

技术革命与质量再思考： 全面质量管理的创新

——正泰电气基于失效金字塔原理的前端质量管理实践

◆黄利平 唐宁峰 / 文

摘要：用户质量要求的识别及设计开发等前端过程是产品质量形成的关键阶段。此阶段的质量管理如果重视不够、深耕不足、效果不理想，付出的代价也往往很大。正泰电气股份有限公司根据失效金字塔原理，在顾客质量要求识别阶段推行技术评审的模块化、标准化；在设计开发阶段以产品可靠性为质量管理的重点，将顾客可靠性需求信息作为设计开发的输入；并通过DFMEA平台的搭建、设计开发过程中的“设计”环节规范化，使过程效率和有效性得以提升。这些产品质量形成源头上的创新尝试，已经取得阶段性成果。

关键词：前端；技术评审；模块化；设计开发；可靠性；DFMEA平台

0 引言

和其他大部分行业一样，输变电行业大部分企业质量管理关注点主要在制造过程阶段，对于技术评审及设计开发阶段等前端的质量管理重视不够，深耕不足，办法不多，效果不理想，付出的代价往往很大，常因质量问题导致项目失败，给企业带来重大风险。

从过程角度考虑，用户质量要求的识别、设计开发、材料采购、生产制造、安装使用构成产品质量形成的几个关键阶段。如果前一阶段发生失效，则为纠正前一阶段失误所采取措施的费用将呈几何级数递增，可能导致构成用户质量要求识别过程、设计开发过程、生产制造过程、使用过程的顶部、中部和底部失

效金字塔的出现。故积极采取措施，加强顾客质量要求的识别和设计开发等前端质量管理非常重要。

正泰电气股份有限公司（以下简称正泰电气）是一家以“全球领先的智能电气系统解决方案提供商”为己任，从事750kV及以下输配电设备制造和工程总承包服务的公司，属于重大装备制造业，产品涵盖广、跨度大，技术含量高，用户需求定制化，给质量管理带来不小的难度。为此，正泰电气认真分析当前和今后形势，深刻体会到技术革命新形势下产品、系统日益复杂，各类新技术、新工艺、新方法层出不穷，产品更新换代越来越快，顾客的要求越来越高的趋势，并结合“一带一路”倡议下产品迈步国际市场所面临的一系列问题，改变观念，适时将质量管理重

心前移,推行技术评审模块化、标准化来识别用户质量要求,在行业内率先开展全面可靠性管理来提升产品可靠性,在设计开发阶段通过搭建DFMEA平台来规范设计过程等,积极从质量形成的源头上进行把控,引导企业质量管理迈上新台阶。

1 推行技术评审的标准化、模块化,充分识别顾客质量要求

技术评审的目的之一是对顾客质量需求信息进行识别和评审,为工程设计提供输入,是全面质量管理工作不可或缺的重要一环。一旦顾客需求识别发生偏离,事后补救就变得困难,往往会给企业造成重大损失。

技术评审工作不仅责任重大,而且技术含量也较高。评审工程师要熟悉产品及其相关标准、法律法规的要求,需具备各类隐含需求的分析、挖掘能力,以及技术协议与图纸相互矛盾之处等的识别能力。同时,评审工程师还需要较为丰富的工程设计经验,以确保工程设计所需的输入要求。针对国外工程项目,除了需要克服语言的障碍外,还需要了解包括国际标准在内的一些“游戏”规则。

输变电行业,顾客需求的产品以定制化为主,不同的产品、不同的项目、不同的使用环境、不同的国度、不同的技术标准等都可能带来顾客需求的变化。对同样的评审项目,由于技术评审工作的相对复杂性,在实现顾客需求转化的过程中,不同的评审工程师知识能力、工作习惯、方法、对事物理解的差异等原因极有可能导致评审结果大相径庭。以上

两种情况都可能造成技术评审结果偏离,导致较为严重的后果。因此,如何高质量开展技术评审工作、提升技术评审输出质量就成为日益突出的问题。

在不同的顾客需求、不同的评审工程师这两个前提下,如何保证同类项目技术评审结果的一致性和准确性是问题的关键。通过标准化、模块化的技术评审标准模板来规范技术评审过程,不失为重要选项。

长期以来,由于顾客需求的个性化、评审工作相对较高的技术含量,以及重视不够等方面的原因,对技术评审的标准化、模块化工作推进不力,虽然已经开展,也取得一定的成效,但是普遍做得不够彻底,达成的共识远远不够。伴随技术评审工作个性化和随意性倾向增大,同类型的项目技术评审不同评审工程师得出的结论往往出入较大,常因此造成损失。比如,针对海外工程工程项目常需派人到用户现场进行整改等。

因此,正泰电气根据公司相关规定,定期在多个事业部开展技术评审的标准化、模块化的技术评审模板的制定和升级,使产品的技术参数、标准的要求、环境的要求,以及工程项目其它各种明示、隐含的个性化要求等得到评审和确认。

正泰电气先从每个事业部抽出一到两种典型产品来编制标准化、模块化技术评审标准模块清单,根据产品特性确定每个产品模块的具体评审事项,并针对单个技术评审事项提供多种可能选项。比如,变压器提供45号、25号两种油号以供选

择,避免思维固化在其中一种常用的选项,造成技术评审结果偏离。这些带菜单式选用功能的技术评审标准模板清单在定稿前再在各事业部间进行横向对比,并结合头脑风暴等方法,查遗补漏、反复优化。

标准模块清单确定后,具体的工程项目技术评审就在这个基础上展开。比如,某个产品标准模板清单假定总共规定了80个评审事项(包括了各种可能选项,涵盖工程项目可能需要评审的大部分事项),具体的工程项目技术评审首先就在这80项中进行选择,少数规定以外的特殊事项另外增补。这样,就较大程度地避免了由于个人工作习惯、思维定势、方式方法不同等原因造成的评审结果偏离,工程项目的评审质量得以保证。

针对规定以外的少数特殊事项,如果有较高几率还会在将来的其它工程项目中出现,那它可能会被直接添加到技术评审标准模板中,或者备注栏作为关注项加以提醒,从而实现持续改进。

正泰电气开展技术评审标准模板清单的编制和升级,使技术评审过程标准化、规范化,实现了知识分享。虽然前期花费了不少时间和精力,但是顾客要求的识别和确定得到充分保证,使错、漏评大幅度下降,提升了技术评审的质量和效率的同时提升了工程设计的输入质量,减少了后期的沟通时间成本,提升了各事业部按时交货的能力,并为技术评审阶段的质量监督提供了接口,也为技术评审工程师的绩效考核提供了新的依据,基本实现了预期目标。

下一步,将在此基础上进一步完善和升级。

2 以可靠性为纽带,提升设计开发输出质量

把产品生命周期划分为设计和制造阶段($t < 0$)、出厂时($t = 0$)、使用阶段($t > 0$),可以看到: $t = 0$ 时质量关注的焦点是产品合格率,判定依据来源于产品验收规范。 $t > 0$ 时关注的是使用过程中产品的功能保持能力,即可靠性。如果在 $t < 0$ 时的设计开发阶段没有注入可靠性的设计思想,并采取预防失效的措施,那么由此形成的产品验收规范即使判定 $t = 0$ 时产品质量合格,也不能代表 $t > 0$ 阶段使用的可靠性。

因此,着眼于使用阶段的产品质量,关注产品可靠性,并将产品可靠性需求注入到设计开发阶段,以此作为产品验收规范的依据,才能从根本上提升产品质量的可靠性。

2.1 可靠性工作开展的背景

2.1.1 高可靠性产品是用户的必然要求

提高产品可靠性,可以减少停机时间,提高产品可用率。可选条件下,用户会首先考虑满足功能要求的高性价比、高可靠性产品。

2.1.2 技术革命新形势下的必然要求和行业特殊性的需要

随着科学技术的发展,新技术、新工艺、新方法等获得越来越广泛的应用,同时产品容量越来越大、参数及系统越来越庞大和复杂,设计开发周期越来越短,使得可靠性相关问题日益增多。同时考虑到输配电行业关系到千家万户生命财产安

全的特殊性,一旦出问题,后果往往比较严重,因此,对产品可靠性要求非常高。

2.1.3 企业参与市场竞争、实现自身战略目标的需要

产品可靠性的提高使得维修费及停机检查损失费大大减小,降低了总费用,也践行了为顾客创造价值的理念,提升了企业质量信誉,增强了质量竞争力,从而进一步扩大了市场份额,提高了企业经济效益。

不可靠的产品常造成售后费用增加、货款难以回收、顾客索赔、法院起诉、丢失市场等严重后果,直接影响企业自身战略目标的实现和可持续发展能力。提升产品可靠性是防止重大事故发生,降低企业经营风险的必要举措。

2.1.4 企业经营环境、资源的多变性导致可靠性问题频出,需要通过开展和加强可靠性管理加以解决

传统设计只要安全系数选择合适,就认为产品是安全可靠的。其实是强度与应力(载荷)只取平均值来计算安全系数,并不符合产品的实际运行状况。根据可靠性工程“应

力——强度干涉模型”原理,应力超预期或者强度不足都可能带来产品的可靠性问题。而企业经营环境、资源的多变性常会带来产品的强度变化,从而导致可靠性问题频出。另外,新技术革命的条件下,产品的设计开发可参照的历史数据越来越少,给产品可靠性带来新的挑战,这些需要通过可靠性管理加以解决。

2.2 正泰电气的可靠性管理实践

正泰电气立足于输配电行业,并充分认识到行业的特殊性,充分关注顾客明示或潜在的可靠性要求,将可靠性工程纳入战略管理,通过可靠性管理体系的建立和有效运行,对产品进行全面可靠性管理,努力提升产品可靠性,超越顾客满意,为实现整体经营目标打下坚实的基础。

2.2.1 以 $T > 0$ 的产品出厂时的质量作为切入点,建立可靠性管理体系

正泰电气依据IEC 60300-1:2003可靠性管理体系要求,编制《可靠性管理》等文件,并将可靠性管理体系方针、目标明确于体系《管理手册》中,成为可靠性工作



指南。从产品策划、设计、测量、分析和改进在内的产品全生命周期各阶段进行可靠性管理,以实现总的可靠性目标。

正泰电气于2016年9月顺利通过华信技术检验有限公司现场审核,获得行业首张可靠性管理体系评定证书。

2.2.2 以产品的失效信息为切入点,开展产品全生命周期可靠性管理

正泰电气完善可靠性信息管理平台,规范产品失效信息的收集及填报,建立产品失效模式数据库,并定期通过上海质协用户评价中心(第三方)开展包含可靠性数据在内的用户满意度调查,以相关数据作为产品设计开发的输入。

2.2.3 确定产品可靠性目标,并注入到设计开发过程

正泰电气认同产品可靠性是设计出来的,把可靠性管理的重心放在产品设计开发阶段。根据产品类别制定不同的可靠性设计准则,进行可靠性方案的设计论证和可靠性指标分配,把类似产品的失效模式数据库、顾客及相关标准等方面的要求,及企业自身的可靠性目标、类似产品的可靠性指标,比如寿命、MTBF、故障率等作为设计开发的输入。

在新产品设计开发阶段,在可靠性设计任务书中明确可靠性与维修性指标值及目标成本;采用简化设计、降额设计以及DFMEA、价值工程等可靠性设计方法或技术,通过定量评分或定性衡量方法评定产品可靠性设计水平,采用“评分预计法”等方法从系统的复杂度、技术成熟度、环境严酷度等方面进行论证,

确定设计原则及验证方式,以保证设计开发质量。

2.2.4 结合可靠性试验,开展可靠性增长

由于技术革命使得产品都倾向于大型化和复杂化,产品设计很难一次成功,产品可靠性指标难以一次性达到设计目标,需要反复改进,正泰电气预先设定了产品每一个阶段的可靠性目标,制定切实可行的可靠性试验方案,促进可靠性增长。

正泰电气通过确定基于产品的环境剖面来确定试验方案、试验参数,以避免试验方案不完善、产品浴盆曲线的初始部分延续到用户使用过程之中,增加产品在用户使用阶段的失效率,并通过可靠性试验来确认研发和生产的产物是否符合可靠性要求,全面了解产品的极限特性,为进行可靠性增长提供基础信息。

2.2.5 通过供应链管理,提升供方产品可靠性保障能力

明确供方产品的可靠性要求,并适时进行可靠性试验验证以及对供方进行帮扶,推动供方加强可靠性管理,提升供方产品的可靠性水平。

正泰电气推行可靠性管理,规范了外部可靠性信息收集和管理,通过设计开发阶段可靠性设计的注入,从源头上提升了产品可靠性,以可靠性为关注重点的产品质量也踏上新台阶。

3 搭建DFMEA平台,严格设计过程管理

设计开发过程的设计、评审、验证、确认等是设计开发质量形成的重要阶段,其中设计和评审环节是

关键。正泰电气搭建DFMEA平台,着力加强设计环节的质量控制。

3.1 开展DMFEA的背景

DFMEA实质上是设计开发过程设计、评审、验证、确认等诸多环节中的关键环节“设计”套路的规范化。作为质量管理体系有关设计开发管理要求的一个具体行动计划,DFMEA经过无数次验证,被证实是有效的、科学的套路。在此规范导向下开展设计阶段的工作,具体的技术问题按技术套路去解决,整体设计将因此变得更为有效,设计质量将得到最大的保障,可以从设计开发源头上减少产品缺陷,提升产品可靠性和环境适应能力,具有很强的可操作性和现实意义。

DFMEA从产品的功能分析出发,通过功能失效模式分析使深奥的、抽象的设计思路条理化、文件化,通过对功能要求及潜在失效模式分析,寻找失效的真正原因,并借助RPN风险系数进行失效风险评估、针对高风险项采取设计改进等手段将相关风险降低到可以接受的程度。通过这种逻辑性强、一环扣一环,层层推进的方式,为设计团队发现问题、分析问题、解决问题打开了一扇完整的门。同时,通过为各方提供通用的沟通平台,结合头脑风暴法、5Why等常规质量工具,提升了设计开发的深度和广度,实现了集体智慧最大限度的注入,团队合力产生杠杆效应。这是DFMEA核心价值所在。

除了使设计过程条理化、文件化之外,DFMEA还让知识得以积累、沉淀;实现低成本修改,从而降

低事后修改的概率,减少变更而带来更大问题的可能性;通过更新持续改进。

3.2 输变电行业DFMEA动向

由于理解上的偏差和培训、推广不到位等原因,DFMEA作为实用技术和质量管理方法、工具,在诸如输变电这类汽车行业以外的重大装备制造企业里并没有发挥出应有的作用。

由于输配电行业产品本身的高风险属性,和基于风险降低思维的DFMEA高度吻合,DFMEA融入到设计开发过程中,具有深远的生命力。

3.3 正泰电气对影响产品设计开发质量的因素的分析

a.是否按照规定的流程去做。比如设计开发过程中,设计评审是重要环节,如果忽视这个环节,设计开发的质量将大打折扣。

b.采取什么样的验证手段去确保设计开发质量。验证方案不合适,产品可靠性得不到保障。

c.采取怎样的设计开发工具。比如仿真设计、三维绘图工具等设计方法,运用恰当,无疑有助于提升设计开发的质量。

d.采取怎样的质量方法来提升过程质量。比如通过DFMEA进行潜在失效模式及后果分析,可以从源头上提升产品的设计开发质量。

一个设计开发团队往往由不同专业背景、知识结构、工作经历和习惯的人员构成,对问题的认识差别大,思考问题的角度不同,对设计开发工具的掌握千差万别。针对具体的设计开发项目,如果没有一种合适的方法或者工具将大家统领

起来,则很难形成合力,直接影响设计开发的效率和质量,甚至项目的成败。

3.4 正泰电气充分发挥“敢为天下先”的精神,在搭建DFMEA平台方面持之以恒

从上层领导支持,到投入资源开展培训、项目策划、过程监督、成果分享等重要活动,明确设计开发过程中必须有DFMEA输出,并在政策上予以适当倾斜。正泰电气从2010年开始逐步开展DFMEA(设计FMEA)、PFMEA培训,从技术主管开始,到一般设计开发工程师、工艺工程师、质量工程师、生产一线骨干代表,逐层实行“换脑战略”,培养自己的FMEA工程师,力求从设计开发源头上开展DFMEA的实施,消除产品缺陷,提升产品可靠性。先从高压开关事业部、高压变压器为试点,以点带面,层层铺开,逐渐探索出一条适合输变电重大装备制造企业的FMEA之路,并取得一系列成果。比如,高压开关事业部2017年针对ZF34A-252小型化GIS产品先后开展了DFMEA。通过对关键件断路器进行严重度(S)、发生频度(O)及探测度(D)评分,计算风险优先系数(RPN),确定把“断路器弹簧触头通流能力”等项做为风险降低设计举措,并通过设计改进,降低RPN风险系数,从设计开发源头上提升了产品质量。

实施开展DFMEA,相应地需要建立完善的失效模式数据库,这就对售后质量信息的收集工作提出了更高的要求。正泰电气通过售后平台的建立,为收集、分类、更新和

取用信息提供全方位的技术支持,将来自用户一线的末端质量信息和设计开发有关的产品失效模式数据库的设计输入需求有效地结合在一起,坚决杜绝在同一个坑道摔倒两次,并使产品设计开发过程的知识得到沉淀和更新,为今后的产品升级换代打下了坚实基础。

4 结论

正泰电气基于失效金字塔展开分析,通过在用户质量要求识别阶段努力推行技术评审的模块化、标准化,使用户的质量要求的识别能力获得极大提升;在设计开发阶段注入产品可靠性管理,将顾客可靠性需求信息作为设计开发的输入,通过产品可靠性的提升来不断提升顾客满意度;在设计开发阶段搭建DFMEA平台来规范“设计”过程等。这些努力成功地将质量管理重心前移,紧抓质量管理的龙头,开辟了一条适合企业自身发展的全面质量管理之路,获得了一些宝贵经验,为今后持续改进奠定了坚实基础。

下一步,正泰电气将加强复合型新型人才的培养。不仅包括一专多能的复合型技术人才,还包括懂技术的质量人才。通过他们的创新工作来打破质量与技术的界限,完善标准和流程,在技术评审和设计开发等质量形成的前端过程就注入更多的质量元素,以推动前端过程绩效的稳步提升。☞

参考文献(略)

(作者单位:正泰电气股份有限公司)