

电动零差速双流传动创新教学试验平台研究

李宏才, 韩立金, 徐丽丽

北京理工大学车辆传动国家重点实验室, 北京

收稿日期: 2021年11月22日; 录用日期: 2021年12月22日; 发布日期: 2021年12月29日

摘要

介绍了履带车辆双流传动形式和混合动力驱动形式。为培养学生的实践能力和创新意识, 加深学生对履带式车辆零差速双流传动系统原理和混合动力驱动系统的理解, 提出了电动零差速双流传动创新教学试验平台方案, 制作了试验平台。该平台可展示零差速双流传动的结构和工作原理, 实现混合动力驱动模式展示。平台提供传动系统和上装的创新开发空间, 为学生的创新设计实践提供了实践平台。

关键词

零差速双流传动, 混合动力驱动, 创新教学平台

Research on Innovative Teaching Test Platform of Electric Zero Differential Double Flow Transmission

Hongcai Li, Lijin Han, Lili Xu

National Key Lab of Vehicular Transmission, Beijing Institute of Technology, Beijing

Received: Nov. 22nd, 2021; accepted: Dec. 22nd, 2021; published: Dec. 29th, 2021

Abstract

The double flow transmission and hybrid drive of tracked vehicles are introduced. In order to cultivate students' practical ability and innovative consciousness, and deepen students' understanding of the principle of zero differential double flow transmission system and hybrid drive system of tracked vehicles, an innovative teaching test platform scheme of electric zero differential double flow transmission is proposed, and the test platform is made. The platform can display the structure and working principle of zero differential double flow transmission and realize the display of hybrid drive mode. The platform provides a space for innovative development of transmission

system and top gear, and provides a practice platform for students' innovative design practice.

Keywords

Zero Differential Double Flow Transmission, Hybrid Drive, Innovative Teaching Platform

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

坦克装甲车辆传动系统是车辆的重要组成部分, 结构复杂, 形式多样。特别是现代典型的双流传动系统, 如零差速、正差速、正独立、零独立式双流传动系统[1], 原理深奥, 结构复杂。能源危机和电能武器的需求促进了混合动力驱动系统的发展。履带车辆混合动力驱动系统仅仅依靠课堂学习, 内容抽象, 不利于学生的深入理解和掌握。开发电动零差速双流传动教学试验平台, 一方面加强对双流传动模式和履带电传动的理解和掌握, 另一方面提供电动无人创意平台, 培养学生的实践能力和创新意识[2] [3] [4] [5] [6]。

2. 双流传动介绍

坦克装甲车辆的双流传动是指传动中的变速机构和转向机构采取并联的方式来传递功率, 发动机的功率先分为变速功率和转向功率分别传递, 在汇流排处汇流后输出来驱动主动轮。汇流排是实现双流传动的关键部件。简单内外啮合单星行星排的速度公式为:

$$n_i + kn_q - (1+k)n_j = 0 \quad (1)$$

式中

n_i —— 太阳轮转速;

n_q —— 齿圈转速;

n_j —— 行星架转速;

k —— 行星排特性参数, 为齿圈齿数与太阳轮齿数比。

通常, 齿圈连接变速机构, 太阳轮连接转向机构, 行星架输出:

$$n_j = \frac{1}{1+k}n_i + \frac{k}{1+k}n_q \quad (2)$$

当左右侧的太阳轮获得不同的转速, 则左右侧的输出转速不同, 车辆实现转向。

按照履带车辆两侧履带转向时的速度变化分为差速式双流传动和独立式双流传动, 差速式双流传动指履带车辆在转向时, 一侧履带速度增加, 另一侧履带速度减少; 独立式双流传动指履带车辆转向时, 一侧履带速度降低, 另一侧履带速度不变。按照履带车辆直驶时, 汇流行星排齿圈与太阳轮的关系, 常用的双流传动装置有零差速式双流传动、正差速式双流传动、正独立双流传动、零独立式双流传动。正独立式双流传动是独立式双流传动中, 汇流行星排连接变速功率的齿圈和连接转向功率的太阳轮在车辆直线行驶时, 旋转方向一致; 零独立式双流传动是连接转向功率的太阳轮在车辆直线行驶时不旋转; 正差速式双流传动是差速式双流传动中, 汇流行星排连接变速功率的齿圈和连接转向功率的太阳轮在车辆

直线行驶时，旋转方向一致；零差速式双流传动是连接转向功率的太阳轮在车辆直线行驶时不旋转。

图1为美国M1爱布拉姆斯坦克所采用的X-1100综合传动，属于零差速式双流传动。变速功率经变矩器、行星变速机构、变速后传动传给行星排齿圈；转向功率经变矩器、转向泵马达、零轴传给两侧的太阳轮。车辆各挡下工作，直线行驶时，转向泵马达保持在中间位置，提供一定的制动力矩，两侧行星排太阳轮均不转；变速功率通过齿圈输入汇流排，从行星架减速输出；转向时，转向泵驱动马达旋转，由于转向马达到两侧汇流排太阳轮传动路线中，一侧齿轮啮合比另一侧齿轮啮合次数多一次，两侧太阳轮旋向相反，两侧行星排行星架输出转速不同，车辆向太阳轮和齿圈旋转方向不一致的一侧转向。这是零差速式双流传动。

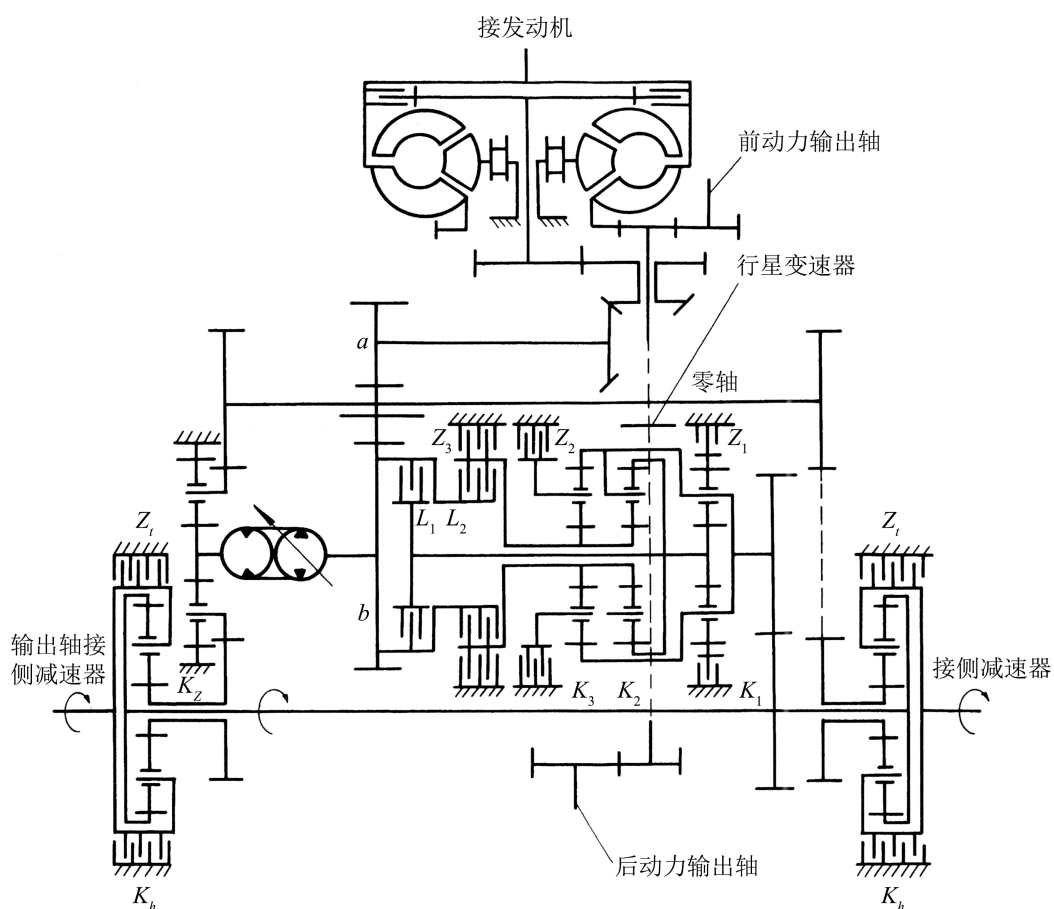


Figure 1. Driving system graph of x-1100 zero differential double flow transmission

图1. X-1100 零差速式双流传动简图

目前，世界上的几乎主要主战坦克均采用零差速双流传动装置，如美国的M1采用的X-1100型综合传动，法国的“勒克莱尔”主战坦克采用ESM-500型传动装置，德国“豹II”坦克采用HSWL-354型传动装置，我国出口的VT4主战坦克也采用零差速双流传动装置。因此，在教学过程中，主要以零差速双流传动为代表，开展双流传动的教学工作。

3. 混合动力驱动介绍

混合动力驱动系统，是指车辆采用两个或两个以上动力源来驱动行驶，这样的车辆称为混合动力车

辆，其驱动系统则为混合动力驱动系统[7]。

当前混合动力电动车辆(HEV, Hybrid Electric Vehicle)是在传统的发动机为动力基础上增加动力电池组作为电能存储装置，通过电动机/发电机将电能转化为机械能，并与发动机协同一道来驱动车辆行驶。本文中的混合动力驱动系统为油电混合动力驱动系统。混合动力驱动系统依据发动机机械功率是否直接驱动车辆行驶，分为串联式、并联式和混联式。

串联式混合动力驱动系统的能量复合通常以电能形式存在，发动机不与驱动轮发生机械连接，其主要作用是把机械能转化为电能，系统再采用电动机把电能转化为机械能，驱动车辆行驶。

图 2 为一种串联式混合动力驱动系统方案。该方案应用了机械横轴来传递转向再生功率。该方案与传统的机械双流传动系统很相似，发动机带动发电机向驱动电机供电，通过直驱电机带动左右侧车轮直线行驶；转向时，转向电机提供转向功率，通过汇流行星排形成两侧履带速度速差。该种直驶和转向驱动是分开进行的，系统直线行驶稳定性好，转向易于控制；有效地减小了电动机的重量和体积，实现了电动机的小型化。

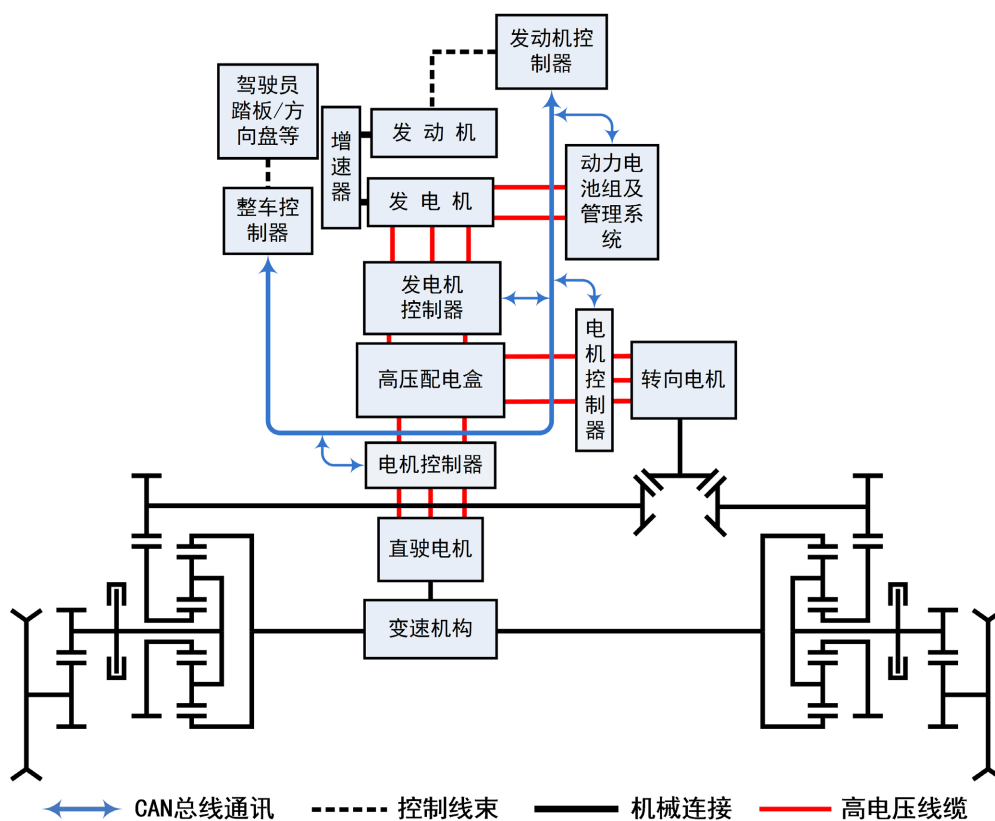


Figure 2. Schematic diagram of combined drive system of drive motor and steering motor
图 2. 驱动电机与转向电机联合驱动

并联式混合动力驱动系统是在多动力源的车辆驱动系统中，发动机机械功率可以直接驱动车辆行驶，电动机也可以参与车辆驱动，两者也可以共同输出力矩完成对车辆的驱动。

履带车辆直驶和转向必须完全依赖驱动系统来实现，并联式混合动力驱动系统要求发动机和电动机通过机械共同或单独驱动直驶或转向，导致系统机构过于复杂。因此，履带并联式混合动力驱动系统很少见。

混联式混合动力驱动系统是串联与并联的综合，兼具二者的技术特征，其结构形式和控制方式有利于充分发挥两种驱动形式各自的优点，但结构却复杂些。

4. 电动零差速双流传动试验平台

4.1. 总体方案

为开展零差速双流传动和混合动力驱动系统的教学研究，开发电动零差速双流传动试验系统。该系统示意图如图3所示。实现的电动微车实物如图4所示。

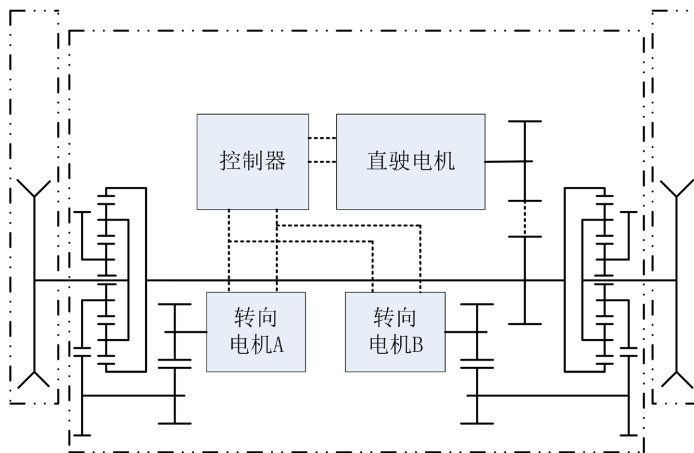


Figure 3. Scheme of electric zero differential double flow transmission teaching test platform

图3. 电动零差速双流传动教学试验平台方案



Figure 4. Teaching test prototype car with electric zero differential double flow transmission system

图4. 电动零差速双流传动教学试验样车

该试验系统主要的目的是通过实物向学生展示双流传动机构原理，并面向未来车辆电动化、无人化、集群化的发展方向，扩展无人车辆的上装功能、电动驱动、无人驾驶等功能，开放设计拓展接口，供给学生进行创新设计。

为展示差速机构的工作原理，模型车在传动部分采用亚克力或有机玻璃做窗口，可以观察行星排各构件的结构和运动状态。

4.2. 双流传动行驶模式

零差速双流传动也存在不同的实现形式，本项目采用三电机形式，一个直驶电机传动给两侧汇流排的齿圈，负责直驶；两个转向电机 A、B 分别连接左右汇流排的太阳轮。在转向时分别给太阳轮不同的转速，这样，汇流排的行星架就获得不同的速度，实现转向。

这种方案的优点相对于一个转向电机的方案是减少了车辆的零轴，使得系统布置更灵活。并且，这种传动形式可以有灵活的拓展工作方式：当直驶电机不工作时，可以利用转向电机实现直驶、转向和中心转向；这是留给学生自主开发的方式。

4.3. 遥控操控机构

小车控制系统主要由遥控接收器、控制器、信号分配器、电机驱动器、直流电机、电池等组成(图 5)。

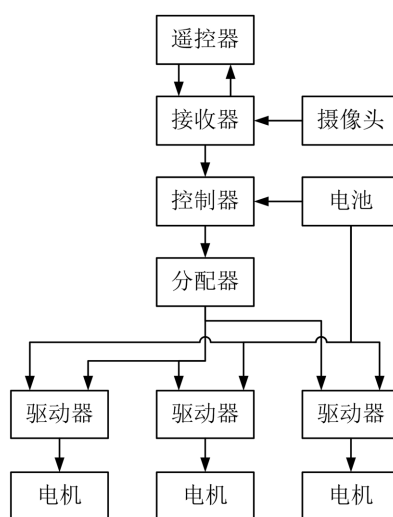


Figure 5. Remote control system
图 5. 遥控操纵系统

遥控器接收器为原厂套装。遥控器由外壳触摸显示屏、功能开关/按钮、十字手柄组成。传输信号为透传，接收器有两支天线，一只为 2.4 GHz 控制收发天线，一只为 5.8 GHz 图传天线。遥控器内置图传模块，并配一只带灯摄像头(图 6)。

控制器是将接收器发出的数据信号，转换成电机驱动器的控制信号。并内置程序将小车设置成三种控制模式。

由于控制器发送出的控制信号是一路合成的信号，所以要通过信号分配器将信号分解到每一只驱动器去，这里的分配器是一进三出。

电机驱动器为脉冲控制的 120A 有刷电机控制器，控制信号为 750 Hz~2250 Hz 的脉冲信号，控制电机的正反转。其中 1500 Hz 为信号中位，为电机停止位。

遥控器左上角的三档拨动开关 SW1 是三种控制模式的选择开关。

1) 拨动 SW1 开关到最上位，是双手柄双电机操作模式(两转向电机工作)。此时左右手柄的前后方向，分别控制两转向电机的正反先行驶；

2) 拨动 SW1 开关到中位，是单手柄双电机操作模式(中心转向)。此时右手柄的左右方向，分别控制两转向电机的正反转，实小车逆时针或顺时针中心转向；

3) 拨动 SW1 开关到最下位, 是单手柄三电机操作模式(三电机复合工作)。此时右手柄的前后方向控制直驱电机进行正反向行驶。当右手柄左右方向操作, 可控制左右两转向电机分别单向旋转, 实小车行驶状态下的转向操作。

遥控操作预留接口给学生自主创新开发用: 头部视觉驱动、双流传动形式转化验证、上装操控等。



Figure 6. Remote control
图 6. 遥控器

5. 结束语

为加深学生理解履带式车辆双流传动系统原理和混合动力驱动系统, 培养学生的实践能力和创新意识, 提出了电动零差速双流传动教学实验平台方案, 并制作了创新教学试验平台。平台实现混合动力驱动模式下零差速双流传动的结构和工作原理展示, 并提供传动系统拓展方案和上装的创新开发空间, 为学生的创新设计实践提供实践平台。

基金项目

北京理工大学实验室研究项目: 电动遥控零差速双流传动实验教学微车(2019BITSYA07)。

参考文献

- [1] 李宏才, 闫清东. 装甲车辆构造与原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2016: 340-356.
- [2] 江桂云. 大工程观视域下一流机械工程人才培养研究与实践[J]. 中国大学教学, 2020(2): 37-41.
- [3] 卢慧芬, 吴敏, 赵建勇, 等. 机电类学科交叉融合的立体化创新平台建设[J]. 电气电子教学学报, 2020, 42(6): 10-15.
- [4] 李永湘, 何晓芬, 丁学风, 等. 机械原理课程实验教学研究[J]. 内燃机与配件, 2021(4): 251-252.
- [5] 刘成武. 基于专业论证理念的汽车构造实训课程改革探究[J]. 大学教育, 2021(6): 80-82.
- [6] 张望. 面向混合式实验教学的虚拟仿真实验平台建设与教学研究[J]. 大学教育, 2020, 46(9): 116-117+123.
- [7] 闫清东, 李宏才. 装甲车辆构造与原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2020: 284-296.