文章编号:1005-0523(2024)04-0045-09

变跨变幅钢栈桥结构设计及受力性能分析

代红伟[1],郑尚敏[2],程海根[2]

(1. 中铁二局集团有限公司,四川 成都 610031; 2. 华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:【**目的**】为了研究变跨变幅钢栈桥在多荷载工况下的承载性能。【**方法**】以向莆联络线向莆左线特大桥施工中的一座钢栈桥为研究对象,通过桥梁有限元软件Midas civil建立数值模型,分析其在5种不同工况下各个构件的受力状态。【**结果**】研究结果表明:钢栈桥贝雷梁在各种工况作用下,结构强度及刚度均有较大安全富余;桩顶分配梁在工况1及工况2作用下,其折算应力的安全富余系数较小,仅为1.23和1.20,工况5作用下其刚度的安全富余系数为1.20,施工过程中需要避免过重的临时荷载堆放;钢管立柱在工况5作用下的正应力安全富余系数仅为1.50,施工过程中应采取措施确保施工的安全性;转角处三角区设计符合结构性能要求。【**结论**】研究成果可为同类栈桥设计提供借鉴。

关键词:钢栈桥;结构设计;受力性能;变跨;变幅

中图分类号:U448 **文献标志码:**A

本文引用格式:代红伟,郑尚敏,程海根. 变跨变幅钢栈桥结构设计及受力性能分析[J]. 华东交通大学学报,2024,41(4):45-53.

Analysis of Structural Design and Mechanical Performance in Steel Trestle with Variable Amplitude and Span

Dai Hongwei[1], Zheng Shangmin[2], Cheng Haigen[2]

(1. China Railway 2nd Bureau Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract:【**Objective**】To study the load-bearing capacity of variable span and amplitude steel trestle bridges under multiple loading conditions.【**Method**】A steel trestle bridge in the construction of the Xiangtang-Putian left line special bridge on the Xiangtang-Putian connection railway line is taken as the research object. A numerical model was established by using the bridge limited element software Midas civil to carefully study the stress state of each component under five different conditions.【**Result**】The results show that the bailey beam has a large safety margin under different conditions; the safety margin factor of the pile top distribution beam is small under condition 1 and 2, reaching only 1.23 and 1.20, and the safety margin factor of its stiffness is 1.20 under condition 5. It is necessary to avoid excessive temporary loads during construction; the positive stress safety margin factor of the steel tube column under condition 5 is only 1.50, and measures should be taken to ensure safety during construction; the design of the triangular area at the corner meets the structural performance requirements.【**Conclusion**】The results may provide some reference for the design of similar trestle bridges.

Key words: steel trestle; structural design; mechanical performance; variable-span; amplitude

收稿日期:2023-4-20
基金项目:国家自然科学基金项目(51368018)

Citation format: DAI H W, ZHENG S M, CHENG H G. Analysis of structural design and mechanical performance in steel trestle with variable amplitude and span[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2024, 41(4): 45-53.

【研究意义】栈桥是桥梁施工过程中的一种重要临时结构，通常用于跨越水域或地面障碍，为施工人员和设备提供通道。钢栈桥因其承载能力强，可重复利用，适应性强，耐久性好等特点而在桥梁建设中得到广泛应用[1]。

【研究进展】由于钢栈桥在桥梁施工中的重要地位，要求其结构设计具有足够的安全性，为了保证钢栈桥在使用过程中的安全性，已有很多学者对其力学性能及结构设计开展相关研究。丁玉春等[2]对小浪底库区黄河特大桥高钢栈桥的施工方法进行研究，提出了一种新型钢栈桥施工方法以适应当地特殊地形的要求；王琳琳[3]开展水上钢栈桥的设计与施工关键技术研究，并通过有限元软件对结构的设计进行了模拟分析；王燎原[4]对裸岩地层条件钢栈桥的施工技术进行研究，研制出一套行之有效的施工方法，保证了工程的顺利完成。张乐[5]研究了实际工程中的钢栈桥施工顺序以及构件之间的限位装置适用性，为其设计提供了一定的参考依据；王东辉等[6]针对平潭海峡公铁两用大桥的钢栈桥受力进行了研究，分析其在4种状态下不同荷载组合下结构的安全可靠度；盛朝亮[7]对一全长216 m的钢栈桥进行设计研究，对其强度、变形以及稳定性进行分析；郭晓松[8]通过有限元软件Midas civil分析钢栈桥在不同工况下的力学性能，研究成果为钢栈桥的节点设计提供了一定的参考；姜枫等[9]通过对钢栈桥不同工作状态及施工状态下力学性能进行分析，并提炼出重要的力学性能指标；郑晶达[10]对钢栈桥施工过程中的稳定性进行分析，提出了提高其稳定性的措施；史双涛等[11]通过试验研究了钢栈桥在走车情况下的动力响应状态，以确定车辆在钢栈桥上的最佳行驶速度；甄志超[12]对一高速公路高架桥施工中的钢栈桥开展了设计与施工研究，提出的设计思路及施工要点为相关工程提供了借鉴。陈峰[13]，冯燕平等[14]以一连续梁桥施工用的钢栈桥为研究对象，通过数值模拟的方式研究其在洪水作用下的稳定性，并提出了提高其稳定性的措施；邓文豪[15]开展了在季节性强落差下的水文及地质条件下，钢栈桥的稳定性及抗洪能力的设计研究。

【创新特色】以上研究工作针对钢栈桥的设计、施工以及力学性能等方面开展，所得研究成果对实际工程的施工具有重要意义，然而，上述研究均是针对常规钢栈桥结构，针对非常规钢栈桥的设计及力学性能研究目前尚鲜见报道。

【关键问题】随着我国铁路的高速发展，由于线路设计及保护耕地等原因，邻近线路越来越多，线路中桥梁施工所需要的钢栈桥线路就需要依据实际情况而做创新设计，出现了变跨变幅钢栈桥。为了保证桥梁施工的安全性，有必要对这种非常规钢栈桥的设计方法及受力性能开展研究。

1 工程概况

1.1 钢栈桥概况

本文所研究的钢栈桥位于向莆联络线向莆左线特大桥127#~133#北侧，岗上梁场西南侧。钢栈桥共6联，全长(24+33+45+27+18+27)m，最大跨度9.0 m，第1~4联桥宽11.0 m，第5，6联共用向莆联络线131#~133#墩桥位并加宽，最大宽度为23.9 m，最小宽度为12.2 m。钢栈桥第5，6联与沪昆客专赣江特大桥桥梁边缘净距12.5 m，向莆联络线与沪昆客专线间距25.0 m，架桥机与沪昆高铁桥梁边缘水平距离约9.0 m，与沪昆高铁接触网立柱距离9.0 m，向莆联络线梁面高于杭长线梁面约0.4 m，钢栈桥三维设计图如图1所示。

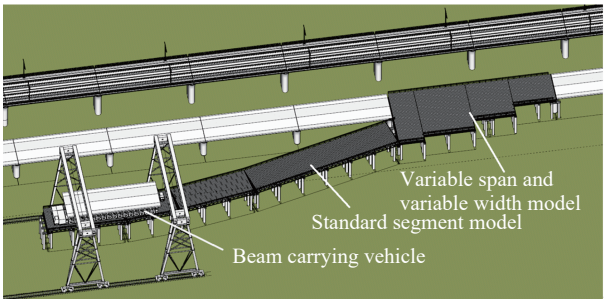


图1 钢栈桥三维设计图

Fig. 1 3D design sketch of steel trestle bridge

1.2　钢栈桥结构形式

钢栈桥共6联，全长（27+18+27+45+33+24）m，设置有P_1~P_{22}，共计22个主墩，其中第1、3、6联为“三跨一联体系”，第2联为“两跨一联体系”，第4联为“六跨一联体系”，第5联为“四跨一联体系”。第1~4联11.0 m宽标准栈桥上部结构纵梁由44片贝雷架组成，2~3片作为一组，同一组贝雷架之间采用45支撑架或22.5型支撑架连接，第5，6联栈桥加宽位置根据宽度适当增设贝雷架。钢管立柱之间连接系采用Φ426×6 mm钢管连接，桩顶设置双拼HN700×300×13×24横梁，横梁上为贝雷架纵梁，纵梁上设20a工字钢桥面分配梁，布置间距0.3 m，桥面采用14 mm钢板加防滑短钢筋满铺，桥头及三角区位置在桥面钢板上铺16 mm钢板搭接过渡。

1.3　钢栈桥设计

1.3.1　上部结构设计

钢栈桥上部结构采用贝雷架，桥面系为20a工字钢(含14工字钢纵向加劲梁)+14 mm花纹钢板，钢板与I20a型型钢之间采用间断焊100@100 mm，焊脚高度不小于6 mm，20a工字钢与贝雷架之间采用卡槽固定连接。第1~4联11.0 m宽标准栈桥上部结构纵梁由44片贝雷架组成，2~3片作为一组，同一组贝雷架之间采用22.5支撑架或45型支撑架连接，第5，6联栈桥加宽位置根据宽度适当增设贝雷架。钢管立柱顶设置双拼HN700×300×13×24型钢横梁，梁上为贝雷架纵梁，纵梁上设20a工字钢桥面分配梁，布置间距0.3 m，14工字钢纵向加劲梁横桥向间隔1.25 m设置，桥面采用14 mm钢板满铺，桥头及三角区位置在桥面钢板上铺16 mm的钢板搭接过渡。栈桥桥面两侧设栏杆进行保护，栏杆布置间距0.9 m，高1.2 m，栈桥端部设置混凝土车档，以防止车辆冲出栈桥。

1.3.2　下部结构设计

下部结构采用钢管立柱+桩顶系梁+桩基，钢管立柱均采用Φ820×12 mm钢管桩，柱间通过Φ426×6 mm钢管连接系连接。11 m宽标准栈桥采用单排钢管桩支撑，每排由4根钢管桩组成，每联两段设置一组双排制动钢管桩，基础采用混凝土灌注桩，桩径1 m，钻孔灌注桩桩长为21~23 m，桩基上方为C30钢筋混凝土桩顶系梁，桩顶系梁高1.2 m，宽1.5 m，长度根据钢管立柱的数量变化不等。钢栈桥中选用的钢管、型钢及钢板等材料为Q235B，材料参数根据相关规范[20]取值。

2　荷载类型及取值

依据钢栈桥实际施工及运营过程的情况，本文考虑的荷载形式有恒载（自重、不均匀沉降），活载（YL900运梁车和YL450运梁车）以及其他可变荷载（行人荷载、风载及温度和荷载），各种取值如表1所示。

3　结构分析模型建立

通过建立的钢栈桥整体数值模型对栈桥的下部结构及上部结构承载能力进行研究，主要研究的部位包括：横梁→贝雷梁→横向分配梁钢→钢管立柱及连接系→转角处。钢栈桥细部构造的验算主

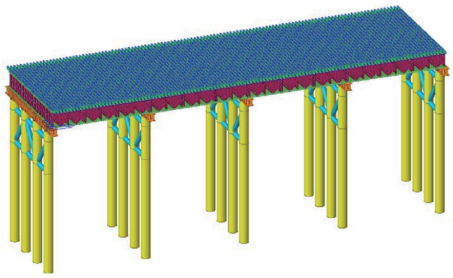
表1　荷载类型及取值

Tab.1　Load type and value

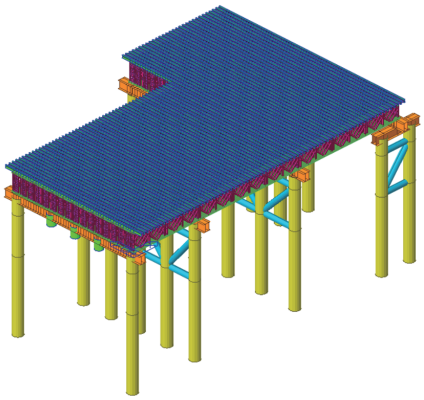
Load type		Load value
Dead load	Self-weight	The self-weight is calculated according to the density of steel structure.
	Inhomogeneous ettlement	The settlement value of 1.5 mm for the whole structure is considered.
Construction live load	YL900 beam carrying vehicle	The 900 t beam carrying vehicle has a dead weight of 253 t, and the self-weigh of prefabricated beam is 680 t.
	YL450 beam carrying vehicle	The 450 t beam carrying vehicle has a dead weight of 150 t, and which rated carrying capacity is 450 t.
	Beam carrying resistance	Considering the rolling resistance of beam carrying vehicle when it runs on a straight line with heavy load.
Other variable loads	Pedestrian load	The value is 2.5 kN/m^2 and the loading width is 0.7 m.
	Wind load	The value is calculated according to the provisions of specification[17].
	Temperature load	Since the steel trestle is a beam transported in the daytime, the value is calculated according to the specification[18], which only considers the overall temperature rise of 25 ℃.

要采用车辆荷载，车辆荷载根据实际情况取实际运营车辆。

选取的分析对象为(4×9 m)连续梁及(5.6+9+9)m第6联平台，采用桥梁通用有限元软件Midas civil建立数值分析模型，其中贝雷梁、钢管立柱及连接件采用梁单元模拟，而贝雷梁之间的横向连接采用桁架单元模拟，边界条件按施工现场模拟，模型如图2所示。



(a) Standard segment model



(b) Variable span and variable width model

图2 钢栈桥数值模型

Fig. 2 Numerical model of steel trestle

4 结构受力分析

通过本文建立的有限元模型对变跨、变幅钢栈桥进行研究，分析其在不同不利施工工况下，结构的整体及局部力学性能。根据栈桥在施工过程中所受的各种施工荷载，根据相关规范[20]，给出施工过程中最不利的5种施工工况，具体组合如表2所示。

4.1 贝雷梁分析

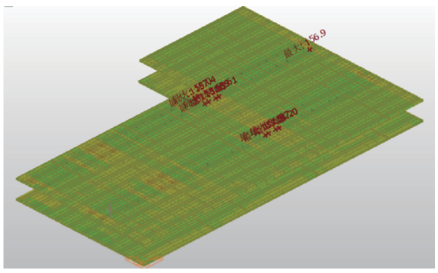
作为钢栈桥的上部结构，贝雷梁的受力性能状态对结构整体性能的影响非常大，通过本文建立的有限元模型分析施工过程中不同工况下贝雷梁各构件的受力状态以及变形情况。得到如下结果：图3(a)，图3(b)为工况3弦杆的应力云图，图3(c)，图3(d)为工况5腹杆的应力云图。表3为各工况下贝雷梁弦杆、腹杆的应力最大值及挠度最大值。

由图3及表3可知，不同荷载工况作用下，贝雷梁中弦杆与腹杆的应力最大值分布状态各不相同。弦杆的正应力最大值171.4 MPa发生在工况5，即900 t运梁车载梁行走在11 m宽栈桥时，而腹杆则在工况4中达到了最大正应力191.3 MPa。而在剪应力最大值分布中，二者最大值均出现在工况3，其中弦杆剪应力最大值为87.0 MPa，腹杆剪应力最大值60.6 MPa。由此可知，贝雷梁的各构件应力最大值在各个工况中均小于允许应力273.0 MPa，然而施工中需特别注意应力最大的工况，避免现场出现较大施工临时荷载。在贝雷梁刚度分析的各工况中，弦杆的变形最大值发生在工况5，为9.2 mm，小于允许挠度22.5 mm，说明贝雷梁具有较强的刚度。

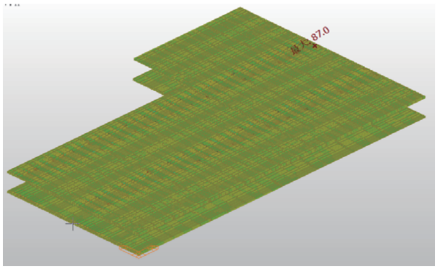
表2 荷载组合

Tab.2 Load combination

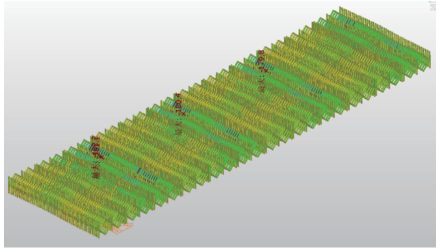
No.	Load case	Load combination
1	900 t beam carrying vehicle carrying girder walks on the 11 m wide trestle	1.1×(1.1×self-weight+1.4×900 t beam carrying vehicle×1.05×impact effect+1.1×wind load+0.75×1.4×overall warming effect+inhomogeneous settlement)
2	450 t beam carrying vehicle carrying girder walks on the 11 m wide trestle	1.1×(1.1×self-weight+1.4×450 t beam carrying vehicle×1.05×impact effect+1.1×wind load+0.75×1.4×overall warming effect+inhomogeneous settlement)
3	900 t beam carrying vehicle carrying girder walk on the sixth trestle which is widened section	1.1×(1.1×self-weight+1.4×900 t beam carrying vehicle×1.05×impact effect+1.1×wind load+0.75×1.4×overall warming effect+inhomogeneous settlement)
4	450 t beam carrying vehicle carrying girder walk on the sixth trestle which is widened section	1.1×(1.1×self-weight+1.4×900 t beam carrying vehicle×1.05×impact effect+1.1×wind load+0.75×1.4×overall warming effect+inhomogeneous settlement)
5	900 t beam carrying vehicle carrying girder walks on the 11 m wide trestle	1.1×(1.1×self-weight+1.4×900 t beam truck×1.05×impact effect+1.1×wind load+1.4×beam carrying resistance+inhomogeneous settlement)



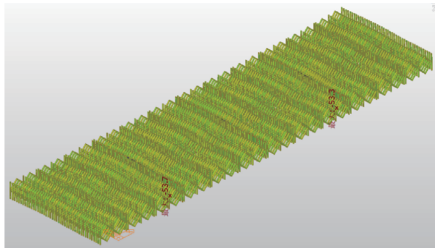
(a) Normal stress of chord members



(b) Shear stress of chord members



(c) Normal stress of web members



(d) Shear stress of web members

图3　应力云图

Fig. 3　Stress nephogram

表3　贝雷梁分析结果

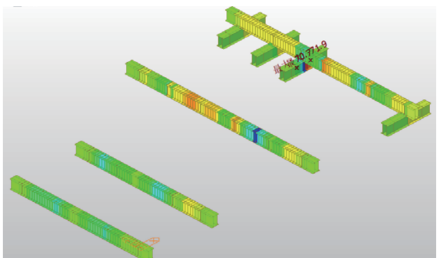
Tab.3　Analysis results of bailey beam

Load case	Chord member			Web member	
	Normal stress/MPa	Shear stress/MPa	Deflection/mm	Normal stress/MPa	Shear stress/MPa
1	171.1	80.9	5.4	182.2	53.1
2	126.1	57.9	5.4	168.0	37.1
3	159.1	87.0	4.1	174.7	60.6
4	127.4	71.0	7.7	191.3	57.4
5	171.4	81.0	9.2	182.2	53.7

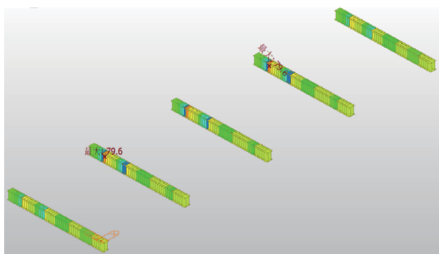
4.2　桩顶分配梁分析

依据钢栈桥的结构特点，施工过程中，桥上的施工荷载均通过桩顶的分配梁进行荷载分配，再施加于桩上。从受力的角度分析，该构件的应力状态也非常关键，在设计过程中需要开展不同受力工况下的结构分析，明确应力分布状态。分析结果如图4所示，其中图4(a)为工况3作用下分配梁正应力云图，图4(b)为工况2作用下分配梁剪应力云图，各工况分析结果最大值如表4所示。

由图4及表4的数据可知，不同荷载工况作用下，桩顶分配梁的正应力、剪应力及挠度最大值分布状态均不同，其中正应力最大值出现在工况3中，



(a) Normal stress in load case 3



(b) Shear stress in load case 2

图4　分配梁应力云图

Fig. 4　Stress nephogram of distributive girder

表4 桩顶分配梁分析结果

Tab.4 Analysis results of pile top distribution beam

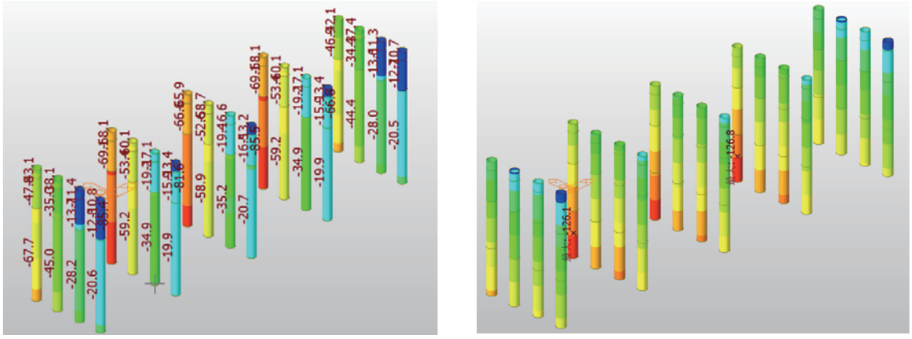
Load case	Distributive girder			Reduced stress	
	Normal stress/MPa	Shear stress/MPa	Deflection/mm	Maximum normal stress/MPa	Maximum shear stress/MPa
1	53.3	75.2	4.9	0.81	0.79
2	40.3	79.6	5.0	0.26	0.83
3	71.9	68.5	4.1	0.57	0.71
4	64.8	65.9	4.5	0.40	0.68
5	53.2	75.5	5.2	0.51	0.70

为71.9 MPa,小于允许应力190 MPa,而剪应力最大值出现在工况2,为79.6 MPa,小于允许应力110 MPa。由于桩顶分配梁同时承受正应力与剪应力的共同作用,根据相关规范[20]开展折算应力分析,表4结果显示折算应力均小于1,满足要求,然而有些工况中的安全富余系数较小(如工况1、2)仅为1.23及1.20,施工过程中需要避免过重的临时荷载堆放。由表4中各工况下分配梁的挠度最大值可知,最大挠度为5.2 mm,出现在工况5,小于允许挠度6.25 mm。由于安全富余系数仅为1.20,施工中需要注意该工况的施工安全性。

4.3 钢管立柱及连接系分析

对钢栈桥的钢管立柱及连接系进行分析,钢栈桥在施工运营过程中,荷载最终是通过贝雷梁传递到钢管立柱,然后传递到地基,所以钢管立柱是直接承担了钢栈桥上部结构的全部荷载,其受力状态直接影响到结构的安全性,通过数值模拟分析了不同工况下钢管立柱及连接系的应力状态,计算结果如图5、图6以及表5所示。

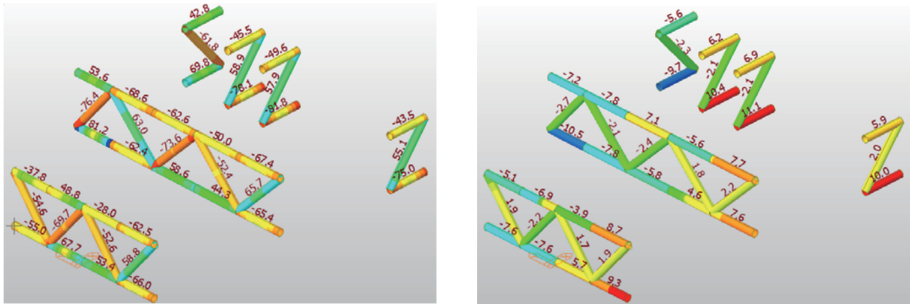
由图5、图6及表5的数据可知,不同荷载工况作用下,钢管立柱主要承受轴向力作用,其最大正应力出现在工况5,为126.8 MPa,小于允许应力



(a) Load case 2 (b) Load case 5

图5 钢管立柱正应力云图

Fig. 5 Stress nephogram of steel pipe column



(a) Normal stress (b) Shear stress

图6 钢管连接系应力云图

Fig. 6 Stress nephogram of steel pipe connection

表5　钢管立柱及连接系分析结果

Tab.5　Analysis results of steel pipe column and connection system

Load case	Steel pipe column	Steel pipe connection	
	Normal stress/MPa	Normal stress/MPa	Shear stress/MPa
1	84.6	69.3	9.9
2	85.5	71.9	8.6
3	80.3	81.8	11.1
4	75.6	75.3	8.6
5	126.8	70.4	10.0

190 MPa。由表5的数据得，钢管连接系组成的桁架单元虽然由于刚性节点的存在，主要还是受到轴向力的作用，正应力最大值为81.8 MPa，小于允许应力190 MPa，出现在工况3。结果表明，钢管立柱在工况5的安全富余系数仅为1.50，而钢管连接系在各工况作用下均有较大的安全富余。

4.4　转角处受力分析

由于本文所研究的钢栈桥是变宽的，通过受力分析可知，结构在转角处的应力状态比较复杂，为了保证钢栈桥在施工过程中的安全性，需对该处进行多工况下的受力分析。取结构最大转角处为研究对象进行分析，模型如图7所示，图中三角处最不利位置有横向相邻2个轮压，单个轮压取16.8 t，1个轮压的荷载由3根20工字钢共同承受，以节点荷载方式作用，单点荷载为5.6 t，荷载组合采用1.1×（1.1×自重+1.4×900 t轮压×1.05 冲击），分析结果如图8所示。

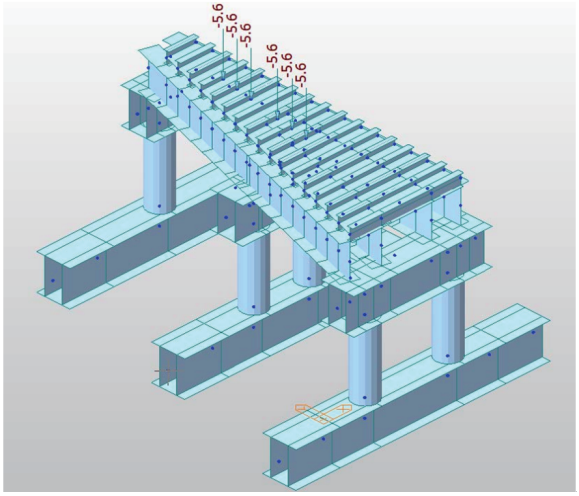
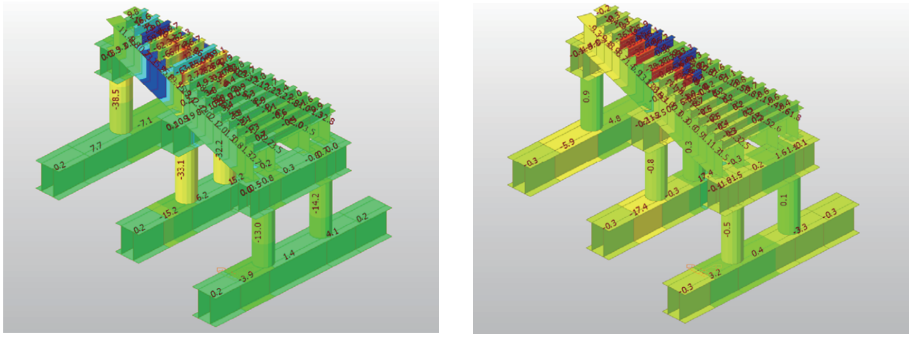


图7　钢栈桥转角处数值分析模型

Fig. 7　Numerical analysis model of steel trestle corner

由图8中数据可知，转角处结构在最不利荷载组合作用下最大正应力为66.7 MPa，小于允许应力190 MPa，最大剪应力为38.3 MPa，小于允许应力110 MPa，表明转角处的结构设计完全能满足钢栈桥施工过程中的安全性要求。



(a) Normal stress　　(b) Shear stress

图8　钢栈桥转角区应力云图

Fig. 8　Stress nephogram of steel trestle in corner area

5　结论

通过桥梁通用有限元软件Midas civil建立了变跨变幅钢栈桥的数值分析模型，并进行了多种工况下的受力分析，研究表明：

1）在不同荷载组合工况下，钢栈桥整体及各个构件的受力均小于允许应力。

2）贝雷梁在各种工况作用下，结构强度及刚度均有较大安全富余；桩顶分配梁在工况1及工况2作用下，其折算应力的安全富余系数仅在1.20~1.23之间，工况5作用下其刚度的安全富余系数仅为1.20，施工过程中为了保证结构安全性，需要避免过重的临时荷载放置；钢管立柱在工况5作用下的正应力安全富余较小，其安全富余系数仅为1.50，施

工过程中应保证其安全性。

3）转角处的三角区结构设计可完全满足施工安全性要求。

参考文献：

[1] 杨雪, 雷宏刚. 栈桥结构体系及选型探讨[J]. 科学之友(B版), 2009(5): 55-56.
YANG X, LEI H G. Discution on the structure system and used style of long-span coal-conveyer-galleries[J]. Friend of Science Amateurs(Version B), 2009(5): 55-56.

[2] 丁玉春, 郝白龙. 小浪底库区黄河特大桥高钢栈桥施工技术[J]. 公路交通技术, 2022, 38(5): 78-85.
DING Y C, HAO B L. Construction technique of high-steel trestle for Yellow River grand bridge in Xiaolangdi reservoir[J]. Technology of Highway and Transport, 2022, 38(5): 78-85.

[3] 王琳琳. 基于有限元方法的水上钢栈桥设计[J]. 黑龙江交通科技, 2022, 45(7): 85-87.
WANG L L. Design of steel trestle over water based on finite element method[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2022, 45(7): 85-87.

[4] 王燎原. 六景郁江特大桥裸岩地层栈桥施工关键技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2023(9): 158-160.
WANG L Y. Research on key technology of bare rock strata trestle construction of Yujiang bridge in Liujing[J]. Railway Construction Technology, 2023(9): 158-160.

[5] 张乐. 钢结构栈桥施工实例探析[J]. 交通建设与管理, 2015(6): 189-191.
ZHANG L. Analysis on construction examples of steel structure trestle[J]. Traffic construction and management, 2015(6): 189-191.

[6] 王东辉, 张立超. 平潭海峡公铁两用大桥栈桥设计[J]. 桥梁建设, 2015, 45(4): 1-6.
WANG D H, ZHANG L C. Design of trestle of Pingtan straits rail-cun-road bridge[J]. Bridge Construction, 2015, 45(4): 1-6.

[7] 盛朝亮. 跨沟谷临时钢栈桥设计与施工探讨[J]. 黑龙江交通科技, 2017, 40(4): 94+96.
SHENG Z L. Discussion on the design and construction of temporary steel trestle across gully[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2017, 40(4): 94+96.

[8] 郭晓松. 某施工钢栈桥的结构设计分析[J]. 低温建筑技术, 2017, 39(11): 86-89.
GUO X S. Structural analysis of constructional steel trstle [J]. Low Temprature Archtecture Technology, 2017, 39 (11): 86-89.

[9] 姜枫, 朱艳峰. 特大钢栈桥海上施工结构承载力研究与方案设计[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(6): 1487-1493.
JIANG F, ZHU Y F. Structural bearing capacity and schematic design of over- sized trestle offshore construction [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2018, 15 (6): 1487-1493.

[10] 郑晶达. 月亮岛钢栈桥施工设计方法探讨[J]. 西部交通科技, 2018(11): 84-87.
ZHENG J D. Discussion on steel tretle construction design method of mood island[J]. Western China Communications Science & Technology, 2018(11): 84-87.

[11] 史双涛, 上官长城. 临时钢栈桥在车辆荷载作用下的动力响应[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2019, 15(5): 221-224.
SHI S T, SHANGGUAN C C. Design and construction of temporary steel trestle across gully the dynamic response of temporary steel trestle under vehicle load[J]. Highway Transportation Technology (Applied Technology Edition), 2019, 15(5): 221-224.

[12] 甄志超. 基于重载条件的钢栈桥设计验算及加固措施探究[J]. 中国公路, 2023(21): 101-103.
ZHEN Z C. Design checking calculation and reinforcement measures of steel trestle based on heavy load condition[J]. China Highway, 2023(21): 101-103.

[13] 陈峰, 于艺林, 陈俐光, 等. 某施工栈桥受力计算及洪水作用下稳定性分析[J]. 公路与汽运, 2019(6): 107-109.
CHEN F, YU Y L, CHEN L G, et al. Force calculation and stability analysis of a construction trestle under flood [J]. Highways & Automotive Applications, 2019(6): 107-109.

[14] 冯燕平, 鲍军岗, 杨辉. 洪水期钢栈桥横向稳定性分析[J]. 西部交通科技, 2012(6): 50-53.
FENG Y P, BAO J G, YANG H. Lateral stability anlysis of steel trestle during the flood period[J]. Western China Communications Science & Technology, 2012(6): 50-53.

[15] 邓文豪. 季节性强落差河流浅覆盖层地质栈桥稳定性及抗洪设计与施工技术研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2019, 15(8): 123-124.
DENG W H. Study on stability and flood resistance design and construction technology of geological trestle in shallow overburden of seasonal river with strong drop[J]. Highway Transportation Technology (Applied Technolo-

gy Edition), 2019, 15(8): 123-124.
[16] 交通部第一公路工程总公司. 公路施工手册: 桥涵(下册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
[17] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥梁抗风设计规范: JTG/T 3360-01—2018[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
[18] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路桥涵设计规范: TB 10002—2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
[19] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥梁设计通用规范: JTG D60—2015[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
[20] 中华人民共和国交通运输部. 公路钢结构桥梁设计规范: JTG D64—2015[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.

通信作者:代红伟(1987—),男,工程师,研究方向为桥梁施工工艺。E-mail: 308191140@qq.com。

(责任编辑:李根)