

# 后张法预应力现浇混凝土连续箱梁 张拉施工技术

杨浩乾

(中交一航局第一工程有限公司)

**摘要:**为解决后张法预应力现浇混凝土连续箱梁张拉施工的质量控制问题,依托厦门第二东通道滨海东大道互通预应力现浇箱梁张拉施工经验,阐述了施工过程中质量控制要点,对波纹管安装、千斤顶安装、预应力筋张拉等施工工艺进行研究,并分析了锚口混凝土压裂、预应力筋断股原因及相应处理措施。在传统工艺基础上,提出了低松弛预应力筋四级张拉技术,提高了结构的承载能力、刚度和抗裂性能,保证了施工精度,降低了安全风险;在波纹管线形变化较大的转折点处采用延长曲线段安装的工艺,减少了应力集中现象,便于施工操作,保证了结构的预应力效果,最终达到了张拉力与伸长量双指标合格的效果,可为类似工程施工提供参考。

**关键词:**现浇箱梁;后张法;预应力;波纹管安装;四级张拉;千斤顶安装

## 0 引言

随着交通基础设施建设的不断推进,后张法预应力现浇混凝土连续箱梁在桥梁工程中得到了越来越广泛的应用。这种结构形式具有跨度大、承载能力强、施工方便等优点,能够满足现代交通对桥梁的高要求。然而,后张法预应力现浇混凝土连续箱梁的张拉施工技术较为复杂,施工过程中需要严格控制各个环节,以确保桥梁的质量和安

全。众多学者对后张法预应力现浇混凝土连续箱梁张拉施工技术进行了研究,范振军<sup>[1]</sup>对后张法预应力张拉施工工艺、质量控制及常见问题处理措施进行了阐述,深入分析了施工中易出现的问题。陈红亮<sup>[2]</sup>结合工程案例,对现浇箱梁预应力张拉施工技术的应用和技术要点进行了分析。

虽然目前后张法预应力现浇混凝土连续箱梁的张拉施工技术相对比较成熟,但是随着新材料、新工艺的不断出现,以及对桥梁质量和安全要求的不断提高,传统的张拉施工技术已经不能完全满足现代桥梁建设的需要。因此,需要加强对后张法预应力现浇混凝土连续箱梁张拉施工技术的研究,不断探索新的施工方法和技术,本文结合厦门第二东通道滨海东大道互通预应力现浇箱梁张拉施工经验,在波纹管安装及张拉力施加过程采用了新的工艺技术,并重点分析了典型质量问

题,力求提升施工技术水平,确保工程质量。

## 1 工程概况

厦门第二东通道滨海东大道互通桥梁截面形式为单箱多室,箱梁整体呈扁平“梭形”,箱梁跨径最大 52.5 m,最大联长 175 m,箱梁最大宽度 58 m,最大梁高 2.6 m,桥面横坡度-6.0%~4.0%,纵断纵坡-3.95%~4.0%,最小曲线半径 550 m。采用公称直径为 15.2 mm 的高强、低松弛预应力筋,公称面积 140 mm<sup>2</sup>。箱梁通长纵向预应力筋分为 YM15-12、YM15-16、YM15-19 三种规格,成孔材料为镀锌金属波纹管。预应力张拉工程体量大,质量控制存在一定难度。

## 2 施工原理

后张法预应力施工基于混凝土的抗压强度高和钢材的抗拉强度高的特点,在混凝土浇筑并达到一定强度后,通过在预留孔道内穿入预应力筋,利用张拉设备施加张拉应力,使预应力筋产生弹性回缩,从而对混凝土构件施加预压应力。这种预压应力可以有效抵消混凝土构件在使用过程中承受的拉应力,提高构件的抗裂性能,延长结构的使用寿命。

## 3 施工流程

### 3.1 施工准备

施工前,选择合适规格和型号的预应力筋、锚具和波纹管,对进场材料进行外观检查及力学

性能试验等。张拉设备的精度和准确性对预应力张拉施工质量有着至关重要的影响。因此,在使用前必须对张拉设备进行严格的校验和标定。

### 3.2 波纹管安装

在波纹管安装过程中,要注意保护波纹管,避免其受到外力撞击或锐器划伤。金属波纹管厚度不应小于 0.3 mm,防止空管在安装和浇筑混凝土过程中的变形和挠曲,有助于抵抗灌浆时的浆液压力,避免由于特殊的环境造成管道损伤。管道与普通钢筋位置冲突时,应移动普通钢筋,不改变管道的设计位置。

### 3.3 预应力筋下料、穿束

预应力筋下料采用切断机或砂轮锯切断,严禁采用电弧切割(电弧高温会降低预应力筋的强度)。穿束之前,每股预应力筋贴好标签写好编号,并检查预应力筋外观是否损伤,避免在后续张拉时出现断丝、断股现象。预应力筋穿束完成后,及时包裹裸露在外的预应力筋(工作段),做好防锈、防腐蚀措施。

### 3.4 混凝土浇筑

混凝土浇筑时,每层浇筑厚度应适中,振捣应均匀、密实,避免出现漏振或过振现象,尤其注意锚口混凝土务必振捣密实。同时,要特别注意避免振捣棒直接接触波纹管和预应力筋,防止其移位或损坏。

### 3.5 张拉

#### 3.5.1 支座解锁

箱梁预应力张拉之前,必须实现支座解锁,预应力张拉会导致梁体产生一定的变形,如果不解锁支座,预应力将不能得到传递,产生的预应力应变随之也将不能引起箱梁的应变,箱梁预应力下降、支座受力过大,会对支座造成损坏,对工程安全造成重大影响。因此,支座解锁是预应力张拉前的重要步骤,旨在确保梁体能自由变形,同时保护支座不受损害,维持结构的完整性和安全性。

#### 3.5.2 张拉顺序

严格按照设计要求的张拉顺序进行张拉。一般情况下先张拉腹板束,再张拉顶板束,最后张拉底板束。对于同一束预应力筋,应遵循对称张拉的原则,即从中间向两端对称进行张拉,以保证混凝土构件受力均匀,防止出现偏心受压等不利情况。

## 4 关键技术要点

### 4.1 波纹管安装控制

波纹管、螺旋筋及锚垫板安装应做到“三同心”,如图 1 所示。



图 1 锚垫板、螺旋筋及波纹管三同心安装示意图

“三同心”安装实振效果如下:

#### 1) 提高结构安全性

“三同心”可使预应力筋在穿过波纹管并锚固于锚垫板时,力的传递更加均匀。避免因不同心而导致局部应力集中,减少预应力筋在受力过程中出现拉应力过大、甚至断裂的风险,从而增强结构整体的承载能力,确保在各种荷载作用下结构的安全性。

#### 2) 确保预应力效果

只有当波纹管、螺旋筋及锚垫板同心时,预应力筋才能沿着设计的路径准确地传递预应力。这样可以确保预应力的方向和大小与设计要求一致,充分发挥预应力对结构的加固和改善作用,提高结构的刚度和抗裂性能。

#### 3) 保证管道设计线形

管道应按设计要求的坐标位置进行安装,并采用定位钢筋固定,保证波纹管在混凝土浇筑过程中不产生位移。尤其在转折点处务必安装平顺,严禁出现角度突兀的转折点。若转折点处半径过小,可以将设计线形中曲线段适当延长,如图 2 所示。相比传统做法,将设计线形中曲线段适当延长具有如下优势:

① 减少应力集中。在转弯点处,波纹管的走向发生变化,如果曲线过短,预应力筋在通过时会受到较大的弯曲应力,容易导致应力集中。适当延长曲线可以使预应力筋的弯曲更加平顺,减少应力集中现象的发生,有助于提高波纹管和预应力筋的使用寿命,降低结构在使用过程中出现损坏的风险。

② 便于施工操作。在安装波纹管时,稍长的

曲线可以为施工人员提供更多的操作空间。施工人员可以更加容易地将波纹管弯曲成所需的形状，并确保其位置准确无误，有助于提高施工效率，减少安装过程中的错误和返工。

③ 优化结构性能。预应力筋在通过波纹管时

会与波纹管内壁产生摩擦，转弯处摩擦损失会更加明显。适当延长曲线可以减少预应力筋在转弯处的摩擦损失，提高预应力的传递效率，对于保证结构的预应力效果至关重要，能够使结构在使用过程中更好地发挥其性能。

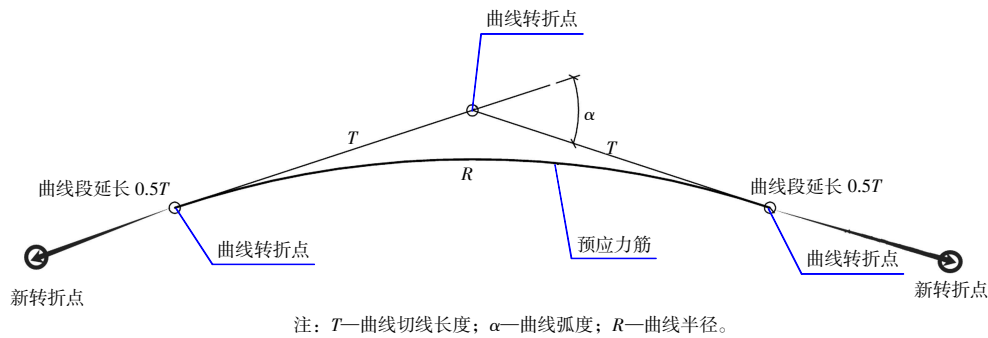


图 2 波纹管转折点处曲线延长示意图

4.2 千斤顶、锚具等安装控制

千斤顶安装相比其他工序更需重视细节，安装完成应保证工作锚、限位板、千斤顶、工具锚

三者同心，工具锚和工作锚之间的各根预应力筋不得错位、扭绞，安装流程如图 3 所示。

限位板及千斤顶都设置有凹槽，夹具、锚具、

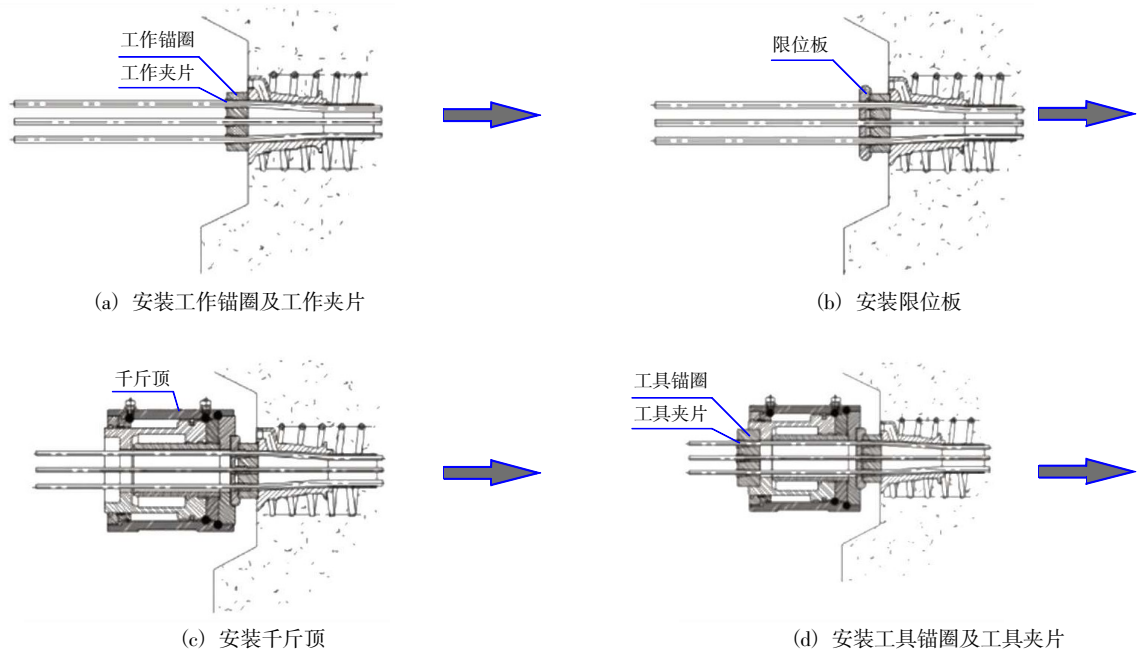


图 3 千斤顶安装流程示意图

千斤顶之间的同心凹槽嵌挤是作业成功的关键，可实现如下效果：

1) 确保锚固可靠性

通过凹槽嵌挤的方式使锚具、限位板、夹具与千斤顶之间形成紧密的结合。这种嵌挤作用增加了各部件之间的摩擦力和机械咬合力，从而大

大提高了锚固系统的整体锚固力。确保在预应力施加过程中，预应力筋能够牢固地被锚固在锚具中，不会出现滑移或松脱，保证了预应力的有效传递和结构的安全性。

凹槽嵌挤可以有效防止各部件在使用过程中的松动。在预应力筋张拉和结构服役期间，由于

各种外力和振动的作用,锚固系统可能会受到一定的影响。而嵌挤结构能够抵抗这些外力,使各部件始终保持紧密连接,避免了因松动而导致预应力损失和结构隐患。

#### 2) 实现精确控制

凹槽的设计使锚具、限位板、夹片和千斤顶在安装时能够快速准确地定位。每个部件都有其特定的安装位置,通过凹槽的引导和嵌合,可以确保它们在正确的位置上发挥作用。这对于预应力张拉精度的控制至关重要,保证了预应力的施加方向和大小符合设计要求。

限位板上的凹槽与夹片配合,可以限制夹片在预应力张拉过程中的位移。夹片在受到预应力筋的拉力时,可能会有向外移动的趋势,而限位板的凹槽能够阻止夹片过度移动,确保夹片始终紧紧夹住预应力筋,实现可靠的锚固。

#### 3) 提高施工效率

嵌挤结构在施工过程中便于操作和控制。施工人员可以通过观察凹槽的嵌合情况,直观判断各部件的安装是否正确。同时,在预应力筋张拉过程中,凹槽也可以作为操作的参考点,方便施工人员进行千斤顶的调整和控制,确保张拉过程的顺利进行。

### 4.3 张拉力的控制确定

低松弛预应力筋后张法张拉程序为:  $0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow \sigma_{\text{con}}$  (持荷 5 min 锚固)<sup>[3]</sup>, 本文提出一种四级张拉技术:

1) 第一级: 张拉力由 0 升至初张力  $\sigma_0$ , 初张应力值为设计应力值的 15% (初张应力值根据预应力筋长短进行调节), 持荷时间为 45 s, 初张目的为消除预应力束的非弹性变形, 使预应力筋处于拉直状态;

2) 第二级: 张拉力由初张力升至二级张拉力  $\sigma_1$ , 二级张拉应力为设计应力值的 30%, 持荷时间为 45 s;

3) 第三级: 二级张拉力  $\sigma_1$  升至三级张拉力, 三级张拉应力值为设计应力值的 50%, 持荷时间为 45 s, 设置三级张拉应力的目的是使预应力筋适当回缩, 避免预应力筋扭绞点处的应力集中导致断丝、断股情况发生;

4) 第四级: 三级张拉力升至终张力, 终张持荷时间为 300 s, 终张持荷旨在减少预应力的松弛损失, 使预应力筋内部的应力更加均匀和稳定,

同时加速箱梁预应力的建立。

四级张拉技术相比传统张拉过程, 存在如下优势:

#### 1) 确保结构性能

通过四级张拉可以将预应力逐步、均匀地施加到结构中。这样能够避免一次性施加过大预应力导致结构瞬间变形过大或出现局部破坏。使结构在预应力的作用下逐渐适应, 确保结构的整体稳定性和安全性。

每一级张拉都可以对应特定的应力值, 从而实现对预应力大小的精确控制。根据结构的设计要求和实际情况, 合理调整每一级的张拉力度, 使结构在不同阶段达到最佳的应力状态, 充分发挥预应力的优势, 提高结构的承载能力、刚度和抗裂性能。

#### 2) 保障施工质量

在四级张拉过程中可以对施工工艺进行不断优化。根据每一级张拉的结果和反馈, 调整张拉设备的参数、施工方法和操作流程, 提高施工的精度和效率。

#### 3) 提高工程可靠性

分阶段的四级张拉可以降低施工风险。如果在一次性张拉过程中出现问题, 可能会导致严重的后果, 如结构破坏、人员伤亡等。而四级张拉可以将风险分散到各个阶段, 即使在某一级张拉中出现問題, 也可以及时控制和处理, 减少损失。

### 5 施工中的问题及处理措施

实际施工过程中, 主线桥第十六联横梁束张拉时, 锚口位置出现了混凝土被压裂、压塌陷的情况。现场立即停止张拉作业, 拆除了锚具和锚垫板, 经检测发现锚口位置混凝土强度不足且存在空洞。凿除松散混凝土, 重新安装锚下加强钢筋及锚垫板, 并采用高强细石混凝土修补, 锚下混凝土达到设计强度后, 在锚垫板与工作锚之间加垫加强钢板重新对预应力筋进行张拉。后续施工中加强对混凝土原材料及拌合质量的重视, 加强振捣并养护到位。

在主线桥第五联腹板束张拉时出现了断股现象, 拉断预应力筋拽出孔道后, 发现断开处有割伤情况, 说明预应力筋穿束前受到损伤, 更换预应力筋并重新进行张拉, 后续施工中加强对预应力筋的保护, 远离施工现场切割器具、电焊器具, 并做好防腐、防锈措施。

6 施工效果

由 16 股预应力筋组成，两端张拉，设计控制应力 3 000 kN，张拉记录表如表 1 所示。

主线桥第二十三联齿块 TD2(YM15-16)束

表 1 齿块 TD2 预应力束张拉情况记录表

千斤顶 编号	一级张拉		二级张拉		三级张拉		四级张拉		回缩 值/mm	顶内伸 长量/mm	单端伸长 量/mm	总伸 长量/mm	理论伸长 量/mm	伸长量 误差/%
	一级力/ kN	伸长量/ mm	二级力/ kN	伸长量/ mm	三级力/ kN	伸长量/ mm	终张力/ kN	伸长量/ mm						
1 号	445.9	28.1	895.9	38.9	1 506.3	56.2	3 002.4	88.6	5.6	4	61.7	115.9	116	-0.09
3 号	448.1	25.3	925.6	34.7	1 503.4	54.3	3 008.5	79.5	5.4	4	54.2			

由表 1 数据可知，1 号千斤顶终张力为 3 002.4 kN，与设计控制应力偏差为 0.08%；3 号千斤顶终张力为 3 008.5 kN，与设计控制应力偏差为 0.28%；偏差值均小于规范规定±5%<sup>[3]</sup>；实际总伸长量为 115.9 mm，理论伸长量为 116 mm，偏差值为-0.09%，小于规范规定±6%<sup>[3]</sup>。通过严格控制张拉施工每个工序操作要求标准，并保证预应力筋线形平顺，采用四级张拉施工技术，实际张拉力及伸长量与理论数据非常接近，满足施工要求。

7 结语

本文以厦门第二东通道工程为实践基础，深入探讨了预应力张拉工艺的关键步骤及操作原理，针对施工过程中可能遇到的质量问题，提出了切实可行的处理措施，形成了本工程的施工经验，

并重点把控张拉力的施加控制、波纹管及千斤顶安装等关键技术要点，得到了较为精准的张拉结果数据。未来需注重材料创新与优化，研发更高强度、耐腐蚀的新型预应力筋及锚夹具，以提高箱梁的承载能力和使用寿命；利用物联网、大数据、人工智能等技术，实现对后张法预应力现浇混凝土连续箱梁施工过程的智能监测，实现对施工过程的全面监测和预警，为桥梁工程的施工提供更有力的技术支撑。

参考文献：

[1] 范振军. 现浇混凝土连续箱梁后张法预应力张拉施工技术[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(4): 89-92.  
[2] 陈红亮. 现浇箱梁预应力张拉施工工艺技术分析[J]. 工程建设与设计, 2020( 22): 138-139.  
[3] JTG/T 3650—2020, 公路桥涵施工技术规范[S].