

国产 DCS 系统在超超临界机组可靠性应用研究

李飞

(神华国华清远发电有限责任公司, 广东 英德 513000)

摘要: 自动化控制系统是重大技术装备的神经中枢、运行中心和安全屏障, 被称为重大技术装备的“大脑”。没有自控化控制系统的自主化就没有重大技术装备的自主化。DCS 系统的可靠性运行一直是用户所关注的, 国产 DCS 在超超临界机组上成功应用, 为我国火力发电自动化控制行业技术发展做出重要贡献, 为国产 DCS 在超超临界发电机组项目的实施应用与技术标准化推广, 积累了宝贵的经验, 对整个国产 DCS 技术的应用起到了推进作用。

关键词: 国产; DCS; 超超临界; 应用; 可靠性; 性能

中图分类号: TK229

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)03-0085-06

Reliability Application and Research of Domestic DCS System in Ultra-supercritical Unit

LI Fei

(Shenhua Guohua Qingyuan Power Generation Co., Ltd., Guangdong Yingde 513000, China)

Abstract: Automatic control system is the nerve center, operation center and safety barrier of major technical equipment, known as the "brain" of major technical equipment. No independent of automatic control system, no independent of major technical equipment manufacture. The reliability of DCS system has been of concern to users. Therefore, Domestic DCS in ultra-supercritical units successful application, make an important contribution to the development of China's thermal power automation control industry technology, and accumulate valuable experience for application and technical promotion of Domestic DCS in the ultra-supercritical generating units' projects, and play a promoting role in the application of the entire domestic DCS technology.

Key words: domestic; distributed control system; ultra-supercritical; application; reliability; performance

DCS 系统作为工业过程控制的中枢系统, 其本身的性能对工业生产过程的安全性、可靠性和经济性具有重要的影响。随着发电机组容量和规模的成倍增长, DCS 系统的可靠性水平, 已成为确保发电机组以及电网系统安全、稳定、高效运行和满足国家节能环保要求的关键。

随着国产 DCS 系统总体技术日臻成熟及在国家重大工程应用中的不断突破, 其在大型火电机组控制中的应用将越来越多, 其成功应用对推动国产 DCS 系统在大型超超临界燃煤机组上的广泛应用将具有重要的示范意义和推动作用^[1-4]。国产 DCS 系

统不仅可提高我国重大装备自控系统自主化水平, 满足重点建设工程技术装备高度自动化和智能化要求, 还可大大降低工程建设投资及运行维护费用。

1 国产 DCS 系统

1.1 主要工艺设备

江苏国华陈家港发电厂 I 期 2 × 660 MW 超超临界参数燃煤汽轮发电机组, 配套建设烟气脱硫脱硝设施, 锅炉为上海锅炉厂生产的超超临界参数变压直流炉, 采用定—滑—定运行方式, 单炉膛、四角切向燃烧、一次再热、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构 II 型锅炉。汽轮机采用上海汽轮机厂生产的超超临界蒸汽参数、一次中间再热、单轴、四缸四排汽、凝汽式汽轮机。

1.2 控制系统设计参数

单元机组及公用系统、脱硫系统控制均采用

收稿日期: 2016-02-01

作者简介: 李飞(1974), 男, 神华国华清远发电有限责任公司党委书记兼副总经理, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力安全生产管理工作(e-mail) afei7486@163.com。

EDPF-NT + 分散控制系统^[5-7]。主机 DCS 系统与脱硫 DCS 系统相互独立, 脱硫系统监控在辅控室, 主机系统监控在主控室, 主控室操作台仅设紧急停机、停炉、解列发电机及少量重要设备的操作按钮, 以实现 DCS 发生全局性或重大故障时, 确保机组紧急安全停炉停机。

采用单元制机组, 机、炉、电集中控制方式, 两台机组共用一个集中控制室, 采用分散控制系统 (DCS) 来实现单元机组炉、机、电集中控制。在集控室内以操作员站为控制中心, 以 LCD、大屏幕显示等离子显示器和键盘作为机组的主要监视和控制手段。每台机组设置两块 LCD 大屏幕显示器, 四台操作员站, 一台工程师站、两台历史站、一台通讯站(与 SIS 通讯)、一台通讯接口站; 公用系统的服务器和#1 单元机组共用; 单元机组有一台历史站给公用系统做历史记录。

公用厂用电系统、空压机房、燃油泵房、循环水泵房等公用系统接入主机 DCS 公用网络(燃油泵房、循环水泵中央循环水泵房采用 DCS 远程 I/O 站, 通过光缆接入 DCS 公用网络, 在单元控制室进行监控)。公用网络段不设单独的操作员站, 通过单元机组操作员站对公用系统监控。

整个 DCS 系统从功能上分为: 模拟量控制系统(MCS)、炉膛安全监控系统(FSSS)、顺序控制系统(SCS)、数据采集系统(DAS)、旁路控制系统(BPS)、给水泵汽轮机电液控制系统(MEH)、脱硝控制系统、发电机-变压器组及厂用电控制(ECS)等功能。

单元机组有 30 对 DPU, I/O 测点有 8 040 点; 公用系统有 6 对 DPU, I/O 测点有 1 515 点; 脱硫有 11 对 DPU, I/O 测点有 3 915 点。

1.3 EDPF-NT + 系统网络结构

EDPF-NT + 系统的网络通信系统分为三层: 数据高速公路管控网层 MCN (Management and Control Net)、扩展输入输出层 EIO (Extended Input/Output)、现场输入输出层 FIO (Field I/O)。如图 1 所示。

1.4 EDPF-NT + 系统主要技术特点

1.4.1 先进的网络拓扑结构

EDPF-NT + 系统数据高速公路采用高速工业以太网协议, 对等型网络结构, 无网络服务器。绝不会产生网络瓶颈和危险集中, 真正实现了功能分散、危险分散。

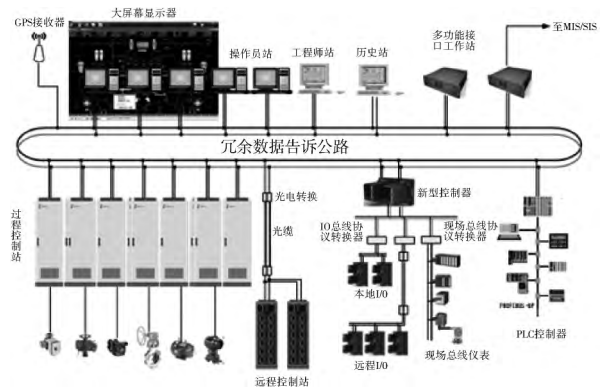


图 1 EDPF-NT + 系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of EDPF-NT + system

1.4.2 面向厂区级的应用

基于分布式计算环境的多域网络结构, 采用新式“域”间隔离技术, 成功解决多套控制系统高性能隔离互连及集中监控难题, 为自动控制系统大规模集成运行提供技术基础, 系统规模可达 120 万点。

1.4.3 彻底的冗余配置

EDPF-NT + 分散控制系统数据高速公路、过程控制站控制器、电源等系统重要部分均冗余配置。互为热备的主备控制器切换时间小于 10 ms。双网并发的网络冗余方式避免了网络切换带来的弊端, 提高了系统的实时性、可靠性和容错能力。I/O 通道的冗余配置能力极大地满足了高可靠性应用要求。

1.4.4 控制系统过程故障安全设计

控制系统过程的故障安全是 EDPF-NT + 系统应用设计的重要准则。在控制系统配置、控制逻辑的设计、紧急跳闸功能的实现、极端情况下的应对措施等方面突出强调故障安全, 防止设备拒动, 在不增加控制系统成本情况下有效提高了控制系统的安全级别。

1.4.5 新型分布式实时数据库

以站为基本单位的大容量分布式实时数据库采用了基于聚簇索引技术的数据库引擎核心, 很好地解决了 DCS 工程分步投运中易出现的相互干扰问题, 提高了系统动态安全性, 并突破了实时性能瓶颈。数据库的局部修改对数据库其它部分无影响, 无需整体重新编译和装载。

1.4.6 跨平台的系统软件

EDPF-NT + 分散控制系统的分布式过程控制站和人机交互设备软件都兼容 Windows 和 Linux 操作

系统,以适应不同应用领域对软件环境的要求。同时拓展了系统功能。例如,运行于 Windows 平台的虚拟 DPU 程序和运行于专用硬件平台的 DPU 控制器(采用 Linux 操作系统硬实时内核)的程序功能、特性完全一致,为控制系统仿真软件的开发创造了良好的条件。

1.4.7 全自由格式的 SAMA 图形化控制组态软件

便捷的全图形化 SAMA 图控制组态功能,非常直观,易学易用,所见即所得。设计图纸、组态调试图纸和竣工图纸完全相同,便于维护。

1.4.8 过程控制站算法库动态加载技术

过程控制站算法库与 DPU 支撑软件的主体分开,可以各自独立升级,在线增加或替换算法。不但方便了系统的升级和维护,还为用户提供了灵活的定制功能。便于针对不同控制对象、不同过程控制领域开发专用算法库。通过提供 EDPF-NT 增值开发包,支持用户自行编制高级控制算法。

1.4.9 高性能历史数据记录站

EDPF-NT + 历史数据记录站性能优越,工作稳定。采用例外报告技术和二进制压缩格式收集生产过程参数或衍生数据。在采集 10 万点的历史数据时,仍然能够快速响应多用户的并发查询。通过“卷”管理功能,借助外部存储介质,可以轻松地保存几年的生产数据。

1.4.10 完善的在线自诊断

EDPF-NT + 分散控制系统具有完整的后台分层软硬件深度自诊断功能,可诊断网络、站、I/O 模块直至 I/O 通道。

1.4.11 独有的体积小模块化 DPU 控制器

过程控制站控制器采用最新嵌入式工业微处理器,功耗更低、运行更加可靠,维护更加简便。集成的通讯专用处理器增强了 I/O 总线的性能,减轻了主处理器负荷。

1.4.12 先进的过程控制站时钟同步技术

过程控制站控制器内置 GPS 秒脉冲同步时钟信号接口,控制器与 I/O 模块之间通过同步脉冲电路保持高度时钟同步,使得控制站之间的时间同步达到微秒级,保证跨站 SOE 精度小于 1 ms。SOE 模块可以分散安装在任何过程控制站内。

1.4.13 高度智能化的 I/O 模块

每块 I/O 模块都设计有 CPU 处理器、通信协处理器和冗余网络总线接口。依托智能化 I/O 模块

设计生产了大量具有先进控制功能和针对工业各类工作环境的驱动级输出模块。

1.4.14 强化的结构设计

所有 I/O 模块采用金属外壳全封闭结构,防尘、防潮、防腐蚀、防静电、抗电磁干扰。

1.4.15 内置通道电气隔离装置

所有 I/O 通道采用光电隔离和电源隔离技术实现与外部的电气隔离和路与路的电气隔离。

1.4.16 超强防护能力

I/O 通道设计有 PTC 强电串入保护电路。当误接入强电信号时,通道自动被阻断保护,强电信号撤除后通道恢复正常。

1.4.17 虚拟控制器的运用

借助跨平台软件移植技术,EDPF-NT 系统的虚拟控制器软件与真实控制器软件具有几乎完全相同的功能和特性,实现了控制系统高精度仿真,可以对控制策略进行全面仿真测试,并且支持进一步应用功能扩展。

1.4.18 良好的开放性能

自主创新的扩展 IO 接口(EIO)为各类现场总线设备提供了统一、灵活地接入平台。支持各种网络通信协议和多种现场总线标准。

1.5 EDPF-NT + 系统主要性能指标

1.5.1 数据高速公路通讯网络

网络形式:快速交换型工业以太网。

通讯标准:TCP/IP。

通讯速率:100/1 000 Mb/s。

网络介质:光纤/UTP/STP。

拓朴结构:星型/环型/树型/总线型,扁平化对等型网络结构。

通信网络冗余:双网并发冗余/多重化冗余(多点交叉冗余容错的环网结构、自愈型网状结构)。

分布式实时数据库总容量 > 65 535 × 100 点。

网络数据负荷率: < 10%。

系统支持网络节点数: 100 个域 × 253 个站。

1.5.2 过程控制站 DPU(分散处理单元)

CPU: 低功耗 Pentium 500 MHz。

随机存储器容量: 256 MB。

非易失存储器容量: 256 MB(铁电存储器)。

冗余方式: 热备冗余。

操作系统: LINUX 硬实时内核。

控制处理能力: 9 999 个控制页/每个 DPU。

系统最快处理周期: 20 ms。

局部实时数据库容量 $\leq 16\,000$ 点/每个DPU。

1.5.3 输入输出级网络

输入输出级网络形式: 工业以太网为基础的扩展输入输出总线(EIO)通过协议转换器连接各类现场总线。

I/OBUS 总线协议转换器: EDPF-NT 系统专用 I/O 总线, 网络协议: HDLC & RS485, 同步数据传输。

FROFIBUS(主站)协议转换器: FROFIBUS DP 现场总线接口。

FF 协议转换器: FILEDBUS 现场总线接口。

MODBUS 协议转换器: MODBUS RTU/ASCII 现场总线接口。

MODBUS/TCP 协议转换器: 以太网设备接口。

现场总线设备传输隧道。

I/O 级网络可冗余配置。

1.5.4 输入/输出模块

模拟量输入精度: 均优于 0.1%。

环境温度 -20 ~ 65 °C 湿度 10% ~ 95% (不结露)。

本地 I/O 与远程 I/O 完全兼容。

SOE 分辨率 ≤ 1 ms。

I/O 模块电磁兼容性: IEC - EMC 认证。

1.5.5 人机接口与界面

画面分辨率 1 600 × 1 280 或更高; 画面刷新时间 < 1 s; 画面数据刷新时间 < 0.5 s。

1.5.6 可靠性

网络多重冗余、DPU 冗余, 电源冗余, 重要 I/O 冗余; MTBF > 200 000 h; 可利用率 > 99.95%

2 国产 DCS 系统主要性能测试

2.1 DCS 供电切换可靠性试验

单元机组采用将两路冗余电源(UPS1、UPS2)对 DCS 供电, 两路电源经 DCS 电源分配柜后转接到各个 DCS 模块柜中, 每个 DCS 模块柜均采用两个冗余的电源模块。测试中选取 FSSS、MCS 和 SCS 模块柜切除机柜内任意一路电源中任一路电源, 被测机柜内所有组件在测试过程中工作正常; 操作员站画面上显示的与被测机柜相关的 I/O 测点参数无异常。

2.2 过程 I/O 卡件带电插拔试验

随机抽取一 TC 卡件, 将该卡带电拔出再插上, 拔出卡件时所有测点显示 BAD 状态, 并保持当前值, 卡件重新插上后在 5 s 内恢复正常, 操作员站画面上检查相关 I/O 点参数显示也相应恢复正常。

2.3 系统重置能力试验

将工程师站强行终止工作站的所有工作(等效于死机情况处理), 用秒表记下工作站重新启动的整个过程时间。时间为 80 s。工程师站重新启动后, 其系统内安装的下位机组态软件运行正常。

2.4 抗干扰性能测试

用功率为 5 W, 频率为 400 ~ 500 MHz 的步话机在机柜开门距离 1.5 m 处产生高频干扰, 发现: 系统工作正常; 操作员站画面上相关参数无异常显示; CRT 屏幕显示无异常。

2.5 主副控制器冗余切换试验

选取 MCS 模件柜进行测试: #1 机组及共用系统 DCS 共配置 36 对控制器, 每对控制器均为 1 + 1 冗余配置, 本次测试选取# DPU 为对象, 试验时停用主控制器, 备用控制器切换到工作状态, 同样, 停备用控制器, 主控制器切换到工作状态; 切换中操作员站画面上相关参数无异常显示, 控制器工作正常。

2.6 控制器双网冗余切换试验

选取锅炉 SCS 系统的控制器进行测试: #1 机组及共用系统 DCS 共配置 36 对控制器, 每个控制器网络均为 1 + 1 冗余配置, 本次测试选取#6DPU 为对象, 试验时拔出主网线, 备用网线切换到工作状态, 同样, 停备用网线, 主网线切换到工作状态; 切换时操作员站画面上相关参数无异常显示, 网络通讯工作正常。

2.7 各控制站处理器 DPU 负荷率测试

进入工程师环境, 查看负荷。依次查看记录每个 DPU 负荷率。具体记录如表 1。

2.8 各操作员站负荷率测试

查看操作员站在各种情况下的负荷容量。具体记录如表 2。

2.9 控制器在线下装测试

选#15DPU 为试验对象, 在控制器中临时组态测试逻辑一和测试逻辑二, 其中测试逻辑一振荡周期为 200 ms(控制器设定运算周期的 2 倍), 输出延时 400 ms, 并经 RS 触发器对其状态变化予以锁定;

测试逻辑二振荡周期为1s。在CRT上观察测试逻辑一(SAMA图)输出点状态的变化;在CRT观察组态逻辑二输出信号曲线的变化。

表1 DPU负荷率测试记录
Tab. 1 Test Record of DPU load rate

DPU 编号	负荷率/%	内存使用率/%	DPU 编号	负荷率/%	内存使用率/%
1	34.3	21.4	19	6.9	18.6
2	21.0	19.5	20	6.1	18.7
3	5.1	18.7	21	4.0	21.1
4	8.1	22.1	22	6.1	19.4
5	7.8	18.4	23	5.9	22.4
6	10.0	21.7	24	5.9	18.4
7	6.0	18.3	25	4.0	18.8
8	15.2	23.4	26	4.0	21.1
9	14.9	20.3	27	4.0	21.7
10	12.0	19.7	28	2.0	21.1
11	12.9	19.5	44	6.9	17.6
12	10.0	22.6	45	8.0	17.0
13	13.0	22.9	51	5.0	18.8
14	4.0	18.5	52	5.0	18.3
15	7.1	20.0	53	6.1	19.1
16	9.1	19.6	54	6.0	21.4
17	5.1	19.7	55	3.0	21.2
18	8.0	19.3	56	2.0	20.8

表2 操作员站负荷率记录
Tab. 2 Record of operator console load rate

计算机名称	CPU 使用率/%	内存使用率/%
工程师站 201	10.0	15.5
操作员站 205	9.3	11.4
操作员站 206	9.1	11.8
操作员站 207	9.5	11.9
操作员站 208	5.0	15
通讯接口 218	11.2	11.7
主历史站 220	10.0	15
从历史站 219	9.0	15

经两次对DPU1控制器进行实际在线下装测试,在线下装过程中,由测试逻辑一状态显示判断,在线下装过程中,控制器状态监视点状态未发生变位,表明控制器控制逻辑运算正常;由测试逻辑二状态监视曲线判断,在线下装过程中,被测试点曲线显示曲线正常,表明控制器与上位机通讯正常。因此,在线下装过程中,控制器自身运算正

常,通讯网络正常,满足在线下装要求。

2.10 抗共模干扰能力测试

被测试控制器: #8DPU; 被测试信号类型: 4~20 mA; 被测试点: 1号锅炉省煤器入口给水旁路调节阀阀位(10LAB70CG101XQ01),测试数据如表3。

表3 共模干扰能力测试记录
Tab. 3 Test Record of common mode interference

干扰电压 230 V(50 Hz)			
AI 输入信号的标 准值(施加电流信 号为 12 mA)	施加干扰电压后 在 CRT 画面上实 际显示的工程量 值	施加的干 扰电压有 效值	抑制比 的分贝值
50	49.988	230	122.639

2.11 功能测试

同是对机组常规控制功能进行了相关试验测试,降负荷试验、升负荷试验、RB 试验、一次调频试验等均符合电力相关规程要求。

3 国产DCS控制系统故障应急预案

3.1 防止DCS系统故障的措施

1) 机组运行中应加强对DCS系统的监视检查,做好每日的巡检工作,特别是发现DPU处理器、网络、交换机、电源等故障时,应及时通知运行人员并迅速做好相应对策。

2) 规范DCS系统软件和应用软件的管理,软件的修改、更新、升级必须履行审批授权及责任人制度,未经测试确认的各种软件严禁下载到已运行的DCS系统中使用,做好DCS系统防病毒措施。

3) 在机组运行时,原则上不再进行软、硬件的改动;若必须需改,应履行相关审批手续并执行相关的防范措施后方可进行,必要的情况下须在DCS厂家技术指导下进行。

4) 对DCS系统所有的修改,无论是组态软件、系统软件还是文件属性等,都应在工程师站(记录本)有详细的文字记录。

5) 定期对系统文件和组态文件进行备份,在DCS检修前,应对系统文件和组态文件进行备份,并利用停机时间对DPU和OPR站进行复位。

6) 做好DCS系统停机前后的切换和试验工作,发现异常及时进行处理。

7) 规范DCS系统与外系统的连接管理,外系

统的接入必须履行审批授权及责任人制度, 未经批准的外部系统禁止接入 DCS 系统, 做好 DCS 系统防侵入措施。

8) 做好 OPR 操作员站的定期重启的工作, 以避免由于系统长期运行, 操作系统垃圾文件增多, 从而使操作员站死机的情况。

9) 严格执行工程师站、电子间管理制度, 保持工程师站、电子间的良好工作环境。

3.2 DCS 系统故障原因分析

DCS 系统故障是指出现 DCS 系统电源失去, 重要过程控制站死机或失电, 通讯网络瘫痪, 所有操作员终端不能监视或操作等情况; 造成 DCS 故障或失灵的可能原因有:

1) 系统软件问题。系统存在 BUG, 导致系统程序冲突; 系统染上病毒, 导致系统瘫痪; 系统时钟不一致, 导致 DPU 故障或系统紊乱。

2) 电源问题。系统电源失去、交换机电源失去、机柜电源失去、操作员站电源失去。

3) 硬件故障。交换机故障, 切换不成功; DPU 故障, 切换不成功; 重要 IO 卡件故障; 网络线缆损坏或通讯接口故障; 系统中 A \ B 冗余设备同时故障。

3.3 DCS 系统故障应急处置基本原则

本着“安全第一, 预防为主”的方针和“保人身、保系统、保设备”的原则, 根据“二十五项反措”的要求和机组运行规程进行处理, 最大限度地降低损失, 维护机组的安全稳定运行。

3.4 DCS 系统故障应急处置技术措施

针对 DCS 系统发生不同的故障而采取相应的措施, 建立 DCS 系统故障应急处理和长效管理机制, 确保机组在运行过程中发生控制系统故障时, 能够迅速、准确地组织处理故障, 最大限度地降低

故障造成的影响。

4 结论

随着国产 DCS 控制技术的不断成熟, 国产 DCS 将以国内核心 DCS 控制技术为基础, 立足国内发电市场, 争取开拓海外市场, 为我国经济建设节约大量外汇资金; 有利于打破发达国家的技术垄断, 对发展中国家的火电厂降低 DCS 项目实施成本及运营成本提供另一种技术选择的可能; 国产 DCS 在超超临界机组成功应用, 对我国火力发电自动化控制行业技术发展将做出重要贡献, 为国产 DCS 发展提供新的思路, 为国产 DCS 在超超临界发电机组的项目实施应用与技术推广, 积累了宝贵的经验, 对整个国产 DCS 技术的应用起到了技术推进作用。

参考文献:

- [1] 朱北恒. 火电厂热工自动化系统试验 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 电力行业热工自动化技术委员会. 火力发电厂分散控制系统典型故障应急处理预案 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [3] 电力行业热工自动化技术委员会. 火电厂热控系统可靠性配置与事故预控 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [4] 邹斌. 提高电厂热控系统可靠性技术研究 [J]. 电源技术应用, 2013(12): 23-29.
- [5] 北京国电智深控制技术有限公司. 国电智深 EDPF—NT Plus 系统手册 [Z]. 2010.
- [6] 北京国电智深控制技术有限公司. EDPF—NT Plus DPU 及 IO 硬件用户手册 [Z]. 2010.
- [7] 黄焕袍, 潘钢. 国产 EDPF—NT 分散控制系统在 600 MW ~ 1 000 MW 级大型火电机组控制中的应用 [J]. 中国仪器仪表, 2009(3): 42-45.

(责任编辑 高春萌)

(上接第 69 页 Continued from Page 69)

实际工程应用中, 应对婴儿组食物消费量现场调查数据进行全面考虑, 在综合考虑婴儿组食谱特点以及各地食物消费习惯不同的情况下针对婴儿组居民实际月龄大小以及估算的需要选择适当的评价模式。

参考文献:

- [1] 夏益华. 高等电离辐射防护教程 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2010.

- [2] 谭承军, 商照荣. 核设施评价区婴儿食物消费量估算及参考价值推荐 [C]//核设施环境影响评价研讨会论文集, 2015.
- [3] ICRP. ICRP Doses to infants from ingestion of radionuclides in mothers' milk [M]. Oxford: Pergamon Press, 2004.
- [4] GB 18871 - 2002, 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 [S].
- [5] 王陇德. 中国居民营养与健康状况调查报告之一: 2002 综合报告 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005.

(责任编辑 黄肇和)