

# 上海浦东波音机库屋盖整体提升施工技术

陈冬冬<sup>1</sup>, 姚刚<sup>1</sup>, 袁旭东<sup>2</sup>, 刁伟<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 2. 中冶成工上海五冶, 上海 201900)

**摘要:**浦东机场波音机库屋盖结构跨度为163 m, 进深100 m, 由网架和门前钢桁架构成, 施工过程中采用了“地面拼装, 两次整体提升”的安装方法。详细论述了该方案及其空中停留保障措施、负载转移等关键技术, 采用有限元软件MIDAS/Gen全过程仿真计算整体提升过程; 分析了两次提升过程中结构内力和节点位移变化规律, 并采取措施实现同步提升, 成功地将2 000多t钢屋架整体提升34 m。

**关键词:**波音机库; 网架; 两次整体提升; 负载转移

中图分类号: TU745.2

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2010)04-0650-04

## Integral Lifting Technology of Boeing Hangar Roof at Pudong Airport

CHEN Dong-dong<sup>1</sup>, YAO Gang<sup>1</sup>, YUAN Xu-dong<sup>2</sup>, DIAO Wei<sup>2</sup>

(1. College of Civil Engineering of Chongqing University, Chongqing, 400045, China;

2. Mcc Chenggong Shanghai Wuye Construction, Shanghai, 201900, China)

**Abstract:** The 163 × 100m roof structure of Boeing hangar at Pudong airport consists of truss and steel frames. A general construction plan of “ground assembly and twice integral lifting” was employed. The program and its key technologies such as safeguard measures in the air and load transfer were described. Besides, integral lifting via MIDAS/Gen calculation was expounded. Based on analysis of structure stress and change rule of joints displacements, certain measures were adopted to achieve synchronous lifting, making the 2000-t steel structure successfully lift 34 meters.

**Key words:** Boeing hangar; truss; twice integral lifting; load transfer

## 1 工程概况

浦东机场波音机库由大厅屋盖网架结构、大门钢桁架、支撑柱及柱间支撑系统组成。机库大厅屋盖结构跨度82 m + 81 m, 进深100 m, 钢屋盖顶标高+34.0 m。屋盖结构采用三层斜放四角锥钢网架, 由下弦支承, 网格尺寸为6 m × 6 m, 高度为6 m。机库大门处屋盖采用焊接H形截面钢桁架。网架节点为焊接球空心节点, 大门处H形截面桁架采用栓焊节点, 全部支座节点根据受力及构造要求均采用万向抗震球铰支座, 网架杆件采用钢圆管。

本工程主要采用钢筋混凝土柱及少量H型钢抗风柱, 机库东侧共有19个立柱(含转角处), 间距为9 m和10 m; 南北侧(1、21轴)及中间(11轴)网架下方各有7个立柱, 间距12 m; 西侧钢桁架结构下方共有3个立柱, 其中大门钢桁架两端各1个, 中部(11轴)1个, 最大间距82 m, 形成两个机库大门。平面布置如图1。

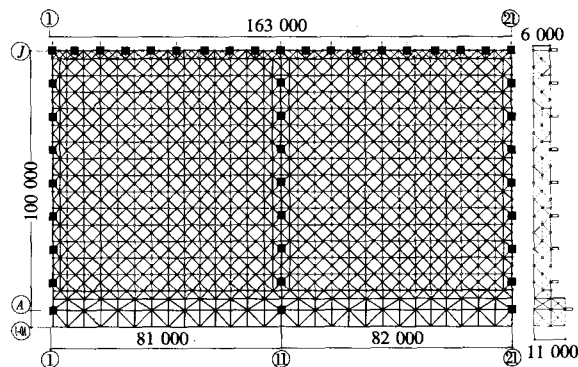


图1 屋盖结构布置

Fig. 1 Roof structure configuration

## 2 整体提升方案及主要关键技术

计算机控制整体提升技术是采用柔性钢绞线承重、提升油缸集群、计算机控制、液压同步提升的原理, 将大跨度、大吨位、大面积的超大型结构在地面拼装后整体提升到预定安装位置。本工程屋盖由网架和大门钢桁架组成, 呈“T”形(网架高6 m, 大门桁架11 m, 桁架下弦钢梁标高较网架低5 m),

而大门前又不适合开挖沟槽,故本工程采用先整体提升6 m,整体固定,拼装大门下层桁架,再同步整体提升到柱顶位置。

### 2.1 提升点的布置

屋面钢网架结构提升吊点的设置以尽量不改变结构原有受力体系为原则。且应同时考虑提升方案的经济性指标,尽量减少吊点数量和临时设施用量。因钢网架安装高度较大,若全部从地面设置临时设施,除设施用量较大之外,设施本身的稳定性也较差,于施工安全不利。由于立柱自身截面很大,有一定的承载能力和抗弯刚度。且屋面网架结构安装过程荷载远小于设计使用荷载,故考虑利用立柱设置临时设施进行钢网架结构的整体提升吊装。

本工程网架在第1次提升时共设置34个吊点(图1),其中,1~32吊点全部设置在钢筋混凝土承重柱上。由于在第1次提升桁架时只安装了上层桁架,桁架跨度大、刚度不足,故在大门桁架下增加33、34吊点,支架采用专用框撑支架。在第2次提升前,安装完下层桁架,拆除33、34吊点,网架整体成型后开始第2次提升。

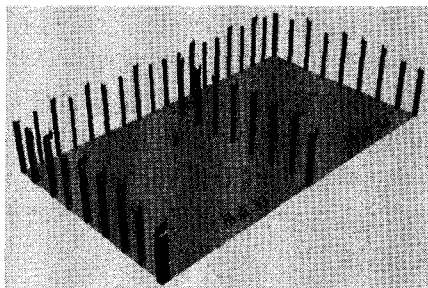


图2 第1次提升吊点布置

Fig.2 Configuration of hoisting points of the first lifting

### 2.2 整体提升流程

整体提升施工详细步骤见图3。

### 2.3 整体提升关键问题

本工程分2次整体提升(第1次至6 m,第2次到顶),跟以往一次提升到位有很大不同,期间空中6 m处整个网架停留的保障措施以及网架在6 m停留时安装下层桁架后对1,16,33,34吊点置换时的负载转移是本工程有待解决的关键难题。

#### 2.3.1 提升过程的空中停留保障措施

液压同步提升器在设计中独有的机械和液压自锁装置,保证了钢网架在吊装过程中能够长时间的在空中停留。本工程钢网架属于镂空结构,且网架自重较大,风荷载对提升吊装过程影响较小,为确保钢网架提升过程的绝对安全,并考虑到高空对口精度和调整的需要,在钢网架空中停留时,可通过5 t导链葫芦将钢网架球节点与临近柱拉接,起到限制钢网架水平摆动和微调的辅助作用。拉接采用钢丝绳绑扎,一端采用钢丝绳拉接在网架球节点上,一端绑

扎在柱子上。绑扎时柱四角钢丝绳拉接位置设置橡胶软垫保护。网架空中停留时与柱拉接位置如图4。

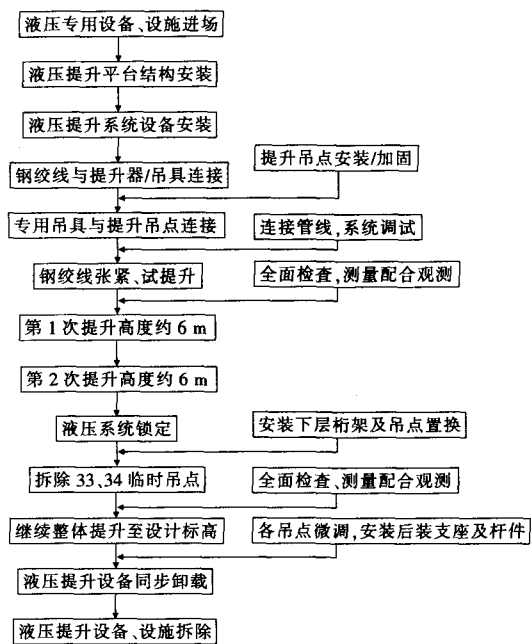


图3 整体提升施工流程

Fig.3 Process of the whole lifting construction

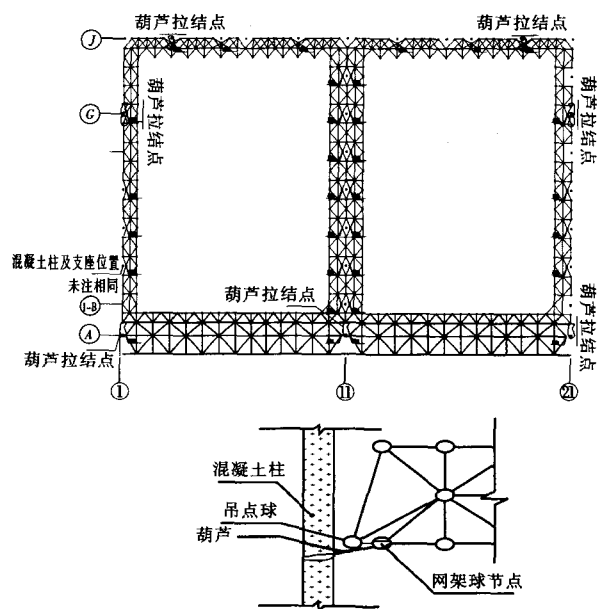


图4 空中停留时葫芦拉结布置

Fig.4 Hoisting in the air when the node stays

#### 2.3.2 负载转移

负载转移的最终目的是使该吊点的荷载由原来的下吊点地锚转移至新的下吊点地锚上,在没转移之前该吊点处荷载全部由原下吊点地锚承载,负载转移过程中,该吊点处荷载由原下吊点地锚及新的下吊点地锚共同承载,在负载转移完毕后,即吊点荷载全部转移至新下吊点地锚上(原吊点地锚松弛不

受力),原吊点拆除。负载转移过程中,必须使转移后的下吊点所承载的荷载完全相同于原吊点所承载的荷载,否则转移后会使网架略有不同步。

为此,本方案采取在下吊点设置钢结构支墩。在置换吊点时,先将置换位置下方土整平压实,铺设

30 cm 混凝土垫层,铺设 5 000 mm × 1 800 mm 路基板放置下图支墩,该提升吊点缓慢卸载,使提升吊点反力全部传到下吊点上,然后拆除上吊点,提升器再缓慢加载张拉钢绞线,使该吊点地锚与支墩全部脱空,完成该吊点的置换。支墩设计如图 5。

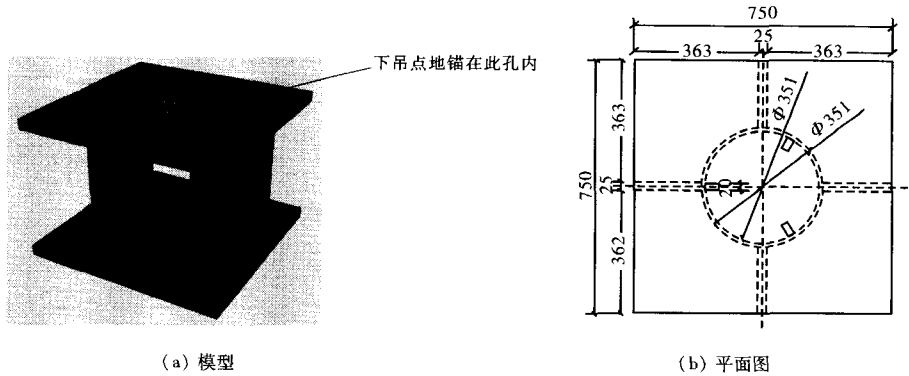


图5 支墩设计

Fig.5 Pier design

### 3 整体提升工况仿真分析

#### 3.1 网架计算的基本假定

网架结构的计算模型假定为空间铰接杆系结构,即节点为铰接,杆件仅承受轴力,忽略节点刚度的影响;按小挠度理论计算,不考虑节点大位移的影响;按弹性方法分析,不允许杆件进入塑性。

#### 3.2 分析计算

##### 3.2.1 提升吊点提升荷载的确定

提升过程中,最主要的荷载是网架的提升力。根据相对刚度计算分析,网架提升力、提升点位移与

结构刚度密切相关,提升吊点对提升点位移反应,由于刚度分布不同,敏感程度也不相同。为控制结构位移,参考提升控制系统性能及其控制原理进行分析,根据结构对位移的敏感程度进行控制系统布设。确定提升控制方式后,对提升控制结构可能发生的偏差进行考虑,确定可接受偏差范围,这样可简化计算,最终确定整体提升支撑系统的主控力如表 1,  $F_1$ 、 $F_2$  分别表示第 1、2 次提升时的提升力。通过提升力的大小确定各提升吊点处的提升器的类型以及提升泵源的配置。

表 1 各提升吊点处的提升力

Tab.1 Stress of each hoisting point

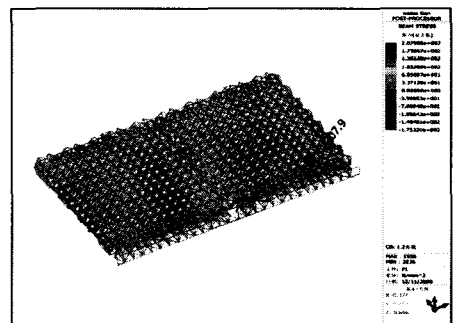
/kN

吊点	F1	F2	吊点	F1	F2	吊点	F1	F2	吊点	F1	F2	吊点	F1	F2	吊点	F1	F2
1	511	1 448	6	409	379	11	588	586	16	389	1 690	21	668	679	26	1 387	1 267
2	412	522	7	738	755	12	634	619	17	220	226	22	594	737	27	566	557
3	395	365	8	395	365	13	588	588	18	504	523	23	614	1 271	28	677	712
4	552	517	9	210	199	14	524	660	19	668	684	24	439	1 697	29	743	750
5	503	496	10	436	440	15	558	1 211	20	716	715	25	454	446	30	584	600

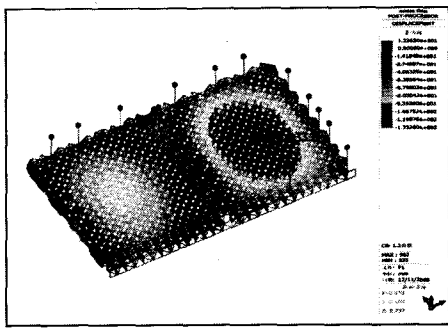
##### 3.2.2 有限元模拟施工结果分析

采用 MIDAS 软件对施工过程进行模拟计算,在图 6、图 7 中可知各结构参数在整个网架的分布情况。挠度主要以 82 m 跨网架(4 # 机位)中心为椭圆中心,向网架四周逐渐减小,在第 1 次提升时(工况 1)最大挠度达到 133.2 mm,应力也达到 207.9 MPa(图 6),这主要是因为提升时风管、吊顶龙骨的重量主要集中在 4 # 机位;而第 2 次提升(工况 2)拆除了临时吊点 33、34,增加了门前下桁架重量,这使得挠度圈、应力也往大门延伸,最大挠度较第 1 次提升略有提高,达到 145.2 mm,最大应力为 245.5

MPa(图 7)。



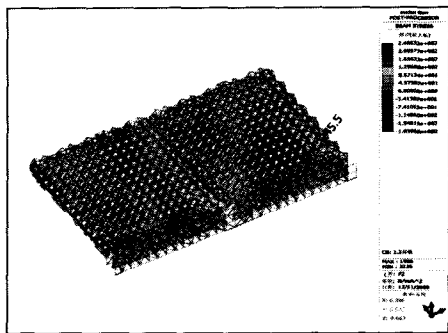
(a)应力图



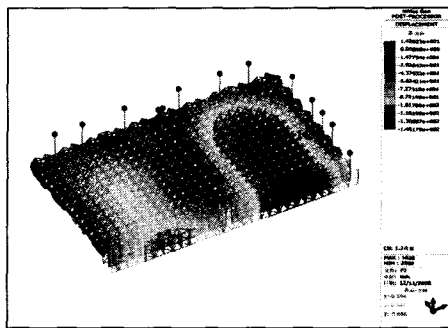
(b) 挠度图

图6 第1次提升网架挠度与内力

Fig.6 Deflection and stress of the truss during the first lifting



(a) 应力图

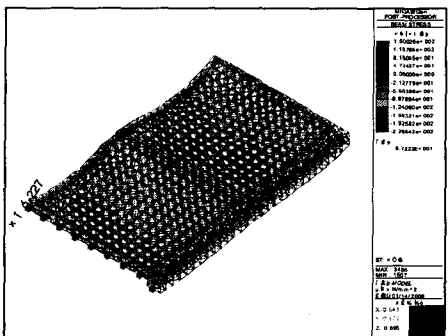


(b) 挠度图

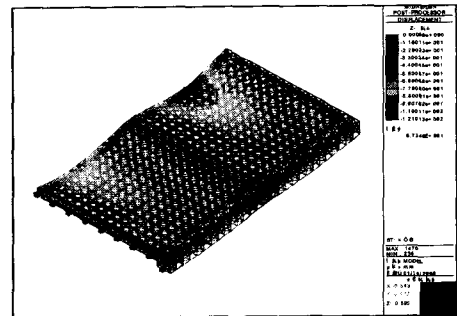
图7 第2次提升网架挠度与内力

Fig.7 Deflection and stress of the truss during the second lifting

提升到顶,补完杆后(工况3)就是整个网架放在支座上,在自身重力下的应力应变(工况3图是大门朝里,和前两图正好相反,见图8)。



(a) 应力图



(b) 挠度图

图8 网架与支座连接完成时挠度与内力

Fig.8 Deflection and stress of the truss in the end

以上3种工况的最大扰度均小于跨度的1/300,即 $82\ 000/300 = 273$ (mm),符合规定要求;最大应力也均在材料强度内。与最后实际提升时的观测值也基本相符。

### 4 结语

通过方案讨论,施工技术论证及实际施工工况仿真分析计算,特大型屋盖结构采用整体提升技术分2次或多次提升是可行的,解决了网架多次提升时空中停留保障及负载转移等技术难题,保证了施工过程的安全性和经济性。浦东机场波音机库屋盖第1、2次提升期间位移和应力变化均控制在仿真分析计算的范围内,最后整体合龙(补杆)也非常顺利,起到了计算机模拟分析指导实际施工的效果。

### 参考文献:

- [1] 赵国涛. CCTV 新址 B 标段钢结构连廊整体提升[J]. 施工技术,2009,38(3):58-60.
- [2] 葛冬云,王向东,王维迎,等. 中国石油大厦主中庭钢结构索桁架整体提升施工技术[J]. 建筑技术,2008,38(4):38-41.
- [3] 丁芸孙,刘罗静,朱洪符,等. 网架网壳设计与施工[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [4] 包建聪,乔聚甫,路克宽. 大屋盖钢结构整体提升点位的研究与应用[J]. 施工技术,2005(5):19-21.
- [5] 郭彦林,邓科,王宏,等. 广州新白云国际机场维修机库钢屋盖整体提升技术[J]. 工业建筑,2004,34(12):6-11.
- [6] 刘光云. 大型钢桁架的集群千斤顶整体提升技术研究与应用[D]. 重庆:重庆大学,2003.
- [7] GB 50205—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.
- [8] 郭正兴,李金根. 建筑施工[M]. 南京:东南大学出版社,1996.