



智能空轨集疏运系统设计

殷健, 李永翠, 耿卫宁, 孙秀良

(青岛新前湾集装箱码头有限责任公司, 山东 青岛 266500)

摘要:针对多式联运衔接不畅、港城发展冲突等全球港口存在的行业性难题,采用基于码头生产调度平台的多系统集成方法解决多类软件架构、多接口和多数据格式等多源信息融合问题;采用复杂场景下多定位技术融合方法解决码头复杂环境下智能空轨系统中各种设备的精准定位问题。将空中轨道运输技术与码头业务需求结合,通过立体交通方式打通海铁联运的最后一公里,为多式联运衔接不畅、港城交通冲突提供了解决方案,可为其他港口的空轨应用及其他行业解决地面交通拥堵问题提供借鉴。

关键词:集装箱;空轨系统;海铁联运;装卸站点

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)08-0074-06

Design of intelligent air-rail collecting and distributing system

YIN Jian, LI Yong-cui, GENG Wei-ning, SUN Xiu-liang

(Qingdao New Qianwan Container Terminal Co., Ltd., Qingdao 266500, China)

Abstract: To solve the problems existing in global ports such as the poor connection of multimodal transport and conflict of port city development, we adopt the multi-system integration method based on terminal production scheduling platform to deal with the multi-source information fusion, such as multi-software architecture, multi-interface, and multi-data format. For the precise positioning of various equipment in the intelligent overhead rail system under the complex wharf environment, we adopt the method of multi-positioning technology integration in complex scenes. Combining the air rail transport technology with the terminal business demand, we open the last kilometer of sea-railway intermodal transport through three-dimensional transportation mode, which provides a solution for the poor connection of multimodal transport and the traffic conflict between ports and cities, and provides a reference for the application of air-rail in other ports and industries to deal with the ground traffic congestion.

Keywords: container; air rail system; sea-rail combined transport; loading and unloading sites

国内在空轨客运领域进行了大量研究:顾文钊等^[1-2]研究空轨客运与现有城市交通的融合;申彦利等^[3-4]研究空轨钢结构设计建模;雷成健等^[5-6]研究空轨的信号控制系统;范巧莲等^[7-8]研究空轨的能源供应及安全问题。上述研究皆为空轨货运技术的发展奠定了基础。

前湾港区是山东港口集团青岛港主港区,有40个泊位,其中集装箱专用泊位22个。2020年集装箱吞吐量约为2 000万TEU,预计2025年集

装箱吞吐量将达到3 000万TEU。随着作业量的增加,海铁联运衔接环节集卡运输的弊端逐步显现:集卡车流对港内生产秩序造成干扰,安全、效率得不到保障;集卡废气排放污染工作环境。前湾港区急需建设一种智能高效、绿色环保、运输能力稳定的集装箱全新运输方式。

1 工程概况

青岛港与中车长江集团合作研发了前湾港区

收稿日期:2020-11-29

作者简介:殷健(1964—),男,高级工程师,从事码头规划、设计及运营管理。

空轨智能集疏运系统, 该系统是一种基于轨道交通标准设计的新型多式联运物流运输系统, 结合港口机械设计标准和安全作业规程, 融合中车轨道交通技术研发而成。该系统首次将空中轨道货运与港口装卸业务结合, 将立体交通概念应用于港口生产^[9]。

项目分为 2 期建设: 一期工程连通青岛前湾联合集装箱码头有限责任公司(简称 QQCTU)和青岛新前湾集装箱码头有限责任公司(简称 QQCTN), 起点于 QQCTN 全自动导引车运行区西端, 终点于 QQCTU R09 堆场, 并规划线路延伸至港区外, 在原铁路规划南港站位置建设中转站; 二期工程延伸至前湾北岸铁路港站, 打通前湾南岸海铁联运最后一公里^[10], 见图 1。

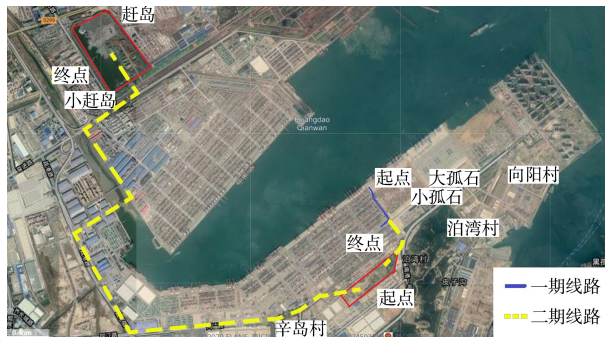


图 1 前湾港区智能空轨集疏运系统项目规划

2 线路设计

2.1 线路配置

示范段长 620 m, 采用复线线路, 共配置 4 个装卸站点、1 个检修平台。QQCTN 侧分配 2 个装卸站点, 空轨动车与 AGV (automated guided vehicle, 自动导引运输车) 交互; QQCTU 侧分配 2 个装卸站点, 匹配 IGV (intelligent guided vehicle, 智慧型引导运输车) 或无人集卡。

2.2 QQCTN 侧装卸站点设计

QQCTN 侧装卸站点位于岸桥跨距后方。设计原则为不影响岸桥作业, 满足 AGV 与空轨高效交互。

2.2.1 方案 1: 空轨与 AGV+AGV 支架交互方式

1 条线布置 2 个装卸站点, 空轨与 AGV、AGV 支架交互, AGV 支架位于端部。

1) 优点: 装卸区与堆场海侧 AGV 的装卸作业

区一致, AGV 的调度算法改动小(待评估), 可满足远期运能。

2) 缺点: 装卸区长 ≥ 40 m, 但由于 AGV 的停车区长度有限, 为了不侵占 AGV 的快速车道, AGV 支架必须向岸桥交互区延伸, 需要调整岸桥交互区域磁钉布置; 同时调整 AGV 的调度算法; 空轨端部轨道会侵占岸桥后部外沿空间, 影响后期岸桥端部作业; 改动工作量大, 工期不能保证。

2.2.2 方案 2: 空轨与 AGV 交互方式

1 条线布置 1 个装卸站点, 空轨与 AGV 直接交互, 直接交互位位于端部。

1) 优点: 整个停车装卸区间 23 m, 位于 AGV 停车区(24 m)范围内, 不需要调整 AGV 运行区磁钉布置, AGV 的调度算法也不需要调整。

2) 缺点: 空轨与 AGV 对接, 匹配不及时会造成 AGV 占用, 影响自动化码头侧装卸船效率。

2.2.3 方案 3: 空轨与 AGV 支架交互方式

1 条线布置 1 个装卸站点, 空轨与 AGV 支架直接交互, 支架位于端部。

1) 优点: 空轨与 AGV 支架对接, AGV 运行灵活性更高, 不会因为空轨的延误, 导致 AGV 占用。

2) 缺点: 由于 AGV 进入 AGV 支架必须正向进入, 故在装卸点前方必须有一个 AGV 长度的直线段, 用作 AGV 车身摆正。但由于 AGV 的停车区长度有限, 为了不侵占 AGV 的快速车道, AGV 支架必须向岸桥交互区延伸, 须调整岸桥交互区磁钉布置, 同时调整 AGV 的调度算法, 工作量大, 周期不能保证。

目前自动化码头配备 83 台 AGV, 水平运输能力相对充足。综合考虑 AGV 运行区内的施工量和 AGV 调度系统的开发工作量, 选择方案 2。

2.3 QQCTU 侧交互站点设计

QQCTU 侧交互站点位于 R09 箱区, 交互采用全自动模式。人工集卡作为异常情况的临时补充, 该交互站点须同时满足空轨与 IGV、空轨与人工集卡交互的功能。目前国内尚无对自动化作业和人工作业混合场景进行法律上的明确规定, 为规避可能存在的法律风险、确保作业的安全, 自动

化设备须与人工设备进行物理上的硬隔离^[11]。

2.3.1 方案 1

交互区共设立 12 个空轨动车与地面水平运输设备交互位置，每条空轨线路 6 个，A1、A2、A3、B1、B2、B3 为人工集卡交互位置，a1、a2、a3、b1、b3、b3 为空轨动车与 IGV 交互位置，见图 2a)。

- 1) 优点：空轨 A、B 线都可与人工集卡、IGV 交互，可同时进行 2 种交互模式作业，运输效率高。
- 2) 缺点：占用土地面积大、交互点多、系统

控制复杂。

2.3.2 方案 2

交互区共设立 6 个空轨动车与地面水平运输设备交互位置，每条空轨线路 3 个，B1、B2、B3 为人工集卡交互位置，A1、A2、A3 为空轨动车与 IGV 交互位置，见图 2b)。

- 1) 优点：占用土地面积小，交互点少，系统控制简单。
- 2) 缺点：A、B 线只能单独与集卡或 IGV 交互，适应工况能力低，运输效率低。

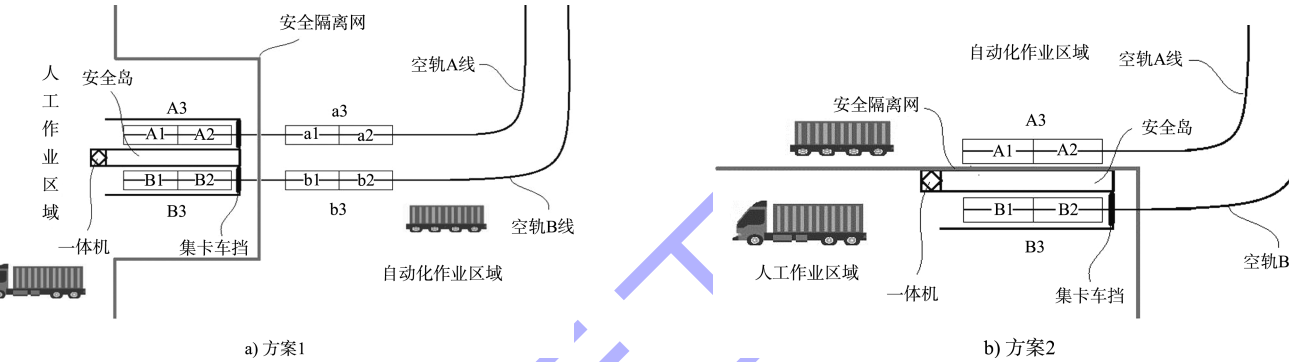


图 2 空轨与 AGV 支架交互场景

综合考虑方案 1、2 的优缺点，结合 R09 区域空间情况和空轨运量测算，选择方案 1。

3 空轨系统构成

空轨系统由动车、轨道、供电、运行控制、信息和站点装卸等六大模块构成。空轨信息系统

从港口获取待运集装箱信息及地面运输设备的调度信息，制定运输计划发送给运行控制系统。运行控制系统根据运单信息控制货运列车沿轨道方向运行，运行过程中由供电系统提供电能输出。在装卸站点精准停靠，通过与地面设备配合完成集装箱转运和装卸。空轨系统设计参数见表 1。

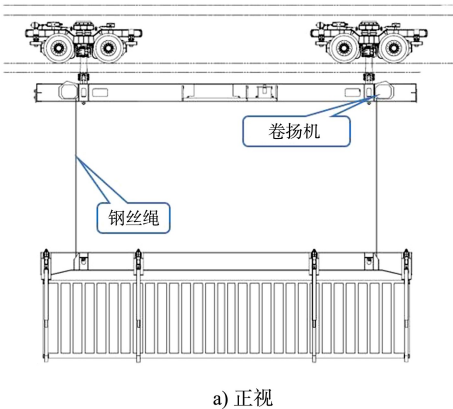
表 1 智能空轨集疏运系统设计参数

作业集装箱规格	额定载质量/t	车辆编组及转向架形式	车辆最大运行速度/(km·h ⁻¹)	提放箱时间/s	提升高度/m
20 GP、40 GP、45 HC	35.5	M 型	40	≤80	≥6

3.1 动车系统

空轨动车系统由卷扬机和吊具等设备组成(图 3)，负责集装箱的抓放与水平运输。

- 1) 提升系统：由卷扬机、钢丝绳与滑轮组组成车架的升降装置，左右两侧卷扬机通过滑轮组均衡两侧机构载荷；内侧钢丝绳通过倾斜拉伸改善防摇性能。
- 2) 防护系统：由顶部转锁机构和二级防护组成集装箱防护装置，两者相互配合，完成动车运输集装箱的锁紧和防护。



a) 正视

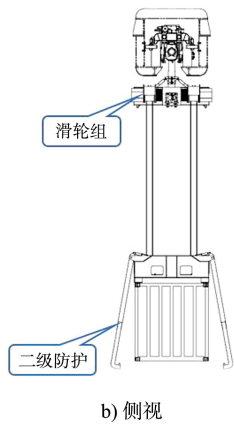


图 3 空轨动车系统结构

3.2 轨道系统

出于对结构用钢量、结构刚度、加工及施工便捷性、结构可靠性等多方面的考虑,对轨道梁、墩柱、跨距进行多方案比选,其中对轨道梁进行桁架梁方案和实腹箱型梁方案的比选,虽然桁架方案理论上用钢量较小且刚度较大,但考虑到桁架式方案无建设经验、构造复杂、疲劳问题突出等缺点,以及后期维护的成本可能较高,最终选

择了实腹式方案。实腹式方案用钢量较大,但其可靠度更高,并且加工方便,更加适合本项目。

结合码头作业运行空间的要求,空轨系统集装箱底部距离地面集装箱底部至行走面高度均在 6 m 以上,场地建设要求墩柱底部小于 1.6 m×1.6 m。综合考虑多种因素,最终选定墩柱最大高度为 16.510 m。

墩柱间距对整体用钢量的影响大,选择合适的墩柱间距尤为重要^[12]。根据《悬挂式单轨交通技术标准》,轨道梁跨度宜采用 20~30 m。同时空轨系统建设于港区内主干道旁边,柱间有集装箱卡车转弯的要求,因此柱距不宜太小,结合不同跨距时对整体用钢量的测试选取跨距为 30 m。

3.3 供电、通讯系统

3.3.1 供电系统

变电所的位置综合考虑空间、外部电源点距离等因素确定,近期选择示范线中间位置作为上电点,建设位置选择 R09 箱区端头;远期从经济性考虑,变电所的位置离线路两端越近越好,供电系统设计参数见表 2。

表 2 智能空轨供电系统设计参数

输入电源 (AC)/kV	额定供电 电压(DC)/V	供电方式	额定电压 变化范围(DC)/V	供电最大 电流/A	低压配电额定电压(AC)		低压配电 总容量/kVA
					电压/kV	频率/Hz	
10(±5%)	600	第三轨	500~700	1 500	0.4	50	200

3.3.2 通信系统

采用 4G/5G 无线通信技术,通过漏缆方式进行通信。避免空轨通信对码头 AGV、4G 对讲机等现有通信的干扰。通过信号加强保证通信稳定;通过抗干扰、认证接入、数据加密确保通信安全。

3.4 运行控制系统

空轨运行控制系统是以基于通信的列车控制系统为基础,加入了运单处理、行车智能调度、集装箱防护、站点装卸控制等功能,实现集装箱的自动化转运装卸。系统主要由列车自动监控系统(ATS)、区域控制器 ZC+计算机联锁系统(CI)、车载 ATP/ATO 系统(VOBC)、数据通信系统(DCS)组成,见图 4。

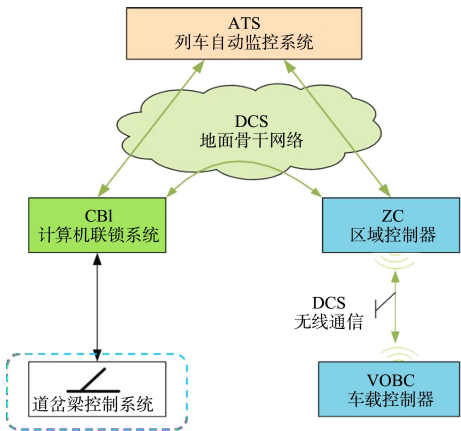


图 4 智能空轨运行控制系统架构

3.5 信息系统

空轨信息系统是集运输调度、综合监控、运

维、数据信息交互等子系统于一体的智能化信息平台。该平台以集装箱运输调度为核心，提供系统状态综合管理，实现各子系统间信息互通和设备联动(图 5)。前湾港区空轨集疏运系统的难度

在于空轨线路连通 2 家集装箱公司，而 2 家公司的生产管理系统各自独立，集装箱在空轨线路上运行时须跨运不同的海关监管场所，同海关形成实时信息交互。

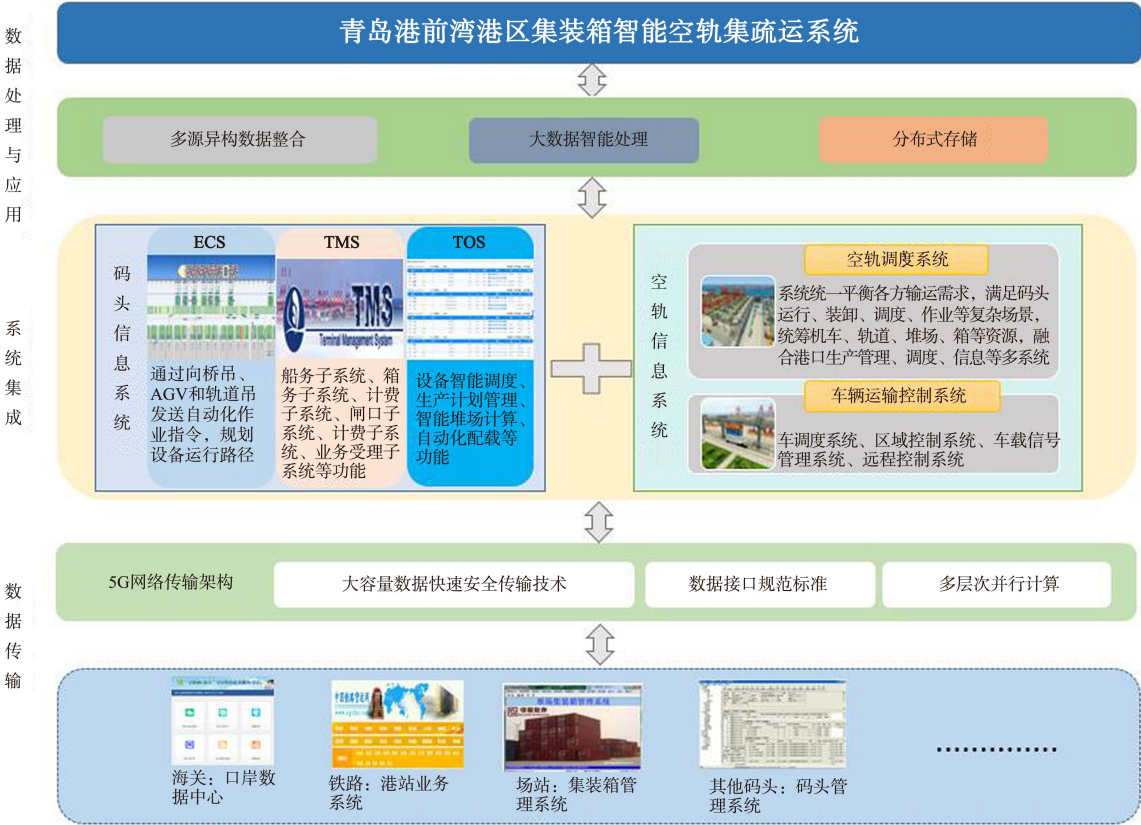


图 5 智能空轨信息系统架构

3.6 站点装卸系统

为保证空轨集疏运系统的工作效率，设计了空轨运行控制系统与站点装卸之间的连锁控制方案。整个连锁控制系统架构由 3 层构成，分别为终端的接驳辅助定位系统、中层的站点装卸管理系统(SMS)和上层的空轨运行控制系统。各个装卸站点状态识别导引系统通过光纤网络将状态信息汇总于中央控制室的站点装卸管理系统。

自动化站点、空轨与 AGV 交互、空轨动车与 AGV 进行集装箱交互作业时，为确保精准定位、高效装卸，项目集成创新了空轨动车全自动作业定位系统与技术：采用车辆交叉感应环线和基于测速的组合定位技术^[13]，定位精度为±20 mm，实现空轨动车的精确停车；采用激光扫描仪加编码

器双重校验定位控制空轨动车吊具的升降与平移，最终实现与 AGV 的集装箱交互作业。

人工站点，接驳辅助定位采用多雷达检测方式，引导司机进行集装箱装卸站点的集卡停靠。所有雷达接入控制器通过电缆将处理数据传输至轨道梁旁的 LED 显示屏供司机观察，同时装卸区画有标线，供集卡司机参考。

4 结论

1)前湾港区智能空轨集疏运项目是空轨技术首次在港口装卸领域的应用，可以解决多式联运衔接弱的问题，同时也可以解决地面交通无法避免的平交问题，符合产业高端化、融合化和绿色发展趋势，是智慧港口建设的有益探索。

2)短途点对点的运输无法充分发挥空轨的优势。空轨的优势在于中长途、网状线路的规模运输,其关键在于与码头现有作业模式的无缝融合,因此空轨系统设计要充分考虑码头现有作业模式特点,明确对接业务类型。

3)空轨系统建设的难点不在土建和设备硬件制造,而在于空轨调度控制系统和码头生产管理系统的融合。随着空轨线路的延伸,空轨调度控制系统须对接多家码头、场站、铁路港站等集装箱集散地,系统的底层架构在初始建设时须整体统筹设计。

4)空轨运输方式为有轨运输,其灵活性不及地面集卡运输。空轨货运与空轨客运在服务对象的灵活性上也有本质区别,空轨运输过程中对停电、动车故障、箱货异常等特殊情况的处置效率制约着空轨系统整体运输效率,仍需要深入研究、持续完善。

参考文献:

[1] 顾文钊, 谢明海, 曹从咏. 中小型城市发展空轨交通的可行性分析[J]. 城市公共交通, 2014(1): 26-30.

[2] 蒋洁, 侯红学, 孙海荣, 等. 浅谈城市轨道交通车辆的研究与发展[J]. 中国高新技术企业, 2013(29): 96-98.

[3] 申彦利, 申慧强. 空轨结构的有限元模型合理性分析[J].

广西大学学报(自然科学版), 2019, 44(1): 228-236.

[4] 申慧强. 空轨结构数值模型合理性及工程应用[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2018.

[5] 雷成健. 基于车车通信的空轨全自动运行控制系统关键技术研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(9): 43-44.

[6] 王珮瑶. 浅析悬挂式轨道交通信号系统制式方案[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(4): 46-49.

[7] 范巧莲, 王震龙. 新能源空轨供能系统安全可靠研究[J]. 电气化铁道, 2020, 31(5): 73-75.

[8] 李鹤群, 任宝兵. 空轨列车牵引传动及辅助电源系统设计[J]. 铁道机车与动车, 2020(10): 1-4, 19.

[9] 刘清, 阳盈, 朱新建, 等. 基于生态位理论的综合立体交通体系不同运输方式定位研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2021, 45(2): 202-206.

[10] 耿卫宁, 张来祥, 李波, 等. 青岛港前湾港区空轨应用探讨[J]. 水运工程, 2020(8): 86-90.

[11] 张玉龙, 耿卫宁. 自动化集装箱码头人机交互安全机制探讨[J]. 集装箱化, 2017, 28(8): 25-26.

[12] 林志坚, 刘泓. 高桩码头大跨度非完全排架结构承载特性[J]. 水运工程, 2019(5): 84-90.

[13] 谭晓刚. 基于 INS/GPS 组合导航在列车定位技术中的应用[C]//中国智能交通协会. 第十五届中国智能交通年会科技论文集(2). 北京: 中国智能交通协会, 2020.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

交通运输部关于发布《水运工程模拟试验技术规范》的公告

现发布《水运工程模拟试验技术规范》(以下简称《规范》)。《规范》为水运工程建设推荐性行业标准,标准代码为 JTS/T 231—2021,自 2021 年 7 月 1 日起施行。《内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程》(JTS/T 231-4—2018)、《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》(JTS/T 231-2—2010)、《通航建筑物水力学模拟技术规程》(JTJ/T 235—2003)和《波浪模型试验规程》(JTJ/T 234—2001)同时废止。

《规范》由交通运输部水运局负责管理和解释,实施过程中具体使用问题的咨询,由主编单位交通运输部天津水运工程科学研究所答复。《规范》文本可在交通运输部政府网站水路运输建设综合管理信息系统“水运工程行业标准”专栏 (mwttis.mot.gov.cn/syportal/sybz) 查询和下载。

https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/syj/202106/t20210630_3610862.html (2021-06-30)