

# 宿迁市文体馆预应力网壳结构施工技术

冯良慈 梁文彬

**【摘要】**在网壳中施加预应力，可以有效地调节各杆件及球节点内力，减小结构变形，同时可以平衡网壳在支座处产生的水平推力。本文结合工程实践，介绍了预应力筋在网壳中布置形式及相关的预应力施工技术。

**【关键词】**网壳 球节点 预应力 支座

## 1. 工程概况

宿迁市文体馆位于宿迁市新区内，采用预应力网壳结构。其中建筑主体结构采用钢筋混凝土框架，屋盖部分采用预应力网壳结构，网壳厚为3m。该馆总建筑面积约10000m<sup>2</sup>，可容纳观众4300人。屋盖采用双曲抛物壳面，其支承点间跨

度纵向为80m，横向62.5m，平面投影为椭圆形，展开面积约为6000m<sup>2</sup>，主体结构平面横向对称，纵向不对称，屋盖两端翘起高差约为3m，其立面效果见图1，平面展开图见图2。

由于宿迁市位于9°抗震设防区，因此为了减小水平地震作用对网壳结构的影响，本工程采

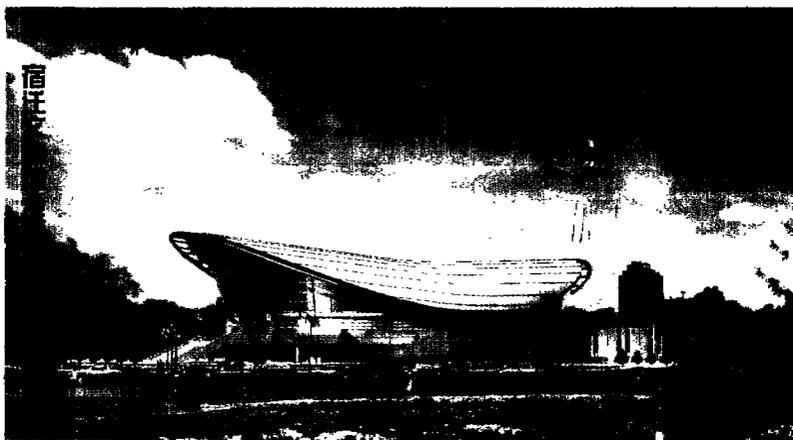


图1 宿迁市文体馆建筑透视图

冯良慈、梁文彬：江苏新筑预应力工程有限公司（原南京三建预应力工程公司）

用了基础隔震技术。同时考虑到 $80\text{m} \times 62.5\text{m}$ 巨大的网壳支承在 $4 \sim 9\text{m}$ 不等的独立柱上,而独立柱无法抵抗网壳产生的巨大水平推力(计算表明支座固定后最大水平推力达到 $480\text{kN}$ )。为确保主体框架在地震和温差等因素的作用下能安全工作,特在横向中间的6榀桁架下弦杆内布置 $8U \phi 15.2$ 无粘结钢绞线束,通过张拉预应力钢绞线来达到平衡网壳在柱端所产生的水平推力,预应力筋在网壳中的平面布置见图2,束型见图3。

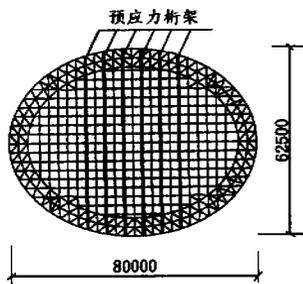


图2 网壳下弦平面布置示意图

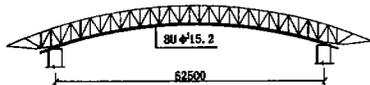


图3 预应力钢绞线束型图

## 2. 工艺流程

基础及柱施工 → 网壳分段制作(地面制作) → 分段穿钢绞线引导绳 → 网壳就位、安装; 钢绞线引导绳连接 → 搭设穿束、张拉工作平台 → 第1次张拉预应力筋 → 安装屋面板、暖通及灯光等设备 → 第2次张拉预应力筋 → 锚具端部防腐处理 → 安装锚具防松罩、密封罩 → 固

定支座 → 拆除脚手架

## 3. 预应力筋铺设工艺

本工程由于采用无粘结预应力筋,且预应力筋在网壳的下弦杆内穿过,因而预应力筋铺设施工务必与网壳的安装协调好,避免穿束工作受阻。同时由于预应力筋张拉端要与网壳球节点进行焊接,因此节点的处理较为复杂,施工精度要求较高。下面结合工程实际分别予以介绍。

### 3.1 无粘结预应力筋的选用

由于本工程无粘结预应力筋将在网壳下弦杆内长期放置且不进行其它封闭处理,故网壳施工完毕后,虽然整个杆件在使用期间密封,但杆件内仍充满了残余空气,残余空气必然导致无粘结筋外包塑材料的老化,若处理不当,将影响整个构件的耐久性,严重的甚至危及构件的安全。因而本工程所采用的无粘结预应力筋的外包层为双层聚乙烯套管,并且严格控制涂包质量。

### 3.2 预应力孔道的成型

本工程预应力筋束在网壳下弦杆内穿行,因此其孔道的成型较为简便,施工中只需处理好空心球与杆件之间的节点问题即可,具体做法如下:

首先在空中球与杆件相交部位开洞,以便于钢绞线的穿行,然后在此开洞节点处附加 $\phi 76 \times 4.5$ 的钢管,以补足节点强度。钢管要与球节点密封焊接且要与网壳杆件同心。迎着钢绞线

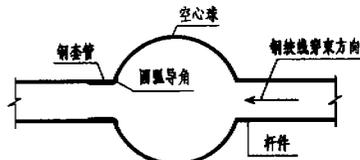


图4 空心球与杆件节点处理示意图

穿行方向的钢套管伸入空心球内30mm左右,且伸出部分的钢管切开4个切口,外翻制成喇叭状(见图4),以减小无粘结筋穿束时的阻力,并防止钢管棱角划破无粘结筋塑料外套。

### 3.3 穿无粘结钢绞线束

由于本工程无粘结预应力筋所处环境的特殊性,因而除了要对无粘结预应力筋的涂油包塑提出特殊要求外,在施工期间尚要加强对无粘结筋的保护工作,同时由于无粘结筋较长,因而穿束工作也较为困难、复杂。

#### 3.3.1 放置引导绳

由于网壳和主体结构体型复杂,因而网壳的安装采用地面分段制作,高空散拼法。本工程预应力部分的网壳分为4段拼装。施工时首先在地面将整幅网壳分为4段制作,制作的同时,要在杆件内放置预应力筋分段引导绳,各段引导绳露出杆件外的部分要进行临时固定。网壳高空拼装焊接时,应将相邻的引导绳连接,使分段引导绳在杆件拼装完成后,连成一根引导绳。

#### 3.3.2 穿牵引绳

为了便于施工操作,一般引导绳采用粗铁丝,因而其强度不足以承担牵引钢绞线束的牵引力,因而施工中通过引导绳要换穿一根钢丝绳为牵引绳,钢丝绳强度要足以承担穿束时的牵引

力。

#### 3.3.3 安装承压环

由于张拉力是通过锚具传递给承压环,然后由承压环传递给空心球,从而在球节点处产生一向内的平衡力,用于平衡网壳产生的向外的水平推力。因而施工中除了要确保承压环自身有足够的承载能力外,尚要验算空心球的局部承压情况,以防止空心球内陷、失稳。同时在安装承压环时,尚应保证承压环与空心球之间的焊接质量,以确保空心球内部密封,防止钢绞线束及空心球的内部老化、锈蚀。本工程张拉端球节点的安装示意图见图5。

#### 3.3.4 穿束

首先在牵引绳的一端安装特制的穿束器,然后将已编好架的钢绞线束逐根导入穿束器并进行预紧。在桁架的另一端安装固定好穿束机,待一切准备就绪,即可开动穿束机,从而完成穿束工作。

在穿束过程中应注意以下几个问题:

(1) 无粘结钢绞线进入杆件前要保证有2~3m的平直段,以防杆件口划伤钢绞线塑料外套;

(2) 施工期间保护好预应力筋的外套管,发现有破损现象,则该根无粘结筋进行报废处

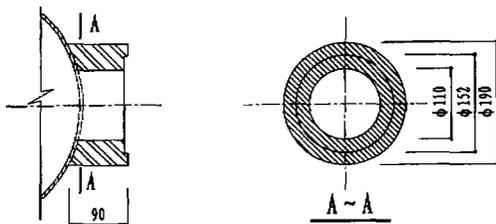


图5 张拉端球节点安装示意图

理, 严禁缠裹处理后继续使用;

(3) 处理好网壳杆件内表面, 特别是空心球与杆件相交处的节点要进行相应处理(见预应力孔道的成型部分)、避免杆件内的棱角划破无粘结筋外护套管;

(4) 穿束遇阻, 不得强行穿束, 而应重新穿束, 且重新穿束前要检查无粘结筋护套管情况。

#### 4. 预应力筋张拉及端部处理

##### 4.1 预应力筋张拉

根据不同时期屋盖部分的荷载情况, 本工程预应力筋张拉分两个阶段进行:

第一阶段: 在网壳安装完毕后进行。首先安装好锚板(不安装夹片), 对所有预应力束进行空拉, 以达到预紧及调匀预应力束的目的(空拉应力为:  $0.1f_{pk}$ )。空拉结束后, 安装好锚具夹片, 再依次、对称张拉所有预应力筋束, 张拉控制应力为  $0.1f_{pk}$ , 待所有 6 束预应力筋张拉至  $0.1f_{pk}$  后, 再按照同样的方法和顺序张拉所有预应力筋束至  $0.2f_{pk}$ , 从而完成第一阶段的张拉。

第二阶段: 在屋面板铺装、管道灯光架设等完毕, 全部恒载作用后进行。张拉的顺序、方法与第一阶段相同, 张拉控制应力为  $0.3f_{pk}$ 。

##### 4.2 较支座的处理

预应力筋张拉结束后, 柱端的预应力便有效地平衡了网壳在柱顶产生的向外推力, 从而使整个结构达到一种平衡状态。此时即可锚固柱顶的螺栓, 使得网壳与下部柱子牢固连接。

##### 4.3 防松罩的安装

由于该工程位于  $9^\circ$  抗震设防区, 而预应力筋自身的张拉控制应力又较小, 锚具的锚固力较小, 为了防止在地震等剧烈震动作用下, 锚具的夹片发生滑脱现象, 特在紧贴夹片部位安装了防松罩(图 6), 防松罩安装过程如下:

首先在锚具安装之前, 在图示位置打 3 个螺孔, 然后加工一块厚 10mm 与锚具同等大小的钢板, 并在钢板同样的位置相应打 3 个孔, 待预应力筋张拉结束后, 通过螺丝使得钢板紧贴于锚具表面, 从而达到防止夹片松动的目的。

#### 4.4 张拉端防腐保护

由于张拉端锚具不象普通预应力构件一样埋置于混凝土内, 因而若不对预应力筋束端部进行处理, 将会导致预应力端部配件锈蚀, 因而必须将其端部进行相应处理。本工程张拉端防腐处理方法如下:

首先制作一个与锚具配套的密封罩, 待预应力筋张拉结束后, 切除外部多余的钢绞线, 然后按照图 6 的方法使得密封罩与承压环密封连接, 连接完成后, 通过油嘴向密封罩内灌注黄油, 直至黄油充满整个密封罩, 然后密堵注油嘴, 从而使密封罩内部与外界隔绝, 最后在密封罩的表面及承压环外露部分涂上一层防腐漆, 从而使整个张拉端与外部空气隔绝, 达到防腐的目的。

#### 5. 结束语

本工程通过在部分桁架下弦杆中施加适当的预应力, 从而有效地平衡了网壳在支座处产生的向外水平推力, 并且调整了杆件的内力。通过施工时对支座位移及部分关键点挠度进行监测, 基本达到设计要求。

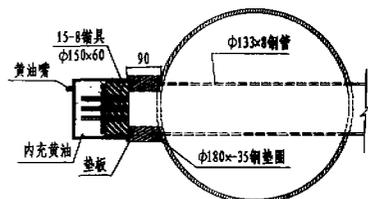


图 6 预应力筋张拉端详图