

OVM (A) 型锚具的研制

苏 强 谢正元

【摘要】本文介绍2000MPa级钢绞线锚具的研究、分析、试验情况、主要性能以及初步的工程使用。通过有限元分析、应变测试等方法分析锚具组件的受力状态；通过大量的试验对锚具不断改进；采用新的热处理工艺提高锚具的性能。研制出的锚具能可靠锚固2000MPa级及其以下级别的钢绞线，并具有高抗疲劳性能（疲劳试验应力幅达120MPa），同时与现有一般锚具相比，结构更紧凑、轻巧。

【关键词】 2000MPa级钢绞线 有限元 抗疲劳 试验

1. 预应力技术的发展对锚具提出的新要求

随着预应力技术的发展，超高强钢绞线、体外预应力结构的应用将越来越多，长大桥梁、薄壁构件的发展都对锚具提出了更高的要求。例如日本正在研究东京湾口、纪淡海峡等超过明石海峡大桥的长大桥梁所需的高强钢材，已开发出2000MPa级的镀锌钢丝和2300MPa级钢绞线，而且目前国内已有2000MPa级钢绞线的企业标准，虽然尚处于企业标准阶段，但也反映了钢绞线的发展趋势。从七十年代起，体外预应力逐步得到复兴，现在已得到越来越广泛的应用。作为预应力技术中的关键部件——锚具必须适应预应力钢材、预应力构件的发展需要。

1.1 锚具应能可靠地锚固现有广泛使用的1860MPa级钢绞线同时，也能可靠锚固强度更高（国内企业标准最高达2000MPa）的钢绞线。

1.2 具有更高的抗疲劳性能，以适应钢绞线强度提高和体外预应力构件的应用，并提高构件的安全度。按GB/T 14370-93国家标准，锚具抗疲劳试验的应力幅度只规定 $\Delta\sigma_p=80\text{MPa}$ ，而FIP93建议规定 $\Delta\sigma_p \geq 80\text{MPa}$ ，日本一般要求 Δ

$\sigma_p=100\text{MPa}$ 。

1.3 现在预应力结构为增大跨度，减少自重，构件的壁厚尽量减薄，这对锚具及张拉机具的轻量化提出了更高要求。性能高、结构尺寸小的高效率锚具的使用成为新的要求。

鉴于预应力技术发展的需要，我厂在充分综合、吸收国内外先进锚具基础上，在现有OVM锚具成熟的技术、工艺、质量管理基础上，以1860MPa级和2000MPa级钢绞线为锚固对象，研制开发出了具有优越锚固性能（其中抗疲劳性能试验应力幅度达120MPa）和结构轻巧的高性能、高效率新一代OVM锚具——OVM (A) 型锚具，其各项性能指标符合国际预应力混凝土协会（FIP）1993《后张预应力体系验收建议》和国家标准GB/T 14370-93《预应力筋用锚具、夹具和连接器》要求，也符合中国交通行业标准JT 329.2-1997《公路桥梁预应力钢绞线用锚具、连接器试验方法及检验规则》。

2. 锚具的受力分析

由于锚具受力的复杂性，锚具传统的计算方法比较粗略，没有完整的计算方法，只有一般的理论分析，这难以满足设计开发的需要。我们利用计算机有限元分析方法，对锚具组件进行受力

苏 强：柳州市建筑机械总厂技术中心工程师

谢正元：柳州市建筑机械总厂技术中心副主任，工程师

分析；同时进行了锚具应变实际测试。这为锚具的设计提供了坚实可靠的理论根据。

首先对单孔锚具组件进行有限元分析。通过对设计方案与现有单孔锚具组件进行对比分析来不断优化设计，并通过试验不断改进，单孔锚具的成功设计为多孔锚具的设计奠定了基础。对锚下装置（砧、锚垫板和螺旋筋）也进行了有限元分析，对于锚下砧，因其材料性质离散，不能精确进行分析，但其结果有助于分析参考。图1为七孔锚下装置在80%钢绞线标准特征抗拉强度下的不同应力分布云图。

为确保安全可靠，在进行有限元分析的同时，对锚板外周各部份的变形进行测试，了解锚具的受力情况及其超载能力。选取几种有代表性规格的锚具进行测试，在压力机上以压代拉，在0~160% F_{pk} 范围内逐渐加压，测量锚具各测点处的应变，对改进方案与现有锚具进行测试对比。从测试结果可看出由于锚板尺寸有所减少，其外周切向拉应力和轴向压应力较改进前稍大，在0~100% F_{pk} 范围内，两者几乎没有差别，并都在弹性范围内；在100~160% F_{pk} 范围（已超过实际使用范围）内，虽然两者应力差较0~100% F_{pk} 时稍大，但大都在弹性范围内，没有明显的塑性变形。

3. 锚具的设计

根据设计指导思想，借助有限元分析和借鉴

国内外同行的科研成果，对现有锚具进行优化设计。现对锚具各零件的设计思想与设计方案逐一介绍。

3.1 夹片

3.1.1 要缩小夹片的尺寸，必须分析夹片的强度是否满足要求。从有限元分析可知夹片大部分承受三向压应力，只要夹片能较好地与锚板、钢绞线配合，夹片的尺寸可以减小。

3.1.2 夹片锥面的角度与粗糙度要和锚板锥孔的尺寸与粗糙度要有很好的配合。通过理论分析、现有各种试验表明夹片和锚板的锥度不应过大或过小，过大不利于自锁，过小钢绞线受到的夹持力过大；由于锚固单元整体尺寸的缩小，夹片、锚板的锥度差作适当改变；保持夹片锥面、锚板锥孔的表面粗糙度不变。

3.1.3 夹片的牙形是很重要的参数。锚具的夹片牙形与现有夹片的牙形有较大的不同。在齿高上作了适当减小，以减少夹片对钢绞线的咬伤程度；适当增大了夹片的牙形角，以保证牙齿的强度；为了保证施工方便可靠，防止滑丝，夹片的齿距不应过小。

3.1.4 根据现在钢绞线使用情况和分析结果，夹片的齿距作适当改变。

3.1.5 与现有OVM夹片一样，采用两片四分式，保持现有弹性槽。（主要是为适应钢绞线直径变动量大，如果直径可控时也可取消弹性槽或

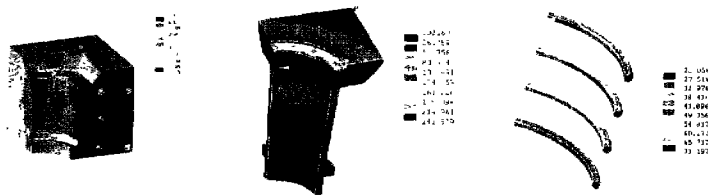


图1

将弹性槽缩短)弹性槽的长度稍短。

3.1.6 保留橡胶圈。橡胶圈既方便夹片的安装,也能使夹片给钢绞线提供适当的初始夹紧力。

3.1.7 夹片采用先进热处理工艺,改善组织结构,使夹片的硬度梯度均匀,并将夹片硬度的下限稍向上调整。

3.2 锚板

3.2.1 由于夹片外径、长度尺寸的缩小,锚板锥孔尺寸相应适当缩小。

3.2.2 锚板锥孔尺寸的缩小,使锥孔间距能适当减小,OVM(A)型锚具的锚板锥孔间距减少2mm;锥孔间距的减少,减缓了钢绞线在锚垫板内的弯折程度,减少弯曲应力及钢绞线在喇叭口处的应力损失。

3.2.3 经有限元分析和应变测试,适当减少锚板的外径和厚度,减轻重量,方便施工。

3.3 限位板

3.3.1 由于锚板锥孔间距的减少,限位板上的孔间距也作相应的改动。

3.3.2 由于锚板外径减少,限位板与锚板配合的尺寸应相应减小,外径不变。

3.3.3 限位板的限位尺寸是一个比较重要的参数。由钢绞线直径、夹片和锚板锥度、锚口摩阻、内缩量等因素决定。

3.4 锚垫板

锚垫板(喇叭管)是将锚板承受的张拉力传递到预应力砼中的标准化铸件,对砼的受力变形形成约束。我们对原有轻量化了的锚垫板进一步优化。由于锚板外径和锚孔间距的缩小,相应缩小了锚垫板大端孔径和放锚板止口的尺寸;适当减少喇叭管壁厚。根据锚具偏角试验结果,钢绞线在有5°的弯折情况下,其锚固性能还能很好地达到标准要求。因锚板锥孔分布圆尺寸减少,

使得钢绞线在锚垫板中的弯折程度得到减轻。

3.5 螺旋筋

由于混凝土的强度提高,预应力砼结构不断优化,当辅助钢筋较多时,原有螺旋筋因中径过大,不易安装;我们根据国家混凝土设计规范,利用有限元分析结果,适当减少部分螺旋筋的中径。

4. 锚具试验

对试制出的样品,依据FIP93标准和JT 329.2-1997交通行业标准及GB/T 14370-国家标准(报批稿)进行了各项试验。试验所用钢绞线为1860MPa级15.24钢绞线和2000MPa级15.24钢绞线,试验母材实际极限抗拉力为269~272KN和282~286KN。

4.1 静载试验

在研制过程中我们做了大量的静载试验,如前期可行性试验、方案选型试验和样品定型试验,通过大量的试验来发现问题,改进问题。其中计算锚具效率系数时取消国家标准GB/T 14370-93中的效率系数 η_p 。从试验结果可看出,锚具的锚固效率系数和延伸率都达到了FIP93建议和交通行业标准及GB/T 14370-国家标准(报批稿)的要求,并且试验结果的稳定性非常好;每种规格各组试验的试验结果均匀。在试验过程中,夹片跟进平整,锚具之间、钢绞线与锚具之间的相对位移随拉力增加均匀增加。而且钢绞线的断口全都为颈缩,没有一丝是剪断的。从退出来的夹片看,夹片没有裂纹、倒牙、烂牙现象,钢绞线上的咬痕清晰,深度均匀。由此可见,锚具的静载性能是很优越的。

4.2 疲劳试验

经优化设计的OVM(A)型锚具不仅具有良好的静力性能,同时还具有优异的抗疲劳性能。按交通行业标准和国家标准,疲劳试验的应力幅

度取80MPa;按FIP93标准,疲劳试验的应力幅度要大于等于80MPa。OVM(A)型锚具的疲劳试验应力幅度设计为120MPa。做了OVM15A-4锚具、OVM15A-12锚具疲劳性能测试,试验结果顺利通过了上限荷载为 $0.65F_{pk}$,应力幅度为120MPa,经200万次荷载循环不断丝。

4.3 周期荷载试验

对OVM(A)型锚具的OVM15A-12锚具进行周期荷载测试,应力上限取预应力钢材抗拉强度标准值的80%,下限取抗拉标准强度的40%,循环50次。3组试验结果无断丝、滑丝和夹片松动现象,满足标准要求。

4.4 锚具偏角试验

按FIP93标准和交通行业标准,如果预应力筋的轴线与所规定的轴线之间可能存在角度偏差,则应包括最大偏角在内进行试验。OVM(A)型锚具按偏角 5° 进行单孔静载试验,试验结果仍能很好地达到标准要求。

4.5 锚口摩擦试验

用试验设备张拉锚具组件至钢绞线特征极限抗拉力(F_{pk})的80%,测出锚具前后的钢绞线拉力差值。取OVM15A-7锚具进行试验,根据试验结果,OVM(A)锚具在钢绞线平行状态下的锚口摩擦损失小于1%,在钢绞线有折角状态下(包括锚垫板喇叭口处)的锚口摩擦损失小于2.5%。

4.6 锚具内缩量试验

用试验设备张拉组件至钢绞线特征极限抗拉力(F_{pk})的80%后进行锚固,直接测出预应力筋相对位置。对OVM(A)型7孔锚具进行了内缩量试验:锚具的内缩量4~5mm。

4.7 张拉锚固工艺试验

用试验设备按钢绞线特征极限抗拉力(F_{pk})的20%、40%、60%、80%分4级张拉组件,每

张拉一级锚固一次,张拉完毕后,放松组件中各根钢绞线。通过张拉、锚固工艺试验观察:多次张拉或因张拉设备倒换行程需要临时锚固的可能性;经过多次张拉锚固后,组件内各根钢绞线受力的均匀性和预应力筋全部放松的可能性。取OVM15A-4/7锚具进行试验,结果是令人满意的。在试验过程中没出现过滑丝、不能锚固的情况,自锚时,夹片跟进齐平,重复张拉灵活方便。

4.8 荷载传递试验

锚具应满足预应力能可靠地从锚具传递到混凝土构件中。分别加载至试验应力上限后,需进行至少10次的慢速循环加载,循环加载后,试件应逐步加载至破坏。试件压力上限取钢绞线特征极限抗拉力(F_{pk})的80%,下限取钢绞线特征极限抗拉力(F_{pk})的12%,试件应满足有关的标准要求。取OVM(A)型锚具7孔、12孔进行试验,试验结果很好地满足标准要求: $F_u \geq 1.1F_{pk}$;裂缝宽度小于标准值;加载期间纵向、横向应变读数稳定,裂缝宽度稳定。

5. 工程应用

广东航建有限公司、广西区路桥总公司、东南大学现代预应力工程有限公司等单位使用了OVM(A)型锚具(1860MPa钢绞线)。用户的试验和工程使用表明OVM(A)型锚具具有良好的使用性能:试验锚具效率系数高,实际使用中,操作可靠,锚固性能良好,完全满足工程要求。OVM(A)型锚具与一般的群锚使用方法相同,适用于现有张拉设备,可配有现有OVM工具锚。

6. 结束语

OVM(A)型锚具的研制是成功的,经优化设计,结构轻巧合理,性能优越,适用面广,通用性好,安全可靠。其主要性能有:

6.1 适用于2000MPa级及其以下级别的高强预应力钢绞线。

6.2 具有优越的静载锚固性能、锚具效率系数在不考虑预应力筋的效率系数(0.97)时也满足 $\eta_p \geq 0.95$ ，延伸率 $\geq 2\%$ ，达到FIP《后张预应力体系验收建议》(1993)的要求。

6.3 具有优异的抗疲劳性能，通过应力幅为120MPa、上限应力为 $0.65\sigma_{pk}$ ，经200万次的抗疲劳性能试验。

6.4 结构尺寸缩小：夹片外径，长度相对一般夹片减少了2mm；相应减少了锚板的锥孔尺寸；适当减少了锚板的外径、厚度；适当减少了

螺旋筋的中径与线径。

6.5 锚垫板结构优化，在原量化的锚垫板基础上进一步改进，改善锚下应力状态。

6.6 适用于现有的张拉设备。

6.7 具有良好的自锚性能，不用顶压设备自行锚固。

6.8 现已设计有1-55孔相应配套的圆形锚具、1-33孔圆锚连接器以及2-5孔扁形锚具，配套齐全，便于选用。

随着OVM(A)型锚固体系的推广应用，它将使得工程设计更为紧凑，预应力技术的发展前景将更为广阔。

(上接第18页)

掉，将油泵倾倒拧下滤油网，把滤油网、放油筒清洗干净便可装回加油完成清洗换油工作。

2.2.8 操作方便快捷——由于采用换向转阀结构使得操作变得十分方便快捷，只需扳动一个手柄就能实现换向、保压、而ZB4-500泵则需操作四个手柄才能实现这些功能。

具体操作过程比较如下：

ZB618型电动油泵只需将换向转阀手柄扳到中位即可开机，而ZB4-500泵需将两个截止阀两个节流阀全部拧松才能开机；

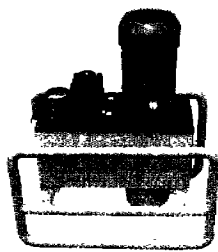
ZB618泵的供油也非常简单，只需换向阀手柄向左或向右一扳即可，而4-500泵则需将一路截止阀拧紧，再旋节流阀来实现供油；

ZB618型泵的保压是将手柄扳到中位，ZB4-500泵则要将节流手柄完全松开；

ZB618型泵的换向只需将手柄直接扳到另一边即可，而4-500泵则需先将原工作的截止阀、节流阀松开，再将另一路截止阀、截流阀拧紧。

3. 结束语

综上所述，我厂研制的ZB618型电动油泵比原有产品提高了一大步，并已达到了世界先进水平。但我们仍将继续努力对该机进行完善、创新。同时，我们也希望广大专家、用户提出更多更好的宝贵意见，以使我们能百尺竿头更进一步，为预应力设备的开发做出更大的贡献。



ZB618型电动油泵