

# 基于工业互联网的智慧工程焊接

中国核工业集团首席专家  
中国核工业第五建设有限公司副总工程师

刘卫华

2020年电站焊接论坛

## 目录

1

核电站建造背景

2

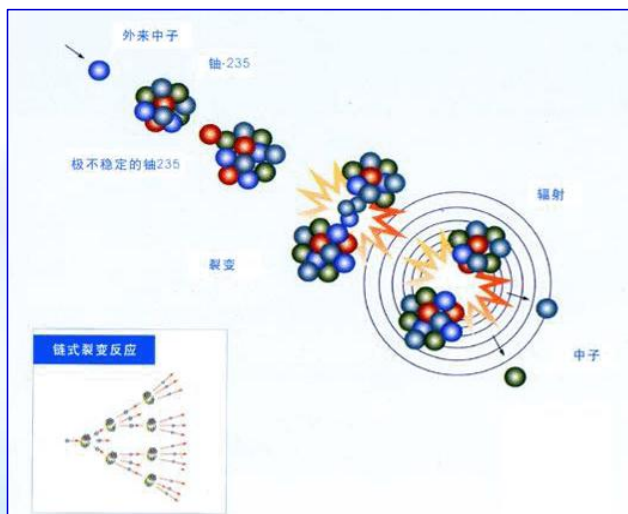
智慧核电建造

3

焊接开展的工作

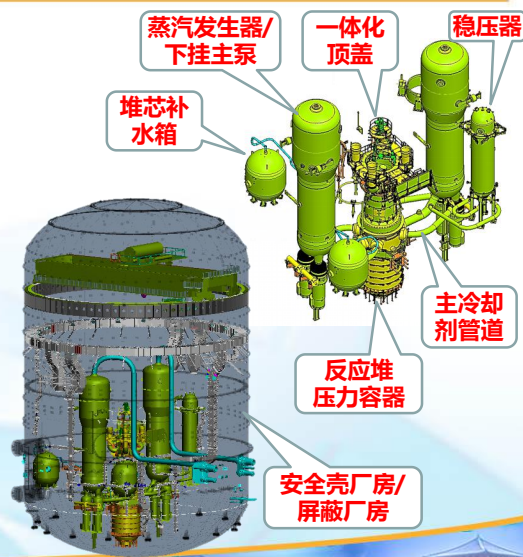
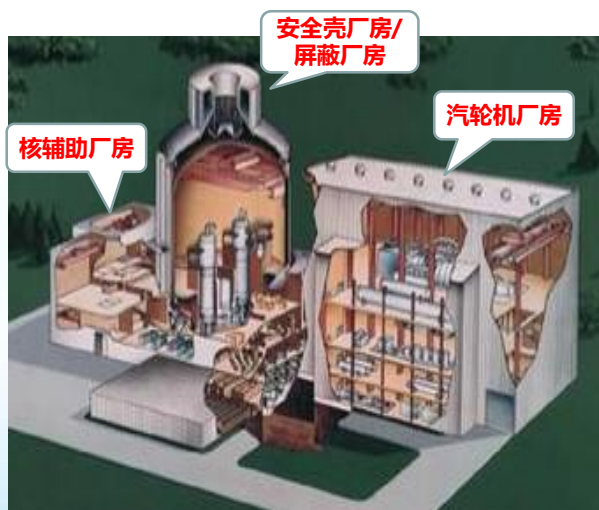
4

后续工作



1Kg铀-235的全部核的裂变将产生20,000兆瓦小时的能量，  
=2700吨煤燃烧释放的能量

核电站：铀-235的含量约为3%，  
核武器：铀-235的含量约为90%，  
中国核潜艇之父彭士禄：原子弹与：核电站=“白酒能点火，啤酒能灭火”



### 核电业主谈数字化核电<sup>[1]</sup>

- 中国核电已在多个系统开展**核电工业互联网应用**研究，同时相关基础平台和数据资源应用研究也都在进行中。
- 对在运机组主要系统和关键设备进行了实时状态监测，并利用**深度学习**方法建立了设备故障数据模型，从而对设备可能出现的缺陷提前预警，并已取得一定成效。
- 部分核电机组还试点开展了**设备健康管理**领域研究，包括利用**无线网络**对关键设备开展**视频监控**，对部分设备利用**远程巡检**代替现场巡检等。
- 在核电站控制系统方面，“新的三代核电都全面应用了数字化控制系统，实现了系统工艺控制自动化；一些老的核电站也在进行部分改造”

### 5G赋能核工业数字化<sup>[2]</sup>

中核工程与亚信科技、中国移动北京公司、中国移动研究院在北京联合签署合作框架协议：

- 四方将联手共建面向**5G的智慧核工业**，开展核工业无线通信技术研究和验证，共同参与制定核工业无线通信标准、行业业务及应用；
- 共同开展适用于5G核工业领域的业务应用，研究核工业特定生产环境的**物联网产品及关键技术**、应用产品的设计；
- 共同开展针对智慧核工业生产需求的**工业大数据、业务上云和云计算**等相关产品、技术及应用的设计、研发、建设、落地与推广；
- 开展核工业智慧生产与管控等相关技术及应用的创新型研究与落地推广。

[1]智能化趋势必然会影响核电，来源：中国核能电力股份有限公司,2020-05-09 09:53

[2]中核工程与亚信科技等合作互利共赢 5G赋能核工业数字化电，来源：2020-05-29 17:10 新浪证券

### 区块链与智慧核电<sup>[3]</sup>

- **智慧核电**：运用**大数据、人工智能、工业互联网、无线通信**等技术，将智能设计、智能制造、智能建造和智能运维充分融合，对核电站设计、建造、运维、经验反馈等过程中生成的海量数据自动收集、分类、计算、分析和深度挖掘，通过集成智能传感与执行、智能控制与优化、智能管理与决策技术，使核电站具备**自学习、自适应、自趋优、自判断、自恢复、自组织**的能力。
- 智慧核电站具有：**智能感知、信息融合、智能算法、智能决策、管控一体化**的特点，并具备全生命周期自动持续优化的能力。将设计、制造、建设和运行等数据，加密后上链，各相关单位间通过智能合约确定双方数据开放的层次和内容，通过**分级授权**获取所需数据。
- 数字印记和非对称加密可以保证数据不被篡改和恶意获取，任何操作都会被**所有节点记录**也避免“抵赖”和不履约行为的发生。
- 区块链技术有助于打破不同行业 and 单位间的界限，实现**数据的汇聚共享和深度挖掘**，使得智慧核电获得发展的数据基础。



狂风吹散纸张，  
焊口记录丢失，  
割口重新焊接



[3]“智慧核电：如何实现区块链在核能领域的应用，发布时间：04-2816:18 全国能源信息平台



## 1) 总目标:

- 减少甚至无人干预的核电建造;
- 物、机械、工艺联动,统一平台管理;
- 数字化建造成果移交业主等相关方。



空间、传感  
物联、平台

## 2) 核电全场实现智慧化建造管理

- 智慧工地:全场人员、物项、机械、材料、厂区、厂房等资源可视化、动态管理;
- 物理信息系统(CPS)管理:全场气候、环境管理,资源地理信息系统、物联、工艺链接等管理;

## 3) 全场BIM建模管理

- BIM建模:电厂构筑物、厂内物项、流动大型机械等;
- 施工工艺程序化、指令化,加载到BIM可视化建造系统中;

## 4) 感知元件管理

- 物-物之间:通过位置、长度、力、速度、温度等感知元件实施联通与信息交换;
- 物-工艺之间:通过程序和指令联动;

## 5) 管理平台建设

- 智慧化建造在统一平台上进行;
- 授权分级管理;



纳美骑士和六角马坐骑神经末梢对接(交流的便捷、准确、跨界)



爱娃仙子(掌控整个项目施工信息)

## 1) 空间定位:

- GIS系统
  - 位置确定:即地理要素的空间定位问题,如坐标、地名、厂房代号等表示;
  - 条件预设:符合某些指定条件的地理要素的查找问题,如高度大于某数值的建筑物有哪些等;
  - 预先模拟:即给定一定的条件,某个地方会发生什么样的问题;
- 智慧城市、智慧园区,已实现空间定位

## 2) 万物互联(小空间)

- 身份识别:RFID、二维码、IPV6地址代码;
- 万物属性感知元件:位置、长度、力、速度、温度等;

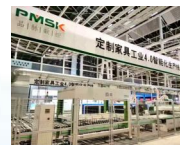
## 3) 虚实结合

- CPS(物理信息系统):滴滴打的成为现实;
- BIM技术:建模、数字孪生、资源加载(进度、计划控制、碰撞检测等);

## 4) 智能制造装备

- 车间自动化生产线;
- 机器人、自动焊接、自动机加工;

## 5) 无人化车间已实现



## 6) 核电厂可以划分多个车间

- 厂房:固定车间
- 道路:传输线/带

## 7) 建造集成平台

- 集成系统;
- 集成平台;

## 1) 核电全产业链推进

智能化铀资源勘探和开采 → 智能化核燃料生产制造 → 智能化核装备制造和智能化工厂管理 → 智能化核电**设计** → **建造** → 运营

## 2) 建造环节

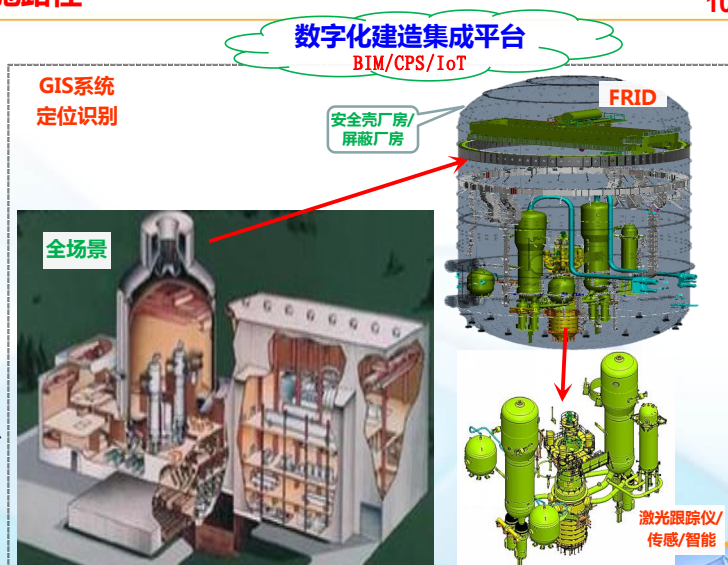
- 设计：数字化设计（考虑智能建造的空间预留、数字化模型、设备厂/土建/安装等数字化接口）；
- 业主/总包方：智慧建造管理模式（网络化、无纸化、区块链）；
- 制造厂：产品数字化信息、身份识别（为建安提供识别与产品属性）；
- 土建/安装：

2019年5月9日，中核集团人工智能与核科技产业融合战略规划项目正式启动：

在实施层面，以集团业务发展为牵引，从整个核产业链出发，探索人工智能融合应用的需求和场景。通过打造智能化铀资源勘探和开采，智能化核燃料生产制造，智能化核装备制造和智能化工厂管理，智能化核电设计、建造和运营，同时研究人工智能在核环保、核动力等领域的融合应用，推动人工智能在全产业链的深度融合、创新应用和转型驱动。

## 2) 建造环节

- 土建/安装：
- ① 全场GIS系统定位+BIM建模，构建全场物物空间位置、尺寸关系
  - ② 将全场划分为若干单元，比如安全壳厂房，厂房内FRID定位与识别，各单元之间的连接
  - ③ 单元内设置传输装置，实现各物项的精准落位，安装的逻辑顺序，施工机具的移动，FRID+激光扫描/跟踪
  - ④ 具体物项安装，BIM可视化施工加载施工逻辑、施工计划+施工工艺、智能传感装置驱动施工机具，智能机具实现施工
  - ⑤ 全场的施工管理在“基于工业互联的核电集群数字化建造集成平台”进行



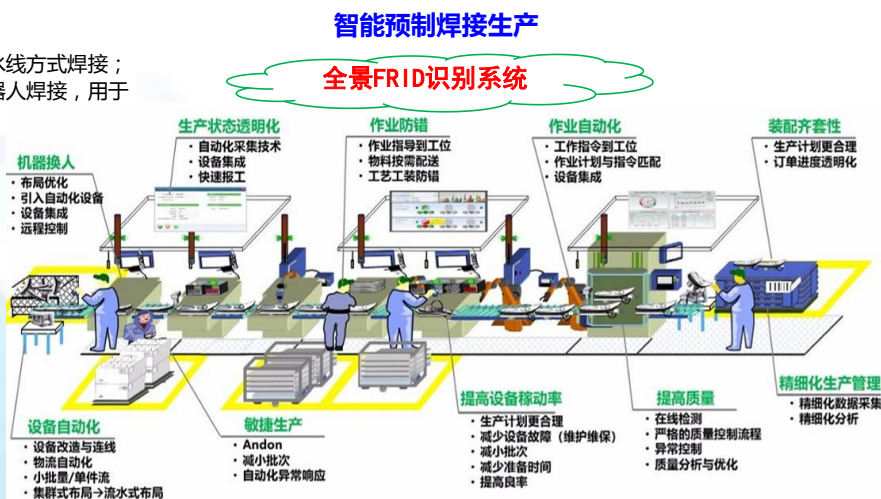
## 3) 大数据协同

- 第一个是全过程记录：从图纸到实体，核电整个采购、制造、建造、变更所有过程的数据记录下来；
- 第二个是全面关联：将整个建造过程中的部件、设备、厂房以及运行系统全面关联起来；
- 第三个是数据交换：所有的参建单位、制造单位、设计单位要在一个数据模型上进行工作，同时进行实时的数据交换；
- 第四个是配置管理：实现数据的跨部门跨组织监控，这样才能形成全参数的数字化核工业。

## 4) 焊接板块（含：车间预制和现场施工）

## a) 车间预制

- 工件移动：传统流水线方式焊接；
- 工件固定：行走机器人焊接，用于工件不便于移动；





#### b) 现场焊接

利用模块化施工技术，将原来现场安装工作移植到车间预制，形成模块到现场整体安装。（正申报ISO国际标准）

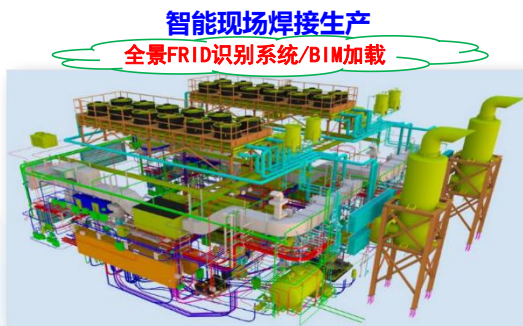
全场划分成小单元，各单元通过GIS系统、BIM可视化平台、集成建造管理平台。

识别无法实现智能安装物品，预留人工施工。

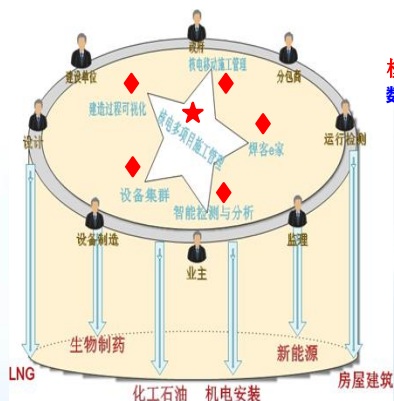
- 结构件安装：移动机器人熔极气保焊施工；
- 罐体焊接：自动焊缝寻位爬行机器人焊接；
- 管道焊接：行走机器人柔性臂焊接（模拟手的所有关节），GTAW或者GMAW焊；
- 改进自动TIG焊机：集成氩气罐、无线供电；

#### c) 焊接管理

- 焊缝质量控制：焊缝内外表面质量监控；
- 焊缝检测：智能检测（智能化：VT扫描、数字RT、UT）
- 焊接集成系统：计划安排、工艺加载、焊接记录、



#### 基于工业互联网的核电集群数字化建造集成平台



基于信息物理系统（CPS）架构  
Cyber-physical-system

总体思路：

核心：  
数字化核电建造项目集群管理平台★

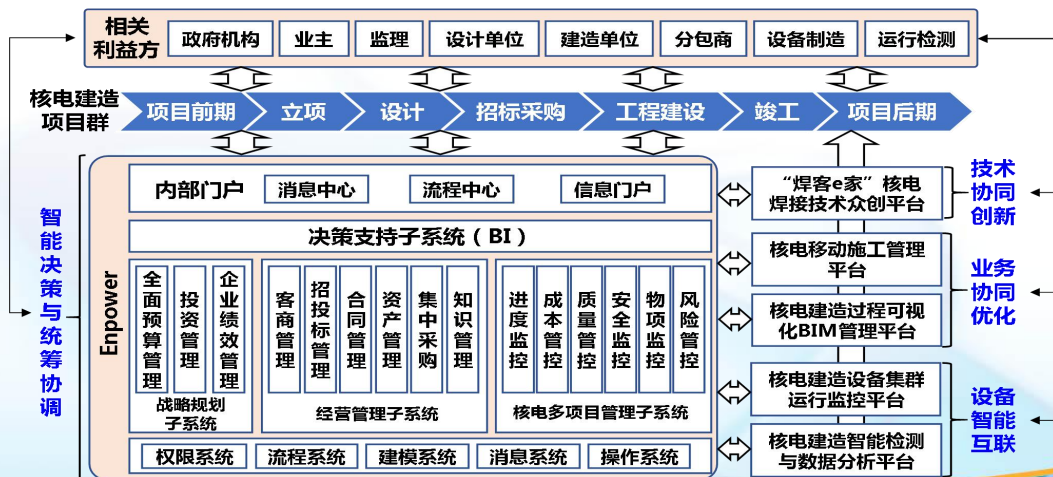
支撑：

- ◆ 核电移动施工管理平台
- ◆ 核电建造过程可视化管理平台(BIM)
- ◆ 核电建造设备集群运行监控平台
- ◆ 核电建造智能检测与分析平台
- ◆ “焊客e家”核电焊接技术众创平台

“联管道”：跨国境、跨地域、跨行业、跨产业链的大型核电建造信息与数据分析以及资源整合与优化创新平台。

借助物联网、大数据与可视化技术，在核电产业链的横向建立跨越全球项目的信息交互网络

#### 基于工业互联网的核电集群数字化建造集成平台

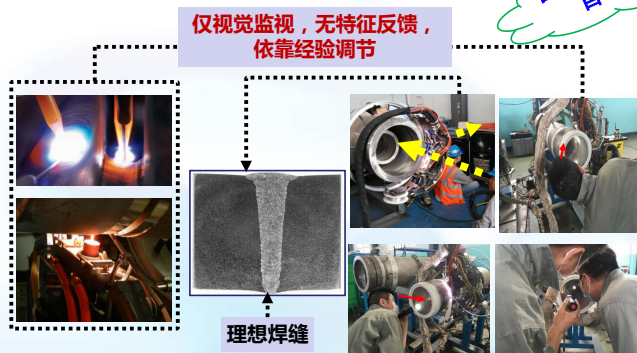


#### 1. 厚壁管自动焊接质量在线监测及评估系统研究

API1000核电站中采用LBB设计的管道采用TIG工艺。

智能化焊接? 质量的自动监控与保障

图像采集 → 判定熔池质量及趋势 → 智能改善工艺 → 反馈焊接系统



大管道背面, 人员进入观察背面, 波动管Φ500以下管道无法观察背面

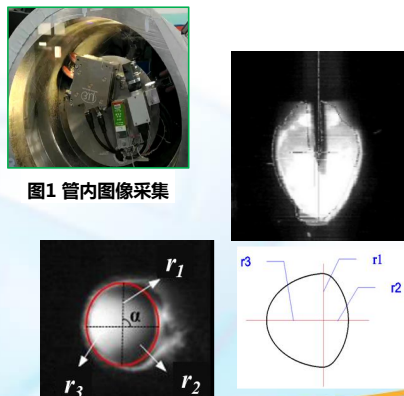


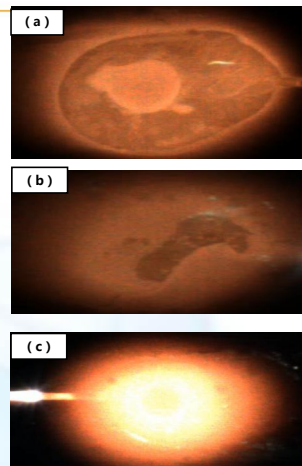
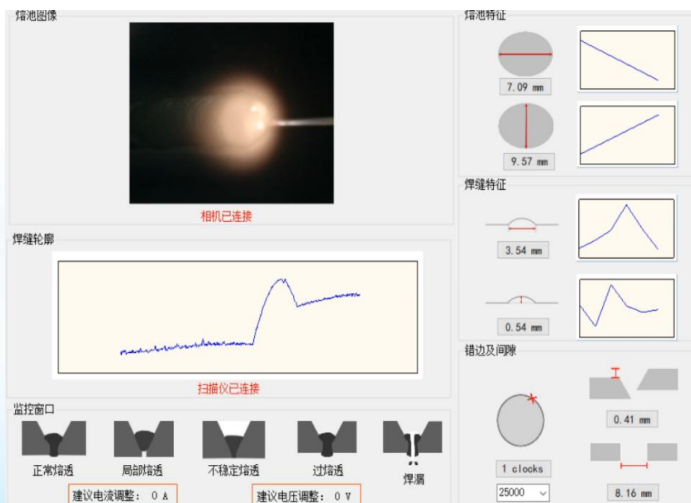
图1 管内图像采集

图2 熔池特征图



### 3.2 焊接技术研究

#### 在线监控与反馈



a) 正常熔透, b) 未焊透, c) 即将焊穿  
不同状态的典型特征

### 3.2 焊接技术研究

#### 2. 基于视觉传感的纠偏研究

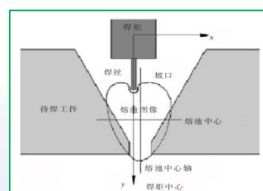
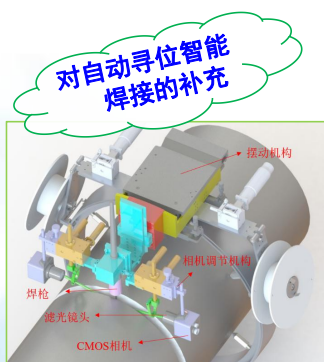


图1 电弧偏离



图2 错边造成偏弧



焊缝、熔池监控视觉传感系统硬件

#### 3. 管道安装提升与组对系统研究



### 3.2 焊接技术研究

#### 4. 预埋件机器人焊接



图1 FD-B6全位置焊接机器人臂

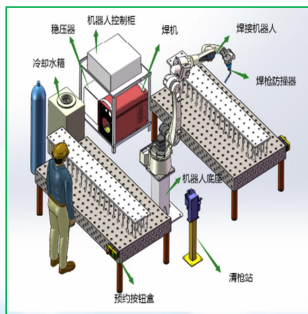


图2 预置焊接机器人工位

应用:预埋件、钢梁、钢柱、钢牛腿等产品自动化产线。

友情提供: 肖志威高工 (中核二二公司)

#### 5. 预埋件钢筋摩擦焊

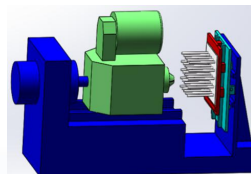


图4 预埋件钢筋摩擦焊设备



图3 焊接过程照片

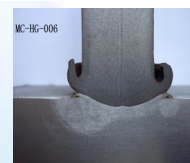


图1 金相试样

应用:“华龙一号”存在大量穿孔塞焊埋件,穿孔塞焊不仅需要钢板钻孔、扩孔,而且完全填满整个孔洞焊接量非常大,不完全统计单个核岛穿孔塞焊接头约20万个。

### 3.2 焊接技术研究

#### 6. 无导轨机器人焊接



图1 坡口激光识别、跟踪界面

“悬浮磁吸附”改成智能行走机器人+柔性臂



图3 CV模拟件焊接

无导轨全位置爬行焊接:无导轨、自主识别焊缝的全位置焊接,采用轮履式与悬浮磁吸附相结合的结构。CV钢制安全壳、安全壳钢衬里等横向变化范围小、焊缝坡口截面类型复杂的大曲率焊缝或类直线焊缝。

友情提供: 肖志威高工 (中核二二公司)

#### 7. 密集型钢筋穿孔塞焊机器人自动焊

##### ▶ 密集型钢筋穿孔塞焊机器人

实现从钢筋上料、插入孔、点焊以及塞焊一整套工序的自动化焊接。

以华龙一号一个机组核岛厂房预埋件制作为例(20万个预埋件,每个预埋件按6根钢筋计算),相比于半自动焊方式,采用自动焊方式作业节约成本115.8万元,节约成本22%,焊接效率提高1倍以上。



友情提供: 邓克剑研高 (中核二四公司)

### 信息物理系统 (CPS) *Cyber physical system*

信息物理系统是一个综合计算、网络和物理环境的多维复杂系统,通过3C (Computing、Communication、Control) 技术的有机融合与深度协作,实现大型工程系统的实时感知、动态控制和信息服务。

把物理设备连接到互联网上,让物理设备具有计算、通信、精确控制、远程协调和自我管理的功能,实现虚拟网络世界和现实物理世界的融合。

#### 研究:

- 所有的施工物项、机具、人员、构筑物在集成平台上(含空间位置、本身属性信息)实时显示,虚实映射;
- 与BIM构建的三维模型对应,显示全场实际状态。
- 含特征信息:尺寸、质量、温度、压力.....、安装工艺

“二维”变成“三维”，  
含特征信息

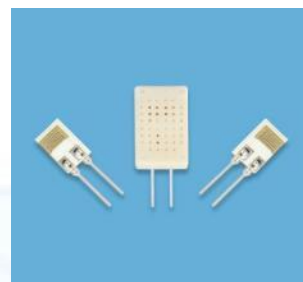


### 感知元件

能敏锐地感受某种物理、化学、生物的信息并将其转变为电信信息的特种电子元件、装置;

可以感知外界的信息,达到或超过人类感觉器官的功能。

- 链接:物—物、物—人、物—行为、物—工艺 .....
- 感知和传递特征信息:尺寸、空间位置、速度、质量、温度、压力、颜色 ....., 安装工艺

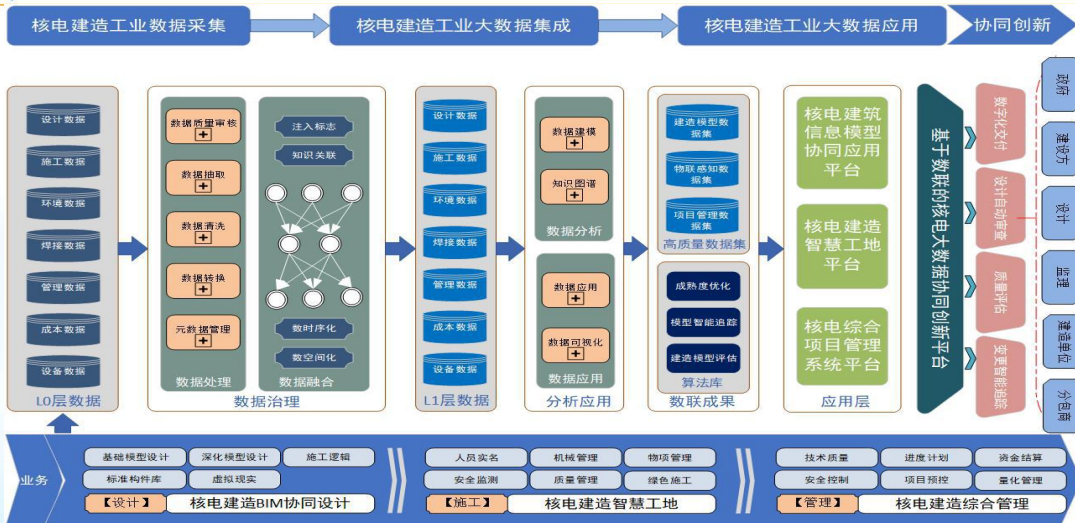


感知元件的应用  
是智慧工程的核心!

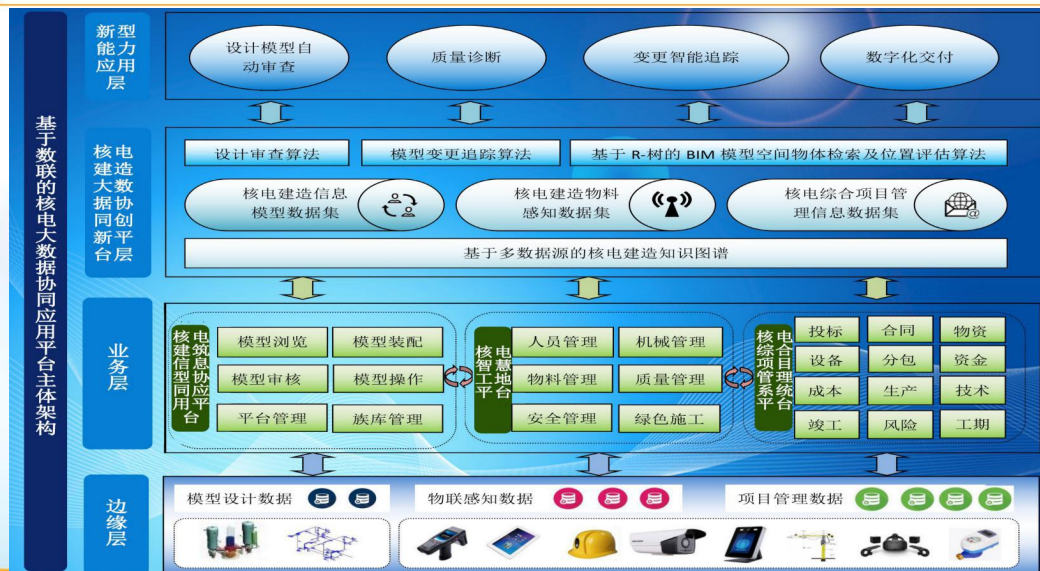




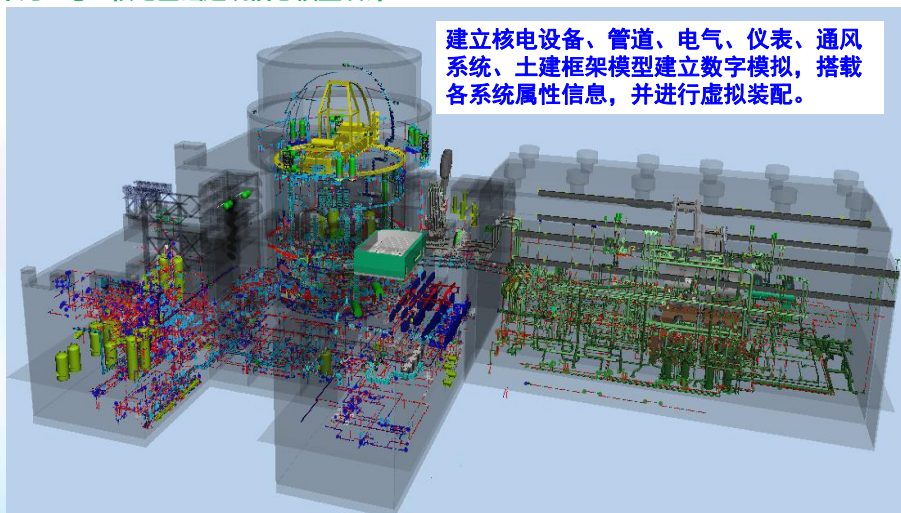
### 4.3 核电大数据协同应用研究--数据流



### 4.3 核电大数据协同应用研究--大数据协同应用平台总体架构



## “华龙一号”核电基础建筑信息模型设计



## 期待多方参与:

1. 感知元件研制
2. 图像识别与处理
3. 柔性/智能焊接机器人
4. 软件开发
5. 焊接集成
6. 基于工业互联网的数字化建造集成平台