

空间大角度长调节量吊索体系 转换张拉系统设计研究

余丹 方建回 韦福堂 甘科 唐建荣

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

摘要:松原天河大桥由于采用了一种新型的空间大角度长调节吊索锚固方式,导致吊杆张拉不同于普通的梁下支承式张拉。普通的张拉工具无法满足张拉要求,因此,针对本项目特征需要重新设计一套能满足施工要求的张拉系统。该张拉系统,经应用于工程后证明切实有效,可以为今后同类型桥梁体系转换施工提供相关经验和参考。

关键词:空间大角度长调节量吊索 空间悬索桥 体系转换 工程张拉 ANSYS

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2017.03.003

引言

悬索桥体系转换是施工过程中一道非常关键的工序^[2],将主缆从空缆状态通过张拉把主梁重量转换成主缆内力。国内大部分自锚式悬索桥吊杆都采用支承式螺母锚固,在梁下进行张拉,这种张拉方式方便快捷,因而得到普遍应用^[3]。但是近年来出现一种新型空间大角度长调节量吊索锚固方式,吊索底座通过高强螺栓与钢梁锚箱顶面相连,球头连杆穿过吊索底座腔体,通过调节套筒将上方的吊索、下方的球头连杆连接起来。这种锚固方式2007年在天津富民桥上首次使用^[5],在松原天河大桥第二次使用,尚没有形成成熟可靠的张拉工艺,给体系转换施工造成极大困难。如果能设计一套能满足新型吊杆锚固方式施工要求的张拉系统,不仅能满足工程要求,还能节约施工成本。

1 吊索锚固系统简介

松原天河大桥主桥分为南汉桥和北汉桥,其

中北汉桥是两塔三跨自锚式空间悬索桥(如图1所示),主跨跨径266m,是目前国内跨径最大的空间悬索桥。南汉桥和北汉桥吊索锚固方式相同,采用双吊索结构,用调节套筒将上方的连接杆与下方的球头连杆通过螺牙连接起来,而与球头连杆连接的吊索底座使用高强螺栓固定在钢梁锚箱上顶板位置^[8],如图2所示。

此种锚固方式简洁、美观,同时为后期桥梁检修提供便捷。但是施工难度大、精度要求高,施工精度为毫米级别。

吊索底座在工厂铸造加工,球头连杆在底座内最大转角为 6° ,索夹采用新型可转动式索夹,由内、外两种索夹组成,内索夹夹持在主缆上,外索夹可绕内索夹 360° 自由转动。在空间悬索桥中,这种索夹可以防止由于索夹安装时预偏角度不精确而导致索夹耳板产生附加应力^[8],如图3~图5所示。

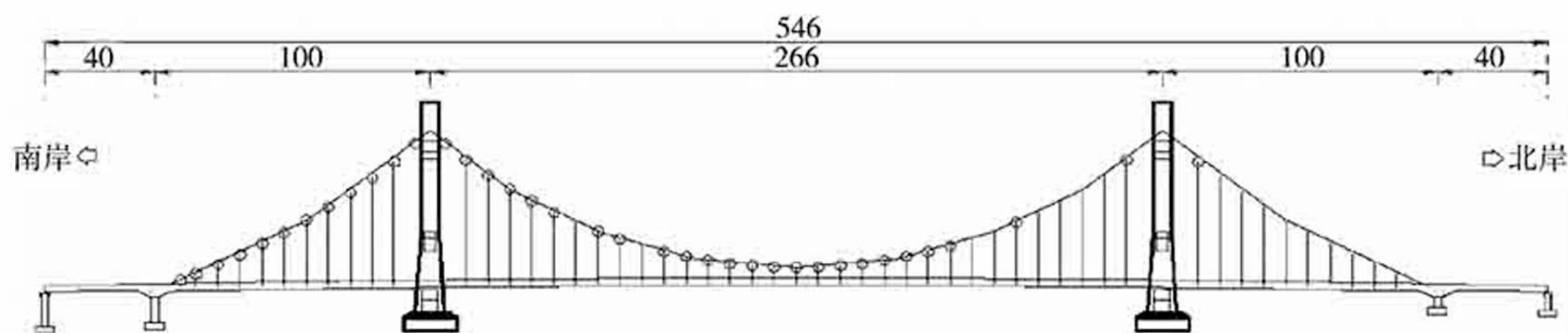


图1 天河大桥北汉桥跨径布置图

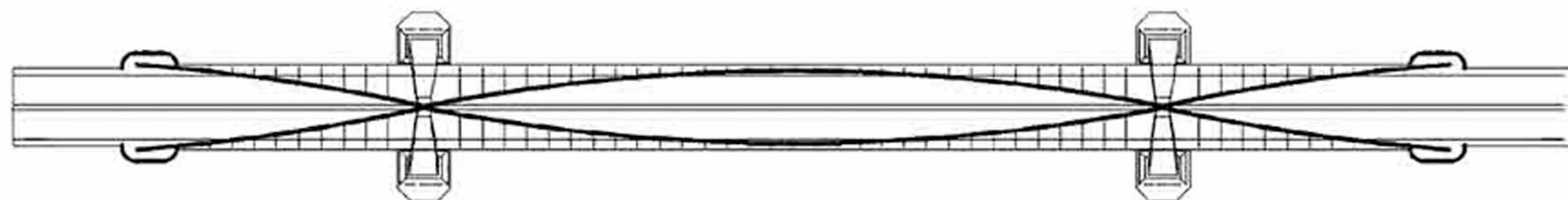


图2 天河大桥北汉桥平面布置图

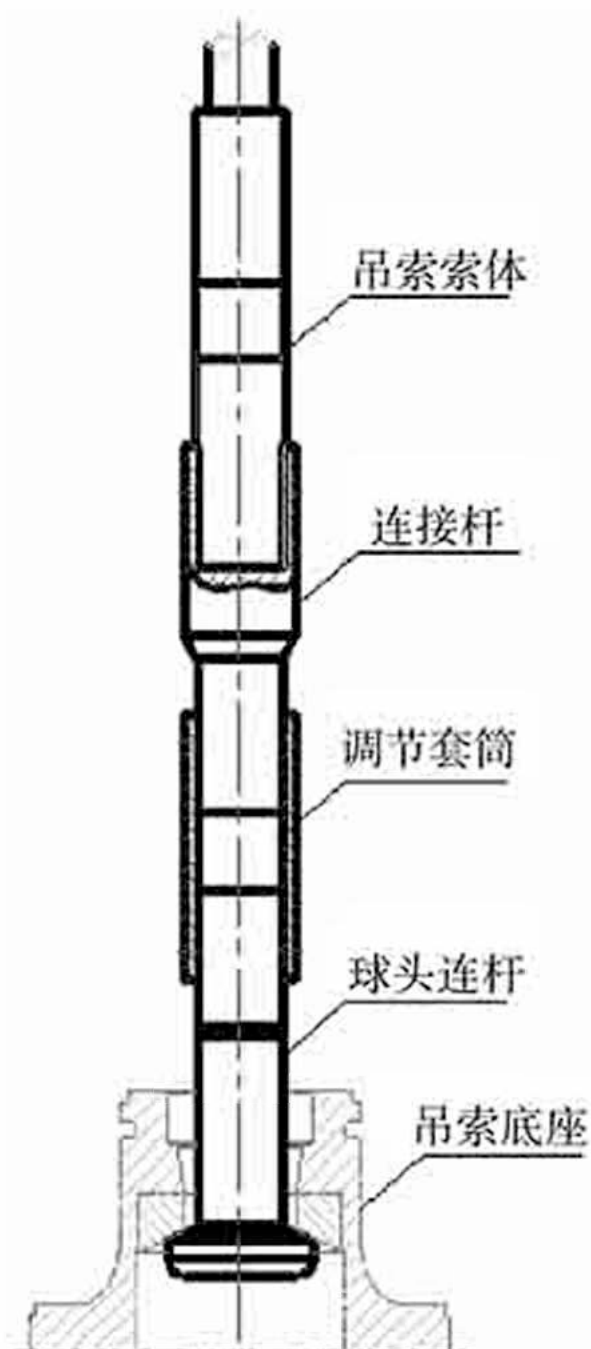


图3 吊索构造图

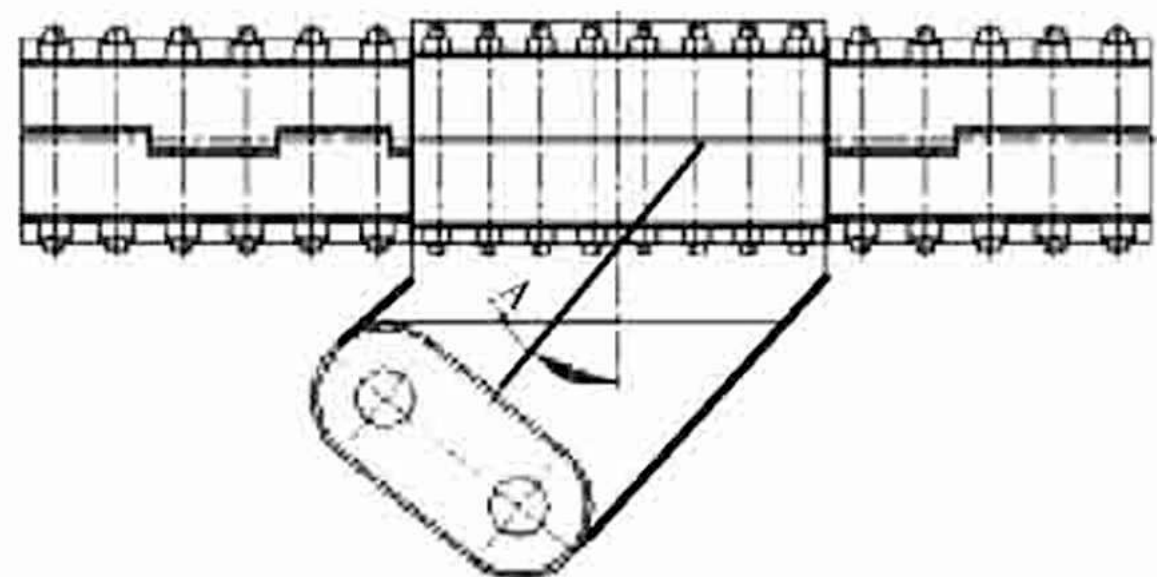


图4 索夹构造图

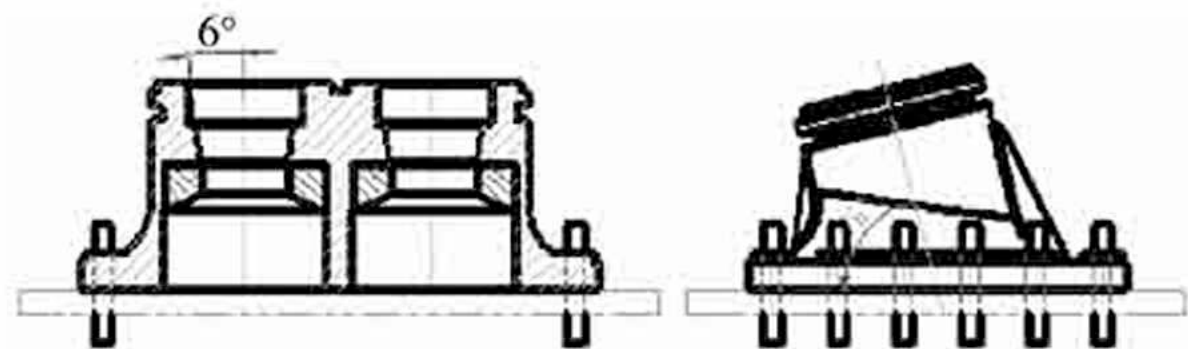


图5 吊索底座结构图

2 方案设计

2.1 整体式张拉方案

吊索底座在设计时底座上方预留了一个张拉槽，用来辅助张拉施工。整体式方案是基于利用此整体式张拉槽考虑，设计一个两半式下扁担梁，企口形状与张拉槽匹配，上扁担梁同样为整

体式，安装在上连接杆上部的台阶上。

下扁担梁尺寸为1500mm×620mm矩形，厚度为100mm，采用45#钢经热处理制作，沿底座长轴方向分为两半，两半间做成企口形，两侧各开一个尺寸为 $\phi 60$ 的圆形孔，用来穿过 $\phi 50$ 精轧螺纹钢，扁担梁内侧凸起部分形状与吊索底座张拉槽向匹配。两半之间通过高强螺杆连接，提供张拉反力。

上扁担梁与下扁担梁尺寸相同，采用相同材料，沿底座长轴方向分为两半，两边间做成企口形。靠外侧两个孔位为精轧螺纹钢孔位，中间两个 $\phi 150$ 孔为安装孔。两半间通过高强螺杆连接成为整体。上扁担梁上方依次安装临时锚固螺母、张拉撑脚、千斤顶、垫片及锚固螺母。

扁担梁安装示意图及上下扁担梁的设计图，如图6~图7所示。

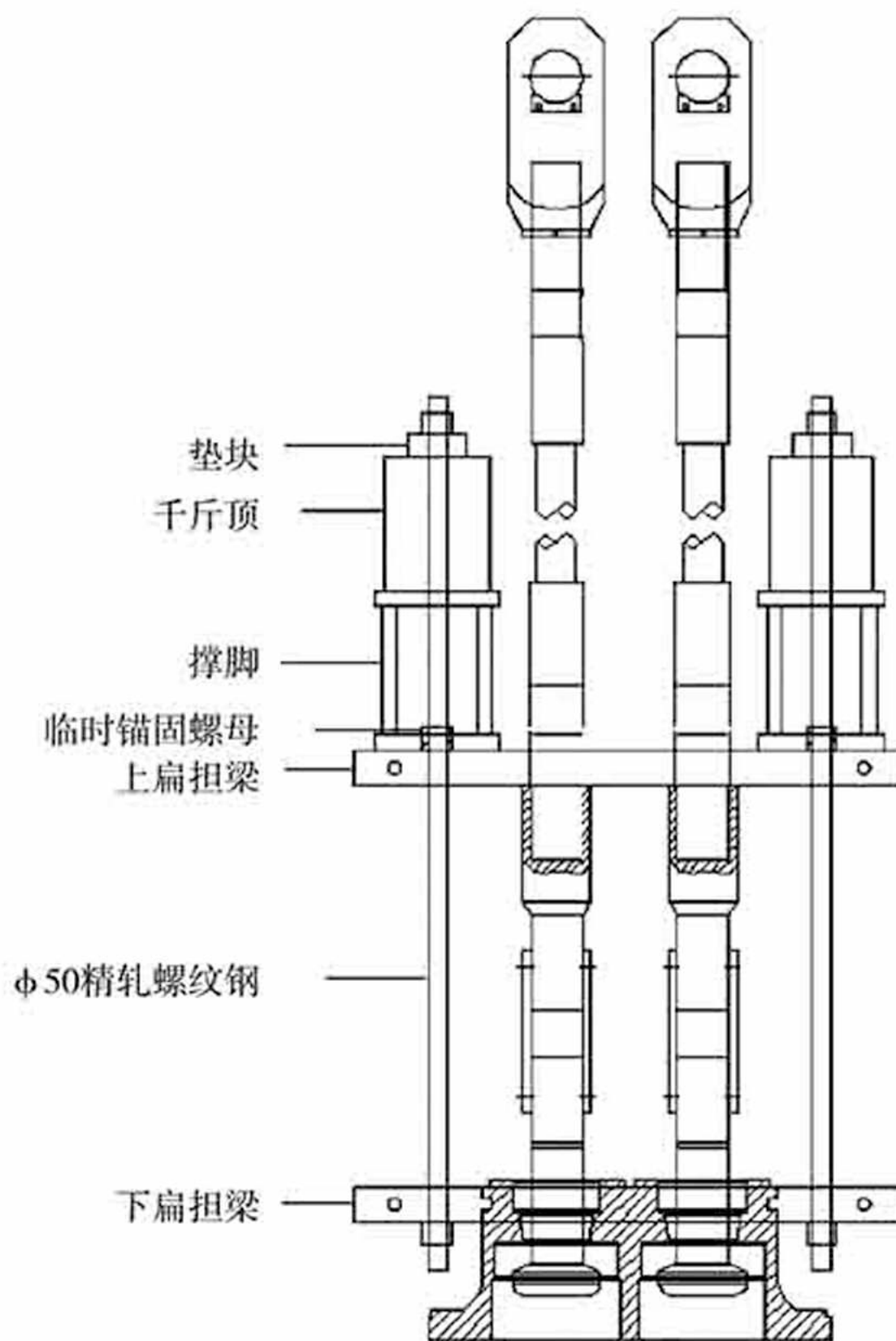


图6 整体式方案装配图

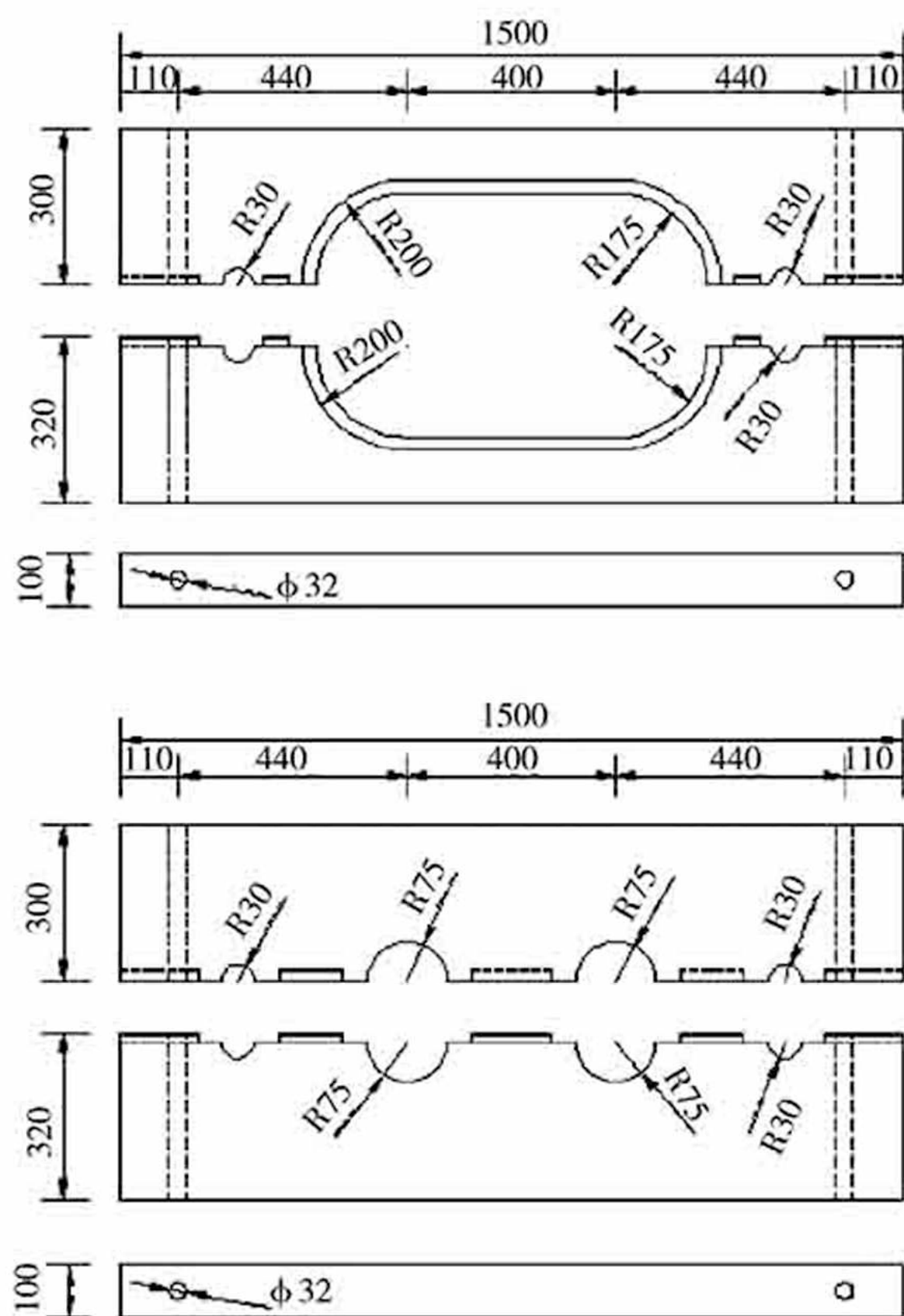


图7 上扁担梁设计图

整体式张拉方案具有整体稳定性好、吊索在张拉过程中受力均匀、调节套筒施拧难度小、甚至可以直接放松球头连杆以方便套筒施拧等优点^[1]，如图8~图9所示。但是同时具有以下缺点：加工难度大、精度要求高； $\phi 50$ 精轧螺纹钢价格昂贵，不经济；在张拉力较大时下扁担梁靠外侧部位凸槽容易出现应力集中导致安全系数降低；外形较为笨重、安装难度大安装成本高；当两根吊索内力不一致时容易出现结构失稳，导致安全事故。

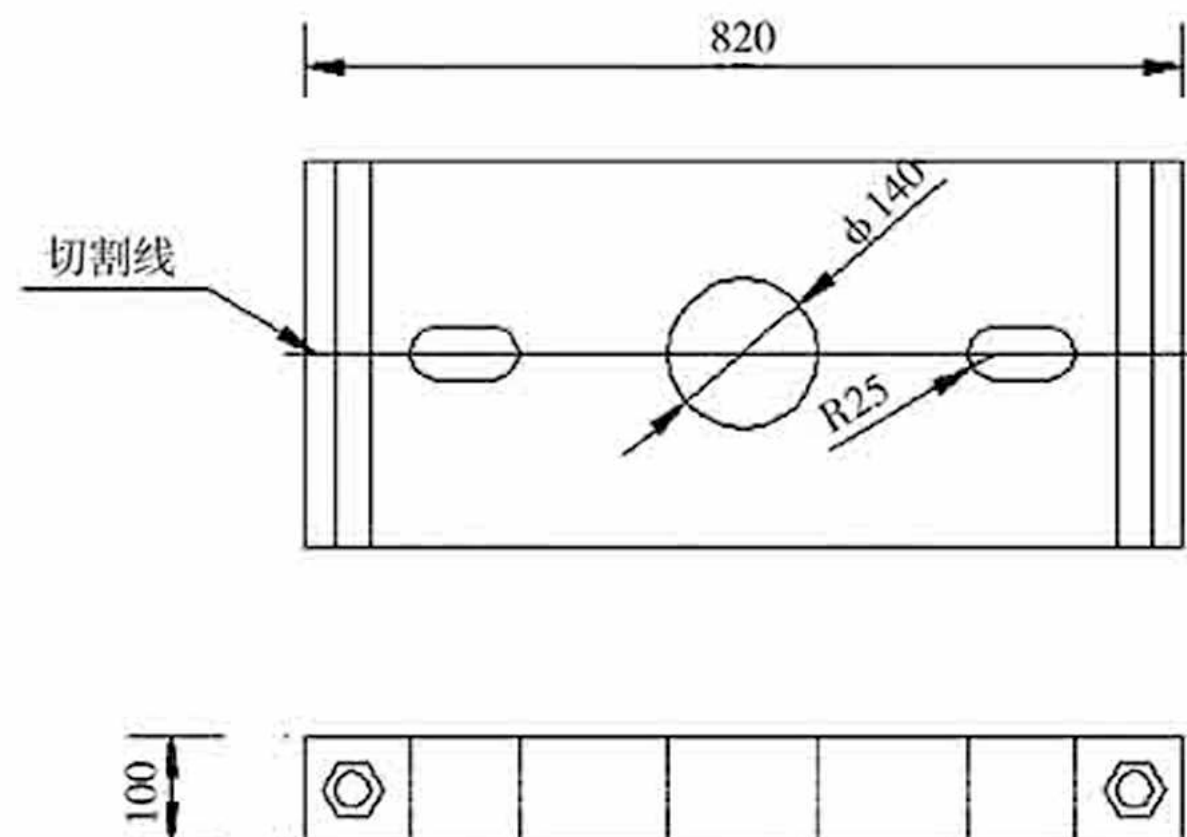


图8 上扁担梁结构图

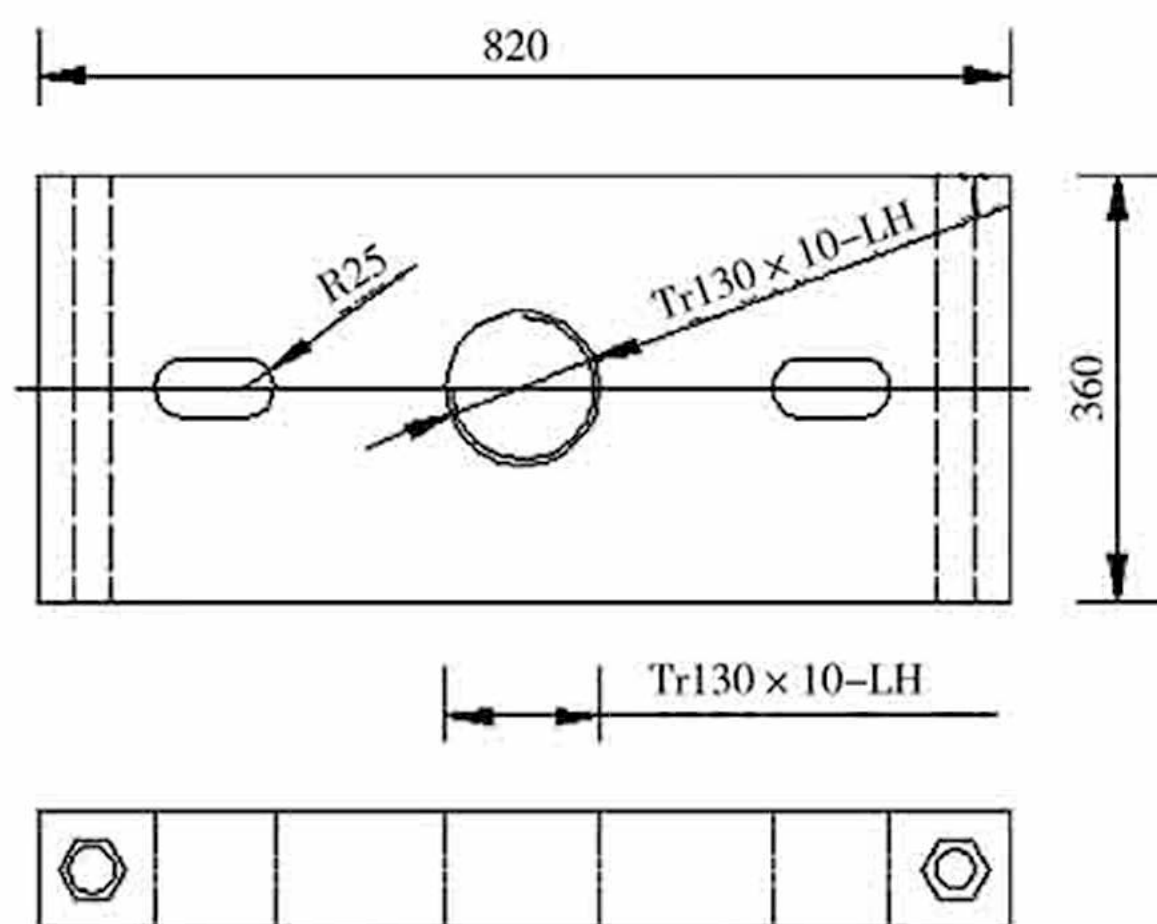


图9 下扁担梁结构图

2.2 分离式张拉方案

分离式张拉方案将两根吊索分别设计张拉扁担，扁担梁为两半式，不设企口，两半间通过高强螺栓连接。每根吊索分别安装一个上扁担梁一个下扁担梁，上下扁担梁通过 $\phi 40$ 精轧螺纹钢连接，每个上扁担梁安装两个YCW150B千斤顶，下扁担梁底部安装锚固螺母。

上扁担梁尺寸为 $820\text{mm} \times 360\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，采用40cr材料经热处理制作，沿底座短轴方向分为两半，通过高强螺栓连接成整体。中间为内侧光滑的安装孔，安装在上连接杆上方的台阶上，两侧圆端形为张拉孔，用来穿过 $\phi 40$ 精轧螺纹钢。

下扁担梁尺寸同样为 $820\text{mm} \times 360\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，采用40cr材料经热处理制作，同样为两半式，通过高强螺栓连接成整体。中间安装孔内螺牙尺寸为 $\text{Tr}130 \times 10\text{-LH}$ ，与下方球头连杆上部螺牙尺寸吻合，下扁担梁直接安装在球头连杆带螺牙部位靠下位置，用来提供张拉时的作用反力。

分离式张拉系统具有以下优点：重量轻、安装方便；张拉孔形状为圆端形，可释放空间，防止精轧螺纹钢受剪；下扁担梁为自带内螺牙结构，张拉时可随球头连杆一起转动，方便精轧螺纹钢的安装及张拉；由于扁担梁及精轧螺纹钢数量增加，在张拉力不变的情况下，整个张拉系统与整体式相比偏向安全，安全系数增加。但同时也具有以下缺点：张拉设备及工具增加、套筒施拧难度变大等，如图10~图11所示。

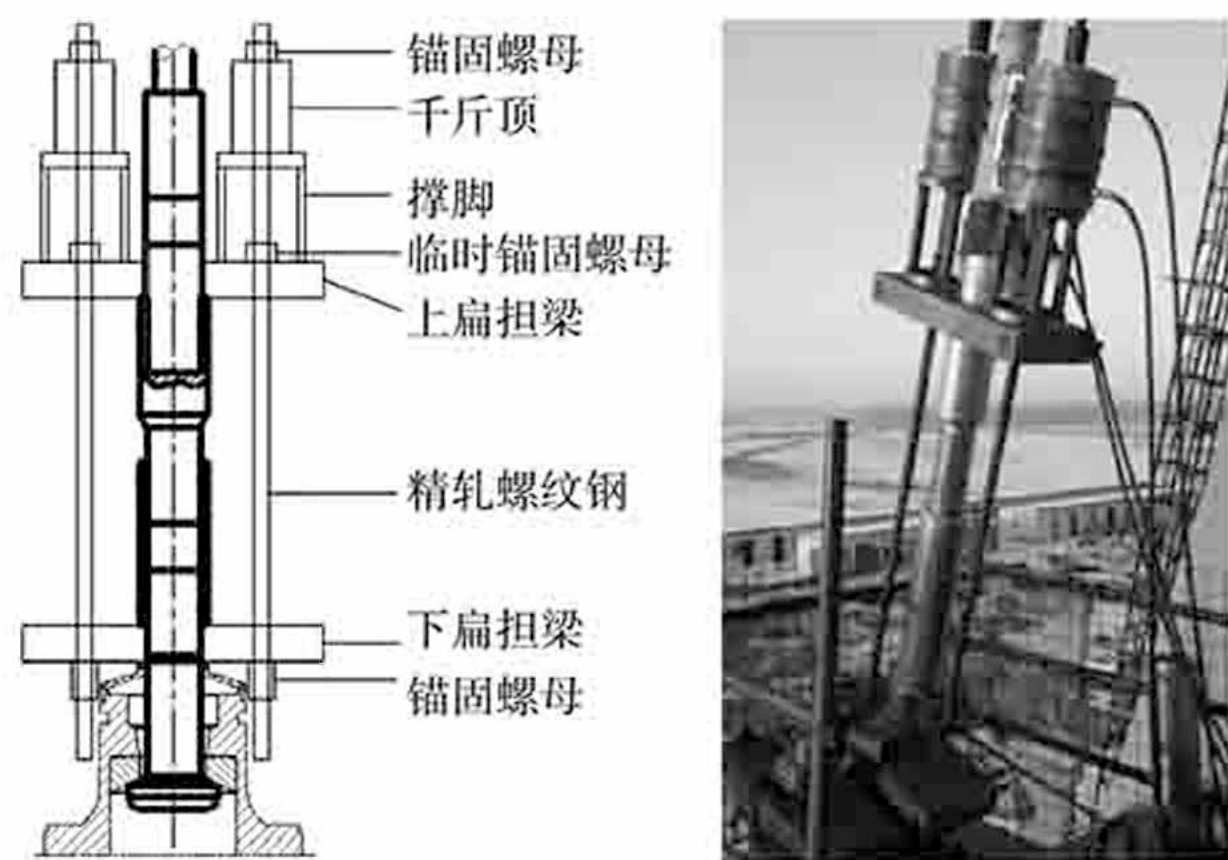


图10 张拉系统安装示意图图 图11 张拉系统安装图

经综合考虑,选择分离式和整体式相结合的方案。加工四套整体式下扁担梁,当分离式下扁担梁导致调节量不足时采用整体式进行张拉,其余采用分离式张拉。这种方案的优点是可将整体式和分离式的优点结合起来,最大限度的满足工期要求。

不管是整体式方案还是分离式方案,都面临一个问题:套筒外侧为圆形,没有套筒施拧的反击装置,导致调节套筒无法施拧。因此,需设计一个两半式抱箍固定在套筒外侧,抱箍通过高强螺栓连接成整体,上下四周各焊接小节段圆形厚壁钢管,张拉时在钢管内部插入相应尺寸的加力杆对调节套筒进行施,如图12所示。

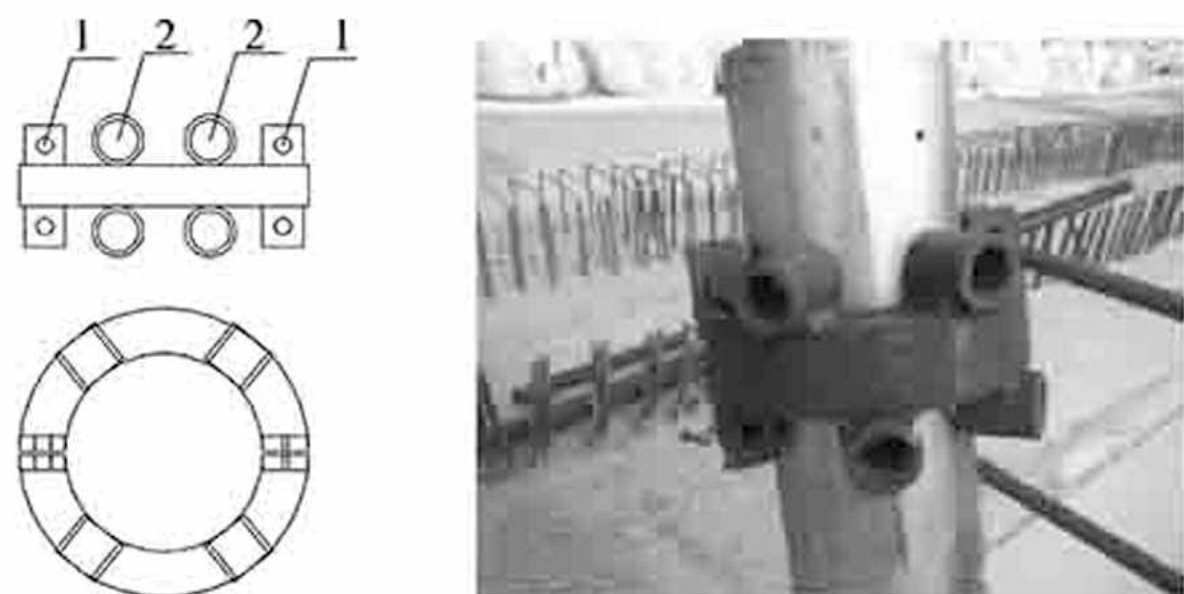


图12 抱箍结构图

3 张拉系统计算复核

方案确定后需对方案进行计算,张拉系统根据监控指令的最大张拉力进行设计,应满足施工要求、安装方便。

张拉系统的计算采用大型通用有限元软件ANSYS进行建模计算,本次计算模型中计算单元采用SOLID185单元。SOLID185单元主要用于构

造三维固体结构,单元通过8个节点来定义,每个节点有3个沿着xyz方向平移自由度,单元具有超弹性、应力刚化、蠕变、大变形和大应变能力,还可以采用混合式模拟几乎不可压缩弹塑性材料和完全不可压缩超弹性材料。单元几何如图13所示。

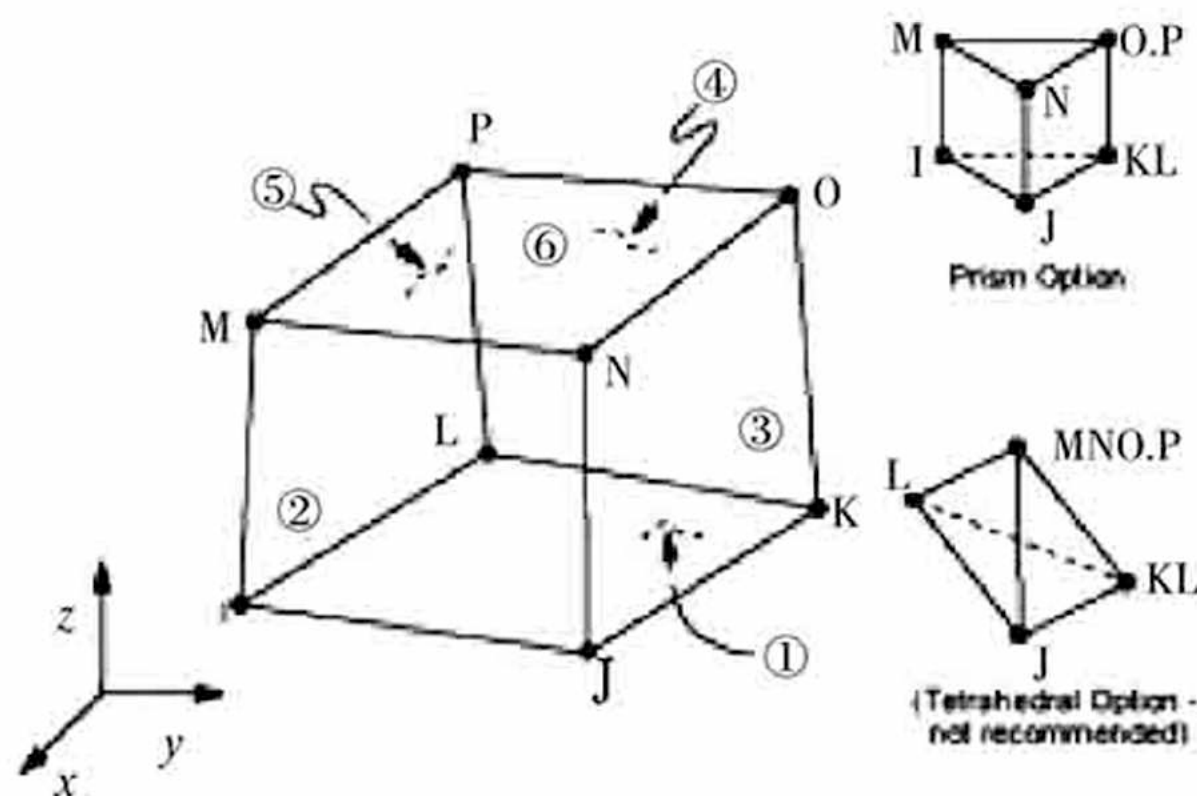


图13 Solid185单元几何

3.1 整体式张拉方案计算

由于整体式下扁担关于中心对称,为减小建模工作量、提高计算机运行效率,本次模拟取1/4模型进行计算,作用力大小根据监控指令取 $2800\text{kN} \times 1.2/4 = 840\text{kN}$ 。有限元模型及计算结果如图14~图18所示。

在此静力工况下,模型最大竖向应力为 389.337MPa ,第一主应力为 482.861MPa ,vonMises应力为 551.586MPa ,最大应力均位于靠近张拉点内侧台阶位置,张拉工装制作材料为40cr,安全系数为1.41,满足施工要求。

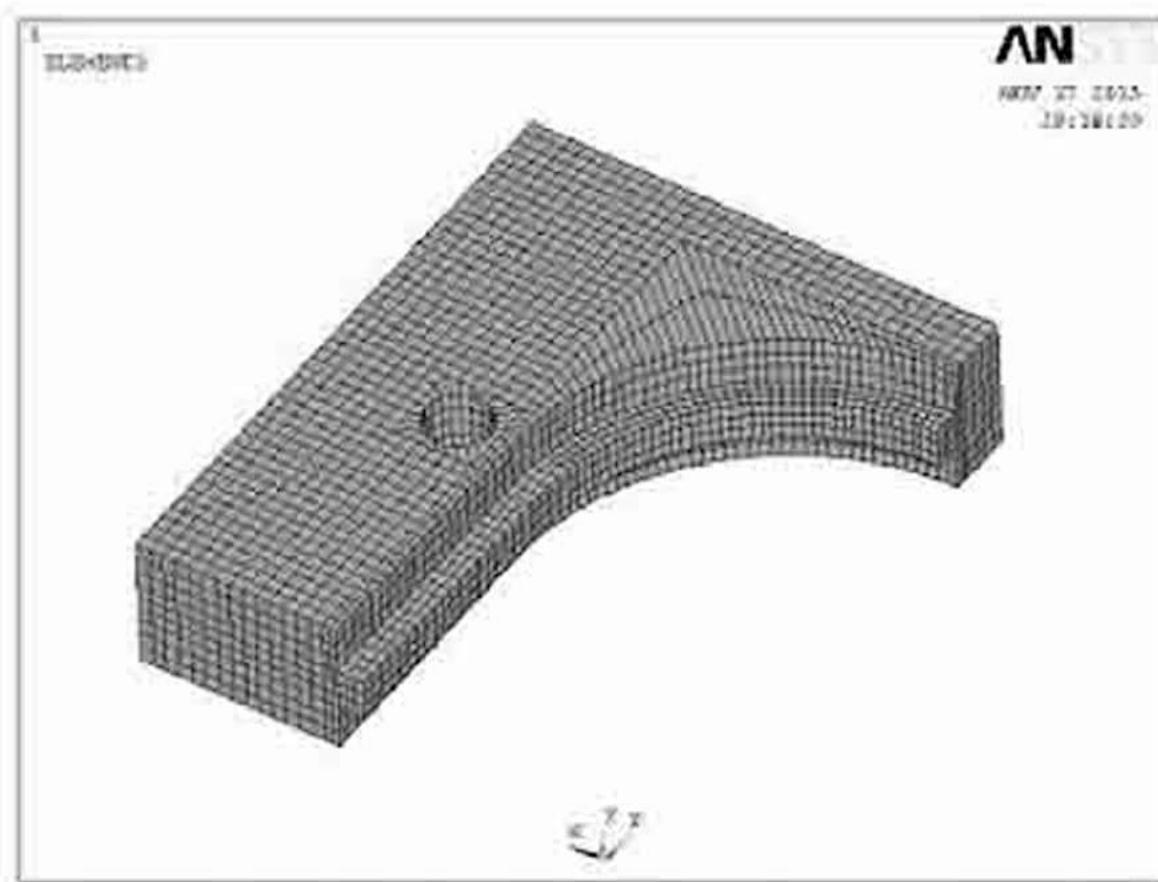


图14 有限元模型及网格划分

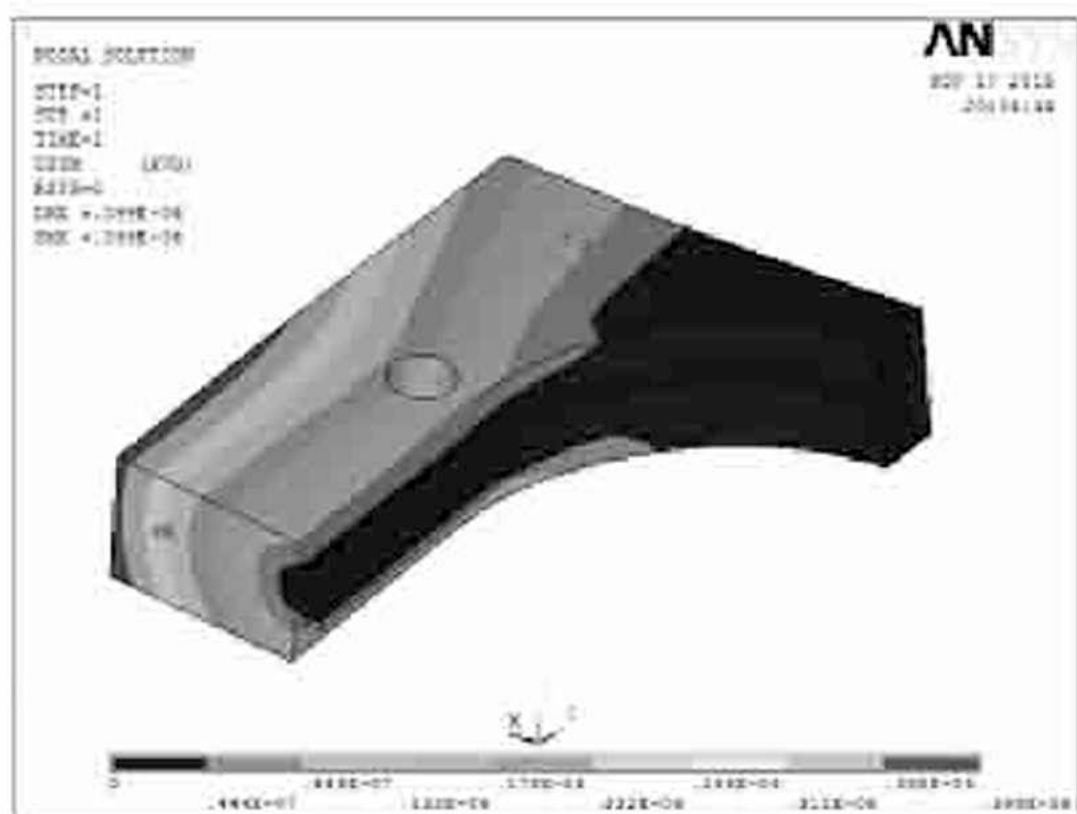


图15 位移云图

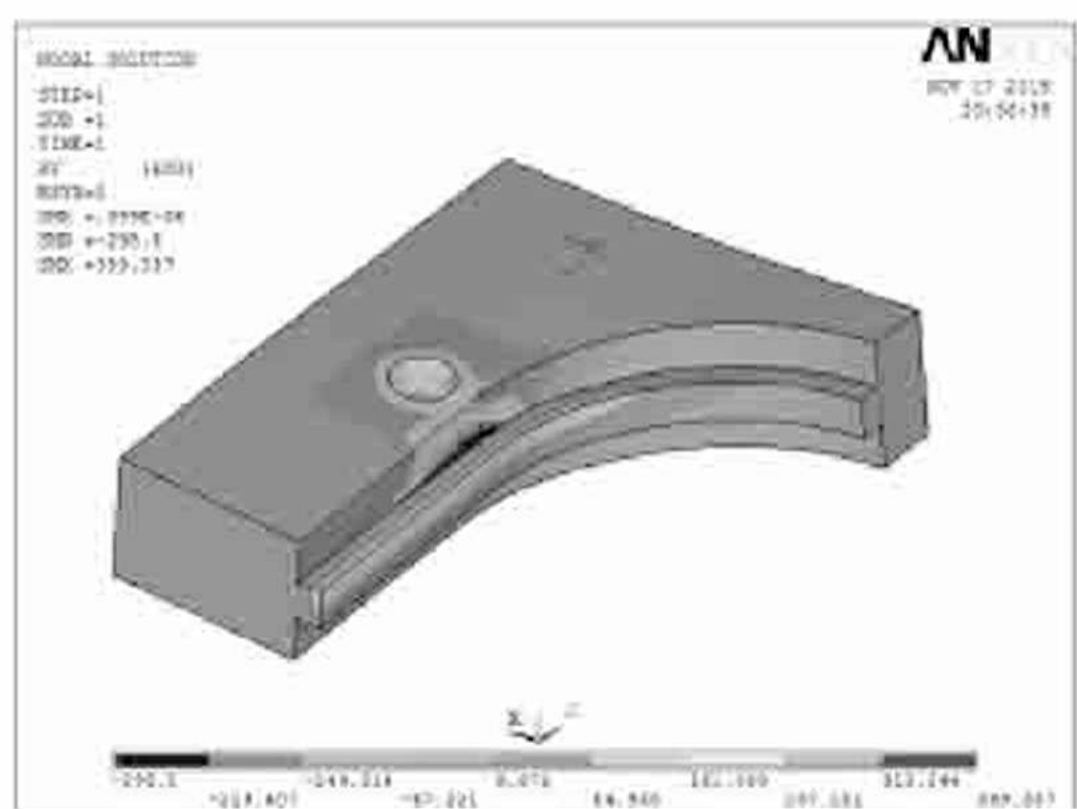


图16 Y向应力云图

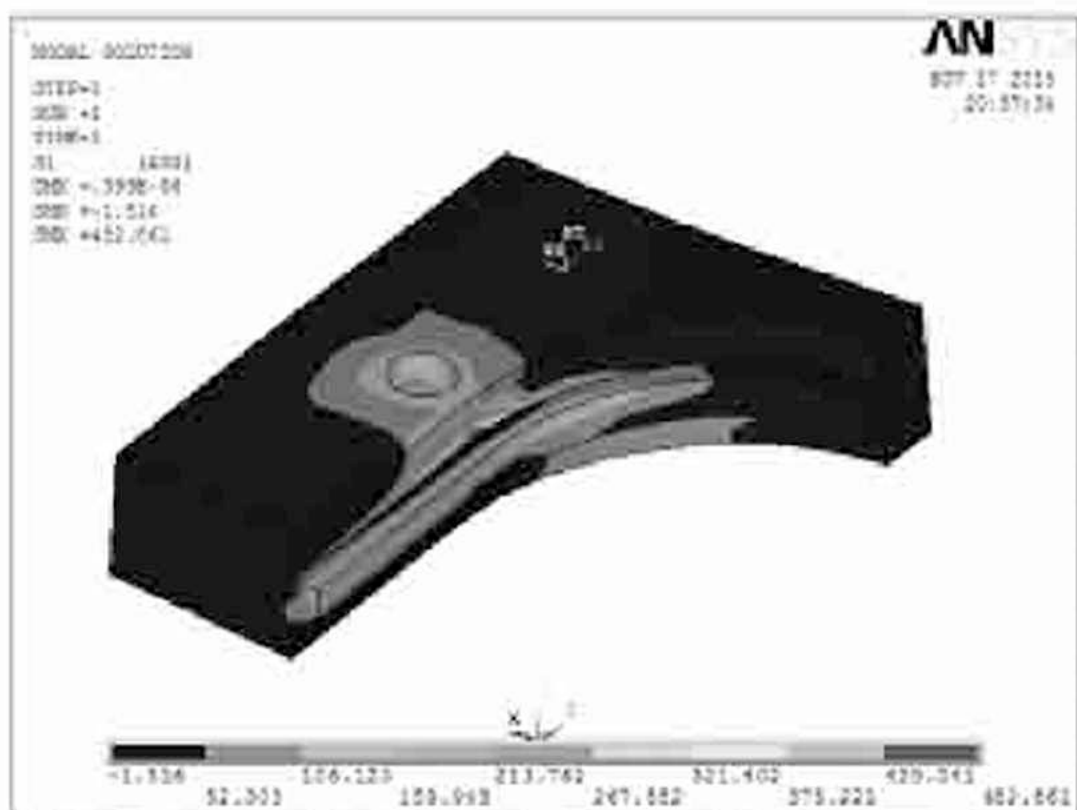


图17 第一主应力云图

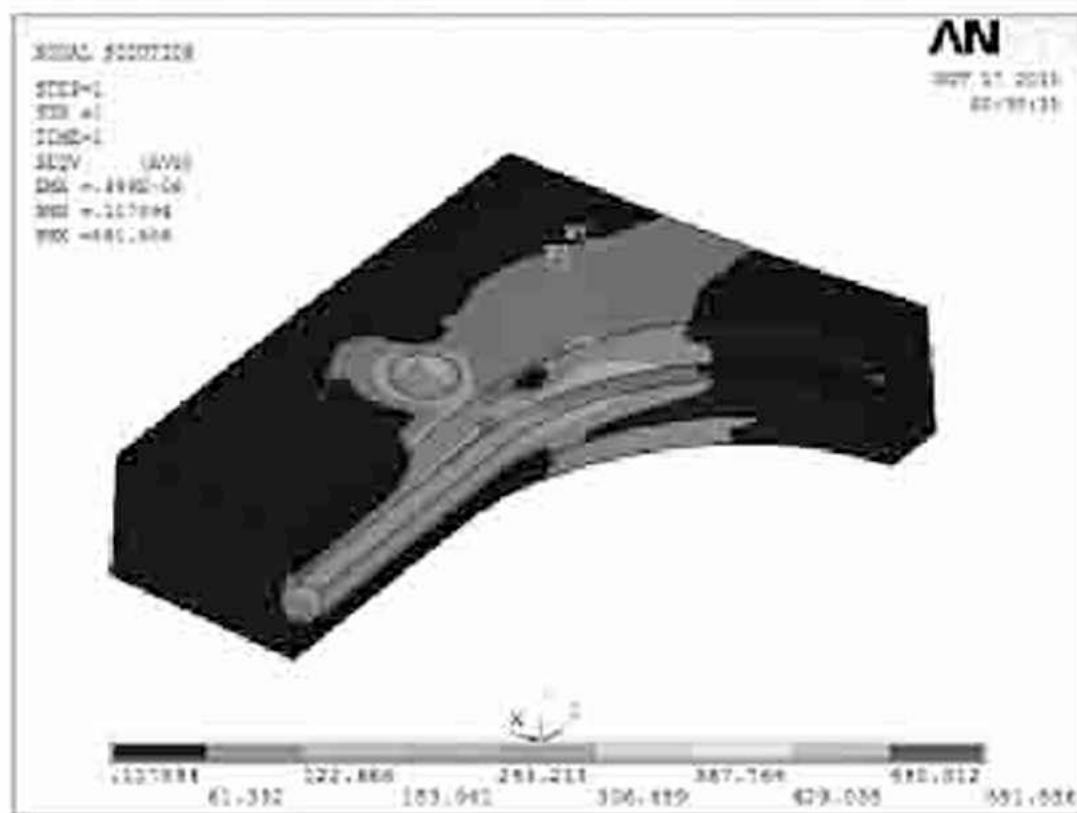


图18 vonZiBeB应力云图

3.2 分离式张拉方案计算

分离式下扁担梁安装在球头杆下端螺牙位置处，主要用于在张拉初期使套筒顺利拧上，会占用球头杆一部分调节量，若调节量不足，须拆下换整体式下扁担梁继续张拉。模型中作用力的大小与整体式下扁担梁相同，有限元模型如图19~图23所示。

在此静力工况下，扁担梁最大Y向应力为 -413MPa ，位于扁担梁与吊索台阶约束位置；第一主应力为 330.986MPa ，位于中心圆孔内侧；von.Mises应力为 455.1467MPa ，安全系数为1.7，满足施工要求。

3.3 精轧螺纹钢计算

精轧螺纹钢规格采用PSB1080-准40，理论破断力 1356kN ，张拉过程中精轧螺纹钢承受最大拉力为 700kN ，安全系数为1.9，满足施工要求。

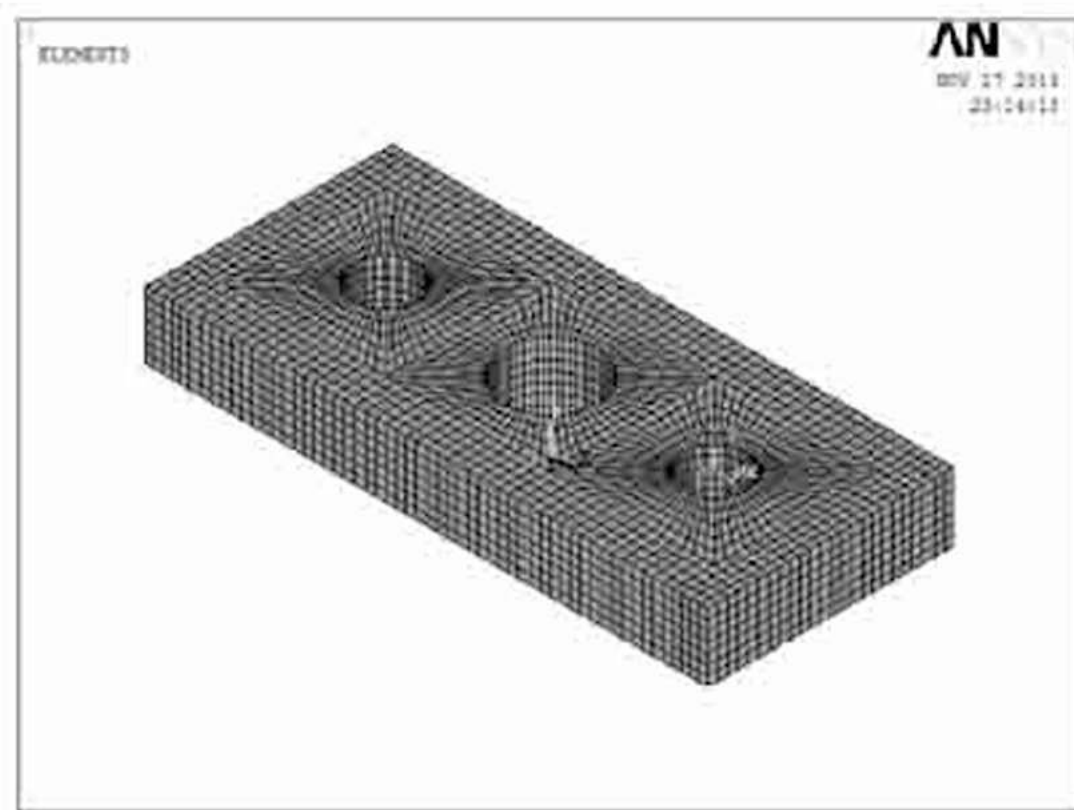


图19 有限元模型网格划分

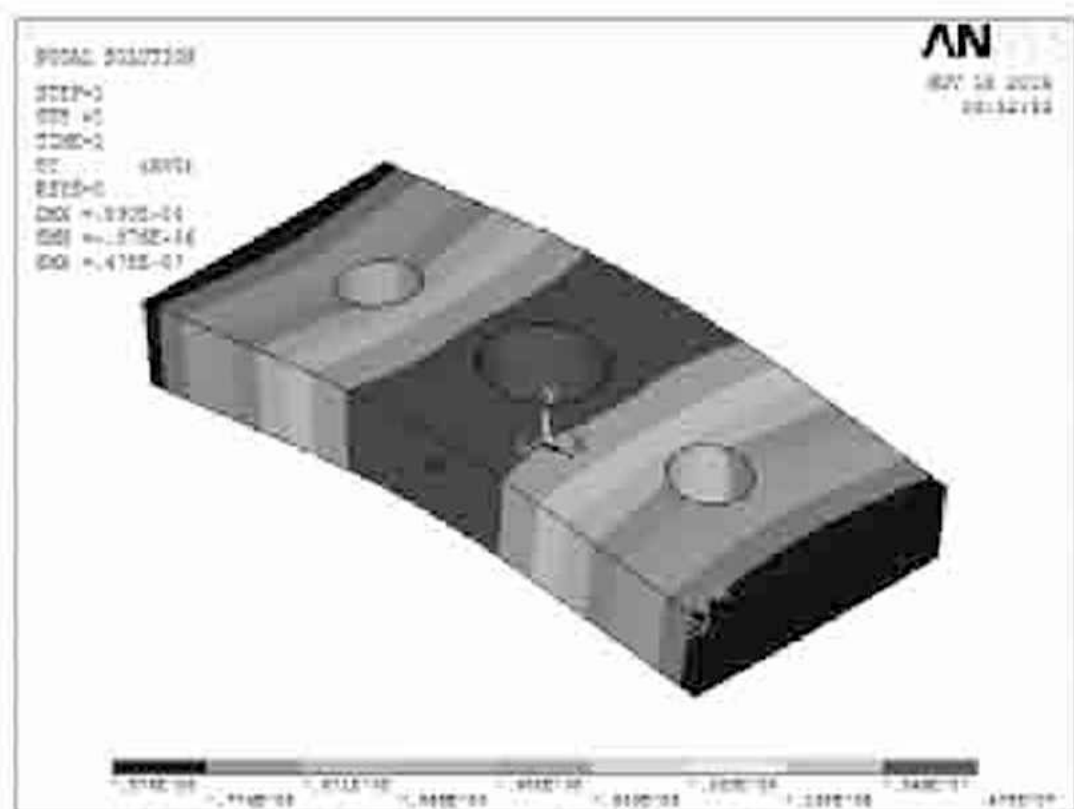


图20 位移云图

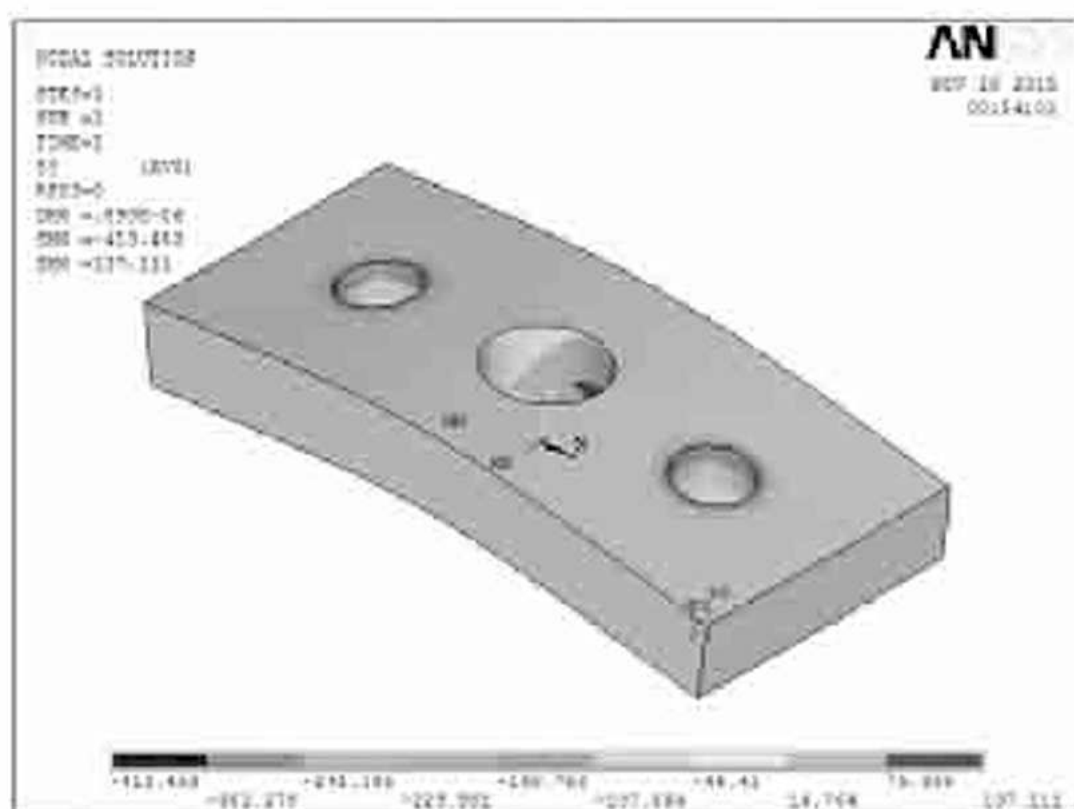


图21 Y向应力云图

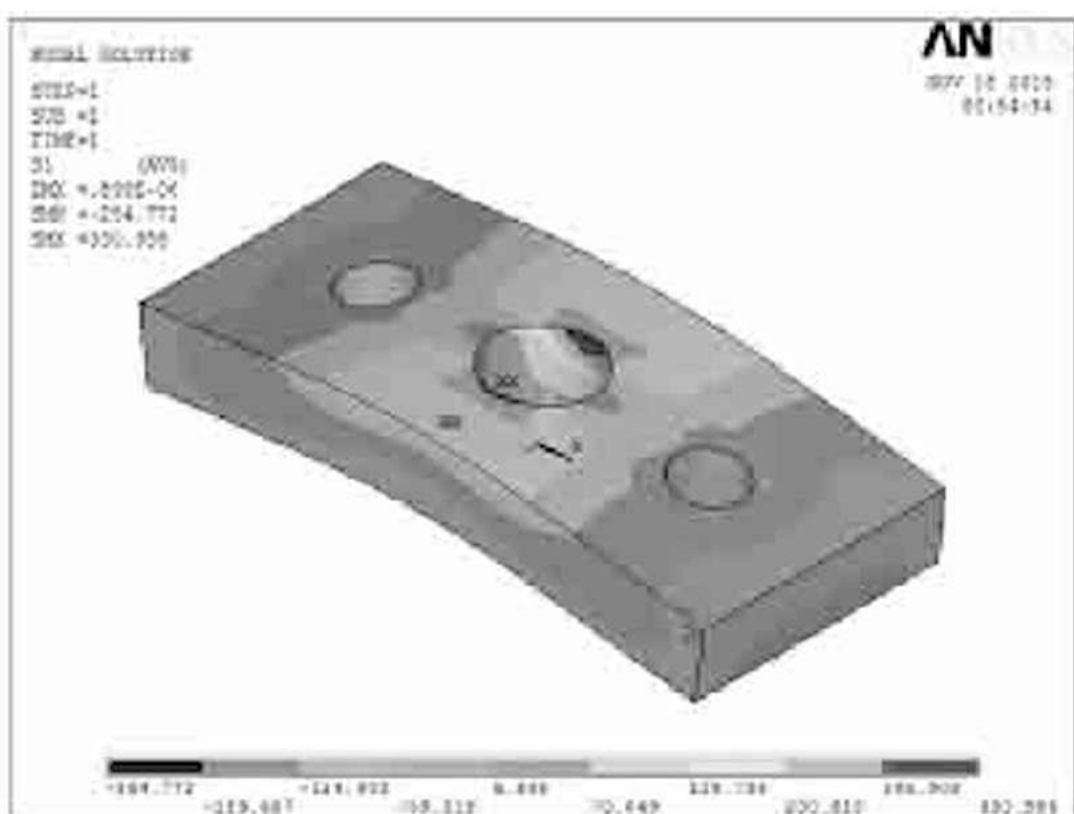


图22 第一主应力云图

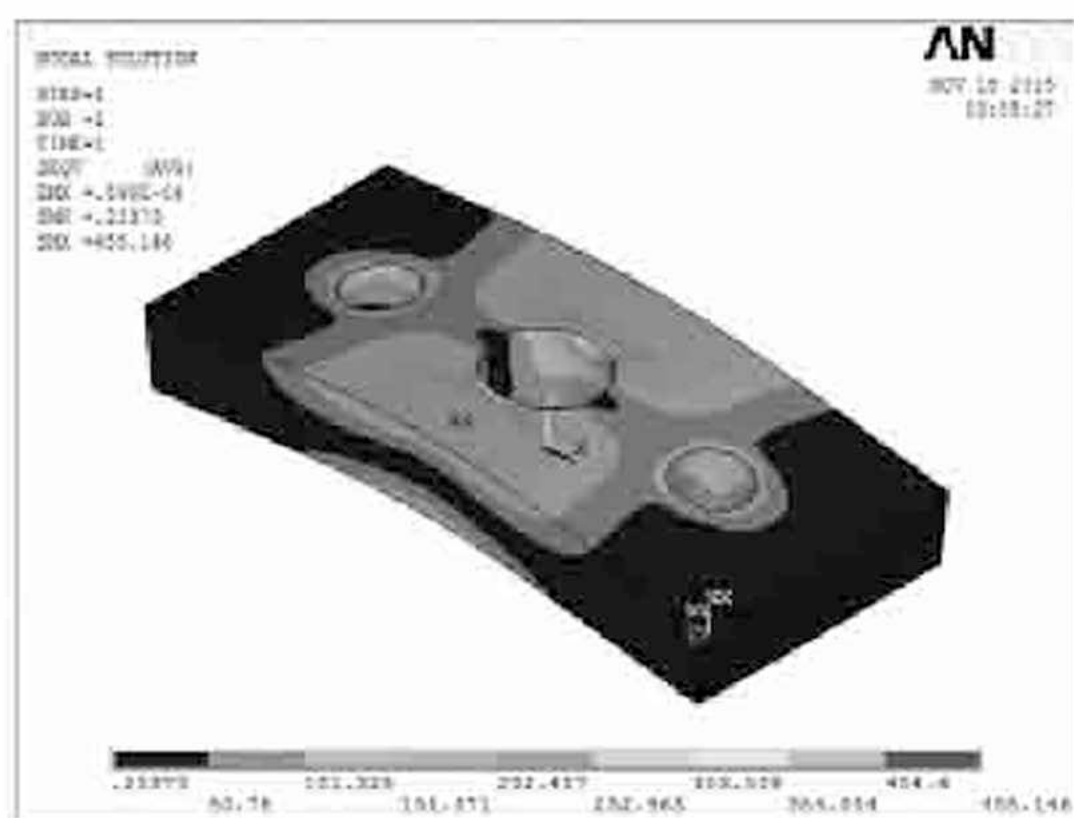


图23 vonMises应力云图

4 试验验证

张拉系统方案计算通过后,在使用之前需对张拉扁担梁进行静载试验,如图24所示,试验合格后方可进场使用。

静载试验采用650T反力架进行,采用YCW350B千斤顶进行加载,加载荷载为设计荷载的1.2倍,分四级加载;跨中采用百分表测量跨中竖向位移。荷载施加完成后保持压力稳定,10min内扁担梁跨中变形稳定,收敛于一个固定

数值即可认为试验合格。

加载完成后,扁担梁跨中最大竖向位移为2.1mm,且保持稳定,与理论计算结果较为吻合。因此,认为此张拉系统承载力满足施工要求,可在工程上予以应用。



图24 试验加载

5 结论

松原天河大桥由于其采用了新型吊索锚固形式,因此在体系转换时需设计一套吊索张拉系统来满足施工要求。本文从吊索结构形式考虑,研发一套整体式与分离式相结合的张拉系统,在松原天河大桥上予以成功应用,取得了良好效果,为以后同类型锚固形式的张拉提供了一些参考和借鉴。

参考文献

- [1] 柯红军,李传习,张玉平等.双塔大横向倾角空间主缆自锚式悬索桥体系转换方案与控制方法[J].土木工程学报,2010(11):94-101.
- [2] 蔡迎春,万超,郑元勋.中国自锚式悬索桥发展综述[J].中外公路,2013(4):143-147.
- [3] 柯红军.广州猎德大桥体系转换施工方法的确定及实施[J].桥梁建设,2010(2):80-83.
- [4] 汤洪雁,张振学,井润胜.天津富民桥空间缆索系统关键技术[J].桥梁建设,2008(5):8-11.
- [5] 韩振勇,彭春阳,张日亮等.天津富民桥可转动索夹的研发[J].桥梁建设,2008(5):12-14.
- [6] 张启桥,王海峰.平胜大桥自锚式悬索桥体系转换施工技术[J].桥梁建设,2006(S1):45-47.
- [7] 卢士鹏,王振峰,韩振勇.单塔空间索面自锚式悬索桥悬吊结构安装与体系转换[J].桥梁建设,2008(5):53-56.
- [8] 张日亮,彭春阳,黄家珍.单塔空间索面悬索桥的体系转换[J].预应力技术,2009(2):28-31.
- [9] 张玉平,董创文.江东大桥双塔单跨空间主缆自锚式悬索桥的施工控制[J].公路交通科技,2010(7):76-82.