

转动式拉索锚具设计

饶德军¹ 唐小萍² 黎海宁³ 张玉红¹

(1.佛山科学技术学院. 528000, 2.日本安特森公司 3.柳州欧维姆机械股份有限公司. 545005)

摘要:分析了中、下承式拱桥和斜拉桥断索的根本原因, 针对拉索弯折疲劳断裂问题设计了四种转动式拉索锚具, 详细介绍了转动式拉索锚具结构和安装。

关键词:拱桥 斜拉桥 拉索断裂 转动式锚具 吊杆断裂 疲劳

1. 基本背景

中、下承式拱桥雄伟壮观、气势如虹的抛物线型拱肋与笔直的桥道组合出和谐优美的艺术造型; 斜拉桥高高的索塔如擎天玉柱, 简洁流畅的直线条拉索和宽阔笔直的大跨度桥道交汇出朴实和谐的纯几何美。斜拉桥和中、下承式拱桥大量涌现, 据不完全统计, 国内中、下承式拱桥达百座以上。吊杆、斜拉索是这两桥型桥道的关键支撑构件, 吊杆和斜拉索的上端必须通过拉索锚具与拱肋或索塔锚固, 下端必须通过拉索锚具与桥道锚固。锚具结构能否满足桥梁建设和使用中实际情况的要求显得至关重要, 从国内外令人震惊的桥梁事故我们可以认识到这一点。

1974年开始通车的德国汉堡科尔布兰德 (Kohl Brand) 桥, 通车两年后, 因斜拉索钢丝断裂而导致全面换索。

广东××大桥1988年底投入使用, 1995年5月15日该大桥塔边跨的15号索一条斜拉钢索突然断开掉落到桥面, 导致交通中断, 但未造成塌桥事故或人员伤亡。经检查后决定更换全部拉索, 耗资2千多万。

2002年11月7日, 四川宜宾南门桥南北两端相继发生吊索断裂事故, 导致南北两端桥面分别局部垮塌40米和20米, 其主要原因是短吊杆弯折疲劳及防护措施失效。弯折疲劳加快了钢丝的锈蚀速度, 而钢丝的锈蚀又加剧了疲劳, 最后在温度比较低的一天凌晨, 在偶然的车辆荷载触发下导致事故的发生。

2. 事故原因分析

归纳起来导致断索事故原因有以下两方面:

(1) 原拉索或吊杆采用固定式锚具, 不能适应拉索或吊杆的弯曲变形, 因动力及静力产生拉索 (吊杆) 弯折疲劳。

(2) 拉索或吊杆锚固端反复弯折导致防护密封材料的完善密封过早破坏, 加速拉索或吊杆锈蚀 (拉索或吊杆下端更易侵入水分)。

下面简要分析断索事故与结构设计方面有关的原因。

我国原有的中、下承式拱桥的吊杆与拱肋、系梁的连接为刚性连接。在桥梁运营过程中, 中承式拱桥桥道因荷载变化、温度变化、风力影响等因素而产生漂移、摆动、收缩变形等现象时, 吊杆上下端锚固处产生弯折变形。长期的频繁局部弯折变形使拉索材料产生疲劳裂纹, 并使该部位的防锈保护措施加速失效。疲劳裂纹随桥梁营运时间不断扩展, 最后导致锚固处弯折角最大的短吊杆先行无征兆破坏。

目前斜拉桥普遍采用冷铸镦头锚, 拉索与桥塔和桥道的锚固连接为刚性连接, 钢索由正常的弹性段突变到刚性锚固段。拉索在车辆行驶、风力作用、环境扰动的激励下发生颤振, 拉索两端锚固处产生同频率的弯折变形。长期的反复弯折变形使材料疲劳寿命降低, 同时材料疲劳微裂纹还促使锈蚀加速, 最终使拉索几乎在没有明显征兆的情况下发生断裂破坏, 其危害程度是非常严重的。

拉索断裂问题重要原因是锚具本身属刚性固结, 在外界因素作用下造成锚具-拉索结合处弯折疲劳, 局部反复弯折变形使得防护措施提早失效。

3. 转动式拉索锚具设计

灾难性的事故对桥梁工程结构配件提出更高要求, 锚具的改进迫在眉睫。为了解决拉索锚固处弯折角过大的问题, 减少类似断索塌桥事故的发生, 我们联合开发小组对拉索锚具的结构和受力状态进行分析研究, 采用解除拉索锚固端转动约束的思路, 并根据不同使用要求设计了四种类型的转动式拉索锚具以满足改善拉索锚固端受力情况、提高拉索的疲劳寿命的要求。

3.1 销接式锚具

销接式锚具设计思路源于钢桥眼杆。虽然眼杆或铰链构造在悬索桥吊杆上广泛应用, 但在中、下承式拱桥、斜拉桥上尚未有应用。通过对冷铸锚具改造并引进铰链机构, 针对原冷铸锚具拉索锚固处拉索弯折疲劳问题, 设计了销接式拉索锚具(见图1)。

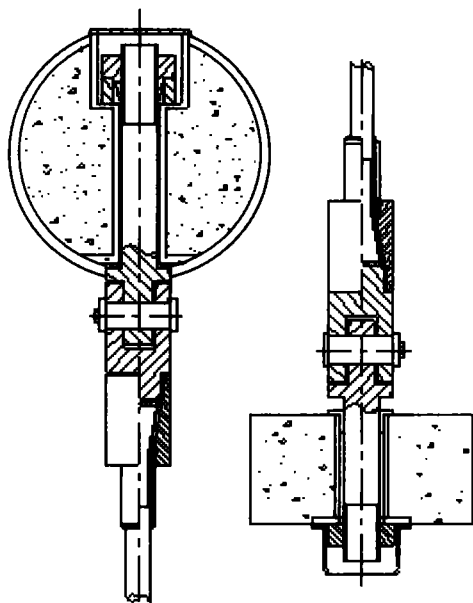


图1 销接式拉索锚具

销接式拉索锚具主要由原冷铸锚具的锚杯、铰链机构、拉杆、固定螺母组成。铰链机构由单耳板、叉耳板和销轴组成, 其中单耳板与拉杆为一整体构件。在工作状态下, 拉杆通过螺母、密封垫支承在拱肋或桥道内, 拉杆另一端的单耳板伸出拱肋或桥道外与铰链叉耳板通过销轴连接, 叉耳板与冷铸锚具的锚杯用螺纹联接。由于冷铸锚杯和铰链机构暴露在拱肋或桥道外, 故具有检查维护方便, 且安装预埋管较小的特点。

对于无推力中承式拱桥吊杆, 桥道产生纵向漂移时, 桥面端的支承螺母、固定螺母与固定拉杆随横梁一起移动, 锚具的铰链转动代替拉索的弯折, 而吊杆索始终保持为上下锚具两销轴间的直连线, 拉索的疲劳寿命大大提高。铰链机构与冷铸锚具的锚杯螺纹联接还可以进行少量的长度调整, 并易于换索。

当构造安装空间小于销接式拉索锚具的最小安装长度要求时, 设计了销接式刚性拉杆锚具(见图2), 结构更加简洁。

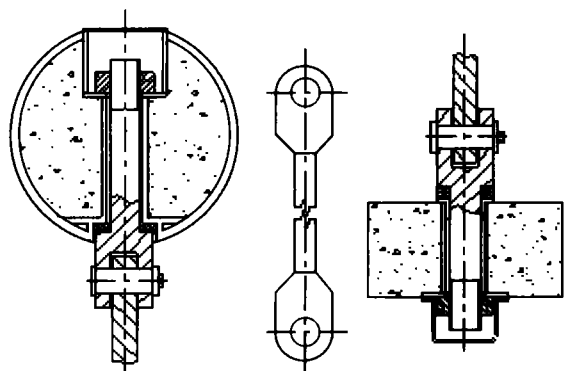


图2 销接式刚性拉杆锚具

3.2 球铰支座锚具

为适应沿桥纵、横两个方向的摆动, 消除拉索双向弯折, 设计了球铰支座拉索冷铸锚具(如图3)和球铰支座拉杆锚具。

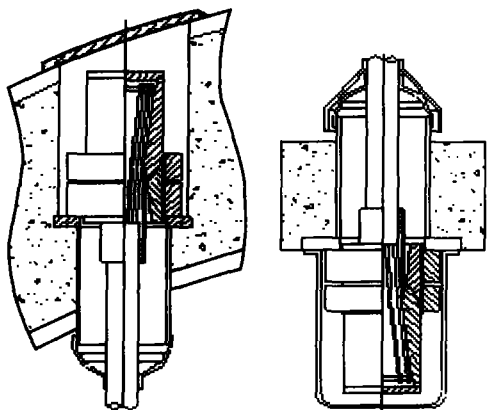


图3 球铰支座式拉索冷铸锚具

球铰支座拉索冷铸锚具主要由凸球底面冷铸锚杯、凹球面锚杯托、支承螺母、箍紧螺母、拉索（或刚吊杆）等组成。其中凸球底面冷铸锚杯、凹球面锚杯托、拉索（或刚吊杆）设计成预组装件，方便穿入桥梁结构上的预留孔，只需就位后拧上支承螺母、箍紧螺母即可定位，张拉方法与原冷铸锚相同。支承螺母、箍紧螺母设置单向连动棘爪，当达到张拉吨位后拧紧支承螺母、箍紧螺母组合体，再反旋分离箍紧螺母并退至微高过凹球面锚杯托顶端，以保护凹球面锚杯托。

在安装状态下，凹球面锚杯托通过支承螺母支承在基座垫板上，已铸入拉索的凸球底面冷铸锚杯（或球头刚吊杆）坐落在凹球面锚杯托上，当桥道产生纵向漂移及横向摆动时，拉索（或刚吊杆）两端的凸球底面冷铸锚杯在凹球面锚杯托上转动，而拉索（或刚吊杆）仍然保持为直线。

为使转动更容易，经过力学计算分析和模拟试验，将杯托的凹球面深度设计成过直径的半球面，锚杯的凸球底面的深度也设计成略大于半径，这样可以将转动阻力矩减至最小。

当安装空间小、拉索长度较短时，可采用球铰支座拉杆锚具，以减小安装空间，提高美观度，并简化结构。

3.3 球铰式锚具

为了满足沿桥纵、横方向的稍大角度转动要求，解决拉索弯折疲劳问题并减小锚固仓及安装

孔空间，在冷铸锚具基础上设计了球铰式拉索冷铸锚具（如图4）和球铰式拉杆锚具。

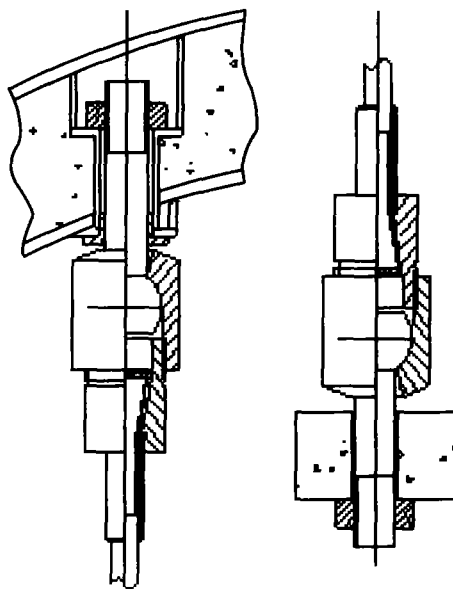


图4 球铰式拉索冷铸锚具

球铰式拉索冷铸锚具由固定螺母、球头固定拉杆、定位环、凹球面套筒、冷铸锚具、拉索（或刚吊杆）等组成。凹球面套筒穿心套在固定球头拉杆的球头上，构成了具有一定的转动范围的万向转动铰链。球头固定拉杆穿过安装孔，通过固定螺母、定位环安装在拱肋（或索塔）和桥道上，锚固仓及安装孔尺寸较小。固定球头拉杆的球头露在安装孔之外与凹球面套筒构成万向铰。内球面套筒与冷铸锚具用螺纹连接。

当两球铰间的拉索长度太短时，不宜使用拉索冷铸锚具，这时应采用球铰式拉杆锚具（即刚性拉杆式锚具）。

3.4 旋入式锚具

对于钢管拱桥，锚固仓及安装孔占空间太大会给混凝土泵送增加阻力、且容易形成空气贮留室影响管内混凝土质量。考虑到泵送阻力和空气贮留问题以及满足较大锥角的转动要求以解决拉索弯折疲劳问题，在冷铸锚具基础上设计了旋入式拉索冷铸锚具和旋入式拉杆锚具（如图5）。

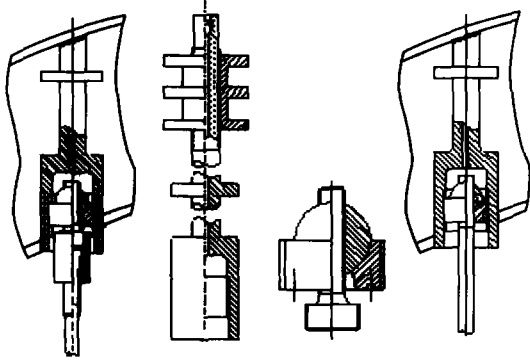


图5 旋入式锚具

旋入式锚具只设计了上锚具，下锚具可采用上述销接式锚具、球铰支座锚具、球铰式锚具的其中一种。旋入式锚具外形状似吊钟，适用于下端张拉的工况，特点是锚窝位于锚固区的下部，钢管拱肋内上半部分不存在阻碍砼填充密实的锚窝箱，空气易排干净。一般锚窝是由钢管加工厂制作，但旋入式锚具的锚窝必须是工厂预制且专业厂家生产，再由钢管加工厂安装到钢管拱肋的设计位置上。

旋入式拉索冷铸锚具由预制锚窝、外螺纹球托、球形螺母、连接螺栓、冷铸锚组成。预制锚窝下端为吊钟状，上端为圆柱状并设有承力环板、用于哑铃型钢管拱肋时圆柱状上半部分还设有螺纹与环板柱螺母配合；预制锚窝的轴线位置留有一个中间通孔用于吊装外螺纹球托、球形螺母、连接螺栓、冷铸锚预组件，锚具安装好或成桥后中间通孔可用于加润滑油剂、防锈剂维护，中间通孔用螺栓密封。外螺纹球托的底部和冷铸锚端部各设有供安装用的一对配套的凹凸构造。制作钢管拱时必须将预制锚窝焊装好，在桥梁工地安装吊杆时，通过锚窝中间通孔放下牵引绳和牵引螺杆（长度与预制锚窝高度相同），将组装好的外螺纹球托、球形螺母、连接螺栓、冷铸锚拉升至锚窝，旋转冷铸锚杯，通过凹凸构造带动外螺纹球托旋入锚窝。旋到位后卸除牵引螺杆，球形螺母降落在外螺纹球托上、凹凸构造分离，撤掉牵引绳、注入润滑脂、顶端用螺栓封孔、底端加密封保护罩后完成旋入式拉索冷铸锚具的安装。

4. 转动式拉索锚具的比较与应用选择

作为应用在最关键部位的拉索锚具，设计时都按较高的安全度进行设计与校核，锚具的零部件加工均在工厂内完成，使锚具的加工质量能够得到保证，确保转动式拉索锚具的使用安全。

在拉索桥梁的设计应用过程中，不同工况对拉索锚具有不同的要求，在实际设计应用时可按以下的几点进行。

4.1 对于桥道纵向位移大、横向偏摆距离小的状况，可采用销接式、球铰式或旋入式转动锚具。

4.2 对于桥道纵向位移及横向偏摆均不很大的状况，则上述几种转动锚具结构均可应用。

4.3 桥道纵向位移及横向偏摆均较大或者施工时拱肋内预埋孔与横梁内预埋管位置偏差比较大的状况，可应用球铰支座式、球铰式或旋入式拉索锚具。

4.4 对于斜拉桥来说，一般拉索都比较大而且长，振动也比较激烈，这时采用球铰支座式拉索冷铸锚具或销接转动锚具。

当吊杆拉索较短时，为了使拉索更加简洁美观，建议采用刚性拉杆替代半平行钢丝束拉索。此外，由于吊杆拉索的上下端锚具相对独立，设计时可根据实际情况进行组合应用，如上端为球铰支座式，下端为销接式等。

5. 结语

中、下承式拱桥和斜拉桥的断索问题可以通过转动式锚具来解决，本文介绍的销接式锚具、球铰支座锚具、球铰式锚具、旋入式锚具都能大大减小拉索弯折幅度，提高拉索疲劳寿命并避免拉索防护构造过早失效。

参考文献

- [1] 高等桥梁结构理论[M]. 项海帆. 北京: 人民交通出版社. 2000.4
- [2] 现代斜拉桥[M]. 严国敏. 成都: 西南交通大学出版社. 1996
- [3] 斜拉桥换索工程[M]. 王文涛. 北京: 人民交通出版社. 1997.12
- [4] 大跨度斜拉桥拉索系统的疲劳评定[J]. 高小云. 杨岳民编译. 国外桥梁. 1999.4