



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 88104086.X

[51] Int.Cl⁴

B65G 53/66

[43] 公开日 1989年2月22日

[22] 申请日 88.6.30

[30] 优先权

[32] 87.7.1 [33] US [31] 068988

[71] 申请人 珀金-埃尔默公司

地址 美国康涅狄格州

[72] 发明人 爱德华·P·贾内拉
格雷戈里·加里斯蒂那
马克·F·斯波尔丁

[74] 专利代理机构 上海专利事务所

代理人 张恒康

B65G 53/04 B05C 5/00

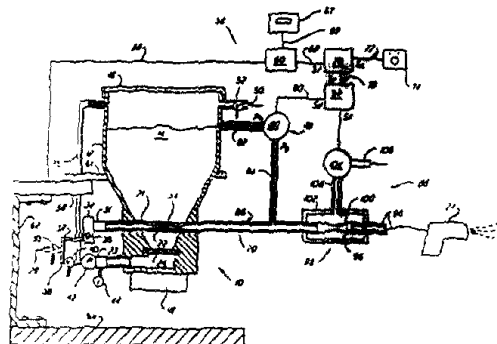
说明书页数: 11

附图页数: 1

[54] 发明名称 闭环粉末流调节器

[57] 摘要

一种具有粉末流速闭环调节的粉末送料系统。恒压送料气排到一封闭漏斗中。一测力传感器测量粉末经一节流孔从漏斗吸到一载气管中的流速, 并产生一流速信号。第一、第二控制器分别产生一表示一给定值信号与流速信号之差的参考信号、一相应于漏斗压力与在节流孔和一阀门之间测得的载气管压力之差的差分信号和一表示差分信号与参考信号之差的控制信号。阀门能响应控制信号并收缩载气管以限制载气流, 从而调节粉末流速。



权 利 要 求 书

1.一种粉末送料系统，包括一盛装粉末用的封闭漏斗，在送料气速度下将送料气排放到漏斗中的送料气装置，一流通载气用的、伸向使用点的载气导管，以粉末流速将粉末从漏斗吸到与送料气速度相对应的载气导管中的吸入装置和一粉末流速的闭环调节器，其特征在于还包括：

一具有响应粉末流速变化的第一时间常数的第一控制环，其包括用于测量粉末流速的流测量装置和一与流测量装置操作连接的、用于响应粉末流速的测量以控制送料器速度从而控制粉末流速的第一控制器装置，和

一具有响应粉末流速变化的第二时间常数的第二控制环，其包括用于测量在吸入节流孔装置和使用点之间的载气导管压力的压力测量装置和与压力测量装置操作连接的、用于响应载气导管压力的测量以控制送料气速度从而控制粉末流速的第二控制器装置，并且第一时间常数长于第二时间常数。

2.一种粉末送料系统，包括一盛装粉末用的封闭漏斗，一以恒压将送料气排放到漏斗中的送料气导管，一流通载气流的载气导管和以一流速将粉末从漏斗吸到一具有送料气压力的载气导管中的吸入节流孔装置，其中载气导管与一载气源相连并伸至一粉末载气使用点，一调节粉末流速的闭环调节器，其特征在于还包括：

一具有响应粉末流速变化的第一时间常数的第一控制环，其包括用于发出一表示一选用的粉末流速的给定值信号的给定值装置，用于产生一相应于粉末流速的流速信号的流测量装置，用于产生一表示给定值信号与流速信号之差值的参考信号的第一控制器装置和装于载气导管上并在吸入节流孔装置与使用点之间的、用于改变载气压力的压

力装置，压力装置响应参考信号并相应改变载气压力从而调节粉末流速，和

一具有响应粉末流速变化的第二时间常数的第二控制环，其包括用于测量吸入节流孔装置与压力装置之间的载气导管压力和产生一相应于载气导管压力的压力信号的压力测量装置，用于产生一响应压力测量信号的控制信号的第二控制器装置，和响应压力信号并相应改变载气压力从而调节粉末流速的压力装置，并且第一时间常数长于第二时间常数。

3.按照权利要求2所述的闭环调节器，其特征在于第一时间常数为0.5—5秒，第二时间常数小于0.1秒。

4.按照权利要求2所述的闭环调节器，其特征在于第一控制环和第二控制环是串级的。

5.按照权利要求2所述的闭环调节器，其特征在于压力装置包括用于限制载气流的阀门装置。

6.按照权利要求5所述的闭环调节器，其特征在于阀门装置包括一在吸入节流孔装置与使用点之间的一载气管段上设置的可收缩管道，一密封阀体，其与可收缩管一起形成一围在可收缩管四周的压力腔，和用于产生一相应于控制信号的流体压力的转换器装置，压力腔接收流体压力以相应收缩可收缩管，从而限制载气流。

7.一种粉末送料系统，包括一盛装粉末用的封闭漏斗，一以恒压将送料气排放到漏斗中的送料气导管，一流通载气流的载气导管和以一流速将粉末从漏斗吸到一具有送料气压力的载气导管中的吸入节流孔装置，其中载气管与一载气源相连并伸至一粉末载气使用点，一调节粉末流速的闭环调节器，其特征在于还包括：

用于发出一表示一选用的粉末流速的给定值信号的给定值装置，用于产生一相应于粉末流速的流速信号的流测量装置，用于产生一表

示给定值信号与流速信号之差值的参考信号的第一控制器装置。安装在载气导管中并在吸入节流孔装置与使用点之间、用于改变载流气压力的压力装置，用于测量在吸入节流孔与压力装置之间的载气导管内压力及产生一相应于载气管压力的压力信号的压力测量装置，和用于产生一表示压力信号和参考信号的合成作用的控制信号的第二控制器装置，能响应控制信号并相应改变载气压力以便调节粉末流速的压力装置。

8.按照权利要求7所述的闭环调节器，其特征在于流量测量装置有一能响应粉末流速变化的第一时间常数，压力测量装置有一能响应粉末流速变化的第二时间常数，第一时间常数长于第二时间常数。

9.按照权利要求8所述的闭环调节器，其特征在于第一时间常数为0.5—5秒，第二时间常数小于0.1秒。

10.按照权利要求9所述的闭环调节器，其特征在于流量测量装置包括用来产生一表示漏斗和漏斗中粉末重量的模拟信号的装置和调节装置，该调节装置可接收模拟信号，并将同一信号进行微分、滤波和定标处理以得到流速信号。

11.一种粉末送料系统，包括一盛放粉末用的封闭漏斗，一以恒压将送料气排放到漏斗中的送料气导管，一流通载气流的载气导管和以一流速将粉末从漏斗吸到一具有送料气压力的载气导管中的吸入节流孔装置，其中载气管与一载气源相连并伸至一粉末载气使用点，一调节粉末流速的闭环调节器，其特征在于还包括：

用于发出一表示一选用的粉末流速的给定值信号的给定值装置，用于产生一相应于粉末流速的流速信号的流测量装置，用于产生一表示给定值信号与流速信号之差值的参考信号的第一控制器装置，安装在载气导管上并在吸入节流孔装置与使用点之间、用于靠调节管口大小来限制载气流的阀门装置，用于测量在漏斗中的送料气压力与在吸

入节流孔装置和阀门装置之间测得的载气导管压力之间的压差的压力测量装置，它产生一相应于压差的差分信号，和用于产生一表示差分信号与参考信号之差值的控制信号的第二控制器装置，阀门装置能响应控制信号并相应地限制载气流以便调节粉末流速。

12. 按照权利要求11所述的闭环调节器，其特征在于第一控制器装置包括一可逆动作处理控制器，其确定一正比于给定值信号与流速信号之差值的第一误差信号，并产生参考信号以作为一正比于误差信号的第一比例项和一第一误差信号的积分项之和，而第二控制器装置包括一直接动作处理控制器，其确定一正比于差分信号与参考信号之差值的第二误差信号，并产生控制信号以作为一正比于第二误差信号的第二比例项和一第二误差信号的第二积分项之和。

13. 按照权利要求11所述的闭环调节器，其特征在于阀门装置包括一作为在输入节流孔装置与使用点之间的一载气管段而设置的可收缩管道，一密封阀体，其与可收缩管一起形成一围在可收缩管四周的压力腔，和用于产生一相应于控制信号的流体压力的转换器装置，压力腔接收流体压力以相应收缩可收缩管，从而限制载气流。

14. 一种粉末送料系统，其特征在于同时包括一盛装粉末用的封闭漏斗，用于以一送料气流速在恒压下将送料气排放到漏斗中的送料气装置，一流通载气用、与载气源相连并伸至粉末载气使用点的载气导管，和安装在载气导管中并在吸入节流孔装置与使用点之间、用于控制载气压力以便控制粉末流速的压力装置。

15. 按照权利要求14所述的粉末送料系统，其特征在于压力装置包括用于限制载气流的阀门装置。

16. 按照权利要求15所述的粉末送料系统，其特征在于阀门装置包括一在吸入节流孔装置与使用点之间的一载气导管的管段上设置的可收缩管，一密封阀体，其与可收缩管一起形成一围在可收缩管四周

的压力腔，和用于产生一相应于控制信号的流体压力的转换器装置，压力腔接收流体压力以相应收缩可收缩管，从而限制载气流。

17. 一种粉末送料系统，包括一盛装粉末用的封闭漏斗，一以恒压将送料气排放到漏斗中的送料气导管，一流通载气流的载气导管和以一流速将粉末从漏斗吸到一具有送料气压力的载气导管中的吸入节流孔装置，其中载气导管与一载气源相连并伸至一粉末载气使用点，其特征在于，用闭环调节粉末流速的方法包括：

发出一表示一选用的粉末流速的给定值信号，产生一相应于粉末流速的流速信号，产生一表示给定值信号与流速信号之差值的参考信号，测量位于吸入节流孔装置与使用点之间的一载气导管段中的载气导管压力，产生一相应于载气导管压力的压力信号，产生一表示压力信号和参考信号的合成作用的控制信号，和响应控制信号改变导管段中的载气压力以便调节粉末流速。

闭环粉末流调节器

本发明涉及一种具有闭环粉末流速调节的粉末送料系统。

热喷涂，即火焰喷涂，包括对如金属或陶瓷这样的热易熔材料的热退火和将粉粒状的退火材料涂到待覆盖的表面并将热易熔材料粘结其上。热喷枪通常作此用途，其中一种类型的喷枪，热易熔材料是以末状加到喷枪中的。粉末是一种如小于美国标准筛100目规格这样小的粒子，其小到1微米，所以难以度量和控制。

热喷枪通常利用燃烧或等离子体火焰使粉末融化，但是，使用一种或结合几种其他加热手段，如电弧、电阻加热器或感应加热器，也能达到目的。在粉末型燃烧热喷枪中，粉末的载气可用燃烧气中的一种或压缩空气。在等离子体喷枪中，尽管在特定场合下使用碳氢化合物这样的气体，但一般使用的载气和初级等离子体气体一样。

为了获得高质量的喷涂，必需精确控制经喷枪送出粉末料的流速，使在给定的系列条件下保持恒定的流速。细微型粉末是一种不易处理和难以用某一均匀的速度加到载气中的材料。而许多以重力为原理的、采用不同结构设计和操作方式的装置，无论是机械传送的和气体传送的，还是两者结合的，它们几乎一般都有不能可靠保持恒定的粉末送料速度以及常常发生机械磨损和破裂的缺点。较大范围内的用于热喷涂的粉末的粗细、粉末材料和颗粒形状均是影响因素。

本发明大致上属于和使用一种如在美国专利 No. 4,561,808 中介绍过的这种类型的粉末送料器。本发明公开一种粉末送料系统，其包括一用来容纳松散颗粒状的粉末的封闭的漏斗。一连接载气源的载气导管在漏斗的下部位穿越漏斗，并延伸至一粉末载气利用点。载气导

管中有在低于粉末料面处伸入漏斗中的粉末输入节流孔，它的几何形状和设置使在没有流化气流过节流孔的情况下，不会使重力粉末流经过输入节流孔进到载气导管中的载气流中去。

在调定压力下的流化送料气供到漏斗中，因此，在流过节流孔通道时，气体必定通过固体物料而被扩散开。漏斗的结构设计使气体汇向粉末输入导管并将紧靠输入导管处的流化区中的粉末流化，而在流化区四周的粉末是未流化的，用作将流化气均匀进入流化区的扩散区。

如在美国专利 No.4,561,808 中进一步公开的，载气是预定恒量供入的。送料气的流量是依靠载气导管中的压力调节的，这个压力响应经过导管中的固体物料的流速的变化。即在送气管道中的任何压力变化调节着流化气的流量。由于送料气压力是恒定的，当载气导管压力升高时，流化气的流量就减小，否则相反。可看到：美国专利 No.4,561,808 公开的这种类型的装置具有出色的重复性和能均匀控制粉末送料速度，比起原来的送料器明显改进了性能。例如，粉末流速能保持在约5%以内。但是，在一些使用场合，需要更高的精度。

可采用许多其它装置，利用闭环反馈检测和控制粉末流速。例如，美国专利 No.3,976,332 公开了一前面提到的美国专利 No.4,561,808 中的送料器的前驱，该专利介绍使用一流体放大器，以一靠载气导管中的压力控制的流速将送料气供给于漏斗。美国专利 No.2,623,793 公开了一差压控制器，用其检测在粉末—气体分离器和在粉末—气体提升管的底部的供气管道之间的压差。差压控制器操作—将气体供给到送料器中的控制阀门。

美国专利 No.3,365,242 介绍了一种利用调节贮罐中的粉末上方的气体空间中的压力实现粉末流的粗调节的方法。利用—将气体供到主粉末排放管道的阀门可实现粉末排放的细调节。该阀门是由一检测排放管中压力的压力响应驱动器操作的。取代前述用粉末压力调节排

放速度的方法，在专利中提到的一种称量装置，用它发出一响应粉末流的信号。

还有一些其他的测量粉末送料速度的方法。例如，美国专利 No.4,613,259 公开了检测经过一装有粉末的直管的核辐射的方法。检测器信号由一计算机处理，计算机控制一在送料器上的机械计量装置。这个专利还描述了一个用于使粉末载气流通过和截住的橡胶管夹紧阀的另一个用途。管子外面围着一内部填充有高压流体的空腔体，以夹紧管子和阻止流通。

德国专利申请3,211,712 公开了一前一后两只粉末漏斗，一可调节送料速度的送料装置，一贮存容器，一有可变间隙的从贮存容器的重力送料器和一载气喷射器，粉末经过一预置的间隙装入喷射器内。一控制装置检测贮存容器中的粉末的高度，调节送料装置以保持恒定的粉末高度。

与本申请转让给同一受让人的、于1986年11月4日申请（代理人登记号 No.M E-3612）的共同待批美国专利申请（系列号927,012）公开了一用于测量粉末流速的测力传感器的具体用途。来自测力传感器的一个模拟信号响应装了粉末的漏斗的重量。模拟信号由一电路处理，该电路将信号微分为一变化率，过滤掉瞬变信号，提供一合适比例的输出以显示送料速度。为了防止被一些次要的瞬变信号弄乱，通常的时间常数是几秒至一分种这样的等级，提供的电路用于快速响应流速的大的变化。这个装置能出色地测量出平均流速，但是时间常数太长以致在要求能快速控制粉末流的变化反馈环口不能单独使用。

因此，本发明的一个目的是提供一种改进的粉末送料系统和一种具有在很短响应时间内能调节粉末流速的高精度的方法。

本发明的另一目的是在粉末送料系统中提供新型的闭环速度调节，这种类型的系统具有一带有一吸入节流孔的载气导管，该节流孔用以

在有通入漏斗的送料气的情况下从漏斗吸入粉末。

为实现上述的和其他的目的，可采用一种具有粉末送料速度闭环调节的粉末送料系统，其包括一具有装粉末的封闭漏斗的粉末送料器，一用于在恒压下将送料气排放到漏斗中的送料气导管，一流通载气流的载气导管，和吸入节流孔装置，该节流孔用来在有送料气压力条件下以实际流速从漏斗将粉末吸入到载气导管中。载气导管与一载气源相连并伸至一粉末载气利用点。

按照本发明，用于改变载气导管中的压力的如阀门装置这样的压力装置是装在载气导管上的位于吸入节流孔装置和粉末载气利用点之间的位置上，依靠调节导管流通口径限制载气流来改变导管压力，压力装置的控制也将控制粉末流速。

给定值装置给出一个表示一选择的粉末流速的选择的给定值信号。流量测量装置测出粉末从漏斗流出的实际流速，并产生一相应的流速信号。第一控制器装置产生一表示给定值信号与流速信号之间的差值的参考信号。

压力测量装置测量载气导管压力，最好是测量在吸入节流孔与阀门装置之间的漏斗压力和载气导管压力之间的压差。压力测量装置产生一对应于压差的差分信号。第二控制器装置产生一表示压差信号与参考信号之间的差值的控制信号，即载气压力和参考信号的和。阀门装置根据控制信号按比例地限制载气流，以调节粉末流速。

流量测量装置有一用于调节粉末流速的、响应流速变化的第一时间常数。压力测量装置有一用于调节粉末流速的、响应流速变化的第二时间常数。本发明尤其适用于第二时间常数快于第一时间常数的场合。

附图表示按照本发明的一粉末送料器的纵剖面的侧视图和一闭环系统简图。

用于本发明的粉末送料器10是一种上述美国专利 No.4,561,808 所述类型的粉末送料器。参阅附图，供料漏斗12装有如陶瓷粉末的粉末14，陶瓷粉末颗粒度主要是在-325目—15微米（美国标准筛）范围内。漏斗有一入口盖16，用以定期加入粉末。漏斗上装有一振动器18，用以必须将粉末保持于松散自由流动状态，以便允许气体通过。漏斗内可加压，采用 O 形圈或其他类似的东西（未画出）予以合适地密封住。

穿过漏斗12的底部有一根载气导管20。载气为如氩或氮等惰性气体，或压缩空气，或如甲烷等碳氢化合物，或其他类似的气体。在漏斗中低于粉末物料面处的导管20段上有一打有一个或多个粉末吸入节流孔22（画出两个孔）的加速段21。这个吸入节流孔装置的设置要使在没有送料气流过节流孔情况下，也不会有粉末因重力而流过这些节流孔。例如，可使节流孔面向下方或侧面，或者用悬垂物或其它类似东西与重力流隔开。根据需要，导管20也可设几根（虽然图中只画出一根），它们平行穿过粉末后汇集到从漏斗12伸出的载气管道的一个送料段86上。

通常与载气相同类型的流化送料气进到漏斗中，送气点，最好位于紧靠吸入节流孔22的任何物料流化区的外部。如图所示，送料气经过管道23送入漏斗12的底部，经过一多孔构件26和静止的粉末物料14，进到吸入节流孔。部分流化送料气最好也通过一连接于漏斗12顶部附近、位置高于正常最高的粉末料面的地方的支管道25送入漏斗。随着送料气一起，粉末被吸经节流孔22进到夹带着送料气的载气管道20中，然后将粉末传送到如热喷枪24或唯一的一个粉末排放开口这样的使用点。粉末流速正比于流经节流孔22的送料气流速，而送料气流速又是正比于漏斗与载气管道之间的压差。在另一实施例（未画出）中，没有单独供给的载气，两只有送料气自己携带粉末送入载气管道。

来自一气源（未画出）的气体经过一上面装有一电磁截止阀30的输入导管28送入本装置中。一部分气体经过支管32、一装有一控制阀门36的流量计34，进到载气导管20的输入段31中，控制阀36用来计量所需的、流经载气导管20的气体的恒定的质量流速。需要的话，如在导管段31采用一气体流速传感器（未画出）和采用一对控制阀36的反馈环，则可实现较高的恒定载气流。

第二部分较少的气源经一第二支管38、一第二电磁截止阀40和一控制调压器42，进到送料气导管23中。调压器42是预先调定好的，使进入漏斗中的送料气源的压力恒定且较低，例如，在0.07~0.7巴（1~10磅/平方英寸）范围内。与送料气导管23相接的还有一只压力表44，用以指示压力，还可用作粉末流速的相对指示器。

在漏斗12的顶部附近有一通风口50，用来当送料气切断时给漏斗通风。为此，设置了一电磁阀52。

如要起动，打开系统阀门30（或一调到所需压力的调压器），使产生载气流。再打开送料气阀门40，同时关闭通风口阀门52。漏斗12内的压力很快形成，粉末被吸进节流孔22，再被携带到载气导管20的加速段21上的轴向孔54中。由此，由载气、送料气和粉末组成的混合物流经载气导管送到热喷枪。如要停止操作，则程序相反，将阀门40关闭，打开通风口阀门52。

按照本发明，各粉末流速测量元件是流量控制环56的一部分。流速是用任一所熟悉的或希望的方法测得，即产生一帶有0.5~5秒最好为1~3秒的时间常数的电信号。这样的时间常数是测量本身没有短时间波动的现有流速所需的并为适宜的流量测量装置所固有。

利用一以一如常用的测力传感器58这样的压力传感器为基础的应变传感器，再结合一如在上面提到的美国专利申请（系列号927,012）中所述的电讯号调节器60，就可以检测出所需的流速。漏斗12是悬架

在一与测力传感器相连的托架61上。测力传感器刚性连接到一支撑于底座64上的支架62上的，在线路66上输出其大小为 $0 \sim 20$ 伏直流的低电压模拟信号，该讯号正比于装有粉末的漏斗12的重量。

当接通载气和送料气后，物料从漏斗流到载气导管20，然后送到喷枪24或其他使用点。这样，就使漏斗重量和因此形成的测力传感器的输出随时间而减小。来自测力传感器的输出经导线66送至信号调节器60，它将模拟信号微分，滤除瞬变信号，产生一正比于粉末流速的、大小通常为10伏直流以下范围的流速信号 S_f 。为消除来自测力传感器的、由于如振动和移动等外部原因造成的那些信号，滤波是必须的，其时间常数为 $0.5 \sim 5$ 秒，最好为 $1 \sim 3$ 秒范围。通过线路69在显示器67上指示出流速。

按照本发明，流速信号 S_f 经过导线68送到一第一控制器装置70。经导线72，从一给定值装置74在控制器70上还收到一第二信号，给定值装置74产生一给定值信号电压 S_s ，用来与流速信号 S_f 作比较。给定值装置是普通常用的，例如包括一带有一可变电位计的调压器或一数模转换器，它可经调节以预先设定一所需的粉末流速。

在线路76上的控制器70的输出是一个表示给定值 S_s 和流速信号 S_f 之间的误差信号 $(S_s - S_f)$ 的参考信号 S_r 。一般，信号 S_r 包括一正比于误差信号的项，还至少包括有从误差信号推导出来的一项。控制器70是一种常用的可逆动作处理控制器，该控制器在线路76上具有一输出参考信号 S_r ，该信号是正比于误差信号的一项和误差信号的积分项之和。在稳态时，误差信号为0，本实施例的参考信号为高至5伏直流的范围。

再进一步看本发明，一第二控制环，即一压力控制环78是和上述的流控制环56的诸元件组合成一体。压力控制环包括一差压传感器80，用来测量在漏斗中的，经第一管82检测的送料气压力 P_h 与载气

导管压力 P_g 之间的差值 ($P_h - P_g$)。载气导管压力是靠一来自导管20上的送料段86的一第二管84测得的, 送料管段86位于吸入节流孔装置22与下面要介绍的阀门装置88之间。典型的漏斗表压为 1~10磅/平方英寸(0.07—0.7 巴), 载气导管表压为 0~5 磅/平方英寸(0~0.3 巴)。压差 ($P_h - P_g$)是一包括短时间波动在内的粉末流速的测量值。

压力传感器80以导线90上的电压的方式供给一压差信号 S_d , 该电压约 1~6 伏直流, 对应于压差 ($P_h - P_g$)。传感器80有一较快的时间常数, 它小于流量测量装置58、60的时间常数, 即小于0.1 秒, 最好小于0.01秒。

第二控制器装置92接收导线90上的微分信号 S_d 和导线76上的参考信号 S_r 。这样, S_r 作为一第二给定值信号起作用。第二控制器92在线94上的输出是一大小约为 0~60毫安直流的控制信号 S_c , 该信号表示一正比于压差信号 S_d 和参考信号 S_r 之间的差值 ($S_d - S_r$)的第二误差信号, 例如, 信号 S_c 可以正比于第二误差信号。但最好检制器92是一在线路94上具有一输出控制信号 S_c 的常用的直接动作处理控制器, 信号 S_c 是正比于第二误差信号的第二项与第二误差信号的第二积分项之和。

如阀门装置88这样的压力装置能响应控制信号 S_c 而调节改变载气导管20中的压力。之所以能这样, 是因为阀门88限制了节流载气和载气导管20中的粉末流。阀门装置不是本身明显地改变粉末流速, 而是用作一改变背压以影响压差 ($P_h - P_g$)的装置, 如此来间接地控制流速。在本发明中, 对于这里所述类型的送料器情况, 需要用手动方式调节压力装置即阀门88的方法来控制粉末流速。

控制器70、92可由如运算放大器之类的诸个模拟电子元件组成, 或按熟知的或所希望的方式用一数字计算机实现。

如上所述，参考信号和控制信号是分别从各自的误差信号中分出来的。正比例项的常数典型的为0.1 ~ 1.5,而积分常数对于第一控制器是1~8秒而对于第二控制器是0.5 ~ 4秒。利用例行试验很容易建立各特定参数的设定值，对于宽范围的载气导管直径和长度、多种类型的粉末、较大范围的流速和背压变化都可以从使用角度实现最优化。

尽管差压传感器80是最好的，但是较简单的实施例中，导管82被略去了，传感器只能经导管84测量载气导管压力。在这种情况下，信号S_d反相对应于载气导管压力，因此被用作控制器92的输入以产生控制信号S_c。由于依靠恒定的送料气压力使漏斗压力基本上保持恒定，所以，尽管精度稍低些，但是操作在其他方面是类似的。

在本发明的一最佳实施例中，阀门装置88包括一阀门95（在附图中用比其他元件更大些的比例画出的）。最佳的阀门结构设计是使用如橡胶或其他类似物的弹性材料制作的管道96做成缩颈形式，该管是位于节流孔22和喷枪24之间，特别要位于分支导管84与导管20上通向喷枪24的使用段98之间。一密封的环状流体压力腔100是用一阀体102围住橡胶而成的。选用这种橡胶阀门是因为它受研磨的粉末的影响最小。

为利用控制信号S_c使阀门控制有效，阀门装置88还应包括一电流—气动转换器104,用以接收线路94上的控制信号。转换器还经过管道106接收如压缩空气这样的流体源来的（未画出）加压流体或由送料器的气流来的气体。转换器经过管道108将流体送到腔100中，送入压力与控制信号S_c对应。这样，例如当控制信号电压升高时也造成腔内压力提高，所以造成胶管96的收缩。

来自给定值装置74的给定值电压S_s减去了流速信号电压S_f,这样,(例如)粉末流速的某一不希望的降低导致跃变为一低流速信号,

该信号使第一控制器产生一正比于差值 ($S_s - S_f$) 的较高的参考信号 S_r 。由第二控制器从压力传感器产生的差压信号 S_d 中减去这个较高的参考信号, 以产生一较低的控制信号。因此, 低粉末流速使一正比例于差值 ($S_d - S_r$) 的较低控制信号打开阀门95以提高压差, 相应就提高了流速。同样结果, 压差的减小 (由于低流量) 也会造成控制信号 S_c 降低, 由此提高粉末流速。类似, 如流速过高, 由此造成的高控制信号也收缩了阀门95, 降低了压差, 故降低了粉末流速。

第一控制环56控制基本的送料速度, 而两个控制环56、78又是联合起作用的。例如, 最初时将流控制器74调定在一所需的给定值信号 S_s 。当只有载气流过时, 漏斗压力和粉末流速均为0。当接通送料气起动送料系统后, 漏斗压力提高到由调节器42预先调定的一个比期望值稍大的粉末流速数值上。这时粉末流信号 S_f 低于给定值 S_s , 向前动作的第一控制器70将一较高参考信号送给第二控制器92。因为第二控制器92是可逆动作的, 所以它将一低控制信号送给控制阀门88, 使其大大打开。当粉末流速信号趋近给定值时, 第一控制器减低了第二控制器的参考信号 S_r 。在这阶段, 由差压传感器80测得的压差 ($P_h - P_c$) 将产生一比参考信号 S_r 高的差压信号 S_d 。由于控制信号 S_c 提高, 使控制阀门88开始关闭, 因此减小了差值 ($P_h - P_g$), 减小了粉末流速。

第二控制环78调节得使流速中没有较小的波动。例如, 粉末流速的急速增高伴随着相对于恒定的漏斗压力而言的载气压力的减小。通向控制器92的信号 S_d 增大, 控制信号 S_c 也增大了。(由于较长时间恒定的参考信号 S_r 保持不变)。这样, 阀门95进一步使口径缩小, 使载气压力提高到足以使流速下降到合格值而无波动。

本发明的串级控制环中被滤波的粉末流速传感器的时间常数 (如0.5 ~ 5 秒) 比载气压力的时间常数 (小于0.1 秒) 长得多是非

常必要的。因为在控制阀门95和漏斗12之间的载气导管段的容积是很小的，第二控制器92能调谐到很快响应压力变化，从而在短在时间间隔内保持恒定的粉末流速。第一控制器70由于受到粉末流速传感器58和信号调节器60的时间常数的支配而调谐到较慢地响应。环56中的控制器70有几个功能，(a)它能为压力控制器92提供一原始给定值，控制器92使粉末流速保持在一所需值，(b)它消除了由于材料成份变化、收缩轴的磨损、载气流速的变化等等造成的粉末流速的波动和(c)它改变送到第二控制器上的参考信号以响应粉末流速给定值的变化。

具有快速的时间常数的压力控制环的78补偿流速上的微小变化和波动，以保持恒定流速。本发明的送料装置使从漏斗装满到几乎放空期间粉末流速保持在1克/分钟给定值流速以内，典型的为约0.25克/分钟。实际的送料速度为约2克/分钟—约200克/分钟，典型的为50克/分钟—100克/分钟。

尽管结合具体的几个实施例在上面已详细描述了本发明，那些均在本发明的精神和另附的各权利要求的范围之内的各种变化和修改，对于熟悉该技术领域的技术人员是清楚的。所以，本发明仅由另附的各权利要求或它们的等效物所限制。

