

基于 TRIZ 理论的微欧计创新设计

薛巨峰¹, 徐波¹, 鲁志军²

(1.东北林业大学, 哈尔滨 150040; 2.黑龙江省计量检定测试院, 哈尔滨 150036)

摘要: **目的** 从微欧计的结构和工作原理出发, 采用先进的 TRIZ 创新方法理论, 对现有的微欧计进行创新设计, 达到提高精度和自动化程度、降低控制系统的复杂性的目的。**方法** 采用 TRIZ 工具的技术矛盾工具, 通过查找矛盾矩阵表和应用发明原理解决测量控制方案复杂的技术矛盾。采用物场分析的工具, 建立物场模型, 找到对应的标准解法, 得出自动化程度不高的解决方案。**结果** 通过 TRIZ 理论的技术矛盾和物场分析理论, 实现了微欧计自动量程切换且保证相对误差在 $\pm 0.1\%$ 读数 ± 5 个字的标准。**结论** 利用 TRIZ 理论的矛盾分析理论和物场分析理论能找到产品创新设计方案, 使微欧计精度更高, 控制系统更简单, 制作成本更低, 自动化程度更高。

关键词: TRIZ; 微欧计; 测量方案; 技术矛盾; 自动量程切换; 物场分析; 创新设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)20-0174-05

Innovative Design for Micro Ohm Meter Based on TRIZ

XUE Ju-feng¹, XU Bo¹, LU Zhi-jun²

(1.Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

2.Heilongjiang Provincial Institute of Measurement and Verification, Harbin 150036, China)

ABSTRACT: Starting from the structure and working principle of micro ohmmeter, advanced methods of TRIZ innovation theory are used to make innovation design for the existing micro ohm meter, to improve the precision and degree of automation and reduce the complexity of control system. TRIZ tools of the technical contradiction tool are used through the search for the contradiction matrix table and the application of the principle of invention to solve the measurement and control solutions of complex technical contradictions. By means of the analysis of the material field, the model of the object field model is established, the corresponding standard solution is found, and the solution of the low degree of automation is obtained. By using theory of technical contradiction and material field model analysis, micro ohm meter further automatic range switching is realized to meet the standard of relative error between $\pm 0.1\%$ and ± 5 numbers. Using theory of technical contradiction and material field model analysis can find product innovation design, further improve accuracy, simply control system, lower product cost and increase automation.

KEY WORDS: TRIZ; micro ohm meter; measurement scheme; technical contradiction; automatic range switching; material field analysis; innovative design

目前随着微电子的发展, 在许多工程环境下的小电阻对系统的影响已经不能轻易忽略。普通数字万用表的测量小电阻时量程和精度都达不到要求, 引起测量数据与理论值之间误差较大, 从而影响测试效果。在工作中常用电桥进行对电阻进行精确测量, 但一般

电桥操作手续较复杂且被测电阻阻值不能直接读出, 需要经过复杂计算, 导致后续处理数据的嵌入式系统复杂, 且需要大量的高精度、低噪声芯片和电阻制作成本高。市场上虽有此类型数字微欧计(又称数字电桥), 但其售价很高。同时, 大多数微欧计需要手动

收稿日期: 2017-07-01

作者简介: 薛巨峰(1964—), 男, 黑龙江人, 博士生, 东北林业大学副教授, 主要从事自动控制技术、加工过程自动化技术方面的研究。

通讯作者: 徐波(1992—), 男, 江苏人, 东北林业大学硕士生, 主攻模式识别与智能系统。

调配测量挡位，自动化程度不高，因此，为了解决上述两个问题，应设计一种新型数字微欧计。

1 TRIZ 理论

TRIZ 是发明问题解决理论，对应俄文的英语拼法的首字母缩写^[1]。该理论由苏联发明家阿奇舒勒等人在 1946 年后的 60 多年里总结出的技术发转进化所遵循的趋势规律，解决各种矛盾的创新原理和法则^[1-2]。其核心思想是：发明问题及其解的重复出现；技术进化模式的重复出现；发明经常采用不同领域中存在的效应^[2-3]，其理论构成包含基本概念、问题分析工具、问题求解工具、解题流程等理论，主要工具体系有技术矛盾及矛盾矩阵，创新原理^[4]，物理矛盾及分离方法，物场模型及标准解法，技术进化模式和路线，产品成熟度预测，方案评价体系等^[5]。

TRIZ 解决问题的一般流程，如下：由一个特定问题，确定研究方向，定义建立系统；问题一般性处理建立 TRIZ 问题的模型^[6]，此类模型有技术矛盾、物理矛盾模型、物质-场模型等；找到解决方案模型，如发明原理、分离原理、76 个标准解等；通过方案验证、创新概念验证、解决此类问题，映射出具有创新构想、创意的特定解^[2, 7]。

2 TRIZ 理论的应用

2.1 问题描述

市面上大多数高精度数字微欧计的测量原理采用数字平衡电桥法。电桥法的优点是测量精度高，广泛应用于微小电阻的测量。同时缺点明显，采用电桥方法时要用很多操作需要手动交换电阻比率臂操作、对组件选取精度要求非常高，同时需要通过数字电位器来改变需要的电阻参数，虽然能达到数控的目的，但数字电位器的每一级步进电阻比较大调节困难。计算过程要开平方，对单片机性能要求高。

此外在微小电阻的测量过程中，由于不像普通电阻有标称值，往往不知道电阻值的大致取值范围。市面上的微欧计存在着虽然有着不同的挡位，但需要手动调节机械挡位，见图 1。在各个挡位预估阻值的过程比较麻烦需要多次试错，自动化程度不高。

2.2 微欧计系统的技术矛盾的构建和解决

技术矛盾是指一个作用同时导致有用及有害两种结果，也可指有用作用的引入或有害效应的消除导致一个或者几个子系统或者系统变换。技术矛盾表现为系统中两个参数之间的矛盾^[8]。对于传统微欧计改善，创新点之一就是技术矛盾的解决。

由问题描述可知，为了精确测量最直接的办法是采用电桥法，但这导致单片机控制系统设计变得复



图 1 传统数字微欧计
Fig.1 Traditional digital micro ohm meter

杂。结合上述技术矛盾的解决步骤，可以将具体的矛盾点转换成 3 个通用的工程参数，工程参数 28 测量的准确性、36 设计的复杂性和参数 37 控制的复杂性。3 个工程参数可以构建两对技术矛盾：

技术矛盾 1：参数 28 测量的精确度相对于参数 36 设计的复杂性矛盾。技术矛盾 2 参数 28 测量的精确度相对于参数 37 控制和测量的复杂性矛盾。根据两对技术矛盾解决的一般办法，查找通用的矛盾矩阵得对应的发明原理见表 1。

表 1 解决测量方案的矛盾矩阵
Tab.1 Contradiction matrix of solving measurement plan

改善的参数	恶化的参数	
	36 设计的复杂性	37 控制和测量的复杂性
28 测量的精确度	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28

对所获得的发明原理逐一提问分析并进行创新提问，寻求领域解^[9]。

参数 28 测量的精确度 VS 参数 36 设计的复杂性矛盾的处理，可采用 10 号预先作用原理，能否预先实现部分功能？ 35 号物理/化学状态的变化，能否改变系统测量方案结构？ 34 号抛弃再生原理，能否抛弃中间部分手动操作？

经过上述发明原理的提问，假设采用新的伏安法。采用 10 预先作用原理，预先由恒流源给电阻提供恒定电流，测得电阻电压，由欧姆定律 $R=U/I$ 算出电阻值；新方案采用原理 35，导致物理结构发生了变化；伏安法的实施采用了 34 抛弃与再生原理，消除了手动操作的中间过程，省去很多中间原件、降低多原件自身的误差带来的误差干扰，再生一个新系统。采用上述 3 个原理后，化解了参数 28 测量的精确度和 36 设计的复杂性的矛盾。

参数 28 测量的精确度 VS 参数 37 控制和测量的复杂性矛盾的处理,可采用 26 号复制原理,能否复制电桥的精确测电阻的功能? 24 号“中介”原理,能否找中间变量间接测出电阻值? 28 号机械系统的替代原理,测试系统机械机构能否用电场代替?

在 26 复制原理指导下,复制为电桥系统设计的单片机系统转为伏安法设计的系统,实际操作更简单。由于中间计算变少系统精度变高,同时不用进行开平方计算可以使用汇编语言,系统执行效率变高;采用 24 中介原理:先测电阻上的中间电压,再根据公式 $R=U/I$ 和已知恒流 I 大小便可求出电阻值,中间电压便于单片机系统处理数据;电桥法需要调节力学结构的电位器,由 28 采用机械系统的代替原理,改用伏安法后用纯电路结构电场之间的相互作用,代替原系统的机械结构,实现了使用相对简单的方法精确的测出电阻值。上述 3 个原理的分析,进一步证实采用伏安法,同时化解了参数 28 测量的精确度和 37 控制和测量的复杂性的矛盾。

上述的技术矛盾的解决总体归纳为:将矛盾点转化 3 个通用的工程参数,其中两对参数发生冲突,找到两对技术矛盾,查找矛盾矩阵,应用新型发明原理结合反问的方法,解决原始问题得出解决方案:用伏安法测电阻上电压,并用单片机控制系统处理电阻上的电压,转换成阻值并显示。

2.3 微欧计系统的物场分析

物场分析是通过分析技术系统构成要素以及构成要素之间相互关系,并采用物场模型的方式用符号语言清楚地描述系统中各种矛盾问题^[2]。物场分析有 4 个步骤:明确问题发生的部位,识别组件、场以及物质;建立系统问题的物场模型,明确系统物质和场之间的关系;应用相应的标准解法,76 个标准解法,分为 5 种解题类型;得到解决方案的物场模型,记住标准解,实现问题解决方案的转换。

明确问题发生的部位:根据上述技术矛盾分析,采用伏安法测电阻。通以恒定的电流在被测电阻上得到电阻上的电压值并给 AD 芯片数字化。要使微欧计实现多量程精确测量,需要恒流源提供 2 类,即 5 mA 和 50 mA 的电流,放大器提供 3 类,即 2 倍、20 倍和 200 倍的放大倍数。如果采用 1 个单刀双掷和 1 个单刀三掷的手动机械控制系统进行配对,则随机组合有 6 种,但只有 4 种组合有效,见表 2。

建立系统问题的物场模型:在实际操作中能实现部分自动化,如当选择 4 种挡位时自动对应放大倍数,但不能实现自动识别被测电阻范围找到对应组合,因此确定该模型为“效应不足的完整模型”,效应不足的完整模型是指构成物—场模型的元素是完整的,但有用的场 F 效应不足,比如太弱、太慢等^[10],

场 F 需要增强此模型又称增强型物场模型。根据物场分析建立原系统功能模型见图 2,其中物质是 S1 是单刀双掷开关, S2 是单刀三掷开关, S3 是被测电阻挡位,场是 F1 是机械场,虚线表示场效应不足。

表 2 测量电流和放大倍数的组合
Tab.2 Combination of measuring current and amplification

测量范围 R	测量电流 I/mA	最大输出电压	放大倍数 K	AD 处理电压/V
200 Ω	5	1 V	2	2
20 Ω	50	1 V	2	2
2000 mΩ	50	100 mV	20	2
200 mΩ	50	10 mV	200	2

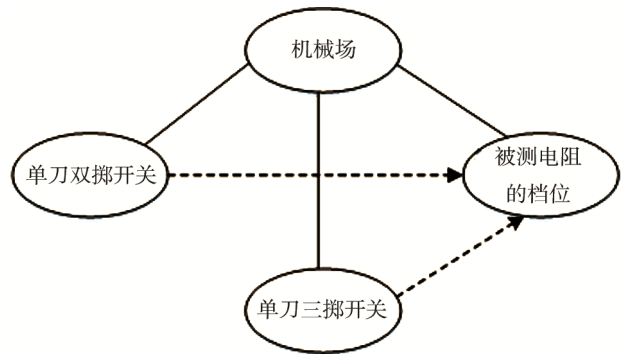


图 2 原系统物场分析
Fig.2 Material field analysis of original system

应用相应的标准解法:标准解法系统详细分为 76 个标准解法,可归纳成 5 种解题类型,形成解决物场分析得出矛盾标准解法系统^[2]。查找标准解法系统,由建立的微欧计物场分析模型可知:主要出现的矛盾是采用两个纯机械装置仅提供一对机械场,同时这对机械场是相互孤立的,需要人为组合操作,导致这对机械场效应力不足。经物场模型分析的理论,查找解决对应矛盾的标准解法系统,解决效应不足的完整模型即增强物场模型属于第二类:增强物场模型,此类型有 4 个一般解法系统^[10]。一般解法见表 3,只列出适用本设计的标准解系统。

根据标准解,得到解决方案的物场模型,实现问题解决方案的转换。根据上述标准解得,不再使用单刀双掷和单刀三掷开关的纯机械机构,改用继电器并且引入单片机系统。

首先,采用 S2.1.1 链式物场模型,将单一的物场模型转换成链式模型^[2],转换的方法是引入一个新物质单片机系统和继电器。S2.1.2 双物场模型,现有系统的有用作用 F1 机械场不足,通过引入第二三个场 F2 电场 F3 磁场来增强 F1 机械场的作用。

其次,采取 S2.2.1 使用更加可控制的场,电场和磁场通过单片机编程都比机械场更加容易控制;继电器开关中存在着铁磁物质, S2.4.2 铁磁场模型,将标

表 3 增强物场模型的标准解
Tab.3 The standard solution of the enhanced field model

类型	标准解系统名称	具体标准解
第 2 类 增强物场模 型的标准解	S2.1 向复合模型 转换	S2.1.1 链式物场模型
		S2.1.2 双物场模型
	S2.2 增强物场模 型	S2.2.1 更加可控制的场
		
	S2.3 频率协调增 强模型	
		
	S2.4 引入磁性附 加物	S2.4.1 加入铁磁物质
		S2.4.2 铁磁场模型
		
		S2.4.8 应用动态性 S2.4.11 电流产生磁场

准解 S2.2.1（使用更加可控制的场）与 S2.4.1（加入铁磁物质）结合在一起，将原系统的手动开关替换为铁磁物质继电器，在使用继电器的机械场的同时使用其磁场和电场。

最后，单片机控制继电器自动挡位识别切换，其原理是应用 S2.4.11 应用电流产生磁场，磁场控制机械场，其过程是一个动态的 S2.4.8 应用动态性可编程的、自动识别量程的过程。

新系统恒流源部分和放大器部分见图 3，新系统恒流源部分和放大器部分的挡位由单片机根据被测电阻的大小自动正确组合，实现智能识别量程换挡。建立新系统的物场分析见图 4，新系统中的物质是 S1 继电器开关，S2 被测电阻的挡位，S3 是单片机系统场是 F1 机械场，F2 磁场。

经上述物场分析后的问题转换后，以磁场、电场

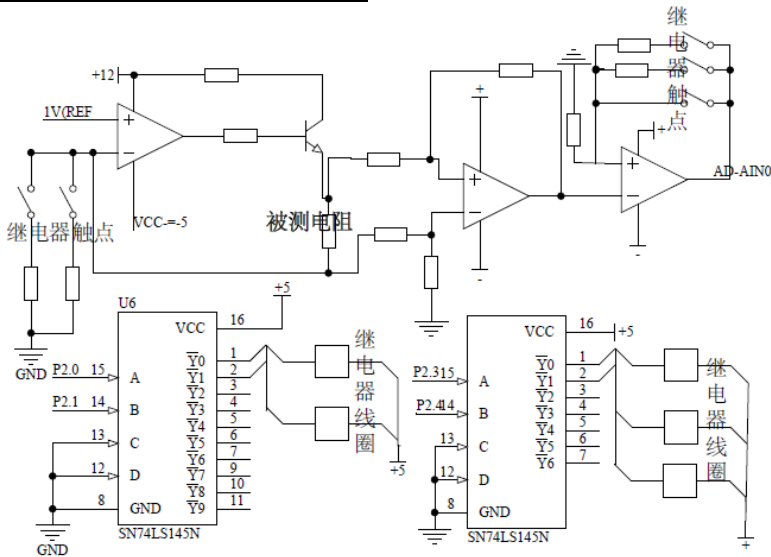


图 3 新系统恒流源部分和放大器部分
Fig.3 New system constant current source section and amplifier section

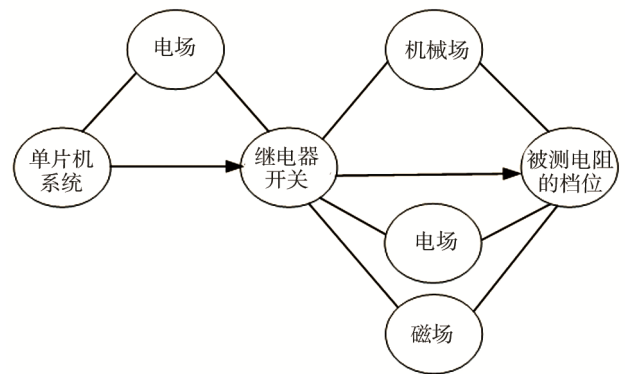


图 4 新系统的物场分析
Fig.4 New system material field analysis

和机械场的组合代替纯机械场，自动化程度明显提升。参照最终理想解（IFR）的最初设计要求^[1]，它有以下特点。（1）没有引入新的不可控因素，伏安法

测量方法的精度优势得以保留。（2）消除了原系统的设计不足，电子类设计的重要参数—自动化得到提升。（3）电子产品设计另一个技术指标是可操作性，新方案提高了可操作性，不需要编写更多的说明原理。（4）同时，从外界看来就是一个盒子，加强该设计系统技术的保密性。

3 最终设计测试

测量方案采用伏安法能降低系统设计、系统控制和测量的复杂性，可采用效率更高的汇编语言；被测电阻 R 经数控恒流源 I 得到被测电阻上的电压传给单片机系统处理，其中放大倍数和恒流源的组合采用单片机控制继电器的办法，实现自动识别量程切换。在 TRIZ 理论的指导下设计一个快速、高精度测量小电阻值的智能化仪表。见图 5。



图 5 本设计实物

Fig.5 Product of this design

实际测试结果：测量标准电阻 BZ3 来检验微欧计的精确度。BZ3 型可提供 1 mΩ, 10 mΩ, 100 mΩ, 1 Ω, 10 Ω, 100 Ω 等阻值。测试结果见表 4。

表 4 测试结果

Tab.4 Test result

量程	电阻标称值	测量电阻值/Ω	绝对误差	相对误差/ %
200 mΩ	1 mΩ	0.9988 m	-0.0012	-0.12
200 mΩ	10 mΩ	10.010 m	0.0100	0.10
200 mΩ	100 mΩ	100.13 m	0.1300	0.13
2 Ω	1 Ω	1.0008	0.0008	0.08
20 Ω	10 Ω	9.999	-0.0010	-0.01
200 Ω	100 Ω	100.11	0.1100	0.11

从相对误差的值得：该小电阻的精确度在 $\pm 0.1\%$ 读数 ± 5 个字范围内。精度比较高，满足大多数工程测量需要。

4 结语

经 TRIZ 理论的技术矛盾分析原理、采用阿奇舒勒矛盾矩阵法和物—场分析法查找标准解，实现了微欧计测量方案改良，提高自动化优化设计并且做出实物。实现了降低系统设计的复杂性和系统控制的复杂性，保证一定精度，进一步提高自动化程度做到精确度在 $\pm 0.1\%$ 读数 ± 5 个字的设定的技术指标。将 TRIZ 理论的应用领域进一步扩展到各个邻域。但是微欧计系统的设计是一个庞大的系统设计，其设计的各个环节还有很大的提升空间，比如精度和自动化程度和量程范围等，因此该方案及其创新设计过程对于其他类似电子产品的创新设计，具有一定的借鉴作用。现。

参考文献：

[1] 芮延年. 创新学原理及其应用[M]. 北京：高等教育

出版社, 2007.

RUI Yan-nian. Innovation Theory and Application[M]. Beijing: High Education Press, 2007.

[2] 成思源, 周金平, 郭钟宁. 技术创新方法——TRIZ 理论及应用[M]. 北京：高等教育出版社, 2014.

CHENG Si-yuan, ZHOU Jin-ping, GUO Zhong-ning. Method of Technological Innovation: TRIZ Theory and Application[M]. Beijing: Higher Education Press, 2014.

[3] 周苏, 陈敏玲. 创新思维与 TRIZ 创新方法[M]. 北京：清华大学出版社, 2015.

ZHOU Su, CHEN Min-ling. Innovative Thinking and TRIZ Innovation Method[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015.

[4] 赵鹏睿. 基于 TRIZ 理论的汽车造型语义解集[J]. 包装工程, 2014, 35(2): 44—47.

ZHAO Peng-rui. Automobile Modeling Semantics Solution Set Based on TRIZ Theory[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(2): 44—47.

[5] 朱广飞, 李少华, 相海, 等. 基于 TRIZ 理论的高品质橄榄油加工粉碎融合机的创新研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(5): 103—106.

ZHU Guang-fei, LI Shao-hua, XIANG Hai, et al. Innovation of Crush and Fusing Machine for High Quality Olive Oil Processing Based on TRIZ Theory[J]. China Oils and Fats, 2016, 41(5): 103—106.

[6] 陈国强, 王振, 董超. 基于 TRIZ 创新理论的便携式耳机设计[J]. 包装工程, 2013, 34(12): 42—45.

CHEN Guo-qiang, WANG Zhen, DONG Chao. Portable Headset Design Based on TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(12): 42—45.

[7] 孙永伟. TRIZ——打开创新之门的金钥匙[M]. 北京：科学出版社, 2015.

SUN Yong-wei. TRIZ: the Golden Key Opens the Door of Innovation[M]. Beijing: Science Press, 2015.

[8] 冯研, 贾鸿莉, 曹雯雯, 等. 创新方法学[M]. 北京：科学出版社, 2016.

FENG Yan, JIA Hong-li, CAO Wen-wen, et al. Innovative Methodology[M]. Beijing: Science Press, 2016.

[9] 赵荣丽, 成思源, 李克天, 等. 基于 TRIZ 冲突解决理论的平板电脑包装创新设计[J]. 包装工程, 2012, 33(4): 39—42.

ZHAO Rong-li, CHENG Si-yuan, LI Ke-tian, et al. Packaging Innovation Design of Tablet PC Based on TRIZ Conflict Resolution Theory[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(4): 39—42.

[10] 赵航博, 叶文勇, 章东哲. TRIZ 理论在旋转防喷器冷却结构设计中的应用[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(6): 46—51.

ZHAO Hang-bo, YE Wen-yong, ZHANG Dong-zhe. TRIZ Theory in Rotary BOP Cooling Structure Design[J]. Oil Field Equipment, 2016, 45(6): 46—51.

[11] 胡连军, 李彦, 李翔龙, 等. 基于物—场模型的纳米空心镍球的制备方法研究[J]. 工程设计学报, 2013, 20(3): 180—184.

HU Lian-jun, LI Yan, LI Xiang-long, et al. Study of the Preparation Method of Nanometer-sized Hollow Nickel Spheres Based on Substance-Field Model[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2013, 20(3): 180—184.