[文章编号] 1003－4684(2025)05-0093-03

钢桁梁桥临时扣索塔架体系改造技术研究

吴　鹏[1,2,3,4]，陈雨晴[2,3]，邓友生[4]

(1 湖北联投集团有限公司，湖北 武汉 430061；2 中铁大桥局集团有限公司，湖北 武汉 430050；
3 桥梁结构健康与安全国家重点实验室，湖北 武汉 430034；4 湖北工业大学土木建筑与环境学院，湖北 武汉 430068)

[摘　要] 钢桁梁桥由于设计年代久远，已无法满足现有的交通荷载需求，需在不中断运输任务的前提下对其进行维修改造，使其满足现行使用功能标准。通过对临时扣索塔架体系加固技术系统而深入地研究，使其逐步从理念向实际转化，并成功运用于兰州石化黄河管道桥加固工程，为同类桥梁及有类似需求的加固施工提供了借鉴，丰富了桥梁加固方法库。

[关键词] 钢桁梁桥；不中断运输任务；维修改造；临时扣索塔架体系

[中图分类号] U448.36　　[文献标识码] A

钢桁梁桥是我国桥梁建设历史中的重要组成部分，无论是其建造技术，还是美学理念，都在一定程度上反映了当时社会的科学技术水平，已成为我国桥梁建设水平的重要标志之一。20 世纪，为保证国内石化公司的输送任务，我国陆续建设了石油管道钢桁梁桥，对保证石化公司的正常生产、生活起到了重要的作用。由于建设年代久远，运输任务剧增，大部分桥梁处于超负荷运行状态。部分钢桁梁桥建设时期由于计划采购的限制，施工时采用普通 A3 钢代替原钢构件设计的 16Mnq 钢，导致桥梁运输能力远低于设计能力以及构件应力超过或接近容许值，需在不中断运输任务的前提下对其进行维修改造，以满足功能需求，此类钢桁梁桥已运营二十多年，桥梁钢结构锈蚀严重，技术状况等级处于较差状态，已严重影响大桥运营的安全。本文以兰州石化黄河管道桥加固工程为依托，对扣索塔架体系在桥梁加固中的应用技术进行了系统而深入的研究，使该方法逐步从理念向实际转化，并成功运用于主桥加固工程。临时扣索塔架体系的成功实施，对同类桥梁及有类似需求的加固工程具有指导意义和借鉴价值，将进一步丰富桥梁加固领域的方法库。

1　概述

兰州石化公司石化厂黄河管道桥于 1985 年开工建设，1988 年竣工。大桥全长 291 m，正桥为(51＋63＋63＋63＋51) m 五跨连续钢桁梁桥，桁高 3.2 m，宽3.5 m。全桥钢结构主要采用 A3 钢材，桥梁墩台采用 150 号素混凝土结构，沉井基础采用 150 号混凝土，桩基础采用 200 号混凝土。桥梁采用盆式橡胶支座，固定支座设置在 3 墩上，其余墩台上均为活动支座。桥式布置见图 1。

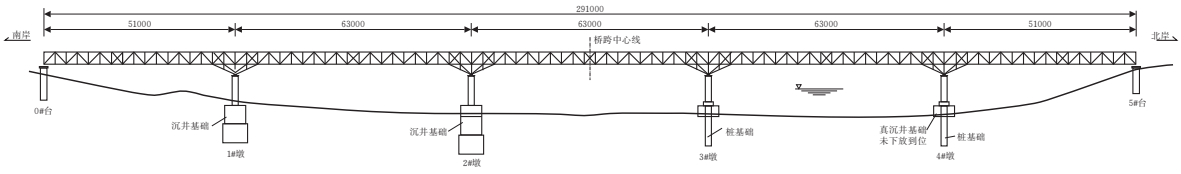

图 1　正桥总体布置(单位：mm)

该桥主要用于承担兰州石化公司管道物料输送，与原设计管道相比，桥梁处于超负荷运行状态。原设计桥梁过 27 根管道，管道线荷载 q = 744 kg/m；现通过 33 根管道，管道线荷载 q = 1124 kg /m，现桥线荷载超原设计 51%，导致部分构件其应力超过或接近容许值，部分主桁杆件锈蚀、变形严重，已无法日常养护和维修，主桥水中桥墩冲刷剥蚀严重。主要病害如下：

1)全桥钢桁架杆件表面及焊缝锈蚀严重，杆件表面防腐涂装脱落、破损，下弦节点板普遍锈胀开裂

[收稿日期] 2023－07－22
[基金项目] 国家自然科学基金(51978579)
[第一作者] 吴　鹏(1991—)，男，湖北武汉人，湖北联投集团有限公司工程师，研究方向为桥梁维修加固。

严重，部分上平联严重扭曲变形；

2）全桥支座缺少养护，锈蚀较为严重；

3）桥墩承台年久失修，桥墩老化破损较严重，河水对桥墩及岸坡的冲刷剥蚀较严重。

由于原桥技术状态等级较差，通过计算并结合实际情况，采用斜拉结构体系结合梁底吊架的加固改造方法。利用扣索塔架结构提供的竖向分力分担桥体主梁自重及施工荷载，降低原桥杆件的应力水平，达到提高原桥承载力的目的；同时，在新桁架杆件拼装过程中，通过合理的调整扣索的索力，使新桁架处于无应力状态。待桁架合拢后，通过体系转换，使新旧桁架共同受力，从而达到对主桥加固改造的目的。

2 扣索塔架体系加固原理

为避免加固过程中施工荷载对杆件及管道的安全性造成较大影响，需采取措施提高原桥承载能力，减小跨中挠度，保证施工过程中结构安全性。根据黄河管道桥结构特点，在梁底搭设钢管吊架施工平台，同时在墩顶搭设钢管立柱，挂设斜拉扣索，根据优化的施工工序及施工特点，对扣索进行分级张拉，将原桥荷载及施工荷载通过扣索和钢管立柱传递到墩承台上，实现对主梁荷载的逐级分担。在新桁架杆件拼装过程中，通过不断调整扣索的索力，使新桁架处于无应力状态。待桁架合拢后，通过体系转换，使新旧桁架共同受力[1-9]。

2.1 体系简化

考虑到传统的扣索塔架结构体系结构、工艺均较复杂，将传统的扣索结构体系予以简化，采用 4 根 Φ328 mm×8 mm 钢管立柱稳定结构代替传统混凝土塔柱，钢管立柱之间采用槽钢作为连接系，钢管立柱基础布置于原桥墩墩顶处（图 2）。根据计算确定扣索角度及锚固区的位置，锚固区直接与钢管立柱焊接，上下锚头孔位线形与主桁架平行。扣索挂设后，采用穿心式千斤顶对扣索进行分级张拉实现对原桥荷载的逐级分担。

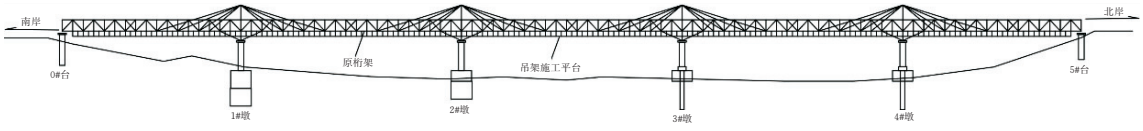

图 2 扣索塔架体系布置

钢管立柱采用 Φ325×8 无缝钢管，连接系采用 16b＃槽钢。由于桥梁架设空间有限，钢管立柱分节段拼装，节段之间采用法兰盘连接（图 3）。上锚头直接焊接在钢管立柱侧面的锚固平台，下锚头固定在钢桁架下弦大节点处。扣索采用钢绞线来实现，根据初步估算结果及钢绞线安全储备考虑，扣索采用两根直径 15.24 mm 的钢绞线作为一根扣索，锚具采用 15-2 型。拉索布置见图 4。



图 3 钢管立柱结构

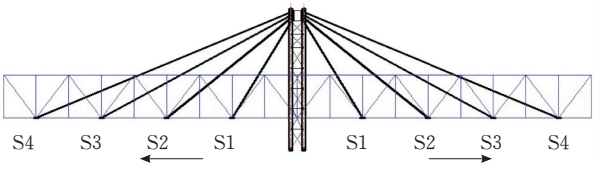

图 4 拉索布置

2.2 模型计算

为模拟扣索塔架体系在实际运用中的真实情况，采用 Midas Civil 对扣索塔架体系加固关键工况进行模拟，计算扣索塔架体系在桥梁加固中的应用效果，并优化扣索塔架体系结构参数（表 1），使得斜桥体系及原桥处于最安全状态，并达到最好的加固效果。

表 1 初始索力张拉值

索编号	S1	S2	S3	S4
初始拉力/kN	70	80	90	100

新增杆件拼装合拢后，原悬索滑道方案与斜拉结构体系方案下原桥杆件的受力情况见表 2。

表 2 原桥在新增杆件合拢后的受力情况

	原悬索滑道结构	斜拉结构体系
全桥最大位移/cm	9.1	3.7
杆件最大拉应力/MPa	193	69.4
杆件最大压应力/ MPa	−133	−73.1
支座最大反力/kN	1520	482

根据计算结果，增加斜拉结构体系后，原桥最大位移、杆件最大拉/压应力、支座最大反力均有明显的下降，扣索塔架体系较大程度地分担了原桥荷载，使得原桥承载能力明显提高。

3 扣索塔架体系加固关键工艺

3.1 钢管立柱基础

在进行扣索塔架体系拼装前，先进行钢管立柱

塔柱基础的浇筑。由于墩顶空间有限，为避免钢管立柱在墩顶造成应力集中，在立柱基础中加设工字钢劲性骨架，使得立柱与基础成为一个整体。钢管立柱采用 2 m 每节段的钢管制成，与预埋件焊接牢固。由于钢管立柱顶端处于主抗拉区，根据计算发现钢管顶部会发生较大的变形，因此在钢管立柱顶端端部内焊接十字加劲肋，增加立柱端部的整体刚度，同时增大抗拉方向连接系的抗拉强度(图 5)。



图 5　钢管立柱基础

3.2　扣索挂设

钢管立柱及连接系安装完毕后，在钢管立柱上安装斜拉索锚固装置，两侧对称挂设斜拉索，斜拉索采用单根 Φ17.80 钢绞线拉索，挂索顺序为从墩顶向两侧同步进行。锚固装置中的上锚箱按照测设的角度和距离固定在钢管立柱顶端侧面的锚固平台上(图 6)，下锚头布置在杆件节点上(图 7)。根据扣索的设计长度并考虑张拉富余量，进行钢绞线的下料，然后采用卷扬机牵引扣索至锚固区并穿过锚具和夹片。



图 6　上锚头锚固区



图 7　下锚头锚固区

3.3　体系转换

当墩顶新桁架拼装至扣索对 S1 处时，对该处扣索进行对称、分级张拉，张拉统一采取梁端张拉，张拉顺序为：$0.2\sigma\rightarrow0.4\sigma\rightarrow0.6\sigma\rightarrow0.8\sigma\rightarrow\sigma$，每级张拉时对桥梁线形及关键部位杆件进行应力测量和监控，及时掌握张拉过程中桥梁体系转换变化情况，一旦出现异常，及时对初始张拉进行调整，使整个体系转换处于可控状态。

在全桥新增主桁杆件拼装完成后，进行扣索塔架体系的拆除。在扣索拆除过程中，按照从外侧向内侧逐步放张拆除的顺序进行。首先对外侧扣索 S4 进行放张，将扣索 S4 进行张拉，松动锚具夹片，然后逐级放松扣索，放张顺序：$1.2\sigma\rightarrow0.8\sigma\rightarrow0.6\sigma\rightarrow0.4\sigma\rightarrow0.2\sigma\rightarrow0$。每级张拉时对桥梁线形及关键部位杆件进行应力测量和监控，及时掌握张拉过程中桥梁体系转换变化情况，及时对初始张拉进行调整和修正，使整个体系转换处于可控状态。

4　结束语

不同于常规桥梁维修加固工程，兰州石化黄河管道桥加固过程中，需确保原桥的安全和稳定以及新旧杆件共同参与受力，斜拉扣索塔架体系的引入很好的解决了这个难题。斜拉结构体系在扣索被赋予初始张拉力后，利用扣索的竖向分力能很好地分担梁体的竖向荷载，减小杆件的下挠及杆件应力，水平分力在塔柱上抵消，能较好地提高桥梁的承载能力，为桥梁的进一步加固提供了安全保障，且通过体系转换，新旧杆件能够共同参与受力。施工监控结果显示，引入扣索塔架体系并进行扣索张拉后，原桥线形有了明显的改善，关键部位杆件应力明显下降，较好地分担了原桥荷载和杆件应力，使得整个桥梁的安全储备更充分。

目前，国内外类似的钢桁梁桥加固过程中受诸多因素的限制，常规加固方法无法达到提高桥梁承载力的目的，而斜拉结构体系对环境因素的依赖性较低，扰动小，可很好地解决这些问题。同时，斜拉结构体系也可作为一种永久加固结构，有效地提高桥梁承载力，应用到更多的桥梁加固工程中去。

[参　考　文　献]

[1] 崔鑫，王丽，赵欣欣.64m 栓焊钢桁梁重载适应性分析及强化对策[J].铁道建筑，2015，(10)：47-50.

[2] 张倩文. 大跨度铁路钢桁梁桥结构损伤对梁体挠度的影响[D]. 石家庄：石家庄铁道大学，2014.

[3] 许娜娜. 连续钢桁架桥加固方案模糊层次优选及计算分析[D]. 兰州：兰州交通大学，2014.

[4] 刘小正. 山西中南部铁路通道钢桁梁桥维修设备方案设计[J]. 铁道建筑，2016(06)：11-14.

[5] 陈亮，陈祖贺，邵长宇. 大跨径钢桁梁桥加固方法研究[J]. 公路，2020，65(08)：109-114.

[6] 孔令宗.下承式简支钢桁梁桥加固及检测试验研究[J]. 铁道建筑，2019，59(08)：54-56.

[7] 张召，刘满意. 超千米级公铁两用斜拉桥斜拉索安装关键技术[J]. 世界桥梁，2020，48(03)：43-47.

[8] 李景丰，周伟明. 同向回转拉索锚固体系斜拉索施工技术[J]. 桥梁建设，2015，45(02)：110-115.

[9] 林李前，高建清. 矮塔斜拉索施工技术[J]. 施工技术，2019，48(S1)：1170-1173.

(下转第 106 页)