

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.05.037

大跨度 T 构混合支架设计与关键施工技术

刁兆顺, 刘波

(烟台大学土木工程学院, 山东 烟台 264006)

摘要: 随着桥梁施工技术的成熟, 转体 T 构桥梁逐渐成为桥梁施工的一个重要类型。转体施工技术可以使桥梁更快速、简便地跨越一些既有建筑和环境因素, 而不影响其在施工过程中的正常使用。目前最适合的施工方式为挂篮悬臂施工。但有时因工期紧张或其他不可控因素, 导致无法使用此方式, 此时应考虑其他施工方式。为适应省道 219 上跨青盐铁路和胶黄铁路立交桥工程 2×116 m T 构的工期要求, 提出了使用盘扣式支架与梁柱式支架混合的支架体系进行施工的方式。利用有限元分析软件 Midas/Civil 建立了桥梁临时支架的计算模型, 对桥梁整体受力的情况进行了模拟, 对支架各部分材料的受力情况及材料的强度、刚度和稳定性等指标做出了分析, 对现浇支架的可行性给出了相应的结论。

关键词: 转体 T 构; 临时支架; Midas/Civil; 贝雷梁

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)05-0143-05

0 引言

随着我国经济社会的发展, 桥梁的建设与当前我国的经济社会发展越来越紧密。各种桥梁形式呈现百花齐放的景象, 如梁式桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥、刚架桥等, 其中以梁式桥应用最为广泛。各种建桥的方法现也逐渐成熟, 就梁式桥而言, 相对成熟的施工方法有就地现浇法、顶推施工法、悬臂施工法、转体施工法等。其中转体施工为上世纪 40 年代以后发展起来的一种架桥工艺^[1]。它可以利用环境优势, 选择合适的方位, 使用简单的支架完成桥梁的浇筑。完成浇筑以后将桥梁旋转到顺主线方向上。利用转体的方法, 可以避开原主线上的诸多不利因素, 如既有道路的通行、既有河流的通航等, 具有简单、快捷、影响小等诸多优点。一般转体 T 构使用的浇筑方式为挂篮悬臂浇筑, 当存在工期紧张或其他一些不可控因素, 导致挂篮悬臂浇筑的方式不能满足施工要求时, 应当选择施工工期更短且能满足分段浇筑要求的支架形式, 如盘扣式满堂支架、梁柱式支架或混合支架等形式。本文对省道 219 上跨青盐铁路和胶黄铁路立交桥工程 2×116 m T 构混合支架体系的强度、刚度和稳定性等指标进行了检算和分析。为该工程提供了切实可行的施工方案, 同时为其他相似桥梁的施工支架形式提供了借鉴和参考。

收稿日期: 2022-09-01

作者简介: 刁兆顺(1998—), 男, 硕士, 从事土木工程方向研究工作。

1 工程概况

2×116 m 主桥采用变高度预应力混凝土 T 构上跨青盐铁路、胶黄铁路, 单幅桥面宽 23.2 m, 两幅之间设 0.4 m 中间带, 桥面总宽 46.8 m。桥墩设置在青盐铁路上下行外侧, 铁路线间不设桥墩。施工方案采用转体施工工艺, 即在铁路两侧同时浇筑梁体, 待混凝土达到强度要求后左幅先后转体就位, 然后施工边跨合龙段完成主桥施工。合拢段混凝土达到设计强度后张拉剩余预应力钢束, 完成合拢段施工后对边支座进行顶升 16 cm, 以调整梁体受力性能。

T 构分为左、右两幅, 主桥 T 构主梁采用预应力混凝土单箱双室变高度连续箱梁, 箱梁高度 4.5 ~ 11.5 m, 箱梁顶宽 23.2 m, 底板宽 15.6 m。箱梁顶板厚度为 0.3 ~ 0.8 m, 底板厚度为 0.32 ~ 2.5 m, 腹板厚度为 0.5 ~ 1.8 m。箱梁 0 号段长 12 m, 主墩“T”构纵桥向划分为 33 个对称梁段, 边跨主梁现浇段长 6 m。梁段数及梁段长度从根部至跨中分别为 12 m (0 号段), 10×2 m, 4×2.5 m, 6×3 m, 5×4 m, 8×4.5 m, 累计悬臂总长 110 m。

2 总体施工方案

转体 T 构的原设计方案为挂篮悬臂浇筑施工, 由于工期紧张, 已放弃挂篮施工方案, 现应选择一种施工周期短, 且结构稳定的现浇施工方案。

目前可以满足缩减施工周期和分段浇筑要求的支架体系有: 使用盘扣架搭设的满堂支架和梁柱式支架。其中满堂支架的特点是搭设简单且灵活性强, 可

以适应各种梁体曲线变化情况,但其跨越能力差,盘扣架间距的布置非常局限。梁柱式支架的特点是跨越能力强,承载能力强,但由于上部贝雷梁片之间使用销栓连接,使得单组贝雷梁需呈直线布置,对于变高度梁体往往需要与其他类型支架混合布置,从而达到施工要求。

根据现场地质情况要求及既有道路通行情况要求,本次支架设计采用盘扣架+梁柱式支架的结构体系。利用盘扣架空间布置的灵活性进行上部梁体的调平;利用贝雷梁+螺旋钢管的跨越能力避开地面排水管道、电压线路及水渠等既有建筑工程。转体T构的主要施工流程如下:

- (1)对基础和桩基位置进行精准放样。确定位置后,打入钢管桩并浇筑基础。
- (2)搭设0#梁段和1#梁段的临时支架。采用履带吊悬挂振动锤插打钢管桩,浇筑基础并安装上部钢管,吊装横梁、贝雷梁及分配梁,搭设盘扣架及上部模板。
- (3)在0#梁段和1#梁段施工结束后,待混凝土达到龄期要求即拆除此部分支架,利用拆除的支架搭设2#梁段和3#梁段支架。以此类推,直到4#梁段和5#梁段支架搭设完毕。
- (4)所有梁段施工完成后,拆除全部支架,清理施工现场。

3 支架施工重难点

T构现浇采用支架现浇施工,支架顺着既有线路方向搭设,因支架范围内地质较软,通过荷载计算,基础采用混凝土条基+钢管桩作为地基处理,支架上部结构采用钢立柱+工字钢+贝雷架+工字钢+满堂支架,支撑体系受力构件多,钢管桩及受力钢构件的质量,搭设精度、垂直度要求高,是施工过程中的重难点。且支架体系构件多、高度高,存在倾倒后有影响既有线路安全的风险。

针对以上重难点,一是需要施工现场精准放样,确定施工点位;二是支架检算除分段计算外,最后还应进行一个整体的支架稳定性分析;最后,在施工过程中应严格按照设计图纸进行支架搭设。

4 支架结构设计方案

4.1 支架整体布置

根据现场地质条件及排水管道、电压线路、水渠等既有建筑工程,支架总体构造见图1、图2。

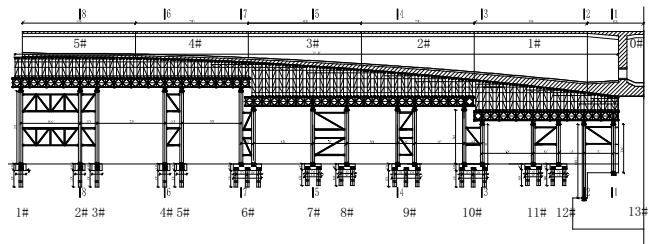


图1 大里程侧支架总体构造图(单位:cm)

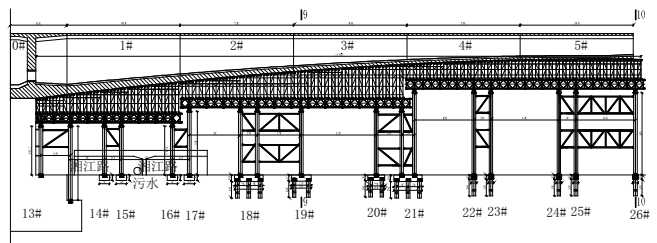


图2 小里程侧支架总体构造图(单位:cm)

支架主要由钢管桩、钢管立柱、横梁、贝雷梁、分配梁、盘扣架等组成,其中支架螺旋钢管立柱顺桥向设置34排,横桥向设置10根或12根,支架标准横断面见图3。

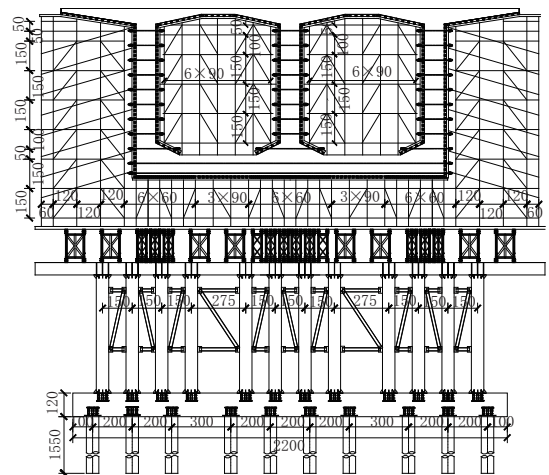


图3 支架标准横断面图(单位:cm)

(1)钢管桩。除了原有沥青路面和既有道路之外的地面,均选用钢管桩承载,钢管桩均选用 $\phi 630 \times 10$ mm钢管,材质Q235钢材。本桥共计布置74排钢立柱,总根数814根,间距为1.9~3 m。单排钢管桩桩长为18.0 m,三排及双排钢管桩桩长为14.0~15.5 m。

(2)钢管立柱。支柱采用 $\phi 630 \times 10$ mm的钢管,材质Q235钢材。本桥共计布置70排钢立柱,总根数760根,间距为1.5~3 m。钢管顶采用90 cm \times 90 cm \times 2.4 cm钢板封堵,钢管立柱与条基预埋钢板焊接连接,并在钢管四周设置6块三角形加劲钢板均匀焊接加固,焊接质量应符合要求,预埋钢板底部设置锚固钢筋。钢管柱间采用法兰盘连接,法兰盘间使用螺栓固定,保证垂直度。横向立柱之间设置Z字型连

接,用[16a槽钢焊接,宽度按照立柱间距执行,管节高度根据实测标高进行计算。柱头柱底法兰盘及预埋钢筋大样见图4。

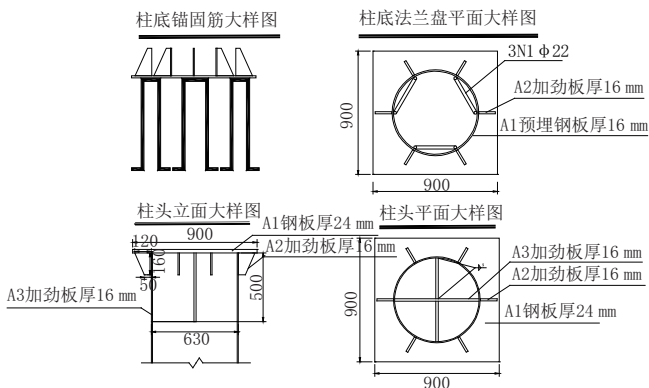


图4 柱头柱底法兰盘及预埋钢筋大样图(单位:mm)

(3)横梁。主横梁采用三拼 I56b 工字钢,每根长度 25.8 m,长度需要接长时,采用 1 cm 厚钢板帮焊工艺,两根工字钢接头要错开,放在不同的立柱上,严禁接头悬空。左幅 13#、14# 立柱横梁在上跨 Y13 墩身处采用五拼工字钢,每根长度 7.6 m,该处横梁总长 25.8 m,五拼工字钢长度 7.6 m,三拼工字钢长 18.2 m,工字钢间采用钢板焊接连接。

要注意结构细节的加固处理,在集中受力点均需加焊加劲肋,防止局部失稳和局部破坏,加劲肋布置在 I56b 工字钢横担处,布置三根,间距 30cm。加劲肋布置见图 5。

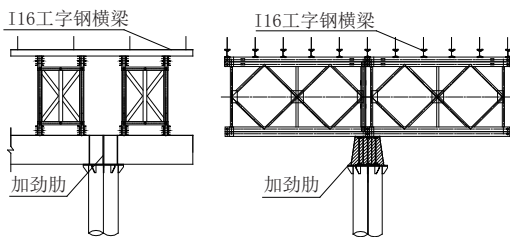


图5 加劲肋布置图

三拼工字钢间采用 15 cm 宽、1 cm 厚钢板在工字钢顶部、底部焊接连接,防止滑动,间距 2 m 左右一道,使三拼 I56b 工字钢形成整体;采用高度 20 cm 角钢(∠10 角钢)贴着三拼工字钢外侧焊接在钢立柱顶部,用于工字钢限位,防止工字钢纵向滑移,每根工字钢不少于 10 处。

(4)贝雷梁。纵梁为贝雷梁,采用标准加强型贝雷片,单片长 3 m,高 1.7 m,上全桥共 7 250 片,贝雷片之间用花窗连接,加强稳定性。贝雷片支点处,增设加强竖杆,双拼[10 槽钢相扣磨光顶紧;可现场根据实际情况进行调整,使加强竖杆落在主横梁上方即可。双拼[10 槽钢加强布置见图 6。

在地面上先将贝雷片利用插销拼装组合完成,

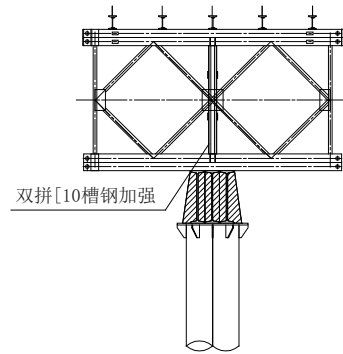


图6 双拼[10槽钢加强布置图

并将每组贝雷梁分组联结好。在工字钢横梁上将各组贝雷架按照计算出的应该摆放的位置用油漆标好。使用吊车将拼装组合好的贝雷架按先中间后两边的顺序尽量对称的吊装到位,并用自制 U 型钢筋将贝雷架固定在横梁上,固定完成后,花窗应及时安装。

0# ~ 3# 梁段贝雷梁横向布置为 $(4 \times 90 + 8 \times 22.5 + 4 \times 90 + 2 \times 45 + 6 \times 22.5 + 17.6 + 6 \times 22.5 + 2 \times 45 + 4 \times 90 + 8 \times 22.5 + 4 \times 90)$ cm, 4# ~ 5# 梁段贝雷梁横向布置为 $(4 \times 90 + 4 \times 22.5 + 6 \times 90 + 2 \times 45 + 2 \times 22.5 + 17.6 + 2 \times 22.5 + 2 \times 45 + 6 \times 90 + 4 \times 22.5 + 4 \times 90)$ cm。

(5)分配梁。底分配梁采用 I16 工字钢,顶分配梁采用 I12.6 工字钢,横桥向布置,间距均为 60cm,为增加稳定,在工字钢顶面横桥向焊接钢筋,加强分配梁稳定性。底分配梁采用 U 型螺栓与贝雷梁连接,防止滑动。

(6)盘扣架。支架搭设前根据测量放样定位线布置可调底座,按先立杆后水平杆再斜杆的顺序搭设,形成基本的架体单元,以此扩展搭设成整体支架体系。支架搭设时立杆应通过立杆连接套管连接,在同一水平高度内相邻立杆连接套管接头的位置错开,错开高度大于 75 mm;水平杆扣接头与连接盘的插销用不小于 0.5 kg 锤子击紧,插销尾部应保证有不小于 15 mm 的外露量;每搭完一步支架后,及时校正水平杆步距,立杆的纵、横距,立杆的垂直偏差和水平杆的水平偏差,保证立杆、水平杆位于同一轴线上,立杆的垂直偏差不大于支架总高度的 1/500,且不得大于 50 mm。支架须较梁面投影像每侧宽出不小于 1 m,作为工作平台。

4.2 支架材料参数

贝雷梁采用 16 Mn 钢材,其抗拉、抗压和抗弯强度设计值 $[\sigma]=310$ MPa,抗剪强度设计值 $[\tau]=180$ MPa。盘扣架采用 Q355 钢材,其抗拉、抗压和抗弯强度设计值 $[\sigma]=300$ MPa。其他构件采用 Q235 钢材,其抗拉、抗压和抗弯强度设计值 $[\sigma]=215$ MPa,抗剪强度

设计值 $[\tau]=125\text{ MPa}$ 。

4.3 支架荷载分析

混凝土容重取 26 kN/m^3 ,模板和支架荷载取 1 kN/m^2 ,施工人员、堆放荷载取 1 kN/m^2 ,倾倒混凝土冲击荷载取 2 kN/m^2 ,振捣混凝土产生荷载取 2 kN/m^2 。

支架强度验算时: $1.3 \times (\text{梁体荷载} + \text{模板荷载}) + 1.5 \times (\text{施工人员、材料及施工机具荷载} + \text{振捣混凝土时产生的荷载} + \text{浇筑混凝土时产生的冲击荷载})$;

支架刚度验算时: $1.0 \times (\text{梁体荷载} + \text{模板荷载}) + 1.0 \times \text{施工人员、材料及施工机具荷载}$ 。

5 支架安全性分析

5.1 上部支架

采用 Midas/Civil 建立支架主要结构的有限元模型,对支架受力情况进行分析,按照极限应力法对支架主要结构的强度、刚度和稳定性进行计算。

贝雷梁整体有限元模型单元类型采用梁单元。根据主梁结构特点及实际施工情况,贝雷梁承担主梁上部结构传递的荷载,包括主梁自重、支架、施工人员、堆载荷载。采用 Midas/Civil 建立 I16 工字钢横梁、贝雷梁组成的空间整体模型,构件均采用梁单元模拟。在贝雷梁部分的支撑点位置需要添加双拼[10槽钢用以加强,在两片贝雷片连接位置释放梁单元顺桥向的旋转自由度。I16 工字钢横梁与贝雷梁之间的连接采用弹性连接中的一般连接。Midas/Civil 有限元模型见图 7~图 9。

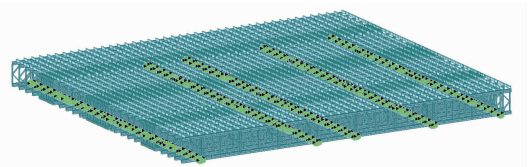


图 7 0#~1# 梁端 Midas/Civil 有限元模型图

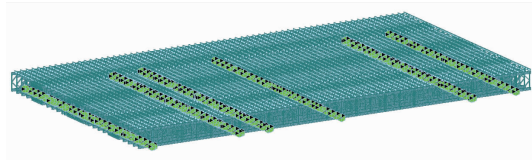


图 8 2#~3# 梁端 Midas/Civil 有限元模型图

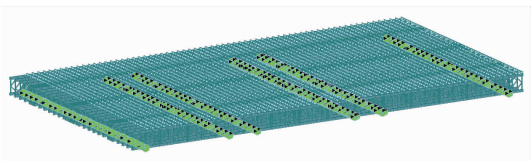


图 9 4#~5# 梁端 Midas/Civil 有限元模型图

横梁的单元类型也采用梁单元模拟,按照承受贝雷梁传递集中荷载的连续梁建立有限元模型。

Midas/Civil 有限元模型见图 10。

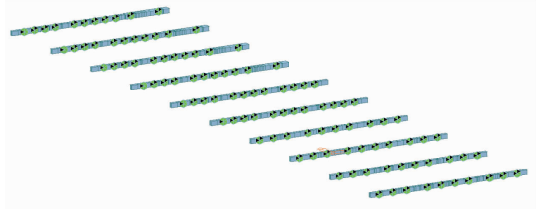


图 10 横梁 Midas/Civil 有限元模型图

(1)钢管立柱

计算钢管立柱强度和稳定性时,除了考虑钢管受到的轴力作用以外,还要考虑风荷载对钢管的直接作用以及风荷载造成上部支架对钢管的间接作用。经计算,钢管受到的最大压应力为 189.2 MPa ,小于抗压强度设计值 215 MPa 。计算过程中按照钢管上部铰接,考虑了长度计算系数,因此钢管的强度和稳定性均满足要求。

(2)横梁

经计算,得到的横梁的应力及变形结果见表 1。由表 1 可知横梁的强度和刚度均满足要求。

表 1 横梁最大应力及变形结果统计表

最大弯曲应力 /MPa	最大剪切应力 /MPa	最大变形值 /mm	抗弯强度设计值 /MPa	抗剪强度设计值 /MPa	最大变形限值 /mm
141.1	101.4	3.9	215	215	10.4

(3)贝雷梁

经计算,得到各梁段贝雷梁的应力及变形结果见表 2。由表 2 可知贝雷梁的强度和刚度均满足要求。

表 2 贝雷梁最大应力及变形结果统计表

梁段	最大弯曲应力 /MPa	最大剪切应力 /MPa	最大变形值 /mm	抗弯强度设计值 /MPa	抗剪强度设计值 /MPa	最大变形限值 /mm
0#~1#	303.1	112.5	8.3	310	180	22.5
2#~3#	299.4	103.8	12.9	310	180	33.1
4#~5#	297.6	111.2	15.5	310	180	33.8

(4)分配梁

由于分配梁与贝雷梁同在整体模型中,因此模型中分配梁的位移并非其支撑点间相对位移,可仅对其强度进行计算。经计算,得到各梁段分配梁的应力结果见表 3。由表 3 可知分配梁的强度满足要求。

表 3 分配梁最大应力结果统计表

梁段	最大弯曲应力 /MPa	最大剪切应力 /MPa	抗弯强度设计值 /MPa	抗剪强度设计值 /MPa
0#~1#	120.7	81.2	215	125
2#~3#	107.1	68.3	215	125
4#~5#	49.2	47.0	215	125

(5)盘扣架

计算盘扣架单根承载力时,钢管实际承受的荷载应该考虑到本身的自重系数,以及风荷载对钢管的影响。经计算,盘扣架受到的最大弯曲应力为 259.9 MPa,小于抗弯强度设计值 300 MPa。盘扣架的强度和稳定性均满足要求。

5.2 下部基础

采用理正工具箱软件对钢管桩排布和基础尺寸进行合理检算。钢管桩布置应满足桩中心间距大于桩身直径的三倍,且达到“桩包柱”的效果,其中柱为基础上部螺旋钢管立柱。对于双排或三排以及桩柱处在不同位置的基础按照多柱桩承台进行设计。设计时调试单桩承载力和基础尺寸直到检算通过,并利用此时的单桩承载力反算单桩入土深度。经计算,各处钢管桩布置间距、入土深度以及基础的尺寸均满足上部支架传递荷载的要求。

6 关键施工技术

针对施工现场实际情况及其分段施工的要求,T 构支架选择分段搭设。由于施工场地既有建筑工程较多,支架搭设过程中需要避开已有建筑,且应满足其分段施工的要求,综合考虑下,支架单侧分为三个阶梯进行布置。支架的每个阶梯可承载两个梁段,每个梁段可单独浇筑,且在上一个阶梯的梁段施工完成后,该处的支架仍可应用在下一个阶梯中。该方法不仅可以满足分段施工和预应力张拉的要求,还可以节省材料,降低支架的购置费用。

7 结论

通过 Midas/Civil 和理正工具箱等软件对桥梁上部支架及下部基础进行检算,在不改变现场地质条件及排水管道、电压线路、水渠等既有建筑工程的前提下,最终确定了转体 T 构的现浇支架施工方案,并

得到以下结论:

(1)T 构拼装支架结构合理,不仅满足了施工要求,还解决了施工工期紧张的问题。

(2)经有限元软件分析和计算,综合考虑转体 T 构现浇的不同荷载组合,支架满足规范的强度、刚度及整体稳定性要求。

(3)T 构拼装支架设计,成功地为该工程跨公路现浇梁施工提供了解决方案。

(4)该混合支架的设计,能够为类似的连续梁或其他变截面箱梁现浇支架的设计提供很好的借鉴。

参考文献:

[1] 陈宝春,孙潮,陈友杰.桥梁转体施工方法在我国的应用与发展公路交通科技[J].公路交通科技,2001,18(2):24-28.

[2] 孙九春.赵家沟大桥临时支架设计[J].世界桥梁,2015(1):11-17.

[3] 韩廷洪.永川长江大桥 PK 混凝土箱梁现浇支架设计与施工 [J].公路,2013(4):56-60.

[4] 刘建明,李维生.论跨既有高速公路现浇箱梁施工的交通组织[J].公路,2014(7):229-234.

[5] 张科辉.现浇连续梁钢管柱贝雷梁组合支架应用设计[J].铁道建筑技术,2015(8):40-44.

[6] 刘学明,刘世忠.钢管柱-贝雷梁支架体系施工工艺及设计检算[J].铁道建筑,2016(9):43-46.

[7] 高安荣,张建军,李松.鄂东长江大桥超宽箱梁现浇支架设计与施工 [J].桥梁建设,2009,39(增 1):23-26.

[8] 肖会英.跨公路连续梁支架及现浇施工技术[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2012,11(1):13-17.

[9] 詹凯,曾晓东,李贵康,等.基于 Midas civil 的 0# 块支架设计及验算分析[J].安徽建筑,2019,26(9):129-131.

[10] GB 50017—2017,钢结构设计规范[S].

[11] JGJ 231—2021,建筑施工承插型盘扣式钢管支架安全技术规程[S].

[12] 何永昶.超高跨度钢管柱及贝雷梁支架体系在曲线现浇连续梁中的应用[J].上海铁道科技,2016(1):85-88.

[13] 周伟明.梁拱组合体系拱桥梁部拼装支架设计与关键施工技术[J].铁道建筑,2017(2):16-20.

[14] 赵庆贺.大跨度下承式钢管混凝土系杆拱桥支架设计及有限元分析[J].工程与试验,2020,60(3):83-85.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com