

皮带秤故障自诊断和自适应技术的发展

昆明有色冶金设计研究院 方原柏

【摘要】 随着生产过程自动化水平的提高，过程仪表的维护和故障诊断技术发展到了一个新的阶段，如何在线对皮带秤进行诊断，做到故障发现、故障定位、故障隔离和故障自适应，是皮带秤需要解决的一个重要问题。本文简述了在这方面目前已经有实际应用的几项新技术：传感器常规诊断、称重传感器分路输出、冗余技术、故障自适应技术和远程诊断技术。

【关键词】 皮带秤 故障自诊断 故障自适应

一、概述

随着智能仪表在生产过程中的应用越来越普及，过程仪表的维护和故障诊断技术发展到了一个新的阶段。以往的仪表维护工作是仪表出了故障才维修或定期维修，从而影响生产过程正常运行，甚至已经造成巨大的损失，定期维修则往往是不需维修的设备也要停工维修，费时费力，甚至影响设备的寿命。因此如何在线对过程仪表进行故障检测、故障诊断并采取应对故障的措施，以减少甚至防止事故的发生是仪器仪表智能化要解决的一个重要问题。

电子皮带秤的大多数故障，例如计量不准、称重传感器性能变差等故障往往因一时难以察觉，通常要经过一段较长时间因计量数据出入太大或重新校准时才能发现，但为时已晚，错误已经存在一段时间，损失已经造成且无法挽救。

皮带秤主要由秤架、称重传感器、测速传感器、二次仪表及电气线路组成，皮带秤的在线故障自诊断内容应该包括以上5个部分。而涉及到后面4个部分的在线自诊断与其它自动化仪表大同小异，如涉及二次仪表及电气线路的接线自诊断功能主要是相关接线的开路、短路诊断等，涉及传感器自诊断功能主要是一些电气参数的测定，在线自诊断的难度不大。秤架部分自诊断功能以往非常困难，近期因实际双秤架、三计皮带秤技术和多计功能二次仪表的应用，在线自诊断功能得以较好地实现。

故障自诊断固然重要，但仅仅停留在这一步还是不能满足很多生产过程的要求，比如对要求连续生产的工艺过程，当已经诊断出来某个称重传感器出现故障，使物料的自动称量过程不能进行或不能准确进行时，如停工将造成重大损失，不停工又无法计量或计量不准，此时迫切需要有故障自适应措施，在保证皮带秤正常运行的基础上，使生产过程得以持续运行。

本文将就作者了解的信息对皮带秤故障自诊断、自适应技术的发展作一综述，希望能引起更多厂家和用户的关注，以进一步推动皮带秤故障自诊断自适应技术的发展。

二、传感器常规诊断

传感器自诊断本身技术比较成熟，如称重传感器自诊断功能主要是阻抗测定、供桥电压测定、灵敏度测定、响应时间测定、输出 mV 范围值测定等，涉及测速传感器自诊断功能主要是阻抗的测定、脉冲频率范围值的测定等。

美国哈帝（Hardy）公司是工艺过程称重的主流厂家，其称重控制器具有故障智能诊断功能，由于采用的 IT 芯片是直接安装在接线盒里，可读出每只称重传感器的电压信号，可以对系统中任何一个称重传感器进行诊断，当需要进行诊断时，芯片会发指令对每个称重传感器进行一一查看，并发出 mV 信号对仪表进行系统诊断。通过持续监视称重系统，对称重系统进行诊断，如果发现故障可给出故障信息及其发生的部位，从而节省了故障查找和检修的时间。江苏赛摩电气股份有限公司 6000 系列皮带秤二次仪表带有较完善的故障自诊断功能，可对称重传感器故障、测速传感器故障等进行自诊断^[1]。

江苏赛摩电气股份有限公司在物料连续称重的定量皮带秤上开发了一种双桥称重装置，该装置由连接皮带秤秤架的多组双路信号输出称重传感器模块、两路测速传感器和二次仪表组成，二次仪表与多组双路信号输出称重传感器模块、两路测速传感器相连接。双桥皮带秤实际只有一个秤架，但称重传感器可输出两组独立的称重信号，在物料输送过程中，通过二次仪表对两组输出信号分别进行实时在线比对，当其中一组出现异常时，二次仪表会及时判断并显示正常的输送量，系统不需要停机，输送过程也不中断。两路速度信号也进行类似的处理，剔除其中的异常信号并报警，输送过程也不中断^[1]。这种方式相当于采用一种特殊手段对称重传感器、测速传感器进行诊断。

三、称重传感器分路输出

如果一个称量系统使用了多个称重传感器，以往称重传感器的输出信号是通过接线盒将多个称重传感器的输出信号综合后并接成为一路信号（见图 1）送到二次仪表，每个传感器的信号就不再是可独立辨别的，一旦某个称重传感器发生故障，只能知道称量系统中有称重传感器故障，但无法进行故障定位，就很难满足连续生产中高可靠性的要求。

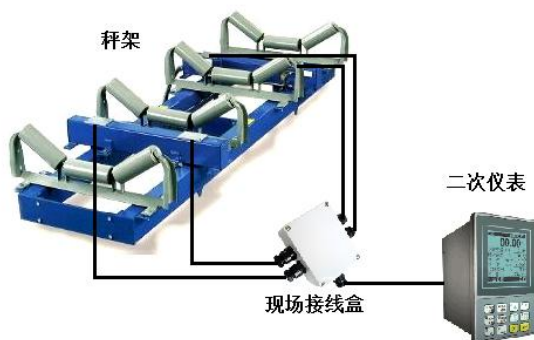


图 1 多个称重传感器的输出信号经现场接线盒并接成一路信号

称重传感器分路输出则将每个称重传感器的输出直接接入二次仪表（见图 2），或通过现场数字

转换器各自独立的 A/D 转换通道接入二次仪表，这样输入到二次仪表的称重传感器的信号是独立的，可随时在二次仪表对每一个称重传感器的输出进行监视，从而有利于对每一个称重传感器的故障进行诊断。

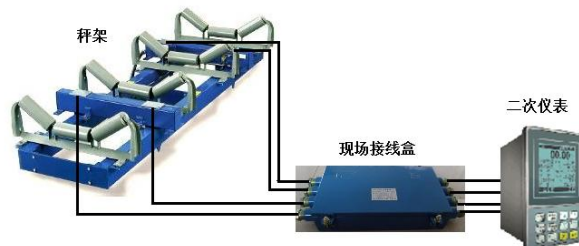


图 2 多个称重传感器经现场接线盒后仍保留各自独立的输出信号

西门子公司的 MSI、MMI 皮带秤就采用了如图 2 所示的称重传感器分路输入方法。

江苏赛摩电气股份有限公司 6301D 数字转换器是由多路 A/D 转换器构成的微处理控制器，它安装在现场，替换现场接线盒。称重传感器以单路形式进入 6301D，6301D 把进入的多路称重传感器信号进行 A/D 转换变为数字信号后送入二次仪表^[2]。

四、冗余技术

在智能化仪器仪表和控制系统的应用技术中，提高仪器仪表和系统可靠性的重要方法是采用冗余技术，即同一部件双重化配置甚至多重化配置，这通常是为了保障重要系统设备不停止运转而采取的一种技术措施。当正常运行时，一个部件投入运行，而冗余配置的部件处于热备用状态；当该部件发生故障时，冗余配置的部件自动接入并承担故障部件的工作，由此可减少系统的故障时间。

皮带秤故障自诊断和自适应技术的很多内容用到了冗余技术，比如：双秤架、三计皮带秤、多计功能二次仪表。

1. 双秤架

秤架部分主要是机械部件，目前还难以直接进行自诊断；当然，通过对称重传感器输出 mV 信号的监测，例如 mV 信号过大或过小也可能诊断出秤架卡死、严重超载等极限“硬”故障，而对一般仅仅是测量准确度稍稍降低、秤架积灰等“软”故障则无能为力。

双秤架法就是在一条皮带输送机上安装两台电子皮带秤的秤架，一旦两台秤计量数据差值超过预先规定的值并得到确认的话，至少两台秤中的一台存在故障，因为预先规定的值通常比较小（如 0.25%、0.5% 或 1.0%），所以故障存续的时间应该很短，即故障刚出现，或者说，故障的苗头刚出现，我们就可以判断出来。

双秤架的使用为皮带秤全面在线自诊断创造了条件，因为它比较的是每个秤架所代表的计量系统最终数据，而这个数据是综合反映了秤架、称重传感器、速度传感器、二次仪表及电气线路等各个部件的状况，这五个部件不论哪个环节出现一点问题，都会在计量系统最终数据上有所反应。比如说，因计量皮带秤系统中某个称重传感器零点漂移导致两台计量皮带秤称重结果的偏差超过

$\pm 0.25\%$ 时，即判定系统出现计量准确度不合格故障，就需要停机进行检查或调整以处理故障。

双秤架技术是一种冗余技术，它对秤架部件作了双重化配置，一个秤架损坏，另一个秤架还可以使用，因此也可以减少系统的故障处理时间，保证系统的正常运行；双秤架冗余采用的是“热备用”技术，即用两套完全一样的秤架，都处于通电并运行的状态，同时进行数据采集、数据处理和计算，只是主秤架担任输出信息的任务。两台秤架同时投入运行，可互相监视，以便及时发现可能出现的故障。但双秤架的作用还不只是冗余，它还有运行误差实时监测的故障诊断及可在实际物料输送时进行棒码叠加校验或标准物料叠加校验的功能。

现有资料中能查到的国外最早出现双秤架的是 1984 年建成的挪威纳尔维克海港高精度度电子皮带秤贸易计量系统，在该港口大吨位皮带输送机上，同时装有两台 8 组称重托辊的计量电子皮带秤，皮带宽度 2000mm，长度 60m，额定输送量是 11000t/h。这两台计量电子皮带秤有各自独立的秤架、信号通道、记录指示仪表和操作选择器等，而在两台秤之间还有一台差分计数器，可对两台计量电子皮带秤的称重结果随时进行比较。

在 1982~1984 年，几乎是在挪威纳尔维克海港 1984 年建成高精度度电子皮带秤计量系统的同时，当时的上海港七区（现为上海港煤炭装卸公司）进行了一场两个厂家电子皮带秤产品的“比拼”，一家是上海衡器厂生产的 DBC-II 型单托辊秤，一家是上海工业自动化仪表研究所研制的 GGP-50 型多托辊双杠杆秤，两家的产品装在同一条皮带输送机上，以求客观条件大体相同，这样做的目的是争谁的产品质量好、稳定性好、精度高。作为业主的上海港七区的技术人员，一方面从两个产品的“比拼”中学到了很多东西，悟出了很多道理，另一方面又发觉如果只有一台秤，很多电子皮带秤初期出现的问题可能迟迟难以发现，往往要等到问题严重时才能察觉出来，而两台秤装在一起的优点是称量得到的数据有个比较，有个参照物，可以及时发现秤的运行状况是否良好。

在此之后的三十多年里，上海港煤炭装卸公司就一直采用双秤架的技术用于港口煤炭的商业贸易计量（见图 3），与早期产品“比拼”不同的是，两台秤架的结构形式、托辊组数都是一样的。上海港目前采用的比较方式是对每一条船装载完成后的两个累计数值进行比较，在港区控制室的操作员站上随时可以查到这些数据。当两个累计值之间的误差百分比值超过规定值（如 1.0%）时，要对称量系统进行检查或校验。



1-秤架 1；2- 秤架 2

图 3 在上海港煤炭装卸公司码头使用的双秤架技术

1998 年山西新元自动化仪表有限公司研制出 ICS-SXF 系列双秤架电子皮带秤^[3]，2002 年前后，安徽铜陵三爱思电子有限公司在“工艺计量/校验集成系统”和“贸易计量/校验集成系统”中都采用了双秤架^[4]，与此同时，江苏赛摩电气股份有限公司在“三桥物料自校准电子皮带秤”中采用了双秤架，

南京三埃工控股份有限公司在“阵列式皮带秤”中采用了多达 8 秤架的秤架系统，而且这些产品都带双台秤计量数据差值超过预先规定值的故障诊断功能。图 4 所示为铜陵三爱思公司“贸易计量/校验集成系统”的双秤架示意图，由于是贸易计量，对计量准确度要求很高，所以采用了 2 台 6 托辊悬浮式秤架。图 5 所示为铜陵三爱思公司“工艺计量/校验集成系统”的双秤架示意图，由于是工艺用秤，对计量准确度要求不是很高，所以采用了 2 台单托辊秤架，仍然具有计量数据差值超过预先规定值的故障诊断功能。

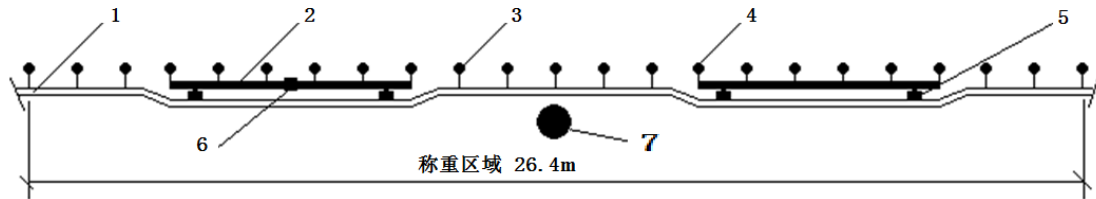


图 4 铜陵三爱思公司“贸易计量/校验集成系统”的双秤架

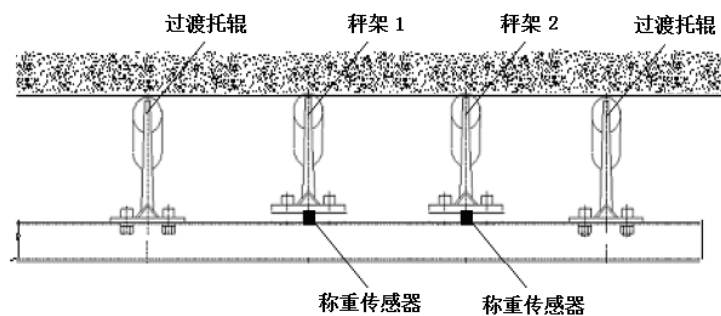


图 5 铜陵三爱思公司“工艺计量/校验集成系统”的双秤架

像上海港煤炭装卸公司一样，用户也有很早就认识到双秤架优越性的，比如天津天焦公司生产的焦炭要运往天钢公司，他们的技术人员在 2004 年初建成的贸易结算计量系统中，就在同一条皮带上安装 2 台秤架并送入相应的带 RS-485 接口二次仪表，计量信息同时传送到计算机上显示和数据处理^[5]。

2. 三计皮带秤

江苏赛摩电气股份有限公司开发了专利产品三计皮带秤，它实际上在现场只安装了一台秤架，但可以将其看作是三台秤架在同时工作，或许我们可将其称为“虚拟三秤架技术”。以一台安装有 4 个称重传感器的 PLR-6 系列全悬浮式秤架为例（见图 6），A、B、C、D 称重传感器实时测量皮带输送机输送的物料重量，并分成 4 路独立信号进入现场数字转换器，数字转换器将称重传感器输出的模拟 mV 信号就地转换为数字信号传送到二次仪表，即以分路输出的方式连接到二次仪表。在这种情况下虽然没有采用实际的双秤架技术，但却拥有了三台秤架，虽然它们只是“虚拟”的，但它们却是可以各自独立完成物料称量任务的三台不同的秤架。因为我们可以将 A、B、C、D 4 个称重传感器支撑的整个全悬浮式秤架当作是主秤架；还可以将 A、B 称重传感器看作铰链，将 C、D 称重

传感器支撑的秤架看成是单杠杆式秤架（辅秤架 1）；也可以将 C、D 称重传感器看作铰链，将 A、B 称重传感器支撑的秤架看成是另一台单杠杆式秤架（辅秤架 2）^[2]。

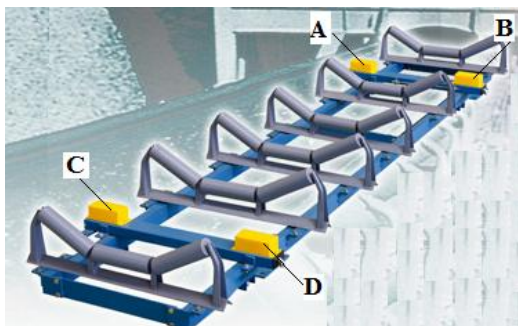


图 6 三计皮带秤

当然，在进行皮带秤的调零、调量程操作时，这三台秤要同时进行调整，以得出各自的零点值和量程系数。从而保证三台秤可以各自独立工作。表 1、表 2 分别是某三计皮带秤调零、调量程操作的实际数据。

表 1 三计皮带秤调零操作数据

秤架名称	皮带转动圈数	持续时间 s	初始值, I_1 kg	最终值, I_2 kg	差值, I_2-I_1 kg	附注
主秤架	5	195	0	0	0	该秤最大允许调零差值: 27kg
辅秤架 1	5	195	0	10	10	
辅秤架 2	5	195	0	-11	-11	

表 2 三计皮带秤调量程操作数据

秤架名称	控制衡器示值 T, kg	皮带秤示值 I, kg	流量 t/h	误差 I-T, kg	相对误差 %
主秤架	5932	5931	500	-1	-0.02
辅秤架 1	5932	5936	500	4	-0.07
辅秤架 2	5932	5926	500	-6	-0.1

正常工作时，二次仪表显示主秤架累计量，同时二组辅秤架累计量实时在线比对；当二组辅秤架累计量差值超过设定范围时，则对构成二组辅秤架累计量的称重传感器输出信号分别进行对比，找出误差超过设定范围的称重传感器，并由此判断有故障的称重传感器所组成的辅秤架计量有故障。与此同时，二次仪表选择无故障的一组辅秤架累计量替代主累计显示，从而保证皮带秤在某一称重传感器有故障时仍然可以进行称重，提高了皮带秤运行的可靠性和计量精度的准确性。

铜陵三爱思公司“工艺计量/校验集成系统”的双秤架也具有“三计皮带秤”的功能。它在皮带机上配置 2 个单托辊直接承重式秤架，计量时 2 个秤架合二为一，力求达到更高的计量准确度，运行时

2 个秤架在线比对进行故障诊断，校验时可在物料正常输送的情况下进行棒码物料叠加试验。

3. 多计功能二次仪表

所谓“多计”，即在二次仪表里有多个称量回路在同时计量，可以应用于双秤架、多秤架或三计皮带秤技术中，进行“两计”、“三计”或更多称量回路的运算。以三计皮带秤为例，一方面多个称量回路是独立运行的，他们在调试时进行各自的零点校准和量程校准，可给出各自的物料瞬时流量和累计流量数据；但另一方面，向用户显示具体数据时，可根据称重传感器故障与否，自动选择主计量秤架或未出现故障的辅秤架的数据显示，从而确保了当某一个称重传感器故障时或双秤架某一个秤架的称重传感器故障时，皮带秤系统仍能正常显示数据，维持工艺过程连续运行。

五、故障自适应技术

由于皮带秤应用的特殊性，工艺过程往往要求在一般故障的情况下应保持计量过程的连续性，所以当某些故障被诊断出来以后，应自动采取应对措施。比如前面提到的“三计皮带秤”、“多计功能二次仪表”技术，就可以在某个称重传感器发生故障时，自动停用与该称重传感器相关的秤架计量回路，而启用与该称重传感器无关的秤架计量回路。我们将其称为“故障自适应技术”，它是建立在故障自诊断技术的基础上而又在此基础上前进进一步的新技术。前述双桥称重装置中的两路测速传感器信号在诊断后，也采用了故障自适应技术。

六、远程诊断技术

皮带秤从简单的检测单机向复杂系统转变时，检测的内容增多、功能增强、复杂程度增加、软件的容量增大。仅仅依靠一般的维修人员进行维护显然已不能保证计量系统的运行质量和维护的及时性。建立“皮带秤远程故障诊断专家系统”，对皮带秤系统的各项参数进行远程检测、比较并建立相关的故障判断数学模型，通过软件来发现并解决问题，就显得尤为重要。这样既可以解决一些故障现象无法复现、难以解决的难题，也可以破解皮带秤故障较长时间影响用户计量的难题。

南京三埃工控股份有限公司于2012年推出应用于阵列式皮带秤的“皮带秤远程故障诊断专家系统”^[6]，该系统应用物联网技术，当用户在阵列式皮带秤使用现场安装了带GPRS远程数据终端后，即可与安装在南京三埃工控股份有限公司的带GPRS远程数据终端通信，传送以下信息：

分析传感器工作状态，对出现的异常现象进行分析并作出相应处理，如：切除故障传感器、报警、修正因故障产生的误差等；

分析人工操作记录，如属非正常的操作，对因此导致的故障分析原因，提出解决办法；

分析多个过程参数的历史值和过程变化规律，从中分析系统产生的各种变化。对于温度变化和皮带状态的变化进行数学模型建立和推演，得出其变化的原因和修正的数值范围，提高皮带秤的耐久性指标；

建立该皮带秤的档案。

通过专家系统的记录、读取、纠错处理等操作，可将皮带秤实时处于服务商总部服务器的监控之下。此时客户的皮带秤作为整个专家系统的一个终端，只是一个执行平台，而制造商总部的服务器则是系统的智能服务端，既是客户信息的数据库、也是帮助客户分析、处理故障的平台。

七、结束语

故障检测及故障自诊断技术已经广泛应用于常规工业自动化仪器仪表，其中包括故障发现、故障定位、故障隔离和故障自适应。皮带秤最早应用“双（多）秤架”技术时，只能做到故障发现；当采用“传感器分路输出”技术时，可以做到故障定位；当采用“三计皮带秤”、“多计功能二次仪表”技术时，首先可以做到故障隔离，然后做到故障自适应。这些技术在实际应用中一步一步地发展，今后也将不断创新，使皮带秤故障自诊断和故障自适应技术达到更高的水平。

参考资料

1. 厉达，何福胜. 皮带秤技术的应用现状及发展趋势[J]. 衡器，2008.5，P1~8。
2. 厉达，吴洪军. 皮带秤三组计量值称重技术的研究和应用[C]. 第十届全国称重技术研讨会论文集.20118，P116~122。
3. 山西新元自动化仪表有限公司网站资料。
4. 徐厚胜. 浅谈电子皮带秤的贸易计量及检验[C]. 第八届全国称重技术研讨会论文集.2008，P109~112。
5. 梁荣，郭本强. 天津天铁冶金集团电子皮带秤的商贸应用[C]. 第十一届全国称重技术研讨会论文集.2012，P159~162。
6. 袁延强. 物联网技术与皮带秤远程专家系统[J]. 衡器，2012（10）：P40~44。

作者简介

方原柏，1942年生，男，湖北黄冈人，昆明有色冶金设计研究院教授级高级工程师，昆明仪器仪表学会理事长，中国衡器协会技术专家委员会顾问，冶金自动化、衡器、仪器仪表用户、自动化信息等杂志编委，研究方向为仪表及控制系统应用。发表论文 280 余篇，出版“电子皮带秤的原理及应用”（1994年，冶金工业出版社）、“电子皮带秤”（2007年，冶金工业出版社）、“流程行业无线通信技术及应用”（2014年，化学工业出版社）、“有色冶金生产过程自动化”（2014年，邮电工业出版社）四本专著。

电话：0871-63168424，13078787502

地址：昆明白塔路 208#昆明有色冶金设计研究院，650051