

# 浙江黄龙体育中心主体育场网壳挑篷结构施工

周观根 张桂法

**摘要** 浙江黄龙体育中心主体育场挑篷采用斜拉索网壳结构,由网壳、内外环梁、斜拉索、稳定索等组成,网壳两边分别支承在外环梁(预应力砼梁)和内环梁(钢箱形梁)上,内环梁通过斜拉索悬挂在两端的预应力砼吊塔上,由此形成了一个由吊塔、斜拉索、内环梁、外环梁、网壳和稳定索组成的复杂空间结构。

根据结构的设计意图,网壳与环梁分别从两端(吊塔边)向中间安装,在中间合拢时要控制好温度;在安装过程中,网壳不能与内环梁相连,使得网壳的安装具有较大的难度。本文论述了网壳挑篷结构的安装工艺和方法,并针对如何控制屋盖结构合拢时的温度,怎样保证网壳与内环梁的同步施工而不相互影响等问题作详细的介绍。

**关键词** 网壳挑篷 温度控制 施工 合拢

## 一、工程概况

浙江黄龙体育中心位于杭州市黄龙洞风景区以北,为国内超大型综合类体育设施。中心占地935亩,包括主体育场、体育馆、游泳馆等场馆,工程被列为浙江省重点工程。

主体育场底部为直径300m的圆形,场内设400m的环形跑道,为标准足球场,观众席座数54000座,在建筑上首次将斜拉桥的结构概念运用于体育场的挑篷结构之中。体育场外环梁直径244m,挑篷外挑50m,观众席上无支柱,为一个无视觉障碍的体育场。该挑篷结构由吊塔、斜拉索、内环梁、网壳、外环梁和稳定索组成,总覆盖面积21000m<sup>2</sup>。网壳支撑于钢箱形内环梁和预应力钢筋混凝土外环梁上,而内环梁通过斜拉索悬挂在两端的吊塔上。吊塔为85m高的预应力混凝土筒体结构,筒体外侧施加预应力;外环梁为支承于看台框架上的预应力钢筋混凝土箱形梁;内环梁采用2200mm×1600mm×25(30)mm的箱形钢梁;网壳采用双层类四角锥焊接球节点型式;斜拉索与稳定索采用7Φ5高强度钢绞线。其结构简图见图1。

## 二、安装方法和施工工艺

体育场看台挑篷网壳结构安装方法较多,常见的有满堂脚手架高空散装法、滑移就位法、整体提升(顶升)法、分条(分块)吊装法等几种。根据设

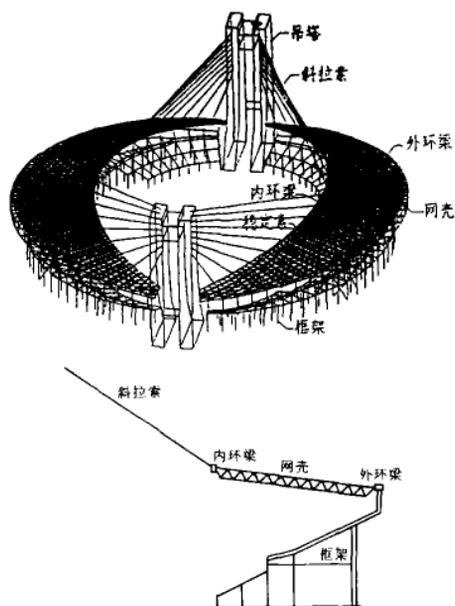


图1

计要求,网壳与内环梁分别从两端向中间安装,且在安装过程中网壳不能与内环梁相连,即网壳在

安装过程中只有外环梁可以作为支点。在结构没有合拢之前,网壳不能承受任何荷载(包括结构自重),必须设置临时支撑来进行网壳的安装。考虑到挑蓬是一个复杂的杂交结构,网壳最大外挑达50m,且网壳完成后安装斜拉索和稳定索时还需要使用工作平台等诸多因素,经过技术、安全、质量、进度等方面的综合分析,我们采用工作平台高空散装法进行安装。

工作平台沿着网壳下弦平面标高呈曲线形搭设,平台顶面标高距网壳下弦球节点中心500—700mm。工作平台要求能承受 $300\text{kg}/\text{m}^2$ 的荷载,其中靠近内环梁处宽度为3m范围内要求承受 $400\text{kg}/\text{m}^2$ 的荷载;同时在设置临时支撑的地方,要求能承受 $600\text{kg}/\text{m}^2$ 的荷载。由于设计要求网壳在合拢之前不能与内环梁相连,故在安装过程中有 $1/4$ 的下弦节点必须支承在工作平台(即临时支撑)上。

网壳安装前,我们采用全站仪对外环梁的支座预埋板位置进行了测量,对超过偏差的三个支座预埋板,经设计、监理、业主等研究,采用修改网壳的方案,即对局部杆件进行适当调整。安装时内环钢梁比网壳先提前一段(约14m)安装,网壳紧跟其后互不干涉,从吊塔的两端向中间安装。由于内环梁未合拢前,网壳不能与内环梁连接,在安装时,先把网壳的半球节点用经纬仪测量定位后与内环梁焊好,连接弦杆和腹杆暂时不装。此时,网壳自重除部分由外环梁支承外,其余有临时支撑来支承。在临时支撑处设可调支点,使下弦球节点的位置始终控制在设计位置。

在网壳结构的安装过程中用可调支点将网壳按跨度的 $1/1000$ 进行预起拱,各节点拼装时均设置可调支点调节节点的座标位置及钢管与球的同心度,使网壳的安装精度满足设计的要求。见图2。

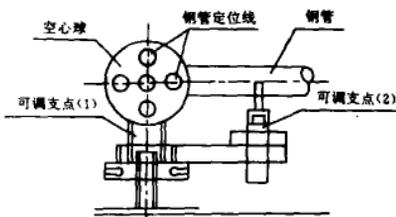


图2

### 三、结构合拢

网壳、内环梁的合拢以及网壳与内外环梁的连接合拢是挑蓬结构安装的关键所在,设计要求结构合拢时的温度控制在 $15^\circ\text{C}$ 左右(即使用情况下的平均温度),并在此温度条件下焊接成形。内环梁从吊塔的两端安装到中间后,在正中间设置了一段1m的嵌入段,一端焊好,一端留有伸缩缝,可随着温度的变化而伸缩。网壳中间合拢段以及与内环梁的连接合拢采用衬管。在合拢前,把杆件一端焊好,另一端在衬管处可以伸缩。在结构合拢阶段,已时值杭州的初冬季节,气温在 $5^\circ\text{C}$ — $20^\circ\text{C}$ 之间,经测量发现网壳与内环梁的连接缝随温度的变化达到每变化 $1^\circ\text{C}$ 相差1mm(深夜与中午约差15mm),因此必须在同一天内在设计要求的温度下将结构合拢。根据气象部门提供的信息,确定1999年11月20日上午10点至下午4点将结构全面合拢。为保证在有限的时间内为结构合拢提供充裕的时间,先将连接弦杆和腹杆安装上去,一端与焊接球连接并焊好,另一端将杆件内的衬管与内环梁上的半球焊好,但杆件仍可以随温度变化沿衬管伸缩,见图3。然后在确定的时间内,调动现场50多台焊机,将网壳与内环梁的连接杆件、网壳与外环梁的支座节点全部焊完,使结构顺利合拢。

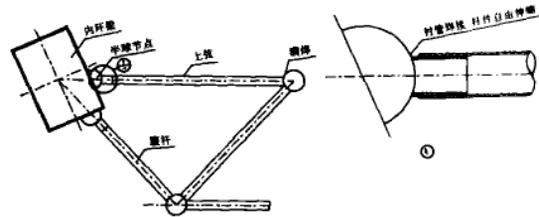


图3

由于本工程在安装前进行了充分的准备,制定了合理的安装方法、程序和施工工艺,使整个网壳挑蓬结构在2个月时间内顺利合拢。工程经浙江省质量监督站检测,安装精度及焊缝质量均满足规范及设计规定的要求。

### 四、结语

1. 类似此类大型的体育场挑蓬结构(特别是封闭结构),如采用焊接球节点网架(壳),在施工时必须考虑温度的影响。(下转第32页)

节约钢材、降低造价等原则来确定。

### 三、预应力空间网格结构的发展前景

在空间网格结构中施加预应力,这是建筑结构学科的新成就,这种新结构形式的发展前景是广阔的,但是目前为止,这一前沿的分支学科仍有许多课题需进行深层的理论分析与研究。

#### (一)结构的形式和结构的跨度

随着在空间网格结构中施加预应力及其它一些新技术、新方法的采用,使得空间结构具有了更大的跨越能力,这就使得建筑师有了更大的发挥想象的能力,设计出多种多样、造型美观的空间网格结构。对于结构工程的科研工作者,可以着手进行大跨度、超大距度的空间网格结构(例如跨度为500m以上,甚至1000m以上)的理论研究工作。

#### (二)结构计算的理论和方法

一般来说,空间网格结构往往有较为优美的建筑造型,这就给结构设计提出了更高的要求。选用何种计算模型,才能达到最高的计算精度。应研究复杂的空间网格结构在风荷载作用下的风载体形系数,为抗风计算提供依据。研究空间网格结构在风荷载作用下的动力反应、动力稳定性及相应的构造措施。研究大跨度空间结构在竖向及水平地震作用下的抗震分析、结构控制、消震方法与构造措施。应加强预应力空间网格结构、尤其是预应力网壳结构的非线性分析。

现在虽然已经有大量的网格结构的专用计算程序,但是要在预应力空间网格结构中采用,却还有待于继续研究,尤其是在计算理论方面。

#### (三)预应力空间网格结构的制作与安装

应大力研制和开发受力合理、构造简单、制作安装方便,且能定型化、标准化生产的新型节点体

系。改进和更新网格结构的加工工艺和设备,采用计算机程序控制的全自动化生产方法来加工制作杆件与节点,提高加工精度和生产效率,降低产品成本和造价。研究和开发新的施工方法和施工工艺,加快施工周期和降低施工造价。

在空间网格结构中采用预应力,具有广阔的应用前景,我们一定要大力进行这方面的研究,并尽量在更多的工程中采用,只有这样,才能通过理论与实践的有机结合,推动该学科不断发展,并通过工程实践使之更趋完善。

#### 参考文献

- (1)陆赐麟,预应力空间钢结构的现状和发展,空间结构,1995年,第1卷第1期:PP1—14。
- (2)董石麟,姚谏,网壳结构的未来与展望,空间结构,1994年,第1卷第1期:PP3—10。
- (3)马克俭,李晓红,韦明辉,段汝忠,预应力网格结构体系的研究与应用前景,空间结构,1994年,第1卷第2期:PP1—10。
- (4)姚念亮,李良勇,姜国渔,陈建,梁保荣,潘东楼,螺栓环节点与预应力组合网架的设计研究与应用,空间结构,1994年,第1卷第1期:PP39—46。
- (5)陆赐麟,预应力空间钢结构在我国的实践与展望,建筑结构,1998年,第1期:PP20—22。
- (6)董石麟,赵阳,周岱,我国空间钢结构发展中的新技术、新结构。土木工程学报,1998年,第31卷第6期:PP3—11。
- (7)尹思明,胡瀛珊,苟克成,董绍云,预应力钢网壳的某些静力性能研究,空间结构,1995年,第1卷第1期:PP38—47。
- (8)舒贻平,吕志涛,王培,预应力网架和组合网架的分析与研究,工业建筑,1997年,第27卷第7期:PP7—11。
- (9)董石麟,姚谏,网壳结构的未来展望,空间结构,1994年,第1卷第1期:PP3—10。

(上接第21页)

2. 通过本工程的安装,可以发现温度的变化对焊接节点网架(壳)的影响非常明显。采用连接杆件一端固定,一端滑动的方案,简单易行,能确保结构在要求的条件下合拢。

3. 网架(壳)安装前,必须对土建预埋件进行测量验收,发现存在偏差,必须提前制定合理的整改方案,否则将影响结构的安装质量和施工进度。

4. 采用可调支点对类似工程的安装、对结构

的挠度与精度的控制、对保证结构的安装质量具有重要的作用。

#### 参考文献

1. 赵基达等,浙江黄龙体育中心体育场挑蓬结构计算分析,第八届空间结构学术会议论文集,1997年10月
2. 网架结构设计与施工规程(JGJ7—91),北京:中国建筑工业出版社,1991
3. 上海市标准,网架结构技术规程(DBJ08—52—96),上海:1997