

对发现，原协议中按照 6 个二进制字符串控制一个站区域，该站定义顺序为 9，因后期线路延长，站个数增加，依然按照此定义顺序造成指令数据未下发至正确区域^[3]。

4 故障解决方法及深入分析

通过分析，得出案例一根本故障原因是协议商定时未考虑头码车此种特殊情况，通过 PIS 系统底层数据字符进行重新增加定义，能够识别 ASCII 码解析下的头码车车组号，确保后期开行头码车时 CM 平台（PIS 系统媒体编辑与发布系统）可以识别包含头码车的数据报文，PIS 能够正常显示 ATS 发送的预到站时间；案例二根本故障原因是线路延长底层数据字符串不适用新的情况，后续对字符串进行重新排序定义问题得以解决。

对上述案例进行总结分析，是因为在运营过程中出现新的情况，接口底层数据不适用，分析乘客信息系统接口协议原理如下：

乘客信息系统与其他系统接口软件协议均采用 MODBUS TCP/IP 协议^[4]。19 世纪 70 年代 MODBUS 协议初次发布，至今已经在工业自动化领域广泛应用。MODBUS/TCP 就是简单地将 MDOBUS 帧嵌入到 TCP 帧中，TCP/IP 的请求 / 应答机制能和 MODBUS 本身的主 / 从机制很好地配合工作；用于以太网通讯。

MODBUS TCP/IP 协议基于客户端 - 服务器模型，其中客户端是请求数据的设备，服务器是响应请求的设备。客户端通过发送指令来请求数据或发送控制命令，服务器收到请求后进行处理并返回响应。

MODBUS TCP/IP 协议包括多种功能码，用于实现不同的操作。常见的功能码包括读取线圈状态、读取输入状态、读取保持寄存器、写单个寄存器等。这些功能码允许设备在通信中进行数据读取和写入，实现对远程设备的监测和控制。

Modbus TCP 报文主要包含以下部分：2 字节事务标识符（Transaction Identifier）、2 字节协议标识符（Protocol Identifier）、2 字节长度（Length）、1 字节单元标识符（Unit Identifier）、1 字节功能码（Function Code）n 字节数据（Data）。

数据字段的内容取决于功能码，功能码具体如下：

表 1 报文常见功能码

寄存器	功能描述	功能码	作用范围
01 寄存器 写单个 写多个线圈	读	01H	读线圈
		05H	写单个线圈
		0FH	写多个线圈
02 寄存器	读	02H	读输入线圈
03 寄存器 写单个 写多个	读	03H	读保持寄存器
		06H	写单个保持寄存器
		10H	写多个保持寄存器
04 寄存器	读	04H	读输入寄存器

乘客信息系统均作为从机与其他系统设备相连，且其他系统中主机主要使用 04H（读输入寄存器）和 10H（写多个保持寄存器）功能码进行数据通信；针对实现功能要求不同对数据进行位定义且互连通信双方达成一致。

5 结论

通过对运营过程中典型故障案例进行处理总结分析，发现了乘客信息系统运行功能相关不足，对底层数据进行重新补充定义，使得该系统功能更加完善，能够适应新的运营情况，进一步提升了服务乘客效能，保障了乘客信息系统紧急应急响应的能力；通信专业技术人员通过故障分析处理，掌握协议和数据定义原理、数据格式定义等，有助于专业技术人员在处理问题中强化技术水平，分析故障原因，提升故障处置效率，对于后续功能优化提供分析处置的思路，为远期设备升级提供依据；同时对于设备生产厂商而言，有助于将事后处置转化为事前预防，完善设备功能，强化设备质量，对于同行业其他线路后期贯通运营具有借鉴意义；这在一定程度上有助于提升城市轨道交通运营服务质量水平。

参考文献

[1] 陈春娇. 完善上海轨道交通网络导乘系统管理的探讨 [J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13 (04): 42-45.

[2] 徐璠. 郑州地铁5号线ATS系统与PIS系统接口故障分析 [J]. 郑州铁路职业技术学院学报, 2021, 33 (01).

[3] 杨咪,任青青. 地铁专用通信系统设备故障分析研究 [J]. 现代信息科技, 2022, 6 (11): 54-56.

[4] 史亚平. Modbus TCP/IP协议的客户端与服务器实现 [J]. 工业控制计算机, 2023, 36 (02): 54-56.

Discussion on Smoke Exhaust Design Scheme for Onshore Small Reactor Nuclear Island

Ning Hu Hongjian Tian

General Clean Energy Co.,Ltd., Shanghai, 200241, China

Abstract

To carry out the smoke exhaust design for the nuclear island of a certain onshore small reactor project, this paper investigates domestic smoke exhaust regulations and typical nuclear power plant smoke exhaust design schemes, and analyzes the smoke exhaust requirements of the small reactor nuclear island from the aspects of supporting safe shutdown, asset protection, personnel evacuation, and manual fire fighting, so as to propose a design scheme that meets the smoke exhaust requirements of the small reactor nuclear island. At the same time, it makes a comparative analysis of the advantages and disadvantages of each smoke exhaust scheme. In addition, combined with the current domestic fire protection design requirements, this paper discusses the current situation and future direction of smoke exhaust design for nuclear power plants, and points out that on the basis of fixed mechanical smoke exhaust, the idea of combining mobile smoke exhaust can be explored to further improve the economy of small reactor projects on the premise of meeting regulatory requirements.

Keywords

onshore small reactor; nuclear island; smoke exhaust

陆上小堆核岛排烟设计方案探讨

胡宁 田洪建

中广核清洁能源科技（上海）有限公司，中国·上海 200241

摘要

为开展某陆上小堆项目核岛排烟设计，本文通过调研国内排烟法规和典型核电厂排烟设计方案，并从支持安全停堆、资产保护、人员疏散、人工灭火等方面分析小堆核岛的排烟需求，从而提出满足小堆核岛排烟要求的设计方案，同时对各排烟方案的优缺点进行对比分析。此外，结合国内当前消防设计要求，对核动力厂排烟设计的现状和后续方向进行了探讨，指出在固定式机械排烟的基础上，可探索结合移动式排烟的思路，以求在满足规范要求的前提下进一步提升小堆项目的经济性。

关键词

陆上小堆；核岛；排烟

1 引言

小型模块化反应堆（简称小堆）是一种低温供热核反应堆，其与常规的大型商用压水堆（简称大堆）有很大差异。小堆的气态流出物放射量低，应用场景广泛，现正处于设计深化和市场开拓阶段。某陆上小堆在开展核岛排烟设计时，可参考大堆的设计思路，但也应看到，小堆有其独特的技术特点和不同的核岛厂房布局，大堆的设计方案未必适合于小堆项目。

本文通过调研国内排烟规范、大堆排烟方案，以及分析小堆核岛排烟需求，探索更加适于小堆的核岛排烟方案，助力提升小堆的经济性。另外，由于核岛辐射防护控制区有

放射性释放限制要求，一般不设置专门的排烟设施，本文重点讨论核岛非控制区的排烟。

2 核岛排烟法规简介

国内缺乏专门的小堆排烟设计规范，笔者选取小堆参考性较强的法规介绍如下，详见表 -1。

3 典型大堆排烟方案简介

笔者调研了国内三代核电技术 AP1000 和“华龙一号”，发现两者在防排烟设计思路上有很大不同：

AP1000 在核岛厂房未设置固定式机械排烟，火灾时将防火分区进行隔离和封锁（通风管道上设置防烟防火阀），同时对楼梯间进行加压送风，避免烟气进入楼梯间等人员疏散通道，火灾后利用正常通风系统和便携式排烟风机（正常通风系统不可用时）排出烟气，优点是系统简单、成本较低，然而对于火情发展的影响暂未可知。

【作者简介】胡宁（1986-），男，中国安徽宿州人，本科，工程师，从事核电厂暖通设计研究。

表 -1 排烟法规分析

规范代码	规范名称	排烟相关内容
HAD 102/11-2019 ^[1]	《核动力厂防火与防爆设计》	1. 为降低温度和有利于人工灭火，应通过评价确定是否需要排除烟气； 2. 在排烟系统设计中应考虑火灾荷载、烟气传播特性、能见度、毒性、消防通道、固定灭火系统的类型、放射性释放等因素。
GB/T 22158-2021 ^[2]	《核电厂防火设计规范》	1. 主控室区域应设置固定式机械排烟系统； 2. 火灾荷载密度大于 400MJ/m ² 的防火区 / 防火小区内可能产生大量烟气的非放射性区域，宜设置机械排烟系统。
NB/T 20095-2012 ^[3]	《压水堆核电厂安全壳外供暖、通风、空调系统设计准则》	1. 主控室区域应设置固定式机械排烟系统； 2. 可使用非安全级移动式或可控手动操作固定式 HVAC 系统排出烟气和热量。
GB 55037-2022 ^[4]	《建筑防火通用规范》	建筑中下列经常有人停留或可燃物较多且无可开启外窗的房间或区域应设置排烟设施： 1. 建筑面积大于 50m ² 的房间； 2. 房间的建筑面积不大于 50m ² ，总建筑面积大于 200m ² 的区域。
总结		1. 主控室应设置固定式机械排烟设施； 2. 对于控制区，主要采取关闭防火阀进行火灾隔离； 3. 对于火灾荷载较大的排烟房间，采取固定式机械排烟，也可考虑移动式排烟措施。

“华龙一号”为核岛所有排烟房间均设置固定式机械排烟，火灾时自动关闭防火分区边界上的防火阀，同时根据消防信号及操作员的判断来启动排烟系统。优点是房间排烟做到精准控制，自动化程度高，但管道和阀门较多，系统布置较为复杂，成本较高。

4 小堆排烟考虑因素

不同于主要采用美标及欧标的大堆，小堆核岛排烟设计须符合国内法规要求，分析清楚小堆排烟需要考虑的具体因素，有助于提升方案的适应性及合理性。

4.1 排烟需求

4.1.1 支持安全停堆

根据 HAD 102/11 规定，包含安全系统且通常有人员活动的区域（如主控室）应设置排烟和排热措施，以此来支持安全停堆。

4.1.2 支持资产保护

对于有资产保护需求的防火区 / 防火小区可由火灾探测和固定灭火系统来保证，一般不需要通过排烟系统来达到资产保护的目。

4.1.3 支持人员疏散

从火灾疏散角度考虑，某些距离楼梯间入口较远的房间或者人员疏散通道可能需要排烟或提供加压送风进行防。

4.1.4 支持人工灭火

核岛厂房火灾荷载较大的通常为主控室和电气、仪控设备间，排烟能够控制火灾中后期烟气的扩散，支持消防人员继续灭火（设置固定灭火装置的房间通常不需要再考虑机械排）。

综上可知，小堆核岛厂房主控室作为人员经常停留区域，且在事故发生时需要支持安全停堆，因此主控室是典型

的排烟需求区域；对于小堆部分火灾荷载较高但无人员经常停留的区域（如未设置固定灭火装置的电仪设备间），则只需考虑支持人工灭火，无其他排烟需求；对于小堆核岛厂房中大于 40m 的疏散走道，需要考虑防排烟来支持人员疏散需求。

4.2 布置空间

小堆由于其堆型特殊性，核岛厂房空间较为局促，尤其是在走廊区域通常布置大量电缆、正常通风管道、工艺管道等物项，而排烟管道也难免要经过走廊进入各排烟房间，且排烟管截面积较大（长、宽度均为 800mm 左右），叠加布置后致使走廊空间紧张，布置存在较大困难。

4.3 经济性

小堆具有广阔的应用场景，但在国内能源供应市场化的背景下，如进行大规模推广建设，小堆还需具有较好的经济性和市场竞争力，因此有必要探求成本更低的排烟设计方案。

4.4 小堆排烟设计方案

依据国内各排烟规范，并从排烟需求、布置空间、经济性等方面考虑，在此提出两种小堆核岛厂房排烟方案：一是为核岛所有排烟房间均设置固定式机械排烟；二是针对不同排烟需求的房间进行差异化配置，即为“移固结合式”机械排烟。分别介绍如下。

4.4.1 方案一（固定式机械排烟）

该方案是为所有排烟房间（主控室、电仪设备间等）设置固定式机械排烟系统，并提供排烟补风。在核岛厂房某个房间着火时，该房间所在防火分区内所有的排烟阀根据火灾报警信号自动打开（其他防火分区的排烟阀保持关闭），并连锁启动排烟风机及补风机，为着火房间提供排烟及补风。流程图详见图 -1。

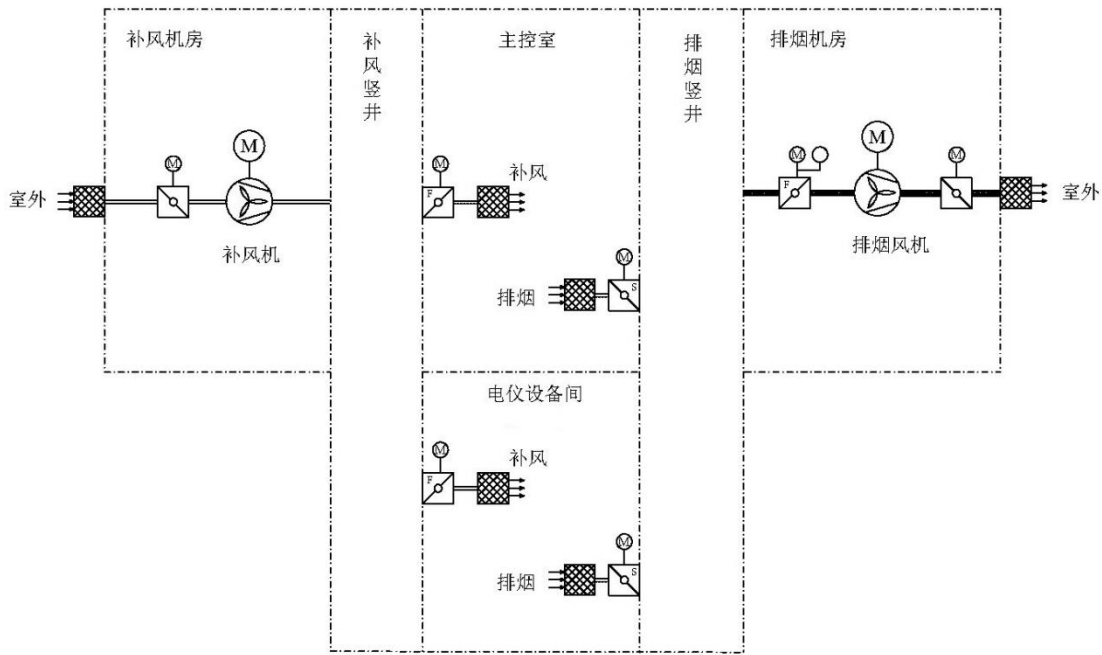


图-1 方案一流程简图

4.4.2 方案二（“移固结合式”机械排烟）

对于主控室，需要排烟来支持安全停堆和人工灭火等，故采用固定式机械排烟装置；对于其他排烟房间（主要为电仪设备间），由于无支持安全停堆、资产保护、人员疏散等排烟需求，只须提供排烟以支持人工灭火，可尝试与主控室排烟共用一套固定式排烟风机及排烟竖井，横向上则采用移动式排烟软管连接至排烟竖井，即为“移固结合式”机械排烟方案，流程简图见图-2。另外，目前核电消防审查认为，对于核岛非控制区的电仪设备间，如果房间面积较小（小于1000m²），可不设置排烟设施，而小堆核岛电仪设备间均符合该要求，故设置“移固结合式”机械排烟可作为一种补充措施。

当主控室着火时，根据火灾报警信号自动启动固定式排烟系统（排烟阀收到火灾报警信号打开，联锁启动排烟风

机及补风机），为主控室提供排烟及补风；当电仪设备间着火时，根据火灾报警信号启动“移固结合式”排烟方式，需消防人员手动将排烟/补风软管连接到竖井，并可利用双向无线电装置通知主控室开启排烟风机和补风机进行排烟及补风。

4.5 小堆排烟方案对比及分析

针对小堆排烟方案一和方案二，笔者进行了优缺点对比，详见表 2。

综合来看，方案一和方案二均可作为小堆核岛排烟设计方案，但在目前国内消防通规出台及消防要求趋严的背景下，笔者建议优先选择方案一作为小堆核岛排烟方案。方案二的成熟度和实际应用经验还有待验证和提升，业内也在开展消防通规与核动力厂实际情况的讨论和研究，后续可将“移固结合”的思路作为核电厂排烟研究的方向之一。

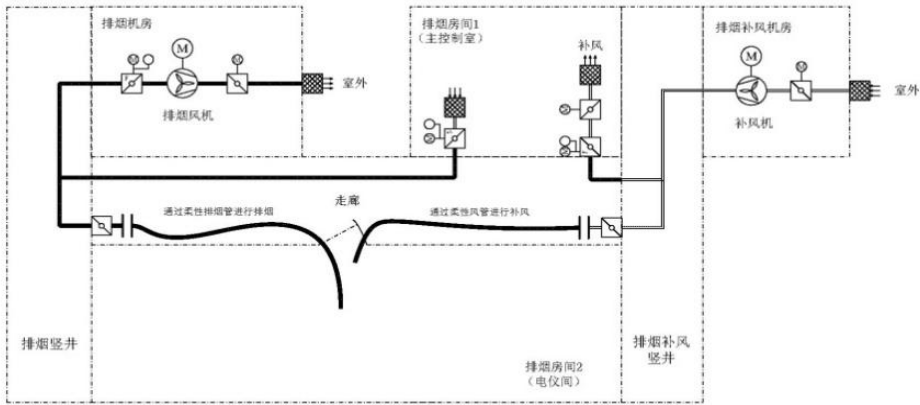


图-2 方案二流程简图