机械手文丘里与真空阀稳定性的比较分析

黄志龙　蓝志克　覃富强　李艺绩　黄志双

上汽通用五菱汽车股份有限公司

摘要：本文主要对汽车冲压车间机械手文丘里与真空阀在稳定性方面进行了深入的对比研究。通过分析两者的工作原理、结构特点以及实际应用中的表现，阐述了机械手文丘里在稳定性方面的优势。同时，结合实际生产跟踪所得数据进行分析，进一步论证了文丘里在不同工作环境下的可靠性和稳定性，为相关领域的应用提供了理论依据和实践参考。

0　前言

在现代汽车行业生产中，机械手作为一种自动化设备，被广泛应用于各个领域。在汽车冲压车间机械手的操作过程中，真空抓取系统起着至关重要的作用。真空阀和文丘里作为两种常见的真空产生装置，其稳定性直接影响着机械手的工作效率和可靠性。因此，对机械手文丘里与真空阀的稳定性进行比较研究具有重要的现实意义。

1　文丘里与真空阀的工作原理

1.1　文丘里的工作原理

文丘里效应是当流体流经收缩段时，流速增加，压力降低，从而产生瞬时真空的现象。机械手文丘里通常由进气口、收缩段、喉部和扩散段组成。压缩空气从进气口进入，经过收缩段加速后，在喉部形成高速气流，使喉部压力降低，产生瞬时真空。然后，通过扩散段将气流速度降低，压力升高，排出气体。

1.2　真空阀的工作原理

真空阀主要通过控制阀门的开闭来调节真空度。当阀门打开时，真空系统与外部空气相通，真空度降低；当阀门关闭时，真空系统与外面空气隔绝，真空度升高。真空阀可以根据需要手动或自动控制，以实现对真空度的需求调节相应数值。

2　文丘里与真空阀的结构特点

2.1　文丘里结构特点

文丘里结构简单，由几个基本部分组成，没有复杂的机械结构，易于制造和维护，且体积相对较小，占用空间少，适合安装在机械手等空间有限的设备上。利用压缩空气作为动力源，不需要电力驱动，降低了设备的成本和复杂性。由于文丘里没有活动部件，因此可靠性高，不易出现故障。

2.2　真空阀的结构特点

真空阀有手动阀、电磁阀和气动阀等多种类型，可以满足不同的应用需求。可以通过调节阀门的开度来精确控制真空度，适用于对真空度要求较高的场合。真空阀密封性能较好，可以有效地防止空气泄漏，保证真空系统的稳定性。一些真空阀可以通过电气信号进行远程控制，方便操作和自动化控制。

3　文丘里与真空阀在稳定性方面的对比

3.1　压力稳定性

文丘里产生的真空度主要取决于压缩空气的压力和流量。由于压缩空气的压力相对稳定，因此文丘里产生的真空度也比较稳定。此外，文丘里的结构设计使其在工作过程中对压力波动的敏感度较低，能够较好地保持真空度的稳定性。

真空阀的真空度受到阀门的密封性、大气压力等因素的影响。如果阀门密封不严或大气压力变化较大，真空度就会不稳定。此外，真空阀在调节真空度时，可能会出现压力波动，影响系统的稳定性。

3.2　流量稳定性

文丘里的流量主要取决于压缩空气的压力和喷嘴的尺寸。一旦确定了压缩空气的压力和喷嘴尺寸，文丘里的流量就相对稳定。在机械手的工作过程中，文丘里能够提供稳定的真空流量，保证抓取物体的可靠性。

真空阀的流量受到阀门开度的影响。如果阀门开度不稳定，流量就会波动。此外，真空阀在调节流量时，可能会出现堵塞或泄漏等问题，影响系统的流量稳定性。

3.3 可靠性和寿命

文丘里没有活动部件，不易出现故障，可靠性高。同时，文丘里的结构简单，使用寿命长，维护成本低。

真空阀有活动部件，如阀芯、密封件等，容易出现磨损、泄漏等问题，可靠性相对较低。此外，真空阀的使用寿命受到密封材料、阀芯材质等因素的影响，需要定期更换和维护。

4 试验验证

为了验证文丘里比真空阀更稳定，2025 年 5 ～ 10 月份，我们进行了为期 5 个月的生产跟踪，统计结果见表 1。

4.1 文丘里跟踪情况

D 线 5 台装有文丘里的机械手整体运行平稳，5 个月出现了两次故障，共造成停线 16 min，但经现场检查确认，问题由气管气路原因造成，并非文丘里的问题。

4.2 真空阀跟踪情况

D 线 5 台装有真空阀的机械手故障频次比较高，主要问题是真空阀在运行过程中排气故障造成机械手掉料报警，共出现 8 次故障报警，且停线处理时间较长，见表 2、表 3。

表 1 自动化 D 线文丘里跟踪数据

序号	区域	故障内容	故障原因	短期措施	停线时间 /min
1	D-RX1	310 左右前门内板生产过程中 RX1 掉料报警，该产品使用文丘里生产）	怀疑 C 侧文丘里内部堵塞造成进出气异常	1. 进入检查气管管路 2. 处理掉料及模腔内双料	7
2	D-RX1	310C 发罩内外板生产过程中 RX1 C 侧带料，造成感应器报警停线	怀疑文丘里内部堵塞或其他原因	检查端拾器气管管路未见异常	9

表 2 自动化 D 线真空阀跟踪数据

序号	区域	故障内容	故障原因	短期措施	停线时间 /min
1	D-RX5	换模生产几件后 RX5 C 侧一直带料，造成板料掉料及 OP40 内双料（310C 发罩内外板，使用真空发生器）	怀疑 C 侧真空阀异常	1. 进入检查气管管路 2. 处理掉料及模腔内双料 3. 将 C 侧真空阀串到 D 侧使用	11
2	D-RX5	生产中 C 侧一直吸件 2 次（310C 翼子板，使用真空发生器）	怀疑 C 侧真空阀异常	1. 检查端拾器吸盘及气管管路 2. 将 C 侧串到 D 侧使用后恢复生产	9
3	DRX5	DRX5 机械手放板料到线尾皮带机过程中 C 侧端拾器不放板料 3 次（310C 发罩内外板 ）	真空发生器 C 侧串气	1. 将板料重新放到皮带机不与下一板料干涉的安全位置 2. 复位故障，一键恢复使用 3. 将 CD 侧气路串联使用	10
4	DRX5	换模后使用真空阀生产第一件时 C 侧不吹件（E50MCE 翼子板）	真空发生器内部堵塞或吹气 / 吸气切换动作异常	1. 进入检查端拾器吸盘、气管管路等未见异常 2. 总控复位，一键恢复	6
5	DRX5	换模后使用真空发生器生产第一、二件时 RX5 C 侧不吹件两次（310C 发罩内外板）	怀疑真空阀内部堵塞或其他原因	1. 检查端拾器气管管路未见异常 2. 抬件上皮带机后生产第二件时故障依旧 3. 使用气管将 D 侧串到 C 侧暂用 4. 后续生产 C 侧依旧有轻微带料现象	8
6	DRX5	D 线使用真空发生器生产时 RX5 C 侧不吹件多次（E50MCE 翼子板）	怀疑 C 侧真空阀内部堵塞或电磁阀切换动作突然失效	1. 检查气管管路未见异常，机械手气压 0.58 MPa（已开至最大） 2. 将两侧串在一起使用后 D 侧带料严重 3. 取消串接，重新布置气管管路，生产几分钟后故障依旧 4. 尝试两侧共用 D 侧供气失败 5. 重新布置气管，重新串接使用、吹气 / 吸气动作多次、气管内部加油等，后续生产 D 侧未见带料现象 6. 利用吃饭时间更换 C 侧真空阀	37
7	DRX5	换模后使用真空发生器生产第一件时 D 侧不抓件（E50MCE 翼子板）	分析 D 侧真空发生阀没有切换吸气 / 吹气	1. 检查气管管路、端拾器吸盘未见异常 2. 手动吹气 / 吸气多次 3. 重新下载配方后恢复生产	12
8	DRX5	生产中 RX5 机械手 C 侧抓件后掉料，但掉料不报警多次（E50MCE 翼子板）	真空发生器报警值设置不合理参数 P4 为 10，低于空吸反馈值	1. 检查气管管路、端拾器吸盘未见异常 2. 手动吹气 / 吸气多次 3. 中午检查，堵气管后 C、D 两侧气压正常，修改真空发生器报警值 P4 为 14	8

表 3　自动化 D 线真空阀跟踪数据

机械手	板料	停线时间 /min	真空发生器故障类型	次数
C-RF5	E50MCE 前门外板	17	阀不吹气	2
C-RF5	E50MCE 尾门内外板	45	阀不吹气	4
C-RF5	CN150V 右侧围外板	22	阀不吹气，误报警掉料	2
C-RF5	E50MCE 翼子板	5	阀不吹气	1
C-RF5	350V 尾门外板	64	阀不吹气	2
C-RF5	350V 发罩内外板	41	阀不吹气	3

在不同的压力条件下，文丘里产生的真空度相对稳定，波动较小；而真空阀产生的真空度波动较大，尤其是在压力变化较大时，真空度不稳定。文丘里的流量相对稳定，波动较小；而真空阀的流量波动较大，尤其是在阀门开度变化时，流量不稳定。在不同的温度条件下，文丘里的性能相对稳定，不受温度变化的影响；而真空阀的性能受到温度的影响较大，尤其是在高温或低温环境下，密封材料可能会老化或变形，影响阀门的性能和稳定性。

经过长时间的试验，文丘里没有出现故障，可靠性高；而真空阀出现了多次泄漏和堵塞等问题，需要进行维修和更换。

5　结语

通过对机械手文丘里与真空阀在稳定性方面的对比研究发现，文丘里在压力稳定性、流量稳定性、温度稳定性、可靠性和寿命等方面都优于真空阀。并且文丘里结构简单、体积小、不需要电力驱动和可靠性高，适合安装在机械手等空间有限的设备上。在实际应用中，文丘里能够为机械手提供稳定的真空抓取系统，提高生产效率和产品质量，降低维护成本。

由此可见，机械手文丘里比真空阀更稳定，在工业生产中具有广泛的应用前景。未来，随着技术的不断进步，文丘里的性能将不断提高，为自动化生产提供更加可靠的保障。

参考文献

[1] 王华 . 真空技术原理与应用 [M]. 北京：机械工业出版社 , 2018.

[2] 陈志强 . 真空阀的工作原理与性能优化 [J]. 真空科学与技术学报 , 2017, 37(6): 589-594.

[3] 刘敏 . 文丘里效应在工业中的应用及稳定性分析 [J]. 现代制造技术与装备 , 2021(1): 101-103.

[4] 孙晓辉 . 真空系统中阀门的选择与应用 [J]. 真空 , 2019, 56(4): 77-80.

[5] 王强 . 真空阀性能测试与稳定性评估 [J]. 真空电子技术 , 2017(3): 67-70.