文章编号：2097-5899(2026)10-0032-08　　**中图分类号**：U292.2　　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202507080002
引用格式：万鑫兴. 基于物流时效性的平面横移调车设备研究与设计[J]. 铁路物流，2026，44(10)：32-39.
WAN Xinxing. Research and Design of Planar Traversing Shunting Equipment Based on Logistics Timeliness[J]. Railway Logistics，2026，44(10)：32-39.

基于物流时效性的平面横移调车设备研究与设计

万鑫兴

(中国铁路兰州局集团有限公司 银川车站，宁夏 银川　750011)

摘　要：从提高铁路物流时效性与竞争力的需求出发，分析得出解编调车作业时间是严重影响铁路物流时效性与竞争力的关键。为此，通过研究设计平面横移调车设备，从源头上简化解编流程并大幅压缩解编时间。该设备通过对铁路货车转向架和轮对结构的充分利用以及对现有的站场进行简约改造，运用人工智能控制技术，在不改变既有货车结构的基础上进行平面横移调车设备的设计。对关键的设计理念、设计原理以及设计过程进行了系统的阐述和论证，对设备的设计结构可行性通过力学校核进行论证，对设备智能控制的可行性通过实体模型进行测试验证。研究得出平面横移调车设备可以实现货车从一股道智能平移至其他股道，从根本上提高铁路货运的时效性和竞争力。

关键词：解编；时效性；平面横移调车；运输组织；智能控制

0　引言

随着我国经济向高质量发展快速转型，社会发展对物流的时效性要求越来越高。由于铁路货运过程中需要进行多次复杂的解编作业，耗费了大量的运输时间，相较公路货运，铁路货运的时效性一直是限制其竞争力提高的一个重要瓶颈[1-2]。为此，不少学者通过不断优化货运组织的方法来提高铁路货运的时效性，但取得成效有限[3-4]。同时，铁路部门通过开行特快货运班列、组织集装箱运输等方法和技术手段，尝试提高铁路货运的时效性，并在局部区域取得一定积极效果[5-7]。但铁路物流运输时效性较低的根本问题依旧没有得到彻底解决。

据统计，2024年全国铁路货运量为51.75亿t，全国公路货运量为418.8亿t，约为铁路货运量的8.09倍[8]。2024年全国快速物流总收入约为1.4万亿元[9]，而铁路货运总收入大约仅为其三分之一。这反映出目前国内经济发展对时效性较强的快速物流需求非常旺盛，而铁路货运在快速物流领域竞争力依然较小。因此，为彻底解决铁路物流时效性较低的问题，不少学者尝试突破铁路货运装备的约束，从创新货运装备的角度去研究如何提高铁路物流的时效性，并取得了阶段性成果[10-13]。为此，利用人工智能技术赋能铁路货运装备，通过智能装备从根本上克服铁路物流时效性较低的劣势成为新的研究方向。

1　物流时效性问题分析及设计思路提出

调车作业的实质是将所有货车根据运输的方向别进行重新解编，实现解编的途径就是通过道岔转换的方式来改变货车所在的股道，俗称“返岔子”。而“返岔子”作业则是造成货车在站中转停留的重要原因之一。据统计，货车中转停留时间占铁路货运总时间的七成左右。

因此，简化复杂的解编作业流程是大幅压缩货车

收稿日期：2025-07-08　**修订日期**：2026-04-29
基金项目：中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(Q2023X018)

在站中转停留时间的关键。但由于轮轨关系的约束使得“返岔子”作业成为达到解编目的的唯一途径。所以，可以考虑突破轮轨关系的约束，将货车从一股道平行移动至另一股道，从而避免“返岔子”作业。实现货车在股道间平移的思路有2种。一种是利用铁路调车辅助设备配合牵引至固定的横向调车线来实现立体横移调车，但这种立体调车作业模式的实施，对原有站场改动较大，成本也较高。第二种是对站场平面全部(或部分)进行平交硬化，然后新增平面横移调车设备，将货车精准“抬”到另一股道上，这种方式货车移动距离短，且平移调车过程互不影响，因此所需时间少，从而可以在根本上压缩货车在站中转停留时间。

为提高新增的平面横移调车设备的易用性、经济性和易实施性，必须保证新增设备设计的简约化、通用化和智能化。首先，平面横移调车设备的设计，不能对原有货车及其结构进行设计和改造(现有货车100余万辆，改造成本高)，且设备的结构设计力求简约，以提高设备的易用性和通用性。第二，平面横移调车设备必须具备较强的机动灵活性，以便快速地与货车进行匹配，连锁紧固。第三，平面横移调车设备的调车作业过程必须实现智能协调精准控制，以保证高效的调车效率。最后，平面横移调车设备的控制技术和机械设备(如电动机、液压机、锂电池)均须使用目前非常成熟的主流技术，以保证设备工作的稳定性和维修的便捷性。

2　平面横移调车设备的核心设计原理

平面横移调车设备整体设计图如图1所示。平面横移调车设备包括驱动设备(驱动车0-01和对位驱动0-05)、连锁紧固设备(连锁模块0-02和紧固模块0-03)、液压动力设备(升降模块0-04和电源及动力模块0-06)和控制系统4部分。为将货车从一股道平行横向移动至另一股道，平面横移调车设备2台一对，协调工作于同一转向架。平面横移调车设备工作时需2对一组，共同协调工作在同一货车上。

其工作原理为在控制系统的智能控制下，对位驱动通过图像识别模块和测距模块参考钢轨和货车轮对的位置动态反馈信息，将2对连锁模块分别对齐销锁，然后通过液压力控制紧固模块回移以便与轮对紧贴，最后通过升降模块将货车的2组转向架升起。在测距模块精准动态反馈钢轨位置的过程中，驱动车负载货车平行运动至所需平移的股道对应位置后，依次协调动作将货车放置在另一股道的钢轨上。

2.1　驱动设备的主要组成及工作原理

驱动设备包括驱动车和对位驱动2部分，驱动车主要负责将连锁紧固在平面横移调车设备上的货车从一股道平移至其他股道，而对位驱动主要负责辅助完成平面横移调车设备与货车的连锁紧固。由于平面横移调车设备需要纵向运动去寻找和匹配钢轨上的货车，因此设计了仅可承载平面横移调车设备的机动灵活性较强的轻量化的对位驱动。而驱动车需要负载整个货车，因此为降低设备成本其驱动轮不宜设计为转向结构。

2.1.1　驱动车的组成及功能

驱动车0-01包括驱动模块1-01、驱动轮胎1-02、

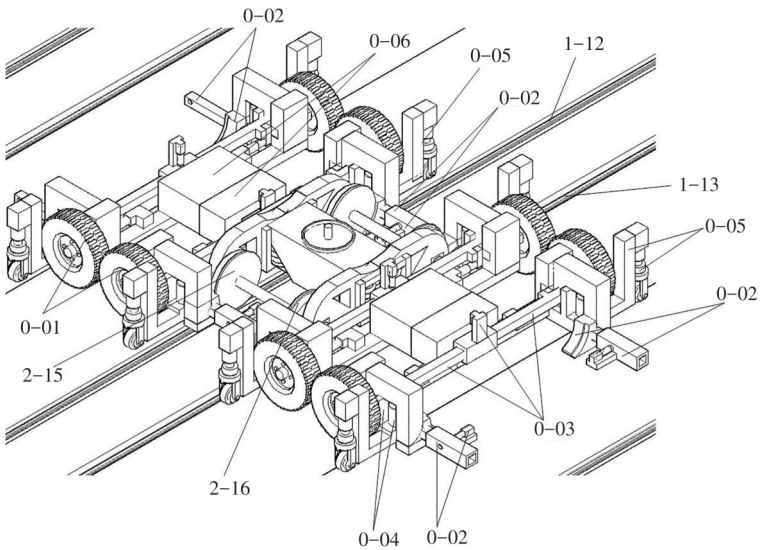


图1　平面横移调车设备整体设计图

Fig.1　Overall design diagram of planar traversing shunting equipment

驱动轴承1-03、轴承内圈、轴承外圈、驱动轴1-04、驱动壳1-05、大电机、减速器、驱动梁1-06、连接梁1-07、紧固座1-08、承压板1-09、连锁板1-10、对位臂1-1，驱动轮分解结构设计图如图2所示。驱动车用来安装放置连锁模块、紧固模块、升降模块、对位驱动、电源及动力模块、控制系统，其中驱动车的驱动轮可利用与钢轨面齐平的枕板支撑，运动通过钢轨的轨面。

2.1.2　对位驱动的组成及功能

对位驱动0-05包括驱动液压模块5-01、驱动液压箱5-02、驱动液压柱5-03、液压管、驱动模块5-04、驱动轮5-05、驱动电机5-06、驱动架5-07、驱动轴5-08、旋转模块5-09、圆锥轴承5-10、旋转电机、旋转卡头5-11、旋转柱5-12，升降模块与对位驱动分解结构设计图如图3所示。对位驱动可通过液压管和液压柱承载起整个平面横移调车设备并实现任意方向的自由运动，用来在控制系统的控制下实现2对平面横移调车设备的相互连锁。

2.1.3　驱动设备的工作原理

首先，驱动车的4条橡胶轮胎能够在改进硬化后的平交道上正常行驶，即钢轨轨面与改进硬化后的枕板在水平面上是齐平的，中间所留的用来通过货车轮对

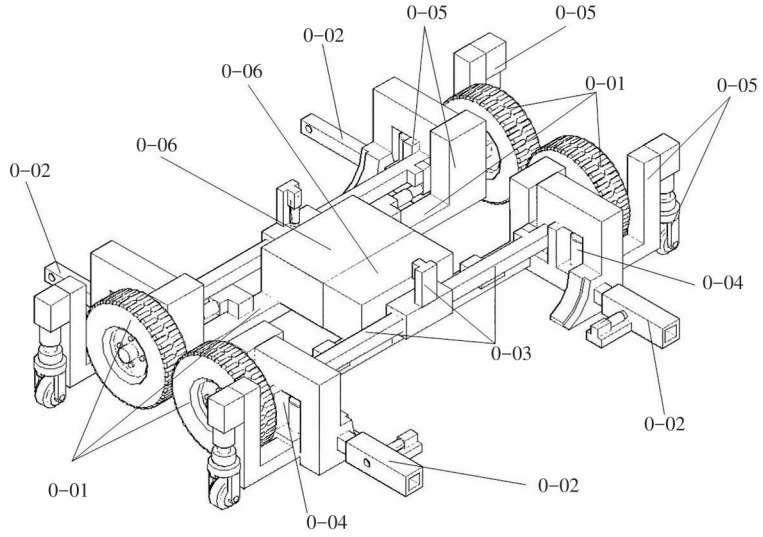


图2　驱动轮分解结构设计图

Fig.2　Structural design diagram of driving wheel decomposition

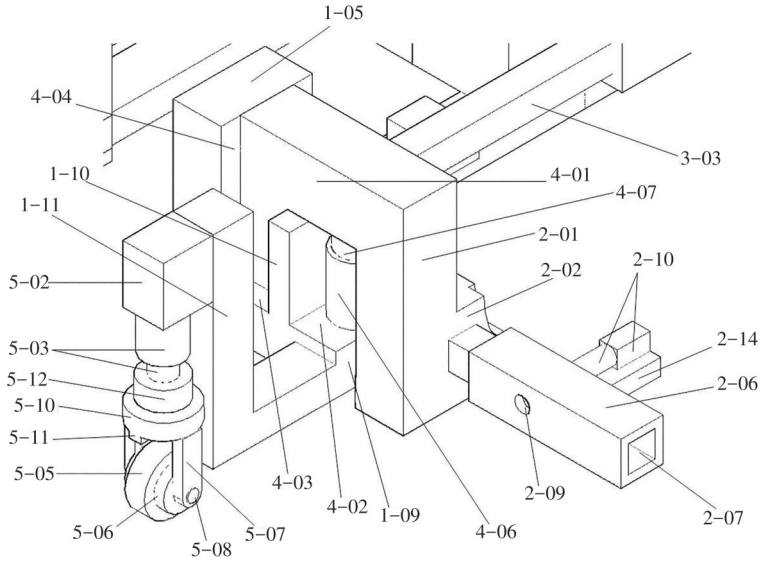


图3　升降模块与对位驱动分解结构设计图

Fig.3　Structural design diagram of lifting module and alignment drive decomposition

轮缘的缝隙并不会影响4条橡胶轮胎的正常运行。同时，平面横移调车设备使用的橡胶轮胎与公路卡车的轮胎规格等一致，因此一辆货车同时被匹配了16条轮胎，能够满足货车的正常载重需求。平交道的硬化可采用C35以上的特制混凝土预制结构，从而压缩施工实施的周期和成本。

第二，驱动车上的4条驱动轮分别配备了4套步进大电机和减速器，在控制系统的协调下能够快速高效地完成平面横移调车设备启停和平移运动的工作；对位驱动仅用来完成平面横移调车设备与货车的对位匹配工作，通过驱动液压模块的升降来切换平面横移调车设备的载重着力点，即驱动液压模块升起平面横移调车设备由对位驱动的驱动轮来支撑，驱动板液压模块缩回，由驱动车的4条轮胎支撑平面横移调车设备。驱动车上的4套步进大电机通电后可处于制动状态，最高可提供5 m/s^{2}制动或启动加速度。同时为应对突发紧急情况，可在最外侧轮胎处设计一防滑设备，停车时防滑设备智能镶嵌在轮胎与路面之间，增加摩擦面积，为制动安全加双保险。

最后，驱动车整体呈对称结构，方便平面横移调车设备通过向前运动或向后运动与另外一台平面横移调车设备进行连锁组合，即平面横移调车设备可以通过2个方向进行组合连锁。同时，驱动设备是整个平面横移调车设备的支撑框架结构，其载重负荷只需分担货车总载重的1/4。同时，它也是安装和承载连锁模块、紧固模块、升降模块、对位驱动、电源及动力模块、控制系统的重要结构。

2.2　连锁紧固设备的主要组成及工作原理

连锁紧固设备包括连锁模块和紧固模块2部分，其中连锁模块主要用来将2台平面横移调车设备组装在一起，并使得适配主体位于钢轨轨面之上与货车轮对预备匹配的位置；紧固模块主要用来将适配主体从预备匹配货车轮对的位置推送到与轮对紧密匹配的位置，即通过紧固模块将适配主体利用轮对踏面和轮缘紧固到货车轮对上。

2.2.1　连锁模块的组成及功能

连锁模块0-02包括适配柱2-01、适配主体2-02、适配缓冲2-03、适配护边2-04、方轴母2-05、方轴方管2-06、方轴母孔2-07、方轴公2-08、销孔2-09、伸缩装置2-10、伸缩销2-11、伸缩管2-12、电机及齿轮组2-13、安装板2-14，连锁模块用来将2台平面横移调车设备连锁起来，组成一对，其中适配缓冲和适配护边分别用来与轮对的踏面和轮缘匹配耦合，连锁模块分解结构设计图如图4所示。

2.2.2　紧固模块的组成及功能

紧固模块0-03包括紧固柱3-01、紧固锁公3-02、紧固锁母3-03、紧固母管3-04、卡孔3-05、伸缩装置2-10、紧固液压模块3-06、紧固液压箱3-07、紧固液压柱3-08、液压管、推拉头3-09、紧固头3-10、紧固方孔3-11，紧固模块用来使适配缓冲和适配护边向货车转向架上的轮对紧密靠牢，从而为升降模块将货车转向架升起作好准备，紧固模块分解结构设计图如图5所示。

2.2.3　连锁紧固设备的工作原理

首先，适配主体通过适配缓冲和适配护边，能够

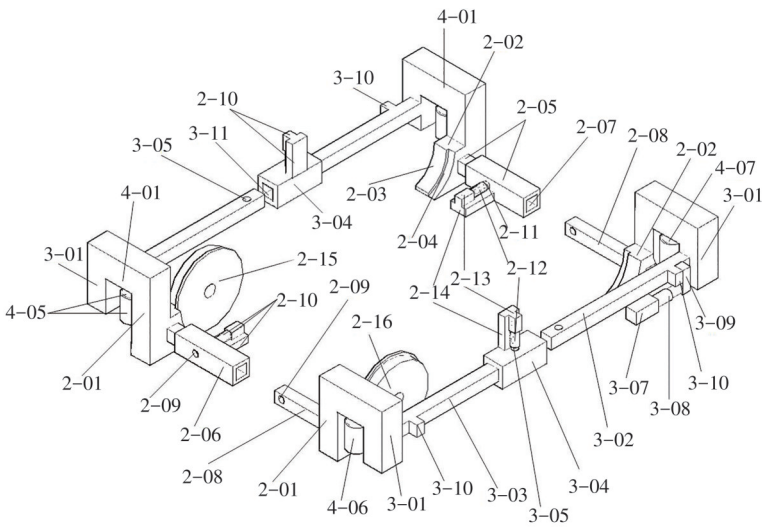


图4　连锁模块分解结构设计图

Fig.4　Structural design diagram of chain module decomposition

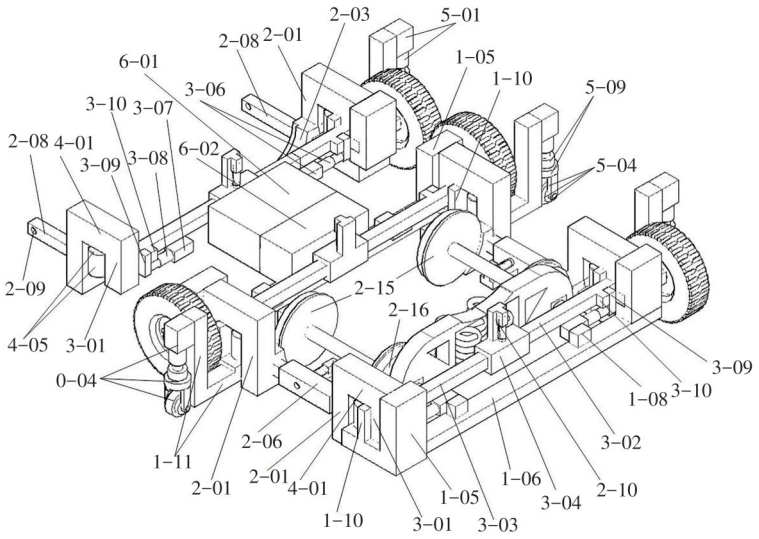


图5　紧固模块分解结构设计图

Fig.5　Structural design diagram of fastening module decomposition

与转向架上轮对的踏面与轮缘完美匹配，因此在转向架内部张力的作用下，2组轮对刚好可以稳定地嵌入4个适配主体连锁组成的“凹槽”内，其中两侧的适配缓冲能够阻挡轮对轮缘向左右两侧移动，适配主体与轮对匹配的弧度则可以防止轮对前后移动，从而依靠货车的重力形成一个稳定的“连挂”结构。

第二，连锁模块在连锁对位过程中，主要依靠对位驱动的灵活移动辅助，即对位过程通过图像识别模块和测距模块动态反馈信息给控制系统，控制系统控制对位驱动灵活移动调整平面横移调车设备的位置。其中图像识别模块反馈的数据信息主要参考货车轮对的位置来确定平面横移调车设备的纵向坐标，测距模块主要参考钢轨的位置来确定平面横移调车设备的横向坐标。

最后，紧固模块的设计，是为了避免连锁模块在连锁过程中，适配主体直接从钢轨两侧匹配货车轮对时，因为客观存在的误差而与轮缘和轮对产生冲突或阻滞。即，紧固模块的设计是为了增加对位工作的容错率。连锁模块与紧固模块都通过套筒结构进行组合，使得设备的结构在力学结构上更加稳定，可以高效地抵抗扭转和弯曲应力；连锁模块与紧固模块通过电动推杆进行销锁，结构简单，成本低廉。紧固模块的紧固过程采用紧固液压模块，以便提供足够大紧固力。

2.3　液压动力设备的主要组成及工作原理

液压动力设备包括升降模块和电源及动力模块2部分。在货车完全嵌入连锁紧固设备后，由于轮对上的轮缘依旧卡在2条钢轨内侧，并不能直接完成平移工作。因此需要将轮对、转向架乃至整个货车从钢轨上抬起5～10 cm，方可开始货车的平移工作。而电源及动力模块主要负责为升降模块提供足够的升降动力，通常一个升降模块承载货车总重的1/16。

2.3.1　升降模块的组成及功能

升降模块0-04包括升降梁4-01、连锁板1-10、承压板1-09、承压槽4-02、平移槽4-03、平衡板4-04、升降液压模块4-05、升降液压箱4-06、升降液压柱4-07、液压管，用来通过适配缓冲和适配护边将货车的转向架升起，从而使货车的轮对与钢轨分离并保持5～10 cm的距离，如图3所示。

2.3.2　电源及动力模块的组成及功能

电源及动力模块0-06包括电源箱6-01、电源、液压机6-02，其中电源主要由新能源锂电池组成，用来为大电机和液压机的工作提供电力；液压机则为升降设备、紧固设备以及对位驱动的升降提供液压力，电源及动力模块分解结构设计图如图6所示。

2.3.3　液压动力设备的工作原理

平移槽的设计将驱动车与连锁紧固设备有机联系在一起，即连锁紧固设备通过平移槽卡在驱动车上。这使得连锁紧固设备上的适配主体可将承载的货车总重传递给驱动车，又可以实现紧固模块带动适配主体移动对转向架轮对进行紧固密贴的功能。电源即平面横移调车设备的电池组，使用先进的新能源技术能够避免使用发动机等复杂设备带来污染及维修损耗；液压机可选用目前非常成熟的微型挖机控制设备和技术。

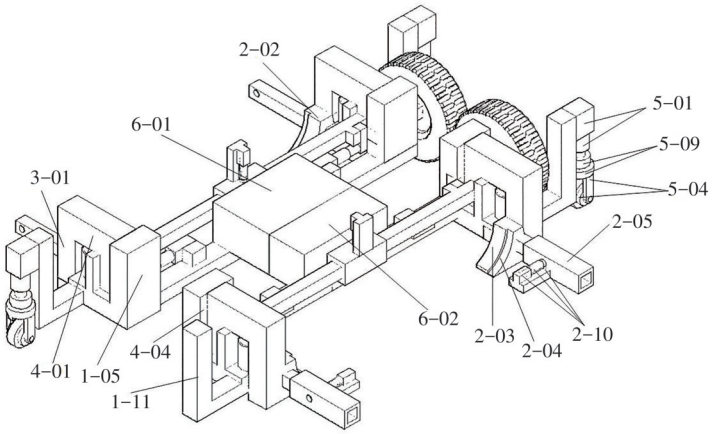


图6　电源及动力模块分解结构设计图

Fig.6　Structural design diagram of power supply and power module decomposition

2.4　控制系统的主要组成及工作原理

控制系统包括输入模块和输出模块2部分，控制系统利用输入模块获取货车轮对的位置信息，并对该位置信息进行处理判断，再通过输出模块控制设备向接近货车轮对的位置运动，其中输入模块包括图像识别模块和超声测距模块，用来识别平面横移调车设备相对货车轮对和钢轨的位置，输出模块用来控制大电机、伸缩装置、电机及齿轮组、驱动电机、旋转电机、液压机、液压管的工作状态。

3　设备校核计算与控制论证

平面横移调车设备的零件结构设计是否满足货车的载重要求，以及在人工智能技术的控制下是否可以完成控制任务，是该智能装备技术可行的重要依据。对平面横移调车设备的关键受力零件进行力学校核，并通过仿真模型的设计和3D打印1∶20的实体模型进行控制系统的可行性测试。

3.1　关键零件的力学校核

由于平面横移调车设备的设计结构简约，其核心受力薄弱环节主要包括货车轮对适配主体的剪切力、货车轮对方轴公、方轴母和驱动轴扭转力等。采用65 Mn碳素钢作为设备零件的材料，设货车总重上限为100 t，对零件选用适当参数(截面尺寸参数仅符合设计的几何空间，并非优化后的结构参数)进行计算，平面横移调车设备关键零件校核计算表如表1所示，对比其许用应力数据，表明平面横移调车设备设计结构在力学上是可行的。

考虑到设备运行时对所有结构的冲击力主要由启动加速度和制动加速度决定，而最大启动加速度和制动加速度5 m/s^{2}为重力加速度(取10 m/s^2)的一半，因

表1　平面横移调车设备关键零件校核计算表

Tab.1　Check calculation sheet for key parts of planar traversing shunting equipment

校核标准 零件名称	截面尺寸	惯性矩/m^4	最大许用应力/ MPa					
			抗拉强度	屈服强度	拉压	剪切	弯曲	扭转
			参考值735	参考值430	参考值340	参考值190	参考值365	参考值180
方轴母	0.14 m×0.14 m	3.2×10^{-5}	—	—	—	12.75	22.86	22.86
方轴公	0.14 m×0.14 m	3.2×10^{-5}	—	—	—	12.75	22.86	22.86
承压板	0.477 m×0.21 m	—	1.8	1.8	1.8	2.5	—	—
升降梁	0.3 m×0.277 m	—	3.2	3.2	3.2	3	—	—
紧固锁公	0.14 m×0.14 m	—	—	—	—	12	—	—
紧固锁母	0.26 m×0.26 m	—	—	—	—	8.5	—	—
驱动轴	$\pi\cdot0.15\times0.15$ m^2	3.2×10^{-3}	—	—	—	3.5	23	23
适配主体	0.25 m×0.42 m	—	5.88	5.88	5.88	2.38	—	—

此，由表1计算结果的1.5倍可知，平面横移调车设备设计结构在动力冲击下依然可行。

3.2　平面横移调车设备的工作原理及控制测试

铁路平面横移调车设备，具体实施的关键原理如下。在控制系统的控制下，对位驱动的驱动液压模块伸长，对位驱动在控制系统的图像识别模块和超声测距模块的反馈帮助下，载着铁路平面横移调车设备运动至货车轮对和钢轨附近所需连锁的位置，并通过连锁模块上的伸缩销实现2台平面横移调车设备的相互连锁后，对位驱动的驱动液压模块缩回，即当适配主体位于钢轨的轨面上，且适配主体与轮对留有一定容错距离时，再利用紧固模块将轮对夹贴紧密并销入伸缩销，最后通过升降模块将连锁模块和紧固模块抬起，即将轮对乃至整个货车抬起，使其与钢轨分离，此时驱动车的驱动轮胎承载了货车和平面横移调车设备的所有质量，平面横移调车设备将在驱动轮胎的滚动下运动至另一股道，在运动过程中，驱动轮胎在控制系统的图像识别模块和超声测距模块的反馈帮助下，以2条钢轨和轮对作为参考，确定平面横移调车设备的停车位置。将货车移入另一股道2条钢轨之间的过程则与上述操作流程相反。对以上过程建立仿真模型推演，平面横移调车设备仿真模型推演图如图7所示。

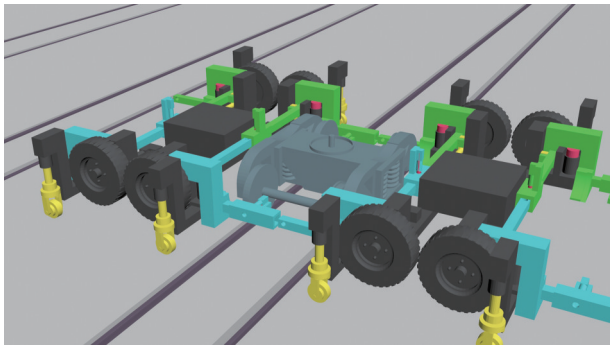


图7　平面横移调车设备仿真模型推演图

Fig.7　Simulation model deduction diagram of planar traversing shunting equipment

依据上述平面横移调车设备的设计方案、工作原理，通过3D打印机将所需的特殊零件以1∶20的比例打印出来，在安装大电机的位置安装小电机代替，并通过锂电池、舵机、继电器、单片机、图像识别模块、激光测距模块等模拟控制系统在设备上布局，最终完成控制系统运行的测试。测试结果表明平面横移调车设备的人工智能控制技术成熟可靠。平面横移调车设备实体模型测试如图8所示。

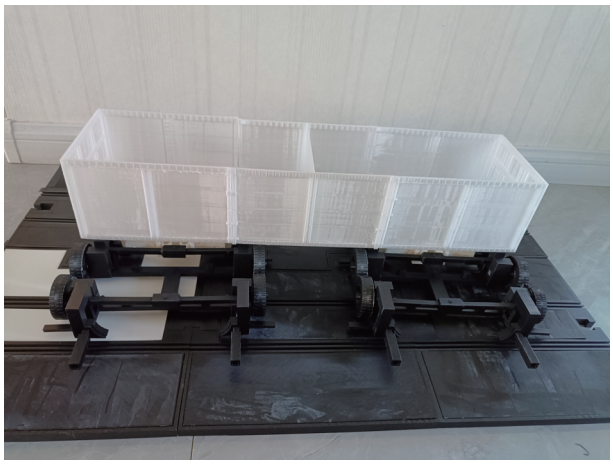


图8　平面横移调车设备实体模型测试

Fig.8　Physical model testing of planar traversing shunting equipment

4　结束语

平面横移调车设备基于货车转向架和轮对的结构特点，通过简约化设计理念设计了连锁紧固设备，并利用人工智能技术赋能驱动设备完成连锁紧固，实现货车与平面横移调车设备嵌入式“连挂”，从而达成货车平面横移的目的，解决了货车“返岔子”解编流程浪费大量调车时间的问题，对从根本上提高铁路物流的时效性和竞争力具有重要意义。平面横移调车设备设计结构简约，适用性强，估算技术站实施平面横移调车设备改造可控制在400万元，为铁路货运改革创新发展、提升竞争力提供了新思路。

参考文献：

[1] 彭齐坤. 上海局集团公司白货物流营销策略探讨[J]. 铁路物流，2025，43(10)：49-53.
PENG Qikun. Non-Bulk Goods Logistics Marketing Strategy of China Railway Shanghai Group Co., Ltd[J]. Railway Logistics，2025，43(10)：49-53.

[2] 秦宝来，武建平. 铁路物流场站发展分析与转型升级路径研究[J]. 铁道运输与经济，2025，47(4)：1-9.
QIN Baolai，WU Jianping. Development Analysis and Transformation and Upgrading Pathways of Railway Logistics Yards[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(4)：1-9.

[3] 万鑫兴，张春民，殷　洁. 基于运输时效性的技术站车流组织优化方法研究[J]. 铁道运输与经济，2019，41(6)：38-42，58.
WAN Xinxing，ZHANG Chunmin，YIN Jie. A Research on Traffic Flow Organization Optimization Method of Technical Station Based on Transportation Timeliness[J]. Railway Transport and Economy，2019，41(6)：38-42，58.

[4] 李子睿，王玉光，张　戎. 铁路物流总包发展对策研究[J]. 铁路物流，2026，44(3)：21−26，48.
LI Zirui，WANG Yuguang，ZHANG Rong. Research on Development Strategies of Railway Logistics General Contracting[J]. Railway Logistics，2026，44(3)：21−26，48.
[5] 孙多财. 铁路快捷货运班列开行方案优化研究[D]. 兰州：兰州交通大学，2019.
[6] 吴云云，王　进，王伟鹏，等. 基于铁公联运出口模式的跨境运输和通关便利化创新与实践[J]. 铁路物流，2025，43(7)：1−5，14.
WU Yunyun，WANG Jin，WANG Weipeng，et al. Innovation and Practice of Cross-Border Transportation and Customs Clearance Facilitation by Rail-Road Intermodal Transport Export Mode[J]. Railway Logistics，2025，43(7)：1−5，14.
[7] 杨文彬. 我国铁水联运集装箱共享联盟的演化博弈[J]. 铁道经济研究，2025(2)：1−10.
YANG Wenbin. Evolutionary Game of Container Sharing Alliance for Rail-Sea Intermodal Transportation in China[J]. Railway Economics Research，2025(2)：1−10.
[8] 交通运输部.2024年交通运输行业发展统计公报[N]. 中国交通报，2025−06−12(002).
[9] 梁　倩. 2024年我国快递业务量达1745亿件[N]. 经济参考报，2025−01−09(1).
[10] 万鑫兴. 基于人工智能技术的三级立体调车系统设计[J]. 铁道货运，2022，40(1)：12−19.
WAN Xinxing. Design of Three-Level Three-Dimensional Shunting System Based on Artificial Intelligence Technology[J]. Railway Freight Transport，2022，40(1)：12−19.
[11] 万鑫兴. 铁路调车辅助设备：CN207173622U[P]. 2018−04−03.
[12] 张春民，万鑫兴，刘新宝. 铁路车站立体调车系统：CN107571887B[P]. 2024−02−13.
[13] 万鑫兴. 铁路货车动力智能化改进设备：CN119636814A[P]. 2025−03−18.

（责任编辑：魏　然）

Research and Design of Planar Traversing Shunting Equipment Based on Logistics Timeliness

WAN Xinxing

(Yinchuan Station, China Railway Lanzhou Group Co., Ltd., Yinchuan 750011, Ningxia, China)

Abstract: Starting from the need to enhance the timeliness and competitiveness of railway logistics, it was analyzed that the time for disassembling and assembling shunting operations is a key factor that significantly affects the timeliness and competitiveness of railway logistics. To this end, by researching and designing a planar traversing shunting equipment, the disassembling and assembling process was simplified from the source, and the disassembling and assembling time was significantly reduced. This equipment fully utilized the bogie and wheelset structure of railway freight cars and made minimal modifications to existing stations, utilizing artificial intelligence control technology to design the planar traversing shunting equipment without altering the existing freight car structure. The key design concepts, principles, and processes were systematically elaborated and demonstrated. The feasibility of the equipment's design structure was demonstrated through force analysis, and the feasibility of the equipment's intelligent control was tested and verified through physical models. The study concludes that the planar traversing shunting equipment can achieve intelligent horizontal movement of freight cars from one track to another, fundamentally improving the timeliness and competitiveness of railway freight transportation.

Keywords: Disassembling and Assembling; Timeliness; Planar Traversing Shunting; Transportation Organization; Intelligent Control