

The Research of the Construction Technology of Super-Long Span Steel Truss Roof Slip

Chengyang Wang¹, Rong Bai^{1,2}, Chuanqing Yao¹, Shaoxin Jiang²

¹Anhui University of Science and Technology, Huainan

²China Construction Fourth Engineering Division Corp. Ltd., Guangzhou
Email: wangchengyang416@163.com

Received: Jan. 18th, 2013; revised: Jan. 29th, 2013; accepted: Feb. 7th, 2013

Abstract: It clears the requirements of the difficulty of construction technology and brings forward the actual construction process according to the design analysis and characteristic introduction of super-long span steel truss roof slip. That not only ensured the bearing capacity of the design, but also achieved the objective of the construction optimization. The new technology makes wide prospect and extensive popularized significance.

Keywords: Steel Truss; Roof Slip; Force Analysis; Construction Technology

超长跨钢桁架屋盖滑移施工技术研究

王成洋¹, 白蓉^{1,2}, 姚传勤¹, 蒋韶鑫²

¹安徽理工大学, 淮南

²中国建筑第四工程局, 广州
Email: wangchengyang416@163.com

收稿日期: 2013 年 1 月 18 日; 修回日期: 2013 年 1 月 29 日; 录用日期: 2013 年 2 月 7 日

摘 要: 通过对超长跨钢桁架屋盖滑移的设计分析及特点介绍, 明确了施工技术的难点, 结合工程实例总结出了符合现场实际的施工工艺。既保证设计的承载力, 又能达到施工最优化的目地。使该项新技术具有良好的发展前景和广泛的推广意义。

关键词: 钢桁架; 屋盖滑移; 受力分析; 施工技术

1. 引言

随着生活水平的提高和建筑业快速发展, 大跨度公共场馆的建设使用越来越广泛, 为了使大跨度场馆拥有良好的采光性, 目前普遍采用钢桁架屋盖体系。一般情况下采用“地面拼装、跨内高空吊装”以及“搭设拼装平台、高空散装”的方法便能完成大跨度钢桁架的安装工作, 此类安装方法相对比较简单、实用、效率较高。但对于施工场地内受限制, 常规此类方法就行不通了, 须另辟他径。

广州市珠江新城 F2-4 地块是集商业、办公、高级

公寓、五星级酒店于一身的多功能综合性大型公共建筑, 最高楼层达 49 层 280 米。在位于项目南北塔楼之间的裙房大中庭之上设置采光钢桁架屋盖(见图 1), 屋盖平面尺寸约为 41.4 m × 36.5 m, 为沿短轴对称的结构(见图 2)。结合现场实际情况, 因受裙楼结构及外围绕场地的限制, 中庭屋面钢结构不能在现场拼装后整体吊装到位。根据现场实际情况, 在六层楼面搭设拼装胎架及脚手架操作平台, 并进行相关受力计算及荷载复核。通过在操作平台上组装桁架后两榀一组向另一侧滑移到位。下面将对施工前胎架及脚手架操作平台进行受力模拟分析, 并对具体的施工工艺进行详

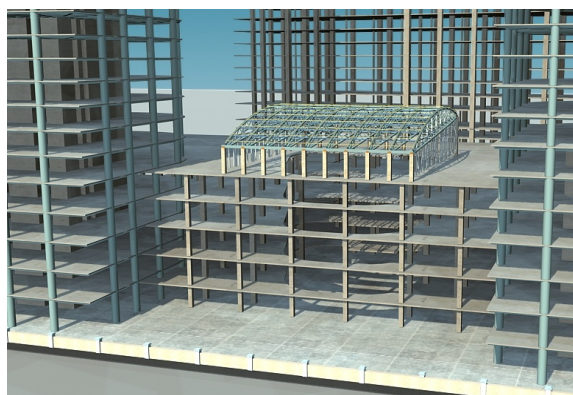


Figure 1. The diagram of long span steel truss roof
图 1. 超长跨钢桁架屋盖图

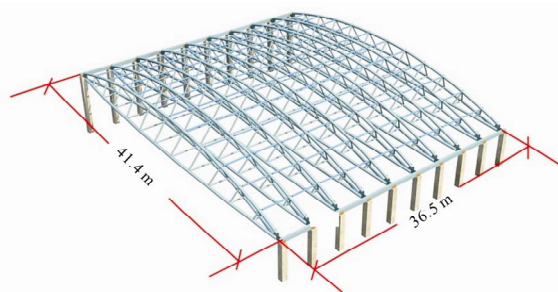


Figure 2. The diagram of space truss structure shaft measurement
图 2. 网架结构轴测图

细的叙述。在关键的细节部位进行优化处理,使得整个钢桁架屋盖滑移能顺利安全的进行,并对日后更多屋盖的滑移提供鉴见。如下对工程的超长跨钢桁架屋盖进行简单描述。

钢桁架屋盖组成为网架+玻璃幕墙,网架主受力体系为东西跨的三角形空间桁架,共 10 榀。

网架两边支撑在钢筋混凝土柱顶,网架支撑柱柱底标高为 26.4 m,一端柱顶标高为 30.45 m,另一端柱顶标高为 34.25 m,高差为 3.8 m(见图 3)。

每榀桁架由 3 根拱形主钢管和 11 组三角形弦管组成(见图 4)。拱形主钢管尺寸为 351×14 ,其余弦管尺寸全部为 180×12 。桁架月牙形的设计既能有效的传递荷载,又能极大的节省钢材。相邻桁架上弦节点通过 11 根弦杆相互连接,桁架与连杆共同构成了空间受力体系。

2. 拼装胎架操作平台结构设计分析

2.1. 拼装胎架操作平台的布置

拼装构件总重约为 38.8 吨,由六组胎架支撑,每

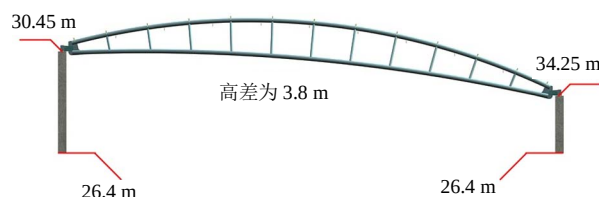


Figure 3. The profile of space truss
图 3. 网架剖面图

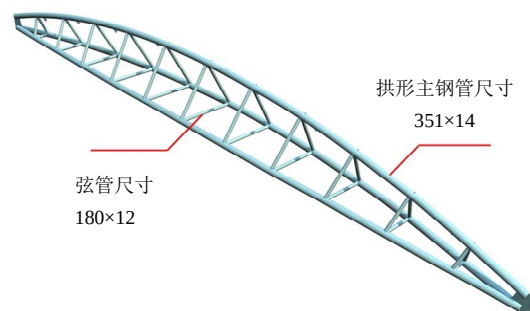


Figure 4. The structure diagram of single truss
图 4. 单榀桁架结构图

个胎架有 6 个支撑点,中部胎架支撑点最大受力约为 1.3 吨。考虑吊装的冲击力,乘以 1.1 的动载系数^[1],则每个支撑点受力约为 1.42 吨。拼装胎架由 HW150X150X7X10 和 L80X6 制作,构件材质为 Q235(见图 5)。考虑到胎架上端支撑部分桁架滑移的阻碍,将胎架上端做成螺栓连接,在桁架滑移前将上部拆除,滑移过后再安装。

支撑胎架下端支承在六层的砼梁面,由纵横两道工字钢梁做成井格形式。

2.2. 拼装胎架受力计算

屋面桁架两榀一组拼装,拼装桁架总重约 38.8 吨,下设六组支撑胎架,胎架 HW150X150X7X10 型钢制作,材质 Q235。胎架受力计算仅考虑桁架自重即可,本处计算取 1.1 自重系数。采用 MIDAS 计算软件对胎架受力进行验算(见图 6)。经过计算模拟得到支持胎架最大位移为 2 mm(见图 7),支撑胎架底部的支反力,竖向最大支反力差不多在跨中附近数值为 53.4 KN。胎架杆件最大应力比小于 0.2,满足要求^[2](见图 8)。

2.3. 支撑胎架下部楼面结构受力复核

支撑胎架下部支承在六层楼面的区域的砼梁上,

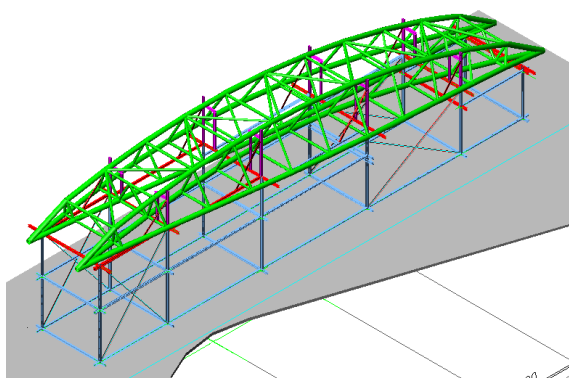


Figure 5. The schematic diagram of assembly jig installation
图 5. 拼装胎架安装示意图

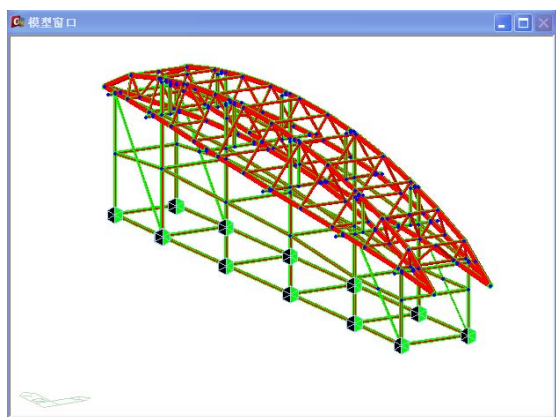


Figure 6. The calculation model of support jig
图 6. 支撑胎架计算模型

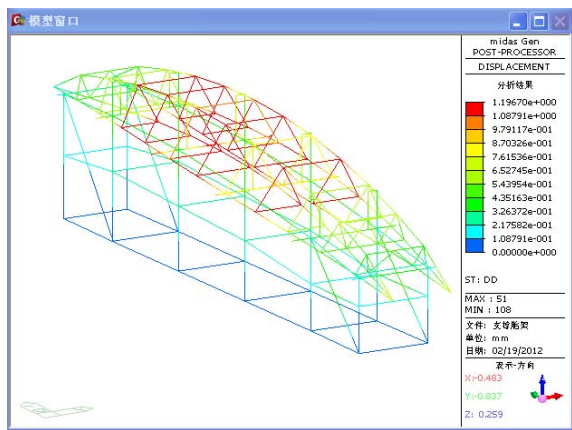


Figure 7. The biggest displacement of 2 mm, meet the requirements
图 7. 最大位移为 2 mm, 满足要求

根据上述计算分析, 支撑胎架最大的支座反力为 53.4 KN, 布置图如图 9 所示。

由于胎架底部是支撑在砼梁上的, 因此只需根据各支点的反力复核砼梁的强度能否满足要求即可。

本工程楼面梁板砼强度为 C35, 梁主筋强度

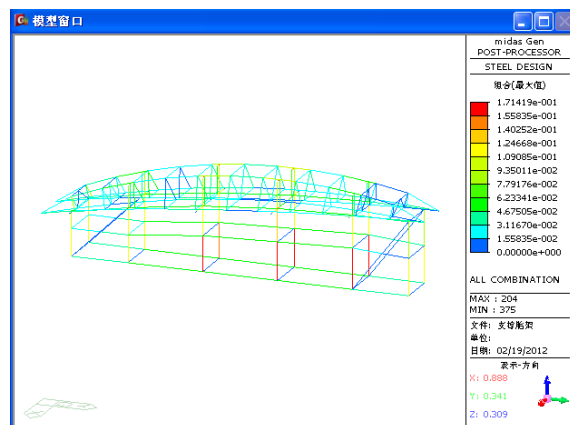


Figure 8. The stress ratio of jig bar, the biggest stress ratio is less than 0.2, meet the requirements
图 8. 胎架杆件应力比, 最大应力比小于 0.2, 满足要求

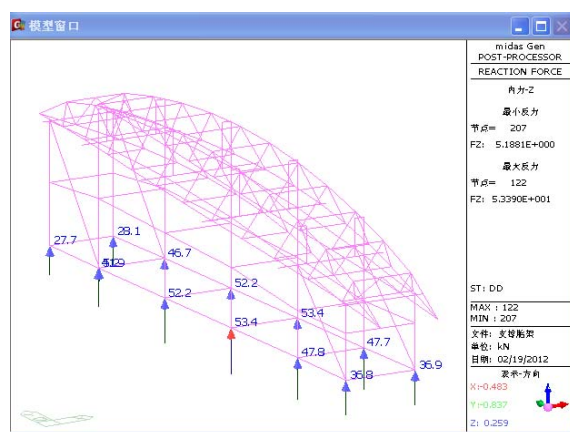


Figure 9. The bearing reaction diagram of support jig for floor
图 9. 支撑胎架对楼面的支座反力图

HRB400 级, $f_y = f_y' = 360 \text{ N/mm}$, 梁箍筋强度为 HRB335 级, $f_y = f_y' = 300 \text{ N/mm}$ 。

计算软件: 采用 MIDAS 计算软件^[3]。

计算模型: 采用空间三维实尺模型。

边界条件: 胎架底部与砼梁铰接(实际施工时采用无联接的支承方式)。

荷载: 楼面施工活载取 2 KN/M^2 , 节点活载取胎架底部的支反力。

计算模型如图 10。

根据计算复核, 砼梁实配钢筋满足承载要求。

3. 工艺流程及施工要点

3.1. 工艺流程

屋面桁架两榀一组在操作区拼装, 拼装完成后由北向南方向滑移就位, 在前一组滑移出操作区后, 在

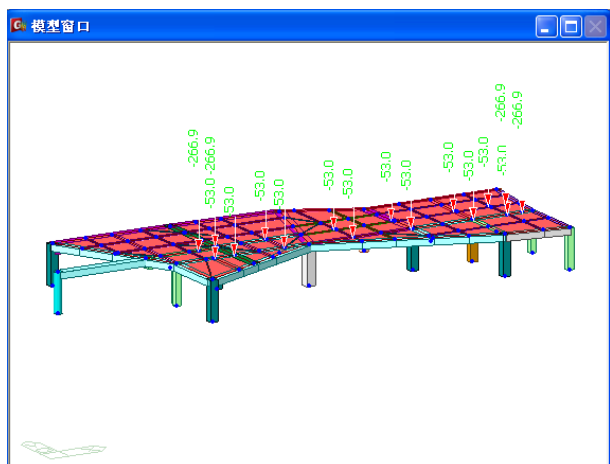


Figure 10. The calculation model of MIDAS
图 10. MIDAS 计算模型

操作区安装胎架进行下一组桁架的组装,形成流水施工,无缝衔接。桁架共分五组。各组桁架滑移到位后,使用千斤顶微调桁架,精确校正无误后安装支座连接板。最后拆除滑靴装置,补装桁架之间的纵向细杆,完成安装作业。

流程一:第一组桁架滑移单元滑移到位(图 11)。

流程二:第二组桁架滑移单元滑移到位(图 12)。

流程三:第三个桁架滑移单元滑移到位。

流程四:第四个桁架滑移单元滑移到位。

流程五:第五个桁架滑移单元滑移到位(图 13)。

流程六:用千斤顶微调桁架支座标高,精度校正无误后安装支座连接板,拆除滑靴装置(见图 14)。

流程七:补装桁架之间的纵向系杆(见图 15)。

3.2. 施工要点

1) 拼装区满堂脚手架的搭设

先在已清理出的裙楼屋面搭设满堂脚手架作为桁架拼装区,满堂脚手架采用扣件式脚手管搭设,水平方向的纵、横步距 1.4 m,步高 1.4 m。脚手架上铺木脚手板,四周设挡脚板(见图 16)。

2) 拼装胎架的布置

拼装构件总重约为 38.8 吨,由六组胎架支撑,每个胎架有 6 个支撑点,考虑中部胎架支撑点最大受力及吊装的冲击力,乘以动载系数,计算出每个支撑点受力。选取合适的构件材质组成拼装胎架(见图 17)。考虑到胎架上端支撑部分桁架滑移的阻碍,将胎架上端做成螺栓连接,在桁架滑移前将上部拆除,滑移过

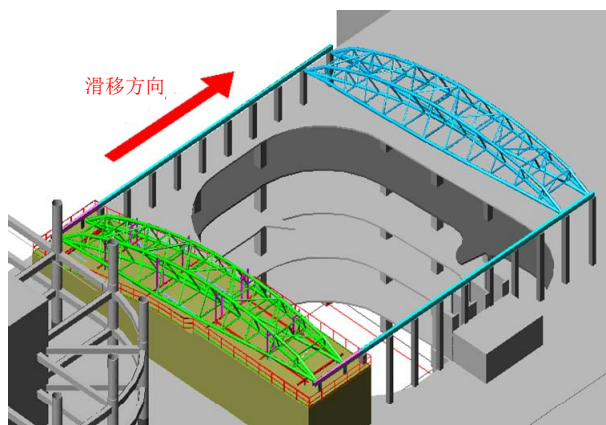


Figure 11. The first group of truss slip unit slip bitmap
图 11. 第一组桁架滑移单元滑移到位图

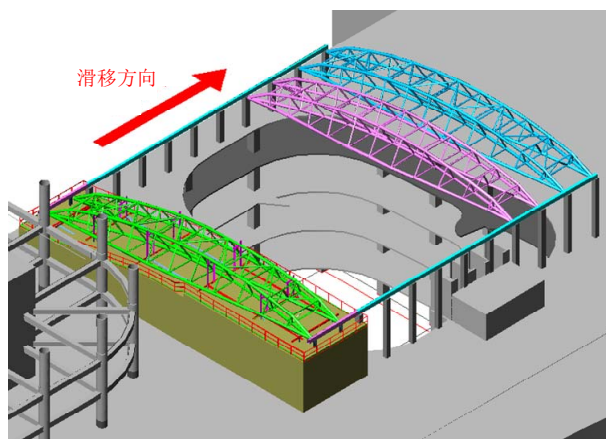


Figure 12. The second group of truss slip unit slip bitmap
图 12. 第二组桁架滑移单元滑移到位图

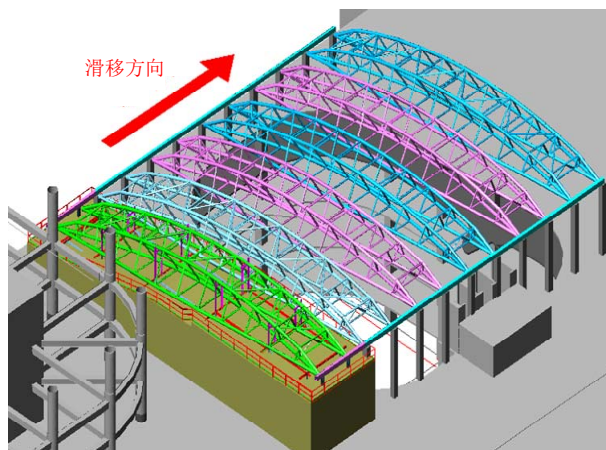


Figure 13. The fifth group of truss slip unit slip bitmap
图 13. 第五组桁架滑移单元滑移到位图

后再安装。

注意:支撑胎架下端支承在屋面的砼梁面,由纵横两道工字钢梁做成井格形式;

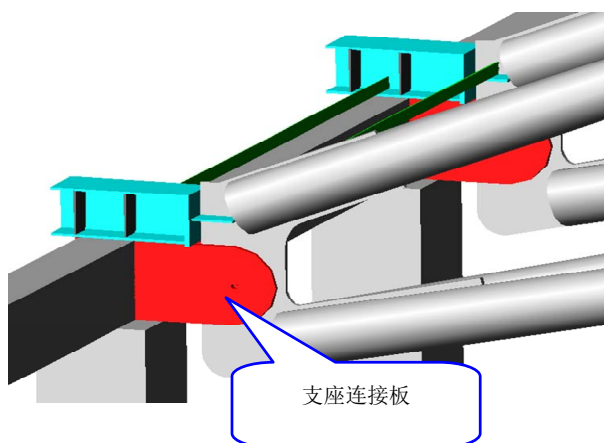


Figure 14. The support diagram of adjustment truss
图 14. 调整桁架支座图

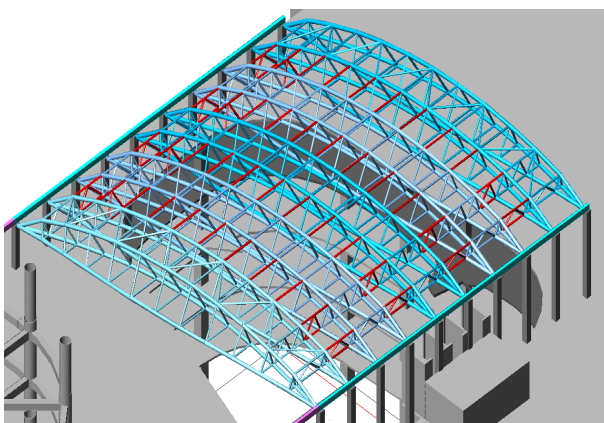


Figure 15. Make-up truss between the longitudinal tie bar
图 15. 补装桁架之间的纵向系杆

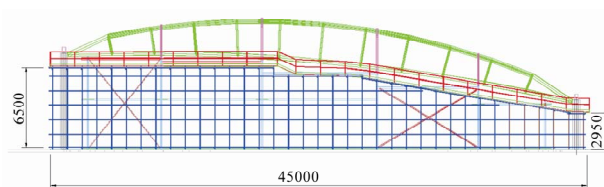


Figure 16. The elevation layout of scaffold
图 16. 脚手架立面布置图

支撑胎架完成后屋面桁架两榀一组拼装，吊装设备利用塔吊吊装主弦杆，其他腹杆由卷扬机辅助人工搬运就位。中庭屋面桁架分五次滑移，每两榀一组，由北向南方向滑移，各组桁架滑移到位并将轴线调整无误后固定支座，补装纵向拉杆。

3) 滑靴和滑移轨道设计

屋面桁架采取两榀一组进行滑移，滑移轨道利用柱顶的方管梁，每个滑移点设一个滑靴(见图 18)。桁架滑移采用电动卷扬机拉动滑移。计算摩擦系数及卷

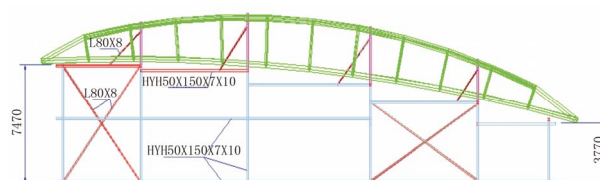


Figure 17. The elevation layout of support jig
图 17. 支撑胎架立面布置图

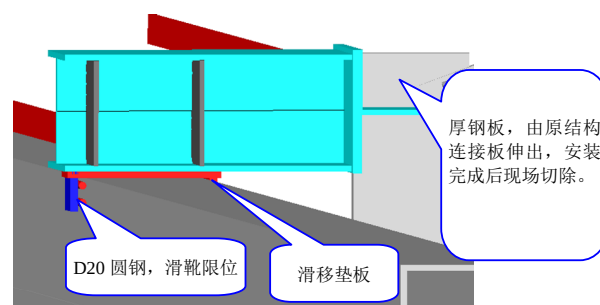


Figure 18. The schematic diagram of sliding boots installation
图 18. 滑靴安装示意图

扬机拉力，选用合理吨位卷扬机满足施工要求。滑靴之间拉设两道拉杆，以利于两榀桁架滑移的同步性。钢丝绳选用：计算出机动滑车的钢丝绳安全系数及钢丝绳拉力，选取合适的钢丝绳，满足施工要求。滑靴由型钢制作，一端与桁架支座连接板临时焊接，另一端通过滑移垫板支承在滑移轨道上，由于桁架两端支座有高低差，在桁架滑移过程中存在横向的水平位移，为保证结构滑移的安全，在两端的支座上均设位移的限位器，桁架低端支座的限位设在内侧，桁架高端支座的限位设在外侧。

4) 高空补装区的安全防护

桁架滑移到位后补装纵向连系杆及后续的幕墙支座安装等均存在高空作业现象，为保证高空作业的施工安全，桁架在地面拼装时将水平安全网及沿上弦的走道、安全绳安装完成后再提升，提升单元的安全防护布置如图 19 所示。

5) 拼装区的滑移轨道布置

桁架拼装区位于屋面结构外侧，需将在拼装胎架和滑移轨道之间制作“过渡轨道(B500 × 300 × 6 型钢)”进行连接，保证钢桁架拼装完成后能顺利滑移到指定轨道上。拟在“过渡轨道”下设两根钢柱支撑，钢柱下端固定在楼面的砼梁上。两根钢支撑为宽翼缘 H 型钢，规格为 HW300 × 300 × 10 × 5。

6) 防止桁架横向位移措施

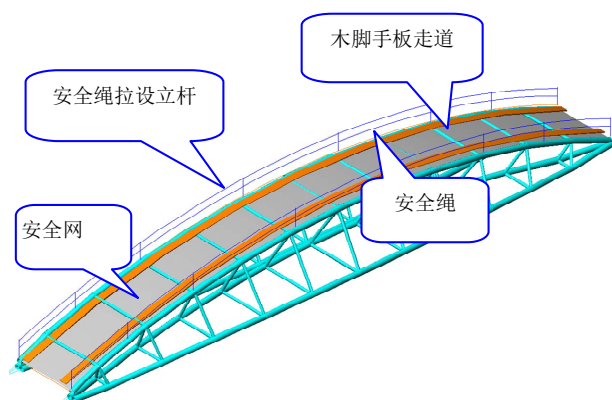


Figure 19. The schematic diagram of safety layout
图 19. 安全防护布置示意图

桁架两支座之间存在较大高差, 桁架滑移过程中会存在横向位移, 为了确保滑移后桁架的安装精度, 在滑移过程中于两支座处设横向位移的限位器。限位装置由圆钢及厚钢板制作。限位装置由 D20 圆钢及 20 厚钢板制作, 如图 18 滑靴安装示意图所示。

3.3. 滑移施工质量控制措施

超长跨钢桁架屋盖滑移质量控制要点^[4]:

- 1) 桁架滑移到位轴线安装偏差不大于 15 mm, 跨中垂直度允许为 $h/250$, 且不大于 15.0 mm;
- 2) 桁架安装到位侧向弯曲矢高不大于 10 mm;
- 3) 桁架安装到位支座标高允许偏差 ± 5 mm;
- 4) 桁架安装跨中垂直度、侧向弯曲矢高、标高、轴线偏差等, 应符合《钢结构工程施工质量验收规范》^[5]相关质量验收要求^[6];

5) 施工过程中必须严格按照安全管理条例进行施工^[7], 钢结构工程施工以及脚手架工程施工^[8]应符合

合相应施工工艺安全措施要求。

4. 结语

随着生活水平的提高和建筑业的快速发展, 人们对大跨度场馆的建设的运用越来越多。本文对此种大跨度钢结构桁架的滑移施工进行了简单的受力分析并对相应的施工工艺做了简要的总结。在施工中无需采用吊车, 不占用道路。采用地面拼装、跨内高空吊装的方式往往吊车长时间占用临时道路, 阻碍其它工序的有序进行。现场搭设拼装胎架及脚手架操作平台, 屋面桁架两榀一组原位拼装后进行滑移到位^[9], 现场占地小、速度快, 节省工期等优点。将在日后大型场馆、大跨度结构中得到广泛应用。

参考文献 (References)

- [1] GB50017-2003, 钢结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [2] 刘鸿文. 材料力学(第4版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [3] 蒋玉川, 傅昶彬, 阎慧群. MIDAS 在结构计算中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [4] JG 9-1999, 钢桁架检验及验收标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [5] GB50205-2001, 钢结构工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [6] 尹则榕. 大跨度钢桁架采光屋盖结构安装施工技术[J]. 天津建设科技, 2012, 3: 16-17.
- [7] 肖专文. 双向鱼腹式钢桁架结构多点顶推累积滑移施工技术[J]. 建筑技术, 2008, 39(6): 430-434.
- [8] JGJ130-2011, 扣件式钢管脚手架安全技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [9] 沈漪红, 杨卫民, 严伟芬. 大型钢管桁架屋盖施工技术[J]. 建筑施工, 2010, 32(7): 665-667.