



数字化核电站构想

汪映荣, 许修亮, 曹姝媛

(山东核电有限公司, 山东 海阳 265116)

摘要:提出了全新的数字化核电站的蓝图架构和方案构想,以核电站全生命周期管理的理念,将项目前期、工程建设期和生产运营期的设计数据、建造数据、调试数据、生产实时数据、业务过程数据进行全面有效整合,采用先进的信息技术,构建数字化、智能化的核电站,实现结构化数据和非结构化数据的跨平台资源共享。通过介绍数字化核电站的概念、意义、进展情况及构成,提出了数字化核电站信息平台的建设思路,分别建立数据中心和信息平台,从而实现真正意义上的数字化核电站。

关键词:数字化;信息化;核电站

中图分类号: TP39

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016096

Conception of digital nuclear power station

WANG Yingrong, XU Xiuliang, CAO Shuyuan

Shandong Nuclear Power Co., Ltd., Haiyang 265116, China

Abstract: A new digital nuclear power station architecture blueprint and plan were put forward. With the concept of the full lifecycle management of nuclear power station, design data, construction data, commissioning data, real-time data and business process data for the project were integrating effectively from engineering period to operation period. Adopting advanced information technology, an intelligent or digital nuclear power station would be constructed to achieve resource sharing across platforms for structured data and unstructured data. The concept, significance, progress of digital nuclear power station were introduced, and the idea of construction of digital nuclear power plant information platform was put forward. Data center and information platform were established respectively, so as to realize the real meaning of digital nuclear power station.

Key words: digitalization, informationization, nuclear power

1 引言

随着“互联网+”时代的到来,网络、计算、数据、知识正在深度融合于核电各专业领域的工作中,在深入推进两化融合的同时,核电行业信息化也迎来了以创新驱动发展的“新常态”。让核电站实现数字化,加深信息技术在核电领域的应用,构建一个全面、真正意义上的数字化核电站,成

为核电企业信息化建设的目标和发展方向。目前对于数字化核电站的认识还存在不同见解,有人认为将核电信息管理系统与生产实时数据系统相结合就是数字化核电站,也有人将三维虚拟核电厂理解为数字化核电站。数字化电厂的概念是在 20 世纪末被提出的,目前已经正式进入实施阶段。人们从不同的认识角度出发,给出了数字化电厂的若干种概念和解决方案,如提出了数字化电厂概念模型,

也称为 5S 模型:分散控制系统(distributed control system, DCS)、厂级信息系统(supervisor information system, SIS)、管理信息系统(management information system, MIS)、电厂仿真系统(plant simulation system, PSS)、决策支持系统(decision support system, DSS)。

本文提出了全新的数字化核电站的蓝图架构和方案构想,即将核电站的过程控制数字化、生产管理数字化、物理对象数字化、设计过程数字化、事务处理数字化、经营决策数字化,在核电站从建设、运行到退役的整个生命周期中,实施完整的数字化设计、数字化采购、数字化施工、数字化移交、数字化运维,同时在生产监控系统的各个层次采用智能化和数字化设备、仪表和元件,在信息系统中采用相应的智能软件和管理软件,从而实现核电安全、经济运行。

2 数字化核电站的概念、意义及进展情况

2.1 数字化核电站的概念

数字化核电站是以核电厂物理对象和工作对象为研究对象,从核电全生命周期出发对其进行量化、分析、控制和决策,从而降低发电成本、提高上网电量、减少设备故障、提升核电价值,实现核电的安全、经济运行。数字化核电站的原理就是将所有信号数字化、所有管理内容数字化,然后利用网络技术,实现可靠而准确的数字化信息交换、跨平台的资源实时共享,进而为决策提供支持。随着信息技术的日新月异,数字化核电站的概念也不是一成不变的,其内涵跟随技术更新而不断丰富和动态发展。

2.2 数字化核电站的意义

(1) 推进工程设计一体化协同

建设数字化核电站有助于解决跨专业领域及异地设计的信息不对称问题,实现核电业主和上下游工程设计承包商之间的一体化协同工作。

(2) 提升工程建设效率和质量

通过整合核电建设项目各参建方的数据资源,构建全厂数据模型,根据不同阶段的需求对数据进行抽取与利用,实现按需共享。利用三维模型动态模拟施工过程、调试过程,实现施工调试的可视化管理,有效地压缩土建施工、设备安装和调试移交的工期,节约成本、提高效率。

(3) 提高安全生产和运行效益

从国内外探索建设数字化核电的实例中可以看出,通过应用先进的软件,构建一个数字化核电站的综合平台,从经济效益上看,每年能为核电企业节省上千万元。如果在故障

预测与诊断工作中实现数字化,则可以预防重大设备的损坏,避免不必要的非计划停堆事故,提高核电生产安全性。从这个角度出发,数字化核电站产生的效益将是不可估量的。

2.3 数字化核电站的进展情况

核电站数字化水平很大程度上取决于仪控系统数字化程度、管理系统信息化程度、设计制造信息化程度以及其间的信息共享程度等。从我国已建成和在建的核电工程来看,核电站的仪控系统经历了 3 个阶段:第一阶段是以模拟量组合单元仪表为主的控制系统,如在运行的秦山核电厂主控系统 SPEC200 组装仪表等;第二阶段是以模拟量和数字量混合运用的主控制系统,如岭澳核电厂仪表控制系统等;第三阶段是全数字化仪表控制系统,现阶段的典型应用有田湾核电厂的西门子 TELEPERMXP+XS 系统、在建的 AP1000 依托项目、三门核电/海阳核电 COMMOM Q+OVATION 系统。尽管第三阶段有全数字化仪控系统,但现场设备级数字化还存在不足,如变送器、开关柜、电动门等设备采集的信息较少,无法实现控制系统故障诊断和预测。核电管理信息系统、计算机辅助设计制造系统在国内外核电已基本实现应用,但存在“信息孤岛”,没有实现上下游之间信息的互联互通与全面共享。虽然基于虚拟现实技术的核电维修三维数字化已有一些对主要设备的应用,但数字化维修仿真模型还有待向更高精度和更大范围改进。大部分国内核电企业都是部分环节(如设计和运行维护环节)采用了数字化管理,还没有一座完全实现数字化的核电站。

目前,以中国广核集团有限公司(以下简称中广核集团)为代表的国内核电企业正在开展智能电站、智慧电站的相关研究与建设,解决核电设计与建造无缝衔接问题,将打造智能核电工程,核电人工智能高级应用作为重大研究课题,研究成果会陆续应用于国内核电项目建设。上海核工程研究设计院(以下简称上海核工院)基于大数据的 CAP1400 核电厂数字化支持体系研究课题即将启动,正在进行 CAP1400 动态性能运算平台的一期建模,将与三维模型结合,建立人因工程实验室底层运算平台。

在全球核电机组中,从整个核电站全生命周期管理出发,实现完全数字化应用的只占了极小一部分,各核电企业已基本完成功能信息化,实现了局部数字化及局部的共享与交换、可视化、协同工作。在国外,美国核电站超过半数已服役超过 30 年,数字化改造成本高昂,未进行大规模改造。目前美国 Exelon 公司建立了核电人类工程学设计控



制中心,用于资源安排、优化调度和现场监测。法国、英国的核电站也建设得较早,正在逐步进行数字化改造,法国电力旗下 58 个机组中有 4 个机组完全实现了数字化管理,其他机组部分环节实现了数字化,大多环节处于数字化 2D 或纸质管理。

3 数字化核电站的构成

建立数字化核电站是核电信息化发展到更高水平的一个阶段。信息化包含信息的数字化、数据化、网络化、虚拟化、可视化等,处理各种结构化数据和非结构化数据。核电信息系统的建立为数字化核电站打下了一定基础,而实现数字化核电站真正的实质性内容是“数据”。在核电生命周期中需要提供更准确的数据以进行更有效的工作。数字化核电站的构成分为 3 个部分:数字化控制、数字化工程、数字化管理,如图 1 所示。

3.1 数字化控制

数字化控制即应用分散控制系统(DCS),实现生产过程的自动化和现场设备级的数字化,同时为管理信息化提供现场实时数据。数字化控制是实现核电站物理对象数字化的手段。目前,数字化控制在火电、水电等常规电厂的应用已经比较成熟,DCS 的系统功能、设计思想、组态配置都较为完善。

随着核电技术的发展,DCS 在核电厂也广泛应用于各个领域,将核岛(NI)、常规岛(CI)及电站辅助设施(BOP)

的分散仪表通过现场总线通信联系起来,实现集中控制和一体化管理,同时各机组 DCS 以及厂址废物处理设施(SRTF)、网络监控系统(NCS)、海水淡化处理系统等公共系统将为实时数据的深入分析统计提供数据来源,为实现数字化核电站提供必要条件。

3.2 数字化工程

数字化工程即在核电建设初期就开始由 EPC 承包方实施数字化设计、数字化采购和数字化工程管理,将整个核电建设过程中设计、采购、建设的数据和参数,以数字化的形式记录、存储下来,通过向业主的数字化移交形式,与建成后的核电生产系统数据库相连接,以支撑核电全生命周期的数字化管理。

3.2.1 核电数字化设计

核电数字化设计一般使用二维设计平台或三维设计平台进行专业协同设计,实现面向对象的全寿期数据集成和可视化,为以数字化为基础的信息化管理打下基础。数字化设计模型包括系统图、管道和仪表图、现场总线图以及其相关对象数据、设备数据、控制信号数据等。

目前,上海核工院、美国西屋电气等国内外设计院在第三代核电技术 AP1000 设计中已采用 Intergraph(PDS、SP3D)等软件进行三维数字化设计,已基本达到全数字化设计水平。

3.2.2 核电数字化采购

实施核电数字化采购,需要基于数字化设计的成果,

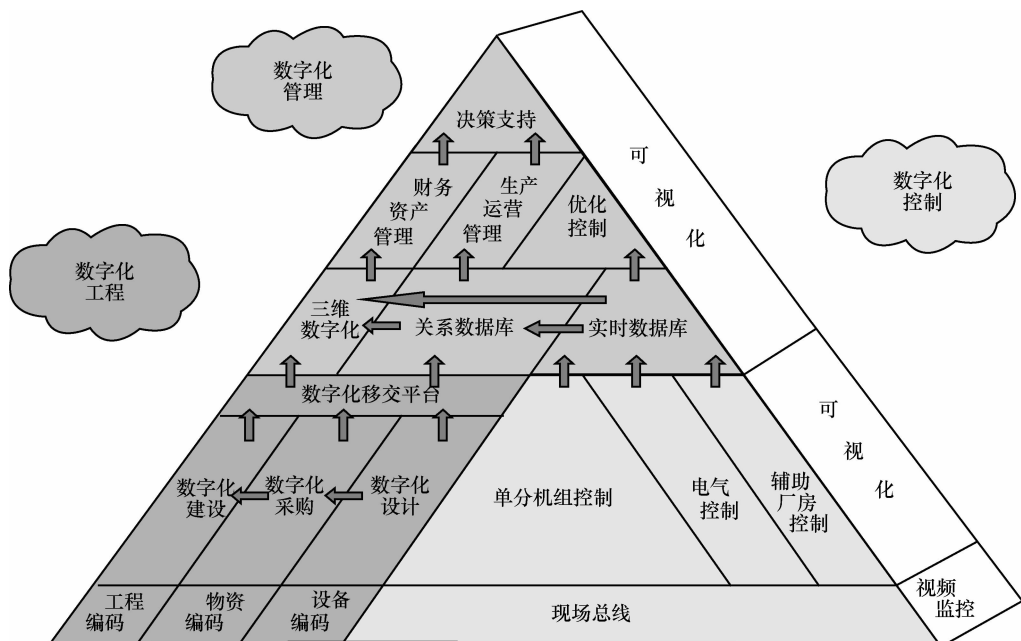


图 1 数字化核电站的构成

对设计内容提出明确的采购内容、格式及编码等标准与要求。在采购过程中利用物资编码和 WBS 编码,按工程需要产生请购单,按整体采购分批交货进行采购管理。通过数字化采购,提高核电工程项目的采购效益。

3.2.3 核电数字化工程管理

核电数字化工程管理是基于信息技术的现代项目管理方法,使信息化贯穿于整个施工过程。在核电工程建设过程中,各参建方可以建立自己的信息管理系统,其结构较为分散,需建立一体化的关联关系,把各参建单位分散的管理有效组织起来,建立统一的空间数据平台,实现数字化工程进度跟踪、数字化管网数据管理、数字化施工文档管理等多领域的集中管控功能。通过数字化工程管理,使各参建方之间复杂的接口关系转化为同一个数据平台上协同工作的高效协同,降低信息传递的不对称,并将工程管理过程数据沉淀下来,有效地将实体核电站和数字化核电站的建设过程进行同步,保证数字化核电站的建设质量。

3.3 数字化管理

数字化管理即核电业主利用信息化手段实现核电生命周期中各阶段管理的数字化。数字化管理是核电站实现工作对象数字化的手段。

3.3.1 数字化移交

数字化管理的基础是数字化移交。数字化移交是由上游设计和承建方借助数字化移交平台,对设计、采购、建造等各阶段的数据、信息、资料进行分类、收集、整理、审批,最终移交给业主,内容包括三维模型、设计文件、采购信息、施工信息、调试过程信息等,其数据仓库保持动态增量的状态。进行数字化移交将形成数字化核电站建设的原始基础数据,产生指导施工和采购的数字化设计资料,可应用在工程进度的 4D 跟踪、吊装运行空间和设备维护空间

模拟、主控室模拟、设备拆卸仿真、交互式培训学习等。并整合各类信息,在运行期构建成三维数字化系统,在虚拟现实平台上形成对核电运行与维护的一体化管控。数字化移交可以优化数据移交过程,提高数据移交质量,使业主及时获取可靠的建设期信息,了解项目设计建造进度,提高建设期管理能力,同时实现知识积累,用于核电站未来的运行、维修、改造、延寿和退役。

3.3.2 数字化管理架构

数字化管理的架构以先进、实用为原则,在底层控制系统数字化的基础上,构建数字化的实时数据系统、资产管理系统、电厂仿真系统、地理信息系统等,进而建设企业级的决策支持系统。

数字化管理架构层次如图 2 所示,分为 3 个层次:生产监控层、业务管理层、决策支持层。3 个层次分别对应五大功能系统,生产监控层包括厂级监控系统(SIS)、电厂仿真系统(PSS),业务管理层包括管理信息系统(MIS)、地理信息系统(GIS),决策支持层包括决策支持系统(DSS)。

在数字化管理架构中,所需要的数据包括动态数据(实时数据)和静态数据(非实时数据)。一般来说,以往生产监控层的 SIS 和业务管理层的 MIS 互相独立而功能容易重叠。而数字化管理基本模型中所建立的各个信息系统,首先是基于同一规划和配置的企业级数据仓库,保证针对同一对象的数据具有唯一性和准确性,同时引入先进的资产管理、设备管理、过程控制、经营管理以及决策支持等功能作为支撑,在统一的大数据分析平台下,形成商业智能(BI)的绩效管理,将各类报表、计划、仪表盘展现在决策支持系统的统一视图中,对运行中的核电站进行全方位的数字化管理。

生产监控层面向核电各领域的生产和技术管理人员。出于对过程控制需要和系统安全的考虑,DCS 及基于 PLC

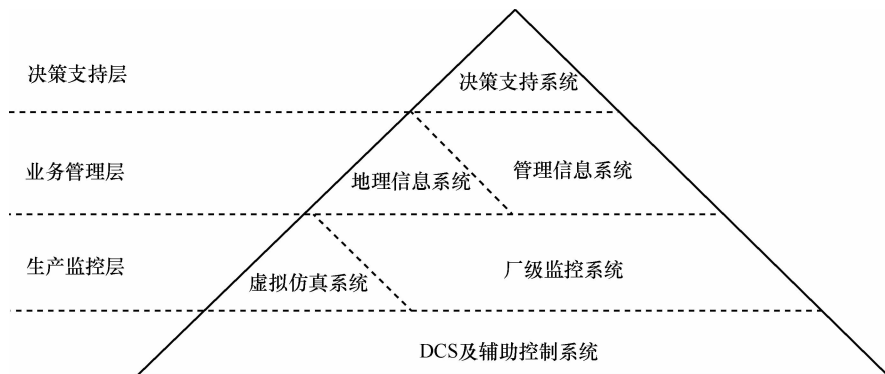


图 2 数字化管理架构层次



的其他辅助控制系统终端往往放置在集中控制室或电子设备站内,具有严格的门禁管理和授权管理,存在对实时数据应用的局限性。由于各类生产人员或技术人员需求的多样性和现场实时数据的复杂性,需要将生产控制系统的数据传输至办公区域甚至更远的其他终端,开发具有针对性的应用对 DCS 的信息进行展示和处理,建立 SIS 满足各类数据分析的需求,将生产过程管理、优化控制和过程实时监测融为一体,在 MIS 与 DCS 网络之间,实时读取生产控制系统的各类参数及过程点信息,并实现实时历史数据汇总、存储,使人员更加及时、全面地了解现场实时状态,减少错误识别和正确决策的时间。基于实时数据库,构建过程监视和回放、故障预警和诊断、性能计算和分析、堆芯和燃料管理等具有高级优化与监测的功能。同时,利用仿真技术,建立虚拟仿真系统,将 SIS 实时数据与三维模型相结合,在虚拟电厂中动态体现机组运行状况,辅助检修方案的制定和验证,进行维护计划、备品备件管理以及虚拟培训与演练。并将技术文档与三维模型关联起来,实现交互式文档应用,提供直观的任务指导,实现结构化数据和非结构化数据的跨平台资源共享。

业务管理层面面向核电各专业的业务管理人员,系统覆盖核电业务管理的方方面面。目前,作为核电基础建设之一,管理信息系统已经被大多数核电厂所使用,不仅限于办公自动化(OA),而且广泛应用企业资源计划(ERP)、企业资产管理(EAM)、工程项目管理等信息系统,全面支撑企业经营管理、设备资产管理、建设过程管控等核心业务。在工程建设期采用数字化三维设计系统,在进入运行期后,应用可视化技术,将其与三维虚拟化系统、视频监控系統、地理信息系统等进行集成,对核电机组进行全方位的三维仿真模拟,使系统、设备、部件、管道等对运行人员提供可视化操作。

决策支持层面面向核电企业领导和决策者,主要作用是核电企业的各级管理者提供对企业进行高效管理的技术支撑,使其通过数字化管理系统提供的及时、有效的生产经营决策信息和各类财务指标来积极地影响核电的盈利水平。

4 数字化核电站的信息平台建设

4.1 数据中心

建立数字化核电站统一的数据中心,能够消除各子系统之间的信息壁垒,避免形成信息“孤岛”,实现数据互联互通。数据中心可有效解决应用系统的整合与数据共享问

题,实现数据的一致性、及时性、完整性、安全性、有效性和准确性,提高数字化信息系统的统一性,解决信息系统沟通不畅的问题,是数字化核电站一体化平台的基础。数据中心在提供必要的基础设施以外,还应为系统提供统一的应用集成平台、统一的身份和访问管理、统一的移动应用平台等。

4.2 信息平台

建立数字化核电站信息平台,可以实现信息流的有序统一。数字化核电站信息平台建设的目标是在各信息管理系统子系统的基础上,通过数据中心对各类信息重新进行筛选、过滤、组合、分类,并进行加工及处理,建立一个集经营管理、生产管理、过程监控、决策支持等一体化管理的数据仓库,采用数据挖掘、决策分析等技术,设计合理的决策分析模型,为管理者提供智能化的决策支持,并结合先进的管理理念,通过对物资流、资金流、工作流的合理规划,使核电业务管理程序化、流程化、规范化,满足数字化核电站建设的需求,达到核电安全建设和生产的目标。

(1) 门户系统

门户(portal)系统将各种应用系统、数据资源集成在一个信息平台上,以统一的界面提供给用户,建立企业对内部员工、企业对企业的信息通道,提供单点登录、工作待办、综合办公、KPI 展示、网页管理、内容发布、搜索引擎、目录服务、通讯录、企业论坛、用户管理、权限管理等功能。

(2) 企业资源计划系统

企业资源计划(ERP)系统面向核电经营管理,主要功能包括人力资源管理、财务管理、资金管理、物资管理、采购管理等。

(3) 企业内容管理系统

企业内容管理(ECM)系统面向核电企业非结构化数据管理,主要功能包括文件管理、档案管理、知识管理、合同管理、文档安全管理、企业网盘等。

(4) 企业资产管理系统

企业资产管理(EAM)系统作为核电生产管理的核心,涵盖生产计划管理、工单管理、设备资产管理、运行管理、维修管理、技术管理、保健物理管理、配置管理、综合计划、培训管理等功能,建立以设备为基础、以计划为驱动、以工单为纽带、以绩效为目标的全面资产运营和管理体系。EAM 系统通过设备巡检和从 SIS 获得的实时数据来分析设备的运行状况,根据设备的运行状况和维修历史进行事后维护、预防性维护和预测性维护,并产生相应的工单。通

过与采购管理、物资管理、文档管理等系统集成,进行工单策划,通过工单批准、执行和报告,在安全隔离措施保证下,执行维修计划,完成设备维护工作。

(5)厂级监控信息系统

厂级监控信息系统(SIS)面向生产控制系统实时数据的采集、汇总、存储,主要功能包括实时画面监视、设备状态监测、堆芯燃料管理、故障诊断预警、性能计算分析等功能,并为其他需要实时数据的系统提供数据接口。在已建设的核电信息系统中,由于SIS和EAM系统分别设置,并由不同的集成商提供,使得有些功能重复或割裂。在机组数字化控制基础上,如果选择了适当的设备管控软件,可以最大限度对实时数据库和关系数据库中的设备运行和检修维护信息加以分析应用,实现更高层次的生产过程监控。

(6)电厂仿真系统

电厂仿真系统(PSS)利用仿真技术,建立虚拟现实平台,将SIS实时数据与三维模型相结合,在虚拟电厂中动态体现机组运行状况,辅助检修方案的制定和验证,进行维护计划、备品备件管理以及虚拟培训与演练。并将技术文档与三维模型关联起来,实现交互式文档应用,提供直观的任务指导。

(7)项目管理系统

项目管理系统(PMS)面向工程项目管理,主要功能包括工程建设期进度管理、合同管理、采购管理、物资管理、设计管理、施工管理、安全管理、质保管理等。

(8)地理信息系统

地理信息系统(GIS)作为专业系统主要用于核电现场管线管理,通过对全厂管线基本信息实时查询、管线路由分析、开挖影响分析,为临时管线提供准确的施工接口,为运行期间管线的维护及相关的技术改造提供管线事故分析及辅助处理。

(9)决策支持系统

决策支持系统(DSS)建立在统一信息平台基础上,逐步实现生产、经营、行政等方面综合信息的汇总查询,对运行指标、经济指标等数据进行统计分析,提供多种分析模型和预测模型,在门户系统中以模拟图、曲线图、棒图、趋势图等方式展现,为核电企业提供高效、及时、准确的信息。

5 结束语

随着新技术和新产品的不断问世,数字化核电站建设

将是一个需要持续改进、不断完善的动态系统工程,将是一项长期、细致且复杂的工作。数字化核电站构成中设计、采购、施工、移交、运维的各个环节,既有自身的独立性又相互开放、信息共享。数字化核电站基本模型中的各个层次,既有一定的内聚性又相互衔接、相互关联。数字化核电站建设在国内尚没有先例可以借鉴,在实施过程中,还需要通过实践对方案进行总体规划、分步实施,充分利用现有的各种资源,发挥信息系统的作用,从而实现真正意义上的数字化核电站。

参考文献:

- [1] 危元华,任晓东,李智,等. 数字化电厂的概念及方案研究[J]. 电力建设, 2013(4): 51-54.
WEI Y H, REN X D, LI Z, et al. Concept and scheme research of digital power plant [J]. Electric Power Construction, 2013(4): 51-54.
- [2] 高鹏里. 智能化电厂建设探索 [J]. 市场周刊(理论研究), 2013(11): 7-9.
GAO P L. Intelligent power plant construction exploration [J]. Market Weekly, 2013(11): 7-9.
- [3] 何力. 数字化电厂关键技术分析与探讨[J]. 科技创新与应用, 2013(15): 165.
HE L. Analysis and discussion on the key technology of digital power plant [J]. Technology Innovation and Application, 2013(15): 165.
- [4] 杨普勤. 数字化电厂的概念与实现[J]. 中国科技信息, 2014(18): 156-158.
YANG P Q. The concept and realization of digital power plant [J]. China Science and Technology Information, 2014 (18): 156-158.

[作者简介]



汪映荣(1963-),男,山东核电有限公司党委书记、副总经理、高级经济师,国家执业法律顾问,主要研究方向为核电信息化管理。

许修亮(1963-),男,山东核电有限公司总经理工作部副经理,主要从事核电信息化管理工作。

曹姝媛(1983-),女,山东核电有限公司总经理工作部信息处副处长,主要从事核电信息化建设和IT运维管理工作。