

节能降耗与功能安全是水工业建设的两大主题 (续)

陈运珍

(北京市市政工程设计研究总院, 北京 100045)

摘 要: 近二十多年来, 国内外水工业等各种企业大量选用变频调速技术来实现工艺流程的节能降耗。变频器具有什么样的功能, 才是安全可靠的绿色环保型的驱动装置, 一个现代化的水工业网络综合自动化监控系统, 监控功能标准和功能安全标准如何做到同步设计, 这是当今工程建设中必须解决的第二个主题。就这两个主题的解决思路, 提出了解决问题的对策。希望广大的同仁智士, 都来研究这两大主题的科学解决之道, 多快好省的完成“十一五”规划中各行各业的建设任务。

关键词: 变频器; 功能安全; 节能降耗

中图分类号: TM921.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6540(2008)11-0006-05

Energy-Saving, Consumption Reduction and Function Safety Are Two Main Themes of Water Industrial Construction

CHEN Yun-zhen

(Beijing Municipal Engineering Design & Research General Institute, Beijing 100045, China)

Abstract: Over the past 20 years, most domestic and international water industry and other enterprises have chosen frequency control technology to achieve energy-saving in process flow, which is the mainstream and also the theme. What functions inverter should have so that we can say it's safe and reliable environment-protecting driving device. How can a modern water industry network's integrated automation supervisory system, supervisor control functional standards and function safety standards be designed synchronously. This is the second theme that must be resolved in engineering construction today. The elementary countermeasures to the problem according to the solution ideas of the two themes are presented. It is helpful, that colleagues and intellects all come to study the scientific and Technical solutions of these two major themes, and complete the 11th Five-Year Plan construction tasks in all industries more, faster, better and cheaper.

Key words: inverter; function safety; energy saving and consumption reduction

2 网络监控系统功能安全控制和过程标准控制设计

安全生产已成为提高生产效率的必要条件。安全控制就是要控制风险, 提高生产效率, 并最好地节约成本。只考虑控制功能, 不考虑监控系统功能安全的工程设计是不完整的设计, 是不合格的设计。

2.1 关于 IEC61508 标准及机械安全标准的发展介绍

IEC61508 标准引入了安全完整性 (safety in-

tegrity) 的概念, 即在规定的条件下、规定的时间内, 相关系统成功实现所要求的安全功能的概率。针对安全完整性的要求, 做工程设计时必须预计到网络监控系统的危险模式的失效概率。有两种模式: 按设计功能的平均失效概率 (即低要求的操作模式), 见表 1; 按每小时的危险失效概率 (对于高要求和在网络上连续操作模式), 见表 2。由表 1、2 可知: SL4 是最高的, SL1 是最低的。

IEC61508 标准要求从全生命周期各个阶段的风险评估出发, 从网络监控系统的角度采取各种措施来降低各个阶段的风险至可以允许的范围

表 1 低要求操作模式 (在要求时就执行其设计功能要求的平均失效概率)安全完整性等级

安全完整性等级	低要求操作模式 (在要求时就执行其设计功能要求的平均失效概率)
4	$\geq 10^{-5}$ 至 $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ 至 $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ 至 $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ 至 $< 10^{-1}$

表 2 高要求或连续操作模式 (每小时危险失效概率)安全完整性等级

安全完整性等级	高要求或连续操作 (每小时危险失效概率)
4	$\geq 10^{-9}$ 至 $< 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-8}$ 至 $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7}$ 至 $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6}$ 至 $< 10^{-5}$

内,即从硬件和软件的功能安全要求、安全完整性要求、目标失效模式分析、系统诊断覆盖率、测试和证实等方面综合考虑。

功能安全 (FUNCTIONAL SAFETY) 即:与 EUC和 EUC控制系统有关的整体安全的组成部分,它取决于 E/E/PE安全相关系统,其他技术安全相关系统和外部风险降低设施功能的正确行使。

前期的功能安全主要采用机械的 (如行程开关)或电磁的技术 (如电磁继电器),随着电子技术、微电子技术和网络监控系统等可靠性技术的迅猛发展,使用电气/电子/可编程自动控制器等相关技术组成的安全相关系统在安全解决方案中使用的越来越多。2002年,在欧美有关安全标准的基础上,国际电工委员会制订了 IEC61508的系列标准,即:《电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全》,这是一个非常重要的基础安全标准。

以 IEC61508为基础,过程工业已制订了一个重要的基础安全标准:IEC61511—功能安全,过程工业的安全仪表系统;以 IEC61508为基础,机电等设备也制订了一个重要的机械工业基础安全标准:IEC62061—机械安全 安全相关的电气、电子、可编程电子控制系统的功能安全。

ISO13849-1机械安全控制系统制订于 1999年,综合采用了 IEC61508和 IEC62061的处理方

法,2006年新编版 ISO13849-1,依据危险失效的平均时间、诊断覆盖、共因失效、系统失效、软件分析等主要评估内容,引入了一个全新的安全功能分类级别,称为性能级别 (Performance Level-PL): a, b, c, d或 e, PL。其与 IEC61508中的安全完整性等级 (SL1- SL4)是可比较的。2006年新编版 ISO13849-1,适用于所有工业的电气、机械、风力、水力的安全相关系统的机械。但对于高度复杂的、可编程电子技术的网络监控系统的安全相关系统,则要用 IEC61508和 IEC62061标准去评估认证。

2 2 同一网络上如何做到同步实现安全控制和标准控制

2 2 1 提高对安全控制的重要性认识

2007年,我国共发生各类事故 506 376起,死亡 1 014 480人。当人们把目光锁定在矿山和交通行业的安全问题时,各行业的机械安全故障也在威胁着人们的生命安全:每年有上万名职工手臂或手指被机械所损伤或切断,造成极大的危害。据 2006年统计,此类事故直接经济损失 3 500万元。“安全第一、预防为主、标本兼治”的口号非常嘹亮,但时至今日,政府对机械安全标准还没有强制性的执行办法,缺少对机械设备安全的专门监管,没有象欧盟带有法规性质的机械指令文件,更不用谈对网络自动化监控系统安全标准贯彻落实了。

2 2 2 有关安全的国际标准结构

有关 ISO / IEC的国际安全标准示意图如图 1所示,从图 1可知,网络安全监控系统适用于所有的工业综合自动化系统,它包含了所有影响安全的各种因素,如:工艺设备的机械安全措施,网上管理的规章制度和网上操作的有关规定,仪器仪表的测控保护系统等。在网络监控系统中要定性地分析各种生产装置的安全性,并作为网络安全监控系统的配置依据,按 IEC61508标准的安全等级进行配置,网络安全监控系统的设计既要满足工业过程的安全度要求,又要保证系统的可靠性和可用性。对工艺流程必须进行安全评估。目前,国际上通用的标准有美国的 ISA 84.01和 IEC61508标准,以及德国的 DIN19250标准;权威的认证机构有美国的 UL和 FM标准,还有德国的 TUV标准。一般,网络安全监控系统的安全度等

级要达到 IEC61508 标准中的 SL3 级。目前,我国还没有具体的设计标准和安全等级评估单位。因此,要参照国际标准来进行网络的安全监控系统

设计。有关 ISO / IEC 的国际安全标准,是各国各行各业都必须贯彻执行的安全标准,所做的工程设计都要进行安全评估。

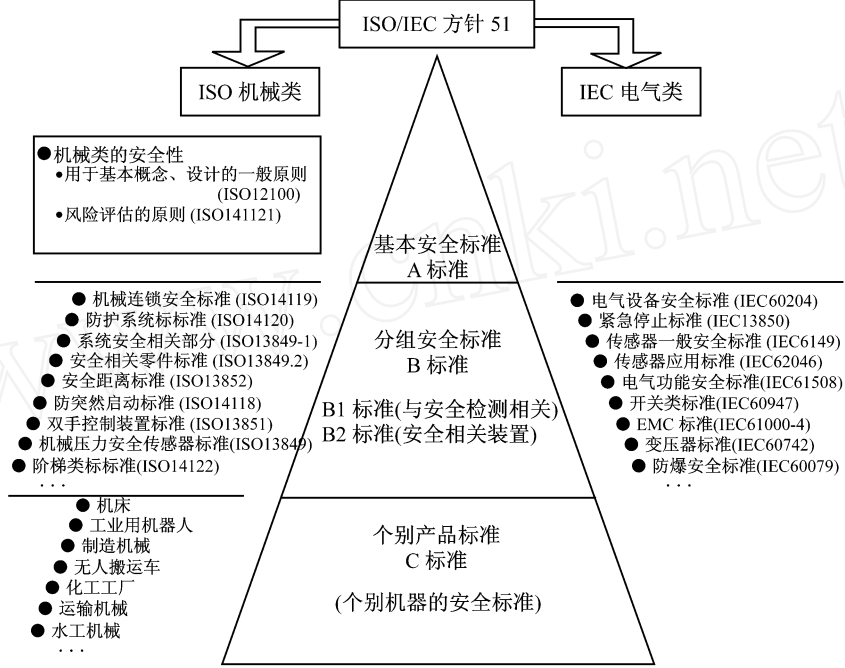


图 1 国际安全标准结构示意图

2 3 同一网络上要同步实现安全和标准控制

过去几十年的电气传动和自动控制的设计中,在机械电气安全设计中,都注意到要选用成熟的元器件,为了避免短路,设计了隔离电路、冗余功能、线路保护、接地系统、各种故障断电跳闸,设计安全距离、采用安全地毯、采用安全光栅、高低压的联锁开关、双位或多级控制、选用双手控制装置;网络自动化监控系统中,采用安全型监测继电器和安全型传感器、冗余功能、选用安全型功能可靠的可编程自动控制器 (PAC) 或 PLC_{OPEN} 可编程控制器、实时数据库、交换机、网关接口、远程 I/O 接口等安全型设备。但仅这些工作还远远不够。

一个现代化的企业网络监控系统,对信息网络的实时性、可靠性、灵活性、同步性和安全性有很高的要求。可以按照过去的经验进行功能设计,但要选用得到安全认证的网络来保证数据信息会被安全地传输;即:其安全性要符合 IEC61508 安全标准的 SL3 的要求,见图 2。

现代化的企业网络监控涵盖了与系统故障相关或不相关的风险。例如:某一传感器被检测到所控制的对象有风险时,就可自动关掉,而不要另

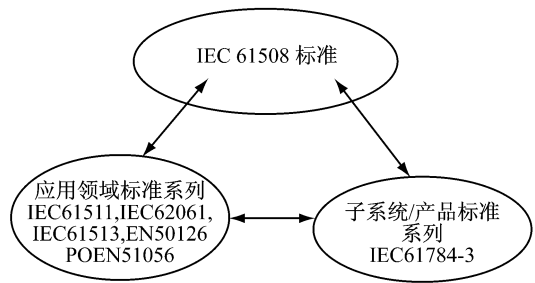


图 2 功能安全标准关系图

加电缆。这个网络允许所有与安全相关的信息都通过现有的数据线缆传输,保证按下急停按钮时,切断电源,不需要增加任何硬件。安全的网络监控系统应能防范潜在的错误:重复、丢失、插入、不正当操作、不正确的顺序、某子系统变坏、延迟、安全与标准数据之间的混淆等;安全的网络监控系统,允许用户在不同平台上使用同样的安全机制。网络监控系统的安全协议必须得到 IEC61508 认证,为了保证数据信息能安全地传送,建议使用 ODVA 认证的安全协议 (如 CIP 安全协议),这样,不同的网络可以在一个一致的基础上,将多个基于 CIP 安全协议的网络连接在一起。

功能安全的设计在软件开发过程中就要同步。在设计监控组态软件和先进控制软件时,要将标准化的安全功能块集成到网络监控系统中,使系统具有安全控制功能。安全功能块应在MES层的高层中设置,使现场层的硬件和软件系统中不必再设防。选择了安全功能块,下一步便要决定将安全相关的程序列入控制编程中。可以采用功能块图 FBD 和 LD 梯图形文件进行编程和检查。不管是什么软件和操作系统,都必须遵守 IEC61508 规范,尤其是第三部分,其中的 FVL 是可变语言;在编制安全应用软件时,也必须遵守 IEC61508 规范,如做到了精简编程语言、指令和认证功能块,可极大地简化软件的开发和认证。

为了搞清安全控制和标准控制之间的理念,这里再重复一次这样的关系:网络安全监控系统的正常运转需要现场层所有硬件设备的支持,即硬件采集的数据信息已有安全信号和标准信号之分;网络监控系统中的安全应用程序的实现与最底层的所有硬件设备没有任何关系。在网络监控系统中的监控组态软件的编程中,采用安全功能块、安全数据变量和类似 CIP 安全协议,可轻松地将安全控制集成到网络监控系统中。

3 流程工业采用变频调速技术的要求

当今大型水厂的节能降耗,大都选用大功率变频调速技术,要选择好的符合水工艺流程要求的大功率变频器,如何科学地应用变频器是个非常重要的课题,节能降耗、谐波治理与无功功率动态补偿要有机结合、同步设计,既要节能降耗,又要安全运行。

3.1 变频器本身要彻底抑制谐波

变频器就是一个谐波源。高次谐波危害极大,水厂设计之初就要将无功补偿和高次谐波治理综合考虑,无功功率补偿到全厂的综合功率因素达到 0.90 以上,已被人们所认识,但人们对谐波治理重要性的认识还远远不够。如北京第九水厂,6 台调速水泵机组都在运转。试运行后,邀请北京电力科学院做了多次谐波电流的测试工作,发现其高次谐波非常丰富,偶次谐波与奇次谐波均超标;不但产生特征谐波电流,而非特征谐波电流也很大。

谐波抑制的方法有几种:一种是增加变频器

整流的相数,相数越多,主要的高次谐波就越小;另一种是在变频器的输入和输出侧安装滤波器,LC 无源滤波器目前还有采用,但有源电力滤波器是主要趋势。中国荣信公司在电网侧采用隔离移相变压器,构成多级移相叠加的整流方式,实现几十到一百的脉冲整流效果,这种多重化结构设计,可大大改善电网侧的电流波形,无需任何无功功率补偿及谐波抑制装置就可满足供电部门对负载网侧电能质量的要求,功率因素高达 0.95。由于变压器副边绕组的独立性,使变频功率单元的主回路也相对独立,非常安全可靠,不增加噪声和发热,不产生转矩脉动,变频器的效率在 0.97 以上。

即使是不采用变频调速的给排水工程,也要综合考虑谐波抑制和无功功率补偿的问题。荣信公司的 SVC 装置具有多项国际专利技术,是综合考虑谐波抑制和无功功率动态补偿的最佳选择方案之一。

3.2 SVC 无功功率动态补偿装置

SVC 监控系统可方便、直观地查看 SVC 设备的运行参数、曲线、历史记录、故障记录等,支持网络传输和远程监控。

SVC 原理如图 3 所示。电容器提供固定的容性无功 Q_c , 补偿电抗器通过的电流决定了补偿电抗器输出感性无功 Q_{icr} 的大小,感性无功和容性无功相抵消,只要做到系统无功 $Q_n = Q_v$ (系统所需) - $Q_c + Q_{icr}$ = 常数 (或 0), 就能实现电网功率因数为常数,电压几乎不波动。关键是准确控制晶闸管的触发角,得到所需的流过补偿电抗器的电流,晶闸管变流装置和控制系统能够实现这个功能,采用母线的无功电流值和电压值,合成无功值,与所设定的恒无功值 (可能是 0) 进行比较,计算得触发角大小,通过晶闸管触发装置,使晶闸管流过所需电流。

对于不对称负荷,利用 Steinmetz 理论实现分相调节,消除负序电流,平衡三相电网。

4 选择大功率变频器的关键要素

从七个关键要素去评选绿色环保型、功能安全、能在网络上实现远程监控和实时远程诊断的变频器装置。

4.1 选择绿色环保型的新型变频主电路是重中之重

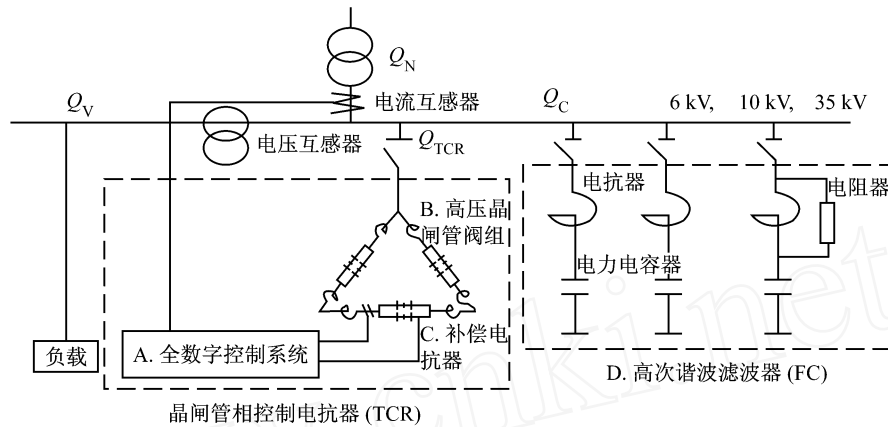


图 3 SVC原理图

变频主电路的功率元件是变频器技术发展的最主要的核心基础。主电路功率元件的工作过程就是能量的过渡过程,其可靠性、稳定性、精确性决定了变频器的可靠性、稳定性和精确性。中国荣信公司选用 EUPEC 公司的高性能 IGBT 模块功率元件,采用多重化脉宽调制 (PWM) 技术,对每个功率单元进行多重化叠加,可得到阶梯正弦的 PWM 波形;采用美国著名的德马考尔 (Thermacore) 公司的超导热管冷却专利技术,彻底解决了 IGBT 等功率器件散热的热岛效应问题,使用寿命可超过 30 年,并免维修。这种阶梯正弦的 PWM 波形,正弦度很好, dv/dt 远小于 $500 \text{ v}/\mu\text{s}$,对电机和电缆的绝缘无损害,无需另加滤波器,对输出的电缆长度无特殊要求,可直接用于普通电机,能有效消除负载电机的转矩脉动和机械轴承的振动。能创造出更多集功率变换、驱动保护、数字监测、智能控制、寿命长、抗干扰性强、抗尖峰电压及电流冲击能力强、自诊断、有自愈力等功能于一身,是效率更高、功能更强、附加值更多的新一代绿色环保型变频器。

双 PWM 绿色变频主电路拓扑结构,将是新型大功率变频调速技术发展的主要趋势。不仅其逆变部分采用最新的自关断器件,整流部分也采用了最新的 PIC 功率模块元件,电网侧输入电流波形接近正弦波,且功率因数接近于 1; 另一方面,实现能量向电网回馈,保证变频器能四象限运行。PWM 整流回路还可以大大减小直接环节的滤波电容容量。采用双 PWM 技术,是消除机械和电磁噪声的最佳方法。随着功率和频率的增加, PWM 的开关损耗也会增加;在大功率和高频

化方面还有大量技术要研究和突破。可以采用虚拟技术和嵌入式技术,随着微处理技术迅速发展,利用谐波技术,硬开关变软开关,采用标准化的 PWM 模式,来解决开关损耗问题。优化的 PWM 模式,即三次谐波叠加法和电压空间矢量 PWM 法,这两种方法具有计算简单、实时控制容易、动态响应速度快、控制精度高、准确度高的全数字化和网络化的特点。

PWM 技术现在正处在不断完善、不断创新的大好阶段,将进一步推动更多更好的绿色环保型变频器的创新。自 20 世纪 70 年代到现在,随着微电子技术的迅猛发展,主电路的功率元件经历了四代巨大的变革。由第一代的晶闸管 (SCR),第二代的电力晶体管 (GTR)、场效应晶体管 (MOSFET),第三代的绝缘栅双极晶体管 (IGBT),到第四代的智能功率集成模块 (PIC) 为代表的最新型功率元件,将成为变频主电路的决定性因素。还有最新的功率元件如 IGCT、IEGT 集成发射式门极晶闸管、GaAs 砷化闸管、SiC 碳化硅复合器件管、光控 IGBT 管及超导功率器件管等不断出现。

4.2 选择高质量长寿命的滤波电容是变频器长期稳定运行的根本保证

当今变频器大都要配置电容,为了打价格战,一般选用电解电容。无数实践表明,这种电解电容耐压低,要多个串联,其均压问题不好解决,致使电容发热严重,不能自愈,极易引起外壳炸裂,寿命极短,每五年就要全部更换,变频器的维护重点就是电解电容,运行维护价格很高,使客户望而

(下转第 54 页)

析的故障检测方法的步骤是:首先计算励磁机励磁电流中 1 次谐波与 6 次谐波的比值,如果确定旋转整流器发生故障,则计算 1 次谐波与 2 次谐波的比值,从而进一步确定是一管开路还是一管短路。

表 2 励磁机他励状态下 α 、 β 值

旋转整流器状态	α	β
正常	0.33	
一管开路	11.67	0.93
一管短路	17.12	4.63

5 结 语

旋转整流器的状态信号难以获取,使得故障检测较为困难。本文从励磁机励磁电流入手,用 MATLAB 软件对各种故障状态下的电流谐波成分进行仿真分析,并结合动模试验结果进行了误差分析,提出了一种切实可行的旋转整流器故障检测新方法。该方法为旋转整流器的故障诊断研究提供了新思路。

【参 考 文 献】

[1] 黄耀群,李兴源. 同步电机现代励磁系统及其控制 [M]. 成都:成都科技大学出版社,1994

[2] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计及应用 [M]. 北京:中国电力出版社,2002

[3] Sottile J, Trutt F C, Leedy A W. Condition monitoring of brushless three-phase synchronous generators with

stator winding or rotor circuit deterioration [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2006, 42 (5): 1209-1215

[4] 刘念,谢驰. 无刷励磁同步发电机旋转整流器故障的模糊神经网络诊断 [J]. 继电器, 2003, 31 (8): 8-11.

[5] 王涛. 基于免疫算法的无刷同步发电机旋转整流器故障诊断技术研究 [D]. 成都:四川大学,2006

[6] 刘念,谢驰,王涛,等. 基于免疫算法的无刷励磁发电机旋转整流器故障诊断 [J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (5): 32-35

[7] Zouaghi T, Poloujadoff M. Modeling of polyphase brushless exciter behavior for failing diode operation [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1998, 73 (3): 214-220.

[8] Darabi A, Tindall C. Brushless exciter modeling for small salient pole alternators using finite elements [J]. IEEE Transaction on Energy Conversion, 2002, 17 (3): 306-312

[9] Aliprantis D C, Sudhoff S D, Kuhn B T. A brushless exciter model incorporating multiple rectifier modes and preisach's hysteresis theory [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006, 21 (1): 136-147.

[10] 陈建业. 电力电子电路的计算机仿真 [M]. 北京:清华大学出版社,2003

[11] 刘念. 无刷励磁旋转整流器电流波形分析及其故障的微机识别 [J]. 电力系统自动化, 1994, 18 (4): 19-26

收稿日期:2007-11-26

(上接第 10 页)

却步。荣信公司采用高可靠性的低感性电力电容,这种电容耐压高(比电解电容高 4 倍左右)、容量大、寄生电感小、有自愈功能、寿命可达 20 ~ 30 年,是变频器长期稳定运行的根本保证。上海柯达公司采用无极性电容,效果也很好。

4.3 变频器要真正做到全数字化、智能化和网络化

变频调控系统包含多学科的技术领域,是一个快速监控的系统,需要存储和处理大量数据,在网络上要快速实时地处理、传递大量信息。水泵机组配套的变频器是一个执行器,在大型的水系统中,变频器工作在工艺流程非常复杂,工作环境

不好,要不断接受指令变速运行的情况下;泵站和净化处理厂相距遥远,加上无人值守,长期高负荷运转,变频器出现故障的机率很高。变频器必须数字化、智能化和网络化,才能在网络上进行快速地工作、诊断和维修。荣信公司采用高速单片机控制器或 DSP 与 MMI 一体化工作站和 PLC 共同构成,可以实现柔性的闭环控制,生成多电平的 PWM 波形,拥有完善的在线保护、故障诊断、打印、存储、查阅、逻辑处理、运行控制、故障联锁等功能。

收稿日期:2008-09-01