钢绞线兜吊系统在更换拱桥吊杆中的设计与应用

王小勇
（柳州欧维姆工程有限公司　广西柳州　545005）

摘　要：钢绞线兜吊系统是中承式拱桥吊杆更换过程中的关键结构。文章以贺州市贺州大桥吊杆更换工程为例，介绍了钢绞线兜吊系统的结构设计与验算方法，阐述了钢绞线兜吊系统的应用工艺，为同类型工程提供借鉴。

关键词：兜吊系统　辅助索　千斤顶　索力转换
DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2014.04.003

1 引言

随着国内经济的高速发展，很多拱桥的吊杆使用寿命已接近极限，为了避免安全事故的发生，这就需要更换已有一定使用年限的拱桥吊杆。

在桥道系的型式上，尤其是早期的中承式拱桥，大多数是采用预制桥面板纵向铺在吊杆横梁上，桥面板非常薄弱，与横梁的连接也很脆弱，桥面及横梁等所有的荷载都要通过吊杆传递到拱圈，该种结构形式决定了吊杆在整个结构体系中起着关键承重作用。如果其中一根吊杆失效断裂，整座桥的荷载分布就会发生突然变化，造成横梁脱离吊杆而使桥面发生晃动，引起桥面下沉甚至垮塌。

在更换吊杆时，必须要有一套系统代替旧吊杆并把旧吊杆的应力转移到新吊杆上，该套系统我们称之为兜吊系统。该套系统是通过油泵做动力把旧吊杆的索力转换到钢绞线辅助索上，在更换吊杆后再把钢绞线辅助索的索力转换到新吊杆上，所以，在整个吊杆的更换过程中，兜吊系统的设计和应用是至关重要的。下面，就该种钢绞线兜吊系统的设计与应用进行探讨。

2 钢绞线兜吊系统的设计

钢绞线兜吊系统的组成主要包括：拱上临时垫块、拱上横梁、梁下托梁、钢绞线辅助索体系、油泵千斤顶系统。下面以贺州市贺州大桥吊杆更换工程为实例进行阐述及设计计算。

2.1 工程概况

贺州市贺州大桥横跨贺江，是贺州市城市主干道贺州大道上的一座桥梁，桥梁主跨为中承式单跨钢筋混凝土箱肋拱桥，净跨径L_0=100m，净矢高H_0=20m，主桥桥面宽度：18m（行车道）+2×3.5m（人行道）。

该桥主拱圈截面为变截面，拱顶位置高度为225cm，拱圈宽度为150cm，混凝土强度等级为C40。旧吊杆采用高强钢丝束索，吊杆间距4.25 m，全桥共设17对34根吊杆。桥面系为钢筋混凝土梁板格结构，行车道板及肋梁混凝土强度等级为C30。桥梁原设计为双车道，设计基准期为50年。设计荷载为汽-20，挂-100，人群3.5 kN/m^2。

经过多年营运，该桥的吊杆出现不同程度病害，造成承载力及耐久性下降，为保障桥梁运营安全，必须进行吊杆更换。

3 钢绞线兜吊系统的设计计算

3.1 吊杆索力检测

为了更好地掌握吊杆实际索力情况，施工方采用动测仪进行了该桥吊杆的索力测量，数据如表1、表2所示：

经过与设计索力对比，索力大致接近，考虑测量误差因素，故取原最大设计索力876kN进行计算。

摘自：西部交通科技2013年第3期

表1　吊杆索力测量（一）表

吊杆编号	原吊杆实测索力（kN）	设计索力（kN）
X1	886.73	876
X2	760.41	740
X3	771.98	740
X4	816.41	740
X5	809.04	740
X6	783.8	740
X7	741.86	740
X8	745.78	740
X9	761.49	740
X10	845.54	876
X11	706.89	740
X12	764.93	740
X13	777.4	740
X14	740.54	740
X15	806.23	740
X16	813.56	740
X17	900.13	876

表2　吊杆索力测量（二）表

吊杆编号	原吊杆实测索力（kN）	设计索力（kN）
S1	890.59	876
S2	770.76	740
S3	742.9	740
S4	756.58	740
S5	708.65	740
S6	677.37	740
S7	824.06	740
S8	732.55	740
S9	854.04	740
S10	723.46	876
S11	742.09	740
S12	717.83	740
S13	803.68	740
S14	791.92	740
S15	785.99	740
S16	789.42	740
S17	889.56	740

3.2 拱上临时垫块设置

由于拱肋表面为曲面，各根吊杆所需的三角垫块尺寸不一样，所以根据各编号吊杆在拱肋上的位置计算曲率，以此来制作多个尺寸的三角形垫板。即在吊杆位置四周的拱肋上精确定位后，在对称位置浇筑临时限位固定装置4个（三角形垫块），以保持更换吊杆过程中钢横梁的稳定。垫块处的拱肋表面凿毛、植筋，铺设上下两层钢筋网片再浇筑C40混凝土。如图1、图2所示：

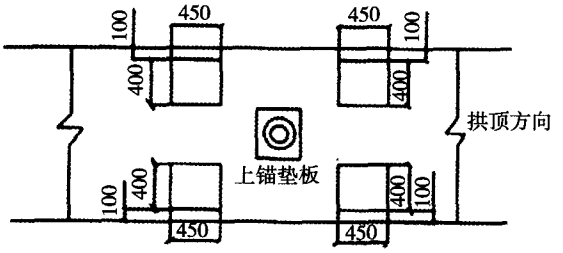

图1　三角垫块示意图

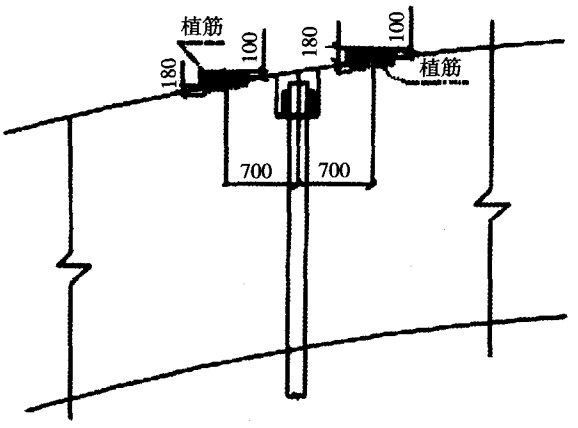

图2　三角垫块植筋示意图

3.3 拱上横梁

拱上横梁一般采用两根及两根以上工字钢或槽钢合并焊接而成，两端设置小板凳，千斤顶位于小板凳上方。每套钢绞线兜吊系统在拱上设置两根横梁，每根横梁落在两个三角形垫块上（见图3）。

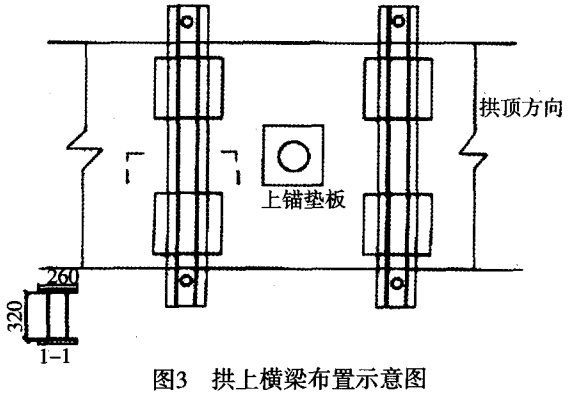

图3　拱上横梁布置示意图

拱上横梁截面强度验算：假设使用I32工字钢，悬臂长L=0.2m，吊杆设计最大索力给定为87.6t。

考虑5t活载，每束钢绞线辅助索索力为$F=(87.7\times1.2+5\times1.4)/4=28t$

危险截面弯矩：$Mx=F\times L=28\times10\times0.2=56kN/m$

剪力：$Q=28t$

查表（钢结构设计手册）得I32工字钢截面参数：$Wx=692cm^3$，截面积$A=67cm^2$

弯曲正应力：$\sigma_x=Mx\times Wx=56/692=80.9MPa<215MPa$

剪切应力：$\sigma_t=Q/A=280/67=41.8MPa<125MPa$

满足要求。

3.4 梁下托梁

在梁下横梁处设置两个托梁，托梁也采用两根及两根以上工字钢或槽钢合并焊接而成。在吊杆位置四周，即横梁的侧面相应的位置用水钻（选取合适的钻头）钻穿桥面铺装层和桥面板，然后用N根钢绞线（梁下用P锚挤压好）从梁下穿过该孔直到拱顶的上横梁和千斤顶，并安装专用工具锚锁紧（见图4）。为了保证上下锚点的位置准确，应根据上下横梁的锚固点位置，使用全站仪准确定位桥面钻孔的具体位置。

梁下托梁截面强度验算：

同上，假设取I32工字钢，从工字钢受力点至支撑处的悬臂长L=0.35m，吊杆设计最大力为87.6t。

考虑5t活载，每束钢绞线辅助索索力为$F=(87.7\times1.2+5\times1.4)/4=28t$

危险截面弯矩：$Mx=F\times L=28\times10\times0.35=98kN/m$

剪力：$Q=28t$

查表得I32工字钢截面参数：$Wx=692cm^3$，截面积$A=67cm^2$

弯曲正应力：$\sigma_x=Mx/Wx=98/692=141.6MPa<215MPa$

剪切应力：$\sigma_t=Q/A=280/67=41.8.MPa<125MPa$

该处的弯曲正应力比拱上横梁的要大，但仍能满足要求。

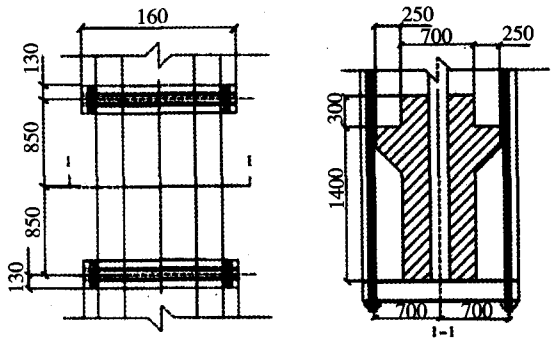

图4　梁下托梁布置示意图

3.5 钢绞线辅助索应力施加及验算

首先通过钢绞线索辅助索（见图5），使拱上横梁与梁下横梁连成一体，并采用上端张拉的方式提供索力转换。根据设计提供的相对应的旧吊杆的应力情况确定采用N根辅助索的张拉控制应力值。采用4束辅助索使横梁临时承受原吊杆力，用4台同型号的千斤顶，用一台油泵同时对4台千斤顶供油并保证同步张拉，确保4束钢绞线同步建立应力。假设设计给出的吊杆索力为87.6 t，考虑5t的活载，最大值为$F=128.6t$，取130t计算，每束钢绞线辅助索取4根强度为1860MPa的ϕ15.24钢绞线组成，则单根钢绞线受力为：130/4/4=8.1t。

单根钢绞线破断力为26t，安全系数3.2倍，满足要求。

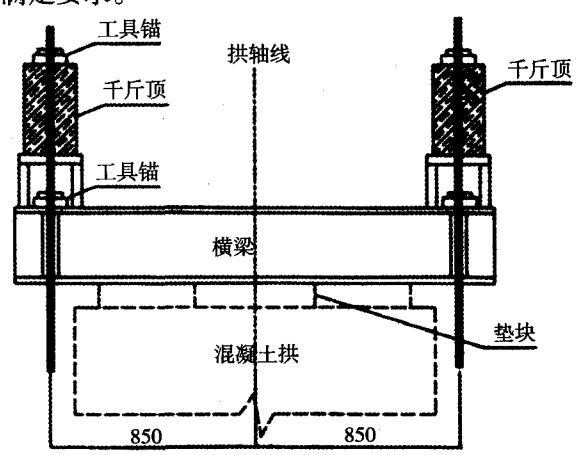

图5　供上辅助索安装示意图

3.6 油泵千斤顶系统

该种钢绞线兜吊系统采用1台ZB4-500型电动油泵，使用8套OVM15-4的工具锚板，固定端使用P型挤压锚，配用2套四通控制阀，采用YCW15-200通心式千斤顶，千斤顶的储备系数为150t / 87.6t=1.7，满足使用要求。

4 钢绞线兜吊系统的应用

4.1 钢绞线兜吊系统的特点

该种钢绞线兜吊系统选用钢绞线作为主要受力构件，相比精轧螺纹钢而言其柔性要好，比钢丝绳的强度要高，充分利用了钢绞线的强度高和柔性好的特点。通过精心设计，巧妙构造，组成了该种安全可靠、实用性强的钢绞线兜吊系统。该系统也易于拆卸、组装及运输，不需要使用吊车等大型设备，节约了工程成本，具有很好的经济效益。

4.2 钢绞线兜吊系统的施工工艺

钢绞线兜吊系统的施工工序包括：施工准备→制作拱上垫块→安装拱上横梁→安装梁下托梁→安装钢绞线辅助索→安装油泵千斤顶系统→预紧钢绞线辅助索→张拉钢绞线辅助索→拆除旧吊杆→安装并张拉新吊杆→放松并拆卸钢绞线兜吊系统。

4.3 钢绞线兜吊系统的控制要点

（1）同一套兜吊系统的同一束钢绞线上下锚固点尽可能在同一条垂直线上。如果受条件限制，可以容许一些偏差，但是建议最好使用精轧螺纹钢把上下的两根托梁连接成一个井字架，以克服钢绞线受力时所产生的水平力，防止托梁水平滑动或侧翻。

（2）上下横梁或托梁与混凝土的接触面尽可能放置2cm厚的橡胶垫，以保证其受力均匀，避免因点受力产生局部应力过大造成的混凝土开裂破坏。如果承压面积不够，可以在承压面垫置2cm厚的钢板以增加承压面积使其满足使用要求。

（3）在进行张拉前先对4束钢绞线辅助索的每根钢绞线进行预紧，使每根钢绞线松紧基本一致后再用油泵张拉。在建立应力的张拉过程中需要缓慢加压并调整四通阀使4台千斤顶的张拉行程基本一致。让4束钢绞线辅助索同步同时建立应力，直至替代旧吊杆的作用以支撑桥面所有荷载，并用横梁上的工具锚板锁紧钢绞线，之后可以进行旧吊杆的拆除工作。

（4）在安装好新吊杆后，张拉千斤顶需要预留5cm～10cm的空行程，之后再张拉钢绞线辅助索直至拆卸掉横梁上工具锚板的锁紧夹片，再进行缓慢卸压、千斤顶活塞回程、钢绞线辅助索松弛。与此同时张拉新吊杆，逐步把钢绞线辅助索上的应力转换到新吊杆上。

4.4 钢绞线兜吊系统的实际应用

（1）贺州市贺州大桥更换吊杆工程中使用了上述4套钢绞线兜吊系统，从中间吊杆开始更换，然后往两端逐对对称地更换。在整个施工过程中，该种钢绞线兜吊系统充分发挥了其特点，为该项目的进度控制、质量保证、经济效益等方面作出了巨大贡献。

（2）在浙江新昌城西大桥维修工程中采用了上述4套钢绞线兜吊系统，根据上述方法更换了19对38根吊杆。在该项目中，拱上垫块是作为永久垫块使用的，由于工期紧张，使用了环氧混凝土，再加上该种钢绞线兜吊系统可操作性强、灵活机动的特点，为该项目的工期控制提供了有力保障。

（3）在南宁蒲庙大桥维修工程中，采用了8套该种钢绞线兜吊系统，于2009年11月更换完所有吊杆。在该项目中，该兜吊系统进行了一点改动，由于桥面板下方横梁的端部不够长，即梁下托梁位置与拱上横梁位置不在同一垂线上，且偏差很大，故在桥面增加了扁担梁进行转换。

5 结语

由于中承式拱桥的结构特点，在拆除旧吊杆、安装新吊杆的过程中，必须要有一种可靠的结构体系来承担吊杆的作用，上述的钢绞线兜吊系统很好地解决了该问题，即通过千斤顶把旧吊杆的索力转换到钢绞线兜吊系统上，以便拆除旧吊杆时保证拱桥结构应力及桥面标高不变，并在此条件下把钢绞线兜吊系统的索力转换到安装好的新吊杆上，正是通过该钢绞线兜吊系统索力的二次转换而达到更换旧吊杆的目的并保证拱桥结构应力及桥面标高不变，成功地解决了吊杆更换过程中索力的二次转换问题。通过上述项目的实际应用，该种钢绞线兜吊系统的结构设计及施工工艺已经成熟，为同类型工程提供了良好的借鉴作用。

参考文献

[1] 周水兴，陈山林. 桥道系对钢管混凝土拱桥吊杆受力影响的研究[J]. 桥梁建设，2007(02).
[2] 汪一骏 等. 钢结构设计手册（第三版）[M]. 中国建筑工业出版社. 2005. 12.
[3] 彭文轩 等. 贺州大桥吊杆与伸缩缝更换设计文件[D]. 中南大学. 2007.