

OVM250钢绞线拉索 在世界第一高桥上的应用研究

庞贤剑 李文献 庞维林 唐燕华 王瀚德

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

摘要:结合北盘江大桥的实际情况,从拉索特点、拉索结构、锚固单元有限元分析等方面介绍OVM250钢绞线拉索体系在世界第一高桥—北盘江大桥上的成功应用。验证了OVM250钢绞线斜拉索“化整为零”的现场制索方式,能够解决交通不便、恶劣环境对拉索施工造成的局限性难题,具有无需大型制索、运输、吊装和张拉牵引设备及整体防护性能优越等优势。

关键词:OVM250 平行钢绞线拉索 有限元分析 应用

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2017.05.006

1 引言

钢绞线斜拉索作为斜拉桥的重要承重构件,堪称斜拉桥的生命索,其可靠性对斜拉桥的安全来说至关重要。斜拉桥跨度越大,钢绞线拉索越长,对于拉索安装来说就越困难,特别是钢绞线拉索在地处交通不便、环境恶劣的大跨径斜拉桥上的应用更是一种挑战。研究适用于恶劣环境下的钢绞线斜拉索势在必行。

2 OVM250钢绞线拉索

为解决在不良工况和恶劣环境下钢绞线斜拉索的施工难题,欧维姆公司从1993年开始研发OVM250钢绞线拉索体系。目前已成功应用在国外、国内多所桥梁。如:成功应用于1997年的汕头礮石大桥(主跨518m)、2006年的安庆长江大桥(主跨510m)、2012年世界第一的公铁两用斜拉桥—铜陵长江大桥(主跨630m)、贵州鸭池河大桥(主跨800m)及北盘江大桥(主跨720m)等近200个重大项目当中。从2006年起,逐步进入国际市场,产品体系成功应用于韩国KUGAM桥(主跨120m)、伊朗ahwaz桥(主跨212m)、印尼MELAK大桥(主跨340m)、印尼MAHKOTA(主跨370m)、韩国锦江四桥(主跨370m)等几十座斜拉桥。从实际应用情况来,OVM250拉索体系具有如下技术特点:

2.1 优异的抗疲劳性能

拉索体系符合国际FIB标准,其中拉索的重

要指标之一:动载应力幅达250MPa,超越了国际标准要求。

2.2 卓越的防腐性能

(1)拉索索体(自由锻)采用多层防腐保护体系:单丝镀锌层预应力钢绞线+OVM专用油脂+单根钢绞线外层PE护套+整束拉索外包HDPE护套管;

(2)拉索过渡部分有可靠的防水密封措施:塔端PE管连接装置采用大PE护套管套整束拉索外包HDPE护套管的连接方式,根据北盘江大桥当地的气候历史资料及施工时的环境温度等条件,充分考虑拉索的外包HDPE护套管热胀冷缩的影响,保证足够的伸缩空间,从而保证拉索外包护套管对拉索的防护功能不受环境温度的变化影响而失效。

(3)拉索锚固区防腐措施:拉索体系外露金属件与桥梁外露金属件做同等防护级别的防护处理,拉索锚具保护罩内预留钢绞线及锚具表面喷油性蜡防护,拉索锚具内灌注油性蜡防护,这种材料可以很好地防止钢绞线腐蚀,同时又具有很好的灌注性而不会泄漏,为拉索提供持久的防腐保护。

2.3 低应力锚固性能

拉索锚具组件在应力状态下锚固性能可靠,能保证钢绞线所受应力在低至5%f_{ptk}状态下,夹片不滑丝、不松脱。

2.4 良好抗风雨激振性能

拉索采用的双层双螺旋线型HDPE外护套管，具有优异的抗风雨激振性能。

2.5 优越的拉索减震性能

斜拉索采用了内置阻尼器及外置阻尼器，可以为拉索提供足够的附加阻尼，能够在自然环境产生的风雨激振作用下确保拉索的整体安全，尤其对处于云贵高原区，在复杂气候环境中的北盘江大桥起到了提高桥梁拉索安全性能的作用。

2.6 单根可换性能

斜拉索锚固区钢绞线为始终平行和独立的无粘结状态，能够保证拉索可以单根穿索、单根张拉，在施工及营运期间，还可以实现整体调索及单根更换。

2.7 “化整为零” 轻便施工

钢绞线斜拉索“化整为零”现场制索，无需大型制索、运输、吊装以及张拉牵引设备，降低了工人的施工强度，能够解决由于交通运输不便、恶劣环境对施工造成的局限性难题。

3 工程概况

北盘江是珠江流域西江上源红水河的大支

流，流经云南、贵州两省。北盘江大桥为杭州至瑞丽高速公路贵州境毕节至都格（黔滇界）段的控制性工程，建在峡谷两座挺拔的山脊上，桥面至水面落差高达565m，是目前世界第一高桥。此外，北盘江大桥主桥为钢桁梁斜拉桥，主跨720m，其跨径在同类型桥梁中仅次于贵州贵阳至黔西高速公路鸭池河大桥而位居世界第二。北盘江大桥主桥桥跨布置为（80+88+88+720+88+88+80）（主桥）+3×34（引桥），全桥长为1341.4m。桥塔为H型索塔，贵州岸索塔塔高269m，云南岸索塔塔高247m。桁架梁采用普拉特式结构，桁高8m，主跨节间长12m，边跨节间长12m、8m，两片主桁中心间距27m（见图1）。一般情况下，钢丝拉索的安装需要使用大型运输、吊装及张拉设备，由于北盘江大桥所处位置的特殊性，大型设备很难到达工地现场。经在钢丝拉索和钢绞线拉索之间选择，北盘江大桥的拉索类型最终确定为钢绞线拉索。然而复杂的地质地形，恶劣的气候环境，科技含量高、技术难度大给北盘江大桥钢绞线拉索施工带来极大的挑战和困难。

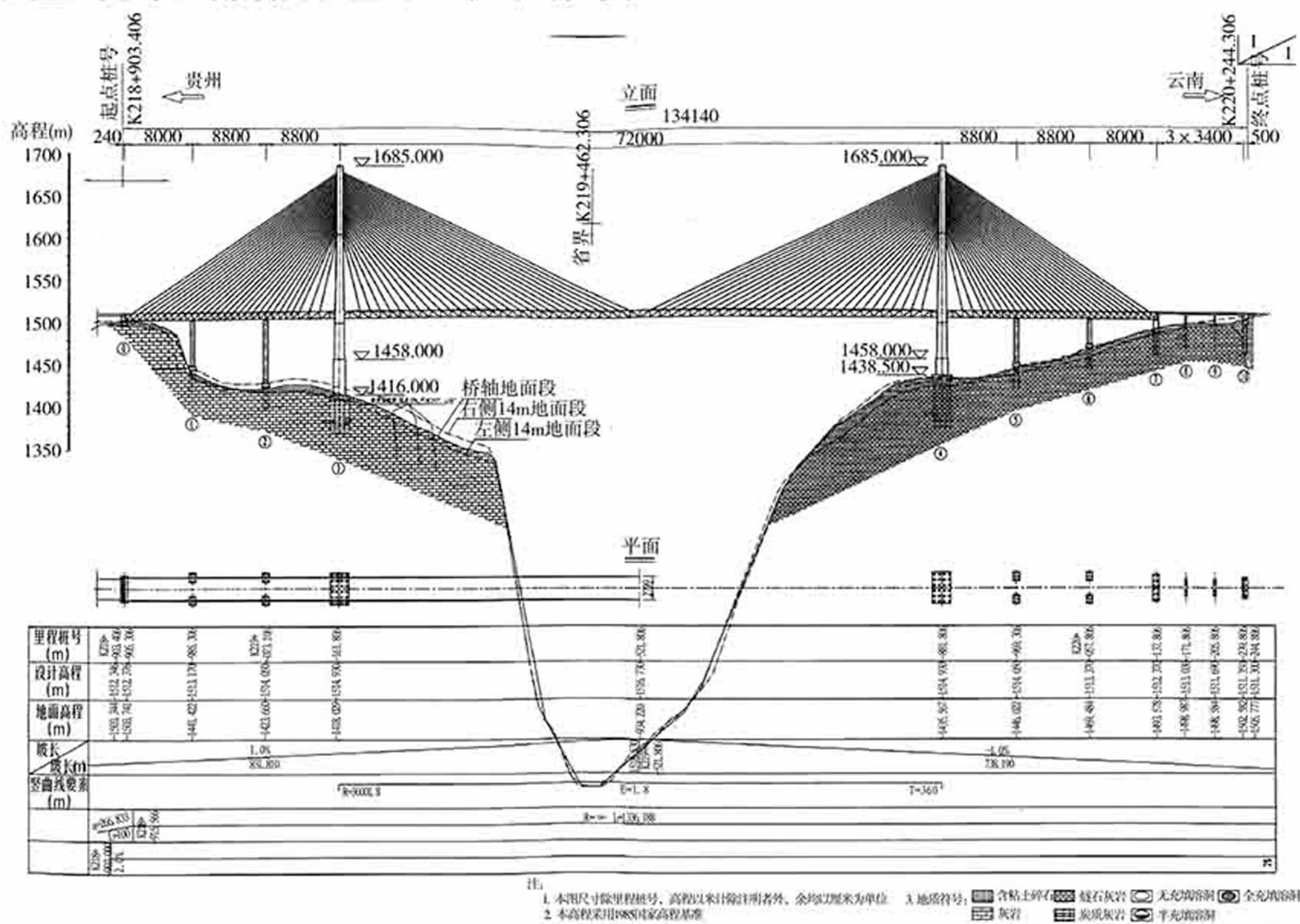


图1 桥梁概况图

4 OVM250钢绞线拉索设计

北盘江大桥主桥为双塔双索面斜拉桥，斜拉索张拉端锚固于塔柱，固定端锚固于钢桁梁上，主塔两侧各分布28对，全桥共112对，224根斜拉索。全桥224根斜拉索，均采用OVM250高强度钢绞线斜拉索。

钢绞线斜拉索索体由多股高强度平行镀锌钢绞线组成，斜拉索采用镀锌钢绞线，符合《高强度低松弛预应力镀锌钢绞线》(YB/T152-1999)标准。公称直径15.2mm，抗拉标准强度 $f_{ptk}=1860\text{MPa}$ ，弹性模量 $1.95 \times 10^5\text{MPa}$ ，疲劳应力幅 $\geq 300\text{MPa}$ ，索体内各根钢丝不允许有任何形式的接头，应力上限为 $0.4f_{ptk}$ ，单根钢绞线横截面积 140mm^2 。

根据索力的不同，采用OVM250A-22、

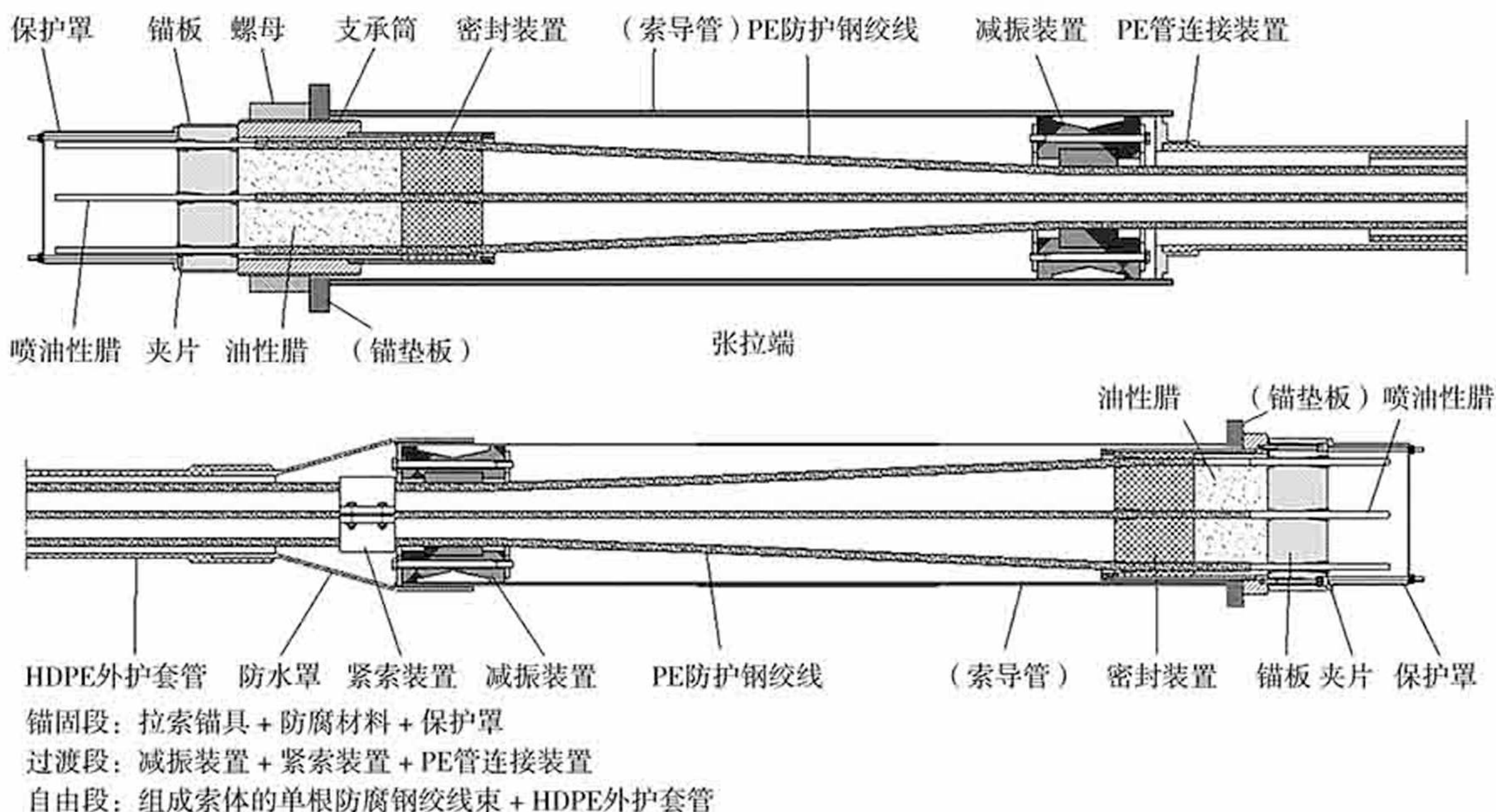


图2 OVM250钢绞线拉索体系的结构

4.2 拉索锚固单元校核

4.2.1 张拉端锚具校核

张拉端锚具主要校核各承压面的压应力，即 $\sigma=F/A$ 。锚板、支承筒、螺母均采用40Cr材料，F按拉索公称破断力进行计算，即

$\sigma=F/A=(n \times 1860 \times 140)/A$ ，n为钢绞线根数，A为承压面积。张拉端锚具各承压面压力校核见表1，螺母和支撑筒螺纹强度校核见表2。

螺牙剪切应力公式

OVM250A-31、OVM250A-37、OVM250A-43四种规格的拉索。最长斜拉索长度382.4m，单根重约15.6t。

4.1 OVM250钢绞线拉索体系结构

OVM250钢绞线拉索体系是一种可实现智能化的平行钢绞线拉索体系。索体由多股PE防护热镀锌钢绞线组成，两端由夹片式锚具夹持。锚固区钢绞线为始终平行和独立状态，能够保证斜拉索可以单根穿索、单根张拉。拉索外层装有HDPE外护套，拉索过渡部分有可靠的防水密封措施，为拉索提供了持久的防腐保护。在施工及营运期间，拉索可以实现单根钢绞线的换索和监测。

OVM250钢绞线拉索体系的结构见图2所示，包括锚固段、过渡段和自由段

$$\tau = \frac{F}{\pi D b Z}, \text{螺牙弯曲应力公式}$$

$$\sigma_w = \frac{3 F h}{\pi D b^2 Z}$$

4.2.2 固定端锚具校核

固定端锚具主要校核各承压面的压应力。锚板和垫板均采用40Cr材料，按拉索公称破断力进行计算。固定端锚具各承压面压力校核见表3。

表1 张拉端锚具校核

规格	锚板直径	支承筒孔直径	锚板压应力MPa	安全系数	螺母直径	锚垫板孔直径	螺母压应力MPa	安全系数
22	240	188	417.75	1.89	320	283	327.25	2.40
31	270	211	445.75	1.76	360	309	301.5	2.60
37	285	228	554.5	1.44	385	340	376.25	2.08
43	310	256	613.25	1.28	430	340	206	3.81

表2 螺母和支承筒螺纹强度校核

规格	支承筒外径	螺母厚度	螺纹牙数Z	支承筒小径D	螺距p	牙高h	牙宽b	螺牙剪切应力 τ	螺牙弯曲应力 σ_w	综合应力 σ	安全系数S
22	255	95	8.50	245	10	5	6.38	137.25	322.68	400.80	1.96
31	285	105	9.50	275	10	5	6.38	154.16	362.45	450.19	1.74
37	310	110	8.17	298	12	6	7.65	165.96	390.18	484.64	1.62
43	330	125	9.42	318	12	6	7.65	155.74	366.16	454.80	1.72

表3 固定端锚具校核

规格	锚板直径	垫板内孔直径	锚板压应力MPa	安全系数	垫板直径	锚垫板孔直径	锚板压应力MPa	安全系数
22	250	188	268.60	2.92	265	216	309.48	2.53
31	270	208	346.81	2.26	285	236	402.61	1.95
37	285	228	419.53	1.87	305	256	446.27	1.76
43	320	256	386.74	2.03	340	286	421.75	1.86

4.2.3 OVM250拉索锚具锚板有限元分析

利用ANSYS有限元分析软件对OVM250钢绞线斜拉索37孔位锚板进行应力计算,观察其应力应变,分析各参数选取见表4。

为简化计算,将夹片和钢绞线作为一个整体建模,即做成一个刚锥体,刚锥体与锚板锥孔之间做接触,摩擦系数取0.15,受力按照钢绞线破

断力260kN均布在刚锥体上表面。OVM250-37孔锚板结构划分网格后图形、第一主应力云图、mises应力云图、沿轴向变形云图分别见图3、图4、图5、图6。计算结果显示OVM250-37孔锚板在钢绞线破断力作用下,第一主应力为656.943MPa,轴向变形为0.8074-0.3655=0.4419mm。

表4 分析条件

材料特性	钢材	屈服强度	抗拉强度	延伸	锚板弹性模量	刚锥体弹性系数	泊松比 μ	摩擦系数 ν
设计值	40Cr	780MPa	980MPa	10%	200GPa	210GPa	0.3	0.15

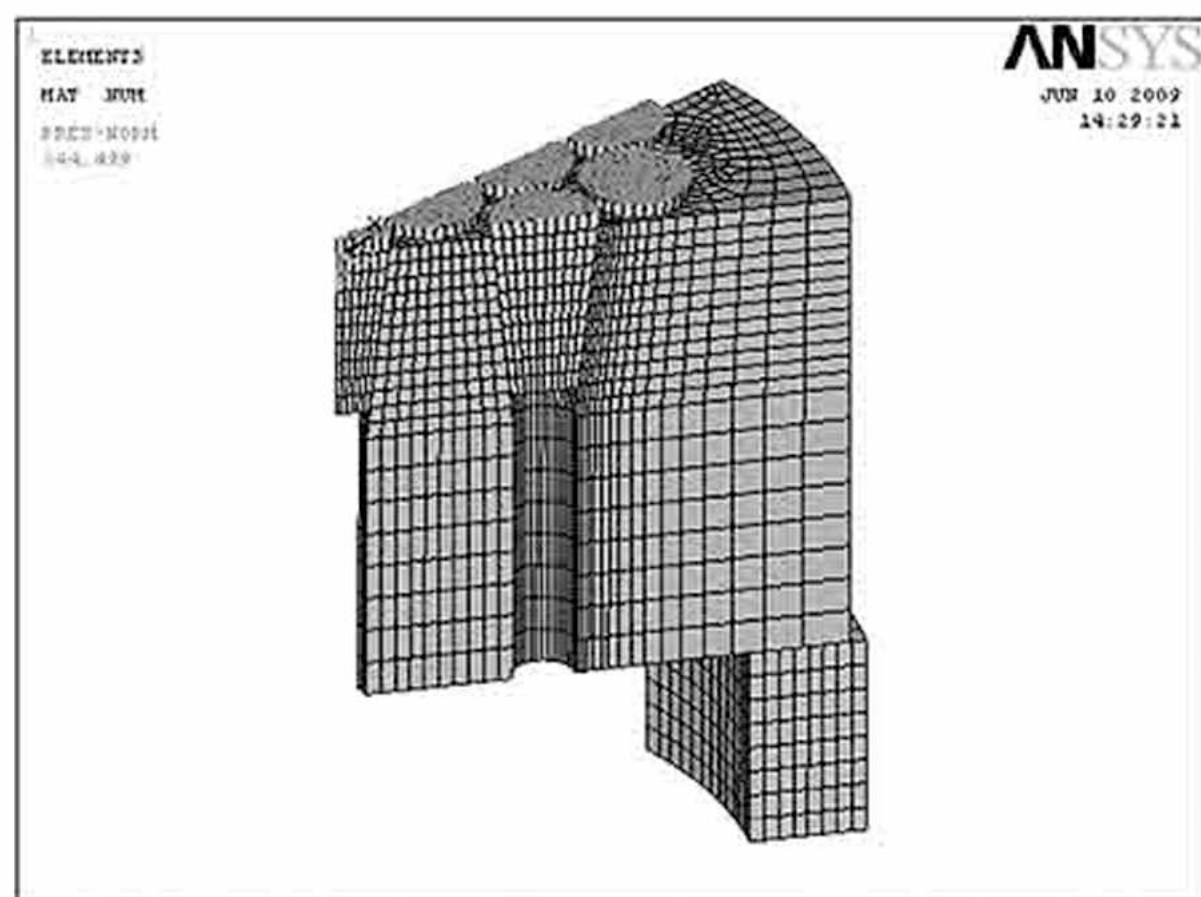


图3 OVM250-37结构划分网格后图形

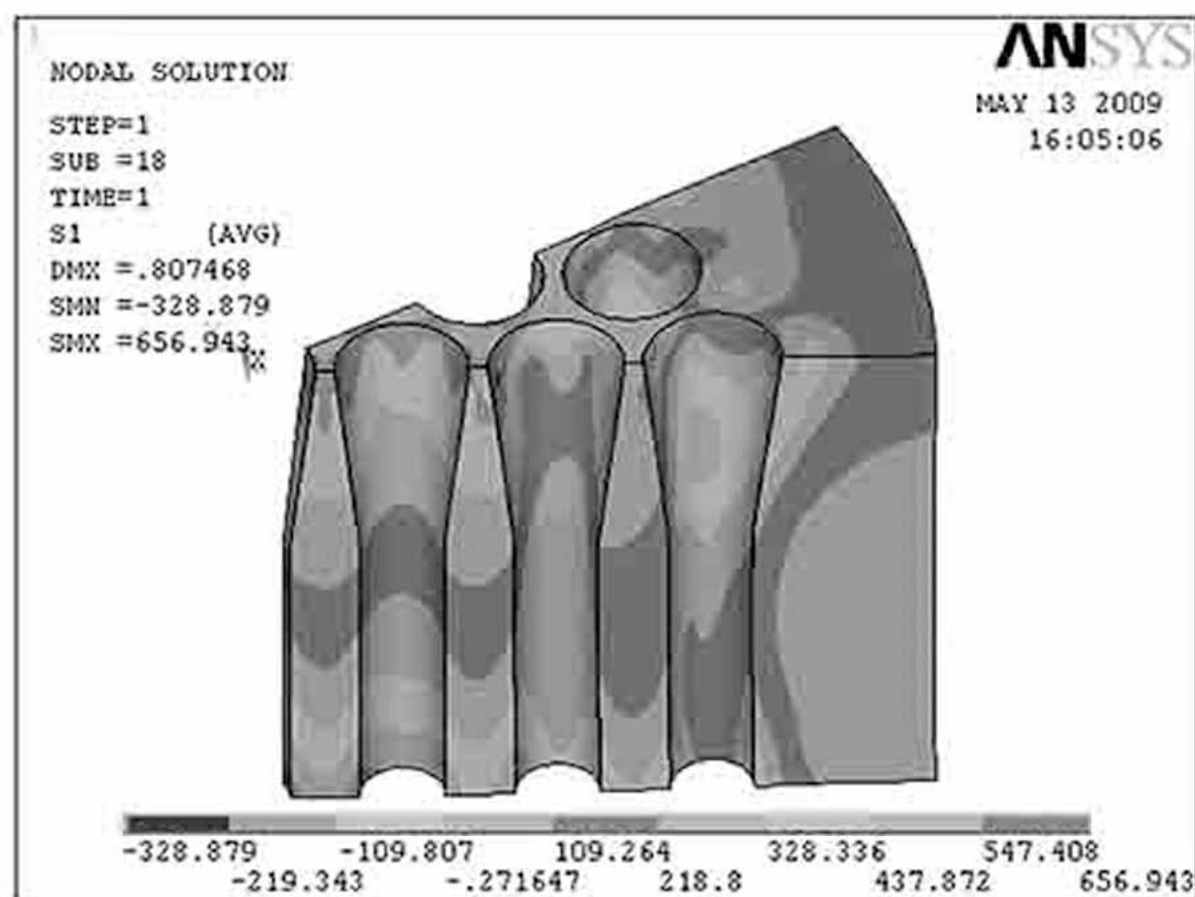


图4 37孔锚板第一主应力云图

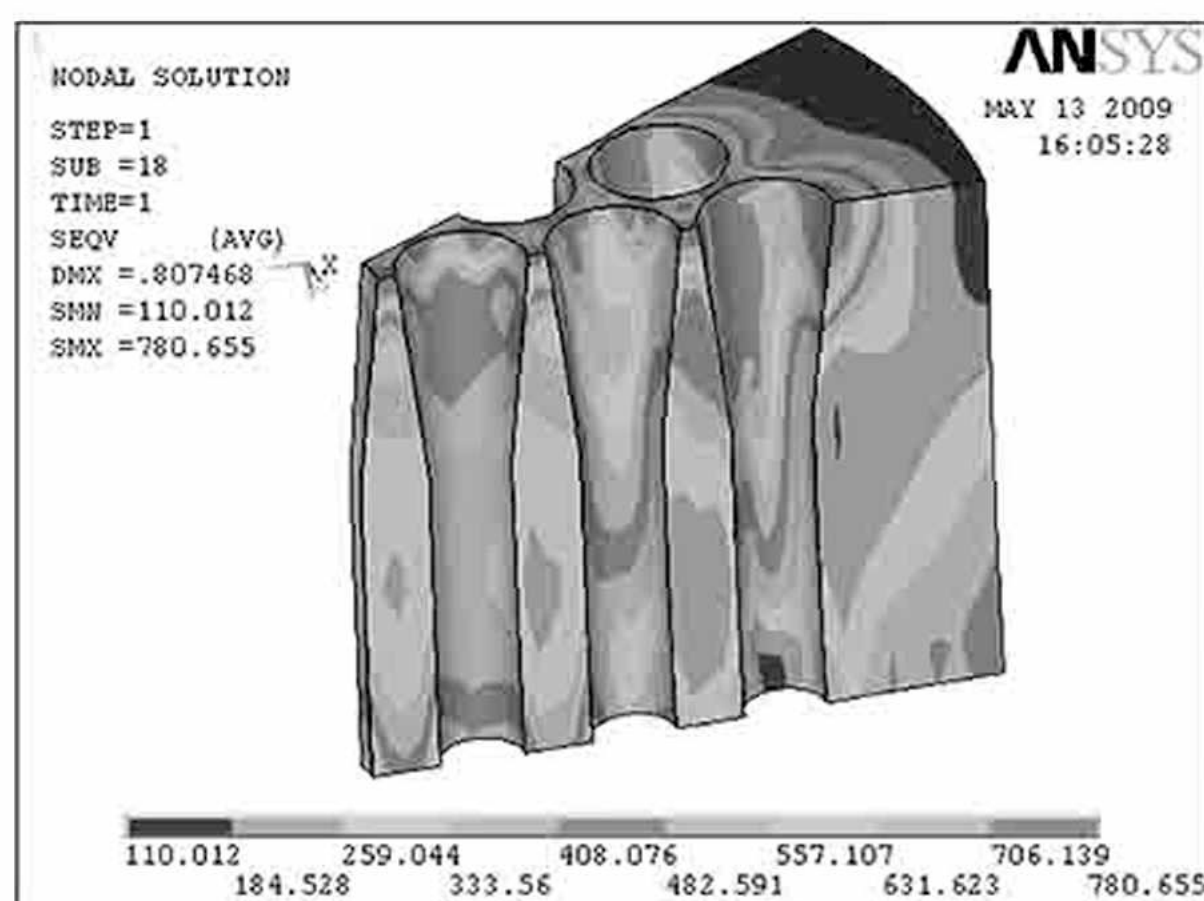


图5 37孔锚板mises应力云图

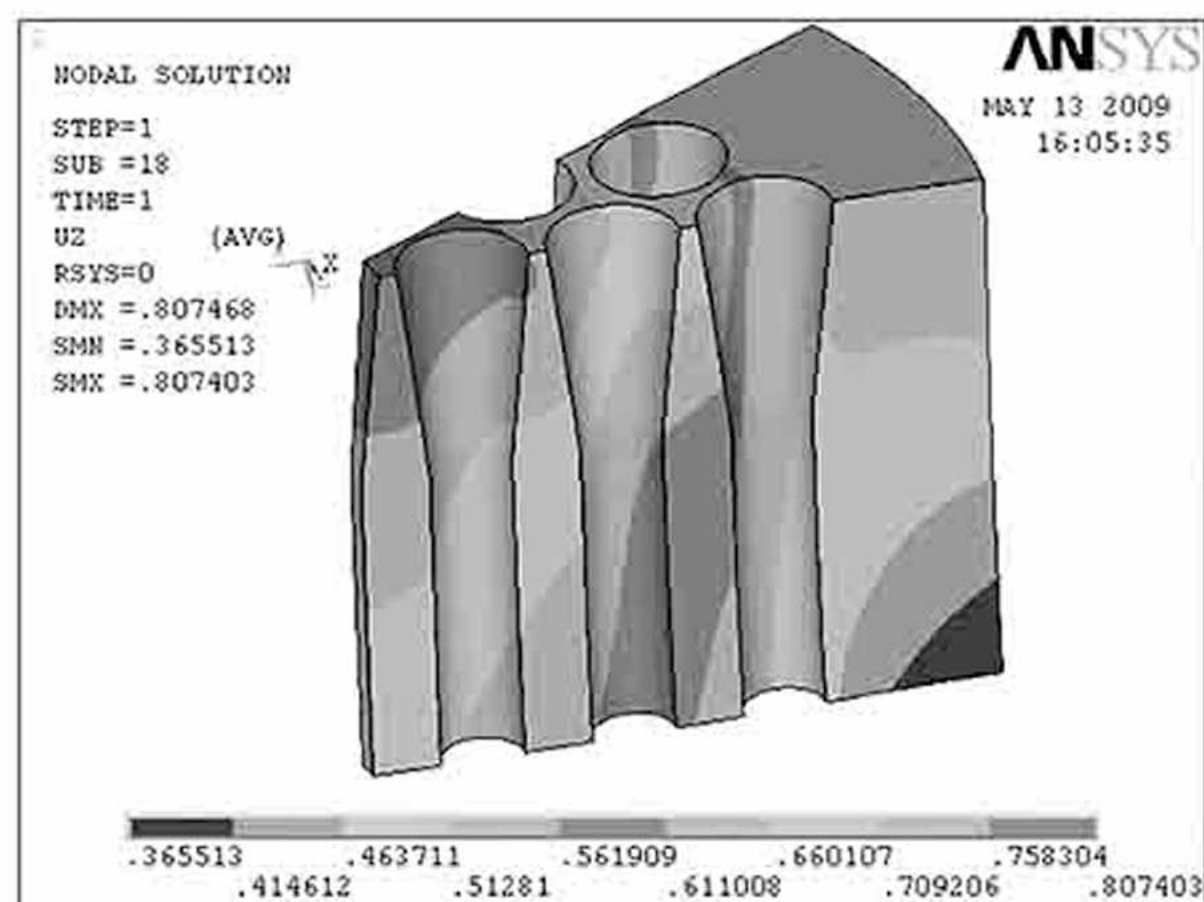


图6 37孔锚板沿轴向变形云图

5 OVM250拉索锚具材料及制造工艺

5.1 材料要求

(1) OVM250钢绞线拉索产品所使用的原材料, 进厂时均附有机械性能和化学成分合格证明书、质量证明书, 材料进厂后还会进行相应的验收试验。

(2) OVM250钢绞线拉索锚具组件中的主要零件: 锚板(包括张拉端锚板和固定端锚板, 下同)、螺母、支承筒均采用优质合金结构钢40Cr材料, 符合GB/T3077-1999的规定, 毛坯采用锻件符合JB/T 5000.8的有关规定。

(3) 夹片选用合金结构钢20CrMnTi, 并符合GB/T3077-1999中的相关要求。

(4) 拉索锚具内灌注油性蜡防护, 拉索锚具保护罩内预留钢绞线及锚具表面喷油性蜡防护。油性蜡具体要求见表5。

表5 油性蜡的技术性能指标

项目	质量指标	试验方法	
工作温度	℃	-40~80	
密度	20℃, g/cm ³	0.85~0.92	
石蜡针入度	25℃, 0.1mm	110~170	GB/T 4985
释油率	7d, 40℃, %	≤0.5	SH/T 0324
滴点	℃ ≥ 70		GB/T 4929
氧化安定性	(99℃ 100h) MPa	不高于0.03	SH/T 0325
腐蚀试验	45号钢片 100℃ 24h	合格	SH/T 0331
盐雾试验	(45号钢片 30d)	级不高于	B SH/T 0081

5.2 制造工艺要求

(1) 零件机械加工符合JB/T 5000.9的有关规定。零件毛坯的锻造符合JB/T 5000.8的有关规定。零件热处理符合GB/T 16924的有关规定。

(2) 锚具的梯形螺纹符合GB/T 5796.1~5796.4的规定, 螺纹的极限尺寸符合GB/T 8124的规定, 螺纹采用专用螺纹量规进行检验, 保证同种规格的拉索锚具配合螺纹具有互换性。

(3) 锚板、螺母、支承筒等主要受力件, 在加工过程中要求进行超声波探伤。超声波探伤方法及评定标准符合GB/T 4162-2008表4中的B级或GB/T 6402-2008表4中直探头4级的规定。成品表面要求进行磁粉探伤。磁粉探伤方法及评定标准符合JB/T 4730.4-2005中第9章规定的II级。

(4) 锚板、螺母、支承筒、工作夹片在热处理后均进行硬度测试, 硬度检验按GB/T 230.1、GB/T 231.1的规定进行。

(5) 同一规格锚具的同类部件具有互换性。

6 结论

通过理论计算与有限元分析及大量工程应用, 证明了OVM250钢绞线斜拉索体系安全可靠, 性能满足国际标准、规范要求; OVM250钢绞线斜拉索“化整为零”施工方法, 具有施工方便快捷, 施工质量可靠。不受施工环境限制等优点, 值得在同类型桥梁工程中推广应用。

参考文献

- [1] Recommendations for Stay Cable Design, testing and installation [S]. Post-tensioning institute(PTI), fifth edition, 2007.
- [2] fib bulletin 2005, Acceptance of stay cable systems using prestressing steels[S]. international Federation for tructural Concrete, 2005.
- [3] Cable Stays-Recommendations of French interministerial commission on Prestressing[S]. SETRA, France, june 2002.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. JT/T 771-2009无粘结钢绞线斜拉索技术条件[S]. 北京人民交通出版社, 2009
- [5] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 30826-2014斜拉桥钢绞线拉索技术条件[S]. 中国标准出版社, 2014