便简单,不用镀槽,可在现场流动作业,重型零件可不拆卸就地修理。

3. 工艺灵活,操作方便,可沉积有多种用途的合金镀层和组合镀层。

根据需要可以方便地选用涂镀层种类和调整涂镀层硬度。适用于碳钢、铸铁、合金钢、镍和铬、铝、铜及其合金。一般的机械维修人员经过短期训练就可操作。金属涂镀溶液不需要定期化验和调整成分。

4. 维修质量高。

涂镀过程中工件的加热温度 $<70^{\circ}\text{C}$,不会引起变形和金相组织变化。采用安培-小时计监控涂镀层厚度,精度可达 $\pm 10\%$,在要求不高的场合不需要机加工。

5. 生产率高,节约能源。

涂镀速度是一般槽镀的10—15倍,辅助时间少,可现场涂镀,缩短维修周期。涂镀的耗电量小,是电镀和焊接耗电量的几十分之一。用涂镀方法修复损坏的零部件,延长使用寿命,减少配件的生产和储运,节省大量的能源和材料。

6. 操作安全,对环境污染小。

溶液中不含氰化物和剧毒药品。溶液的消耗量很小,不会由于大量废液被排放而造成污染。溶液经 -40°C 冰冻试验,性能稳定,溶液无闪点,储运中无防火要求。工作时无噪音。涂镀操作场所应通风良好。由于与溶液及其气体接触,操作人员应按规定采取劳动保护措施。

(三) 金属涂镀技术的应用范围

这种技术已在飞机、导弹、舰船、机车车辆、汽车、电子、电力、机械、化工、印染、塑料、石油以及文物修理和艺术品装饰等部门都获得了广泛应用。概括地讲,涂镀技术在工业部门的用途有以下十个方面:

(1) 恢复磨损和超差零件的尺寸,使零件具有耐磨性,特别适用于精密结构或一般结构的精密部分。

(2) 对新零件加保护层。用于防磨、防腐蚀和抗高温氧化等场合,使零件具有特殊性能,节约贵重金属。

(3) 大型和精密零件,如曲轴、油缸、柱塞、机体、导杆等局部磨损、擦伤、凹坑、腐蚀的修复。

(4) 改善零件表面的冶金性能。如改善材料的钎焊性,零件局部防渗碳、防氮化和作喷涂层的过渡层等。

(5) 改善轴承和配合面的过盈配合性能。

(6) 印刷线路板的维修和防护。

(7) 电器触点、接头和高压开关的维修和防护。

(8) 模具的修理和防护。

(9) 通常槽镀难于完成的作业:

- ①修复有缺陷的镀件；
- ②工件太大或要求特殊而无法槽镀；
- ③工件难于从机器上拆下来或拆装运输费用昂贵；大型设备的现场涂镀；
- ④对大件只需镀局部或盲孔，或槽镀液的均镀和深镀能力无法达到的狭缝和深孔；
- ⑤用于铝、钛和高合金钢的过渡层，增强槽镀层的结合力；
- ⑥工件浸入镀槽会引起其它部分的损坏或污染槽液。

(10) 使用去金属溶液或活化液，应用电解原理，对金属去毛刺、模具刻字和动平衡去重等。也可用于工件局部阳极化处理和修理阳极化层。

目前，比较经济合理的涂镀层厚度为 ≤ 0.5 毫米，继续提高涂镀厚度，在技术上是完全可能的，但需要采取专门工艺措施。

二、TD型直流涂镀电源

TD型涂镀电源是涂镀工艺的主要设备。TD型电源具有使用可靠、操作方便、精度高等特点，能满足涂镀工艺的要求。

TD型涂镀电源，在国内首先由铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所研制成功，并通过铁道部鉴定。目前电源由无锡太湖电表厂批量生产，供应国内各省市的应用。

电源分主电路和控制电路两部分。主电路提供可以无级调节并可方便地改变输出极性的直流电压和电流。控制电路具有多种指示装置，主要设有监视和控制涂镀层厚度的安培小时计；还有过电流保护装置，当过电流时以毫秒级时间切断主电路，从而保护工件和人身设备安全。

(一) 四种电源的主要技术指标和特点：

目前已研制成功及批量生产的TD型电源有：TD—10，TD—30，TD—60，TD—150四种电源。表1列出了四种电源的主要技术指标。

TD—10电源主要用于电子、仪表及量具的涂镀。

TD—30电源主要用于小件的涂镀，阳极与工件的一次接触面积 ≤ 1 分米²。

TD—60电源主要用于中等尺寸零件的涂镀，阳极与工件表面的一次接触面积 ≤ 2 分米²。

TD—150电源主要用于中大件及大件的局部涂镀，阳极与工件的一次接触面积 ≤ 4 分米²。

为了适应大件的涂镀及特殊的涂镀工艺的需要，已着手研制大型的和其它形式的涂镀电源。

根据原设计要求和这二年的使用情况，认为，该电源具有以下特点：

(1) 采用调压器调压，然后再变压整流。整流采用硅二极管，从而保证输出电压无级调节，在小电流时也具有稳定的直流波形，保证在小电流时也具有稳定的涂镀质量。电流具有大，小两档显示，可以精确控制小电流时的规范参数。

(2) 具有输出极性转换开关，操作方便。设有交流输出接线柱，满足去金属等特殊要

表1 四种涂镀电源主要技术指标

序 号	项 目	TD—10型	TD—30型	TD—60型	TD—150型
1	输 入	单相交流 220 伏 ±10%，50赫	单相交流 220 伏 ±10%，50赫	单相交流 220 伏 ±10%，50赫	交流220伏± 10%，50赫
2	输 出	直流0~20伏，0 ~10安无级调节	直流0~35伏， 电流0~3安，0 ~30安无级调节	直流0~40伏， 电流0~6安，0 ~60安无级调节	直流0~20伏， 0~75安，0~ 150安 无级调节
			交流0~35伏， 0~20安（外接 电流表控制）	交流0~40伏， 0~40安（外接电 流表控制）	
3	涂镀层厚度监 控 装 置 (安培小时计)	机械计数，无设 定，分辨率0.001 安·时，电流> 0.5安计数，电流 >1安计数误差 ≤±10%。	六位荧光数码管 显示，分辨率 0.001安时，电流 >600毫安开始 计数，电流>2 安计数误差≤± 10%。	六位荧光数码管 显示，分辨率 0.001安时，电流 >1安开始计数， 电流<2安计数 误差≤±10%。	机械计数显示或 六位荧光数码管 显示，分辨率 0.01安·时，电流 >2安开始计数， 电流>10安计数 误差≤±10%。
4	环境温度	-10℃~+40℃			
5	快速过载保护	超过额定电流的 10%时动作，切 断主电路时间 0.01秒。不切断 控制电路。	超过额定电流 10%时动作，切 断主电路的时间 接近0.01秒，但 不切断控制电路。	超过额定电流 10%时动作，切 断主电路的时间 接近0.02秒，但 不切断控制电路。	超过额定电流的 10%动作，切断 主电路时间0.035 秒，不切断控制 电路。
6	工作制式	间断：在额定电流下可连续工作二小时。 连续：在额定电流的50%以下可连续工作。			
7	温 升	<75℃			
8	体 积	0.14×0.28 ×0.32(米 ³)	0.43×0.33 ×0.34(米 ³)	0.56×0.56 ×0.86(米 ³)	0.495×0.5 ×0.77(米 ³)
9	重 量	10公斤	32公斤	80公斤	100公斤

求。

(3) 具有安培小时计。它由采样器，线性放大器，V—i转换电路、计数显示、设定控制、声光显示等部分组成。安培小时计的作用是计量涂镀过程中消耗的电量，从而控制涂镀层的厚度。目前使用的安培小时计的计数精度为±10%，所以用其计量和控制的厚度的精度为±10%。

在本电源中规定，1安培小时走1000字（分辨率0.001安培小时），如 TD—10，TD—30，TD—60电源。

将所需电量换算成数字预先储存到设定装置中。在涂镀过程中，随时显示消耗的电量，从而间接指示涂层厚度。达到设定值后，声光显示，表示已达到要求厚度，但并不切断主电

路，操作人员可根据实际测量情况，进行妥善处理。

4. 具有快速切断主电路装置。前已述及，在涂镀时，阳极通过包套与工件接触并相对运动。假如包套被磨破，会造成阳极与工件短路。如果按照一般电气线路的规定切断电路0.5~3秒，将会造成零部件大面积的烧伤。另外，涂镀大部分为手工操作，万一电源一二次间短路，会对操作者带来危害。为保证人身和零部件表面的安全，电源中设置快速过流保护装置。它由采样器、放大器，快速切断电路及执行动作元件等组成。切断主电源的速度为0.01—0.025秒，比一般电气线路中规定的动作速度提高20倍以上，在超过额定电流值10%时动作，快速切断装置只切断主电路，控制线路仍然保留，避免安培小时计计数紊乱。

(二) 涂镀电源的工作原理

现以TD—60涂镀电源为例，对涂镀电源的工作原理作一介绍。

TD—60涂镀电源是目前应用最早最广泛的一种电源，主要用于涂镀中等尺寸的零件，具有使用可靠、操作方便、精度高等特点。图2、图3分别为TD—60电源的外型图及电气原理图。

电源分两大部分：主电路和控制电路。控制电路主要有控制涂镀层厚度的安培小时计和快速过电流保护装置。



图2 TD-60电源外型图

1. 主电路部分

主电路的作用是：输入单相交流220伏的电压，在输出端获得可以无级调节的，并可以方便地改变输出极性的低电压大电流直流电。

为了获得无级可调的输出电流，有多种方案，但从经济、简单可靠等方面考虑，采用了

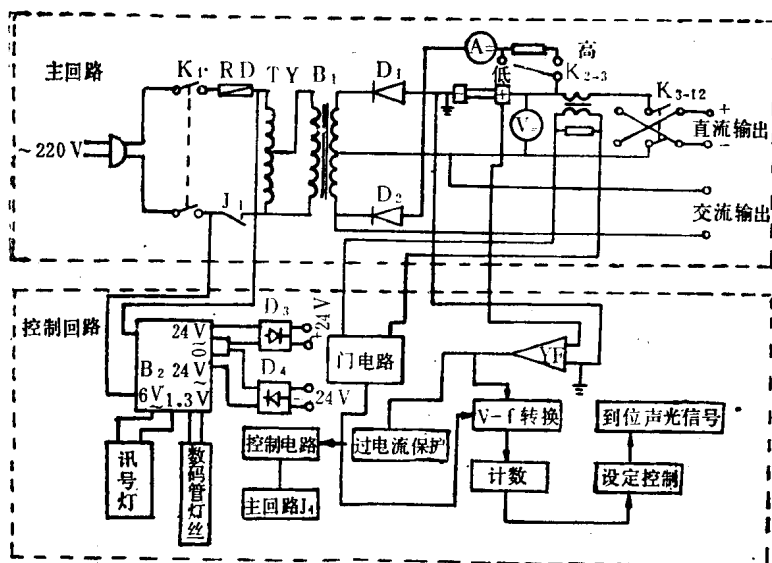


图3 TD-60电源电气原理图

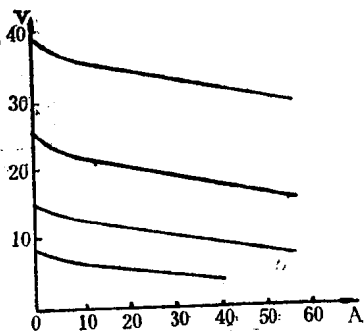


图4 TD-60电源的直流输出特性

典型的单相全波中心抽头整流电路。该电路，主要由单相调压器TY，降压变压器B₁、大功率二极管D₁和D₂等组成。

降压变压器B₁采用CD型铁芯，具有效率高，涡流损耗小，体积小，重量轻等优点。

同一电流表上有大小两挡刻度，双刻度的电流显示，采用变换电流表的内附电阻来获得。转换开关上只流过电表表头上通过的电流，与用传统的两套分流器的办法相比，可采用很小的转换开关，制造和安装都比较方便。

由于本电源采用调压器无级调压，降压变压器降压变换电流，使得电源的输出极性为平硬特性。

图4为TD—60电源的直流输出特性图。

为了使本电源具有去金属、去毛刺等功能，TD—60电源设置了一对交流输出端，输出电压可以由直流电压表近似表示，输出电流需外接交流电流表显示。

2. 安培小时计——厚度设定

安培小时计是监视和控制涂镀层厚度的装置。它通过直接计量涂镀所消耗的电量——安培小时，间接控制涂镀层的厚度。涂镀时消耗的电量与涂镀层厚度的关系为：

$$\delta = \frac{Q}{C \cdot S} \quad (1)$$

式中：

δ ——涂镀层厚度，微米

Q ——涂镀时消耗的电量，安培小时

S ——涂镀面积，分米²

C ——涂镀液的耗电系数，安·时/分米²·微米。

以 $Q = A \cdot t$ 代入(1)式得

$$\delta = A \cdot t / C \cdot S \quad (2)$$

式中 A ——涂镀时的电流，安培(安)

t ——涂镀时间，小时(时)

设计要求安时计的分辨率为0.001, 即消耗1安培小时电量, 计数器走字1000个。若涂镀时安时计总走字数为 Z 个, 则式(2)可写为

$$\delta = Z \times 10^{-3} / C \cdot S \quad (3)$$

从式(3)表明, 当涂镀工件和涂镀溶液确定之后, 涂镀溶液的耗电系数 C , 涂镀面积 S 为常量, 涂镀层的厚度 δ 与安培小时计的走字数 Z 为线性关系。只要控制安时计的走字数 Z 就可控制涂镀层厚度 δ 。

1安培电流1小时计数1000字, 当涂镀电流为 n 安培, 计数器每小时走字数为 $n \times 10^3$ 字, 此时计数器的计数频率为

$$f_n = n \times 10^3 / 3600 = n / 3.6 \quad (4)$$

式中:

f_n ——涂镀电流为 n 安培小时的计数频率

式(4)表明: 安培计在一定的电流下, 有一定的计数频率, 见表2。将这些数字累计起来, 就是走字数 Z 。

表2 涂镀电流与计数器频率的关系

电 流 n (安)	2	3	10	20	30	40	50	60
频 率 f_n	2/3.6	3/3.6	10/3.6	20/3.6	30/3.6	40/3.6	50/3.6	60/3.6
周 期 T_n (秒)	1.8	1.2	0.36	0.18	0.12	0.09	0.072	0.06

式(4)也可以用下面函数式表达

$$f_n = F'(n) = F(V_i) \dots \dots (5)$$

式中

V_i ——电流为 n 安培小时的采样电压

在电路中实现上述电流与频率的转换关系, 通常可用 $V-f$ 转换电路, 也就是以与电流成正比的采样电压 V_i 来代替电流 n 。图5为安培小时计的方框图。

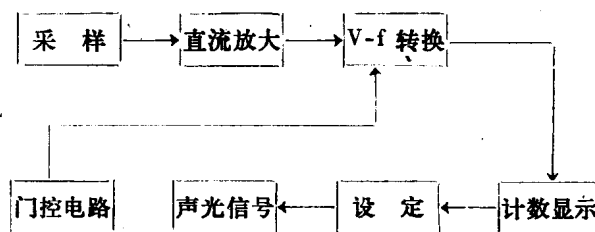


图5 安培小时计方框图

(1) 采样元件在输出电路中采出一个与输出电流 n 成正比的电压信号 V_i 。

$$V_i = R_1 \times n \quad (6)$$

式中:

R_1 ——采样电阻, 取自电流表的分流器

n ——流过采样电阻的输出电流

V_i — R_1 两端的电压信号

为了获得与电流成正比的电压信号, 只需保持采样电阻的稳定。这里的采样电阻为电流表的分流器, 采用温度系数很小的锰铜制成。

(2) 直流放大器的作用是把微弱的直流电压信号 V_i 线性放大, 保证 V — f 转换电路和快速过电流电路的可靠工作。直流放大器的电路见图 6。

电路中的放大器元件 BG_1 采用国产集成电路 F007 (又称 5G24)。F007 集成电路为高灵敏度运算放大器, 开环增益可达 10^5 , 用作线性放大器元件时采用深度负反馈, 使放大器的线性、稳定性和零点漂移等符合设计要求。 R_7 、 C_1 、 CW_1 和 R_8 、 C_2 、 CW_2 构成两组正负简单稳压源, 供给运算放大器的工作电压。 RW_1 为调整电位器, 调整放大器的零点。 R_6 为调整放大器的放大倍数的负反馈电阻, 放大器的放大倍数为 $\beta = -R_6/R_5$ 。

(3) V — f 转换电路是安培小时计的核心。它的作用是将经过放大器放大的直流电压信号转换成与之对应的脉冲频率信号。图 7 为 V — f 转换电路。

根据电路原理得到

$$T_n = \frac{1}{KV_\lambda} \quad (7)$$

$$f_n = \frac{1}{T_n} = KV_\lambda \quad (8)$$

式中 T_n ——电流为 n 安培时, 安时计计数脉冲周期

K —— V — f 转换电路的转换系数

V_λ —— V — f 转换电路的输入信号, 即放大器的输出信号

$$V_\lambda = \beta \cdot V_i$$

式中 β 为放大器的放大倍数

V_i 为电流为 n 安时的采样电压信号

f_n ——电流为 n 安时安时计计数频率

式 (8) 表明 V — f 转换电路的转换输出频率与采样电压成正比。式 (8) 与式 (5) 相符, 可以用图 7 的 V — f 转换电路作为安时计的频率发生电路。

电路中, C_{11} 为 V — f 转换电路的振荡电容, 改变 C_{11} 可以变换 V — f 转换电路的转换频率。 RW_3 为电路转换系数的调整电位器, 改变 RW_3 的值, 可以改变 V — f 转换电路的 f_n — V_λ 曲线的斜率。

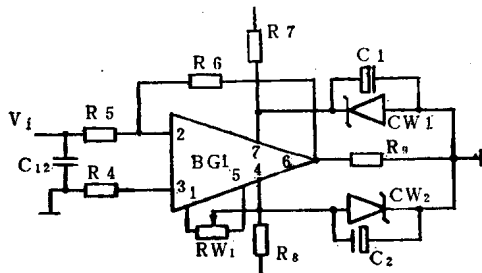


图 6 直流放大电路

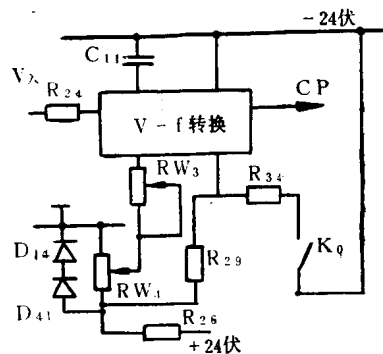


图 7 V — f 转换电路

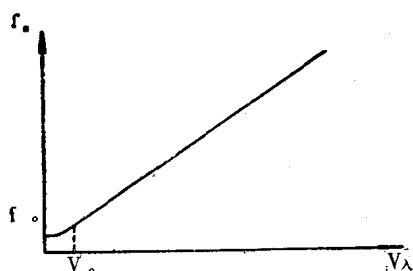


图8 V—f转换电路 f_n — V_{λ} 曲线

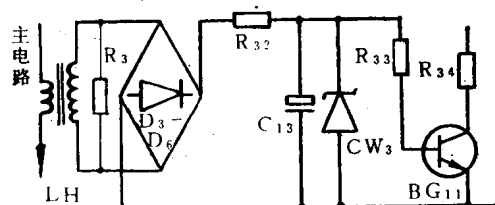


图9 门控电路

图8为V—f转换电路的 f_n — V_{λ} 曲线。从图中可以看出，转换器起始点不从零点开始，而从 V_0 点附近开始转换工作。为了使电路在小信号处亦能正常工作，由 RW_4 、 D_{14} 和 D_{41} 、 R_{26} 组成的电路给转换电路提供一个可调节的初始电压 V_0 ，与电路的输入信号 V_{λ} 一起，作为电路在小信号时的转换电压信号。在小电流时放大器的输出信号很小，因此，在小电流时V—f转换器的转换信号主要由 V_0 决定。 V_0 是一个固定的电压，即是说当转换器的输入电压为零，转换器仍然有一个转换电压 V_0 ，亦就有一个转换频率 f_0 ，称为初始转换频率。调节 RW_4 ，可以调节 f_0 的大小。

本电源转换器的特点是转换频率很低，在误差范围内，最低的频率约为0.5，而 f_0 大约是0.12，曲线的起始端略有弯曲。

(4) 上面述及V—f转换电路中，为了使小信号时也能正常计数，给定了一个初始电压 V_0 ，也给定了一个初始计数频率 f_0 。即当输出电流为零时，计数器仍然以一定的频率 f_0 计数，这样造成了“空走”现象。为了解决“空走”，在电路中设置了门控电路，就如同图7中的开关 K_0 。当输出电流大于0.6安培， K_0 闭合，使 R_{34} 接上负24伏电压，V—f电路正常工作；当输出电流小于0.6安培时， K_0 断开，转换器不工作。

门控电路由直流互感器LH、整流桥 $D_3 \sim D_6$ 、 BG_{11} 等组成，如图9所示。只有当主电路有大于0.6安培电流通过时， BG_{11} 才导通，相当于图7中开关 K_0 闭合。使V—f转换电路正常工作。

(5) 计数显示电路中采用PMOS型集成电路组装计数器。每一块计数器分别由PMOS集成电路5G657计数，5G632译码，并由八个荧光数码管显示。这种计数显示电路具有计数正确，显示清晰和组装方便等特点。

(6) 设定与声光信号。当六位计数板上，荧光数码管显示的数字与六位拨码盘上设定的数字相符时，电路发出一个声光信号——指示灯亮，蜂鸣器呼叫。

设定电路的特点是：非常精确，决不会相差一个字；设定电路与计数显示电路，安培小时计互不干涉，各自独立工作。

(3) 快速过电流保护装置

涂镀工艺对电源提出如下要求、在涂镀笔与工件之间发生短路或输出过电流时，必须迅速切断主电路电源（保留控制电源，保留安培小时计计数器走字数），达到保护工件和人身及设备的安全。要求切断主电路的时间愈短愈好，根据国内元器件的技术指标，目前TD—60电源快速过电流切断时间为0.02秒。快速过电流切断电路见

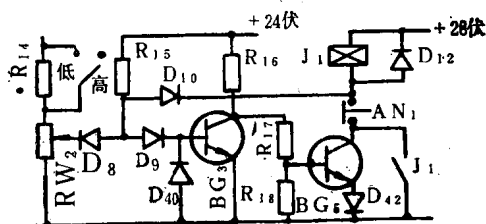


图10 快速过电流切断电路

图10。

在正常工作情况下, BG_3 导通, BG_5 截止, J_1 不动作, 强功率继电器 G 吸合, 主电路接通。当过电流信号到来时, 放大器输出至 R_{14} 端为负电压, 当负电压足够大时, 迫使 BG_3 截止, 使得 BG_5 导通, J_1 吸合, G 释放, 断开主电路。

快速过电流切断电路的关键是: 选择快速动作的执行元件 J_1 和 G , 在电路中加入正反馈元件 D_{10} 。实测表明, 在电路中不能用抗干扰电容, 加一只 0.047 微法的电容, 切断速度延迟 0.05 秒。

(三) TD-60电源的调试、使用及维护

一台组装好的电源不经调试, 是不能使用的; 同样经过组装调试好的电源, 不注意使用及维护, 也不能收到理想的效果。

1. TD-60电源的调试

电源的调试主要是指控制线路中的稳压电源、安培小时计和快速过电流切断电路。主电路部分只要接线正确, 就能正常工作。

(1) 稳压电源的调试。调试稳压电源时, 计数板要全部取下。稳压电源的作用是供给控制线路两组工作电压, 一组是正 24 伏, 另一组是负 24 伏。两组电源的组成是完全相同的, 仅由于输出部分的接法不同而组成正负稳压电源。

稳压电源的交流输入为 24 伏, 经全桥整流后电容滤波, 送到集成稳压块稳压。集成电路稳压块为 $W2-04A$, C_4 和 C_5 为它的防止内部振荡的电容, R_{12} 为稳压输出的调整电阻, R_{11} 为稳压块的过电流调整电阻, R_{10} 为稳压块过电流保护形式的调整电阻。

① 稳压输出的调整, 调整电阻为 R_{12} 。 R_{12} 的范围为 $7.5K \sim 9.1K$ 。若 R_{12} 的值为 $7.5K \sim 9.1K$, 而输出电压大于 25 伏或者小于 10 伏, 说明集成稳压块已经损坏, 应更换新管重新调整。

② 稳压块的过流保护, 调整电阻为 R_{11} 。

$$R_{11} = 0.5 / I_{\max} \quad (9)$$

式 (9) 中, $I_{\max}$ 为选择的过流保护值。 $W2-04A$ 的最大输出电流为 0.4 安培。

③ $W2-04A$ 集成稳压块有二种过流保护形式: 一种是截止型过流保护, 当过电流时, 输出电压截止, 即使输出电流为零电流, 输出电压仍旧为零, 必须关掉控制电源, 再重打开控制电源, 才会恢复稳压性能。另一种是保护型的过流保护, 当过电流时, 输出电压并不截止, 而是输出电压下降, 输出电流亦下降。只要当输出电流恢复正常, 输出电压亦恢复正常。

$$R_{10} = \frac{(V_i - 15) \text{ 伏}}{(2-10) \text{ mA}} \quad (10)$$

式中 V_i —— 稳压电源的输入电压。

当 R_{10} 为 $3K$ 左右时, 过电流保护为截止形; R_{10} 为 $6K$ 左右电阻时, 过电流为保护形。由于各个集成块的性能有差异, R_{10} 的范围亦是不同的。本电源的稳压源为保护形过电流。

(2) 安培小时计的调试。稳压电源调试正常之后, 插上计数板, 就可以着手安培小时计的调试。安培小时计的好坏直接影响涂镀层的检测精度。安培小时计的调试包括直流放大器 BG_1 的调试和 $V-f$ 转换器的调试, 其它部分在元件质量良好及接线正确的情况下, 就能正

常工作。

①直流放大器的调整。V—i转换器及过电流切断电路的工作信号，均是放大器的输出电压，放大器工作性能的好坏，直接影响后二级电路的工作性能。

放大器调整前，先检查放大器的7、4脚的工作电压，应为正负(12—13)伏。调试放大器步骤如下：

A. 正常启动电源，预热15分钟。

B. 把电源的输出电流调到零。

C. 用万用表的直流电压挡，测量放大器的输出端，调节RW₁，使输出电压为零，注意：电表的测量灵敏度应当逐步提高，反复调试。

D. 测试放大器的放大倍数是否为线性。本电源的放大器的放大倍数调整为10倍，调整电阻为R₆。在放大器的线性输入范围内，应当有如下关系式

$$V_{\text{出}} = -10(V_{\text{入}}) \quad (1)$$

式中V_出——放大器的输出

V_入——放大器的输入，采样电压

可以测试几点，若测得的放大器的放大倍数的非线性误差接近正负10%，应更换BG₁重新调试。

②V—i转换器的调试。调试步骤如下：

A. 正常开启电源，预热15分钟。

B. 把电流高低挡开关打到高挡。

C. 把输出端电流调为30安培，用手表或秒表测定，两分钟计数器应走字1000±10%，若计数误差超过±10%，调整RW₃，使计数在要求的精度范围内。

D. 把电流高低挡开关打到低挡，把输出电流调到3安培，应该两分钟计字数100±10%，超过规定误差，调整RW₄。

E. 按C、D两步骤反复调节，直到高低挡计数都达到所要求的精度，并且要检查其它电流值的计数精度，各值都合格则调试即告完毕。

(3) 过电流切断值的调整。过电流切断电路的工作状态都处于开关状态，要求两只管子BG₃、BG₅的放大倍数在40~80之间，两只管子的放大倍数不要相差很大。这样组成的电路不需调整。要求调整的是高低挡过电流值，调试步骤如下：

A. 正常开启电源，预热15分钟。

B. 把高低挡开关K₃打到低挡，调节RW₂，使过电流切断值为6~6.6安培。

C. 把K₃打到高挡，调整R₁₄，使高挡过电流值为60~66安培。

2. 使用说明

为了正确使用本电源装置，必须熟悉和掌握使用方法。

(1) 输出电缆线的接法：根据工艺要求带插头电缆线接电源直流输出端的正极（红接线柱），带夹头的电缆线接电源直流输出端负极（黑接线柱）。

(2) 电源的极性：输出电缆线按上述规定接法，则电流由涂镀笔流向工件，称“正极性”，若工艺操作中要求正负极性时，可通过K₂来转换，而不必更换输出电缆线。

(3) 选择电流高低挡：根据工艺估计，电流大于6安培时用高挡，电流小于6安培用低挡，高低挡转换可用K₃来实现。

(4) 合上电源开关K₁（向上）；此时控制电源接通，指示灯XD₇亮，其它相应的指