

DOI: 10.3901/JME.2015.21.156

# TRIZ 辅助多层次裁剪方法集构建\*

于菲<sup>1,2</sup> 刘芳<sup>1,2</sup> 檀润华<sup>1,2</sup> 刘智光<sup>1</sup>

(1. 河北工业大学机械工程学院 天津 300130;

2. 河北工业大学国家技术创新方法与实施工具工程技术研究中心 天津 300130)

**摘要:** 裁剪方法利用系统内部及超系统资源解决问题,这一特点促使了产品结构简化和成本降低。现有裁剪方法是规则引导下设计者的主观分析过程,这在某种程度上限制了裁剪操作简化和方案解获取。以裁剪本质和实现方式为约束条件,以 TRIZ 中基于知识的发明问题解决原理和规律为知识源,确定了基于知识的裁剪方法,对裁剪过程中系统有用功能分配形成客观知识原理启发。将其与现有裁剪方法有效结合,形成主观分析与客观原理启发优势互补的多层次、多角度裁剪方法集。并在此基础上提出基于裁剪方法集的裁剪创新设计过程模型。900 t 双导梁式架桥机创新设计实例对其有效性进行了验证。

**关键词:** TRIZ; 裁剪方法; 过程模型

**中图分类号:** TH122

## Construction of Multi-level Trimming Method Set Based on TRIZ

YU Fei<sup>1,2</sup> LIU Fang<sup>1,2</sup> TAN Runhua<sup>1,2</sup> LIU Zhiguang<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130;

2. National Engineering Research Center for Technological Innovation Method and Tool,  
Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

**Abstract:** Trimming method which solves the problems with its own resources can ensure the structure simplification and the cost reduction. The existing trimming method is subjective analysis of designers under the rules guide, which limits simplification of operation and obtains solution in a way. The trimming methods nature and implementation as constraints, the TRIZ knowledge-based problems solving principles and rule as knowledge sources, determine that the knowledge-based trimming methods inspires in the form of objective knowledge principles during the distribution of system useful features in trimming process. Its effective integration with the existing trimming methods builds the multi-level, multi-angle trimming method set, which make their respective advantages complementary to each other. On this basis, the model of trimming innovative design is proposed. The innovative design of 900 t double guide beam bridge machine verifies it effectively.

**Key words:** TRIZ; trimming method; process model

## 0 前言

裁剪作为一种以减少系统元件来解决问题的创新设计方法在有效保证产品质量的同时,促使了产品结构简化和成本降低<sup>[1]</sup>。裁剪方法的实施包括裁剪元件确定和系统有用功能分配两个方面。目前裁剪方法研究基本围绕此两方面展开,且对二者有较确切的划分。

系统裁剪元件的确定是目前裁剪方法实施的

前提<sup>[2-3]</sup>。文献[4-7]通过对系统元件的价值、有害功能、成本、功能等级、有害因素、理想化水平等不同角度进行评价确定系统的初始裁剪元件。

系统有用功能分配伴随着裁剪实施而进行,实质是对系统内和超系统资源的有效应用<sup>[8-9]</sup>。目前裁剪中系统有用功能分配方法主要是指对系统中元件功能分配的引导规则<sup>[10-13]</sup>。计算机辅助创新软件 TechOptimizer 提供了四种基于被裁剪元件功能的有用功能分配途径<sup>[10]</sup>。YEOH<sup>[11]</sup>提出了三条基于元件间作用关系的系统有用功能分配规则。SHEU 等<sup>[9]</sup>在已有基于元件间作用关系的有用功能分配规则基础上,扩展出六条规则,并给出了规则应用方法。GRAWATSCH<sup>[12]</sup>从技术进化角度分析得到引导

\* 国家自然科学基金(51275153)、科技基础性工作专项(2013IM030400)和河北省自然科学基金(E2012202104)资助项目。20141120 收到初稿,20150629 收到修改稿

设计者分配系统有用功能的启发式问句。文献[13]从功能等级分析、成本分析、耗费能源分析、有害功能分析等各种角度提出需求更具体的系统裁剪元件确定方法和有用功能分配策略。

系统有用功能分配引导规则(简称裁剪规则)是实施裁剪操作时以元件功能分析为基础,以功能三元件为基本操作对象的一系列裁剪模型。该规则应用于初始裁剪元件确定后,作为裁剪实施方式在裁剪实施过程中引导设计者进行有用功能分配和后续裁剪元件确定。裁剪规则是对问题解决过程中确定和合理利用资源的导引工具,故系统有用功能分配是裁剪规则引导下设计者的主观分析过程,设计人员往往因惯性思维或自身知识的局限性无法发现系统内和超系统可用资源,从而导致无法得到优越的创新设计方案。

发明原理、标准解及技术进化都是 TRIZ 理论中基于知识的发明问题解决方法,蕴含了大量基于知识的问题解决原理和规律。这些原理和规律正是裁剪规则引导下系统有用功能分配过程所欠缺的客观知识启发。基于此,本文基于 TRIZ 中发明原理、标准解及技术进化规律,确定一类基于知识的裁剪方法,在客观知识层面启发裁剪过程中系统有用功能分配。将基于知识的裁剪方法和现有规则引导下的裁剪方法集成,使客观知识启发和规则引导下的主观分析优势互补,形成多层次、多视角下的裁剪方法集。提出基于设计目标的裁剪方法选用模式,以简化裁剪过程。并在此基础上形成基于裁剪方法集的裁剪创新设计过程模型。

## 1 基于知识的裁剪方法确定

方法是达到目标过程中采用的手段与实施方式。裁剪方法是通过去除系统内某些有害或冗余元件,再利用系统内或超系统资源重新分配系统有用功能来保证系统功能实现<sup>[3]</sup>。这是对裁剪方法的内涵所做的抽象而概括的描述,其并不能在具体案例中有效指导裁剪实施。

### 1.1 基于知识裁剪方法的基本原理

技术系统进化规律、发明原理、标准解作为 TRIZ 理论中基于知识的问题解决方法,提供了解决系统问题的原理和规律。此类原理和规律正是现有裁剪方法所欠缺的客观知识启发。但裁剪工具的实施方式是对系统功能模型的分析及变换,故发明原理等方法所提供的问题解决原理与规律并不能直接用于启发裁剪过程中的系统有用功能分配。以裁剪本质和裁剪实现方式为约束条件,确定其中具有裁剪特征的 TRIZ 方法,通过分析其在特定问题情境下的资源利用形式及功能实现方式,确定可达目标的裁剪实施方式。此种实施方式提供了特定问题情境下可执行系统功能模型变换操作的系统功能配置方向或具体系统功能配置方式,其和前述裁剪方法的抽象描述不同,可在具体案例中明确指导裁剪实施,实现基于裁剪的创新设计,是具体的裁剪方法。该具体裁剪方法基于 TRIZ 中问题解决原理及规律确定,是基于知识的系统资源利用和功能配置方法,故称为基于知识的裁剪方法,其基本原理如图 1 所示。该方法在客观知识层面启发系统有用功能分配。

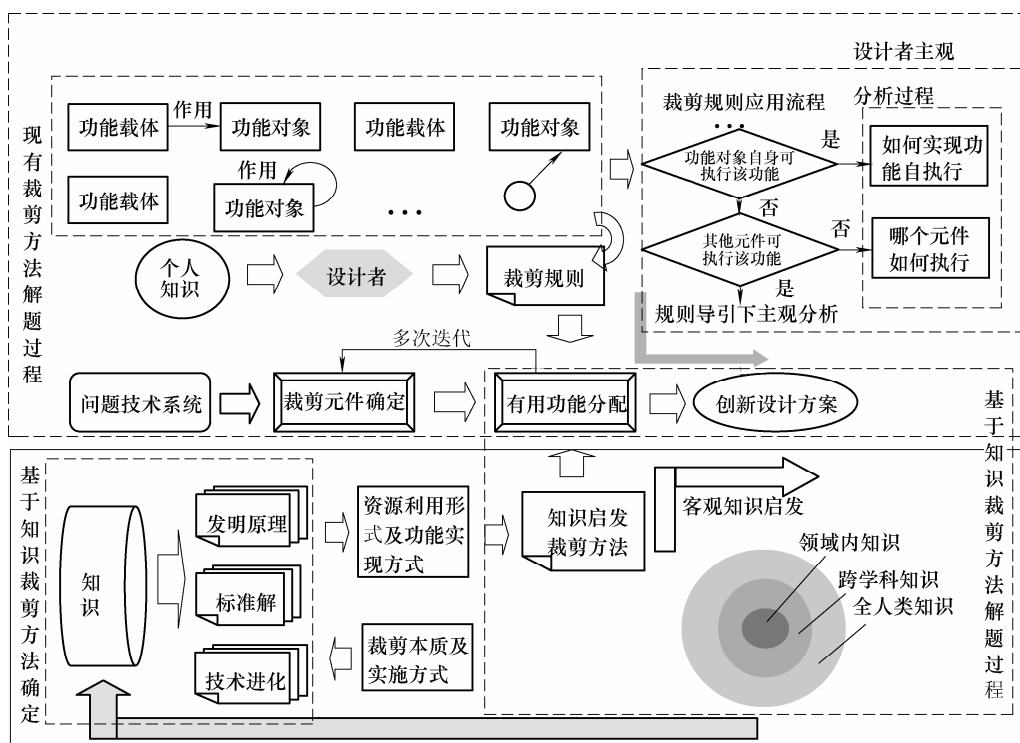


图 1 基于知识裁剪方法的基本原理

## 1.2 TRIZ 辅助基于知识裁剪方法确定流程

裁剪方法与 TRIZ 其他方法相比最本质特征是:问题解决后系统资源消耗降低。裁剪实现方式是利用系统和超系统内已有资源实现功能。以裁剪本质特征和裁剪实现方式为约束条件,在发明原理等 TRIZ 方法中提取基于知识的系统资源利用及功能配置方式,进而形成基于知识的裁剪方法。

基于知识的裁剪方法确定流程如图 2 所示,具体步骤如下。

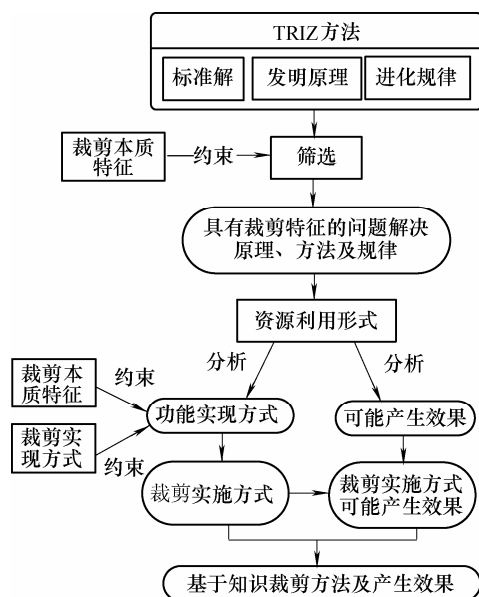


图 2 TRIZ 辅助裁剪方法确定流程

(1) 以裁剪本质特征为约束条件,分别从技术进化规律、发明原理、标准解法中筛选出具有裁剪特征的问题解决原理及规律。

(2) 分析筛选出的问题解决原理及规律,确定其中相应的资源利用形式、功能实现方式和可能产生效果。

(3) 基于上述资源利用形式及功能实现方式,以裁剪本质特征和实现方式为约束条件,确定相应可执行系统功能模型变换操作的实施方式和其可能产生效果。该实施方式即为基于知识的裁剪方法。

根据此流程在发明原理、标准解和进化规律中确定基于知识的裁剪方法。

## 1.3 基于技术进化规律的裁剪方法确定

技术进化反应了技术系统、组成元件、系统与环境之间在进化过程中重要的、稳定的和重复的相互作用,利用这些重复性相互作用可以有效预测并指导创新设计方案产生<sup>[14]</sup>。基于技术进化规律的裁剪方法确定过程如下。

(1) 以裁剪本质特征为约束条件,筛选出具有裁剪特征的一系列进化定律及路线。以其中“子系统不平衡进化定律”为例说明基于知识裁剪方法确

定过程。

1) 子系统不平衡进化定律:组成系统的子系统发展是非均衡的,系统越复杂非均衡程度越高<sup>[14]</sup>。

2) 原理分析:系统进化不平衡现象的出现是由于系统中某些子系统发展快于其他子系统。不理想的子系统导致系统内部子系统间或子系统与系统间出现冲突,不断消除该类冲突有利于系统均衡发展,从而提高设计效率,节约时间和资源<sup>[15]</sup>。

功能实现方式:提高不理想子系统性能。

可能产生效果:系统性能大幅提高。

3) 以裁剪本质和实现方式为约束,确定子系统不平衡定律之裁剪实施方式和可能实现效果如下。

实施方式:裁剪系统中冲突元件,利用系统内元件或超系统进行系统资源重新配置。

可能实现效果:消除冲突、提高系统性能。

子系统不平衡定律之裁剪方法:裁剪冲突元件。裁剪系统中冲突元件,利用系统内其他元件或超系统重新分配有用功能。

(2) 基于技术进化规律的其他裁剪方法。按照上述方法,得到其他基于进化规律的裁剪方法如表 1 所示。

表 1 基于进化规律的其他裁剪方法

进化定律	基于知识的裁剪方法		实现效果
	原理描述	具体描述	
向超系统进化	裁剪相似功能实现结构	当系统和某个或多个其他系统具有相同或相似功能时,裁剪相同的或通用的功能实现结构,实现多个系统资源共用	简化结构
	利用相同环境、时间、功能对象	当系统和某个或多个其他系统具有相同的应用环境、相同的应用时间、相同的主要功能对象,裁剪相同或通用的功能实现结构(或成份),实现多个系统资源共用	节省时间、空间、提高整体性能
	共享资源	当 A 系统内资源或产物可为 B 系统主要功能实现提供资源,将 A、B 系统整合,裁剪 B 系统中相应功能实现资源,利用 A 系统内资源或产物实现	节省资源,降低成本
提高理想化水平	利用相同能源、传动或控制装置	当 A 系统和 B 系统具有相反功能和相同应用环境,若系统 A 和 B 中存在相同或相似的能源、传动或控制装置,将其中一个系统中相同或相似部分裁剪,其功能利用另一系统相同或相似部分实现	简化结构,提高性能
	裁剪低级功能元件	对系统操作进行简化时,顺次裁剪系统修正功能、辅助功能、主要功能元件,使其功能由系统内或超系统元件实现	简化操作,提高性能
	裁剪执行元件	当最大限度追求系统理想化水平提高时,直接裁剪系统执行元件,利用系统内和超系统资源或效应实现系统功能	提高性能,消除冲突
缩短能量流	减少能量(参数)转换次数	对于能量(参数)转换次数较多的系统,裁剪系统中相应传动或动力子系统使系统中能量传递路径缩短	提高性能

## 1.4 基于发明原理的裁剪方法确定

(1) 以裁剪本质特征为约束条件, 筛选出具有裁剪特征的合并、多用性等发明原理。以发明原理“合并”为例说明基于知识的裁剪方法确定过程。

1) 第 5 条发明原理——合并<sup>[14]</sup>。在空间上将相似物体连接在一起, 使其完成并行操作。

2) 确定原理的资源利用形式及功能实现方式。资源利用形式: 系统或超系统内相似资源共用; 功能实现方式: 连接或合并空间上具有某些相似性的物体。

可能产生效果: 节省时间资源、简化系统操作。

3) 确定相应裁剪实施方式和可能产生效果。

实施方式: 分析系统和超系统中相同或相似特征元件/子系统, 如形状、尺寸、颜色、功能, 裁剪系统中该类元件/子系统, 其功能由系统中或超系统中相似特征元件/子系统执行。

可能实现效果: 简化系统结构或操作。

发明原理合并之裁剪方法: 相同特征元件共用。

分析系统和超系统中相同或相似特征元件/子系统, 如形状、尺寸、颜色、功能, 裁剪系统中该类元件/子系统, 其功能由系统中或超系统中相似特征元件/子系统执行。

(2) 基于发明原理的其他裁剪方法。按照上述方法, 得到其他基于发明原理的裁剪方法如表 2 所示。

表 2 其他基于发明原理的裁剪方法

发明原理	基于知识的裁剪方法		实现效果
	原理描述	具体描述	
多用性	相同特征资源共用	当系统和超系统具有相同应用环境、相同应用时间、相似、互补或相反功能, 裁剪共用资源, 实现系统资源共用	降低成本、简化系统
套装	利用空间资源	将系统中功能或形状相同、相似、互补、相反的元件或子系统装置中的其中一个放入或穿过另一个, 以减小系统体积	简化系统
	利用空间资源	将系统中冲突元件或子系统装置置于或穿过与其功能相同、相似、互补、相反的元件或子系统装置	消除冲突
自服务	执行元件功能自实现	裁剪全部或部分系统动力、传动和控制子系统, 其功能利用效应、系统内其他元件或系统外优化资源实现	消除冲突、简化系统
	利用无成本资源	裁剪系统中昂贵的物质和能量元件, 其功能由系统或超系统内过剩的能量、废弃产物、中间产物或廉价资源实现	降低成本、简化系统
分离	子系统功能转移	当系统子系统功能不能满足系统要求, 裁剪该子系统, 通过使其与超系统集成, 将功能转移至超系统实现	简化系统, 提高性能
状态变化	物质状态变化	裁剪冲突或昂贵元件, 其功能由系统内或超系统中物质状态变化实现的某种效应实现	消除冲突、降低成本

## 1.5 基于标准解的裁剪方法确定

(1) 以裁剪本质特征为约束条件, 筛选出具有裁剪特征的标准解。以其中 No.43 (4.1.1)标准解为例说明基于知识裁剪方法的确定过程。

1) 第四类标准解 No.43 (4.1.1): 替代系统中的检测与测量, 使之不再需要<sup>[14]</sup>。

2) 该标准解实质是利用系统变化代替系统的检测与测量, 使之不再需要<sup>[14]</sup>。产生的结果是系统检测与测量装置的去除和系统中信息资源的利用。

资源利用形式: 利用系统状态变化产生的信息资源。功能实现方式及可能效果: 利用其他方式替代系统检测与测量以简化结构、提高性能。

3) 确定裁剪实施方式和可能产生效果。

实施方式: 裁剪系统中复杂的检测与测量元件, 其功能由系统或超系统内状态变化来实现。

可能实现效果: 结构简化, 消除冲突。

标准解 No.43 (4.1.1)之裁剪方法: 状态变化。

当系统中检测与测量结构特别复杂或为系统冲突元件时, 裁剪该元件, 其功能由系统或超系统状态变化来实现。

(2) 基于标准解的其他宏观裁剪方法。按照上述方法, 得到其他基于标准解的裁剪方法如表 3 所示。

表 3 其他基于标准解的裁剪方法

标准解	基于知识的裁剪方法		实现效果
	原理描述	具体描述	
NO.60 (5.1.1.1)	利用无成本资源	裁剪系统中昂贵或冲突元件, 其功能由系统或超系统中相同功能特性廉价物质实现, 如空气、空洞、缝隙等	降低成本、消除冲突
No.65(5.2.2)	利用已有场资源	当系统中能量资源昂贵或存在冲突时, 裁剪该能量装置, 利用系统或超系统中具有相同功能特性的已存在场替代	降低成本、消除冲突

## 2 多层次整合裁剪方法集构建

### 2.1 裁剪方法集构建

基于知识的裁剪方法针对系统具体问题, 从客观知识层面直接启发系统有用功能分配, 去除了繁琐的裁剪元件评价过程, 不用逐一裁剪系统元件, 省去了反复迭代裁剪规则过程。但其与 TRIZ 中发明问题解决方法相同, 每条裁剪方法都是特定情景下的功能配置方案, 故并非所有问题都能有效利用其确定方案解, 方法不具普适性。现有裁剪方法中裁剪规则的应用是设计者主观分析主导的裁剪元件确定和有用功能分配过程, 虽在知识获取及操

作步骤上具有局限性,但主观分析具有一定的灵活性和普适性。

两类裁剪方法各具优缺点,将二者优缺点对比分析,结果如图 3 所示。

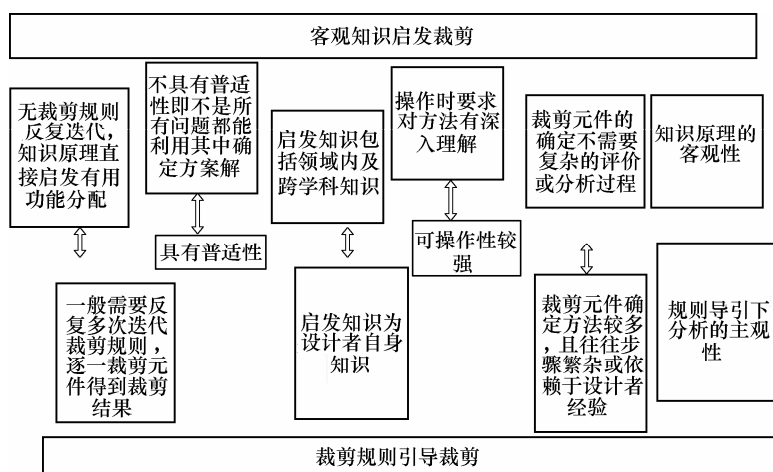


图 3 基于知识与基于规则裁剪方法优缺点对比

其中,基于知识裁剪方法与裁剪规则引导的裁剪方法恰好实现优势互补。所以,裁剪方法的有效实施模式应是基于知识裁剪方法和规则引导裁剪方法有效结合的结果。

TRIZ 中发明原理、标准解提供了解决问题的具体原理和方法,而技术进化只提供解决问题的趋势和方向。所以基于发明原理、标准解、技术进化规律确定的基于知识的裁剪方法包括两种,其一是确定裁剪元件同时提供了具体的系统有用功能配置方式。该类裁剪方法可直接利用知识启发确定创新设计方案,故称为知识原理启发的裁剪方法。另一类裁剪方法只提供了有用功能分配的宏观方向,即只能确定剪裁元件,不能确定具体的功能配置方式。将该类裁剪方法与现有裁剪规则结合,利用基于知识裁剪方法确定裁剪元件,结合现有裁剪规则引导设计者主观分析确定系统内及超系统可用资源,从而完成系统有用功能配置。该裁剪过程由基于知识裁剪方法与裁剪规则共同实现,故称其为一类知识与规则结合的裁剪方法。以上两类裁剪方法连同现有规则引导下的裁剪方法都可在案例中具体指导裁剪实施且各具优势。将以上三类裁剪方法集成,共同构成多层次、多角度的裁剪方法集,过程如图 4 所示。裁剪方法集如表 4 所示。

## 2.2 裁剪方法选用策略

应用裁剪方法可达到不同的设计目标,如简化结构、降低成本、消除冲突、提高性能等。为了更有效的应用裁剪方法使之快速达到设计目标,将裁剪方法集根据不同设计目标归类成 5 个子集,形成设计目标对应的裁剪方法选用策略,如表 5 所示。应用上述基于设计目标的裁剪方法选用策略,设计者根据设计目标,选择不同的裁剪方法指导裁剪操作,从而更高效和有效地实现裁剪创新设计。

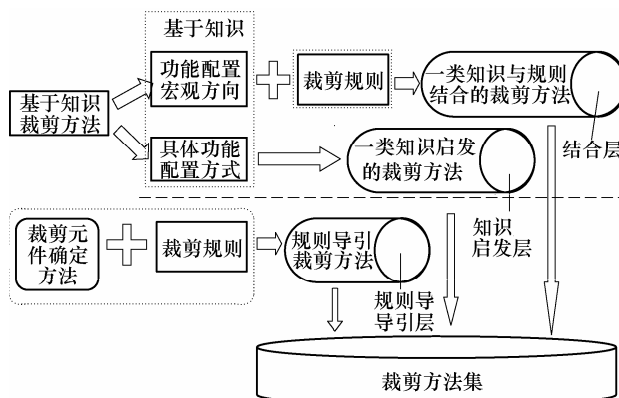


图 4 多层次裁剪方法集构建模型

表 4 裁剪方法集

序号	裁剪方法
1	裁剪冲突元件 && 基于裁剪规则的有效功能分配。
2	裁剪低级别功能元件 && 基于裁剪规则的有效功能分配。
3	裁剪执行元件 && 基于裁剪规则的有效功能分配。
4	减少能量(参数)转换次数 && 基于裁剪规则的有效功能分配。
5	执行元件功能自实现
6	利用无成本资源
7	状态变化
8	利用已有场资源
9	相同特征资源共用
10	相同特征元件共用
11	物质状态变化
12	子系统功能转移
13	裁剪相似功能实现结构
14	利用相同应用环境、时间、功能对象
15	共享资源
16	利用相同能源、传动或控制装置
17.1	利用空间资源
17.2	利用空间资源
18	裁剪价值较低元件基于理想化水平的裁剪元件确定方法 && 基于裁剪规则进行系统有用功能分配





效率高、安全性能好、易适应曲线和坡道工况、过孔方式简单稳定、可通过运梁车驮运实现短途运输等众多优点,但也存在一些急需解决的问题<sup>[17-18]</sup>。

#### 4.1 明确基础产品,确定设计目标

900 t 双导梁式架桥机中,DF900 型双导梁式架桥机采用定点起吊吊梁方式,整机架设安全性好,稳定性高,且能够适应 20 %坡度和 600 m 小曲线架设,整体性能优越,故选用 DF900 型双导梁式架桥机为改进设计基础机型。

双导梁式架桥机由架梁机和导梁机两大部分组成。架梁机是完成预制梁架设的主体部分,导梁机是相应孔位架设完成后辅助架梁机进行孔间移位(简称“过孔”)的部分。DF900 型双导梁式架桥机中架梁机有一段长约 20 m 的悬臂梁<sup>[17]</sup>。悬臂梁与主梁固连,用来辅助导梁机过孔。在桥隧相连工况下,当隧前末孔墩台距隧道口距离小于悬臂梁长度时,由于架设状态下悬臂梁高度高于隧道口高度而使架梁机无法过孔至隧前末孔孔位,因而无法实现隧前末孔梁的架设。该问题目前可采用浇筑梁或隧前拆卸悬臂梁解决。但浇筑方式需要调入大量辅助设备且过程非常耗时;拆卸悬臂梁需要借助大量外界辅助设施,且拆卸过程耗时费力<sup>[19]</sup>。故针对该问题,本研究设计目标如下。

- (1) 无须拆卸悬臂梁即可实现隧前末孔梁架设。
- (2) 简化隧前末孔架设工序,降低成本及耗时。

#### 4.2 建立系统功能模型

DF900 型双导梁式架桥机的架梁机部分由主梁、悬臂梁、吊梁天车、导梁天车、前支腿、后支腿、辅支腿等组成;导梁机部分由下导梁、下导梁支腿等组成。架桥机结构如图 6 所示。隧前末孔梁架设时,拆卸悬臂梁需用到辅助走行轨道、辅助运载设备以及拆卸部件的吊装设备等外界辅助设备。



图 6 DF900 型双导梁式架桥机整机结构

当隧前末孔墩台距隧道口距离小于悬臂梁长度时,由于隧道外壁阻碍了悬臂梁前移,架梁机后支腿上的行走电动机无法带动架梁机顺利移动至隧

前待架孔位,因而无法实现隧前末孔梁的架设。故隧道外壁对悬臂梁的阻碍作用为有害作用,架梁机后走行支腿对架梁机的推动为不足作用。根据设计目标,架桥机需在不拆卸悬臂梁情况下,实现隧前末孔梁的架设。故建立系统功能模型时,辅助设施对悬臂梁的拆卸既是有用作用又是有害作用。建立架桥机隧前架设工况下系统功能模型如图 7 所示。

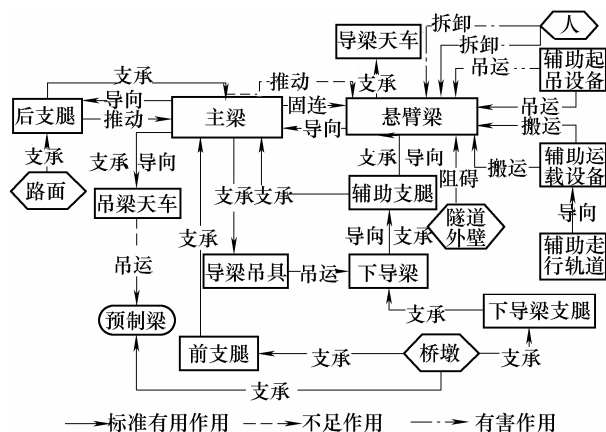


图 7 隧前架设工况下架桥机系统功能模型

#### 4.3 基于裁剪方法集的裁剪创新设计

- (1) 根据设计目标选择裁剪方法子集。

该设计的目标是实现隧前末孔梁的架设,简化架设工序,降低工程耗时和成本。900 t 双导梁式架桥机进行隧前末孔梁架设时,由于隧道外壁的阻碍,无法正常架设。现阶段需要通过拆卸悬臂梁解决这个问题,但该种措施需要借助大量外界辅助设施,这导致了工序繁琐且耗时费力。故拆卸悬臂梁实现的有益结果和同时产生的负面影响形成冲突。因此优先选择“消除冲突”裁剪方法子集。

- (2) 选择裁剪方法。

“消除冲突”裁剪方法子集中对应“裁剪方法 5、6、7、8、11、12、17.2、18、1、3、4”。裁剪方法 6 针对系统中冲突元件为较昂贵物质或能量元件的问题情境,裁剪方法 7 针对系统中检测与测量结构特别复杂或为系统冲突元件的问题情境,裁剪方法 8 针对系统中能量资源昂贵或存在冲突时的的问题情境,故该几种方法和本问题情境不同,不予选用。尝试裁剪方法 5、11、12 未形成系统功能分配具体方案。继续选用第 17.2 条裁剪方法:“利用空间资源。将系统中冲突元件或子系统装置置于或穿过与其功能相同、相似、互补、相反的元件或子系统装置。”由前述可知,本系统冲突元件为“悬臂梁”。由图 7 所示系统功能模型可知,主梁与悬臂梁功能相似,且相互关联,存在利用该裁剪方法解题可能性。

- (3) 实施裁剪操作,确定裁剪设计方案。

根据裁剪方法 17.2,裁剪原设计中“悬臂梁”,

新设计中将其穿过主梁内部空腔,形成伸缩梁设计。架梁机隧前末孔移位时,将悬臂梁伸缩至主梁内部。此时由于悬臂梁前伸距离缩短,架梁机可顺利过孔至末孔孔位。此时,对悬臂梁执行拆卸功能的辅助设备不再有作用,将其一并裁剪,得到裁剪后的系统功能模型如图8所示。

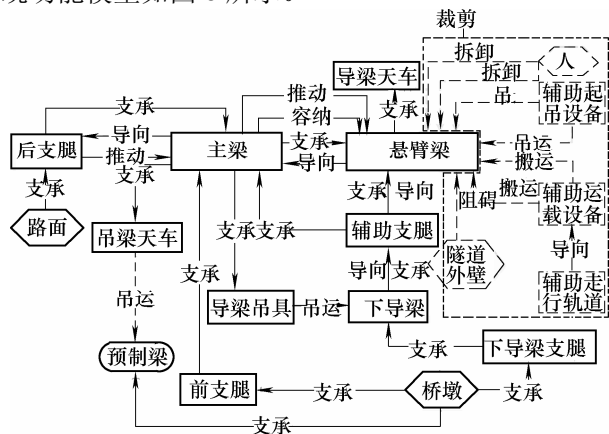


图 8 裁剪后系统功能模型

## 4.4 方案评价

系统改进后,当下导梁完成过孔,下导梁支腿支撑在末孔桥墩后,只需将悬臂梁收缩至主梁内部即可在下导梁辅助下完成架梁机隧前末孔移位。之后按正常架设过程即可完成隧前末孔梁架设。

改进后方案消除了系统冲突,隧前末孔梁架设过程无需拆卸悬臂梁,故不再需要大量外界辅助设备,简化了架设步骤,降低了架设、人工及耗时成本。故改进后方案完全满足设计目标。

该方案已完成模型样机试制，悬臂梁变形前后对比如图 9、10 所示。

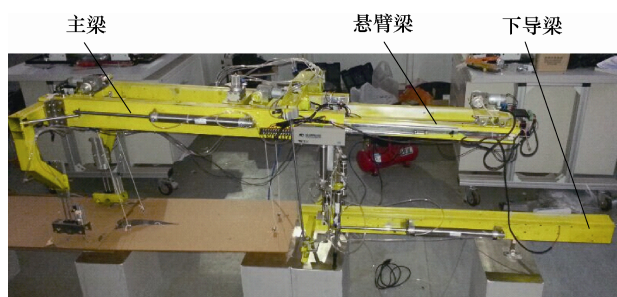


图 9 架桥机悬臂梁变形前示意图

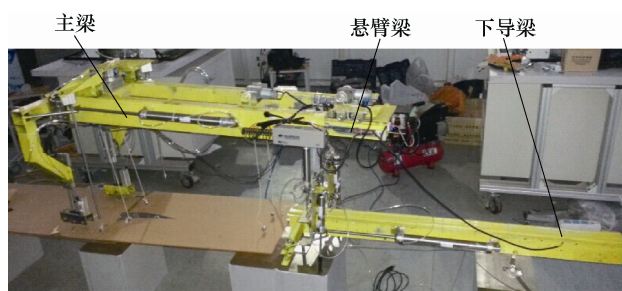


图 10 架桥机悬臂梁变形后示意图

## 5 结论

(1) 在裁剪本质与实现方式的约束下, 基于 TRIZ 中发明原理、标准解及技术进化规律, 确定了基于客观知识的裁剪方法, 弥补了现有裁剪规则下主观分析过程的局限性, 并在此基础上将一类知识启发的裁剪方法、现有裁剪规则引导裁剪方法以及一类知识与规则结合裁剪方法集成, 构建了多层次、多角度的裁剪方法集, 为系统裁剪提供了一种更有效的方法和实施模式。

(2) 根据设计目标, 将裁剪方法集内裁剪方法归类为消除冲突、降低成本、简化结构、提高可操作性、提高可靠性五个子集, 形成基于设计目标的裁剪方法选用模式, 提高了裁剪方法的可操作性, 并在此基础上提出了基于裁剪方法集的裁剪创新设计过程模型。

(3) 900 t 双导梁式架桥机裁剪创新设计实例表明, 该方法能有效的支持针对特定设计目标的裁剪创新设计过程, 有利于产品有效、快速创新。

(4) TRIZ 理论中有大量的发明问题启发解, 本论文仅利用了发明原理、标准解及技术进化规律来提取裁剪方法, 所以裁剪方法集仍有一定完善空间。随着裁剪方法不断完善, 如何在大量裁剪方法中快速选择有效的裁剪方法是值得深入研究的重要课题。

## 参考文献

- [1] 许栋梁. 萃智创新工具精通[M]. 中国台北: 鼎茂图书出版股份有限公司, 2010.  
XU Dongliang. TRIZ innovative tools[M]. China Taipei: Ding Mao Book Publishing Co., Ltd, 2010.
- [2] KOWALICK J F. Tutorial: Use of functional analysis and pruning, with TRIZ and ARIZ, to solve" impossible-to-solve" problems[EB/OL]. TRIZ Journal [1996-12-05]. <http://www.triz-journal.com/tutorial-use-functional-analysis-pruning-triz-ariz-solve-impossible-solve-problems>.
- [3] 于菲. 基于系统裁剪的创新设计研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2013.  
YU Fei. The research of innovative design based on trimming[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2013.
- [4] IMAG Industries, Inc. Computer aided innovation system: Invention machine -goldfire innovator<sup>TM</sup>[CP]. Saratoga: IMAG Industries, Inc, 1998.
- [5] 林芸蔓. 基于萃智的电脑辅助之修剪流程与工具[D].



- 中国新竹：台湾清华大学，2009.
- LIN Yunman. TRIZ-based computer-aided trimming process and tool[D]. China Xinzhu: Taiwan Tsinghua University, 2009.
- [6] DOMB E. How to help TRIZ beginners succeed[EB/OL]. TRIZ Journal[1997-04-15]. <http://www.triz-journal.com/archives/1997/04/a/index.html>.
- [7] 于菲, 檀润华, 曹国忠, 等. 基于系统功能模型的元件裁剪优先权研究[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(2): 338-347.
- YU Fei, TAN Runhua, CAO Guozhong, et al. Study of trimming priority based on system functional model[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(2): 338-347.
- [8] IKOVENKO S. TRIZ application for IP strategies development[C]// TRIZCON 2004, Seattle, USA, 2004.
- [9] SHEU D, HOU Chunting. TRIZ-based trimming for process-machine improvements: Slit-valve innovative redesign[J]. Computers & Industrial Engineering, 2013, 66: 555-566.
- [10] 朱晏樟. 整合 TRIZ 与功能分析之设计方法研究[D]. 中国台湾: 台湾成功大学, 2003.
- ZHU Yanzhang. A study on integrating TRIZ method with functional analysis[D]. China Taiwan: Taiwan Cheng Kung University.
- [11] YEOH T S. TRIZ-systematic innovation in manufacturing[M]. Malaysia: Firstfruits Sdn.Bhd., 2009.
- [12] GRAWATSH M. Module 3 of the support training course[R]. Leoben: Montan University, 2005.
- [13] PETR K, VICTOR F, MANN D L, et al. TRIZ power tool-simplifying[M]. Tempe: Third Millennium Publishing, 2012.
- [14] 檀润华. TRIZ 及应用—技术创新过程与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- TAN Runhua. TRIZ and applications- the process and methods of technological innovation[J]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [15] CLAUSING D, FEY V. Effective innovation-the development of winning technologies[M]. UK: Professional Engineering Publishing, 2003.
- [16] ZLOTIN B, ZUSMAN A. The concept of resources in TRIZ: Past, present and future[C]//Altshuller Institute's TRIZCON 2006, Milwaukee, WI USA.
- [17] 冯燕. DF-900 吨级导梁式定点起吊架桥机研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- FENG Yan. The study on 900t-grade guide girder non-moving lifting bridge beam erection machine[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.
- [18] 陈浩, 张志华, 吴耀辉, 等. DF900D 型导梁式定点起吊架桥机[J]. 铁道标准设计, 2008(3): 10-13.
- CHEN Hao, ZHANG Zhihua, WU Yaohui, et al. 900t-grade guide girder non-moving lifting bridge beam erection machine[J]. Railway Standard Design, 2008(3): 10-13.
- [19] 河北工业大学. 一种下导梁式架桥机伸缩折叠式悬臂梁系统: 中国, ZL 2013.20686369.3[P].2014-04-16.
- Hebei University of Technology. A kind of telescopic folding cantilever beam system of bridge erecting machine of lower guiding beam type: China, ZL 2013.20686369.3[P].2014-04-16.

作者简介: 于菲, 女, 1986 年出生, 博士。主要研究方向为创新设计。

E-mail: yufeijixie3ban@126.com

刘芳, 女, 1979 年出生, 博士, 副教授。主要研究方向为 TRIZ、概念设计、产品平台等。

E-mail: liufangzzh@sina.com

檀润华(通信作者), 男, 1959 年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师。主要研究方向为创新设计、TRIZ 理论及应用、技术创新过程管理等。

E-mail: rhtan@hebut.edu.cn