

预应力技术在奥运射击馆工程中的应用

徐焱¹ 周华¹ 沈敏霞² 刘凤阁²

(1.清华大学土建工程承包总公司 100084 2.清华大学建筑设计研究院 100084)

摘要: 本文介绍了预应力技术在奥运射击馆工程中的应用;其特点之一是:预应力温度筋集中配置在梁中,通过连接器的方式将预应力筋分段连接和张拉;其特点之二是:采用现浇预应力异型截面空心板,在方便施工的前提下提高了板的空心率。

关键词: 预应力 超长结构 空心板 连接器 异型截面

1. 工程概况

2008年北京奥林匹克运动会射击馆总建筑面积4.2万平方米,该射击馆造型新颖,为了满足使用功能并降低造价,采用了预应力超长结构和单向预应力空心板等多种形式的预应力技术。在本工程中,预应力技术的使用方式与以往工程比较有着显著不同的特点,对本工程设计经验的总结可以对以后类似工程的设计提供借鉴。

2. 预应力超长结构

2.1 工程特点及技术背景

射击馆的资格赛馆主体结构形式为钢筋混凝土框架结构,整个结构长266m、宽37m(首层57m),共3层(图1为三层楼面平面图)。为了保持结构的整体性,在266m的长向没有设伸缩缝。根据《混凝土结构设计规范》^[1]的要求,现浇钢筋混凝土框架结构室内或土中伸缩缝最大间距为55m,本工程超出规范规定的4倍,必须采取专门的处理措施。

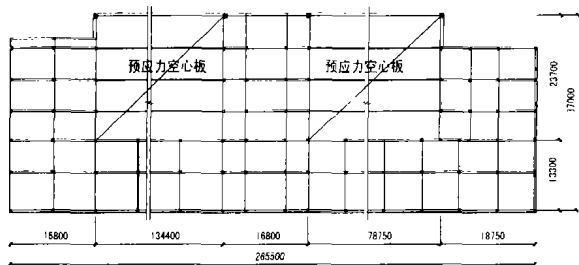


图1 三层楼面平面图

混凝土的抗压性能远高于抗拉性能^[2],若采用合理的措施预先在混凝土内施加压应力,靠这个压应力来抵消因温度降低而产生的拉应

力,防止混凝土由于温度应力而开裂,从而达到少设甚至不设伸缩缝的目的。根据已有的工程实践,合理采用预应力技术后,可以增大伸缩缝的距离甚至取消伸缩缝^{[3][4][5]}。

2.2 设计应力的取值

超长结构抵抗温度应力所施加预压应力大小的取值是一个比较复杂的课题,预压应力值的大小与结构长度、竖向构件形式、温度变化范围等因素有关^[3]。

本工程结构长度较大,但是框架结构竖向构件刚度较小,由于竖向构件刚度导致的预压应力损失也较小。本工程预应力配筋设计时,扣除各种应力损失,所配预应力筋产生的预压应力值控制在1.2Mpa左右,继续扣除竖向构件刚度约束引起的压应力损失,实际作用在混凝土截面上的有效压应力 $\geq 0.9\text{Mpa}$,能满足抵抗温度应力的要求^[6]。

由于预应力筋的张拉端布置在梁端,因此梁端部的受力集中。为了避免在梁端产生很大的集中应力,规定了一个控制指标,即不考虑板截面,预应力筋全部集中作用在梁截面,控制压应力值 $\leq 5.0\text{MPa}$ 。

2.3 预应力筋配置方向

本工程长向尺寸较大,短向尺寸基本没有超出规范的要求^[1]。考虑到温度应力主要对结构长向有影响,所以预应力筋仅在1-3层顶板的长向配置。

2.4 预应力筋配置形式

由于使用功能的不确定,为了方便今后楼板区域的开洞改造,以及部分楼面板顶标高有

变化, 预应力筋集中配置在梁中。

在空心板区域, 由于板的上、下层混凝土相对较薄, 很难在空心板面或板底配预应力筋, 并且预应力筋也很难斜出板面张拉, 因此在空心板区域沿结构的长向设置了3道暗梁, 空心板区域的温度预应力筋集中布置在暗梁中。

2.5 预应力筋合力点的位置

如上所述, 所有的预应力筋都配置在梁中, 考虑到梁、板是一个共同受力的整体, 为了避免给梁、柱节点施加不确定的偏心弯矩, 梁中预应力筋合力点应位于梁板组合截面的中性轴(见图2)。

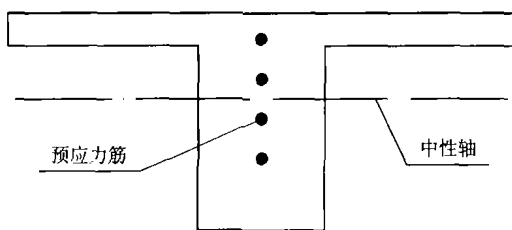


图2 梁中预应力筋布置图

从局部力学分析可知, 在梁端施加一个集中力时, 对梁受力产生影响的板的宽度是有限的, 一般取数倍的板厚作为梁翼缘的计算宽度^[1]。但是从沿着超长结构长度方向整体分析, 所有的板截面都要参与受力, 越是远离梁端集中力作用点, 梁、板中的压应力越是趋于均匀。

设计时要将全部板截面都考虑进去, 采取的计算原则是: 每两道梁之间的板各取一半宽度摊到相邻梁中。确定中性轴高度时, 将梁、板作为一个整体考虑, 按T型截面计算。

2.6 预应力筋连接方式

在常见的超长结构中, 预应力筋分别配置在主体板块中, 相邻板块之间通过穿越后浇带的搭接预应力筋缝合起来, 先张拉主体板块中的预应力筋, 后浇带浇筑完成并达到预定强度, 再张拉预应力搭接筋^{[3][4][7]}。当预应力筋主要配置在板中时, 用这种方式施工是非常方便的。但是这种构造形式还有一些局限性^[8]: 1、当由于结构的需要, 将全部或大部分预应力筋布置在梁内时, 实现板面张拉极其困难。2、张

拉预应力搭接筋时是以减小主体板中的有效压应力作为代价, 使先期张拉的主体板混凝土中的压应力产生附加损失, 其减小的数值与预应力搭接筋长度及所施加预应力的有关。

结合本工程的特点, 由于预应力筋集中布置在梁中, 板面无法张拉, 而在梁侧张拉施工也极其困难, 况且空心板区域布置的是暗梁(没有梁侧); 因此只能在后浇带的梁内及梁端头张拉。若仅在梁的两个尽端头张拉, 预应力筋长达266m, 预应力筋摩擦损失非常大, 竖向构件刚度的影响导致结构中部梁、板中的预压应力也将非常小。

在本工程中为了达到较好的施工效果, 首先应合理设置后浇带, 将每束通长的预应力筋分成3-5段, 除梁端头的预应力筋外, 其余预应力筋只能在梁内后浇带中张拉, 预应力筋在后浇带中通过连接器相连(见图3)^[8]。

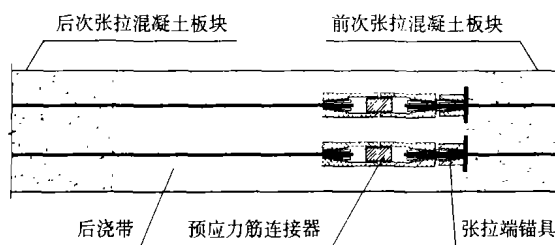


图3 后浇带处预应力筋连接示意图

2.7 预应力筋张拉顺序

1、先张拉中部板块中的预应力筋, 此时竖向构件的变形是向着中部偏移(见图4-A)。越接近刚度中心, 竖向构件偏移越小; 越接近张拉端, 竖向构件偏移越大。

2、张拉完成后, 通过连接器将已张拉的预应力筋与相邻板块中未张拉的预应力筋相连, 接着浇筑后浇带(见图4-B), 当后浇带达到预定强度, 再在下一条后浇带中张拉预应力筋。

3、不断重复以上步骤, 以中部板块为中心依次往四周张拉。

4、最后张拉梁尽端头的预应力筋, 此时仍是越接近张拉端, 竖向构件偏移越大(见图4-C)。

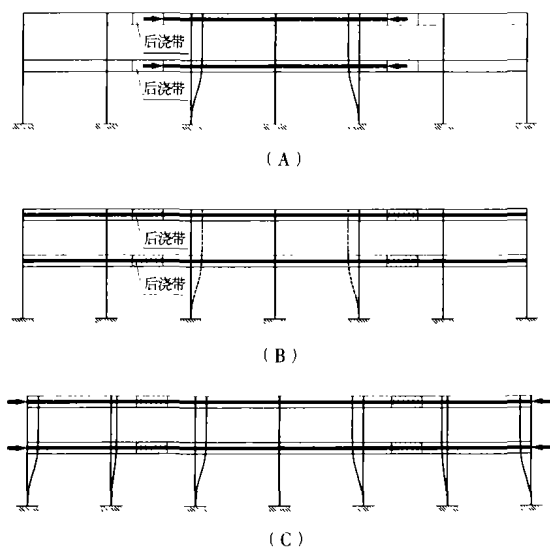


图4 温度预应力筋施工顺序及框架变形示意图

3. 异型截面预应力空心板

3.1 工程特点及技术背景

射击馆的资格赛馆部分室内训练场跨度达24m(见图1),为了满足使用功能的要求,在结构选型阶段时分别考虑过多种方案,如预应力梁结构、钢结构,要求所采用的结构形式既不加大结构的高度,减轻结构自重,还要控制工程造价。最后经过使用功能与综合造价的全面比较,确定采用现浇单向预应力空心板结构形式。

预应力混凝土结构能增大水平构件的跨高比,同时能改善构件的抗裂性能和抗变形能力。轻质材料填充板与实心板结构相比能减轻结构自重。以前常见的预应力空心板结构分两大类;一是以方型片状轻质材料填充的预应力夹芯板^[9],另一种是圆形截面空心管填充的预应力空心板^{[10][11]}。

以上两种空心板各有优缺点。第一种板的优点是空心率较高(最大可达70%),缺点是施工起来不太方便,为了保证混凝土的密实,常常要分两次浇筑混凝土,混凝土浇筑质量不易保证。第二种板的优点是施工方便,混凝土一次性浇筑成型,缺点是空心率较低(最大空心率 $\leq 45%$)^[12]。

3.2 所采取的技术方案

通过试验研究及工程实践,生产出一种圆弧或折线与矩形截面组合的异型截面轻质管,这种空心板在取得较高空心率(最大可达65%)的同时又方便施工,混凝土可以一次浇筑。此种现浇板可以做到跨度大、重量轻、隔热效果好,结构的可靠性、抗震性、抗裂性也较好。

轻质管由轻质多孔材料生产而成,轻质多孔材料可以是聚苯乙烯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料、聚氨酯泡沫塑料或者膨胀珍珠岩等孔隙率大、单位体积重量小的材料。本工程中为了最大限度地减轻结构自重,要求采用聚苯乙烯泡沫塑料填充。

因为本工程跨度较大,又属奥运重点工程,为了增强结构的抗震性能及增强耐久性,设计时采用了有粘结预应力结构形式。

3.3 异型截面空心板设计过程简介

3.3.1 截面参数的确定:通过试算,确定轻质管的各种细部尺寸、上下层混凝土的厚度以及轻质管之间的肋净宽。

3.3.2 根据面积相等、惯性矩相等的原则,将轻质管折算为等效的矩形截面。

3.3.3 预应力筋计算有效应力并试配预应力筋。

3.3.4 计算荷载作用下的弯矩、剪力值。

3.3.5 抗裂验算(包括裂缝宽度验算)、变形验算。

3.3.6 抗弯强度计算、抗剪强度计算。

3.4 主要技术指标

本工程空心板计算跨度23.7m,按两端简支计算,预应力筋按二次抛物线布置,端头预应力筋控制点位置在截面的中心轴处(见图5)。

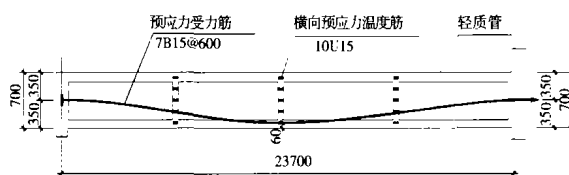


图5 轻质管区纵断面布置图

空心板厚700mm,跨高比为34。轻质管宽450mm、高540mm,轻质管肋净宽150mm,上、

下面层混凝土厚度80mm(见图6)。实际折算厚度325mm,空心率53.6%。单位宽度(1000mm)的截面换算惯性矩为 $2.06 \times 10^{10} \text{mm}^4$,相当于同样宽度实心截面惯性矩的72.1%。

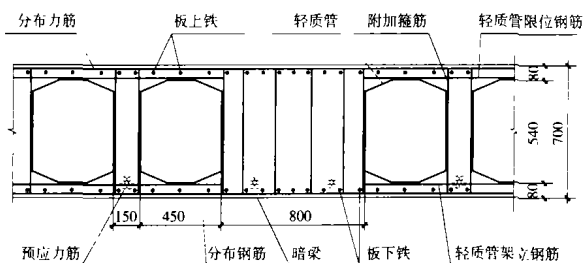


图6 轻质管区横断面布置图

通过计算,每道轻质管间肋梁内配7束1860级低松弛钢绞线。抗裂验算中,跨中截面要开裂,由于是在室内,裂缝宽度0.022mm,满足三级抗裂要求。变形验算中,总变形/跨度=1/251,不满足1/400的要求,需要在施工时跨中起拱50mm。通过配置适量的普通钢筋,抗弯强度和抗剪强度都满足要求。

3.5 施工构造措施

3.5.1 设置暗梁:为了增强结构的整体性,在空心板区域内每排框架柱位置处设置暗梁,暗梁宽800mm,为实心混凝土,厚度同空心板(图6)。

3.5.2 构造肋梁:在轻质管之间的混凝土内设有一条肋梁,肋梁箍筋的作用:(1)与肋梁内板的上、下层受力钢筋组成一种具有水平及垂直刚度的骨架限制轻质管的水平位移。(2)对于预应力空心板,肋梁箍筋既方便预应力筋的定位,又对预应力筋起一定的保护作用。

(3)轻质管限位钢筋从肋梁内板的上层受力钢筋下面穿过,而受力钢筋又绑扎在箍筋内,因此肋梁箍筋对轻质管的抗浮起拉结作用。(4)能增强轻质管的抗剪和抗冲切能力^[11]。

3.5.3 轻质管定位:施工时为了使轻质管定位准确,采用了一些定位钢筋。轻质管左右定位靠肋梁箍筋从两侧卡住;下部定位靠轻质管底的架立钢筋;上部定位靠轻质管顶的限位钢筋。

参考文献

- [1] 混凝土结构设计规范, GB50010-2002
- [2] 过镇海, 时旭东, 钢筋混凝土原理和分析, 北京: 清华大学出版社, 2003
- [3] 徐焱, 苏文元, 超长结构中预应力的应用, 第七届后张预应力学术交流会论文集, 2002.7: 362-367
- [4] 钱英欣, 张传成等, 北京东方广场预应力技术应用概述, 建筑技术开发, 1998; (5): 11-15
- [5] 顾渭建, 预应力技术在建筑物裂缝控制中的作用, 第二届全国预应力结构理论及工程应用学术会议论文集, 2002.11
- [6] ACI-318 CODE, 2000
- [7] 张然, 徐焱等, 预应力钢筋混凝土超长结构的一种构造, 北京市建筑工程研究院专利, 02288790.3
- [8] 徐焱, 沈敏霞等, 一种配置连接器预应力筋的超长混凝土建筑结构, 清华大学专利, 200420000407.6
- [9] 徐金声, 薛立红等, 复合预应力砼框架倒扁梁楼板, 中国建筑科学研究院专利, 95224061.0
- [10] 全为民, 徐焱, 现浇预应力空心板结构的应用, 建筑技术开发, 2003(5): 4-5
- [11] 徐焱, 全为民, 现浇预应力空心板结构的施工, 建筑技术开发, 2003(5): 12-14
- [12] 吴建辉, 异型截面轻质材料填充预应力现浇板, 清华大学专利, 03236988.3

· 简讯 ·

柳州欧维姆工程有限公司获桥梁工程

专业承包二级资质

2005年3月2日,经过上级主管部门的层层审核,柳州欧维姆工程有限公司喜获桥梁工程专业承包二级资质。

目前该公司的主项资质为桥梁工程专业承包二级,可承担单跨100米及以下桥梁工程的施工。增项资质有:预应力工程专项承包二级,可承担各类预应力工程施工;地基与基础工程专业承包二级,可承担工程造价1000万元及以下深

基础维护加固,边坡加固,大坝维护加固,锚杆工程的施工;钢结构工程专业承包三级,可承担单项合同额不超过企业注册资本5倍且跨度24米及以下、总重量600吨及以下、单体建筑面积6000平方米及以下的钢结构工程(包括轻钢结构工程)和边长24米及以下、总重量120吨及以下、建筑面积1200平方米及以下的网架工程的制作与安装。(时向荣)