

5、拉杆与螺母均采用MJ螺纹, 相对于普通螺纹, 其疲劳强度可提高20%~40%。

三、主要部件设计分析

根据海沧大桥锚固系统的受力工况的要求, 我们对锚碇锚固系统的主要受力件进行了详细的受力分析, 达到拉杆组件、联接垫板、预应力锚具组装机必须与大桥主缆具有相同的寿命, 并在等强度的条件下具有一定的安全储备。为此, 预应力钢绞线锚具组装机采用了性能优异的OVM群锚锚固体系, 该体系的钢绞线锚具组装机分别通过上限应力为 $0.65\sigma_b$ 、应力幅80MPa及上限应力为 $0.45\sigma_b$ 、应力幅200MPa、循环次数均为200万次的疲劳试验。该体系已被许多工程实践证明是安全可靠的, 本次设计研究的重点是拉杆组件及联接垫板。

1、拉杆组件设计分析

由于OVM.MD15-7 预应力锚固系统属于永久性疲劳结构件范畴, 拉杆组件的疲劳寿命应按 $N=10^7$ 次设计, 为了保证拉杆安全可靠, 我们除了按传统的计算方法(见《机械设计手册》第二册)计算外, 还利用有限元分析方法对拉杆的疲劳寿命进行分析。

(1) 分析目的

分析锚碇拉杆在局部缺陷时的疲劳寿命。

(2) 分析软件

MSC/PATRAN 有限元前后处理器

MSC/AFEA 高级有限元分析模块

MSC/FATIGUE 疲劳分析模块

(3) 分析模型

将材料缺陷按最危险的裂纹状态进行分析, 即考虑在同等尺寸下, 重点分析拉杆横截面边缘的弧状裂纹(如图2所示)。取拉杆含裂纹的纵向截面计算应力场, 计算模型见图3。在疲劳寿命估计时等效为横向带弧状裂纹的圆柱体。其中: D 为拉杆直径, $\phi 64\text{mm}$; a 为裂纹长度(放大)。

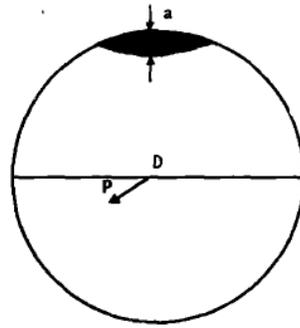


图2 带弧状裂纹的拉杆横截面(材料40Cr)

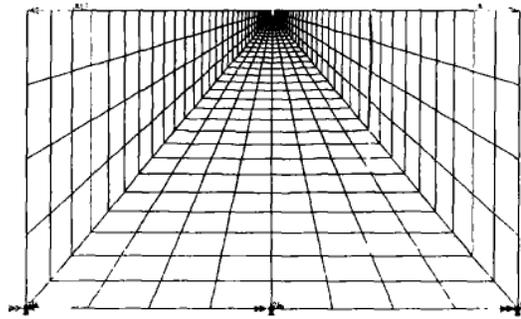


图3 拉杆应力场计算模型

(4) 关键参数

① 疲劳裂纹扩展门槛值 ΔK_{th} 值。参考《机械设计手册》表11.15-3、图11.15-8、图11.15-9和图11.15-11。为保险起见, 选取 ΔK_{th} 在应力强度因子比 $R=0$ 时, $\Delta K_{th}=3\text{MPa}\sqrt{m}$; $R\rightarrow 1$ 时, $\Delta K_{th}=2\text{MPa}\sqrt{m}$ 。

② 弹性模量 $E=200000\text{MPa}$, 泊松比 $\nu=0.3$ 。

③ 拉杆承受上限拉力为55T、下限拉力为42.5T的循环载荷作用。

(5) 分析结果

① 应力分布。典型 Von-mises 应力分布见图4。

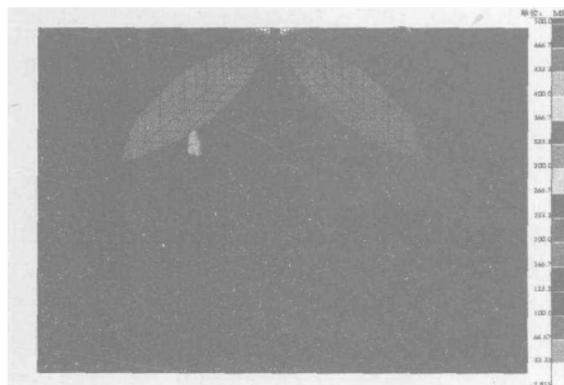


图4 典型 Von-mises 应力分布图

② 在初始裂纹长度 $a_0=1\text{ mm}$ 时, 其疲劳寿命分析结果见图5。

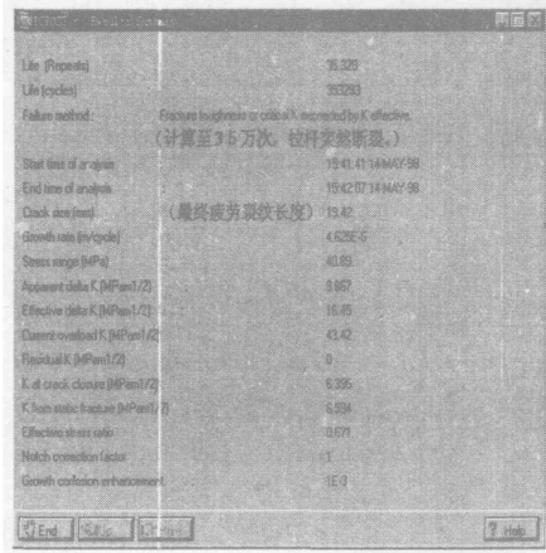


图5 初始裂纹长度 $a_0=1\text{ mm}$ 时的疲劳寿命

③ 在初始裂纹长度 $a_0=0.6\text{ mm}$ 时, 其疲劳寿命分析结果见图6。

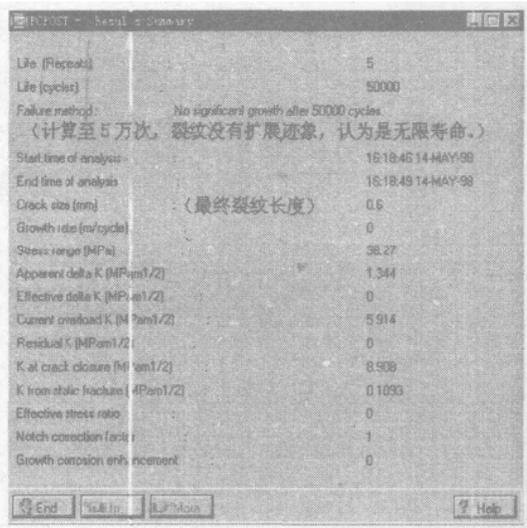


图6 初始裂纹长度 $a_0=0.6\text{ mm}$ 时的疲劳寿命

④ 在初始裂纹长度 $a_0=0.8\text{ mm}$ 时, 其疲劳寿命分析结果见图7。

⑤ 临界裂纹尺寸

经迭代运算, 临界裂纹尺寸在 $0.8\sim 1\text{ mm}$ 之间, 大于此尺寸, 拉杆疲劳寿命为有限寿命; 小于此尺寸, 拉杆疲劳寿命为无限寿命。

拉杆组件既要满足锚固系统的强度要求, 又要考虑其经济性。为此, 我们对拉杆组件采用不

同的材料、螺纹牙形、加工方法一一作了计算和比较。其结果见表1。

表1 不同材质、不同加工方法拉杆组件的性能比较

材料	40Cr		40Cr NiM oA	
	车	辗压	车	辗压
螺纹				
疲劳安全系数				
M64 X	1.95	2.3	2.395	2.83
MJ64	2.33		2.61	
材料单价 (元/吨)	4500~4800		9000~9500	

由表1可以看出选用40Cr材料、采用MJ螺纹即可满足使用要求(疲劳安全系数大于2.0), 又比较经济。在加工制造方面, 为确保拉杆安全可靠、在加工过程中进行了二次无损探伤, 要求达到标准GB/T416291B级及JB396585二级。

为了进一步验证设计的可靠性, 我们还做了拉杆组装件的静载、疲劳试验。通过静载试验, 不但验证了拉杆的静载安全系数大于设计要求的2.5, 同时也证明了联接垫板在设计荷载的作用下变形小于 0.2 mm 。

拉杆为永久性构件, 根据《机械设计手册》规定, 它的疲劳寿命应为 $N=10^7$ 次, 而桥梁预应力筋组装件的疲劳试验一般为 2×10^6 次, 因此我们把设计的最大应力的1.1958倍 (10^7 疲劳寿命拆

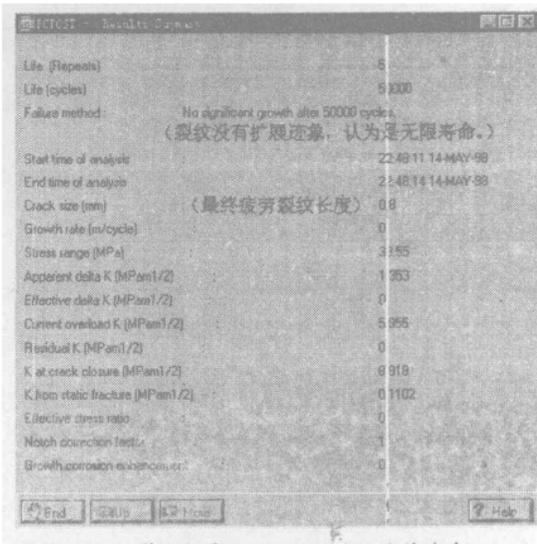


图7 初始裂纹长度 $a_0=0.8\text{ mm}$ 时的疲劳寿命

算成 2×10^6 疲劳寿命的疲劳寿命折算系数)作为疲劳试验的上限应力;恒载的1.1958倍作为下限应力,经过200万次疲劳试验,球面螺母、六角螺母无松动、无裂纹,证明拉杆组装件的疲劳寿命大于 10^7 次。

2、连接垫板设计分析

连接垫板在使用过程中,不但要满足强度要求,还要满足刚度要求,设计要求在设计荷载的作用下连接垫板的变形量不能超过0.2mm,为了满足设计要求,我们分析了连接垫板的受力状态,按材料力学的计算方法对连接垫板主要受力面进行了抗弯、抗压、抗剪的强度计算,计算结果表明连接垫板在中心截面处(两束预应力筋的对称面)的变形量为0.0004924mm,考虑到连接垫板所受的是空间力,如果仍按传统的计算方法,将不能准确地反映出连接垫板上各处的实际受力状态及变形情况,因此我们采用了有限元分析方法,对连接垫板进行应力、应变分析(见封

三彩图)。以进一步验证连接垫板的各主要受力面的实际情况。

从封三的彩色图中可以看出:

(1)在连接垫板与锚板接触面处的VON-mises应力最大,局部出现180MPa的压应力,对连接垫板的强度影响不大,且小于45号钢的许用应力 $[\sigma_0]=210\text{MPa}$,其余绝大部分均低于140MPa,小于45号钢的 $[\sigma_0]=360\text{MPa}$ 。因此连接垫板强度是足够的,安全系数完全满足大于2.5的要求;

(2)从连接垫板轴向(Z向)变形分布图上看出连接垫板最大变形为0.19607mm,小于设计要求0.2mm。

四、结论

综上所述,拉杆组件、连接垫板,经材料力学计算、计算机有限元分析、静载动载试验,均证明拉杆组件、连接垫板的设计、加工是合理的,可以满足海沧大桥的使用要求。

(上接第23页)

(2)普通钢绞线采用管道和前锚面锚罩内全部压注环氧砂浆方案。

(3)PE防护钢绞线加管道和前锚面锚罩内灌防腐油脂方案。

(4)管道内压注C40号纯水泥浆和前锚面锚罩内灌防腐油脂方案。

考虑到锚固系统是悬索桥的关键部件且难以更换性,以及现场的实际施工情况,我们由原设计采用的方案四改用具有双重保护功能,工艺性较好,防护更可靠的防腐方案一(后业主由于费用上的原因虽采用了方案一,但对钢绞线未实施喷涂)。施工实践证明,方案一更符合我国国情,更安全可靠。

五、锚碇施工要点

1、设计上控制锚体混凝土裂缝的措施

锚块和箱式基础为大体积混凝土结构,为减小温度应力,设计要求施工时限制混凝土入仓温度不高于 28°C ,内外温差不超过 25°C ,并在设计上采取两项措施:

(1)混凝土分层分块浇筑:锚碇分四块逐层浇筑,块与块之间设置后浇段;

(2)锚块内设置冷却管,对锚块混凝土进行一次冷却和二次冷却。

2、锚固系统施工

预应力张拉应在锚下混凝土达到100%强度时方可进行。张拉采用前锚面双锚头同步单向张拉,锚面钢绞线张拉应遵循对称张拉的原则;索股长度调节采用专用穿芯千斤顶同步张拉两根拉杆,调节两根拉杆的螺母来完成。