

DOI: 10.7672/sgjs2025120100

地铁车辆段上盖开发工程大跨度转换梁高支模 盘扣式支架体系有限元分析及现场监测*

薛晓宏

(中铁二十局集团第六工程有限公司, 陕西 西安 710032)

[摘要] 为系统分析大跨度转换梁高支模盘扣式支架体系在荷载作用下的应力与位移变化规律,依托重庆地铁车辆段上盖开发工程建立盘扣式支架体系的有限元模型并进行现场监测,通过荷载组合分析承插型盘扣式支架体系在各种不利荷载作用下的应力与变形值,并对盘扣式支架体系的应力与位移的现场实测值与数值分析结果进行对比,验证有限元分析可靠性,确保盘扣式支架体系在施工过程中安全性。研究表明:盘扣式支架体系有限元模型在组合荷载作用下立杆全部为受压杆件,即全部承受压应力且最大压应力为 80.82MPa,现场监测全部立杆实测数据均为负值(负号表示受压),即全部立杆都承受压应力且最大值为 90.92MPa,误差为 12.50%,未超过 Q355 钢材考虑安全系数 k 为 3.0 时的预警应力值;由实测数据得盘扣式支架体系在转换梁混凝土第 2 次浇筑完成时平均累计最大竖向位移值为 -6.91mm,位于转换梁跨中断面处,未超过施工过程中允许位移范围值;盘扣式支架体系最大应力和位移计算值与现场实测值基本吻合,盘扣式支架体系的强度和刚度满足施工要求。

[关键词] 盘扣式支架;转换梁;有限元分析;应力;位移;监测

[中图分类号] TU731.2;TU755.2

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)12-0100-08

Finite Element Analysis and Field Monitoring of High-support Formwork and Disk Buckle Support System of Large-span Transfer Beam in Subway Depot Upper Cover Development Project

XUE Xiaohong

(The Sixth Engineering Co., Ltd. of China Railway 20th Bureau Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710032, China)

Abstract: In order to systematically analyze the change law of stress and displacement of the high-support formwork and disk buckle support system of the large-span transfer beam under the action of load, relying on Chongqing subway depot upper cover development project to establish a finite element model of the buckle support system and field monitoring, analyzing the socket-type buckle support system through the combination of the load in a variety of unfavorable loading action, the stress and deformation values of the socket-type disk buckle support system under various unfavorable loads are analyzed, and the field measured values of the stress and displacement of the disk buckle support system are compared with the numerical analysis results to verify the reliability of the finite element analysis and ensure the safety of the disk buckle support system during the construction process. The research results show that: The finite element model of the disk buckle support system shows that, under combined loads, all vertical members are subjected to compressive forces, with a maximum compressive stress of 80.82MPa. Field monitoring data shows that all measured values for the vertical members are negative (negative indicating compression), with all members bearing compressive stress and a maximum measured value of 90.92MPa. The error is 12.50%, which does not exceed the warning stress value for Q355 steel when considering a safety factor k of 3.0. According to the measured data, the average cumulative maximum

* 陕西省重点研发计划(2024SF-YBXM-650)

[作者简介] 薛晓宏,工程师,E-mail: 609141260@qq.com

[收稿日期] 2024-10-28

vertical displacement of the disk buckle support system at the completion of the second concrete pour for the transfer beam is -6.91mm , located at the mid-span section of the transfer beam, which is within the allowable displacement range during construction. The calculated values of the maximum stress and displacement for the disk buckle support system are in good agreement with the field measurements, confirming that the strength and stiffness of the system meet the construction requirements.

Keywords: disk buckle support; transfer beams; finite element analysis; stresses; displacement; monitoring

0 引言

随着我国城市化不断发展,各种大跨度、大空间的复杂建筑物层出不穷,高支模作为这些建筑结构在施工过程中的临时支撑体系也得到越来越多应用^[1-4]。承插型盘扣式满堂支架因其拆装灵活、经济合理、支架体系安全稳定性好等优势逐渐在支架施工过程中得到广泛应用。对于满堂支架的研究,石程华^[5]针对高速公路桥梁满堂支架建立考虑碗扣节点为半刚性连接的有限元模型,分析支架结构在各施工阶段的应力、应变状态,通过现场监测结果与数值模拟进行对比分析,发现实测值与计算值吻合较好;方诗圣等^[6]对预应力连续桥梁碗扣满堂支架建立有限元模型,分析结构在不利荷载作用下的应力与位移值,并与现场实测值进行对比,验证支架体系的安全稳定性及数值计算的可靠性;邓俊雷等^[7]针对现浇箱梁承插型盘扣式满堂支架建立有限元模型,并与支架监测预警系统相结合,对受力和变形进行实时跟踪,验证有限元计算值与实测值准确性,确保支架安全性。目前针对 TOD 项目高层建筑大跨度转换梁施工过程中采用承插型盘扣式满堂支架体系的研究相对较少,本文针对大跨度转换梁盘扣式支架体系建立有限元模型,结合现场监测结果验证有限元模型的准确性和安全性,分析盘扣式支架体系在最不利荷载组合作用下的应力与位移变化规律,为支架体系的安全施工提供依据。

1 工程概况

重庆地铁车辆段上盖开发工程位于重庆市南岸区,本工程包括 1~12 号塔楼、幼儿园,项目主要使用功能为住宅,用地面积为 $65\,873\text{m}^2$,总建筑面积为 $244\,639.73\text{m}^2$,地上建筑面积为 $180\,372.9\text{m}^2$,地下建筑面积为 $64\,266.9\text{m}^2$ 。对 9 号转换梁高支模盘扣式支架采用有限元软件进行数值分析和现场监测,9 号塔楼的主体结构类型为全框支剪力墙结构,建筑总高度为 50.25m ,地下 2 层、地上 15 层,地下 1 层为转换层,转换层中梁最大截面尺寸为 $1\,600\text{mm}\times 2\,000\text{mm}$,最大跨度为 12.85m ,转换梁采用 C60 混凝土,板厚 200mm ,板顶高度为 9.4m ,架

体搭设高度为 9.2m ,采用转换梁线荷载为 $82.08\text{kN/m}>20\text{kN/m}$ 的模板支撑系统,属于高支模体系^[8],综合考虑支撑架体搭设时满足质量可控、易搭设、安全经济等原则^[9],本次转换梁高支模选用承插型盘扣式满堂支架体系。

在施工过程中,为了保证既有盖板结构的安全性,采用 I16 作为分配梁并在工字钢下垫设 2 层 15mm 厚复合木胶合板将上部荷载传递到下部运营库盖板结构的梁上,通过梁将荷载传给柱,利用柱向下传递到基础,在分配梁上搭设承插型盘扣式满堂支架对上部转换梁进行施工时,整个体系的传力路径明确。盘扣式支架的立杆规格为 Q355 级 $\phi 48\times 3.25$ 钢管、弹性模量为 190GPa ,横杆为 Q235 级 $\phi 48\times 2.75$ 钢管、弹性模量为 200GPa ,斜拉杆为 Q235 级 $\phi 48\times 0.6$ 钢管、弹性模量为 200GPa ,其技术性能和构造要求符合规范^[10]规定。盘扣式支架体系的纵向间距为 600mm 、横向间距为 600mm ,横杆步距为 $1\,500\text{mm}$;立杆顶端垂直于梁跨度方向铺设 Q235 级 [8 作为主梁传递上部荷载,间距为 600mm ,在槽钢上间隔 70mm 铺设 $40\text{mm}\times 40\text{mm}$ 方钢管作为次梁传递上部荷载,方钢管上为 15mm 厚复合木胶合板,转换梁满堂支架设计布置如图 1 所示。

为了使盘扣式满堂支架体系的整体稳定性和牢固性更好,将满堂支架体系中斜拉杆按“格构柱”方式安装于支撑体系中,即每 4 根立杆及斜杆组成 1 个格构柱单元,在施工过程中将格构柱的斜杆全部按顺时针方向组装,根据规范^[10]每个格构柱单元中的斜拉杆沿水平方向的纵向和横向都采取“隔 1 布 1”形式,满堂支架斜杆布置如图 2 所示。

2 有限元模型建立

选取转换梁承插型盘扣式满堂支架为研究对象,利用有限元软件 MIDAS civil 建立承插型盘扣式支架模型。基于转换梁及满堂支架系统布置的对称性特点,取其最不利支架系统进行分析计算,本文选取转换梁最大跨度为 12.85m 下部承插型盘扣式支架系统建立有限元空间模型,模型中承插型盘扣式支架采用梁单元模拟,采用半刚性节点连接的框架计算模型进行计算,根据规范将横杆和斜拉杆

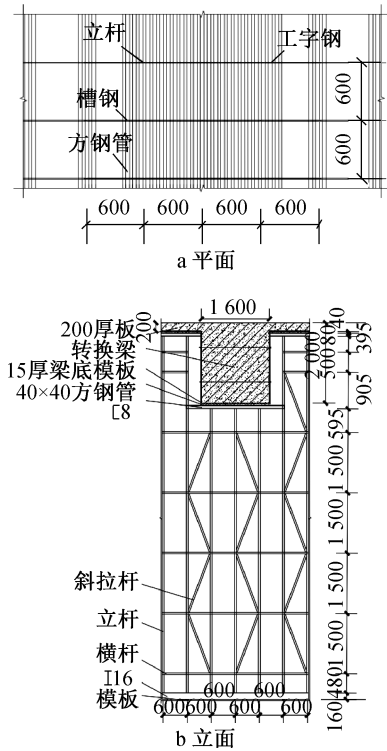


图1 转换梁满堂支架设计布置示意

Fig. 1 Design and layout of full-space support scaffold for transfer beams

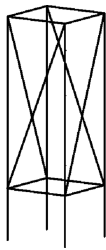


图2 转换梁满堂支架斜杆布置示意

Fig. 2 Layout of diagonal member of full-space support scaffold for transfer beams

的节点转动刚度值 k 设置为 $20\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}^{[11]}$; 在施加风荷载时, 在承插型盘扣式支架模型转换梁跨度方向的横杆和立杆节点建立模型中只起到传递荷载作用的“虚面”, “虚面”厚度定义为 1mm , 重度为 0 , 故其自重及刚度对支架的影响可忽略, 对“虚面”上的板单元施加压力荷载达到模拟风荷载的目的, 模型共计 $1\,783$ 个结点、 $4\,426$ 个梁单元, 转换梁盘扣式满堂支架体系有限元模型如图3所示。

承插型盘扣式支架模型的荷载设计如下。

1) 本文主要研究承插型盘扣式支架体系, 考虑到转换梁下部满堂架体的布置要求和受力体系的合理性, 取转换梁及两侧 1m 宽板带, 建立盘扣式支架模型, 建模范围为从底部分配梁到支撑架上部的槽钢, 转换梁及左、右两边 1m 宽板带下的满堂支

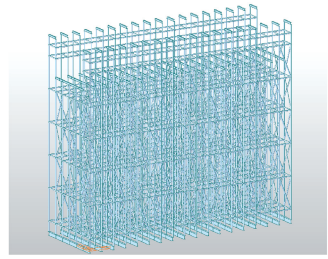


图3 转换梁满堂支架体系有限元模型

Fig. 3 Finite element model of full-space support scaffold system for transfer beams

架。对于槽钢上面的转换梁与板带、纵梁、横梁及两侧板带底部的模板、方钢管等结构自重参考规范换算成线荷载施加于盘扣式支架模型上部的槽钢上, 用于模拟实际施工中整个支架体系承受的上部荷载, 梁下荷载计算值为 $31.64\text{kN}/\text{m}$, 板下荷载计算值为 $5.88\text{kN}/\text{m}$, 盘扣式支架立杆采用 Q355 钢材, 横杆和斜拉杆采用 Q235 钢材, 槽钢和工字钢采用 Q235 钢材, 钢材重度取 $76.98\text{kN}/\text{m}^3$ 。

2) 施工人员及设备荷载参考规范^[10] 取值为 $2.5\text{kN}/\text{m}^2$, 施工荷载换算成线荷载施加于盘扣式支架体系上部的槽钢上。

3) 考虑风荷载影响, 根据规范^[12] 风荷载计算并取值为 $0.17\text{kN}/\text{m}^2$ 。

对于以上施加于承插型盘扣式满堂支架体系上的各种荷载按规范进行最不利荷载组合, 进行强度计算时的荷载组合为 $1.2 \times \text{永久荷载} + 1.4 \times (\text{可变荷载} + \text{风荷载})$, 刚度计算时的荷载组合为 $1.0 \times \text{永久荷载} + 1.0 \times \text{可变荷载} + 1.0 \times \text{风荷载}^{[11]}$ 。

3 承插型盘扣式满堂支架体系应力、变形有限元数值分析

3.1 盘扣式支架体系应力有限元数值分析

对承插型盘扣式支架体系进行数值分析, 得到盘扣式支架体系在荷载组合作用下应力云图和相应应力值如图4和表1所示, 分析应力云图及表1可知, 盘扣式支架体系在组合荷载作用下立杆全部为受压杆件, 主要承受压应力, 由图4a可知, 盘扣式支架体系中立杆的压应力最大, 其值为 80.82MPa , 位于转换梁跨中位置; 由图4b可知, 其最小压应力为 3.04MPa , 主要位于转换梁两侧板带下, 分析其原因为板带下的立杆在风荷载作用下, 承受风荷载作用一侧立杆会产生较大拉应力, 在荷载组合作用下靠近风荷载作用一侧立杆的压应力会较小。

由图4c可知, 横杆最大压应力出现在转换梁下方一层迎风侧, 其数值为 11.52MPa ; 其最大拉应力出现在转换梁跨中位置下方第2层横杆处, 最大拉

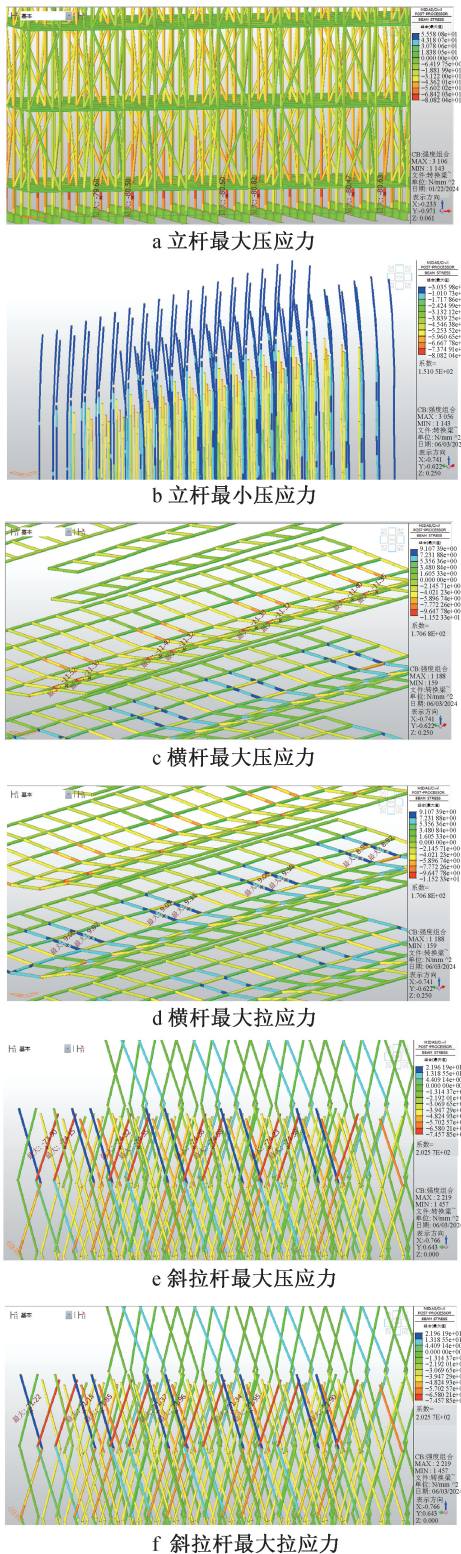


图4 盘扣式支架结构应力有限元云图(单位:MPa)

Fig.4 The finite element nephogram of the structural stress of the disc buckle support(unit:MPa)

应力为9.11MPa,如图4d所示。

由图4e可知,斜拉杆最大压应力为74.58MPa,出现在靠近转换梁下方中部斜拉杆处;由图4f可知,斜拉杆最大拉应力为21.96MPa,出现在转换梁

表1 盘扣式支架体系在组合荷载作用下有限元数值分析应力计算值

Table 1 Calculated stress values for finite element numerical analysis of disk buckle support system

under combined loads		MPa
杆件类型	最大压应力	最大拉应力
立杆	80.82	—
横杆	11.52	9.11
斜拉杆	74.58	21.96

下方背风面斜拉杆处。

盘扣式支架体系在组合荷载作用下最大组合压应力和最大组合拉应力分别为80.82,21.96MPa,均未超过Q355和Q235钢材强度标准值,其满足规范要求。

3.2 盘扣式支架体系位移有限元数值分析

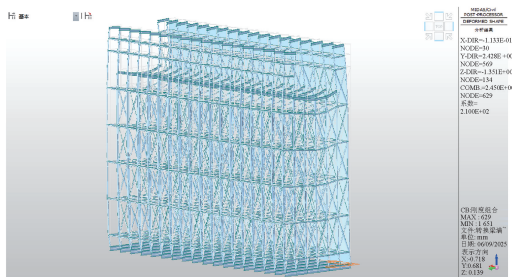
对盘扣式支架体系有限元模型进行位移分析,得到满堂支架体系在刚度荷载组合作用下的变形云图,如图5所示。由图5b可知,盘扣式支架体系在刚度荷载组合作用下最大竖向位移为1.35mm,位于转换梁跨中位置下方的立杆顶部。

由云图5c所示,转换梁承受风荷载作用一侧板带下立杆顶部垂直于梁跨度方向的位移最大,最大值为2.43mm;由图5d可知,转换梁跨度方向最大位移为0.11mm,位于靠近转换梁端部底下横杆上。

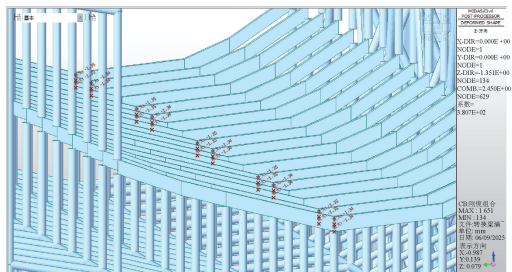
转换梁最大组合位移出现在承受风荷载作用一侧板带跨中位置立杆顶部,其值为2.45mm,变形云图如图5e所示;虽然盘扣式支架垂直于梁跨度方向最大位移要大于支架竖向位移、梁跨度方向位移,由于在本模型中取转换梁两侧各1m宽的板带进行计算分析,考虑板下满堂支架的影响,在对盘扣式支架体系进行位移监测过程中把竖向位移作为主要控制目标进行现场监测。

4 承插型盘扣式支架体系应力、变形监测分析

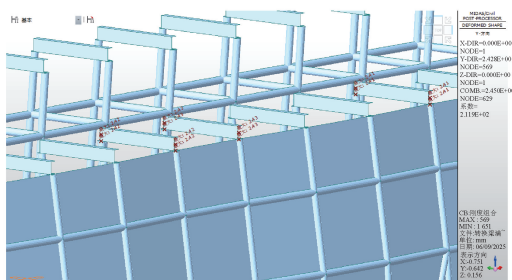
为了研究转换梁在施工过程中对下部满堂盘扣式支架应力和变形的影响,保证支架安全稳定性及验证满堂盘扣式支架有限元模型的准确性,在施工过程中对转换梁的关键截面处支架体系的应力与变形进行现场动态监测。根据转换梁盘扣式支架体系的施工方案及相关规范要求,在转换梁跨中位置设置1个监测断面(D1),并在监测断面(D1)两侧靠近梁端部各设置1个监测断面(D2和D3),转换梁上总共设置3个监测断面,如图6所示。从转换梁底模板及梁钢筋开始施工起对盘扣式支架进行监测,至转换梁混凝土达到设计强度要求后拆除梁底盘扣式支架体系时结束监测。



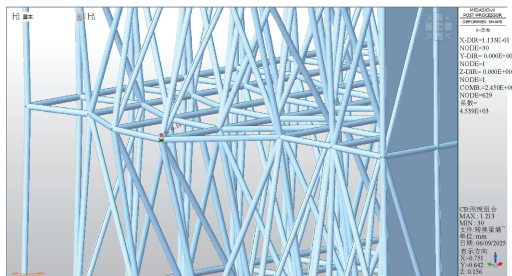
a 整体变形



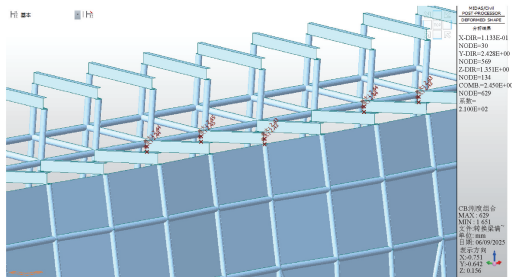
b 最大竖向位移



c 支架垂直于梁方向最大位移



d 支架平行于梁方向最大位移



e 支架最大组合位移

图 5 盘扣式支架结构变形有限元云图(单位:mm)

Fig. 5 Finite element nephogram of structural deformation of the disc buckle support(unit:mm)

4.1 盘扣式支架体系应力监测分析

根据施工现场实际情况,对 D1,D2,D3 3 个监测断面进行应力监测。对于立杆应力,在 3 个监测断面应力测点位置上的立杆顶托上安装智能弦式支模轴力计,通过自动化数据采集仪采集盘扣式支

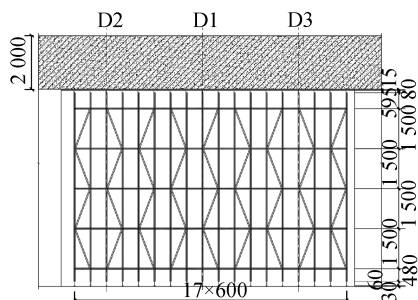


图 6 转换梁监测断面布置

Fig. 6 Layout of monitoring sections of transfer beam

架立杆在荷载作用下的轴力值,利用现场监测得出的轴力值计算出立杆应力值;对于横杆和斜拉杆的应力监测,在相应监测断面测点位置的横杆和斜拉杆上焊接钢结构表面应变计,通过智能读数仪采集盘扣式支架中横杆和斜拉杆在荷载作用下的应变值,进而计算出横杆和斜拉杆应力值,并与有限元数值分析的结果进行对比,从而验证数值模拟结果的准确性。

利用转换梁及盘扣式支架布置的对称性原则,参考有限元数值计算结果,在每个应力监测断面布置 6 个应力监测点,分别为 2 个立杆轴力监测点(编号为 D_i-Z1, D_i-Z2)、2 个横杆应力监测点(编号为 D_i-H1, D_i-H2)、2 个斜拉杆应力测点(编号为 D_i-X1, D_i-X2) ($i=1,2,3$)。转换梁应力测点布置如图 7 所示。

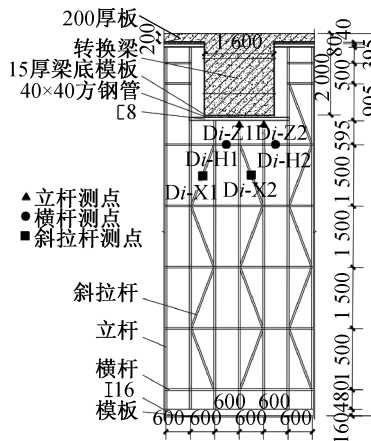


图 7 转换梁应力监测点布置

Fig. 7 Layout of stress measuring points of transfer beam

自盘扣式支架体系搭设完成上部转换梁模板及钢筋施工开始监测,至转换梁混凝土达到设计强度要求后拆除梁底盘扣式支架体系时监测结束,在整个施工监测过程中盘扣式支架体系应力测点的最大应力值及出现位置如表 2 所示。

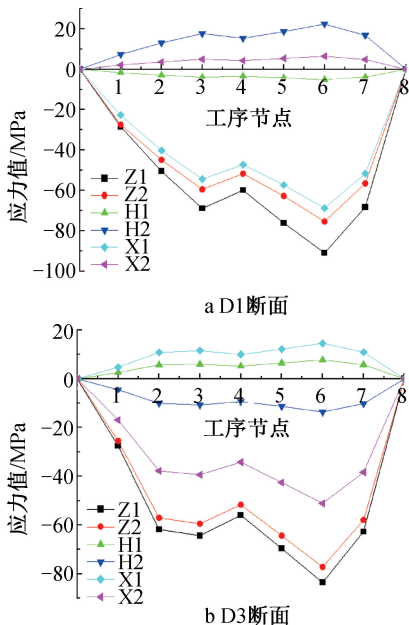
由表 2 可知,盘扣式支架体系中立杆主要承受压应力,都为受压杆件,表明支架体系以承受压应

表 2 盘扣式支架体系现场监测最大应力值及其位置

Table 2 The maximum stress values and its location for field monitoring in the disc buckle support system

测点编号	最大压应力/MPa	出现位置	最大拉应力/MPa	出现位置
Z1	-90.92	D1 断面	—	—
Z2	-77.24	D3 断面	—	—
H1	-5.60	D2 断面	7.78	D3 断面
H2	-13.58	D3 断面	22.37	D1 断面
X1	-68.75	D1 断面	14.59	D3 断面
X2	-56.17	D2 断面	6.46	D1 断面

力为主,对于部分横杆和斜拉杆在实际施工过程中钢管会不同程度地承受拉力,将应力计安装在受拉杆件上便会监测到拉应力值,但拉应力值总体较小,由图 8a 可知,在测点 D1-H2 测出的拉应力最大,其值为 22.37MPa,支架体系在组合荷载作用下最大拉应力为 21.96MPa,误差为 1.83%,对盘扣式支架体系的安全稳定性影响不大。由图 8a 可知,在 D1-Z1 测点得到盘扣式支架立杆最大压应力为 90.92MPa,在 D1-X1 测点得到斜拉杆的最大压应力为 68.75MPa;由图 8b 可知,在 D3-H2 测点得到盘扣式支架横杆最大压应力为 13.58MPa。



注:图中时间节点 0 为盘扣式支架初始受力状态;1,2 为第 1 次混凝土浇筑过程;3 为第 1 次混凝土浇筑完成状态;4 为第 1 次养护达到强度要求时;5 为第 2 次混凝土浇筑过程;6 为第 2 次混凝土浇筑完成状态;7 为转换梁混凝土全部浇筑完成后养护状态;8 为转换梁混凝土强度达到 100%,养护结束,拆除盘扣式支架状态。

图 8 D1 和 D3 监测断面盘扣式支架应力变化曲线

Fig. 8 Stress change curves of the disc buckle supports in monitoring sections D1 and D3

由图 8 可知,转换梁的混凝土浇筑时采用分层浇筑方法,各测点的应力变化值在两次混凝土浇筑

过程中基本呈线性变化,第 1 次混凝土浇筑时盘扣式支架体系的应力增大速率大于第 2 次浇筑时的应力增大速率;盘扣式支架体系中立杆、横杆和斜杆的应力在第 1 次混凝土浇筑完成时应力达到极值,第 2 次浇筑结束后应力达到最大值。在第 1 次浇筑混凝土强度达到 35MPa 时进行第 2 次转换梁混凝土浇筑,在两次混凝土养护过程中,随着转换梁混凝土强度逐渐提高,盘扣式支架体系的应力都有所减小,混凝土达到强度要求养护结束,盘扣式支架拆除后应力为 0。利用有限元模型数值计算得出的立杆、横杆及斜拉杆最大压应力分别为 80.82, 11.52, 74.58MPa,数值模拟值与现场实测值误差分别为 12.50%, 17.88%, 7.82%,立杆和横杆的数值模拟结果大于现场实测值,但斜拉杆有限元计算值小于实测值,均小于 Q355 和 Q235 钢材考虑安全系数 k 取 3.0 的预警应力值 $[\sigma_1] = 118\text{MPa}$ 和 $[\sigma_2] = 78\text{MPa}$,表明在施工过程中使用盘扣式支架体系性能良好、安全可靠,可满足现场施工要求。

4.2 盘扣式支架体系竖向位移监测分析

本次采用拉绳式位移计对盘扣式支架竖向位移进行监测,将拉伸位移计安装于盘扣式支架立杆上,其工作原理为,在施工过程中,立杆在荷载作用下产生竖向位移,位移计的拉绳会被拉伸或收缩,传感器会输出与拉绳移动距离成比例的电信号,通过使用自动化数据采集仪采集输出信号,即可得到立杆竖向位移情况。

本次对 D1, D2, D3 3 个监测断面的立杆竖向位移进行监测,考虑对称性原则,每个监测断面布置 3 个竖向位移测量点,分别对称布置于梁底立杆上(编号为 $D_j\text{-}Y1, D_j\text{-}Y2, D_j\text{-}Y3$ ($j=1, 2, 3$)),盘扣式支架竖向位移测点布置如图 9 所示。在施工现场监测过程中注意对拉伸位移计的安装固定位置做好相应保护。

在全部盘扣式支架体系搭设完成后,在立杆上安装拉绳式位移计进行支架体系竖向位移测量,安装完仪器并与数据采集箱连接后进行仪器调试,调试正常后变形值即设定为初始位移值,某一施工阶段测点的测量位移量与初始位移量差值即为该测点在此施工阶段下的累计竖向位移量。转换梁 3 个监测断面的梁模板和梁钢筋施工完成时平均累计竖向位移量及混凝土第 1, 2 次浇筑完成时平均累计竖向位移量如图 10 所示。由图可知,转换梁在梁模板和钢筋施工完成及第 1, 2 次混凝土浇筑完成时累计竖向变形量都呈抛物线分布,符合一般梁在受力状态下变形为跨中位置变形大、两端变形小的变形

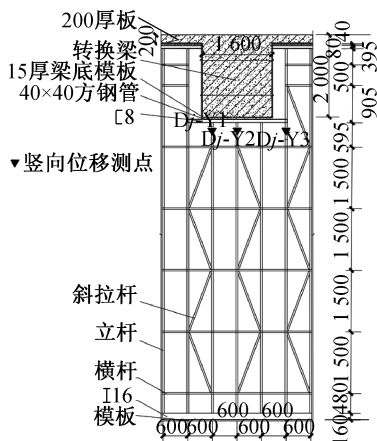


图9 盘扣式支架竖向位移测点布置

Fig. 9 Layout of vertical displacement measuring points of the disc buckle support

规律,这与支架体系累计竖向位移的变化趋势相吻合,体现了盘扣式支架体系监测数据的可靠性。

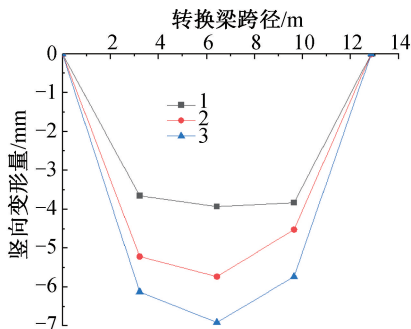


图10 盘扣式支架转换梁断面测点累计竖向变形量

Fig. 10 Cumulative vertical deformation at measuring points of the transfer beam section of the disc buckle support

由图10可知,转换梁在第1次混凝土浇筑完成时,断面D1、D2的平均累计竖向位移量较大,分别位于跨中位置、跨中左侧位置,平均累计竖向位移量分别为 -5.73 、 -5.12 mm;转换梁第2次混凝土浇筑完成后到混凝土达到设计强度时,最大平均累计竖向位移量为 -6.91 mm,位于转换梁跨中位置(即D1断面),由有限元计算的最大竖向变形量为 -1.35 mm、最大组合变形量为 -2.45 mm可知,盘扣式支架体系竖向变形量的现场实测值稍大于有限元计算值(见表3),出现实测值较大是由实际施工过程中很多原因造成,如盘扣式支架架体搭设有偏差、施工过程中梁上布置布料机等荷载等情况都会影响盘扣式支架体系的竖向变形,但实测值和有限元计算值均未超出施工过程中的允许位移变形范围,表明在转换梁施工过程中采用盘扣式支架体系选型较合适、性能安全可靠,能满足现场实际施工需求。

表3 盘扣式支架断面竖向变形观测值

项目	观测点		
	D1	D2	D3
Y1	-5.98	-5.78	-6.42
Y2	-7.23	-7.79	-5.75
Y3	-5.15	-7.16	-5.02
平均值	-6.12	-6.91	-5.73

5 结语

1) 盘扣式支架体系有限元模型在组合荷载作用下立杆全部为受压杆件,即全部承受压应力且最大压应力为 80.82 MPa,现场监测全部立杆实测数据均为负值(负号表示受压),即全部立杆都承受压应力且最大值为 90.92 MPa,误差为 12.50% ,未超过Q355钢材考虑安全系数 k 为 3.0 时的预警应力值,表明在转换梁施工过程中采用盘扣式支架体系性能良好、安全可靠,可满足现场施工要求。

2) 通过采用拉伸位移计对盘扣式支架体系竖向位移进行现场监测,转换梁混凝土第2次浇筑完成时支架最大平均累计竖向位移量为 -6.91 mm,位于转换梁跨中D1断面处,未超过施工过程中允许位移范围。

3) 通过对转换梁盘扣式支架进行数值模拟与现场实测数据进行对比分析可知,利用盘扣式支架体系的现场监测数据来验证数值模拟结果的可行性,表明采用有限元软件MIDAS Civil对转换梁盘扣式支架体系的应力和变形进行分析可行。

参考文献:

- [1] 韩源彬. 盘扣式模板支撑架承载性能研究与应用[D]. 北京: 清华大学, 2018.
HAN Y B. Research and application on load-bearing capacity of socket plate fastener type scaffold [D]. Beijing: Tsinghua University, 2018.
- [2] 刘京红, 李文坡, 张凌博, 等. 承插型盘扣式钢管支撑脚手架试验及有限元分析[J]. 北京理工大学学报, 2023, 43(5): 478-484.
LIU J H, LI W P, ZHANG L B, et al. Experiment and finite element analysis for disk lock steel tubular scaffold [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2023, 43(5): 478-484.
- [3] 曹益. 承插型盘扣式高支模体系稳定性分析与安全性评价[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2023.
CAO Y. Stability analysis and safety evaluation of socket type disk buckle high-formwork system [D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2023.
- [4] 刘哲, 刘战伟, 张兆龙, 等. 重型承插型盘扣式钢管脚手架连接节点抗弯性能研究[J/OL]. 工业建筑, 2023; 1-13. (2023-10-27). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?>

- filename = GYJZ20231027001&dbname = CJFD&dbcode = CJFQ.
LIU Z, LIU Z W, ZHANG Z L, et al. Experimental study on the bending resistance of the connection nodes of heavy duty socket and plate buckle steel pipe scaffolding [J/OL]. Industrial construction, 2023; 1-13. (2023-10-27). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=GYJZ20231027001&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [5] 石程华. 现浇箱梁碗扣式满堂支架整体计算分析与监测技术研究[J]. 公路, 2015, 60(7): 156-160.
SHI C H. Study on integral calculation, analysis and monitoring technology of cast-in-place box girder bowl-shaped full-house support[J]. Highway, 2015, 60(7): 156-160.
- [6] 方诗圣, 王文洋, 顾颖, 等. 高支模碗扣式满堂支架有限元分析及施工监控[J]. 施工技术, 2015, 44(14): 83-87.
FANG S S, WANG W Y, GU Y, et al. Finite element analysis and construction monitoring of high-supported and cuplock joint full framing[J]. Construction technology, 2015, 44(14): 83-87.
- [7] 邓俊雷, 李晓燕. 现浇箱梁承插型盘扣式满堂支架整体计算分析与监测技术研究[J]. 价值工程, 2023, 42(26): 151-153.
DENG J L, LI X Y. Research on overall calculation, analysis and monitoring technology of cast-in-situ box girders with socket and plate buckle full hall supports [J]. Value engineering, 2023, 42(26): 151-153.
- [8] 王其洋, 李欧琪. 某超高层续建工程转换梁高支模设计与施工[J]. 施工技术, 2011, 40(S1): 313-316.
WANG Q Y, LI O Q. Design and construction of high formwork for transfer beam in a super high-rise building extension project [J]. Construction technology, 2011, 40(S1): 313-316.
- [9] 张俊国, 崔彦波, 邢号杰. 超大预应力梁高支模设计与施工[J]. 施工技术, 2011, 40(S2): 241-243.
ZHANG J G, CUI Y B, XING H J. Design and construction of the high-formwork for oversized prestressed beam [J]. Construction technology, 2011, 40(S2): 241-243.
- [10] 南通新华建筑集团有限公司, 江苏捷模架科技有限公司. 建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准: JGJ/T 231—2021[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
Nantong Xinhua Construction Group Co., Ltd., Jiangsu Rapid Formwork & Scaffolding Co., Ltd. Technical standard for safety of disk lock steel tubular scaffold in construction: JGJ/T 231—2021[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021.
- [11] 中国建筑一局(集团)有限公司, 中国建筑股份有限公司. 建筑施工临时支撑结构技术规范: JGJ 300—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
China Construction First Group Co., Ltd., China State Construction Engineering Corporation. Technical code for temporary support structures in construction: JGJ 300—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [12] 中国建筑科学研究院. 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
China Academy of Building Research. Load code for the design of building structures: GB 50009—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.

(上接第99页)

- ZHONG W H, JIANG C, ZHENG Y H, et al. Study on performance of mounting connector of shared tower in different connection types [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (natural science), 2022, 38(6): 1011-1019.
- [11] 黄世恒, 舒恺, 朱云祥, 等. 预制柱高强度螺栓法兰连接节点抗震性能试验研究[J]. 建筑科学, 2023, 39(7): 64-71.
HUANG S X, SHU K, ZHU Y X, et al. Experimental study on seismic behavior of precast column joint with high strength bolts and flanges[J]. Building science, 2023, 39(7): 64-71.
- [12] 伍鹤皋, 徐文韬, 江山, 等. 大管径引调水工程可开启式封门及法兰结构研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52(6): 206-214.
WU H G, XU W T, JIANG S, et al. Structural research on the openable sealing door and flange of large diameter pipes in a water diversion project [J]. Water resources and hydropower engineering, 2021, 52(6): 206-214.
- [13] 杨盛, 庄富盛. 新型隧道逃生管道设计模拟及现场试验研究[J]. 公路交通技术, 2013, 29(2): 111-114.
YANG B, ZHUANG F S. Simulation and on-site experimental research of new escape pipeline design in tunnels[J]. Technology of highway and transport, 2013, 29(2): 111-114.
- [14] 李昌洪. 新型逃生管道在公路隧道施工中的应用[J]. 交通世界, 2021(15): 19-20.
LI C H. Application of new escape pipeline in highway tunnel construction[J]. TranspoWorld, 2021(15): 19-20.
- [15] 张轩瑜. 陶粒夹芯玻璃纤维增强塑料逃生管的设计与性能研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
ZHANG X Y. Design and performance research of glass fiber reinforced plastics ceramsite pipe applied as escape pipe [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016.
- [16] 李祝龙, 李鹏飞, 梁养辉, 等. 波纹钢管用作隧道逃生管道时的模拟分析[J]. 公路交通科技, 2017, 34(8): 105-113.
LI Z L, LI P F, LIANG Y H, et al. Simulation analysis of corrugated steel pipe used as tunnel escape pipe [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2017, 34(8): 105-113.
- [17] 张伟, 辛亮, 陈继滔, 等. 复材隧道逃生管道结构设计与冲击试验研究[J]. 大连交通大学学报, 2018, 39(4): 88-91, 106.
ZHANG W, XIN L, CHEN J T, et al. Structural design and impact test of new-type composite tunnel escape tubes [J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2018, 39(4): 88-91, 106.
- [18] 余峰, 张家石, 赵玉丹, 等. 一种新型逃生管道的设计与分析改进[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2018, 16(1): 11-15.
YU Q, ZHANG J S, ZHAO Y D, et al. Improved design and analysis of a new escape pipeline [J]. Journal of Nanjing Institute of Technology (natural science edition), 2018, 16(1): 11-15.
- [19] 姜峰, 黄鑫, 武建生. 法兰设计方法及预紧力的确定[J]. 兰州理工大学学报, 2019, 45(4): 67-73.
JIANG F, HUANG X, WU J S. Flange design method and determination of pre-tightening force [J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2019, 45(4): 67-73.