

110kV 坦岭变电站接地网降阻改造

郑 万 欧阳力 刘郑哲 厉 军

(衡阳电业局, 湖南 衡阳 421008)

摘要 为了指导以后的工作, 总结了地网改造经验, 介绍了非均匀土壤地区 110kV 坦岭变的接地网改造概况。针对接地电阻超标的的不同变电站, 只有从个案的地质、地形等方面综合选择合适方案才能有效解决问题。

关键词: 变电站; 接地网; 接地电阻; 降阻改造

Resistance Reduction Retrofit of Grounding grids for 110kV Tanling Substation

Zheng Wan Ouyang Li Liu Zhengzhe Li Jun

(Hengyang Electric Power Bureau, Hengyang, Hu'nan 421008)

Abstract In order to guide future work, the article summarizes the experience in the grounding grids retrofit, introduces the heterogeneous soil area 110kV Tan Ling of grounding grids retrofit. In the light of grounding resistance exceed the standard of different substations, only from the geological topography and other aspects of case, comprehensive selection scheme can effectively solve the problem.

Key words: Substation; Grounding grids; Grounding resistance; Resistance Reduction Retrofit

110kV 坦岭变电站位于湖南南部丘陵地带, 畔山坡而建, 变电站坐落地区土壤以紫色土为主, 土层浅薄, 土层地质结构较为复杂, 原主地网面积 4053m², 接地网以不等格水平接地体为主, 埋深 800mm, 外圈网格交叉点辅以 2500mm 垂直接地体。变电站地网设计值为 1.2Ω, 2008 年 9 月投产时测试值为 2.8 Ω, 大大超过设计标准, 因该变电站投产供电压力大, 在对变电站操作道进行技术处理后, 跨步电势和接触电势达到安全要求及投入运行。但该变电站地处南岭北麓, 属雷电活动特别强烈区, 平均年雷暴日 76.3 天。因接地网不合格, 频繁的雷电活动对该站设备的安全稳定运行带来了极大的威胁。

1 改造方案确定

在实际工程设计中一般采取以下一种或几种综合降阻方法: 外延接地法、降阻剂法、深井降阻法、斜井降阻法、电解电极法、接地模块法、置换土壤法等。采取哪种降阻法, 必须具体分析个案, 对需降阻接地网所处环境情况进行综合分析, 采集各类

数据, 比对各种方案, 寻找经济技术指数最好的方案。

坦岭变电站地质自上而下分为 4 层, 第一层主要由紫色土组成, 层厚 1.5~2m, 第二层为粘土, 稍湿, 硬塑状态、干强度高、韧性高、分布连续均匀, 层厚 3~4m, 第三层为强风化泥质砂岩, 节理构造不清晰, 岩芯呈粉状和层块状, 含泥质, 手捏易碎, 层厚 2~6m, 第四层为中风化泥质砂岩, 泥质块状结构, 岩质较硬。因坦岭变为已投运变电站, 无法准确测量土壤电阻率, 选择离变电站 100m 处, 相同坡度, 相同地貌, 相同开挖程度的西南角一块工地测量土壤电阻率。用四极法测得土壤电阻率如表 1。

表 1 西南角土壤电阻率实测值

测量次序	似土壤深度/m	电阻/Ω	电阻率/(Ω·m)
1	2	33.91	426
2	4	18.15	456
3	6	10.16	383
4	10	5.53	347
5	12	5.56	419

从土壤电阻率测试结果可以看出，本站地质结构单一，表层土壤电阻率偏大是由于地层干燥引起的，土壤电阻率在4m内为逐渐升高趋势，平均土壤电阻率在 $400\Omega\cdot m$ 左右，4m到10m逐渐降低，最低值为 $347\Omega\cdot m$ ，然后呈逐渐升高趋势。

根据接地电阻公式：

$$R = 0.5 \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} \quad (1)$$

式中， ρ 为土壤电阻率， S 为接地网面积， R 为接地电阻。

平均土壤电阻率取 $400\Omega\cdot m$ ，可得出接地电阻计算值为 3.14Ω ，因为外圈网格交叉点辅以2500mm垂直接地体，有一定的降阻效果，根据实际经验，附加于水平接地网的垂直接地体，当深度无法和水平接地网的半径接近时，降阻效果为 $2.8\% \sim 8\%$ ^[1]。按最大降阻效果计算地网值应为 2.89Ω ，地网改造前实测值为 2.88Ω ，与理论值相符。

由式(1)可得需要接地网面积计算公式：

$$S = \left(\frac{0.5\rho}{R} \right)^2 \quad (2)$$

通过式(2)可以计算出，在埋设深度一致，材料方式一致的情况下，接地电阻达到设计的 1.2Ω 需要接地网面积 $27778m^2$ ，远大于原地网的 $4053m^2$ ，如果单纯的采取扩大接地网面积来降阻则需四周扩大52m。存在费用、征地、施工等难度，不可能实现。

通过走访当地农民，了解到坦岭变地址东北角原有一口长行池塘。通过东北角护坡测量了解到东北角的开挖深度为1.8m，开挖1m深未见塘泥。通过地形勘测，沿变电站东边围墙一直往北延伸，为两座山脊之间的山坳。离变电站东北角100处测得土壤电阻率见表2。

表2 东北角土壤电阻率实测值

测量次序	似土壤深度/m	电阻/ Ω	电阻率/($\Omega\cdot m$)
1	2	11.82	148
2	4	6.23	156
3	6	4.43	167
4	10	3.17	199
5	12	2.35	177

通过表2可以得出，东北角的土壤明显好于西南角土壤。

因为条件和检测手段，未检测更深层土壤的土壤电阻率。通过已知的数据可以分析，该变电站东面及北面土壤电阻率偏低，更深土层中也可能存在

低土壤电阻率的土层。因为外延地网需与周边土地使用者签订赔偿协议，从成本角度考虑，首先在变电站内采用深井技术将该地网改造成近似半球型接地体，在开挖深井过程中对垂直接地极上部土壤进行更换。如果降阻效果不明显，再实施东北角地网外延和深井技术相结合的改造。

2 改造施工工程

2.1 方案1：站内深井技术

本方案的重点是在变电站四周及中间开挖五个外径2m，内径1.5m，深1.5m的环形竖井。在每个环形竖井中均匀打入6根垂直接地极。垂直接地极的打入深度为25~35m不等。垂直接地极使用材料为波兰伽尔玛(Galmar)接地棒，由纯度达99.9%的电解铜分子覆盖到低碳钢芯上制成，接地棒直径为14.2mm，铜镀层厚度为0.250mm。在六根接地棒上离地80mm处，用30mm×4mm镀铜扁钢环接后与原主接地网连接(双连接)。处理好各焊接点及防腐处理后用低土壤电阻率的稻田土回填。

接地电阻通常由三部分组成：①接地装置本身的金属电极电阻；②接地装置与土壤之间的接触电阻；③接地装置经土壤向外扩散的散流电阻。忽略金属电极电阻和接触电阻，关于半球型接地体的接地电阻，我们只近似计算其散流电阻，采用文献[2]给出的参考计算模型，其散流电阻 R_s 为：

$$R_s = \int_r^\infty \frac{\rho}{2\pi r^2} dr \quad (3)$$

式中， ρ 为土壤电阻率， $\Omega\cdot m$ ； r 为半球形接地体半径， m ； R_s 为散流电阻， Ω 。

按式(3)计算出不同电阻率下改造后的接地电阻如表3，如取平均土壤电阻率 $400\Omega\cdot m$ ，则改造后接地电阻将达到 0.71Ω 。

表3 直径为30m半球型接地体接地电阻在不同
电阻率土壤中的近似计算结果

序号	土壤电阻率/($\Omega\cdot m$)	接地电阻/m
1	400	0.71
2	300	0.53
3	200	0.36
4	100	0.18

实际施工过程中，站内设备构架影响接地极不可能均匀分布，地质结构等原因造成接地极压入深度不一致等，因此该接地体不能视为半球型接地体，只能按照垂直接地体与环形接地网并联后接地电阻

推算方式来计算总个接地网的接地电阻。

单个垂直接地体的接地电阻计算公式为^[3]:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right) \quad (4)$$

式中, R 为垂直接地极的接地电阻, Ω ; ρ 为土壤电阻率, $\Omega \cdot m$; L 为垂直接地极的长度, m ; d 为接地极用圆导体时, 圆导体的直径, m 。

按式(4)计算出土壤电阻率为 $400 \Omega \cdot m$ 时, 接地极压入深度不同时的接地电阻见表 4。

表 3 直径为 $0.0142m$ 接地极在 $400 \Omega \cdot m$ 电阻率

土壤中不同深度的接地电阻计算结果

序号	深度/m	接地电阻/ Ω
1	5	88.5
2	10	48.6
3	15	34.1
4	20	26.5
5	25	21.8
6	30	18.5
7	35	16.2

表 4 1—4 号接地井各接地极接地电阻

1号接地井			2号接地井			3号接地井			4号接地井		
接地极编号	深度/m	电阻值/ Ω									
1	15	12.13	1	16.2	15.3	1	16.2	48.3	1	27	19
2	10.2	22.18	2	21	11.4	2	13.8	96.5	2	25.8	24
3	9	23.5	3	15	19.3	3	11.4	40.3	3	30.5	17
4	10.2	20.3	4	21	9.23	4	12.6	56	4	18.6	34
5	11.4	15.5	5	21	7.28	5	10.2	59.1	5	16.2	30.1
6	9	20.8	6	19.8	8.75	6	10.2	51.7	6	19.8	18.9

表 5 1—4 号接地井各接地极平均土壤电阻率

1号接地井			2号接地井			3号接地井			4号接地井		
接地极编号	深度/m	土壤电阻率/ $(\Omega \cdot m)$	接地极编号	深度/m	土壤电阻率/ $(\Omega \cdot m)$	接地极编号	深度/m	土壤电阻率/ $(\Omega \cdot m)$	接地极编号	深度/m	土壤电阻率/ $(\Omega \cdot m)$
1	15	143	1	16.2	191	1	16.2	605	1	27	373
2	10.2	185	2	21	179	2	13.8	1051	2	25.8	453
3	9	176	3	15	226	3	11.4	371	3	30.5	372
4	10.2	169	4	21	145	4	12.6	563	4	18.6	481
5	11.4	143	5	21	115	5	10.2	494	5	16.2	377
6	9	156	6	19.8	131	6	10.2	432	6	19.8	282

通过表 5 数据推测, 1、2 号接地井整体土壤电阻率较低, 但在 $10\sim20m$ 深处均未发现地下水分布,

通过文献[4]得知, 在大中型地网降阻过程中, 在均匀土壤中, 均匀带交叉点打入垂直接地体的降阻效果为 $23.8\%\sim53.5\%$, 沿接地网四周打入垂直接地体的降阻效果为 $22\%\sim52.4\%$ 。实际施工图如图 1。1—5 号井每个深井压入 6 根垂直接地极, 每根接地极压入后, 均测量了单根接地极的接地电阻, 见表 4。

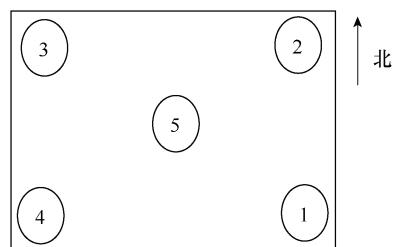


图 1 坦岭变深井垂直接地体施工简图

不考虑干扰和屏蔽, 通过电阻实测值推算 1—4 号接地井各接地极平均土壤电阻率见表 5。

3 号、4 号接地井整体土壤电阻率很高, 在 $10\sim30m$ 深处也未发现地下水分布, 可以预计本次改造降阻

效果不是特别明显。在对 5 号接地井施工完毕后，又在变电站周围加敷一条封闭接地环网，于 2012 年 6 月 28 日对主接地网接地电阻进行了一次测试，测试结果为 1.55Ω ，降阻效果为 46.2%。

2.2 方案 2：地网外延和外部深井结合

按施工方案计划及设计，在变电站东北角离主地网外围 20m 处山坳内，沿山坳走向敷设一条长 40m，宽 10m 的方形地网，网格设置为 $10m \times 10m$ ，在每个均匀带交叉点压入垂直接地极。对每根接地极压入后均测试其接地电阻如表 6。

表 6 外延地网垂直接地极接地电阻

接地板 编号	深度/m	接地电阻 测试值/ Ω	平均土壤电阻率 计算值/($\Omega \cdot m$)
1	21	9.2	145
2	18.6	10.5	148
3	22.2	9.16	151
4	21	9.66	152
5	22.2	8.48	140
6	19.8	10.4	155
7	20.1	9.85	149
8	23	8.52	145
9	22	8.56	140
10	20.3	9.23	141

施工完毕后，该外延地网通过 $30mm \times 4mm$ 镀铜扁钢环接后与原主接地网双连接。于 2012 年 7 月 13 日对变电站地网进行重新测试，测试结果为 0.61Ω ，远低于设计要求 1.2Ω ，降阻效果明显，外延地网降阻率为 60.6%，改造工程总降阻率为 78.9%。

News 新闻与动态

中电投国内最大水光互补光伏电站进入机电安装阶段

近日，国内最大的水光互补光伏电站——中电投集团青海龙羊峡水光互补 320MW 并网光伏电站工程在完成土建工程后，全面进入机电安装阶段。

该电站位于青海省海南州共和县境内，是目前国内在建最大的水光互补光伏电站，以一回路 $330kV$ 接入已建成的龙羊峡水电站联合运行，每年可将 4.98 亿 kWh 的绿色能源

3 结论

通过技术人员的摸索和努力，坦岭变电站接地网降阻改造取得了预期效果。通过此次改造工程，得出如下结论：在深层土层中如果不含地下水或土壤电阻率很低的土层时，在原接地网外沿或均压带交叉点采用深井技术，打入垂直接地体有一定的降阻效果，但均不超过 50%，对于降阻要求较高的变电站，该方法不适用，只能作为辅助降阻措施。当降阻要求大，变电站周边地形地貌环境无法进行辐射性地网外延时，我们应考虑地网外延加深井技术，在变电站周边找到低土壤电阻率区域，敷设小型地网并在外延地网的均压带交叉点打入垂直接地体，垂直接地深度宜直接触到地下水或土壤电阻率很低的土层为佳。在采用该技术降阻时，应做好前期地形地貌、土壤特性调查采集工作，并进行理论计划，以免造成不必要的材料浪费；同时还应注意外延地网的跨步电势等问题，避免运行过程中造成外部人、畜安全事故。

参考文献

- [1] 谢姚良铸. 110kV 变电站立体接地网设计问题分体[J]. 中国电力, 2002, 35(11): 57-59.
- [2] 潘红武. 变电所接地技术探讨[J]. 湖州师范学院学报, 2006, 28(3): 130-136.
- [3] 潘东华. 变电站三维立体接地网技术的应用分析[J]. 上海电力, 2004 (3): 248-249.
- [4] 郑志煜, 杜忠东, 何平. 垂直接地体对大中型接地网降阻的计算[J]. 高电压技术, 2003, 29(7): 19-20.

作者简介

郑 万 (1979-), 男, 湖南岳阳, 本科, 工程师, 衡阳电业局。

输送至西北电网。该工程的建设不仅可改善青海省海南地区能源结构、增加可再生能源的比例，而且对促进青海少数民族地区经济可持续发展具有极为重要的战略意义。

工程于今年 3 月份开工，目前支架已安装 72 个子阵，组件已安装 32320 片，开挖电缆沟 3 万多米，接地扁铁敷设 2 万多米，汇流箱支架安装 416 个。