

# 顶推梁设计、施工中 有关张拉、压浆问题的分析与处理

——兼介一种新型钢绞线连接器

徐化轩

**【摘要】**在总结多座顶推梁预应力张拉和压浆的基础上，对有关问题的分析与处理进行了详细介绍。同时介绍了一种新型钢绞线连接器。

**【关键词】**顶推梁桥 预应力张拉 压浆 问题 分析 处理

桥梁顶推法是50m左右跨径的连续梁施工中常采用的方法，施工中有相应的独特技术和要求。根据作者在国内外参加顶推梁施工的经验，对顶推梁设计、施工中有关张拉、压浆问题的分析和处理作了如下总结。

## 1. 一种新型连接器的设计与应用

连接器用于锚固前段钢绞线束，并连接后段束，它把钢绞线束的应力既传递给混凝土又传递给另一根钢绞线束。国内采用的连接器为周边悬挂式，其构造如图1。它的中心区域具有和普通锚具排列相同的锚圈孔，用以张拉和锚固第一段

钢绞线束。它的周边具有与中心孔数相同的等距分布的U形缺口，将事先在现场做成有锁头器的钢绞线逐根放入U形缺口中，从而形成第二段束。然后用外壳将连接器密封，并在浇筑第二段混凝土后再张拉该段束。

作者在国外施工中首次采用了周边内置式连接器，其构造如图2。它的中心区域也具有和普通锚具排列相同的锚圈孔，用以张拉和锚固第一段束。它的周边则为具有与中心孔数相同的等距分布的锚塞孔，锚塞孔内有在生产中已置于其中的夹片和限位弹簧。穿束时，把钢绞线逐根插入

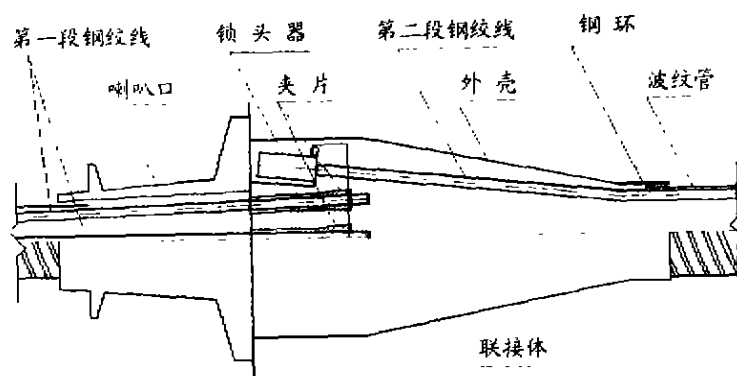


图1 老式连接器构造

徐化轩：中铁第16工程局施技处工程师

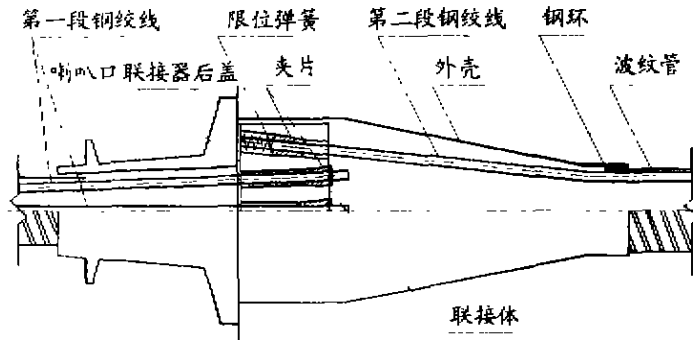


图2 新型连接器构造

锚塞孔内的夹片中即可形成第二段束。

显然，后者明显优于前者，它具有安全可靠、使用方便、操作简单、无需专用施工设备等优点，具有很好的推广应用价值。相信在国内有关部门的努力下，我国可在不远的将来推广应用自己设计生产的类似连接器。

### 2. 压浆时机的选择

由于顶推梁分段张拉、分段顶推的施工特点，其预应力筋的连接接长只能通过连接器来实现，预应力筋的张拉也是通过连接器分段进行、单端张拉的。张拉中由于锚固损失和反摩擦的作用，由连接器联接的前后两段钢绞线束在连接器处产生的有效预应力并不相同，而是后一段的大于前一段。因此，若在前段钢绞线束没压浆的情况下张拉后一段束，必将造成连接器离开喇叭口后移，从而在连接器和喇叭口间形成缝隙。在此情况下压浆，必将造成浆液从该缝隙处进入后一段管道内，从而不但使前一段的压浆无法进行，而且也必然造成后一段的张拉和压浆问题。

在某些情况下，由于设计人员的疏忽或有其它方面的考虑，将前段钢绞线束的压浆限制在后段张拉完后进行。根据上述分析，这将无法实施。因此，若遇此情况，须提前分析计算，并做必要的变更，将前一段的压浆限制在后一段张拉

前进行，并同时规定压浆后至下一段张拉的最短时间，以免在前面浆体强度不足的情况下张拉而造成浆体破碎。锚固损失的计算可按下列公式：

$$(1) \text{对直线形预应力筋 } \sigma = a \times E_s / L$$

$$(2) \text{对曲线形预应力筋 } \sigma = 2 \sqrt{m \times a \times E_s}$$

其中： $m = \sigma_{con} (kl + u) / L$

$a$ 为张拉端锚固时预应力筋的内缩量

$L$ 为张拉端至固定端之间的距离

$E_s$ 为预应力筋的弹性模量

$\sigma_{con}$ 为张拉端控制应力

$k$ 为孔道的偏差系数

$u$ 为预应力筋与孔道之间的摩擦系数

根据上述公式计算得到的顶推梁预应力筋锚固前后的张拉力变化情况见图3。

### 3. 确保新型连接器安全使用的措施

尽管新型连接器操作方便，但若使用不当，也会造成与其结构特点相对应的施工问题。根据

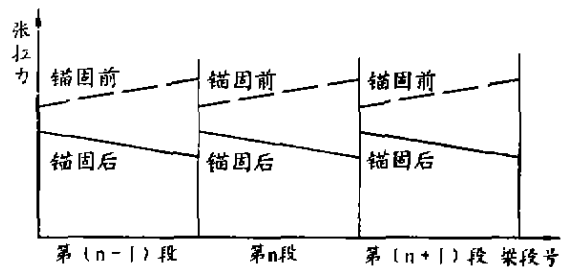


图3 顶推梁预应力筋锚固前后张拉力变化关系

实际使用经验,总结如下:

### 3.1 可能出现的问题

由于新型连接器是通过锚塞孔内的夹片来实现钢绞线的连接和锚固的,因此,若锚塞内的夹片不能有效工作,则会造成张拉失锚。

### 3.2 问题的原因分析

在连接器和夹片质量可靠的前提下,导致夹片不能有效工作的唯一原因是压浆中的浆液或混凝土中的砂浆进入锚塞孔后包裹了夹片,从而使夹片不能自由活动、有效夹持钢绞线而产生失锚问题。

### 3.3 问题的解决

(1) 在安装连接器前,用胶质材料涂抹在连接器的各连接部件间,以防压浆中高压力的浆液从其间的缝隙进入。

(2) 安装连接器后、套外壳前,在连接器周边缠上密封材料,以防振捣混凝土时砂浆从两者的缝隙间进入连接器和外套内。

(3) 在第一段钢绞线张拉完后,用较稀的砂浆封锚并做好振捣,以使砂浆充分进入夹片缝隙,防止压浆时浆液从该处进入连接器内。

(4) 压浆前,先用压缩空气检查连接器密封情况。具体方法是:向前一段管道内压入压缩空气,并检查是否有气流从后一段管道逸出,若有,则推迟该管道的压浆至下一次。

(5) 若一旦张拉中发生失锚,往往只是一束钢绞线中位于连接器底部的几根。而处理中为有必要的作业空间,需退出连接器上部包括未失锚钢绞线在内的全部钢绞线,因为未失锚的钢绞线已被楔紧在锚塞孔内,所以退出时需视实际张拉力的大小,用适当吨位的小千斤顶反顶钢绞线和夹片,使之放松,然后退出锚塞孔内的钢绞线,而对失锚的夹片,只需清理干净粘附在夹片

上和锚塞孔内的浆体即可。完成上述工作后就可重新穿束、张拉。

## 4. 张拉、压浆中的其它问题

### 4.1 关于超张拉方法的采用

为减少钢绞线松弛损失,可采取的措施有  $0 \rightarrow 1.05 \sigma_{con}$  (持荷2~5分钟)  $\rightarrow \sigma_{con}$ 。这种方法是与顶楔式锚固体系相适应的。近年来,使用方便、操作简单的自锚式锚固体系被广泛应用,与该体系相对应的减少钢绞线松弛的措施有  $0 \rightarrow 1.02 \sim 1.03 \sigma_{con}$  (持荷2~5分钟)、或  $0 \rightarrow \sigma_{con}$  (持荷2~5分钟)、或采用低松弛钢绞线而即不超张拉也不额外持荷。由于受前者影响,笔者发现不少设计和施工单位错将前者的超张拉体系使用到自锚式体系中。应该指出的是,这是一种概念性错误。因为前者使用顶压装置锚固夹片,只要顶压装置不作用,张拉力可由千斤顶任意控制并从油表上准确读得。而后者是在无顶压条件下,通过限位板和钢绞线的回缩来实现夹片的自行跟进和锚固的,只要张拉力降低,则钢绞线即被自动锚固,因此,其张拉力不可随意控制,而是只能增大不能减小,即若超张拉,则钢绞线内的永存预应力将按比例增大。这在钢绞线的设计应力达到或接近规范允许值的情况下比较危险,因为这会降低预应力筋的疲劳强度和结构物的使用寿命。

为避免此类错误,建议设备生产厂家在有关产品说明上予以明确。

### 4.2 关于锚具锚口摩阻损失

按照产品生产指标,锚具的锚口摩阻损失系数在2~2.5%之间,这是由于钢绞线在锚口处扩张、紧贴喇叭口内壁形成的。笔者在施工实践中发现,紧接喇叭口后的孔道摩阻损失可视为锚口摩阻损失的延续,其大小直接影响着张拉结果甚



至成败，特别在喇叭口后的孔道为曲线段时更是如此。现以笔者的一次张拉实践举例说明：

张拉某腹板束至25%设计张拉力时发现，实测伸长量与设计值相比偏小较多。继续张拉至设计张拉力的35%时，开始有较大的响声从千斤顶内发出，同时发现千斤顶油缸不均匀伸出。在这种现象伴随的情况下，一直张拉至50%设计张拉力时停止。检查钢绞线和锚具，没有发现异常。然后用更换的千斤顶和油泵继续张拉，异常现象仍然发生，并在85%设计张拉力时部分钢绞线断裂，张拉失败，停止张拉，更换钢绞线束。在更换钢绞线束的过程中检查张拉设备并重新进行了标定，没有发现异常，但在退出被拉断的钢绞线束并用电子扫描和监测设备深入孔道检查后发现，在该张拉端喇叭口后5m范围的孔道中没有波纹管（穿束时被带出），而这5m正好位于管道的小半径曲线范围上。

至此，问题的原因基本搞清：由于紧接喇叭口后的孔道内没有波纹管，且其正好位于小半径曲线范围内，因此，摩阻损失远较正常情况为大，张拉中千斤顶需较大的力才能克服静摩擦力而伸出，而一旦克服了该静摩擦力，则千斤顶油缸和钢绞线处于动摩擦运动中。在此静动摩擦交替作用的过程中，即产生了上述的油缸不均匀伸出、千斤顶发出响声的异常现象。而且正是静动摩擦交替过程中产生的冲击力造成了钢绞线的断裂。

针对问题产生的原因，采取了如下措施：在上述区域内的钢绞线和孔道壁上涂抹石墨等润滑剂，以减少其摩擦系数，效果较好，重新张拉中没有再发生异常现象。

类似施工中，应提前采取各种措施避免上述问题的发生。

#### 4.3 关于混凝土进入波纹管中

穿入预应力钢绞线的时机有两种：一种是在灌注混凝土前，一种是在灌注后。尽管目前已有较完善的措施保证波纹管的密不漏浆和畅通。但由于施工现场的复杂性、偶然性，在一座大桥的施工中发生为数不多的几次漏浆问题也是可能的。这对钢绞线后穿法来说，带来的将是开洞清孔和穿束的困难；但对先穿法来说，若进混凝土而张拉中不知道则可能带来如下严重后果：混凝土紧紧包裹着钢绞线，一旦钢绞线的拉力增大至足以破坏该混凝土时，则突然破碎。与此同时，混凝土与千斤顶之间的拉力将迅速突然地传至连接器上。由于该力是突然加载而且带有冲击性质，因此极易破坏连接器内的夹片而造成失锚。而因此造成的连接器破坏和失锚将无法补救，因为连接器已被张拉而无法更换之或其中的夹片，所以其处理也将是十分困难的。

因此，必须防止这类问题的发生。其防止措施除了做好波纹管的防漏外，在施工中还要采取如下措施：

(1) 安装锚具前用单根钢绞线深入管道检查，或用压缩空气吹入孔道后通过排气孔逸出气流的强弱等手段来判断是否有混凝土进入管道。若有则提前处理。

(2) 张拉中密切注意钢绞线伸长量，若与理论值或经验值相差过大，则立即停止张拉，查明原因并处理后再继续进行。为此，可适当增加伸长量的记录密度，按20~25%控制张拉力下的伸长量作为一个测量阶段，以便能及早发现和解决问题。对比每一阶段的伸长量后，若明显偏小，则有可能是混凝土浆体进入波纹管后，只有钢绞线束的一部分被拉出，而另一部分没有被拉出造成的；若明显偏大，则有可能是钢绞线束中

的若干根没有参与受拉造成的。相应的处理措施上面已有叙述。

(3) 在有些情况下, 混凝土浆体虽进入了波纹管中, 但只是堵塞了管道中的一部分或小部分, 对张拉和压浆不至于造成大的影响, 而若处理起来可能比较困难或对梁体造成不利影响。对此, 可采取用小千斤顶逐根试拉或用大千斤顶缓慢整体试拉的办法, 以观察试拉中管道内混凝土的破损情况, 并视之决定进一步的解决措施。

管道内进浆后, 有可能出现张拉顺利但压浆时浆液在堵塞处被堵而停滞不前的情况。对此, 可采取从两端向中间堵塞处压浆的办法来解决。

#### 4.4 关于喇叭口压浆孔的畅通

由于钢绞线在喇叭口处扩张而紧贴喇叭口内壁, 特别在锚具中心与喇叭口中心不一致、喇叭口与孔道不垂直时更是如此。在此情况下, 喇叭口及管道内的波纹管有可能随着钢绞线的拉出而移动至喇叭口压浆孔处, 再加上为封闭接头而使用的密封材料的影响, 在少数极端情况下有可能全部或部分地堵住压浆孔, 从而使压浆不能顺利进行。对此, 可采取如下措施:

(1) 安装波纹管时, 控制波纹管伸入喇叭口内的长度为5cm左右, 并将接头密封材料用在喇叭口外部。

(2) 张拉完成后, 用适当直径的钢筋伸入压浆孔内, 以期捅破压浆孔处的波纹管等堵塞物, 形成压浆通道。

#### 4.5 关于预应力孔道摩阻损失系数

根据预应力筋与管道之间由于摩擦引起的张拉力损失的传统计算表达式的分析以及参考有关试验资料得知: 当采用直线配筋且严格执行设计要求时, 管道对其设计位置偏差引起的预应力筋弯曲几乎可以忽略不计, 而曲线形预应力筋与管

道壁之间的摩擦, 试验所得数据并不是常数。除了与预应力筋和管道的接触情况直接相关外, 还与所用波纹管的种类、预应力筋种类及其两者的表面状况有关。为进一步弄清两者的关系, 国内外技术人员作了大量的试验研究工作。根据国内多座实桥的孔道摩阻试验, 其摩阻系数的实测值均小于设计采用值。日本学者在上世纪80年代也曾做过一些孔道摩阻试验, 得到了张拉端拉力 $P_0$ 与固定端拉力 $P_n$ 以及伸长量 $\Delta l$ 之间的关系(见图4)。并用摩擦学原理对试验结果进行了分析, 认为两者间是一种粘结滑动现象。预应力筋曲线段上的摩阻系数 $\mu$ 根据自然发生的粘结滑动现象, 在每根预应力筋的张拉过程中的某一时刻范围内是时刻变化的。

根据笔者在多座桥上的试验和施工实践表明: 若能精心施工, 基本保证管道(波纹管)的设计位置和顺畅, 则对直线形管道取 $\mu=0.2\sim 0.25$ 、对单一曲线形管道取 $\mu=0.25\sim 0.3$ 、基本上能够反映其实际状况。而对空间弯曲(平弯加竖弯)管道, 则 $\mu$ 值可高达0.5左右, 摩阻损失很是可观。因此, 尽可能考虑少用甚至不用空间弯曲束。

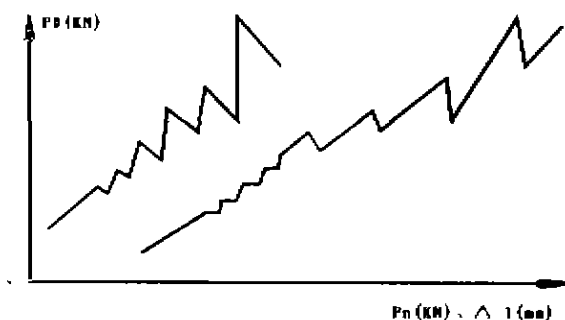


图4  $P_0 \sim P_1$ ,  $P_0 \sim \Delta l$ 的关系

此外, 为减小摩擦影响(即减少 $\mu$ 值), 可采用低摩擦型波纹管, 或在预应力筋与管道间涂  
(下转第15页)

在桥梁结构型式、理论分析和施工控制诸多方面均有较大突破, 因此对结构整体及主拱肋、系杆、吊杆等各种结构构件开展必要的结构试验和全面的理论分析研究显得非常必要, 为此, 由湖南省交通规划勘察设计院牵头, 益阳市茅草街大桥建设开发有限公司、湖南大学、中南大学、同济大学、长沙交通学院、湘潭工学院及湖南省公路桥梁建设总公司共八家单位组织成立了“茅草街大桥设计与施工成套技术研究”课题攻关组。

### 3.2 主要研究内容及试验项目

#### 3.2.1 主要研究内容

①大跨度钢管砼系杆拱桥施工过程中及成桥状态的静动力特性、稳定性分析; ②大跨度钢管砼系杆拱桥等效风荷载及抗风稳定性研究; ③高性能钢管砼的受力特性分析; ④洞庭湖区软基承载力研究; ⑤施工控制及成桥检测。

#### 3.2.2 主要试验项目

①主桥整体缩尺模型试验; ②主桥节段模型试验; ③全桥风洞模型试验; ④桩基承载力试验; ⑤施工控制及静、动载测试。

### 4. 施工方案

主桥主孔(80m+368m+80m)中承式钢管

砼系杆拱桥水中基础、承台采用钢围堰施工, 岸上基础、承台采用筑岛围堰施工, 上部构造主拱拱肋采用无支架缆索吊装施工, 待主拱肋合拢后再安装吊杆, 吊装横梁、纵梁和行车道板。钢管内混凝土采用顶升泵送, 在施工过程中, 系杆分次张拉以平衡拱的推力, 边孔拱肋采用支架现浇。

25m、30m、45m简支T梁基础采用钻孔灌注桩施工工艺, 下部结构墩身采用提升模板施工, 上部构造采用预制场预制, 架桥机架设; 20m及30m现浇连续梁基础采用钻孔灌注桩施工工艺, 下部结构墩身采用提升模板施工, 上部构造采用移动贝雷桁架现浇。

### 5. 结束语

茅草街大桥设计得到了湖南大学、中南大学、同济大学、长沙交通学院、湘潭工学院等科研协作单位的大力支持, 在此谨致谢意。工程目前施工进度顺利, 有望于2003年建成通车。

注: 本文原载于《中国公路》2002年第2期。



(上接第10页)

水溶类润滑剂, 另外, 若不能肯定 $\mu$ 值, 则须在设计时对 $\sigma_{con}$ 的取值和对波纹管直径的选择上适当留有余地, 以便在摩擦力过大时提高 $\sigma_{con}$ 值或增加钢绞线根数, 从而满足结构的受力要求。

### 5. 结论

上述对问题的分析和相应的处理方法, 不仅适用于顶推梁, 也适用于类似情况。

### 参考文献

1. 西班牙资料: The Operation Manual for Post Tensioning System of MK4
2. 杨宗放、方先和编著, 现代预应力混凝土施工, 中国建筑工业出版社, 1993
3. 陈开利, 大跨度铁路PC连续梁设计中的几个问题, 桥梁建设, 1994, (1)
4. 陈俊真等, 一座铁路预应力混凝土平弯桥, 桥梁建设, 1997, (3)