

# 500 kV GIL 管廊接地系统分析

赵新宇<sup>1</sup>, 张益庚<sup>1</sup>, 贾振宏<sup>1</sup>, 张瑞永<sup>1</sup>, 吴述关<sup>1</sup>, 谭沛文<sup>2</sup>

(1. 中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司, 江苏 南京 211102;

2. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 气体绝缘金属封闭输电线路的接地系统对该输电方式的稳定可靠运行至关重要。基于 CDEGS 仿真软件对某实际 GIL 综合管廊工程的接地系统进行了研究, 建立了 GIL 综合管廊接地系统模型, 对接地系统的接地电阻、跨步电压、接触电压以及地电位升等电气特性参量进行计算分析, 研究了接地网的深度、混凝土电阻率、入地点的个数、钢筋主支架等因素对 GIL 管廊电气特性的影响规律, 提出了较为优化的接地系统。结果表明, 混凝土结构钢筋作为自然接地体对 GIL 电气特性的影响最大, 入地点个数对 GIL 电气特性的影响最小。优化的接地系统为 GIL 综合管廊的建设和运维提供了依据。

**关键词:** GIL 输电; 接地系统; 接地电阻; 跨步电压; 接触电压; 地电位升

**中图分类号:** TM86 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2020)02-0059-04

## Analysis of 500 kV GIL Tube Grounding System

Zhao Xinyu<sup>1</sup>, Zhang Yigeng<sup>1</sup>, Jia Zhenhong<sup>1</sup>, Zhang Ruiyong<sup>1</sup>, Wu Shuguan<sup>1</sup>, Tan Peiwen<sup>2</sup>

(1. China Energy Engineering Group Jiangsu Power Design Institute Co., Ltd.,

Nanjing 211102, Jiangsu, China; 2. School of Electrical Engineering, Southeast University,  
Nanjing 210096, Jiangsu, China)

**Abstract:** The grounding system of gas insulated metal enclosed transmission line (shorted for GIL) is very important for the stable and reliable operation of the transmission mode. The grounding system of an actual 500 kV GIL project is studied based on CDEGS. Its grounding system model is established, and the electrical characteristic parameters such as earth resistance, step voltage, touch voltage and earth potential rise are calculated and analyzed. The influence rules of the depth of grounding grid, the concrete resistivity, the number of earth points and the main structure steel on the electrical characteristics of GIL grounding system are studied. The results show that the reinforced concrete structure as a natural grounding body has the greatest influence on the electrical characteristics of GIL, and the number of earth points has the least impact on the electrical characteristics of GIL. The optimized grounding system of GIL provides a basis for the construction and operation of GIL utility tunnel.

**Key words:** GIL transmission; grounding system; earth resistance; step voltage; touch voltage; earth potential rise

## 0 引言

目前,城市用电需求越来越大,而大规模发电装置通常远离负荷中心,需要长距离、高可靠和高效的特高压输电线路<sup>[1-4]</sup>。由于采用架空线的特高压长距离输电线路的铁塔很高、导线束很大,受场地限制,不能在任何地方都实现。而气体绝缘金属封闭输电线路(gas insulated transmission line, GIL)具有输电容量大、占地少、维护量小、环境影响小等显著优

点,逐渐成为特殊环境下替代架空线路的首选。

类似于输电线路接地系统, GIL 的接地系统对 GIL 稳定运行起着重要作用,它直接影响管廊内部工作人员的生命安全,对地面上的行人也有着影响。目前的研究主要是针对 GIL 外壳环流和外壳接地<sup>[5-7]</sup>,对于 GIL 接地系统少有涉及。

基于某实际 GIL 综合管廊工程的设计参数,采用 CDEGS 软件,建立 GIL 管廊三维仿真模型,研究分析接地网的深度、入地点的个数、混凝土电阻率、是否考虑钢筋主结构等因素对 GIL 系统接地电阻、

接触电压、跨步电压以及电位升的影响,从经济和安全  
的角度提出最合适的接地结构。

## 1 GIL 接地模型

### 1.1 舱内结构及模型

GIL 管廊建于地面下 2 m 处,总长度为 330 m,混凝土墙壁厚度为 0.25 m。管廊内有 500 kV 单回路交流输电线路,布置在管廊的左侧,沿管廊每隔 20 m 设置长 0.843 m 的金属支架,GIL 本体放置在金属支架上,相间距为 0.85 m。金属支架固定于混凝土墙壁,并与接地母线相连,接地母线通过接地引线与管廊底部的接地网相连接。

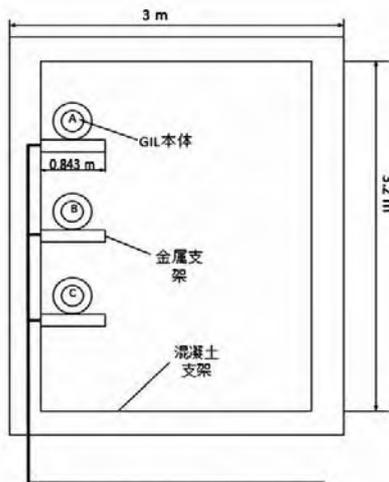


图1 GIL 舱结构断面

接地母线和接地引线均采用截面为 50 mm × 5 mm 的铜排,接地网埋在 GIL 管廊下方,面积为 3 m × 330 m。接地网横向取 20 根导体棒,纵向取 7 根导体棒。此外铜排接地干线两端引出与接地网相连,铜排与接地网不少于 2 个连接点<sup>[9]</sup>,这里取在前端位置连接。

根据实测数据和软件仿真的结果,将土壤电阻水平分为 1 层,土壤电阻率为 28 Ω · m。

根据上述条件,基于仿真软件 CDEGS 建立 GIL 管廊接地模型,接地系统局部截面图如图 2 所示,其管廊局部截面图如图 3 所示,混凝土电阻率取值范围为 500 ~ 20 000 Ω · m<sup>[8]</sup>,接地网的深度取在 GIL 底部下侧 0.8 ~ 2 m 处,观测面设置在管廊隧道底部,距离地面深度为 5.45 m。

### 1.2 接地系统电气特性分析

基于上述 GIL 模型,将短路入地电流激励设在

接地网前端入地点上,设置短路入地电流激励因子为 10 kA,计算接地系统电气特性参数;设置混凝土电阻率为 3000 Ω · m,计算接地系统的接地电阻值为 0.125 1 Ω。

观测接地网电气特性参数,其跨步电压分布如图 4 所示,跨步电压最大值为 282.76 V,主要分布在管廊的末端,中间管廊处跨步电压很低,分布也比较均匀。



图2 GIL 接地系统 Y-Z 平面

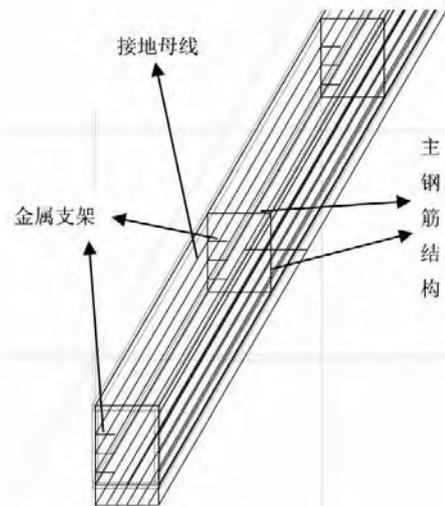


图3 GIL 管廊三维平面

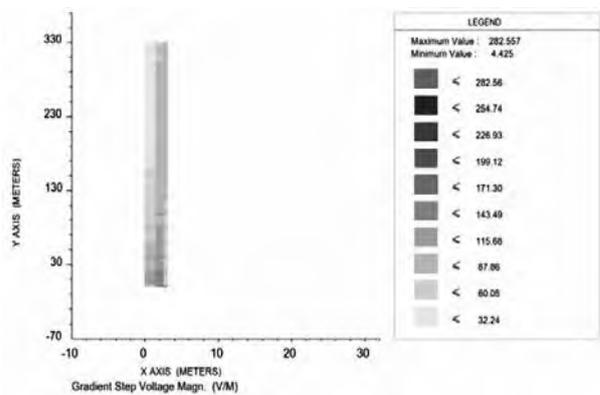


图4 接地模型跨步电压云图

接触电压分布如图 5 所示,可以看出,接触电压的最大值为 480.668 V,位于两边的入地点附近,远离入地点的方位,接触电压逐渐减小。

地面最大电位升为 530.245 V,与接触电压相似,随着远离入地点的方向,地电位升逐渐降低,如图 6 所示。

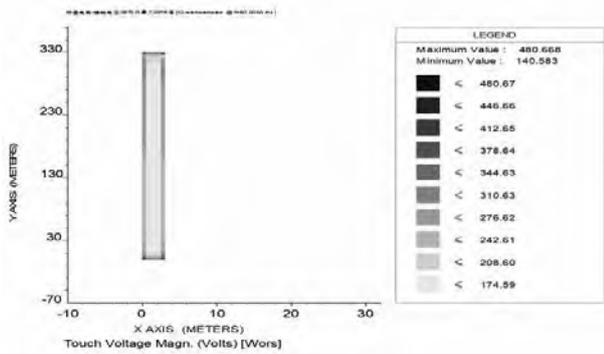


图 5 接地模型接触电压云图

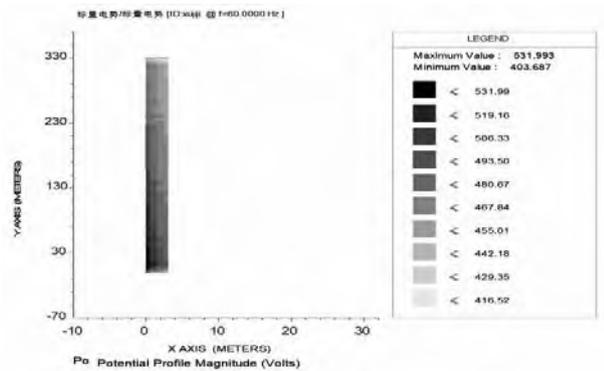


图 6 接地模型地电位升云图

根据 IEEE 标准计算的接触电压和跨步电压的安全阈值如表 1 所示。根据表 1 可知,在故障切除时间为 0.250 s 和 0.500 s 时,最大跨步电压和接触电压小于允许的最大限值。所以,接地网设计总体符合计算要求,是较为接近实际的一种模型。

表 1 CDEGS 电气特性安全阈值标准

0.5 s 跨步电压/V	0.5 s 接触电压/V	0.25 s 跨步电压/V	0.25 s 接触电压/V
1 441.6	518.7	1 947.4	700.8

## 2 接地网的组成对接地特性参数的影响

### 2.1 入地点的个数对接地特性参数的影响

由于工程要求,此 GIL 接地系统的入地点不少于 2 个,将多个入地点加入系统中,为电流提供了多个路径,起到了一定的分流作用。入地点个数对接地系统电气特性的影响如表 2 所示。

随着入地点个数的增加,接地电阻、接触电压、跨步电压、地电位升会略微下降,但下降幅度很小。入地点个数对接地特性参数基本没有影响。

### 2.2 地网的深度对接地特性参数的影响

出于人身安全考虑,设计院一般规定的标准为接地网距离 GIL 管廊底部 0.8 m 以上<sup>[10]</sup>。这里的 GIL 接地网沿着 GIL 管廊铺设,埋设的难度不大,所

考虑的接地网距离 GIL 底部 0.8 ~ 2 m。接地网入地深度对接地系统特性的影响如表 3 所示。可以看出,随着接地网入地深度的增加,接地电阻值分别下降了 2.7%、4.6%、8.2%、10.39%、11.83%,接触电压、跨步电压、地电位升也有明显下降。接地网入地深度对接地网特性的影响较大。

表 2 入地点个数对接地系统接地特性的影响

入地点的个数	接地电阻值 /Ω	接触电压 /V	跨步电压 /V	地电位升 /V
1	0.125 60	481.840	283.29	531.630
2	0.125 10	480.668	282.76	530.245
3	0.125 08	478.540	281.45	529.870
5	0.125 07	476.250	280.19	528.950
9	0.125 05	475.370	278.86	526.210
13	0.125 02	472.660	277.14	524.350

表 3 接地网与 GIL 管廊距离对接地系统接地特性的影响

接地网与 GIL 的距离/m	接地电阻 /Ω	接触电压 /V	跨步电压 /V	地电位升 /V
0.8	0.125 1	480.668	282.76	530.245
1.0	0.121 7	475.930	280.15	523.610
1.3	0.119 3	470.540	278.32	518.950
1.5	0.114 8	466.380	276.62	512.340
1.8	0.112 1	462.890	274.36	506.780
2.0	0.110 3	458.640	272.95	500.230

## 3 混凝土结构钢筋对特性参数的影响

### 3.1 混凝土电阻率对接地电阻的影响

混凝土中主结构钢筋可形成 2 个垂直平面的辅助接地系统,起到了良好的分流效果。同时混凝土的电阻率与周围水分联系紧密,会在晴天与下雨天有所不同<sup>[9]</sup>。表 4 为不同混凝土电阻率条件下接地系统的接地电阻,其接触电压、跨步电压分别如图 7、图 8 所示。

表 4 混凝土电阻率对接地系统接地电阻的影响

混凝土电阻率 / (Ω · m)	接地电阻 /Ω	接触电压 /V	跨步电压 /V	地电位升 /V
3000	0.125 10	480.67	282.76	530.24
1200	0.159 10	368.41	188.80	405.69
500	0.107 28	300.29	150.40	374.56

由计算结果可知,当混凝土电阻率由  $3000 \Omega \cdot m$  下降为  $1200 \Omega \cdot m$  时,接地电阻下降了 7.3%;当混凝土电阻率由  $3000 \Omega \cdot m$  下降为  $500 \Omega \cdot m$  时,接地电阻下降了 14.2%。接触电阻下降对接触电压和跨步电压也有较大影响,当混凝土电阻率由  $3000 \Omega \cdot m$  下降为  $1200 \Omega \cdot m$  时,接触电压最大值由 480.67 V 下降为 368.41 V,跨步电压最大值由 282.78 V 变为 188.8 V。当混凝土电阻率降低时,接地网的电阻值降低,从而导致接触电压和跨步电压减小。

### 3.2 不考虑混凝土主结构钢筋对接地系统的影响

断开混凝土主结构钢筋与铜排接地干线和接地网的连接,计算接地网电气特性,结果如表 5 所示。

表 5 钢筋结构对接地系统电气特性的影响

接地参数	接地电阻 / $\Omega$	接触电压 /V	跨步电压 /V	地电位升 /V
考虑钢筋 混凝土影响	0.125 1	480.67	282.76	530.24
不考虑钢筋 混凝土影响	0.142 0	898.50	411.58	1 080.50
变化率 /%	13.6	81.9	45.6	103.78

同考虑主结构钢筋作为辅助接地系统时相比,不考虑主结构钢筋时的接地电阻值升高了约 13.6%,跨步电压、接触电压、地电位升的最大值在相同条件下分别增加了 45.6%、81.9% 和 103.78%,超过所允许的最大接触电压限值。这是因为主结构钢筋镶嵌在混凝土里组成辅助接地网,辅助接地网与接地网串联形成接地系统。不考虑主结构钢筋时,入地电流的路径减少,接地系统的接地电阻值增加,导致了接触电压、跨步电压和地电位升的增加。根据上述分析可知,钢筋混凝土结构可以有效降低接触电压、跨步电压和地电位升,在实际应用中应该考虑。

## 4 结 语

针对某 500 kV 线路改迁工程的 GIL 管廊接地系统进行了分析研究,主要分析了 GIL 在故障情况下的接触电压、跨步电压、地电位升,研究了入地点个数、接地网的入地深度、混凝土电阻率和混凝土钢筋结构对接地网特性的影响,结果表明:

1) 入地点个数对接地特性影响很小,一般设置 2 个比较好。

2) 接地网的埋设深度对接地特性影响较大,接地网埋设越深,接地电阻、接触电压和跨步电压越小,但是综合成本考虑最好埋设在 GIL 管廊底部 1.2 ~ 1.5 m 处。

3) 在考虑钢筋支撑结构的条件下,混凝土电阻率对接地特性影响很大。GIL 接地设计时不可忽略钢筋主结构对接地系统的影响。

### 参考文献

- [1] 汤亮亮,刘刚,吴敏,等. GIL 管廊结构参数对接地系统电气特性参数的影响 [J]. 电网技术,2019,43(8): 3032 - 3038.
- [2] 王亚楠,丁卫东,苟杨,等. 气体绝缘金属封闭输电线路(GIL)接地问题探讨 [J]. 高压电器,2016,52(4): 98 - 102.
- [3] 王通德,王晓琪,万方华,等. 高压交流 GIL 的设计与应用 [J]. 高压电器,2014,50(10): 107 - 111.
- [4] 高延庆,何金良,曾嵘,等. 非均匀土壤中变电站接地网优化设计 [J]. 清华大学学报(自然科学版),2002,42(3): 345 - 348.
- [5] 庞亚东,倪敏. 1000 kV GIS(HGIS) 接地设计方案 [J]. 电力建设,2010,31(1): 49 - 52.
- [6] H Koch, A Schuette. Gas Insulated Transmission Lines for High Power Transmission over Long Distances [J]. Electric Power Systems Research,1998,44(1): 69 - 74.
- [7] 范建斌,李鹏,李金忠,等.  $\pm 800$  kV 特高压直流 GIL 关键技术研究 [J]. 中国电机工程学报,2008,28(13): 1 - 7.
- [8] 齐波,张贵新,李成榕,等. 气体绝缘金属封闭输电线路的研究现状及应用前景 [J]. 高电压技术,2015,41(5): 1466 - 1473.
- [9] 冶海廷,王亦平,马仲鸣. 拉西瓦水电站 800 kV GIL 结构特点及安装试验 [J]. 水力发电,2009,35(11): 60 - 62.
- [10] 李鹏,颜湘莲,王浩,等. 特高压交流 GIL 输电技术研究及应用 [J]. 电网技术,2017,41(10): 3161 - 3167.

### 作者简介:

赵新宇(1978), 硕士,高级工程师,从事输电线路设计研究。

(收稿日期: 2019 - 12 - 18)