



YIXIAN GONGCHENGSHI
CHUANGXIN FANGFA YINGYONG ANLI

一线工程师



创新方法应用案例

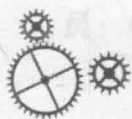
(机械领域)

中国科协企业创新服务中心 编



化学工业出版社

YIXIAN GONGCHENGSHI
CHUANGXIN FANGFA YINGYONG ANLI



一线工程师

创新方法应用案例

(机械领域)

中国科协企业创新服务中心 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书结合 TRIZ 理论的相关内容整理编撰,从 5 个方面介绍了创新理论方法的应用,包括:TRIZ 分析方法应用案例、物理矛盾和技术矛盾分析方法应用案例、物-场模型分析方法应用案例、技术进化分析方法应用案例和 TRIZ 综合分析方法应用案例,涉及的领域和行业有机械、石油、钢铁冶金、自动控制、航空、车辆、电子、机车等。本书通过 50 个典型应用案例,完整地展示了应用创新理论方法,结合企业的实际技术问题,发现问题、分析问题并解决问题的方法和步骤。

本书论述系统全面,由浅入深,图文并茂,实用性强,有助于读者学习创新方法、开拓创新思维、全面掌握 TRIZ 理论。本书可供广大一线工程技术人员、科研人员、工程管理人员、高校相关专业师生阅读、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

一线工程师创新方法应用案例:机械领域/中国科协企业创新服务中心编. —北京:化学工业出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-122-30732-3

I. ①一… II. ①中… III. ①机械工业-技术革新-案例-中国 IV. ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 247103 号

责任编辑:曾越 张兴辉
责任校对:王素芹

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 11½ 字数 268 千字 2017 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:56.00 元

版权所有 违者必究

编 委 会

主 任：宋 军

副 主 任：郑浩峻 郭 昊 冯师斌 乔 云

成 员：（按姓氏笔画排序）

于复生 王日君 冯 耕 李晓青 刘成朱 刘 倩

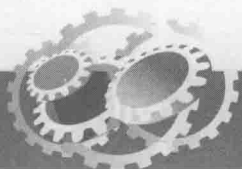
刘 雁 闫树龄 邵 雯 张明勤 林 岳 赵彦华

赵悠扬 徐 华 黄巍岭 舒秀发

技术支持：赵新军 田美玲 吴 琼 李海洋 陈 亮

闻 书 格

2017年9月于东北大学



序

PREFACE

科技创新是提高社会生产力和综合国力的重要战略措施，必须摆在国家发展全局的核心位置上。创新被提升到了一个前所未有的高度，可以说创新就是“中国梦”，也应该是每个人的梦想。然而对许多人来说，创新是陌生而神秘的，似乎它只是少数天才的专利。传统的创新理论和方法虽然很容易理解，也能解决一些问题，但是效率较低、成本较高、完成时间较长。

事实上，创新是可以用科学方法来指导的，一旦掌握了创新的理论和方法，人人都能很好地解决遇到的问题，并容易成为发明家。在我近 60 年的工作中，特别重视科学方法论方面的研究，先后出版了《成功做事方法学——谈做人、做事、做学问》《顶层设计 原理 方法应用》《科学研究方法学——怎样做好科学研究工作》《科技创新方法论浅析》《创新创业方法学》等十多部与科学方法论相关的专著，更加深切体会到科学方法论在学习、工作中的重要作用。

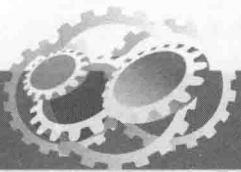
在创新理论和方法中，被世界上越来越多的国家所竞相接受，公认为卓有成效的就是 TRIZ 理论。它起源于前苏联，在欧美国家得到发展，是被喻为“神奇点金术”“超发明术”的发明问题解决理论。TRIZ 的核心优势在于其开发了一套系统化的解决发明问题的思维流程，并辅以完善的知识库。通过对这套理论体系的学习，可以大大提高使用者解决发明问题的能力，进而提高其效率和效益，从而更好地实现创新。

随着 TRIZ 理论及创新理论和方法在我国企业的不断推广和应用，TRIZ 理论帮助众多企业解决了诸多技术难题。在创新理论和方法的推广应用工作中，难点之一是没有可以借鉴和参考的案例，即使有一些，也并不多。因此，本书的出版将有助于将创新理论和方法推广到我国企业一线工程师当中，让一线工程师在学习 TRIZ 理论的同时，借鉴其他一线工程师解决技术难题的方法，从中得到启迪，进而举一反三，实现更多的创新。

中国科协企业创新服务中心近年来承担了国家创新方法工作专项，在开展群众性创新方法的普及、推广和应用方面做了许多切实可行的工作，也取得了许多骄人的成绩。本书就是创新方法（TRIZ 理论）在众多企业得到很好应用的具体体现，对广大一线工程技术人员、科研人员、企业的领导及管理人员、高校的教师和学生学习创新方法、开拓创新思维、全面掌握 TRIZ 理论有很大帮助，它非常适合从事工程技术或管理工作的一线工程师研读和借鉴，是一本实用性很强的、学习创新方法的图书。特以此为序。

闻邦椿

2017 年 9 月于东北大学



企业既是创新决策的主体、创新投入的主体、创新行为的主体，同时也是创新收益的主体。经济发展的核心就是要有更多的企业，更好的企业，更多地去想创新、能创新、持续实现创新。成功的创新首先需要更多的科技知识供给，这就需要科学家们艰苦卓绝的努力。成功的创新还需要把知识变成产品，这就需要更多的卓越工程师。

2013年10月至2015年9月，中国科协企业创新服务中心承担了国家创新方法工作专项“群众性创新方法活动的组织与实施”，选择了5个试点省、15个企业、组建了192个创新方法小组，成员800余人，针对企业的一线工程师开展创新方法活动615次，解决了企业生产实践中的技术及管理问题526项，达到了很好的群众性创新方法活动推广的效果。

为了更好地总结、归纳一线工程师解决的实际技术难题，从众多的案例中选择了50个优秀案例，汇集成本书，力求真实地反映一线工程师在中国科协企业创新服务中心“群众性创新方法活动的组织与实施”专项的帮助下取得的成绩。本书结合TRIZ理论的相关内容整理编撰，介绍了5个方面的应用案例，主要包括：TRIZ分析方法应用案例、物理矛盾和技术矛盾分析方法应用案例、物-场模型分析方法应用案例、技术进化分析方法应用案例和TRIZ综合分析方法应用案例。50个案例主要涉及的行业有机械、石油、钢铁冶金、自动控制、航空、车辆、电子、机车等。本书收集整理的典型案例结合企业的实际技术问题，全面系统地应用创新方法的相关原理，发现问题、分析问题并解决这些问题。企业的一线工程师面对实际技术问题，在创新方法（TRIZ理论）的启发、指导和帮助下，发现技术难题的瓶颈，挖掘可以利用的资源，找到解决问题的原理，得出概念解决方案，许多概念解决方案在一线工程师的努力下转化成了可以实施的实际解决方案，并投入到实际生产中，部分解决方案申请了国家的发明专利或实用新型专利，为企业带来了可观的经济效益。

本书对创新方法（TRIZ理论）原理的应用，论述系统、全面，由浅入深、图文并茂、通俗易懂，非常适合从事工程技术或管理工作的一线工程师研读，是一本实用性非常强的学习创新方法的书。

本书编写组非常感谢广东、广西、湖南、山西、河南等地科协及相关企业的一线工程师提供的典型案例素材，也感谢东北大学创新方法研究团队耐心细致的整理、归纳。

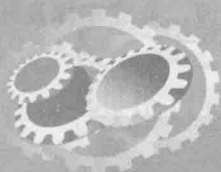
衷心希望本书能够为更多志同道合的创新方法（TRIZ）的爱好者打开一扇大门，使得更多人关注并投入到创新方法（TRIZ）的学习和应用中来，共同为实施“创新驱动”战略做出更多、更实际的贡献。

由于水平和时间有限，疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。



第 1 章 TRIZ 分析方法应用案例	1
案例 1-1 让叉车液压油箱呼吸器自在呼吸	1
案例 1-2 吸波涂层反射率原位测量问题研究	4
案例 1-3 提高电动汽车变频器散热系统密封性	8
案例 1-4 一种用于多回管道施工的工具	12
案例 1-5 2150 粗轧机新型除鳞技术的改进	13
案例 1-6 数字水准仪的编解码	18
案例 1-7 判断炉膛内火焰燃烧状况	20
案例 1-8 解决 C19210 带材表面反光度高的问题	21
案例 1-9 断路器永磁操动机构寿命短的问题	23
案例 1-10 钻头旋转存放架的研制	25
案例 1-11 根据铰链旋转的方式改善柔性电路板的布线	28
第 2 章 物理矛盾、技术矛盾分析方法应用案例	31
案例 2-1 基于 TRIZ 方法的设备箱盖二次防落装置的研究	31
案例 2-2 电容老化工装创新	35
案例 2-3 负载设备改善物料长时间负载运行试验的应用创新	37
案例 2-4 偏心轴键槽加工的合理方案	40
案例 2-5 解决翼片和尾翼管焊接后发生变形的的问题	41
案例 2-6 解决螺纹连接式风帽分离可靠性差的问题	44
案例 2-7 解决弹尾耐烧蚀性差的问题	46
案例 2-8 解决两筒形件连接螺纹松动问题	49
案例 2-9 解决薄厚两筒形件组装时拧合力控制难的问题	51
案例 2-10 解决发动机舱体与控制舱密封隔热性能差的问题	53
案例 2-11 解决球磨机给料器磨损过快的问题	55
案例 2-12 解决合膛检验后退弹操作安全问题	57
案例 2-13 解决火药切割分离机构剪切槽周边产生飞边的问题	59
案例 2-14 解决筒形件同轴度测量不准的问题	61
案例 2-15 解决框架材料中存在残余应力的问题	64
案例 2-16 分体式塔形线圈绕线模具	66

案例 2-17 解决活动工作台因面大腿长影响折叠与稳定性的问题	68
案例 2-18 ZB47 包装机主机第一部分剔除输送皮带装置改进与创新	71
案例 2-19 端子排辅助端子螺钉生锈问题的质量改善	73
第 3 章 物-场模型分析方法应用案例	78
案例 3-1 实验室烟丝自动加香器	78
案例 3-2 延长磨煤机制备生产中热电偶的使用寿命	82
案例 3-3 提高电牵引采煤机导向靴的耐磨性能	87
案例 3-4 钢箱残留叶片自动清理装置研制	91
案例 3-5 解决抛丸机钢板丸料残余问题	95
案例 3-6 解决蒸氨分缩器易结垢问题	96
第 4 章 技术进化分析方法应用案例	99
案例 4-1 风力发电机组新型液压驱动装置设计创新	99
案例 4-2 应用 TRIZ 创新方法优化鼓形齿联轴器齿侧间隙及接触应力	101
案例 4-3 基于 TRIZ 理论的立体车库发展分析	104
案例 4-4 基于 TRIZ 理论的空气净化器发展分析	106
案例 4-5 基于 TRIZ 理论的台灯发展分析	110
第 5 章 TRIZ 综合分析方法应用案例	116
案例 5-1 降低 IF 钢的夹杂物含量	116
案例 5-2 烟箱防差错识别系统研发	119
案例 5-3 解决薄壁筒形件冲槽变形	129
案例 5-4 基于 TRIZ 理论解决 18650 锂电池注液时间长问题	135
案例 5-5 一种高效、长寿氧枪枪头	137
案例 5-6 离心泵填料密封易泄露研究	151
案例 5-7 电控箱隔离开关手柄的防尘设计	156
案例 5-8 关于控制油井回压升高的研究	160
案例 5-9 百万吨乙烯用三元叶轮数控铣制刀具及工艺研究	163
附录 1 TRIZ 40 个发明原理	169
附录 2 TRIZ 39 个标准工程参数	170
附录 3 应用冲突矩阵分析技术问题的方法和步骤	171
附录 4 TRIZ 理论中的 76 个标准解	174



案例 1-1 让叉车液压油箱呼吸器自在呼吸

1. 问题背景

通过 QFD (quality function deployment, 质量功能展开) 竞品分析 (图 1-1), 得出呼吸器渗油是叉车液压系统关键技术问题, 影响产品应用及市场形象。

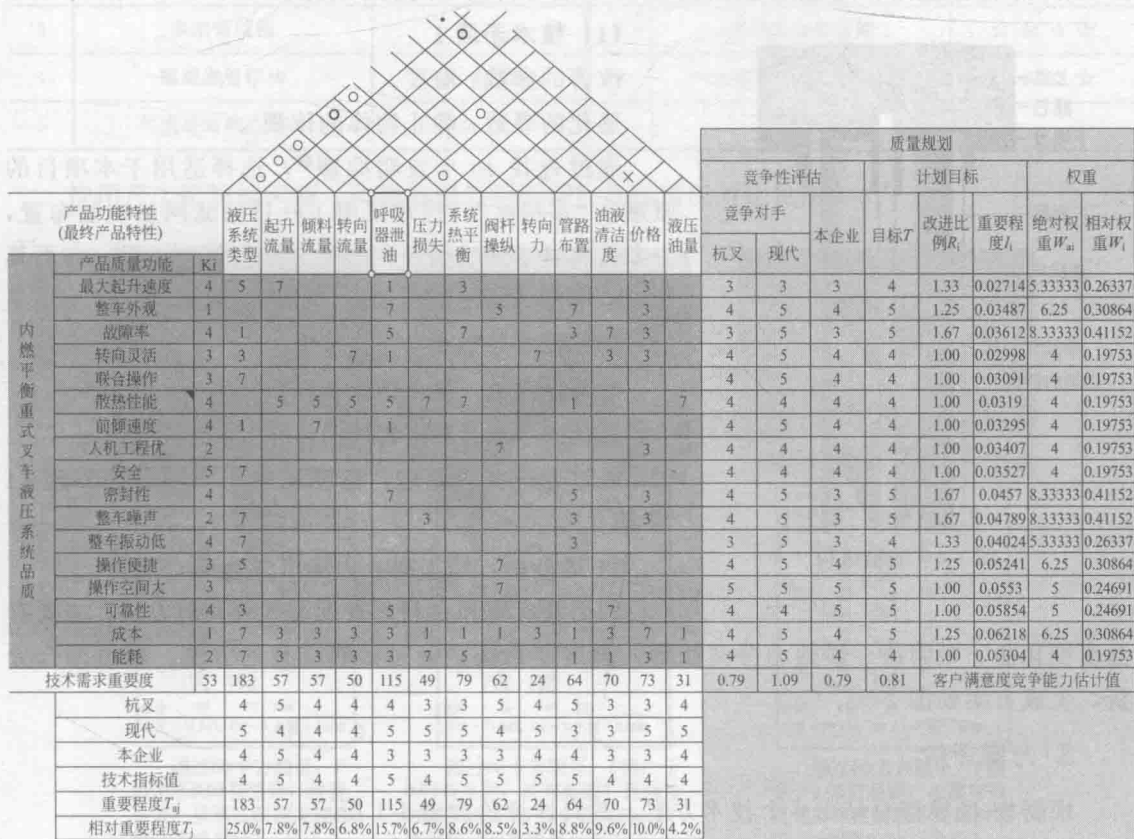


图 1-1 QFD 竞品分析结果图

叉车液压油箱因为车体尺寸限制,油箱设计较小,液压系统油温较高,产生的油气通过腔体,排出到油箱外,其过程如图 1-2 所示,排出后遇冷,冷凝于油箱表面,造成车体及环境污染(图 1-3)。

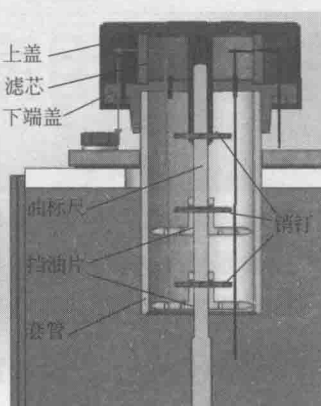


图 1-2 液压油箱结构

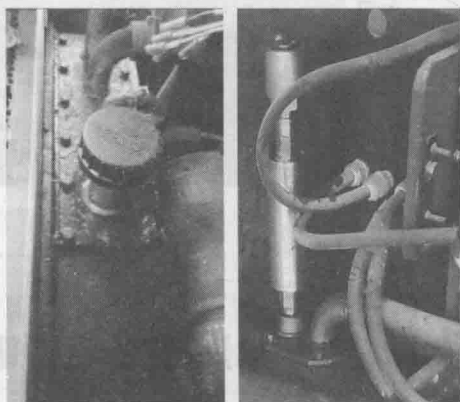


图 1-3 油污

2. 解题流程: 合力创新体系

TRIZ 方法应用: 通过原因分析、技术矛盾等得出下列技术方案。

(1) 技术矛盾 1

改善的参数: 温度。

恶化的参数: 静止物体的体积。

通过查找 40 个发明原理^①, 选择适用于本项目的原理 6 “多用性”。挡片采用 100 目的滤网呈碗装布置, 一方面通过增加丝网面积来增加透气能力, 另一方面其导向作用使得油液流回油箱, 如图 1-4 所示。

(2) 技术矛盾 2

改善的参数: 静止物体的面积。

恶化的参数: 静止物体的体积。

通过查找发明原理, 选择适用于本项目的原理 14 “曲面化”。

物-场分析: 增加离心力场增强分离。

利用效应库和专利库查询油气分离的方法, 主要有温度变化法、吸附法、惯性力分离法等。温度变化法是通过冷热交替的方法。通过综合分析, 生成方案如图 1-5。

3. 方案评价

根据物-场模型总结出 8 个技术方案, 其具体评价如表 1-1 所示。

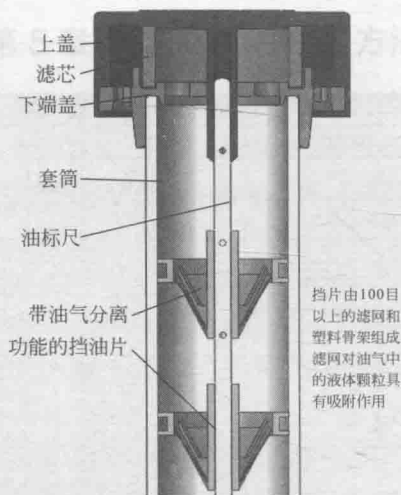


图 1-4 油箱结构

① 40 个发明原理见附录 1。

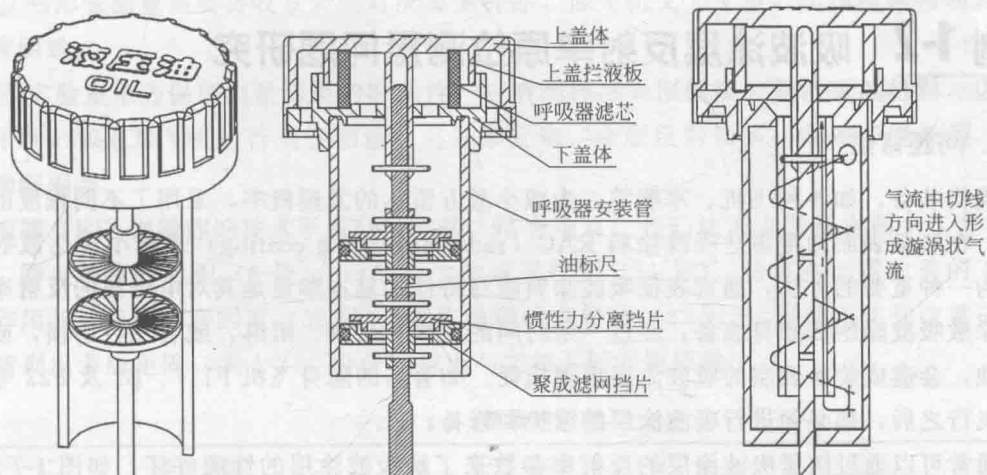


图 1-5 新液压油箱结构

表 1-1 方案评价结果

序号	方案名称	评价结果	序号	方案名称	评价结果
1	挡片具有多用型结构	☆☆	6	扇叶离心结构	☆☆☆☆
2	套管曲面化结构	☆	7	迷宫分离结构	☆☆☆☆
3	多细管结构	☆☆	8	多系统分离结构	☆☆☆☆
4	螺旋细管结构	☆☆☆	9	迷宫/多孔组合结构	☆☆☆☆
5	气流旋转离心结构	☆☆			

按用户工况模拟实验，收集数据进行验证！具体情况对比见图 1-6。

扇叶方案	good	bad
改善前	0	30
单扇叶	18	12
双扇叶	24	6
多扇叶	27	3

卡方检验: good, bad
在实测计数下方给出的是期望计数
在期望计数下方给出的是卡方贡献

	good	bad	合计
1	17.25	12.75	30
	17.250	23.338	
2	18	12	30
	17.25	12.75	
	0.033	0.044	
3	24	6	30
	17.25	12.75	
	2.641	3.574	
4	27	3	30
	17.25	12.75	
	5.111	7.456	
合计	69	51	120

卡方 = 59.847, DF = 3, P 值 = 0.000

通过6σ卡方验证, P 值小于0.05有差异, 改善有效! 且通过数据发现多扇叶改善最佳!

迷宫方案	good	bad
改善前	0	30
1个装置	22	8
2个装置	27	3
3个装置	27	3

卡方检验: good, bad
在实测计数下方给出的是期望计数
在期望计数下方给出的是卡方贡献

	good	bad	合计
1	19.00	11.00	30
	19.000	32.818	
2	22	8	30
	19.00	11.00	
	0.474	0.818	
3	27	3	30
	19.00	11.00	
	3.368	5.818	
4	27	3	30
	19.00	11.00	
	3.368	5.818	
合计	76	44	120

卡方 = 71.483, DF = 3, P 值 = 0.000

通过6σ卡方验证, P 值小于0.05有差异, 改善有效! 且通过数据发现当使用2个装置时, 改善效果已非常明显!

迷宫/多孔组合方案	good	bad
改善前	0	30
颗粒0.6mm	30	0
颗粒0.8mm	28	2
颗粒1mm	27	3

卡方检验: good, bad
在实测计数下方给出的是期望计数
在期望计数下方给出的是卡方贡献

	good	bad	合计
1	21.25	8.75	30
	21.250	51.607	
2	30	0	30
	21.25	8.75	
	3.603	8.750	
3	28	2	30
	21.25	8.75	
	2.144	5.207	
4	27	3	30
	21.25	8.75	
	1.356	3.779	
合计	85	35	120

卡方 = 97.896, DF = 3, P 值 = 0.000

通过6σ卡方验证, P 值小于0.05有差异, 改善有效! 且通过数据发现多孔材料颗粒大小在0.6mm时最佳!

图 1-6 3 种方案实验对比

案例 1-2 吸波涂层反射率原位测量问题研究

1. 问题背景

现代装备，如各种飞机、军舰等，为减小敌方雷达的发现概率，采用了不同程度的隐身措施。在装备表面涂覆雷达吸波涂料 RAC (radar absorbing coating) 来减小雷达散射截面已成为一种重要的方法，通常表征吸波涂料隐身特性的基本参量是其对电磁波的反射率。

涂敷吸波涂层的隐身装备，经过一定时间的风吹、日晒、雨淋，或者飞行磨损，或者其他腐蚀，会造成装备表层的吸波涂层出现损耗。如著名的隐身飞机 F117、B2 及 F22 等，在例行飞行之后，都必须进行吸波涂层的维护和修补。

通常可以通过测量吸波涂层的反射率参数来了解吸波涂层的性能好坏，如图 1-7 所示，将吸波涂层按照规定尺寸和厚度均匀涂覆在金属样板上，把涂层样板放在测试台上，通过弓形法进行测量，测试台周围铺覆吸波材料，用来抑制周边的干扰杂波。一般这种实验室方法用于吸波涂层上装备表面之前的性能鉴定。那么问题来了，如果吸波涂层涂上飞机表面之后，还能用这种实验室方法来进行测量吗？该如何测量？

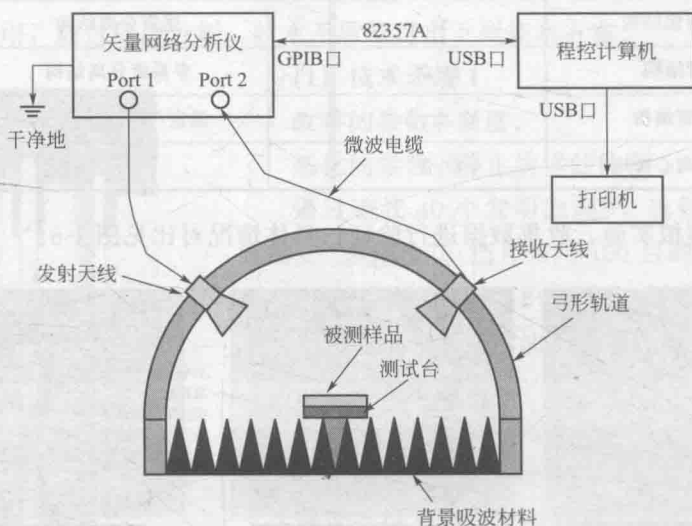


图 1-7 吸波涂层样板弓形法测量

2. 技术矛盾

将被测涂层样板置换为飞机后，分析测量组件面临着以下变化：

- ① 被测目标面积由小变大。
- ② 电磁背景干扰由干净变为杂乱。
- ③ 被测物由易移动变为难移动。

因上述变化，出现几个关键的技术矛盾：

- ① 飞机的外形尺寸大，而实验室的测量空间相对不足，无法将飞机放入实验室内进行测试。

② 弓形法测量需要将收发天线对准被测样品，而飞机又大又重，实现精确移动和定位将非常困难。

③ 实验室中为保证测量结果的准确性，对被测样品周围铺覆大量的吸波材料，以抑制杂波干扰，如果对飞机进行直接测量，其外形复杂，金属反射面多，电磁环境杂乱，干扰多，抑制困难。

根据 TRIZ 创新理论技术矛盾分析方法，结合项目，我们认为主要存在两个工程参数^①恶化：静止物体的面积（6 号）；对象产生的有害作用（31 号）。另有两个需改善的工程参数：作用于对象的有害因素（30 号）；操作流程的方便性（33 号）。根据恶化和改善的工程参数罗列出矛盾矩阵（表 1-2），并分别找出与之相关的发明原理。

表 1-2 矛盾矩阵表

改善参数 恶化参数	6	31
	静止物体的面积	对象产生的有害作用
30 作用于对象的有害因素	2,27,35,39	—
33 操作流程的方便性	15,16,18,39	—

实际上，在进行问题分解分析的过程中，结合问题实际，我们逐步锁定了可以解决本项目问题的发明原理，分别是抽取原理、动态特性原理、物理或化学参数改变原理（表 1-3）。

表 1-3 发明原理与实际问题的关联性

发明原理	与实际问题的关联性
2 抽取原理	可抽取部分区域测量,有效
15 动态特性原理	可制作可移动测量装置,有效
16 未达到或过度作用原理	无效
18 机械振动原理	无效
35 物理或化学参数改变原理	可贴合式测量,改变电磁场参数,有效
39 惰性环境原理	无效

综合分析，可采用抽取部分区域测量解决飞机面积大的问题，将测量装置变为可移动解决操作方便性问题，采用贴合式测量解决杂波干扰问题。于是，便有了“便携式吸波涂层反射率测量装置”的初步设想。

3. 技术可行性分析

有了初步的设计思路之后，我们将采用独立分析方式对技术可行性进行分析。
为实现部分区域测量和贴合式测量，可采用波导式喇叭探头。该探头具有一定尺寸，较

① 39 个标准工程参数及其含义见附录 2。

小，切口平面，测量时可平贴于飞机表面进行，因此，申请了专利：一种新型吸波涂层反射率测量喇叭探头（申请号：201520904896.6）。

可移动测量装置具备便携性。有了测量探头，还需主控机，探头与主控机之间用电缆连接。这是整个系统的初步构想，如图 1-8 所示，但是，继续研究下去，技术上又出现了新的问题。

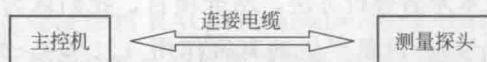


图 1-8 系统初步构想

新的问题如下：

① 飞机的尺寸很大，部分测试区域离地面很远，需要连接长电缆线，势必造成微波信号损耗增大，测试精度下降。

② 对于材料反射率的精确测量是有一定距离要求的，而采用贴合式测量之后，不满足其距离要求，则测试精度必然下降。

对于第 1 个问题，在飞机上测量时，既需要连接电缆足够长，又需要电缆尽量短，以降低信号传输损耗。因此，存在物理矛盾：测量线要长，也要短。运用 TRIZ 物理矛盾的分离原理去分析：主控机与探头的连接电缆中，包括了微波高频电缆和低频控制线，高频易损耗，而低频较稳定。可采用条件分离原理，对应分割原理。去掉高频电缆，只留下控制线，这样线缆上就没有衰减了。那么高频信号如何处理？采用对应组合原理，将高频微波电路与探头集成在一起，虽然技术上难度较大，但可以实现，并申请了专利：一种便携式吸波涂层反射率自校准测试探头（专利号：201410712618.0）。

对于第 2 个问题，贴合式测量虽然很好地去除了杂波干扰，但是它不满足精确测量的距离要求。将贴合式测量方式运用物-场模型分析，如图 1-9 所示。

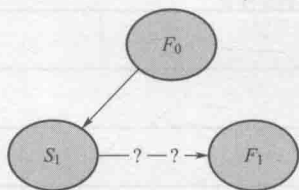


图 1-9 贴合式测量物-场模型

根据 TRIZ 第 4 类标准解——测量与检测的标准解，认为可用两次检测替代方法。精确测量所得结果为反射率的绝对值，而可以通过两次检测，比较相对值，来考察吸波涂层上机后的性能变化情况，便于机上吸波涂层的监控、维护和修复，这是进行机上吸波涂层反射率检测的最终目的。因此，

只要贴合式测量能够保证其重复性就足够了，这在技术上是完全可以实现的。申请相关专利：一种对吸波涂层反射率性能进行长期跟踪检测的方法（申请号：201510776302.2）。

4. 便携式吸波涂层反射率测试装置

总的来讲，我们通过 TRIZ 创新方法系统性地解决了一系列矛盾，确立了发明的基本方向，再经过技术研发，研制出便携式吸波涂层反射率测试装置，如图 1-10 所示。

其主要功能和技术指标如下：

频率：宽频测量；

工作方式：频率步进；

反射率测量范围：0～-25dB；

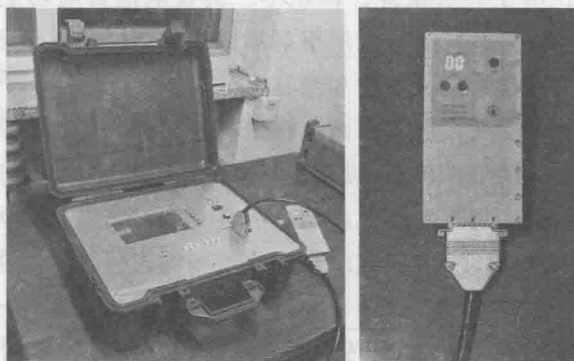


图 1-10 便携式吸波涂层反射率测试仪

频率精度： $\pm 100\text{kHz}$ ；

单次测量速度： $\leq 10\text{s/频段}$ ；

供电：220V 市电或锂电供电，内置锂电供电时连续工作时间不小于 2h，用于现场原位测量。

在对测试设备的验证试验中使用的 4 块吸波涂层样板，其涂覆的吸波涂层厚度分别为 0.3mm、0.35mm、0.4mm、0.45mm。用便携式吸波涂层反射率测试仪对样板进行检测，结果如图 1-11 所示，测试仪能够很好地分辨出不同厚度的吸波涂层反射率参数，且重复性好。

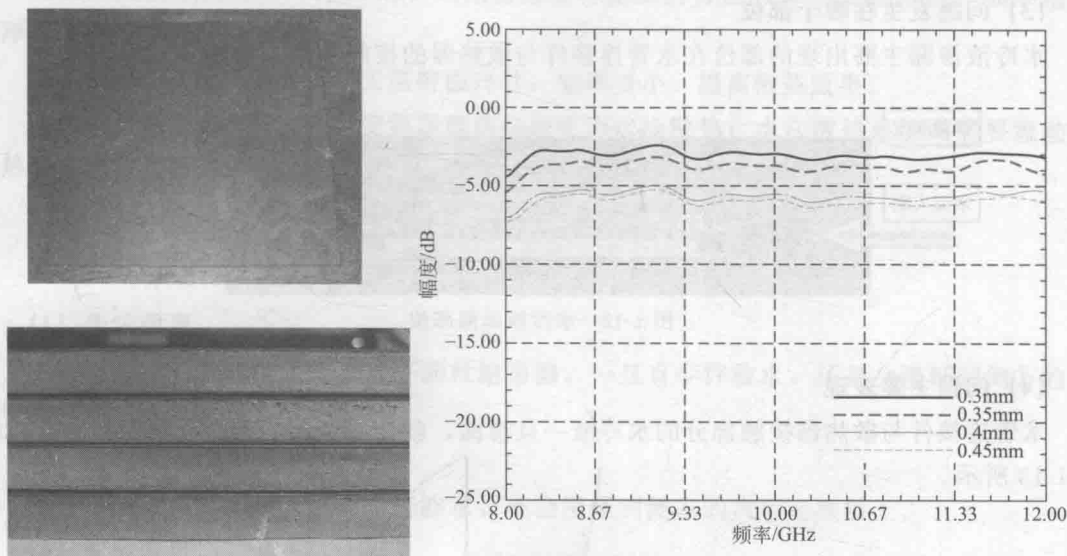


图 1-11 4 块样板的反射率测量结果

5. 预期效益

为满足我国各类隐身装备的发展需求，建设相关的隐身性能检测试验条件迫在眉睫。目前，国内雷达吸波材料反射率的实验室测量技术较为成熟，可满足吸波涂层在上装备之前的检测。便携式吸波涂层反射率测试仪则可以作为吸波涂层上装备后的监控、维护、修补的重

要检测手段和试验依据。由于其重量轻、体积小、具备电池蓄电功能、操作简单、测量准确，可随时随地在现场对装备进行吸波涂层反射率原位测量，建立数据库，跟踪装备表面吸波涂层的损耗情况，便于吸波涂层的维护和修补。

便携式吸波涂层反射率测试仪因具有诸多特点和适用性，可广泛应用于工厂、部队，为装备的后期服役提供吸波涂层维护检测手段，填补了这一应用领域的市场空白，具有重要的社会效益；它可服务于舰船、飞行器、地面装备等各类隐身装备。作为服役过程中吸波涂层的维护和修补的试验检测依据，其应用范围广泛，市场需求强烈，经济效益巨大。

案例 1-3 提高电动汽车变频器散热系统密封性

1. 问题背景

(1) 问题是什么

液体的管件连接密封广泛存在各种行业中，其管件连接密封性一直是各行业的重大难题。

电动汽车变频器需要冷却散热。采用水冷散热经济廉价、结构简单，但水冷散热系统中的水不能渗漏到电动汽车变频器上。

(2) 问题出现在什么时候

变频器水冷散热系统管件连接密封时，狭窄的密封面之间存在水冷液渗漏风险。

(3) 问题发生在哪个部位

水冷液渗漏主要出现的部位在水管连接件与散热器的接触部分，如图 1-12 所示。

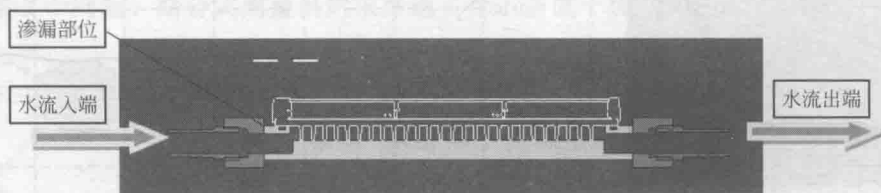


图 1-12 水冷液渗漏部位

(4) 问题主要表现

水管连接件与散热器接触部分的水冷液一旦渗漏，就会蔓延到侧方的汽车变频器上，如图 1-13 所示。

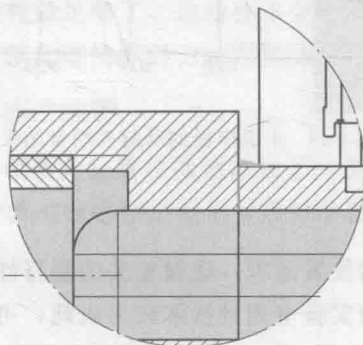


图 1-13 渗水表现

2. 解决方案

(1) 传统解决方案

以前用增加密封垫和涂密封胶的方法来减少水管连接件与散热器接触部分的渗水量，如图 1-14 所示。

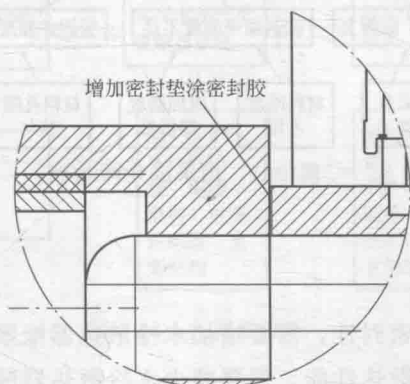


图 1-14 传统解决方案

(2) 技术矛盾

连接部位壁厚较薄，只有 5mm，采用密封垫和涂胶的方法效果不是很理想。如果增加壁厚，散热效果将受到影响。

技术矛盾 1：壁厚要大，加大密封面尺寸；壁厚要小，提高散热效果。

技术矛盾 2：技术限定汽车变频器散热必须使用水冷散热；水在散热系统内需要流动以散热，水渗漏到散热系统外后需要不流动以防蔓延到变频器。

选择 TRIZ 创新方法解决上述问题。

3. 方案效果

(1) 传统效果

水管连接件与散热器接触部分不能杜绝渗漏，一旦有少许渗水，还是会蔓延到侧方的汽车变频器上。

(2) 预期效果

密封性好，不渗水；一旦有少许渗水，不会蔓延到侧方的汽车变频器上。

(3) 实际效果

水管连接件与散热器接触部分不渗水，即使渗水也不会蔓延到侧方的汽车变频器上。

4. 具体方案

技术限定汽车变频器散热必须使用水冷散热。水具有流动性，一旦出现渗漏必会蔓延到侧方的汽车变频器上。

关键问题：解决汽车变频器散热问题，同时汽车变频器上不能有渗漏冷却液。