

安全壳电气贯穿件施工管理控制

骆一鑫

中广核工程有限公司, 广东 深圳 518000

[摘要]文中结合中国改进型压水堆(即CPR堆型)核岛电气贯穿件安装的特点和岭澳二期等核电站施工建设的具体情况,论述电气贯穿件安装管理过程中出现的新问题及其解决方案,对如何做好质量管理以及进度控制进行探讨,为后续项目提供良好实践经验。

[关键词]核岛;安全壳;电气贯穿件

DOI: 10.33142/hst.v9i6.20075

中图分类号: TL3

文献标识码: A

Construction Management and Control of Electrical Penetrating Components in Safety Shell

LUO Yixin

China Nuclear Engineering Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract: Based on the characteristics of the installation of electrical penetrations in the improved pressurized water reactor (CPR) nuclear island in China and the specific construction situation of nuclear power plants such as Ling'ao Phase II, this article discusses the new problems and solutions that arise in the management process of electrical penetrations installation, and explores how to do a good job in quality management and progress control, providing good practical experience for subsequent projects.

Keywords: nuclear island; safety shell; electrical penetrations

1 背景概述

核岛电气贯穿件位于第三道防御屏障,是核岛内外动力源及控制测量信号的传输通道。电气贯穿件的设备安全等级为1E级,质保等级为Q1级,安装过程具有工作量大、工序复杂和持续时间长的特点,以岭澳二期核电站建设为例,3#机组电气贯穿件从开工到热试开始,安装周期共计17.5个月。而电气贯穿件的及时移交,是核岛机组冷试、热试的先决条件之一。

1.1 安全壳电气贯穿件功能及原理

核岛电气贯穿件的作用在于通过核岛安全壳完成电气的内外连接,并作为安全壳屏障的一部分,其功能主要有:

- ①中压电力回路的连接;
- ②低压电力回路的连接;
- ③控制和仪表回路的连接;
- ④特殊连接(同轴和三同轴电缆、铜/铜镍合金和镍铬合金/其他镍合金)。

核岛电气贯穿件由多个安装在一个密封筒体内的贯穿芯棒组成,贯穿芯棒内装有多根绝缘导体,密封筒两端配有接线箱。为形成密封,密封筒体焊接到预埋在安全壳

混凝土内的套筒上。

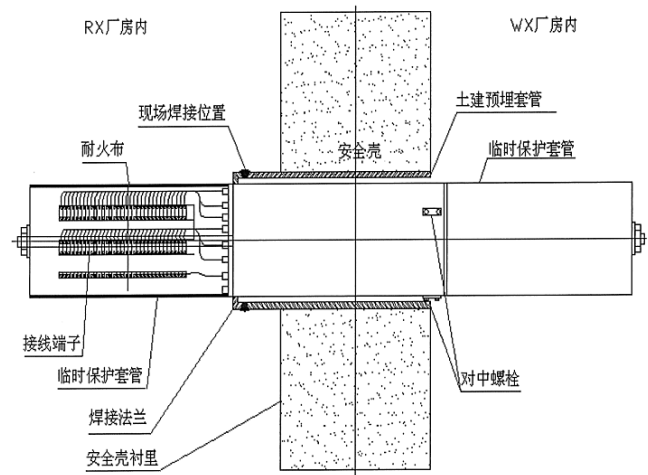


图1 电气贯穿件安装剖面图

以岭澳二期3#机组为例,核岛电气贯穿件共有79个,本体(密封筒体)安装点数4029点,贯穿件两侧电缆端接头共2017个,端接点数共计6719点。(点:衡量工作量的单位,1个点相当于1个标准工人1小时完成的工作量)。

表 1 电气贯穿件的工作量

种类	中压	低压	控制	测量	备用	合计
本体安装数	5	26	9	24	15	79
本体安装点数	255	1326	459	1224	765	4029
电缆端接头数	24	500	501	992	0	2017
电缆端接点数	240	2000	1503	2976	0	6719

1.2 安装流程

核岛电气贯穿件是从核岛侧导入安全壳的预埋套管内,然后在核岛侧进行焊接。贯穿件的接线箱安装于安全壳的两侧。具体流程如下:

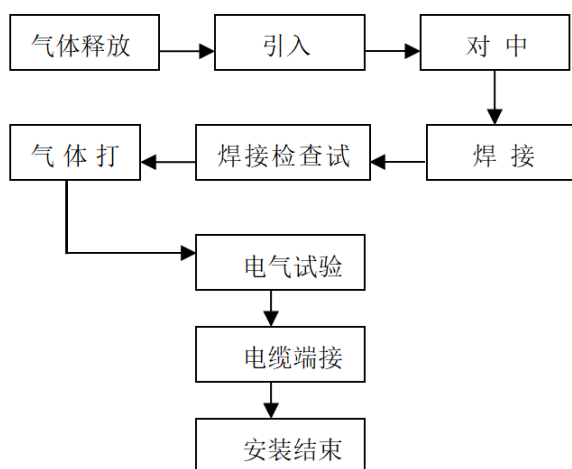


图 2 电气贯穿件安装流程

2 良好实践及过程描述

2.1 准备

核岛电气贯穿件施工过程管理需要提前谋划,从人、机、料、法、环、测六个环节入手,精细管理,集中控制,做到贯穿件的安装过程满足核岛冷试、热试需求。

2.2 实施过程描述

以下将着重介绍贯穿件安装、试验、移交过程中出现的问题及解决方案。

2.2.1 对安装环境的控制

根据供应商 EOMM 手册要求,电气贯穿件的安装需在封闭的空间中进行。但贯穿件的安装位置属于土建施工后浇筑区,土建施工的滞后安排对贯穿件的安装环境造成了一定的影响:

①按照施工逻辑,土建无法完成贯穿件所在房间的地漏处理。如果是雷雨天气,雨水将通过地漏直接渗入贯穿件的接线箱内,加速接线端子的老化。现场安排承包商增加现场设备维护人员数量,对地漏没有处理的,统一使用绝缘胶带和防雨布,在电气贯穿件顶部搭建防雨隔层,对防雨布接到的雨水进行合理处理,保证了贯穿件在安装过

程中,未受到雨水的侵害。

②因为土建的核岛安全壳预应力拉伸试验没有完成,贯穿件需要与其进行交叉施工。核岛电气贯穿件的安装安全壳上是由低到高进行的。以岭澳二期为例,3#机组 W330(1) 房间具备贯穿件安装条件时,土建正在进行核岛 15.5m 的拉伸试验,此试验将使核岛安全壳产生变形(纵向形变经验值为每米 0.17 毫米)。安全壳的形变对贯穿件的安装质量是否有影响,这是岭澳二期产生的新问题,没有经验可供参考。现场针对此情况召开内部专题会,通过分析初步认定可以进行交叉施工。当土建试验结束后,安排承包商对已焊接的贯穿件再次进行无损检测,并对贯穿件压力表数值进行跟踪记录,结果表明焊接良好,压力表数值无变化,充分说明土建的安全壳拉力试验对贯穿件安装质量没有影响。

2.2.2 加装临时保护套筒

电气贯穿件设备由仓库运输至现场、设备吊装、安装后的维护各个阶段成品保护均是工作的重点,且内部芯棒是易损部件,贯穿件安装时从 RX 厂房侧向 WX 侧穿过土建的预埋件,极易造成设备损坏。以阳江项目为例,现场通过按照各个贯穿件的外径尺寸及永久固定螺栓孔的位置这两个数据,为贯穿件量身定制临时保护套管,起到很好的成品保护效果,具体如图 3 所示。



图 3 电气贯穿件的保护套筒

2.2.3 焊接管理

电气贯穿件的焊接管理,重点关注焊接人员资质和焊接工艺评定,考虑工艺评定的时间周期,施工必须在安装开工前 4 个月完成对电气贯穿件焊接人员资质和焊接程序包进行审核,确认是否需要新的工艺评定:电气贯穿件焊接在土建预先安装的套筒上,所以做焊接工艺评定前,既需要明确套筒的材质,又需要向供应商澄清贯穿件本体

的材质，确保焊接评定的顺利进行。

2.2.4 安装过程的质量控制

安装过程的质量控制，现场主要通过两点来实现：质量计划中设置控制点对承包商进行约束；培养熟练的现场工人更好地执行安装程序。

①电气贯穿件安装质量管理采用3级质量控制（QC）和两级质保（QA）的管理体系，质量监督的主要方法是每个贯穿件均开启质量计划，并通过对质量计划停工待检点（H点）、见证点（W点）的控制、释放，达到对承包商文件、材料、工机具、人员等的有效控制，同时通过对关键环节的旁站监督，达到对质量环节的检查及控制。以岭澳二期3#机组为例，共开启质量计划158份——根据安装过程，每个贯穿件开启两份质量计划——设置H点316个，W点380个，将质量的精细管理落实到安装的每一个细节。

②根据电气贯穿件采购合同，合理安排供应商的现场支持时间，安排供应商给承包商进行培训，并现场与承包商共同进行一个中压贯穿件的吊装对中，就安装过程中遇到的问题进行现场解答，迅速提升现场工人的技术水平。在供应商离开现场后，承包商应将培训的工人固定下来进行贯穿件的安装工作，并在后续的安装过程中注重应用承包商的安装程序强化现场工人的质量意识，培养一批自觉遵守程序、技能熟练的技术工人，为核电站电气贯穿件的质量控制提供了强有力的保证，质量管理的根源最终落实到人的管理上。

2.2.5 气体打压

贯穿件的气体打压主要问题在于气体泄漏试验。在岭澳二期，供应商在EOMM手册中，只要求在压力表安装完成后直接打压至250kpa，没有要求进行气体泄漏的跟踪。

气体泄漏试验的目的在于检测压力表回装后，贯穿件的筒体是否是一个密闭的空间，从而保证第三道防御体系的完整性。如果按照供应商的文件要求，建设单位无法对电气贯穿件的密封性进行跟踪，也就对安装的最终质量缺乏有效把控。

经过对岭澳一期试验程序的研究，发现其使用的压力曲线科学合理，试验方法对贯穿件的压力值变化做到了有效跟踪，岭澳二期决定沿用岭澳一期的试验程序，并通过正式函件取得了供应商的同意。

气体泄漏的试验方法是先将贯穿件充压至440kpa，保持一小时，然后降压至400kpa，保持17天（对于中压贯穿件需要保持50天），每天记录压力数值，然后根据压力曲线进行判断，如果记录数值均位于曲线上方，则符合

最大泄漏率小于 $1 \times 10^{-2} \text{cm}^3/\text{S}$ 的要求，然后降压至250kpa。岭澳二期2台机组共158个贯穿件均使用此方法进行气体泄漏试验，移交运行后均压力稳定、运行良好。

根据岭澳二期气体打压程序（泄漏试验程序），中压贯穿件需要保持400kpa的压力50天，其它贯穿件保持17天。这给岭澳二期的现场安装进度造成很大压力。例如，中压贯穿件324，安装位置处于土建滞后移交的房间，气体打压试验需要50天，而调试部门又因为冷试需要启动3RCP001PO，希望此贯穿件尽快移交运行部门，安装进度压力可想而知，安装过程的每一步都不能出现问题，否则将影响到机组的冷试。

考虑岭澳二期的经验反馈，阳江项目执行期间充分考虑压力泄漏情况，在满足压力检测的前提下，将400kpa的打压持续时间缩短至10天，在贯穿件移交运行部门前，对贯穿件内压力再次复核，基本未出现压力下降不满足要求情况。如电气贯穿件出现压力下降情况，首先考虑更换压力仪表O型圈。

2.2.6 电气试验

核岛电气贯穿件的电气试验项目为导通和绝缘测试两项，现场执行中有两点需要着重关注：

①同轴贯穿件绝缘电阻值的确定。岭澳二期的承包商沿用岭澳一期的试验程序，其中同轴贯穿件芯线对屏蔽的电阻值为 10^9 欧姆，而岭澳二期供应商的要求为 10^{11} 欧姆，工程公司要求承包商发出正式澄清，在获得供应商的确认后升版现场的试验程序，岭澳二期电气试验按此进行。

②贯穿件芯棒和芯数的检查。在进行电气试验的过程中，承包商需根据图纸对芯棒和芯数进行检查。在岭澳一期没有出现的芯棒漏装现象，在岭澳二期出现：3#机组512电气贯穿件，在电气试验时发现厂家没有安装C、D、E、F、G、H共六根同轴芯棒，现场立即将此情况反馈给采购部门，随后供应商承认此问题完全由供货原因引起，立即开启供应商现场介入，完成了3#机组512贯穿件的芯棒重装工作。按程序办事，是现场质量控制的根本要求。

2.2.7 电气贯穿件的底板开孔

电气贯穿件为多个系统提供能量和信号通道，其底板开孔图纸因各系统的设计进度偏差，常常无法及时出版，也无法确定后续是否还有新的电缆需要增加。但电气贯穿件的底板比较厚（低压贯穿件的底板厚度为4mm），底板开孔工作均是从接线箱卸下后，拿到车间加工成型，如果在已端接电缆的底板上开孔，现场不具备施工条件，则需要将所有的端接拆除，重新卸下底板拿到车间进行二次加工，整个过程将严重阻碍现场进度。

针对此情况,现场大胆设想,提出在底板上增加 10% 的备用孔,如果日后没有增加电缆,则采用盲堵头进行封堵。此方案取得了设计院的同意,并在岭澳二期开始实施,后续阳江、宁德等项目均按照此方案进行执行。

在后续的安装过程中,果然遇到在贯穿件增加电缆的设计变更,由于提前准备了备用孔,现场安装进度未受影响。对于可能遇到的问题进行大胆论证,并提前准备预防措施,能将进度控制做到游刃有余。

2.2.8 部分移交

电气贯穿件由安装部门进行运行移交,即向核电厂运营部门移交,移交范围包括贯穿件本体和贯穿件两侧的连接电缆。移交又包括整体移交和部分移交:整体移交要求在贯穿件两侧的电缆全部端接完成,但在现场操作过程中,往往由于设计、供货和施工逻辑问题,无法满足此条件,而调试又急需使用此贯穿件已端接好的电缆进行电源输送,这时便需要部分移交。

电气贯穿件的部分移交,应做好沟通工作:

①内部的沟通,主要包括两部分:与调试部门的沟通;与贯穿件电缆相关系统负责人的沟通。

②与调试的沟通,目的在于校正所制定的移交运营计划。电气贯穿件先进行中压和低压贯穿件的移交,后进行控制测量的移交。即使先移交中压和低压,根据岭澳二期经验,移交周期长达 3 个半月,而调试最急需的有 RCP 主泵电源、核岛内电磁阀电源以及核岛内通风系统的电源。

③与贯穿件电缆相关系统负责人的沟通。电气贯穿件电气贯穿件两侧电缆的质量和进度管理属于电缆所连接设备的系统负责人。做为电气贯穿件负责人,有必要做为贯穿件两侧电缆端接进度的总牵头人,根据运营移交计划,提前提醒各系统负责人加快电缆端接进度。如果贯穿件已部分移交,贯穿件负责人有责任协调时间窗口,完成剩余电缆的端接工作。各系统负责人在贯穿件电缆上游开关发生变化时,须及时通知贯穿件负责人,进行移交运营相关的升版工作。例如岭澳二期 3DTV453CR 的开关信息变更了两次,电气贯穿件负责人未及时收到反馈,造成贯穿件 L320 移交过程波折不断,同时提高了现场安全管理的难度。

④与工程公司外部的沟通,主要是与运营部门的沟通,合理使用部分移交规则满足机组冷试、热试需求。

部分移交只是满足调试需求的临时措施,最终都需要进行整体移交。贯穿件负责人应推动尽早移交,因为时间越拖后,时间窗口越少,移交也就更加困难。

2.2.9 电气贯穿件的冷端补偿

电气贯穿件制造及供货到现场后,应关注部分贯穿件

的材质是否满足冷端补偿要求。在岭澳一期时,安全壳内有热电偶接线箱,热电偶在接线箱内完成冷端补偿,经过电气贯穿件时使用普通导线。而岭澳二期取消了此部分热电偶接线箱,热电偶测量导线直接通过贯穿件最后在安全壳外的 TXP 机柜进行冷端补偿,要求贯穿件芯棒采用与外部热电偶相同的线材,实际供货时芯棒未采用补偿要求的线材,现场及时组织各方对热电偶类型进行分析,协调供应商供货并进行贯穿件芯棒的更换,共历时 83 天,完成 3 个贯穿件共 5 个芯棒的现场更换。

此类问题的处理时间长,严重影响现场的安装和调试进度,为避免此类问题再次发生,贯穿件系统负责人需要提醒设计部门在审核电气贯穿件的设计图纸时,关注芯棒类型与贯穿件连接电缆类型之间的匹配。另外,此次由于冷端补偿位置的更改,导致首次在现场进行贯穿件芯棒的更换,实践证明在现场环境下更换完全可行,为后续类似问题的处理提供了范例。

2.2.10 中压电气贯穿件的支撑板拆除

中压贯穿件用来支撑绝缘固定板的金属中心支撑杆在其安装到预埋管之前需拆除,该支撑件仅在运输时起固定作用,如不拆除,将减少电气贯穿件三相间的绝缘裕度,具体支撑杆位置如图 4 所示。

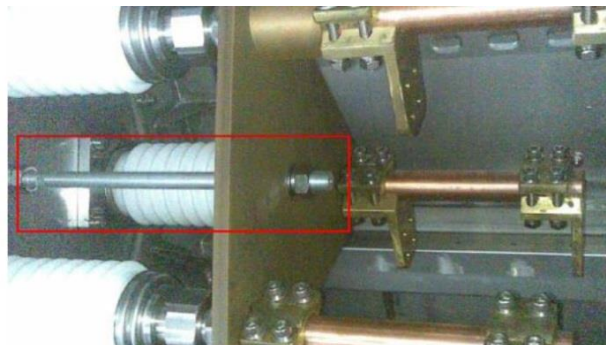


图 4 中压电气贯穿件内的支撑杆

3 良好实践的效果评价

岭澳二期等项目的电气贯穿件安装存在着众多不确定因素,现场项目组大胆设想,提前预防,优化安装过程,实现了现场进度质量的可控,主要体现在以下几个方面:

①安全准备工作充分,根据电气贯穿件的特殊安装位置,提前核实预埋套筒尺寸、进行焊接资质核查、进行安全环境的准备,保证了电气贯穿件的按时开工。

②安装过程质量控制到位,充分发挥 W/H 点功效,并合理协调供应商,现场解答安装过程中出现的问题,保证了电气贯穿件的安装质量。

③在移交过程中,大胆采取部分移交,满足核岛冷试、

热试的需求,同时也对现场的隔离用电安全提供了良好的保证。

④现场实施了电气贯穿件芯棒的更换,节省了工程公司资源,为后续的项目实施提供了良好的参考范例。

⑤气体打压时间的控制、底板开孔的冗余设计等经验的积累,为后续电气贯穿件施工提供了可执行的借鉴方案。

4 推广应用的可行性

核岛电气贯穿件的质量管理须做到集中控制、精细管理,具体问题具体分析,不放过每一个质量问题;核岛电气贯穿件的进度控制,则需要大胆论证、提前预防,做有准备的控制。岭澳二期等项目的核岛电气贯穿件安装管理,最终目的是在质量可控的前提下,达到最佳的进度控制。本文对 CPR 堆型核电站安装电气贯穿件出现的新问题和

重点问题进行了深入的论述,对后续项目的核岛电气贯穿件的安装提供可靠的经验参考,为实现项目管理的六大控制奠定基础。

[参考文献]

[1]GB/T13538-2017《核电厂安全壳电气贯穿件》[EB/OL].(2017-12-29)[2026-07-21].

[2]GB/T25837-2010《核电厂安全壳电气贯穿件的质量鉴定》[EB/OL].(2010-12-23)[2026-07-21].

[3]董志强.基于仪器检测的核电项目电气贯穿件安装质量控制研究[J].仪器仪表用户,2025,32(9):33.

作者简介:骆一鑫(1983—),男,山东蓬莱人,工程师,天津大学自动化专业毕业,现就职于中广核工程有限公司,从事施工管理工作。