

附件 1:

西安理工大学

博士创新基金项目

申 请 书

项目名称: 银基触头材料电气特性及熔焊

机理研究

申请者: 李航宇

导师: 王献辉 教授

学科名称: 材料加工工程

联系电话: 13289336441

起止时间: 2020 年 9 月至 2022 年 8 月

入学年月: 2018 年 9 月

攻读方式: 全日制非定向在读博士

申请日期: 2020 年 9 月 29 日

西安理工大学研究生院制

二〇二〇年九月

项目名称	银基触头材料电气特性及熔焊机理研究					
申请项目类别 (在相应类别上画“√”)	<input checked="" type="checkbox"/> 基础研究 <input type="checkbox"/> 应用研究 <input type="checkbox"/> 开发研究					
所属学科	材料加工工程					
起止时间	2020年9月至2022年8月			申请金额	30000元	
项目申请人	姓名	李航宇	性别	男	出生年月	1991年11月10日
	已获学位及获学位时间	2017年7月 获得硕士学位			专业技术职务	在读博士
	入学时间	2018年9月			攻读方式	全日制非定向在读博士
承担或参加其他科学研究基金项目及研究情况: 作为第一参与人参与国家自然科学基金面上项目“银基触头材料转移和动熔焊行为及其机制研究”(No. 51971173) 博士期间以第一作者已发表国外SCI论文5篇: [1] Hangyu Li, Xianhui Wang, Yong Xi, Ting Zhu, Xiuhua Guo. Effect of Ni addition on the arc-erosion behavior of AgTiB <sub>2</sub> contact material [J]. Vacuum, 2019, 161: 361-370. [2] Hangyu Li, Xianhui Wang, Zhudong Hu, Yanru Qiu. Effect of Ni addition on the arc-erosion behavior of Ag-4wt.%SnO <sub>2</sub> electrical contact material [J]. J. Alloys Compd., 2020, 829: 154487. [3] Hangyu Li, Xianhui Wang, Zhudong Hu, Xiuhua Guo. Investigation on arc behavior of AgNi electrical contact material with three-dimensional network structure [J]. Vacuum, 2020, 175: 109290. [4] Hangyu Li, Xianhui Wang, Zhudong Hu, Yanfeng Liu. Investigation of arc erosion mechanism for tin dioxide-reinforced silver-based electrical contact material under direct current [J]. Journal of Electronic Materials, 2020, 49: 4730-4740. [5] Hangyu Li, Xianhui Wang, Yan Liang, Zhudong Hu, Xiuhua Guo. Fabrication and characterization of Ag-4wt.%TiB <sub>2</sub> -4wt.%Ni contact materials utilizing coarse and ultrafine Ag powders [J]. Vacuum, 2020. <a href="https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109756">https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109756</a>						
项目组主要成员	姓名	性别	年龄	技术职务	主要承担工作任务	本人签字
	李航宇	男	29	在读博士	实验研究、论文撰写、结题报告撰写	
	王献辉	男	53	教授	实验和理论指导	
	费媛	女	24	在读硕士	实验研究、论文撰写	
	李贞	女	27	在读博士	实验研究、论文撰写	
	邱艳茹	女	27	在读博士	实验研究、论文撰写	

## 一、立项依据

### 1、研究项目的国内外概况、科学意义和应用前景：

电接触元件是电气化设备、电器电路中通断控制及负载电流的核心组件，主要承担着接通、断开电路及负载电流的任务，被认为是电器的“心脏”。银基触头材料作为电接触元件的关键材料，其性能的好坏直接影响电器的可靠性、稳定性、精确度和使用寿命[1-4]。随着工业化程度的不断提高，电气系统朝着小型化、大功率、高可靠和长寿命方向发展，对起电连接作用的电接触材料在综合性能上提出了更为严苛的要求。众所周知，触头材料的承载和分断能力与其尺寸正相关，而过大的尺寸显然与设备的小型化相矛盾，因此，仅仅通过优化结构设计已无法满足触头材料的使用要求，必须通过提升触头材料本身的电接触性能以保证设备运行的可靠性和稳定性。由于在电接触过程中出现热、力、电、磁、相变和冶金及其交互作用等一系列复杂的现象，至今对电触头的电气特性和动熔焊行为及其机制还未达成统一的认识，从而制约了新型触头材料的开发和开关电器的发展。因此，有必要深入研究触头材料的电气特性，阐明动熔焊机制，为高可靠长寿命触头材料的设计和合理使用提供理论依据，具有重要的学术意义和工程价值。

触头材料电气特性包括电接触过程中电弧特性、形貌演化和材料转移等，而触头材料失效则通常由动熔焊引起。熔焊的发生是由于触头表面发生了某些物理、化学和冶金学变化，以致本身抗熔焊性降低；或触头表面的变化引起燃弧能量剧烈增加，熔池加大而导致熔焊。因此，熔焊的发生与电接触过程中电弧特性、形貌演化和材料转移等电气特性密切相关。然而，目前关于材料内禀特性和电弧特性如何影响材料转移特性尚不清楚，而材料转移又如何影响熔焊也缺乏相关研究。材料转移，即阴极材料转移至阳极，或阳极材料转移至阴极，是在直流负载闭合分断过程中，电弧中的带电粒子产生与极性有关的移动造成的。材料转移导致电极材料持续耗损，最终可能导致电极间距过小引起无法分断电流，或电极间距过大引起无法接通电流的现象。尽管目前对影响触头材料转移的因素取得了一些共识，但对材料转移机制尚存在很大争议。Chen 等人[5]提出的粒子溅射与沉积模型，从微观粒子运动的角度对触头分断过程中材料转移现象进行了解释，金属离子造成材料从阳极向阴极转移，而电子导致材料从阴极向阳极转移，因此最终材料转移方向取决于电接触过程中金属离子还是气体离子起主导电弧燃烧的作用。但是，Swingler 等人[6]在后续的分断电接触实验中并未发现 Chen 等人[5]提出的主导电弧的气体离子。Jemaa 等人[7]则认为材料转移方向与电弧长度密切相关，长电弧更容易使金属离子和气体离子获得更大的动能，轰击阴极造成溅射，造成材料从阴极向阳极的转移。尽管材料转移机理有了一定认识，但是以往工作并未涉及材料微结构对材料转移行为的影响规律。申请人前期研究表明，即使同种材料由于第二相粒度大小的不同也导致了相反的材料转移方式以及转移质量的差异[8] (*Vacuum*, 2017, 135: 55-65)。以上现象说明在不同电压下燃弧能量和材料转移行为均存在很大差异，并且在同一电流电压下不同种类

的触头材料因其内禀特性（导电率、热导率、熔点、熔化热、汽化热、比热、材料中组元的分解温度和分解热、逸出功、电离能、内聚能、硬度、强度）不同也呈现出不同的材料转移行为，而这些现象无法用现有的理论进行合理的解释。由于在闭合分断（闭合和分断时均有负载）电接触模式下闭合电弧和分断电弧交替发生，与仅闭合（分断时无负载）和仅分断（闭合时无负载）电接触模式相比，势必会产生截然不同的材料转移行为，而目前关于闭合电弧和分断电弧如何共同影响材料转移的认识还很缺乏，因此有必要深入研究闭合分断模式下的材料转移行为，深刻理解影响材料转移的物理本质。

迄今为止对动熔焊现象的认识还很不清楚，对其产生机制也存在很大争议。以往普遍认为动熔焊发生在闭合过程中，对其产生机制传统观点认为在闭合过程中触头产生的弹跳加剧了短弧和熔桥的交替发生，最终熔桥凝固导致了动熔焊的产生[9-11]。然而，近年来一些学者发现触头在分断过程中也产生了动熔焊[12-15]。Huang 等人[13]认为分断熔焊的产生是由于分断过程中的燃弧造成强烈的材料转移在触头间形成的金属熔桥冷却凝固导致的缘故。但是，该观点对在金属收缩熔桥分断过程中大电流依然存在情形下收缩熔桥如何能够进行冷却凝固未能给予解释。目前大多数学者认为在电接触过程中偶发的具有较长燃弧时间的电弧导致动熔焊的产生，而赵来军和李震彪等人[12, 14, 16, 17]发现较短的燃弧时间也有可能引起动熔焊。此外，以往对 AgSnO<sub>2</sub> 触头材料具有良好的抗熔焊性普遍认可的观点是由于在服役过程中 SnO<sub>2</sub> 和 Ag 差的润湿性导致 SnO<sub>2</sub> 在触头表面的聚集，降低了熔焊区的熔焊强度。虽然该观点能够很好地解释小功率情形下 AgSnO<sub>2</sub> 触头材料的熔焊行为，但是 Swingler 等人[6]和 Meng 等人[18]认为大功率情况下 SnO<sub>2</sub> 的蒸发和分解造成触点表面富银区域的形成导致了抗熔焊性的降低。因此，有必要深入研究动熔焊行为。

以往的工作基本上是基于在特定电压下研究电流对触头材料转移的影响规律，然而该规律未必适用其他电压情形。这一推断源自于申请人前期的实验结果，即在电流恒定时，材料转移方式随电压的增加发生了两次逆转，说明电压等级变化时，电流对材料转移的影响规律也相应发生改变。此外，鉴于以往关于材料转移和熔焊行为的认知大多是基于直流阻性负载条件下的研究结果[14, 19, 20]，而对直流感性负载条件下材料转移和熔焊行为的研究还鲜见报导。然而，在实际服役过程中不可避免地存在感性负载。事实上，电感的存在使触头在分断瞬间产生较大的自感电动势，此时触头遭受不均衡的闭合燃弧和分断燃弧烧蚀，势必会导致与直流阻性负载条件下截然不同的材料转移和动熔焊行为。因此，研究不同负载模式（阻性、感性），电接触模式（仅闭合、仅分断、闭合分断）和电流电压下电气特性和动熔焊行为，阐明在不同负载条件、电接触模式和电流电压下银基触头材料电气特性以及动熔焊的共性特征和差异，揭示动熔焊机理，成为本项目拟要解决的第一个关键科学问题。

此外，鉴于目前对于材料内禀特性对电气特性和动熔焊行为之间的认识尚不清楚，而申请人前期工作发现与 AgTiB<sub>2</sub> 触头材料相比，AgSnO<sub>2</sub> 触头材料具有更高的平均电弧

功率[21]，表明触头材料内禀特性显著影响燃弧参数（燃弧时间、燃弧能量）。由于燃弧参数的差异，必然导致不同的材料转移和熔焊行为。随着电接触次数的增加，触头表面形貌和化学成分不断发生变化，进而影响下一次接触的电弧参数。然而，目前对于燃弧参数（燃弧时间、燃弧能量）---形貌演化---表面劣化---材料转移---动熔焊行为关系的认识还很不清楚。因此，深入系统研究具有不同内禀特性的银基触头材料在不同电气参数下（电流、电压）的燃弧时间、燃弧能量、表面形貌演化、材料转移、熔焊发生的时刻、熔焊力和熔焊发生的频率，阐明材料内禀特性对材料电气特性和熔焊行为的影响机制，建立材料内禀特性与电气特性和动熔焊之间的内在关联是本项目拟要解决的第二个关键科学问题。

本项目通过系统深入地研究材料转移和动熔焊及其物理本质，研究结果能使人们从更深的层次认识和理解触头材料电气特性和动熔焊行为及其机制，获得低压电触头材料内禀特性与电气性能之间的关联，可丰富电接触理论，为高可靠长寿命触头材料的设计和服役参数的制定提供科学依据，具有重要的学术意义和工程价值。

## 参考文献

- [1] D. Gonzalez, M. Hopfeld, F. Berger, P. Schaaf. Investigation on contact resistance behavior of switching contacts using a newly developed model switch [J]. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 2018, 8(6): 939-949.
- [2] N. Ray, B. Kempf, T. Mütsel, L. Froyen, K. Vanmeensel, J. Vleugels. Effect of WC particle size and Ag volume fraction on electrical contact resistance and thermal conductivity of Ag-WC contact materials [J]. *Materials & Design*, 2015, 85: 412-422.
- [3] S. Biyik, F. Arslan, M. Aydin. Arc-erosion behavior of boric oxide-reinforced silver based electrical contact materials [J]. *Journal of Electronic Materials*, 2015, 44(1): 457-466.
- [4] G.J. Li, X.Q. Fang, W.J. Feng, J.X. Liu. In situ formation and doping of AgSnO<sub>2</sub> electrical contact materials [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2017, 716: 106-111.
- [5] Z.K. Chen, S. Koichiro. Effect of arc behavior on material transfer: A Review [J]. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology A*, 1998, 21:310-322.
- [6] J. Swingler, A. Sumption. Arc erosion of AgSnO<sub>2</sub> electrical contacts at different stages of a break operation [J]. *Rare Metals*, 2010, 29(3): 248-254.
- [7] N.B. Jemaa, L. Morin, S. Benhenda, L. Nedelec, Anodic to cathodic arc transition according to break arc lengthening. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology A*, 1998, 21(4): 599-603.
- [8] H.Y. Li, X.H. Wang, Y.F. Liu, X.H. Guo. Effect of strengthening phase on material transfer behavior of Ag-based contact materials under different voltages [J]. *Vacuum*, 2017, 135:

55-65.

- [9] W.B. Ren, Y. He, J.B. Jin, S.D. Man. Investigations of the contact bounce behaviors and relative dynamic welding phenomena for electromechanical relay [J]. *Review of Scientific Instruments*, 2016, 87(6): 065111-065119.
- [10] Z.K. Chen, G.J. Witter. Electrical contacts for automotive applications: A Review [J]. *IEICE Transactions on Electronics*, 2004, E87C(8): 1248-1254.
- [11] T. Mützel, M. Bender, R. Niederreuther. The effect of material composition on dynamic welding of electrical contacts [C]. *Proceeding of IEEE 59th Holm Conference on Electrical Contacts*, 2013, pp 7-11.
- [12] L.J. Zhao, Z.B. Li, H. Zhang, M. Hasegawa. Random occurrence of contact welding in electrical endurance tests [J]. *IEICE Transactions on Electronics*, 2011, E94C(9): 1362-1368.
- [13] J. Huang, Z.B. Li. A review on welding in make and break operation of electrical contacts [C], *3rd International Conference on Electric Power Equipment-Switching Technology*, Busan, Korea, 2015, pp 1-5.
- [14] Q. Wang, C. Liu, X.X. Wu, Z.B. Li, D. Liu, J.Y. Liu, X.C. Yang. Welding behavior in making and breaking operations of electrical contacts [C]. *Proceedings of 27th International Conference on Electrical Contacts*, 2014, Dresden, pp 79-84.
- [15] X.C. Yang, J.Y. Liu, Q. Wang, Z.B. Li, B.B. Cai, D.J. Wang. Welding in separation of electrical contacts [J]. *IEICE Technical Report. EMD*, 2014, 114(342): 25-30.
- [16] L.J. Zhao, Z.B. Li, H.S. Zhang. The randomness of contact welding occurrence in the electrical endurance test [J]. *IEICE technical report*, 2010, 110(270): 23-26.
- [17] X.C. Yang, J. Huang, Z.B. Li, J.Y. Liu, Q. Wang. The preceding voltage pulse and separation welding mechanism of electrical contacts [J]. *IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology*, 2016, 6(6): 846-853.
- [18] F.B. Meng, J.G. Lu, Y.Q. Zhu, N.Y. Lu, Z.C. Chen, Q.T. Huang. Failure characteristics of Ag-SnO<sub>2</sub> contact material in AC level [J]. *Rare Metals*, 2008, 27(1): 18-21.
- [19] S. Biyik, M. Aydin. Investigation of the effect of different current loads on the arc-erosion performance of electrical contacts [J]. *Acta Physica Polonica A*, 2016, 129(4): 656-660.
- [20] J.X. Chen, F. Yang, K.Y. Luo, M.L. Zhu, Y.Wu, M.Z. Rong. Experimental investigation on the electrical contact behavior of rolling contact connector [J]. *Review of Scientific Instruments*, 2015, 86(12): 1251101-1251109.
- [21] H.Y. Li, X.H. Wang, Z.D. Hu, Y.F. Liu. Investigation of arc erosion mechanism for tin dioxide-reinforced silver-based electrical contact material under direct current [J]. *Journal of Electronic Materials*, 2020, 49 (8): 4730-4740.

## 2、主要研究内容:

### (1) 具有不同内禀特性的银基触头材料电气特性研究

在不同电接触次数下,对具有不同内禀特性  $\text{AgSnO}_2$ ,  $\text{AgTiB}_2$ ,  $\text{AgSnO}_2\text{Ni}$ ,  $\text{AgTiB}_2\text{Ni}$  和  $\text{AgNi}$  的银基触头材料的形貌演化、成分分布、电弧特性和材料转移行为进行研究,初步揭示不同银基触头材料的电气特性。

### (2) 不同成分配比的银基触头材料电气特性研究

通过研究  $\text{Ag-}x\text{wt.\%SnO}_2\text{-}y\text{wt.\%Ni}$  和  $\text{Ag-}x\text{wt.\%TiB}_2\text{-}y\text{wt.\%Ni}$  触头材料的电气特性,获得形貌演化和电弧特性随成分配比的演变规律,从而进一步揭示材料特性对电气行为的影响机制。

### (3) 不同微结构银基触头材料电气特性研究

鉴于粉末冶金法易于实现复合材料组织调控的优势,通过采用不同粒度和形貌的基体和增强相颗粒,制备具有不同微结构的银基复合材料,对具有不同微结构的银基复合材料进行电接触实验,建立银基触头材料微结构与电气特性之间的内在关联,阐明微结构对电气特性的影响机制。

### (4) 不同负载和电接触模式下银基触头材料电气特性和动熔焊行为研究

根据上述研究获得最优成分配比,在不同负载(电压、电流、感性、阻性)和电接触模式(仅闭合、仅分断)下研究银基触头材料电气特性和动熔焊行为,并结合每种负载和电接触模式的特点,以及材料电接触行为对负载和电接触模式变化的响应进行分析,阐明不同负载和电接触模式下电气特性和动熔焊行为的共同特性与差异,揭示银基触头材料的熔焊机理。

## 3、研究特色和创新点:

### (1) 通过在不同负载条件、电接触模式和接触次数下研究银基触头材料转移和动熔焊行为的共同特性与差异,阐明触头电气特性和动熔焊机理

目前对银基触头材料电气特性缺乏系统的对比研究。本课题通过在直流阻性负载和感性负载条件下采用仅闭合(分断时无负载)、仅分断(闭合时无负载)和闭合分断(闭合和分断时均有负载)电接触模式和接触次数下进行形貌演化、成分分布、电弧特性、材料转移和熔焊行为的对比研究,阐明不同情形下电气特性和熔焊行为的共性特征和差异,有助于揭示触头材料电气特性和动熔焊机理,这是本项目研究的创新之处。

### (2) 通过对比研究具有不同内禀特性、微结构和成分配比银基触头材料电气特性的共同特性与差异,揭示材料特性影响电气特性和熔焊行为的物理本质

目前对银基触头材料电弧侵蚀的研究大都集中在对制备工艺和添加剂对材料电弧侵蚀行为的研究,缺乏不同触头材料横向之间,以及不同材料配比和微结构之间电接触行为的系统研究。本课题通过对具有不同内禀特性、微结构和成分配比银基触头材料电气特性和熔焊行为进行对比研究,分析电弧特性对材料微结构和成分配比变化的响应,结合理论分析,有助于揭示电气和熔焊行为的物理本质,这是本项目研究的创新之处。

## 二、研究方法和技术路线

### 1、拟采取的研究方法和技术路线:

#### 研究方法

##### (1) 材料制备及表征

原材料选用纯度大于 99.9% 的银粉（粒度 72 $\mu\text{m}$ 、800nm、200nm）、纯度大于 99.7% 的 TiB<sub>2</sub> 粉（粒度 1 $\mu\text{m}$ 、500nm、50nm）、纯度大于 99.7% 的 SnO<sub>2</sub> 粉（粒度 1 $\mu\text{m}$ 、500nm、50nm）和纯度大于 99.9% 的镍粉（粒度 1 $\mu\text{m}$ 、500nm、50nm）。拟采用粉末冶金法制备不同成分配比的 AgTiB<sub>2</sub>、AgTiB<sub>2</sub>Ni、AgSnO<sub>2</sub>、AgSnO<sub>2</sub>Ni 和 AgNi 触头材料。首先把原始粉末在无水乙醇中通过超声振荡加搅拌进行预分散，随后在 KQM-YB/B 型行星式球磨机上进行混粉；最后将混合均匀的复合粉末装入 Φ15mm×40mm 石墨模具中并在 LABOX-325S 放电等离子烧结炉上进行烧结，温度均为 750°C，保温 10min。采用扫描电子显微镜、透射电子显微镜、X-射线衍射仪和能谱仪对材料组织和成分进行表征；采用涡流电导仪、激光导热仪、显微维氏硬度计和电子拉伸机分别测量电导率、导热率、硬度和抗拉强度。

##### (2) 电接触实验

将烧结试样通过线切割加工成 Φ3.8×8mm 动静触头试样，其中动触头接触表面为 R5 的球形面，而静触头接表为平面，动触头和静分别作为阳极和阴极。分别在直流阻性和感性负载条件下采用仅闭合、仅分断和闭合分断电接触模式对三种系列触头材料在 JF04D 电接触测试系统上进行不同次数（1 次、5 次、500 次、10000 次）的电接触实验。燃弧电压-燃弧电流波形由测试系统附带的示波器记录；燃弧时间和燃弧能量数据可由电接触测试系统通过软件积分计算自动记录，熔焊力和接触压力由力学传感器记录，实验记录的数据可通过系统配套的软件直接输出。利用 FA1104J 型电子天平分别测量电接触实验前后阳极和阴极质量变化。

##### (3) 侵蚀形貌与微区化学成分表征

采用扫描电子显微镜、扫描探针显微镜和共聚焦激光扫描显微镜对阴阳极触头表面形貌进行表征，利用 X 射线能谱仪对触头表面成分及分布进行测量。为了进一步分析侵蚀区域深度及其分布，对侵蚀区域纵截面的组织形貌进行表征，方法如下：将试样通过镶嵌方式固定，然后通过机械磨制的方式沿纵向剖开，表征纵截面的组织形貌。

##### (4) 数据处理

实验获得的燃弧时间和能量数据分别进行频率分布处理、和累积分布处理，并求取样本整体的平均值及标准差；对每 100 次电接触实验的燃弧时间和能量数据求取平均值及标准差，并绘制平均值及标准差随电接触次数的变化；结合对形貌演化的研究结果，分析触头表面形貌和成分分布对电弧参数的影响规律。另外，通过分析具有不同内禀特

性的触头材料燃弧时间和燃弧能量分布的异同，探究材料特性引起电弧参数差异的原因，建立材料特性与电弧参数之间的内在关联。另外，通过测量的质量变化计算质量净损失，并通过计算触头材料燃弧能量总和，计算单位燃弧能量造成质量损失的大小，评估触头材料的抗侵蚀能力。

## 技术路线

技术路线如图 1 所示：

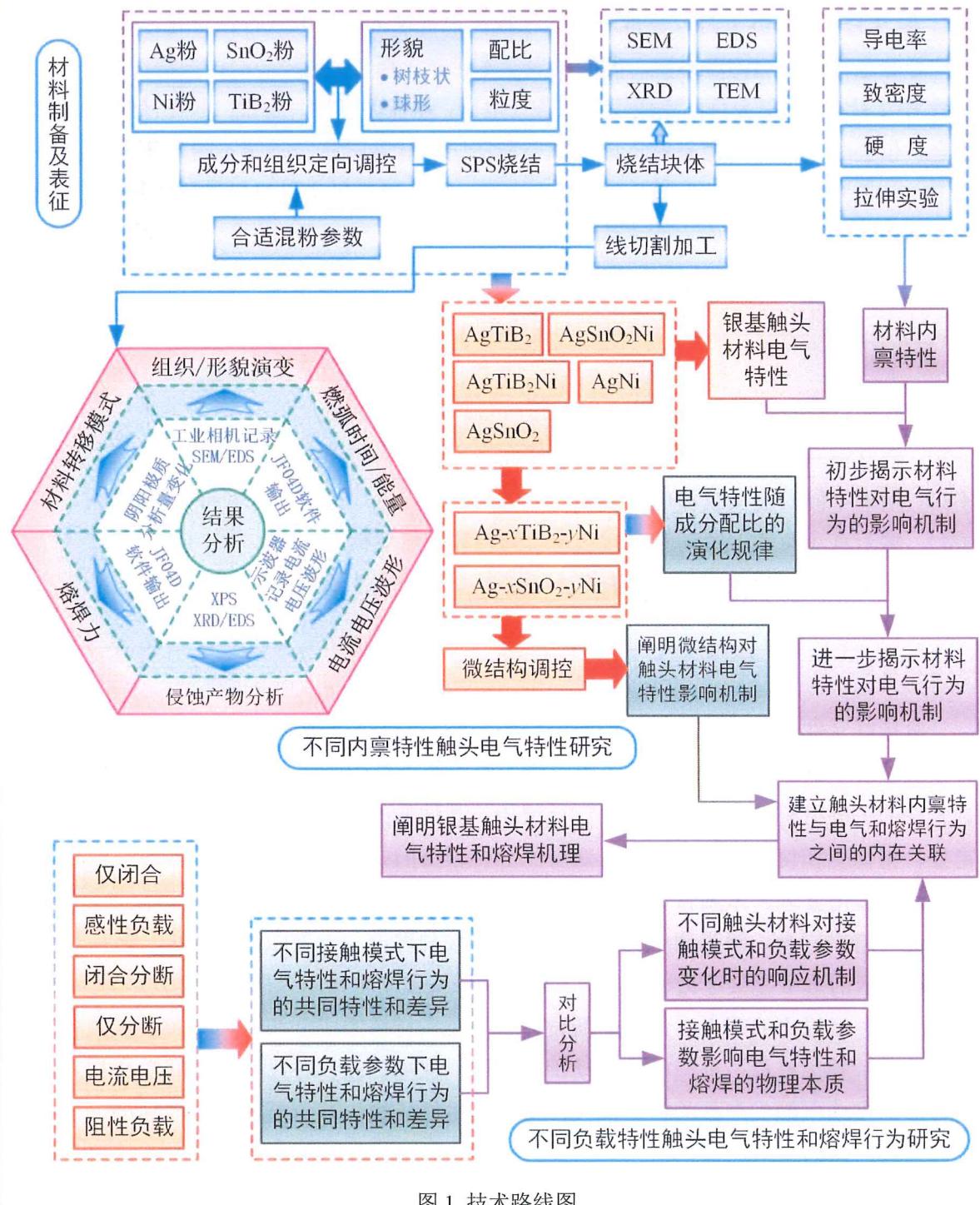


图 1 技术路线图

2、研究工作进度安排:

**2020年9月-2021年1月:**完成在不同电接触次数下对具有不同内禀特性 $\text{AgSnO}_2$ ,  $\text{AgTiB}_2$ ,  $\text{AgSnO}_2\text{Ni}$ ,  $\text{AgTiB}_2\text{Ni}$ 和 $\text{AgNi}$ 的银基触头材料的形貌演化、成分分布、电弧特性和材料转移行为研究,初步揭示不同银基触头材料的电气特性。期间发表学术论文1篇;

**2021年2月-2021年8月:**完成不同成分配比的 $\text{Ag-xwt.\%SnO}_2\text{-ywt.\%Ni}$ 和 $\text{Ag-xwt.\%TiB}_2\text{-ywt.\%Ni}$ 触头材料的电接触行为,获得形貌演化和电弧特性随成分配比的演变规律,进一步揭示材料特性对电气行为的影响机制。期间发表学术论文1篇;

**2021年9月-2022年1月:**完成不同微结构的银基触头材料电气特性研究,揭示材料微结构影响电气特性的物理本质。期间发表学术论文1篇。

**2022年2月-2022年8月:**完成不同负载(电压、电流、感性、阻性)和电接触模式(仅闭合、仅分断)下研究银基触头电气特性和动熔焊行为研究,阐明不同负载和电接触模式下电气特性和动熔焊行为的共同特性与差异,揭示银基触头材料电气特性和熔焊机理。撰写结题报告。

### 三、预期成果及应用前景

1、预期成果形式与数量:

- (1) 阐明材料特性影响银基触头材料电气特性的物理本质;
- (2) 建立银基触头材料微结构与电气特性及熔焊行为的内在关联;
- (3) 明晰不同直流负载和电接触模式下电气特性与熔焊行为的共同特性与差异;
- (4) 揭示直流负载下银基触头材料电气特性和动熔焊机制;
- (5) 在国外知名学术期刊上发表高水平SCI学术论文3篇以上。

2、应用前景

电接触元件是电气化设备、电器电路中通断控制及负载电流的核心组件,主要承担着接通、断开电路及负载电流的任务,被认为是电器的“心脏”。银基触头材料作为电接触元件的关键材料,在工业中得到广泛应用,其性能的好坏直接影响电器的可靠性、稳定性、精确度和使用寿命。然而,随着工业化程度的不断提高,触头材料的性能已逐渐无法满足使用要求。本项目通过研究不同银基触头材料在不同负载和电接触模式下的电气特性和熔焊行为,阐明动熔焊机制,丰富电接触理论。一方面,可为银基触头材料工况服役参数的选取提供理论依据,最大化保障触头使用寿命以及服役可靠性。另一方面,可依据本项目提出的观点,通过重新设计银基触头材料的成分和微结构,开发高可靠、长寿命新型触头材料,不但能够推动工业发展,保障工业设备运行的可靠性和稳定性,而且能够推动电触头产品的更新换代,提升国内低压触头行业整体的性能标准。因此,选题具有广阔的应用前景。

#### 四、经费预算

1. 项目经费预算			
序号	支出科目	金额(元)	预算依据及理由
1	Ag 粉 10μm/35μm/500nm	14000	制备所需原材料, 不同粒度用于调控材料微结构
2	TiB <sub>2</sub> 粉 50nm/500nm/1μm	2000	制备所需原材料, 不同粒度用于调控材料微结构
3	SnO <sub>2</sub> 粉 50nm/500nm/1μm	1000	制备所需原材料, 不同粒度用于调控材料微结构
4	Ni 粉 800nm/5μm/20μm	1000	制备所需原材料, 不同粒度用于调控材料微结构
5	其他实验耗材	2000	酒精、玛瑙磨球、球磨罐、石墨模具、砂纸等
6	扫描电子显微镜	2000	用于材料表面组织、形貌和化学成分表征分析
7	透射电子显微镜	2000	用于材料组织表征
8	X 射线衍射仪	1000	用于材料相组成分析表征
9	激光共聚焦显微镜	1000	用于侵蚀形貌轮廓表征分析
10	原子探针显微镜	2000	用于侵蚀表面元素分布表征
11	线切割加工费	1500	用于电接触试样及拉伸试样加工
12	力学性能测试	500	用于试样力学性能测试
合计		30000 元	

五、指导教师意见:  
(对项目可行性及拟取得成果提出明确意见)

该项目针对银基触头材料转移和动熔焊机制认识尚不清楚的研究现状,通过对不同内禀特性的银基触头材料的电气特性进行系统的研究。项目立项依据充分,研究目标明确,创新性强。研究方案清晰合理。通过项目的资助和研究的开展,可达到预期目标。同意推荐优先资助。

指导教师签字:   
2020年9月29日

六、同行专家推荐意见：  
(另附)

另附同行推荐意见

七、学院学位委员会评审意见：

主席签字:



年 月 日

八、研究生院意见：

签章:

年 月 日