文章编号：2097-5899(2025)08-0034-06　　**中图分类号**：U294.3　　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202503210002
引用格式：丁文赢. “敞顶箱+卷钢托盘”运输方案及应用研究[J]. 铁路物流，2025，43(8)：34-39.
DING Wenying. Transportation Scheme and Application of “Open-top Container+Coiled Steel Pallet”[J]. Railway Logistics，2025，43(8)：34-39.

“敞顶箱+卷钢托盘”运输方案及应用研究

丁文赢

(中铁集装箱运输有限责任公司 箱布管理部，北京 100055)

摘　要：为探索解决“敞车+卷钢座架”运输模式中铁路敞车侧柱加强座损坏导致挑车困难，以及台架式卷钢箱回程空驶等问题，充分利用敞顶箱保有量大、便于顶部装卸且对铁路车辆要求不高等优势，中铁集装箱运输有限责任公司牵头研究设计了“敞顶箱+卷钢托盘”运输方案，通过有限元分析、冲击试验、上路试运等多种方式进行验证。结果表明，“敞顶箱+卷钢托盘”运输方案采用一箱三盘、一盘一槽、缓冲防护、门端限位、防滑胶垫、智能装置等结构，使其具有使用灵活、可靠性高、成本低、拓展快、易回送、不亏吨、智能化等优点，为拓展敞顶箱适箱货源品类提供了新思路。

关键词：铁路；敞顶箱；卷钢托盘；多式联运

我国铁路现行的卷钢运输工具以敞车、平车配合卷钢座架为主，外加少量的台架式卷钢箱[1]。“敞车＋卷钢座架”方式中卷钢座架借用敞车侧柱加强座挡固，实际应用中加强座大量损坏，装载前需要挑选敞车，实操困难。台架式卷钢箱主要不足是回程空驶，浪费铁路运力；按箱计费，亏吨问题突出。随着敞顶箱保有量的逐年提升和运用经验的不断积累，其应用创新也在不断发展[2]。为解决既有卷钢运输方式存在的问题，充分利用敞顶箱保有量大、实重计费、顶部装卸便捷等优势，拓展敞顶箱适箱货源种类及应用范围，提高卷钢运输效率，降低社会物流成本，中铁集装箱运输有限责任公司牵头对“敞顶箱＋卷钢托盘”运输方案及应用展开了研究。

1　铁路敞顶箱与卷钢托盘装运概述

1.1　铁路敞顶箱的结构特点及优势

铁路敞顶箱按照《系列2集装箱 20英尺 35 t敞顶集装箱》(Q/CR 625—2022)[3]制造，敞顶箱主要技术参数如表1所示，该箱采用类似20 ft国际标准箱体结构，顶部敞开，减少了货物装载作业时间；宽度为2 550 mm，容积大、载货多，应用场景多样[4]，可用于多品类的货物装载，如散堆装货物、成件货物等[5]。

表1　敞顶箱主要技术参数

Tab.1　Main technical parameters of open top container

参数名称	数值
总重/kg	35 000
自重/kg	2 680
载重/kg	32 320
箱体外尺寸(长×宽×高)/mm	6 058×2 550×2 896
箱体内尺寸(长×宽×高)/mm	5 893×2 438×2 713
顶部开口尺寸(长×宽)/mm	5 400×2 238
对开门门框尺寸(宽×高)/mm	2 455×2 558

1.2　卷钢规格及卷钢托盘设计原则

1.2.1　卷钢规格

目标卷钢货源主要参数如表2所示。

收稿日期：2025-03-21
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(P2023X014)

表2　卷钢货源主要参数

Tab.2　Main parameters of coil steel

参数名称	数值
最大件重/kg	28 000
直径范围/mm	700~2 000
最大径宽比	2

1.2.2　卷钢托盘设计原则

（1）不改变敞顶箱本身结构，能够实现托盘的快速安放和运用，并满足运输中的各种工况要求[6]。

（2）托盘本身强度足够，能够保证运输不同种类卷钢的安全性[7]，不出现集装箱箱底无法承受的载荷集中。

（3）托盘结构具有较好的对称性，使得在卷钢货物运输及回程返空运输时，重箱重心或总重心位于箱体纵横中心线交叉点上；货物能够规范装载，使得重心横向位移不超过100 mm。

（4）结构设计简单，便于卷钢的装卸，使用中操作简便，能够实现卷钢的快速装载和卸货。

（5）能够实现托盘的多组叠放，以便实现返空运输经济性[8]。

1.3　总体方案

根据前述设计原则及运输卷钢的实际需求，结合敞顶箱尺寸，卷钢托盘设计为分体式结构，1套托盘中共3只托盘，卷钢横向放置，使用时由前端至门端依次摆放3只托盘，两端托盘尺寸一致，中间托盘尺寸较大，适合装载大吨位的钢卷，“敞顶箱 + 卷钢托盘”整体结构示意图如图1所示。



a　整体结构　b　卷钢托盘

a　Bulk structure　b　Coiled steel tray

图1　“敞顶箱 + 卷钢托盘”整体结构示意图

Fig.1　The “open top container+coiled steel tray” integrated structure

1.3.1　主要技术参数

卷钢托盘主要技术参数如表3所示。

1.3.2　主要结构

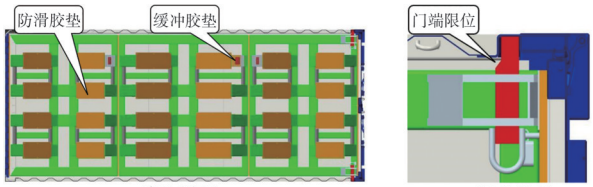
每个托盘均采用“V形”鞍座结构，鞍座承载面设置角度为45°。在箱体内部，3只托盘纵向依靠各自前端设置的橡胶垫进行托盘间的缓冲。前端托盘依靠底部框架前端方管及其上设置的支挡结构与敞顶箱前底横梁进行限位。门端托盘依靠在底部框架设置与门端角柱的卡锁结构实现纵向限位。3只托盘依靠底部框架纵梁与敞顶箱底侧梁进行横向限位。在每个托盘支撑鞍座间设置可用于叉举的横梁结构以便于空托盘转运。

表3　卷钢托盘主要技术参数

Tab.3　Main technical parameters of coil steel pallets

参数名称	数值
托盘总质量/kg	1 500
前端、门端托盘尺寸(长 × 宽 × 高)/mm	1 853 × 2 364 × 700
中间托盘尺寸(长 × 宽 × 高)/mm	2 172 × 2 364 × 800
前端托盘质量/kg	450
前端托盘最大载重/kg	16 500
中间托盘质量/kg	515
中间托盘最大载重/kg	28 000
门端托盘质量/kg	535
门端托盘最大载重/kg	16 500

托盘结构中，整体支撑结构均采用高强度耐候钢。底部框架大横梁及大纵梁均采用方管，鞍座两端均设置横梁方管，并在无鞍座支撑的位置设置中间纵向梁结构，以提高托盘整体刚度。“V形”支撑座采用方管组焊而成，托盘结构为全钢组焊结构。另外在托盘底部、鞍座与卷钢接触部位均设置橡胶垫板，增加卷钢运输过程中的摩擦，防止横向窜动。鞍座设计高度考虑了卷钢纵向的滚动行程。胶垫设置及限位结构示意图如图2所示。



a　胶垫设置　b　限位结构

a　Rubber pad installation　b　Limiting structure

图2　胶垫设置及限位结构示意图

Fig.2　Rubber pad installation and limiting structure

2　卷钢托盘在铁路敞顶箱中的应用分析

2.1　卷钢托盘对卷钢运输安全与效率的影响分析

卷钢托盘可以叉装或者吊装入出箱。卷钢托盘在敞顶箱内的固定依靠其底侧梁在箱内横向进行限位，在门端设置限位结构实现纵向固定，固定方便快捷，解决了卷钢运输装载加固困难、辅助材料浪费的问题，节省了人工成本、时间成本，提高了卷钢的装卸效率。托盘按顺序在敞顶箱内装载就位固定后，卷钢从敞顶

箱顶部吊装入箱放置在“V形”鞍座结构斜面上，由吊车工配合地面操作人员即可实现装箱，作业效率高，一般2 min即可完成1只卷钢的装载。现场装箱情况如图3所示。



图3　现场装箱情况

Fig.3　On-site container loading

卷钢托盘在设计之初就考虑了多层堆码的设计理念，使其回程运输时能够实现1只敞顶箱可装5套卷钢托盘，1辆敞车可装16套卷钢托盘（不用敞顶箱，直接装在敞车），其余的敞顶箱则可以就近选择合适的货源带货返程，提高了敞顶箱的周转运用效率，避免了返程回空浪费，实现了经济效益最大化。

2.2　卷钢托盘运用可行性研究

2.2.1　卷钢在托盘上的横、纵向受力计算分析

卷钢在运输过程中，受到横向惯性力和横向摩擦力的作用，只有在横向惯性力小于横向摩擦力时才能避免横向移动，否则应增加横向加固装置。横向惯性力按照《铁路货物装载加固规则》(TG/HY 102—2015)[9]进行计算。以最大单件质量28 t卷钢装载时的情况为例，计算过程如下。

（1）货物横向惯性力N计算公式为

$$N = n_0 \times Q \tag{1}$$

$$n_0 = 2.8 + 2.2 \times a/L \tag{2}$$

式中：n_0为每吨货物的横向惯性力，kN/t；Q为货物质量，t；a为装载货物的重心偏离车辆横中心线的距离，mm；L为铁路运输车辆转向架中心距，mm。

选取X_{70}型平车校核恶劣工况，转向架中心距L=9 000 mm，卷钢重心偏离车辆横中心线的距离a=76÷2+6 058÷2=3 067 mm。通过计算可得，n_0≈3.56 kN/t，N=99.68 kN。

（2）垂直惯性力$Q_{垂}$计算公式为

$$Q_{垂} = q_{垂} \times Q \tag{3}$$

式中：$q_{垂}$为每吨货物的垂直惯性力，kN/t。

使用敞车和普通平车装载时

$$q_{垂} = 3.54 + 3.78 \times a/L \tag{4}$$

仍选取X_{70}型平车校核恶劣工况，转向架中心距L=9 000 mm，卷钢重心偏离车辆横中心线的距离a=76÷2+6 058÷2=3 067 mm。通过计算可得，$q_{垂}$≈4.83 kN/t，$Q_{垂}$=135.24 kN。

（3）货物横向摩擦力$F_{横}$计算公式为

$$F_{横} = \mu(9.8Q - Q_{垂}) \tag{5}$$

式中：μ为钢与橡胶垫之间的摩擦系数，取0.8。

通过计算可得，$F_{横}$≈111.33 kN。横向摩擦力$F_{横}$大于横向惯性力N，因此，卷钢在铁路线路运输中横向不需要进行限位，试运已证明卷钢未发生横向窜动。

2.2.2　卷钢托盘纵向受力仿真分析过程及结果

卷钢在运输过程中受到的纵向惯性力可以依靠鞍座结构进行抵消，其冲击过程中的应力根据《铁路货物装载加固试验方法》(Q/CR 919—2022)[10]进行仿真分析。应用仿真分析软件建立箱体及托盘的有限元模型，依据集装箱及铁路冲击试验各工况中的要求对卷钢托盘进行有限元计算，结果表明托盘整体强度能够满足运用需要。

（1）纵向冲击2g加速度工况，中部托盘装卷28 t，取仅靠内侧2对鞍座承载的最恶劣工况，计算最大应力274 MPa，中部托盘计算应力图如图4所示，应力小于材料的屈服强度355 MPa，强度足够。

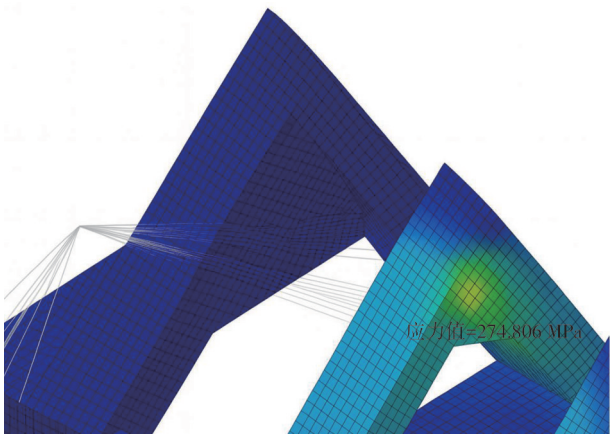


图4　中部托盘计算应力图

Fig.4　Stress analysis diagram of the central tray

（2）纵向冲击2g加速度工况，端部托盘装卷16.5 t，取仅靠内侧2对鞍座承载的最恶劣工况，计算最大应力177 MPa，端部鞍座计算应力图如图5所示，应力小于材料的屈服强度235 MPa，强度足够。

（3）纵向冲击2 g加速度工况(前端方向)，取允许超集装箱总重1 t的最恶劣工况，计算前端下端梁最大应力351 MPa，箱体前端计算应力图如图6所示，应力

小于材料的屈服强度450 MPa，强度足够。

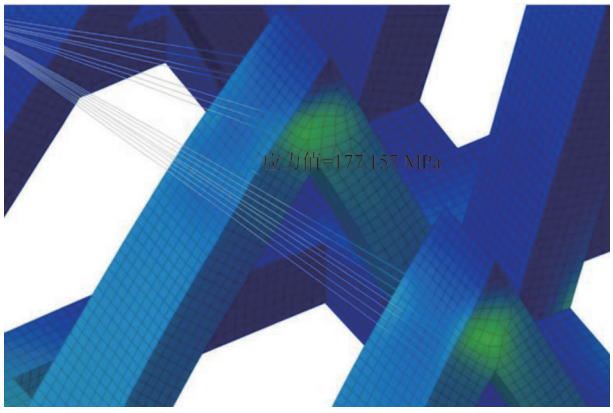
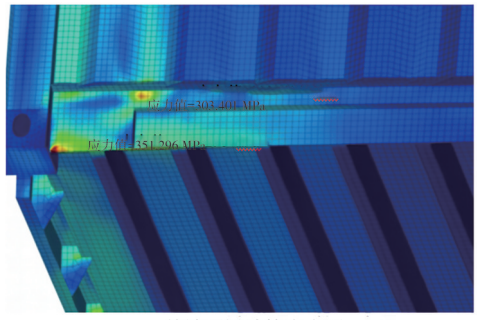


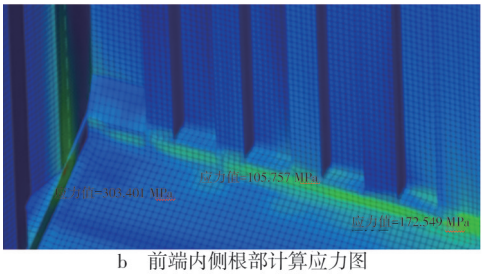
图5　端部鞍座计算应力图

Fig.5　Stress analysis diagram of the end saddle



a　前端下梁计算应力图

a　Stress analysis diagram of the end wall bottom beam



b　前端内侧根部计算应力图

b　Stress analysis diagram of the end wall inner root

图6　箱体前端计算应力图

Fig.6　Stress analysis diagram of the end wall of a container

2.2.3　型式试验过程及结果

为验证产品的使用安全性，按照《系列2集装箱20英尺35 t敞顶箱》(Q/CR 625—2022)型式试验要求，利用大连中车大齐集装箱有限公司干散箱试验台对敞顶箱和卷钢托盘进行试验，本托盘在制造及试验过程中，由中国船级社大连检验中心依据《集装箱检验规范》[11]进行监检。

堆码试验工况对箱体和托盘结构强度要求最为严苛，其中最大载荷为64 t，角件加载偏载载荷为617.5 kN/角柱，按照集载和均布2种工况加载于整组及中间托盘上。试验时，运用专门研制的加载工装以确保试验砝码的加载和试验的正确。堆码载荷工况如图7所示。



图7　堆码载荷工况

Fig.7　Load condition for container stacking

试验中，集装箱及托盘变形满足标准要求，卸载后，箱体及托盘未产生影响使用的永久变形和异状。试验结果表明，托盘及箱体强度能够满足使用需求。

2.2.4　冲击试验情况及结果

试验方案由中国铁道科学研究院集团有限公司运输及经济研究所按照《铁路货物装载加固规则》(TG/HY 102—2015)及《铁路货物装载加固试验方法》(Q/CR 919—2022)制定。试验在中车齐齐哈尔车辆有限公司铁路冲击试验台上进行，试验中“敞顶箱＋卷钢托盘”按照满载进行指定质量卷钢的装载。

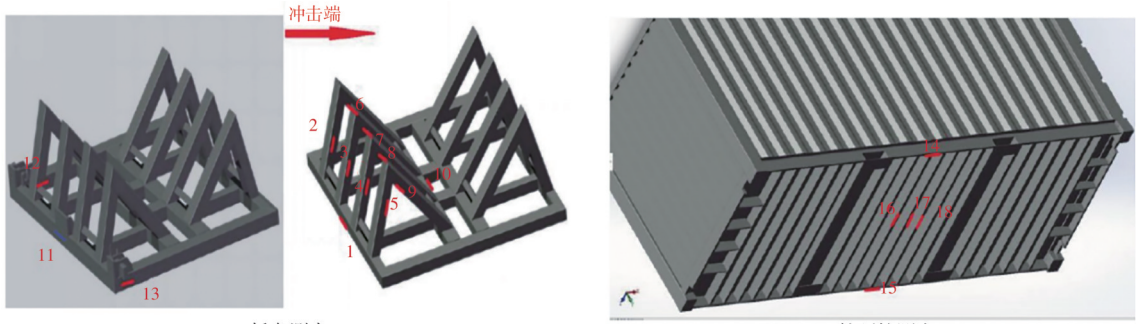
以单卷装载于中间托盘试验工况为例，托盘及敞顶箱应力测点分布如图8所示，铁路冲击试验过程如图9所示。

各项装载工况冲击试验完成后，箱体及托盘均未产生影响使用的永久变形和损坏，测点应力均小于箱体及托盘材质的许用应力值，托盘和箱体冲击测试通过。

通过对“敞顶箱＋卷钢托盘”进行上述试验验证，结果表明，托盘及敞顶箱的结构整体强度能够满足铁路及联运运输工况的考验，适用于运输符合要求的不同品类的卷钢产品。

2.3　试运情况

卷钢托盘检验认证通过后，于2024年3—5月，在河北敬业钢铁有限公司、中国铁路北京局集团有限公司管内石家庄正定—天津新港站间，采取以下4种不同的运输方案进行了试运。①车站装箱，每箱3卷卷钢，铁路平车运输；②钢厂装箱，每箱1只大卷，公路短驳到站，铁路平车运输；③钢厂装箱，每箱3卷卷钢，公路短驳到站，铁路敞车运输；④钢厂装箱，每箱1只大卷，公路短驳到站，铁路敞车运输。经历了公路短驳运输、吊卸装车作业、过驼峰运输等实际运输作业情况的测试，并通过托盘装载的智能监控定位装置盯控



a　托盘测点
a　Measurement point for pallets

b　敞顶箱测点
b　Measurement point for open-top containers

图8　托盘及敞顶箱应力测点分布

Fig.8　Stress measurement point distribution diagram for pallets and open-top container



a　装载工况
a　Loading condition

b　试验现场
b　Testing site

图9　铁路冲击试验过程

Fig.9　Railway impact test process

卷钢托盘位置，到站后派员工赴现场进行检查。4次试运中敞顶箱无任何变形及异状产生，卷钢托盘状态完好、锁定牢固，卷钢未发生任何横向位移及旋转，天津新港站到站入箱查看卷钢装载状态如图10所示。通过试运验证了“敞顶箱＋卷钢托盘”的公路短驳运输、铁路运输的安全性和可操作性，满足大面积推广的预期效果。

3　设计总结

（1）“敞顶箱＋卷钢托盘”采用一箱三盘、一盘一槽、缓冲防护、门端限位、防滑胶垫、智能装置等结构，使其在运输中具有使用灵活、可靠性高、成本低、拓展快、易回送、不亏吨、智能化等优点。

（2）通过4次试运验证了卷钢托盘产品在公铁联运和接驳环节过程中的安全性、可靠性、稳定性和多场景应用的适应性。

（3）托盘结构简单，主体结构均采用通用型高强度耐候钢，保证了托盘的强度和耐腐蚀性能，采用模块化的组装工艺制造，生产制造成本得以降低，提高了产品的市场竞争力。

（4）托盘可堆叠，1只敞顶箱内能够叠放5套卷钢托盘，节省了返空时的运输成本。



图10　天津新港站到站入箱查看卷钢装载状态

Fig.10　Inspect the coiled steel loading status inside the container upon arrival of Tianjin New Port Station

（5）“敞顶箱＋卷钢托盘”的运输模式，是一种集

装化的物流运输解决方案，便于铁公水多式联运。

4 结束语

作为国民经济的重要支柱产业，钢铁行业需要更为高效、安全、环保的运输服务。创新产品“敞顶箱＋卷钢托盘”运输方案通过了检验认证，并成功进行了试运，可以广泛应用于各类大小型卷钢的铁路运输，推动卷钢运输“公转铁”。“敞顶箱＋卷钢托盘”运输方案减少中间倒装作业环节，实现“一箱到底”、全流程的智能化追踪和监测，在降低运输成本、提高运输能力、优化供应链结构等方面具有明显优势，为卷钢多式联运提供了一种创新的解决方案，具备较好的推广价值。

参考文献：

[1] 袁 舜，潘 帅，刘毛毛，等. 基于SolidWorks和Ansys的铁路卷状货物横向限位运输座架设计[J]. 包装工程，2024，45(7)：289−294.
YUAN Shun，PAN Shuai，LIU Maomao，et al. Design of Railway Rolled Goods Lateral Stopper Steel Frame Based on SolidWorks and Ansys[J]. Packaging Engineering，2024，45(7)：289−294.

[2] 罗先立. 聚焦服务新发展格局 力促多式联运提质增效降本[J]. 中国远洋海运，2023(9)：38−44，9.
LUO Xianli. Focus on the New Development Pattern of Services to Promote Multimodal Transport to Improve Quality，Increase Efficiency and Reduce Costs[J]. Maritime China，2023(9)：38−44，9.

[3] 中国国家铁路集团有限公司. 系列2集装箱 20英尺35 t敞顶集装箱标准：Q/CR 625—2022[S]. 北京：中国铁道出版社，2022：4.

[4] 郭凯生. 铁路集装箱多式联运增量瓶颈对策探讨[J]. 铁道货运，2024，42(8)：15－20.
GUO Kaisheng. Strategy for Increment Bottleneck of Railway Container Multimodal Transport[J]. Railway Freight Transport，2024，42(8)：15－20.

[5] 刘柄全. 铁路集装箱箱内典型货物品类装载加固策略[J]. 铁道货运，2024，42(3)：42−47.
LIU Bingquan. Loading Reinforcement Strategies for Typical Commodity Categories in Railway Container[J]. Railway Freight Transport，2024，42(3)：42−47.

[6] JEONG Y，KIM G. Reliable Design of Container Shipping Network with Foldable Container Facility Disruption[J]. Transportation Research Part E：Logistics and Transportation Review，2023，169：102964.

[7] 国家铁路局. 机车车辆强度设计及试验鉴定规范 车体 第2部分：货车车体：TB/T 3550.2—2019[S]. 北京：中国铁道出版社，2019：20−22.

[8] 段力伟，吴晓莉. 集装箱多式联运空箱调运问题研究综述[J]. 铁道运输与经济，2024，46(10)：82−97.
DUAN Liwei，WU Xiaoli. Review of Empty Container Repositioning Problems in Intermodal Transport[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(10)：82−97.

[9] 中国铁路总公司. 中国铁路总公司铁路货物装载加固规则[M]. 北京：中国铁道出版社，2015.

[10] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路货物装载加固试验方法：Q/CR 919—2022[S]. 北京：中国铁道出版社，2022：7−10.

[11] 中国船级社. 集装箱检验规范2021[A]. 北京：中国船级社，2021.

（责任编辑：李丹丹）

Transportation Scheme and Application of “Open-top Container+Coiled Steel Pallet”

DING Wenying

(Container & Tarpaulin Management Department，China Railway Container Transport Co.，Ltd.，Beijing 100055，China)

Abstract: This paper aims to address issues such as the damage to side posts of railway open-top cars, which makes it difficult to unload, and the empty return of rack-type coiled steel boxes in the “open car+coiled steel seat frame” transportation model. It fully utilized the advantages of a large number of open-top containers, which are easy to load and unload from the top and have low requirements for railway vehicles. China Railway Container Transport Co., Ltd. took the lead in researching and designing the “open-top container+coiled steel pallet” transportation scheme. The scheme was validated through methods such as finite element analysis, impact testing, and trial runs on the road. The results indicate that the “open-top container+coiled steel pallet” transportation scheme uses a combination of one container with three pallets, one pallet with one groove, buffer protection, door-end limiters, anti-slip pads, and intelligent devices. These structural features make the scheme flexible to use, highly reliable, cost-effective, quickly expandable, easy to return, and able to maintain weight, offering a new approach for expanding the source of cargo types that can be transported using open-top containers.

Keywords: Railway; Open-top Container; Coiled Steel Pallet; Multimodal Transport