

A Design of Electrochemical Protection for the Tower Based on Vibration-Power Generating of Lines

Ming Ge, Jinda Mao, Chen Zhang, Yiping Shang, Jiachen Bian, Yueming Liu, Wenbin Wu*

College of Energy, Nanjing University of Technology, Nanjing
Email: 1366254112@qq.com, wwb_china@163.com

Received: Jul. 16th, 2014; revised: Jul. 29th, 2014; accepted: Aug. 5th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

At present, a kind of specially designed hammer is widely adopted for solving the problem of the breeze vibration of transmission line in the utility industry. However, it fails to make better use of the energy of vibration of the lines in the air. Meanwhile, in the corrosive environment where corrosion happens universally, the tower is damaged because of the serious corrosion and the service cycle is largely shortened, leading to more financial resources. In view of these above problems, according to the electromagnetic induction, this design tries realizing the conversion from vibration energy of lines to electric energy, which can be used to protect the feet of the tower on the basis of electrochemical protection principle. Auxiliary positive pole, commutator and other components are combined to establish the loop, and the feet of tower are in negative potential (about $-0.85\text{ V} - -1.3\text{ V}$), which can ensure the tower not to be corroded in the erosive atmosphere. This device does not need external energy and it is safe and reliable. So it is a kind of available design and worthy of being generalized.

Keywords

Vibration of Line, Vibration-Power Generating, Corrosion, Electrochemical Protection

基于输电线振动发电的铁塔电 化学防腐装置设计

*通讯作者。

葛 铭, 茅锦达, 张 晨, 商一平, 卞嘉晨, 刘月明, 武文彬*

南京工业大学能源学院, 南京

Email: 1366254112@qq.com, wwb_china@163.com

收稿日期: 2014年7月16日; 修回日期: 2014年7月29日; 录用日期: 2014年8月5日

摘 要

目前,国内外针对输电线的微风振动普遍采用加装防震锤减震技术,但未能将输电线的震动能加以利用。同时,强腐蚀性环境中铁塔锈蚀严重,铁塔的使用寿命因此大打折扣。本设计针对以上问题,尝试利用磁电感应原理将输电线的微风振动能量转化为电能,用于塔脚的电化学防腐。通过辅助阳极、整流器等部件构建回路,使塔脚位于 $-0.85\text{ V}\sim-1.3\text{ V}$ 的绝对负电位中,从而阻碍腐蚀性离子与铁塔的接触,达到防腐的效果。本装置不需要外部能源,安全可靠,是一种有很高推广价值的设计。

关键词

导线振动, 位移发电, 腐蚀, 电化学防腐

1. 研究背景

输电线常年处于微风振动状态,具有振幅小、频率高、破坏大的特点,对铁塔的整体强度提出了很高的要求。为此,国内外普遍采用加装防震锤的方法,通过防震锤内的分子热运动将导线的振动能量消耗,来达到减弱振动的目的,但减震效率不高,而且未能将这部分能量加以利用。

同时,在沿海等高含盐量土壤中,由于混凝土为多孔材料,因此铁塔根部与混凝土基础的结合处腐蚀最为严重[1],易发生基础混凝土氧化剥落、露筋及基础地脚螺栓锈蚀等现象。而以热镀锌为主的传统防腐措施不能很好地解决以上问题[2]。“基于输电线振动发电的铁塔电化学防腐装置设计”着眼以上两点问题,利用电磁感应原理,通过导线的垂直振动带动线圈上下振动,切割磁感线发电。发电装置内的弹簧也起到隔离输电线振动的作用,从而减缓输电线对于铁塔的疲劳破坏,降低对铁塔强度的要求[3]。同时,借助所产生电能,利用“外加电流的阴极保护法”技术,有效降低铁塔的腐蚀速率,节约钢材资源。

2. 设计方案

2.1. “基于输电线振动发电的铁塔电化学防腐装置设计”组成

如图 1 所示,“基于输电线振动发电的铁塔电化学防腐装置设计”主要有发电装置和防腐装置两部分。

2.2. “基于输电线振动发电的铁塔电化学防腐装置设计”工作回路

2.2.1. 输电线振动发电回路

主要部件见图 2。

输电线发电装置外壳为圆柱形,直径与绝缘子相近,装在塔体横担与绝缘子之间。外罩的材质为 Q235 (表面镀锌并涂覆防锈漆),防止外界磁场等其它因素的干扰,起到了磁轭的作用。

装置内部装有刚性弹簧(取刚度系数 $k = 2 \times 10^7\text{ N/m}$)[4],弹簧顶端与外罩顶端固连,下端连接限位托

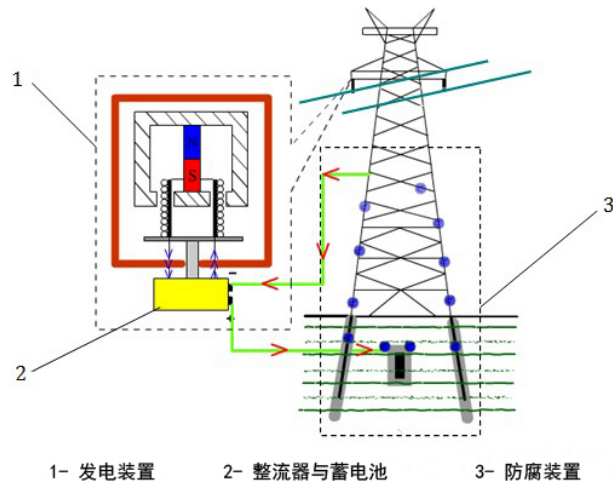


Figure 1. A design of electrochemical protection for the tower based on vibration-power generating of lines
图 1. 基于输电线振动发电的铁塔电化学防腐装置设计

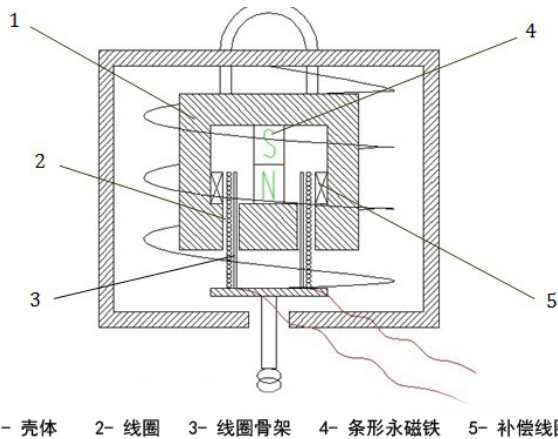


Figure 2. The internal map for vibration generator
图 2. 振动发电装置内部示意图

盘，对弹簧位移起限制作用。托盘下端通过连杆连接绝缘子，托盘上端固定线圈骨架。线圈骨架置于壳体气隙中，壳体与外罩顶部固定。

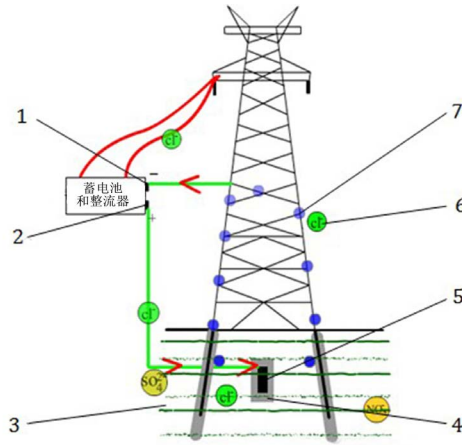
工作原理为高压输电线由于微风等外在因素引起振动，部分振动能通过绝缘子和连杆等刚性结构传递给刚性弹簧。弹簧下端连接限位托盘，从而带动托盘上的线圈骨架随弹簧在壳体气隙中上下振动，切割磁感线产生电流，满足弹簧的 $w_0/w_n > 2(w_0 = 2\pi f, w_n = \sqrt{k/m})$ [4]，能够隔离输电线的振动，从而减缓输电线对于铁塔的疲劳破坏。

2.2.2. 电化学防腐回路

主要部件见图 3

蓄电池的正极连接辅助阳极(辅助阳极材料为石墨，如有需要也可以选用废旧钢铁、铝、锌等材料；置于铁塔四脚支柱中心，埋深为铁塔地下深度的一半)，辅助阳极外填充以焦炭为材质的填料(焦炭阳极床的设置可以显著降低辅助阳极材料的实际消耗率，从而延长阳极块的使用寿命)。

蓄电池负极与铁塔中下部相连(采用刨焊工艺，使导线与铁塔内部钢材直接相连，从而可以忽略接触电阻)，以便于更好地保护腐蚀较为严重的土壤中塔脚[5]。



1- 蓄电池负极 2- 蓄电池正极 3- 土壤 4- 焦炭为主填料的阳极床
5- 石墨为主的阳极块 6- 环境中的腐蚀性离子 7- 电子

Figure 3. The internal map for vibration generator
图 3. 振动发电装置内部示意图

工作原理为蓄电池负极与铁塔相连,使塔体保持在 $-0.85\text{ V}\sim-1.3\text{ V}$ 的绝对负电位,阻碍环境中的 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等腐蚀性离子与塔体接触。更为重要的是,对土壤中的塔脚起到了电化学防腐的作用,延长塔体的使用寿命[6]。

3. 理论分析

3.1. 铁塔电化学防腐功率分析

根据国家标准规定,铁塔底部支柱可简化为直径 $d = 0.1\text{ m}$,长度 $L = 4\text{ m}$ 的圆柱体。

塔脚外表面积: $S_1 = \pi dl = 0.4\pi$ 。

铁塔保护电流密度[7]: $i = 10\text{ mA/m}^2$,

单根塔体支柱电流: $I_1 = iS_1 = 12.5\text{ mA}$,

回路总电流: $I = 4I_1 = 50\text{ mA}$ 。

所需阳极块质量: $G_t = TgI/K = 0.201\text{ kg}$,

所需阳极块体积: $V = G_t/\rho = 95.8\text{ cm}^3$ 。根据资料,取直径 $d_{\text{石墨}} = 3\text{ cm}$,长度 $L_{\text{石墨}} = 20\text{ cm}$ 的石墨体作为阳极块。

埋深 $t = 1.9\text{ m}$,直径 $D_{\text{焦炭}} = 20\text{ cm}$,

长度 $L_{\text{焦炭}} = 60\text{ cm}$ 的焦炭作为阳极床。

查阅资料[8]

土壤电阻率: $\rho_{\text{土壤}} = 200\ \Omega \cdot \text{m}$

焦炭电阻率: $\rho_{\text{焦炭}} = 50\ \Omega \cdot \text{m}$

混凝土电阻率: $\rho_{\text{混}} = 300\ \Omega \cdot \text{m}$

阳极: 石墨与焦炭的接触电阻:

$$R_{V1} = \frac{0.0171\rho_{\text{焦炭}}}{L_{\text{石墨}}} \times \ln\left(\frac{8L_{\text{石墨}}}{d_{\text{石墨}}} - 1\right) = 12.72\ \Omega \quad (1)$$

焦炭与土壤的接触电阻[9]:

$$R_{V2} = \frac{\rho_{\text{土壤}}}{2\pi L_{\text{焦炭}}} \times \ln \frac{2L_{\text{焦炭}}}{D_{\text{焦炭}}} \times \sqrt{\frac{4t + 3L_{\text{焦炭}}}{4t + L_{\text{焦炭}}}} = 102.47 \Omega \quad (2)$$

阳极电位:

$$U_1 = I(R_{V1} + R_{V2}) = 5.794 \text{ V} \quad (3)$$

阴极: 铁塔与混凝土的接触电阻:

$$R_{V3} = \frac{\rho_{\text{混}}}{2\pi l} \times \ln \frac{4l}{d} = 60.582 \Omega \quad (4)$$

混凝土与土壤的接触电阻:

$$R_{V4} = \frac{\rho_{\text{土壤}}}{2\pi l} \times \ln \frac{4l}{D} = 27.58 \Omega \quad (5)$$

阴极电位:

$$U_2 = -I_1(R_{V3} + R_{V4}) = -1.1 \text{ V} \quad (6)$$

电化学防腐消耗功率:

$$P' = I(U_1 - U_2) = 0.34 \text{ W} \quad (7)$$

电化学防腐所需功率:

$$P = \frac{P'}{\eta} = 0.4954 \text{ W} \quad (8)$$

(η 为电源效率, 此处取 0.7)

3.2. 发电功率设计

输电线振动发电装置采用速度传感器中动圈式结构, 永久磁铁和发电装置外壳固定, 线圈相对于传感器壳体运动。工作气隙宽度 $d = 5 \text{ mm}$, 工作气隙中的磁感应强度 $B = 0.1 \text{ T}$, 每层线圈匝数为 60 匝, 有效工作匝数为 40 匝, 共绕 7 层。

每圈线圈有效电动势:

$$E_1 = BLv = 0.01037 \text{ V} \quad (9)$$

总电动势:

$$E = 7 \times 40 \times E_1 = 2.903 \text{ V} \quad (10)$$

线圈电阻:

$$R = \rho \frac{L}{S} = 6.0984 \Omega \quad (11)$$

发电功率:

$$I = \frac{E}{R} = 0.476 \text{ A} \quad (12)$$

$$P = EI = 1.382 \text{ W} \quad (13)$$

由上述理论分析, 输电线振动发电装置的发电功率大于铁塔电化学防腐所需功率, 但考虑到微风振动的不稳定性及装置的转换效率[10], 以及限位装置和蓄电池装置的作用, 本方案满足设计要求。

4. 实验论证

用 1:1 的浓盐酸配置体积 200 ml 的低浓度的酸性溶液来模拟现实环境中的土壤(平均 PH 值为 4)，通过直流电源控制铁块处于-1.2 V[11]的绝对负电位，起到电化学保护的效果。铅芯模拟辅助阳极，与铁块构成电流回路[12]。

配置好的酸性溶液电阻值约为 700 Ω，在本实验中足够大，可以不用考虑溶液回路的短路。通电后，测得回路中的电流处于 mA 级，位于电化学保护的电流最佳范围内(0~20 mA)。

实验共设置两组。A 组：电化学保护组；B 组：化学腐蚀组。通过测量铁块每 4 天的减重量，算出两组的腐蚀速率，通过腐蚀速率来验证本装置设计的可行性。序号 0 表示铁块原重，序号 1、2、3、4、5 分别表示每次测量值(表 1)。

通过比较图 4 中 A、B 两曲线的斜率，可以得出 A 组的腐蚀速率小于 B 组的斜率，即-1.2V 的绝对负电位和配套的电路设计确实能缓解腐蚀环境中的铁片腐蚀，以此类推，铁塔防腐也可用这一原理。“基于输电线振动发电的铁塔电化学防腐装置设计”能达到预期效果。

5. 结论

“基于输电线振动发电的铁塔电化学防腐装置设计”巧妙地将高压输电线振动能量转化成电能，实

Table 1. A, B group comparison test data
表 1. A、B 组对比试验数据

序号	A 组/g	相对腐蚀率/%	B 组/g	相对腐蚀率/%
1	97.8886	0	96.1005	0
2	97.2107	0.6925%	95.4033	0.7255%
3	96.4466	0.7860%	94.6080	0.8336%
4	95.6138	0.8635%	93.7139	0.9451%
5	94.7124	0.9428%	92.7270	1.0531%
6	93.7271	1.0403%	91.6905	1.1178%

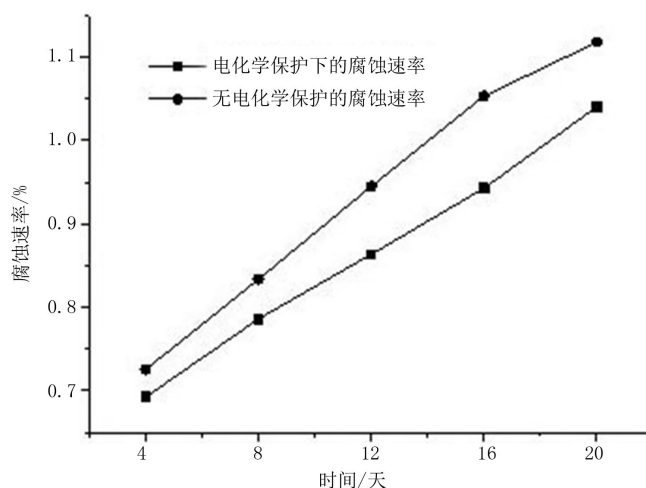


Figure 4. A, B group corrosion rate comparison
图 4. A、B 组腐蚀速率对比

现了能量的回收，通过对发电功率的研究可知 1.4 W 的功率足以满足要求，降低了对发电装置的要求。同时针对现有铁塔防腐技术的缺陷，大胆利用“外加电流的阴极保护法技术”对铁塔进行电化学防腐蚀保护[13]，通过实验证明，设计的电位 $-0.85\text{ V}\sim-1.3\text{ V}$ 能很好地减缓腐蚀速率，实现电能的合理利用，在铁塔防腐方面开拓了新思路。

参考文献 (References)

- [1] 郭军科, 卢立秋, 宋卓, 等 (2007) 高压输电线路铁塔的全化学防腐处理. *华北电力技术*, **A01**, 153-156.
- [2] W.V 贝克曼, W.施文克, W.普林兹 (2005) 阴极保护手册. 化学工业出版社, 北京.
- [3] 毛晓桦 (2007) 输电线路设计基础. 中国水利水电出版社, 北京.
- [4] 李有堂 (2012) 机械振动理论与应用. 科学出版社, 北京.
- [5] 吴萌顺, 郑家燊 (2006) 电化学保护和缓蚀剂应用技术. 化学工业出版社, 北京.
- [6] 纪明, 宋奎山, 苏靖宇 (2008) 滨海地区变电站地下混凝土结构防腐抗渗研究. 武汉大学, 武汉.
- [7] 杨云锦 (1980) 导线防震的简化计算. *煤矿设计*, **3**, 23-26.
- [8] 王凤平, 康万利, 敬和民, 等 (2008) 腐蚀电化学原理、方法及应用. 化学工业出版社, 北京.
- [9] 王江鸿, 唐全 (2010) 汕头海湾大桥混凝土结构防腐涂装工艺. *中国新技术新产品*, **9**, 49.
- [10] 崔国柱, 郑玉实, 刘加友 (2008) 输配电线路采用节能型金具的研究与应用. 京津冀晋蒙鲁电机工程(电力)学会第十八届学术会议.
- [11] 杨海艳, 孟彦京, 李伟冰, 等 (2009) 振动传感器特性及其在风力发电机中的应用. *技术与应用*, **2**, 27-31.
- [12] 李兴利, 李卫东, 张玉峰 (2008) 沿海地区地下结构混凝土防腐技术研究及处理措施. 武汉大学, 武汉.
- [13] 郭文斗, 张俊丽 (2006) 阴极保护在埋地钢管道中的应用. *水科学与工程技术*, **B10**, 53-54.