

层喷涂厚度及厚度均匀度^[3]。目前, 防氧化涂料涂覆工艺主要采用刷涂法和喷涂法, 而喷涂法更适用于现场。由于是人工操作喷枪, 故存在钢坯防氧化涂层厚度均匀性不足的问题。本文应用创新方法论中的 ARIZ 算法来分析解决此问题。

二、ARIZ 算法

ARIZ (Algorithm for Inventive Problem Solving) ——发明问题解决算法, 该算法采用一套逻辑过程逐步将初始问题程式化, 特别强调冲突与理想解的程式化, 一方面技术系统向着理想解的方向进化, 另一方面如果一个技术问题存在冲突需要克服, 该问题就变成了一个创新问题。ARIZ 算法是 TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving——发明问题解决理论) 理论中的一个主要分析问题、解决问题的方法, 是 TRIZ 中最强有力的工具。目前, ARIZ 的最新版本是 ARIZ-96SS, 现在应用最广泛的仍是 ARIZ-85C, ARIZ-85C 共有 9 个步骤, 流程图如图 1 所示。

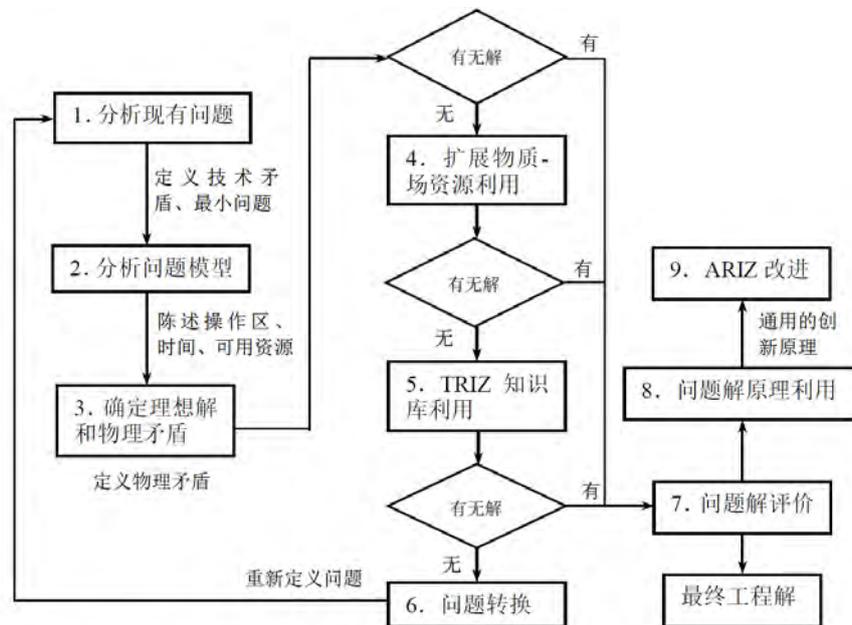


图 1 ARIZ 应用流程图

在应用 ARIZ 解决问题的过程中, 并不要求按顺序走完所有的 9 个子步骤, 而是, 一旦在某个步骤中获得了问题的解决方案, 就可跳过中间的其他几个无关步骤, 直接进入后续的相关步骤来完成问题的解决^[4]。

三、ARIZ 算法解决钢坯防氧化涂层厚度的均匀性

针对钢铁高温氧化的防护涂料种类甚多, 大多采用刷涂或喷涂方法施工于钢坯表面。而喷涂法更适用于现场施工, 涂料厚度一般控制在 0.5~0.6mm 左右。由于是人工操作喷枪, 故存在钢坯防氧化涂层厚度均匀性不足的问题。喷枪喷涂的原理是喷枪用压缩空气从空气帽的中心孔喷出, 在喷嘴前端形成负压, 使涂料从喷嘴中喷出, 并被高速空气流微粒化, 涂料呈雾状飞向并附着在被喷物体表面, 最终, 以连续的方式, 完成物体的整体喷涂。其中, 喷枪枪头可通过调节使涂料

雾化成圆形或椭圆形，结构图如图 2 所示。

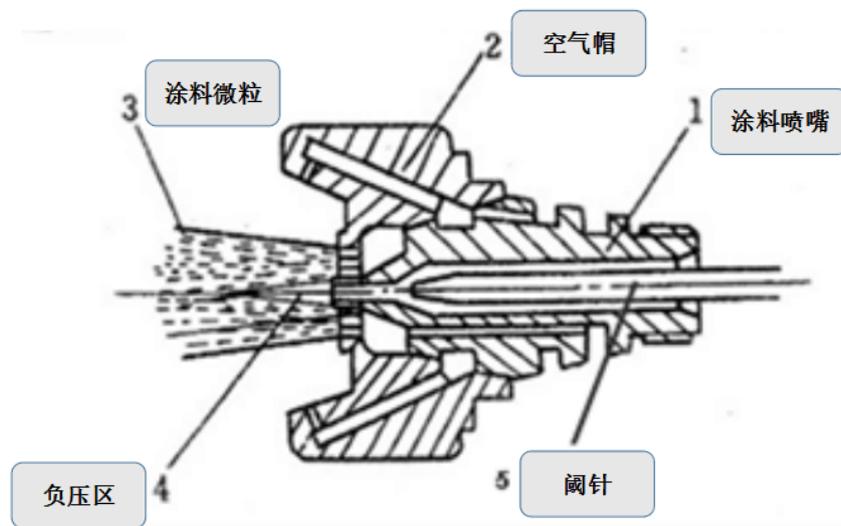


图 2 喷枪枪头结构图

图 3 是涂料雾化形状为椭圆形的喷涂，搭接处的涂料比边缘处涂料多，如果进行连续喷涂使涂层厚度达到 0.5mm 左右时，搭接处的涂料由于多次的叠加喷涂，使得附着于钢坯表面的涂料不均匀。

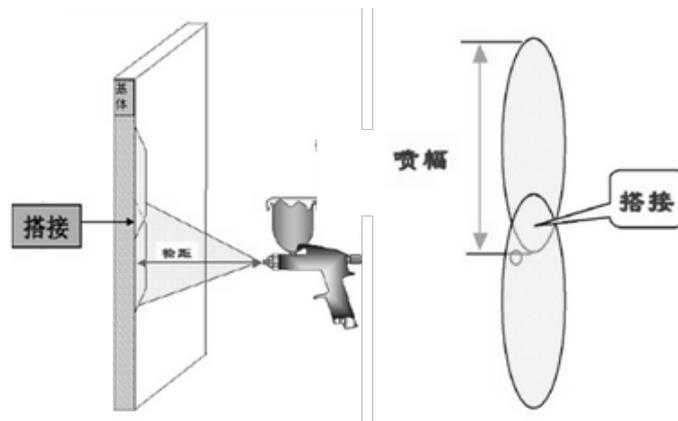


图 3 雾化形状为椭圆形的喷涂

3.1 分析现有问题

1) 描述最小问题

系统的名称：涂料喷涂、附着系统。系统的功能：喷涂涂料，涂料、涂层达到厚度要求，且均匀地附着在钢坯表面。系统的组件：喷枪、空气帽、涂料喷嘴、针阀、涂料、钢坯。

定义系统存在的技术矛盾 TC1 和 TC2：

TC1：若喷枪喷涂的涂料多，涂层厚度能够达到涂覆工艺要求的厚度，但它不能保证涂层的均匀性

TC2：若喷枪喷涂的涂料少，能保证涂层的均匀性，但涂层厚度不能达到涂覆工艺要求的厚度。

在对系统改动最小的情况下，希望达到的目标是：喷枪喷涂的涂料在钢坯表面形成的涂层厚

度在达到涂覆工艺要求的情况下，涂料能够均匀地附着于钢坯表面。

2) 定义矛盾组件对

作用对象：钢坯表面

工具：喷枪喷涂的涂料

画出技术矛盾示意图，如图 4 所示：

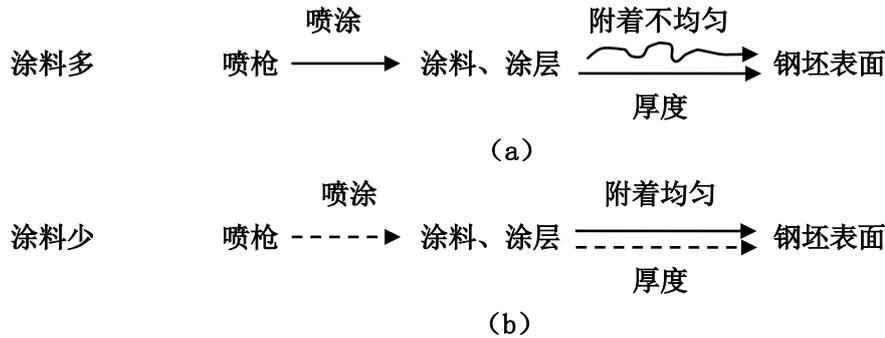


图 4 技术矛盾的示意图

技术矛盾 TC1 的示意模型如图 4 (a) 所示，技术矛盾 TC2 的示意模型如图 4 (b) 所示。

根据技术系统的主要目的，选取主要技术矛盾 TC1。

3) 激化矛盾

定义极限状态，如果喷枪喷涂涂料足够多，涂料、涂层厚度能够达到涂覆工艺的要求，也能保证涂层的均匀性。引入 X 元件：X 元件的功能是消除有害作用、不破坏现在的有用作用和不产生新的有害作用。X 元件在保证钢坯表面的涂层厚度达到涂覆工艺要求时，涂层在钢坯表面呈均匀性的分布。

4) 用标准解解决问题

根据标准解 1.1 建立物场模型中的 1.1.6 施加过度物质。精确控制难以实现的，通过首先最大化，然后移除过剩的，以达到少数量的精确控制。

得到方案一：在钢坯表面喷涂较多的涂料，然后用薄板坯将多余的涂料抹去。

3.2 分析问题模型

1) 定义操作区域、操作时间

操作区域：涂料与钢坯接触区。

操作时间：T1：喷枪喷涂涂料、涂料附着于钢坯表面的时间

T2：下一次喷涂的时间

2) 寻找物场资源 SFR

分析系统内部、环境和超系统中的 SFR，列出可用资源，解决问题，详情见表 1。

表 1 物场资源

可用资源	物质资源		场资源	优先应用等级
	物质	物质变形	场	
工具	涂料	气雾状、粉末状、 固态状	化学场、机械场	1
作用对象	钢坯	液态钢水、钢片 钢卷	重力场	4
系统内的其他组件	喷枪、喷头、涂料 结合剂、涂料粉末	固态结合剂、粉 末结合剂	气场、流场、机 械场	1
特定的环境	空气		风场、流场	2
超系统	操作实验室、其它 钢坯		机械场	3

根据优先应用等级，选择工具—物质变形—固态状涂料。

得出方案二：根据钢坯的尺寸，先将涂料按照施工工艺要求制成厚度均匀的薄片状固态涂料，以给钢坯贴膜的方式，将涂料粘附于钢坯表面。

3.3 确定理想化的最终结果和物理矛盾

1) 理想化的最终结果 IFR

利用 X 来描述 IFR，在操作时间内，操作区域内，X 不能使系统复杂化，不能引起有害现象，维持工作性能的情况下，消除有害作用。X 元素可能是其他组件的另一种功能、系统组件的变形、系统组件+某种已有的场、真空、空气。

在喷枪喷涂涂料、涂料附着于钢坯表面的时间，在涂料与钢坯接触区，X 元素不能使系统复杂化，在涂层厚度达到涂覆工艺要求的情况下，涂料能够均匀地附着于钢坯表面。

2) 物理矛盾

为了涂料能够均匀地附着于钢坯表面，物质应该在操作时间、操作区内。同时，为了不影响防氧化涂层厚度，物质又不该在操作区内。

3.4 调用物场资源

1) 运用“小人法”

将系统功能组件分别用不同的“小人”表示，建立问题模型图 I，如图 5 (a) 所示。在喷枪处于位置“1”处，喷枪喷涂完涂料后，将喷枪移动到位置“2”处，继续喷涂涂料，此时涂料附着在钢坯的位置出现搭接，将喷枪移动到位置“3”处时，喷涂涂料后，位置“2”处喷枪的涂料出现两处搭接，再将喷枪移动到位置“4”处时，喷涂涂料后，位置“3”处喷枪的涂料也出现两处搭接。将喷枪移动到“n”处时，位置“n-1”处喷枪的涂料也出现两处搭接，导致附着在钢坯上的涂层厚度不均匀。更改图中小人的位置，让小人起作用，过渡到技术方案示意图，如图 5 (b) 所示。

2) 运用 IFR 法

IFR1: 根据理想解, 喷枪喷涂的涂料多, 附着于钢坯表面的涂层厚度不仅可以达到涂覆工艺要求, 而且涂层分布比较均匀。

向现状后退一步: 由于涂料的喷雾形状为椭圆形, 钢坯为长方形, 为能让涂料均匀地附着在钢坯表面, 就需要喷枪喷出的涂料形状呈长方形, 附着在钢坯表面。

增加一个组件, 涂料从喷枪喷出后, 使得组件中的微粒子能够牵引涂料以向四周扩散的方式附着于钢坯表面, 在涂层厚度达到涂覆工艺要求时, 涂料能够均匀地附着于钢坯表面。

得出方案五: 采用机械系统替代原理中的运动场代替静止场。将钢坯放置振动台上振动时喷涂涂料, 在喷涂涂料的过程中, 喷枪与钢坯处于相对运动状态, 附着在钢坯表面的涂料由于受到振动力的作用, 搭接处的涂料将向周围涂料少的地方扩散, 使涂料均匀分布于钢坯表面。

3.5 分析已得到的方案

1) 分析方案

分析方案的目的是检查得到方案的质量, 详情见表 2。

表 2 方案总结

序号	名称	方案描述
1	方案一	在钢坯表面喷涂较多的涂料, 然后用薄板坯将多余的涂料抹去。
2	方案二	根据钢坯的尺寸, 先将涂料按照施工工艺要求制成厚度均匀的薄片状固态涂料, 以给钢坯贴膜的方式, 再将涂料粘附于钢坯表面。
3	方案三	将人工操作喷枪喷涂改为在线自动喷涂, 喷涂过程中需同时开启两组喷枪, 一组喷涂料, 一组喷空气。喷空气的主要作用是利用气流避免搭接处的涂料重复叠加, 以保证涂料能够均匀地附着于钢坯表面。
4	方案四	根据钢坯尺寸、喷枪喷距和喷幅的大小, 计算搭接处的最大直径和所需喷枪的个数并标记位置。用薄钢片制成“角座”形状, 将“角座”放置搭接处以附着叠加的涂料, 连续喷涂至涂覆要求的涂层厚度。以保证涂料能够均匀地附着于钢坯表面。
5	方案五	将钢坯放置振动台上振动时喷涂涂料, 在喷涂涂料的过程中, 喷枪与钢坯处于相对运动状态, 附着在钢坯表面的涂料由于受到振动力的作用, 搭接处的涂料将向周围涂料少的地方扩散, 使涂料均匀分布于钢坯表面。

(2) 评价得到的方案

表 3 评价方案

序号	方案	是否满足 IFR1 的要求	是否解决了物理矛盾	方案是否容易实现	新系统是否可控	将会出现的连带子问题
1	方案一	√	√	√	√	无
2	方案二	√	√	×	×	制备固态涂料
3	方案三	√	√	×	×	设计在线喷涂装置
4	方案四	√	√	√	√	无
5	方案五	√	√	×	×	添加振动装置

3) 结论

综合上述分析, 可选用方案一和方案四来解决钢坯防氧化涂层厚度均匀性不足的问题。

四、结束语

目前, 国内钢坯防氧化涂料实验室研究技术比较成熟, 由于受到涂覆工艺的限制, 未能在现场展开实际应用。有文献表明工业化试验研究结论: 涂料涂覆厚度过厚且涂层不均匀, 涂料黏结过于牢固。造成渗透层的原因与手工涂装耐高温涂料不均匀性有关^[5]。

解决钢坯防氧化涂层厚度均匀性的问题不仅为今后防氧化涂料在现场的实施应用奠定了一定的基础, 还可有效地降低钢坯的氧化烧损、改善钢坯表面质量。本文通过应用 ARIZ 算法解决钢坯防氧化涂层厚度不均匀问题, 并得到了两种简单易行的方案。

ARIZ 算法集成了 TRIZ 理论的大多数工具, 是 TRIZ 中用于解决复杂困难问题的高级工具, 给出了解决复杂问题的完整流程, 将一个复杂的系统问题转换为简单的问题模型, 最终获得理想解。

参考文献

1. 魏连启、叶树峰、孙卫华等. 动态过程钢坯高温防氧化技术. 电镀与涂饰, 2008 年第 27 卷第 3 期.53~55
2. 邢旭腾, 张贵杰, 贾志芳. 高温防氧化钢坯涂料的研究进展. 第 24 卷 中国冶金.2014.79~83
3. 李卯华, 刘艳华, 赵德忠. 高温防氧化涂层对钢坯烧损的研究和实践. 辽宁科技学院学报 第 16 卷第 1 期 2014,3~4
4. 创新方法教程: 高级/创新方法研究会, 中国 21 世纪议程管理中心编.北京: 高等教育出版社, 2012.5:111~119
5. 徐梦明, 陈岑, 陈飞. 纳米耐高温涂层的应用及分析. 宝钢技术. 2011.4:18~22.

作者简介: 张丽丽, 材料科学与工程耐火材料专业, 现任马鞍山钢铁股份有限公司技术中心从事技术工程师。自 2014 年以来一直从事创新方法工作。邮箱: zhang2001010102@163.com。