

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2021.03.035

适用于现浇综合管廊快速施工的智能台车受力性能分析

吴尚杰

(福建建工集团有限责任公司,福建福州350003)

摘要:为满足综合管廊现浇快速施工的需求,以实际工程为背景,提出一种采用由内外门架支撑系统、内外模板支撑系统、液压同步支撑系统和智能行走系统组成的整体移动式智能台车,并通过数值分析和现场试验分析智能台车的受力特点,确定台车设计方案。结果表明:智能台车施工单个工作面施工效率相较于传统模板节段现浇施工提高3倍;最终方案通过优化智能台车结构构件的截面尺寸、布设间距、数量、钢模板厚度,使得台车较初步设计结构受力更加合理、材料性能得到较好的发挥,结构相较于初步设计质量减轻约9.233 t,比重约为44.2%,可较大幅度的节省建造总成本。

关键词:综合管廊;快速施工;智能台车;智能化设计

中图分类号: TU311.4

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2021)03—0227—07

Mechanical Performance Analysis of Intelligent Trolley Suitable for Rapid Construction of Cast-in-place Comprehensive Pipe Gallery

WU Shangjie

(Fujian Construction Engineering Group Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350003, China)

Abstract: To meet the needs of rapid cast-in-situ construction of comprehensive pipe gallery, based on a real project, an integrated mobile intelligent trolley is proposed, which composed of internal and external portal support system, internal and external template support system, hydraulic synchronous support system and intelligent walking system. By numerical analysis and field test, the mechanical characteristics of the intelligent trolley are analyzed, and the design scheme of the trolley is determined. The results are as follows. The construction efficiency of single working face of intelligent trolley construction is 3 times higher than that of traditional template segment cast-in-place construction. Numerical analysis and field test verified the feasibility of intelligent trolley structure design. The final scheme optimizes the section size, layout spacing, number and thickness of steel formwork of the structural components of the intelligent trolley, so that the stress of the trolley structure is relatively reasonable and the material performance is better. Compared with the original structure, the quality of the structure is reduced by about 9.233 t of the proportion is about 44.2%, which can greatly save the total construction cost.

Keywords: comprehensive pipe gallery; rapid construction; intelligent trolley; intelligent design

近年来综合管廊在国内快速发展,管廊施工一般采用整体现浇或节段预制、现场拼接的形式^[1-4]。较节段预制、现场拼接形式施工而言,现浇管廊虽然施工周期较长,但是结构防水、抗震性能良好,能适应复杂的结构断面形式,且相关设计规范、施工技术

和工艺较为成熟,广泛应用于实际工程^[5-7]。但是,传统模板节段现浇施工在狭小的管廊舱室施工断面内进行钢筋绑扎、立模、混凝土浇筑、养生、拆模等工序,内模安装与拆卸难度大,施工质量不易控制,整体施工效率低。因此,如何提高现浇管廊施工效率

收稿日期:2020-12-22

修稿日期:2021-01-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51808126)

作者简介:吴尚杰(1972—),男,高级工程师,主要从事土木工程方面的工作。E-mail:1037472041@qq.com

已成为众多建设单位的难题。

目前,部分学者对管廊快速现浇施工方法和支撑模板体系进行设计与研究,沈春雷^[8]设计了出筒模结构并开展施工工艺研究;黄旭腾等^[9]进行了装配式铝模台车设计及施工工艺研究,Feng等^[10]介绍了一种一体化的圆曲钢模板进行管廊快速施工方法;周鹏华等^[11]、白东昌等^[12]介绍了液压钢模台车施工的作业原理、施工工艺及基本结构并阐明了其具有的施工优势。上述研究成果促进了管廊现浇施工台车的快速发展,但仍未彻底解决管廊内壁倒角变化复杂的拼接支模方式,同时也存在内外模拉杆、支撑较多,侧模板不能同步支撑,模板整体纵轴线定位不准确等问题,使得采用台车现浇管廊施工的效率 and 效益未得到充分的发挥。

为此,本文依托实际工程,提出采用由内外门架支撑系统、内外模板支撑系统、液压同步支撑系统和智能行走系统组成的一种可准确定位、快速同步支撑、无折角、易脱模的整体式移动的智能台车构想,通过数值分析和现场试验分析智能台车的受力特点,确定台车设计方案,进行结构构造和智能化设计,实现高效率快速现浇智能化施工,为现浇综合管廊快速施工的智能台车设计提供借鉴,促进管廊现浇施工技术的提升。

1 设计概况

某综合管廊工程全长约 2.8 km,双舱管廊断面,分综合舱和高压电力舱,采用整体现浇的施工方式,管廊断面大小(3.0 m+2.6 m)×2.8 m,侧墙和中隔墙厚度分别为 45 cm 和 25 cm,如图 1 所示。

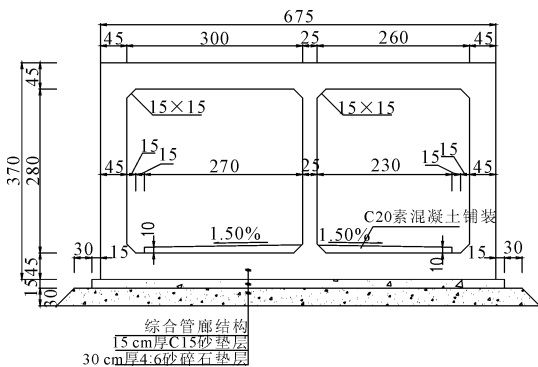


图 1 综合管廊标准横断面构造图(单位:cm)

若采用传统模板节段现浇施工,完成 24 m 长标准管廊节段需 10 d,难以在预定工期内完成施工任务。为此,提出一种智能台车构想,能在综合管廊现浇施工中实现快速智能化支撑、拆卸、移动且安全可

靠的整体模板支撑的需求,台车主要由内外门架支撑系统、内外模板支撑系统、液压同步支撑系统和智能行走系统组成。传统管廊的内模板支撑系统中侧墙与顶板衔接处 45°倒角需三次直线角度变换,安装与拆卸模板难度大、时间长且施工质量难以保证。为此,刘启仁^[13]通过将倒角优化为圆弧,并适当减小舱室顶板跨中厚度,形成截面高度逐渐变化的顶板结构,如图 2 所示,该优化保证在管廊受力满足要求的前提下,不增加材料用量,且可形成无折角、易脱模的整体式内模,提高施工效率。

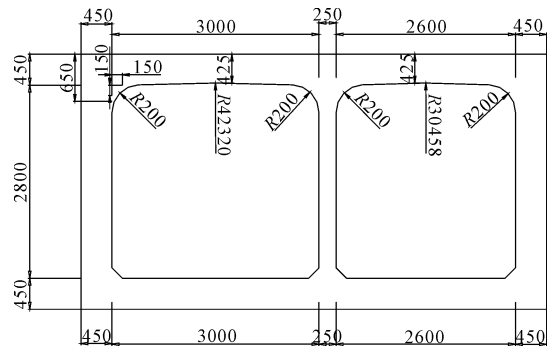


图 2 综合管廊结构优化截面尺寸(单位:mm)

采用智能台车后具体施工工序流程为:铺设轨道→智能台车就位并锁定→台车立柱油缸顶升至控制标高→内顶模借助横移油缸定位纵轴线位置→内侧模同步就位并用撑杆锁定→安装钢筋骨架→外侧模板移动就位、并安装端部模板→浇筑混凝土→覆盖蒸汽养护→整体式钢内模各向同步收缩、脱模→台车智能移动至下一节段施工。相较于传统模板节段现浇施工,单个标准节段仅需 3 d 即可完成,单个工作面施工效率提高 3 倍,如表 1 所示。

表 1 标准 24 m 长管廊节段施工效率比较 单位:d

项目	传统支架现浇施工工期	智能台车施工工期
搭设支架	1.0	0.00
钢筋绑扎及固定	1.5	0.50
支设内外模	1.0	0.25
混凝土浇筑	0.5	0.50
养生	5.0	1.50
拆模	0.5	0.25
拆支架	0.5	0.00
合计	10.0	3.00

智能台车初步设计遵循以下基本原则:

(1) 台车整体结构依据综合管廊断面尺寸和标准节段长度选择 6 m 节段进行设计。

(2) 台车内外门架支撑系统内、外模间无拉杆连接。内门架主要承担内模板及浇筑过程中的施工荷载;外门架支撑两侧外模板快速整体吊装与移动;内侧模板和内顶模板须与优化后截面高度逐渐变化的顶板结构相匹配,并通过铰接结构相连,形成无折角、易脱模的整体式钢内模板。

(3) 台车内外模板支撑系统对管廊现浇结构进行支撑,既能在总体同步系统控制下各向同步支撑与拆卸,又能各支撑结构独立的顶推与收缩,实现内顶模竖向高度,纵轴线定位和内侧向模板的精准支撑与快速拆卸。

(4) 台车智能行走系统主要支撑并携带整体模板支撑系统按照设定要求在轨道上整体移动,满足现浇管廊快速施工的要求。

2 智能台车初步设计

2.1 结构设计

通过管廊截面尺寸,顶板、侧墙、中隔墙厚度,计算得出6 m节段管廊顶板自重约为54 t(9 t/m);管廊侧墙浇筑高度约3.0 m,根据《建筑施工模板安全技术规范》^[14](JGJ 162—2008)中新浇筑的混凝土作用于模板的最大侧压力标准值,可按式(1)、式(2)计算,并取最小值:

$$F = 0.22\gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 V^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$F = \gamma_c H \quad (2)$$

式中: F 为新浇筑混凝土对模板的侧压力, kN/m^2 ; γ_c 为混凝土的重力密度; t_0 为新浇混凝土的初凝时间; V 为混凝土的浇筑速度; H 为混凝土侧压力计算位置处至新浇混凝土顶面的总高度; β_1 为外加剂的影响修正系数。

模板侧向最大压力约为 50 kN/m^2 ,参考类似产品的初步估算结构总重量约18 t(3 t/m),台车主要包括内外门架支撑系统和内外模板支撑系统。

2.1.1 内外门架支撑系统

内门架支撑整个内模体系并承担上部施工荷载,主要包括有下纵梁及横撑,竖向立柱、上横梁及纵向剪刀撑。外门架主要包括下纵梁、立柱和上横梁。内外模之间无对拉杆联系,外门架支撑作为独立支撑体系,在其侧面设置有可移动的外门架便于外侧模的整体快速吊装与移动,如图3所示。

内门架综合仓台座下纵梁采用2根长5.79 m的HM300×200 H型钢,横向间距1.5 m;在下纵梁单侧面中间间隔2.0 m焊接3根I20a工字钢作为横撑,单根下纵梁顶面纵向间隔1.7 m布设有4根

HN200×100 H型钢内门架立柱,立柱间采用C8.0槽钢为纵向剪刀撑,立柱上方选择4根I20a工字钢作为内门架上横梁承受上部荷载,同时在立柱和上横梁上焊接厚度为2 cm的液压支撑耳板,具体各构件截面尺寸如图4所示。电力仓内仅调整两根下纵梁间距为1.1 m,其它结构构件型号及固定位置与综合仓相同。

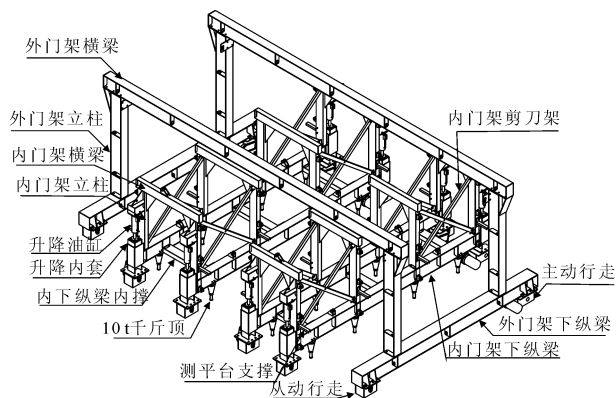


图3 台车内外门架支撑系统示意图

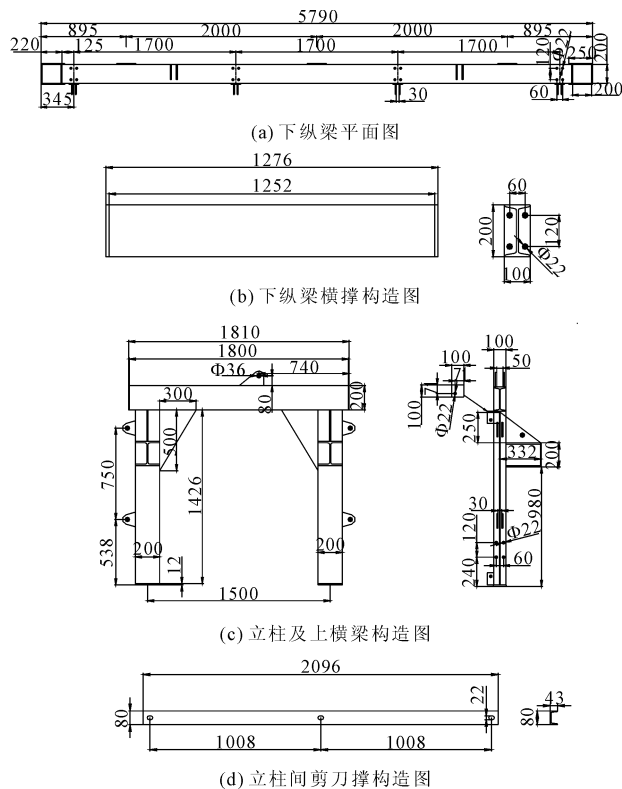


图4 综合仓内门架基本构造图(单位:mm)

外门架下纵梁选择2根长度5 m的HW300×300 H型钢作为承重结构,在单根中部间距3.0 m竖向立有2根高度2.5 m的HM300×200的H型钢作为支撑立柱,横向两根立柱顶部横向搭设有长度8.6 m的HM300×200的H型钢作为横梁。

2.1.2 内外模板支撑系统

智能台车纵向节段长度为 6 m,考虑内外模板整体刚度以及装拆和制作的便利性,将内外侧模均分为 2 节长度为 3 m 的节段进行拼装,内侧模与管廊内缘侧墙至顶板经圆曲线和渐变曲线优化后结构相匹配,为确保施工质量和反复使用要求,钢板厚度均选择为 8 mm,如图 5 所示。

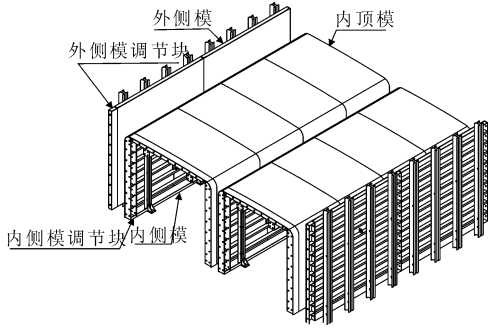


图 5 台车内外模板支撑系统示意图

内侧模板支撑系统对管廊现浇结构进行支撑,为保证纵向刚度,同时为模板底部固定撑杆提供竖向着力点,在单片内侧模底部焊接有 1 根 C20a 加劲槽钢,横向采用长度 3 m,等间距 0.327 m 布设 C10 槽钢作为加劲肋,竖向间距 1.7 m 采用双 C14a 槽钢设两道加劲肋,如图 6 所示。

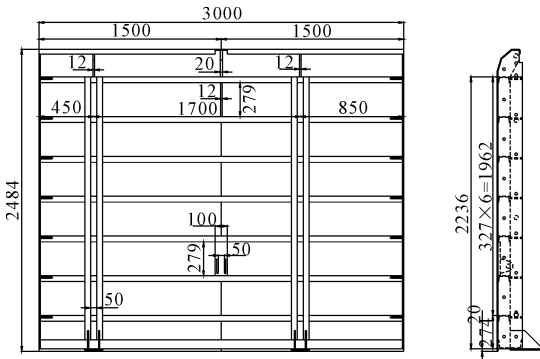


图 6 综合仓内侧模侧面构造图(单位:mm)

内顶模与变截面高度的顶板结构相匹配,综合仓和电力仓内顶模下部以纵向间距 0.3 m,长×宽×高为 2.552 m(2.152 m)×0.012 m×0.095 m 的弧形钢板为加劲肋,共 21 片加劲钢板;下部以 2 根长度为 3 m,横向中心间距分别为 1.5 m 和 1.1 m 的 HW200×200 H 型钢作为纵向托梁。综合仓内顶模板、加劲肋、托梁基本尺寸如图 7 所示。

外侧模横向采用长度 3 m 间距 0.3 m 的 C10 槽钢作为加劲肋,竖向采用间距 0.75 m 长度 3.35 m 的双 C14a 槽钢进行加劲。左右外侧模作为独立支

撑到位后,在其顶部沿纵向间隔 0.75 m 布设由长 6.942 m,直径 89 mm 的套管和长 0.35 m,直径 32 mm 的圆钢组成的拉杆进行锁定。外侧模板、加劲肋、外模顶部拉杆如图 8 所示。

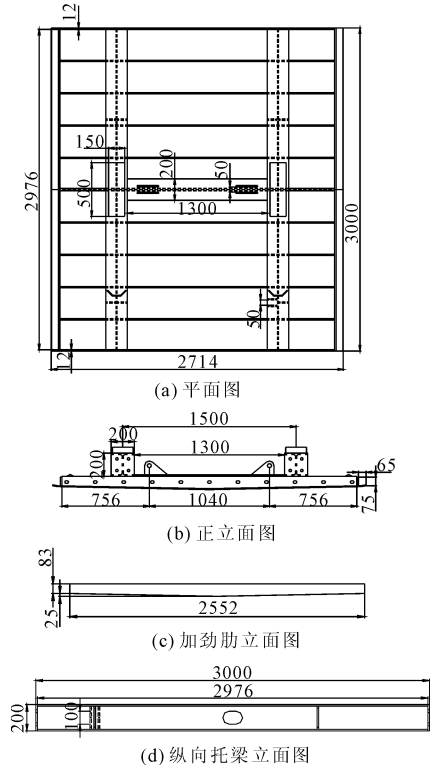


图 7 综合仓内顶模构造图(单位:mm)

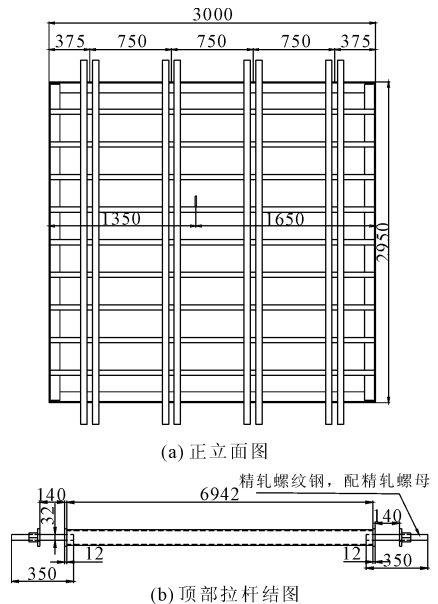


图 8 外模及顶部拉杆基本构造图(单位:mm)

2.2 智能化设计

2.2.1 内模铰结构及可伸缩撑杆设计

台车内通过铰接结构相连形成无折角、易脱模

的整体式钢内模板,铰接结构宽×高为 $0.14\text{ m} \times 0.11\text{ m}$,钢板厚度为 0.02 m ,钢板上开设有3个直径为 36 mm 的螺孔分别销接固定于内侧模、内顶模以及侧向可智能伸缩调节的液压千斤顶。在内侧模液压千斤顶支撑定位后用侧向可伸缩的撑杆对模板进行固定以防止出现跑模、滑模等现象,同时保护液压支撑系统。可伸缩撑杆长×宽为 $0.427\text{ m} \times 0.12\text{ m}$,中间可调套管直径为 0.089 m ,伸缩量为 $\pm 0.11\text{ m}$ 。内模板铰接结构、侧向固定支撑杆构造如图9所示。

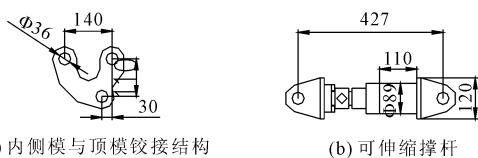


图9 台车内模铰接结构、可伸缩撑杆构造图(单位:mm)

2.2.2 智能液压同步支撑系统

如图10所示,在内门架端部立柱、内门架端部上横梁与内顶模托梁间、内侧模板连接铰结构及中下部安装液压支撑千斤顶,并通过集成电路与程序控制将三部分结构的液压支撑系统集成于手持式智能控制器中,既能在总体同步系统控制下各向同步支撑与拆卸,又能各支撑结构独立的顶推与收缩,实现内顶模竖向高度,纵轴线定位和侧向模板的精准支撑与便捷拆卸,达到快速施工的目的。

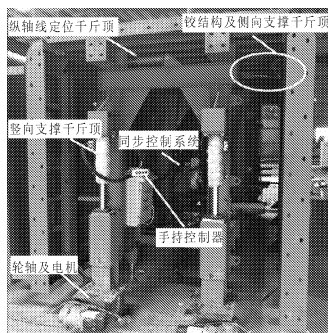


图10 智能液压系统图

2.2.3 智能定位行走系统

台车作为整体式钢模支撑体,内外门架下纵梁两端底部分别配备有主动轮和从动轮,行走于型号为 15 kg/m 纵向可模数化拼接的钢轨上,移动轮轴及轮径分别为 70 mm 和 295 mm ,轴承型号 $6314-2Z$;主动轮上配备有智能控制的加减速电机,电机功率 2.0 kW ,行走速率 $2\text{ m/min} \sim 5\text{ m/min}$;在主动轮轴前端安装有行走控制系统可通过手持智能控制器设置移动速率、时间、距离等,实现台车的智能行

走与定位。其轮轴尺寸如图11所示。

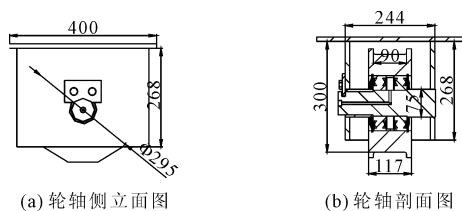


图11 智能台车轮轴尺寸图(单位:mm)

2.3 智能台车受力性能分析

2.3.1 有限元模型

采用MIDAS/Civil对 6 m 长节段智能台车进行结构受力分析,将台车内外门架支撑系统、内外模板支撑系统等构件离散为 $2\,956$ 个梁单元,内外模面板离散为 $1\,716$ 个面单元,共 $5\,012$ 个节点。台车模型边界中内模与门架连接均采用弹性连接,通过设置三向(SD_x, SD_y, SD_z)刚度进行模拟;内外模加劲肋与模板间采用刚性连接模拟;台车内外门架下纵梁底部用一般支承固结模拟底部轮轴支撑。

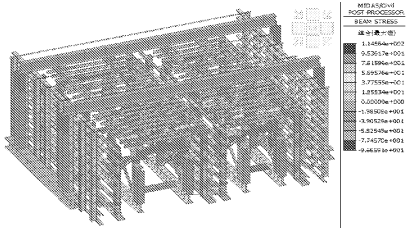
根据式(1)和式(2)求得内外侧模板新浇筑混凝土时侧向压力 $41.20\text{ kN/m}^2 \sim 15.60\text{ kN/m}^2$,内顶模所承受的混凝土面压力约 14.04 kN/m^2 。荷载组合参照《建筑结构荷载规范》^[15](GB 50009—2012)正常使用极限状态工况(1.0自重+1.0混凝土侧压力)。后面图形中的应力,拉应力为正,压应力为负。

2.3.2 智能台车结构受力性能分析

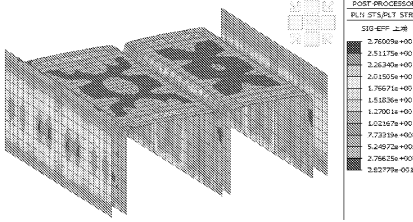
在管廊现浇混凝土阶段台车各系统结构构件所受最大应力分别为:内门架立柱 -65.8 MPa ,内侧模板 26.3 MPa ,内侧模横向加劲肋 -96.7 MPa ,外侧模板 27.6 MPa ,外侧模竖向加劲肋 -70.8 MPa ,拉杆 114.6 MPa 。在吊装外模时,外门架立柱所受最大应力为 -18.3 MPa ,内外门架及模板支撑系统应力云图如图12所示,关键构件最大应力值和位置见表2。由于台车结构都处在弹性工作阶段,按照最大应力分析就可满足安全性要求,文中未开展变形分析。

依据智能台车结构的受力特点选出关键受力部位布设应变计进行现场应力测试,测点布置见图13。混凝土浇筑阶段智能台车关键构件应力对比如表2所示,各构件应力值在 $-96.7\text{ MPa} \sim 114.6\text{ MPa}$ 间,关键受力部位计算值与实测值的相差 $-9.4\% \sim 6.8\%$,验证了数值分析模型的正确性。相关研究表明,杆件的应力未超过 160 MPa 时,结构均处在安全状态,初步设计杆件最大应力不大于 120 MPa ,钢结

构材料未得到充分的利用,可对构件截面尺寸及间距等进行优化,使得台车更为轻盈便捷,经济合理。



(a) 台车内外门架及模板加劲肋(梁单元)



(b) 台车内外模板(板单元)

图 12 台车结构应力云图(单位:MPa)

表 2 智能台车结构关键构件所受应力

结构测点	构件	最大应力位置	应力/MPa		应力误差/%
			计算值	实测值	
门架	1 下纵梁	跨中处	13.40	12.30	-8.2
	2 立柱	中上顶部	-65.80	-59.80	-9.1
	3 内侧模	高度 0.3 m 处	26.30	28.10	6.8
	4 内侧模横向加劲肋	第 2 条槽钢	-96.70	-91.20	-5.7
内模板	5 内侧模竖向加劲肋	高度 0.3 m 处	44.70	42.50	-4.9
	6 内顶模	横向跨中处	17.60	17.00	-3.4
	7 内顶模横向加劲肋	跨中处	28.60	26.20	-8.4
	8 外模板	高 1.2 m 处	27.60	25.00	-9.4
外模板	9 横向加劲肋	第 2 条槽钢	30.60	31.50	2.9
	10 竖向加劲肋	中间高度 1.8 m 处	70.80	64.70	-8.6

构件截面尺寸及间距等进行优化,最终方案的应力、重量变化如表 3 所示。台车在浇筑混凝土阶段各结构构件所受最大应力位置与初始设计基本一致,内门架立柱达到 -157.3 MPa,内侧模板和内侧顶模板分别为 59.4 MPa、137.5 MPa,内侧模横竖向加劲肋分别为 -139.6 MPa 和 153.3 MPa,外侧模板 52.2 MPa,外侧模横竖向加劲肋分别为 -98.9 MPa 和 134.2 MPa,拉杆 113.4 MPa。在吊装外模时,外门架立柱及下纵梁所受最大应力分别为 -95.6 MPa、-80.6 MPa。最终方案的各杆件所受应力较初始设计增大但均小于 160 MPa,内外模钢板所受拉应力在 50 MPa~60 MPa 之间,受力相对合理且材料性能得到较好的发挥。

最终方案台车内外门架重量减轻约 2 872.5 kg,内外模钢板重量减轻约 3 814 kg,内外模加劲肋重量减轻约 2 546.7 kg,总重量较于初始设计减轻约 9 233 kg,比重为 44.2%,可较大幅度的节省建造总成本。

4 结 语

(1) 本文依托实际工程需求,提出采用由内外门架支撑系统、内外模板支撑系统、液压同步支撑系统和智能行走系统组成的整体移动式智能台车。单个工作面施工效率相较于传统模板节段现浇施工提高 3 倍,可实现管廊现浇快速智能化施工。

(2) 开展现浇管廊智能台车系统结构与智能化初始设计,形成了可准确定位、快速同步支撑、无折角、易脱模的整体式模板支撑体系智能台车。

(3) 通过数值分析和现场试验,验证了智能台车结构设计的可行性。

(4) 最终方案优化了台车结构构件的截面尺寸、布设间距、数量、钢模板厚度,使得台车较初步设计结构受力更加合理,材料性能得到较好的发挥,结构相较于初步设计质量减轻约 9.233 t,比重约为 44.2%,可较大幅度的节省建造总成本。

参考文献:

[1] 钱瑞雪,陈新元,刘晓铖. 新型地下管廊施工工艺研究[J]. 施工技术,2019,48(10):104-107.

[2] 马腾,张兆强,孟贵林. 预制装配式综合管廊模拟分析及结构优化设计[J]. 混凝土与水泥制品,2021(3):32-35,39.

[3] 陆婷,姜安民,董彦辰,等. 基于信息熵组合赋权-可拓模型的综合管廊项目运维风险评价[J]. 水利与建筑工程学报,2020,18(2):52-58.

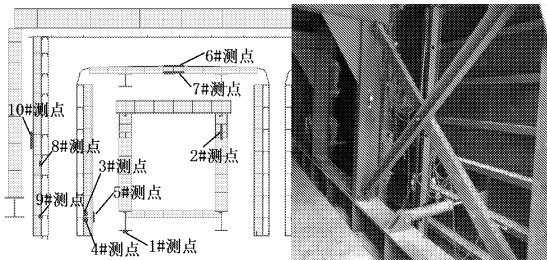


图 13 应力测点布置及现场测试照片

3 结构优化与最终方案确定

在满足重复使用和安全的的前提下,最终方案对

表3 智能台车结构初步设计与最终方案对比

智能台车结构	初步设计构造	初步设计最大应力/MPa	初步设计重量/kg	最终方案构造	最终方案最大应力/MPa	最终方案重量/kg	
内门架	下纵梁	4根 HM300×200H 型钢	13.40	1327.00	4根 HM150×100H 型钢	49.70	496.00
	横撑	6根 I20a 工字钢	-26.10	180.10	4根 I10 工字钢	-27.50	72.30
	立柱	16根 HN200×100H 型钢	-65.80	499.30	16根 HN175×90H 型钢	-157.30	418.70
	横梁	8根 I20a 工字钢	-22.90	359.40	8根 I10 工字钢	-63.80	144.30
	剪刀撑	16根 C8.0 槽钢	5.57	268.00	去除剪刀撑	—	0.00
外门架	下纵梁	2条 HW300×300H 型钢	-12.90	850.50	2条 HW150×150H 型钢	-80.60	287.10
	立柱	4条 HM300×200	-18.30	573.00	4条 HM200×150	-95.60	312.00
	横梁	2条 HM300×200	-6.20	871.00	2条 HM150×100	-39.80	325.30
内模板及骨架	内侧模	8 mm 钢板	26.30	3370.00	4 mm 钢板	59.40	1685.00
	侧模底部槽钢	4条 C20a 槽钢	14.00	542.00	4条 C10 槽钢	26.60	240.00
	侧模横向加劲肋	28条 C10	-96.70	1680.00	28条 C8	-139.60	1344.00
	侧模竖向加劲肋	16条双 C14a 槽钢	44.70	518.80	16条双 C10 槽钢	153.30	357.80
	内顶模	8 mm 钢板	17.60	2035.00	4 mm 钢板	137.50	1017.00
	内顶模横向加劲肋	42片 2.552 m(2.152 m) × 0.012 m × 0.095 m 钢板	28.60	1014.80	22片 2.552 m(2.152 m) × 0.012 m × 0.095 m 钢板	83.30	531.60
外模板及骨架	纵向托梁	4条 HW200×200H 型钢	-20.70	1542.70	4条 HW125×125H 型钢	-35.10	973.20
	外模	8 mm 钢板	27.60	2223.00	4 mm 钢板	52.20	1112.00
	横向加劲肋	22条 C10	30.60	1320.00	22条 C8	-98.90	1050.00
	竖向加劲肋	16条双 C14a 槽钢	70.80	1369.00	16条双 C10 槽钢	134.20	944.00
	顶部拉杆	8条直径 32 mm 圆钢	114.60	353.40	8条直径 32 mm 圆钢	113.40	353.40

- [4] 顾卫兵,冯宇韬,刘江涛,等. 预制装配式管廊受力性能试验研究[J]. 水利与建筑工程学报,2020,18(1):91-97.
- [5] 李锦秀,王 祥,费 璇. 综合管廊施工方法的探讨[J]. 工程建设与设计,2019(8):175-176.
- [6] 杨 峰. 城市地下市政综合管廊施工方法初步探讨与分析[J]. 安徽建筑,2016,23(3):88-91.
- [7] Pitilakis K, Tsinidis G, Leanza A, et al. Seismic behaviour of circular tunnels accounting for above ground structures interaction effects[J]. Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 2014,67(67):1-15.
- [8] 沈春雷,宋功业. 地下管廊快速施工技术[J]. 建筑,2018(11):76-77.
- [9] 黄旭腾,李 晨,贾永州,等. 装配式铝模台车在城市综合管廊施工中的应用[J]. 建筑施工,2018,40(2):226-228.
- [10] Feng Dan. Application of sealing construction technology

- for precast concrete city pipe gallery Interface[C]//Proceedings of 2018 7th International Conference on Advanced Materials and Computer Science. Clausius Scientific Press, Canada, 2018:345-348.
- [11] 周鹏华,周杰刚,邓运生,等. 液压钢模台车在城市综合管廊施工中的应用[J]. 建筑技术,2017,48(9):914-917.
- [12] 白东昌,陈 祥,赵飞宇. 城市综合管廊施工中液压钢模台车的应用[J]. 工程技术研究,2020,5(24):117-118.
- [13] 刘启仁. 快速施工的综合管廊结构优化方案比选——以平潭某综合管廊工程为例[J]. 福建建筑,2020(7):96-100.
- [14] 建筑施工模板安全技术规范:JGJ 162—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [15] 建筑结构荷载规范:GB 50009—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.