

# 大型水利干渠桥梁工程钢管拱拼装施工技术

杜晨斌

(中铁十八局集团第二工程有限公司, 河北 唐山 063000)

**摘要:** 针对大型水利干渠桥梁工程钢管拱拼装施工结构复杂、技术难度大、安全风险高等问题, 以郑万铁路河南段张良镇跨南水北调干渠特大桥为研究背景, 分析钢管拱拼装施工技术。通过严控大型水利干渠桥梁工程钢管拱拼装施工吊机选择和吊机上下桥、支墩拼装、钢管拱安装等要点, 顺利完成了钢管拱拼装施工任务。实例研究表明, 钢管及型钢搭建临时支架, 通过汽车吊将钢管拱拱肋逐段吊装到支架上并进行焊接拼装, 可有效提升钢管拱拼装施工质量和安全性, 施工成功的经验可为类似工程施工提供参考。

**关键词:** 大型水利干渠; 桥梁工程; 钢管拱; 拼装; 吊车

**中图分类号:** U441; U445

**文献标识码:** A

## Construction Technology of Steel Pipe Arch Assembly for Large Scale Irrigation Canal Bridge Project

DU Chenbin

(The Second Engineering Co., Ltd., China Railway 18th Bureau Group, Tangshan 063000, Hebei, China)

**Abstract:** In view of the complex structure, high technical difficulty, and significant safety risks associated with steel pipe arch assembly construction in large-scale irrigation canal bridge projects, this paper takes the Zhangliang Town Grand Bridge crossing the South-to-North Water Diversion Canal on the Zhengzhou-Wanzhou Railway Henan section as a research background to analyze the steel pipe arch assembly construction technology. By strictly controlling the selection of cranes for hoisting steel pipe arches across large irrigation canals, as well as key aspects such as crane movement on and off the bridge, buttress assembly, and installation of steel pipe arches, the steel pipe arch assembly construction task was successfully completed. Case studies have shown that using temporary supports made of steel pipes and section steel, and lifting the steel pipe arch ribs section by section onto the supports with a truck crane for welding and assembly can effectively improve the quality and safety of steel pipe arch assembly construction. The successful experience of the construction can provide references for similar projects.

**Key words:** large scale irrigation canal; bridge engineering; steel pipe arch; assembly; crane

传统钢管拱在拼装施工中多采用汽车吊吊装, 对吊装操作人员的技术水平要求较高, 而且容易受现场条件和风力的影响, 会严重影响钢管拱拼装的精度和质量<sup>[1]</sup>。近年来, 随着科学技术的发展, 大量新技术、新设备被广泛应用到桥梁工程施工中, 使得吊车上桥成为可能, 同时也弥补了传统钢管拱拼装技术存在的不足, 提升了拼

装精度和质量。但由于大型水利干渠桥梁工程钢管拱拼装现场条件复杂, 钢管拱结构复杂, 在实际拼装操作中容易出现焊接变形、失圆度过大等一系列问题。为有效解决这些问题, 以预应力混凝土连续梁与钢管混凝土加劲拱肋组合结构体系为对象, 研究大型水利干渠桥梁工程钢管拱拼装施工技术, 以提升成桥质量。

收稿日期: 2024-07-17

作者简介: 杜晨斌, 工程师, 本科, 研究方向为桥梁施工

1 工程概况

新建铁路郑州至万州铁路河南段张良镇跨南水北调干渠特大桥（74 + 160 + 74）m 连续梁拱桥

系钢管混凝土系杆拱桥。主梁为预应力混凝土连续梁形式，横截面采用单箱双室截面，梁面宽 14.2 m。主跨为 160 m，立面位于 6‰纵坡上，吊杆与梁面垂直。见图 1。

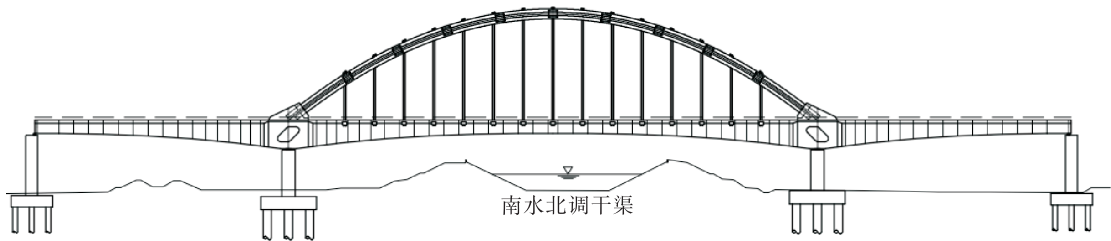


图 1 桥型布置图

拱轴线采用二次抛物线，计算矢高  $f=32\text{ m}$ ，计算跨径  $L=160\text{ m}$ ，矢跨比 1/5。横桥向布设两道拱肋，拱肋中心距为 11.8 m。施工矢高 32.12 m，实际拱肋施工通过拱轴线制作和拼装。

2 施工难点和特点

案例工程现场复杂条件和桥梁结构特点给实际操作带来了诸多困难和挑战，具体如下。

（1）该桥梁的结构异常复杂，技术难度极大。主跨跨度达到了 160 m，横撑、斜撑及主拱相贯线连接，合龙精度要求极高，施工难度极大。为了解决这些问题，需要运用先进的施工技术和设备，以确保施工过程的准确性和可靠性。同时，还需要对工人进行严格的培训和管理，确保每个工人都具备相应的技能和经验，以应对复杂的施工环境。

（2）该桥梁的施工安全风险极高。采用拱肋先卧拼再竖转施工的方式，易出现高空作业坠物、吊机吊装等多种危险因素。此外，该桥梁钢管拱跨越南水北调干渠，必须避免高空坠物，防护系统要求极为严格。为了保障施工安全，需要制定详细的安全管理制度和操作规程，如设置安全警示标志、配备专业的安全员、进行定期的安全检查等。

（3）该桥梁的拱肋由 26 节组成，需要提前倒运至施工位置附近。然而，由于桥面狭窄、距离地面较高，加之受风力影响，如何解决倒运问题异常关键，需要制定合理的运输方案和倒运计划，如采用专业的吊装设备、设置稳定的支撑结构等<sup>[2]</sup>。同时，还需要密切关注天气变化，合理安排施工时间，以应对可能出现的风险和挑战。

3 桥梁工程钢管拱拼装施工实践

因本桥为系杆拱结构，主跨跨度达 160 m，

为降低施工难度，本桥钢管拱拼装施工方法为：采用钢管及型钢搭建临时支架，通过汽车吊将钢管拱拱肋逐段吊装至梁面钢管支架上并进行焊接拼装。吊装拱肋时遵照前后对称、左右对称的原则，最大不平衡安装不超两个吊装节段。为了满足施工需要，两跨拱同步由两端向中间施工。具体施工流程见图 2。

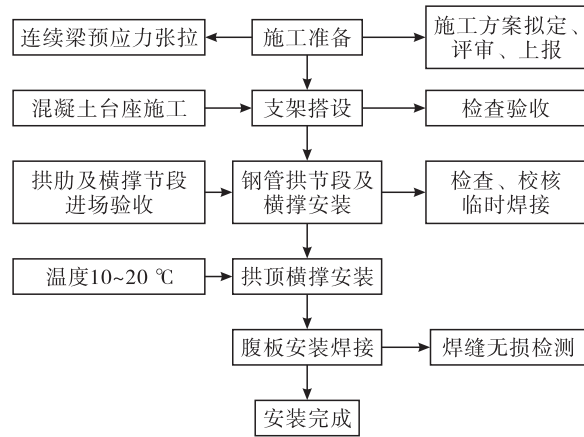


图 2 施工流程图

3.1 吊机选型和上下桥

本工程钢管拱的最重节段为 E（P）7，重量为 19.9 t，这也是本工程钢管拱安装施工的主要难点，在实际安装施工中需综合考虑现浇梁情况以及支架布置的位置，以合理确定吊机的起重吨位，本工程 E（P）7 吊装工况如图 3 所示。

为满足 E（P）7 吊装工况的要求，需选择一台 50 t 汽车吊进行吊装和吊运，其工作半径不应小于 8.3 m，吊机臂长不应小于 17.5 m。再辅以后另一台 50 t 汽车吊进行吊装，工作半径不应小于 7.9 m，臂长为 19.75 m。主副两台起重机的重量为 39 t，有效重量为 31.2 t，满足实际吊装重量 19.9 t 的需求。因此，本工程在钢管拱吊装施工

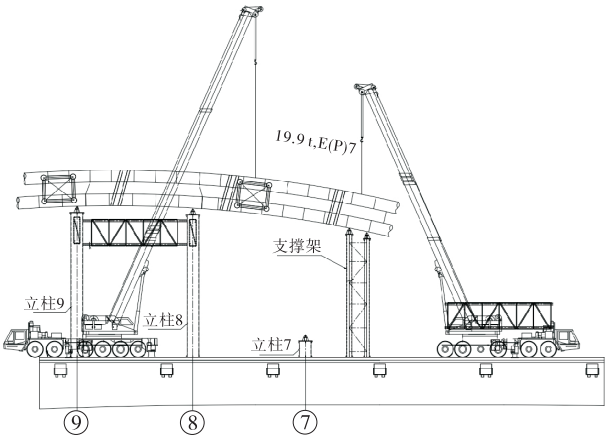


图3 E(P)7吊装工况

中选择两台 50 t 汽车吊相互配合的方法来完成拼装操作。汽车吊的选型根据吊装梁段的重量、起升高度、回转半径及折减系数计算，各吊装段吊装工况表见表 1。

表1 钢管拱吊装节段工况表

| 序号 | 吊装节段               | 重量/t | 吊机参数       |                  | 起重重量/t | 有效重量/t |
|----|--------------------|------|------------|------------------|--------|--------|
|    |                    |      | 吊车型号       | 回转半径/m<br>主臂长度/m |        |        |
| 1  | E(P) 1、<br>E(P) 13 | 16.2 | 两台<br>50 t | 7.5 19           | 42.0   | 33.6   |
| 2  | E(P) 2、<br>E(P) 12 | 17.4 |            | 7.5 19           | 42.0   | 33.6   |
| 3  | E(P) 3、<br>E(P) 11 | 13.9 |            | 7.5 19           | 42.0   | 33.6   |
| 4  | E(P) 4、<br>E(P) 10 | 15.7 |            | 7.5 19           | 42.0   | 33.6   |
| 5  | E(P) 5、<br>E(P) 9  | 10.9 |            | 7.5 19           | 42.0   | 33.6   |
| 6  | E(P) 6、<br>E(P) 8  | 13.0 |            | 7.5 19           | 42.0   | 33.6   |
| 7  | E(P) 7             | 19.9 |            | 8.3 19.35        | 39.0   | 31.2   |

为有效满足本工程钢管拱吊装施工的要求，需保证两台 50 t 汽车吊能够落在桥面之上作业，这就要求在吊装前需做好吊机上桥操作，可采用 260 t 吊机将选择好的 50 t 汽车吊吊运到桥面，钢管拱拼装完成之后，吊机下桥方法和上桥方法相同。实际吊装操作中，需将 50 t 汽车吊上桥的作业点布置在连续梁端头的一侧，场地地面需进行硬化处理，保证硬化面积能够满足上桥吊装的要求，不会对其工序的生产施工造成不良影响，本工程吊机上桥图如图 4 所示。

260 t 汽车起重机自重为 79.6 t，长 18.2 m，宽 3.0 m，高 4.0 m，携带 97.5 t 配重，作业半径为 10.15 m，臂长为 43.7 m，起吊重量为 53.0 t。

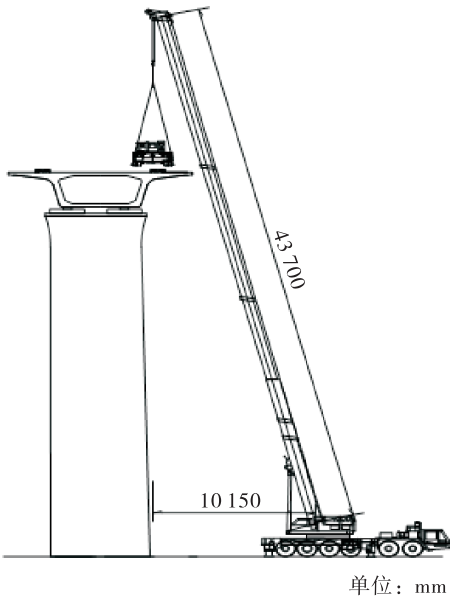


图4 吊机上桥图

实际吊装操作中，需提前将 50 t 汽车起重机的支腿横梁通过 4 点绑扎法牢牢固定好，保障汽车起重机受力均匀一致，吊离地面 10 ~ 30 cm 后需做稍微停顿，检查吊钩、卡环、钢丝绳的受力情况，各配件全部符合要求后才能继续起吊<sup>[3]</sup>。50 t 汽车起重机吊运到梁面后，需保证吊机能够和梁面平稳接触方可摘下吊钩。整个吊装过程需有专人进行统一指挥，并检查、备案各项吊装机械的手续，以消除各项安全隐患，保证 50 t 汽车吊能够安全、平稳地吊装到指定的桥面上。吊机上桥时应保持其尾部相对，以确保后续拱肋安装顺利进行。

3.2 支墩拼装

结合本桥梁工程的特点和设计图纸，为满足钢管拱安全稳定施工的要求，共布置了 24 个支墩，支墩在工厂内部预制完成，运输到施工现场后，在桥面进行拼装，钢管拱拼装支墩结构布置如图 5 所示。

本工程钢拱拼装支墩采用  $\varnothing 630 \times 10$  mm 的钢管和型钢组拼而成，支墩在实际拼装操作中需保证能够和连续梁梁面预埋钢板之间实现稳定连接，还需在支墩顶面安装拱肋调整设施，并在柱顶布置稳定的操作平台，为保障施工的安全性，需在操作平台的四周安装上安全防护网，以免在钢管拱拼装施工中出现杂物坠落伤人事件。支墩在正式安装之前，需对桥面进行针对性的安全防护，本工程桥面安全防护采用脚手架 + 彩钢板的形式，防护长度为 140 m，具体的梁面防护示意图如图 6 所示。

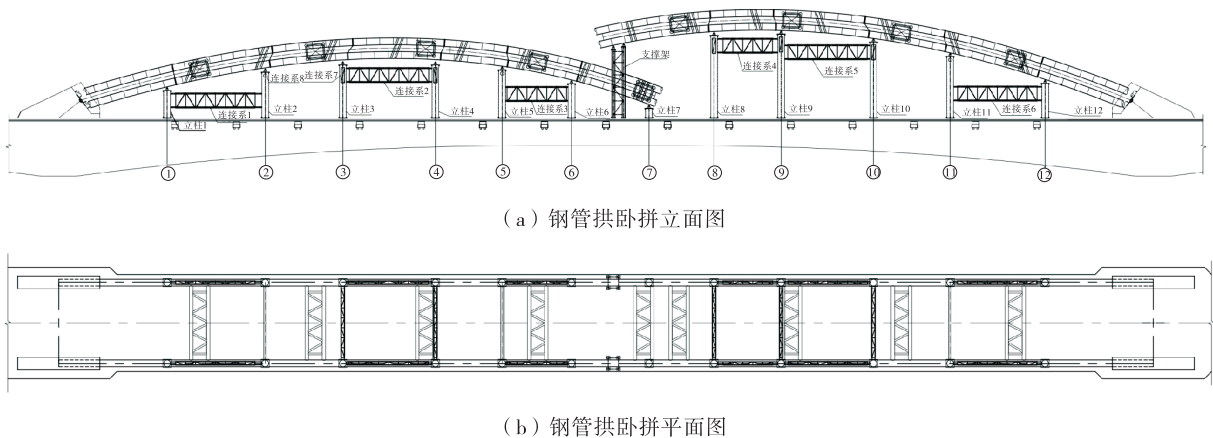


图 5 钢管拱拼装支墩结构布置图

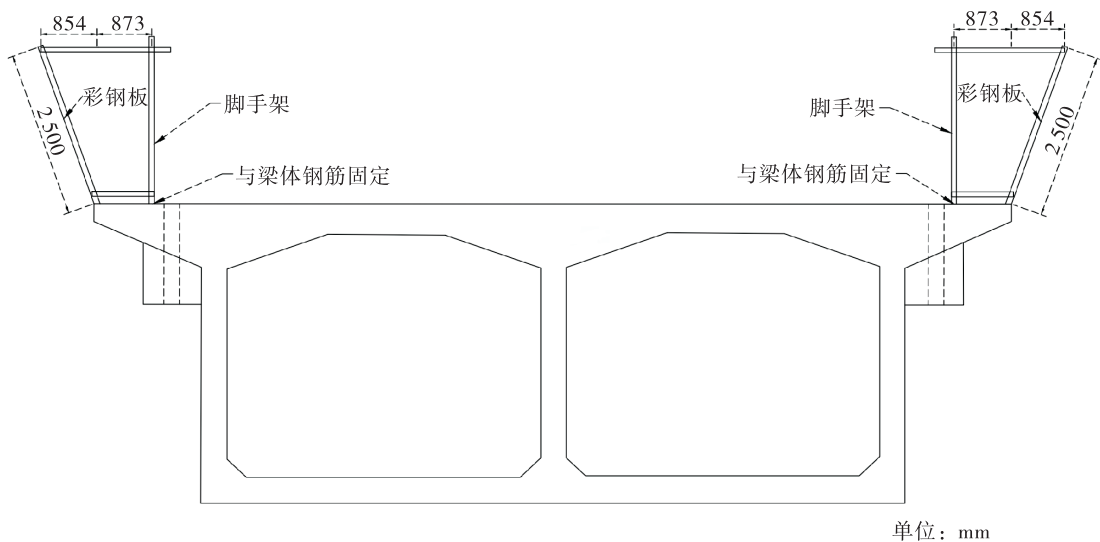


图 6 梁面防护图示

在进行支墩拼装施工中，为给后期钢管拱拼装提供良好的条件，支墩高度控制需要以转动铰实际的安装高度为基准，严格按照钢管拱的拼装支墩各点不同的高度，在工厂内提前完成预制。在支墩之上需要布设纵向和横向平联，其中横向平联的安装高度到桥面之间的距离不能小于 5.5 m，以最大限度保障支墩的稳定性<sup>[4]</sup>。支墩拼装选择 1 台 25 t 汽车吊联合人工进行拼装，通过布置在桥上的吊车，将其起吊到桥上的运输车上，运输车倒车运至拼装位置，吊起支墩立柱后再撤出运输车，人工配合将支墩底脚和测量放样线对准后，通过缆风绳来调整支墩的垂直度，垂直度符合要求后将支墩底脚和梁面预埋件焊接牢固。

**3.3 钢管拱拼装施工**

**3.3.1 钢管拱节段安装**

在大型水利干渠桥梁工程施工建设中，钢管拱的安装是一项非常重要的任务，它要求精确、细致，并且需要严格遵循一定的工艺流程。特别

是在安装钢管拱的节段时，更是需要考虑多种因素，以确保最终的安全和稳定性。在进行钢管拱节段安装之前，首先需要在前一天相同温度的条件下，对 E (P) 7 节段的精确长度进行现场测量，以确保即使在安装过程中温度发生变化，也能保证节段之间的连接紧密、无缝隙。

除了长度的测量，还需要按照图纸要求将切割端打磨出坡口。坡口的打磨是为了保证节段之间的焊接质量。如果坡口打磨不到位，会导致焊接时焊缝不牢固，容易出现开裂等问题。因此，需确保坡口的形状、大小都符合图纸要求。安装过程应选择在气温 15 ~ 20 ℃ 之间进行，因在此温度范围内，钢材的物理性能最为稳定，有利于保证安装的质量。同时，安装过程应尽快进行，以减少天气变化等因素对安装质量的影响。在安装过程中，E (P) 7 节段需要将左、右幅分别安装。在安装前，需要对节段进行准确的定位和分类，确保每个节段都能准确地安装到指定的位

置。此外，安装过程中还需要使用专业的设备和工具，如起重机、夹具等，以保证节段能够准确地对接，并且安装牢固。

3.3.2 现场焊接

结合本工程钢管拱的结构特点，为有效提升焊接效果，需在施工现场进行全方位的焊接操作，主要包括临时焊接、永久性焊接、拱顶焊接三种。

(1) 临时焊接。当钢管拱被汽车吊吊装到支架顶部，且下部和上段管口完成对接后，需及时用 10 t 手动千斤顶来完成标高调整工作，调整到设计要求的位置后，先用马凳将其“抄死”，再进行临时焊接，采用规格为 220 mm × 150 mm × 16 mm（长 × 宽 × 高）的码板与前一节拱肋牢固焊接，每个拱肋的接头控制至少 16 个码板，上下弦管接头处各均匀布设 8 个，钢管拱肋和码板采用双面满焊，焊缝长度控制在 10 mm 以上。钢管拱安装一节，紧跟临时焊接一节，直到最后一节安装完成。

(2) 永久性焊接。首先进行对接环缝焊接，控制每节拱肋的对接环焊缝不少于 3 道，全部焊接完成后，截去临时连接的加肋板，再补齐焊缝，最后将焊缝打磨平整，并进行超声波探伤检测，确认焊缝质量符合要求后，才可进行瓦管安装及焊接<sup>[5]</sup>。待钢管拱焊接完成后，对每条焊缝都进行探伤检测，若存在夹杂、气孔、裂缝等质量问题，可采用碳弧气刨将不合格焊缝剖开，重新焊接，焊接完成后再次探伤检测，直至焊缝质量符合要求后，方可进行下一道工序施工。

(3) 拱顶焊接。当钢管拱 E（P）7 节段完成全部拼装任务，且经临时焊接锁定后，即可从两侧拱脚开始逐步向拱顶位置实施永久性焊接，拱顶合龙段焊接时，为控制应力变形，尽量在气温 15 ~ 20 ℃ 之间进行，以提升焊接质量。

3.3.3 安装质量控制及调整方法

(1) 安装精度控制。本桥梁工程对钢管拱安装施工质量有较为严格的要求，其安装精度需按照表 2 中的规定进行控制，以便为后期施工提供良好的条件。

(2) 失圆度处理。在钢管拱的运输和存放过程中，拼装节段位置的钢管外露端常常会出现失圆现象。这不仅影响了钢管拱的美观性，更重要的是，失圆可能导致钢管拱的结构性能下降，甚至引发安全隐患<sup>[6]</sup>。因此，对于钢管拱的失圆问题，必须予以高度重视，并采取有效的处理方法。失圆是指钢管在运输和存放过程中，由于外力的

表 2 钢管拱肋拼装允许偏差表

| 序号 | 检查项目    | 允许偏差（mm）             |
|----|---------|----------------------|
| 1  | 轴线偏位    | $L/6000$             |
| 2  | 拱肋高程    | $\pm L/3000$         |
| 3  | 对称点相对高差 | 允许 $L/3000$          |
|    |         | 极值 $L/1500$ ，且反向     |
| 4  | 拱肋接缝错边  | $\leq 0.2$ 倍壁厚且不大于 2 |

注：表中  $L$  为跨径，单位：mm。

作用，原本圆形的钢管截面发生了变形，呈现出椭圆形或不规则形状。根据相关规定，钢管的椭圆度要求为  $f/d \leq 1/500$  且不大于 5 mm，其中  $f$  为椭圆短轴与长轴之差的一半， $d$  为钢管外径。当钢管的椭圆度超过这一范围时，就需要进行处理。

失圆对钢管拱的影响主要表现在：导致钢管拱的受力性能下降，其承载能力降低；可能引发钢管拱的振动和噪声问题，影响使用效果；可能影响钢管拱的美观性，其观赏价值降低。针对钢管拱的失圆问题，现场处理可以采取以下措施：①对钢管拱的拱肋进行椭圆度检查。可以通过使用专业的测量工具，如激光测距仪、卡尺等，对钢管的截面形状进行测量。检查过程中，应确保测量准确，记录详细，以便为后续处理提供依据。②对于检查出的失圆问题，可以利用千斤顶及顶架进行处理。具体方法是，在钢管拱的失圆部位下方设置千斤顶，通过调整千斤顶的高度，使钢管拱逐渐恢复圆形<sup>[7]</sup>。同时，使用顶架对钢管进行支撑，防止在处理过程中钢管发生进一步变形。处理过程中，应确保操作平稳，避免对钢管造成额外的损伤。③处理完成后，应及时使用斜撑对钢管进行固定，以防止钢管在后续运输和存放过程中再次发生失圆。斜撑的设置应合理，既要保证钢管的稳定性，又要避免对钢管造成过大的压力。同时，应定期检查斜撑的固定情况，确保其始终处于良好的工作状态。钢管拱斜撑固定示意图如图 7 所示。

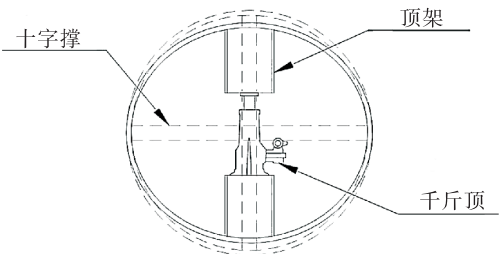


图 7 钢管拱斜撑固定示意图

（下转第 45 页）

- (6):27-29.
- [49] 马玉婷. 无人机在水文监测和信息化管理中的应用[J]. 山西水利,2023(5):57-58.
- [50] 李明,刘欢,朱欣焰. 一种面向灾害应急的 UAV 影像快速拼接方法[J]. 灾害学,2012,27(3):139-144.
- [51] 范青松,汤翠莲,陈于,等. GPS 与 InSAR 技术在滑坡监测中的应用研究[J]. 测绘科学,2006(5):60-62.
- [52] COLOMINA I, MOLINA P. Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: a Review[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2014,92(2):79-97.
- [53] LI C C, ZHANG G S, LEI T, et al. Quick image-processing method of UAV without control points data in earthquake disaster area [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China,2011,21(12):523-528.
- [54] 郭泽,谭衢霖,卢文龙,等. 基于无人机摄影测量的铁路地质灾害监测与评估研究[J]. 铁路计算机应用,2023,32(4):32-37.
- [55] 李伟娅. 泥石流灾害后植被生态环境恢复遥感监测方法研究[J]. 环境科学与管理,2023,48(5):131-134.
- [56] 胡可,陈思思,王俊伟. 无人机载红外载荷在应急测绘中的应用[J]. 测绘科学,2015,40(10):60-64.
- [57] 侯成. 面向应急救援的无人机灾情信息采集与灾情数据压缩编码方法研究[D]. 北京:北京邮电大学,2023.
- [58] 王国洲. 无人机航摄系统在贵州地质灾害应急中的应用[J]. 地理空间信息,2010,8(5):1-3.
- [59] MESZAROS J. Conference Proceedings of Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics: [S. n.], Zurich,2011.
- [60] NATHAN P T, ALMURIB H A, KUMAR T N. Proceedings of the Mechatronics (ICOM). 2011 4th International Conference on IEEE [C]. [S. I.]: [S. n.],2011.
- [61] KOSTRZEWA J, MEYER W, LABAND S, et al. Unattended Ground Sensor Technologies and Applications V: Proceedings of SPIE [C]. [S. I.]: [S. n.],2003.
- [62] 张建奇. 红外物理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2013.
- [63] 田琳. 灾害遥感的“天空之眼”——关注无人机技术在灾害遥感监测中的应用[J]. 中国减灾,2018(11):28-31.
- [64] 赵鹏辉,李俊杰,叶唐进,等. 轻小型无人机遥感在高山峡谷区山地灾害应急监测中的应用[J]. 防灾减灾工程学报,2021,41(3):448-454.
- [65] 李秀丽. 基于 Google 地图数据的可视化无人机航线规划研究[J]. 测绘通报,2014(1):74-76.
- [66] 罗伟儿,武志宏. 洪涝灾害无人机遥感监测自动化解译分析与制图应用[J]. 中国减灾,2021(23):16-17.
- [67] 金慧. 基于互联网的地震灾害全民化互联互通服务体系研究[D]. 杭州:杭州师范大学,2018.
- [68] 张崇军,王星,张二钢,等. 无人机滑坡地质灾害监测技术及应用研究[J]. 测绘地理信息,2021,46(S1):319-321.

(上接第16页)

## 4 结束语

本文结合实际案例,对大型水利干渠桥梁工程钢管拱拼装施工进行详细分析,实践表明,长期以来钢管拱拼装施工都是桥梁工程施工的难点和重点,影响最终施工效果和安全性的因素比较多。在实际施工中采用钢管及型钢搭建临时支架,通过汽车吊逐段吊装钢管拱拱肋到支架上进行焊接拼装,并对施工过程中出现的失圆现象进行综合分析,制定科学可行的控制步骤,利于保障钢管拱拼装施工任务高效、安全、有序的完成,可为类似工程施工提供参考和指导。

### 参考文献:

- [1] 周水兴,周琳淇,刘增武. 钢管拱切线拼装坐标修正在

ANSYS 中的实现方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2023,42(6):18-23.

- [2] 邓海,林燕珊,李海云,等. 大跨度钢管拱施工阶段仿真分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2023,55(1):78-84.
- [3] 汤宇,田仲初,刘云龙,等. 峡谷汇风区铁路钢管拱桥拱肋安装方案比选[J]. 工程建设,2022,54(3):66-72.
- [4] 常青. 超大跨度连续梁拱桥快速施工工艺研究及应用[J]. 现代交通与冶金材料,2021,1(6):6-10.
- [5] 陈玉键,王璐,闭芬,等. 采用钢管混凝土为骨架的隧道加宽段二次衬砌设计施工技术研究[J]. 西部探矿工程,2021,33(7):192-194.
- [6] 赵宏远. 大坡度、大跨度双线简支组合拱支架法施工技术[J]. 国防交通工程与技术,2020,18(S1):56-59.
- [7] 刘美铭. 高速铁路连续梁拱组合桥钢管拱拼装方案研究[J]. 铁路工程技术与经济,2020,35(2):54-58.