

研
究
开
发DFMECA 方法在新加坡牵引蓄电池
充电机开发中的应用

杨 颖, 颜小鹏

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 杨 颖 (1977-), 女, 硕士研究生, 工程师, 从事机车产品质量控制方面的研究与开发工作。

摘 要: 以新加坡牵引蓄电池充电机为分析对象, 运用 DFMECA 设计方法, 成功识别出充电机设计中高风险的失效模式及来源, 提出预防解决措施, 有效规避后期问题的发生, 同时对后续 DFMECA 方法的推广应用提出思路与建议。

关键词: 设计失效模式及后果分析 (DFMECA); 牵引蓄电池; 充电机; 产品可靠性

中图分类号: O23; TM91 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)06-0024-04

Application of DFMECA in Singapore Traction Battery Charger Development

YANG Yin, YAN Xiao-peng

(Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Based on analysis of Singapore traction battery charger development, the high-risk failure source and mode of charger design were indentified successfully by DFMECA design method, and the preventive and settled measures to effectively avoid later problems were presented. Meanwhile, the ideas and suggestions for DFMECA extending application were put forward.

Key words: DFMECA; traction battery; charger; product reliability

0 引言

故障模式影响及危害性分析 FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality analysis) 方法是一种系统、全面和标准化的方法, 其对产品所有可能产生的故障模式及其可能影响进行分析, 并按每一个故障模式的严重程度、发生概率及可检测度予以分类与归纳总结, 有效预防产品质量问题, 降低损耗, 提高生产力。FMECA 起源于 20 世纪五六十年代, 应用于美国航天和航空系统可靠性控制, 现在已经广泛用于航空、国防、机械及电子等各领域, 并已在工程实践中形成了一套科学而完整的分析方法, 各行业根据自身的特点制订了行业标准, 如 MIL-STD-1629A, IEC60812, GJB1391 等。

FMECA 技术和其他工程技术一样, 来源于实践反过来又指导实践。FMECA 由故障模式及影响分析 (FMEA)、危害性分析 (CA) 2 部分组成。只有在进行 FMEA 的基础上, 才能进行 CA。FMECA 分为设计 DFMECA 和过程 PFMECA 2 类, DFMECA 着眼于元件及

关键设计要素的物理失效模式, 而 PFMECA 则着眼于由于加工不符合要求所造成的产品失效。

设计 DFMECA 按分析对象的不同, 往下可细分为功能、硬件及嵌入式软件 DFMECA 共 3 种。对于系统/部件等非最小可置换单元, 一般采用功能 DFMECA, 其失效模式大部分对应功能失效模式; 对于单板/硬件等一般采用硬件 DFMECA 方法, 其失效模式对应最小可置换单元 (元器件) 硬件失效模式。

本论文以 DFMECA 在新加坡牵引蓄电池充电机设计中的实施为例, 对 DFMECA 方法的实施应用进行阐述。

1 DFMECA 在充电机设计过程中的应用

对充电机系统的 DFMECA 的分析应该按照充电机系统的技术规格、RAMS 要求及相关标准来进行。DFMECA 分析应首先进行系统定义, 划分产品物理结构层次关系, 明确各层次功能, 然后再针对不同层次的不同功能找出对应的功能/硬件失效模式, 明确每种失效模式的失效原因及失效影响, 自下而上地将失效机理、失效模式、失效来源进行逐一对应。由于充电机的构造较为复杂, 分析过程可以借助可靠性设计工具

收稿日期: 2011-05-17

Reliability WorkBench实现。

理功能、通信功能及系统保护功能。

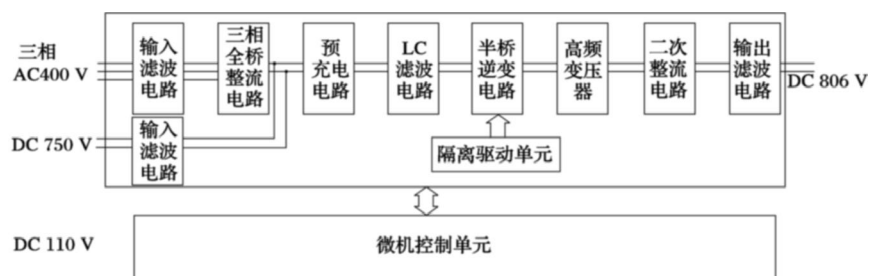


图1 充电机物理构成

1) 明确产品物理构成, 分析约定层次

牵引蓄电池充电机由输入输出滤波电路、预充电电路、LC滤波电路及微机控制等13个部分组成, 具体物理结构如图1所示。DFMECA分析的约定层次为系统、部件、单板3层, 最初约定层次为系统级, 最小约定层次为单板级。

2) 明确任务及任务剖面

以性能特性为判据(具体参见技术规格书), 充电机应完成如下3个任务: 把第三轨提供的DC750V转换成DC806V, 把库内电源提供的三相AC400V转换成DC806V, 把柴油机提供的三相AC400V电压转换为DC806V。对每一任务剖面下的主要功能、工作方式(如连续工作、间歇工作或不工作等)和工作时间等进行分析, 并充分考虑产品接口部分, 描绘任务剖面图(略)。本次DFMECA分析以任务1为背景进行。

3) 明确产品功能, 并划分产品功能框图

功能框图不同于产品的原理图、结构图、信号流程图, 它是表示产品各组成部分所承担的任务或功能间的相互关系及产品每个约定层次间的功能逻辑顺序、数据(信息)流、接口的一种功能模型。功能框图也可表示为产品功能层次与结构层次对应关系图。应按产品约定层次, 逐一明确每一约定层次的功能。比如充电机系统的中间约定层次的功能如表2所示。

表2 充电机产品功能框图

名称	任务	功能	输入	输出
三相全桥整流单元	任务1	经过全桥整流电路将三相交流输入电源变为脉动直流	三相交流输入电源	脉动直流
半桥逆变单元	任务1	将脉动直流经过LC滤波为更为平滑的中间直流环节电压, 为半桥DC/DC逆变提供稳定直流电压	脉动直流	中间直流环节电压
...	...	...	...	...

充电机系统层面在任务1下需完成的5种功能: 蓄电池充电功能、充电时间管理功能、输入供电模式管

4) 明确任务可靠性框图

可靠性框图是描述产品整体可靠性与其组成部分的可靠性之间的关系。它不反映产品间的功能关系, 而是表示故障影响的逻辑关系。如果产品具有多项任务或多个工作模式, 则应分别建立相应的任务可靠性框图。任务1下充电机可靠性框图如图2所示。



图2 充电机任务1可靠性框图

5) 按各个约定层次, 依次明确失效模式

遍历产品每个约定层次的每个功能, 找到每个任务剖面下每个任务阶段的所有可能的潜在失效模式, 包括功能失效模式和硬件失效模式。一般可通过统计、试验、分析、预测等方法获取。

综合以上步骤, 在可靠性设计工具 Reliability WorkBench中可以形成以下内容:

①初始约定层(充电机系统层面), 如图3所示。

②最底约定层, 以微机控制单元中电源插件为例, 如图4所示。

6) 明确失效模式严重级别、概率级别、检测度级别及其各自的评分准则

具体选取标准可参考相关RAMS标准。例如, 在发电机电系统分析中, 严重度S的判别依据如表3所示。

表3 严重度判别

后果	后果严重度依据	级别
危险无警告	潜在失效模式影响到了车辆运行的安全并且违背了政府的规定, 没有发出预先警告	10
危险有警告	潜在失效模式影响到了车辆运行的安全并且违背了政府的规定, 事先发出预警	9
...	...	...
无	没有可担心的影响	1

7) 分析失效原因及失效频度

按从底至上的顺序, 对每条失效模式找出产生的原因, 包括直接原因(产品本身的物理、生化或过程等方面原因)和外部原因(产品外部使用环境、人为因素等)。应考虑产品相邻约定层次关系, 下一约定层次失效模式往往是上一约定层次失效来源。用1到10去衡

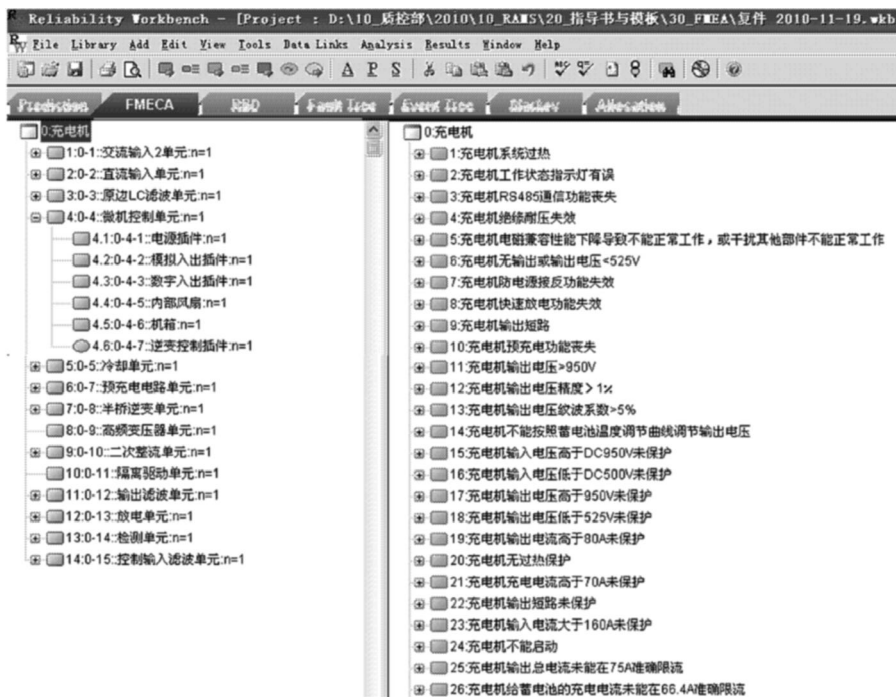


图3 充电机初始约定层



图4 充电机最底约定层

量发生机率的大小级别,数值越大,发生机率越大。

8) 分析现有检测控制方法及失效检测度

该活动的目的是为产品维修性与测试性设计以及维修工作分析等提供依据。一般包括:目视检查、原位检测、离位检测等。故障检测一般分为事前检测与事后检测2类,对于潜在故障模式,应尽可能在设计中采用事前检测方法。用1到10去衡量失效检测度的大小。数值越大,越难检测到该失效的发生。

9) 分析失效影响及失效严重度

分析产品潜在失效模式所产生的影响,一般分局部影响、高层次影响和最终影响3级,各约定层次间存在着一定的关系,即上一层产品的失效模式是下一层次产品失效模式的失效影响。用1到10去衡量严重度的大小。数值越大,后果越严重。严重度评分的减少只能由设计或过程的更改来实现。

10) 计算风险顺序系数RPN

当失效模式用RPN($S \times O \times D$)评分,分数最高的项点和关键项点必须首先采取改进措施。应

事先明确定义严重度和RPN临界值,以确定是否应采取设计更改或补偿措施,提高系统可靠性。例如当严重度大于或等于9,或RPN大于某一约定值时,必须采取措施并重新评估严重度、频度和可检测度,再次计算RPN系数直至满足设计要求。

图5是综合第6至第10步骤所述,以微机控制单元的单元插件失效模式“电源插件24V输出电压低于20V”为例进行说明(如图5所示):该失效模式的发生概率 O 为2,严重度 S 为8,可检测度 D 为2,因此RPN为 $S \times O \times D = 32$ 。

11) 设计改进及使用补偿措施分析

该活动目的是针对每个潜在失效模式在设计与使用方面采取措施以降低整体风险与发生几率,提高产品可靠性。应按照严重度和RPN临界值,确定设计改进对象及具体措施。例如通过工具的自动计算,发现微机控制单元过热是个风险系数很高的失效模式,其产生的诸多因素中又以“微机控制单元内部风扇叶片转速不正常”的风险系数最高(如图6所示),因此在设计中采用成熟设计的宽电压范围的风扇,供电电源采用高质量等级器件,并按技术规格书进行散热设计,有效地控制了该失效模式的风险系数。

12) 落实设计改进或补偿措施直至满足设计要求

设计过程中,按DFMECA报告对设计进行改进,按规程对改进后的设计方案重新估计严重度、频度和检



图5 编辑故障模式

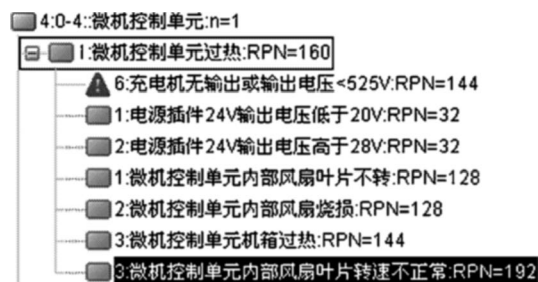


图6 失效模式的风险系数

测度, 并计算RPN, 必要时, 采取进一步措施, 直至设

基本信息			失效原因		失效影响		现行设计		实施措施及结果		S	O	D	RPN
编码	产品/功能名称 Products/ Functions Symbol	失效模式 Failure Modes	失效机理 Failure Cause	高层影响 Higher Effec	最终影响 End Effec	S	控制预防 Control Prevention	检测 Detection Method	建议措施 Recommended Action	实施措施 Actions Taken				
4.5	内部风扇	给微机控制单元散热	微机控制单元内部风扇叶片不转	与机箱接线接触不良, 内部风扇供电电压过低	微机控制单元过热	8	选择宽电压范围的风扇, 工艺控制布线	目测及万用表检测	选择高质量器件	选择高质量等级风扇	8	2	4	64
4.5	内部风扇	给微机控制单元散热	微机控制单元内部风扇烧毁	内部风扇供电电压过高	微机控制单元过热	8	选择宽电压范围的风扇	目测及万用表检测	采用公司成熟技术, 尽量借鉴已有产品经验	供电电源板采用公司大批量使用的电源板	8	2	4	64

图7 DFMECA 报告示例

2 DFMECA 应用过程中的问题及改进方案

通过进行充电机的DFMECA分析试点, 在实际应用过程中发现以下问题:

①DFMECA分析方法目前还未与现有技术中心已有的硬件可靠性设计思路有效结合, 属于比较孤立的分析方法。

②产品的运用现场数据量的收集不够丰富, 未建立完备的故障失效模式数据库, 导致分析时缺乏数据支持。对于严重度S、发生度O和检测度D的评估以主观经验为主, 不同的人打出来的分值可能有较大的差别。

③由于经验和基础数据的不足, 对风险关键数据的评价准则的制订只能按照标准执行, 而没有针对产品特性、企业特性等进行定制。

由于DFMECA分析的落脚点就是各层的失效模式、失效机理、解决措施以及层间的传递关系, 因此各层次的失效模式数据就是整个系统DFMECA分析的根源

计结果满足设计要求。在产品后期首件试制至运营维护阶段, 如发现产品设计问题或未考虑到的实际失效模式, 需增加完善DFMEA报告, 进行评估以确定是否采取改进措施, 以满足设计要求。

13) 编制DFMECA报告

结合设计改进和补偿措施的实施成果, 填写DFMECA报告。DFMECA表格中关键因素有: 预定层次、任务名称、产品/功能名称、功能要求、失效模式、失效原因、失效影响、现行设计、RPN系数等。如图7所示。

与基础, 其中又以最底层物料的失效数据为最重要的部分。因此, 为使DFMECA工作有效地推进, 持续不断地建立完善的失效模式与设计准则库(系统/部件/单板/硬件/物料), 解决已有的产品研发经验的知识积累与复用问题是非常有必要的。

3 结语

DFMECA方法为设计人员在设计过程中少走弯路、迅速发现设计缺陷、找到解决办法提供强有力的技术支持, 所以只要坚持不懈地推进DFMECA工作, 逐步建立通用化、模块化、标准化的故障模式及设计准则数据库, 必将提升产品设计工作的可靠性水平。

参考文献:

- [1] 唐 微. FMEA在电力机车设计过程中的应用[J]. 电力机车与城轨车辆, 2010(7).
- [2] 吴萌岭. 微机控制直通电控制动系统的FMEA和FTA分析[J]. 机车电传动, 2008(1).

《机车电传动》

欢迎 垂询 订阅 赐稿 刊登广告

跟踪世界科技动态 致力中国轨道交通

- ◆ 轨道牵引动力的主导刊物
- ◆ 荟萃电力与内燃牵引技术成果
- ◆ 涵盖干线铁路与城轨交通两大领域

联系地址: 湖南省株洲市时代路株洲电力机车研究所《机车电传动》编辑部 邮政编码: 412001 联系电话: 0731-28498221 28498141 传真: 0731-28498141 E-mail: edl@teq.cn