

# 超长大面积混凝土楼面结构无缝施工技术

杨中源,程建军,汪仲琦

(中国建筑第八工程局三公司,江苏 南京 210046)

[摘要] 介绍了南京奥体中心体育场超长大面积混凝土楼面结构无缝施工的设计要求和施工方法,施工中采取了合理的分段分块施工和超长预应力筋的张拉措施,使楼面结构工程顺利完成。

[关键词] 混凝土工程;楼面结构;无缝设计;预应力;施工缝

[中图分类号] TU755.69;TU757.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2004)04-0013-04

## Jointless Construction Technology of Ultra-long Large Area Concrete Floor Structure

YANG Zhong-yuan, CHENG Jian-jun, WANG Zhong-qi

(The Third Company, No.8 Construction Bureau of China, Nanjing, Jiangsu 210046, China)

**Abstract:** In this article, authors introduce design requirements and construction methods of the jointless construction of the ultra long large area concrete floor structure of Nanjing Olympic Sports Center Stadium. In construction, Engineers adopted proper segmentation and partition construction and tension measures for ultra-long prestress reinforcement in order to ensure the construction quality of the floor structure project.

**Key words:** concrete engineering; floor structure; jointless design; prestress; construction joint

南京奥体中心主体育场外围呈圆形,半径 142.8m,周长约 900m,内侧近似椭圆形,长轴长 195m,短轴长 132m,周长约 545m。看台范围东西宽、南北窄,最大宽度 75m,最小宽度 45.3m。建筑面积为 133600m<sup>2</sup>,其中首层面积约 44000m<sup>2</sup>,无变形缝,属于超长大面积混凝土楼面结构。

主体育场为 7 层钢筋混凝土框架-剪力墙结构,分为东西南北 4 个看台区,底层层高为 7m,其余层高为 4.8m。主体结构按 7 度抗震设防,混凝土强度等级 C40。

### 1 设计要求及施工重点、难点分析

环向梁和看台板为无粘结预应力,径向梁为有粘结预应力。环向梁宽 400~600mm,梁高 850~1200mm,最大跨度 14.6m,呈弧形。径向梁宽 600mm,高 900~1600mm。巨型钢双拱南北区低、东西区高,跨度达 360.4m,以 45°角斜倚在屋顶上。为了加强大跨度钢拱的整体刚度,在南北区 K 轴位置,从 5~26m 标高的竖向设计有 8 根直径 1.2m 预应力钢筋混凝土圆柱,柱高约 21m。整个工程预应力钢筋均采用 1860 级低松弛钢绞线,总量达 1510t。

体育场在东、西、南、北 4 个区的相邻区域设计有 4 个钢筋混凝土后浇施工跨,后浇跨宽 8.41~11m,混凝土楼面径向长 48m,从而形成整个建筑物为不设置变

形缝的无缝结构(见图 1)。

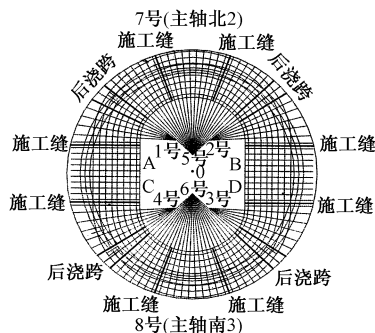


图 1 后浇跨、施工缝及平面轴线控制点位置示意

从上述情况可以看出,大面积超长预应力结构施工是施工过程的重点之一,施工中要根据东、西、南、北区的不同面积划分不同施工段,在进行超长预应力混凝土施工时,在材料选择和施工方法上,必须采取可靠的措施,才能达到在施工期和使用期均不出现有害的收缩和温度裂缝。

### 2 混凝土楼面结构无缝施工

#### 2.1 施工方案

[收稿日期] 2004-01-05

[作者简介] 杨中源(1953—),男,甘肃酒泉人,中国建筑第八工程局三公司高级工程师,南京市尧化门 210046,电话:13182930891

东区与西区、南区与北区位置对称、尺寸相同,东西区平面尺寸比南北区大,现仅以东区为例,介绍混凝土楼面(梁板)预应力施工工艺、施工方法。

东区外圈弧长约 280m,内圈弧长约 190m,径向长 78~48m(可变)。施工时通过施工缝将其分成 4 个施工段(见图 2),分别进行各施工段混凝土浇筑。在 1、2 块与 3、4 块之间各设 2m 宽施工缝,作为环向预应力张拉的工作面,在 1 和 2 块之间设一般的施工缝,以减少混凝土一次浇筑量,环向预应力筋分为 1、2、3 段分别进行张拉,混凝土分段施工。

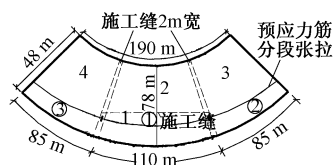


图 2 混凝土分段施工、预应力筋分段张拉示意(东区)

## 2.2 楼面混凝土结构施工

### 2.2.1 原材料和配合比设计

主体结构混凝土强度等级为 C40,为避免出现收缩和温度裂缝,在楼面和看台混凝土结构中掺加了外加剂和外掺料,楼面梁板 C40 混凝土每  $\text{m}^3$  材料用量: P O42.5 水泥 410kg、2.5mm 江砂 688kg、5~31.5mm 石子 1077kg、JM-8 外加剂 6.44kg(具有缓凝、泵送和高效增强作用)、水 175kg、级粉煤灰 50kg、聚丙烯纤维(丹强丝)0.8kg。看台(露天结构) C40 混凝土每  $\text{m}^3$  材料用量: P O42.5 水泥 367kg、2.5mm 江砂 710kg、5~31.5mm 石子 1065kg、JM-8(B) 外加剂 33kg(具有抗裂、防渗和高效增强作用)、水 175kg、级粉煤灰 50kg、聚丙烯纤维(丹强丝)0.8kg。

### 2.2.2 模板和支撑杆件的选用

本工程框架梁截面尺寸和跨度都比较大,径向 8m,环向达 14.6m,采用碗扣式和扣件式脚手作支撑体系,12mm 厚竹夹板和九夹板作大模板,直径 0.8m 圆柱用 4mm 厚钢板、1.2m 圆柱用 5mm 厚钢板作定型模板面板。对大跨度梁的支撑系统,施工前进行了支撑的设计计算,确保支撑的稳定可靠。

### 2.2.3 钢筋工程施工

先绑扎施工梁底非预应力筋,再安装无粘结筋和有粘结筋波纹管,然后穿有粘结筋,并根据设计要求,确定无粘结筋和有粘结筋的矢高,然后绑扎梁的上部钢筋和楼板钢筋。

### 2.2.4 混凝土楼面结构分块浇筑施工

按上述划分的施工区段,采用泵送混凝土,分段浇筑。在每一施工区段内,一次性浇筑完毕,不允许出现冷接缝。当 1 区段混凝土浇筑完毕,其强度达到设计强度 75%,即可在该段两端留置的施工缝位置进行预

应力筋的张拉。同时可进行第 2、3、4 段的模板、钢筋和混凝土的施工。

当第 1、2 施工段预应力筋张拉完毕,3 段或 4 段混凝土尚未浇筑,则 2m 宽施工缝的混凝土可与相邻段的混凝土同时施工。

分段混凝土楼面浇筑完毕后,应及时覆盖塑料薄膜、湿麻袋进行保温养护不少于 14d。

### 2.2.5 模板拆除

因框架梁跨度大部分在 8m 以上,必须达到设计强度,且预应力筋已经张拉完毕才能进行模板支撑的拆除。拆模时,先拆除现浇板下支撑,再拆除环向梁支撑,最后拆除径向梁支撑。

## 3 楼面结构预应力张拉施工

本工程预应力筋工程量大,预应力筋埋设长度长,张拉吨位大,配合工种多,施工周期长,张拉施工贯穿在整个主体的施工过程。现仅就东区 1 个施工区的分段施工、分段张拉工艺叙述如下:

### 3.1 设计要求

预应力筋均采用  $\phi 15.24\text{mm}$  1860 级低松弛钢绞线。锚具采用 A 类锚具,混凝土强度达到设计值的 75% 后,方可进行第 1 次张拉。预应力筋最终张拉控制应力  $\sigma_{\text{con}} = 0.7f_{\text{ptk}}$ ,预应力张拉端位于结构内,采用凸出布置,位于结构外采用凹入布置。

### 3.2 各分区楼面结构分段张拉施工

东区的预应力钢筋张拉时,中间段长约 110m,分别在两端张拉后采用连接器固定,两侧(第 1、2 段)分别采用一端张拉。为了给上层施工创造条件(最外侧共 7 层),由外侧向内侧进行逐根环向预应力筋的张拉。

先张拉环向无粘结预应力筋,再张拉径向(78~48m)有粘结预应力筋。超长结构采用二次张拉的方法。当先浇筑段的混凝土达到设计强度的 75% 时,进行第 1 次张拉,同一截面先张拉 20% 预应力筋,待混凝土强度达到设计强度时,进行 100% 预应力筋的张拉。张拉控制应力  $\sigma_{\text{con}} = 0.7f_{\text{ptk}} = 0.7 \times 1860 = 1302\text{N}/\text{mm}^2$ ,环向预应力筋采用逐根张拉,其张拉力为  $1302\text{N}/\text{mm}^2 \times 140\text{mm}^2 = 182280\text{N} = 182.28\text{kN}$ ,采用 YCW-23 穿心式千斤顶张拉。其额定张拉值为 230kN,能满足要求。

径向有粘结预应力筋,采用多根预应力筋(每束 6~7 根)成束张拉,第 1 次每束张拉 20% 控制应力,混凝土强度达到设计值时,进行第 2 次 100% 控制应力的张拉。每束张拉力为  $7 \times 182.28\text{kN} = 1276\text{kN}$ ,采用 YCW-150 穿心式千斤顶进行张拉,其额定张拉力为 1500kN,可满足张拉要求。

由于环向和径向都施加预应力来抵抗楼板内的收缩应力和温度应力,从而有效地克服了超长结构在另

一个方向产生拉应力的可能。

施工中,对超长束预应力筋的张拉,还采用了超张拉回松技术的张拉工艺,消除由于超长而产生的松弛对预应力的损失。

主体结构从4月开始到12月施工完毕,其中2层楼面梁板预应力张拉时,正值夏季,室外气温高,且在混凝土中掺加了增强剂,在混凝土浇筑仅5d时,经工地同条件养护试块试压,混凝土强度分别达到79%、88%、90%,即组织了第1次张拉,从而有效控制了混凝土超长结构早期收缩裂缝的出现。

东区46~55/E~F轴顶层看台,于11月3日浇筑混凝土,经11月18日同条件养护试块试压,强度分别达到36.4、39.9、37.7MPa,由于已经进入冬季,室外气温低,混凝土浇筑经15d后才进行张拉。

### 3.3 竖向预应力筋张拉施工

每根竖向无粘结预应力柱采用3束、每束6 $\phi$ 15.24mm钢绞线。当施工到5m标高时,将预应力筋埋入柱内。根据预应力筋的布置,找出其具有代表性的几个空间定位所在的平面,通过柱筋加以固定,然后焊接定位固定,并随着柱施工进度,逐层将盘放的预应力筋整理就位、固定。

当楼层施工到26m标高的柱位置,且楼层的环向、径向预应力筋已经张拉完毕,26m以下柱混凝土强度达到75%设计值时,即可逐根进行预应力筋的张拉。在5m标高采用QM型挤压锚预埋在柱内。在26m标高采用QM型夹片锚,张拉工艺和张拉力同环向预应力筋的一端张拉方法。

### 3.4 预应力筋接头和支承锚具

#### 3.4.1 预应力筋的接头要求

为便于施工,50%的预应力筋采用连接器,作为无粘结预应力筋的连接接头,另外50%的预应力筋采用交叉连接。其接头形式如图3所示。

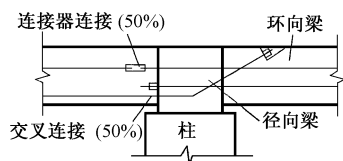


图3 预应力筋连接接头示意

#### 3.4.2 环向无粘结预应力筋接头。

上述连接器仅用于超长无粘结筋的先张拉端,该连接器长130mm,外径60mm,壁厚约8mm,在锚固预应力筋之间有20mm空隙,在其一端内壁带有丝扣,当张拉端张拉应力值稳定后,就可将连接器与张拉端单孔锚固定。锚头内侧呈大小头,在预应力张拉时得到紧固,连接器的另一端就形成固定锚,连接器与张拉端单

孔锚的连接如图4所示。

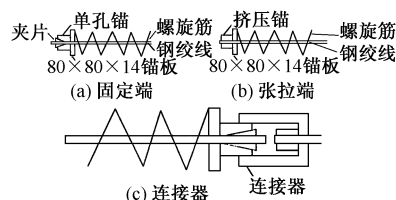


图4 环向无粘结预应力筋接头示意

#### 3.4.3 径向有粘结预应力筋接头

径向预应力筋采用群锚张拉,群锚一次张拉最多达6~7根 $\phi$ 15.24mm 1860级钢绞线,张拉支承点的最大应力达1270kN,如何保证径向梁群锚张拉的安全十分重要,张拉前不仅要核算径向梁端头截面的强度而且加强了张拉端头混凝土浇捣的质量管理,以及在建立初应力时,消除垫板的松动、预应力筋的松弛、孔道的摩擦等,使群锚张拉时每根钢绞线的受力均匀一致。

张拉结束后,进行孔道灌浆,为了加强灌浆密实性,在灌浆时掺加了具有低泌水、微膨胀新型外加剂——JMF-HF,用量为水泥用量的15%。

有粘结预应力筋固定端、张拉端如图5所示。

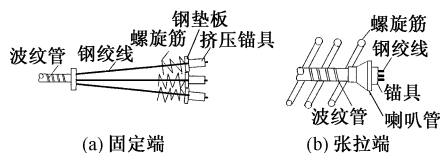


图5 有粘结预应力筋节点大样

### 3.5 后浇跨混凝土楼板施工

#### 3.5.1 设计要求

施工时在楼板梁上部预埋塑料管,并在梁的外侧做300mm×300mm挑梁,作为施工后浇跨的楼板支承。在后浇跨两侧混凝土全部浇筑完毕,环向和径向预应力筋全部张拉完毕,且室外最高气温低于15℃时,方可浇筑后浇跨混凝土,以减少混凝土内外温差,防止出现温度裂缝。后浇跨楼板预应力筋接头如图6所示。其中,张拉端与锚固端间隔设置。

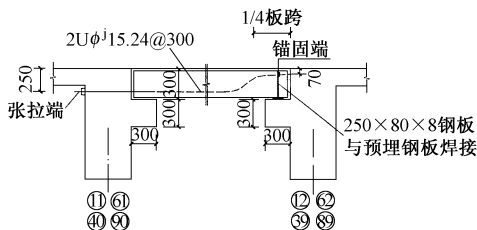


图6 后浇跨楼板预应力筋节点示意

混凝土强度等级C40,每 $m^3$ 混凝土中加入0.8kg聚丙烯纤维及8%水泥用量的JMF-HF外加剂。

#### 3.5.2 后浇跨楼板混凝土施工

施工从2层7m标高开始,逐层往上。支模、绑扎

钢筋预应力筋安装和混凝土浇筑施工,与主体分区结构施工方法相同。为了加快施工进度,4 个分区的混凝土楼板可组织 4 个分队同时进行。

### 3.5.3 后浇跨预应力张拉施工

在后浇跨混凝土强度达到 75 % 即可进行一端一次张拉,张拉控制应力为  $\sigma_{con} = 0.75f_{ptk}$ ,施工时超张拉 5 %。后浇跨楼板预应力张拉控制应力值比两侧各层楼面结构都大 5 %,并在施工时要求再超张拉 5 %。目的是使后浇跨楼板混凝土抵抗后期变形能力得到提高,从而有利于防止后期产生温度裂缝。

## 4 施工管理

(1) 本工程建筑规模大、造型复杂、施工范围广、施工高峰交叉作业多,施工前建立了精确的平面控制网。依据建设单位提供的 级城市坐标点(主轴南 3、北 2)为基准进行加密补充,形成 0、1、2、3、4、5、6、7、8 共 9 个平面控制点,组成一个 级平面控制网,从而能精确控制各部位的轴线位置(见图 1)。

施工过程中采用全站仪进行了竖向结构的垂直度、层高和水平距离的测量控制。

(2) 本工程后张法预应力筋的实际应力值较难测定,施工过程采用了“见证张拉”代替预应力实际值的测定。即张拉过程和结束时,要有监理工程师或建设

单位代表现场见证。

(3) 主体结构共留置混凝土试块 960 组,其中标养试块约 750 组,经试压,合格率 100 %。主体结构外观质量较好。

## 5 结语

(1) 通过环向和径向预应力的设计和设置后浇跨的做法,体现了“抗放兼备、以抗为主”的设计原则,从而控制了超长楼面结构出现裂缝。

(2) 施工中各分区合理规划施工段和超长预应力筋的分段张拉,以及严格按先环向、后径向张拉的程序。施工时用施工缝(2m 宽张拉工作面)代替后浇带,既简化了施工工序,也使先浇筑的混凝土完成一部分自由收缩,使设计“抗”和“放”的思路和原则在施工过程中得到了真正的体现。

(3) 施工中,根据室外最高温度和最低温度测量后浇跨中间部位约 9.7m 长的空间尺寸。经多次测量取得的变形值:当温差在 10 ° 时,变形值为 10mm;当温差在 30 ° 时,变形值约 30mm,远小于理论计算变形值 63mm。上述后浇跨的变形值就是体育场主体结构 1/4 长度的变形收缩值。上述数据充分说明对超长混凝土结构通过施加预应力来控制其产生温度裂缝的方法是完全可行的。

(上接第 62 页)

的 1.15 倍才行。这就必须引起我们的高度重视,少于 10 组试件时,不要以为每组强度值达到了 100 % 就行了,因为稍有不慎就会造成混凝土强度平均值达不到 1.15 倍标准值,检验批混凝土强度就会不合格。

(2) 即使混凝土试件留置数量超过了 10 组,不一定就没有问题。有时每一组混凝土试件的强度都达到了设计标准值,但采用统计方法评定时,也会发生不合格的现象。

某宿舍楼工程,有 C20 混凝土试件 14 组,其强度值分别是:29、27.3、27.8、24.7、23.2、22.2、28.6、24.6、29.6、37.8、23.1、24.3、24.6、52.9MPa。很明显,从数据看,每组试件强度都大于 20MPa。因  $n = 14$ ,可按统计方法评定,查 GBJ107-87 表 4.1.3 得  $\gamma_1 = 1.7$ ,  $\gamma_2 = 0.9$ ,通过计算得知混凝土的标准差  $S_{f_{cu}} = 8.06\text{MPa}$ ,平均值  $m_{f_{cu}} = 28.55\text{MPa}$ ,代入公式

$$m_{f_{cu}} - 1.7 S_{f_{cu}} + 0.9 f_{cu,k} \geq f_{cu,min} \geq 2 f_{cu,k}$$

得到的结果是:

因  $2 f_{cu,k} = 0.9 \times 20 = 18\text{MPa}$ ,小于最小一组试件强度值 22.2MPa,所以最小值的不等式成立。

又因为  $1.7 S_{f_{cu}} + 0.9 f_{cu,k} = 1.7 \times 8.06 + 0.9 \times 20 =$

31.702MPa,大于平均值 28.55MPa,所以公式中的平均值不等式不成立。这样就出现了该批混凝土不合格,工程不能验收。

非常明显,这是混凝土离散太大致使混凝土强度变化太大所造成。惟一的办法是要加强对混凝土配料准确性的管理。

## 4 关于混凝土强度的评定问题

### 4.1 标准养护试件的强度评定方法

按 GBJ107-87 中的统计方法和非统计方法评定。

### 4.2 同条件养护试件的强度评定方法

考虑同条件养护试件养护条件与标准养护的差异,包括温度、湿度等条件的差异,因此同条件养护试件检验时,可将同组试件的强度代表值乘以折算系数 1.10 后,按现行国家标准 GBJ107-87 评定。评定公式同上。

## 5 结语

混凝土分项工程对结构的影响极大,因此,正确检验评定混凝土强度至关重要。我们在工程施工中,无论是混凝土试件的养护条件,混凝土检验批的划分,混凝土试件留置数量,还是混凝土强度的评定,都要严格遵守现行规范的规定,才能保证工程质量。