

复杂钢结构、钢索与钢筋综合施工技术研究

谭志豪

广州建筑工程监理有限公司

摘要:为顺应城市现代化建设要求,不仅使城市内部建筑造型发生改变,其造型结构也愈加趋向复杂化,而传统施工技术则无法满足当前复杂建筑结构的建设要求。基于此,本文结合某市足球场场地工程建设项目,分析该项目面临的施工难点和潜在影响因素,并提出复杂钢结构、钢索与钢筋综合施工技术运用方案,将建设项目划分为钢结构基础转换梁施工和多腔体钢柱内套钢筋笼施工两个部分,以减少项目上部结构施工时所产生的荷载对下部空间的影响,解决结构下部为混凝土看台所存在的承载条件较差问题,进一步提升结构整体稳定性和安全性。

关键词:复杂钢结构;钢筋;钢索;综合施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.18.022

引言

随着建筑行业迅速发展和城市化进程加快,各类建筑工程项目建设数量也日益增多,其建筑结构也愈加复杂,特别是城市体育馆这一类场所,其中钢结构施工技术应用,能够充分满足该类建筑外观造型要求。本文结合某市足球场场地工程建设项目,综合考虑足球场结构体系复杂程度高、施工困难等因素,提出运用复杂钢结构、钢索与钢筋综合施工技术,并根据项目实际情况和现场施工条件,制定综合施工技术方案,以减少上部荷载对下部空间的影响,增强结构整体承载性能,确保项目建成后使用安全。

一、项目概况

本文以某市足球场场地工程建设为例,从足球场整体造型来看,其结构体系较为复杂,某种程度上加大了施工难度。一般项目占地面积都较大,为提升建筑结构安全性和稳定性,并保证施工方案实施后的经济效益得到预期目标,提出运用复杂钢结构、钢索与钢筋综合施工技术,综合考虑足球场结构形式特点,并根据现场施工条件,将整个项目建设内容划分为两个部分,分别是钢结构基础转换梁施工和劲性柱、劲性梁与混凝土相结合施工^[1]。目的是减少足球场结构空间体系复杂、拼装困难、复杂节点数量多以及承载能力要求高等情况对整体施工的影响,既能有效规避施工阶段因结构变形大等问题而出现结构成形精度不符合设计要求的情况,又能最大限度地减少建设成本投入,进一步提高项目建设经济效益。

二、项目施工关键节点分析

钢结构基础转换梁施工部分:

(1) 施工过程中涉及基础转换梁部位土方开挖作

业,要特别重视土方开挖高度控制,按照项目建设要求,土方高度控制在1m以内,确保后续箍筋安装操作有足够空间。同时需要在钢骨梁与垫层之间设置支撑胎架,以保证钢骨梁的箍筋安装作业安全性。

(2) 开展钢骨梁吊装作业时,要求施工人员在前期必须按照规范要求,对与支撑胎架相对应的局部地基进行加固处理,以增强地基结构对上部钢骨梁荷载的承受能力。针对钢骨梁支撑胎架与相应埋件焊接固定处理,需要详细检查焊接部位是否存在较大缝隙,避免后期施工中因焊接固定不到位而影响整个结构稳定性。

(3) 考虑钢骨梁支撑胎架结构形式(格构式)特点,主要是利用该结构形式为后期安装转换梁纵筋提供充足空间,解决传统大型马凳结构形式所存在的施工复杂程度高问题。

(4) 项目中支撑胎架顶部设计整体呈竖向布置特点,开展钢梁安装施工作业时,注重钢板长度控制,避免其超过设计要求的基础钢梁标高^[2]。

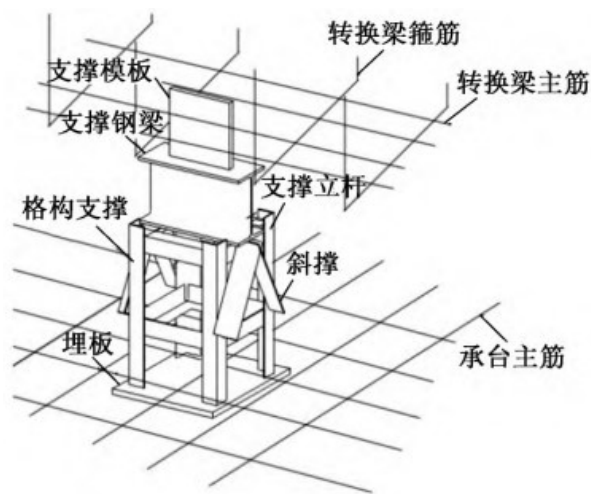


图1 支撑胎架与钢筋的关系示意

三、基于复杂钢结构、钢索与钢筋综合施工的技术要点

(一) 钢结构基础转换梁施工

足球场项目中基础转换梁采用钢骨混凝土形式,为保证结构整体稳定性,需要对钢骨上、下翼缘、侧面进行紧固处理,可以选择绑扎箍筋方式,但具体操作过程中,需要考虑地基对钢骨下翼缘底部空间限制的影响,主要是阻碍底部箍筋绑扎操作。钢结构基础转换梁施工技术要点如下:

(1) 正式开展基础施工作业前,进一步深化钢结

构设计,结合当前基础梁钢筋规格、排布方式,确定需要在钢筋梁翼边缘、腹板进行穿孔的位置,再借助软件中的模型深化钢结构,以保证钢结构与施工要求相一致,同时又能及时发现是否与钢筋存在相互碰撞问题。

(2)开展吊装作业前,施工人员需要准确测量各段钢梁上翼缘两侧定位点,可以使用全站仪对该定位点进行测量;综合考虑每段钢梁整体较重,进入后期施工阶段,难以通过常规方法对其位置进行校正。因此,针对该情况,在吊装施工中,必须遵循先测量定位校正,再吊装原则,防止后期施工中发生钢梁较大偏移问题,保证地上结构稳固性。分段定位工序结束后,施工人员应立即开展焊接作业,将钢梁分段与下部结构支撑进行固定,为避免二者接触面积不足而降低整个结构承载能力,对其进行焊接固定时,应保证二者紧密贴合。依据构件形式特征、焊接要求以及技术标准等,合理选择焊接方式,如单面开坡口焊接方式,提高接头焊接质量。若选用多层多道焊接方式,焊接过程中,施工人员需要重点控制层间温度变化,未有特殊要求,层间温度要控制在 200°C 以内;为保证焊接温度控制精准性,可以借助红外线测温仪,方便随时掌握焊缝层间温度变^[4]。基于同一断面,按照先腹板后翼缘的焊接顺序,并考虑焊缝收缩效应带来的影响,结合现场实际焊接情况适当调整焊接收缩量,其中上、下翼缘焊接工序可同步开展,并实时监测焊接过程中结构标高、水平度等参数变化。

(二) 劲性柱、劲性梁与混凝土相结合施工

劲性柱是一种型钢外面包裹混凝土的构件并组成的结构,目前大规模工程项目建设中均会涉及适用该类型结构;如足球场建设项目中运用劲性柱、劲性梁与混凝土相结合施工技术,可以充分发挥该项技术截面小、承载能力强的优势,不仅可以最大限度地节约空间,又能从整体上提升结构抗震性能。相较于传统钢筋混凝土柱,前者除了具有截面尺寸小、承载力高、整体刚度好、抗震性能显著等优点以外,也可以根据项目建设要求调整结构形式,减少结构弯曲变形等质量缺陷出现。具体施工技术要点如下:

(1)依据设计图纸和施工方案,开展现场测量放线工作,确定轴线和标高,考虑后期焊接作业量、精度要求高等因素,必须精准定位劲性柱、劲性梁安装位置,避免施工过程中发声钢柱偏位、梁筋无法顺利通过等问题,确保现场施工作业顺利开展。

(2)为确保后续各项施工作业顺利进行,应提前做好钢结构构件施工深化工作,更进一步细化和完善足球场钢结构。①钢结构深化设计前,需要明确建筑物使用性质、布局以及荷载标准等信息;可以运用BIM技术,在初步设计基础上搭建钢结构三维模型,以更加直观地方式呈现整个足球场的钢结构以及各类构件。②分析钢结构力学性能,确定不同荷载条件下结构的受力性能表现,再结合分析结果,调整和优化构件的尺寸、连接方式、材料选择等,以增强钢结构整体性能。③其中

连接设计与抗震设计是钢结构深化设计过程中的重点内容,针对连接设计,需要结合足球场项目建设要求和施工技术标准,确定连接各构件的方式以及规格,以保证构件之间连接稳定性。抗震设计则是以地震区划和建筑物重要性等级为依据,对结构相应的抗震性能加以明确,减少地震等自然灾害发生对结构安全性的影响。④结合施工工艺以及场地施工条件,做好施工方案优化,建设单位应组织设计单位、施工单位以及相关参建主体对深化设计方案的可行性进行评估,确保深化设计方案获得设计以及相关图审单位认可。

(3)结合足球场项目建设要求,制作符合施工技术规范劲性柱,其中十字线、工字型等钢柱是较为常用的两种结构形式,由于制作工艺相对复杂,必须重点加强现场组装和焊接施工质量控制,严格按照既定流程和顺序依次完成钢柱组装和焊接作业,避免因施工不规范而导致结构变形,增加后期矫正难度。在劲性柱、劲性梁与混凝土相结合施工过程中,存在型钢柱与钢筋的相交点数量较多情况,施工单位应与设计单位就钢结构构件深化图纸进行沟通,再次确定构件之间的连接方式和具体规格,梳理施工流程和操作规范注意事项,妥善处理钢柱与柱周主筋、箍筋;钢柱与通过钢柱的水平梁钢筋之间的关系,为后续顺利开展钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑等施工作业提供基础保障。按照既定工艺流程开展地脚螺栓预埋、定位、钢柱加工制作、焊接检测、钢柱吊运等作业,加强各流程施工质量控制,从根本上保证劲性柱、劲性梁与混凝土相结合施工效果^[5]。

(4)焊接施工。以等强焊缝坡口对接方式对钢柱之间进行焊接处理,焊缝间隙、坡角分别控制在 10mm 、 30° 以内。按照先翼板再腹板的焊接顺序,实际操作过程中注重焊接速度控制,焊速不得超过 $350\text{--}450\text{mm}/\text{min}$ 。另外,在焊接作业过程中,因第一层焊道设置于坡口内母材和垫板的连接部位,施工人员应在每一道焊缝施焊工序结束后,均要做好焊缝铲磨处理,以保证焊接施工质量。

(5)焊缝质量检测。待钢劲性柱、劲性梁的基础施工全部结束后,并通过质量合格检测;以一级焊缝、二级焊缝满足钢结构工程施工质量验收标准GB50205-2020以及57号令的要求为依据,规范开展焊缝质量检测工作,检测内容涉及焊缝内部缺陷、焊缝外观质量等。可以选用超声波检测法对焊缝内部缺陷进行无损检测,按照现行规范标准确定检测设备类型、工艺要求以及缺陷评定等级,如焊接球点网架的焊缝超声波探伤技术、方法、缺陷分级,均要与国家及行业现行标准的相关规定保持一致。确认无任何焊接质量缺陷后,方可准许开展现场钢筋绑扎作业。

(6)混凝土施工。由于不同造型的钢劲性柱性能特征差异,对浇筑混凝土的强度要求也各不相同,应依据施工技术规范,选择合适强度等级的混凝土,如H

型钢劲性柱，适宜选用C60混凝土，借助固定泵输送混凝土。同时做好混凝土振捣处理，使其密实度符合规定要求，避免出现混凝土浇筑不均匀等情况。考虑钢劲性柱截面过大问题，在振捣混凝土时，应选用对称振捣方式，既能防止钢劲性柱移位，又能降低混凝土内部热量释放对劲性柱混凝土浇筑效果的影响。

（三）钢索及钢罩棚施工

1. 钢索安装施工

（1）钢索属于足球场复杂钢结构中一种较为特殊的受拉构件，由高强钢丝组成，可以根据施工要求，制成平行钢丝束、钢绞线、钢丝绳等。为保证钢索的抗拉力符合设计要求，应在正式开展施工作业前，准确计算钢索的抗拉力值，使钢索的受力性能、强度均与相关规定标准相一致。可通过下述公式计算钢索的抗拉力设计值：

$$F = \frac{F_{tk}}{\gamma_R}$$

式中： F 表示钢索的抗拉力设计值； F_{tk} 表示钢索的极限抗拉力标准值； γ_R 表示钢索的抗力分项，取值2.0。

（2）按照设计要求以及项目实际情况，确定主体结构上的钢索布置数量以及对应位置，并检查结构强度、稳定性是否符合规定标准。待钢索布置位置明确后，选择专用固定器将钢索固定对应结构上，针对固定器型号选择，可以参照施工技术要求，确保钢索固定效果。待固定器安装工序结束后，施工人员可以借助专用工具紧张钢索，并检查钢索紧张度是否与设计要求相符合，保证结构整体稳定性和安全型。通常情况下，待钢索安装作业全部完成后，即可开展吊具、连接件等相关附件的安装作业，严格按照规范要求进行安装，避免出现钢索与其他部件连接不牢靠等问题^[5]。

2. 钢罩棚施工

由于足球场项目整体为曲面造型，增加了结构几何尺寸精度控制难度，再加上坐标定位与数据输出量较大，对安装精度提出较高要求，减少现场拼装、安装作业中操作误差是钢罩棚项目施工难点。在安装阶段，做好关键部位的原位监测，详细记录结构变形数据，为优化安装施工方案提供参考依据。钢罩棚施工要点如下：

（1）钢结构构件运输至现场后，需要分类堆放各构件，并在堆放区域下方放置支撑或枕木，避免构件边缘受到挤压而出现变形问题，依据安装顺序，叠放不同类型的构件。

（2）考虑足球场项目钢结构复杂性，对安装精度要求较高，尤其是钢罩棚关键部位安装，做好现场测量工作非常重要，按照相关规定要求，选择合适的测量仪器，以《工程测量规范》《钢结构工程施工质量验收规范》等现行规范标准为依据，开展具体测量工作。

（3）钢罩棚结构为管桁架结构，其中主桁架之间

选用焊接方式将次桁架、系杆以及撑杆相连接。考虑施工要求，现场焊接作业中，以对接和相贯线焊接工艺为主。例如，开展相贯线焊接作业时，将钢管相贯线焊缝换分为三个区域，分别是趾部、侧面、根部，其中侧面可以通过加工处理获得过渡坡口，当根部支管与主管夹角 $<45^\circ$ 时，不适宜切割坡口，应选用无缝隙安装工艺。

（4）进入现场拼装阶段，以结构形式和既定安装方案为依据，明确各构件现场拼装流程。支撑胎架支撑点设置在桁架下弦、上弦部位，并选用型钢材料制作胎架，按照先桁架下弦拼装，再拼装上弦的操作顺序，待前两项拼装工序结束后，再完成腹杆拼装作业。

（5）吊装前，施工人员需要检查分块结构的定位轴线以及标高线，并确认结构外形尺寸、对接口的空间位置等信息是否与设计要求相一致，无任何问题后，方可准许开展吊装作业。

（6）针对合拢口施工，具体操作过程中，施工人员要注重温度条件控制，依据温度变形计算结果确定各合拢段的构件长度以及安装预留间隙，同时严格把控合拢段安装质量把控，以保证结构总体施工质量，提升结构使用安全型。例如，开展合拢段安装作业时，施工人员需要控制合拢口间隙大小，尽可能减少合拢口焊接量，降低温度变化对后续焊接收缩变形的影响，确保合拢口施工质量符合规定标准。

结束语

综上所述，复杂钢结构、钢索与钢筋综合施工是现阶段大型建筑工程项目中较常应用的技术手段之一，具有结构稳定性强、施工影响小以及作业安全性高等优点。为更好地发挥该项施工技术优势，应结合工程项目实际情况，再根据施工要求，合理制定综合施工技术方案，明确施工各环节技术要点，以保证施工质量。

参考文献

- [1] 陈涛, 刘平, 任焯军, 等. 复杂异形钢结构精确定位与安装技术[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(20): 28-31.
 - [2] 王金荣, 王秀丽, 苟宝龙. 大型复杂体育馆钢结构吊装过程温度影响分析与现场监测研究[J]. 工业建筑, 2023, 53(08): 96-101+57.
 - [3] 郝海龙, 张宏伟. 环形大悬挑体育场复杂钢结构关键施工技术研究与应用[J]. 安装, 2023, (S1): 112-113.
 - [4] 杨振龙, 张宏岩, 冯昊楠. 复杂钢结构与钢筋综合施工技术[J]. 施工技术(中英文), 2022, 51(22): 36-39+119.
 - [5] 陈伟. 复杂高层建筑钢结构施工综合技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2020, (12): 126-127.
- 作者简介: 谭志豪(1989.10-), 男, 籍贯: 广东广州, 汉族, 本科, 中级工程师, 研究方向: 建筑工程。