

# 浙江省慈溪市体育场钢屋盖钢绞线斜拉索施工

盛为光 钱惠敏 忻鼎康

**【摘要】**钢绞线斜拉索技术在桥梁工程中应用比较广泛，但在公共建筑中应用不多。浙江省慈溪市体育场钢屋盖斜拉索的设计与施工，为我国建筑工程预应力斜拉索的设计与施工进行了有益的探索，并取得了较好的外观和使用效果。

**【关键词】** 钢屋盖 框架柱 斜拉索 计算机模拟

## 1. 工程概况

该工程位于慈溪市新城大道-开发大道交会处，总建筑面积16000m<sup>2</sup>，建筑高度31m。本工程看台及附房采用钢筋混凝土结构，南北两侧主看台屋盖采用钢结构网架体系，共有34榀框架柱，其中每一榀框架柱上部悬挑一榀网架钢箱梁，悬挑长度为12.97~18.55m。钢箱梁设置上部斜拉索和下部稳定索。框架柱竖向设置后张法有粘结预应力束。该工程由浙江省建筑设计研究院设计，龙元建设集团股份有限公司承建。其中预应力专项工程由上海建科预应力技术工程公司负责施工。

### 1.1 结构体系

屋盖体系由钢网架，混凝土预应力框架柱和预应力斜拉索组成。

1.1.1 预应力筋布置方案：按设计要求，本工程预应力布置分为两大部分①斜向预应力拉索②框架柱内竖向有粘结预应力筋。

1.1.2 预应力拉索分为上部斜拉索和下部稳定索两种。分别配置6×15.24钢绞线和4×15.24钢绞线。每榀框架柱上下各配置一根索，计34榀  
盛为光、钱惠敏：上海建科预应力技术工程公司

框架柱，共计68根索。框架柱内竖向预应力筋配筋为2束3×Φ15.24+2束5×Φ15.24。

### 1.2 主要材料选用

1.2.1 拉索材料选用：斜拉索材料采用6×Φ15.24镀锌钢绞线，稳定索采用4×Φ15.24镀锌钢绞线。钢绞线抗拉强度标准值为1770N/mm<sup>2</sup>。柱内竖向索前索采用2束3×Φ15.24钢绞线，后索采用2束5×Φ15.24钢绞线。钢绞线抗拉强度标准值为1860N/mm<sup>2</sup>，延伸率>3.5%，有关技术指标符合美国ASTM A416-90a标准。柱内斜拉索，稳定索的预埋钢管分别采用Φ180×6.5和Φ152×5无缝钢管，柱内竖向索预埋钢管采用Φ54×3无缝钢管。

1.2.2 锚具选用：锚具系统选用OVM体系。框架柱内竖向预应力筋锚具采用OVM15-5体系。其中斜拉索和稳定索采用OVM2000拉索构造体系。OVM锚具是利用夹片与锚环孔间产生的尖劈效应形成锚固的一种锚具，具有可靠的自锚锚固性能。

1.2.3 锚具的质量要求：I类锚具，符合《预应力筋用锚具，夹具和连接器应用技术规程》

GB/T14370-93的规定。锚具效率系数 $\eta_p \geq 0.95$ 。

## 2. 工艺流程

根据本工程的特点, 预应力施工顺序为:

2.1 配合框架柱施工, 由测量定位预埋框架柱内拉索钢管及预埋框架柱竖向预应力孔道钢管及锚垫板。

2.2 框架柱混凝土浇捣完毕后, 竖向预应力筋穿索。

2.3 待混凝土强度达到设计要求, 竖向预应力筋张拉, 灌浆。

2.4 钢网架箱梁吊装完毕后, 测量, 调整框架柱预埋拉索钢管与钢箱梁对直度。

2.5 安装上下钢管间高密度聚乙烯 (PE) 管, 过渡套, 索箍, 热缩套。

2.6 斜拉索穿筋, 预紧。

2.7 测量钢网架最终结构形态, 索力调整。

2.8 安装橡胶减震装置, PE管密封处理, 安装锚具防松装置。

2.9 拉索钢管内灌浆。

2.10 切割锚固后多余钢绞线, 安装锚具保护套。

## 3. 框架柱竖向索施工要点

### 3.1 预埋竖向孔道钢管

在框架柱绑扎钢筋的同时, 安装竖向孔道钢管。安装采用承插的形式。钢管规格 $\phi 54 \times 3$ , 每节高度2.5~3.0m, 随框架柱混凝土浇捣的高度, 同步向上延伸。按照设计要求位置, 在钢管竖向高度1m左右焊“#”字型钢筋固定。同时对管口实行产品保护, 防止管内落物。

### 3.2 端部锚垫板安装

起始段和顶段钢管安装后, 需要安装端部锚垫板和螺旋筋。端部锚垫板必须与端部模板用螺栓固定, 同时应采用普通钢筋加以焊接固定, 以防止在浇捣混凝土时发生偏位现象。锚垫板安装

必须做到垫板面与孔道切线相垂直。

### 3.3 预应力索穿筋

在框架柱混凝土浇捣完毕后, 预应力张拉前进行竖向孔道穿筋工作。穿筋利用普通脚手架作为平台, 采用单根穿束法, 由上而下进行。穿筋前先对锚垫板表面进行清理, 然后安装好柱顶张拉端锚环, 在锚环每一孔内向下穿入钢绞线。当柱顶张拉端钢绞线工作长度满足要求后 ( $L=400\text{mm}$ ), 随即套上工作夹片, 并及时打紧, 打平。注意穿进困难时不能硬顶, 而应将钢绞线往复轻抽, 推, 转, 安装完上端锚具并打紧夹片后, 可以安装下端固定端锚具。

### 3.4 预应力张拉前准备工作

3.4.1 框架柱混凝土强度必须达到设计强度要求。

3.4.2 端部锚垫板清理干净。

3.4.3 张拉设备必须采用误差 $<1\%$ 的液压式压力试验机进行标定。

### 3.5 张拉工艺

3.5.1 由于OVM15-5夹片式锚具具有可靠的自锚特点, 为便于张拉, 采用在柱顶一端张拉的方法进行。张拉采用整束张拉法。

3.5.2 预应力筋张拉以应力控制为主, 用伸长值进行校核, 以便及时发现张拉过程中出现的问题。为了减少钢绞线松弛及孔道摩阻的影响, 采用超张拉法, 按一次超张拉 $1.03 \sigma_{con}$ 进行。

框架柱张拉控制应力 $\sigma_{con}$ 按设计要求:  $\sigma_{con} = 0.7f_{pk} = 0.7 \times 1860 = 1302\text{Mpa}$

整束张拉力前索 $N_p = \sigma_{con} \times A_p \times 1.03 = 1302 \times 140 \times 3 \times 1.03 = 563.1\text{kN}$

后索 $N_p = \sigma_{con} \times A_p \times 1.03 = 1302 \times 140 \times 5 \times 1.03 = 938.5\text{kN}$ 。

### 3.5.3 框架柱张拉程序为:

0— $10\% \sigma_{con}$ — $20\% \sigma_{con}$ — $103\% \sigma_{con}$ —

—持荷两分钟—卸荷至零

### 3.5.4 测量伸长值

10%  $\delta_{con}$ 时量取千斤顶活塞的伸长量L1, 20%  $\delta_{con}$ 时再量取千斤顶活塞的伸长量L2, 二者之差为钢绞线的实际推算伸长量。张拉达到103%  $\delta_{con}$ 时再次量取千斤顶活塞伸长量L3, L3-L1之差为钢绞线的实际张拉伸长量。实际张拉伸长量与实际推算伸长量之和与理论伸长值相比较误差不得超过+10%~-5%, 否则应停机检查原因, 予以调整后方可张拉。

## 4. 斜拉索施工要点

### 4.1 预埋柱内钢管

在框架柱钢筋笼成型后, 并且保证普通钢筋位置不再变化的前提下, 先进行钢管位置的初步测量, 并标注明显符号, 使预埋钢管实行初步定位。柱模板封闭后, 再次对钢管加以测量定位固

定, 防止浇筑混凝土时预埋钢管位置发生偏移。钢箱梁内的钢管在钢箱梁制作时已经定位固定, 待钢箱梁吊装时再结合测量定位, 保证其定位角度位置的准确。

### 4.2 预应力索穿筋

框架柱竖向预应力筋张拉完毕, 钢箱梁吊装定位后, 进行拉索穿筋工作。为安全起见, 穿筋前在预埋钢管的所有进出口搭设临时操作平台(2m×2m)。穿筋采用整束穿行法, 由斜管顶端往下穿。由于拉索长度较短, 所以, 只需在拉索的端头配置牵引绳, 采用人工穿筋。在穿束过程中, 必须同时套上中间段高密度聚乙烯PE管, 并将PE管部分材料用牵引绳或铁丝在空中临时固定。穿束完毕后在上下端分别装上锚环、夹片, 并打紧、打平。

### 4.3 拉索张拉计算机模拟

表1 第一榀斜拉索张拉力100kN时各钢梁施工支撑点反力分布

|    |          |        |        |         |         |        |
|----|----------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 樁号 | 1        | 2      | 3      | 4       | 5       | 6      |
| 反力 | -26.2794 | 0.8963 | 0.0370 | 0.0127  | 0.0021  | 0.0047 |
| 樁号 | 7        | 8      | 9      | 10      | 11      | 12     |
| 反力 | 0.0037   | 0.0040 | 0.0044 | 0.0044  | 0.0046  | 0.0051 |
| 樁号 | 13       | 14     | 15     | 16      | 17      |        |
| 反力 | 0.0057   | 0.0029 | 0.0039 | -0.0030 | -0.0193 |        |

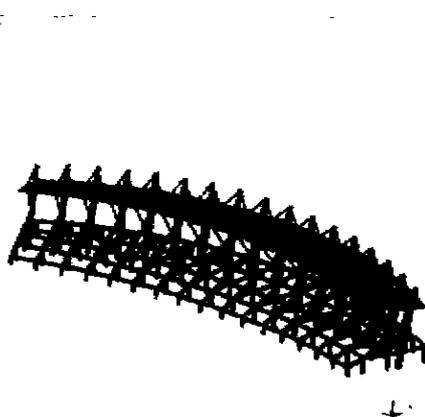


图1

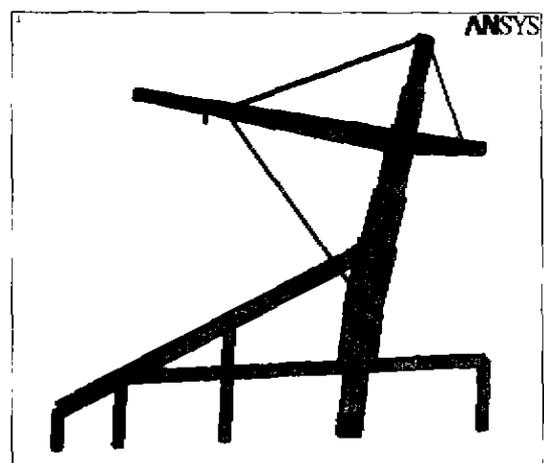


图2

钢箱梁正交纵向安装有型钢屋盖梁, 型钢梁铺设间距为2米。每榀框架梁拉索张拉时, 该框架梁的变形会通过屋盖梁力的传递, 引起相邻榀钢箱梁的变形及张拉索内力的变化。在制定张拉施工方案时, 必须考察此变化影响的大小程度。使用ANSYS程序建立的一侧看台的有限元模型如(图1)所示。一榀框架钢箱梁及拉索的有限元模型如(图2)所示。

现假定张拉施工从边榀跨开始。上部斜拉索张拉力为100kN引起的各榀框架钢箱梁临时支撑点的反力如(表1)所示。本榀的支撑反力为-26.28kN, 相邻第二榀的支撑反力为0.89kN, 减小到3.3%。其余各榀支撑反力的数值更小。计算表明, 张拉时各榀之间影响很小。因此, 每榀张拉时, 上部斜拉索和下部稳定索均可直接张拉到设计值, 后榀张拉不会影响到已张拉榀斜拉索和稳定索的索力。

每榀框架钢箱梁索张拉时, 均需准确计算出斜拉索和稳定索的张拉力。如果施工时索张拉力和分析计算不符, 当拆除该榀钢箱梁临时支撑时, 钢箱梁就会向上或向下位移, 偏离原支撑的设计标高。

通过有限元计算, 获得的斜拉索和稳定索所需的张拉力如(表2)所示。计算时统一设定稳定索的索力为0.25fptk, 各榀斜拉索的索力随每榀框架钢箱梁几何尺寸而不同。按(表2)的张拉力张拉, 各临时支撑拆除后, 各钢箱梁只产生稍许竖向位移。

4.3.1 张拉方案决定采用二套YC-25设备, 对一榀框架的上下索同时进行张拉。张拉从边上一榀开始, 往另一边进行。

4.3.2 张拉端全部设置在框架柱上, 钢箱梁内设置为固定端, 实行单根张拉。在张拉之前, 先将固定端锚具实行预紧, 预紧完毕后, 开始进

表2 钢箱梁施工支撑点反力为零时斜拉索和稳定索的张拉力

| 榀号 | 稳定索 (kN) |      | 斜拉索 (kN) |      |
|----|----------|------|----------|------|
|    | 张拉力      | 索力   | 张拉力      | 索力   |
| 1  | 260.4    | 0.25 | 497.1    | 0.32 |
| 2  | 260.4    | 0.25 | 465.3    | 0.30 |
| 3  | 260.4    | 0.25 | 449.6    | 0.29 |
| 4  | 260.4    | 0.25 | 459.5    | 0.29 |
| 5  | 260.4    | 0.25 | 467.2    | 0.30 |
| 6  | 260.4    | 0.25 | 460.7    | 0.29 |
| 7  | 260.4    | 0.25 | 451.4    | 0.29 |
| 8  | 260.4    | 0.25 | 448.9    | 0.29 |
| 9  | 260.4    | 0.25 | 447.7    | 0.29 |
| 10 | 260.4    | 0.25 | 449.2    | 0.29 |
| 11 | 260.4    | 0.25 | 451.7    | 0.29 |
| 12 | 260.4    | 0.25 | 463.2    | 0.30 |
| 13 | 260.4    | 0.25 | 467.2    | 0.30 |
| 14 | 260.4    | 0.25 | 460.2    | 0.29 |
| 15 | 260.4    | 0.25 | 450.0    | 0.29 |
| 16 | 260.4    | 0.25 | 465.1    | 0.30 |
| 17 | 260.4    | 0.25 | 497.6    | 0.32 |

行正式张拉。为了最终控制结构形态能够满足设计要求，便于索力的随时调整，减少工作夹片对钢绞线的损伤，具体加载时分二次施加预应力。

4.3.3 按照设计要求，单根张拉力如下：

斜拉索：控制应力  $\sigma_{con}=0.25f_{pk}=0.25 \times 1770=442.5\text{Mpa}$

张拉力  $N_p=\sigma_{con} \times A_p=442.5 \times 140=61.95\text{kN}$

稳定索：控制应力  $\sigma_{con}=0.2f_{pk}=0.2 \times 1770=354\text{Mpa}$

张拉力  $N_p=\sigma_{con} \times A_p=354 \times 140=49.56\text{kN}$

4.3.4 拉索张拉完毕后，对结构标高进行测量。有个别桶钢梁不满足设计要求，那就对其斜拉索或稳定索张拉力进行调整，减少预应力或提高预应力，使钢梁最终形态能够满足设计要求。

4.4 拉索张拉完毕后，在锚具，夹片上安装防松装置。在上下钢管口处安装橡胶减震装置，索箍、PE管与钢管连接。

### 5. 灌浆

所有预应力筋张拉完毕后，对孔道进行灌浆，以保护预应力筋。灌浆前，应对有粘结张拉端锚具间隙进行封锚处理。

#### 5.1 材料要求

采用425#普通硅酸盐水泥，水灰比0.4，水泥浆拌和后3小时泌水率不得超过2%，水泥浆稠度控制在18~22秒之间。水泥浆搅拌采用砂浆拌和机，拌好后的水泥浆必须通过滤网过滤，置于贮浆桶内，贮浆桶内的浆还应不时进行搅拌以保持水泥浆的均匀。

#### 5.2 灌浆工艺

灌浆由锚垫板灌浆孔灌入，压浆方向由下往上进行，以利于排除空气和防止出现灌空现象。压浆应缓慢，均匀进行，由灌浆孔灌入直至所有泌水孔冒出浓浆后，关闭机器，封闭所有出气孔，而后再次开启机器，保持一定压力，一分钟后再次关机，保持一定的稳定时间，以提高灌浆密实度。灌浆完后2h~24h内，对所有泌水孔进行人工重力补浆，补浆分多次进行，直至泌水孔浆体饱满为止。

#### 6. 锚具保护

灌浆、补浆完成后，切割多余钢绞线，露出锚具外的钢绞线长度不小于30mm，外加锚具保护钢套，钢套内注入环氧结构胶加水泥，最后细石混凝土封闭，以达到全封闭目的。

## 华东预应力研究中心第五届第二次常务理事会在柳召开

10月16日，十九位华东预应力研究中心常务理事、预应力专家会聚龙城，出席华东预应力研究中心第五届第二次常务理事会。

中国工程院院士吕志涛和机械部四院申昌明院长分别主持了上午和下午的会议。会议听取了中心主任、东南大学教授孟少平对中心一年来的工作汇报，珠海分部经理杨宗放教授汇报了珠海

分部一年来的工作情况。各成员单位也分别就各自在预应力技术的推广应用方面的情况进行了交流。到会专家还就审定《现代后张预应力与验收规程》和“预应力砼工程质量通病与防治措施”主题发言有针对性进行了探讨和交流。

17日下午，与会专家参观考察了柳州市建筑机械总厂的生产、开发、试验情况。 ●何晓顿