

一种运用于钻前工程的应急钢便桥的技术探究

刘斯庄

(四川蜀渝石油建筑安装工程有限责任公司, 四川 成都 610000)

【摘 要】近年来,伴随着国民经济的快速增长,国家加快推进长江经济带政策的实施,长江上游的西南地区页岩气油气地质出现了爆发式的新发现、新突破。在页岩气油气开发与开采过程中,受到西南地区地形、地貌、水文以及气象条件复杂等因素的影响,道路受破坏情况格外突出,由此带来能源勘探开发与道路交通之间的矛盾逐渐突显。然而,由于传统的现浇混凝土桥梁对施工作业面要求严苛,施工和养护周期长,施工现场劳动力和机具需求大等一系列问题,已不再满足即时交通需求。因此,本文设计了一种由高强钢箱梁及可调节高度的钢砂筒组成的新型预制应急钢便桥,并针对常用的三箱并排的桥梁形式进行了计算分析,验证了应急钢桥应用的可靠性。该新型应急钢便桥具有可调节桥高、应用范围广、制作标准化、运输及施工方便、工期短、可循环利用等优点。为钻井队钻前工程提供安全、可靠、便捷的道路交通,对类似的工程应用提供了借鉴意义,对钻前工程道路的发展具有较大的现实意义及推广价值。

【关键词】新型应急钢便桥; 预制钢便桥

一、概述

装配式钢便桥一般采用工厂预制的高强型钢,运输到现场后进行拼接、截断后全焊制成,主梁一般为轻型桁架结构^[1]。贝雷桥是当今世界上最为通用且桥型丰富的装配式钢便桥,被广泛运用于抢险救灾、交通工程、危桥加固等领域,具有结构简单、组合灵活、承载力高、跨径大、结构通用、架设速度较快、载重量大、运输及拆装方便,架设快速、构件可重复利用等优点^[2]。然而,贝雷桥由于自重大,桁架单元构成复杂,需要大型起重机具配合安装,对装配场地及桥梁支座要求较高。对于西南地区复杂地理情况而言,大型设备无法运抵或难以到达相应施工场地条件。因此,照搬现有贝雷桥形式无法满足西南地区钻前施工要求。

本文在查阅大量设计资料与建设成果的基础上,针对西南地区钻前工程材料构件运输困难,吊装机具施工作业面狭窄等特点,并结合模块化、装配化、环保化、轻便化等设计理念,设计了一种可工厂预制,重复利用的,适用于钻前工程,在山地丘陵地区与地基软弱区域的通行,以及跨

越小型河流沟渠等临时抢险通行的应急钢便桥^[3]。

该新型钢便桥除了具备装配式便桥的优点外,还可适应不同的高差地形及跨径,施工相对简单,要求操作面小,对架设设备要求较低等优点,为钻前工程的安全快速实施有较大的促进作用,为其他类似桥梁设计提供了指导和借鉴意义。

二、新型应急钢便桥设计思路

(一) 总体设计

新型应急钢便桥为钢结构板桥,采用组件式结构,由上部结构、下部结构及支座构成。上部结构为平行排列的预制钢箱梁,钢箱梁由模块化的钢板焊接连接而成,便于批量生产与运输,预制钢箱梁平行并排布置,架设方案灵活,可根据需要调整桥面宽度;下部结构为钢砂筒,由两个焊接钢管嵌套组成,可以调节高度,以满足不同高差的场地要求,筒内灌有砂砾,取材方便,不受场地限制;支座为标准长度的预制H形钢,适用于标准化生产与拼装,可满足不同桥面宽度的要求。

所有构件均采用模块化预制钢构件,可在工厂或预制场地批量制造生产,运输到施工作业现场

进行拼装, 构件采用卡扣式连接方式, 也可随时拆卸后运输至下一工地现场, 基本可实现所有钢结构构件重复使用。

(二) 上部结构

应急钢便桥上部结构是由多个预制钢箱梁以及其他附属构件组成桥面, 将车辆及行人荷载传递至下部结构钢砂筒, 是应急钢便桥的重要部分。为适应不同的工程需求, 组成不同的桥面宽度, 钢箱梁面板采用模块化制造, 每块钢箱梁尺寸规格均相同。可根据具体桥面宽度需求, 增加或减少钢箱梁面板的数量。由于箱梁及梁面板规格较小, 在桥面拼装时可采用小型机具吊装, 大大降低了吊装机械对施工作业面的要求。各钢箱梁面板间采用钢卡扣形式连接, 分别在钢箱梁面板左右两侧设置公母两种卡扣, 卡扣连接成功后, 可使钢梁稳固连接, 形成统一的桥面板, 保证运输车辆安全平稳通行。

1. 预制钢箱梁

预制钢箱梁由上下钢面板、腹部钢立板及两侧钢肋板焊接组成, 钢材等级为 Q235。上下钢面板尺寸为 $6000\text{mm} \times 1200\text{mm} \times 60\text{mm}$, 钢立板及钢肋板尺寸分别为 $6000\text{mm} \times 276\text{mm} \times 12\text{mm}$ 及 $294\text{mm} \times 276\text{mm} \times 12\text{mm}$ 。

2. 桥面附属设施

预制钢箱梁桥面板采用 $\Phi 16$ 钢筋焊接至面板上起防滑作用, 通长方向间距 600mm 双侧焊接, 焊缝长度不小于 50mm 。

3. 预制钢箱梁在车荷下的应力分析

采用 MADAS GEN 有限元软件对预制钢箱梁进行行车荷载作用下的应力分析。

(1) 有限元模型前处理

选用常用的由三根预制钢箱梁组成的应急钢便桥进行分析, 箱梁长 6m , 截面如前所述, 将钢箱梁与支座 H 形钢梁简化为梁单元, 二者通过固定约束连接。三根预制钢箱梁通过在三等分点处设置的虚梁连接, 用以模拟钢卡扣对箱梁的连接作用。钢砂筒对支座梁的约束作用通过铰接支座进行模拟, 共设置三个铰接支座。钢梁材料属性: 密度 $\rho = 7800\text{kg/m}^3$, 弹性模量 $E_s = 206\text{GPa}$, 屈服

强度 $f_y = 215\text{MPa}$ 。将箱型梁划分为 20 个梁单元, H 形支座钢梁划分为 12 个梁单元, 以便得到更加真实的变形和应力分布, 有限元模型如图 1 所示^[4]。

荷载布置: 以常见的 70 吨四轴卡车为例, 卡车由前至后分别为第 1 轴、第 2 轴、第 3 轴和第 4 轴, 轴距分别为 1.8m 、 4.575m 和 1.35m , 第 1 轴、第 2 轴、第 3 轴、第 4 轴的单轮最大轮压分别为 116.7kN 、 116.7kN 、 233.4kN 和 233.4kN , 由此可见, 第 3 轴及第 4 轴重量占整车重量的 60% 以上, 对于此跨度 6m 的钢便桥而言, 卡车第 3 轴和第 4 轴位于桥跨中位置时, 钢箱梁为最不利状态, 且当第 3 轴及第 4 轴作用于桥跨跨中时, 第 1 轴及第 2 轴已位于桥面外, 因此只考虑第 3 轴及第 4 轴的轮压作用。假设卡车沿桥中线行驶, 将荷载作用点与其附近的梁节点通过刚性连接进行连接, 以模拟行车荷载向梁上传递的过程, 行车荷载布置如图 2 所示。

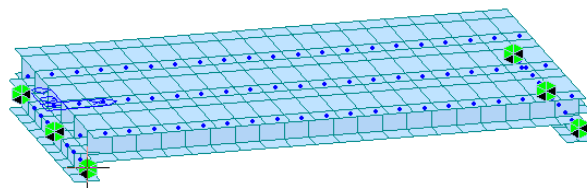


图 1 有限元模型图

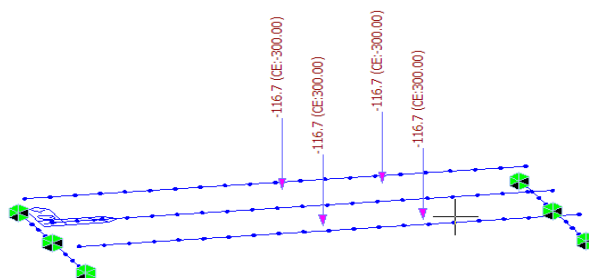


图 2 行车荷载布置图

(2) 计算结果及分析

钢箱梁在自重及最不利组合工况下的应力分别如图 3、图 4 所示。根据计算结果可知, 在最不利状态下, 钢箱梁应力最大为 83.3MPa , 考虑各种综合不利影响因素, 钢箱梁应力比不应超过 0.6 , 即钢箱梁的应力容许值为 $215 \times 0.6 = 129\text{MPa}$, 由此可知, 钢箱梁截面满足使用要求。

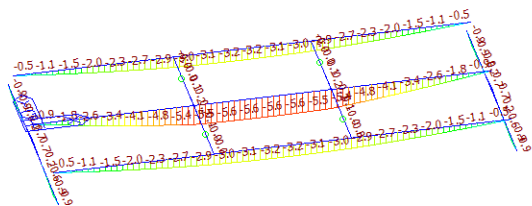


图3 自重下钢箱梁的应力分布

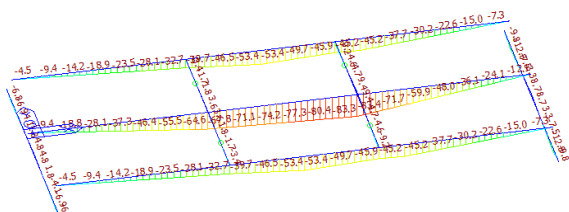


图4 最不利组合下钢箱梁的应力分布 (1.3 自重+1.5 活载)

钢箱梁在行车荷载单工况下及基本组合工况下的挠度分别为 5.9mm 级 6.4mm, 如图 5 及图 6 所示, 均小于 $1/600=10\text{mm}$, 满足规范要求。

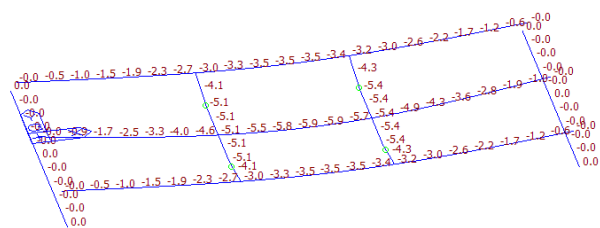


图5 活载下钢箱梁的挠度图

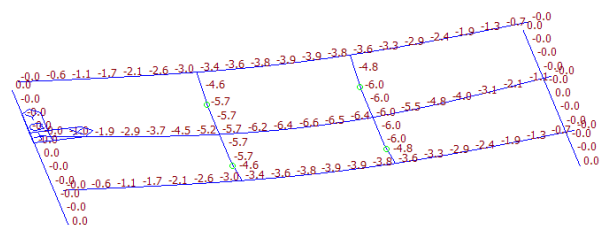


图6 基本组合下钢箱梁的挠度 (自重+活载)

(三) 下部结构

应急钢便桥下部结构由承重底板、加固趾板、上下钢砂筒以及填充砂砾料, 配合钢锚板以及锚索共同组成, 是支承钢箱梁桥跨并将上部荷载传递至地基的关键构件。

1. 主要构件 (上下钢砂筒)

(1) 下部结构主要构件设置

为适应各种桥梁高度, 本设计采用上下两个不同直径的钢砂筒嵌套使用作为竖向构件。其中, 下钢砂筒采用长 3500mm 的 D530×6 焊接钢管, 上

钢砂筒采用长 3000mm 的 D478×6 焊接钢管, 上钢砂筒顶部预留 H 型钢支座架设空间, 并在顶部侧面设置限位挂钩, 上钢砂筒内部需沿筒全长设置加劲肋, 防止砂筒受压屈曲, 加劲肋厚 8mm, 高 80mm, 与筒之间采用双面角焊缝连接。下钢砂筒内部填有密实细砂料, 以及上钢砂筒的限位作用, 不存在受压屈曲的问题。上下钢管间需满足 1000mm 的嵌套长度, 使得竖向构件总高度可在 3500mm 至 5000mm 之间任意调节。根据设计所需高度在下钢砂筒中填满密实细砂料, 使得上钢砂筒在嵌套入下钢砂筒并压缩后达到预设高度。

下钢砂筒底部设置 1200mm×1200mm×20mm 钢底板, 钢底板与钢砂筒采用满焊连接, 再用四块厚 10mm 三角形加劲肋板作为加固趾板对节点进行加固, 加固趾板如图所示, 以增强竖向构件的抗弯刚度, 加固趾板与下钢砂筒和承重底板间采用双面满焊连接。

(2) 下部结构主要构件在行车荷载下的应力分析

通过 MADAS GEN 对竖向构件进行模拟分析, 当四轴卡车的第 3 轴作用于竖向构件顶部时, 竖向构件处于最不利状态, 此时竖向构件在基本组合下的最大轴力为 251kN。

除此之外, 考虑附加 29.2kN 的侧向土压力, 假定竖向构件底部为固结的条件下, 竖向构件在基本组合下的应力为 84.6MPa, 小于 129MPa, 满足要求。

2. 附属构件 (钢锚板及锚索)

为抵抗侧向土压力以及上部支座梁传递的单向弯矩引起的钢便桥下部结构向内倾覆, 利用斜拉锚索, 采用 6×37-FC 型钢丝绳一端与钢砂筒上部套牢, 另一端锚固在滑动面以内的稳定岩土体中, 岩土体中的锚索与锚板可采用花篮螺栓连接, 以增大接触面积, 达到直接在滑面上增大抗滑摩擦阻力的效果。

(1) 考虑台后车辆荷载^[6]

土内摩擦角取 $\theta = 35^\circ$,
 $l = H \cdot \tan \theta = 5.5 \times 0.7 = 3.85$;

换算土厚度 $H' = \frac{\sum C}{Bl_0 \gamma} = 47/3.85/2.4/16 = 0.32\text{m}$;
 竖向构件后每延米土压力:

$P = 1/2 K_0 \gamma H \times (H + 2H') = 0.5 \times 0.6 \times 16 \times 5.5$

$\times 6.14 = 162 \text{ kN/m}$;

按直径 530mm 下砂筒计算竖向构件承受总土压力 $F = P \times 0.53 = 86 \text{ kN}$;

合力作用点高度 $l = 1/3H = 1.83 \text{ m}$;

按竖向构件总高 5.5m, 计算单根锚索总拉力 $F_{\text{索}} = 86 \times 1.83 / \sin \alpha / 5.5$;

假设拉索与竖向构件夹角为 60 度, 则 $F_{\text{索}} = 76 \times 1.83 / 0.866 / 5.5 = 33 \text{ kN}$ 。

(四) 桥面支座

桥面支座采用加强型 H 型钢横梁, 并采用加强钢肋板焊接于 H 型钢横梁腹板两侧进行加固, H 型钢横梁垂直于箱型梁跨度方向架设, 与下部结构钢砂筒在预留卡槽搭接。它能将应急钢便桥上部结构承受的荷载和变形可靠地传递给桥梁下部结构。

1. 加强型 H 型钢横梁截面设计

H 型钢采用厚度 19mm, 宽度 307mm, 长 4000mm 的钢板作为翼缘板, 腹板厚度 19mm, 高 312mm, 长 4000mm, 并与上下翼缘板形成 $\Phi 20$ 倒角。每隔 600mm 用 312mm $\times$ 99mm $\times$ 12mm 钢肋板进行加强, 与 H 型钢上下翼缘满焊。

2. 加强型 H 型钢横梁局部稳定性验算

(1) 翼缘宽厚比验算:

翼缘宽厚比限值:

$$13 \times (235/f_y)^{0.5} = 13 \times (235/235)^{0.5} = 13$$

翼缘宽厚比:

$b_0/T_f = (307-19)/2/19 = 7.57895 \leq 13$, 满足要求。

3. 加强型 H 型钢横梁在车荷下的应力分析

通过 MADAS GEN 对加强型 H 型钢横梁进行模拟分析, 当四轴卡车的第 3 轴作用于加强型 H 型钢横梁上部时, 加强型 H 型钢横梁处于最不利状态, 此时加强型 H 型钢横梁最大应力为 -31MPa, 小于 141MPa, 满足要求。

三、结论

钻前工程作为工程设计及施工领域特殊的一种工程项目, 具有工期短、任务重等特点。西南地区又往往面临着地形复杂, 地质灾害频发等特点, 贝雷桥因其结构复杂, 吊装困难等特点无法适用于现有环境, 一款可灵活布置, 具有足够强度、

刚度及稳定性的应急钢便桥作为钻前工程后勤储备尤为重要。本文在明确目标, 了解作业环境等基础上, 秉持着模块化、装配化、重复使用化、轻便化等设计理念, 通过查阅大量文献资料以及结构验算, 研究设计了一种新型应急钢便桥。分别根据需求对上部结构, 下部结构, 支座形式进行分步设计, 再结合整体进行综合分析, 使得该款应急钢便桥具备如下五个特点:

1、因为不受场地及吊装机械的限制, 该应急钢便桥在钻前工程施工中具有更为广阔的应用范围。

2、桥梁结构构件均为标准化、模块化制造, 工厂批量预制定做, 运往工地, 质量稳定, 可重复拼装使用。

3、桥面板为标准化构件, 可根据需求任意调节桥面宽度。

4、下部支撑构件钢砂筒采用上下钢砂筒共同组成, 可根据现场实际情况调节钢便桥所需高度, 使得应用面更广, 通行更加安全。

5、结构构件组合简单, 方便现场装配组合, 所有模块构件最大长度仅为 4m, 最大单重仅为 678kg, 运输及吊装所需机具要求更低。

参考文献:

- [1] 宋善举, 文晓辉, 蒋鑫, 杜召华. 大型装配式公路钢便桥承载能力分析与静载试验 [J]. 湖南交通科技, 2019, v.45; No.210(03):140-143.
- [2] 徐大伟, 马祥新, 李莎莎, 张佳宁, 叶金铎, 张德福. 贝雷桥建模方法与应力计算研究 [J]. 机械工程师, 2021, No.365(11):161-163.
- [3] 王建华. 装配式钢桥技术在桥梁建设中的应用 [J]. 交通世界, 2016(18):128-129.
- [4] 徐飞鸿, 李翠. 基于 MIDAS/Gen 的隔震钢框架结构抗震性能分析 [J]. 广东土木与建筑, 2021, 28(05):22-25.
- [5] 赵阳. 公路边坡施工中预应力锚索技术的应用 [J]. 交通世界, 2022(Z2):187-188.
- [6] 王来福. 汽车荷载作用下挡土墙土压力计算方法的改进 [J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(5):3.