

# 海风盐雾对风力发电机组的危害及防治措施

随着二十世纪后期科学技术的迅猛发展， 一些新技术成果投入运用和新型材料的相继开发成 功，风力 发电机组 单机容量已从先前的几百瓦发展到如今的几兆瓦。 风能已成为当前技术最

成熟、 最具备规模开发条件的可再生洁净能源。 风能发电 不排放任何污染物， 可以减轻环境污染， 节约矿物资源，实现清洁生产，为构建和谐社会提供坚实的物质基础。由于风力发电

机组是利用风能发电， 空气中的有害物质自然会带来对设备不利的负面影响。 本文将针对空气中的 盐雾 危害问题做出深入探讨，为提高设备可利用率建言献策。

1. 盐雾的形成

空气中能容纳一定量的水汽，气温愈高， 空气中所能容纳的水汽愈多， 反之愈少。 当空气温度低到不能容纳原先所含有的水汽时， 过剩的水汽便凝结成小水滴。 沿海地区空气中含有大量随海水蒸发的盐分，其溶于小水滴中便形成了浓度很高的盐雾。

1. 盐雾的腐蚀特点
   1. 盐雾中的主要成分为 NaCl ，而 NaCl 的溶液中是以 Na＋和 Cl －的形态存在的，由盐雾技术研究的 “集成电路的可靠性试验 ”得知盐雾的沉积率与 Cl －的浓度成正比关系。

所以在含盐浓度高的海边， 其沉积率也很大， 高浓度的盐雾自然成为 NaCl 溶液的载体。

* 1. 而由试验又可以知道盐雾的腐蚀作用受到温度和盐业浓度的影响， 当温度在 35 摄氏度，盐液浓度在 3% 时其对物体的腐蚀（化学反应）作用最大。盐雾中高浓度的（ NaCl ）迅速分解为 Na+离子和活跃的 Cl －离子与分子式很活跃的金属材料发生化学反应生成强酸性的金

属盐，其中的金属离子与氧气接触后又还原生成较稳定的金属氧化物。

另外，任何金属材料在介质中都有自己的腐蚀电位， 在同一种介质中电位越正的金属其活性就差， 金属就不易腐蚀。 目前用于风力发电机组设备上的主要为铁、铝、铜等活性极强的金 属材料。

由上面所述得出结论是，盐雾对金属物的腐蚀破坏主要条件有：浓度、温度、含氧量、腐蚀电位。

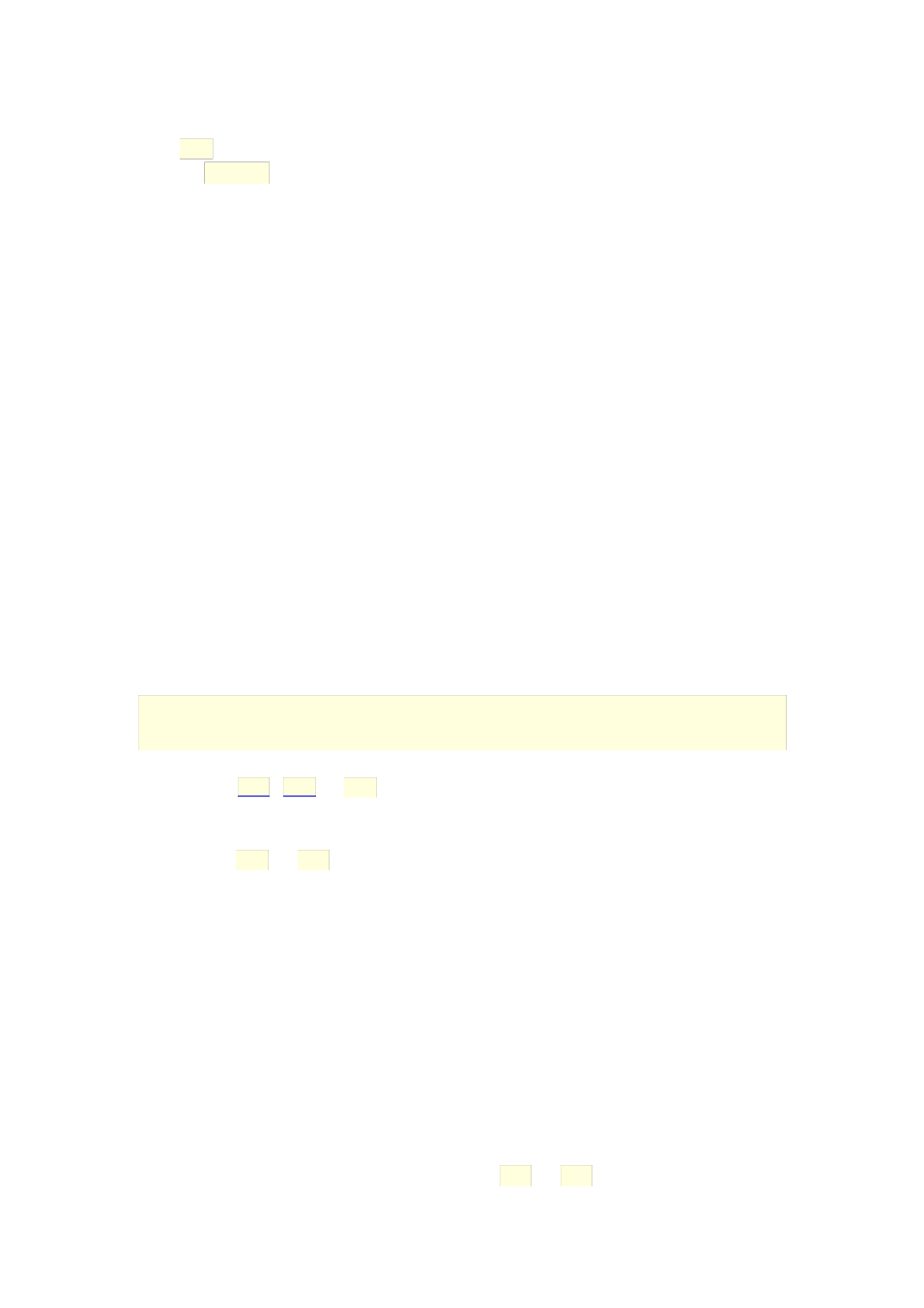
3、盐雾对风力发电机组的危害

我国东南部沿海， 属南亚热带季风气候区， 多年年平均气温都在 20℃以上， 年平均最高气温 26℃，年平均最低气温 19℃左右。盛行的海陆风把含有盐分的水汽吹向风电场与设备

元器件大面积接触，这些因素使设备受盐雾腐蚀的速度大大加快。

盐雾给风力发电机组带来的危害主要为：

* 1. 盐雾与空气中的其他颗粒物在叶片静电的作用下，在叶片表面形成覆盖层，严重的影响叶片气动性能，产生噪音污染和影响美观。
  2. 经过一系列的化学反应后使设备原有的强度遭到破坏， 使风力发电机组的承受最大载荷的能力大大降低，使设备不能达到设计运行要求，给设备安全运行带来严重后果。
  3. 盐雾与设备电器元件的金属物发生化学反应后使原有的载流面积减小， 生成氧化合物使电气触点接触不良， 它们将导致电气设备故障或毁坏。 给风场的安全、 经济运行造成大的影响。



4、对盐雾的防护措施

针对风力发电机组的实际运行环境， 结合现有技术趋势， 综合考虑经济因素后提出具有较强性价比的几点防腐保护措施：

* 1. 应用金属压延防腐处理技术在材料剪切加工过程中时，使材料端面形成保护膜。
  2. 使用锌铬膜（达克罗）涂层工艺技术对设备金属表面处理。其防锈机理为： (1) 锌粉的受控自我牺牲保护作用 ； (2) 铬酸在处理时使工件表面形成不易被腐蚀的稠密氧化膜； (3) 层层覆盖的锌片相互叠加的涂层形成了屏蔽了作用，增加了侵入者到达工件表面所经过的路

径。而且 ,由于达克罗干膜中铬酸化合物不含结晶水 ,其抗高温性及加热后的耐蚀性能也很好。

* 1. 在叶片表面喷涂光触媒涂料，它利用阳光、雨水、空气作为基本反应介质，使污染物附着后被分解达到防雾、自清洁目的；
  2. 经常巡查、发现设备出现腐蚀情况后及时用新型环保的金属表面涂装前处理剂进行处

理，因为它能迅速与基材金属发生反应生成络合物， 在金属表面形成致密单分子保护膜， 阻止氯等物质对金属的侵蚀，其后涂上高性能的纳米涂料。

* 1. 对电气元器件集中的区域进行密封防潮、降温保护以减缓腐蚀速度。

随着科技的进步，许多技术难关的突破， 将会有更多的新材料、新技术投入使用， 将给设备防腐带来新的技术保障。

# 盐雾对风力发电机组的危害及对策

摘要随着二十世纪后期科学技术的迅猛发展， 一些新技术成果投入运用和新型材料的相继开发成功，风力 电机 '>电机 '> 发电机组单机容量已从先前的几百瓦发展到如今的几兆瓦。风能

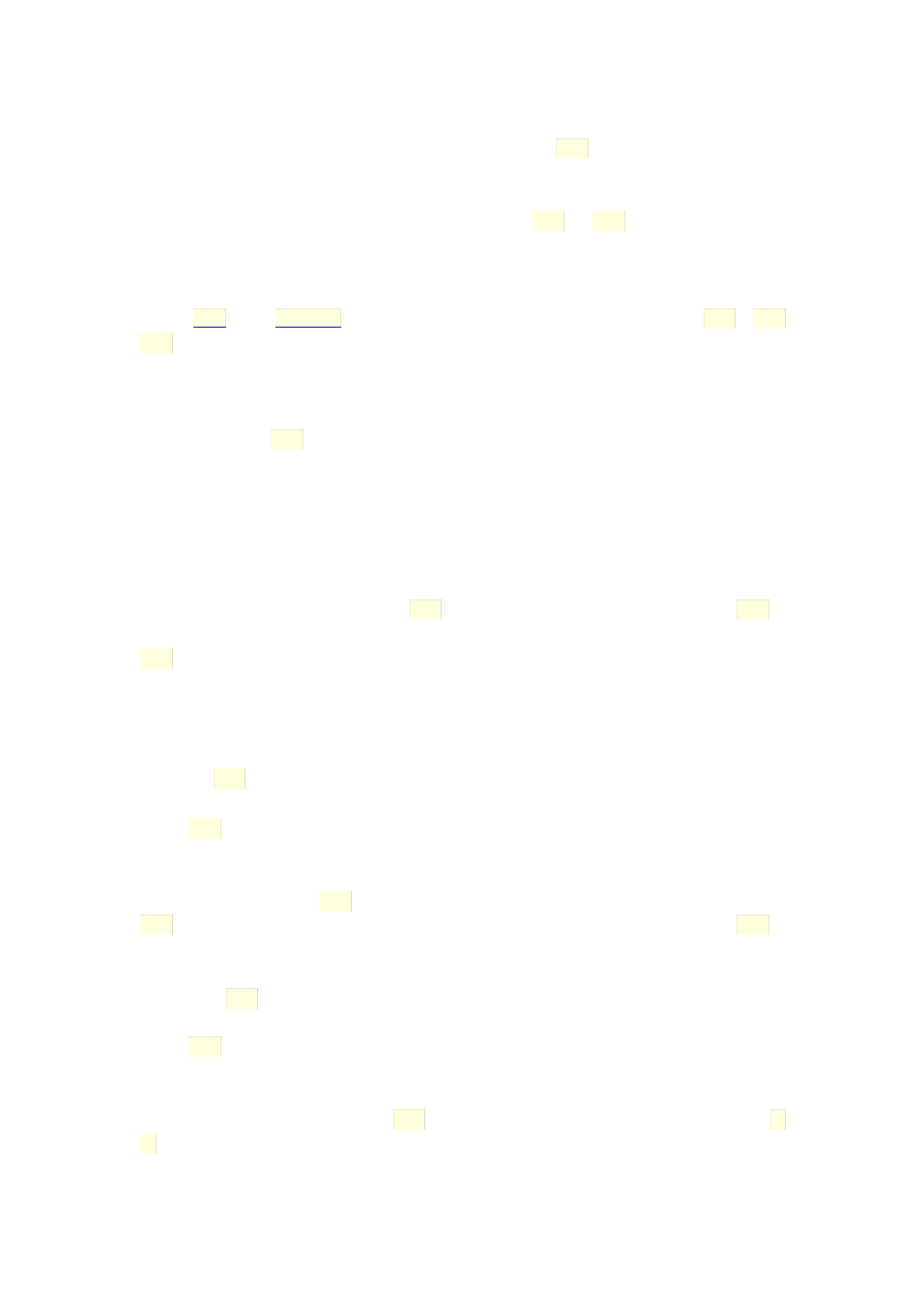
已成为当前技术最成熟、 最具备规模开发条件的可再生洁净能源。 风能发电不排放任何污染物，可以减轻环境污染， 节约矿物资源， 实现清洁生产， 为构建和谐社会提供坚实的物质基础。由于风力电机 '> 发电机组是利用风能发电，空气中的有害物质自然会带来对设备不利的

负面影响。本文将针对空气中的盐雾危害问题做出深入探讨， 为提高设备可利用率建言献策。

1 盐雾的形成空气中能容纳一定量的水汽，气温愈高，空气中所能容纳的水汽愈多，反之愈

少。当空气温度低到不能容纳原先所含有的水汽时， 过剩的水汽便凝结成小水滴。 沿海地区空气中含有大量随海水蒸发的盐分，其溶于小水滴中便形成了浓度很高的盐雾。 2 盐雾的腐蚀特点 2.1 盐雾中的主要成分为 NaCl ，而 NaCl 的溶液中是以 Na ＋和 Cl －的形态存在的，由盐雾技术研究的 “集成电路的可靠性试验 ”得知盐雾的沉积率与 Cl －的浓度成正比关系： 所以在含盐浓度高的海边，其沉积率也很大，高浓度的盐雾自然成为 NaCl 溶液的载体。 2.2而由试验又可以知道盐雾的腐蚀作用受到温度和盐业浓度的影响， 可由下面两图说明： 由上图可以得出，当温度在 35 摄氏度，盐液浓度在 3 时其对物体的腐蚀 （化学反应）作用最大。盐雾中高浓度的（ NaCl ）迅速分解为 Na 离子和活跃的 Cl －离子与分子式很活跃的金属材 料发生化学反应生成强酸性的金属盐， 其中的金属离子与氧气接触后又还原生成较稳定的金

属氧化物。 另外， 任何金属材料在介质中都有自己的腐蚀电位， 在同一种介质中电位越正的金属其活性就差，金属就不易腐蚀。目前用于风力电机 '>发电机组设备上的主要为铁、铝、

铜等活性极强的金属材料。由上面所述得出结论是，盐雾对金属物的腐蚀破坏主要条件有：

浓度、温度、含氧量、腐蚀电位。 3、盐雾对风力电机 '> 发电机组的危害我国东南部沿海， 属南亚热带季风气候区，多年年平均气温都在 20℃以上，年平均最高气温 26℃，年平均最低气温 19℃左右。盛行的海陆风把含有盐分的水汽吹向风电场与设备元器件大面积接触， 这些因素使设备受盐雾腐蚀的速度大大加快。盐雾给风力电机 '> 发电机组带来的危害主要为：

* 1. 盐雾与空气中的其他颗粒物在叶片静电的作用下，在叶片表面形成覆盖层，严重的影响叶片气动性能，产生噪音污染和影响美观 .

摘 要:盐雾 是造成 输电线路 故障的重要原因之一。本文主要介绍广东省南澳县盐雾对输电线路的危害及防雾措施。

加强和改善输配电线路安全、可靠运行，降低输配电线路事故率，关系到电网安全、稳定和供电可靠性 ,关系到社会经济的发展和电力企业的经济效益。本文结合南澳县近几年来就输配电线路防盐雾腐蚀的措施进行探讨。

* + 1. 南澳县基本现状

南澳县是个四面环海的海岛县，主岛面积 128.45km2 ，人口 7 万多人，是全国第二大风力发电场。目前，岛上总装机容量 5 万多 kW ，年发电量 1.2 亿 kW·h。

按国家规定距海岸 7～ 10km 为盐雾区的划分，南澳县的输配电线路全部处在盐雾区内，岛内南北最宽 5km ，最小宽不到 2km 。输配电线路离海岸线最近只有几米，是严重的盐雾腐蚀区。

全岛输配电线路密布，每 km2 有高、低压电力线路 4.2km 。岛上有 110kV 线路一条，线路长度 16km，35kV 线路一条， 线路长度 15km，10kV 线路 22 条， 线路总长度 185km 。0.22 ～

0.4kV 线路总长度 320km 。

* + 1. 盐雾对输配电线路产生的危害

盐雾指悬浮在大气中的气溶液状的 Na2O 粒子。它的形成主要是因为风引起海面扰动 和涨、 落潮时， 海水相互间的冲击和海浪拍击海岸，致使很多海浪粒子拖入空中， 水分发蒸后，留下一些极小的盐粒，在大气团的平流和紊流交换作用下，这些盐粒在空气中散开来，

并随风流动形成沿海地区盐雾。

盐雾对电气设备的危害程度主要与沉积在电气设备表面盐粒的多少有关，沉积又与盐雾含量、有无阻隔物、近海或远海等诸多因素有关，其中影响最大的是阻隔物。

* + - 1. 盐雾对导线的危害

盐雾对导线， 实际上是导线被电离作用腐蚀的过程。 从该县历年运行情况分析， 因导线断线和断股每年都有多起发生。 2000 年，35kV 线路避雷线因钢绞线断线， 断落在导线上，引起山林火灾。一条 10kV 配电线路， 1993-1997 年期间，共发生导线断线 15 起（断点大部分在弧垂低点上） ，断后的导线已被盐雾严重腐蚀、硬化和脆弱，无法继续连接运行。因盐

雾对导线的腐蚀，使导线强度大大降低，强风时，导线断线。

经检查， 钢芯铝绞线运行 5 年后， 钢芯有断裂现象；铝导线白色锈斑布满表面， 占总面积 50%～ 80%。

* + - 1. 盐雾对瓷绝缘子的危害

盐雾对线路瓷绝缘子危害的结果主要是两个方面：

(1)瓷绝缘子爆裂：

产生瓷绝缘子爆裂主要是： 在强电场作用下， 瓷绝缘子上的沉积物被电离， 形成导电性薄膜，产生电晕放电， 使瓷绝缘子表面温度不均匀升高，从而导致爆裂。 据青澳供电所反映，某 10kV 配电线路，从 1995 年架设起，由于此线路瓷绝缘子爆裂，引起断线，造成有

线电视光纤及信号放大器烧坏。据初步统计，该县线路每年因瓷绝缘子爆裂占事故的 70%。

(2)单相接地：

产生单相接地主要是： 在电场作用下， 瓷绝缘子上盐雾沉积物呈半导体作用， 泄漏电流增大。当泄漏电流达到某一值时，高压电流则反向急骤流动，造成瞬间短路接地。

单相接地可分为明显接地和隐蔽接地两种， 瓷绝缘子爆裂是明显接地表现， 事故容易解决。 当瓷绝缘子没有爆裂而是绝缘下降，瓷绝缘子表面有裂缝， 一般很难发现， 这种接地事故处理难度很大。

* + - 1. 盐雾对铁构件的危害

盐雾对铁构件的腐蚀非常严重， 对于一般电镀锌和烤漆的铁构件半年左右， 开始生锈，一年以后锈点斑斑， 两年后铁构件腐烂， 三年后基本上已烂掉。电缆分接箱、电表集装箱以

及低压线路上安装的各种金具，使用不到三年就得更换。 1998 年以前，该县安装在输配电线路上的铁构件，大部分是电镀锌铁构件，基本上完全腐烂。

* + - 1. 盐雾对电气设备的危害

电气设备受盐雾腐蚀情况更为严重。 由于电气设备常年裸露， 经受风吹日晒和盐雾腐蚀，在恶劣天气条件下，电气设备的外壳更易腐蚀。接头处腐蚀明显，易氧化膨胀、收缩而

造成接触不良。 铜-铜接头腐蚀比较轻， 铝 -铝接头的腐蚀就严重， 铜-铝接头处很明显可看出，铝接头处白色斑斑，并有烧伤的痕迹。某变电所 1993 年建成投产，运行不到三年，设备完 好率下降到 70%，五年后，断路器失灵，主变漏油，隔离开关、熔断器已更换多次。设备

完好率达不到 50% ，整个变电所基本已处于瘫痪状态。

* + 1. 输配电线路防盐雾腐蚀的措施

对于沿海地区来讲，盐雾腐蚀严重影响输配电线路安全运行，缩短输配电线路使用

寿命， 增加了维护工作量。为此，我县在农网改造及城网改造设计过程中， 对输配电线路防盐雾腐蚀提出较高要求， 从设计到施工及线路的维护管理， 尽可能选用抗腐蚀能力强的新型

材料。

* + - 1. 导线

(1) 在山区和离海岸较远的线路我们选用防污型钢芯铝绞导线。根据多年的运行经

验，选用防污导线的架空线路，运行效果较好。澄海至南澳 35kV 线路，投产运行至今从未出现过导线断股、断裂及断线事故。

(2) 在离海岸线较近及穿过防护林区的线路，选用绝缘钢芯铝绞导线。因为绝缘导线

本身是绝缘的， 绝缘厚度 3.4mm，耐压可达 15kV ，加上外层绝缘可起到很好的抗盐雾腐蚀，虽然造价偏高，但抗盐雾腐蚀能力较强，线路故障率较低。

(3) 在重要及安全系数较高的电力线路，选用钢芯铜绞导线。虽然钢芯铜绞线比钢芯铝绞线造价要高，但运行寿命比较长，抗盐雾腐蚀能力强。因为盐雾对铜导线危害较轻，仅在表面上产生黑色的氧化膜，对运行性能毫无影响。

(4)在城区内尽可能采用地埋电力电缆线路。这样可减轻和避免盐雾对配电线路的腐

蚀，减少维护管理工作量。 目前，县城内的 10kV 配电线路基本上采用埋设的电力电缆线路。

(5)低压配电线路选用塑料铜芯导线。既可降损节能，又可防盐雾腐蚀，同时，提高了低压线路的安全性、稳定性、可靠性。

* + - 1. 绝缘子

盐雾主要破坏瓷体绝缘。 因此， 防止盐雾对瓷件的破坏， 应采取提高瓷件的单位泄漏距离， 采取阻隔物减少盐雾沉降量。 主要方法有： 人工定期清扫擦拭； 在绝缘瓷件上涂有机硅；在瓷件上涂地腊等。但这些措施均属辅助的方法，工艺复杂，工作量大，要根本解决问

题还是采取增加泄漏距离和采用阻隔物的措施。

根据我国现行关于污秽等级， 该县是严重的盐雾地区， 属于三级污秽区， 线电压所需要的泄漏距离应大于 3.8cm/kV 规定。

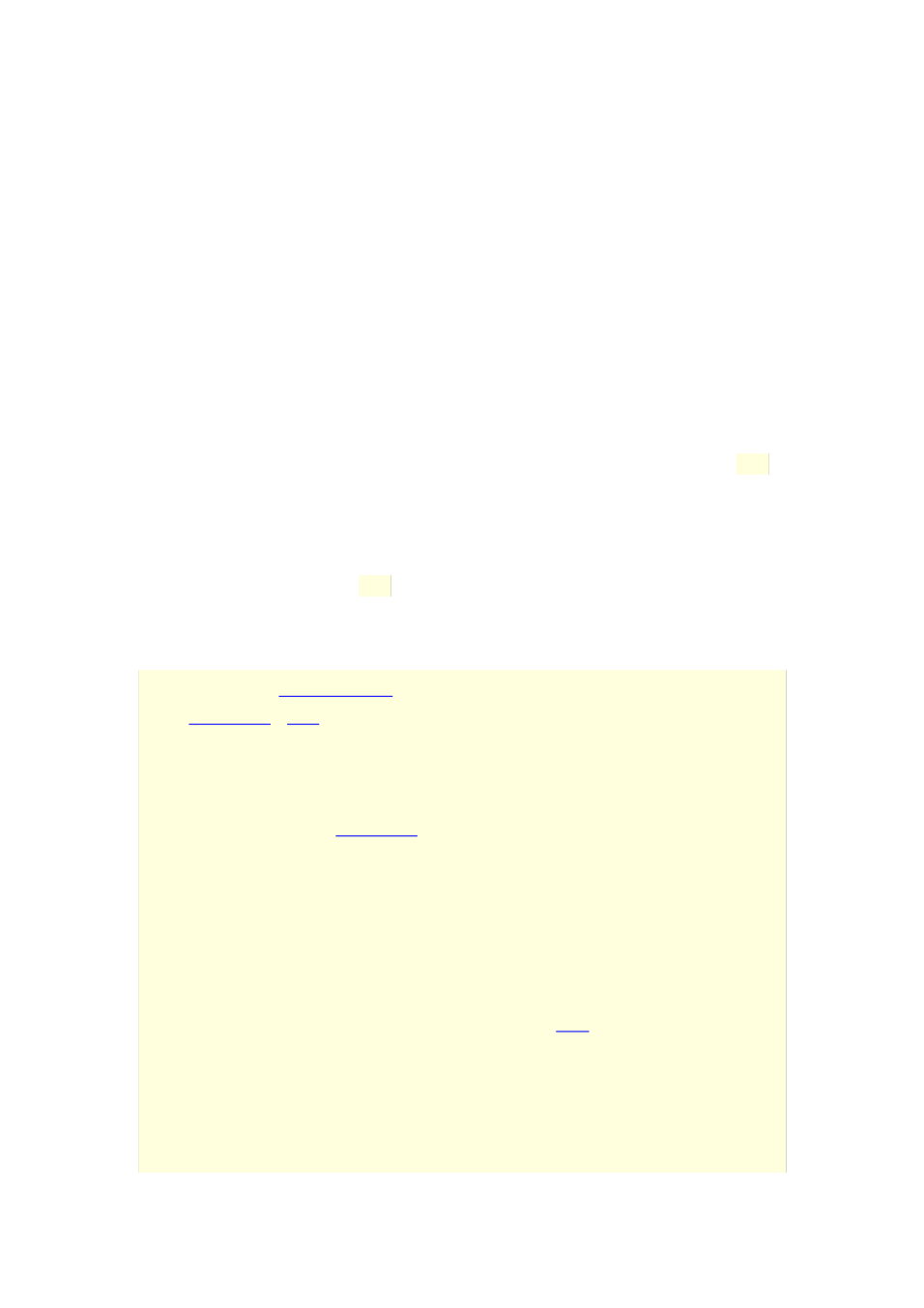
(1)硅胶绝缘子：硅胶绝缘子具有体积小、重量轻、耐污性能好、不需测零值等优越

性。具有高度的抗表面污染力和防止碳化泄漏。 合成绝缘子所需的爬距比瓷和玻璃绝缘子所需爬距平均少 30％。当线路使用钢芯铝绞线架设，绝缘子最好选用硅胶绝缘子。

目前， 全县各级电压等级的线路， 自从更换使用硅胶绝缘子后， 再也没有出现硅胶绝缘子因盐雾腐蚀爆炸及线路接地事故，线路事故率大大降低。

(2)防污瓷绝缘子：为适当降低工程造价，当线路使用绝缘导线架设时，可选用防污瓷绝缘子。对线路离海岸线较远，盐雾腐蚀较轻的地段，也可使用在钢芯铝绞线架空线路。

* + - 1. 铁构件及金具

(1) 输配电线路的铁塔、 铁杆及铁附件， 全部热镀锌。 为了增强线路防盐雾腐蚀能力，提高线路使用寿命，对新架设的输配电线路运行 2～3 年后，进行一次油漆，今后每 2 年除锈并油漆一次。这种方法比较简便，维护管理方便，而且效果好，也是最有效的防腐措施。

(2) 低压线路的金具及附件同样采用热镀锌。 而经过热镀锌制作的角钢至少可使用 10

年以上。

(3) 线路金具、螺栓及其它配件，应采用国家定型产品和定点厂家生产，经热镀锌的产品。对于早期使用在输配电线路上的金具、螺栓及其它配件，通过农网、城网、配网及线路改造，进行更换。

* + - 1. 电气设备

(1)电气设备尽可能安装在室内，对于室外的电气设备，如：油断路器、 SF6 断路器、电缆分接箱、 计量箱及各种开关柜等， 外壳应采用不锈钢和热镀锌， 以进一步加强防盐雾腐

蚀的能力， 提高设备的使用寿命。 某变电所的电气设备的外壳， 从 1999 年改换为不锈钢后，已运行 4 年，还是完整无损，运行效果良好。

(2)在电气设备安装、电气设备检修时，可在导电排搭接处接触面涂敷电力复合脂 (也叫导电膏 )。经我们使用，能抗盐雾腐蚀，降损节能，运行效果良好，并取得较好的经济效

益。

摘要 ] ：本文介绍了 线路避雷器防雷 的原理，并对挂网运行两年以后的避雷器进行了跟踪统计，对 线路避雷器 的防雷 效果进行了评估。

[Abstract]:This paper introduce the theory of the transmission line arresters. After one-year of useing and recording. We evaluated the effect of lighting prevention

for the transmission line arresters.

[ 关键词 ] ：输电线路 杆塔 线路避雷器 雷击

1． 前 言

目前， 在我国随着工农业生产的发展和社会用电质量需求的不断提高， 对输电线路供电可靠性的要求也越来越高。 近几年来， 由于环境条件的不断劣化雷击引起的输电线路掉闸故障

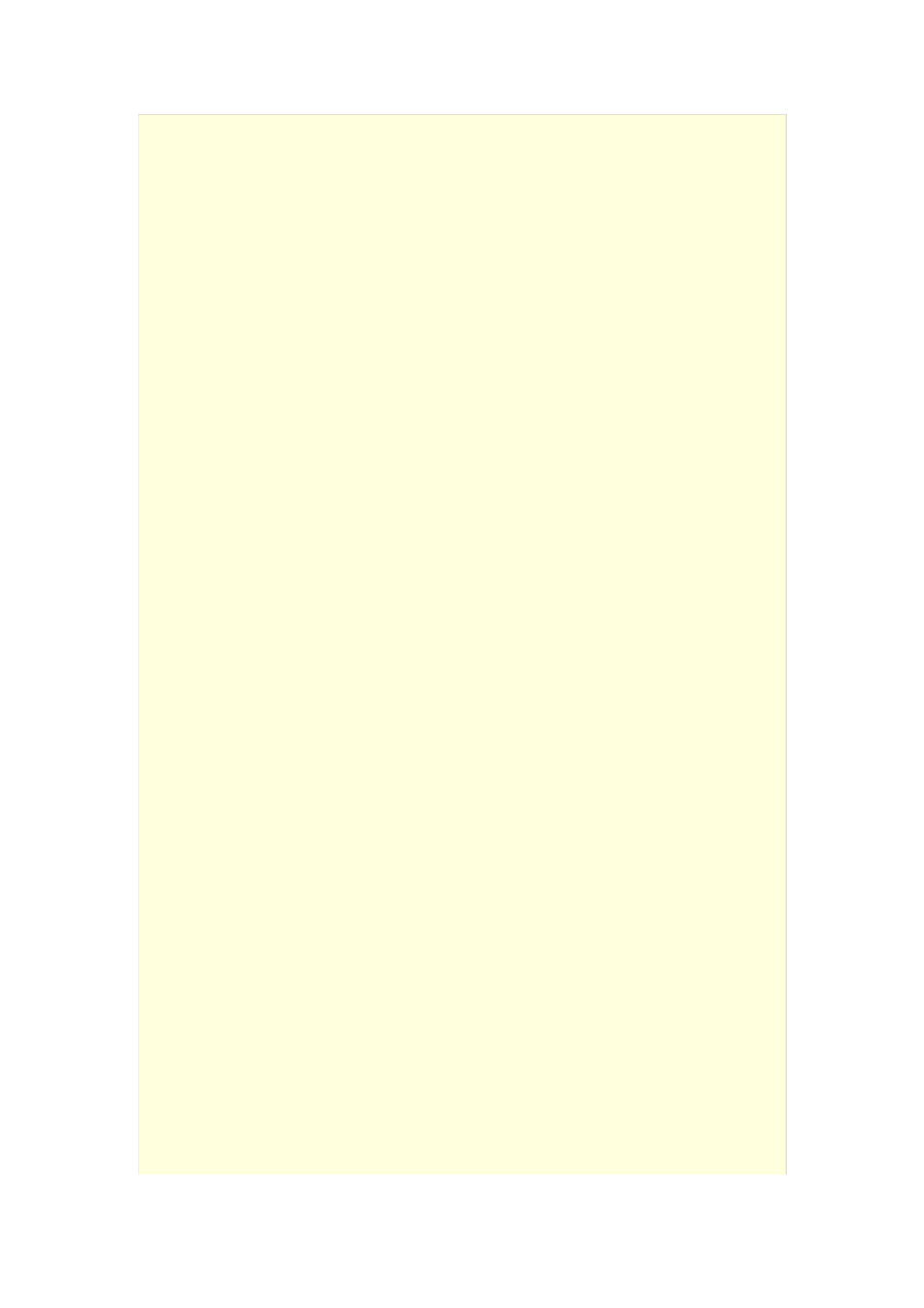
也日益增多，不仅影响设备的正常运行， 而且极大的影响了日常的生产、生活。从山东省来看，淄博属于多雷区，每年都发生雷击线路掉闸故障。前些年，主要集中在南部山区线路，

近几年有向北部平原转移的趋势，雷击已成为影响输电线路安全可靠运行的最主要因素。

为了养活输电线路的雷击故障， 近年来我们采取了各种综合 防雷 措施，如降低杆塔接地电阻，提高线路绝缘水平， 采用负角保护、 架设耦合地线等。取得了一定的效果， 但对于分布在高土壤电阻率的部分线路， 降低杆塔接地电阻难度较大， 对于防治绕击雷对线路造成的故障仍 没有好的对策。

变电站设备采用避雷器防雷众所周知，目前国外已广泛使用线路型合成绝缘氧化锌避雷

器，用于输电线路的防雷， 取得了很好的效果。 从97年开始淄博局开始与电力部中能公司合

作，使用该公司生产的线路避雷器，并分别在 35kV、 110kV 线路上运行，经过两个雷雨季节的考验取得了明显的效果。

2． 线路避雷器防雷的基本原理

雷击杆塔时， 一部分雷电流通过避雷线流到相临杆塔， 另有一部分雷电流经杆塔流入大地中，杆塔接地电阻呈暂态电阻的特性，一般用冲击接地电阻来表征。

雷击杆塔时塔顶电位迅速提高，其电位值为： Ut=iR 地+ L · di/dt

i 为雷电流， R 地为冲击接地电阻，后面一顶为暂态分量。当塔顶电位 Ut 与导线上的感应电位的差值超过绝缘子串 50%的放电电压时，将发生由塔顶至导线的闪络。即： Ut- UI > U50，如果考虑线路工频电压幅值勤 UM 的影响，则上式应为 Ut - UI+UM > U50。因此线路的耐雷水平与三个重要因素有关，即线路绝缘子的 50%放电电压，雷电流强度和塔体的冲击 接地电阻。一般来说，线路的 50%放电电压是一定的，雷电流强度与地理位置和大气条件相

关，不加装避雷器时，提高输电线路耐雷水平往往是采用降低塔体的接地电阻，在山区，降低接地电阻是非常困难的，这也是为什么输电线路屡遭雷击的原因。

加装避雷器以后， 当输电线路遭受雷击时， 雷电流的分流将发生变化， 一部分雷电流从避雷 线传入相临杆塔，一部分经塔体入地，当雷电流超过一定值后，避雷器动作加入分流。 大部分的雷电流从避雷器流入导线， 传播到相临杆塔。 雷电流在流经避雷线和导线时， 由于导线间的电磁感应作用， 将分别在导线和避雷线上产生耦合分量。 因为避雷器的分流远远大于从 避雷线中分流的雷电流， 这种分流的耦合作用将使导线电位提高， 使导线和塔顶之间的电位 差小于绝缘子串的闪络电压， 绝缘子不会发生闪络， 因此线路避雷器具有很好的钳电位作用， 这也是线路避雷器进行防雷的明显特点。避雷器动作时塔顶电位和导线电位变化波形见图 1

以往输电线路防雷主要采用降低塔体接地电阻的方法， 在平原地带相对较容易， 对于山区的杆塔，则往往在四个塔角的部位采用较长的辐射地线或打深井加降阻剂， 以增加地线与土壤的接触面积降低电阻率， 在工频状态下接地电阻会有所下降。 但遭受雷击时， 因接地线过长会有较大的附加电感值，雷电过电压的暂态分量 Ldi/dt 会加在塔体电位上，使塔顶电位大 大提高， 更容易造成塔体与绝缘子串的闪络， 反而使线路的耐雷水平下降。 因为线路避雷器具有钳位作用， 对接地电阻要求不太严格， 对山区的线路防雷比较容易实现， 加装避雷器前后线路的耐雷水平与杆塔冲击接地电阻的关系见图 2，从图中不难发现加装线路避雷器对防 雷效果是十分明显的。

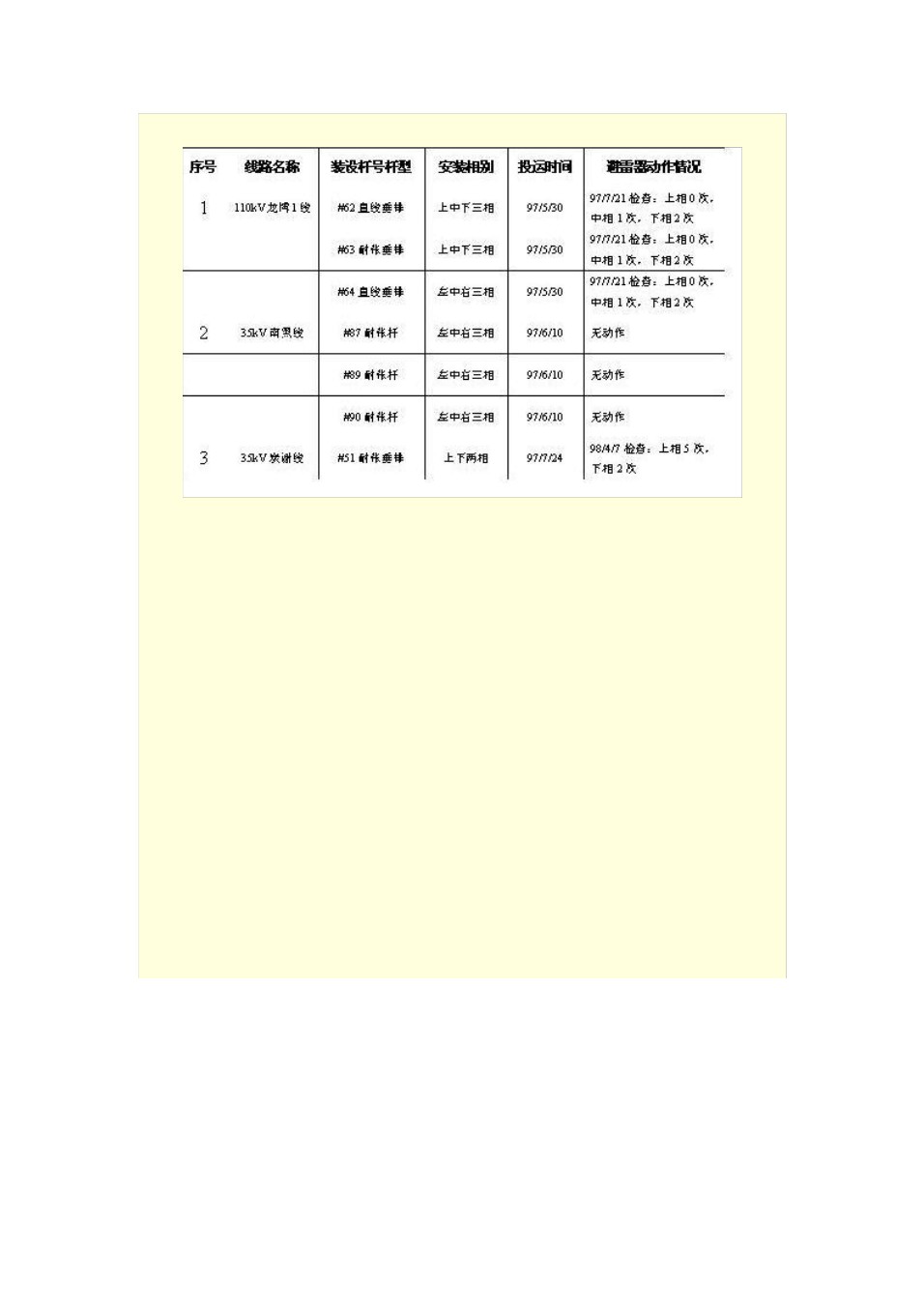
3． 淄博电业局线路避雷器使用及动作情况设计

淄博局管辖的 110kV 龙博 1线和 35kV 南黑线、炭谢线位于丘陵和山地，多年来经常发生雷击

跳闸故障，据统计： 110kV 龙博 1线在 89年、 90年、 93年、 96年发生五次雷击跳闸， 35kV 南黑线 , 和35kV

炭谢线分别在 94年、 95年、 96年、 97年各发生 6次雷击掉闸，虽然采取了各种措施，效果均

不明显。 97年在易遭雷击的 110kV 龙博 1线#62、#63、#64和35kV 南黑线 #87、#90、#90，35kV炭谢线 #51分别装设了七组共 20只线路型氧化锌避雷器， 安装方式是在龙博 1线和南黑线各悬挂三组 9只线路避雷器， 在炭谢线 #51上相和下相各悬挂 1只（该杆不久前遭雷击） ，经过两个

雷雨季节的考验，线路未发生故障及掉闸事故，避雷器动作情况如表 1：

4. 避雷器的选型及安装维护

线路避雷器有两种类型， 即带串联间隙和无串联间隙两种， 因运行方式不同和电站避雷器相比在结构设计上也有所区别。

线路避雷器安装时应注意： （ 1）选择多雷区且易遭雷击的输电线路杆塔， 最好在两侧相临杆塔上同时安装。 （2）垂直排列的线路可只装上下两相。 （ 3）安装时尽量不使避雷器收力，并 注意保持足够的安全距离。 （4）避雷器应顺杆塔单独敷设接地线， 其截面不小于 25平方毫米，尽量减小接地电阻的影响。

投运后进行必要的维护， （1）结合停电定期测量绝缘电阻，历年结果不应明显变化。 （ 2）检查并记录计算器的动作情况。 （ 3）对其紧固件进行较紧，防止松动。 （ 4）五内拆回，进行一次直流 1mA参考电压及 75%参考电压下泄露电流测量。

5结束语

淄博局尝试应用线路氧化锌避雷器防止线路雷害故障取得了初步效果， 装设线路避雷器的杆段均未发生雷击掉闸， 在此基础上， 山东省局今年拨专款用于 220kV 线路， 在我局作为试点，已经一步探讨积累应用线路避雷器进行防雷工作的运行经验，便于今后在全省推广应用。