

基于 TRIZ 理论的大规格钢丝绳索具创新设计

巨力索具股份有限公司 何海涛

通过 TRIZ 理论分析大规格钢丝绳索具，设想出相似实例，进一步对实例进行功能分析，建立功能模型，裁剪实例元件；通过物质-场分析解决了创新过程中产生的新问题。本文对钢丝绳索具进行了创新设计，实际应用表明 TRIZ 理论的创新效率。

随着国内工业技术水平的不断提高，桥梁、电力及石化等行业采用大模块整体吊装可以实现高空作业地面机械化，海上作业陆地工厂化，大大缩短施工周期。大型模块的吊装具有外形尺寸大、结构复杂、单钩起吊重量大等特点。在吊装作业中高强度和高韧性特点的钢丝绳索具应用最为广泛，但是仅仅依靠提升钢丝强度和增大绳径来完成大规格钢丝绳索具设计可能为索具的制作、使用、维护等方面带来不利因素。本文采用 TRIZ 理论中冲突分析得到相似实例作为初步领域解，对初步领域解进行功能分析，优化改善功能模型，使产品更趋向于理想解。

一、创新设计过程模型

产品设计中的冲突是普遍存在的，TRIZ 理论提出了冲突解决的方法，该方法中有 40 条发明原理及 39 个通用工程参数。冲突矩阵将工程参数及发明原理有机结合，通过矩阵及标准工程参数，设计者可以找到 1 ~ 4 条发明原理，每条对应多个由世界专利库中抽象出的不同领域工程实例，这些原理与实例称为 TRIZ 解。通过 TRIZ 解，设计者找到未预见的发现（UXD），领域冲突解决的设想同时产生，这种设想往往是高质量设想。

TRIZ 理论中的功能分析就是对系统进行分解，得到标

准、不足、过剩和有害功能，以帮助工程师更详细地理解工程系统中部件之间的相互作用。裁剪是 TRIZ 中一种改进系统的方法。由功能分析得到的存在与已有产品中的小问题可以通过裁剪来解决。裁剪是一种对工程系统删除部件的方法，以减少或消除被裁剪部件的缺点。其目的是为了增加工程系统的效率，降低其成本。通过裁剪，将问题功能所对应的元件删除，改善整个功能模型。

本文通过冲突分析产生创新概念设想，根据设想得出相似实例作为初步领域解，将初步领域解代入基于裁剪的产品创新设计过程模型。图 1 所示为本文采用设计过程模型。

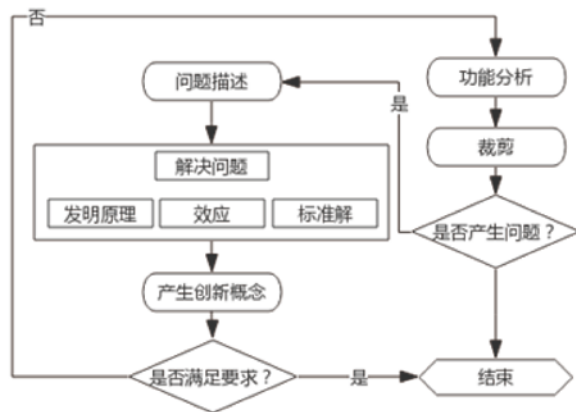


图 1 设计过程模型

二、问题描述

在大型模块的吊装中，连接吊具与大型模块、通用吊具与专业吊具时，钢丝绳索具扮演重要角色。随着各行业的发展，大型模块的重量屡创新高。提升钢丝绳索具承载能力是满足吊具设计的关键。为了满足大型吊装，方法一是增加吊点数量，降低单根钢丝绳索具受力；方法二是选取破断强度较高的钢丝绳；方法三是增加单根钢丝绳直径。在吊具设计之初，多数情况大型模块吊点数量已确定。而在选取同等强度钢丝绳条件下，大规格钢丝绳索具采用大直径钢丝绳是提升钢丝绳索具承载能力的常规方法。随着钢丝绳直径的增大，其自由弯曲半径增大，其单位长度重量也会增大，为以后的安装、使用、维护带来不便，此为原始问题 1。

三、相似实例选取

根据上述描述，确定上述问题为技术冲突，依据 TRIZ 理论的 39 个通用工程参数，上述问题为第 10 力与第 33 可操作性之间的矛盾。查阅 TRIZ 理论的矛盾矩阵，找到解决的发明原理，如表 1 所示。

表 1 冲突矩阵简表

恶化特性 改进特性	1 ~ 32	33 可操作性	34 ~ 39
1 ~ 9	1, 28, 3, 25		
10 力			
11 ~ 39			

对比矩阵中选取的各发明原理，本文采用第 1 条发明原理对前面的冲突进行解决。第 1 条发明原理：分割，（1）将一个物体分成相互独立的部分。（2）使物体分成容易组装及拆卸的部分。（3）增加物体相互独立部分的程度。结合设计经验分析，由多根细直径钢丝绳代替单根粗直径钢丝绳，常用机械结构中，滑轮组系统采用单根钢丝绳缠绕在定滑轮组与动滑轮组间形成多根钢丝绳受力结构。滑轮组系统两端固定方式修改后可直接应用于吊装作业，如图 2 所示。采用滑轮组系统作为本文相似实例代替原钢丝绳索具后，其需求发生了变化，各元件作用特性也随之发生变化。按同等载荷进行滑轮组系统设计，钢丝绳直径的减小提高了系统的可操作性，两端滑轮组设计较大，导致整体重量未减小反而增大，产生新的问题 2。

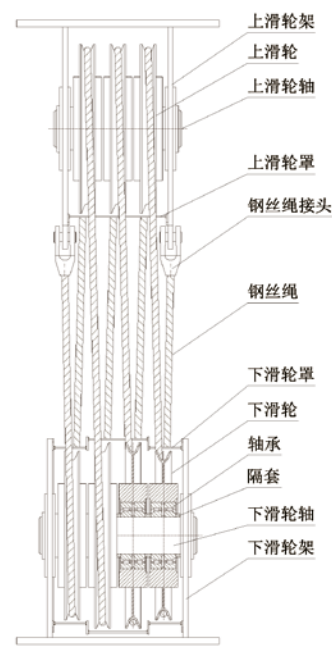


图 2 滑轮组系统

四、优化改进过程

1. 功能分析

对滑轮组系统进行功能分析，建立系统功能模型如图 3 所示，功能模型用图形的方式描述了工程系统中的制品、元件和超系统元件以及它们之间的相互关系，并对这些关系进行了分析。

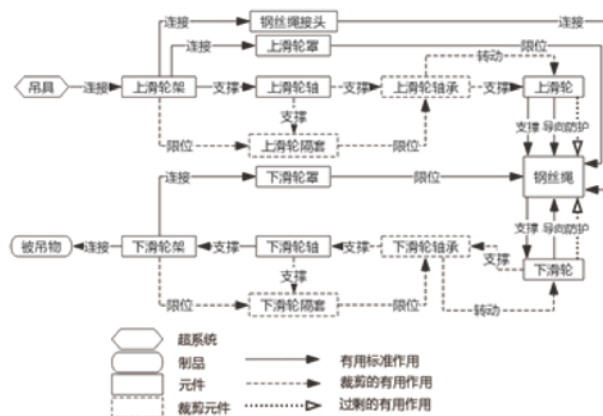


图 3 功能模型

根据当前工作特性发现其有害作用、不足作用及过剩作用等问题。滑轮组间取消相对运动，钢丝绳在工作中处于相对静止状态，滑轮的转动对平衡钢丝绳受力影响降低。轴承

成为裁剪元件，与其相关作用成为裁剪的有用作用。钢丝绳静止状态下，可以减小对其弯曲半径的要求，原直径尺寸滑轮对钢丝绳弯曲和磨损的防护显然成为过剩作用。

根据功能分析改进：（1）取消轴承元件，由滑轮轴直接支撑滑轮；（2）取消滑轮隔套元件，由滑轮架直接限位滑轮；（3）减小滑轮直径，相应滑轮架和滑轮罩尺寸变小，降低滑轮、滑轮架和滑轮罩重量。

由于滑轮组系统的需求发生变化，才对功能模型中元件进行优化和裁剪，因此不易产生新的问题。

2. 物质—场分析

功能分析前产生的新问题2未根本解决，滑轮轴在功能分析中未进行更改，仍需分析优化。功能分析中滑轮对钢丝绳起支撑作用，滑轮轴对滑轮起支撑作用。滑轮对滑轮轴的作用会导致滑轮轴发生弯曲变形，建立物质—场模型如下图4所示。滑轮 S_2 作用在滑轮轴 S_1 的力产生有害效应。选取标准解中第9项消除有害效应。第9项定义：在一个系统中有用及有害效应同时存在。 S_1 及 S_2 不必直接接触，引入 S_4 消除有害效应。在系统中增加套 S_4 加强系统抗弯强度。其次合并滑轮 S_2 和套 S_4 ，使其成为一体。

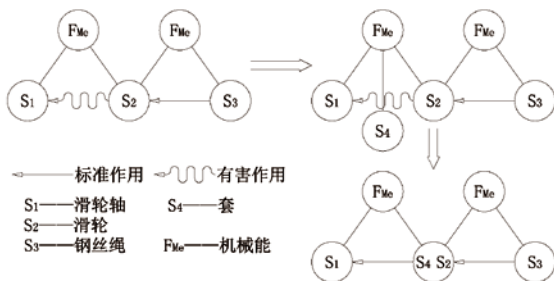


图4 滑轮轴承载模型

根据物质—场分析改进：在套的外圆上加工环槽代替滑轮绳槽功能；减小轴直径，相应滑轮架、滑轮罩和套尺寸变小，进一步降低系统重量。

由于取消了多片滑轮，钢丝绳受力时，轴套对钢丝绳的调节受力功能减弱，采用发明原理第10项：预操作解决此问题，改进：钢丝绳预先缠绕在上、下两轴套上，并加载一定载荷，钢丝绳弯曲受力后发生变形，利用钢丝绳此特点，对缠绕后的钢丝绳多步施加拉伸载荷，初步拉伸时，检查各股钢丝绳受力状况，并调整钢丝绳保证其受力均衡。拉伸载荷逐步增大使钢丝绳与轴套接触处发生永久性弯曲变形和弹

性变形。钢丝绳弯曲变形后确定了各股钢丝绳长度，从而保证了此种索具应用于吊装时各股钢丝绳受力均衡。

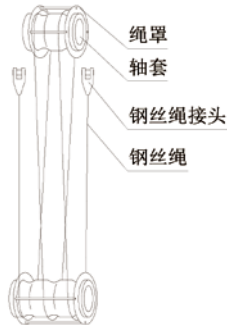


图5 索具结构简图

五、方案实施效果

应用 TRIZ 理论进行分析，最终得出问题的理想解。滑轮组系统随发生较大变化，先后分析了原始问题1和过程问题2，并进行了6点主要优化改进，最终确定如图5所示方案。其中原滑轮架、滑轮轴成为超系统元件布置于吊具和被吊物中。根据此产品制作特性可更名为钢丝绳预制缠绕索具。我公司已获得钢丝绳预制缠绕索具相关专利。

六、结语

本文以 TRIZ 理论为指导，对钢丝绳索具产品进行了创新设计，提高了发明成功率、缩短发明周期。此产品的实际应用，证明了运用 TRIZ 技术创新理论确实可以有效地解决钢丝绳索具产品创新设计领域的工程技术问题。IM