

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: X2013230344

UDC\_\_\_\_\_

厦门大学

工程硕士学位论文

光伏电站集中信息化管理系统的设计与实现

Design and Implementation of PV Power Plant Centralized Information Management System

顾斌

指导教师: 林坤辉教授

专业名称: 软件工程

论文提交日期: 2015年3月

论文答辩日期: 2015年4月

学位授予日期: 年 月

指导教师: \_\_\_\_\_

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

2015年3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

太阳能作为一种新型的清洁能源，已经受到世界各国的高度关注。近年来光伏发电行业发展十分迅速，光伏装机容量逐年递增，荒漠化土地得到有效利用，但光伏电站普遍存在数量多，分布散，环境恶劣，实现光伏电站少人值守，无人值班，多电站集中管理显得尤为重要。

基于目前国内光伏电站运行现状和存在的相关问题、多电站集中管理的实际需求，本文提出了光伏电站集中信息化管理设计方法，并全面进行光伏电站集中信息化管理系统的功能研究与软件开发设计，从系统总体设计、系统硬件需求、系统软件设计、数据库设计等方面对整个系统进行全面研究及设计。同时，通过西北某大型并网光伏电站为实例，从电站实时监测、设备运行分析、电站运行分析和生产运营报表四个方面全面应用光伏电站集中信息化管理系统，取得了良好的应用成果。

**关键词：**太阳能；光伏电站；信息化管理

## Abstract

Many governments of countries have recently invested a lot to develop renewable green energy resources recently, and solar energy is accepted commonly because of its unusual and technical advantages. Today the developed and used solar energy has become the important basis for the sustainable development strategy of many countries, and photovoltaic electricity generation is the main ways to resolve the problem of world energy crisis and environmental pollution. As the increasing numbers of the solar power station, the evaluation of the performance is more and more importance. It is not easy to learn the useful information of the whole station because the PV module is normally built in the remote rural area, base on the wide distribution of power station, he computer centralized information Management system becomes the necessary manager mode for monitoring the whole power plant of different area.

This dissertation focuses on photovoltaic centralized information Management system. The platform architecture and the main functions are analyzed and studied in the aspect of requirement analysis, system design, database design function realization and System application. The system design and development process are described in details in this paper, including network communication management, database management, Real-time monitoring, system operation management, analysis of equipment operation, photovoltaic system power forecasting.

**Keywords:** Solar Energy; Photovoltaic Power Plant; Information Management

## 目录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究背景与意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	3
1.3 本文主要内容.....	3
1.4 本文结构安排.....	4
<b>第二章 相关技术介绍</b> .....	<b>5</b>
2.1 JAVA 技术.....	5
2.2 Delphi 技术.....	6
2.3 数据可视化.....	6
2.5 网络协议.....	8
2.6 本章小结.....	8
<b>第三章 系统需求分析</b> .....	<b>9</b>
3.1 业务需求分析.....	9
3.2 功能需求分析.....	9
3.3 非功能性需求分析.....	12
3.4 本章小结.....	13
<b>第四章 系统总体设计</b> .....	<b>14</b>
4.1 设计原则和要求.....	14
4.2 功能结构.....	15
4.3 网络拓扑结构.....	16
4.4 数据采集结构.....	17
4.4.1 数据采集精度.....	17
4.4.2 采集设备的通讯方式.....	19
4.4.3 网络协议.....	19
4.5 开发平台.....	19
4.6 本章小结.....	20
<b>第五章 系统详细设计</b> .....	<b>21</b>

<b>5.1 硬件设计</b> .....	<b>21</b>
5.1.1 硬件配置.....	21
5.1.2 通讯网络设计.....	27
5.1.3 分层、模块化设计.....	27
<b>5.2 软件设计</b> .....	<b>28</b>
5.2.1 软件设计要求.....	28
5.2.2 软件设计方法.....	29
<b>5.3 数据库设计</b> .....	<b>29</b>
<b>5.4 地图导航设计</b> .....	<b>34</b>
<b>5.5 实时监测设计</b> .....	<b>34</b>
5.5.1 逆变器实时监测.....	35
5.5.2 汇流箱实时监测.....	35
5.5.3 电能计量数据实时监测.....	35
5.5.4 环境数据实时监测.....	35
<b>5.6 设备运行分析设计</b> .....	<b>35</b>
5.6.1 逆变器功率与辐射强度分析.....	36
5.6.2 逆变器发电量分析.....	36
5.6.3 逆变器转换效率分析.....	36
5.6.4 组串电流分析.....	37
5.6.5 多电站设备运行分析.....	37
<b>5.7 电站运行分析设计</b> .....	<b>37</b>
<b>5.8 生产运营报表设计</b> .....	<b>38</b>
<b>5.9 本章小结</b> .....	<b>38</b>
<b>第六章 系统实现</b> .....	<b>40</b>
<b>6.1 系统主界面</b> .....	<b>40</b>
<b>6.2 电站实时监测</b> .....	<b>41</b>
<b>6.3 设备运行分析</b> .....	<b>43</b>
<b>6.4 电站运行分析</b> .....	<b>44</b>
<b>6.5 生产运营报表</b> .....	<b>47</b>

6.6 应用效果评价.....	49
6.7 本章小结.....	50
<b>第七章 总结与展望 .....</b>	<b>51</b>
7.1 总结 .....	51
7.2 展望 .....	51
<b>参考文献 .....</b>	<b>53</b>
<b>致谢.....</b>	<b>55</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库



## Contents

<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Background and Significance .....	1
1.2 Research Status .....	3
1.3 The Main Contents.....	3
1.4 Chapter Arrangement.....	4
<b>Chapter 2 Related Technology Introduction.....</b>	<b>5</b>
2.1 The Brief of JAVA Technology .....	5
2.2 The Brief of Delphi Technology .....	6
2.3 Data Visualization .....	6
2.5 Network Protocol .....	8
2.6 Summary.....	8
<b>Chapter 3 System Requirement Analysis .....</b>	<b>9</b>
3.1 Business Requirement Analysis .....	9
3.2 Function Requirement Analysis.....	9
3.3 Non-functional Requirement Analysis .....	12
3.4 Summary.....	13
<b>Chapter 4 System Design.....</b>	<b>14</b>
4.1 Design Principles and Requirements.....	14
4.2 Functional Structure.....	15
4.3 Network Topology and Structure .....	16
4.4 Data Acquisition and Structure .....	17
4.4.1 Accuracy of Data Collection.....	17
4.4.2 Acquisition Equipment way of Connection .....	19
4.4.3 Network Protocol .....	19
4.5 Development Platform.....	19
4.6 Summary.....	20
<b>Chapter 5 System Detail Design .....</b>	<b>21</b>

<b>5.1 Hardware Design</b> .....	<b>21</b>
5.1.1 Hardware Configuration .....	21
5.1.2 Design of Communication Network .....	27
5.1.3 Hierarchical and Modular Design .....	27
<b>5.2 Software Design</b> .....	<b>28</b>
5.2.1 Requirements of Software Design .....	28
5.2.2 Method of Software Design .....	29
<b>5.3 Database Design</b> .....	<b>29</b>
<b>5.4 Map Navigation</b> .....	<b>34</b>
<b>5.5 Real-time Monitoring</b> .....	<b>34</b>
5.5.1 Real-time Monitoring of Inverter.....	35
5.5.2 Real-time Monitoring of Header Box.....	35
5.5.3 Real-time Monitoring of Watt-hour Meter.....	35
5.5.4 Real-time Monitoring of Environm Data.....	35
<b>5.6 Analysis and Design of Equipment Operation</b> .....	<b>35</b>
5.6.1 Analysis of The Inverter Power and Irradiance .....	36
5.6.2 Analysis of The Inverter Output.....	36
5.6.3 Inverter Efficiency .....	36
5.6.4 Analysis of PV Current .....	37
5.6.5 Analysis of Many Plant.....	37
<b>5.7 Analysis of Plant Operation</b> .....	<b>37</b>
<b>5.8 Operation Report</b> .....	<b>38</b>
<b>5.9 Summary</b> .....	<b>39</b>
<b>Chapter 6 System Implementation</b> .....	<b>40</b>
<b>6.1 Main Interface of System</b> .....	<b>40</b>
<b>6.2 Real-time Monitoring of Plant</b> .....	<b>41</b>
<b>6.3 Analysis of Equipment Operation</b> .....	<b>43</b>
<b>6.4 Analysis of Plant Operation</b> .....	<b>44</b>
<b>6.5 Operation Report</b> .....	<b>47</b>

<b>6.6 Evaluation of Application Effect.....</b>	<b>49</b>
<b>6.7 Summary.....</b>	<b>50</b>
<b>Chapter 7 Conclusions and Future Work.....</b>	<b>51</b>
<b>7.1 Conclusions.....</b>	<b>51</b>
<b>7.2 Future Work .....</b>	<b>51</b>
<b>References.....</b>	<b>53</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>55</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景与意义

太阳能是一种新型的清洁能源，其无污染的特性倍受人们青睐，目前光伏发电工程已经受到世界各国的高度关注。我国幅员辽阔，具备非常丰富的太阳能资源，太阳能光伏发电的开发潜力巨大。近年来光伏发电行业发展十分迅速，光伏装机容量逐年递增，荒漠化土地得到有效利用，但光伏电站普遍存在数量多，分布散，环境恶劣，实现光伏电站少人值守，无人值班，多电站集中管理显得尤为重要。

按照 2011 年 10 月份国家出台的十二五期间太阳能光伏产业发展规划，2015 年太阳能发电装机目标到达 1000 万千瓦。随后国家能源局 2011 年 12 月 15 日公布了我国可再生能源发展的“十二五”规划目标。根据该目标，太阳能发电到 2015 年将达到 1500 万千瓦，年发电量 200 亿千瓦时，较之前的 1000 万千瓦提高了 50%，较 2011 年年初规划的 500 万千瓦更是提高了 200%。从中可以看出我国将太阳能光伏发电作为重点战略性新兴产业，大力支持国内光伏产业持久发展建设。

截至 2014 年底，我国光伏发电累计装机容量 2805 万千瓦，同比增长 60%，其中，光伏电站 2338 万千瓦，分布式 467 万千瓦，年发电量约 250 亿千瓦时，同比增长超过 200%。2014 年新增装机容量 1060 万千瓦，约占全球新增装机的五分之一，占我国光伏电池组件产量的三分之一，实现了《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》中提出的平均年增 1000 万千瓦目标。其中，光伏电站 855 万千瓦，分布式 205 万千瓦。

目前，国内光伏发电产业在规模和技术上都取得了迅猛的发展，尤其是地面大型并网光伏电站的建设发展，其相关技术达到了世界先进水平。但是集中式地面大规模并网光伏电站分布散，且所涉及电池组件、直流汇流箱、集中式逆变器和交、直流配电柜等设备和数量众多，计算机监控系统采集的数据量大，运行成本高，设备故障隐患率高、发电系统运行稳定性差，太阳能资源利用率低，如果设备缺陷不能及时发现，及时处理，将严重影响了光伏电站的经济效益，如何确保光伏电站安全、高效、经济运营则变得尤为重要！

本课题主要研究光伏电站集中信息化管理系统，利用计算机技术，基于统

一的技术架构和技术准则，融合电力系统运行管理理念与方法，实现了光伏发电监控系统集中化、模块化、数字化设计。光伏电站集中信息化管理系统的研究能够满足光伏电站生产运营业务的需要，为电站安全稳定运行、生产提供了技术支撑，提升了光伏电站效益，有助于企业经营管理水平和核心竞争能力的提升，从而对全国光伏电站的运营管理提供典范。本课题研究的光伏电站集中信息化管理系统具有如下的意义：

#### 1. 多个电站集中管理，辅助决策分析

该系统能够实现多个光伏电站集中化的运行状态远程监测，对电站运行数据进行综合统计分析，为集团领导及相关人员提供各电站信息查看的便捷途径，有助于集团决策层对各电站进行更有效的管理。

#### 2. 提供设备故障准确判断依据

该系统能够对各光伏电站的生产运行数据进行实时采集与分析，采集内容包括逆变器、汇流箱、环境检测仪、电能计量表等设备的运行数据及状态，为运维人员提供全面的数据支持，以便相关人员及时发电设备缺陷，完成消缺工作，从而提高发电量。

#### 3. 提升集团电站运营的整体水平，提高整体电站发电效益

该系统能够对各光伏电站的设备运行数据进行全面、多维度的统计分析，包括电站综合利用效率、设备运行效率、设备运行参数对比等，提升集团电站运营的整体水平，提高整体电站发电效益。

#### 4. 实现电站的无人值守、少人值班，节约运维成本

该系统能够实时监测电站设备运行，宏观掌控各电站总体运行状况，满足电站运行人员日常管理与操作、电站业主的管理需要、升级电度系统的监控需求等，实现将光伏电站逐步向智能数字化、集中控制模式转变，可有效整合资源，减少设备重复投资，降低运行成本。

#### 5. 为电站投资提供决策支持

该系统收集的多电站数据涵盖不同设备配置、不同运行情况、各种突发情况、各年运行数据等全面的电站综合运行数据，为今后电站技改、扩建、项目投资提供理论依据（如光伏设备选型、发电量估算等），也对整个光伏发电行业的发展提供了客观的、有效的运行数据。

## 1.2 国内外研究现状

光伏电站是一种新型的发电机构，它不同于传统的火电与水电发电，光伏电站的发电设备数量庞大，故障点（电池组件、接线盒、保险、汇流箱、开关、电缆头等）大幅增加，而且占地面积大、设备种类多，巡检量大（费时、费力，工作条件与生活条件艰苦，其整个电站运营生命周期长达 25 年。

目前，我国光伏电站的实际运行现状具体如下所示：

1. 光伏电站分布广、数量多，集中管理模式未能实现。
2. 设备运行数据量日趋庞大，无论是入库和查询，都出现性能瓶颈；
3. 电站设备厂家和类型众多，数据的碎片化，各自为政；
4. 通讯网络的稳定性有待改善；
5. 测量传感器的精度问题（高海拔、高寒、荒漠）；
6. 监测数据采集的时间精度（时间同步）；
7. 海量监测数据的存储与分析问题；
8. 技术难题（数据挖掘分析需要硬件、软件等各方面技术的系统完善和准备）；
9. 用户需求要求越来越高（用户的应用和分析结果呈整合趋势，要求很高的实时性、很快的相应速度，设备故障能够智能判断与分析，快速辅助电站设备运维等）。

基于我国光伏电站实际运行的现状，如何建设一个安全、高效的光伏电站（内部损耗小，维持高的发电效率，确保长期安全、稳定运行，设备服务期限更长）集中信息管理系统是目前国内甚至是全球光伏投资行业面临的一个严峻课题。

## 1.3 本文主要内容

信息时代的电力企业必将是一个以“信息化”为理念、“智能化”为手段的新型企业，能够与时俱进、不断的改进并持续创新。

本文主要基于信息化、智能化的管理理念，利用计算机相关技术手段，研究光伏电站集中信息管理系统，本系统主要进行以下方面的研究工作：

1. 研究将多个光伏电站统一在一个平台上运行管理，实现电站之间生产运行数据、经济指标的综合对比分析。

2. 研究通过信息化管理平台实现对电站的科学、规范、动态管理，并能及时有效地分析、判断设备的运行状态（尤其是故障分析与定位），降低设备的故障率，从而提高设备的可利用率，为光伏电站安全生产起到了重要的保障作用，提高整体经济效益。

3. 研究通过该系统建立合理的决策分析模型，对采集到的多个光伏电站生产运行数据进行全方位的、有效地分析，评估电站实际的生产运行情况，提供全面的生产运行报表，为集中管理决策提供有力的数据支持。

## 1.4 本文结构安排

本文共分为七章，各章内容安排如下：

第一章 绪论主要介绍了我国光伏发电行业的背景和目前发展现状，同时给出本课题的研究内容及研究意义。

第二章 相关技术介绍主要介绍了 Java 开发语言、Delphi 技术及计算机网络方面的相关知识。

第三章 系统需求分析主要介绍了光伏电站集中信息化管理系统业务需求、环境需求、功能需求和非功能性需求。

第四章 光伏电站集中信息化管理系统总体设计包括系统设计原则和要求、系统结构、系统网络拓扑结构和系统数据采集结构等内容。

第五章 光伏电站集中信息化管理系统详细设计主要介绍了光伏电站集中信息化管理系统的软件设计、硬件设计和数据库设计等方面的相关要求及相关配置；光伏电站集中信息化管理系统的功能设计，详细给出本系统的各个功能模块的设计。

第六章 光伏电站集中信息化管理系统实现主要介绍了光伏电站集中信息化管理系统的实际应用。

第七章 总结与展望，对全文进行了总结，并对未来需进一步研究的工作进行了展望。

## 第二章 相关技术介绍

光伏电站集中信息化管理系统对分布在不同区域的光伏电站设备进行集中管理，必须实时掌握电站设备运行情况，分析不同电站发电量、系统效率，同一电站不同设备效率、故障情况，为运行、检修、管理人员提供全面、科学的数据和服务。而实现集中管理系统的软件开发方面需要使用 JAVA 程序设计语言和 Delphi 开发语言，以及相关的网络协议、网络拓扑设计等关键技术。

### 2.1 JAVA 技术

Sun Microsystems 公司在 1995 年 5 月份推出了 Java 程序设计语言。Java 语言具有跨平台、动感的 Web 和 Internet 计算，推动 Web 的飞速发展同时 Java 技术也取得了不断的发展。

Java 平台由 Java 虚拟机和 Java 应用编程接口构成。在操作系统上安装 Java 平台之后，Java 应用程序就可以使用了。目前的 Java 平台几乎已经嵌入了市面上所有的操作系统，兼容性强大。Java 共分为三个体系，包括 JavaEE、JavaSE、JavaME。

Java 语言是面向对象程序设计语言，继承了 Smalltalk 语言和 C++ 语言的优点，增加了支持并发程序设计、网络通信、多媒体数据控制等功能，具有强大的生命力和可靠性。Java 编译一次可到处运行，提供一个随处可用的开放结构和在多平台之间传递信息。尤其是 Java 企业应用编程接口为企业计算提供了有关技术和丰富的类库。

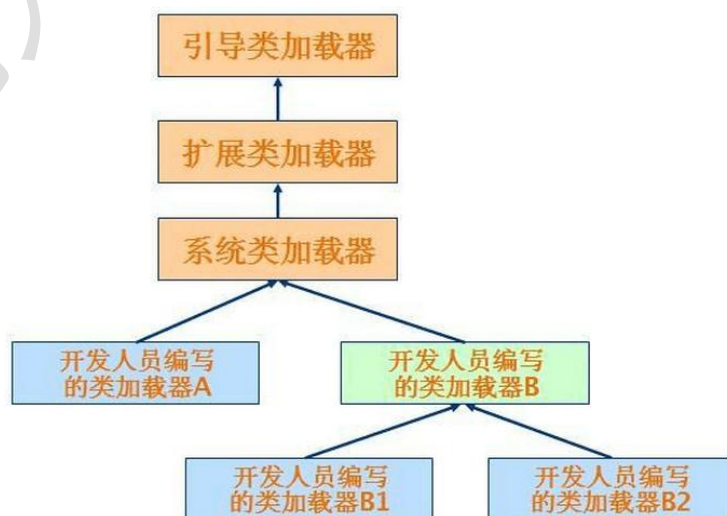


图 2-1 Java 类加载器架构图



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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.