

# 扬州市职业大学

## 毕业设计说明书

题目：扬州市职业大学综合体育馆空调外机吊装方案——基于 BIM 技术的吊装方案优化

学 院： 土木工程学院

---

专 业： 建筑工程技术

---

班 级： 建筑 1401 班

---

姓 名： 马瑶瑶

---

学 号： 140501120

---

指导教师： 钟爱军

---

张 闻

---

完成时间： 2017 年 5 月

---

## 摘要

当前,在建筑工程中,空调设备的吊装方案还主要依赖吊装人员的经验经过详细的现场勘察后确定,由于人的局限性,最终确定的吊装方案往往不是最优方案,随着施工现场状况和建筑物体型趋向复杂,这种人工优选方法越发显得困难。

扬州市职业大学综合体育馆直接蒸发式空调机组吊装,由于空调招标滞后带来诸多不利因素,优选吊装方案成为该工程建设的一项关键性工作,综合甲、乙、监三方关注重点,吊装存在下列三个问题:

(1)工期问题:该项目进展至空调吊装阶段,进度已经落后计划很多,由于空调安装存在较多后续工作,因此,为不致影响后续工作,业主方对吊装施工时间要求较紧。

(2)费用问题:直接蒸发式空调单独招标时招标文件中未涉及施工安装要求,后经协商总包单位同意免费吊装,因此如何降低吊装费用是总包单位重点考虑的因素。

(3)路面保护问题:根据施工进度计划,建筑物四周的消防环道将于空调吊装前一天完成沥青铺设,根据设计承载力以及刚刚完成铺装状况,监理单位建议所用吊车不要超过 200t 汽车吊。

如何快速优选吊装方案,需要解决两方面问题,这也是本文的主要工作内容,具体如下:

(1)方案初选:由于本次吊装属后期吊装,吊装过程中要全面考虑各方面因素,往往由于忽略一个因素就可能导致吊装失败,因此初选吊装方案是一项繁杂容易出错的工作。本文引进了 BIM 技术,运用 BIM 技术提供的工程数据模型模拟吊装过程并进行碰撞分析,规避了人工现场勘察的数据粗糙、复杂状况下难以初选的缺陷,对各种吊装路径进行了精确模拟,然后初选出三种吊装方案。

(2)方案优选:得到初选方案后,需要综合考虑工期、费用、路面保护三方面的因素优选方案,本文运用综合评分法进行了评价,根据三个因素的不同重要性赋予不同的权重系数,对每一个初选方案进行了综合打分,根据综合分值确定最优方案。

本文是 BIM 技术在空调设备吊装施工中一次成功的应用,对于同类型空调系统主机安装有一定的参考价值。

**关键词:** 蒸发式空调机组;吊装;施工方案;BIM 技术;

## ABSTRACT

At present, in the field of construction engineering, air conditioning equipment lifting scheme is mainly depends on lifting personnel experience after detailed on-site investigation to determine, due to the limitation of people lifting scheme is often not the optimal solution for the final, as the construction site conditions and building body tends to complex, the artificial method grown ever more difficult.

Yangzhou polytechnic college gymnasium direct evaporative air conditioning unit of hoisting, due to air conditioning bidding lag bring many adverse factors, optimizing hoisting plan to become a key role in the construction of the project, the comprehensive a, b, third party focus, lifting the following three problems:

( 1 ) time limit for a project problem: the project progress to air conditioning assembly stage, the progress has lagged a lot of plan, because the air conditioning installation is more follow-up work, therefore, does not affect the follow-up work, hoisting construction on the owner party time is tight.

( 2 ) costs: direct evaporative air conditioning alone not covered in the tender bidding documents when construction installation requirements, after the total package units to free hoisting by mutual consent, so how to reduce assembly costs are the total package unit key consideration.

( 3 ) the road protection problem: according to the construction progress plan, the fire ring around the building will be completed the day before air conditioning hoisting asphalt paving, according to the design bearing capacity and has just completed pavement condition, supervision company suggest that not more than 200 t crane crane is used.

How to choose the hoisting plan quickly and need to solve two problems, which is also the main work content of this paper, which is as follows:

( 1 ) solution primary: because the assembly is a late assembly, should fully consider various factors in the process of hoisting, often due to ignore an factors may cause the failure of hoisting, lifting scheme is a primary need multifarious error-prone job. This article has introduced the BIM technology, the use of BIM technology provides engineering data model to simulate lifting process and analysis of collision, avoid the artificial field data rough, difficult to primary defect under complicated conditions, all kinds of hoisting path for the accurate simulation, and then three primary lifting scheme.

(2) plan optimization: after primary scheme, schedule, cost, should be considered three aspects of optimization of road surface protection, this paper USES comprehensive evaluation method was evaluated, according to the different importance of three factors given different weight coefficient, for each primary scheme has carried on the comprehensive score, according to the score to determine the optimal solution.

This paper is a successful application of BIM technology in the hoisting of air conditioning equipment, which has certain reference value for the installation of the same type of air conditioning system.

**Keywords:** evaporative air conditioning unit, hoisting, construction scheme, BIM technology.

## 目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
1 工程概况.....	1
1.1 建筑概况.....	1
1.2 结构概况.....	1
1.3 空调机组概况.....	3
2 施工背景.....	5
2.1 施工现状.....	5
2.2 存在的问题.....	5
2.2.1 空调未定型.....	5
2.2.2 设计缺陷.....	7
2.2.3 招标缺陷.....	8
2.2.4 工期紧张.....	8
2.2.5 消防环道承载.....	8
3 方案初选.....	9
3.1 方案分析.....	9
3.2 方案初选技术及软件.....	11
3.2.1 初选技术.....	11
3.2.2 分析软件.....	11
3.3 整体吊装方案.....	12
3.3.1 A区方案初选.....	12
3.3.2 B区方案初选.....	17
3.4 散件组装方案.....	21
4 方案优选.....	23
4.1 综合评分法概述.....	23
4.2 综合评分.....	23
4.3 方案优选.....	26
5 吊装施工最终方案概述.....	27
5.1 吊装工艺.....	27
5.2 安全管理组织构架.....	27
5.3 起重机具.....	27
5.4 吊装步骤.....	28
5.4.1 试吊.....	28
5.4.2 正式吊装.....	28
6 结论与展望.....	29
6.1 本文总结.....	29
6.2 未来展望.....	29
参考文献.....	30
致 谢.....	31

# 1 工程概况

## 1.1 建筑概况

扬州市职业大学综合体育馆（见图 1-1、1-2）位于扬州市职业大学文昌校区内，东临校园支路和图书馆，南临环湖路，西临校园操场。本工程建筑面积 15056.3m<sup>2</sup>，占地面积为 4854.51 m<sup>2</sup>，建筑总高度 23.065m。地下一层为人防地下室、小型汽车车库，设备用房，羽毛球馆，建筑层高 3.8m；一层为篮球馆、及其辅助用房，羽毛球馆上空，消防控制室，物管用房等；二层为篮球馆上空及固定看台，羽毛球馆上空，活动室等；三层为篮球馆上空及固定看台，多功能厅，活动室，健身房等；13.240m 标高层为篮球馆上空及固定看台、设备用房。



图 1-1 体育馆效果图



图 1-2 体育馆建成实物图

## 1.2 结构概况

本工程结构设计使用年限 50 年，按 7 度抗震设防，乙类建筑，安全等级二级。基础采用梁筏基础，局部采用独立基础。主体采用钢筋混凝土框架结构，其中基础地下室梁、板、柱及墙混凝土强度等级为 C35，其余部分为 C30，钢筋采用 HPB300 和 HRB400 两种。屋盖采用钢管桁架体系和膜结构体系，钢屋盖管桁架采用 Q345B 无缝钢管，膜材采用双层膜，外膜为 PTFE 膜，内膜为双层 PVC 膜夹 16 厚气凝胶。

钢桁架平面布置图见图 1-3，钢屋面布置图见图 1-4。

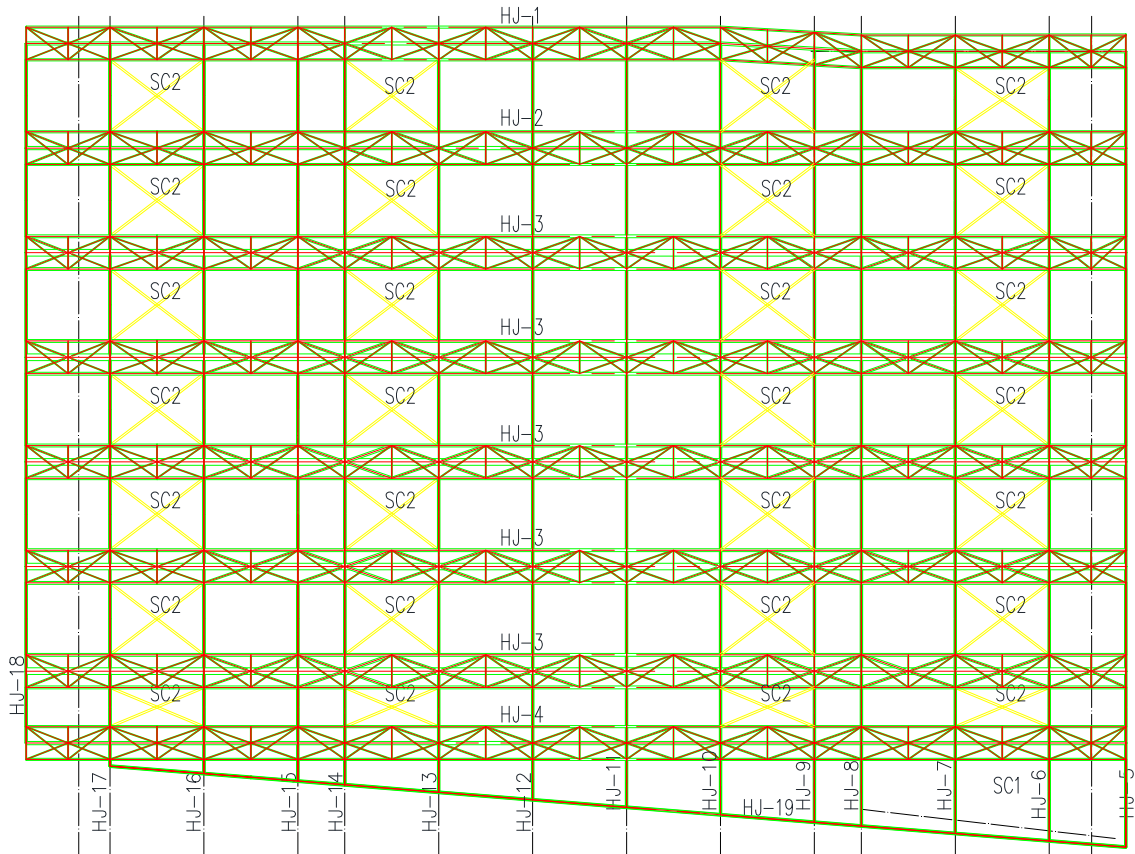


图 1-3 钢桁架平面布置图

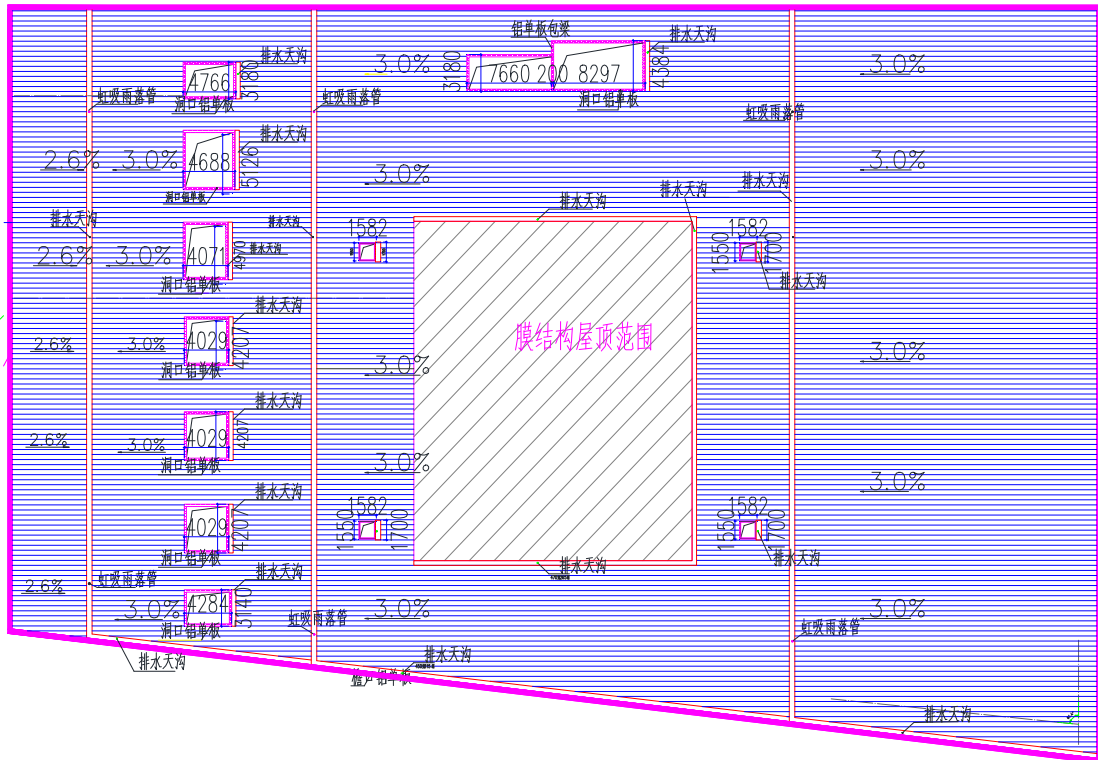


图 1-4 屋顶平面布置图

### 1.3 空调机组概况

本工程比赛馆采用全空气集中空调系统，冷热源由直接蒸发式屋顶空调机组提供。比赛馆送风方式采用顶送下回，比赛场及活动座椅区域的送风口安装在顶棚，回风口设在比赛场边的侧壁上，空气自上而下送入比赛场，风口采用球形喷嘴由上向下送风，详见图 1-5、1-6。

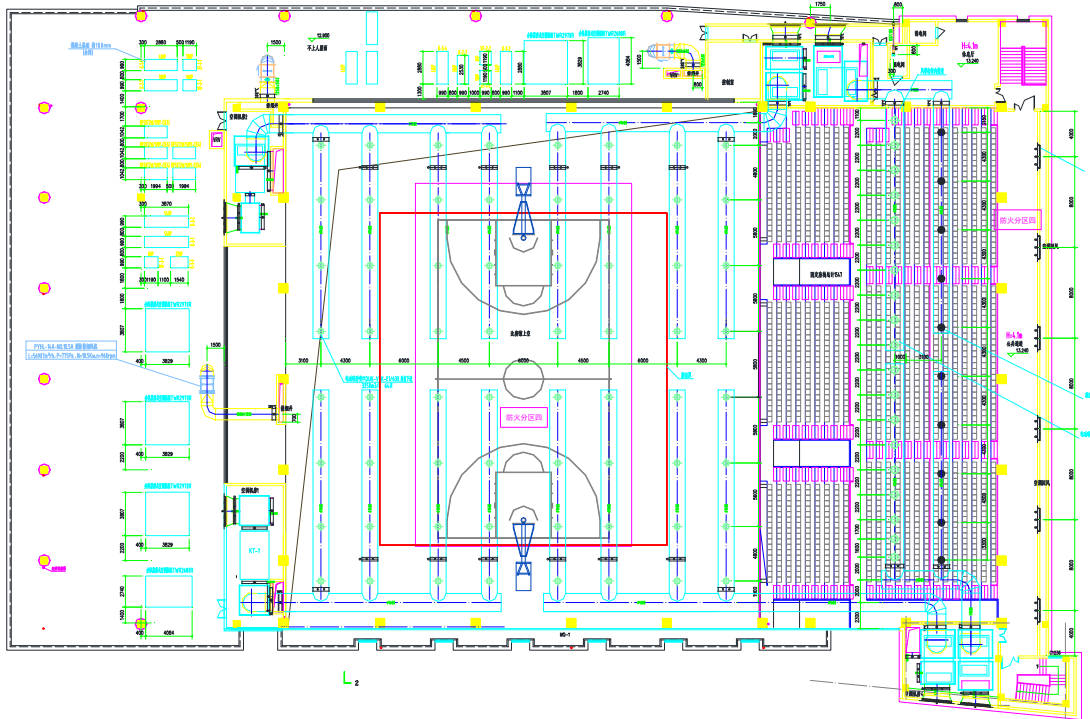


图 1-5 14.500 标高层风管平面图

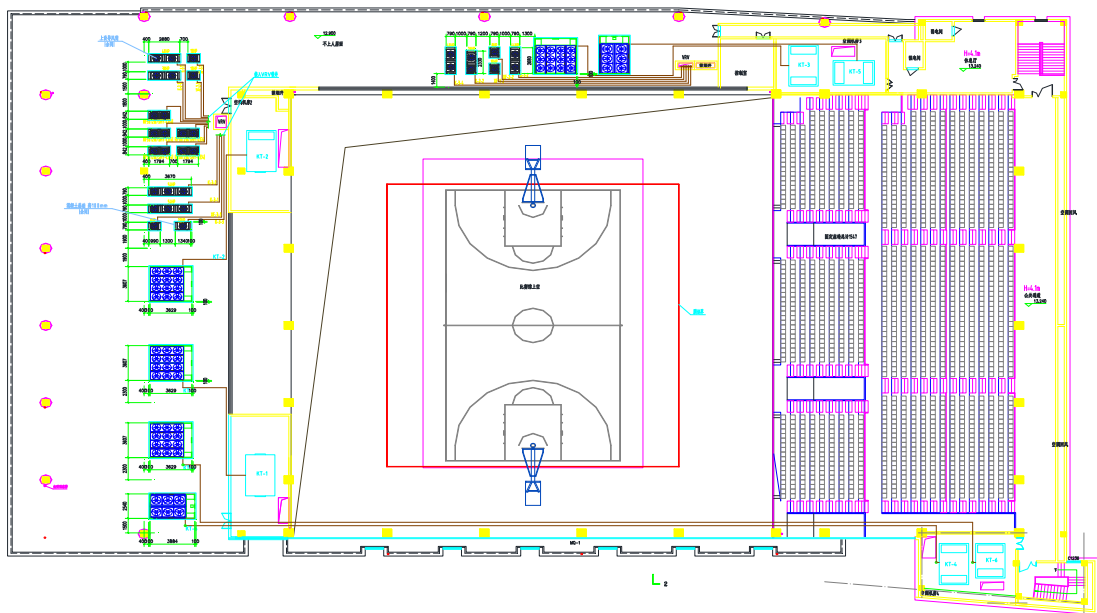


图 1-6 14.500 标高层冷媒管平面图

由图 1-5 可知，本工程共设计有 6 台直接蒸发式空调，其中 4 台空调外机设计



在设备层西侧，另 2 台空调外机设计在设备层北侧，6 台外机均设计有基础，基础尺寸和设备尺寸均需要根据设备招标结果最终确定。设备基础布置图如图 1-6 所示。

## 2 施工背景

### 2.1 施工现状

扬州市职业大学综合体育馆于 2015 年 12 月份开工建设，原计划投资 6000 万元左右，由江苏邗建集团总承包建设。后由于该馆被选定为 2018 年江苏省省运会比赛场馆，扬州市职业大学启动综合体育馆提升工程，追加投资 4000 万元左右，由于提升工程包含的专业类别繁杂，不宜采用总体打包招标形式，故采用按专业单独招标方式，这给后期项目招标、专业协调、施工管理、进度控制都带来了很多问题。

由于 2017 年 5 月江苏省少儿体操比赛确定在该馆进行，所以工程进度一直本工程的严控目标。由图 1-4 可知，直接蒸发式空调外机设置在设备层之上、钢屋面面之下，因此正常施工顺序应该是在钢屋面施工之前完成空调外机吊装，但由于直接蒸发式空调未纳入建安招标范围，采用的是后期单独招标方式，而且因为当前建筑行业竞争激烈，招标多次流标，为不致空调外机安装施工影响整个工程施工进度，经研究决定先行进行钢屋面施工，但这明显违反了正常的施工工序，不仅仅给直接蒸发式空调相关专业的深化设计和施工带来了很大难题，对后期的空调外机吊装也带来了很大挑战。

### 2.2 存在的问题

#### 2.2.1 空调未定型

由于未按正常顺序施工，在钢屋面安装时参照国内品牌空调主机尺寸预留洞口。由于不同品牌的空调外机尺寸有一定的差异，因此在设备确定之前就无法确定设备基础尺寸和空调外机导风口尺寸，这带来两个问题：

(1) 由于设备基础尺寸不能确定，导致基础无法施工，进而影响设备层屋面构造层施工，构造层不能施工，部分楼面洞口没法封堵，致使设备层下的多功能厅梅雨季节雨水倒灌，影响多功能厅的墙面抹灰施工、地面找平施工等。

(2) 空调外机上方的导风口尺寸不能比设备太大也不能太小，太小空调外机不能吊装，太大钢屋面最上层的铝镁锰合金直立锁边板无法接长。

但为了不影响工程进度，只能参考几种常见品牌的设备尺寸进行洞口预留（见图 2-1、2-2），这给后期空调外机吊装带来了很大难题。

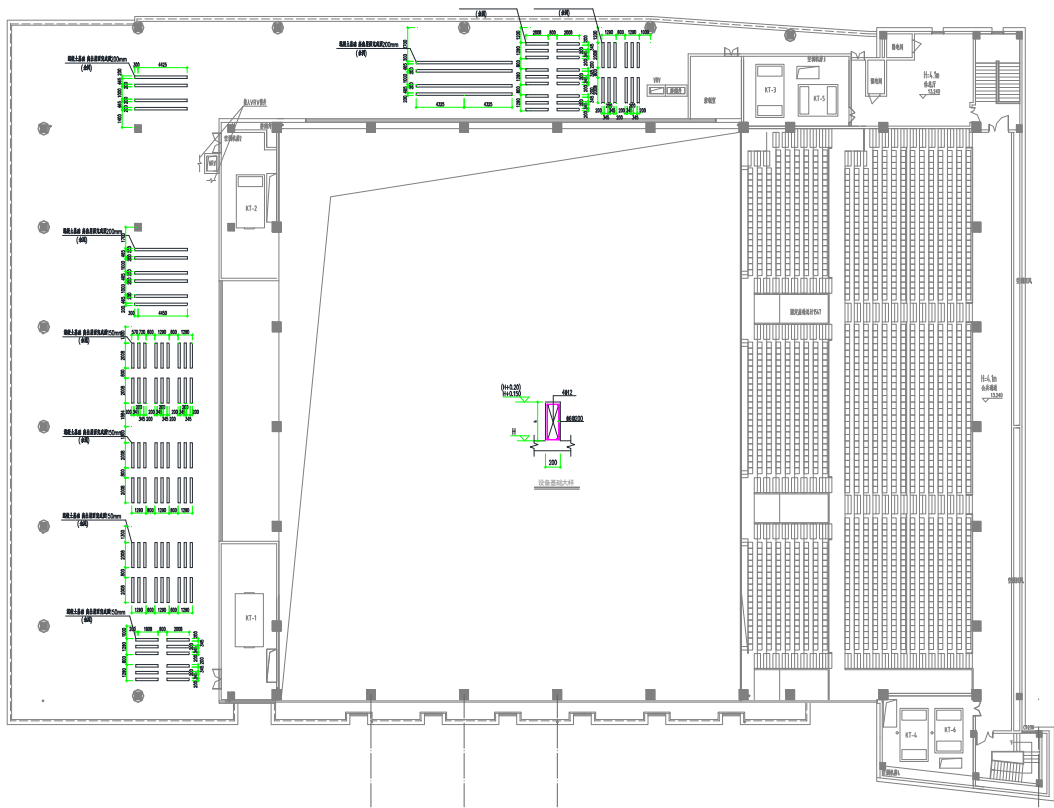


图 2-1 参考几种常见品牌确定的空调基础布置图

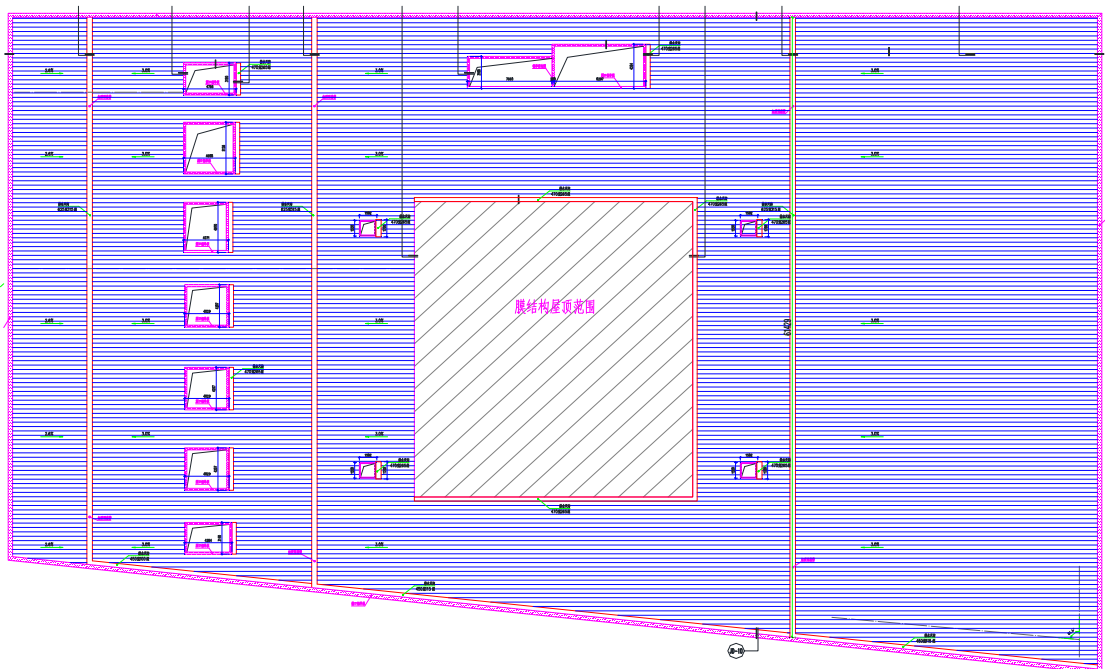


图 2-2 参考几种常见品牌确定的屋顶导风口平面布置图

### 2.2.2 设计缺陷

根据装饰施工图设备层钢桁架下口采用铝板吊顶，因此需要在钢桁架下弦杆上焊接主、次钢龙骨，主钢龙骨采用外径为 319mm 的钢管，由于装饰专业设计师和暖通专业设计师没有足够的沟通，导致部分主钢龙骨刚好穿过西侧空调导风口中部，使得原导风口一分为二，给主机的吊装带来很大困难。



图 2-3 北侧洞口主机上龙骨（一）



图 2-4 北侧洞口主机上龙骨（二）

### 2.2.3 招标缺陷

直接蒸发式空调属于该项目的提升工程部分，不在土建总包单位投标范围内，后期由学校国资处单独招标，由于与基建部门缺乏足够的沟通，设备招标时招标文件中未涉及施工安装要求，致使设备到达现场后无单位实施吊装，后经与总包单位协商，总包单位同意免费吊装，因此在吊方案中如何降低费用是总包单位重点考虑的因素之一。

### 2.2.4 工期紧张

由于该项目膜结构施工耽误了很长一段时间，至空调吊装阶段，进度已经落后计划很多，从甲方角度，此时最为关心的一个问题就是工期。由于空调安装存在较多后续工作：设备层地面防水施工、面层石板铺贴施工、直接蒸发式空调洞口收口施工、设备层下的整个楼层的木质类材料的装饰施工等，因此，为不致影响后续工作，业主方要求 2017 年 2 月 16 日必须完成吊装施工。

### 2.2.5 消防环道承载

根据施工进度计划，建筑物四周的消防环道将于空调吊装前一天完成沥青铺设，根据设计承载力以及刚刚完成铺装状况，监理单位建议所用吊车不要超过 200t 汽车吊，考虑到设备较重、吊装洞口较高等不利因素，吊装时不超过 200t 的汽车吊能否完成吊装需要根据不同吊装方案确定。

### 3 方案初选

#### 3.1 方案分析

根据空调施工图，本工程共有 6 台直接蒸发式空调外机，分别位于 1 号机-6 号机位置，如图 3-1 所示。由于 1 号机和 5-6 号机位置有铝板吊顶主龙骨穿过上方洞口，不经过处理不能作为吊装洞口，如图 3-2、图 3-3 所示。因此，初步设想所有空调外机统一从 B 区吊装，然后平移至各自位置，由于 1 号机-4 号机位置比较接近 B 区，平移不存在太大问题，可以实现，但 A 区的 5 号机和 6 号机则需要平移的距离比较长，约 98m，且需转一个弯。根据表 3-1 可知，单台空调外机重量达 3 吨，平移距离过长，不仅会造成屋面损伤，导致屋面后期漏水，也会导致设备损坏。另外，平移还要经过北侧设备基础与女儿墙之间的狭长区域，工作面小，平移施工难度较大，考虑到这三个方面的问题，A 区两台空调外机不能从 B 区吊装，只能设法从 A 区实施吊装。

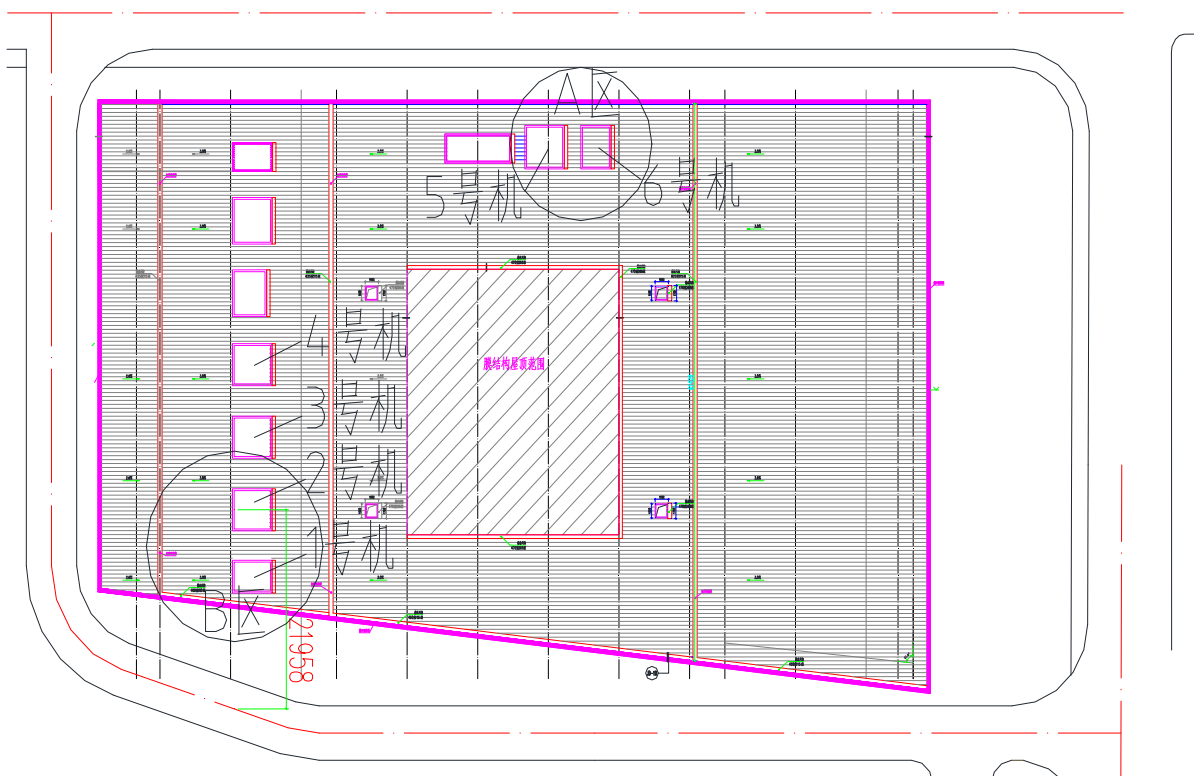


图 3-1 直接蒸发式空调外机布置

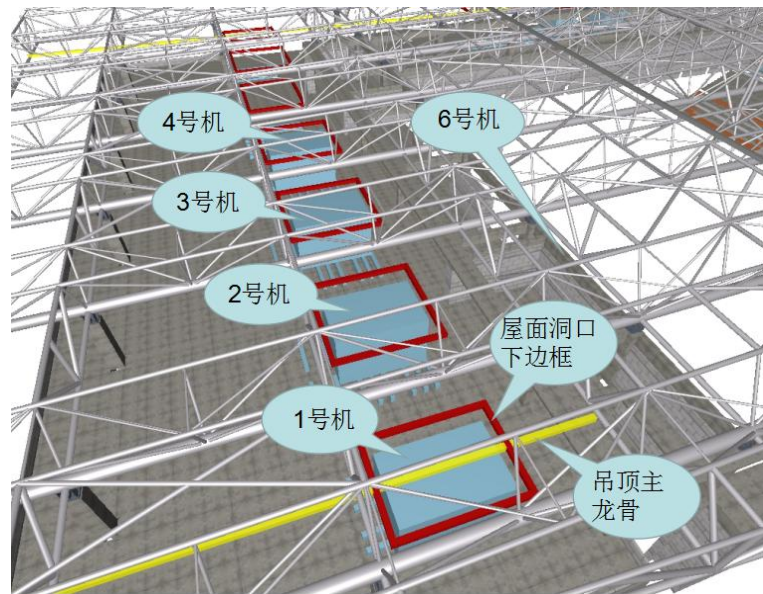


图 3-2 1 号机吊装存在的问题

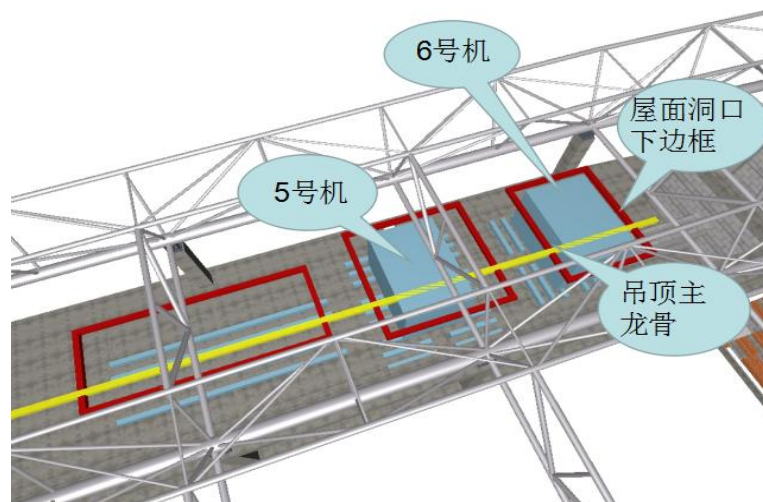


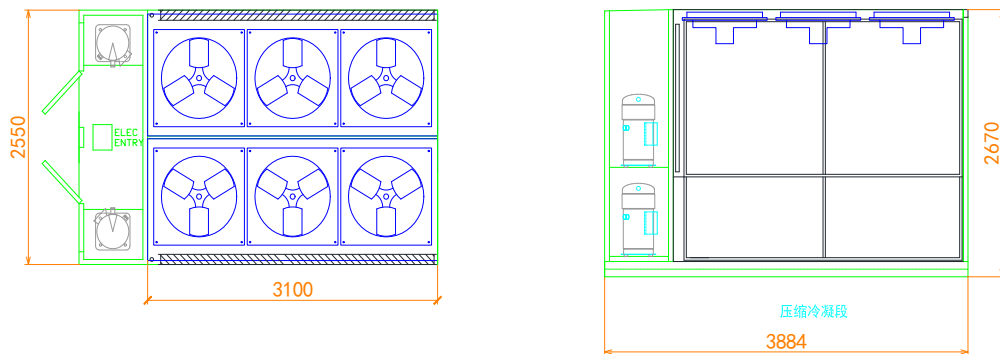
图 3-3 5-6 号机吊装存在的问题

综合上述分析，并结合空调生产厂家的建议，初步确定 2 套施工方案：

(1)空调外机整体吊装方案：1 号机-4 号机从 B 区吊装，5 号机-6 号机从 A 区吊装。至于 A 区和 B 区具体吊装路径则需根据设备尺寸和 A、B 区建筑空间确定，空调外机尺寸详见图 3-4。由于本工程钢屋盖不是标准矩形，进行吊装路径选择时有些地方存在测量困难，不便于方案的初选，因此本吊装方案决定运用 ArchiCAD 软件建模、碰撞模拟，进行可能吊装路径初选。

(2)空调外机散件进场组装方案：该方案不需要重型吊车吊装，用人工将空调外机零件运至设备层后进行现场组装，该方案彻底规避了吊装问题，但也带来了新的问题，施工工期较长和费用较高。

由于散件进场组装方案不存在施工困难，因此本文运用 BIM 技术主要是用于解决整体吊装方案的初选。



(1) 俯视图

(2) 立面图

图 3-4 空调外机尺寸图

表 3-1 空调外机技术参数

序号	系统（机组）编号	型号	数量	招标文件设备规范要求参数	投标文件对应规范参数	备注
01	KT-1~3	室外机 TWR2970R	3	冷/热量 297/299KW，功率： 102KW(380V)，噪音 78dB(A)， 重量：3200kg。	冷/热量 297/299KW，功率： 102KW (380V)，噪音 78dB(A)，重量：3200kg。	无 偏 离
02	KT-4	室外机 TWR2970R	1	冷/热量 297/299KW，功率： 102KW(380V)，噪音 78dB(A)， 重量：3200kg。	冷/热量 297/299KW，功率： 102KW (380V)，噪音 78dB(A)，重量：3200kg。	无 偏 离
03	KT-5~6	室外机 TWR2680R	2	冷/热量 268/270KW，功率： 87KW (380V)，噪音 75dB(A)， 重量：3020kg。	冷/热量 268/270KW，功率： 87KW(380V)，噪音 75dB(A)， 重量：3020kg。	无 偏 离

## 3.2 方案初选技术及软件

### 3.2.1 初选技术

目前在建筑工程中，空调设备的吊装方案还主要依赖吊装人员的经验经过详细的现场勘察后确定，由于人的局限性，最终确定的吊装方案往往不是最优方案，随着施工现场状况和建筑物体型趋向复杂，这种人工优选方法越发显得困难。本文将现行较为流行的 BIM 技术引进到大型空调设备的吊装方案的选择，运用 BIM 技术提供的工程数据模型模拟吊装过程并进行碰撞分析，规避了人工现场勘察的尺寸数据粗糙、复杂状况下难以优选方案的缺陷。

### 3.2.2 分析软件

本次吊装方案模型建立及方案分析采用的是图软公司开发的 ArchiCAD 软件。



ArchiCAD 是一款专门的三维建筑设计软件，以虚拟建筑模型设计为理念，并始终贯彻于产品设计之中。ArchiCAD 是当今世界上最优秀的三维建筑设计软件之一。其基于全三维的模型设计，拥有强大的剖面、立面、参数设计等自动生成功能，为建筑师提供了一款非常先进的图形设计工具。ArchiCAD 创建的三维模型，以 IFC 标准平台交互信息，可以为后续的结构、暖通、施工等专业、以及建筑力学、物理分析等提供强大的基础模型，为多专业协同设计提供了有效保障。

### 3.3 整体吊装方案

#### 3.3.1 A 区方案初选

##### (1)侧吊方案

##### ①路径分析

由于女儿墙顶与钢桁架下口铝板吊顶之间的净高为 2200mm，而设备本身高度达到 2670mm，运用 ArchiCAD 软件模拟侧面吊装，可清楚显现空调外机与女儿墙碰撞情形，如图 3-5 所示，因此从侧面吊装需要拆除一部分女儿墙，考虑到吊装时需要一定的活动空间，女儿墙拆除高度要达到 700mm，拆除长度要达到 2800mm，才能实现安全吊装，拆除区域立面图如图 3-6 所示。该方案优势是所需的吊车臂短，额定起重量低，相应吊车租赁费用也较低，同时有利于对刚施工好的消防环道的保护。

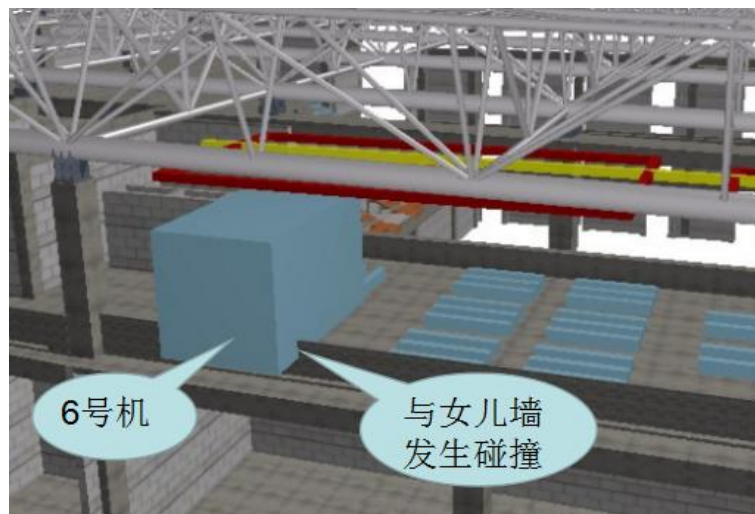


图 3-5 空调外机北侧吊入碰撞分析

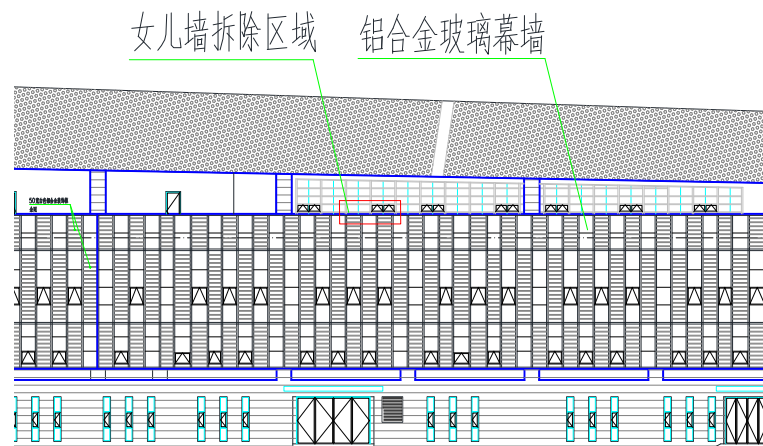


图 3-6 女儿墙拆除区域立面图

### ②费用及工期分析

根据建筑施工图，女儿墙做法为 200mm 厚加气混凝土砌块砌筑，采用 DM M7.5 预拌砂浆、混凝土压顶，剖面图及节点详图如图 3-7、3-8 所示。如果要拆除 700mm 高、2800mm 长女儿墙，需要拆除砌块墙的同时还要拆除外侧的铝合金半隐框玻璃幕墙，由于作为幕墙主要竖向承重构件的立柱只能在马凳处截断，因此女儿墙拆除高度还要考虑马凳间距影响，幕墙最终拆除高度应取为 1700mm，同理，女儿墙拆除长度还要考虑玻璃宽度影响，幕墙最终拆除长度应取为 4400mm。根据节点详图图 3-8，拆除、恢复女儿墙施工工作内容应包括：搭设、拆除砌墙脚手架、加气混凝土砌块墙拆除、砌筑、粉刷、油漆、铝合金半隐框玻璃幕墙拆除、安装。

由于玻璃幕墙拆除后材料还可以利用，没有全部计及相关材料费用，但考虑到拆除施工时材料损耗不可避免，费用计算中包含了玻璃幕墙损耗项，损耗率取为 8%。至于工期计算，为简化分析，没有区分吊装前工作和吊装后工作，实际上吊装前工作并不影响总工期，综合上述分析，将女儿墙拆除与恢复费用和工期列于表 3-2 中。

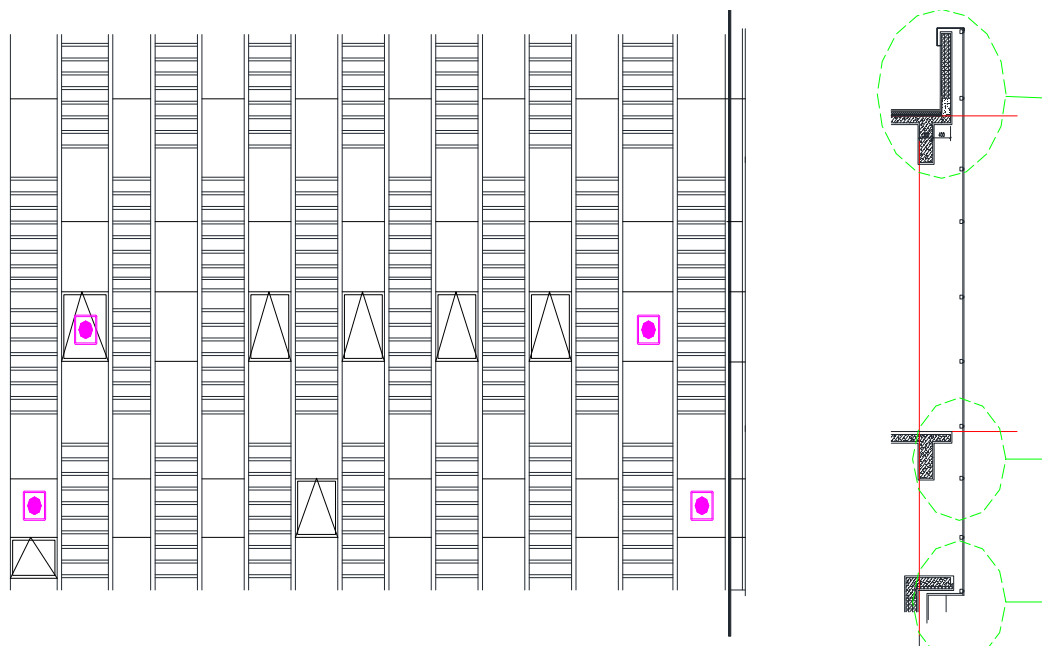


图 3-7 女儿墙剖面图

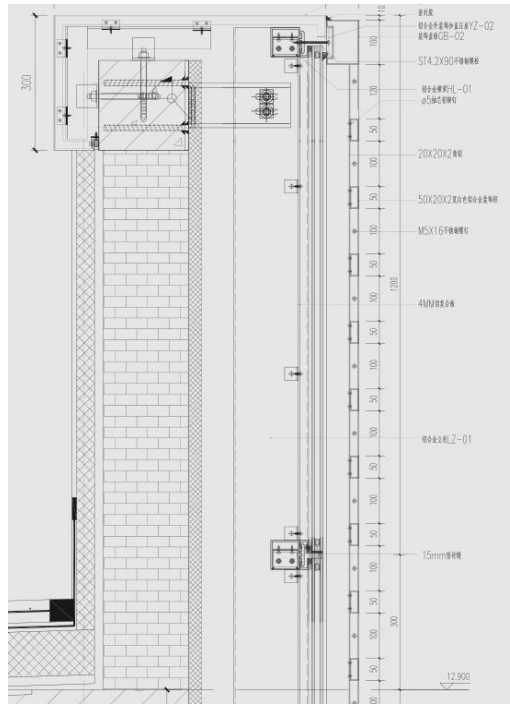


图 3-8 女儿墙节点详图

表 3-2 A 区侧吊安装费用、工期分析

序号	工程名称	单位	工程量	单价(元)	合价(元)	工期(日)
1	搭设、拆除砌墙脚手架	M <sup>2</sup>	42.00	17.79	747.18	0.5
2	砌块墙拆除	M <sup>3</sup>	0.392	49.30	19.33	0.5
3	砌块墙砌筑	M <sup>3</sup>	0.392	431.00	168.95	1
4	砌块墙粉刷+网格布	M <sup>2</sup>	1.96	27.40	53.70	0.5
5	砌块墙涂料	M <sup>2</sup>	1.96	18.20	35.67	0.5
6	玻璃幕墙拆除	M <sup>2</sup>	7.48	100.00	748.00	5
7	玻璃幕墙安装	M <sup>2</sup>	7.48	129.7	970.16	5
8	玻璃幕墙损耗	M <sup>2</sup>	0.60	705.00	423.00	—
9	吊装	台班	0.3	15000	4500	—
<b>合计</b>					<b>7665.99</b>	<b>13</b>

(2)顶吊  
路径分析

从图 3-3 可知，在洞口尺寸和铝板吊顶主龙骨的限制下，5 号外机和 6 号外机均不能从各自洞口吊装，两洞口具体尺寸见图 3-7。要实现从上部吊装，可拆除 5 号外机洞口和 6 号外机洞口之间的钢屋面，将两小洞口合并成为大洞口，为验证该想法的可行性，运用 ArchiCAD 软件模拟出拆除后洞口，详见图 3-8，同时吊装时将长度方向沿洞口长度方向，详见图 3-9，进行吊装碰撞分析，该大洞口能够满足设备吊装要求。

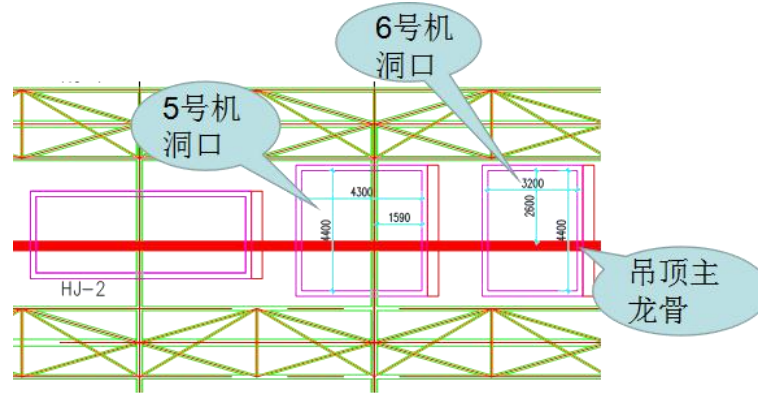


图 3-7 5 号外机和 6 号外机洞口尺寸

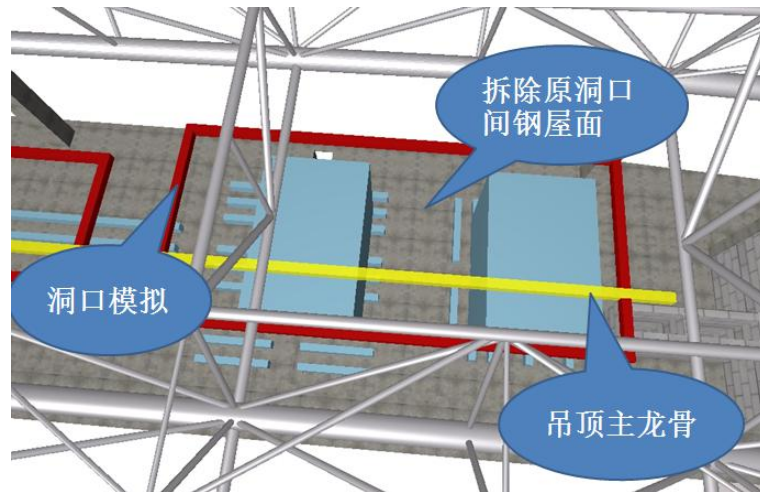


图 3-8 5 号外机和 6 号外机洞口合并

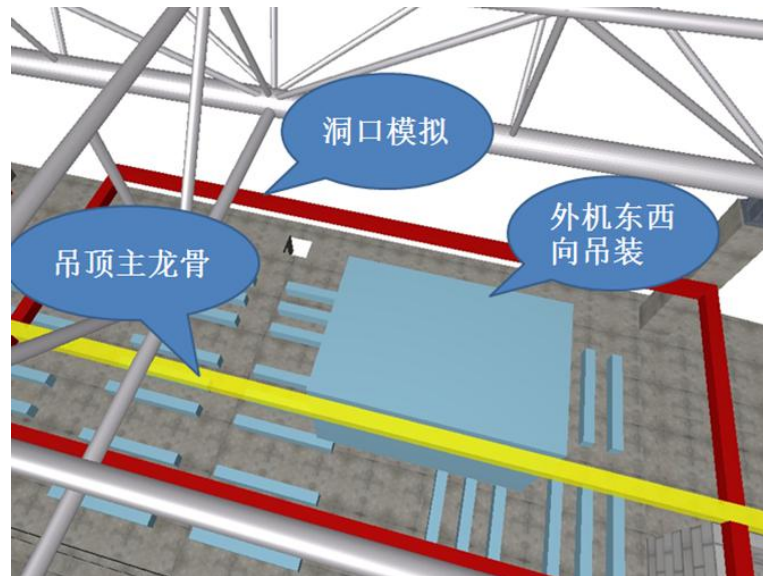


图 3-9 5 号外机和 6 号外机空调外机吊装方法

## ②费用及工期分析

钢屋面构造如图 3-10 所示, 拆除 5 号外机洞口和 6 号外机洞口之间的钢屋面, 具体尺寸为 2360mm×4400mm, 钢屋面拆除、安装费用、工期分析详见表 3-3。

表 3-3 A 区顶吊安装费用、工期分析

序号	工程名称	单位	工程量	单价(元)	合价(元)	工期(日)
1	拆除钢屋面	M <sup>2</sup>	10.38	202.3	2100	2
2	拆除垃圾外运	车次	1	400	400	0.5
3	吊装	台班	0.3	15000	4500	—
4	合计				7000	2.5

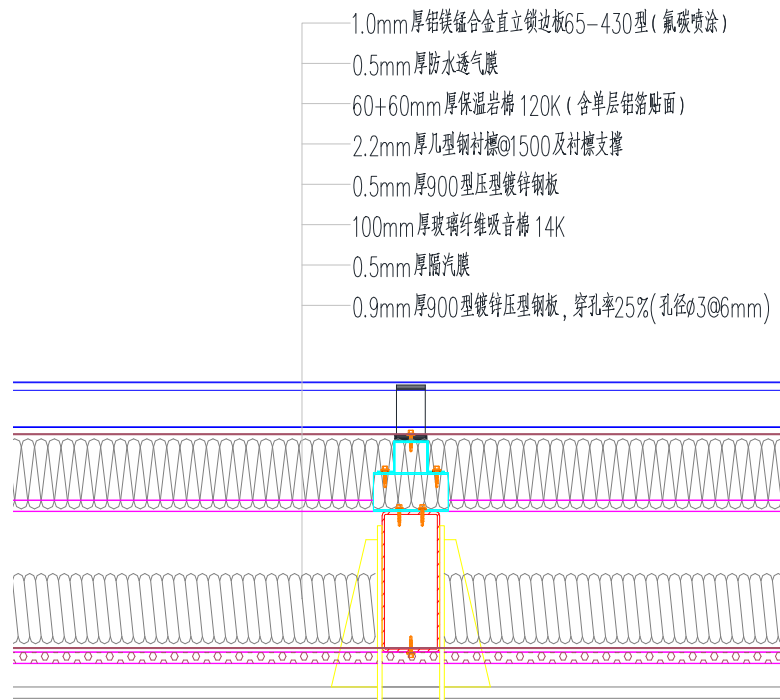


图 3-10 钢屋面构造图

### 3.3.2 B 区方案初选

#### (1) 顶吊

##### ① 路径分析

因为设备层铝板吊顶主龙骨从 1 号机洞口中部通过，该洞口无法吊装，为使吊车吊臂长度尽可能小，1 号机-4 号机可以统一通过 2 号机洞口吊入，该洞口尺寸为 4237mm×4314mm，完全满足设备吊装要求。2 号机洞口中心至消防环道中心线水平距离为 21.98m，洞口中心位置钢屋面高度为 20.1m，详见图 3-11、3-12 所示。

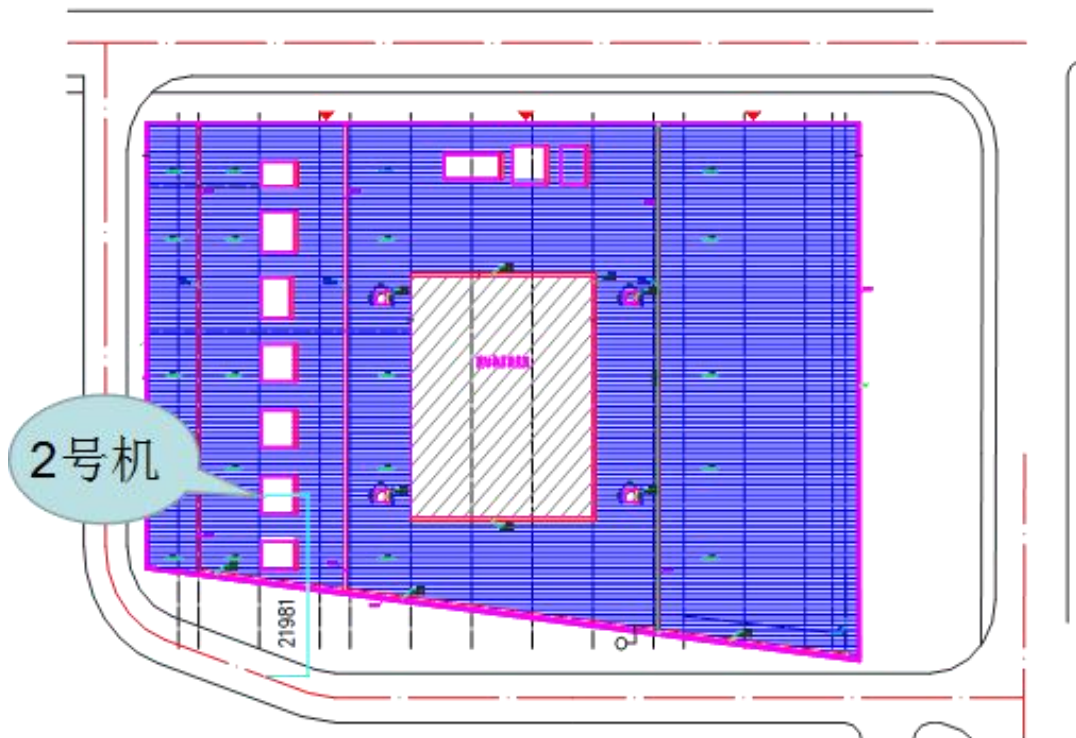


图 3-11 2 号机洞口与消防环道关系图

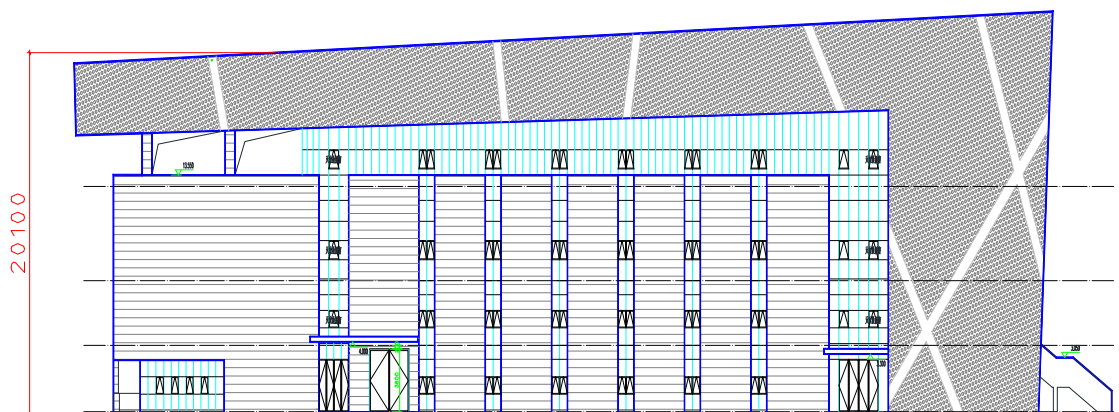


图 3-12 洞口处钢屋顶标高

### ②外机平移分析

由于设备层铝板吊顶至设备基础顶面净间距为2700mm，比设备高度2670略大，但空调外机从2号机洞口向其它洞口平移过程中需要一定的活动高度，需要用ArchiCAD软件建模模拟能否平移，如图3-13、3-14所示。

应用软件作碰撞分析，发现由于空调外机上方的风口防护罩突出上表面150mm，在平移过程中会与铝板吊顶发生碰撞，经过与技术人员沟通，平移时可以拆掉风口防护罩，待移到确定位置后再将其安装上。

### ③费用及工期分析

从2号机洞口吊装，不涉及拆除工作，施工工期较短，拆除费用低，但所需

的吊车臂较长，额定起重量大，相应吊车租赁费用也较高，总的施工费用需要具体计算，同时不利于对刚施工好的消防环道的保护，详见表 3-4。

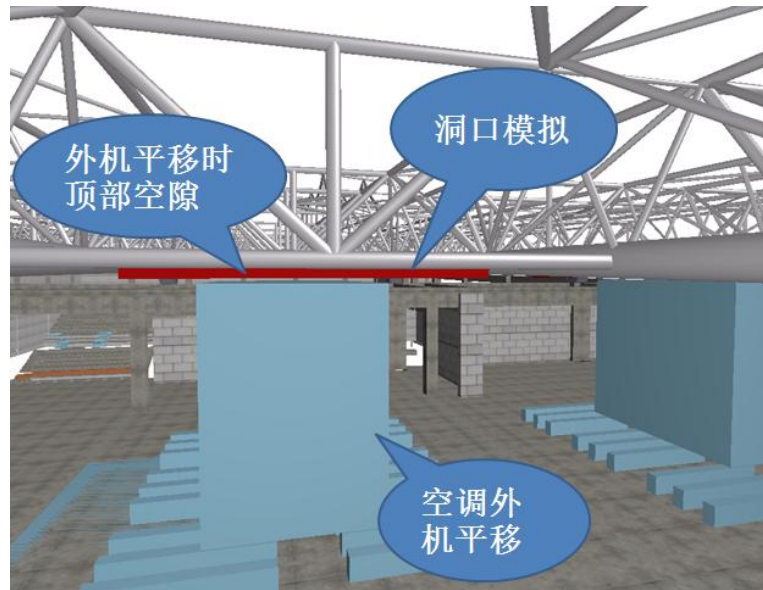


图 3-13 2 号机位置空调外机平移模拟分析

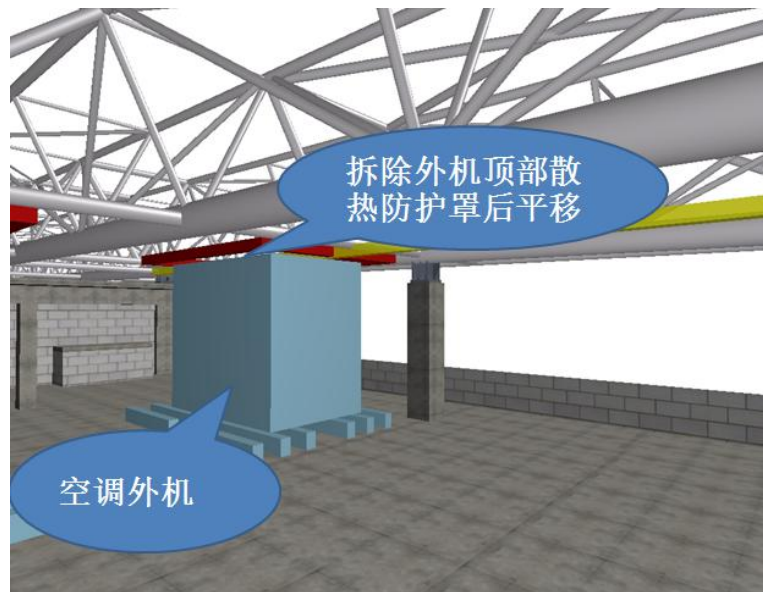


图 3-14 平移至 1 号机位置模拟分析

表 3-4 B 区顶吊安装费用、工期分析

序号	工程名称	单位	工程量	单价(元)	合价(元)	工期(日)
1	吊装	台班	0.7	15000	10500	0.7



2	合计	10500	0.7
---	----	-------	-----

## (2)侧吊

### ①路径分析

由于女儿墙顶与钢桁架下口铝板吊顶之间的净高为 2370mm，而设备本身高度达到 2670mm，运用 ArchiCAD 软件模拟侧面吊装，可清楚显现空调外机与女儿墙碰撞情形，如图 3-15 所示，因此从侧面吊装需要拆除一部分女儿墙，考虑到吊装时需要一定的活动空间，女儿墙拆除高度要达到 500mm，拆除长度要达到 2800mm，才能实现安全吊装，拆除区域立面如图 3-16 所示。

该方案优势是所需的吊车臂短，额定起重量低，相应吊车租赁费用也较低，同时有利于对刚施工好的消防环道的保护。

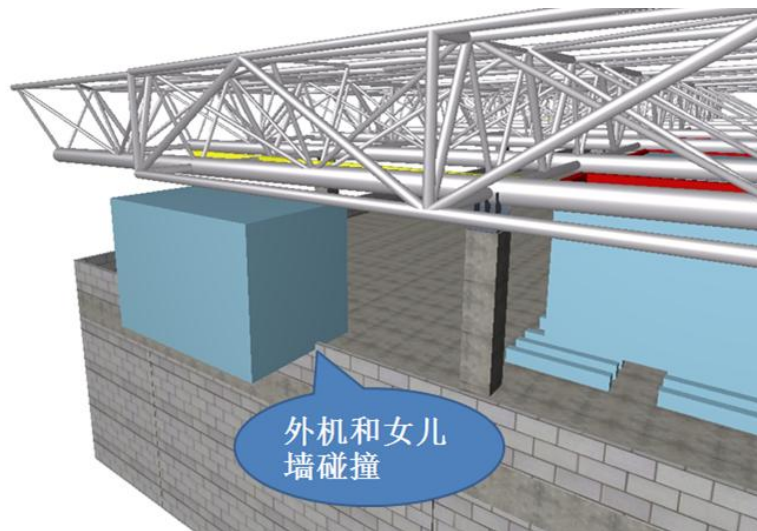


图 3-15 空调外机南侧吊入碰撞分析

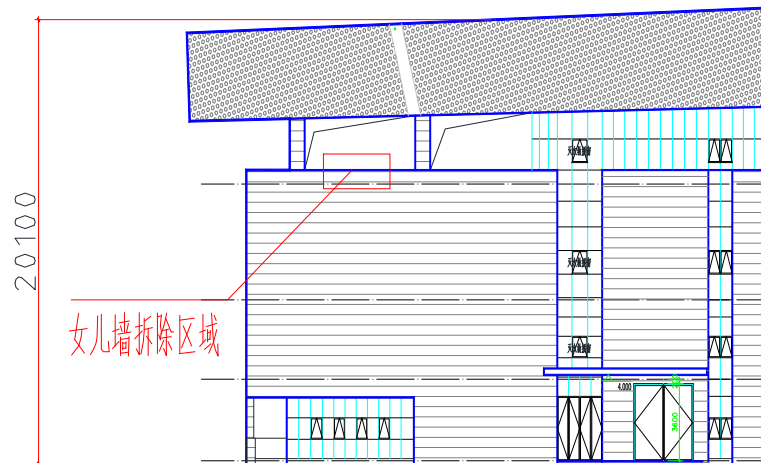


图 3-16 南侧女儿墙拆除区域立面图

### ②外机平移分析

从该处位置平移到达 1 号机-4 号机洞口位置的分析同 3.3.2 (1) ②。

### ③费用及工期分析

根据建筑施工图，女儿墙为 200mm 钢筋混凝土墙，剖面图如图 3-17 所示。如果要拆除 500mm 高、2800mm 长女儿墙，需要拆除钢筋混凝土墙的同时还要拆除外侧的石材幕墙，考虑到幕墙主要竖向承重构件的立柱和单块石材面板长度影响，幕墙最终拆除高度应取为 600mm，幕墙最终拆除长度应取为 3000mm。拆除、恢复女儿墙施工工作内容应包括：搭设、拆除砌墙脚手架、钢筋混凝土墙拆除、浇筑、石材幕墙拆除、安装。

由于石材幕墙拆除后材料不可以利用，拆除应按破坏性拆除计算费用，安装应按综合单价计算费用。至于工期计算，为简化分析，没有区分吊装前工作和吊装后工作，实际上吊装前工作并不影响总工期，综合上述分析，将女儿墙拆除与恢复费用和工期列于表 3-5 中。

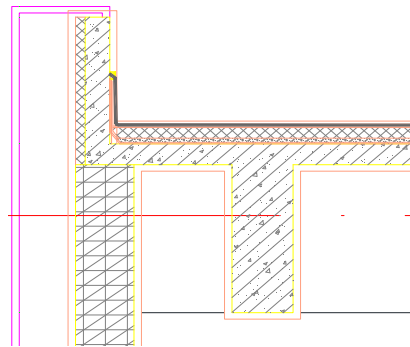


图 3-17 南侧女儿墙剖面图

表 3-5 B 区侧吊安装费用、工期分析

序号	工程名称	单位	工程量	单价(元)	合价(元)	工期(日)
1	搭设、拆除砌墙脚手架	M2	42.00	17.79	747.18	0.5
2	混凝土墙拆除	M3	0.18	49.30	8.87	1
3	混凝土墙浇筑	M3	0.18	431.00	77.58	2
4	石材幕墙拆除	M2	1.8	109.5	197.1	2
5	石材供货	-	-	-	-	30
6	石材幕墙安装	M2	1.8	410.6	739.08	2
7	吊装	台班	0.7	15000	10500	0.7
合计					12269.81	38.2

### 3.4 散件组装方案

散件组装方案是指不需要重型吊车吊装，采用人工将空调外机零件运至设备层后进行现场组装，该方案彻底规避了吊装问题，不会对消防环道路面产生任何破坏，但现场组装耗时较长，另外由于是现场组装，需要生产厂家派驻专业技术人员现场跟踪指导，费用较高，详见表 3-6。

表 3-6 散件进场组装方案安装费用、工期分析

序号	工程名称	单位	工程量	单价(元)	合价(元)	工期(日)
1	A 区零件人工搬运	—	—	—	1400	0.6
2	A 区外机现场组装	台	2	5000	10000	4
	B 区零件人工搬运	—	—	—	2800	1.4
	B 区外机现场组装	台	4	5000	20000	8
合计					34200	14

## 4 方案优选

### 4.1 综合评分法概述

根据施工背景和现场情况，方案优选主要考虑两个因素：一是吊装工期，二是吊装费用，以期兼顾到业主和施工方的双方利益。由于考虑因素多余一个，为了使选择方案达到各方利益均衡点，需要引进综合评分法。综合评分法适用于多参数情况下的目标优选，但各参数权值变化对优选结果有比较大的影响，由于本工程只考虑两个参数，因此相对而言参数权值的确定比较方便。

### 4.2 综合评分

综合评分法在本吊装工程中的应用顺序如下：

(1)确定评价参数，即哪些指标采取此法进行评价。本吊装工程需要评价的指标就是吊装施工工期和吊装施工费用、路面保护三个参数，如表 4-1 所示。考虑到本工程为 2018 年江苏省省运会比赛场馆，同时也是建设单位唯一的综合性场馆，许多大型活动亟待在其内举办，因此施工工期是首要因素。

表 4-1 评价参数

序号	评价指标	备注
1	吊装工期	
2	吊装费用	
3	路面保护	以承载 200t 汽车吊为上限

(2)根据各评分指标重要程度，确定其所占的权重，本工程吊装工期权重系数取为 0.45，吊装费用权重系数取为 0.35，路面保护权重系数为 0.20，如表 4-2 所示。

表 4-2 指标权重

序号	评价指标	权重
1	吊装工期	45%
2	吊装费用	35%
3	路面保护	20%
4	合计	100%

(3)制定评价等级和标准。首先制定各项评价指标统一的评价分值范围，本工程均为 100 分，然后制定每项评价指标评分标准，详见表 4-3 所示。

表 4-3 评分指标打分标准

序号	评价指标	评分标准

		满分	打分标准
1	吊装工期	100 分	以最长工期得 60 分，最短工期得 100 分，其余工期得分在 100 分与 60 分之间进行插值
2	吊装费用	100 分	以最高费用得 60 分，最低费用得 100 分，其余费用得分在 100 分与 60 分之间进行插值
3	路面保护	100 分	采用 267t 汽车吊得 0 分，0t 得 100 分，其余情况得分在 100 分与 60 分之间进行插值

(4)根据指标和评分标准，结合各吊装路径施工工期和施工费用分析结果评出各自分值，具体如下：

A 区侧吊

工期指标评分：60

$$\text{费用指标评分：} \frac{60-100}{11400-7000} \times (7665.99-7000) + 100 = 93.95$$

$$\text{路面保护指标评分：} \frac{60-100}{267-0} \times (200-0) + 100 = 70$$

$$\text{综合评分值：} 60 \times 0.45 + 93.95 \times 0.35 + 70 \times 0.2 = 73.88$$

② A 区顶吊

工期指标评分：100

费用指标评分：100

$$\text{路面保护指标评分：} \frac{60-100}{267-0} \times (200-0) + 100 = 70$$

$$\text{综合评分值：} 100 \times 0.45 + 100 \times 0.35 + 70 \times 0.2 = 94.00$$

③ A 区散件进场组装

$$\text{工期指标评分：} \frac{60-100}{13-2.5} \times (4.6-2.5) + 100 = 92$$

费用指标评分：60

路面保护指标评分：100

$$\text{综合评分值：} 92 \times 0.45 + 60 \times 0.35 + 100 \times 0.2 = 82.40$$

④ B 区顶吊

工期指标评分：100

费用指标评分：100

$$\text{路面保护指标评分: } \frac{60-100}{267-0} \times (200-0) + 100 = 70$$

$$\text{综合评分值: } 100 \times 0.45 + 100 \times 0.35 + 70 \times 0.2 = 94.00$$

⑤ B 区侧吊

工期指标评分: 60

$$\text{费用指标评分: } \frac{60-100}{22800-10500} \times (12269.81-10500) + 100 = 94.24$$

$$\text{路面保护指标评分: } \frac{60-100}{267-0} \times (200-0) + 100 = 70$$

$$\text{综合评分值: } 60 \times 0.45 + 94.24 \times 0.35 + 70 \times 0.2 = 73.98$$

⑥ B 区散件进场组装

$$\text{工期指标评分: } \frac{60-100}{38.2-0.7} \times (9.4-0.7) + 100 = 90.72$$

费用指标评分: 60

路面保护指标评分: 100

$$\text{综合评分值: } 90.72 \times 0.45 + 60 \times 0.35 + 100 \times 0.2 = 81.82$$

将计算结果汇总，详见表 4-4 所示。

表 4-4 综合评分值

序号	吊装路径	评价指标	指标数值	指标评分	综合评分值
1	A 区侧吊	工期	13 天	60	73.88
		费用	7665.99 元	93.95	
		路面保护	200t	70	
2	A 区顶吊	工期	2.5 天	100	94.00
		费用	7000 元	100	
		路面保护	200t	70	
3	A 区散件进 场组装	工期	4.6 天	92	82.40
		费用	11400 元	60	
		路面保护	0t	100	
4	B 区顶吊	工期	0.7 天	100	94.00
		费用	10500 元	100	

		路面保护	200t	70	
5	B 区侧吊	工期	38.2 天	60	73.98
		费用	12269.81 元	94.24	
		路面保护	200t	70	
6	B 区散件进 场组装	工期	9.4 天	90.72	81.82
		费用	22800 元	60	
		路面保护	0t	100	

### 4.3 方案优选

根据表 4-4 综合评分结构，A、B 区空调外机吊装方案如下：

(1)A 区最佳吊装方案为合并洞口后从上部洞口吊装，该方案费用低，工期短，与从南侧吊装和散件进场组装相比均有明显优势。

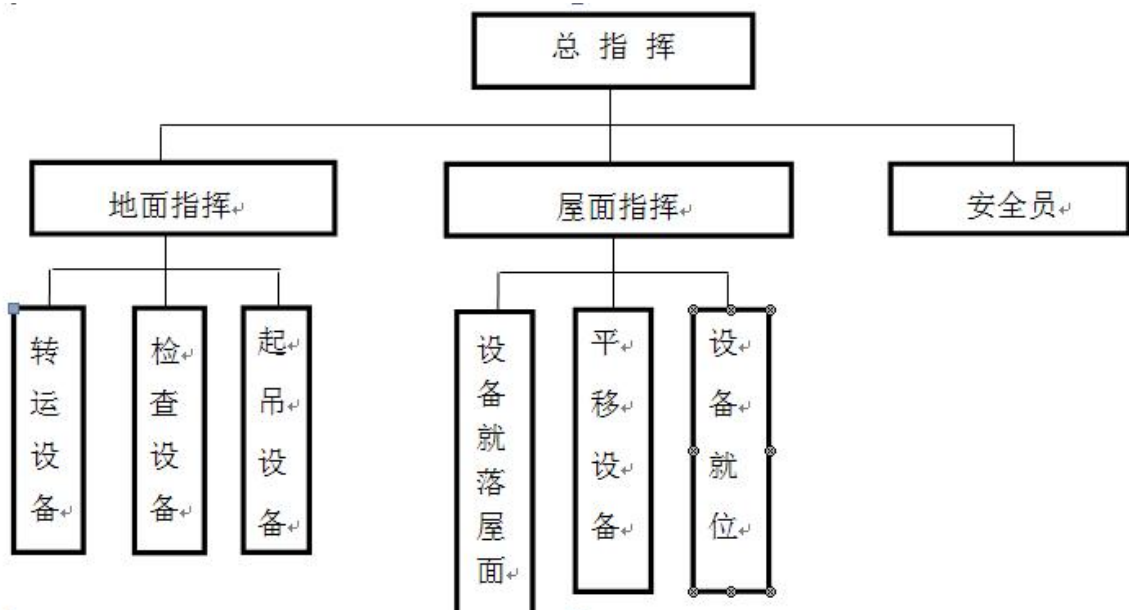
(2)B 区最佳吊装方案为从 2 号机上方洞口位置吊装，该方案费用低，工期短，与从南侧吊装和散件进场组装相比均有明显优势。

## 5 吊装施工最终方案概述

### 5.1 吊装工艺

根据现场实际条件，经现场勘查，先用一台 5 吨叉车将空调设备由堆放处转运至吊装处，再用 200t 汽车吊装机进行吊装。待设备吊至屋面后，用人工进行操作，地面铺 15mm 铁板，上面放滚杠或地坦克（根据现场情况而定），然后用 3 吨手拉葫芦进行牵引到设备位置进行就位安装。

### 5.2 安全管理组织构架



### 5.3 起重机具

本次吊装采用 200t 汽车吊装机，选用的工况见图 5-1 及表 5-1。

表 5-1 汽车吊指标

序号	参数	参数值
1	臂长	60m
2	回转半径	20m
3	额定起重量	10t
4	计算载荷	6.61t

负荷率 =  $\frac{P}{Q} = \frac{6.61}{10} = 0.661 < 1$ ，该工况完全满足这次吊装要求。



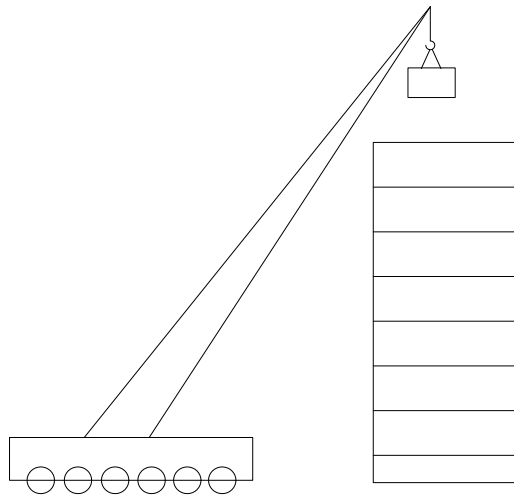


图 5-1 吊装示意图

## 5.4 吊装步骤

### 5.4.1 试吊

试吊前检查确认；吊装总指挥进行吊装操作交底；布置各监察岗位进行监察的要点及主要内容；试吊的货物离地高度 $\leq 10\text{cm}$ ，当第一次试吊比较顺利时，应进行第二次试吊，第二次顺利时，再进行第三次试吊，三次试吊均合格时，便可进行正式吊装。如果试吊不顺利时，应及时进行检查并对发生问题的部位进行纠偏和修复，经反复试吊直到合格为止，方可进行正式吊装。

### 5.4.2 正式吊装

(1)正式吊装前 20 分钟，项目经理组织各个岗位的员工对自己要操作各个程序、环节、安全进行全面检查，检查合格后，再进行试吊，试吊合格后，再进行正式吊装。吊装程序如下：

(2)带包装整机吊运：设备搬运人员将钢丝绳或布带牢牢的捆在设备外包装上，吊环必须在设备重心点上。

(3)地面总指挥立即指挥吊车司机将吊车的吊臂放在设备摆放的位置，并将吊钩放到合适的高度，设备搬运工将吊钩挂在吊环内。

(4)在确定挂牢固后，地面总指挥开始打手势进行试吊，试吊设备离地距离 10cm，试吊三次合格后，指挥员指挥正式吊运。

(5)地面 1 人牵引住浪风绳，当设备缓缓吊运至屋面时，屋面设备搬运人员采用牵引棕绳将设备牵引，确定设备放置位置，楼上指挥员打手势或用对讲机指挥吊车司机将设备下放至屋顶。

(6)设备搬运人员及安装人员扶住设备，向指定放置位置移动，移动到合适的位置（已铺好 15mm 铁板和滚杠或地坦克）后慢慢放下设备，设备放好后，再慢慢去掉钢丝绳或布带，指挥人员指挥吊车摆臂收吊钩。

(7)其他人员用 3 吨手拉葫芦进行牵引到设备位置进行就位安装，吊完一台设备后，下一台仍按以上步骤连续进行，直到吊完为止。

## 6 结论与展望

### 6.1 本文总结

本文首先通过理性分析以及在与其它专业的沟通协调的基础上初步确定了总的吊装方案，即 1 号机-4 号机在 B 区吊装，5、6 号机在 A 区吊装。由于 A、B 两区都存在多种吊装路径，且建筑体型不规则，不便于实际测量，如何确定可能吊装路径成为一个费时费力的工作。本文使用 BIM 技术，通过 ArchiCAD 软件建立建筑信息模型进行吊装碰撞模拟，较为方便地确定了空调外机吊装可能路径，最终 1 号机-4 号机和 5、6 号机各自确定两条吊装可能路径，实现了吊装可能路径的快速确定。

找到吊装可能路径后，如何优选吊装方案构成了本文第二个重点内容。为了解决这个问题，作者分析了该工程中业主和施工单位最为关心的三个因素：吊装工期、吊装成本和路面保护，并且根据实际情况，得出吊装工期比吊装成本更为重要的结论，然后计算不同吊装路径所需的工期和成本，最后引进综合评分法，确定工期、成本和路面保护的权重系数，本文工期权重系数取为 0.45，成本权重系数取为 0.35，路面保护权重系数取为 0.2，经过计算，A 区最佳吊装方案为合并洞口后从上部洞口吊装，B 区最佳吊装方案为从 2 号机洞口吊装。

### 6.2 未来展望

本文通过完整过程的分析 and 计算分析，发现现有的 BIM 技术存在部分不足和利用 BIM 技术有待解决的问题：

(1) 现有的 BIM 技术软件普遍对计算机性能要求过高，这对于 BIM 技术的普及产生了一定的阻碍，作者在用 ArchiCAD 建模型时，发现在空间钢桁架建好了，电脑经常卡机，并且钢屋面无法开洞口。

(2) 在现有的条件下，如何简化建模以利于工程实际问题的快速解决。BIM 技术的关键不是建模型，而是如何利用 BIM 技术解决实际问题，因此将模型建到恰当的详细程度，一方面利于问题，另一方面又节省时间和人力，这是当前 BIM 技术开发人员和使用者共同关心的问题。

## 参考文献

- 李世超,孙守钱,王剑. 浅谈超高层建筑空调设备吊装. 青岛理工大学学报, 2016.
- 王珺,张人友. BIM3维与4维建模实例[J]. 工业建筑, 2012(07).
- 张建平,李丁,林佳瑞,颜钢文. BIM在工程施工中的应用[J]. 施工技术, 2012(16).
- 董骁,王一凡,武绍彭,龚景海. 建筑信息模型(BIM)技术在AP1000核岛大件吊装仿真中的应用[J]. 工业建筑, 2014(07).
- 刘波,刘薇. BIM在国内建筑业领域的应用现状与障碍研究[J]. 建筑经济, 2015(09).
- 纪凡荣,曲娣,尚方剑. BIM情景下的可视化工程进度管理研究. 建筑经济, 2014(10).
- 郑华海,刘匀,李元齐. BIM技术研究与应用现状[J]. 结构工程师, 2015(04).
- 申屠辉宏,江磊,吴昌根,朱红兵,周焱平. 福州海峡奥体中心体育场罩棚钢网架施工关键技术[J]. 施工技术. 2014(22)
- 克里斯·摩尔,杰弗里·W·奥莱特,王娜. 美国国家BIM标准第三版推动建筑/工程/施工/业主/经营者领域的进步[J]. 土木工程信息技术. 2014(02)
- 朱国平. 浅谈网架整体顶升法在工程中的应用[J]. 山西建筑. 2010(30)
- 丁杰. 建设工程项目4D模型实现方法的研究[J]. 项目管理技术. 2008(11)
- 陈建国,周兴. 基于BIM的建设工程多维集成管理的实现基础[J]. 科技进步与对策. 2008(10)
- 何关培. BIM总论[M]. 中国建筑工业出版社. 2011
- 清华大学BIM课题组. 中国建筑信息模型标准框架研究[M]. 中国建筑工业出版社. 2011
- 王屿川,颀建成,郭远生,赵捷. BIM技术在中国人寿数据中心装饰工程中的应用[J]. 建筑技术. 2016(02)
- 傅睿,王辉. BIM技术在常州经纬大厦施工管理中的应用[J]. 建筑技术. 2015(12)
- 纪博雅,戚振强,金占勇. BIM技术在建筑运营管理中的应用研究——以北京奥运会奥运村项目为例[J]. 北京建筑工程学院学报. 2014
- 柳娟花. 基于BIM的虚拟施工技术应用研究[D]. 西安建筑科技大学. 2012
- 张希黔. 建筑施工科技创新及应用[M]. 中国建筑工业出版社. 2009

## 致 谢

时光如梭，我的大学生涯已经接近尾声。这三年来的时光既短暂又漫长，其中充满着酸甜苦辣，既有磨炼又有成长，感谢陪我一路走来的老师和同学，有了你们的帮助，我才有今天的收获。

本人毕业设计是在钟爱军、张闻两位老师的指导下完成的。从课题选择、BIM模型的建立、论文的撰写以及后期的修改，整个过程两位老师都非常有耐心，非常负责的给予我帮助、指导，督促我按计划完成毕业设计。我去的的每一点成绩都包含着两位老师的汗水和心血，在此，我衷心的感谢两位老师的教诲并致以崇高的敬意。

再者，我要感谢土木学院的各位老师。三年里，你们的悉心教育，让我了解了土木，熟悉了土木，对相关的专业知识有了比较深刻的理解和掌握，为了今后走向工作岗位，步入社会奠定了坚实的基础。

最后，感谢我的父母对我一直一开的包容和支持，以及一路走来的各位同学，有了你们的陪伴，我的大学生活才会如此的丰富多彩。今后，我们将开启人生新的征程，祝大家前程似锦！