

基于建筑信息化的高效制冷机房装配式设计 及施工技术

浙江智慧之门项目



中建三局第三建设工程有限责任公司

THE THIRD CONSTRUCTION ENGINEERING LIMITED COMPANY OF CHINA CONSTRUCTION THIRD ENGINEERING BUREAU

目录

CONTENTS

01

背景介绍

项目概况 实施成果

02

应用策划

机房概况 技术背景 亮点介绍

03

技术创新

技术特点 实施思路 项目应用
设备选型 管线优化 控制策略优化

04

施工过程

前期准备 设计阶段 预制加工阶段
物流化运输 现场装配阶段 试压及保温

05

实施效果

机房能效 创新成果
BIM设计与安装实施 安装视频



中建三局三公司

01

背景介绍 Background introduction

- 项目概况
- 实施成果

Project introduction
Implementation results

浙江智慧之门项目位于杭州滨江物联网产业园区内，定位为园区内城市入口的**地标建筑**。项目由5栋建筑组成，集写字楼（滨江第一高272米高双子塔）、LOFT私邸、商业街区于一体37万平方米的**城市大型综合体**。由世茂集团联合中建三局第三建设工程有限责任公司为世界杭州,国际滨江带来又一座超高层城市地标建筑。本项目积极践行双碳目标，运用**智慧化设计**及**智造技术**，结合**BIM**、**AI群控**、**能耗计量**等信息化手段，着力打造**装配式数字高效制冷机房**，机房内6台冷冻机组，16台水泵，700m管道，212个阀门部件均采用工厂化**预制加工**、**现场装配**，节约工期、提升工程品质的同时，使得制冷机房整体能效EER可达5.1。后期物业运营将运用可视化三维云平台，实现智慧自控管理，远程无人值守。创造了集**“智慧”** **“高效”** **“装配”** 为一体机房新标杆。



智慧之门项目装配式高效制冷机房实施**效果显著**，先后获得**中国日报报道**、中国施工企业管理协会第三届行业BIM大赛**一等成果**以及湖北省QC成果**一类成果**。



02

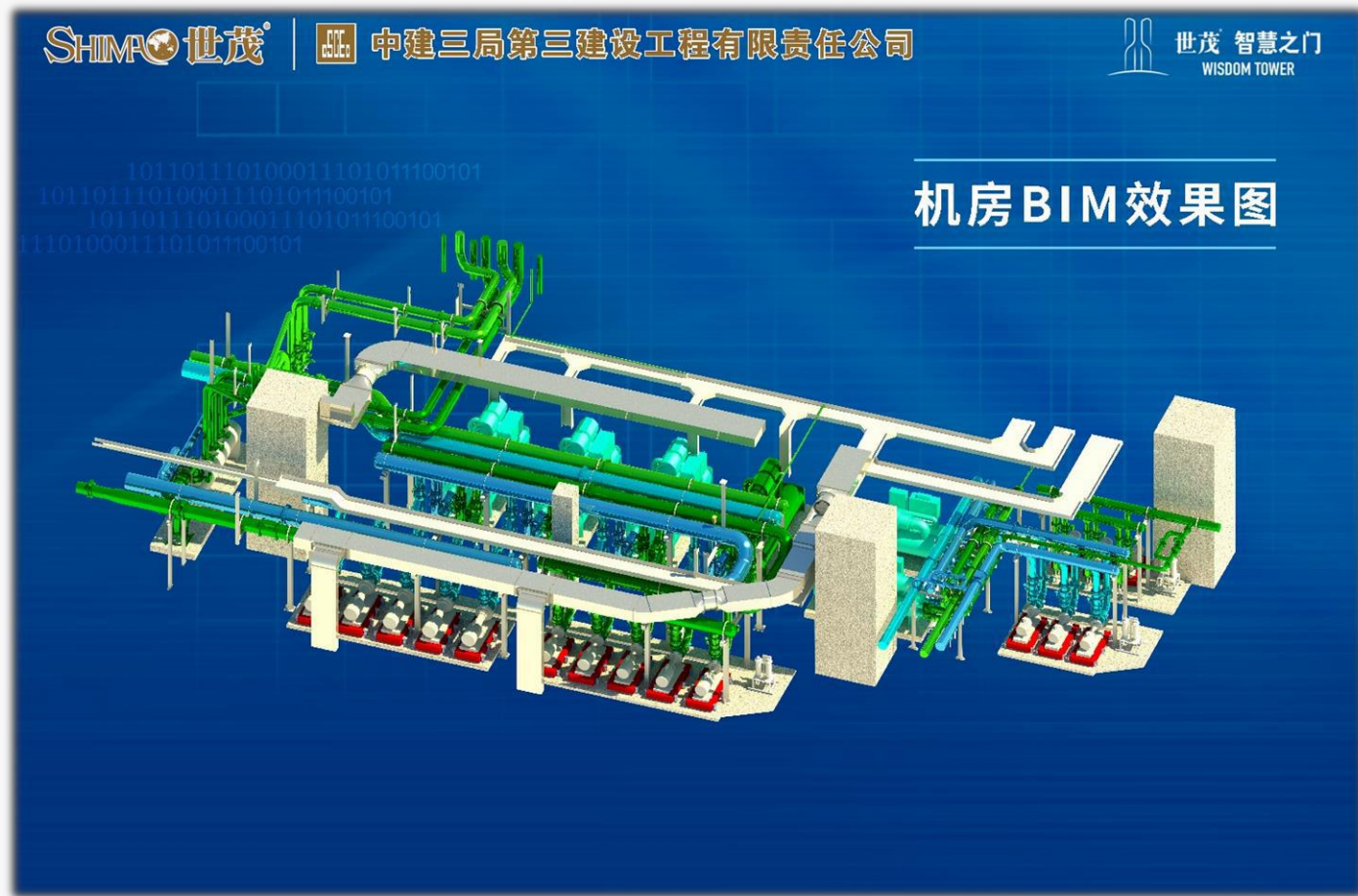
应用策划 Application planning

- 机房概况 Machine room overview
- 技术背景 Technical background
- 亮点介绍 Highlight introduction

本项目冷冻机房服务于A、B塔楼空调，A塔公区风机盘管+新风空调，B塔公区和户内风机盘管+新风；

A塔楼总制冷量为**790 RT**，其中1台**395RT**变频螺杆冷机及1台**395RT**定频螺杆冷机组成，两台冷机互为备用；

B塔楼总制冷量为**3200 RT**，由1台**800RT**变频离心制冷机组及3台**800RT**定频离心制冷机组组成，4台冷机互为备用。



因设计不能预知现场情况,设计时考虑现场恶劣条件, **设计指标放大**,气象参数如图:

常规的制冷机房系统建设: 制冷主机等主要设备厂家提供, 机电总包仅负责安装, 智能化单位只负责控制集成, 各单位**无法有效协同**;

常规的制冷机组运行控制: 控制系统粗放, 仅对冷机进行开关控制, **无法将各个设备统一集成**, 行成关联, 产生冷机出力与水泵**出力不匹配情况**, 系统**运行效率较低**。

8. 室外设计参数:

杭州市室外设计参数如下:

夏季空调室外计算日平均温度	31.6℃
夏季空调室外计算干球温度	35.6℃
夏季空调室外计算湿球温度	27.9℃
夏季大气压力	1000.9hPa
冬季空调室外计算干球温度	-2.4℃
冬季空调室外计算相对湿度	76%
冬季大气压力	1021.1hPa

9. 空调室内设计参数

房间类别	夏季		冬季		新风量 CMH/P	人员密度 人/m ²
	温度℃	湿度%	温度℃	湿度%		
办公室	26	60	20	35	37	0.1
会议室	26	60	20	35	30	0.4
商业	26	60	20	35	16	0.6
入口大堂	26	65	18	不规定	10	0.3
其他	26	60	20	不规定	20-30	0.13

注: 相对湿度是设计参考值, 并不是控制值。

节省工期

采用机械化设备加工，**提升**加工效率，与土建专业平行作业，**缩小**现场施工工期。

节省材料

加工厂预制加工，下料**精度提升**，**减少**不合理下料导致的材料浪费。

质量提升

减少施工现场长期存放生锈、管壁变薄，工厂自动化加工，**减少**因施工人员因素而存在的**质量风险**。

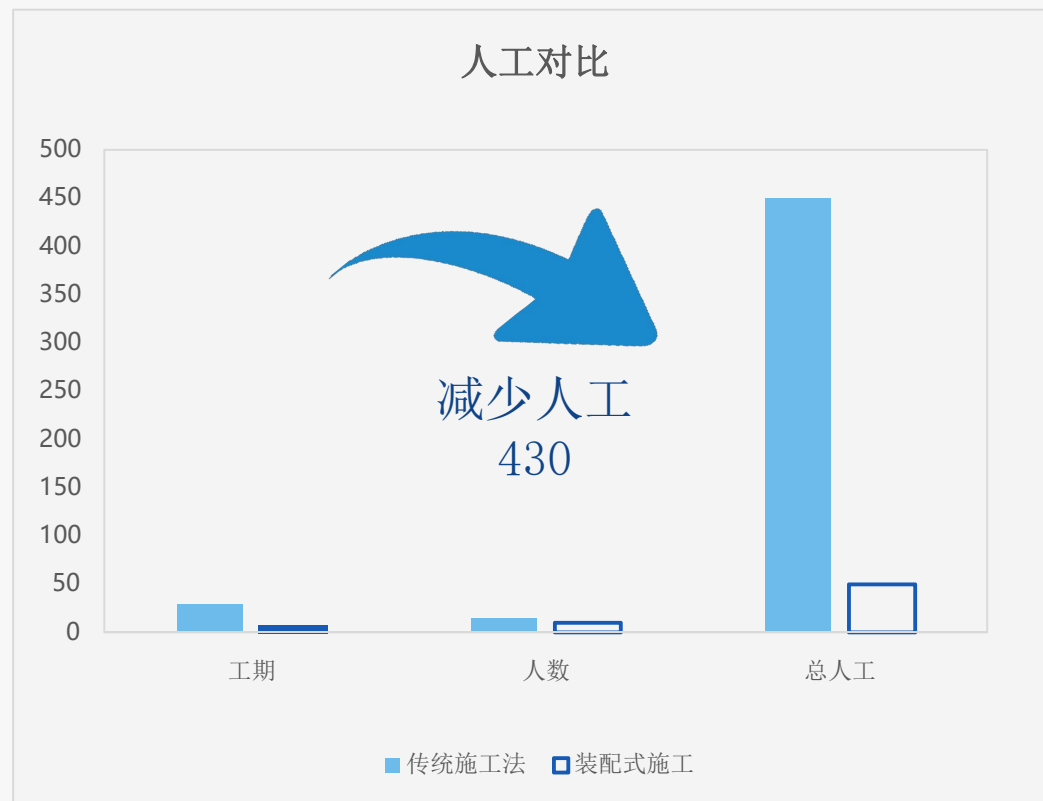
绿色文明

管道在加工厂切割，焊接，除锈加工，**减少**施工现场的施工设备及**环境污染**。

节省工期

采用全预制装配式施工，预制过程在车间进行不受土建作业影响，**大大缩短**现场工期。

	传统施工法	全预制装配式施工
现场工期:	60天	8天
施工人数:	8人	10人
总人工:	480人	50人



节省材料

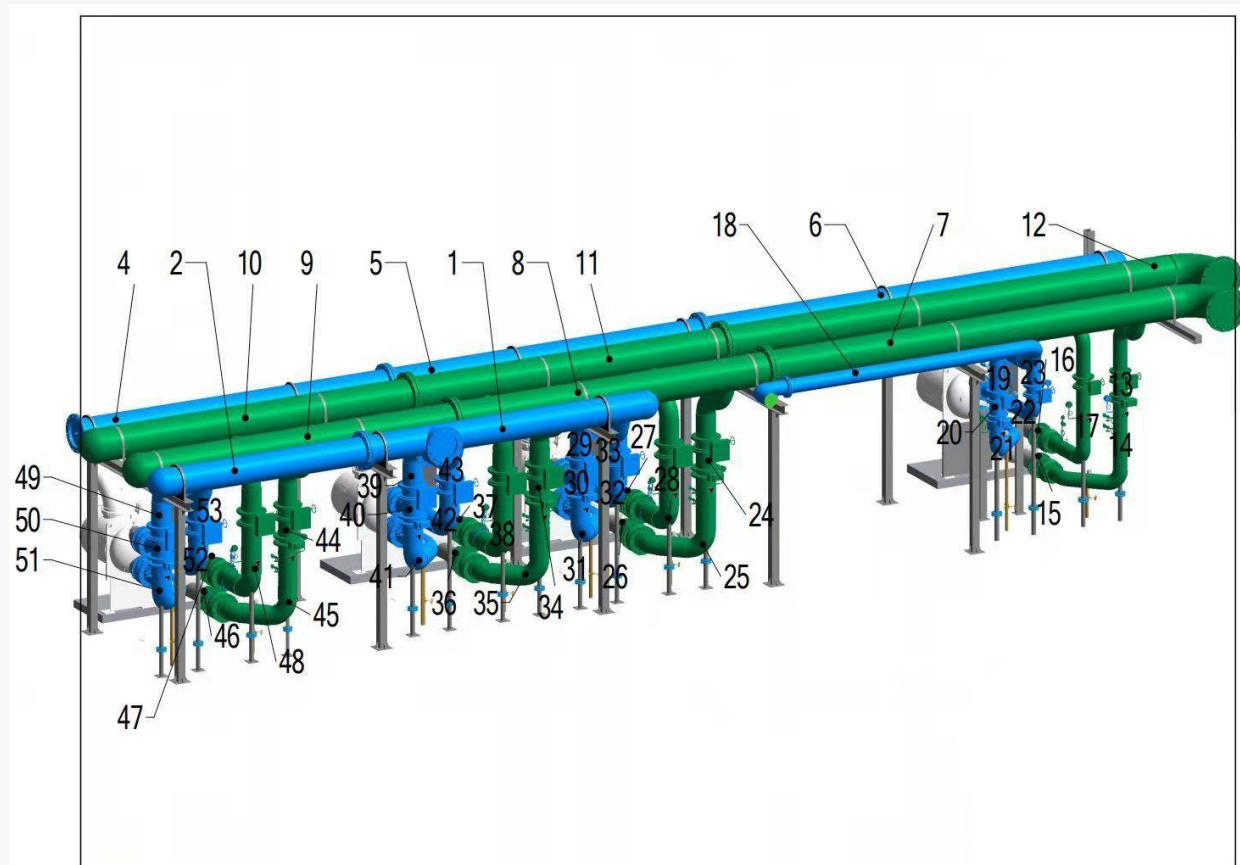
传统加工方式，预制构件无法做到精准下料，产生了大量的边角料，采用BIM深化设计，**精准下料**节省了材料成本。

传统施工法

原料管道长度： 800米

全预制装配式施工

700米



质量提升

采用全预制装配式施工，工厂机械化**预制加工**，切割、焊接质量高，现场仅进行拼装避免因人为因素出现质量问题，质量管理较容易把控。

根据已知建筑结构信息和设备尺寸，利用**BIM**软件绘制模型。深度**LOD400**，可直接指导施工，**拼接缝少**，减少后期因定位不准**拆改**问题。



绿色文明

管道在工厂内**切割**，**焊接**，**除锈**加工，现场**无上述**作业，降低施工现场的安全风险，减少了焊接**烟雾**和**粉尘**排放避免了设备环境的污染**绿色环保**得到保证。树立我司对外良好形象，全面提高工程管理水平，保证了良好的安全文明施工。



03

技术创新 Technological innovation

-技术特点

Technical features

-设备选型

Equipment Selection

-实施思路

Implementation ideas

-管线优化

Pipeline optimization

-项目应用

Project application

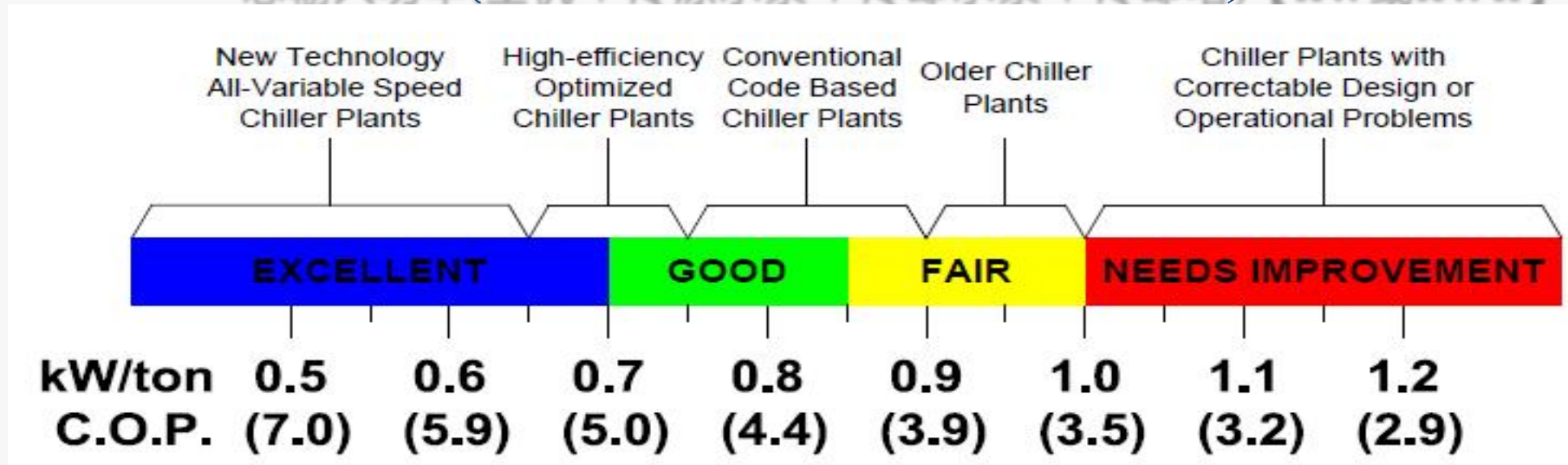
-控制策略优化

Control strategy optimization

技术特点

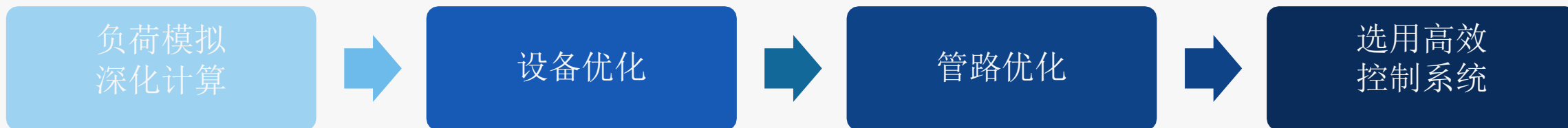
高效机房在充分了解建筑负荷特性之后，通过确定合理的**设备容量**、优化**管线路由**、设置**能耗计量**、**自控系统**等手段，在满足设计要求的前提下，实现较高的系统运行效率。高效机房的主要目的就是**为了节省制冷系统的（主机+冷冻水泵+冷却水泵+冷却塔）的运行费用**。商业建筑中，制冷系统能耗占建筑总能耗的比例较大，因此降低此部分的能耗对整个建筑的节能有非常显著的效果。

$$\text{机房能效} = \frac{\text{总冷量【KW或KWH】}}{\text{总输入功率(主机 + 冷冻水泵 + 冷却水泵 + 冷却塔)【KW或KWH】}}$$



机房能效等级

实施思路



对项目进行空调**负荷模拟**，分析出全年冷负荷趋势规律，作为设备优化依据。

选择高效水泵，减少水泵输送耗能。

选用节能型冷却塔，适当降低冷却水回水温度，**提高制冷机组效率**。

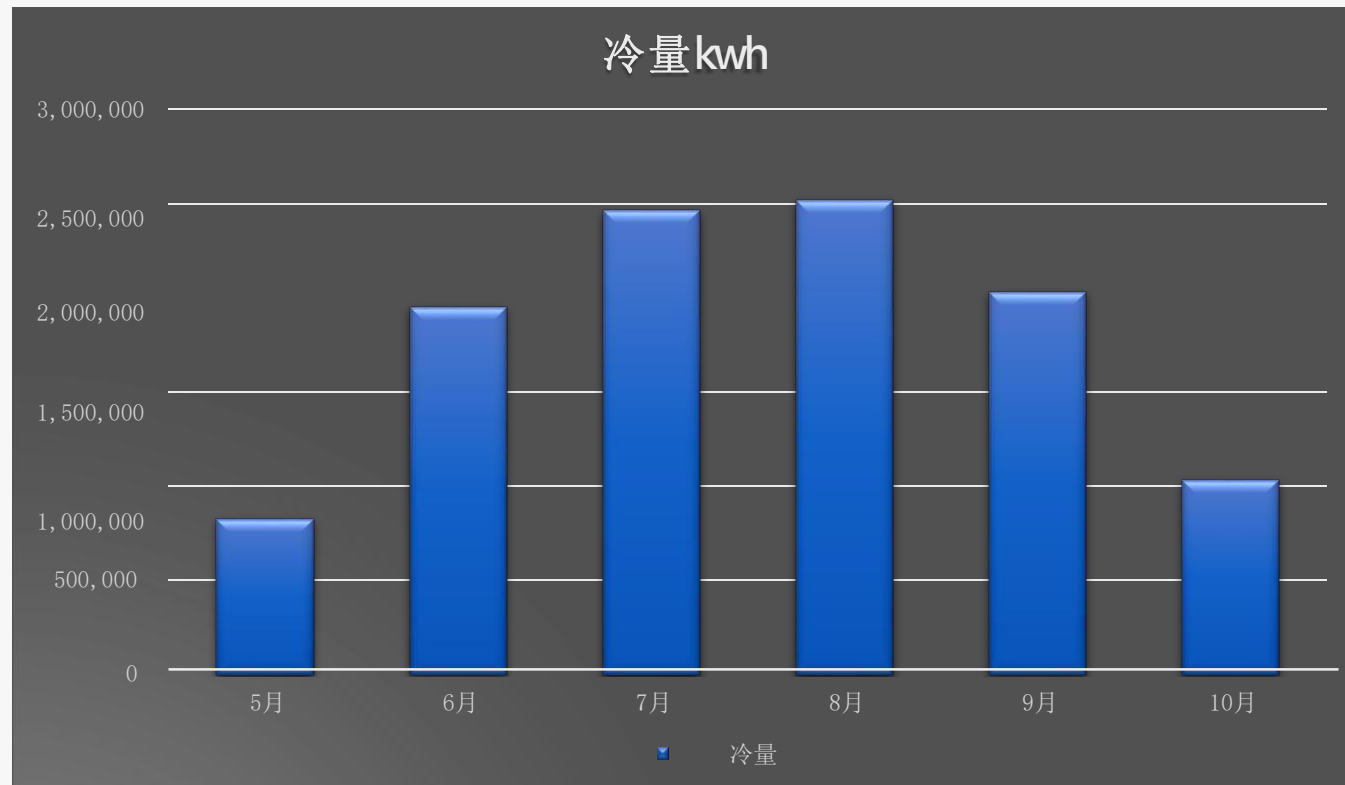
优化水系统管路路由，选用低阻力阀门，**降低管路阻力**，保持各环路水力平衡。

制定合理的设备节能**运行策略**。

项目应用

负荷模拟：通过DeST负荷模拟软件，模拟全年负荷，以模拟情况，指导制冷系统运行策略以及自控集成方案的拟定。

负荷特点：典型计算日（夏季最热）
负荷波动较大；全年负荷分布不均匀，过度季节（春秋季节）负荷小，夏季尖峰负荷很大但持续时间较短（1个月左右）。



主机选型

制冷主机设备的能耗较大，在整个制冷系统中占比达**75%**以上，且多数情况非全工况运行，故本项目应选择部分负荷**综合能效（NPLV）**高的主机设备。

A楼		
	原方案	高效方案
	1定+1变	1定+1变
定频螺杆 机组	制冷量：1390kW COP:5.264 NPLV: 8.279	制冷量：1390kW COP:5.264 NPLV: 8.279
变频螺杆 机组	制冷量：1390kW COP:5.118 NPLV: 9.750	制冷量：1390kW COP:5.118 NPLV: 9.750

B楼			
	原方案	高效方案	备注
	3定+1变	2定+2变	
定频离心 机组	制冷量：2813kW COP:5.56 NPLV: 6.75	制冷量：2813kW COP:5.56 NPLV: 6.75	减少一台定频
变频离心 机组	制冷量：2813kW COP:5.413 NPLV: 9.042	制冷量：2813kW COP:5.56 NPLV:9.168	增加一台变频

水泵选型

根据对系统**管路优化**，及水力校核计算，**减小**冷却水泵配置，如下：

A楼			
	原方案	高效方案	备注
冷冻泵	流量:220m ³ /h 扬程:32m 功率:30kW	流量:220m ³ /h 扬程:32m 电机:30kW	3台，两用一备
冷却泵	流量:325m ³ /h 扬程 32m 功率 :37kW	流量:325m ³ /h 扬程26m电机 :30kW	3台，两用一备； 减少扬程，降低能耗

B楼			
	原方案	高效方案	备注
冷冻泵	流量:440m ³ /h 扬程:32m 功率:55kW	流量:440m ³ /h 扬程:32m 电机:55kW	5台，四用一备
冷却泵	流量:670m ³ /h 扬程 32m 功率 :90kW	流量:670m ³ /h 扬程26m电机 :75kW	5台，四用一备； 减少扬程，降低能耗

冷却塔选型

适当降低冷却塔出水温度，能有效提高主机效率，每降低**1℃**，主机效率提高**3%**；同时冷却塔流量与主机流量相匹配，也能降低冷却水泵的功耗：

A、B楼			
	原方案	高效方案	备注
冷却塔	流量：800m ³ /h 湿球温度：28.3℃ 出水温度：32℃ 进水温度：37℃ 逼近度：3.7℃ 电机：30kW*2	流量：568m ³ /h 湿球温度：27.9℃ 出水温度：32℃ 进水温度：37℃ 逼近度：4.1℃ 电机：17.5kW*3	5台，A楼1台B楼4台 ，后期优化可适当降低冷却塔供水温度。

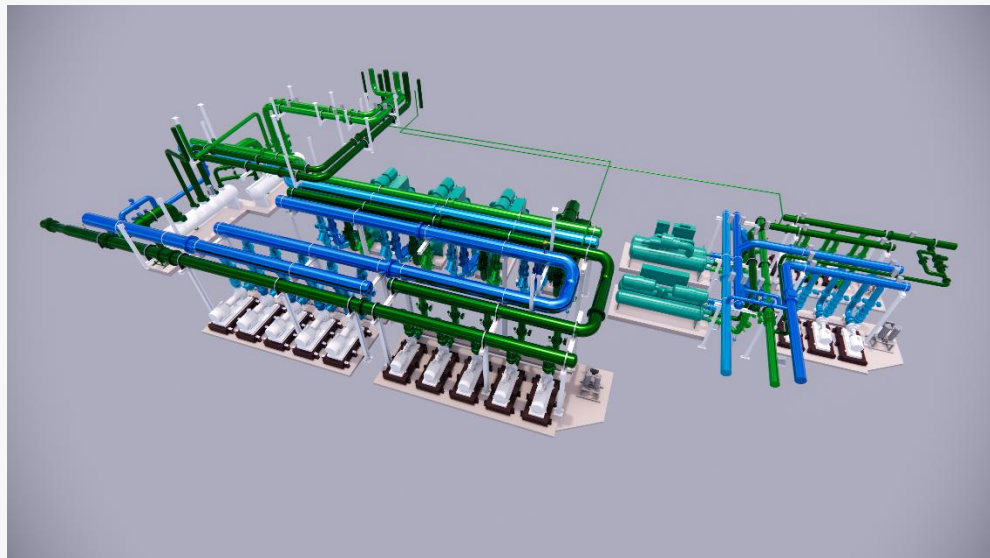
管线优化

对系统水管管路进行优化设计，降低水管阻力，以降低系统运行能耗，水管管路优化的思路：

管路布线优化，尽量**减少弯头**，**缩短长度**；

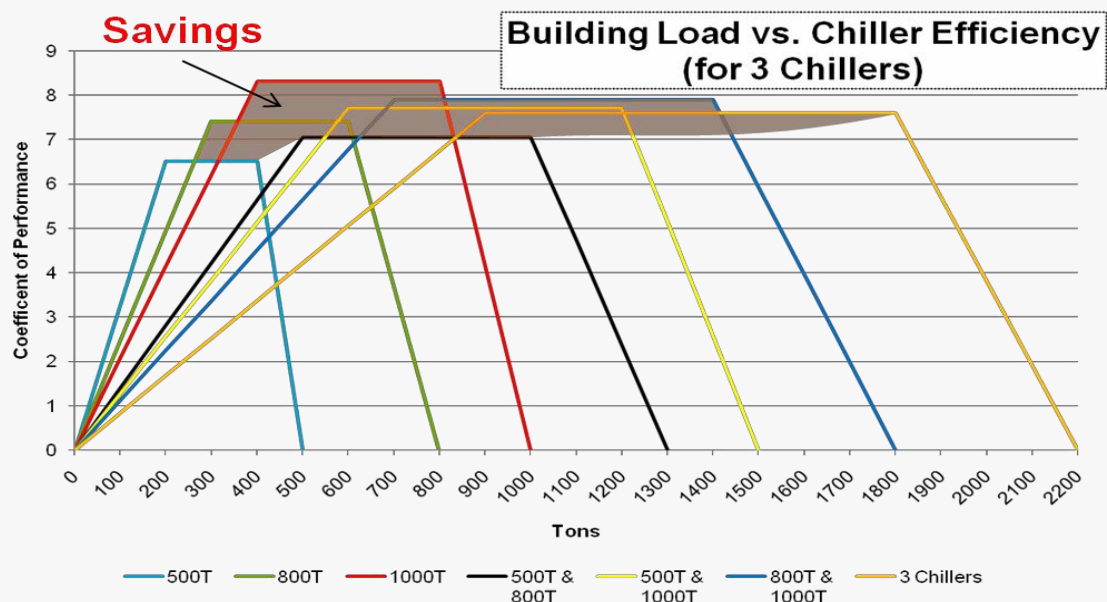
采用**45度弯头**替换90度弯头，采用**大倾角顺水三通**等；

阀件阻力的优化，选择**流线型阀门**，降低管路系统局部阻力。

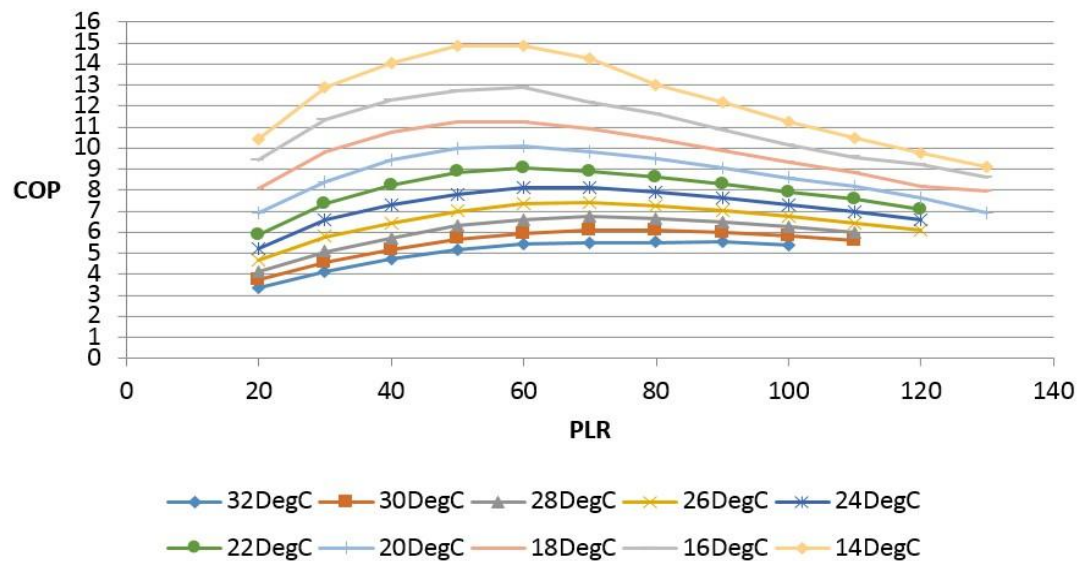


控制策略优化

自控系统将主机、水泵、冷却塔设备有机**整合**，根据不同工况下各种设备的效率属性，选择**最高效运行策略**：



变频离心机在不同冷却水温度下COP曲线



04

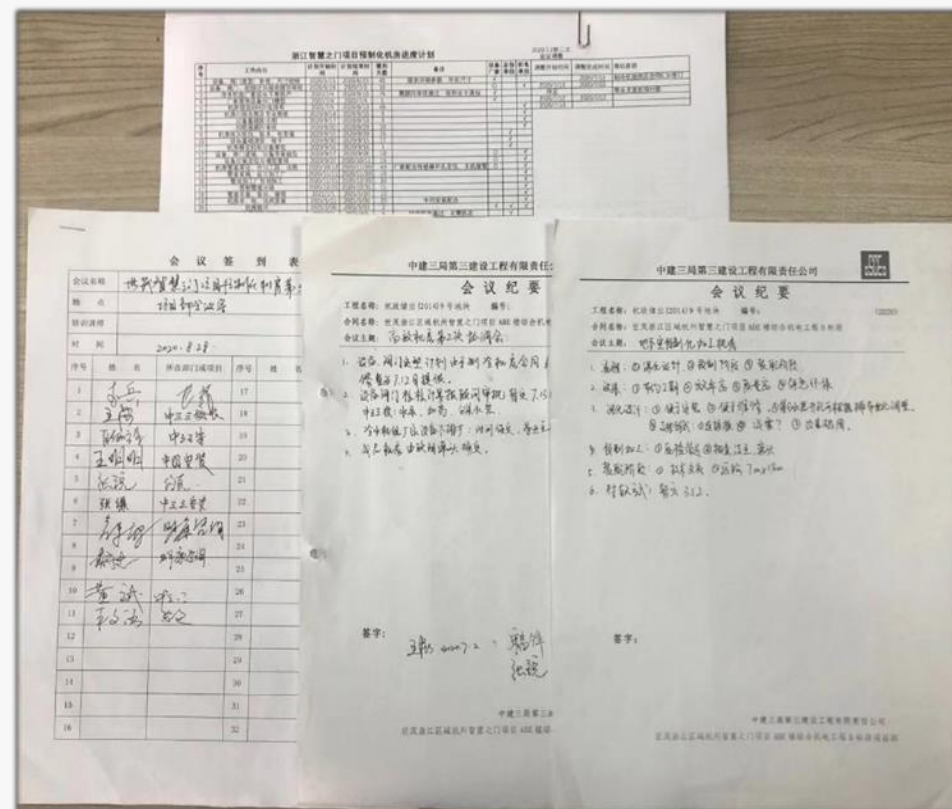
施工过程 Construction process

- 前期准备 Preparation in advance
- 设计阶段 Design phase
- 预制加工阶段 Prefabrication stage
- 物流化运输 Logistics transportation
- 现场装配阶段 Field assembly stage
- 试压及保温 Pressure test and thermal

前期准备



装配式方案五方确认



计划过程调整

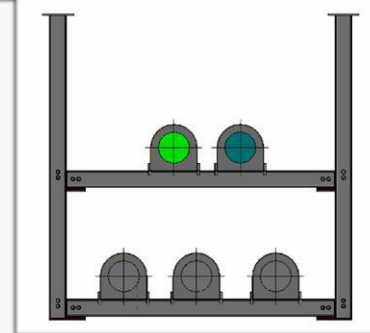
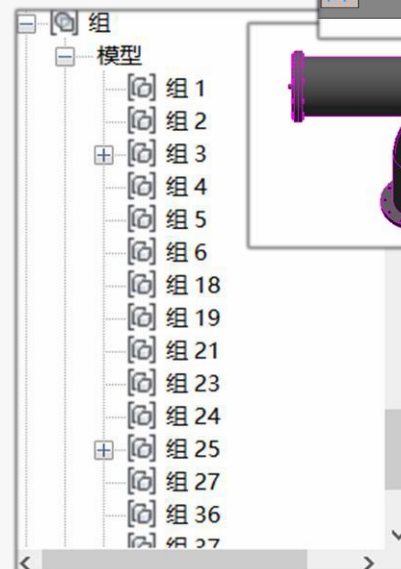
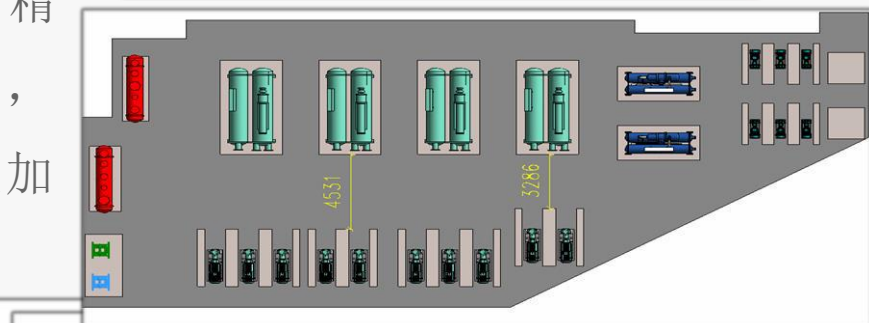
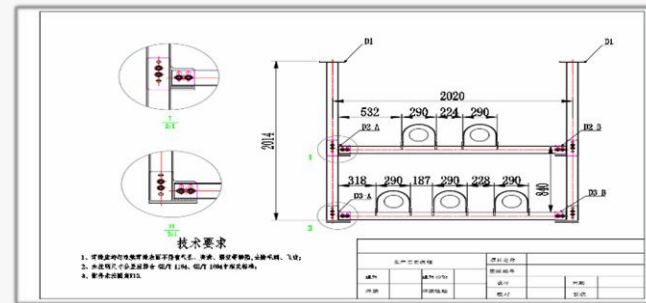
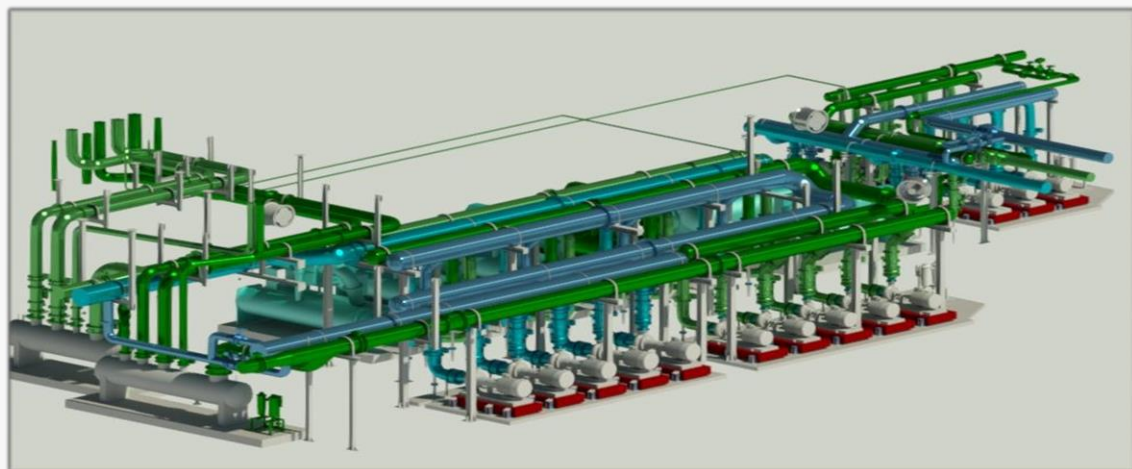
前期准备

智慧之门全预制装配式制冷机房计划实施
表

时间 步骤	进 度 （月份）							负责人
	2020年8月	2020年9月	2021年10月	2021年11月	2021年12月	2022年1月	2022年2月	
选择课题	→							
设定目标		→						
可行性分析		→						
方案确定			→					
图纸报审				→				
预制加工					→			
装配阶段						→		
质量验收							→	
系统调试							→	

BIM设计

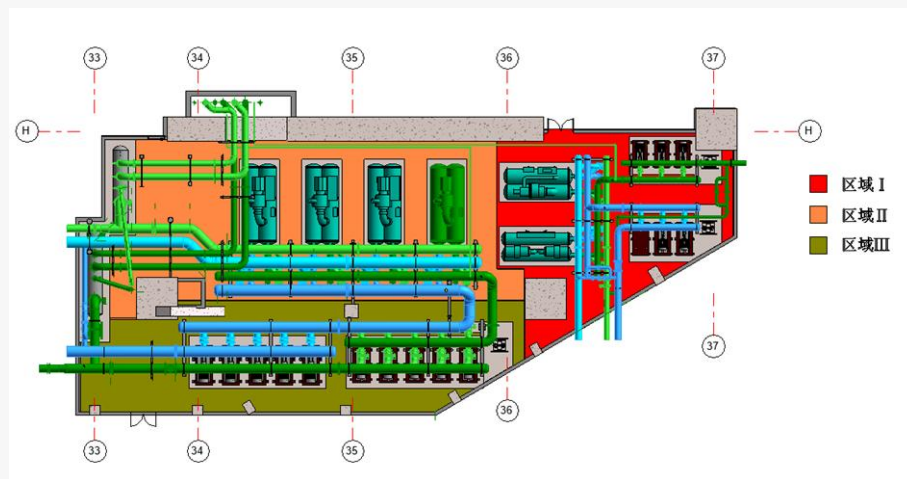
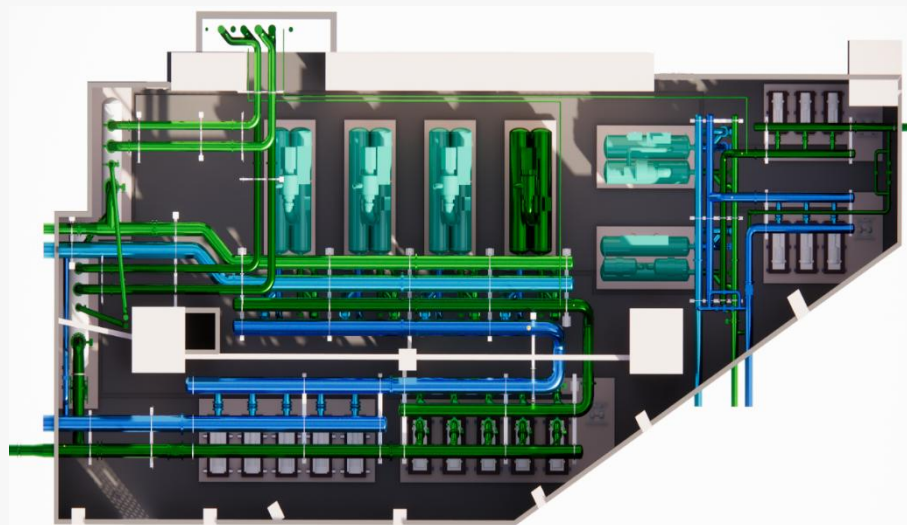
机房采用BIM技术，项目设计人员只用测量现场场地整体的基本数据，不需要等待土建单位提供全部场地，便可以在BIM模型内建立起**高精度机电模型**和**深化设计装配图**，按照机械零件的标准，对构配件进行设计优化，精度提高到毫米级。这种BIM化深化设计是分模块进行的，最大限度地集成了各类设备及管道，各个部分的排布更加合理，有利于设备后期的**运输**、**拼装**和**检修维护**。



BIM设计

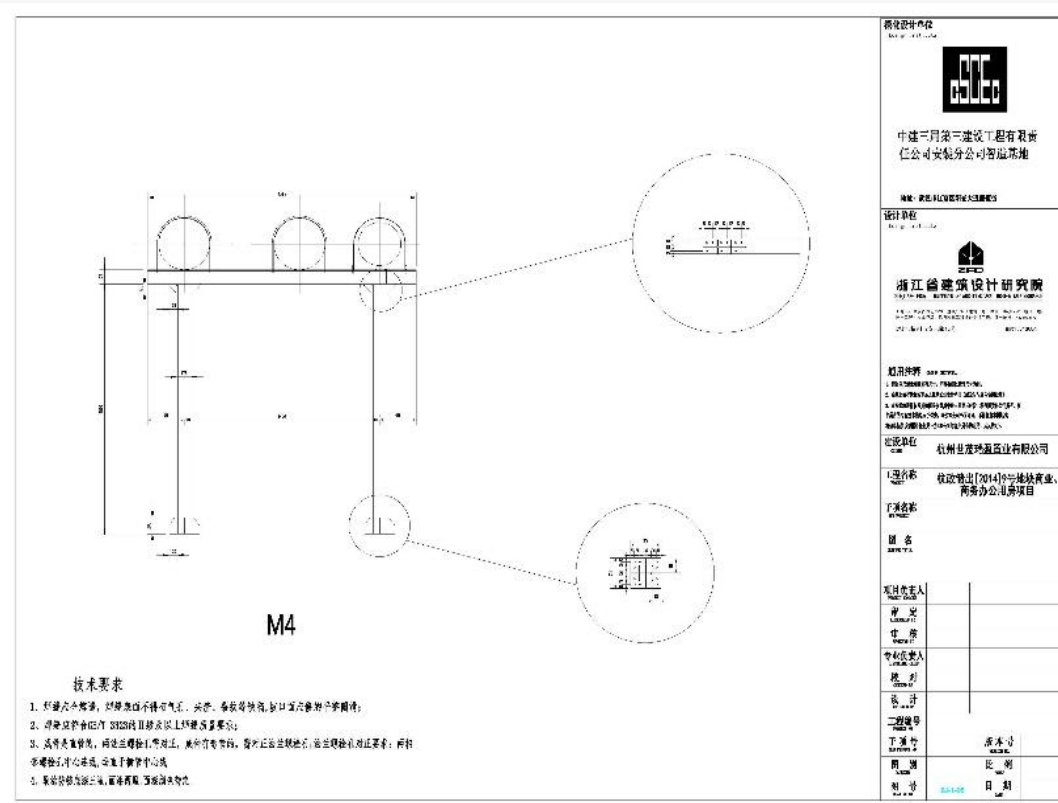
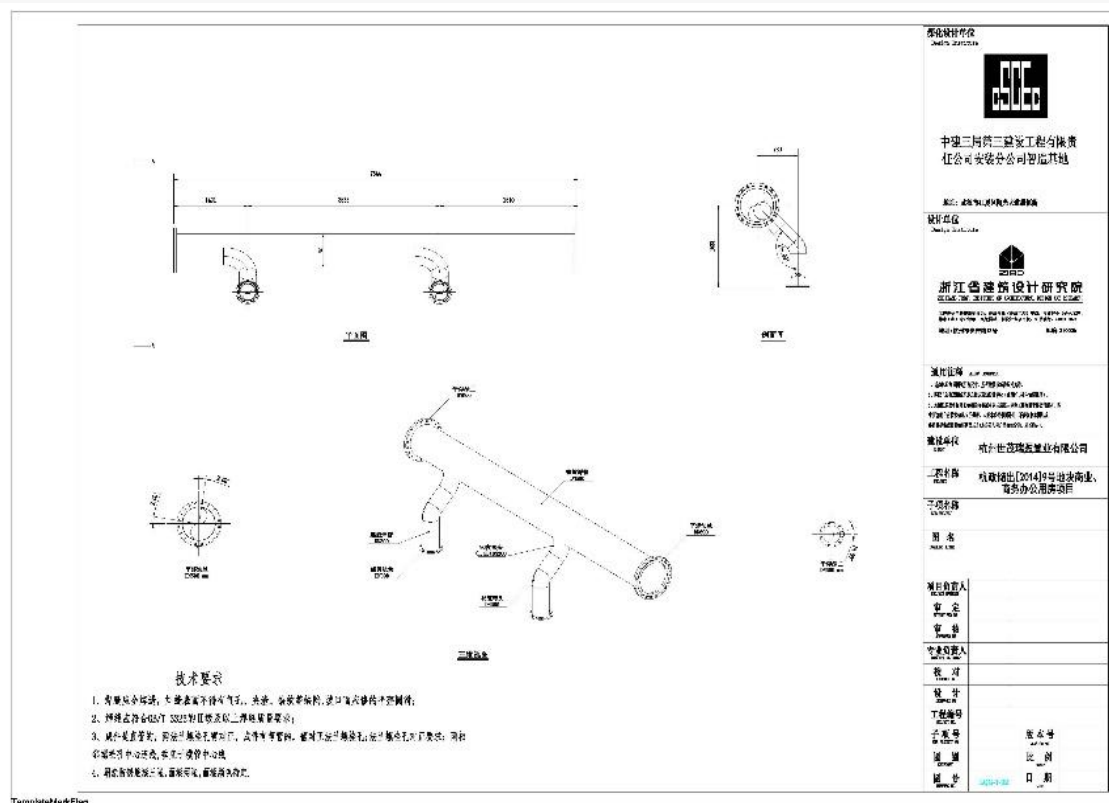
通过机房设备**布局优化**，机房管线**排布优化**，**支吊架计算**选型，**现场复测**设计后，满足施工验收标准，充分考虑**运维检修空间**、通道**手动机构高度**便于操作，同时所有设备、阀门排布美观统一。

按**区域以及系统**进行**管段分解、编号**，以组为单位进行预制管段的区分，生成预制加工装配图。本机房共分为3个区域，构件92个，包含了水泵、管道、阀门、设备基础、支架和仪器仪表，原设计检修通道宽度仅0.7 米，现在检修通道宽度达到了2.5米。



BIM设计

经过**1:1高精度BIM建模**以及**模块划分**以后，结合**加工精度**和**消差**要求，出具构件加工图纸。



标准化预制

机房高精度BIM模型设计完成后，便可以导出构件精细加工图，预制加工厂根据加工图**精准下料、精准加工**。构件加工完成后，预制加工厂再将主要构件**组装成模块**。



下料



坡口



组对



焊接

SHIMAO 世茂



中建三局第三建设工程有限责任公司

世茂 智慧之门
WISDOM TOWER

智造基地简介

中建三局三公司安装公司智造基地，依托于三局三公司强大建筑公司平台和机电预制装配战略发展要求，将智造基地着重打造成“三个基地，一个中心”的“产学研用”平台，服务范围辐射全国近三百个项目。同时以智造基地为实施载体，开展机电安装行业高新尖技术创新研发、科技成果转化，做实“吴光海创新工作室”，发挥产业引领、集智创新、协同攻关、技能传承、交流培训等功能。

智造基地以模块化设计，实现下料、组对、焊接、校准、除锈、喷漆等现代工厂化流水作业，形成机电预制产业模式，从BIM优化设计、智慧智造、高效装配、智能运维等，为业主提供一站式整体解决方案的服务宗旨，建立完整产业体系，创优品质、降低成本，打造预制装配精品工程。



标准化预制

传统加工方式，采用人工作业，精度、质量等参差不齐，且产生了大量的边角料。采用标准化预制方法利用机械设备**精准下料加工**，构件**质量更高**，构件边角料大大**减少**，节省了材料成本，许多弯曲或异形的管道、构件还可以实现工厂**定制**，质量、外观更好。



六轴相贯线切割机



悬臂焊机



全位置管道自动焊机



组对平台



全自动机器人焊机



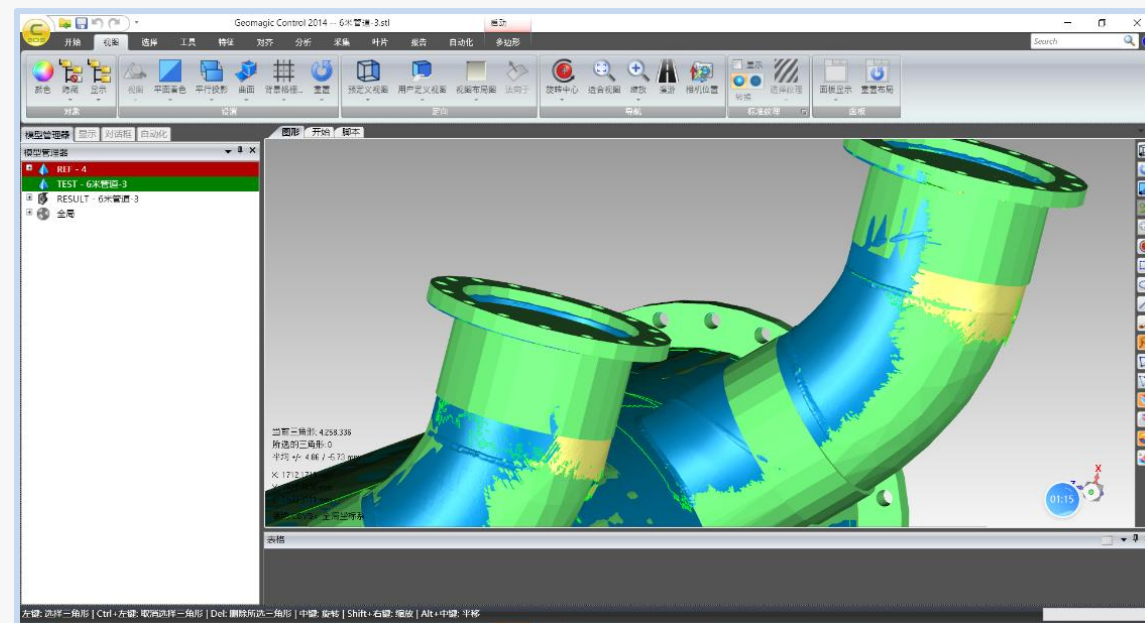
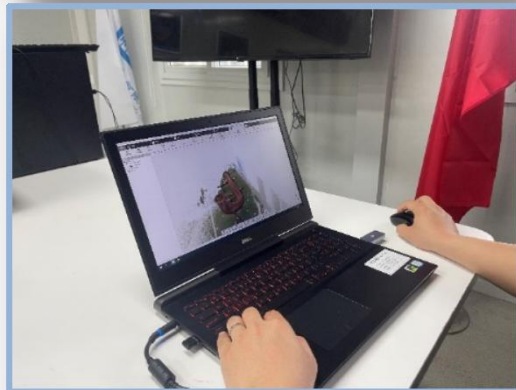
喷砂除锈设备

标准化预制-

全息点云技术复核

预制加工误差

利用激光点云扫描技术，获取生产构件的**信息数据**并**逆向**建立实际管段**构件模型**，再将生产管段构件的信息与设计模型**比对**，进行**质量把控**，提高项目装配式机电管段生产的质量水平。

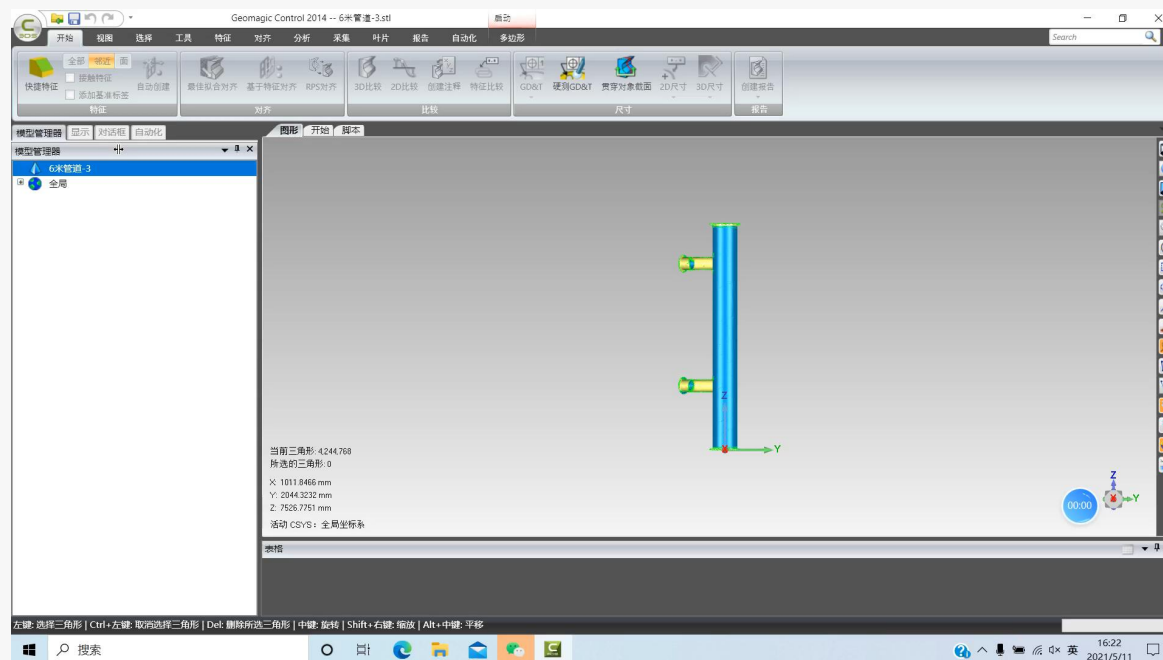


蓝色是扫描构件、绿色是BIM模型中设计的构件，法兰面存在偏差、支管角度存在误差

标准化预制- 全息点云技术复核 预制加工误差

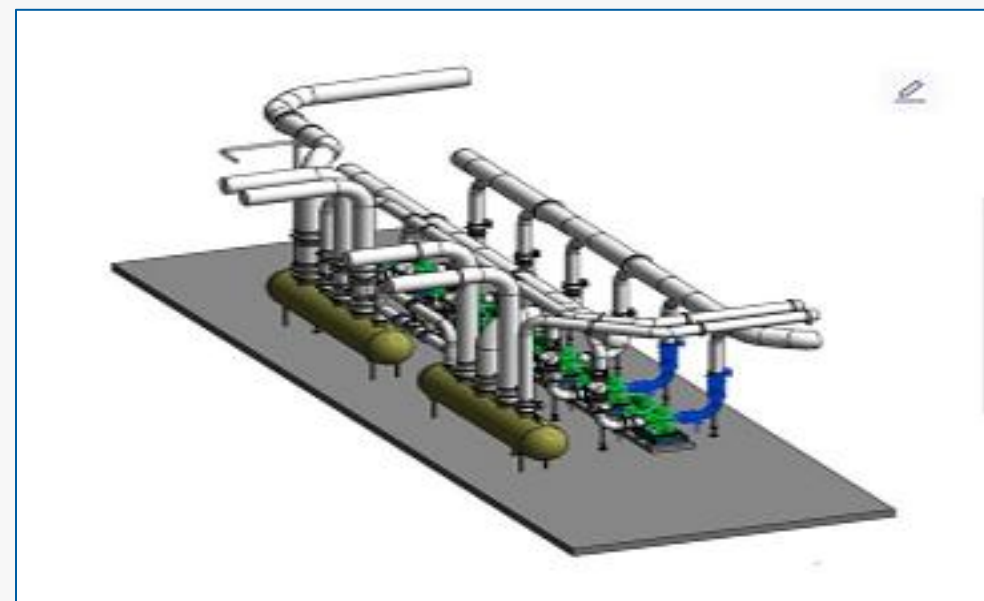
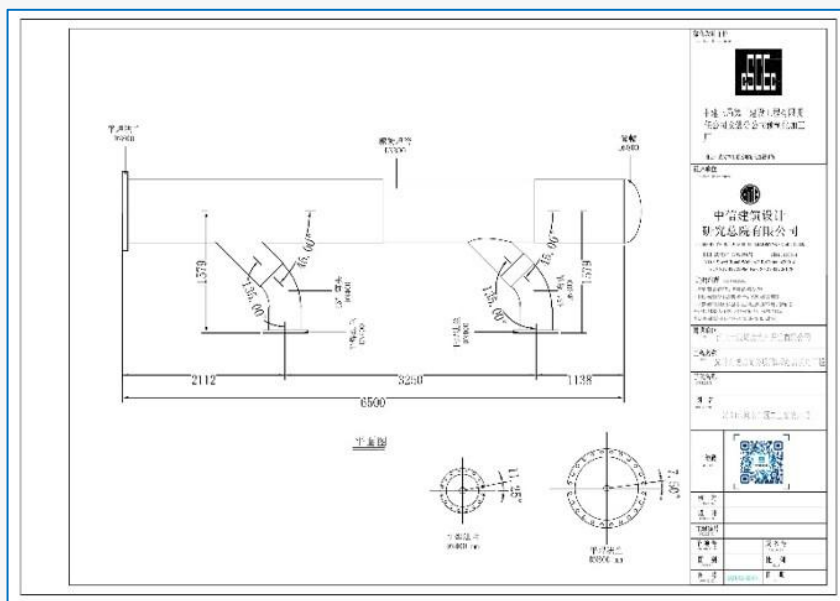
利用点云技术助力项目质量把控的优点：

- 1、7.5m的管段扫描后总体误差**3-4mm**，误差较小，**精度较高**。
- 2、扫描耗时7分钟，工作**效率极高**。
- 3、利用全息视觉点云数据对装配预制加工构件进行**复核**，可以**节省**由于现场人工复核所产生的劳务费用，**节约**由于人工复核产生的工期，也**提高**了生产区域的**场地利用**。



物流化运输- 管道预制化全流程信息追踪

- 1、根据物料管理的流程思路制定二维码各部分的内容，含管段**构件编码**、**管段加工标注图**、**管段信息区域**、**管段构件状态区域**、**管段构件定位区域**等。
- 2、根据物料管理流程，每阶段负责人根据情况输入二维码相关信息，对应数据将在后台直接生成表单，接入公司管理系统进行**实时追踪**，公司管理人员或者项目现场管理人员可以随时查看任意一根管段构件的**生产状态及其物理定位**。



物流化运输- 管道预制化全流程信 息追踪

3、各部门负责人按进度**实时修改**信息，方便每个人都能通过扫描二维码查看**最新进展**情况。

4、最后项目完成安装后，也能通过扫描添加实际安装成品图和BIM建模图展现**直观的效果**。

管段信息	
项目名称	杭州智慧之门项目
管段编号	CHWR-01-10-03-01/02
管段区域	I 区域
冷水供水	冷水回水
构件状态	已生产
状态更新时间	2022-3-5
状态审定人员	盛栋良

CCTC 中建三局三公司智造基地

杭州智慧之门项目

管道系统：冷水回水

管段区域：I 区域

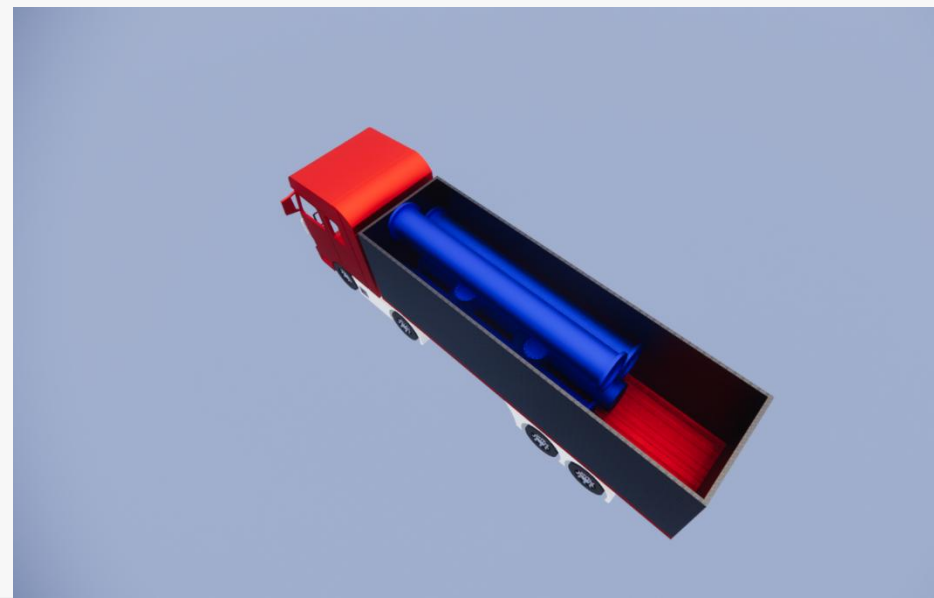
管段编号：CHWR-01-10-03-
01/02

日期：2022-3- 5



物流化运输- 管道预制化全流程信 息追踪

在加工厂制作完毕的管件由加工厂运输至现场组装。共分两次采用14m大货车运输到现场，经由12T吊车吊运至地下室，用叉车水平运输。



装配化施工

装配式机房安装技术交底

一、施工准备

1、室外场地

管道采用分段式运输，车辆选用9.6米高栏车，车体全长13米左右，成品到货前需准备100 m²平整硬实的场地，以确保所有成品管段及支架等有卸车、堆放空间。

2、运输通道

根据现场实测，主要运输通道宽度为2.9米，所有分段及组件尺寸均可达到运输要求。

3、室内场地

吊装口至机房运输通道应清理干净保持通畅，机房附近应有成品管段堆放区域及工器具堆放区域。机房内应布置有照明灯具及二级配电箱以保证施工时的正常照明及用电，机房内施工区域内应无其它专业堆放的设备、材料及杂物等。机房附近应有管道试压用水源，机房内应有排水设施。

4、人员配置

序号	工种	人员数量	施工安排
1	带班	2	机房内1组、模块拼装1组
2	吊装	3	吊装管道、模块



技术交底



施工作业面清理



施工机械准备



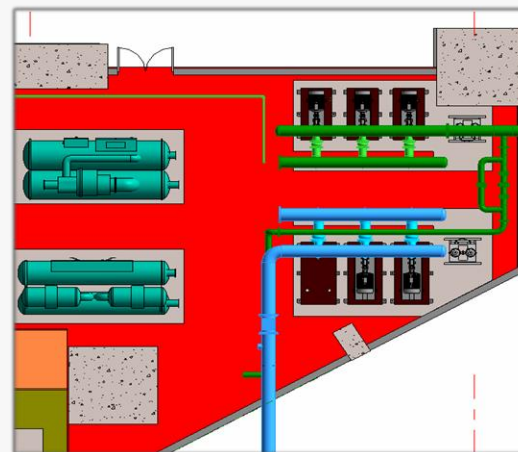
临时照明方案



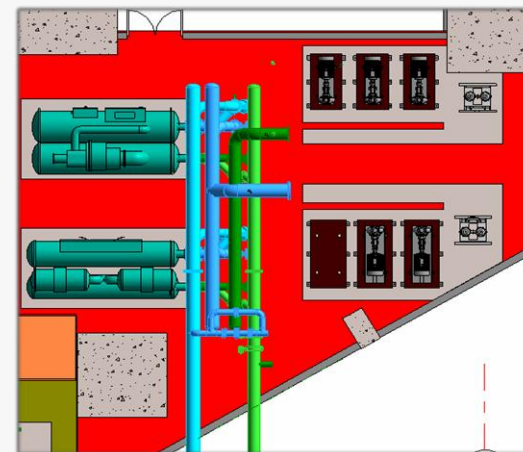
装配式施工

项目装配施工流程为：预制件搬运→放线定位→吊链安装→支架安装→管道及附件组拼装。

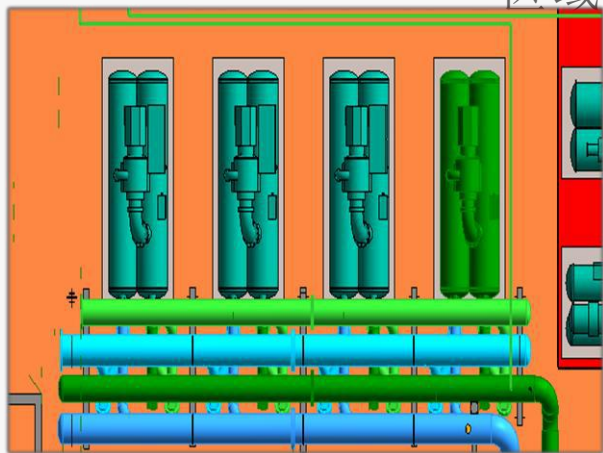
因为本次机房管道复杂，所以采取分区域吊装的作业方案。共分为三个区域：区域Ⅰ，区域Ⅱ，区域Ⅲ。



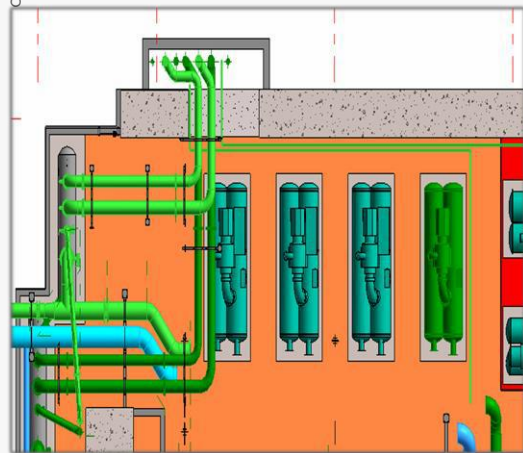
第一天：区域Ⅰ东侧



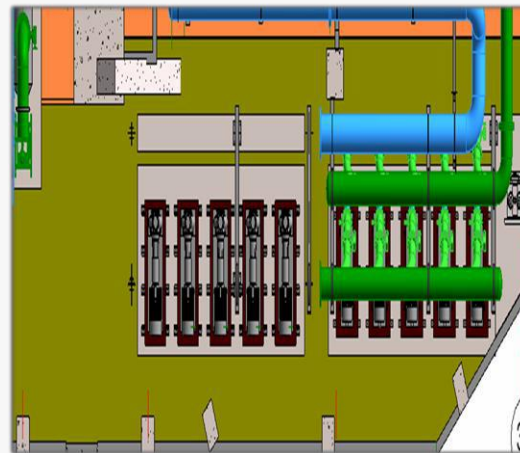
第一天：区域Ⅰ西侧



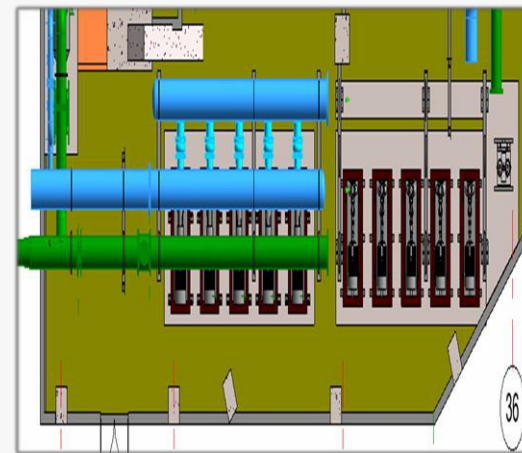
第二天：区域Ⅱ主管



第二天：区域Ⅱ支管



第三天：区域Ⅲ东侧



第三天：区域Ⅲ西侧

装配化施工

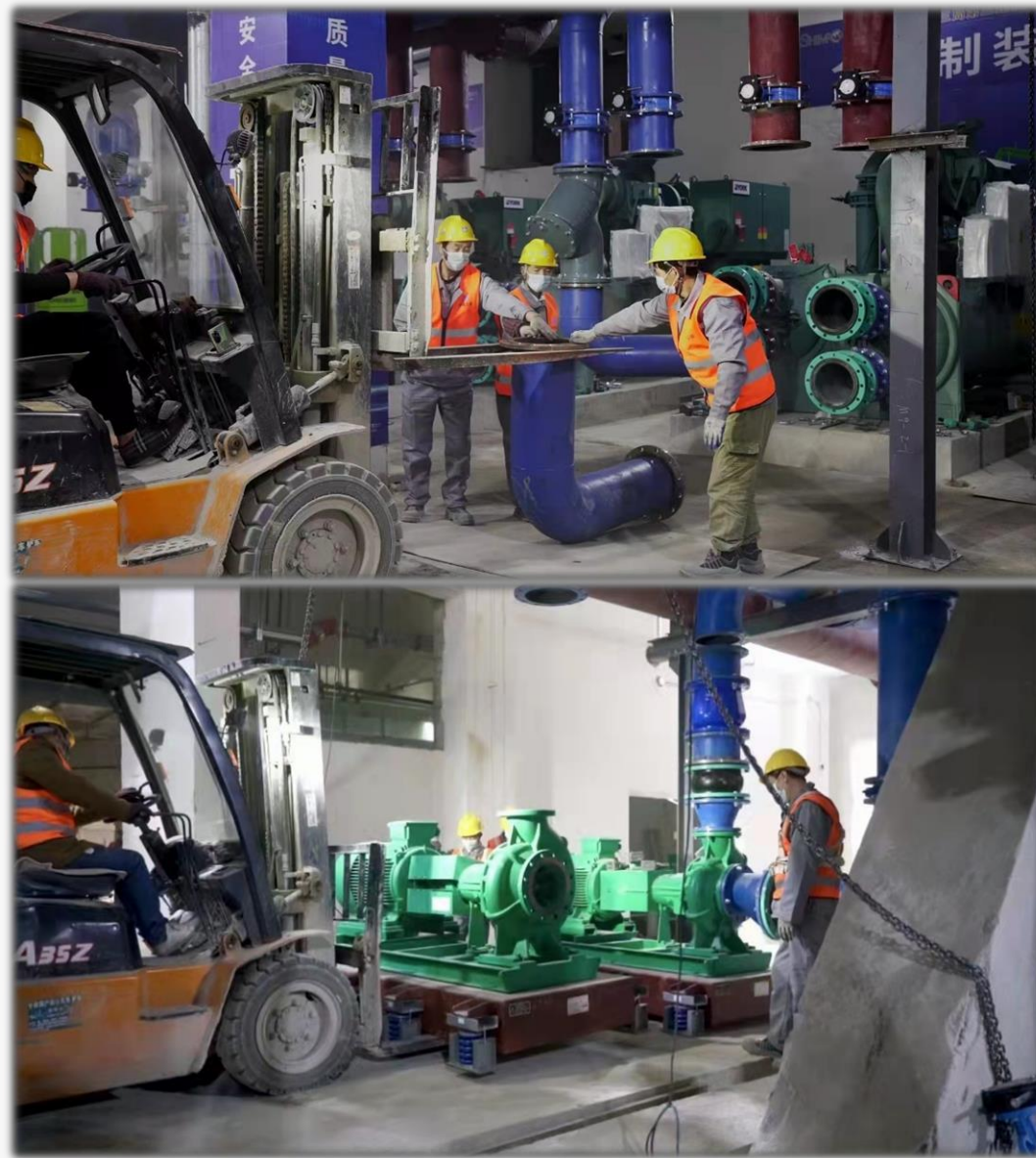
模块运到现场后，安装人员根据装配图，结合二维码标识系统，利用管段和螺栓连接起各个模块，就像“**搭积木**”一样，实现**全程无焊作业**。具体来说，为了保证安装精度，项目通过预留消差段校正泵组间安装误差，实现**严密连接**；现场人员对照装配图纸，通过扫描二维码获得各冷机立管相应信息，将其运输至相应的冷机前方对管安装；管道支架整体固定提升，通过特制插销，连接支架与预埋在土建结构上的钢板。



装配化施工

构件吊装至地下室后，进行水平方向倒运，其中吊装口位置两台水泵待管道就位后再进行就位。

在BIM模型的基础上，详细地对管道安装顺序进行交底、装配施工。机房整体完成装配施工通常只需**6~8**天，大幅提高了施工效率。



试压及保温

基于BIM的模块化装配式机房整体解决方案，现场组装量大大减少，避免传统的施工时现场组织混乱，安装配件容易错漏，质量不高，施工效率不高的缺陷。另一方面，基于企业级标准设计图，企业可以集成各项目进行**统一设计、采购、加工、安装**等，大幅降低企业成本和能源损耗，提升企业整体的工程质量、进度和管理水平。



05

实施效果Implementation effect

- 机房能效 Energy efficiency of machine room
- 创新成果 Innovative achievement
- BIM设计与安装实施 BIM design and installation implementation
- 安装视频 Construction video

机房能效

通过技术创新内容中优化策略，机房能效得到提升，如下表：

A楼			
	原方案	优化方案	备注
冷冻站全年运行 总电量/kwh	527711	464364	节约电费 6.3万元
冷冻站全年运行 总 冷负荷/kwh	2353011	2353011	
冷冻机房全年运行能 效 (kw/kw)	4.67	5.07	提高8.6%

B楼			
	原方案	优化方案	备注
冷冻站全年运行 总电量/kwh	1900,466	1,684,055	节约电费 21.6万元
冷冻站全年运行 总 冷负荷/kwh	8,470,205	8,470,205	
冷冻机房全年运行能 效 (kw/kw)	4.65	5.03	提高8.2%

技术创新成果

采用高效机房的优化策略，A、B楼两个冷源机房设备成本的初投资一共节约**69.07万元**。

根据上述计算，采用高效机房集成系统，A、B楼每年运行费用一共节约**27.9万元**。

中央空调的使用寿命一般为**15年**，从长期受益的角度来看，在全生命周期内，一共可节约
 $27.9 \times 15 = \mathbf{418.5}$ 万元运行费用。

	A楼	B楼	总计
初投资节约（万元）	15.87	53.2	69.07
15年运行费用总节约（万元）	$6.3 \times 15 = 94.5$	$21.6 \times 15 = 324$	$27.9 \times 15 = 418.5$
项目总节约（万元）	110.37	377.2	487.57

BIM三维设计与实施效果



BIM设计效果



安装实施效果

BIM三维设计与实施效果

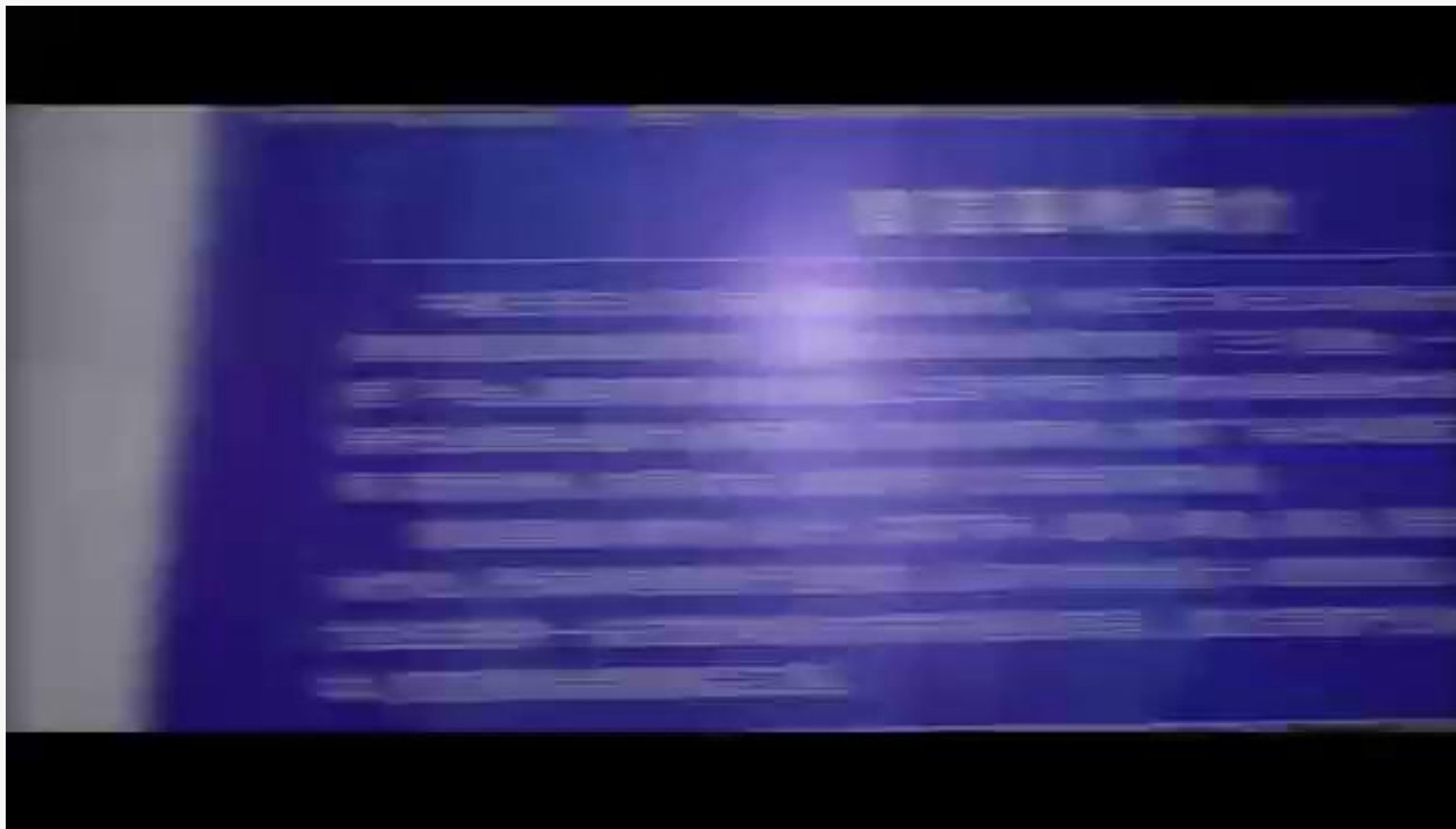


BIM设计效果



安装实施效果

安装实施视频





中國建築



诚信 创新 超越 共赢



中建三局第三建设工程有限责任公司

THE THIRD CONSTRUCTION ENGINEERING LIMITED COMPANY OF CHINA CONSTRUCTION THIRD ENGINEERING BUREAU