

石油钻采机械可靠性设计

方华灿 周 维 编 著

石油工业出版社

(北京)

石油钻采机械可靠性设计

中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会

方华灿 周 维 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

全书共分八章,前两章是机械产品可靠性设计的基础理论;后六章分别对石油井架与底座、石油钻机、石油矿场用泵、油井用管与井下工具、采油机械及海洋石油钻采装备与结构的可靠性设计进行了较系统地介绍。

由于机械产品的可靠性设计有的与优化设计分不开,故本书的有些章节也包含了部分优化设计的内容。由于不确定性因素除随机性之外,还具有模糊性,因此,本书的有些章节除介绍概率设计之外,还应用了模糊数学。

本书可供石油钻采机械行业的工程技术及科研、设计人员自学之用,也可用做石油高校有关专业的研究生、本科生的选修课教材。

图 书 在 版 编 目 (CIP) 数 据

石油钻采机械可靠性设计/方华灿,周 维 编著.

—北京:石油工业出版社,1996.1

ISBN 7-5021-1500-5

I. 石…

Ⅰ. ① 方… ② 周…

Ⅱ. ① 油气钻井—机械设备—可靠性—设计

② 石油开采—机械设备—可靠性—设计

Ⅳ. ① TE92 ② TE93

*

责任编辑:张阳春 刘春霖 何 莉 方代煊

封面设计:白 雪 责任校对:王 群 张霖等

*

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

兰州惠众印刷厂排版

兰州大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 16开 28印张 600千字 印数1-1000

1995年8月北京第1版 1995年北京第1次印刷

定价:42元

登录号	087734
分类号	TE 92
种次号	010

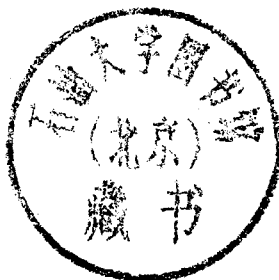
(2)

中国石油设备工业协会 成立十周年献礼

1985—1995



200480407



00830423

中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会

提高石油机械可靠性管理
设计中设计水平

何光远
一九九三年
六月廿日

机械工业部何光远部长题词

可靠性是石
油设备的质
量核心

一九九五年四月十六日

王涛



中国石油天然气总公司王涛总经理题词

编 委 会

策划与统筹 张阳春
主任委员 唐尚谋
副主任委员 张阳春 姚晓东 崔德林 冯福本 陈建国 金世望 张仁俊
委 员 康明金 曲胜利 陈德华 张明义 李季庄 李耀东 刘 敏
贺忠林 魏宏军 廖谟圣 赵自励 蔡承武 陈秉衡 剪占熬
马沐芝 胡志明 翁海珥 刘建国 郭连宗 杨 树
编 审 张阳春

机 械 部 兰 州 石 油 机 械 研 究 所
地 矿 部 张 家 口 探 矿 机 械 厂 石 油 机 械 分 厂
吉 林 大 安 液 压 件 厂
兰 石 所 石 化 设 备 可 靠 性 工 程 公 司
胜 利 石 油 管 理 局 工 程 机 械 总 厂
中 国 海 洋 石 油 南 海 东 部 公 司

序

可靠性问题已成为当今世界市场各类产品竞争的焦点,日益受到各国政府和企业的广泛重视。一些发达国家把产品的可靠性列为企业的主要奋斗目标。我国原机械电子工业部已把可靠性列为机电行业四大共性技术之一。国家技术监督局在(1994)365号《关于加强产品可靠性工作的若干意见》中指出:“可靠性技术和理论的发展与应用推广,是当今科学研究、工业生产与质量管理工作中的一项重要内容,尤其是在高科技产品和机电产品的研制、开发和生产中,可靠性保证,构成了产品质量保证的重要部分”。中国石油天然气总公司在(94)技监字第88号文件中要求:“各单位要提高对可靠性工作重要性的认识,建立新的质量观念,既要重视产品的先进性,又要重视产品的可靠性,把二者有机的结合起来,把产品的性能与产品的可靠性同等对待,并纳入质量指标体系进行考核,把提高产品的可靠性作为提高产品水平和提高市场竞争能力的重要手段”。随着我国社会主义市场经济体制的建立和国内市场与国际市场的接轨,随着国家质量法的颁布与实施,产品的质量和可靠性已成为一个企业生死存亡的关键,企业的竞争,关键是产品的质量和可靠性的竞争。面对日益激烈的市场竞争,石油钻采机械行业的数百个大中小企业,别无选择,只有狠抓产品的可靠性和产品质量。石油钻采设备恶劣的工作条件要求石油机械产品必须具有很高的可靠性。随着我国海洋与沙漠石油的勘探开发,对石油装备的可靠性提出了更高的要求。为了提高我国石油钻采机械产品的可靠性水平和满足石油机械行业提高产品可靠性的需要,中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会策划并组织编写了《石油钻采机械可靠性设计》一书。

产品设计是保证产品可靠性的基础。只有在产品的设计阶段就把产品可能发生的各种偏差、隐患、故障、风险、失效、损坏和经济损失,进行预测,采取预防措施,才可以保证产品在使用中不出或少出故障,从而大大提高产品的质量和可靠性。一个产品若设计阶段留下了不可靠的隐患,到制造阶段发现再去补救或返工,将会付出成倍的代价,在使用阶段发现则将造成更为严重的后果和损失。据介绍,一个产品在设计时留下了只需花一美元就可解决的隐患,而到制造或使用阶段去解决,那就要花费100~1000美元乃至更高的代价。

从产品的全寿命周期费用的观点来看,在可靠性设计和开发上投资是最为经济有效的。一个产品的全寿命周期费用,包括:产品的一次售价和使用、维修费用(还包括使用中的材料、能源消耗、故障停机损失和维修备件费用)。生产一个高可靠性的产品,可能需花费较多的设计、开发和制造成本,但是出厂的产品性能可靠,在使用中不出或少出故障,对用户来说,虽然一次购入成本较高,但是使用、维修费用很低,最终产品的全寿命周期费用,实际上是最少的。相反,如果一个不可靠的产品,尽管花费的设计、制造费用很少,售价较低,但是产品在使用中频繁发生故障,造成的停机损失和维修、备件费用远远超过一次购入费用,对用户来说,实际上产品的全寿命周期费用是最高的。

随着石油工业的发展,石油设备产品的性能参数逐渐提高,一旦故障停机,造成的经济损失和危害随之增加,因此,油田对石油钻采机械产品的要求,已不满足于一般功能、性能方面的质量保证,而是期望产品能长时间保持良好的性能和最佳的全寿命周期费用,也就是产品的高

可靠性。为了适应我国石油工业发展的需求,提高石油钻采机械产品的竞争能力,我们石油钻采机械行业应该在产品的可靠性设计、开发方面,投入较大的人力、物力。《石油钻采机械可靠性设计》一书的编写出版,无疑对提高全行业产品的可靠性管理与设计水平,全面提高产品质量起到重要的促进和推动作用。

编写出版《石油钻采机械可靠性设计》一书,受到了机械工业部何光远部长和中国石油天然气总公司王涛总经理的关注与支持,他们分别为本书题词,表明我国政府主管部门领导对提高我国石油机械产品可靠性水平和质量的重视和关心,在这特向何光远部长和王涛总经理表示衷心的感谢!

本书由中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会秘书长张阳春高级工程师策划与统筹;由中国石油设备工业协会副理事长、石油大学副校长方华灿教授与中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会专家委员、江汉石油学院机械系主任周维教授编著;由石油大学万帮烈教授主审,对他们及为此书编辑出版付出过辛勤劳动与支持的行业专家、领导表示诚挚的感谢!

本书出版之际,正值中国石油设备工业协会成立十周年,特以此书向协会成立十周年献礼!

中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会

1995年7月25日

前 言

为了适应社会主义市场经济的需要,提高石油钻采机械行业的产品质量、竞争能力、生产效益和可靠性水平,中国石油设备工业协会钻采机械专业委员会委托我们编写《石油钻采机械可靠性设计》一书,且拟应用此书,有计划、有步骤地举办讲习班,以期不断提高石油钻采机械行业中科技与管理人員对产品的可靠性管理与设计水平。

石油钻采机械的工作条件十分恶劣,从地面设备来讲,既有工作于沙漠、高寒、高原地带的,又有处于沼泽、浅滩、海洋环境的。风沙、低温、缺氧、海浪、海水的腐蚀等因素,给石油钻采机械的运输、安装、使用、搬迁、维修等项工作,带来许多特殊的困难,因而对其产品的可靠性要求很高。石油钻采井下工具长期工作于油、气、钻井液环境之中,高压、高温、污染、冲蚀、腐蚀等极其特殊而又复杂的工作条件,对产品的可靠性也提出了更高的要求。为此,研究分析石油钻采机械的可靠性,推行产品的可靠性设计,加强使用过程中的可靠性管理,对提高石油钻采机械的可靠度具有重要的现实意义。

本书共分八章,前两章是机械产品可靠性设计的基础理论,后六章分别研究石油钻采机械的可靠性设计,即:石油井架与底座的可靠性设计、石油钻机的可靠性与优化设计、石油矿场用泵的可靠性设计、油井用管及井下工具的可靠性设计、海洋石油钻采装备与结构的可靠性设计。上述内容大部分是参考有关文献编写的,有些内容如第八章等章节是总结作者的科研成果而著述的。

本书主要适合于石油钻采机械行业的制造厂家、油气田机动、机修部门及全行业设计、科研院所的工程技术、研究人员学习使用,也可做为石油高校有关专业本科生和研究生的选修课教材。

本书的第一、二、三、四、五、六及第八章由方华灿编写,第七章由周维编写。全书承蒙石油大学机械系万邦烈教授主审,在此深表谢意。对提供资料的有关单位也致以衷心感谢!

此书出版系初次尝试,由于作者水平有限,加之时间仓促,有些内容还不够成熟,书中的缺点和错误在所难免,恳请同行专家和读者批评指正,以臻完善。

方华灿

1993年7月

目 录

第一章 总论	
第一节 概述	(1)
第二节 可靠性指标	(7)
第三节 可靠性常用的概率分布	(19)
第四节 可靠性常用的数理统计方法	(30)
第二章 机械可靠性设计理论基础	
第一节 常规设计与概率设计	(49)
第二节 应力与强度干涉理论及可靠度	(56)
第三节 机械设计中的安全系数与可靠度	(68)
第四节 机械可靠性设计内容与步骤	(73)
第五节 机械可靠度的分配	(76)
第三章 石油井架与底座可靠性设计	
第一节 概述	(82)
第二节 石油井架可靠性设计	(100)
第三节 在用石油井架可靠性评估	(124)
第四节 钻机底座可靠性及冗余优化设计	(137)
第四章 石油钻机可靠性与优化设计	
第一节 石油钻机总体优化设计	(148)
第二节 钻机驱动与传动系统优化与可靠性设计	(179)
第三节 石油钻机传动机件可靠性设计	(186)
第四节 石油钻机起升机件可靠性设计	(234)
第五章 石油矿场用泵可靠性设计	
第一节 石油矿场用泵总体优化与可靠性设计	(247)
第二节 石油矿场往复泵动力端的优化与可靠性设计	(253)
第三节 石油矿场往复泵液力端可靠性设计	(282)
第四节 石油矿场离心泵易损件可靠性设计	(300)
第六章 油井用管及井下工具可靠性设计	
第一节 套管柱的可靠性设计	(304)
第二节 石油钻柱可靠性设计	(315)
第三节 石油井下工具可靠性设计	(329)
第七章 采油机械可靠性设计	
第一节 概述	(335)
第二节 游梁式抽油机可靠性设计	(335)

第三节	修井机可靠性设计.....	(357)
第四节	抽油杆可靠性设计.....	(362)
第五节	抽油泵可靠性设计.....	(364)
第八章	海洋石油钻采装备与结构可靠性设计	
第一节	海洋环境不确定性载荷的数学处理.....	(367)
第二节	海洋石油焊接钢结构疲劳可靠性设计.....	(375)
第三节	海洋石油钻采装备与结构的疲劳损伤评价.....	(383)
第四节	海洋石油钢结构的模糊疲劳可靠性.....	(394)
附录	(403)
参考文献	(418)

第一章 总 论

第一节 概 述

一、可靠性的定义

这里研究的可靠性是指石油钻采机械产品的可靠性。

1. 产品质量的两类指标

产品的质量反映在产品的许多方面,因而产品的质量指标也有多种。例如,油田用柴油机的质量好坏,可以有多种指标:性能是否良好?寿命如何?尺寸、重量怎样?工作可靠与否等等。但这些质量指标归纳起来,可分为以下两类。

(1) 性能指标 性能指标是反映产品完成规定功能好坏所需要的指标。以柴油机为例,如我国油田用的 F320 钻机配备的是国产 Z12V190BG₂ 柴油机,验收时要求在转数 1500 r/min 时功率应达到 882.6 kW。功率能否达到这一要求,即为反映柴油机质量好坏的性能指标。

(2) 可靠性指标 它是反映产品保持其性能指标能力大小的指标。例如国产 12V-190B 型柴油机在第一次大修前的寿命是 1.3 万 h,而美国钻机用的柴油机则不小于 2.4~3 万 h,这就属于可靠性指标上的差距。因为,对于柴油机来说,第一次大修前的寿命就是它的重要可靠性指标之一。

上述两类质量指标的区别主要表现在时间上。性能指标不涉及时间因素,而可靠性指标是与时间(即产品使用寿命)紧密相关的。可靠性指标是时间性的质量,是经得起时间考验的质量。通常说“经久耐用”,这个包括时间因素的质量评语,就是指产品可靠性的意思。例如,海洋石油钻井装置的寿命,一般定为 15 年。因而,与其配套的使用率为 50% 的水下闸板式防喷器的可靠性指标,要求出厂前,在设计封井压力下,连续无故障开闭 365 次(该防喷器在水下必须每周动作一次,7 年则应 365 次)。可见,这些可靠性指标均是与时间因素相关的。

2. 产品可靠性的定义

作为一门学科,“可靠性”(Reliability)有其确切的含义。产品可靠性通用的定义为:产品在规定的条件和时间,完成规定功能的能力。结合石油钻采机械的情况,说明如下:

(1) 规定的时间 这是可靠性定义中的核心问题,可以说不谈时间,即无可靠性可言。但规定的时间长短,应随产品对象及使用目的不同而异。例如,海洋石油钻井装置,因远离海岸,设备投资大,停机修理困难,故对其可靠性要求高,规定的寿命长,一般为 15 年以上。但对水平钻井用的螺杆钻具,则情况不同,通常只要求从造斜开始到钻完整个水平井段不起下钻,即螺杆钻具应在此规定时间内连续工作。以我国德州探矿机械厂生产的 5LZ165K-I 型及 9LZ198K-I 型螺杆钻具为例,它们的工作寿命分别为在井下连续工作 95 h 和 97 h。

(2) 规定的条件 一般指使用、维修、环境和操作技术等,这些条件直接影响产品的可靠性。就环境条件而论,我国陆上在用钻机近 2000 台,分布各地,气候环境差异很大,直接影响钻机的可靠性。如同样是国产 SL450 型水龙头,在我国东部油田可使用多年,但在西部新疆油田,近年来发生了不少失效问题。因此,不在规定条件下评估可靠性,就失去了比较产品质量的前提。

(3) 规定的功能 它常用产品的主要性能指标来描述,一般通过试验,证明已达到产品规定的主要性能指标,则称该产品完成了规定的功能,否则叫做丧失了规定的功能。通常称产品丧失规定功能状态为产品失效或发生故障,而相应的有关性能指标则称为故障判据或失效判据。例如,我国济南柴油机厂生产的 Z12V190BG 柴油机,要求出厂前必须通过试验进行验收,在 1500 r/min 时,功率达到 882.6 kW,连续工作 60 min,就是产品可靠性所要求达到规定功能的一项指标。

(4) 能力 产品的能力应有定量的描述,以便说明产品的可靠性程度。由于产品发生故障带有偶然性,因此,可靠性定义中的产品能力具有统计学的意义,也就是说通过观察大量产品,找出统计规律来描述产品的能力。例如,石油大学与铁岭机械厂合作研制成功的 20CrMo 钢超高强度抽油杆,以制作 D 级杆的钢材,达到了 E 级杆的超高强度,而且疲劳寿命还超过美国的 EL 超高强度抽油杆。但当投入批量生产,制作几十万米抽油杆时,即需应用统计的方法,抽样进行疲劳试验,找出概率分布,再以统计特征值,如平均寿命等来表达其可靠性程度。

3. 可靠性的狭义与广义定义

(1) 狭义可靠性 产品在规定的条件下,规定的时间内完成规定的功能,叫做狭义可靠性。通常除特殊注明外,均指狭义可靠性。

(2) 广义可靠性 除狭义可靠性定义之外,若再考虑维修性,则称之为广义可靠性。

维修性是指产品发生故障后,修复的难易程度及故障持续时间的长短。可靠性标志着产品发生故障的可能性大小。因此,可靠性与维修性同时考虑时,则可全面反映出产品有效工作能力的大小,故又叫做产品的有效性。以国产钻机为例,机械维修时间占总生产时间的比例高于美国钻机 2~3 倍,维修性较差;再如钻机的链条寿命比国外钻机低 50%,可靠性也较差,这就要求进一步提高国产钻机的广义可靠性。

除此之外,如耐久性、安全性和环境适应性等,也应包括在广义可靠性的内容中。

二、可靠性学科的发展过程

可靠性作为一门学科,只有 30 多年的历史。它是从概率统计、系统工程、质量控制、生产管理等学科的渗透交叉过程中发展起来的。整个发展过程经历了下列四个阶段:

1. 萌芽孕育阶段(30~40 年代)

可靠性理论作为萌芽的孕育,主要是准备数学基础。自第一本概率论教程出现,以及相继问世的随机过程论、数理统计学等数学理论,均为可靠性理论的诞生做了准备。1939 年美国航空工业中首次提出了可靠度术语,1942 年美国麻省理工学院应用了可靠性术语,1949 年美国无线电工程学会组建了第一个可靠性技术专业组。

2. 独立兴起阶段(50 年代)

50 年代初,可靠性工程首先在美国兴起。1952 年美国国防部成立了“电子设备可靠性顾问组”(Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment),简称 AGREE。1955 年 AGREE 给政府提出了有关电子元件提高可靠性的 9 项建议。1957 年 AGREE 又提出了《军用电子设备的可靠性》的报告,系统阐明了提高产品可靠性的措施以及可靠性标准。可以说,这个 AGREE 报告的发表,是可靠性学科独立兴起的里程碑。

3. 全面形成阶段(60 年代)

随着 60 年代世界经济的较快发展,可靠性作为一门学科,由美国先行,带动其它国家,逐步全面形成,其标志是:制订与修订了可靠性标准,建立了可靠性研究机构,开展了可靠性理论

研究,开发了快速筛选等可靠性试验方法,发展了可靠性预测技术,开拓了研究失效机理的新学科分支,发展了系统可靠性分析技术,开辟了维修性、安全性等机械工程可靠性的研究,建立了可靠性数据系统,开设了可靠性课程。

4. 深入发展阶段(70年代以来)

进入70年代以来,可靠性进一步向纵深发展,主要表现在:

(1) 可靠性设计和试验方法得到了发展和应用。这段时间相继出现了更严格的简化和降额设计方法,计算机辅助可靠性设计,机械和机电设备的可靠性设计与试验,组合环境应力试验,加速环境应力筛选试验,以及可靠性增长试验和加速寿命试验等。

(2) 维修工程的指导思想发生了很大转变。这个时期,已逐步将预防为主的维修思想转变为以可靠性为中心的维修指导思想。美国航空局曾颁布了以可靠性为中心的维修大纲MSG-2。

(3) 可靠性在更多的国家中得到了迅速发展。70年代以来,除发达国家外,一些发展中国家也在可靠性方面迅速发展。我国在电子、航空、航天、核能及通讯等领域首先推广应用可靠性理论,军工产业中已制订出部分可靠性规范,开展了一批可靠性试验,电子工业部已成立了两个可靠性培训中心,可靠性工程正在向纵深发展。印度和以色列等国家均成立了全国性的可靠性学术组织和专门的可靠性试验室等。

三、 可靠性研究的必要性

现代化机械设备要求完成的功能越来越复杂,组成的零、部件也越来越复杂,许多重要设备必须要求具有定量的可靠性。故对设备的可靠性研究是十分必要的。

1. 提高质量,开拓市场,增强企业活力的需要

可靠性定量指标是质量指标中的重要组成部分,缺乏先进的可靠性指标,在市场上就没有竞争能力,更谈不上进入国际市场。研究可靠性可以大大提高产品质量,开拓市场。目前,我国石油钻采机械“进口挡不住,出口出不去”的主要原因也是在于质量及可靠性。抽油机因为价格便宜,可以出口,但每台只卖到约10000美元,相反地,价格昂贵的钻机顶部驱动装置国内尚不能生产,只能自国外引进,每台价格高达100多万美元。油田钻机的一些基础元件,易损配件,也存在可靠性低、质量差的问题。如国产轴承的寿命仅为美国SKF的1/3,噪声比国外产品高7~10db。总之,要增强企业活力,提高产品质量,开拓市场,必须研究可靠性。

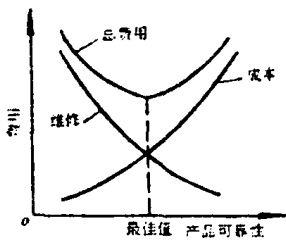
2. 运转可靠,避免事故,确保安全生产的需要

广义的可靠性包括安全性,研究可靠性、安全性可以防止事故,确保安全生产。美国1963年海军航空兵飞机共发生重大事故514次,毁机275架,死亡飞行员222人,损失2.8亿美元,其原因的43%均为器材不可靠造成。我国海上钻井,一口井周期少则30天,多则100天,在整个钻井周期内,要求水下防喷器组及其控制系统的可靠性必须达到100%。因为,台风来临时,必须将水下液压连接器迅速拆开,使浮式钻井装置尽快离开井位,转移到安全地带避风。否则,丧失时机,不能安全转移,在强台风袭击下,浮式钻井装置就可能出现严重灾难性事故。

3. 减少维修,节省投资,提高经济效益的需要

广义的可靠性包括维修性,维修性的好坏关系到维修费用、更新费用以及因停产而损失的费用,也就是与经济效益是紧密联系在一起。以海洋石油钻机为例,停机一天,损失高达6~8万美元。因此,从减少维修费用来说,应该尽量提高产品的可靠性。但从另一方面来看,产品的总费用中除维修费之外,还包括有制造产品的生产费,而为了节约投资,降低生产费用,还不

能对产品的可靠性要求过高。这样,就需要通过优化,寻求产品可靠性的最佳值,如图 1-1 所示,从而真正提高了经济效益。以石油钻机为例,由于石油钻井总费用很高,陆地每米进尺约



0.1×10^4 元人民币,海上为 0.6×10^4 元,沙漠是 0.8×10^4 元,且其中设备投资及维修费用占了很大比重,因而就需要研究合理的可靠性要求,真正提高经济效益。我国油田规定石油钻采机械的报废条件是:至一次大修的总维修费用与新购置该设备费相当,或一次修理费超过原价值的 50%,且修理后的性能指标不能满足工艺要求时,均应报废。这是考虑设备的

图 1-1 可靠性与经济效益的关系 可靠性与经济效益的关系问题。再例如,国外钻机的停机率不超过 2%,而我国钻机却常达 5%~8%,这也说明为了提高经济效益,需要研究可靠性。

四、可靠性工程内容与工作步骤

可靠性工程的任务,归根结底就是:确定产品的可靠性和实现产品的可靠性。当然,这两项任务不是孤立的,而是交织在一起的。

确定产品的可靠性,就是通过试验、研究、分析、设计及预测等途径,来确定产品的失效机理、失效模式和失效概率,从而给出可靠性各种指标的统计特征值的数值或范围。

实现产品的可靠性,就是从产品的概念设计开始,直到产品制造出来,使用到报废为止,采取一系列有效措施,提高产品的可靠性,从而实现产品可靠性的最优化目标。

为了实现上述两项任务,可靠性工程的基本内容和工作步骤如下:

1. 可靠性工程的基本内容

(1) 可靠性设计 包括建立可靠性模型、进行可靠性分析、筹划可靠性分配、进行可靠性预测和确定可靠性关键部件等。

(2) 可靠性试验 包括可靠性筛选试验、可靠性增长试验、可靠性鉴定试验及可靠性验收试验等。从广义讲,还应包括产品性能试验、环境试验和研制试验等。

(3) 可靠性管理 它是指自设计开始直到产品报废为止所进行的全部可靠性管理工作。由于产品使用和维修过程中,一般可靠性要递减 $1/3 \sim 1/10$,故在此过程中的可靠性管理更为重要。

1) 计划阶段的可靠性管理 主要是制订可靠性计划及有关文件和可靠性标准以及确定计划质量等。

2) 设计阶段的可靠性管理 通过图纸反映出来的产品质量叫做设计质量,一般低于计划质量。为了协调好两者的关系,需要进行管理。

3) 研制阶段的可靠性管理 为了使产品研制出来达到设计质量,需要进行可靠性管理。

4) 制造阶段的可靠性管理 根据图纸制造出来的产品的质量,叫做生产质量,它一般低于设计质量,故也需要进行协调管理。

5) 使用阶段的可靠性管理 产品在使用过程中的质量称为使用质量,它常较生产质量为低。因此,产品可靠性随着使用过程的加长而递减,这个阶段的管理尤为重要。

(4) 可靠性研究

随着可靠性工程的不断发展,需要研究的问题日益增多,研究的深入又从实践中总结出理论,使可靠性理论的学科分支增多。近年来,出现的可靠性新学科分支有:维修性工程、系统可靠性、可靠性数学、概率机械工程设计和人-机工程学及软件可靠性等。

2. 可靠性工程的工作步骤

要使产品具有高可靠性,必须有计划、有步骤地进行下列各项工作。

(1) 制定计划方案 探索满足可靠性要求的方案,制定实施方案的方法,拟定可靠性的等级及指标,进行可靠性与成本的初步经济分析,论证及评审所提出的方案,评价可靠性。

(2) 进行设计研制

1) 收集分析数据 收集与分析失效率等有关数据,建立可靠性模型,以机械零件为例,若以 Y 代表零件的材料强度, X 表示零件的工作应力, P 为概率, $R(t)$ 为可靠性的概率(可靠度),则可靠性模型可以下式表达:

$$R(t) = P(Y > X) \quad (1-1)$$

式(1-1)说明可靠度是机械零件材料强度大于工作应力的概率,是分析可靠性的依据。

2) 进行失效分析 分析失效模式、失效影响及失效后果和进行故障树分析,以确定失效部位、失效机理,分析出失效的危害性及每种失效模式后果的严重性,提出提高可靠性的建议。失效树是以类似树干与树枝关系的图形来表达各种失效影响因素的相互因果关系的手段,通过它分析整个系统的失效原因,计算系统的失效概率,提出提高整个系统的可靠性的建议。

3) 做可靠性设计 可靠性设计包括:可靠性分配、可靠性预测及耐环境设计等。要将可靠性指标分配到最基础的元件,并预测其实现的可能性,还要考虑在气候、生物化学、机械以及电磁环境中,产品的失效情况及其对策,如常采用的概率设计,减额设计及热设计等方法。

4) 组织样机试验 对严格按照设计图纸制造出的样机,进行可靠性筛选试验和可靠性增长试验,最后进行可靠性鉴定试验。

(3) 批量生产验收 通过可靠性鉴定,产品即可进行批量生产,然后交货验收。要使批量生产质量与设计质量一致,并组织可靠性验收。

(4) 调查使用情况 产品投入使用后,要调查使用情况,搜集现场使用数据,测定使用时的可靠性,提出维修技术建议,推出故障诊断技术,并组织可靠性评估,提出可靠性管理建议。

(5) 分析报废产品 这是可靠性工程的最后一步工作,应分析典型产品的技术状态,对报废产品的失效情况进行全面、深入的分析,广为积累数据、资料,为产品更新换代,不断提高可靠性做好准备。

五、 可靠性工程开展的途径

目前,我国在机械产品中,可靠性工程只是刚刚起步,石油钻采机械产品可靠性工程的开展,更是当务之急。

1. 树立系统工程观念

通过上述分析表明:可靠性是一个系统工程,它贯穿在产品的计划、设计、研制、制造、使用等全过程之中。因此,提高产品的可靠性,必须做为一项系统工程来抓,才能做好,这是首先要树立的观念。对于石油钻采机械来说,要做为系统工程来推动,还有其特殊原因。

(1) 产品用户广,要求千差万别 石油钻采机械的用户遍及全国,从西部沙漠到东部海洋,从高原到沼泽,从地面到井下,工作条件差别很大,用户要求异同悬殊,必须做为系统工程来研究。

(2) 制造厂家多,跨行业跨部门 石油钻采机械的大型成套设备,例如钻机,包括十几个系统,万余个零件,配套厂家涉及到几十家,且分属石油、地矿、石化、海洋、机电等多个行业。因此,必须做为系统工程,从整体上进行综合,协调,组织研究,提高整套设备的可靠性。