

GIL 设备安装工程安全风险及预控措施研究

戴掣军¹, 刘博², 董四清², 陆东生³, 侯镭², 陈松涛³, 李东鑫³, 韩鸣¹

(1. 江苏省送变电有限公司, 江苏 南京 210037; 2. 国家电网公司 交流建设分公司, 北京 100052;
3. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210008)

摘要:苏通 GIL 综合管廊工程作为淮南-南京-上海特高压交流工程连接长江南岸与北岸的重要通道,其能否顺利建成投运,对于整个工程具有重大意义。以管廊内 GIL 设备安装工程为主线,从人、机、料、法、环多维度辨识、评估 GIL 设备运输、安装、试验等关键工序的风险,提出了针对性较强的安全防护措施。

关键词:GIL 安装; 风险; 识别; 评估

中图分类号:TP277 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)05-0189-04

Analyze Risks in GIL Equipment Installation Process and Take Protective Measures

DAI Qiejun¹, LIU bo², DONG Siqing², LU Dongsheng², HOU Lei³, CHEN Songtao³, LI Dongxin¹, HAN Ming¹

(1. Jiangsu Transmission and Transformation Co., Ltd., Nanjing 210037, China; 2. Engineering Management Department, Beijing 100052, China; 3. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210008, China)

Abstract: Suzhou-Nantong gas insulation line (GIL) is looked to as a portion of Huainan-Nanjing-Shanghai Extra-High Voltage Transmission Line which is used to connect Yangtze river north bank line to south bank line. It is of great significance to the whole Transmission Line project. This paper takes the Tunnel GIL equipment installation process as the main line and from manpower, machinery, material, methodology, procedure linkage multi-dimensional identification, assesses the risk in transportation, installation and commissioning testing process of the GIL equipment. Its also puts forward its protective measures. improved the efficiency of security management of GIL equipment installation.

Keywords: gas insulation line (GIL) installation; risk; identification; assessment

0 引言

苏通 GIL 综合管廊工程在江苏苏通大桥上游约 1 km 处穿越长江,是淮南-南京-上海 1000 kV 交流特高压输电工程的关键单体工程和整个工程投运的控制点。它作为世界上首个特高压 GIL 综合管廊工程,是目前世界上电压等级最高、输送容量最大、技术水平最高的超长距离 GIL 创新工程。

GIL 设备安装工程包含地面引接站的设备安装、工作井内及管廊内的 GIL 设备运输及对接安装等多个工序,涉及到施工电源设置、管廊内运输、有限空间作业、高处作业、起重作业等风险作业,具有施工难度大、安全风险高和安全事故社会影响大的特点。但是,以往工程并未针对管廊 GIL 设备安装工程进行过安全风险识别和评估,未制定系统的安全防护措施,此外国家及行业的安全管理规章制度、标准中也无相关内容^[1]。

本文依托苏通 GIL 管廊工程,以 GIL 设备安装工程为主线,以管廊内 GIL 设备轨道运输为例,进行 GIL 管廊设备安装风险识别和评估,据此提出针对性的安全防护建议及措施,确保了苏通 GIL 设备安装工程稳步推进。

1 风险识别

1.1 现状分析

苏通 GIL 综合管廊由于其特殊的结构构造和地理环境,存在以下特点:

1) 管廊空间狭小,工作人员多,一旦发生火灾,烟雾无法及时排出,可能引起人员窒息。

2) 管廊内空气湿度达到 90% 以上,人员在操作电气设备时易发生触电事故。

3) 由于管廊特殊的构造,管廊内施工临时用电的保护零线将无法借用地网作为重复接地点,需要单独敷设铜排作为 TN-S 用电系统的重复接地点,以确保所有用电设备外壳可靠接地^[2]。

4) 管廊内有 GIL 轨道运输车、GIL 安装机具、GIL 安装移动防尘棚、气体处理综合机具及人员运输车等多种车辆机具,均使用电瓶供电,需要设置充电桩进行充电,车辆蓄电池以及充电桩在充电过程中可能造成人员触电、火灾等事故。

5) 管廊内采用轨道运输车运输 GIL 设备,该轨道运输车体积大,质量重,运输 GIL 管道时总质量将超过 50 t,

操作不当易产生安全隐患。

6) GIL 管道抽真空充气时,大量使用 SF₆ 气体,该气体在常温下是一种惰性气体,绝缘性能好,但是浓度过大将会导致人员窒息甚至死亡^[3]。

1.2 关键工序风险辨识

本文结合苏通 GIL 管廊工程建设特点,从人、机、料、法、环等维度,从设备进场、设备垂直运输和管廊内运输、GIL 安装、SF₆ 气体充注、充电桩使用及维护等关键工序入手,梳理辨识出管廊内 GIL 安装过程中的安全风险点。

2 风险评估

根据识别出的 GIL 安装关键工序风险内容,应用 LEC 安全风险评价法进行评估。

2.1 LEC 安全风险评价法简介

LEC 法是对具有潜在危险性作业环境中的危险源进行半定量的安全评价方法。风险值 $D=L \times E \times C$ 。D 值越大,说明该系统危险性大,需要增加安全防护措施,或改变发生事故的可能性,或减少人体暴露于危险环境中的频繁程度,或减轻事故损失,直至调整到允许范围内。L 表示发生事故或风险事件的可能性,具体取值见表 1。E 表示人体暴露于危险环境中的频繁程度,具体取值见表 2。C 表示发生风险事件产生的后果,具体取值见表 3。风险值 D 与风险等级关系见表 4^[4]。

表 1 发生事故或风险事件的可能性(L)

分数值	发生的可能性
10	可能性很大
6	可能性比较大
3	可能但不经常
1	可能性小,完全意外
0.5	基本不可能,但可以设想
0.2	极不可能
0.1	实际不可能

表 2 人体暴露于危险环境中的频繁程度(E)

分数值	风险事件出现的频率程度
10	连续
6	每天工作时间
3	每周一次
2	每月一次
1	每年几次
0.5	非常罕见

表 3 发生风险事件产生的后果(C)

分数值	发生风险事件产生的后果
100	大灾难,无法承受损失

续表 3

分数值	发生风险事件产生的后果
40	灾难,几乎无法承受损失
15	非常严重,非常重大损失
7	重大损失
3	较大损失
1	一般损失
0.5	轻微损失

表 4 风险值 D 与风险等级关系

风险值 D	风险程度	风险等级
≥ 320	风险极大,应采取措施降低风险等级,否则不能继续作业	5
$160 \leq D < 320$	高度风险,要制定专项施工安全方案和控制措施,作业前要严格检查,作业过程中要严格监护	4
$70 \leq D < 160$	显著风险,制定专项控制措施,作业前要严格检查,作业过程中要有专人监护	3
$20 \leq D < 70$	一般风险,需要注意	2
< 20	稍有风险,但可能接受	1

2.2 基于 LEC 安全风险评价法的安全风险评估

下面以 GIL 设备轨道运输工序为例阐述风险评估方法。

GIL 设备轨道运输属于苏通综合管廊工程 GIL 设备安装的关键工序,由于轨道运输车自重重,管廊内部空间狭小,且多弧度、多坡度,在 GIL 设备轨道运输过程中存在物体打击、车辆伤害等风险,易发生车辆倾覆、车辆碰撞、火灾等事故。

a) 发生事件的可能性(L)的影响因素

- 1) 轨道运输车自身性能、工作状态等。
- 2) 轨道运输车驾驶员的操作技能、驾驶经验、责任心等。
- 3) GIL 设备绑扎是否稳固,有无超高、超宽、超重等现象。
- 4) 轨道上有无异物。
- 5) 充电桩日常维护保养是否及时到位。

综合以上因素,结合作业现场实际情况,完善相应安全措施,规范装车人员作业行为,严防轨道运输车超高、超重、超载,加强车辆行驶过程中的安全监督,该事件发生的可能性很小,查阅表 1 后确定 L 的取值为 1。

b) 人体暴露于危险环境中的频繁程度(E)的影响因素

管廊工程 GIL 设备开始安装前,相应的 GIL 设备必须通过轨道运输车运输就位,因此作业人员每天在工作时间一直处于此环境中,查阅表 2 确定 E 的取值为 6。

c) 发生风险事件产生的后果(C)的影响因素

- 1) 轨道运输车自重达到 40t,若满载 3 根 GIL 管道

后,总质量将超过 50t,一旦在行驶过程中发生碰撞事故,将会导致非常严重的后果,造成非常严重的人身和财产损失。

2) 轨道运输车使用电瓶供电,需要设置充电桩进行充电,车辆蓄电池、充电桩在使用过程中如果操作不当,可能发生人员触电、火灾等事故,造成非常严重的人身和财产损失。

综合以上因素,结合作业现场实际情况,该事件产生

的后果将会非常严重,将导致非常重大的损失,查阅表 3 确定 C 的取值为 15。

d) 根据计算公式,可得 $D=L \times E \times C=1 \times 6 \times 15=90$,查阅表 4 得知属于三级风险。

应用 LEC 安全风险评价法辨识出的风险进行评估并汇总,形成管廊内 GIL 设备安装关键工序固有风险汇总表如表 5 所示。

表 5 管廊内 GIL 设备安装关键工序固有风险汇总表

序号	工序	作业内容及部位	风险可能导致的后果	固有风险评定值 $D=L \times E \times C$	固有风险级别
1	施工用电布设	管廊内电缆敷设	机械伤害、物体打击	$3 \times 3 \times 7$	2
		管廊内电源及电源箱安装	物体打击、触电、火灾	$3 \times 3 \times 7$	2
		保护接地或接零	触电	$3 \times 3 \times 3$	2
		管廊内照明布置	触电、火灾	$3 \times 2 \times 7$	2
		施工用电系统的接火	触电、火灾	$6 \times 3 \times 7$	3
2	管廊内辅助设备安装调试	管廊内电缆支架、桥架安装	机械伤害、物体打击、高处坠落	$3 \times 3 \times 3$	2
		火灾探测器、监测气体传感器、照明灯具、视频监控摄像头安装	机械伤害、物体打击、高处坠落	$3 \times 3 \times 7$	2
3	GIL 设备运输	GIL 设备开箱、点检、倒运	机械伤害、物体打击、起重伤害、高处坠落、车辆伤害	$3 \times 6 \times 3$	2
		GIL 设备工作井中垂直运输	物体打击、起重伤害、高处坠落	$1 \times 6 \times 15$	3
		GIL 设备管廊内运输	机械伤害、物体打击、火灾、车辆伤害、起重伤害	$1 \times 6 \times 15$	3
4	GIL 设备安装	GIL 支架安装、固定	机械伤害、物体打击、车辆伤害、触电	$1 \times 6 \times 7$	2
		GIL 就位	机械伤害、物体打击、高处坠落	$1 \times 6 \times 3$	1
		GIL 母线筒对接	机械伤害、物体打击、高处坠落	$1 \times 6 \times 7$	2
		抽真空、充气	窒息	$1 \times 6 \times 7$	2
5	GIL 设备试验	GIL 设备试验	触电、窒息	$3 \times 3 \times 7$	2
6	充电桩使用及维护	充电桩使用及维护	触电、火灾	$1 \times 3 \times 15$	2

3 GIL 设备安装工程安全风险预防控制措施

管廊内 GIL 设备安装与常规变电站电气设备安装,无论是施工工序、作业环境以及风险控制措施等方面均存在较大的不同,在总结以往工程风险管控成功经验的基础上,依据表 5 管廊内 GIL 设备安装关键工序固有风险汇总表,针对管廊工程的特点,逐一制定相应预防控制措施。

下文以管廊内 GIL 设备运输这一关键工序为例,从人、机、料、法、环等角度进行分析,并制定针对性预防控制措施。该关键工序分为工作井内 GIL 设备垂直运输、管廊内 GIL 设备运输以及充电桩使用及维护这三个关键步骤,分别针对这三个关键步骤实施过程中存在的风险制定预防控制措施。

3.1 工作井内 GIL 设备吊装及运输风险预防控制措施

1) 使用行吊吊运 GIL 设备时,行吊应检验合格,司机和起重人员必须持证上岗。

2) 配合吊装的作业人员,应由掌握起重知识和有实践经验的人员担任。

3) 吊装过程中,作业人员应听从吊装负责人的指挥,不得在吊物和吊车臂活动范围内的下方停留和通过,不得站在吊物上随吊臂移动。

4) 吊物吊离地面约 100mm 时,应暂停起吊并进行全面检查,确认无误后方可继续将吊物起吊并放置于工作井中。

5) 吊物在下放过程中,应保持匀速,两侧设置溜绳,避免吊物晃动撞击人员或工作井壁。

3.2 管廊内 GIL 设备运输风险预防控制措施

- 1) 管廊内 GIL 运输专用机具驾驶员应经厂家培训并考试合格后,方可上岗。
- 2) 管廊内 GIL 运输专用机具必须由专人驾驶,其余人员严禁操作。
- 3) 每日开工前,必须对 GIL 运输专用机具及轨道进行检查,确保机具处于最佳工作状态,确保轨道上无异物。
- 4) 管廊内运输 GIL 设备时,放置位置应准确,采取可靠的绑扎固定措施,不得超宽、超高、超重。
- 5) 轨道运输车应低速行驶,设置有醒目的警示标识,行驶过程中不间断地进行语音提醒,提醒作业人员注意与之保持足够的安全距离,在车辆行驶路线的起始端指定专人监护指挥。车辆下坡时应缓慢行驶,严防 GIL 设备倾覆。
- 6) 应用管廊运输车防撞系统,在行驶过程中,当运输车辆与其余车辆、人员或物体距离较近时应能及时减速并发出警示信号,距离过近时应能断电并停止运行。
- 7) 每日工作完毕,轨道运输车停止使用后,应拉紧刹车,严防溜滑。
- 8) 轨道运输车必须配备足够的灭火器材。

3.3 充电桩使用及维护风险预防控制措施

- 1) 充电桩操作人员必须经国家有关部门培训考核合格并持有颁发的资质证书后方可上岗。
- 2) 充电作业时须穿戴专业绝缘防护鞋及绝缘防护手套。
- 3) 操作人员应主动引导车辆进入充电位置,当车辆停稳,切断电动机电源和辅助电源,拉紧手刹,人员离车后,方可进行充电作业。
- 4) 充电前,操作人员仔细检查充电接口是否正常完

好,并对车辆进行充电前检查,对充电设备与充电车辆连接和充电参数的设置进行确认。

- 5) 充电启动后,确认充电正常,并定期巡视充电状态。若发生安全事故,应快速按下红色急停按钮,切断电源。
- 6) 充电过程中,车辆严禁启动或移动,严禁带电插拔充电插头。
- 7) 充电结束后、行车前,驾驶员应确认充电终止以及充电设备与车辆可靠分离。
- 8) 操作人员应按照充电桩生产厂家的要求进行定期保养与例行检查,保持其安全、清洁、完好,并做好相关检查保养记录。
- 9) 充电桩附近应配备充足的灭火器材,并由专人负责检查维护。

4 结语

本文以苏通综合管廊 GIL 设备施工工序为主线,应用 LEC 安全风险评价办法,以管廊内 GIL 设备轨道运输为例对管廊工程 GIL 设备施工过程中的安全风险进行识别、评估,并结合现场实际情况,制定针对性的预防控制措施,确保苏通管廊 GIL 设备安装工程安全无事故,为后续管廊内 GIL 设备安装工程做好示范引领。

参考文献:

- [1] DL5009.3-2013 电力建设安全工作规程 第 3 部分(变电站)[S].
- [2] DLT 978-2005 气体绝缘金属封闭输电线路技术条件[S].
- [3] DLT 361-2010 气体绝缘金属封闭输电线路使用导则[S].
- [4] Q/GDW1799.1-2013 国家电网公司电力安全工作规程 变电部分[S].

收稿日期:2019-05-10

(上接第 170 页)

- 2) 采用磁场定向电动机控制,稳态波动性小,动态特性差;直接转矩控制动态响应好,但是转矩与转速脉动大。
- 3) 通过细化扇区可以优化电动机直接转矩控制曲线通过的性能。

参考文献:

- [1] 黄运华,傅茂海,卜继玲,等. 独立轮对发展及其应用前景[J]. 电力机车与城轨车辆, 2003, 26(4):8-11.
- [2] 陆文昌,张勇,张厚忠. 轮毂电动机驱动汽车电子差速系统 P-模糊 PID 控制研究[J]. 机械制造与自动化, 2017,46(6):193-196.
- [3] F Korkmaz, ismail Topaloğlu, MFÇakir, et al. Comparative performance evaluation of FOC and DTC controlled PMSM drives [C]. Fourth International Conference on Power Engineering, IEEE, 2013.
- [4] B Tian, Q An, JD Duan, et al. Cancellation of torque ripples

with FOC strategy under two phase failures of five-phase PM motor[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 99:1-5.

- [5] 刘晓宇. 采用独立旋转车轮列车的导向性能研究[D]. 成都:西南交通大学, 2015.
- [6] 池茂儒,王开文,傅茂海,等. 后轮对独立回转新型转向架轮轨横向力分析[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(2):32-35.
- [7] 罗文俊,雷晓燕. 后轮对独立回转新型转向架曲线通过性能的研究[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(2):93-97.
- [8] 任利惠,周劲松,沈钢. 采用轮毂电动机的独立车轮轮对的主动导向控制[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(5):77-83.
- [9] 许明春,曾京. 独立旋转车轮转向架及其导向技术纵览[J]. 都市轨道交通, 2010, 23(5):48-51.
- [10] 李红. 基于主动差速器的独立轮对导向技术研究[D]. 成都:西南交通大学, 2016.

收稿日期:2018-05-16