

TRIZ创新方法的工程应用案例

——智能天线阵列系统设计

史鑫源, 苏 飞, 武飞宇, 刘文旭, 林海松

天津理工大学, 电气电子工程学院, 天津
Email: 18722342942@163.com, sufei@email.tjut.edu.cn

收稿日期: 2020年10月2日; 录用日期: 2020年10月16日; 发布日期: 2020年10月23日

摘 要

本文基于TRIZ理论设计并实现了智能感应发射方向的天线系统。首先简单地介绍了TRIZ在国内高校中应用的现状和背景; 其次, 说明了TRIZ与工程设计实践相结合的方法, 以解决实际问题 and 发现创新点的基本原理; 第三, 与项目实践相结合, 阐述了基于TRIZ解决发明的基本流程, 分别从定义最佳理想解、技术矛盾分析、发明原理应用及物场模型分析等多个工具, 循着逐步深入的方式完成了问题的提出与描述、冲突矩阵的构建、发明原理的对应及最终方案的设计。本论文提供了一个TRIZ与工程设计实践相结合解决问题的实例, 对于探索与研究TRIZ指导实践教学改革具有一定的参考价值。

关键词

TRIZ, 理想解, 冲突, 发明原理, 物场分析

Case of Applying TRIZ to Engineering

—Design of Intelligent System with Antenna Array

Xinyuan Shi, Fei Su, Feiyu Wu, Wenxu Liu, Haisong Lin

School of Electrical and Electronic Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin
Email: 18722342942@163.com, sufei@email.tjut.edu.cn

Received: Oct. 2nd, 2020; accepted: Oct. 16th, 2020; published: Oct. 23rd, 2020

Abstract

This paper has designed and implemented an intelligent system based on TRIZ, the antenna array of which can find and adjust radiation direction smartly. First, it describes the current status of developing TRIZ both overseas and at home; secondly, methods of applying TRIZ to practical en-

engineering are introduced as well as the principle, based on which both problems can be mined and creative ideas will be found. Finally, the procedure to design an intelligent system by means of TRIZ is presented in detail. And there are so many tools as IFR, Technology Contradiction Analysis, corresponding of Inventive Principle and Substance-field Analysis to be able to advance and describe problems to be solved, to construct contradiction matrix and to find out the appropriate innovation principle as well, thereby leading to the ultimate scheme for our engineering design. In terms of the above, this paper presents an example of applying TRIZ to engineering activities, results of which have reference value to explore and study the teaching reform with TRIZ guidance.

Keywords

TRIZ, Ideal Final Result, Contradiction, Inventive Principle, Substance-Field Analysis

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

美国、日本、中国台湾地区在 20 世纪 60 年代就出现了以 TRIZ 为基础的研究,一些大学将 TRIZ 列为工程设计方法学课程。在俄罗斯(从前苏联开始)TRIZ 理论一直被作为大学专业技术必修科目,而且还设置有 TRIZ 理论的研究生专业方向。在美国、北欧等国家的许多院校也都分别开设了创新教育或类似课程,这些大学都将 TRIZ 理论列为工程设计方法学的核心课程以培养学生创造性解决问题的思维和能力。经过半个多世纪的发展,如今 TRIZ 理论和方法已经发展成为一套解决实际问题的成熟理论和方法体系,在激活学生的思维,强化创新意识方面,在改善教学方法与手段,训练学生的创新思维方面,逐步引导学生采用 TRIZ 理论中 40 个发明创造原理,为学生提供联想思维、想象思维、灵感思维和相互启发的平台。但由于我国大学生创新活动的自身特点,创新方法工作在我国大学生创新领域的研究起步较晚,目前进行的探索性研究并不多,已有的报道仅限于部分省市将 TRIZ 应用于课堂启发性教学方面,并表现出了良好的效果[1][2]。

天津大学机械工程学院在开设创新课程后,经过计算机辅助创新软件和理论培训的 3 名工业设计专业的大学生在 2004 年举办的全国大学生第三届“创新杯”设计大赛中,运用 CBT/NOVA 中提供的 TRIZ 理论的创新原理和技术系统进化法则等工具,借助于 Pro/Innovator 软件,解决实际设计过程中遇到的难题,设计出“城市鸟篷”方案,以其造型新颖、结构富有创新性一举夺得设计大奖并获得了专家的高度评价。通过 40 个学时的培训,有 20 余名大学生在校期间就申请了专利。北方工业大学在运用 CBT/NOVATM 中提供的 TRIZ 理论的创新原理和技术系统进化法则等工具,借助 Pro/Innovator 软件,对创新大赛中关于网球拾球器的概念设计难题提供了诸多解题思路,并获奖。此外,南京理工大学、华南农业科技大学等为数不多的高校对创新方法在大学生创新实践中的应用同样进行了初步尝试和研究。课题组通过该项目的研究,初步探索出了一些有价值的结果,主要有:一是在大学生创新实践计划项目实施中对创新方法有需求上的紧迫性;二是明确创新方法完全适合在支撑计划创新领域应用;三是在大创实践领域适度开展了创新方法的普及和传播,初步培养了一支创新方法深度研究应用的团队;四是在部分领域开展了试点工作,取得了良好的效果。同时也可看出,这些结论在一定程度上是点对点的尝试应用基础上得到的,而科研实践和 TRIZ 创新方法结合的理论研究、项目计划管理研究和创新模式或规律研究尚未涉及[3]。

本文首先说明 TRIZ 与工程设计实践相结合的方法,以实际问题发现和发现创新点的基本原理;其

次，基于 TRIZ 解决发明的基本流程，分别从定义最佳理想解、技术矛盾分析等多个工具，详细说明如何进行问题的提出与描述、冲突矩阵的构建、发明原理的对应；最后，给出最终方案。

2. TRIZ 指导实践的基本思路

TRIZ 创新理论是从大量的高水平专利成果中分析探究、归纳总结得出的，它是一种科学的创新方法论，核心是技术系统的演变法则。它包含创新思想与难题解析方法、工程系统进化工具、技术矛盾处理机理、标准解法、发明问题处理算法 ARIZ、科学法则库、系统组件功能分析等方法论，一系列如 39 个工程技术通用参数、矛盾矩阵、40 个创新发明原理、技术系统进化法则、标准解等方法工具[4] [5]。利用 TRIZ 创新方法理论解决问题的流程如图 1 所示。

TRIZ 理论把问题归结为矛盾，将矛盾分成物理矛盾和技术矛盾。对于物理矛盾从时间、空间和物质理想状态分析寻求解决矛盾的方法；对于技术矛盾，利用 TRIZ 的矛盾分析工具形成矛盾矩阵，利用标准的 39 个工程技术参数及对应的 40 个发明原理，引导开发者发现关键参数和解决问题的方法[6] [7]。

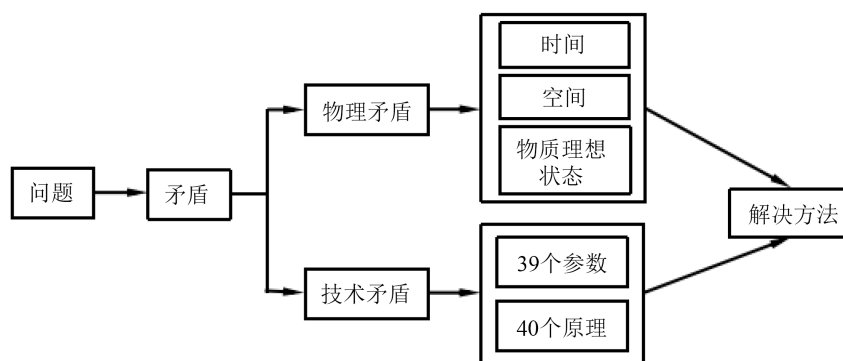


Figure 1. Problem-solving flow based on TRIZ
图 1. TRIZ 解决问题的流程

3. TRIZ 方法应用

3.1. 项目背景

随着信息时代的发展，手机成为了绝大多数人进行沟通和获取信息的工具，是当今人类与外界沟通的重要媒介，但对手机进行充电以保证其工作的同时还要保证使用手机的可移动性成为了一个难题。在使用传统有线充电方式和磁耦合式无线充电方式进行充电中，手机不能进行自由移动，若想提高充电时的可移动性，需要增加无线充电的传输距离。充电装置分为接收装置与发射装置两部分。发射机通过传感器在空间内智能寻找接收机的位置，随后用微波式输电方式对这个位置进行集中输电，输电距离可以满足居家环境的充电需求。促进人工智能更容易融入生活，实现万物互联。

本项目借助 TRIZ 创新工具实现采用微波式输电的方式来改善无线充电设备的适用性和无线输电距离；将发射天线与万向轴固定，形成以中心点为轴可无死角转动的发射器，运用手机蓝牙功能，使发射天线与接收天线达到最大匹配，最大程度上改变无线充电的可移动性。按照问题分析、IFR 定义、功能分析定义矛盾、借助发明原理和物场分析寻找解决方案[8]。

3.2. 问题分析与 IFR 定义

磁耦合无线充电系统的工作原理是通过初级线圈一定频率的交流电，再利用电磁感应在次级线圈中产生一定的电流，从而将能量从传输端转移到接收端。但是，当用户采用磁耦合式无线充电设备对手机

进行充电时，需要保证手机与充电设备贴合或在极近的距离内，当距离过远时，充电速度大幅度降低或者无法正常充电。且存在的限制性条件，磁耦合式无限充电仅能在很近的范围内才能传输较大功率的电能，因此，充电设备与手机的距离想在保证充电效果的同时尽量拉开二者的距离就难以实现。

目前，已有的解决方案是将磁耦合无线充电装置与传统有线充电装置结合在同一台充电设备上，让用户根据自身情况来进行选择，在最大程度上保证用户的充电需求。这种方案的不足是，虽然采用磁耦合无线充电装置与传统有线充电装置结合在同一台充电设备上，一定程度上保证了永和的充电需求，但是并没有解决磁耦合式无线充电在有效充电距离与充电功率间的根本矛盾[9] [10]。首先，我们根据天线传输效率的公式来定义 IFR。公式如下式(1)。

$$P = \frac{16\pi d^2}{L_{fr} \lambda^2 G_T G_R} \tag{1}$$

IFR 定义为上式中 p 为最大，因此，设计的最终的目标是 $d = 0, L_{fr} = 0$ ，即无损耗无限远无线电能传输。显然，在实际传输的环境中无法做到无损耗即 $L_{fr} \neq 0$ 。经过头脑风暴分析，初步得到电能、空气、智能系统是可以改善系统性能的资源要素，而我们的设计目标是智能系统。

3.3. 功能分析

根据以上的初步分析，我们确定了改善的对象是智能系统，在查阅相关文献的基础上，借助于 TRIZ 得到如下的功能分析表 1。根据功能分析表，将其中功能具体描述，又得到功能列举表 2。

Table 1. Function analysis

表 1. 功能分析表

	电源	接收线圈	手机	发送线圈	导热装置	温感系统	驱动芯片	磁场	电场
电源	-	-	-	+	-	-	+	-	-
接收线圈	-	-	+	+	-	-	-	+	+
手机	-	-	-	-	-	-	-	-	-
发送线圈	+	-	-	-	+	-	+	-	-
导热装置	+	-	-	+	-	-	-	-	-
温感系统	-	-	-	+	+	-	-	-	-
驱动芯片	-	-	-	-	+	+	-	-	-
磁场	-	-	-	+	-	-	-	-	-
电场	-	-	-	+	-	-	-	-	-

Table 2. Function list

表 2. 功能列举表

组件对象	功能	利害	组件对象	功能	利害
电源→发射线圈	提供电能	利	导热装置→发射线圈	吸收热量	利
手机→接收线圈	承载	利	导热装置→温感系统	吸收热量	利
发射线圈→接收线圈	传电	利	导热装置→驱动芯片	吸收热量	利
发射线圈→导热装置	增加工作量	害	温感装置→驱动芯片	提供信号	利
发射线圈→温感系统	增加工作量	害	驱动芯片→电源	控制	中
发射线圈→磁场	改变分布	中	磁场→接收线圈	产生电能	利
发射线圈→电场	改变分布	中	电场→接收线圈	产生电能	利

根据功能列举表，将其功能进行图形化，得到如下功能分析原理图 2。

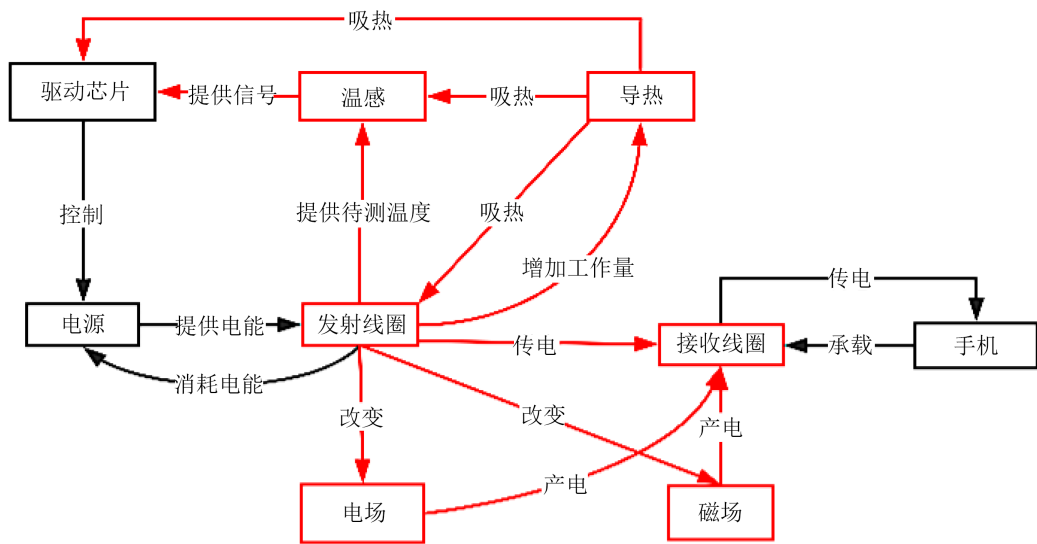


Figure 2. Diagram of function analysis
图 2. 功能分析原理图

对于原理图 1 进行讨论可知，诸如温感、导热等成分可以根据裁剪原则进行简化。按照裁剪规则 A，裁去温感与导热装置，驱动芯片需要独立完成温度检测和散热功能，目前可行，按照裁剪规则 C，裁去发射线圈、接收线圈、电场、磁场，需要从系统或超系统找一种能够代替原有输电设备和场资源进行电能传输功能。依照因果分析结果，磁耦合输电方式不具备可移动性，对系统进一步深入裁剪，采用其他输电方式来代替磁耦合输电方式，将发送线圈与接收线圈替换成新的输电设备得到新功能分析原理图。裁剪后的功能模型图如图 3 所示。

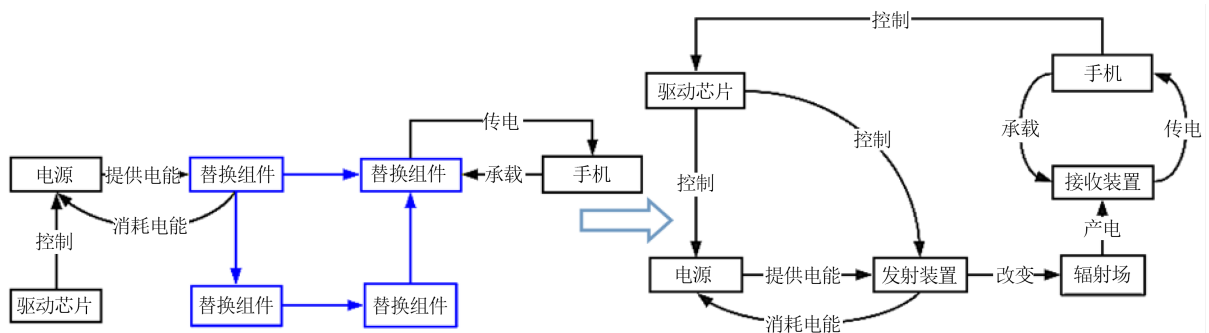


Figure 3. Function diagram after tailoring
图 3. 裁剪后的功能原理图

系统中接受装置与发射装置的距离增大会导致输电效率降低；大功率辐射场对人体有害这两个问题，对此引入技术矛盾分析以确定关键工程技术参量，借助于 TRIZ 的发明原理和物场分析工具，确定最终实现的方案。

3.4. 矛盾分析物场模型

在上面分析的基础上，首先进一步细化问题的描述，即：a. 由于无线充电时希望有效充电距离更远，

但是因为有效充电距离和充电损耗成正比，远距离无线充电会导致充电损耗加剧；b. 由于无线充电时希望功率更高，但高功率又会对人体产生危害。第二步，定义矛盾参数。a 参数：功率、效率、使用方便性(距离)。要求：加大充电有效距离，提高可移动性使用方便使用，提高传电功率，提高充电效率，减少电能损耗。b 参数：效率、安全性。要求：选择合适的输出功率来降低危害。以下表 3 为 TRIZ 的冲突描述。

Table 3. Contradiction description
表 3. 冲突描述

(a)		
如果	充电距离	不增加充电距离
那么	使用方便性提高	功率和效率提高
但是	功率和效率下降	使用方便性下降
(b)		
如果	增大功率	降低功率
那么	效率提高	安全性提高
但是	安全性下降	效率降低

查找冲突矩阵确定问题 a 的解决发明原理为 No.10 和 No.28, 问题 b 的解决发明原理为 No.28 和 No.24。在 TRIZ 发明原理提供方案的启发下，小组成员进行深入的分析，初步得到两套解决方案：a. 采用微波式传电方式。综合运用 NO.28 机械系统的替代原理和 NO.10 预操作原理采用天线代替磁耦线圈，实现传电距离的大幅提升，同时采用传感设备对充电设备的位置进行预推算，最大程度上减少能量损耗，提高充电效率；b. 采用磁共振式无线电能传输方式。综合运用 NO.28 机械系统的替代原理和 NO.24 中介物原理，利用磁共振可延长传输距离，在松耦合的系统中，使用共振的接收器和共振的发射装置，以加强传输效率。磁共振方式不同于磁耦合方式，可以实现远距离充电，增大了传输效率。但伴随大功率传电方式，带来的是线圈发热以及产生的辐射对人体有一定的危害。因此添加中介物，对其辐射传播方向进行限制，固定在某方向上进行传播，大大减少了对人体的危害。

以上通过 TRIZ 的发明原理得到的两种传电方式各有利弊，为了得到最佳设计方案，我们又借助了 TRIZ 的物场分析工具进一步优化设计。由于使用磁共振式无线电能传输时，传播的无线电对人体造成伤害，在实际中影响无线充电设备的使用。为了消除影响，在定义 s1, s2, F 的基础上而建立如下图 4 的物场分析模型。

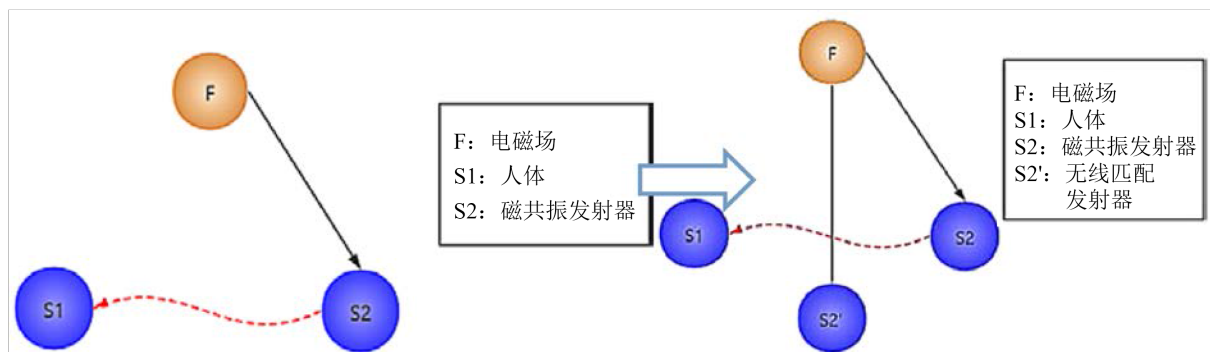


Figure 4. Object-Field analysis model of scheme b
图 4. 方案 b 的物场分析模型

通过物质-场分析及 76 个标准解, 由于此问题中物质和场之间存在有害的功能, 可应用第一类标准解的 1.2 消除或中和有害作用, 构建完善的物场模型问题。因为从磁共振发射器发射出来的电磁波对人体有害, 而不同波段的电磁波对人体的影响不同, 因此可以改变电磁波的波段, 从而降低或消除对人体的损害, 要想改变电磁波的波段, 还需要在发射器上做出改良, 因此采用标准解 1.2.2 即“通过改变现有物质来消除有害关系”。或者标准解 1.2.2 即同 1.2.1, 但是不允许引入新的物质 S3。此时可以改变 S1 或 S2 来消除有害作用, 如利用空穴、真空、空气、气泡、泡沫等, 或加入一种场, 这个场可以实现所需添加物质的作用。

得到的结论是: 磁共振式无线电能传输方式对人体的有害作用无法消除, 基于安全性方面的考虑, 排除磁共振电能传输方式, 选择同样可以实现远距离输电的微波式输电方式。

最后, 我们采用了技术矛盾的分析方法对 a 方案进行优化设计, 确定了关键参数和设计方案, 整理如下表 4。

Table 4. Optimization and evaluation of scheme a
表 4. 方案 a 的优化及评估

序号	方案	所用创新原理	可行性评估
1	轴固定天线	标准解 2.2.4: 提高物质的动态性	可行, 将发射天线做成以直径固定轴可旋转 360°的轴固定天线, 是发射天线任何时刻都是与手机匹配的最大相对面积。
2	改变发射天线延伸面	1.反向原理 2.维数变换原理	可行, 采用将发射天线延竖轴方向延伸, 保证了一定的携带方便性。

综合以上, 我们的最终方案具体如下: 采用微波式输电方式来改善无线充电设备的适用性和无线输电距离; 将发射天线与万向轴固定, 形成以中心点为轴可无死角转动的发射器, 运用手机蓝牙功能, 使发射天线与接收天线达到最大匹配, 最大程度上改变无线充电的可移动性。

这种基于 TRIZ 发明方法的设计实现的可分离式无线充电设备, 大大改进市场上采用的磁耦合方式或传输线充电方式的伪移动充电方式, 实现住所中摆脱空间限制的移动可持续充电功能。采用微波式输电方式, 不仅大幅度降低了对人体的伤害, 而且复用性强, 可用于小功率用电器的供电, 提高了生活品质, 创新性十足。图 5 是设计实物图。



Figure 5. Designed real object. a) Antenna array; b) Intellectual induction system (C51-based)
图 5. 设计实物图。a) 天线阵列; b) 智能感应系统(基于 C51)

4. 总结

本文基于 TRIZ 理论设计并实现了智能感应发射方向的天线系统, 首先简单地介绍了 TRIZ 在国内高校中应用的现状和背景; 其次, 说明了 TRIZ 与工程设计实践相结合的方法, 以解决实际问题 and 发现创

新点的基本原理；第三，基于 TRIZ 解决发明的基本流程，分别从定义最佳理想解、技术矛盾分析、发明原理应用及物场模型分析等多个工具，循着逐步深入的方式完成了问题的提出与描述、冲突矩阵的构建、发明原理的对应及最终方案的设计。本论文提供了一个 TRIZ 与工程设计实践相结合解决问题的实例，对于探索与研究 TRIZ 指导实践教学改革具有一定的参考价值。

基金项目

天津理工大学“课程思政”课改专项 KG19-01。

参考文献

- [1] 王思梦, 邵云飞, 吕剑. 互联网 + TRIZ: 辅助大学生创新的学习模式研究[J]. 电子科技大学学报(社科版), 2020, 22(4): 97-104.
- [2] Ekmekci, I. and Nebati, E.E. (2019) TRIZ Methodology and Applications. *Procedia Computer Science*, **158**, 305-313. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.056>
- [3] 韩宏彦, 张莉, 谷洪雁, 等. 基于 TRIZ 和 CDIO 的工程创新教育理论在教学中的应用[J]. 教育现代化, 2019, 90(11): 27-28.
- [4] 郭宇刚. 基于 TRIZ 理论的创新创业教育实践教学研究——以创客教育创业项目分析为例[J]. 创新创业理论与实践, 2019, 18(9): 188-191.
- [5] 刘训涛, 曹贺, 陈国晶. TRIZ 理论及应用[M]. 北京: 北京大学出版社, 2011: 5-25.
- [6] 陈芬森. 发明问题解决理论述评[J]. 科技成果管理与研究, 2010, 46(8): 52-54.
- [7] 江娅楠, 贾仁甫. TRIZ 理论及其解决问题的方法研究[J]. 中国高新技术企业, 2017(1): 68-69.
- [8] 刘长军, 李凯, 黄卡玛. 微波输能技术研究进展[C]//第十五届全国微波能应用学术会议. 昆明, 2011: 19-22.
- [9] 王业清, 杨雪霞, 江超. 整流天线组阵等效模型分析与实验[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2013, 19(3): 266-270.
- [10] 杨雪霞. 微波输能技术概述与整流天线研究新进展[J]. 电波科学学报, 2009, 24(4): 770-779.