

地铁下穿110 kV变电站对地网参数影响的分析

马功民

(中国铁建电气化局集团北方工程有限公司, 山西太原 030052)

摘要: 针对地铁区间的贯通会导致110 kV变电站下的土壤情况发生变化, 可能对变电站地网接地电阻、跨步电压等电气参数产生不利影响。采用加拿大SES公司推出的集成工程软件CDEGS计算分析地铁下穿110 kV变电站对其地网参数的影响。通过建立变电所地网、地铁隧道和土壤模型, 分别计算地铁下穿前后变电所地网接地电阻、跨步电压和接触电压的变化, 通过与规范计算数值对比结果得出地铁下穿110 kV变电站对其地网参数的影响评价。

关键词: 地网; CDEGS; 接地电阻; 跨步电压; 接触电压

Analysis of influence of metro passing 110 kV substation on ground network parameters

MA Gongmin

(North Engineering Co., Ltd. of the Electrification Bureau Group, CRCC, Taiyuan 030053, China)

Abstract: Due to the penetration of a metro section in a certain city, the soil conditions under a certain 110 kV substation may change, which may adversely affect the electrical parameters such as grounding resistance and step voltage of the substation grounding network. CDEGS, an integrated engineering software package introduced by SES company of Canada, is used to calculate and analyze the influence of 110 kV substation on its ground network parameters. Through the establishment of substation network, metro tunnel and soil model, the ground resistance, step voltage and contact voltage of underground substation before and after the metro are calculated respectively. Comparing with the normative calculation results, the influence of substation on its ground network parameters is evaluated.

Key words: ground network; CDEGS; ground resistance; step voltage; contact voltage

0 引言

变电站的接地系统关乎变电站的各种设备能否正常运行, 与工作人员的人身安全更是密切相关。城市地铁在方便人们出行带来方便的同时, 也会给社会生产领域带来一些难题, 例如地铁隧道的贯通会使地表下降, 更严重的情况是使土壤结构情况发生变化, 这会对变电站地网接地电阻、跨步电压等电气参数产生不利影响^[1-3]。为确

保变电站投运后接地网的安全, 需对接地网进行严格的设计。本文采用CDEGS软件对受地铁下穿影响的变电站参数进行了分析, 对各项因素对接触电压和跨步电压分布的影响进行模拟, 以确保地铁下穿对变电站接地工程的安全可靠。

1 工程背景

某市地铁区间在距离车站端约18 m处下穿某

市供电公司110 kV变电站,该处矿山法区间位于缓和曲线上,线路纵坡为29.5‰,隧道埋深约为14 m,隧道洞身范围主要为卵石土,上覆粉质黏土、粉

土与杂填土,区间隧道与某市供电公司110 kV变电站相对位置关系如图1所示。

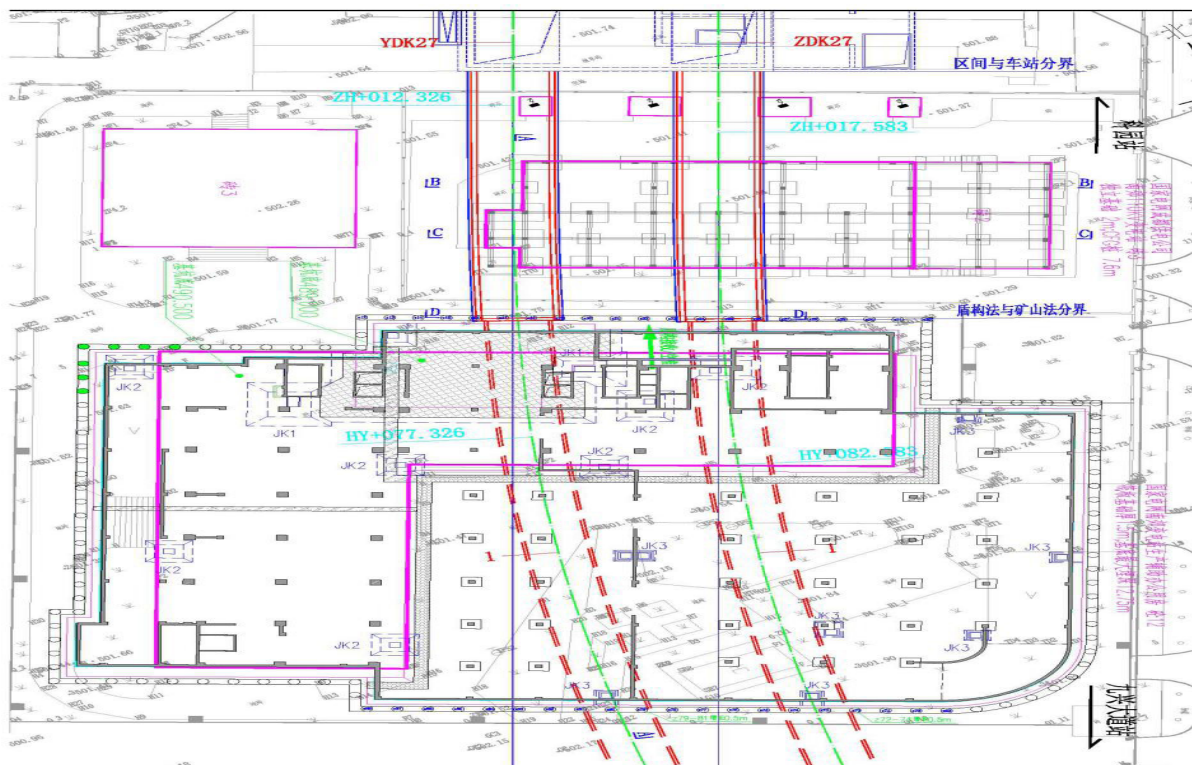


图1 变电站与地铁隧道位置关系图

Fig.1 Location relationship between substation and metro tunnel

2 模型建立

2.1 110 kV变电站接地网模型

根据《110 kV变电站增容改造工程施工图设计说明书》,110 kV变电站采用水平和垂直接地体相结合的复合接地网,同时与建筑物的钢筋网相连接。水平接地体采用40×4铜扁带水平接地体,埋深800 mm,敷设间距为5~6 m;垂直接地体采用铜包钢接地极,垂直接地体长度为2.5m。根据110 kV变电站施工图《全站接地网布置图》建立地网模型,如图2所示。

2.2 土壤电阻率

根据《某市110 kV变电站关于地铁横穿的专题报告土壤电阻率测试报告》,变电站土壤电阻率结果如表1所示。

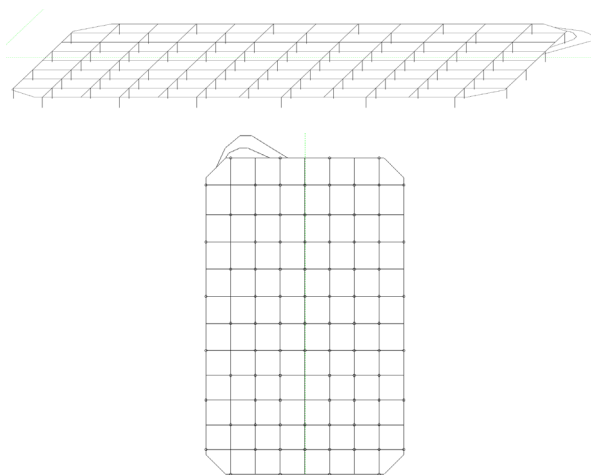


图2 110 kV变电站接地网模型

Fig.2 Grounding grid model of 110 kV substation

为反映变电站下土壤电阻率的真实情况,模型中采用1号土壤测试点数据,软件中选用指定土

表1 土壤电阻率测试综合结果表

Tab.1 Comprehensive results of soil resistivity test

1号点土壤电阻率测试结果表			2号点土壤电阻率测试结果表		
层号	电阻率	分层厚度	层号	电阻率	分层厚度
1	47.628	0.51	1	41.585	0.51
2	50.616	0.638	2	33.92	0.638
3	72.716	0.797	3	5.947	0.797
4	62.937	0.996	4	7.793	0.996
5	32.939	1.245	5	20.271	1.245
6	32.342	1.556	6	20.34	1.556
7	64.915	1.945	7	11.732	1.945
8	130.641	2.432	8	8.236	2.432
9	153.274	3.04	9	9.229	3.04
10	101.009	—	10	14.222	—

壤结构特征模块，将土壤电阻率数据输入软件。第一层土壤模型输入结果如图3所示。



图3 土壤模型输入参数设置

Fig. 3 Setting of input parameters for soil model

2.3 地铁隧道模型

根据《某市地铁区间盾构隧道与建构筑物关系及处理措施图》，地铁下穿变电站地网处为矿山法区间，线路纵坡为29.5%，隧道埋深在12.674~14.104 m之间，区间直径为8 m，首末端长度约为43 m。

采用CDEGS建模时，采用电阻率极大的矩形块模拟地铁隧道，矩形块外切隧道。

根据地铁上下行两个区间隧道与变电所地网的相对位置关系，矩形块埋深在12.674~14.104 m

之间变化，高度为8 m，长度以地网中心向前后各延伸1 000 m设计。

3 计算结果

3.1 变电站下方无地铁隧道情况

根据110 kV变电站《110 kV变电站增容改造工程施工图设计说明书》，110 kV侧短路电流为9.87 kA，10 kV侧的短路电流为24.9 kA。为仿真接地短路时的地网电气参数最恶劣的情况，选用数值较大的10 kV侧24.9 kA的数据进行模拟，分流系数暂取0.7。

根据某省地质工程勘察院提供的《某市110 kV变电站关于地铁横穿的专题报告——土壤电阻率测试报告》，变电站场地地表分布地层主要有杂填土和碎石，根据《电力工程电气设计手册电气一次部分》中碎石土壤电阻率参考值为5 000 $\Omega \cdot m$ ^[4]，故设定地网表层土壤电阻率为5 000 $\Omega \cdot m$ 。

变电站下方无地铁隧道的地网接触电压如图4所示，其中接地电阻为0.444 96 Ω 。由图可见，地网接触电压在108.78~946.19 V之间变化，小于接触电压的安全值2 896.31 V。

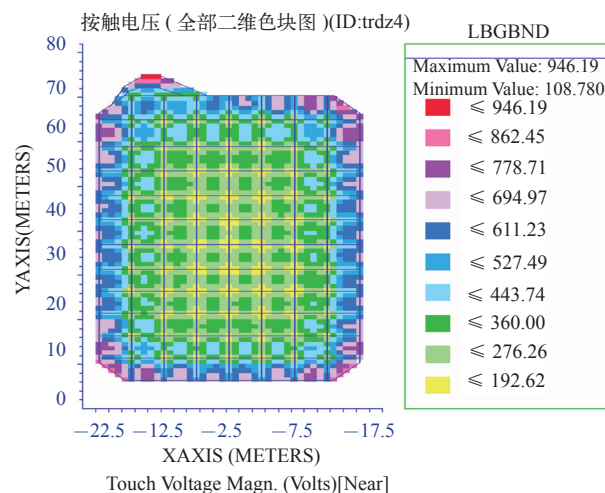


图4 变电站下方无地铁隧道的地网接触电压分布

Fig.4 Distribution of ground grid contact voltage without metro tunnel under transformer substation

变电站下方无地铁隧道的地网跨步电压如图5所示。由图5可知，跨步电压在30.924~593.13 V之间变化，小于跨步电压的安全值10 391.6 V。

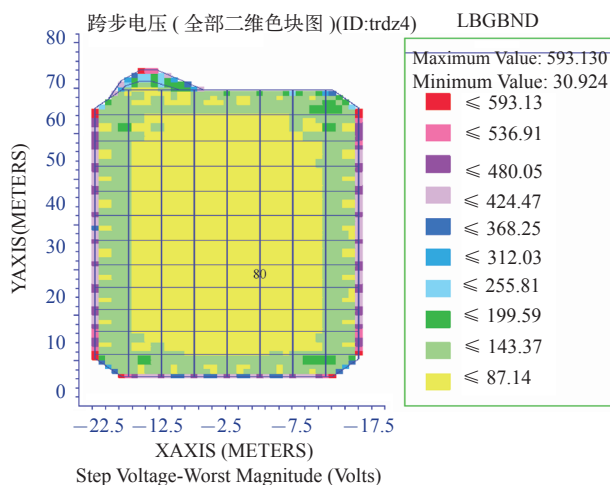


图5 变电站下方无地铁隧道的地网跨步电压分布
Fig. 5 Distribution of ground grid stepping voltage without metro tunnel under transformer substation

3.2 变电站下方有地铁隧道情况

变电站下方有地铁隧道的地网接触电压分布如图6所示。其中,接地电阻为 $0.483\ 10\ \Omega$ 。由图6可知,地网接触电压在 $90.329\sim 1\ 170.746\ \text{V}$ 之间,小于接触电压的安全值 $2\ 896.31\ \text{V}$ 。但相比于变电站下方无地铁隧道情况,接触电压呈上升趋势。

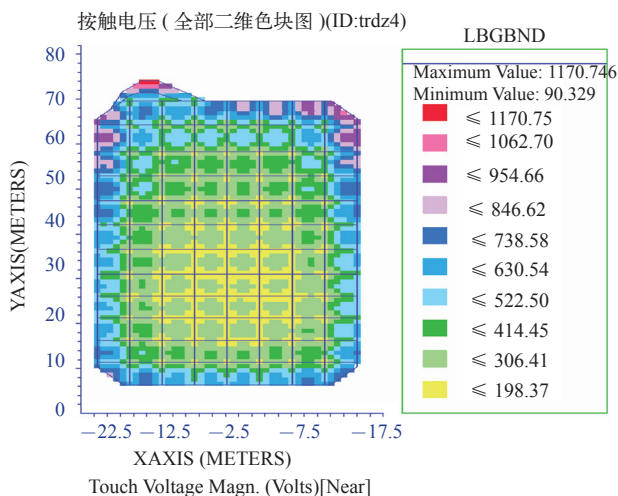


图6 变电站下方有地铁隧道的地网接触电压分布
Fig.6 Distribution of ground grid contact voltage with metro tunnel under transformer substation

图7为变电站下方有地铁隧道的地网跨步电压分布图。由图7可知,跨步电压在 $27.489\sim 693.443\ \text{V}$ 之间变化,小于跨步电压的安全值 $10\ 391.6\ \text{V}$ 。但相比于变电站下方无地铁隧道情况,跨步电压呈上升趋势。

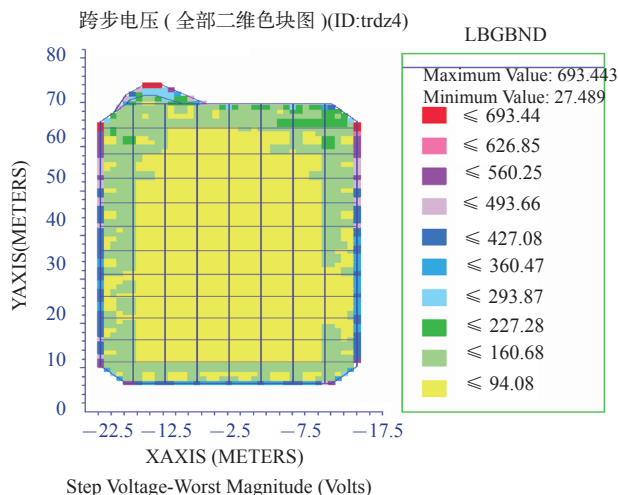


图7 变电站下方有地铁隧道的地网跨步电压分布
Fig.7 Distribution of ground grid stepping voltage with metro tunnel under transformer substation

3.3 允许的接触电压、跨步电压计算

采用GB/T 50065—2011《交流电气装置的接地设计规范》^[5],在 $110\ \text{kV}$ 及以上有效接地系统和 $6\sim 35\ \text{kV}$ 低电阻接地系统发生单相接地或同点两相接地时,发电厂、变电所接地装置的接触电位差和跨步电位差不应超过下列数值

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_f}{\sqrt{t}} \quad (1)$$

$$U_s = \frac{174 + 0.7\rho_f}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

式中, U_t 为接触电压差, V ; U_s 为跨步电压差, V ; ρ_f 为人脚站立处地表面的土壤电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; t 为接地短路(故障)电流的持续时间, s 。

t 取 $0.125\ \text{s}$, ρ_f 取 $5\ 000\ \Omega \cdot \text{m}$,代入得到接触电压安全值 $U_t=2\ 896.31\ \text{V}$,跨步电压差安全值 $U_s=10\ 391.6\ \text{V}$ 。

4 结束语

根据仿真计算结果,变电站下无地铁隧道与有地铁隧道时,变电站地网接地电阻值如表2所示。

根据计算,变电站下无地铁隧道与有地铁隧道的时地网接地电阻满足《110 kV变电站增容改造工程施工图设计说明书》中不大于 $0.5\ \Omega$ 的要求。

根据计算,变电站下无地铁隧道时,地网接

表2 变电站下有无地铁隧道的接地电阻值

Tab.2 Grounding resistance of transformer substation with or without metro tunnel

接地电阻	无地铁隧道	有地铁隧道
电阻 Ω	0.444 96	0.483 10

触电压在108.78~946.19 V之间, 小于接触电压的安全值2 896.31 V; 跨步电压在30.924~593.13 V之间, 小于跨步电压的安全值10 391.6 V。变电站下有地铁隧道的情况时, 地网接触电压在90.329~1 170.746 V之间, 小于接触电压的安全值2 896.31 V; 跨步电压在27.489~693.443 V之间, 小于跨步电压的安全值10 391.6V。地网接触电压与跨步电压均满足规范要求, 故地铁下穿110 kV变电站对变电站的安全性不构成影响。

参考文献

- [1] 杨禹太, 卢媛. 高土壤电阻率变电站接地网设计[J]. 低碳世界, 2016(31): 49-50.
YANG Yutai, LU Yuan. Grounding grid design for substation with high soil resistivity[J]. Low Carbon World, 2016(31): 49-50.
- [2] 李谦, 居一峰, 朱正国. 城区变电站地线分流特性对接地网设计影响的分析[J]. 电瓷避雷器, 2014(4): 103-110.

LI Qian, JU Yifeng, ZHU Zhengguo. Influence of fault current division characteristics of urban substation on its grounding grid design[J]. Insulators and Surge Arresters, 2014(4): 103-110.

- [3] 李谦. 大型接地网性能评价技术综述[J]. 广东电力, 2018, 31(8): 139-146.
LI Qian. Review on performance evaluation technology for large grounding grid[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(8): 139-146.
- [4] 水利电力西北电力设计院. 电力工程电气设计手册: 电气一次部分[M]. 北京: 中国电力出版社, 1989: 907-908.
- [5] 交流电气装置的接地设计规范: GB/T 50065—2011[S].

作者简介



马功民

马功民(1970—), 男, 高级工程师, 硕士学历, 从事工程建设管理工作。

(收稿日期: 2018—05—10)EA