

西门子微机母线保护及其发展

程利军¹, 蔡敏², 唐涛¹, 阙连元¹

(1. 南京中德保护控制系统有限公司, 江苏省南京市 210003)

(2. 华北电力大学(北京)四方研究所, 北京市 100085)

摘要: 介绍了微机母线保护的发展过程, 举例阐述了西门子 7SS60 集中式及 7SS52 分布式微机母线保护系统的保护原理, 以及电流互感器饱和判据、结构及功能, 并做了大量分析、论证及比较, 指出现阶段集中式母线保护装置仍然是母线保护发展的主流, 分布式母线保护系统更能适应综合自动化的要求, 是将来发展的必然趋势。

关键词: 微机母线保护; 集中式微机母线保护; 分布式微机母线保护; 电流互感器饱和

中图分类号: TM773

1 微机母线保护发展过程

20 世纪 80 年代初, 国内外许多学者对微机母线保护的理论与实践进行了大量的探索与研究, 但发展比较缓慢。随着计算机与网络通信技术的飞速发展, 微机母线保护在 90 年代蓬勃发展, 各种原理和模式的微机母线保护相继推出, 其中具有代表性的是集中式微机母线保护及分布式微机母线保护。

集中式微机母线保护将各个连接元件的交流、直流回路均引至主控制室的母线保护屏上, 微机型母线保护对电流、电压以及开关量进行处理, 转换为数字量, 根据一定的算法进行计算、判断及处理。近年来, 随着无人值班的变电站的出现和变电站自动化技术的发展, 对保护下放的要求越来越强烈, 它可以节省投资。此外, 从变电站的建设和发展来看, 变电站的最终规模不可能一次完成, 有时母线的接线形式也可能发生变化。例如, 母线的主接线从双母线变成双母线单分段。这类要求对运行的变电站来说是十分麻烦的事。分布式母线保护由于能够很好地适应上述要求而备受关注。

本文从微机母线保护系统构成、保护原理、电流互感器饱和方案等方面剖析西门子 7SS60, 7SS52 系列微机母线保护装置, 并与国内微机母线保护装置进行比较, 为我国微机母线保护装置的发展抛砖引玉。

2 微机母线保护方案及系统结构分析^[1]

现阶段, 我国生产的微机母线保护装置一般采

用以下方案:

a. 分相差动方案。3 个独立的计算机系统构成独立的 A, B, C 分相差动系统, 主要实现数据采集、信号处理、差动保护、充电保护、失灵保护、电流互感器(TA)饱和检测、交流断线及出口等功能; 另设“方式识别/电压闭锁”系统分别完成双母线运行方式识别、电压闭锁等功能。

b. 三相集中处理方案。由一套计算机系统实现差动保护、母联充电保护、母联过流保护、死区保护、断路器失灵保护功能保护算法、跳闸逻辑、事件记录、报告打印和通信功能。

我国生产的微机母线保护装置适用于各种电压等级及主接线方式, 最大规模为 24 个连接元件, 一面盘布置。现在均采用快速的 DSP 构成计算机系统。

从计算机系统构成看, 对于 24 个连接元件双母线分段接线, 数据采集系统共包含 72 个电流回路、12 个电压回路, 共计 84 个模拟通道; 24 个反映失灵保护的开入量接点、24×2 个反映隔离刀闸位置接点。这样, 计算机硬件系统极其复杂, 对机箱结构要求也较高。但减少了相互连线, 组屏相对简单。因此, 方案 b 逐渐成为微机母线保护的主流。

西门子 7SS60 母线保护是一种简单的数字式差动保护装置, 适用于各种主接线的中压、高压和超高压变电站及发电厂。特别适用于单母线及 1 个半开关接线中。可以构成分相差动保护方案, 也可设置综合变流器, 将三相电流合成一相差动保护方案(特别适用于低压系统须装设母线保护的场合)。两种方案分别如图 1、图 2 所示。

收稿日期: 2003-10-31。

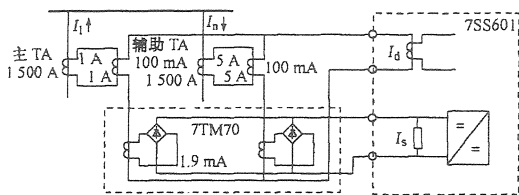


图1 分相差动母线保护系统框图

Fig. 1 Block diagram of 7SS60 type bus protection with isolated-phase differential protection

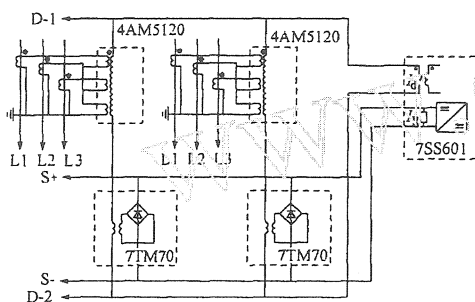


图2 综合式母线保护系统框图

Fig. 2 Block diagram of the 7SS60 type bus protection with summation current transformer

西门子 7SS60 母线保护其计算机系统仅处理差电流、制动电流,采样率可达每周期 40 点。这样对计算机系统的要求就很低。但是外回路很复杂,需要匹配变流器、整流器件及出口器件。虽然这些器件很多,但非常可靠,维护量极小。特别是综合式方案,将 I_A, I_B, I_C 三相电流按照一定比例生成一个综合电流,对此电流进行计算、判断,识别出母线发生内部、外部故障。综合电流变换器的绕组变比为 $n_1 : n_2 : n_3 = 2 : 1 : 3$, 电流变比为 $I_A : I_B : I_C = 5 : 3 : 4$ 。这样,当 B 相或 C 相发生单相故障时,增加了单相故障的灵敏度。同时,该方案使母线保护装置很简洁,尤其对于单母线及 1 个半开关接线。

显然,西门子 7SS60 母线保护方案与性能较佳的中阻抗母线保护十分相似。它引入微机保护的优势,使其既具有中阻抗母线保护抗 TA 饱和能力强、可靠性高的优势,又有数字继电保护装置的优势。因此,7SS60 母线保护方案是一种高性价比的方案,具有良好的市场前景。目前,西门子公司已有近百套装置在全世界电力系统中运行。

西门子 7SS52 分布式母线保护是一套比较成熟的产品,在国外也得到了广泛应用。它适用于各种主接线的中压、高压和超高压变电站及发电厂,作为专设母线保护和断路器失灵保护,最大规模为

12 段和 48 个间隔,整组动作时间 15 ms(典型值),对 TA 无特殊要求(即使 3 ms 之后 TA 饱和,稳定性也有保证)。下面以 7SS52 分布式母线保护为例加以阐述,其系统框图见图 3。

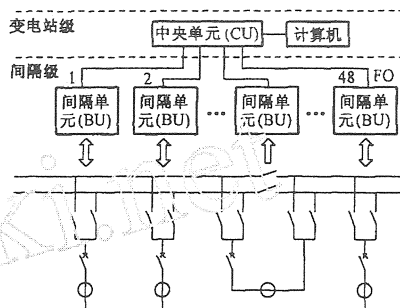


图3 西门子 7SS52 分布式母线保护总体结构

Fig. 3 Block diagram of 7SS52 type distributed bus protection

7SS52 分布式母线保护系统是面向间隔的,可以将所谓的间隔单元(BU)安装在靠近开关设备的间隔级控制与保护柜上,每个 BU 通过专用光纤总线与中央单元(CU)相连,CU 汇集 BU 上传的数据并执行全部算法及其他功能。所有的信息交换通过光纤接口传送到中央单元。

BU 测量各个间隔的三相电流,监视开关及隔离刀闸的状态、断路器失灵保护启动。跳闸命令通过 BU 内部继电器发出,可以直接跳闸。BU 对电流量进行每周期 48 点采样,并进行模拟滤波和数字滤波(每周期 4 次),将采样电流值转换为电流相量,然后将这些相量带上相应的时标,在算法设定的时间间隔内传送到 CU。同时,BU 还对断路器及隔离刀闸的位置进行检测,将从 CU 接受到的跳闸信号作用于出口跳闸继电器。

CU 负责算法处理及故障检测以及母线运行方式识别、保护区的自适应计算、判别,实现与变电站控制系统的同步与互联。CU 的光纤星形耦合器最多可接 48 个 BU。BU 与 CU 之间传送的数据采用一定的编码方法并且用纠错码确保数据的准确性。BU 和 CU 的系统框图分别如图 4、图 5 所示。

从计算机系统构成来看,BU 的数据采集系统、开入量系统是比较简单的。由于 BU 要下放至开关场内,要求装置有极强的抗干扰水平。此外,分布式母线保护装置的最关键技术当属通信系统,因为只有用实时性更好的通信方式构成通信网,才能适应母线保护对实时性的要求。

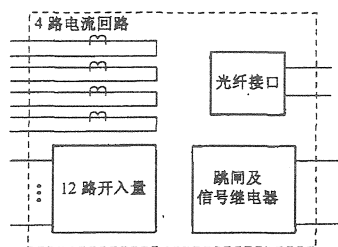


图4 间隔单元系统框图
Fig. 4 Block diagram of bay unit (BU)

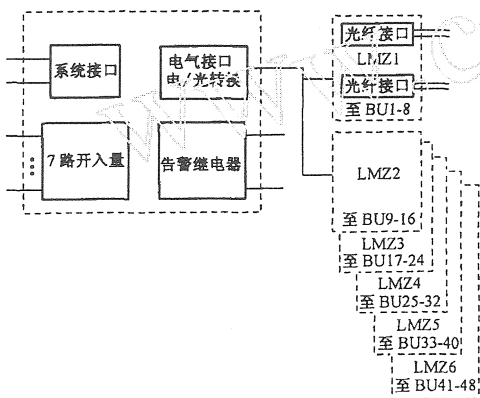


图5 中央单元系统框图
Fig. 5 Block diagram of central unit (CU)

分布式母线保护可以分散安装,也可集中组屏。

3 西门子母线保护原理分析^[1,2]

现代母线保护要求动作速度快的根本原因在于:当母线发生内部故障时,即使TA饱和母线保护也能抢在其饱和之前动作。根据分析,即使TA完全饱和,TA的二次电流在故障开始时至少有3ms~5ms的线性传变区,因此母线保护整组动作时间小于10ms这一重要指标很自然被提出来。如果考虑出口继电器动作时间及其他因素,这就要求5ms~8ms内必须完成差动保护判据的计算并决定母线保护动作行为。

制动量函数不同,则构成的差动保护判据也不同。而现在母线电流差动保护装置几乎均采用下式所示的判据构成母线保护的主判据:

$$\begin{cases} \left| \sum_{i=1}^m I_i \right| > I_{d0} \\ \left| \sum_{i=1}^m I_i \right| > K \sum_{i=1}^m |I_i| \end{cases} \quad (1)$$

式中:K为制动系数;I_{d0}为整定值;i=1,2,⋯,m。

当母线发生近端外部故障时,TA可能饱和。当TA饱和时,二次电流发生畸变,严重时可能接近于0,此时差动保护将出现较大的差流,差动保护判据将反映为内部故障,母差保护将误动。这种情况对各种类型的母线保护正确动作都有影响。因此,较高的抗TA饱和特性关系到母线保护的可靠性。

已有多项TA饱和解决方案成功地应用于母线保护装置中。例如原瑞典ASEA公司的RADSS母线保护,它利用中阻抗原理,巧妙地利用了TA的暂态过程,又考虑了稳态过程,具有较强的抗TA饱和能力,能保证母线保护可靠、正确工作;原瑞士BBC公司的INX5型母线保护通过设置饱和发生器,动态检测每个连接元件的正、负半波电流值来闭锁母线保护出口;ABB公司推出的REB500型微机母线保护装置,它采用静态最大值保持的方法,并结合傅里叶变换,求出饱和支路的近似于真实的电流值,最后由比率制动判据保证母线保护可靠不动作;西门子母线保护采用计算制动量方法,通过修正制动量,保证母线保护在各种故障下正确工作。另外,还有利用速饱和和变换器延时将电流送入差动回路,即躲开故障电流的暂态过程来实现抗TA饱和;也有利用高阻抗方案;或者利用饱和时有较大的谐波量作为TA饱和检测的判据,以及同步识别法、电流比相等。

7SS601装置采用带比率制动特性电流差动方案,判据如式(1)所示。从图1可以看出,差电流I_d、制动电流I_s均由简单可靠的外回路(变流器、整流桥等)完成。7SS601装置仅处理差电流I_d、制动电流I_s两个量。动作特性如图6所示。

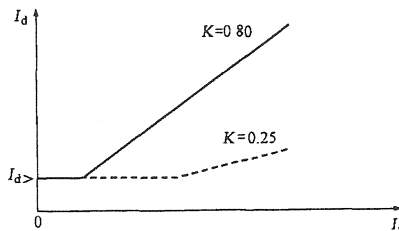


图6 7SS601动作特性
Fig. 6 Characteristic of the 7SS601 measuring system

7SS600数据采集系统的采样率为每周期40点,这样,对于母线内部故障能够快速、可靠跳闸;对母线外部故障,即使4ms后TA完全饱和,母线保护也可靠不误动。

7SS52装置采用带比率制动特性电流差动方案,判据如下:

$$I_d > KI_{s, mod} \quad (2)$$

式中: $I_{s, mod}$ 为处理后的制动电流。

注意式(2)与式(1)有很大不同。其动作特性如图7所示。

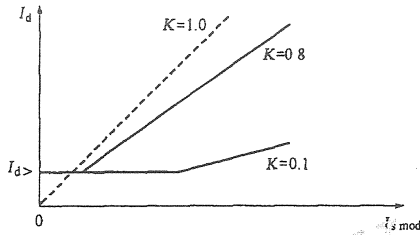


图7 7SS52 电流差动保护动作特性
Fig.7 Characteristic of the 7SS52 measuring system

$I_{s, mod}$ 通过计算机软件实现,用于防止 TA 饱和和母线保护误动,这是西门子公司母线保护特有的优点, $I_{s, mod}$ 为制动电流 I_s 最大值按照时间常数为 60 ms 衰减得到的计算值, $I_{s, mod}$ 计算如图 8 所示。选取时间常数为 60 ms 的原因是基于超高压系统非周期分量衰减的时间常数为 100 ms 左右。

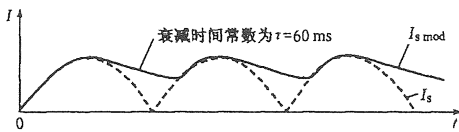


图8 I_s 与 $I_{s, mod}$ 关系
Fig.8 Diagram of the stabilizing (restraint) current

假设母线上有两个连接元件,其中一个连接元件二次电流能够真实传变一次电流(TA 未饱和),另一个连接元件二次电流中存在较大的非周期分量,如图 9 所示。

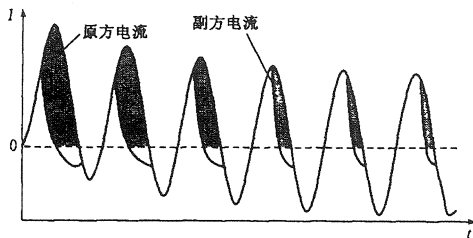


图9 TA 饱和下原方、副方电流
Fig.9 Primary and secondary current of a current transformer saturated

图 10 给出了制动系数 $K=0.65$ 时母线外部故障某个连接元件 TA 饱和时制动电流与动作电流的关系。如果 8 ms 内均检测到动作电流 I_d 大于

$0.65I_s$, 母线保护就要跳闸。由于动作电流 I_d 取绝对值,因此图 10 中,差动电流、制动电流波形均为正数。显然,在第 1 个、第 3 个半波内动作电流、制动电流满足动作条件覆盖时间可能大于 8 ms,致使保护误出口。但是,当制动电流采用处理后的制动电流 $I_{s, mod}$ 后,图 10 可转化为图 11。

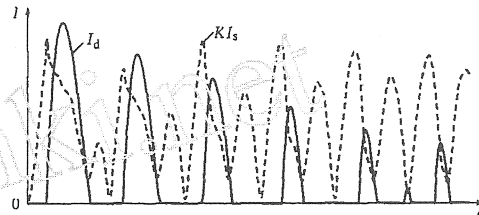


图10 母线区外故障 TA 饱和时动作电流、制动电流
Fig.10 Formation of measured values for an external short-circuit

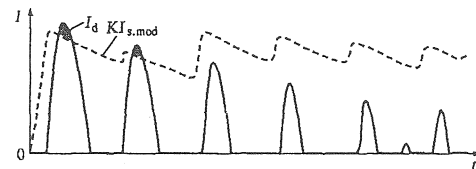


图11 母线区外故障 TA 饱和制动电流采用 $I_{s, mod}$ 时动作电流、制动电流
Fig.11 Formation of measured values for an external short-circuit with smoothed stabilizing current

从图 11 中可以看出:在第 1 个、第 3 个半波内动作电流、制动电流满足动作条件,但是动作条件覆盖时间不大于 8 ms,大约为 4 ms 左右,母线保护可靠不出口。这是西门子母线保护具有极强的抗 TA 饱和能力的根本原因。

当母线发生内部故障时,假设母线上有两个连接元件,其中一个连接元件二次电流能够真实传变一次电流(TA 未饱和),另一个连接元件二次电流中存在较大的非周期分量,如图 9 所示。当制动系数 $K=0.65$ 时,动作电流与制动电流如图 12 所示。

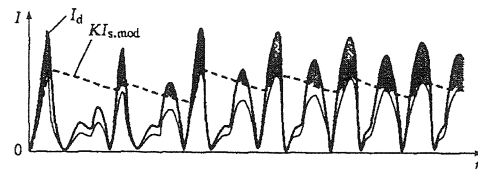


图12 母线内部故障 TA 完全饱和时的动作电流、制动电流
Fig.12 Formation of measured currents for an internal short-circuit

从故障开始(第1个半波)动作电流就大于制动电流 $KI_{s, mod}$, 由于TA饱和, 6 ms后动作条件就不满足, 保护返回。第2个半波不满足动作条件。随着非周期分量衰减, 满足差动保护动作所覆盖的时间越来越长, 最终保护出口。

比较上面几种运行工况, 西门子7SS52分布式母线保护对于保证内部故障可靠、快速动作, 外部故障可靠不误动的条件如下:

a. 故障发生几个周期后, 非周期分量将大大衰减。在每个半波, 动作电流、制动电流在各种运行工况及故障类型下均能正确测量。

b. 在故障发生起始阶段, 通常至少在1/4周期内, 电流互感器能够真实转变一次电流, 即TA尚未饱和, 此时差动电流、制动电流测量值是可信的。

4 微机母线保护展望

集中式微机母线保护要将每个连接元件的

TA、电压互感器(TV)、隔离开关辅助接点以及开关的跳闸接点接入母线保护屏内, 位于主控制室。由于主控制室与开关场距离较远, 需要大量电缆。二次回路十分复杂, 给现场运行、维护带来很多困难。

面向间隔的分布式母线保护装置的每个间隔单元(BU)位于现场保护小室内, 中央单元(CU)位于主控制室内, CU, BU一般通过光纤连接。然后经通信网络传输到CU进行处理。即分布式数据采集、分布式数据存储及算法和保护功能的分布实现, 同时也实现了分布式数据通信, 使得系统中各单元可以采取更为简单、可靠的硬件结构, 便于就地布置, 而且具备更好的灵活性、扩展性, 更易于附加其他的保护功能。但是通信方式、同步采样方式、计算机系统可靠性对于分布式母线保护极其重要。

表1给出了集中式微机母线保护、分布式微机母线保护性能比较。

表1 集中式、分布式微机母线保护性能比较
Table 1 Comparison of central and distributed bus protection

性能	集中式微机母线保护	分布式微机母线保护
系统复杂程度	母线保护系统与变电站规模无关。当母线上连接元件较多时, 集中式数字保护资源有限, 不能满足大规模变电站母线保护的要求。	母线保护系统与变电站规模有关。母线上连接元件数目等于BU的数目。分布式数字保护能满足大规模变电站母线保护的要求(只要通信允许)。
抗TA饱和	TA二次电缆很长, 加上保护装置本身的阻抗, 因此TA二次负载较大, 保护抗TA饱和的能力较弱。	TA二次电缆很短, 加上保护装置本身的阻抗极低(经实测小于0.4Ω), 因此TA二次负载很小, 这有助于提高保护抗饱和的能力。
对通信的依赖程度	较弱。实现保护系统与管理机之间的信息交换, 上述信息包括: 各种报文、运行方式字及失灵保护等(非保护判据信息)。对于影响母线保护动作实时信息传输很少。	较强, CU, BU一般通过光纤连接, 然后经通信网络进行信息交换, 上述信息包括: BU的采样数据(保护判据信息)、运行方式字及失灵保护、跳闸命令。必须采取实时性更好的通信方式构成通信网, 适应母线保护对实时性的要求。
同步采样问题	每个保护系统的数据采集系统内部实现同步, 实现较易。	每个BU系统的数据采集系统实现同步, 实现较难。
整组动作时间	小于10 ms。	15 ms~40 ms。
可靠性	保护系统对母线保护可靠性影响较大。	BU, CU以及通信网络对母线保护可靠性影响均较大。
系统扩展性	系统扩展较难, 灵活性较差。	非常灵活, 能适应变电站各种运行方式的要求, 更易于附加其他的保护功能。
失灵保护、电压闭锁	容易实现。	通过CU集中实现, CU负担较重, 可靠性要求较高(从整套装置看, 失去分布的意义)。
环境恶劣程度	装置位于主控制室, 温度、湿度、电磁环境等优良。	装置位于开关场控制小室, 温度、湿度、电磁环境等较差。
适应保护下放	不满足保护下放。	满足保护下放。
装置价格	较便宜。	由于BU, CU的数目以及光纤的铺设, 价格昂贵(从变电站整体看, 价格可以接受)。

微机母线保护的主要问题仍然是TA饱和、自适应于各种系统运行方式以及计算机系统的高可靠性。不管是集中式还是分布式母线保护, 均属于低阻抗型, 它们均采用电流比率制动判据。微机母线保护的研究仍然集中在以下方面:

a. 母线外部故障时, 即使TA完全饱和也应可

靠不误动;

b. 母线内部故障快速检测及跳闸;

c. 自适应能力强;

d. 调试、维护和运行简单、可靠。

微机母线保护与常规母线保护相比有以下优势: 简化回路, 增加系统自检、互检, 可构成各种保护

判据及 TA 饱和检测判据, 有较高的灵活性及扩展性。

集中式微机母线保护在微机母线保护发展初期是必经之路, 它为分布式微机母线保护提供了大量的研究、运行经验。集中式微机母线保护、分布式微机母线保护也将长期共存。

参考文献

- 1 SIPROTECT 7SS60 Numerical Busbar and Circuit-breaker Failure Protection Relay. SIEMENS, 2003

- 2 SIPROTECT 7SS52 Distributed Numerical Busbar and Circuit-breaker Failure Protection Relay. SIEMENS, 2003

程利军(1966—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为计算机在电力系统继电保护及自动控制中的应用。
E-mail: chenglijun@nari-nspc.com

蔡敏(1964—), 男, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向为计算机在电力系统继电保护及自动控制中的应用。

唐涛(1942—), 男, 教授级高级工程师, 主要研究方向为厂站自动化及电能质量监测。


DEVELOPMENT OF SIEMENS MICROCOMPUTER-BASED BUS PROTECTION

Cheng Lijun¹, Cai Min², Tang Tao¹, Que Lianyuan¹

- (1. Nanjing Sino-German Protection & Substation Control System Ltd, Nanjing 210003, China)
(2. North China Electric Power University, Beijing 100085, China)

Abstract: The development of microcomputer-based bus protection is reviewed. As examples, the theory of bus protection, the criterion for current transformer saturation, the block diagram and function of bus protection for Siemens 7SS60 and 7SS52 microcomputer-based bus protection devices are presented. It is pointed out that the central microcomputer-based bus protection is the mainstream for power systems in China today, and the distributed microcomputer-based bus protection is the trend in the future since it suits better the automation of Chinese power systems.

Key words: microcomputer-based bus protection; central microcomputer-based bus protection; distributed microcomputer-based bus protection; current transformer saturation



地址: 深圳市福田区福民路众环大厦东座14H
电话: (0755)83866559 83866779
手机: (0135)10956739 许先生
传真: (0755)83866779
网址: <http://www.tc35.net>

热烈祝贺 本公司研发生产的PCMCIA CDMA和GPRS
无线上网卡分获中国联通和中国移动推荐产
品称号。

我公司为西门子TC35 MC35模块、法国WAVECOM模块公
司专业代理商, 配件有插扇式SIM卡座、GSM/CDMA双频天线
和天线连接线等。

本刊重要通知

为解决日益严重的垃圾邮件问题, 今后凡投寄本刊的电子邮件的主题中必须含有识别符“**toaeps**”, 否则将有可能作为垃圾邮件被滤除。