



侧向支座对重件码头桥机轨道梁影响的有限元分析

张 威, 罗小红, 卢泽晖, 王定略

(湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051)

摘要: 针对某重件码头钢桁架悬臂式桥机轨道梁是否设置侧向约束的问题进行研究, 采用 ANSYS 有限元进行有无支座对比分析方法, 研究发现: 侧向支座的设置虽然加大了桥机轨道梁 Z 方向变形, 但减小了双侧轨道梁整体挠度差, 降低轨道梁局部应力达 17 MPa, 钢材屈服强度下安全储备提高约 7%, 使得桥机可以在更大的范围内安全作业。结论表明在相同工况下, 支座的设置能够确保桥式起重机在相同位置处的安全运行, 且该计算结果对工程设计具有借鉴意义。

关键词: 重件码头; 桥机轨道梁; ANSYS 有限元; 侧向支座

中图分类号: U65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)06-0077-07

Finite element analysis of influence of lateral support on track beam of heavy-cargo bridge

ZHANG Wei, LUO Xiaohong, LU Zehui, WANG Dinglyue

(Hubei Communications Plan and Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430051, China)

Abstract: A study is conducted on the issue of whether lateral constraints are set on the steel truss cantilever bridge crane track beams of a heavy-cargo bridge. ANSYS finite element method is used for comparative analysis with and without supports. It is found that although the setting of lateral supports increased the Z-direction deformation of the bridge crane track beams. The overall deflection difference of the double-sided track beams is reduced, the local stress of the track beams is reduced to 17 MPa. The safety reserve under the yield strength of the steel is increased by about 7%, so that the bridge crane can operate safely on a larger scale. The conclusions indicate that under the same working conditions, the setting of supports can ensure the safe operation of bridge cranes at the same position. At the same time, this calculation result has reference significance for engineering design.

Keywords: heavy cargo terminal; bridge crane track beam; ANSYS finite element; lateral support

支座的作用是将上部结构的各种作用效应传递到墩台上, 保证结构在活载、温度变化、混凝土收缩和徐变等因素的作用下自由变形^[1], 使结构受力更为明确。但特殊位置支座的设置对结构刚度、强度等是否具有影响还鲜有文献论述^[2], 本文采用 ANSYS 有限元进行结构分析, 重点研究侧向支座的有无对武汉港某重件码头中桥机轨道梁的

影响, 相关结论和成果旨在为工程设计提供依据。

1 工程概况

武汉港某重件码头由桥机轨道梁、人行钢引桥、主墩、系缆墩和桩基工程等组成。桥机轨道梁采用钢桁架悬臂结构, 轨道梁截面采用 L 形, 梁高 3.5 m, 偏心受压, 见图 1^[3]。

收稿日期: 2023-10-08

作者简介: 张威 (1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口规划、设计、管理工作。

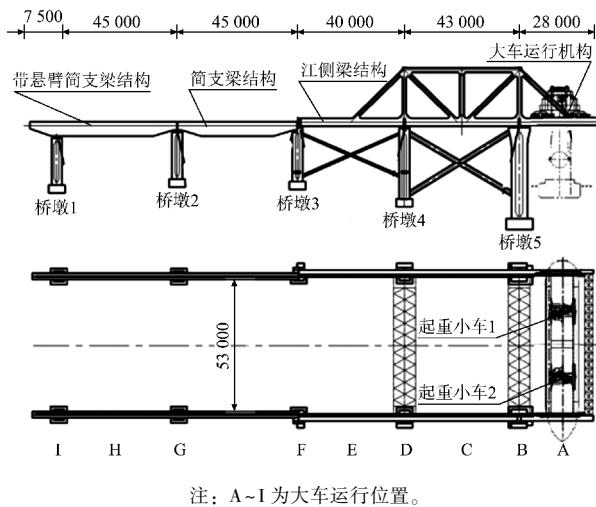


图 1 桥式起重机吊车梁结构 (单位: mm)

2 有限元计算模型

2.1 桥机轨道梁有限元模型

采用 ANSYS12.0 计算软件, 取桥机轨道梁结构作为研究对象, 采用 Q345 钢材, 弹性模量 2.06 GPa、泊松比 0.3、密度 7.85 t/m³、热膨胀系数 1.3×10^{-5} 。

桥机轨道梁有限元模型中主梁、立柱、拉杆、上弦杆和隔板等结构采用 SHELL63 单元建立, 角钢、槽钢、工字钢、立柱连接系和主梁连接系由 BEAM188 单元建立; 主梁底部的橡胶支座和铰支座由 SOLID45 建立, 有限元模型见图 2。桥机轨道梁在桥墩 3 和 5 底部安装 2 个平板橡胶支座, 只约束其 Y 方向自由度; 在主梁侧向腹板上安装侧向铰支座, 只约束其 Z 方向自由度; 在桥墩 4 上安装 2 个底部铰支座, 约束 X 和 Y 方向自由度, 同样在侧向腹板上安装侧向铰支座, 只约束 Z 方向自由度。

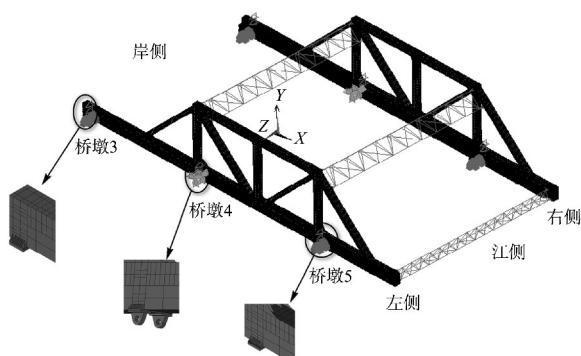


图 2 桥式起重机轨道梁主梁截面

2.2 载荷施加

ANSYS 将荷载的标准值施加到模型上, 计算作用效应值并进行组合^[4]。永久荷载主要为结构自重力, 设置相应参数自动施加; 可变荷载主要为轮压、制动惯性力、风荷载和温度荷载, 轮压荷载以及制动惯性力按滚动荷载集中力施加在对应滚动车道上, 轮压按 485 kN 考虑, 每个轮子大车制动惯性力为 4.594 kN, 小车制动惯性力为 2.340 kN; 风荷载按风压为 400 Pa 考虑, 对轨道梁、立柱、联系撑、斜撑采用均布线荷载施加。参考温度设置为 -15 °C, 施加温度载荷为 50 °C, 温度差为 65 °C。

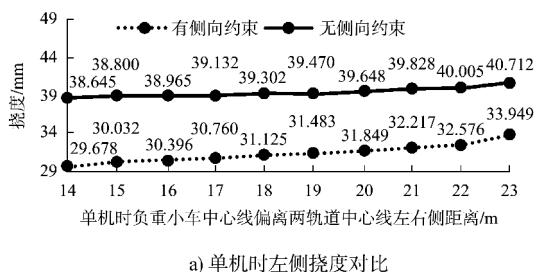
3 计算结果及分析

3.1 侧向支座对桥式起重机作业范围的影响

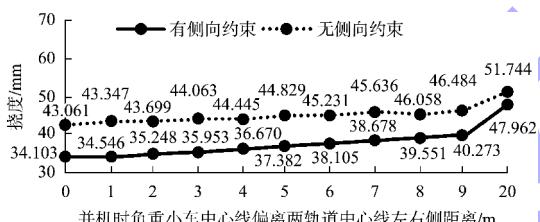
为研究侧向支座对桥式起重机作业范围的影响, 选择两起重小车并机运行和单台小车起吊两种工况, 分别计算桥式起重机的作业范围, 根据设计规范要求, 悬臂梁的挠度 $L < 74.7$ mm, 同时两侧主梁的挠度差 $\Delta L \leq 10$ mm^[5]。当桥式起重机运行到悬臂段极限位置时, 主梁的挠度和挠度差最大, 所以用悬臂段的挠度和挠度差来确定桥式起重机的作业范围^[6]。两种工况下桥机轨道梁悬臂段在有无侧向约束情况下挠度值(差)见图 3。两小车并机起吊重物在有侧向约束时, 负重小车可在合力中心线偏离两轨道中心线 ± 7 m 范围内运动; 去掉侧向约束后, 其左右两侧挠度增大, 但挠度差有所减小。当偏离两轨道中心线 ± 8 m 时, 两侧挠度差为 9.184 mm, 小于 10 mm, 仍满足运行要求, 因此, 运行范围扩大了 ± 1 m。单小车起吊重物有侧向约束时, 按安全作业范围确定的标准, 负重小车中心线能在偏离两轨道中心线 ± 19 m 范围内运动; 去掉侧向约束后, 负重小车中心线能在偏离两轨道中心线 ± 22 m 范围内运动, 运行范围扩大 ± 3 m。即在无侧向支座的情况下, 桥式起重机作业范围有所增大。

当桥机轨道梁在无侧向约束下对比分析挠度差变化时, 发现当小车偏离两轨道中心线 ± 7 m

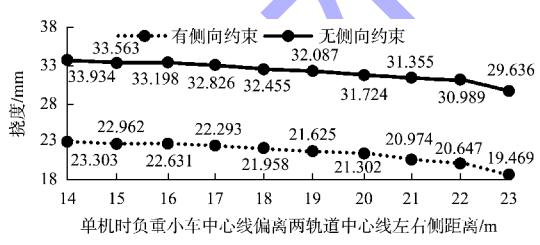
时,左侧挠度由38.678 mm增大到45.636 mm,挠度差由9.474 mm减小为7.944 mm;当小车偏离两轨道中心线±20 m时,左侧挠度由47.962 mm增大为51.744 mm,挠度差由有侧向约束时的27.569 mm减小为24.049 mm。这说明无侧向约束时,挠度值进一步加大,左右两侧轨道梁变形趋势一致使得挠度差变小,挠度差的减小一定程度上使得桥式起重机运行更安全。因此,侧向支座的设置进一步增大了桥式起重机在同一位置处运行的安全性。



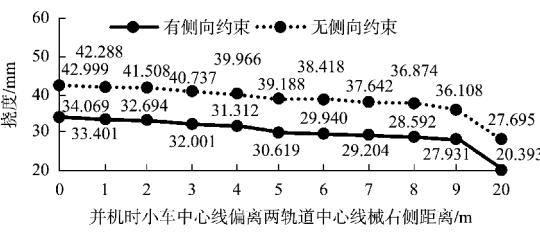
a) 单机时左侧挠度对比



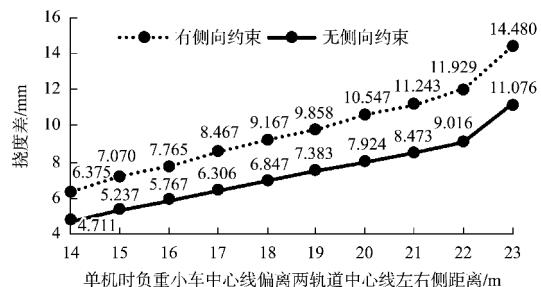
b) 并机时左侧挠度对比



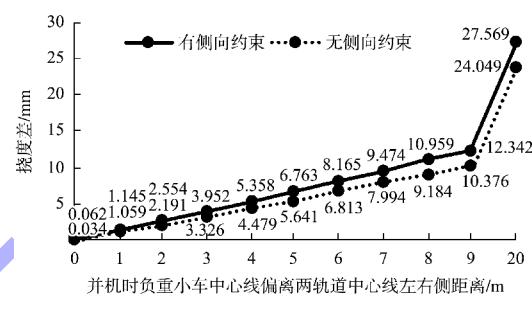
c) 单机时右侧挠度对比



d) 并机时右侧挠度对比



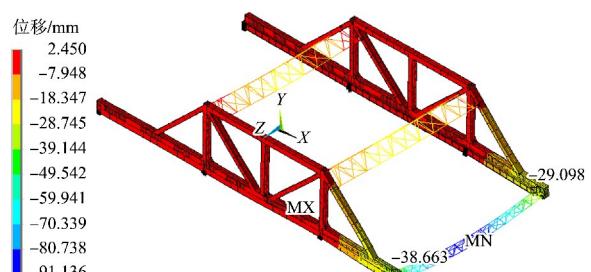
e) 单机时左右侧挠度差对比



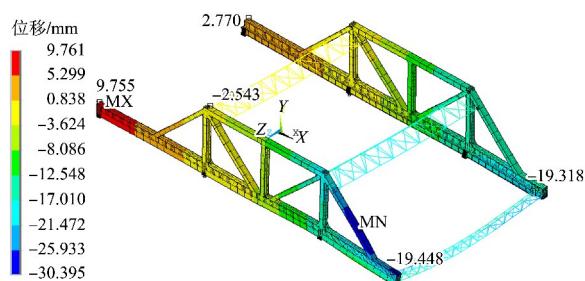
f) 并机时左右侧挠度差对比

图3 不同工况下有无侧向支座桥机轨道梁挠度对比

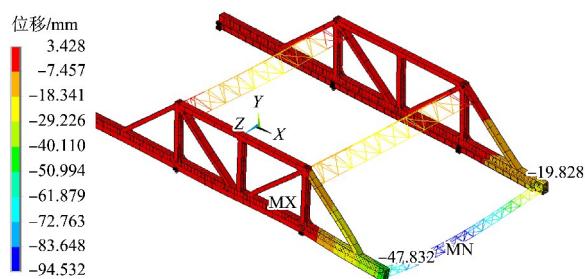
为了进一步研究桥机轨道梁受力过程中沿Y、Z方向上的位移,选取无侧向约束下,两小车中心线在偏离轨道中心线右侧7 m以及右侧20 m工况下的挠度进行对比,整体结构的位移云图见图4。由图可知,Y方向位移值变化不大,但Z方向产生了较大的位移。在偏离轨道中心线7 m时,Z方向最大位移为-19.448 mm;偏离轨道中心线20 m时,Z方向最大位移为-25.278 mm,这主要是由于风荷载以及小车制动惯性力产生的。



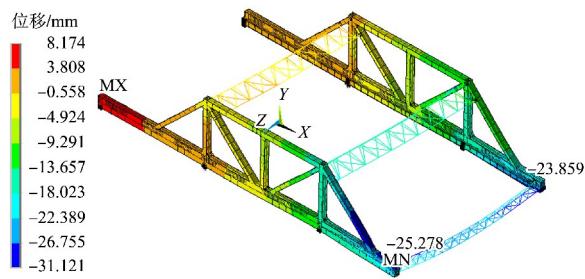
a) 偏离轨道中心7 m时Y方向位移云图



b) 偏离轨道中心7 m时Z方向位移云图



c) 偏离轨道中心20 m时Y方向位移云图



d) 偏离轨道中心20 m时Z方向位移云图

图 4 偏离轨道中心时Y、Z方向位移云图

3.2 侧向支座对温度荷载作用的影响

温度荷载作用会引起结构的热胀冷缩效应,因此,工程设计时应充分研究温度荷载作用。结合支座的预留变形空间,通过有限元分析温度荷载作用下侧向铰支座处的位移结果见表 1。

表 1 温度荷载作用下侧向铰支座处的位移

方向	侧向铰支座位置	有侧向约束	无侧向约束
X	桥墩 3	-32.784	-32.888
	桥墩 4	0.098	-0.212
	桥墩 5	35.625	35.730
Y	桥墩 3	2.394	2.390
	桥墩 4	2.356	2.347
	桥墩 5	2.151	2.280
Z	桥墩 3	0	-1.771
	桥墩 4	0	1.621
	桥墩 5	0	18.256

由表 1 可知,在温度荷载作用下,侧向铰支座处在 X 方向的最大位移为 35.563 mm, Y 方向的最大位移为 2.394 mm,而设计时侧向铰支座在 X 方向上间隙为 50 mm, Y 方向的间隙为 20 mm 是合适的。同时通过对比发现有无侧向约束时 X 和 Y 方向的位移值基本不变;但去掉侧向约束后,桥墩 5 处侧向铰支座处在 Z 方向产生较大的位移,达 18.256 mm,超过桥式起重机安全运行时轨道运行位移 $\leq \pm 10$ mm 的要求,因此设置侧向铰支座是必要的。

3.3 侧向支座对桥机轨道梁刚度的影响

选取两小车合力中心线在偏离两轨道中心线 ± 7 m 范围内,满载并机运动时作为计算工况,工程桥机轨道梁采取偏心布置^[7],轨道布置在主梁内侧的支撑板上(图 2),大车运行到某处时,主梁受到轮压产生的扭矩而发生扭转变形,因此对桥机轨道梁的刚度提出要求。为分析主梁扭转的情况,需提取主梁截面上各点的位移值,本文选取主梁截面上的 5 个点,见图 5。大车运行各工况下,不同位置处主梁截面上各点的位移情况见表 2,不同位置主梁截面最大位移云图见图 6~8。

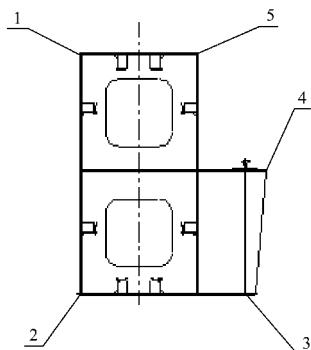
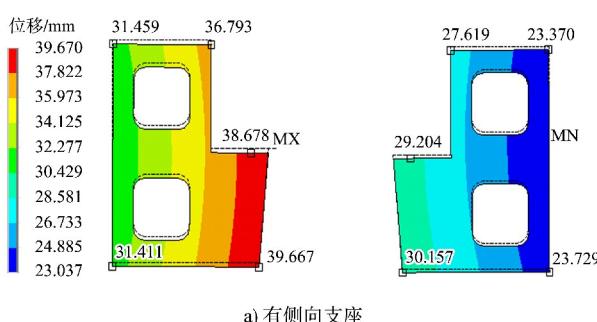
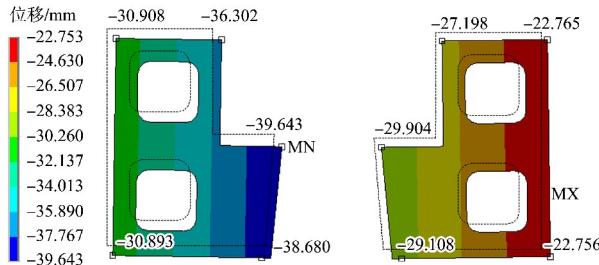


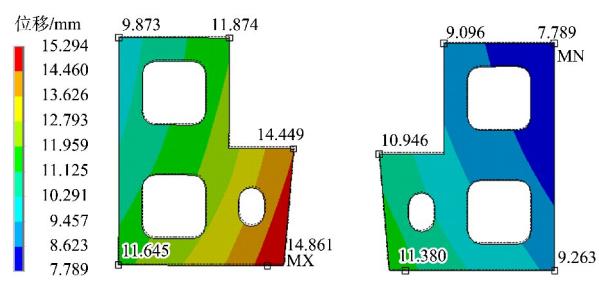
图 5 主梁截面变形提取点分布



a) 有侧向支座

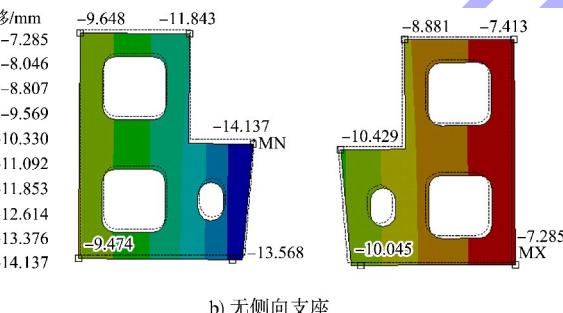
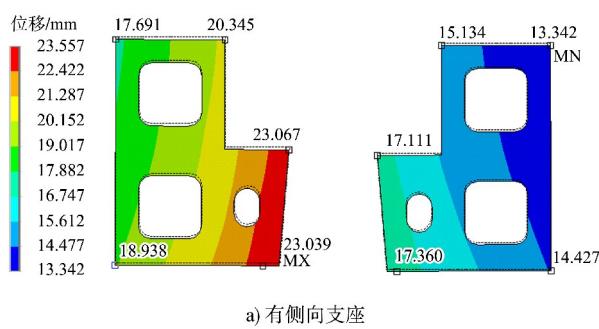


b) 无侧向支座

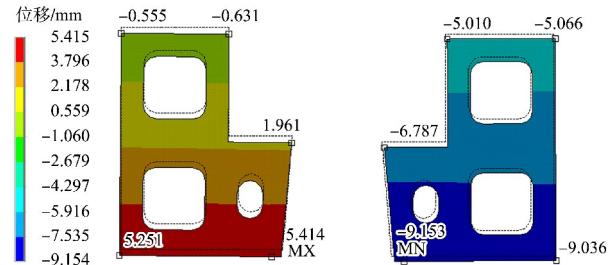
图6 大车位于悬臂段时主梁截面最大应力处
局部位移云图

a) 有侧向支座

b) 无侧向支座

图7 大车位于43 m跨中时主梁截面最大应力处
局部位移云图

a) 有侧向支座



b) 无侧向支座

图8 大车位于40 m跨中时主梁截面最大应力处
局部位移云图

由表2可知,桥机轨道梁结构在无侧向约束的情况下,大车位于悬臂段和两个跨中位置处主梁截面上点4的Y方向位移依次为-39.643、-14.137、-22.812 mm, Z方向位移依次为-24.148、3.741、1.961 mm;有侧向约束情况下,点4的Y方向位移依次为-39.617、-14.992、-22.757 mm, Z方向位移依次为-0.934、3.441、3.570 mm。对比可知,有无侧向约束,Y方向基本无位移,但在没有侧向约束的情况下,悬臂段的Z方向位移为-24.148 mm,增加了23.214 mm。可以看出,在大车运行到3个桥墩时,点4的Z方向位移依次为-7.818、-0.114、-9.457 mm,除桥墩4外,在桥墩3和5处位移均增加较大。

进一步研究主梁的侧向扭转,桥机轨道梁结构在无侧向约束的情况下,悬臂段和两个跨中位置处点1和点2的Z方向位移之差依次为11.238、5.542、5.806 mm;有侧向约束时,点1和点2在3个位置时的Z方向位移之差依次为11.332、5.259、5.804 mm,变化较小。

综上,桥机轨道梁在去掉侧向约束后,X和Y方向的位移变化较小,主梁的侧向扭转小幅度增大,但是桥机轨道梁的Z方向发生较大位移,最大Z方向位移位于悬臂段终端,最大值为-29.496 mm,超过桥式起重机安全运行范围,因此桥式起重机运行中应确保侧向支座安全可靠,避免失效。

表 2 有无侧向支座时大车运行到各位置时其主梁截面上各点的位移

轮压	大车运行位置	位移/mm						
		点 1			点 2			
		U_x	U_y	U_z	U_x	U_y	U_z	
大轮压	悬臂段极限	有侧向支座	0.663	-30.809	-6.328	-3.649	-30.794	5.004
		无侧向支座	1.190	-30.908	-29.496	-3.139	-30.893	-18.258
	43 m 跨中	有侧向支座	0.982	-9.738	1.300	1.100	-9.559	6.559
		无侧向支座	1.003	-9.648	1.448	1.117	-9.474	6.990
小轮压	40 m 跨中	有侧向支座	-1.084	-17.626	1.054	-1.041	-17.622	6.858
		无侧向支座	-1.233	-17.680	-0.555	-1.194	-17.674	5.251
	悬臂段极限	有侧向支座	0.584	-23.022	3.974	-2.808	-23.014	-5.052
		无侧向支座	0.177	-22.765	-19.386	-3.174	-22.756	-28.678
43 m 跨中	有侧向支座	0.655	-7.488	-2.041	0.738	-7.352	-5.587	
	无侧向支座	0.255	-7.413	-7.164	0.316	-7.285	-10.888	
	40 m 跨中	有侧向支座	-0.740	-13.190	-1.862	-0.642	-13.185	-5.823
		无侧向支座	-0.433	-13.188	-5.066	-0.327	-13.189	-9.036
轮压	大车运行位置	位移/mm						
		点 3			点 4			
		U_x	U_y	U_z	U_x	U_y	U_z	
大轮压	悬臂段极限	有侧向支座	-3.933	-38.302	5.045	-1.816	-39.617	-0.934
		无侧向支座	-4.335	-38.680	-18.223	-2.319	-39.643	-24.148
	43 m 跨中	有侧向支座	1.128	-13.444	6.661	1.063	-13.993	3.441
		无侧向支座	1.128	-13.569	7.090	1.076	-14.137	3.741
小轮压	40 m 跨中	有侧向支座	-1.106	-22.149	7.020	-1.207	-22.757	3.570
		无侧向支座	-1.012	-22.204	5.414	-1.080	-22.812	1.961
	悬臂段极限	有侧向支座	-2.966	-29.184	-5.077	-1.295	-29.955	-0.367
		无侧向支座	-2.677	-29.108	-28.709	-0.944	-29.904	-23.858
43 m 跨中	有侧向支座	0.770	-9.983	-5.660	0.726	-10.354	-3.478	
	无侧向支座	1.100	-10.045	-10.960	1.161	-10.429	-8.700	
	40 m 跨中	有侧向支座	-0.722	-16.297	-5.939	-0.837	-16.714	-3.572
		无侧向支座	-1.007	-16.298	-9.153	-1.200	-16.716	-6.787
		点 5			U_x	U_y	U_z	

3.4 侧向支座对桥机轨道梁强度的影响

有无侧向支座时, 大车运行到各位置时轨道梁结构的最大等效应力^[8]见图 9、10。计算结果表明: 当大车位于悬臂段极限位置时, 桥墩 5 支座处轨道梁结构的应力最大, 达到 238 MPa; 无侧限约束时, 各工况下的等效应力较有侧向约束时有所增大, 当大车运行到悬臂段时, 其最大等效应力为 255 MPa, 比有侧向约束时增大了 17 MPa。其余工况下, 应力增加均不超过 7 MPa, 应力增加较小, 应力分布情况基本相同。因此, 侧向约束

在一定程度上降低了轨道梁的局部应力, 但对轨道梁结构的整体强度影响不大。

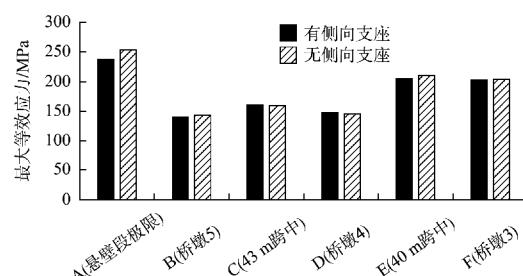


图 9 有无侧向支座时桥机轨道梁不同位置最大应力对比

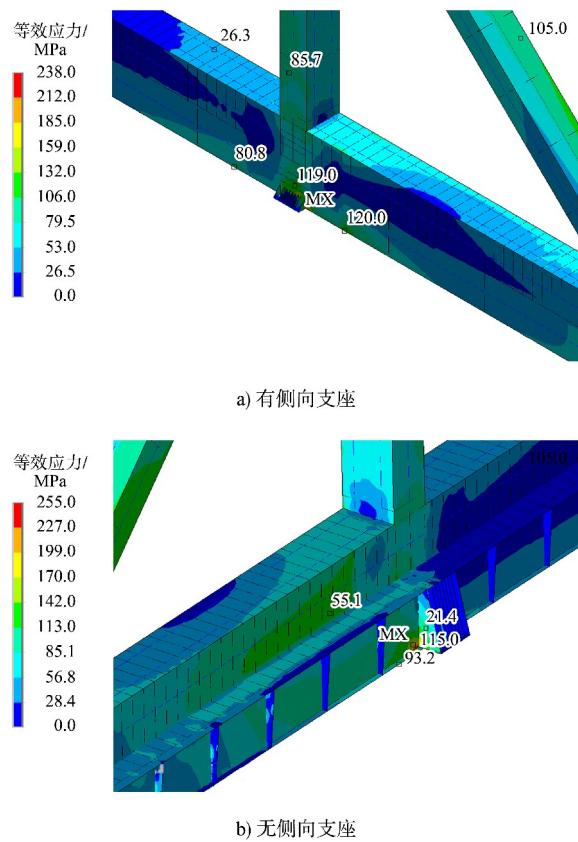


图 10 大车位于悬臂段时最大等效应力云图

4 结论

1) 在没有侧向约束的情况下,桥机轨道梁主梁在Y方向的挠度变化较小,但在Z方向会产生较大的变形,左右两侧Z方向的位移值基本相同,从而导致整体挠度差减小,使得作业范围有所增大,因此侧向支座的设置进一步增大了桥式起重机在同一位置处运行的安全性。

2) 桥机轨道梁在消除侧向约束后,主梁的竖直方向变形变化不大,主梁的侧向扭转变形略有增加,桥机轨道梁会产生显著的Z方向变形。

3) 桥机轨道梁在消除侧向约束后,结构的局部应力有所增大,应力增加最大值达17 MPa,钢材屈服强度下使得安全储备提高约7%,侧向约束一定程度上降低了轨道梁的局部应力,但总体上对轨道梁结构的强度影响不大。

4) 在设计工况下,侧向支座的设置对桥式起重机的安全运行具有较为重要的意义,设计中应予以考虑。桥式起重机轨道运行作业中应确保侧向支座的安全性和可靠性,避免失效。

参考文献:

- [1] 王浩.浅谈桥梁支座[J].黑龙江交通科技,2011,34(9):179.
- [2] 邓涛,戈浩波,陈章楷.桩基支撑轨道梁结构设计影响因素分析[J].水运工程,2022(8):161-166,200.
- [3] 湖北省交通规划设计院,武汉某工程施工图设计[R].武汉:湖北省交通规划设计院,2014.
- [4] 王云秋.港口水工建筑物(Ⅱ)[M].北京:人民交通出版社,2013:144-145.
- [5] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司,中交第三航务工程勘察设计院有限公司,中交第四航务工程局有限公司.码头结构设计规范:JTS 167—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [6] 季则舟.海港工程设计手册[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018:1280-1281.
- [7] 陶桂兰,卜美飞.大桩帽轨道梁不同支承条件的受力分析[J].中国港湾建设,2013(5):17-20.
- [8] 余代广,朱杰,李晓强,等.某高桩码头结构行车移动荷载分析[J].水运工程,2011(12):73-77.

(本文编辑 赵娟)

· 消息 ·

天津南港危险货物集装箱堆场竣工投用

近日,一航院设计的天津南港工业区新建危险货物集装箱堆场竣工投用。该项目位于天津港大港港区,占地面积约9.9万m²,主要建设堆场区、辅建区、闸口区、查检区、应急处置区、甲类仓库等设施,可满足7类共11项危险货物集装箱的堆存、拆装箱、查检及周转作业任务。该项目的投用,完善了天津港的港口服务功能,提高了天津口岸危险货物集装箱操作水平和防范化解港口安全风险能力。