

公司名称
中国航空规划设计研究总院有限公司

项目地址
中国，北京昌平

应用软件
Autodesk® BDS 2016
Autodesk® Ecotect®

数字化技术助力蓝色焚烧

阿苏卫循环经济园项目数字化电厂的BIM应用

“垃圾焚烧已经进入蓝色焚烧3.0时代，具体而言就是服务标准的创新、协同、绿色、开放、共享。数字化电厂要求采用BIM技术贯穿垃圾焚烧电厂的规划、设计、建设、运营全过程，在垃圾焚烧发电领域急速扩张的同时，垃圾焚烧数字化电厂能够让垃圾焚烧更环保、效益更高、信息更加透明，化解邻避等行业困境，为公众所接受，最终实现行业的可持续发展。

—赵晓东
市政工程设计研究院
中国航空规划设计研究总院有限公司



图1：阿苏卫循环经济园效果图

中国航空规划设计研究总院有限公司（简称中航规划）是中国航空工业集团公司的直属业务板块和全资子公司。公司拥有高水平的专业人才队伍，是全国首家获得建设部颁发的工程设计综合资质甲级单位，拥有工程咨询、工程招标代理、工程造价咨询、建筑项目环境影响评价、施工总包等甲级资格，首批获得对外经营权，享有对外承包权，已经形成从前瞻性高端咨询、工程项目专题咨询、勘察设计、工程设计、工程总承包、设备总承包到中后期评估一条完整的产业链。

公司现有从业人员4000余人，其中国家勘察设计大师8人，享受政府特殊津贴、突出贡献专家70多人，具有高级技术职称及国家注册执业资格人员1300余人，专业设置齐备。公司持续开展行业前沿新技术的研究，参与编制建筑工程行业标准100余项。曾获全国十大科技进步奖、国家科技进步特等奖、全国优秀工程设计特等奖、中国土木工程詹天佑大奖等国家级奖项123余项，省部级奖项693余项。具备硕士学位授予点和博士后流动站。

公司是一家全价值链综合服务商，公司依托于BIM技术，实现建筑设计领域的信息化研发及实践，提升中航规划的信息化建设水平及应用效果，量身打造行业的信息化解决方案。

一、项目概况

阿苏卫循环经济园规划厂址位于北六环南侧，百善镇和小汤山镇交界处（天安门正北29公里）。西侧为沙河机场拖机道，东侧毗邻崔阿路，南至现有填埋场场界延长线。本项目是国内第一家真正意义上的垃圾焚烧数字化电厂，项目建成后是北京市北部地区标志性建筑，也是北京市循环经济的科研和宣教展示平台。

项目总投资17亿，总征地面积约136公顷，总建筑面积64613㎡，日处理垃圾3000t，包括原生垃圾、陈腐垃圾以及堆肥残渣。

阿苏卫循环经济园规划为包括陈腐垃圾筛分、堆肥、焚烧、残渣填埋等多种垃圾处理方式的综合园区，将多种垃圾处理工艺有机结合，实现园区的物料及能量循环。其中，垃圾焚烧电厂为园区核心子项。

二、项目难点

本项目设计难点在于：1) 工艺流程复杂，垃圾焚烧是循环经济园区的核心子项，需要考虑与其它子项的物料、能量循环；2) 环保要求高，烟气排放部分指标高于欧盟标准，污水零排放；3) 建设标准高，建成后是北京市北部地区标志性建筑，成为垃圾处理、循环经济的科研、教育、宣传展示平台；4) 运维要求高，

表1: 工程概况表

工程概况			
电厂面积	建设用地面积	总建筑面积	建、构筑物占地面积
	88941m ²	64613m ²	39750m ²
工程内容	焚烧系统	750t/d×4台机械炉排焚烧炉，日处理能力3000t	
	发电系统	30MW×2台抽汽凝汽式汽轮发电机组	
	尾气处理系统	(SNCR)脱硝+半干法脱酸+干法脱酸+活性炭喷射吸附+布袋除尘器+SCR烟气净化组合工艺系统，同时配置先进、成熟的全厂自动控制系统和烟气排放在线监测系统。	
	凝汽系统	空冷+蒸发冷复合冷却	
总投资	17亿		
年运行时间	≥8000h		
定员人数	管理技术人员19人，生产人员119人，其他人员13人，总计151人		

需要建成智能化、信息化的数字化垃圾焚烧发电厂。

为解决上述难点，本次项目中使用的BIM技术最显著的特点，是以“数据为中心”，区别传统“图形为中心”的BIM技术。以“数据为中心”可以确保设计过程中形成的三维模型和保存在数据库中的数据保持完全统一，对三维模型做出的任何修改，都会在相应的数据库得到保存中，这样就保证了数据和模型的一致性。同时，单一的数据源在各专业和各阶段进行数据流转，保证数据的准确性。

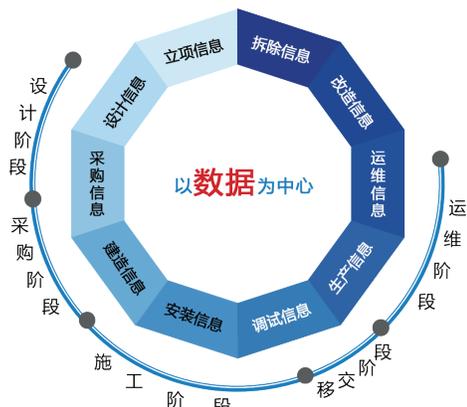


图2: 以数据为中心的BIM技术

三、BIM实施计划

本项目BIM技术路线采用一体化的项目集成管理，数字化、信息化贯穿项目的设计、采购、

施工、移交、运维全过程。项目基于统一的管理平台，实现全专业、全过程的协同工作。本项目编制BIM实施大纲及KKS编码规则，以满足后续运维管理阶段的需求。

本项目BIM实施核心：**模型为根，数据为本；信息流通，平台协同。**

本项目BIM实施目标：**全过程信息管理，最终实现数字化运维。**



图3: 阿苏卫项目BIM技术路线

本项目的BIM实施大纲，包含BIM实施总则、BIM实施技术规格、BIM模型深度、交付标准、数字化移交要求、对业主进行的技术培训服务等。实施大纲范围涵盖工程项目的建设期和运维期。

在建设期需要根据技术要求和工程进度需求，建立和完善KKS编码体系，并创建二/三维信息化模型，辅助业主完成整个建设过程，最终通过三维数字化焚烧厂信息管理平台向业主移交全部的数据/模型和过程文档。KKS编码采用需要依据KKS编码规范创建二/三维信息化模型，而不是简单建立数字化焚烧厂的外形尺寸；KKS编码需要涵盖土建建筑、结构、热机、化学、锅炉、给排水、电缆桥架、通风、各专业设备/设施及设备/设施的可更换部件以及门禁、监控等；KKS编码应满足后续运维管理阶段需求。

焚烧炉废气污染物排放情况

序号	污染物名称	净化处理前(单台) (余热锅炉出口)		4台焚烧炉合计产生量(t/a)		净化处理后(单台) (烟囱出口)		4台焚烧炉合计排放量(t/a)		净化措施及效果	设计保证效率(%)	GB18485-2014 污染物限值 (mg/Nm ³)	DB11/502-2008 最高允许排放限值 (mg/Nm ³)
		产生浓度 (mg/Nm ³)	产生量 (t/a)	设计排放浓度 (mg/Nm ³)	单台源强 (mg/s)	单台排放 (t/a)	单台排放 (t/a)						
1	颗粒物(烟尘)	8000	10560.0	42240.0	≤10	≤30	458.33	13.20	52.8	袋式除尘器	99.9	1小时均值≤30 24小时均值≤20	≤30
2	NO _x	400	528.0	2112.0	≤100	≤150	4583.33	132.0	528.0	SNCR+SCR	80	1小时均值≤300 24小时均值≤250	≤250
3	CO	50	66.0	264.0	≤50	≤55	2291.67	66.0	264.0	二次送风充分燃烧	—	1小时均值≤100 24小时均值≤80	≤55
4	SO ₂	500	660.0	2640.0	≤50	≤100	2291.67	66.0	264.0	半干法喷雾反应塔+干粉喷射	94	1小时均值≤100 24小时均值≤80	≤200
5	HCl	800	1056.0	4224.0	≤10	≤60	458.33	13.2	52.8	—	99.2	1小时均值≤60 24小时均值≤50	≤60
6	Hg	1.0	1.32	5.28	≤0.05	—	2.29	0.07	0.26	—	99	测定均值≤0.05	≤0.2
7	Cd+Tl	2.5	3.3	13.2	≤0.05	—	2.29	0.07	0.26	—	99	测定均值≤0.1	≤0.1
8	Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni	20	26.4	105.6	≤0.5	—	22.92	0.66	2.64	活性炭吸附+袋除尘器	99	测定均值≤1.0	≤1.6
9	二噁英	5ngTEQ/Nm ³	6.6gTEQ/a	26.4gTEQ/a	≤0.1ngTEQ/Nm ³	—	4.58ngTEQ/s	0.13gTEQ/a	0.53gTEQ/a	活性炭吸附+袋除尘器	99	测定均值≤0.1ngTEQ/m ³	≤0.1ngTEQ/m ³

烟气排放参数：烟囱形式：4根集束钢制烟囱；高度：60m；内径：2.4m；排气温度190℃；每台焚烧炉产生的烟气体量为165000Nm³/h，4台炉合计烟气体量为660000Nm³/h。

图4: 阿苏卫烟气体量

在运维期需要配合业主完成运维平台与已有其他系统的集成，实现完整的工程项目建设期和运维期信息的集成化管理，逐步完善焚烧厂运维管理的信息门户，实现焚烧厂信息的完整性管理。

四、基于BIM的数字化应用

(一) 室外风环境模拟

本项目不仅是固体废弃物的综合处理园区，也是重大的环保工程。项目园区设有宣教中心，并设置宣传参观专用通道，向全社会开放。为了保证良好的环保效果，项目团队应用软件进行了室外风环境模拟分析实验，意在降低污染物对周边环境造成的影响。室外风环境模拟主要包括冬夏季室外无污染物情况下风环境模拟和冬夏季烟囱排出污染气体情况下风环境模拟。

室外风条件参考《中国建筑热环境分析专用气象数据集》，具体数据如下：

· 冬季：

室外最多风向：NNW
 冬季室外平均风速：2.7m/s
 冬季室外平均温度：-5℃

· 夏季：

室外最多风向：SE
 夏季室外平均风速：2.2m/s
 夏季室外平均温度：29.1℃

污染物参数来自本项目焚烧炉废气污染物排放情况，污染物中NOX占比最大，因此室外风环境模拟以NOX做为代表污染物；排气温度190℃；每台焚烧炉产生的烟气量为165000Nm³/h，4台炉合计烟气量为660000Nm³/h。具体如下表。

室外风环境分析采用非结构化多面体网格对模型进行网格划分，地面采用棱柱体网格，对于除建筑物外的其他区域，网格最小尺寸为10m，对建筑物进行局部网格细分，最小尺寸为1m，网格总数为167280。室外风环境采用《绿色建筑评价标准》GB50378T-2014作为评判标准，具体为：1) 在冬季典型风速和风向条

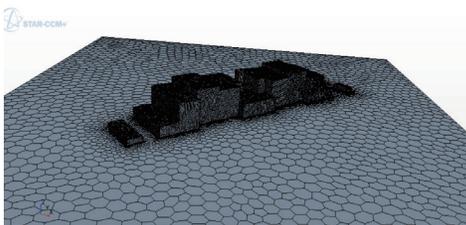


图5：阿苏卫室外风环境分析模型网格划分

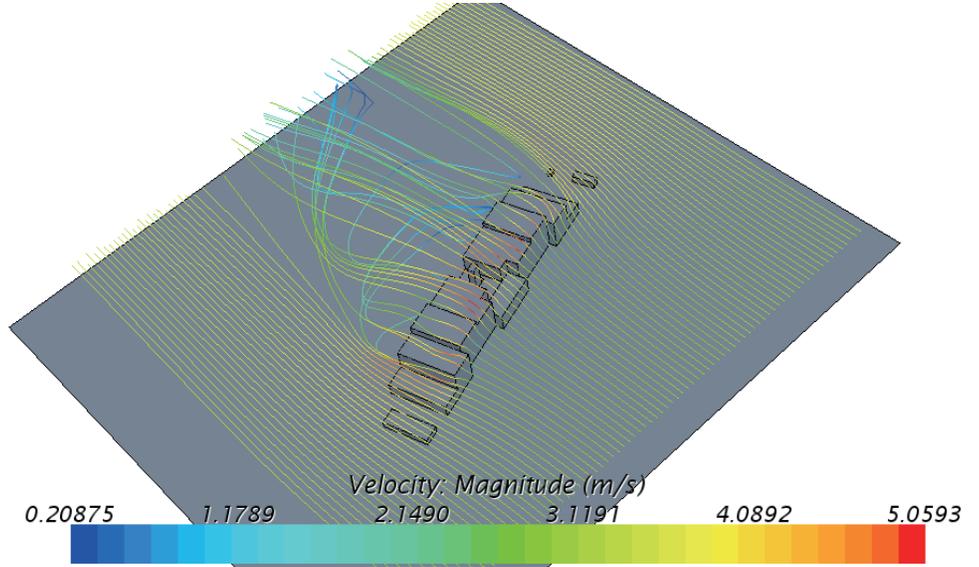


图6：夏季速度流线图

件下，建筑物周围人行区风速小于5m/s；除迎风第一排建筑外，建筑迎风面与背风面表面风压差不大于5Pa；2) 过渡季、夏季典型风速和风向条件下，场地内人活动区不出现涡旋或无风区；50%以上可开启外窗室内外表面的风压差大于0.5Pa。

通过Autodesk Ecotect软件，项目团队针对分析结果调整设计方案，将污染物的影响降到最低，使项目真正符合绿色环保的主题。

上图显示为速度云线图，结果显示建筑物周围风速分布均匀，没有明显的涡流以及风速过高区域。

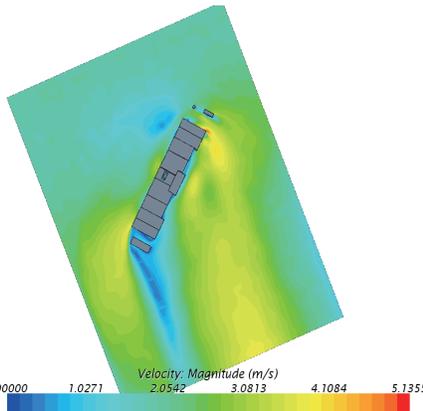


图7：冬季1.5m高处风速分布云图

上图显示为速度云线图，结果显示建筑物周围风速分布均匀，没有明显的涡流以及风速过高区域。

(二) 电厂数字化设计

项目采用统一的BIM设计平台，实现基于数据的协同设计。土建专业通过应用BIM技术创建了主厂房、卸料间、垃圾储存间、焚烧间、主控楼、烟囱等土建及钢结构设计，并完成钢结构节点、桩基础及桩承台的精细化设计。工艺专业完成了垃圾焚烧厂管道与设备模型的三维设计，实现了高标准、精细化的参数化设计，具体包括：焚烧炉、余热锅炉、SDA脱硫塔、布袋除尘器、SCR脱硝塔、除渣机、一次风机、二次风机、烟气再循环风机、汽轮发电机、锅炉一次风管道、主蒸汽管道等三维模块的设计。给排水专业完成了焚烧厂房、汽机厂房、主控楼及办公楼的焚烧厂房给排水管道设计，解决了用水房间内综合管路复杂、系统多样、标高变化频繁等问题。电气专业完成了桥



图8：项目模型截图

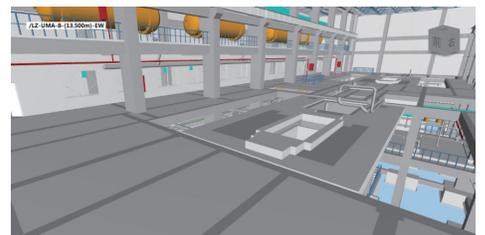


图9：项目模型截图

架设计及三维电缆敷设工作，采用三维电缆敷设软件通过读取电缆清册的逻辑信息，结合三维设备布置及路径，自动进行电缆优化敷设、精确统计电缆长度，从根本上杜绝了人为失误，保证了设计质量，设计速度提高80%以上。暖通专业完成了焚烧厂房、汽机厂房以及主控楼的采暖和通风设计。由于设计构件包含较多的非标构件，需要在Autodesk Revit中建立完整的项目族库，例如：非标管道库、非标结构库、非标桥架库等。项目多专业三维碰撞检查使用全专业自动碰撞检查工具，实现软碰撞和硬碰撞的检查，并自动生成碰撞报告。

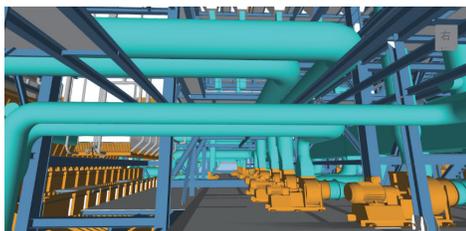


图10：项目模型截图

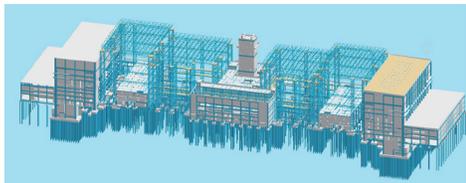


图11：项目模型截图

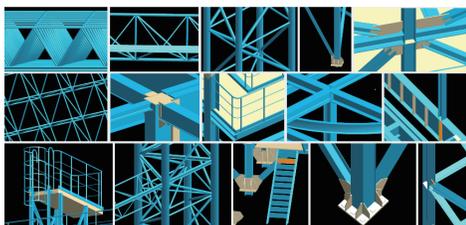


图12：项目钢结构节点图

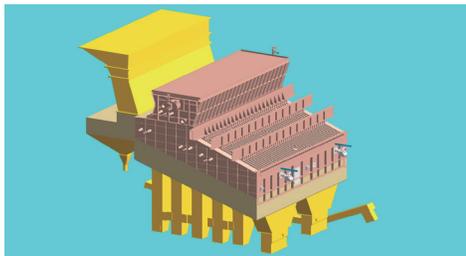


图13：焚烧炉设备模型

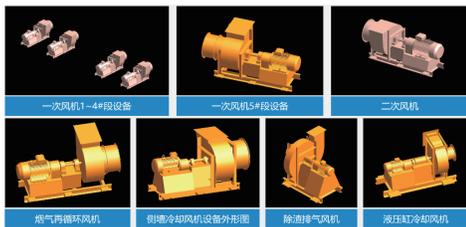


图14：风机模型

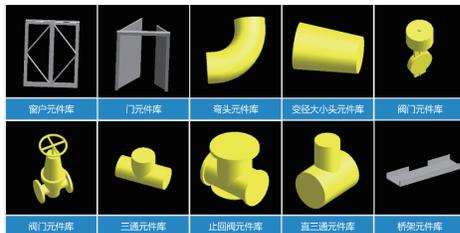


图15：非标族库

(三) 工艺流程仿真模拟

为给参观者提供更加形象的学习、体验过程，鼓励社会关注环保、关注循环科技，本项目基于Autodesk Revit平台创建模型，并结合虚拟现实技术，形象生动地展示了垃圾无害化处理的工艺流程。本项目选用4台750t/d的机械式炉排焚烧炉及2台30MW抽汽凝汽式汽轮发电机组。垃圾用密闭垃圾车运输，经由卸料大厅卸至垃圾储池，垃圾渗沥液经收集池去往渗沥液处理系统，经处理后达标回用。垃圾由抓斗抓取投放至焚烧炉，垃圾焚烧产生的烟气经过SNCR系统进行脱硝，半干式脱酸塔进行半干法脱酸，接着去往袋式除尘器进行除尘，再进入SCR脱硝塔进行脱硝，并辅以活性炭和干性脱酸药剂喷射系统，经过净化达标后进行排放。高温烟气的热能经余热锅炉回收产生蒸汽，用于带动汽轮发电机组发电，并实现对外供热。一次风机从垃圾池顶部吸风作为助燃空气，使垃圾池处于负压状态，防止臭气外逸。二次风机从焚烧间上部吸风作为助燃空气。本项目的垃圾焚烧工艺是国内首批采用烟气回流工艺，降低氮氧化物的生成及排放。焚烧产生的固体废渣回收后进行综合利用。焚烧产生的飞灰运送至危险废弃物处理中心处理，远期采取飞灰熔融处理。

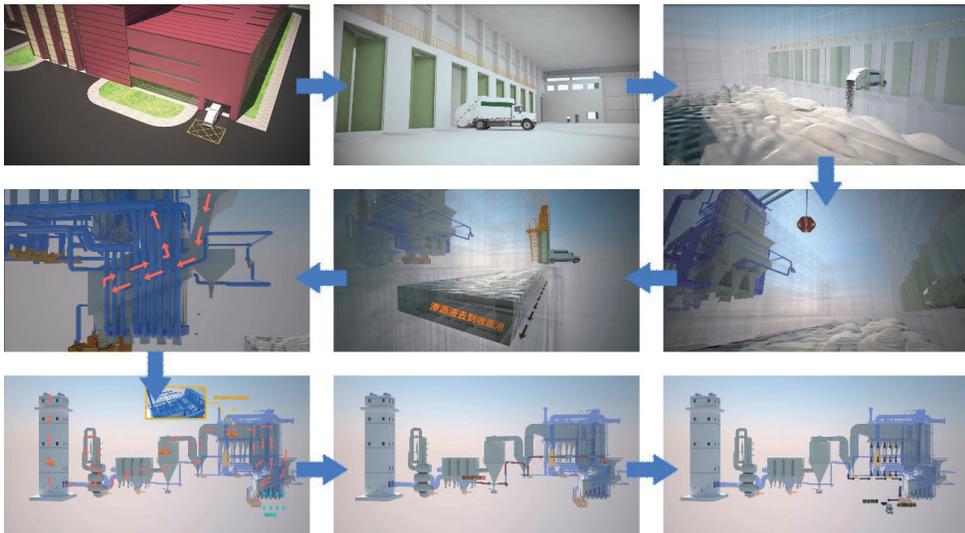


图16：工艺流程仿真模拟

(四) 电厂数字化建设

本项目在施工阶段进行数字化建造管理，即计划、材料、施工一体化管理。在施工阶段，基于Autodesk Navisworks软件平台对工程进行施工模拟，通过BIM系统与施工计划相链接，使工程项目提前在计算机平台实现整个施工过程全周期的模拟，将空间信息与时间信息整合在一个4D模型中，可以直观、精确地反映整个建筑的施工过程。4D施工模拟技术可以在工程建造过程中实现人、机、料的部署，工程流水段的划分和工序工艺的合理安排，优化施工组织设计，精确掌握施工进度。通过从无到有的建设过程模拟，可以对整个工程的施工进度、资源和质量进行统一管理和控制，以缩短工期、降低成本、提高质量。此外，BIM模型可以按不同专业和不同区域生成材料报表，结合

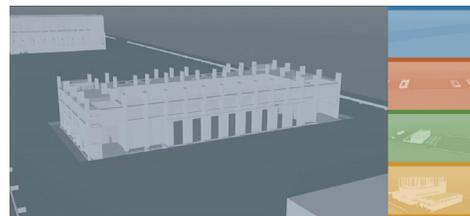


图17：4D施工模拟



图18：4D施工模拟

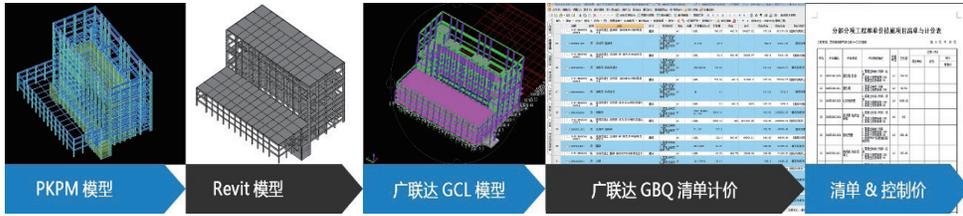


图19：从模型到清单控制价的流程

工程进度信息可以作为制定材料需求计划、采购数量及成本预算的参考。材料报表可为项目材料管理作出合理决策提供依据，保证施工需要，避免材料浪费。

(五) 电厂数字化移交

本项目移交采用全数字化移交。移交内容包括模型、图纸、视频、图纸文档的交付。在制定BIM实施方案时，需要提前编制数字化移交的规范和标准，使得移交工作可以顺利、高效地完成。阿苏卫三维数字化项目模型发布至信息管理平台后，通过服务器的局域网连接后，可使用WEB端或者移动端的方式登录到阿苏卫三维信息化管理平台中浏览最新项目三维模型。

(六) 电厂数字化运维

本项目提前在模型中模拟事故应急处理流程、运行人员培训等，实现可视化运维管理。本项目采用的三维智能管理一体化平台，可以实现表单电脑化，应用集成化，业务移动化，内容可视化，最终实现电厂运维的数字化、模型化、可视化、信息化、智能化。

本项目运维阶段的数据包括ERP、实时数据库、DCS、EAM、OA、门禁系统、工业视频等，这些数据需要实时动态地反应在三维数字化信息管理平台，进行生产经营管理、行政管理、设备管理、物资管理、财务管理等运营和维护管理。

“阿苏卫循环经济园借助BIM技术，工艺管道专业实现电厂的三维自动布置，电气专业完成了桥架设计及三维电缆敷设工作，土建和机电专业在同一模型中协同设计，保证了设计质量，设计速度提高80%以上。本项目通过采用数字化设计建造和数字化管理，最终实现电厂运维管控的信息化、智能化，最大限度达到电厂的安全、高效、环保运行状态。

—赵晓东

市政工程设计研究院
中国航空规划设计研究总院有限公司



图20：数字化移交

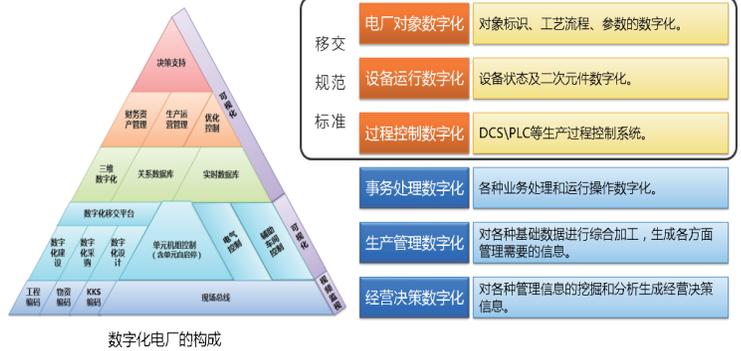


图22：移交规范标准



图21：数字化移交内容



图23：三维数字化信息管理平台

本项目BIM技术路线采用一体化的项目集成管理，数字化、信息化贯穿项目的设计、采购、施工、移交、运维全过程。项目基于统一的管理平台，实现全专业、全过程的协同工作。

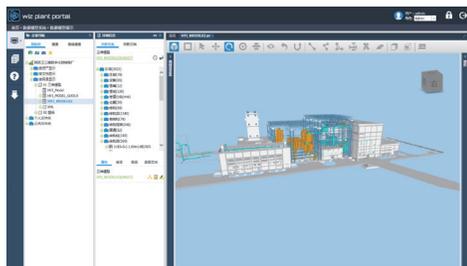


图24：数字化电厂信息管理平台

五、项目应用总结

本项目采用BIM技术进行数字化电厂项目全生命周期的管理；实现了项目全过程各参与方之间有效的信息沟通和传递，满足了项目数字化设计、建设、移交和运维的深度要求，实现智能化、数字化运维。本项目项目元件库、设备模型、KKS编码规则等可进行复用，提高后续项目的工作效率。项目基于统一的三维信息管理平台进行管理，加强了沟通效率和协同效率，使得项目各参与方从中受益。

本项目建成后是国内第一家真正意义上的垃圾焚烧数字化发电厂，项目经验可推广、可复制，为今后的循环经济项目提供了良好的借鉴性，也为该类型项目在国内的BIM技术推广打下了坚实的基础。

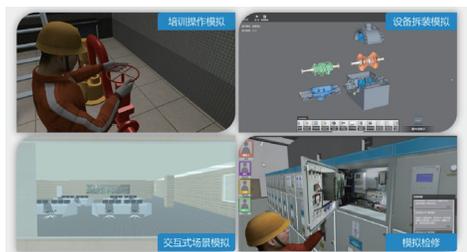


图25：运维操作培训模拟



图26：事故维修模拟



图27：项目经验要点总结