

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: X2012230418

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

电力输电设备状态监测系统的设计与实现

Design and Implementation of Condition Monitoring System for  
Power Transmission Equipments

马 智

指导教师姓名: 吴清锋 副教授

专业名称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2014 年 4 月

论文答辩日期: 2014 年 5 月

学位授予日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月

指 导 教 师: \_\_\_\_\_

答 辩 委 员 会 主 席: \_\_\_\_\_

2014 年 4 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（     ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于     年     月     日解密，解密后适用上述授权。

（  ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年     月     日

## 摘 要

输电线路是电力系统的重要组成部分。随着电力建设的快速发展，电网规模的不断扩大，电网的建设和设备维护工作变得越来越频繁。作为电力输送纽带的输电线路具有距离长、分散性大、难以巡视和维护等特点，需要人员定期巡检、定期维修，占用人员数量多，整体工作强度高，受环境和人为因素影响大，维护任务繁重。为提高输电线路的管理水平，增强电力系统运行的可靠性，迫切需要建立一套性能可靠，功能丰富的电力输电设备状态监测系统，这是输电线路检修和可靠运行的发展方向。

本文设计实现的输电设备状态监测系统采用 Java 技术路线，具体使用业界较新且成熟的 JDK 5.0/6.0 作为编程环境，同时应用了业界最佳实践的面向服务架构（SOA），可最大程度保证整个系统的兼容性和开放性。系统建立数据中心及分析平台，以数据中心的思路建立状态检修数据库，为状态评估和检修辅助决策提供高质量的数据，同时运用相关技术手段实现对数据的合理在线分析和展现，为状态监测系统提供技术手段，实现有效的设备状态管理。系统在现有的评价导则及已经建成的状态检修辅助决策专家系统的基础上，采用专家评价系统以实现更为自动化和智能化的状态检修评价、故障诊断及状态分析预测的工作。系统有输电线路状态监测、气象环境监测、导线温度监测、杆塔微风震动监测、杆塔绝缘子监测管理的功能。

系统已在新疆电力公司试点应用，系统的应用提高了新疆电力输电在线监测手段的集成化程度，依据综合状态诊断策略，只在必要的情况下及按照最适当的次数进行设备检修，并减少或延迟定期维修及更换设备及其组件，从而减少停电时间及节省维修开支。系统状态监测与评估能够提高防止电力灾难性故障的能力，从而取得策略性效益，包括提升系统整体安全，防止操作人员以及公众在灾难性故障中受到的损失与伤害，避免因系统不稳定、损失负荷及环境污染而导致的潜在重大影响。

**关键字：**电力；状态监测； Java 平台

## Abstract

Electricity transmission lines are an important part of the power system. With the rapid development of the electricity construction, expanding the size of the grid, the work of grid construction and maintenance has become more and more frequent. The power transmission link as transmission ligament with the features of long distance, dispersion, and difficulty to inspections and maintenance, need regular inspection and maintenance, which needs many workers, high intensity work, is largely affected by environmental and human factors with the heavy maintenance task. To improve the management of transmission lines, enhance the reliability of power system operation, establishing a reliable, multi-functional power transmission equipment condition monitoring system is urgent, which is the development direction of maintenance and reliable operation of transmission line.

In this dissertation, the power transmission equipment condition monitoring system using java technology, the newer and reliable JDK 5.0/6.0 as a programming environment, and the best practical SOA, can ensure the compatibility and openness of the system largest. The system has analysis platform and data centers and establishes state maintenance database with the idea of the data center and can provide high-quality data for the condition assessment and maintenance for decision support, while with the use of appropriate techniques it can achieve the legitimate online data analysis and presentation to achieve efficient device state management. With the above foundations the system use expert evaluation system in order to achieve a more automated and intelligent evaluation of condition maintenance, fault diagnosis and condition analysis forecasting work. The functions of the system are as follows: Electricity transmission line condition monitoring, meteorological environmental monitoring, wire monitoring, line tower monitoring, line tower accessories monitoring management.

System has been applied in the pilot by Xinjiang Electric Power Company. The system improves the extent of integration in online monitoring about Xinjiang power transmission line. According to the integration state monitoring strategy, only where necessary and in accordance with the best number of times going on equipment maintenance, and reduce or delay regular maintenance and replacement of equipment and components, thus which can reduce outage time and save the maintenance costs. Condition monitoring and evaluation system can improve the

ability to prevent catastrophic faults of electricity, thereby gain strategic benefits, including enhancing the overall security of the system, avoiding loss and damage in catastrophic faults for the operator and the public , to avoid potentially significant impact according to system instability, loss load and environment pollution.

**Key words:** Electricity; Condition Monitoring; Java platform.

厦门大学博硕士论文摘要库

## 目 录

<b>第一章 绪 论</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究背景与意义 .....	1
1.2 研究现状分析 .....	2
1.2.1 国内外输电在线监测系统现状 .....	2
1.2.2 新疆电力输电线路运行现状 .....	3
1.2.3 输电设备在线监测装置存在的主要问题 .....	3
1.3 主要研究内容 .....	4
1.3.1 输电状态监测一体化数据库模型 .....	4
1.3.2 输电设备状态监测信息标准化接入技术 .....	4
1.3.3 监测数据二次加工技术 .....	4
1.4 论文的组织结构 .....	4
<b>第二章 系统需求分析</b> .....	<b>6</b>
2.1 功能性需求 .....	6
2.1.1 基于图形的全局可视化展现 .....	7
2.1.2 基于设备对象的局部集成化展现 .....	9
2.1.3 传感器层管理与配置管理 .....	10
2.1.4 接入层管理与配置 .....	11
2.1.5 系统管理与配置 .....	12
2.2 系统接口需求 .....	12
2.3 非功能性需求 .....	14
2.3.1 追求设备全寿命周期成本最低原则 .....	14
2.3.2 从技术、经济和组织方面对设备进行综合管理原则 .....	14
2.3.3 从设备的可靠性和可维修性管理原则 .....	14
2.3.4 信息反馈对 LCC 管理的支撑作用原则 .....	14
2.4 本章小结 .....	14
<b>第三章 系统概要设计</b> .....	<b>15</b>
3.1 系统架构 .....	15
3.2 系统分层 .....	16
3.3 接口分级 .....	18
3.4 CMA 的设计目标 .....	19

<b>3.5 数据库设计 .....</b>	<b>21</b>
3.5.1 设计思想 .....	21
3.5.2 分库管理 .....	24
3.5.3 告警数据处理 .....	24
3.5.4 系统功能模块设计 .....	25
<b>3.6 信息安全防护 .....</b>	<b>30</b>
3.6.1 设计原则 .....	30
3.6.2 系统信息安全防护架构 .....	30
3.6.3 数据采集安全防护 .....	31
<b>3.7 本章小结 .....</b>	<b>33</b>
<b>第四章 系统功能模块详细设计与实现 .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 系统软硬件配置 .....</b>	<b>34</b>
4.1.1 服务器操作系统及集群软件 .....	34
4.1.2 硬件架构 .....	34
<b>4.2 系统主要功能设计与实现 .....</b>	<b>37</b>
4.2.1 基于图形的全局可视化展现功能设计与实现 .....	37
4.2.2 基于设备对象的局部集成化展现功能设计与实现 .....	41
4.2.3 传感器层管理与配置的主要功能设计与实现 .....	47
4.2.4 线路 CMA 及监测装置的管理功能设计与实现 .....	50
4.2.5 系统管理与配置功能设计与实现 .....	51
<b>4.3 本章小结 .....</b>	<b>53</b>
<b>第五章 系统测试 .....</b>	<b>54</b>
<b>5.1 测试需求 .....</b>	<b>54</b>
5.1.1 功能性测试需求 .....	54
5.1.2 非功能性测试需求 .....	54
<b>5.2 测试说明 .....</b>	<b>54</b>
5.2.1 测试依据 .....	54
5.2.2 测试资料 .....	54
5.2.3 测试方法 .....	55
5.2.4 测试工具 .....	55
<b>5.3 测试环境 .....</b>	<b>55</b>



---

5.3.1 测试拓扑 .....	55
5.3.2 测试配置 .....	56
<b>5.4 功能测试 .....</b>	<b>57</b>
5.4.1 综合展示 .....	57
5.4.2 组合监视 .....	58
5.4.3 查询统计 .....	58
5.4.4 装置管理 .....	60
5.4.5 数据分析 .....	61
5.4.6 系统管理 .....	61
<b>5.5 产品描述测试 .....</b>	<b>62</b>
<b>5.6 用户文档测试 .....</b>	<b>64</b>
<b>5.7 程序和数据测试 .....</b>	<b>65</b>
5.7.1 功能性测试 .....	65
5.7.2 易用性测试 .....	66
5.7.3 可靠性测试 .....	66
5.7.4 安全性测试 .....	66
<b>5.8 非功能性测试 .....</b>	<b>67</b>
5.8.1 系统最大并发用户数 .....	67
5.8.2 浏览器页面内存 .....	68
5.8.3 页面访问速度 .....	70
5.8.4 系统可用性 .....	71
5.8.5 CPU 负载率 .....	73
<b>5.9 本章小结 .....</b>	<b>74</b>
<b>第六章 总结与展望 .....</b>	<b>75</b>
6.1 总结 .....	75
6.2 本课题的特色 .....	75
6.3 展望 .....	76
<b>参考文献.....</b>	<b>77</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>78</b>

## Contents

<b>Chapter 1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 The Research Background and Significance.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 The Research Status Analysis .....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Transmission of On-line Monitoring System at home and abroad.....	2
1.2.2 Power Transmission Line Operation Situation in Xinjiang.....	3
1.2.3 The Main Problems of Transmission Equipment Online Monitoring Device..	3
<b>1.3 The Main Research Contents.....</b>	<b>4</b>
1.3.1 The Condition Monitoring of Electric Power Integration Database Model .....	4
1.3.2 Information Standardization Access Technology.....	4
1.3.3 Monitoring Data of Secondary Processing Technology .....	4
<b>1.4 The Organizational Structure of the Dissertation .....</b>	<b>4</b>
<b>Chapter 2 System Requirements Analysis .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 The Functional Requirements .....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Based on the Global Visual Graphics Display .....	7
2.1.2 Based on Local Integration of the Device Object.....	9
2.1.3 Sensor Layer Management and Configuration Management .....	10
2.1.4 Access Layer Management and Configuration.....	11
2.1.5 System Management and Configuration .....	12
<b>2.2 The System Interface Requirements .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Non-Functional Requirements.....</b>	<b>14</b>
2.3.1 The Pursuit of all Equipment life Cycle Cost Minimum Principle.....	14
2.3.2 Principle of Comprehensive Management of Equipment.....	14
2.3.3 Equipment Management Principles .....	14
2.3.4 Information Feedback of Lcc Management Principles of Support.....	14
<b>2.4 Summary.....</b>	<b>14</b>
<b>Chapter 3 System General Design.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 System Architecture .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 System Stratification.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Interface Classification.....</b>	<b>18</b>
<b>3.4 CMA Design Goal .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 Database Design .....</b>	<b>21</b>
3.5.1 Design idea .....	21

3.5.2 Depots Management .....	24
3.5.3 The Alarm Data Processing .....	24
3.5.4 System Function Module Design .....	25
<b>3.6 Information Security Protection.....</b>	<b>30</b>
3.6.1 Design Principles .....	30
3.6.2 System Information Security Protection Architecture.....	30
3.6.3 Security for Data Collection .....	31
<b>3.7 Summary.....</b>	<b>33</b>
<b>Chapter 4 Design and Implementation of System Key Modules .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 The System Software and Hardware Configuration.....</b>	<b>34</b>
4.1.1 Cluster Server Operating Systems and Software.....	34
4.1.2 Hardware Architecture .....	34
<b>4.2 System Design and Implementation of Main Function .....</b>	<b>37</b>
4.2.1 Global Visual Graphic Display Function .....	37
4.2.2 Local Integrated Display Function.....	41
4.2.3 Sensor Layer Management and Configuration Design and Implementation..	47
4.2.4 Line Cma and the Management Function.....	50
4.2.5 System Management and Configuration Function .....	51
<b>4.3 Summary.....</b>	<b>53</b>
<b>Chapter 5 System Test.....</b>	<b>54</b>
<b>5.1 Test Requirements .....</b>	<b>54</b>
5.1.1 The Functional Test Requirements.....	54
5.1.2 Non-Functional Testing Requirements.....	54
<b>5.2 The Test Shows That .....</b>	<b>54</b>
5.2.1 The Test on the Basis of .....	54
5.2.2 Test Data.....	54
5.2.3 The Test Method.....	55
5.2.4 Testing Tools .....	55
<b>5.3 The Test Environment.....</b>	<b>55</b>
5.3.1 Test the Topology .....	55
5.3.2 Test Configuration.....	56
<b>5.4 A Functional Test.....</b>	<b>57</b>
5.4.1 Comprehensive Display.....	57
5.4.2 Combination of Monitoring.....	58
5.4.3 Query Statistics.....	58

5.4.4 Device Management .....	60
5.4.5 System Management.....	61
5.4.6 System Management.....	61
<b>5.5 The Product Description Test .....</b>	<b>62</b>
<b>5.6 User Documentation Test .....</b>	<b>64</b>
<b>5.7 The Program and Test Data .....</b>	<b>65</b>
5.7.1 The Functional Test .....	65
5.7.2 Usability Testing .....	66
5.7.3 Reliability Test .....	66
5.7.4 Security Testing .....	66
<b>5.8 Non Functional Test.....</b>	<b>67</b>
5.8.1 Maximum Number of Concurrent Users of the System .....	67
5.8.2 Browser Page of Memory .....	68
5.8.3 Page Access Speed .....	70
5.8.4 System Availability .....	71
5.8.5 Cpu Load Rate .....	73
<b>5.9 Summary.....</b>	<b>74</b>
<b>Chapter 6 Conclusions and Prospects.....</b>	<b>75</b>
<b>6.1 Conclusions.....</b>	<b>75</b>
<b>6.2 System Features .....</b>	<b>75</b>
<b>6.3 Prospects .....</b>	<b>76</b>
<b>References .....</b>	<b>77</b>
<b>Acknowledgement .....</b>	<b>78</b>

# 第一章 绪 论

## 1.1 研究背景与意义

随着坚强智能电网建设工作的启动，超高压交流工程的投运，特高压直流工程建设的开展，新疆电网建设规模不断扩大，输电设备运行管理信息量不断增加，现有的生产管理模式已不能满足电网快速发展的需要。输电状态监测系统作为提升输电生产运行管理精益化水平的重要手段，在省公司层面，相应的技术服务机构和队伍利用状态监测<sup>[1]</sup>系统为省公司提供输电设备生产管理、设备运行分析以及决策方面的技术服务；在地州公司层面，各级人员利用状态监测系统了解和掌握相应范围内的设备状态，提高输电设备巡检的效率，使设备、人员、巡检车辆等时刻在控。

输电设备状态监测系统是实现输电设备状态运行检修管理、提升输电专业生产运行管理精益化水平的重要技术手段。系统通过各种传感器技术、广域通信技术和信息处理技术实现各类输电设备运行状态的实时感知<sup>[2]</sup>、监视预警、分析诊断和评估预测，其建设和推广工作对提升电网智能化水平、实现输电设备状态运行管理具有积极而深远的意义。

建立新疆电力公司输电设备状态监测系统的必要性主要体现在以下几个方面：

### (1) 保障新疆电网安全运行

为保障新疆电网安全稳定运行，必须首先掌握输电设备运行状态，综合各区域信息，及时做出分析、预警、决策。新疆输电设备状态监测系统作为对输电设备进行统一监视以及对状态信息进行集中收集、分析、处理和交互的平台，能更全面的掌握输电设备运行状态，对信息进行更有效的综合，为输电设备运行、应急抢修、电网调度、指挥决策提供及时有效的信息，进而确保电网的安全稳定运行。

### (2) 整合省内现有状态监测资源，实现信息共享

各地州供电公司已安装的在线监测系统，虽然在实际的输电设备运行维护以及指导输电建设中发挥了一定作用，但由于在线监测设备各厂家后台软件系统各

自独立、互不兼容，使用时需要反复在不同的系统之间切换，效率低下，严重影响各系统的可用性。另外，目前各在线监测装置部署分散，导致信息难以有效利用。在“统一规划、统一标准和统一建设”的总体原则下，建立标准统一的新疆输电设备状态监测系统，实现新疆电网设备监测信息的集中和共享，及设备状态数据的统计分析，从而为省公司提供决策信息支持的功能。

### (3) 提高线路输送能力，提升设备利用效率

通过新疆电网输电设备状态监测系统实现对大区域范围内多区段导线温度、气象参数的集中监测，为调度提供更为准确的以线为单位的动态增容信息，可在确保安全的前提下有效提高线路输送能力，提高设备利用效率；

### (4) 促进状态评估工作开展，有效提高设备寿命

我国电力设备平均使用寿命不到 20 年，远低于国际一流电网公司水平 30—40 年，我国资产效益水平明显偏低。通过对输电设备运行状态的多点全面监测，为设备状态评估提供含离线与在线信息在内的全面的信息，对设备健康状态进行及时的把控，可有效提高设备的健康水平和服役年限，设备实际平均使用寿命如提高 5 年，预计每年可以节约技改资本性投入 10% 左右，将节约大量的资金。

综上所述，随着新疆电网的建设与发展，对新疆输电设备状态监测工作进行统一规划、统一标准和统一建设，建设新疆各级输电设备状态监测系统显得尤为重要和迫切。

## 1.2 研究现状分析

### 1.2.1 国内外输电在线监测系统现状

20 世纪 60、70 年代，自美国投入巨资开发以在线监测为前提的状态维修技术以来，许多工业领域相继开展了设备状态在线监测与故障诊断技术的研究和开发应用。从 20 世纪 80 年代开始，状态维修逐渐从用于发电设备（旋转机械<sup>[3]</sup>）发展到用于输电设备静态设备，并积累了大量经验和数据，开始重视技术标准及导则的制定，全球出现了一批从事状态维修技术研究及开发应用的研究机构或技术公司；到 20 世纪 90 年代初，美国已有 1/3 的电厂采用状态维修，日本也有半数以上电厂实施状态维修。但大量报道表明：在电力系统中，国内外主要是对发

电厂锅炉、汽轮机、发电机三大设备开展状态维修。到 1998 年，全球电力企业中只有 4.3%的输电设备及 0.4%的配电变压器装备了在线监测装置。

随着电网建设的加速和市场经济的推进，电力企业为避免由定期预防性试验及定期维修对设备维修过渡或“漏失”而引起的运行可靠性降低和经济损失，迫切需要以输电设备状态在线监测与诊断技术为基础的状态维修。在这一背景下，国内各电力企业分别建设输电在线监测相关系统，主要有输电避雷器在线监测，输电红外线监测<sup>[4]</sup>、输电防污在线监测等系统，这些系统主要问题是没有统一的行业标准，统一的监控平台，导致这些系统没有真正起到预期的作用。

### 1.2.2 新疆电力输电线路运行现状

目前影响输电线路安全稳定运行的主要因素有：3 大风（沙尘暴）、覆冰、雷击等自然灾害以及外力破坏引起的线路跳闸<sup>[5]</sup>。其中大风（沙尘暴）和外力破坏造成的线路故障最多。

大风（沙尘暴）可能引发的线路故障有：导线绝缘子串风偏，引起线路跳闸；金具磨损，疲劳；导（地）线断股；绝缘子掉串等。如 2010 年，750kV 吐哈 I、II 线发生绝缘子掉串事故 7 起，750kV 风乌线和吐哈 II 线发生导线断股<sup>[6]</sup>事故 3 起，220kV 光楼线、楼哈线、托楼线等线路自运行以来，累计发现六百余处导地线断股，八百余支防振锤损坏失效。

2009-2010 年间，新疆电力公司 220kV 线路主要的跳闸原因为外力破坏、风偏闪络<sup>[7]</sup>及鸟害等，2010 年外力破坏造成的跳闸增加最明显。截止 2010 年底，新疆电力公司陆续安装了覆冰、污秽、微气象、视频等四种输电线路在线监测装置。

### 1.2.3 输电设备在线监测装置存在的主要问题

- (1) 线监测设备生产厂家多，数据通信接口不统一，兼容性差，孤岛运行是普遍现象；
- (2) 不同的设备进行同一状态量的监测，未进行资源整合；
- (3) 监测数据准确性有待验证，对监测状态量的分析判断缺乏依据；
- (4) 没有与生产管理系统有效结合，未实现监测数据的共享。

## 1.3 主要研究内容

### 1.3.1 输电状态监测一体化数据库模型

系统进行了包括数据库选型、数据存储结构、海量存储技术、统一标识技术、信息分类编码<sup>[8]</sup>等技术研究，针对海量数据处理要求的数据模型优化设计，重点解决了上层应用可能涉及的多表连接、累计、数据排序以及全表扫描等操作所带来的性能问题。

### 1.3.2 输电设备状态监测信息标准化接入技术

系统采用统一的方式约定各层之间的接口通信协议，包括心跳交互、数据交互、控制交互、读配置交互、写配置交互等，以及考虑休眠节电运行方式下各层之间的同步运行机制，并制定了接口协议所涉及的接口方式、接口功能、数据格式、数据编码等内容，并形成相应的标准规范。

### 1.3.3 监测数据二次加工技术

系统研究采用了多种状态监测数据的二次加工技术，包括基于可配置任务调度的自动化技术和各种二次加工处理规则的建模技术，以适应灵活的二次数据处理需要。二次加工后的数据可被再次加工，实现循环利用。系统的二次加工功能需要满足汇总统计功能、异常信息获取、状态评价信息获取、典型数据提取及历史数据清理等应用需要。

## 1.4 论文的组织结构

全文共分为六章。

第一章 绪论。首先介绍课题研究的背景及选题的意义，对电力输电在线监测系统国内外的现状及所存在的问题进行了分析，最后简述本文的研究内容。

第二章 系统需求分析。重点介绍系统的功能性需求，按照电力输电在线监测业务流程、功能分类进行了需求分析，对系统接口和功能性需求进行了阐述。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库