

系杆拱桥吊杆外套钢管连接装置开发与设计

付勇高, 王磊

(无锡市市政设施建设工程有限公司, 江苏 无锡 214000)

摘要:设计了一种由梯形螺纹、法兰盘以及同步千斤顶等构件所组成的外套钢管连接装置,该装置可实现无缝钢管的开窗检查以及内力调整,从而解决系杆拱桥在检修外套钢管的吊杆时维修难度高且不利于后续安装的难题。同时,对该装置的焊缝、螺纹等薄弱部位进行强度、疲劳验算,再通过室内加载试验验证其实际性能和功能可实现性。最后,将该装置成功应用于实桥上,取得了较好效果。

关键词:系杆拱桥;桥梁检修;吊杆;外套钢管

中图分类号: U445.71

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)03-0249-04

0 引言

自1990年我国第1座钢管混凝土系杆拱桥——四川旺苍东河桥建成以来,系杆拱桥在我国日益普及。在系杆拱桥中吊杆是重要的受力构件,对吊杆进行实时检测和质量维护能够有效延长其使用寿命^[1-2]。现有技术中对系杆拱桥吊杆和拉索的维护,有部分桥梁采用一体式防护钢管来保护吊杆并且使用PE管包裹拉索,这种方式在检修吊杆和拉索时需要从外部破坏保护结构或者装置,维修难度高且不利于后续的安装。为解决这一问题,本文设计了一个装置,并对该装置的原理、试验以及实桥应用进行介绍。

1 项目来源

某一跨80 m下承式刚性系梁系杆拱桥(桥梁结构立面图见图1)共64根吊杆,每根吊杆间距均为4.0 m,吊杆采用壁厚14 mm的无缝钢管作为外套管,内穿成品拉索(拉索断面图见图2)。根据设计资料,无缝钢管参与吊杆受力。

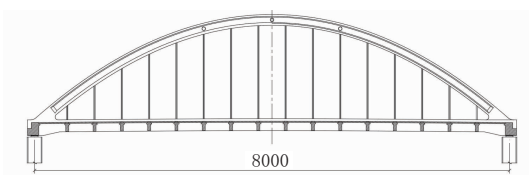


图1 桥梁结构立面图(单位:cm)

根据往年定期检测报告,该桥吊杆上锚头封锚混凝土、下锚头存在不同程度的病害,其中下锚头积水现象严重,填充黄油严重变质。为进一步查明吊杆

收稿日期:2022-06-15

作者简介:付勇高(1979—),男,学士,高级工程师,从事桥梁、隧道、道路养护管理工作。

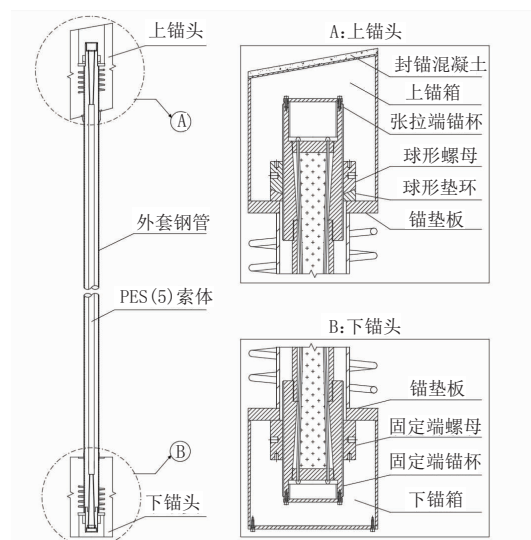


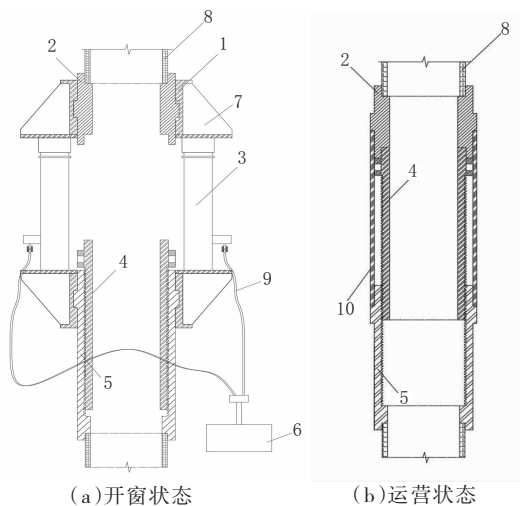
图2 吊杆拉索断面图

内部锈蚀状况,决定更换1根典型吊杆,以检测吊杆腐蚀情况,并检查吊杆内部。由于外套无缝钢管,当拆除拉索后难以观察吊杆内部锈蚀情况,因此需要切割钢管。由于钢管存在内力,若钢管切割后再焊接,则钢管内力难以达到原有状态,且该方法不便于经常检查。若能设计一种装置,使其可以实现钢管切割后内力恢复原有状态,并便于检查,将具有很大的实用意义。

2 装置设计与工作原理

本文设计的装置结构剖面图见图3。

由图3可知,该装置设有上套管、下套管,下套管的内壁间设有螺纹套管,螺纹套管能够在下套管中旋进或旋出,并且其顶部能抵接于上套管的底端;上套管、下套管的管道外壁上均可拆卸或连接法兰盘,法兰盘的一侧间可拆卸或连接同步顶升组件,以支撑2段吊杆防护管并保持一定的应力。同步顶升组件包括



1—法兰盘;2—上套管;3—千斤顶;4—螺纹套管;5—下套管;
6—千斤顶油泵;7—法兰盘加劲板;8—原外套无缝钢管;
9—千斤顶输油管;10—保护套

图3 装置结构剖面图

4个对称设置的千斤顶,4个千斤顶均通过同步阀连接至电动油泵;上套管、下套管的管道外壁均设有连接凸起,2个法兰盘的内侧均设有连接凹槽,通过凹凸配合实现法兰盘固定于套管外壁。

本装置具有以下优点:

- (1)设置有检修窗口,方便吊杆内部检修。
- (2)安装可靠便捷。
- (3)可以通过螺纹调节结构内力。

3 装置结构验算

为检验装置设计的安全性、合理性,对该装置焊缝、螺纹进行静力强度、疲劳强度验算。

3.1 设计荷载的确定

采用有限元分析软件 Midas/Civil 建立全桥空间梁格模型,如图4所示。全桥共划分为440个节点,610个单元。系梁、拱肋、横梁均采用梁单元模拟;吊杆拉索采用桁架单元模拟;外套钢管采用梁单元模拟;外套钢管与拉索采用共节点双单元进行模拟,在节点处变形协调相互作用。吊杆内拉索均按设计索力进行张拉。



图4 有限元模型

为计算该桥外套钢管受力大小,对上述有限元模型施加设计活载和恒载,计算吊杆外套钢管的内

力变化,计算结果见图5。

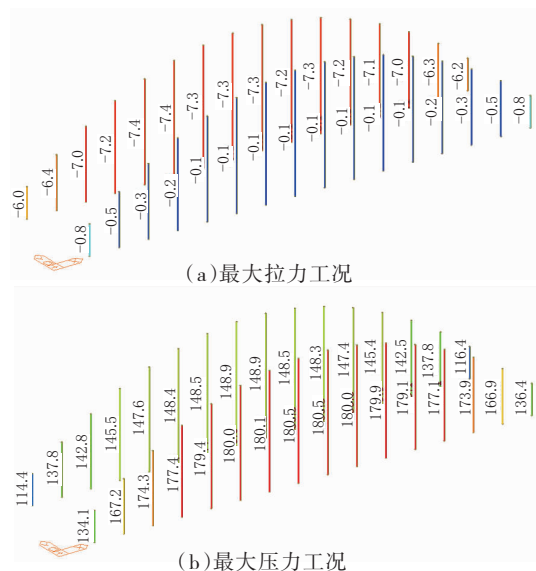


图5 吊杆外套钢管内力计算结果(单位:kN)

由图5可知,全桥吊杆外套钢管最大拉力为7.4 kN,最大压力为180.5 kN。出于安全考虑,下文按最大压力200 kN,最大拉力10 kN对装置进行验算。

3.2 焊接验算

原外套无缝钢管与上套管、下套管相接处采用气体电弧焊,焊缝为三级焊缝。上套管、下套管虽设有承托槽,但考虑到施工精度问题,原外套无缝钢管与承托槽相接并不紧密,导致焊缝承受压力,因此焊缝采用最大压力200 kN,最大拉力10 kN进行验算。参照《钢结构设计规范》(GB 50017—2017),计算式为:

$$\sigma_t = \frac{N}{h_e \sum l_w} \leq \beta_t f_t^w = 200 \text{ MPa} \quad (1)$$

式中: σ_t 为垂直于角焊缝长度方向,按焊缝有效截面计算的应力; N 为垂直于焊缝长度方向的轴心力; h_e 为角焊缝的计算厚度, $h_e=9.9 \text{ mm}$; l_w 为焊缝的计算长度, $\sum l_w=731 \text{ mm}$; β_t 为正面角焊缝的强度设计值增大系数,取 $\beta_t=1$; f_t^w 为角焊缝的强度设计值, $f_t^w=200 \text{ MPa}$ 。

通过验算可知,结构所受最大压力为200 kN,结构所受最大拉力为10 kN;压力安全系数 $n_{压}=7.23$,拉力安全系数 $n_{拉}=145$ 。

因此,焊接强度满足要求。

3.3 疲劳验算

考虑到活载作用下,无缝钢管存在应力幅值,为避免焊缝出现疲劳破坏,对焊缝进行疲劳验算。由于最大应力 $\sigma_{max}=-27.6 \text{ MPa}$,最小应力 $\sigma_{min}=1.38 \text{ MPa}$,则应力幅 $\Delta\sigma$ 为:

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} = 28.98 \text{ MPa}$$

由于焊接板厚小于25 mm,因此板厚修正系数

$\gamma_1=1.0$;假设循环次数为 1×10^8 ,结构连接参考 Z7 型,则正应力疲劳截止限 $[\sigma_L]=32$ MPa。

因此,焊接疲劳强度 $\sigma < \gamma_1 [\sigma_L]$ 。

综上,焊接疲劳强度符合规范要求。

3.4 螺纹验算

螺纹套管与下套管之间采用螺纹连接,该螺纹直接承受套管内力;又考虑到该螺纹需要传动,因此采用了梯形螺纹。螺纹构造如图 6 所示。

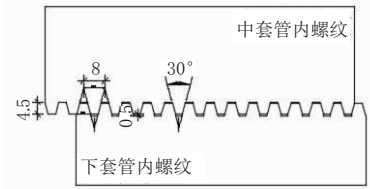


图 6 螺纹构造(单位:mm)

采用 Abaqus 有限元软件对螺纹局部进行建模分析,其验算结果见图 7。

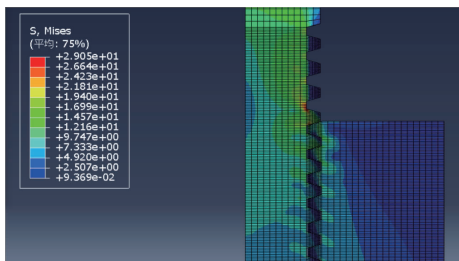


图 7 螺纹实体模型验算

由图 7 可知,在螺纹副第一个齿出现应力集中,与其他学者计算结论一致^[3-5],其中应力集中处最大应力为 29.1 MPa;螺纹啮合中部应力相对平均,此处最大值为 5.4 MPa。因此螺纹强度满足要求。

4 室内加载试验

4.1 试验目的

在理论验算的基础上,对该装置进行室内加载试验,试验目的为:

- (1)检验结构设计,即结构受力后是否可以按设计正常工作,并检验装置的加工质量。
- (2)检验法兰盘结构强度。
- (3)标定结构非弹性变形量。

4.2 试验方案

试验通过千斤顶与反力架对结构进行加载,千斤顶压力通过力传感器进行监测,结构变形通过外挑悬臂与百分表进行监测。试验最大荷载为 200 kN。

试验共分为 2 种工况,工况一是模拟结构在正常使用过程中承受来自上部的压力,以检验结构,特别是螺纹的强度;工况二是模拟在同步千斤顶顶升状态下,法兰盘构造的结构强度。每种工况试验过程

均采用 20 kN、50 kN、150 kN 和 200 kN 共 4 个荷载等级进行分级加载并试验 2 次。在工况一加载过程中,记录结构变形,由于理论计算的结构变形极小,因此此时的变形监测仅作为结构是否发生异常的参考和非弹性变形的测量,以及卸载后转动螺纹套管以检验螺纹是否可以正常工作。工况二仅观察法兰盘等构件是否有损伤。

工况一加载布置示意图见图 8,工况二加载布置示意图见图 9,试验现场见图 10。

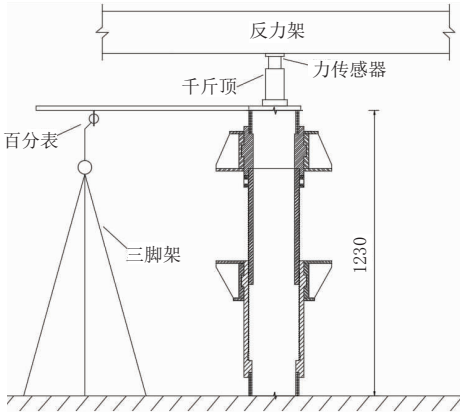


图 8 工况一加载布置示意图(单位:mm)

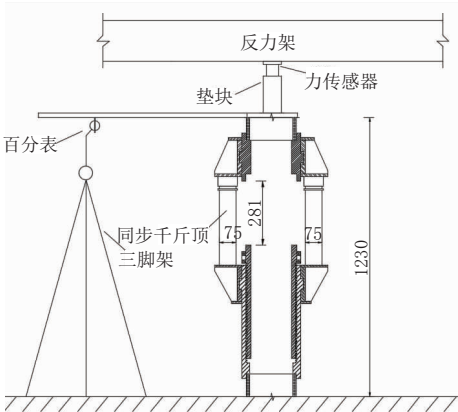


图 9 工况二加载布置示意图(单位:mm)



图 10 试验现场

4.3 试验结果

工况一加载记录的结构变形数据见图 11。试验结果表明:该结构的非弹性变形约为 0.53 mm,此外结构竖向刚度较大,除弹性变形外无明显变形;每级加载结束后,螺纹套筒可以旋转,说明螺纹结构强度满足要求。

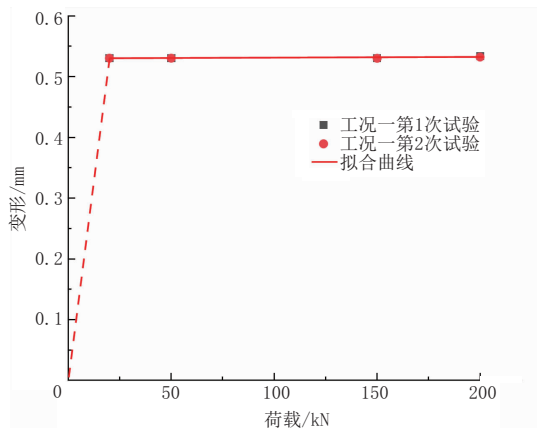


图 11 工况一变形监测结果

工况二中,法兰盘工作正常,无明显变形,且螺纹套管可以旋下,结构功能正常。

5 实桥应用

在前述某 80 m 跨系杆拱桥更换吊杆过程中,安装本文设计的装置。该桥更换吊杆的方法采用了直接更换法,即在验算安全性后,直接将目标吊杆解除锚固后抽出,并更换新吊杆。该装置应用安装过程如下:

(1)在旧吊杆拆除后,将外套钢管距离地面 1 m 位置进行切割,并取下 1 个高 50 m 的外套钢管,对切割断面进行平整处理。

(2)依次安装本文设计的装置并旋转螺纹套管,使装置上套管上缘达到目标高度与外套钢管相接。

(3)将装置调平后进行焊接,并对焊缝进行检测。

(4)新吊杆安装完毕后,在装置上安装法兰盘、

同步千斤顶以检验装置功能。

(5)安装防护装置,并对装置进行防水、防锈处理。

实桥应用照片见图 12。实桥应用结果表明,该装置达到了预期目的。



图 12 实桥应用

6 结 语

本文简要介绍了系杆拱桥吊杆外套钢管连接装置,并通过理论计算和有限元模型对装置进行了验算,然后对该装置进行了室内试验以及实桥应用以验证装置的应用可行性。该装置可为类似工程提供参考。

参考文献:

- [1] 高欣,欧进萍. 钢管混凝土拱桥索类构件的常见病害与检测方法[J]. 公路,2012(3): 10-16.
- [2] 荆秀芬. 钢管混凝土系杆拱桥养护技术研究[J]. 桥梁建设,2002(6): 1-5.
- [3] 王春寒. 在 ANSYS 软件中高强螺栓预紧力的施加方法[J]. 四川建筑,2006(1): 140-141.
- [4] 张红兵,杜建红. 有限元模型中螺栓载荷施加方法的研究[J]. 机械设计与制造,1999(6): 32-33.
- [5] 高连,新金辉. 套管连接螺纹的受力分析与改善措施[J]. 上海交通大学学报,2004(10): 1729-1732.

(上接第 244 页)

天津:河北工业大学,2015.

- [29] Emanjomeh M M, Sivakumar M. Denitrification using a monopolar electrocoagulation/flotation (ECF) process[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 91(2):516-522.
- [30] Holt P K, Barton G W, Wark M, et al. A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2002, 211 (2-3):233-248.
- [31] 张辉. 电絮凝除微污染水中正磷酸盐和硝酸盐试验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
- [32] Ziouvelou A, Tekerlekopoulou A G, Vayenas D V. A hybrid system

for groundwater denitrification using electrocoagulation and adsorption[J]. Journal of Environmental Management, 2019, 249:109355.

- [33] Yang B, Lin H, Bartlett S L, et al. Partitioning and transformation of organic and inorganic phosphorus among dissolved, colloidal and particulate phases in a hypereutrophic freshwater estuary [J]. Water research, 2021, 196:117025.
- [34] Kang X, Xia Z, Chen R, et al. Effects of inorganic ions, organic polymers, and fly ashes on the sedimentation characteristics of kaolinite suspensions[J]. Applied Clay Science, 2019, 181:105220.
- [35] 由培远,陆晓华. 焦化生化外排水电絮凝和化学混凝的深度处理[J]. 环境科学与技术,2010(S1):337-340.