

# 解析德国采埃孚九速自动变速器

◆文/河北 吴泽辉

德国采埃孚集团公司(ZF)是当今世界上最主要的传动系统产品专业制造厂家之一,其主要产品包括机械式变速器、自动变速器和各式齿轮传动箱等。本文重点分析ZF九速自动变速器的动力传递路线(图1),解析ZF的设计理念,希望对于从事自动变速器维修、教学和设计的人员有所启示。

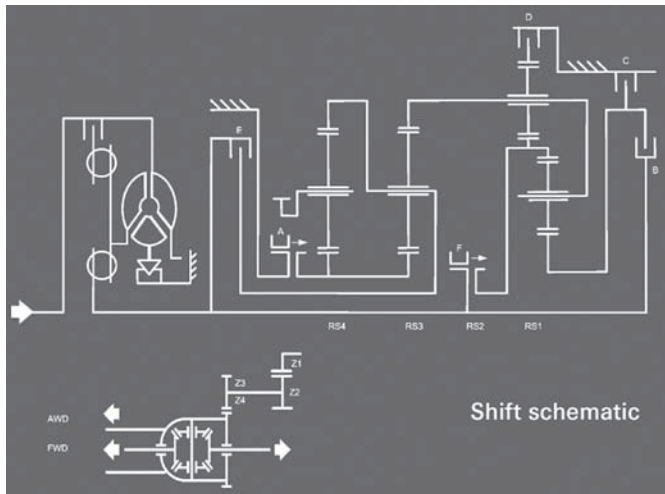


图1 ZF九速自动变速器动力传递路线图(原厂)

图2是作者自制的ZF九速自动变速器动力传递路线图,该图采用四个单级行星排,可以将第一个行星排和第二个行星排看成一个变速器,将第三个行星排和第四个行星排看成另一个变速器。需要注意各排的连接关系,第一排齿圈与第二排太阳轮连接,第一排行星架和第二排行星架连接作为输出驱动第三排齿圈,第三排行星架和第四排齿圈连接,第三排和第四排太阳轮连接。图中有E、F、B三个离合器和A、D、C三个制动器,由第四排行星架作为输出。下面,依次对ZF九速自动变速器动力传递路线进行分析。

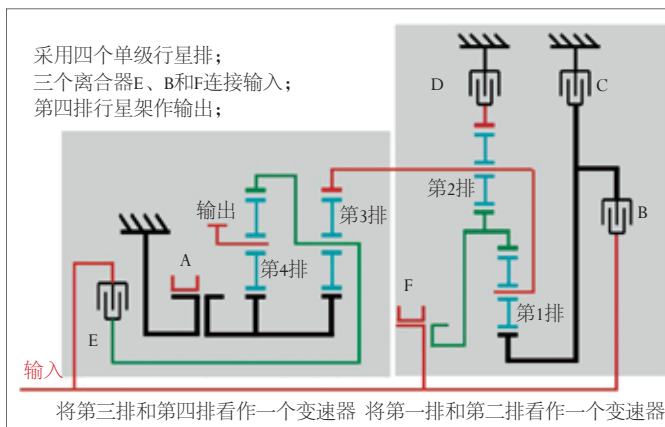


图2 ZF九速自动变速器动力传递路线图(自制)

## 一、一档动力传递路线分析

图3为一档时,离合器F接合,驱动第一排齿圈和第二排太阳轮。因为制动器D制动第二排齿圈,所以利用第二排太阳轮驱动行星架减速输出至第三排齿圈。在第三排和第四排,因为制动器A制动两排的太阳轮,在第三排齿圈驱动行星架减速输出至第四排齿圈,在第四排齿圈驱动行星架减速输出。所以一档时形成三级减速,分别是第二排太阳轮驱动行星架减速、第三排齿圈驱动行星架减速、第四排齿圈驱动行星架减速。

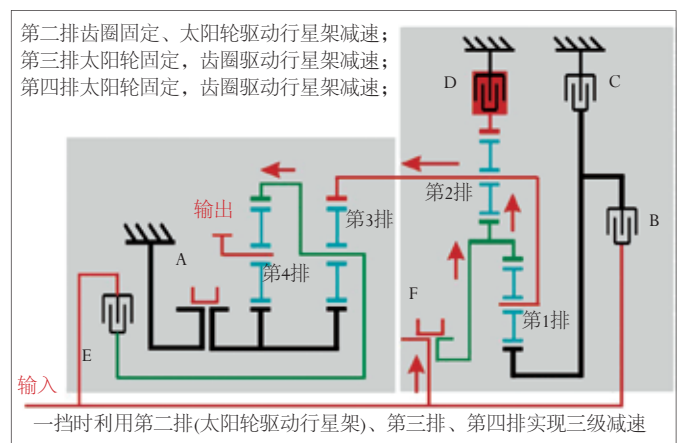


图3 一档动力传递路线分析

## 二、二档动力传递路线分析

图4为二档时,离合器F保持接合,驱动第一排齿圈和第二排太阳轮。但是制动器C制动第一排太阳轮,所以在第一排太阳轮固定。齿圈驱动行星架减速输出至第三排齿圈,第三排和第四排工作与一档相同。所以二档时形成三级减速为第一排齿圈驱动行星架减速、第三排齿圈驱动行星架减速、第四排齿圈驱动行星架减速。

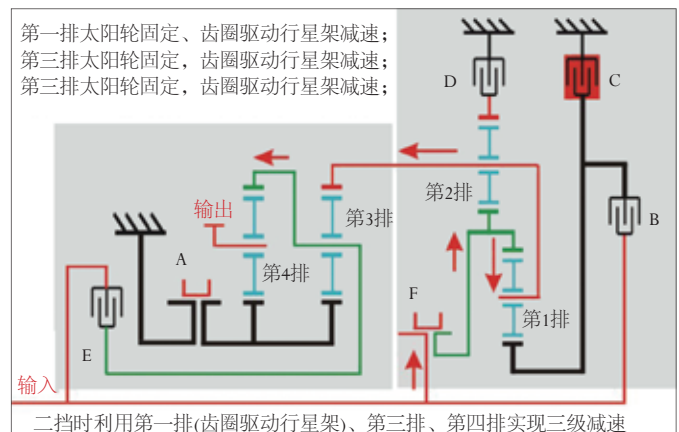


图4 二档动力传递路线分析

### 三、三挡动力传递路线分析

图5为三挡时, 离合器F保持接合, 驱动第一排齿圈和第二排太阳轮, 离合器B接合驱动第一排太阳轮。因为第一排太阳轮和齿圈同时被驱动, 所以行星架整体输出。第三排和第四排工作与一挡、二挡相同, 所以二挡时形成二级减速为第一排整体输出、第三排齿圈驱动行星架减速、第四排齿圈驱动行星架减速。

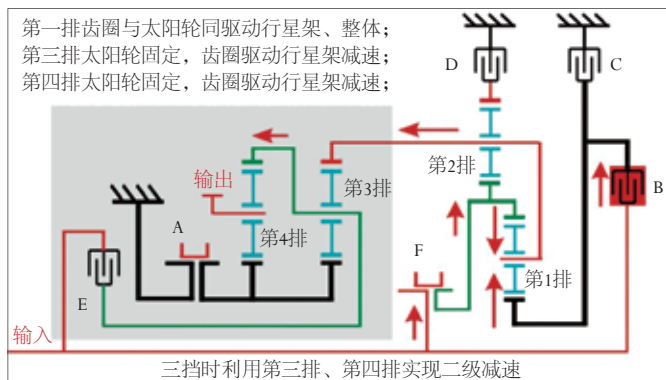


图5 三挡动力传递路线分

### 四、四挡动力传递路线分析

图6为四挡时, 离合器E接合驱动第四排齿圈、制动器A保持对第四排太阳轮的制动, 第四排行星架在齿圈的驱动下减速输出。四挡时形成一级减速, 即第四排齿圈驱动行星架减速。注意在四挡时, 第三排行星驱动齿圈将动力传递给第二排和第一排行星架, 而离合器F保持接合将动力传递给第一排太阳轮和第二排齿圈。但是第一排太阳轮自由、第二排齿圈自由, 所以第一排和第二排不参与动力传递。

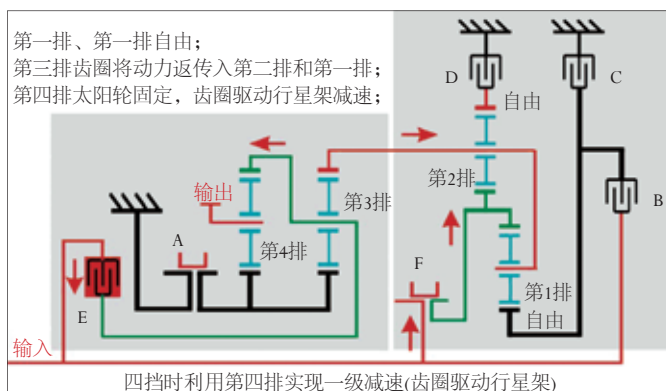


图6 四挡动力传递路线分析

### 五、五挡动力传递路线分析

图7为五挡时, 离合器F保持接合, 驱动第一排齿圈和第二排太阳轮, 离合器B接合驱动第一排太阳轮。因为第一排太阳轮和齿圈同时被驱动, 所以行星架整体输出至第三排齿圈。离合器E接合, 驱动第三排行星架, 在第三排中齿圈和行星架同速, 所以第三排太阳轮也同速整体旋转。在第四排齿圈与太阳轮同速, 所以驱动行星架同速整体输出, 形成直接挡。

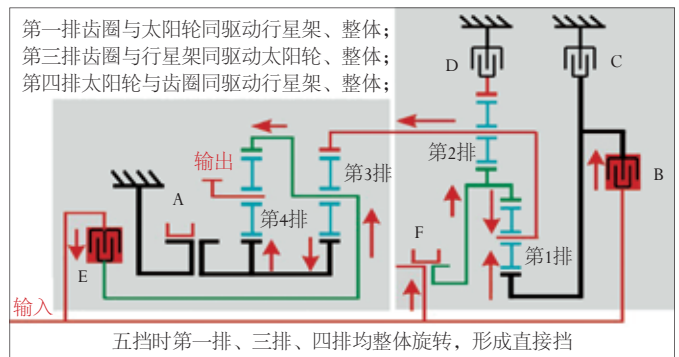


图7 五挡动力传递路线分

### 六、六挡至九挡动力传递路线分析

前文将第一排和第二排看作一个变速器、将第三排和第四排看作另一个变速器。在很多挡位如一挡、二挡和五挡, 动力流从一二排传给三四排, 符合动力总是从前向后传递的规律。但从六挡开始, 不再认为动力流是从前向后传递, 而是将第一排和第二排组成的变速器看作一个制动器, 约束第三排的齿圈, 这一约束不是完全制动, 而是部分约束。

在此引入矢量表示法, 用矢量表示行星齿轮机构的运动状态。如图8所示, 用线段AB、BC和AC长度代表齿圈、太阳轮和行星架齿数。在单级行星排中, 行星架齿数(AC段)等于太阳轮齿数(BC段)加上齿圈齿数(AB段)。用横向带箭头的线段代表转速和转向, 线段长度代表转速, 箭头方向代表转向。如图中行星架固定情况下, 可以看出太阳轮驱动齿圈反向减速; 而如果两个同速同向旋转, 则第三个形成整体同速同向旋转。

引入矢量表示法可以很容易理解三个构件同时旋转, 但转速和转向各异的情况。如图9所示, 齿圈和行星架转速相同的情况下, 整体驱动太阳轮同速输出。之后在行星架转速不变的情况下, 减少齿圈转速, 可以看到太阳轮转速将增加。这一原则可以直接应用于六挡、七挡、八挡和九挡的动力传动。

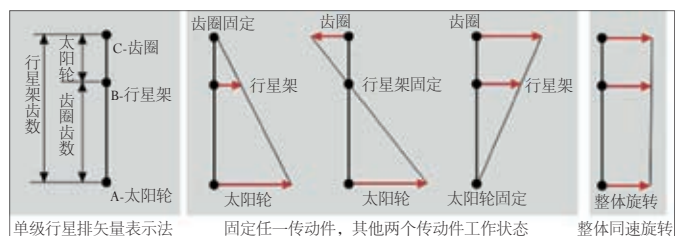


图8 用矢量表示单级行星齿轮机构的运动规律

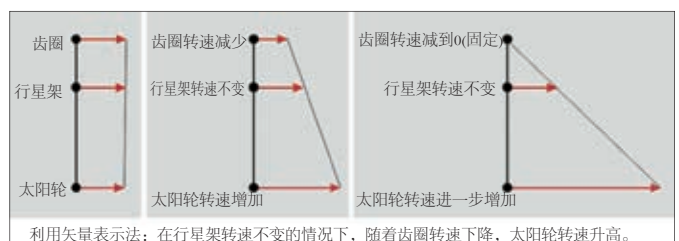


图9 行星架转速不变, 减少齿圈转速达到增加太阳轮转速目的

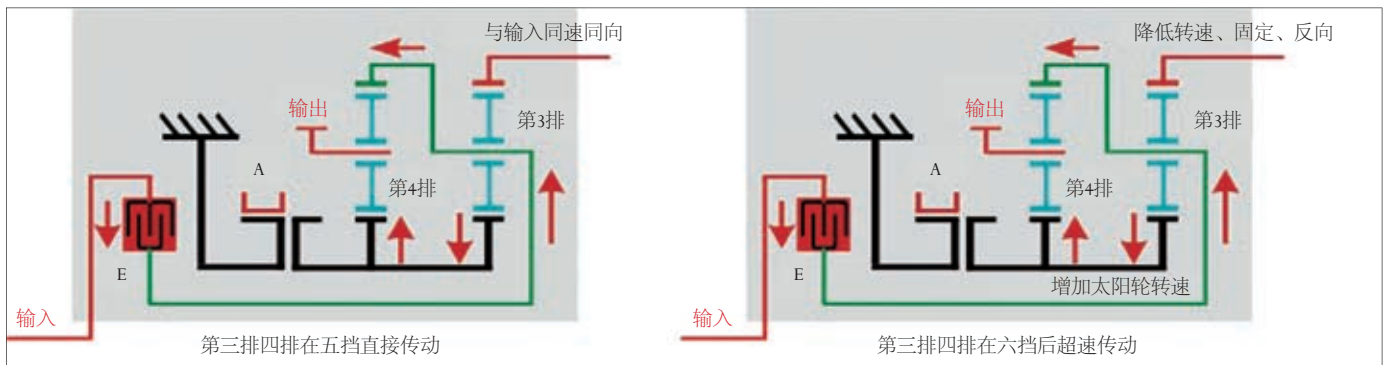


图10 六挡、七挡、八挡和九挡超速传动原理分析

如图10所示, 将第三排和第四排分拆出来, 在五挡直接传动时, 离合器E接合, 驱动第三排行星架, 第三排行星架和齿圈同向, 所以驱动第三排太阳轮整体旋转。从图9的分析可知, 除非第三排齿圈转速下降直至固定, 甚至反转情况下, 在第三排行星架转速不变情况下, 会增加第三排太阳轮转速。从而带动第四排太阳轮转速增加, 最终带动第四排行星架转速增加。控制第三排齿圈转速, 实现六挡(第三排齿圈一级减速)、七挡(第三排齿圈二级减速)、八挡(第三排齿圈固定)和九挡(第三排齿圈逆转)的传动。

六挡、七挡、八挡和九挡时, 离合器E接合驱动第三排行星架和第四排齿圈。图11为六挡时, 制动器C制动第一排太阳轮, 离合器F接合驱动第一排齿圈, 则第一排行星架在齿圈驱动下形成一级减

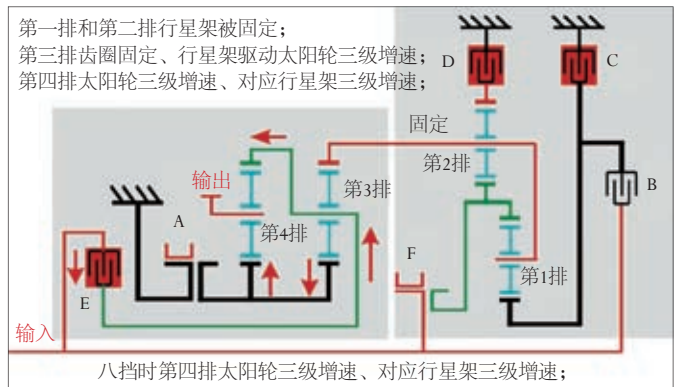


图13 八挡动力传递路线分析

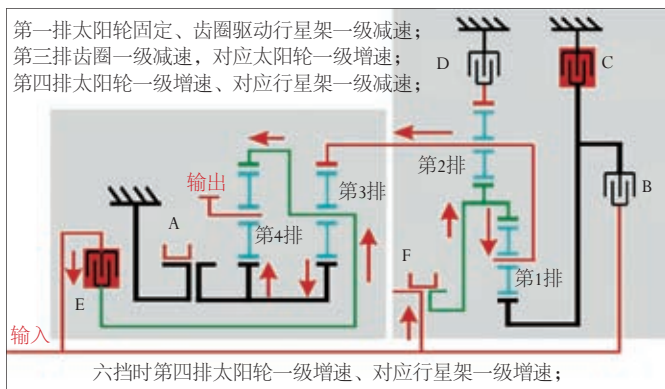


图11 六挡动力传递路线分析

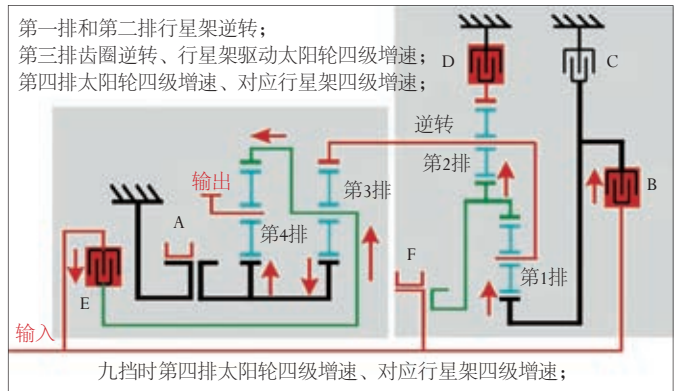


图14 九挡动力传递路线分析

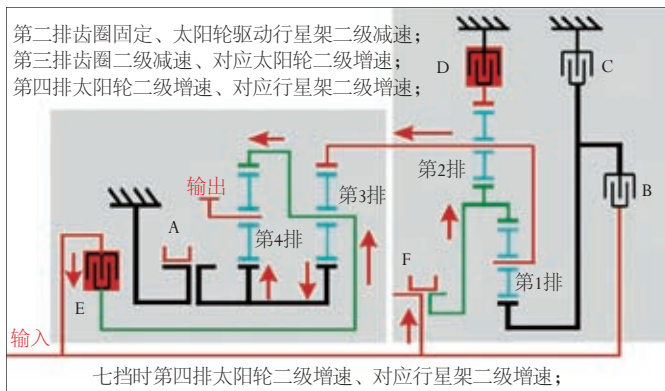


图12 七挡动力传递路线分析

速, 与第一排行星架连接的第三排齿圈一级减速, 第三排太阳轮一级增速, 第四排行星架一级增速输出。

图12为七挡时, 离合器F与六挡相同保持接合, 但制动器D制动第二排齿圈, 则第二排太阳轮驱动行星架形成二级减速。与第二排行星架连接的第三排齿圈二级减速, 第三排太阳轮二级增速, 第四排行星架二级增速输出。

图13为八挡时, 第一排、二排的制动器C和D制动, 第一排和第二排被总体固定, 则第三排齿圈被固定。第三排太阳轮三级增速, 第四排行星架三级增速输出。

图14为九挡时, 第一排和第二排的离合器B接合, 制动器D制动。离合器B驱动第一排太阳轮顺转, 驱动第一排齿圈逆转, 与第一排齿圈

(下转第93页)