

示范快堆二号机组核岛主厂房电缆路径优化

林肖

核工业工程研究设计有限公司, 中国·北京 101300

摘要: 本论文介绍示范快堆核岛主厂房电缆路径的设计要求, 并对二号机组电缆路径进行优化。通过对目前工艺改进项、电气盘柜的布置设计和电缆路径的设计要求等, 对比分析一号电缆路径设计存在的问题, 进而进行具体的原因分析, 提出切实可行的解决方案, 最终解决二号机组核岛主厂房电缆路径设计优化的问题。通过电缆路径优化设计, 有效地缩短配电距离, 减少托盘材料及电缆长度。按照成本最优、工程实施最便捷可靠性和安全性最高等不同的优化指标对电缆路径进行优化, 同时也为后续快堆核岛电缆路径设计提供基础。

关键词: 核电站; 示范快堆; 电缆敷设

Optimization of Cable Routing for the Main Building of the Nuclear Island of Demonstration Fast Reactor Unit 2

Lin Xiao

Nuclear Industry Research And Engineering Co., LTD., China Beijing 101300

Abstract: This paper expounds the design requirements for cable routing in the main building of the nuclear island of the demonstration fast reactor and carries out targeted optimization on cable routing for Unit 2. Combined with process improvement items, layout design of electrical panels and cabinets as well as relevant design specifications, this paper analyzes the defects existing in the cable routing design of Unit 1 and explores the root causes. Practical solutions are proposed to complete the optimization of cable routing for the main building of the nuclear island of Unit 2. The optimized design effectively shortens power distribution distances and reduces the consumption of cable tray materials and cable lengths. The cable routing is optimized with the priorities of cost efficiency, convenient construction, high reliability and safety. The research results can also provide technical references for the cable routing design of nuclear islands in subsequent fast reactor projects.

Keywords: Nuclear power plant; Demonstration fast reactor; Cable laying

0 引言

作为第四代先进核能系统中的优选堆型——钠冷快中子反应堆, 其设计要求和方案与常规压水堆设计有所不同。示范快堆工程所需的电气设备、电缆、配线装置或安装中低压配电盘量要远远大于相同发电量的压水堆工程, 这样就对核电站的电缆路径设计也存在更高的要求。需要在电缆敷设过程中应充分考虑各类电缆的使用需求, 在电缆路径设计时精确计算电缆的保护距离, 并留有足够余量, 确保各类电缆之间的干扰在可接受的范围之内, 保障系统可靠运行。

1 电缆路径计要求

1.1 电缆类型分析

通过对电缆清单进行分析可知, 目前核岛主厂房内的电缆主要为: 测量(M)、控制(C)、低压(LV)、中

高压(MV)四种类型。

测量(M): 用于传递模拟或数字信息。

控制(C): 保证逻辑状态和通——断控制信号的传输。

低压(LV)(AC 380V、220V 和 DC 220V、110V、48V、24V): 用在发电机、变压器、逆变器、蓄电池、整流器、开关柜及厂用设备间连接。

中高压(MV): 用在发电机、变压器、开关柜及中压设备间的 10KV 动力连接。

1.2 电缆隔离准则

1.2.1 一般隔离准则

隔离准则首先考虑的是电压水平、电流水平和信号的性质。为了减少电磁干扰, 不同类型的电缆连接敷设在不同的电缆桥架或不同的竖井内。根据电气线路和设备的分

级以及给它们供电的电源系列来确定他们之间的隔离准则。

所有的电气设备和电缆分为非安全级 N 系列和安全级 1、2 两个系列。非安全级的电缆必须与安全级的电缆实行实体和电气隔离,以便保证安全级设备的独立性,及其安全功能的实现。

两个安全系列 1、2 之间必须保证其实体和电气隔离。

非安全 N 系列包括正常运行供电系统和正常可靠运行供电系统,其中正常运行可靠供电系统中相互冗余的设备和回路分为 N1 和 N2 两个系列,其也应实现实体隔离。

另外,反应堆保护组(I、II、III、IV)应遵守 1、2 安全系列一样的准则,他们的电缆路径必须独立于 1、2 安全系列的电缆路径。

水平、倾斜或交叉敷设中,动力电缆的桥架宜排在其它桥架的上方,具体排布见图 1。

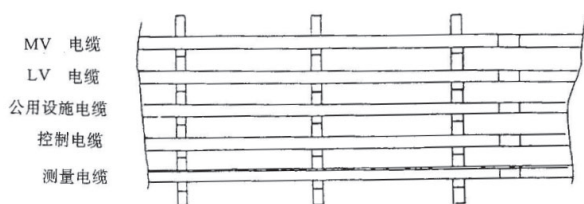


图1 电缆桥架排列顺序

测量电缆应敷设在加盖的无孔电缆托盘中。但如果在它周围 1 米内没有动力回路(MV 或 LV),则测量电缆可以敷设在电缆梯架或无盖的电缆托盘中。

1.2.2 特殊情况

在空间不够的情况下,24V、48V 和 110V 动力电缆可以敷设在用于控制电缆的主桥架或次桥架中。

对于电动阀的低压电缆和控制电缆,由配电盘至负荷都应尽可能分开敷设。但在路径的末端,同一电动阀的两种电缆允许敷设在同一层次托盘或套管中(长度不应大于 5m)。

用于核仪表系统探测系统探测的测量电缆应是可以用来自传输高压电源的特殊电缆,这种电缆敷设在带盖的测量托盘中,并与其它测量托盘分开。

1.3 电缆敷设准则

1.3.1 一般敷设准则

从厂用变压器、备用变压器来的电缆以及柴油发电机到 10KV 开关柜间的电缆应敷设在不同的桥架上。电缆经过电气贯穿件穿过反应堆安全壳,安全壳内、外设有连接箱,电缆接到连接箱里的端子或端子上以达到转接目的。一个机组的电缆不能和另一机组的电缆走在同一桥架上。两机组公用部分及厂区系统电缆可以和机组电缆使用同一

电缆通道。在人员经常走动的地方,垂直桥架上的电缆从离地面起 1 米的范围内要有机械保护,以避免被装卸装置损伤。

1.3.2 动力电缆的敷设

一般情况下,电缆呈放射状敷设。除了进入反应堆厂房的电缆及增大截面以降低压降的低压电缆(该种电缆不允许有直接的端对端连接),其它一般无接线箱。对于蓄电池和直流配电盘间的电气连接,一个极对应一根单芯电缆,正、负两极的两根电缆敷设在独立的电缆桥架上。对于不同的蓄电池或整流器的同极性电缆,可以使用同一电缆桥架。

1.3.3 仪表和控制电缆的敷设

仪表和控制连接主要用于仪控回路间的联系。为减少电缆数量,允许对电站系统进行分组连接。

1.3.4 测量电缆的敷设

芯线的组合和电缆屏蔽:对多个二芯或多个三芯的电缆可按地理位置和电站系统进行芯线编组。在传感器和仪控电子机柜之间以及测量装置到仪控电子机柜之间要保证电缆屏蔽的连续性。对于组电缆也要保证屏蔽的连续性。传感器和测量装置相关的电缆屏蔽要与导体的裸露部份绝缘。在编组箱和记录仪直接连接的情况下,在传感器侧的电缆屏蔽层在记录仪连接前要接到电子设备的接地网上。

1.3.5 电缆屏蔽层和铠装的接地

低压电缆不做屏蔽,但在核岛厂房与 BOP 之间的直埋电缆必须铠装。控制和测量电缆的屏蔽需要接地(在核岛厂房与 BOP 之间的直埋控制电缆除屏蔽外还需铠装)。根据电缆的类型和连接的位置,接地要求如下:

控制和测量电缆的屏蔽层应根据系统要求单点或多点接到最近的接地点。

对于不同防雷区建筑物之间的外部连接电缆的屏蔽层应直接连接到建筑物出口就近的接地井内,以便于雷电泄流。

铠装电缆的铠装连接、钢套管和同轴电缆的屏蔽层的连接与控制电缆、测量电缆的屏蔽的要求相同。

2 电缆路径设计方案

按照示范快堆设计要求,结合核岛主厂房结构图(见图 2)和电气盘柜布置情况,核岛主厂房的电缆都需要从房间内起端测点位置通过次桥架引到各厂房每层廊道主桥架中,汇总后逐层引入至 1 号电气厂房或 2 号电气厂房接口处,最终去到电气盘柜。

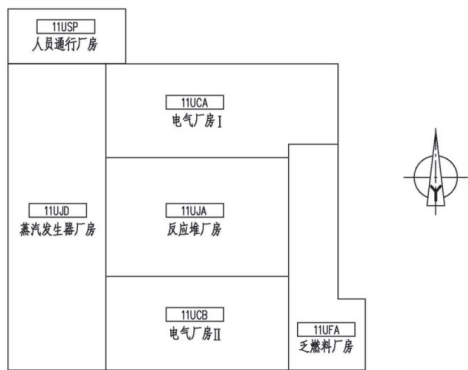


图2 厂房结构平面图

2.1 一号机组电缆路径设计

通过分析电缆清单计算结果可知，目前一号机组的配电柜和 DCS/IO 机柜布置在 1 号电气厂房（北侧）和 2 号电气厂房（南侧）0 米、15 米、20 米、25 米和 36 米层。其终点位置均去向电气厂房。

蒸汽发生器和反应堆厂房跨厂房去往电气厂房电缆分布情况见表 1。

表1 跨厂房电缆分布表

起端位置 楼层	-7.5米	0米	5米	10米	15米	20米	25米	25米及 以上
蒸汽发生器厂房电 缆量	1592	1178	1946	1640	1388	3968	926	692
反应堆厂 房电缆量	1535	1359	1977	1393	2001	5254	1280	1284

2.2 一号机组设计存在的问题

受蒸汽发生器厂房 10 米层三回路高温高压管道和 15 米层通风机房风管影响，部分电缆通道在无布置空间，因此需要跨层分流至 5 米进行敷设，但目前蒸汽发生器厂房内无电缆垂直通道。

设计前期因预留洞较小，导致反应堆厂房部分电缆需经电气厂房竖井绕回蒸汽发生器厂房。

DCS 机柜间和其匹配的电气配电间均在电气厂房，电缆在反应堆厂房或蒸汽发生器厂房内穿行敷设，直接导致电缆路径复杂且较长。

2.3 二号机组初步设计方案

按照示范快堆设计要求，二号机组基本沿用一号机组的设计思路。但需要一步优化，解决一号机组在电缆路径设计中遇到的突出的问题。核岛主厂房的电缆都需要从房间内起端测点位置通过次桥架引到各厂房每层廊道主桥架中，汇总后逐层引入至 1 号电气厂房或 2 号电气厂房接口处，最终去到电气盘柜。DCS 机柜间和匹配的电气配电间均在电气厂房，导致电缆路径复杂且较长。因此需要调整

部分系统电缆终点的配电柜和 DCS 机柜，且电气配电间与 DCS 机柜间就近配置，缩短配电距离。

2.4 两台机组设计方案对比分析

根据电缆清单，结合电缆隔离和敷设准则，对电缆进行分类汇总后，计算得出表 2，优化前后的电缆数量情况。

电气厂房在核岛主厂房的南北侧，按照房间终点位置，判断电缆走向和电缆所需容量。对优化方案前后电缆数量，计算出优化前后的电缆数量变化，从而验证优化方案的可行性。

表2 跨厂房电缆量变化表

起端位置楼层		-7.5米	0米	5米	10米	15米	20米	25米	25米及 以上
优化前 电缆量	蒸汽发 生器厂 房	1592	1178	1946	1640	1388	3968	926	692
	反应堆 厂房	1535	1359	1977	1393	2001	5254	1280	1284
优化后 电缆量	蒸汽发 生器厂 房	1322	1067	2490	1340	965	2865	926	682
	反应堆 厂房	1342	1324	1860	1289	1798	4320	854	1284
电缆变 化量	蒸汽发 生器厂 房	270	111	-544	300	423	1103	0	10
	反应堆 厂房	193	35	117	104	203	934	426	0

3 优化设计方案

决定电缆敷设路径的主要因素有工艺系统、供电系统、整体布置等，因此通过优化这些因素，就可优化电缆敷设路径，减少电缆长度及桥架数量，使得整个系统合理，投资成本少。

3.1 工艺系统的优化

电气、仪控专业所采用的控制、测量、动力电缆是为工艺专业服务的，设备数量的多少决定了供电 / 控制的范围大小。运用工程实践的经验，进一步优化工艺系统及配置等，优化选出最佳技术经济方案，使其达到合理简化，可在控制工艺系统投资的同时，降低厂用电率。工艺系统的优化，是从源头上进行合理配置以减少设备数量。从而减少电缆桥架的用量、电缆的用量及长度。

3.2 电气配电间与 DCS 机柜间就近配置

通过合理配置电气配电间和 DCS 间的位置。将与之对应的配电柜与 DCS 柜或 I/O 柜就近布置，缩短配短距离的同时，也减少了电缆敷设的长度，从而优化电缆路径。经与电气、工艺和通风等专业讨论，将蒸汽发生器厂房东南角原有 2 个管道间送风机房 UJD00 105、UJD00 106（图

3) 变更为成 UJD00 105 正常电加热配电间、UJD00 106 DCS 机柜间(图 4)。

根据表 2 内容可知,优化后调整部分系统电缆终点至变更后的配电柜和 DCS 机柜,原电缆终点至电气厂房的电缆,现可不出蒸汽发生器厂房,在厂房内直接进入配电柜和 DCS 柜。对比优化后减少约 3685 根电缆去向电气厂房,预计总长度可达 24 万米。

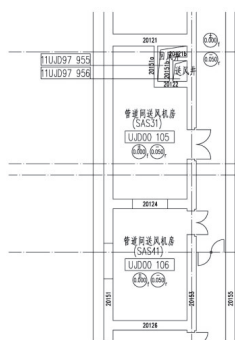


图3 变更前房间名称

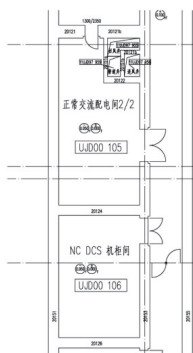


图4 变更后房间名称

3.3 增加电缆垂直通道

因电气配电间与 DCS 机柜间位置变化,同时可以减少各层布置空间的限制,在蒸汽发生器厂房 -7.5 至 10 米层南北侧各设置两个电缆竖井(图 5、6)。增加电缆竖井可以将设计路径进行优化,减少电缆在蒸汽发生器厂房在本层的电缆敷设路径,直接经电缆竖井穿出与 1 号电气厂房和 2 号电气厂房的接口处,减少电缆跨厂房跨层敷设。简化电缆路径且缩短电缆长度,减少与电气厂房的接口和布置。

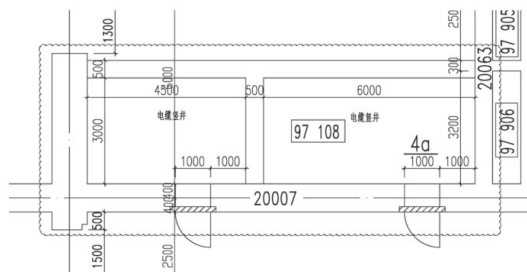


图5 北侧竖井

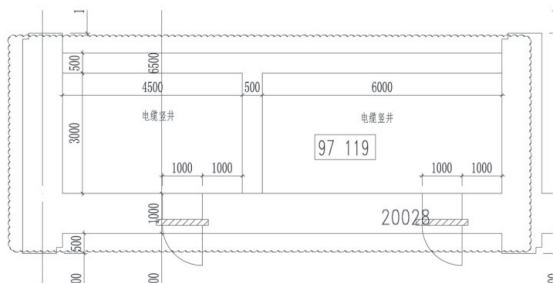


图6 南侧竖井

3.4 细节优化

桥架设计不够宽。在一号机组施工过程中,桥架及导管的尺寸规格过多,路径布置较乱,给现场材料采购带来困难,并且对电缆设计变更较多,增加的电缆仅靠增加电缆导管的方式来弥补,导致现场导管多,且与暖通、管道冲突问题突显,影响施工进度。二号机设计时增加桥架宽度,使电缆全从桥架上通过,可减少导管的安装量,使电气整体布置简洁、明了,安装也更方便。

大量使用电缆管沿墙与盘柜连接。由于电缆管位置已确定,而盘柜进线孔并不一致,因此盘柜上方进线非常不美观。建议从桥架上引出电缆时,在墙面安装及梯架或桥架以固定电缆,可使电缆布线美观整洁,且引入盘柜位置时又有较多调节余地以满足电缆弯曲半径要求。

反应堆厂房大厅结构空间复杂,布置空间紧张。一号机组在现有钢平台上做支架生根点,设计电缆主通道。无论从抗震性能、布置空间和设计方式上,对电缆敷设有一定的困难,且易于其他专业产生干涉。二号机组通过提前策划,在反应堆厂房大厅地面预留电缆沟,将电缆分类引入电缆沟内进行敷设,避免上述问题的出现,同时也可以提高系统的可靠性、安全性,提升系统的整体性能,使现场布线美观。

4 结语

通过对二号机组核岛主厂房内的电缆类型分析、电缆数量计算,按照隔离准则和电缆敷设准则等要求,对比一号机组设计方案。对二号机组的厂房结构布置做了一定的优化,各层的电缆量有一定的变化,减少各层电缆敷设容量不足的情况和桥架碰撞的问题,可解决其他专业或者厂房结构空间限制的。优化工艺系统,调整电气配电间与 DCS 机柜间的布置位置,同时增加电缆垂直通道,避免电缆从蒸汽发生器厂房侧配电间绕回 1 号电气厂房和 2 号电气厂房竖井再回到蒸汽发生器厂房。简化电缆路径且减少约 3685 根电缆去向电气厂房,预计节省电缆总长度可达 24 万米。

通过电缆路径优化设计,有效地缩短配电距离,减少托盘材料及电缆长度。按照成本最优、工程实施最便捷可靠性和安全性最高等不同的优化指标对电缆路径进行优化。同时也为后续快堆核岛电缆路径设计提供基础。

参考文献:

- [1] 压水堆核电厂电缆敷设和隔离准则. EJ 344-1988.
- [2] 蒋义权, 吴琪瑜, 司瑞才等. AP1000 核电站核岛电缆敷设及路径优化[J]. 吉林电力, 2016 44(247):06 29-32.

[3] 任艳霞, 宋锬瑾, 陈丹. AP1000 核电厂电缆通道设计与路径优化探讨[J]. 电工技术, 2016 No.426 06 87-88+90.

[4] 核岛电缆敷设准则. 1508T5019.

[5] 电气设备隔离准则. 1508T5008.

作者简介: 林肖 (1993.05-), 男, 汉族, 江西上饶人, 大学本科, 工程师, 研究方向: 核工程弱电方面研究设计工作。