

不同差速器在非公路车辆上选型与应用分析

张春 宋云平

(德纳中国技术中心 江苏 无锡 214000)

摘要: 非公路驱动桥常用四种差速器: 普通差速器、POSI-TORQ 不带弹簧差速器、POSI-TORQ 带弹簧差速器和 NO-SPIN 差速器, 它们各有优缺点。要很好地应用差速器, 发挥其最大优点, 可以充分提高车辆的动力性、通过性、转向性和经济性, 并降低轮胎的磨损。要先了解每种差速器结构及工作原理, 然后根据实际工况的需要, 进行合理地选型。文章主要对几种不同差速器在非公路车辆上的选型及应用进行了探讨, 希望可以为差速器的选型提供借鉴。

关键词: 矿用驱动桥; 差速器; POSI-TORQ; NO SPIN; 通过性; 转向性

0 引言

差速器是驱动桥中非常重要的部件之一。为了使两侧车轮以不同角速度旋转, 就必须将两侧车轮的驱动轴断开, 而由主减速器从动齿轮通过一个差速齿轮系统——差速器分别驱动两侧半轴和驱动轮。这种安装在同一驱动桥两侧驱动轮之间的差速器称为轮间差速器。对于传统的驱动桥差速器非常重要, 没有差速器时, 相当于一根整轴以相同的转速驱动两侧车轮, 必然会引起车轮在行驶面上滑移或滑转现象。

井下矿用驱动车桥目前常用的差速器有四种: 普通直齿锥齿轮差速器 (简称普通差速器或标准差速器)、POSI-TORQ 差速器、液压锁止差速器和 NO SPIN 差速器。因为这几种差速器的机械结构、工作原理及差速特性不同, 其适用范围也有所差别。正确选择差速器的类型, 充分发挥它们的作用, 可以极大地提高车辆的通过性能、转向性能和舒适性。以下先分别介绍几类差速器的结构与工作原理, 并对比差速性能。

1 普通差速器

普通差速器, 也被称作传统差速器、开式差速器或标准差速器, 它是驱动桥中使用最广泛的一种差速器。它把主减速器大伞轮动力通过两根半轴均匀传递给左、右车轮。该差速器特点是结构简单、工作平稳可靠、成本相对较低。

1.1 普通差速器的结构

普通差速器如图 1 所示, 主要由差速器壳体 1、行星锥齿轮 2、十字轴 3、半轴齿轮 4 等组成。动力由从动锥齿轮输入, 带动差速器壳体、十字轴转动, 从半轴齿轮输出, 通过半轴传递到轮边, 带动车轮转动。

1.2 工作原理

当车辆在良好路面直线行驶时, 左、右驱动轮速度相

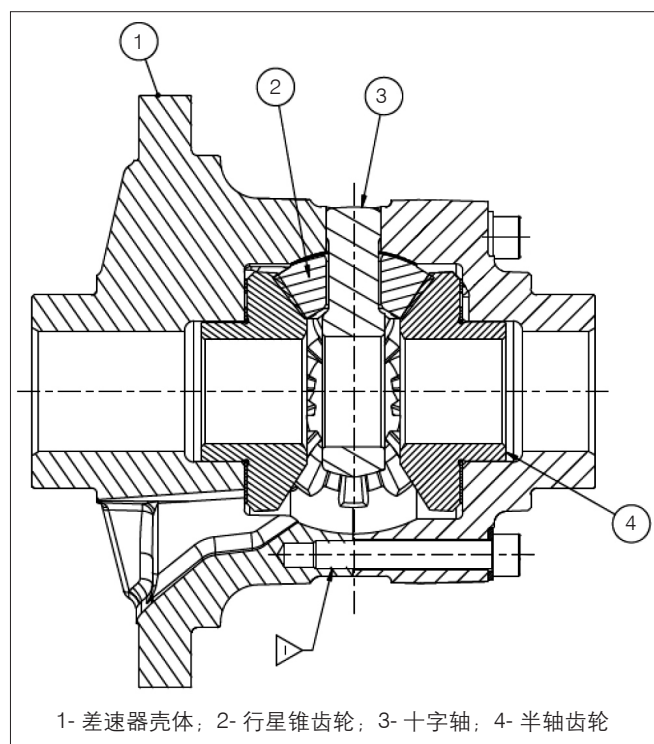


图 1 普通差速器结构图

同, 转矩均匀分布, 差速器中行星锥齿轮随十字轴公转。当车辆转弯时, 左右车轮存在转速差, 差速器中行星锥齿轮在公转的同时自转, 差速器分配给慢转驱动轮的转矩大于快转驱动轮的转矩。在良好路面时, 差速器转矩分配特性能满足车辆的正常行驶。但是当车辆在坏路上行驶时, 会严重影响通过能力。例如, 当车辆在泥泞路面行驶时, 一个驱动轮陷入泥泞的情况下, 虽然另一个驱动轮在良好路面上, 车辆却往往不能前进。把普通差速器的转矩均分特性, 通俗地称为“差速不差扭”。此时可以看到一个轮高速旋转, 而另一个轮却静止不动。这说明高速旋转的车轮并没有转矩输出。此时车辆能够输出的转矩大小不取决

于有多少动力转矩输入,而是路面的附着力可以提供多少反作用力矩。对于普通差速器车桥,能够输出的转矩取决于两个轮所在路面附着系数较小的一边。为理解差速锁止系数的概念,先解释一下差速器内摩擦力矩。

当车辆右转弯或其他原因引起左、右轮胎切线方向各产生一个附加阻力 ΔP , 它们大小相等、方向相反,此时右侧车轮慢、左侧车轮快。以 P 表示车桥行星齿轮轴上总的的作用力,则左、右半轴齿轮对行星齿轮的反作用力为 $P/2$ 。这个附加阻力在半轴齿轮(半径为 r_1) 上形成一个附加阻力矩 $2\Delta P \times r_1$ 。慢侧的附加阻力 ΔP 和 $P/2$ 方向相同,而快侧 ΔP 与 $P/2$ 方向相反,故慢侧所受转矩 M_2 大,快侧所受转矩 M_1 小^[1]。

$$M_1 = (P/2 - \Delta P) \times r_1$$

$$M_2 = (P/2 + \Delta P) \times r_1$$

以 $2\Delta P \times r_1 = M_F$ 表示差速器内摩擦力矩,以 $P \times r = M_0$ 表示差速器壳传递的转矩,则:

$$M_1 + M_2 = M_0$$

$$M_2 - M_1 = M_F$$

如不计摩擦力矩,即 $M_F = 0$, 则 $M_1 = M_2$, 故差速器壳体的转矩平均分配给了左、右半轴。如果考虑内摩擦,则快侧车轮力矩 M_1 小,慢侧车轮力矩 M_2 大。在普通差速器中,内摩擦系数较小, $M_F / (M_1 + M_2) = 0.5 \sim 0.6$ ^[1]。此时车轮在转弯时对应的转弯阻力较小,功率损失也较小。但是当出现上述打滑现象,左轮高速滑转,但地面几乎没有摩擦力矩给左轮胎。而右轮胎所能输出的转矩 $M_2 = M_1 + M_F = 0 + M_F$, M_F 很小,因此 M_R 远不足以让右轮带动整车离开打滑路面。此时有效的解决办法有:(1) 挖掉滑转驱动轮下的稀泥,或在此轮下垫干土、碎石、树枝等作为应急办法;(2) 加装差速锁止或有限滑功能的差速器,比如机械差速锁、液压锁止差速器、POSI-TORQ 差速器和 NO-SPIN 差速器等。

2 POSI-TORQ 差速器

POSI-TORQ 差速器,英文全称 POSITIVE TORQUE DIFFERENTIAL,称之为限滑差速器或有限打滑差速器。工作原理是通过摩擦片在附加阻力 ΔP 的作用下,增加上述的内摩擦力矩,提高慢侧车轮的输出力矩,帮助车辆离开坏路面,有效降低轮胎的磨损^[2]。

POSI-TORQ 差速器分为带弹簧和不带弹簧两种。带弹簧的限滑差速器是半轴齿轮的小端面多了一组碟形弹簧。利用碟形弹簧的预压变形,给半轴齿轮及摩擦片一个预压力,保证该差速器有一个初始的限滑力矩。

通常有几种方法去衡量差速器的锁止能力,因为叫法相近易混淆。

第一种是最大牵引力车轮转矩所占的百分比,即 $R(\text{Rate}) = (M_2/M_0) \%$ 。

第二种是差速锁止系数,为了区分这里记做 K , $K = M_2/M_1$, 由于

$$M_1 + M_2 = M_0 \quad (1)$$

因此:

$$K = M_2/M_1 = R/(1-R) \quad (2)$$

另外一种差速器偏差率,是用两轮的输出转矩差的绝对值除以两轮输出转矩和的百分比,这里记做 B (Bias 的简写),写作:

$$B = |M_1 - M_2| / (M_1 + M_2) \times 100\% \quad (3)$$

举个例子,如果当已知一个差速器的偏差率 B 为 45%,代入式 (3), $K = M_2/M_1 = 2.64$, $R = 72.5\%$ 。

后面将对几种不同类型的差速器锁止系数与特性范围进行对比。

3 NO SPIN

NO SPIN 差速器又称为防滑自锁差速器或牙嵌式自由轮差速器,由十字轴组件、离合器组件以及弹簧和弹簧座所组成。十字轴总成由十字轴、中心凸环和卡环组成。在十字轴总成的中心凸环上对称布置有举升齿,其数量与十字轴上驱动齿数相同,所有举升齿斜面的摩擦系数很小,可以让被动离合器快速分离^[4]。被动离合器总成由被动离合器和外推环组成。两个被动离合器分别布置在十字轴和中心凸环的两侧,被动离合器的内花键和侧齿的外花键啮合的在一起。被动离合器总成被弹簧和弹簧座压回到十字轴上。

中间十字轴在被动锥齿轮,差速器壳体带动下旋转。只要车辆在光滑的地面前进与后退,被动离合器即保持与中间十字轴锁死状态。此时两边车速相等,不会出现车轮打滑现象。当车辆转向,或其中一只车轮越过障碍物时,转向外侧车轮或越过障碍物车轮所行驶的距离较长,车轮转速也比另一侧车轮高,在这种情况下,NO-SPIN 差速器会被动进行差速。

4 液压锁止或机械锁止差速器

在标准差速器的基础之上,增加类似于离合器的摩擦片,由液压促动提供摩擦力,实现左、右半轴的刚性联接,即为液压锁止差速器。在摩擦力矩范围内实现 100% 差扭能力。机械锁止是通过外加接合套方式,将一侧半轴与差速器壳体机械刚性锁止,实现 100% 差扭能力。这两种差速锁止方式都需要增加操作装置,必要时由驾驶员根据路况,实现差速锁止,有较好的机动性。但对于长时间工作在坏路面机械,会增加驾驶员工作强度,大多用于偶尔出现坏路面的工作工况。

5 几种差速器的差速性能比较

标准差速器最大锁止系数在 1.5。POSI-TORQ 不带

弹簧差速器，摩擦离合器的摩擦力矩与输入的力矩成正比，其锁止系数在 2 ~ 2.75。POSI-TORQ 带弹簧的差速器中，弹簧的作用是增加摩擦盘上的压力以增加牵引力，在桥的输入转矩较小时，可以用 5 倍的锁止系数，当运行条件改善，桥的力矩增加，弹簧的效果就会下降，锁止系数 B 就会减小^[4]。而 NO-SPIN 的差速器差扭能力始终为 100%，即使一侧车轮打滑或脱开，另一侧车轮也会 100% 输出转矩。

通过对比，列表和图标比较几种差速器性能、输出转矩和锁止性能，如表 1、表 2 和图 2 所示^[1]。

6 实例分析

以一个实际的地下装载机应用为例，分析各种差速器

表 2 不同差速器输出转矩对比

不同差速器时装载机所能传递的最大转矩						
差速器类别	车轮负载 <i>N</i>	附着系数 ψ	标准差速器	POSI-TORQ 不带弹簧差速器	POSI-TORQ 带弹簧差速器	NO-SPIN 差速器
前左轮	175000	0.1	$0.1 \times 175000 \times 0.90 = 15750$	$0.1 \times 175000 \times 0.90 = 15750$	$0.1 \times 175000 \times 0.90 = 15750$	$0.1 \times 175000 \times 0.90 = 15750$
前右轮	175000	0.8	$0.1 \times 175000 \times 0.90 = 15750$	$0.1 \times 175000 \times 2.75 \times 0.90 = 43313$	$0.1 \times 175000 \times 5 \times 0.90 = 78750$	$0.8 \times 175000 \times 0.90 = 126000$
后左轮	64750	0.3	$0.4 \times 64750 \times 0.90 = 17482.5$	$0.4 \times 64750 \times 0.90 = 17482.5$	$0.4 \times 64750 \times 0.90 = 17482.5$	$0.4 \times 64750 \times 0.90 = 17482.5$
后右轮	64750	0.8	$0.4 \times 64750 \times 0.90 = 17482.5$	$0.8 \times 64750 \times 0.90 = 46620$	$0.8 \times 64750 \times 0.90 = 46620$	$0.8 \times 64750 \times 0.90 = 46620$
轮胎滚动半径	0.9					
总计			66465	123165	158602.5	205852.5
与标准差速器比较		100%		185%	239%	310%

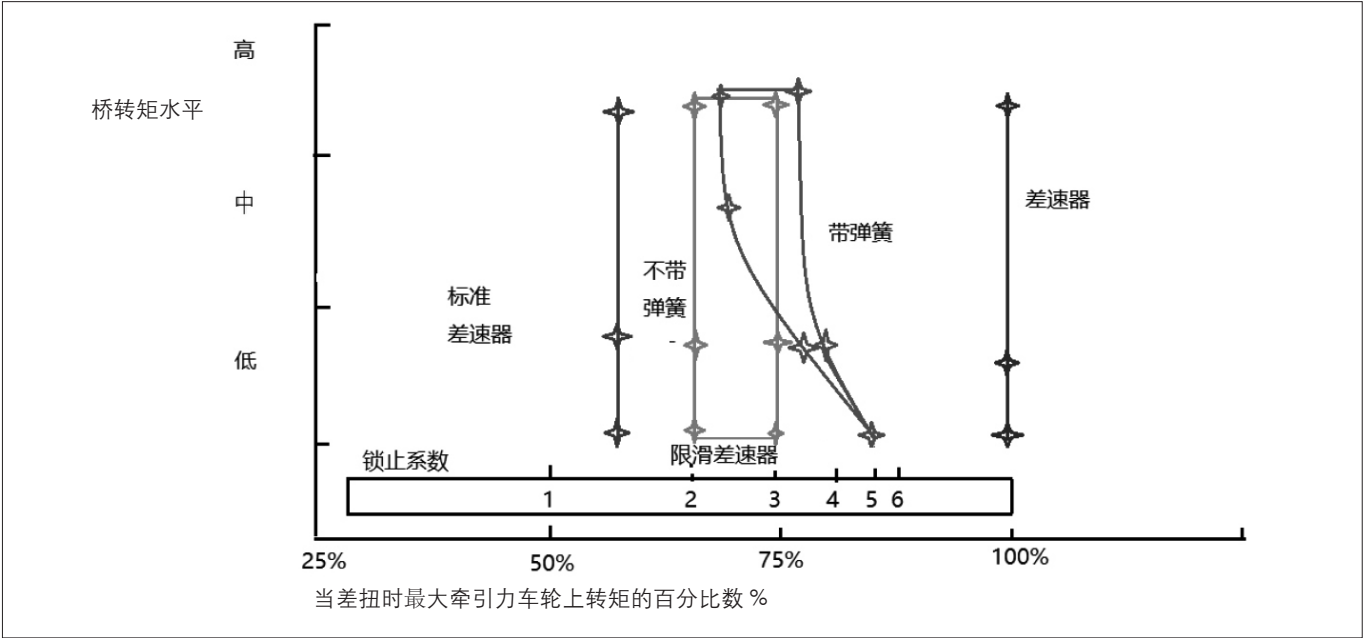


图 2 差速器锁止性能^[1]

表 1 几种差速器性能比较

差速器类别	标准差速器	POSI-TORQ 不带弹簧差速器	POSI-TORQ 带弹簧差速器	NO-SPIN 差速器
牵引性能	差	好	较好	最好
动力性能	差	好	较好	最好
受力状况	最好	好	较好	差
转向性能	最好	好	差	最差
通过性能	差	好	较好	最好
工艺性能	最好	较好	好	最差
轮胎磨损	差	好	较好	最好

的牵引特性。图 3 所示为四轮受力状况与相应的附着系数。设车轮的滚动半径 $R=0.90\text{m}$ 。

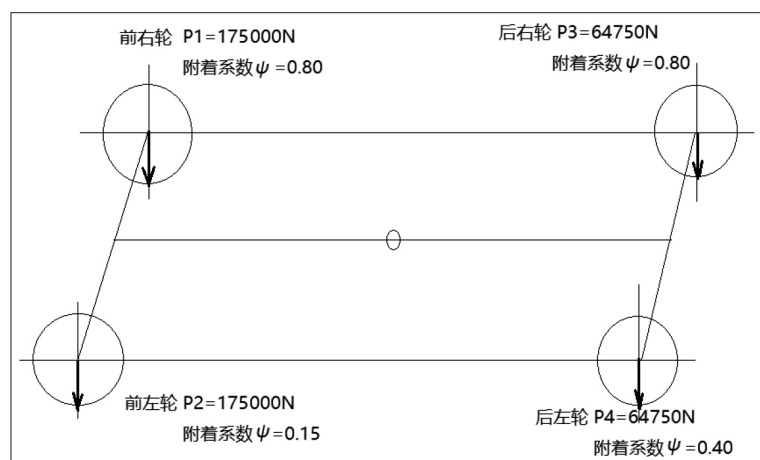


图 3 地下装载机四轮受力分布图^[1]

根据车轮负载及车轮所在路面的附着系数，可以计算出每个车轮及整车可以输出的最大转矩。可以知道 NO-SPIN 通过性能最好，POSI-TORQ W/ SPRING 次之，POSI-TORQ W/O SPRING 再次之，标准差速器最差。

7 结语

在选择差速器种类时，要根据车辆实际使用工况进行合理选配。使用锁止性能更好的差速器可以提高车辆的动力性和通过性，有效减小轮胎磨损，提高车辆的效率。但是也要知道随着锁止性能的提高，车辆的转向性能也随之下落。以 POSI-TORQ 带弹簧的差速器为例，因为有弹簧给摩擦片一个预压力，差速器左、右半轴将需要一个较大的分离转矩，才能让左、右车轮实现不同转速。这个转矩在原地转向和重负荷转向体现尤其明显，需要转向系统提供更大的转向力矩。

对于矿用机械的差速器选用原则：NO-SPIN 仅允许使用在一根驱动桥上，一般来说，装载机用在前桥，矿卡用在后桥，这样可以充分利用最大负荷桥的附着力。因为井下矿用机械多用铰接式转向，当两根驱动桥都使用 NO-SPIN 差速器时，转向阻力非常大，操作者会有明显卡顿的感觉。POSI-TORQ W/ SPRING 可以在大部分工况下替代 NO-SPIN，能够消除 NO-SPIN 内在的振动问题，而且如果工况特别需要允许前、后桥同时使用。标准差速器用来和 NO-SPIN 配合使用。POSI-TORQ W/O SPRING 可用于替代标准差速器，以得到更好的通过性能，并不降低转向性能。采用摩擦片元件的限滑差速器，易产生摩擦异响，需采用车桥制造商推荐的为限滑差速器作了抗磨添加的润滑油。

速器作了抗磨添加的润滑油。

参考文献：

- [1] 高梦熊. 地下装载机 [M]. 北京：冶金工业出版社，2011:225-240.
- [2] 陶泽南，贾巨民，徐柳，等. 差速器的性能要求与试验项目研究 [J]. 军事交通学院学报，2019,21(10):77-81.
- [3] 陶泽南. 差速器总成结构与性能参数分析 [J]. 内燃机与配件，2019(07):38-40.
- [4] 张启城. 汽车差速器的参数化设计，有限元分析及实验 [D]. 天津：河北工业大学，2018.

作者简介：张春(1979.11-)，男，汉族，内蒙古巴彦淖尔人，本科，工程师，研究方向：工程机械；宋云平(1985.12-)，男，汉族，吉林松原人，本科，工程师，研究方向：工程机械。

(上接第 30 页)

提高了主通风机运行的可靠性，提高了通风的可靠性，为矿井安全生产提供了切实的保障。不停风倒机可有效避免在倒机过程中风流中断甚至反向的风险，随着东庞矿瓦斯问题日益突出，对主通风机供风的连续性、可靠性的要求也日益提高，更新电控系统已刻不容缓。不停风倒机，将有效实现矿井供风的连续性，避免倒机过程供风的中断，同时可以大幅缩短倒机时间，为矿井安全生产提供可靠的保障。

4 结语

目前，轴流式主风机的不停风倒机已经在国内普遍使用，但基本为增加对空风门，在倒机过程和大气连通，实现不停风倒机。但其过程中虽然不停机，但仍然不可避免地会短时间存在停风的过程，不利于矿井安全生产。

东庞矿本次通过叶片的开度调整，配合以风门的开关，同时并不增设对空风门。而实现真正的不停风倒切风机，这在国内类似风机的使用中仍属首次，具有极大的推广意义。

参考文献：

- [1] 董素玲. 基于模糊控制的煤矿主井通风机不停风倒机自动控制系统的的设计 [J]. 工矿自动化，2015,41(9):39-43.
- [2] 于励民，马小平，任中华. 矿井主通风机不停风倒机自动控制系统的研究和实现 [J]. 工矿自动化，2010,36(9):227-230.
- [3] 孟琳山，马小平，李全保. 矿井主通风机不停风倒机控制系统改进方案 [J]. 工矿自动化，2012,38(11):9-10.