

科研成果

文章编号:1671-251X(2010)04-0001-04

# 煤矿安全监控系统可靠性指标的测定方法

邹哲强

(煤炭科学研究院常州自动化研究院,江苏 常州 213015)

**摘要:**对煤矿安全监控系统可靠性指标测定中失效范围的确定、试验系统规模的限定、试验应力的设计、试验方案的选择等关键问题提出了一些设想,提出了2种煤矿安全监控系统可靠性指标测定方法,即直接测试法和间接测定法,并比较了各自的优缺点。通过比较,认为采用间接测定法比较适合煤矿安全监控系统的可靠性指标测定。

**关键词:**煤矿;安全监控系统;可靠性指标;测定

**中图分类号:**TD76      **文献标识码:**A

Measuring Method of Reliability Indexes of Safety Monitoring and Control System of Coal Mine

ZOU Zhe-qiang

(Changzhou Automation Research Institute of China Coal Research Institute, Changzhou 213015, China)

**Abstract:** The paper discussed key problems of measurement of reliability indexes of safety monitoring and control system of coal mine such as determination of invalidation range, set of scale of test system, design of test stress and selection of test scheme, and proposed two measuring methods of reliability indexes of safety monitoring and control system of coal mine named direct measuring method and indirect measuring method. Through comparison of the two methods' advantages and disadvantages, the conclusion was gotten that the indirect measuring method is more suitable for measurement of reliability indexes of safety monitoring and control system of coal mine.

**Key words:** coal mine, safety monitoring and control system, reliability index, measurement

## 0 引言

煤矿安全监控系统作为煤矿瓦斯防治中重要的安全监控设备,在煤矿安全生产中发挥了重要作用。正因如此,社会各界对煤矿安全监控系统也提出了更高的要求。目前煤矿用户对煤矿安全监控系统的关注焦点是如何提高系统工作的可靠性,国家安监总局和科技部也把“高可靠煤矿安全监控系统研究”列为“十一五”国家科技支撑项目。

要研究煤矿安全监控系统的可靠性问题,首先需要研究监控系统可靠性的测量或评价方法。目前安全生产行业标准AQ6201—2006《煤矿安全监控系统通用技术要求》提出了“系统平均无故障工作时间(MTBF)应不小于800 h”的指标,但由于对测试方法没有作出具体的规定(或者说测试方法可操作性不强),国内所有的煤矿安全监控系统都没有把可靠性作为一个考核指标,各系统在现场使用中实际的MTBF也没有测量数据。鉴于此,本文提出煤矿安全监控系统可靠性指标的测定方法,作为研究高可靠性煤矿安全监控系统的一项基础性工作。

## 1 失效范围的确定

失效是指不能完成规定的功能,可以认为设备

收稿日期:2009-12-15

基金项目:2009年度国家科技支撑计划项目(2009BAK54B05)

作者简介:邹哲强(1962-),男,江苏无锡人,高级工程师,长期从事煤矿自动化技术领域的研究工作。E-mail:zzq@cari.com.cn

的指示灯不亮即为失效,也可以规定不能完成关键功能才算失效。所以要测量系统的可靠性指标,首先要确定系统的失效判据,即划定失效定义中“规定功能”的范围。不同的失效范围直接影响可靠性指标的试验结果,从而导致系统的可靠性指标没有可比性。不仅如此,划定合理的失效范围有利于抓住系统使用中的主要矛盾,使系统的可靠性指标在安全生产中具有较大的参考价值。

根据以上分析,笔者认为,对煤矿安全监控系统失效范围的划定局限于行业标准中的强制要求部分是一种较合理的选择,标准中的可选部分和各厂家设计时扩展的功能都不宜划定在失效范围内。另外,性能指标中统计性的测量指标(比如传输误码率)也不宜考虑在内,因为这种失效不能在可靠性试验过程中快速判定。

## 2 试验系统规模的限定

不同的系统规模也会使系统的可靠性指标没有可比性,所以有必要统一限定试验系统的规模。对此,笔者认为可以规定“能实现标准中所有强制要求的最小规模的系统”为标准试验规模。比如为了实现异地断电功能,根据上述最小规模的要求,至少需要 2 台分站。另外考虑到各系统中某一类设备本身还有不同复杂度的多种规格产品,为防止出现用于可靠性测试的“专用设备”,还应规定:具有多种规格的设备必须使用复杂度最高或设计可靠性最低的产品组成最小规模系统。比如一个系统有 4 口、8 口、16 口分站可供配套时,必须用 16 口分站组成最小规模系统进行测试。

当然也可以用其它原则确定系统规模,比如按系统现场常用配置中各设备的比例组成最小规模系统,但一定要考虑规模不宜太大、规则统一合理,使不同系统的可靠性指标具有可比性。

## 3 试验应力的设计

不同的试验应力是影响可靠性试验结果的又一大因素。为了保证可靠性试验的结果尽量符合真实情况,应该使试验应力的设计尽量接近实际情况。但全国各地煤矿的环境条件各不相同,同时要在实验室环境下完全模拟现场条件也是不可能的,所以应设计一套合理的应力组合作为测试的统一标准。

煤矿安全监控系统中各设备的使用环境可以简单地分为井上控制室环境和井下环境两大类。井上控制室环境的试验应力组合可以参照 GB11463 中

组的温度、电应力条件,但由于煤矿安全监控系统是长期工作,可不设关机时段,但开关机上电冲击应力还是应该考虑的,可以规定每隔 48 h(或更长时间)进行一次主控机关机再开机程序,这样既施加了开关机上电冲击应力,还可以同时测试监控主机双机备份的可靠性。煤矿井下的环境条件比井上控制室恶劣得多,笔者认为井下环境的试验应力组合应考虑电压波动、温度、湿度、开关机上电冲击、供电电压跌落、电气浪涌、机械碰撞等因素。

## 4 试验方案的选择

煤矿安全监控系统是典型的电子产品,一般认为电子产品的失效率随时间的变化关系呈“浴盆曲线”,已过早期失效阶段尚未进入老化失效阶段的电子设备的失效率近似为常数,所以对煤矿安全监控系统可靠性指标的测定可以采用 GB5080.7 介绍的方法进行试验。标准推荐使用定时定数截尾试验,即试验先达到截尾时间时,认为可靠性指标达到要求;而当试验中独立故障数先达到截尾数时,认为可靠性指标没有达到要求。

在选择具体试验方案时,理想的试验方案应该是可靠性指标达到要求时,以 100% 的概率认可;没有达到要求时,100% 拒绝。但建立在抽样原理基础上的试验方案不可能是理想的,只能做到当可靠性指标达到某上限时,以较高的概率认可,可靠性指标低于(或接近)某下限时,以较高的概率拒绝。为了体现对用户负责的原则,试验方案中的可靠性指标下限应为技术指标中规定的可靠性指标最小值,当然这样做对生产方是有些不公平的。为了对生产方公平,可靠性指标的上、下限应尽量接近。但可靠性指标上、下限越接近的方案试验时间越长,所以一般折中的方案可取 GB5080.7 中表 12 的 5:3 方案。当生产方对产品质量有较大把握,同意取高的 MTBF 上限时,可取 GB5080.7 中表 12 的 5:4 方案,以采用较少的试验时间。笔者认为,当系统没有可靠性预计数据可供参考时,应选择较低的风险概率(如  $\alpha = 10\%$ )。但考虑到已经取试验方案中的可靠性指标下限为技术指标中规定的可靠性指标最小值,所以适当放大风险概率也是可以的。如果把风险放大到  $\alpha = 20\%$ ,则可取 GB5080.7 中表 12 的 5:7 方案,试验时间可进一步缩短。

## 5 2 种系统可靠性指标测定方法及比较

煤矿安全监控系统可靠性指标的测定其实是

一种估计,可以采用2种方法:一种是直接测试法,即对整个系统按GB5080.7的方法进行试验,得到整个系统的MTBF指标;第二种方法是间接测定法(计算法),即对组成系统的设备分别按GB5080.7的方法进行试验,得到各设备(或子系统)的MTBF指标,然后按照系统中各设备(或子系统)的可靠性联接关系计算出整个系统的MTBF指标。

对系统或设备的可靠性试验可以在实验室环境下进行,也可以在现场使用条件下进行。但对于煤矿安全监控系统,由于现场使用条件下不可能多套系统同时试验,而且不同的现场环境条件很难保证一致性,所以现场使用条件下的可靠性试验结果只

能作为参考,不能作为测定。

### 5.1 直接测试法

根据GB11463—86的推荐,可靠性试验的样本数应不小于一批中生产量的10%,一般不少于2台(套)。试验样本数越多,在同样的参数估计精度条件下,整个试验时间越短;而在同样的试验时间条件下,参数估计精度越高。但煤矿安全监控系统组成庞大复杂,不允许大量抽样,一般以2~3套为宜。

如果对整个系统做可靠性指标的测定,当系统的MTBF下限取800h时,试验样本数按3套算,按以上第4节讨论的3个方案,主要参数及达标试验时长如表1所示。

表1 3个方案的主要参数及达标试验时长

方案	MTBF下限/h	MTBF上限/h	截尾时间/h	3套截尾天数/d	截尾故障数	风险概率/%
5:3	800	2 400	7 440	103.3	6	10
5:4	800	4 000	4 400	61.1	3	10
5:7	800	2 400	3 504	48.7	3	20

### 5.2 间接测定法

由于系统是由设备构成的,所以可以用直接测试法测定各设备(或子系统)的可靠性指标后,应用系统可靠性理论计算出系统的可靠性指标<sup>[1~2]</sup>。

对于煤矿安全监控系统,可以划分成以下几个设备(子系统):AQ6201第4.5.1条规定必须配置的每种传感器、断电执行器、分站、本安电源、数据传输系统、监控主机。从可靠性角度看,这些设备(子系统)是以串联方式组成的系统,即任一设备(子系统)失效,系统即为失效(按上述最小系统规模需要2台分站的假定,这2台分站之间依然是串联关系)。根据系统可靠性理论,对于失效率为常数或失效密度为指数分布的产品,串联系统的MTBF和组成系统的各设备(子系统)的MTBF的关系为<sup>[1~2]</sup>

$$1/\text{系统MTBF} = 1/\text{设备1MTBF} + 1/\text{设备2MTBF} + \dots + 1/\text{设备nMTBF} \quad (1)$$

由此可以得出,若系统由n个设备以串联关系构成,要达到系统MTBF为800h的指标,n个设备的平均MTBF至少应为800n h。

目前煤矿安全监控系统中的大多数设备还没有采用设备冗余,只有监控主机标准规定必须采用双机备用方式。由于备用系统的可靠性指标计算比较复杂,特别是其中切换装置的故障率难以确定,所以可以把双机备用的主机作为一个子系统看待,该子系统和其它设备仍然是串联关系,可先用直接测试法测定该子系统的可靠性指标,再用式(1)估算整个

系统的MTBF。其它如带冗余功能的数据传输系统同样可以这样考虑。

### 5.3 2种测定方法的比较

直接测试法应该是比间接测定法更接近真值的方法,因为它在考虑系统组成时包括了各种细节。而间接测定法在进行系统分解时,必然会忽略掉一些细节。但煤矿安全监控系统应用直接测试法也存在一些缺点:

(1) 由于直接测试法直接得出的是系统的可靠性指标,对于系统中各设备的可靠性分析不够深入。

(2) 当系统中某个设备经过改进或改用其它型号的替换产品后,就需要对整个系统重新进行可靠性指标测定。

而以上2条也恰恰是间接测定法的优点:

(1) 由于要对构成“最小系统”的所有设备(或子系统)测定可靠性指标,所以容易发现系统中可靠性指标较低的设备,便于确定改进目标。

(2) 当系统中某个设备经过改进或改用其它型号的替换产品后,不需要对整个系统重新进行可靠性指标测定,只需要对改进过的设备进行可靠性指标测定。在对某个具体设备测试时可以选择较多的样本数量,缩短试验时间。若是改用其它型号的产品来替换,甚至可以直接使用替换产品的可靠性指标,不用再进行测试。

间接测定法的缺点:由于间接测定法需要测定出构成最小系统的所有设备(或子系统)的可靠性指

文章编号:1671-251X(2010)04-0004-03

# 煤矿井下中央变电所内电磁干扰测试及分析

孙继平<sup>1</sup>, 王福增<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室,北京 100083;  
2. 河北农业大学信息科学与技术学院,河北 保定 071000)

**摘要:**通过对煤矿井下中央变电所电磁环境进行测试分析,得出如下结论:(1) 中央变电所设备正常运行时,高压开关附近存在低频干扰;(2) 中央变电所变压器正常运行时,干扰主要在 500 MHz 以下,在 100 MHz 附近产生较大干扰,产生的最大干扰比背景噪声高出 40 dB · $\mu$ V/m 左右;(3) 中央变电所内开关闭合瞬间会产生较大的电磁干扰,干扰主要在 1.5 GHz 以下,低频干扰较大,最大值达到 193 dB · $\mu$ V/m;(4) 中央变电所设备正常工作时,辐射电磁场达到一级标准(1 V/m);但在开关闭合瞬间,在 1 MHz 以下电磁干扰较大,超过 GB9175—88 环境电磁波卫生标准中规定的二级标准。

**关键词:**矿井; 中央变电所; 电磁环境; 电磁干扰; 测试

**中图分类号:**TD611.2; TN03      **文献标识码:**A

Testing and Analyzing of EMI in Central Substation of Coal Mine Underground

SUN Ji-ping<sup>1</sup>, WANG Fu-zeng<sup>1,2</sup>

(1. State Key Lab. of Coal Resources and Safe Mining of CUMT. (Beijing), Beijing 100083, China.  
2. College of Information Science and Technology of Agriculture University of Hebei,  
Baoding 071000, China)

收稿日期:2009-12-04

基金项目:国家自然科学基金项目(50674093),国家科技支撑计划项目(2006BAK03B00)

**作者简介:**孙继平(1958-),男,山西翼城人,博士,中国矿业大学(北京)教授,博士研究生导师,长期从事矿井监控及通信方面的研究工作,出版著作 10 部,发表学术论文 100 余篇,制定中华人民共和国安全生产行业和煤炭行业标准 10 余项,拥有专利 6 项,获国家科技进步奖 1 项、部级科技进步一等奖 5 项。

标,而且设备的可靠性指标应高于系统的可靠性指标,所以进行第一次全面测试时,测试总时间可能会更长一些。

## 6 结语

本文讨论了煤矿安全监控系统可靠性指标的测定方法,提出了确定系统失效范围、限定试验系统规模和试验环境应力设计的一些设想,提出了 2 种系统可靠性指标测定方法并比较了各自的优缺点。通过比较,笔者认为采用间接测定法比较适合煤矿安全监控系统可靠性指标的测定。

## 参考文献:

[1] 张增照,潘 勇. 电子产品可靠性预计[M]. 北京:科学

- 出版社,2007.  
[2] 卢明银,徐人平. 系统可靠性[M]. 北京:机械工业出版社,2008.  
[3] 国家标准局. GB5080. 1—86 设备可靠性试验 总要求[S]. 北京:中国标准出版社,1987.  
[4] 国家标准局. GB5080. 7—86 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案[S]. 北京:中国标准出版社,1987.  
[5] 中华人民共和国机械电子工业部. GB11463—89 电子测量仪器可靠性试验[S]. 北京:中国标准出版社,1989.  
[6] 国家安全生产监督管理总局. AQ6201—2006 煤矿安全监控系统通用技术要求[S]. 北京:煤炭工业出版社,2006.