

文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R_2021072315351220210723154736311183005456

检测时间:2021-07-23 15:47:36

检测文献: 014

作者:

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比对库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

检测结果

去除本人文献复制比: 20.1%

跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 19.9%

总文字复制比: 20.1%

单篇最大文字复制比: 14.4% (ZS电力学院20141200223王桂荣)

重复字数: [7640]

总段落数: [4]

总字数: [38034]

疑似段落数: [4]

单篇最大重复字数: [5490]

前部重合字数: [747]

疑似段落最大重合字数: [5430]

后部重合字数: [6893]

疑似段落最小重合字数: [37]



指 标: ☐ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表 格: 0

公 式: 没有公式

疑似文字的图片: 0

脚注与尾注: 0

11.4%(1171) 11.4%(1171) 014_第1部分 (总10292字)

10.1%(1002) 10.1%(1002) 014_第2部分 (总9929字)

55%(5430) 55%(5430) 014_第3部分 (总9874字)

0.5%(37) 0.5%(37) 014_第4部分 (总7939字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

1. 014_第1部分

总字数: 10292

相似文献列表

去除本人文献复制比: 11.4%(1171)

文字复制比: 11.4%(1171)

疑似剽窃观点: (0)

1	电力学院+20141200223+王桂荣 - 《学术论文联合比对库》- 2018-04-11	6.3% (647) 是否引证: 否
2	ZS电力学院20141200223王桂荣 王桂荣 - 《学术论文联合比对库》- 2018-06-20	6.3% (647) 是否引证: 否
3	4417860_王桂荣_变电站智能化改造关键技术研究 王桂荣 - 《学术论文联合比对库》- 2017-09-07	5.5% (561) 是否引证: 否
4	BU201091303551999	1.3% (137)

	- 《学术论文联合比对库》- 2013-10-24	是否引证: 否
5	222-2015220195-张世龙-智能变电站继电保护检修方法分析与研究 张世龙 - 《学术论文联合比对库》- 2019-12-03	1.2% (121) 是否引证: 否
6	智能变电站及技术特点分析 张勇; - 《价值工程》- 2012-07-28	0.7% (75) 是否引证: 否
7	145 145 - 《学术论文联合比对库》- 2015-05-07	0.6% (61) 是否引证: 是
8	JNP公司五万吨木薯干进口项目的方案设计与实施研究 杨扬(导师: 冯俊文; 龚创国) - 《南京理工大学硕士学位论文》- 2012-09-01	0.3% (36) 是否引证: 否
9	智能变电站继电保护系统状态检修策略研究 曹力行(导师: 张哲) - 《华中科技大学硕士学位论文》- 2015-05-01	0.3% (36) 是否引证: 否
10	207_2011212073513_车向北 车向北 - 《学术论文联合比对库》- 2014-04-21	0.3% (32) 是否引证: 否
11	201604131718556785_李凌燕_光伏电站防雷技术及工程设计 李凌燕 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-13	0.3% (31) 是否引证: 否
12	突泉县太平66kV变电站增容扩建改造工程设计 孙文龙(导师: 卢秀和; 李祥杰) - 《长春工业大学硕士学位论文》- 2019-06-01	0.3% (31) 是否引证: 否
13	智能变电站运行、检修安全策略研究 李宾皓; 曾平; - 《华东电力》- 2012-06-24	0.3% (30) 是否引证: 否
14	席金泽_申通快递江苏徐州公司市区配送网络优化研究 席金泽 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-18	0.3% (29) 是否引证: 否
15	申通快递江苏徐州公司市区配送网络优化研究 席金泽 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-20	0.3% (29) 是否引证: 否
16	基于三相变压器和DN供电方式的同相供电系统的研究 刘昊君(导师: 王茜) - 《西南交通大学硕士学位论文》- 2012-10-01	0.3% (29) 是否引证: 否

原文内容

硕士学位论文

变电站智能化改造技术应用研究

Application Research on Intelligent Transformation
Technology of Substation

xx

2020 年 12 月

国内图书分类号: TM73 学校代码: 10079

国际图书分类号: UDC621.3 密级: 公开

工学硕士学位论文变电站智能化改造技术应用研究

硕士研究生: xx

导师: xx 教授企业导师:

申请学位: 工学硕士

学科: 电气工程

专业: 电力系统及其自动化

所在学院: 电气与电子工程学院

答辩日期: 2021 年 9 月

授予学位单位: 华北电力大学

Classified Index: TM73

U.D.C: 621.3

Dissertation for the Master Degree in Engineering

Candidate: xx

Supervisor: Associate Prof. xx

Business mentor:

Academic Degree Applied for:

SN ENGR. xx

Master of Engineering

Speciality: Power System and its Automation

School: School of Electrical and Electronic

Engineering

Date of Defence: March, 2020

Degree-Confering-Institution: North China Electric Power University

华北电力大学硕士学位论文原创性声明

本人郑重声明：此处所提交的硕士学位论文《变电站智能化改造技术应用研究》

，是本人在导师指导下，在华北电力大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知，论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。

作者签名： 日期： 年月日

华北电力大学硕士学位论文使用授权书

《变电站智能化改造技术应用研究》系本人在华北电力大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归华北电力大学所有，本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解华北电力大学关于保存、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅，学校可以为存在馆际合作关系的兄弟高校用户提

供文献传递服务和交换服务。本人授权华北电力大学，可以采用影印、缩印或其它复制手段保存论文，可以公布论文的全部或部分内容。

本学位论文属于（请在以上相应方框内打“√”）：

保密□，在年解密后适用本授权书

不保密□

作者签名： 日期： 年月日 导师签名： 日期： 年月日

摘要

随着电力系统的日益发展，用电量水平的逐年提升，用户对供电的可靠性要求越来越高。智能电网的建设是未来电网发展的必经之路，智能变电站的升级改造则是智能电网的核心内容。智能变电站通过智能化控制，将业务流、信息流和电力流进行汇集，并有效地实施电能的分配，实现电网的安全可靠地自动化控制。

本文以 110kV 变电站的智能化改造实例为基础，对智能变电站改造技术进行研究，

主要工作如下：

首先，对本文课题的研究背景进行分析，指出变电站进行智能化改造的必要性和意义。根据现有智能变电站技术的研究现状，分析国内外智能化改造进程中的技术特点，为本文采用的智能变电站关键技术提供理论支撑。

其次，针对智能变电站典型的“三层两网”结构进行研究，指出了这种结构的优越性。在 IEC61850 通信标准下进行组网建模，实现了设备之间的信息互联互通，

从而有效提升了变电站的可靠性水平，对电网的安全稳定运行具有重要的意义。

然后，根据 110kV 变电站的运行现状，提出了智能化改造的具体方案。主要包括对高压侧母线接线方式进行改进，以进一步提升可靠性。方案的重点在于对保护控制系统、组网模式和电子式互感器的应用改造，对原有一次设备进行保留并加之合并单元与智能终端，整体上提升了变电站智能化水平。在线监测技术的改造则是智能化改造的显著特征，为以后的状态检修提供了可能，并且在此基础上实现了智能视频监控、巡检和安全消防等诸多辅助功能。对智能化改造进行经济性分析，以投资回收期与内部收益率为评估指标，同时对比了常规改造和智能改造的全寿命周期成本，结果表明智能化改造在经济性方面具有明显优势。

最后，在智能变电站能够实现实时的在线监测的基础上，提出了状态检修方案。研究了利用威布尔分布函数的意义及参数求解方法，制定了电气设备故障概率预测的继电保护状态检修流程与策略，进行拟合和建模，提出了智能变电站设备的状态检修策略，从而有效延长了变电站的常规检修周期。

关键词：智能化改造；在线监测技术；经济性；状态检修

II

Abstract

With the development of power system and the increase of electricity consumption year by year, users have higher and higher requirements for the reliability of power supply. The construction of smart power grid is the only way for the future development of power grid, and the upgrading of smart substation is the core content of smart power grid. Intelligent substation gathers information flow and power flow through intelligent control, effectively implements the distribution of electric energy, and realizes the safe and reliable automatic control of the power grid. Based on the intelligent transformation of 110kV substation, this paper studies the transformation technology of intelligent substation. The main work is as follows:

First of all, this paper analyzes the research background of the topic, points out the necessity and significance of intelligent substation transformation according to the existing intelligent substation technology research status, analyzes the technical characteristics in the process of intelligent transformation at home and abroad, to provide theoretical support for the key technology of intelligent substation used in this paper.

Secondly, the typical three-layer and two-network structure of smart substation is studied, and the advantages of this structure are pointed out. The network modeling is carried out under the IEC61850 communication standard, and the information interconnection between the equipment is realized, thus effectively improving the reliability level of the substation, which is of great significance to the safe and stable

operation of the power grid.

Then, according to the operation status of 110kV substation, the specific plan of intelligent transformation is put forward, which mainly includes the improvement of the wiring mode of high voltage side bus, so as to further enhance the reliability. The key point of the plan is to protect the control system Network model and the application of electronic transformer transformation, to retain a original equipment and combined with the merging unit and intelligent terminal, overall level raised the substation intelligent online monitoring technology of transformation is the salient feature of intelligent control, provides the future state overhaul, and on this basis to realize the intelligent video surveillance Taking the payback period of investment and internal rate of return as the evaluation indexes, the whole life cycle cost of conventional reconstruction and intelligent reconstruction is compared. The results show that intelligent reconstruction has obvious advantages in economic aspects.

Finally, based on the realization of real-time online monitoring of intelligent substation, a condition maintenance scheme is proposed This paper studies the

III

significance of Weibull distribution function and the parameter solving method, formulates the relay protection state maintenance process and strategy of electrical equipment fault probability prediction, carries on the fitting and modeling, and puts forward the state maintenance strategy of intelligent substation equipment, thus effectively prolongs the conventional maintenance cycle of substation.

Keywords: Intelligent transformation; On-line monitoring technology; Economy; The state overhaul

IV

目录

摘要

..... I	
ABSTRACT	
..... II	
第 1 章绪论	
..... 1	
1.1 课题背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 传统到智能变电站的发展	2
1.2.2 智能变电站的研究现状	2
1.3 智能变电站状态检修技术研究现状	4
1.4 论文主要研究内容	5
第 2 章变电站智能化改造关键技术	6
2.1 智能变电站基本结构	6
2.1.1 智能变电站特点	6
2.1.2 三层两网结构	7
2.2 IEC61850 建模	10
2.2.1 基本流程	10
2.2.2 工程配置	11
2.2.3 文件结构	12
2.3 智能化一二次相关技术	

..... 13

2.3.1 智能化一二次设备..... 13

2.3.2 在线监测技术..... 17

2.3.3 合并单元..... 18

2.4 本章小结..... 19

第 3 章 110KV 变电站智能化改造方案..... 20

3.1 智能化改造概况..... 20

3.1.1 必要性分析..... 20

3.1.2 基本原则..... 20

3.2 智能化改造方案..... 21

3.2.1 接线模式的改进..... 21

3.2.2 一次设备智能化改造..... 23

3.2.3 二次系统智能化改造..... 26

3.2.4 在线监测技术改造..... 29

3.2.5 辅助智能管理系统..... 30

3.3 经济性分析..... 31

3.3.1 成本预算..... 31

3.3.2 静态投资回收期..... 32

3.3.3 内部收益率..... 34

3.3.4 全寿命周期成本分析..... 35

3.4 本章小结..... 36

第 4 章 智能变电站继电保护检修策略..... 37

4.1 基础故障概率曲线模型..... 37

4.2 继电保护状态检修流程与策略..... 40

4.3 算例分析..... 41

4.3.1 建模过程..... 42

4.3.2 状态检修策略分析..... 45

4.4 本章小结..... 45

第 5 章 结论与展望

第 1 章绪论

1.1 课题背景及意义电力系统中的主要环节包括发电系统、输电系统、变电系统以及各配电线路，

最后与用户对接。其中，变电站是电力系统中对电能进行分配调节的重要环节，起到了电力枢纽的作用，变电站的安全有效运行关系到整个电力系统的运行效率。

随着社会发展水平的逐步提升，电力能源需求的增长也同步扩大，同时，电能质量也成为用户重点关注的内容。我国对电网的投资建设也随着电力需求的扩大而提升，在此过程中，也面临着无数的机遇和挑战。随着电网建设规模的扩大，区域电网之间的关联性问题日益突出，输电可靠性需要的到保证，变电站的日常维护运行也值得关注，其要求更高[1]。

随着变电站技术的发展，传统变电站技术逐步走向数字化和智能化模式。变电站设备的智能化技术的不断成熟，是智能变电站的建设成为可能。智能电网的

关键词为“智能”和“坚强”，而智能变电站是构建智能电网的中心环节，能够准确连

接调、发、输、变、配、用六大电力环节，为电力系统的拓扑结构提供了重要的支撑[2, 3]。《智能变电站技术导则》是由国家电网公司编制的，对智能变电站进行了相关的定义[4]，即智能变电站的基础为高速通信平台、并且以一、二次数字化设备为对象，利用标准化数字技术，对变电站内外的信息进行互操作和共享，从而是细腻保护控制、智能状态监测、信息管理和测量监视等功能。智能变电站的基础为数字化变电站，前者是后者的升级提升，智能变电站较数字变电站具备更高的自动运行水平，特别是一次设备更具智能化特点，继电保护与之协调工作，实现了二次设备的高度自动化。此外，智能变电站的信息交互具备统一的通信标准，

高度集成化系统的应用使变电站的运行分析决策能够实时完成[5]。智能电网中的电能分配和电能控制任务均由智能变电站执行，电力信息流和业务信息流经过集中汇集到调度中心，通过智能化控制达到对整个电网进行安全控制的目的。智能化运行的基本要求是实现电网运行参数和设备运行维护信息的互联互通，以调度中心为核心，建立高度网络化信息平台，统一信息共享执行标准。优化与管理设备的全寿命周期状态，自动在线监测和控制各类设备和信息。协同调控中心，配合邻接变电站完成工作[6, 7]。

智能变电站中的新型智能设备的使用使数据采集更加精确，为高效可靠地运维提供了有利支撑。特别是电子式互感器的使用，极大提升了数据采集和监控技术，使信息一体化平台 SCADA 系统的功能得到了升级。对于智能变电站设备的巡 2

检，也展现了与传统变电站的极大不同。传统变电站的技术和设备性能的局限性，

限制了电网的发展空间，与新时期电网发展不匹配，而智能化的发展史未来坚强型智能电网的重中之重。因此，建设智能变电站，进行智能化改造，对电网的发展具有重要的意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 传统到智能变电站的发展

一直以来，变电站的发展方向未被明确定义，一般对变电站的发展阶段是通过智能化水平和继电保护装置水平来进行划分的[8]。在国内，阿城继电器厂是二十世纪五十年代首先对外国继电器技术进行引进的厂家[9]，并且逐步发展壮大。直到上世纪六十到八十年代，以晶体管为核心的继电保护装置被广泛使用，成为了一

时的热点[10]。事实上，六十年代中期即出现了采集系统和监控系统，使数据的采集分析越来越方便[11]。SCADA 系统是在七十年代中期出现的，可以通过电力计算机来实现微机继电保护技术[12]。二十世纪八十到九十年代后，集成电路快速发展起来，并得到广泛使用。智能自动化系统则在二十世纪九十年代后期出现，其中，

微处理器和通信技术的升级使变电站的智能化水平得到了极大的提升。到了二十一世纪，数字化技术开始兴起，智能变电站的概念被提出[14]。

国外对变电站系统的研究始于二十世纪七十年代，与国内相比起步较晚[15]。

1981 年 5 月第六届国际供电会议在英国召开，参会国家包括英国、意大利、西德、

澳大利亚和法国等，根据该会议的内容可知，微机远动装置已经在西方各国取代了传统的远动装置[16]。到了二十世纪八十年代，变电站综合自动化系统被德国和瑞士等国家研制成功，直到现在，欧美各国的智能电网控制系统的发展重点，在于一次发展模式和信息交互系统[17]。

在国内，虽然综合自动化系统的广泛应用是数字化和智能化水平得到了显著提升，但也出现了很多问题，如不同公司需要采用统一的协议标准上出现了不一

致性。导致这一问题的原因主要包括以下几点：第一、各公司之间的信息资源封闭，无法共享[18]。电力系统中的设备众多，当不同厂家的设备在同一系统中使用时，往往存在协议无法通用的现象。第二，设备之间的互操作性较差。由于不同公司的标准和协议制定上存在一定的差异，从而无法在不同的设备上进行同类操作。第三，系统扩展性较弱，通信协议的差异使协议之间的转化变得困难。

1.2.2 智能变电站的研究现状

1994 年，IEC61850 标准被德国提出。到了 1995 年，国际电工委员会 TC-57 3

技术委员会进行变电站标准化制定，并且形成了通用的变电站自动化通信系统标准 IEC61850[

19]，并且一直沿用至今。并且，国际电工委员会 TC-57 于 2004 年正

式颁布了该标准[20]。IEC61850 标准将网络体系进行了统一化，标准化和网络化，

使系统内的设备得到了更好的管理，信息体系资源和数字化流动得到了有效的共享。而中国颁布的 DL/T860 电力行业标准是在 2006 年得到执行的[21]。

我国的变电站形式在二十世纪九十年代发生了转变，即集中式到分散式，再由智能化和数字化发展到先进的现代化模型。最初，中国建设变电站采用的标准还是 IEC61850，即数字化变电站。智能电网概念的模式下，变电站的建设改造也有了新的要

求，最基本的则是与数字化技术相结合，建成智能化变电站。国家电网公司对智能变电站的改造升级注入了低碳环保的理念，保证智能设备的可靠运行[23]。与此同时，在智能变电站站中，信息以数字化形式进行传递，通信平台也采用网络化模式进行共享。站点的主要功能在于对信息进行采集、控制、测量、

保护和监控等，同时还能够根据电网的状态进行实时的智能控制和调节，从而实现智能决策和协同互动等高级功能。智能变电站的站控层和间隔层与传统变电站有很大的不同，网络接口的功能较后者明显增加[24]。传统变电站的过程层一次设备、互感器和二次设备之间的通信媒介是电缆，而智能变电站中则采用智能一次设备、电子式互感器、智能终端和合并单元等。IEC61850 标准里，对智能变电站的结构划分为三层，即过程层、间隔层和站控层，各层之间的信息交换模式为高速网络通信[25-28]。系统的通信网络可以等效看作为站控层与间隔层之间的站控层

通信网络，和间隔层与过程层之间的过程层通信网络。其中，前者采用的标准为

IEC61850，在后台的远动系统和监控系统中均采用该标准的装置，此外，完备的IEC61850 系统工具还可以获取该标准下的规范的 SCL 文件。

智能变电站的技术要点主要包括三个[29]：第一为变电站设备的智能化，对于智能变电站的一次设备，将微处理器和光电技术应用到被控制的操作驱动回路和被检测的信号回路中。因此，二次回路中常规继电器被 PCL 替代，控制电缆和强电的模拟信号被数字光纤替代，数字公共信号网络替代了导线传输信号的方式，

控制回路和继电器回路的形式变得简化了。第二为二次设备的网络化，变电站的主要二次设备是在标准模块化微处理技术的辅助下进行设计，包括继电保护装置、

远动装置、故障录波装置、在线状态检测装置、电压无功控制系统和同期操作装置等。此外，高速网络的形式也在设备上得到了应用。第三为自动运行管理系统，

该系统中主要包括电力生产运行的状态和数据记录统计自动化和无纸化。一旦变电站出现问题，则立刻打印或显示问题报告，并结合问题给我相关处理建议。对变电站进行数字化改造的历史已有十多年，目前已经探及到了智能化的水平。传统变电站中存在明显的缺点，而智能电网发展的大环境下，变电站智能化改造将 4

是未来电网发展的主攻方向。

1.3 智能变电站状态检修技术研究现状智能变电站的继电在继电保护的结构上进行了升级。传统变电站将采集来自变压器、断路器、隔离开关、互感器等过程层的保护与测量的模拟信号通过电缆传到后台控制柜。智能变电站主要对信号传递过程中的设备进行升级，将互感器采集到的模拟数据就地转化为数字信号，再将数字信号用光纤传到后台，实现过程层设备与间隔层设备之间的通信。智能变电站的结构变成了更复杂的三层结构，

增加了合并单元和智能终端等元件，提高了变电站的数字化水平。但是，变电站变得更智能化数字化的同时，也给二次系统（如继电保护）的运行维护、检修带来极大的挑战。继电保护异常会使变电站工作设备故障，严重时甚至给整个电网系统带来极大的危害。研究智能变电站继电保护检修，并制定检修策略，可以保证电网的安全运行和稳定性，提高变电站的供电可靠性。

目前关于继电保护的状态检修研究较多。主要原因为：故障检修无法解决“欠检修”的问题，而计划检修存在过度检修的风险，其成本也较大。状态检修可以减低成本，同时提升设备利用率等，因此诸多电力设备检修方面应用广泛。继电保护装置状态检修根据设备状态变化确定最佳检修时间和周期。目前关于继保状态检修的研究主要分为状态的监测、评价、确定检修决策三方面。

状态监测需要对运行中继电保护的设备状态开展监测。文献[30]采用简单的比较法来继电保护设备的状态监测。文献[31]分析了智能变电站二次设备的特点，

提出并完善了继保设备的在线监测方案。设备的家族性缺陷，投运时间，故障率曲线都是在线监测考虑的点，同时根据设备历史检修状况进行分析，结合算法综合分析。文献[32]根据多个特征进行模糊模识别，分析设备状态。文献[33]从高压设备状态入手，建立了马尔可夫预测模型，研究了设备停电时的模型，根据停电时间，趁机进行检修。文献[34]利用状态空间法建立马尔科夫模型，制定了最优检修时间，结果表明该模型符合生产实际；文献[35]根据遗传算法建立检修决策模型；

同时分析了继保设备的寿命模型和产生原因。由于智能变电站中的继电保护设备类型较多，并且故障原因多种多样采用算法进行状态评价从而制定检修策略和实际情况存在差距。Upeka Premaratne[

36]等人综合站内电子设备、接线及网络等信息，实现继保装置的状态评估及检修。

有关部门制定了《继电保护状态检修导则》等标准，但该标准主要针对微机保护的结构和运行特点而言的，该标准并不完全满足智能变电站继电保护系统状态检修的应用要求。采用状态检修的方式是适应智能变电站继电保护系统检修，5 提高电网可靠性的重要手段。

1.4 论文主要研究内容本文根据智能化技术的应用现状，针对 110kV 变电站的智能化改造实例进行分析，结合智能化改造关键技术的特点，提出相应改造方案。主要的研究内容如下：

第一章介绍本文研究背景和意义，对国内外智能变电站的发展及研究现状进行分析。

第二章研究了智能变电站三层两网的结构特点，建立 IEC61850 通信标准下的组网模型，分析了智能变电站改造运行的关键技术。

第三章以 110kV 变电站为改造实例进行分析，提出智能化改造方案，并进行经济性的评估。

第四章基于智能变电站能够随时监控各类设备的状态，提出智能变电站的状态检修技术方案。

第五章对全文的研究成果进行总结，并分析研究的不足之处。 6

第 2 章变电站智能化改造关键技术

智能变电站需要在传统变电站的基础上，进一步完善功能，这些功能需要满足通信平台网络化、全站信息数字化和信息共享标准化的要求，还能具备一定的高级功能，即智能调控、在线决策分析和协同互动等。

2.1 智能变电站基本结构

2.1.1 智能变电站特点实现常规自动化的变电站改造开始于 20 世纪 90 年代，主要采用了现代电力电子技术、计算机技术和高效的信号处理技术，能够有效降低电网损耗并且提升电能质量，对电网设备的可靠稳定运行具有重要的意义。超高压和特高压交直流输电技术在 21 世纪开始兴起，并且对电网的可靠性和稳定性的要求进一步提升，

若仍然采用常规变电站的自动化模式，无法满足现代电力系统的需求。传统的变电站与智能变电站的区别如表 2-1 所示。

表 2-1 传统变电站与智能变电站的对比分析Table.2-1 Contrastive analysis of traditional substation and intelligent substation

项目	传统变电站	智能变电站
一次设备	未完全实现数字化和信息化采集就地化、智能化、信息化互感器	1、传统电磁式互感器
2、电压回路	不允许短路，电流回路不允许开路	
1、电子式互感器		
2、对开路短路无要求	信息传输	1、物理端子、电缆传输
2、模拟量		
1、虚端子、光纤传输		
2、数字量通信规约私有模式，不同规约需要转换统一规约，无需转换互操作性操作性和兼容性较差统一建模，互操作性强		
状态监测	缺乏监测	信息广泛采用 IED，实现实时监测与传统变电站自动化相比，智能变电站的最大区别为采用智能化一次设备

二次系统采用网络平台，在实现在线监测的前提下进行状态检修。因此，智能变电站解决了很多难题，即互感器的谐振、绝缘和饱和、长距离屏蔽电缆、互感器特性恶化和误动作等。智能变电站的优势主要分为以下几点：

- 1) 更广范围、更深层次的信息采集；
 - 2) 结构扁平化和集成高度化；
 - 3) 配置广域保护，缩小停电范围；
 - 4) 变电站的空间占用率得到极大降低；
 - 5) 分布式能源、调度系统与智能变电站较强地协调互动。
- 2.1.2 三层两网结构基于 IEC61850 标准，我国制定了 DL/T860 行业标准，智能变电站根据标准采用分层设计，不同的设备或系统构成不同的层，其结构如图 2.1 所示。

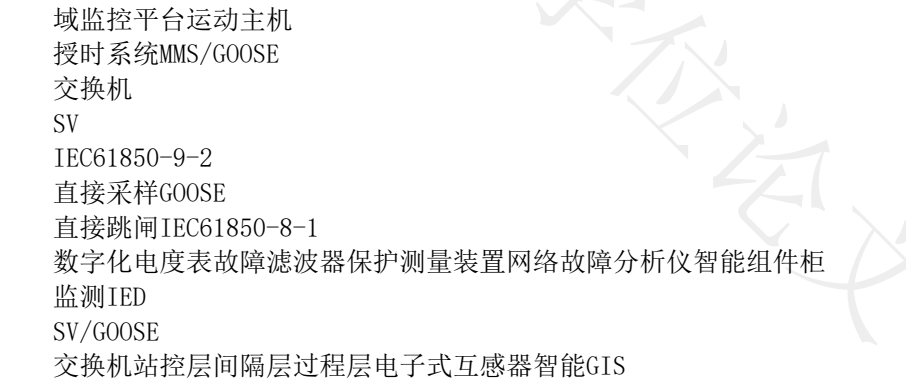


图 2.1 智能变电站结构Fig.2.1 Structure of intelligent substation

1) 站控层-间隔层

对数据的传输主要包括设备状态、遥信、遥测、控制和时钟报文等，分为星形和环形两种结构模式，星形结构为集中化布置，网络节点集中在核心部分，这种布置方式较为常用。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 实现了设备之间的信息互联互通，从而有效提升了变电站的可靠性水平，对电网的安全稳定运行具有重要的意义。
2. significance to the safe and stable operation of the power grid.
3. control system Network model and the application of electronic transformer
4. the payback period of investment and internal rate of return
5. 控制达到对整个电网进行安全控制的目的。智能化运行的基本要求是实现电网运行参数和设备运行维护信息的互联互通，以调度中心为核心，建立高度网络化信息平台，统一信息共享执行标准。
6. 满足智能变电站继电保护系统状态检修的应用要求。采用状态检修的方式是适应智能变电站继电保护系统检修，提高电网可靠性的重要手段。
1.4 论文主要研究内容本文根据智能化技术的应用现状，针对 110kV 变电站的智能化改造
7. 主要的研究内容如下： 第一章介绍本文研究背景和意义，对国内外智能变电站的发展及研究现状进

2. 014_第2部分		总字数：9929
相似文献列表		
去除本人文献复制比：10.1%(1002) 文字复制比：10.1%(1002) 疑似剽窃观点：(0)		
1	电力学院+20141200223+王桂荣 - 《学术论文联合比对库》- 2018-04-11	9.5% (945) 是否引证：否
2	ZS电力学院20141200223王桂荣 王桂荣 - 《学术论文联合比对库》- 2018-06-20	9.5% (945) 是否引证：否
3	4417860_王桂荣_变电站智能化改造关键技术研究 王桂荣 - 《学术论文联合比对库》- 2017-09-07	9.2% (915) 是否引证：否
4	牵引供电系统 - 《学术论文联合比对库》- 2016-04-04	0.3% (31) 是否引证：否
5	L15-wangyangyang19860411+609957259@qq- wangyangyang - 《学术论文联合比对库》- 2012-03-22	0.3% (29) 是否引证：否
原文内容		

环形结构具有较高的可靠性，但是对交换机的水平要求较高。

(1) 单层星形单网网络构建结构如图 2.2 所示，通过单层星形的网络构建能够实现网通通信在站 8 控层和间隔层之间进行。这种结构模式简单，涉及的网络设备较少，缺乏一定的冗余性，可靠性较低，一旦网络中某个节点出现问题，都会引起系统的瘫痪。

信息一体化平台交换机
以太网IEC61850
测量单元控制单元微机保护监测IED
站控层间隔层
以太网IEC61850
以太网IEC61850

图 2.2 单层星形单网结构Fig.2.2 The structure of single layer star-shaped single net

(2) 单层星形双网网络构建结构如图 2.3 所示，单层星形双网提升了单网结构的可靠性，并且通过增加一个核心交换机的方式提高了冗余度配置。由于双层网络的存在，当一个交换机发生故障时，另外一个交换机能够支持整个网络传输数据。这种组网结构需要配置冗余交换机，间隔层设备也需存在两个独立网络结构连接通讯设备。

信息一体化平台交换机1
以太网IEC61850
测量单元控制单元微机保护监测IED
站控层间隔层
以太网IEC61850
以太网IEC61850
交换机2

图 2.3 单层星形双网结构Fig.2.3 The structure of single-layer star double net 9

(3) 双层双网结构网络构建结构如图 2.4 所示，建立了互为独立的两层通讯网络结构，并且以主设备和备用设备方式运行，当主网络发生故障后，需要停用，备用设备则启动进行数据的传输。这种网络构建的层次鲜明，系统调整方式灵活，可靠度得到了极大地提升，但是网络结构变得复杂。通常 110kV 及以上变电站常常采用这种模式。

信息一体化平台交换机1
以太网IEC61850
测量单元控制单元微机保护监测IED
站控层间隔层
以太网IEC61850
以太网IEC61850
交换机2

图 2.4 双层双网结构Fig.2.4 Double layer double mesh structure

(4) 环形网络架构网络构建结构如图 2.5 所示，这种模式的间隔层设备配置两个独立的结构，因此可进行环形连接。若某个节点发生故障后，则通过解环运行方式对数据进行另外一个方向进行传输，实现了网络自愈功能。具备环网功能的交换机的配置，是这种网络结构能够实现的前提。

在我国，双星型或单环型冗余网络架模式主要应用于 220kV 及以上站控层与间隔层间网络，从而实现 GOOSE 报文和 MMS 传输。单星型网络则主要应用于

110kV 及以下站控层与间隔层间网络，通信主要为两网合一或三网合一的形式。 10

信息一体化平台交换机1
以太网IEC61850
测量单元控制单元微机保护监测IED
站控层间隔层
以太网IEC61850
以太网交换机2IEC61850

图 2.5 环形网络结构Fig.2.5 The structure of ring networks

2) 过程层-间隔层网络结构

设备状态信息采集主要在过程层完成，并且根据间隔层的要求完成执行命令任务。本层网络的主要传输数据为电压、电流的 SV 报文、时钟同步信号报文和防误闭锁 GOOSE 报文等。一般而言，可对该层网络分为 GOOSE 网和 SV 网两层，采用环形或星形两种模式。

3) 现阶段在线监测

IED 的组网方式主要包括星形和网形，通信方式一般为 CAN 总线、RS-485、RS-232 或无线通信，对一次设备的各类监测信息数据进行实时上传。

2.2 IEC61850 建模

2.2.1 基本流程根据 IEC61850 标准建立数据模型，能够实现智能变电站的设备在该标准下得

到工程应用。面向对象进行建模时，以变电站中的 IED 设备为基础，进行IEC61850 标准建模，以线路间隔为例进行建模，如图 2.6 所示。对 IED 进行一般建模，以超高压微机继电保护为例，在站控层实现 IEC61850 标准通信需要满足如下功能：

- 1) 三段距离保护、纵联差动保护、零序反时限保护和四段零序过电流保护等；
- 2) 重合闸；3) 监视告警；4) 故障录波；5) 测量。 11

IHMI
LARC
CSWI
PIOC
MMTR
MMXU
XCBR
TCTR
TVTR
LAN
IED2

IED1断路器Q0

电流互感器电压互感器线路保护线路间隔人机接口断路器控制过电流保护测量单元

图 2.6 线路间隔 IEC61850 模型Fig.2.6 Line interval IEC61850 model

首先，对数据和逻辑节点进行确定。IEC61850 进行模块化分解建模应用于逻辑节点上，每个逻辑节点均为分解建模后的小功能模块，内部数据与逻辑节点共同构成组件。对于 IED 信息模型，需要对每个逻辑节点进行赋值，从而完成组装。

然后，对逻辑设备进行构建。逻辑设备和逻辑服务是构成设备分层信息模型的关键要素。根据不同的功能区分，对相关特性相近的逻辑节点进行组合形成逻辑设备。

最后，对服务器进行构建。多个逻辑设备构成一个服务器，在图 2.6 中，采用IEC61850 标准的保护装置只存在站控层，因此，可在一个服务器中对测量、保护、

故障录波和公用及开入四个逻辑设备进行建模，在 MMS 的 S1 下进行访问，通信模式采用客户端/服务器。数字化的实现过程层，采用上述方法，对 9-2 采样值服务和 GOOSE 服务进行建模。而与上述不同之处为，这个建模过程需要三个服务器。

2.2.2 工程配置专用配置语言 SCL 是在 IEC61850-6 标准下定义的，是一种基于层次化模型建立的语言系统，描述智能电子装置时可以采用统一的规范格式。利用 SCL 语言对变电设备进行描述后生成的模型为配置文件，下面定义 IEC61850 标准中的配置文件四种类型：

- 1) ICD (IED Capability Description)，即描述 IED 能力的配置文件，提供最基本的服务和数据模型，但 IED 通讯参数和实例名称不包含在内。
- 2) SSD (System Specification Description)，即对系统进行规范描述的文件，12 主要包括对电压等级、接线图和一次设备信息进行描述，同时也包括相关的逻辑节点。
- 3) SCD (Substation Configuration Description)，对变电站进行描述的文件，具有唯一性。该文件对全站的 IED 关联信息、实例配置信息和通信参数信息进行统筹，有集成开发商进行设置。
- 4) CID (Configured IED Description)，对 IED 配置进行描述的文件，每个 IED 是唯一的，由集成厂家对 IED 的信息进行生产，成为最终的装置配置。

IEC61850 标准配置流程如图 2.7 所示。

ICD
SSD
SCD
CID

IEC61850装置当地监控后台装置配置工具装置配置工具装置配置工具

图 2.7 IEC61850 标准配置流程Fig.2.7 The IEC61850 standard configuration process

由图 2.7 可知，首先，ICD 文件由各厂家的私有装置软件进行设置产生，主要包括逻辑设备、逻辑节点、服务器、数据类型、控制模块等装置模型，并且描述通信参数。然后，对 SSD 文件和 ICD 文件进行导入，从而生成 SCD 文件。变电站的一、二次系统的配置主要包含于 SCD 文件中，可以为故障录波和监控提供数据。最后，CID 文件的生成是由 SCD 文件中导出来的，CID 则是最终装配到装置中的文件。

2.2.3 文件结构IEC61850 标准中对四种文件的配置进行了规范，CID 文件既可以采用各厂家的私有格式，也可以采用 XML 标准格式。对于站控层的 MMS，XML 是被采用的 13

最广泛的 CID 文件格式。而对于过程层 GOOSE，TXT 文本格式则常被采用。必

须采用 XML 标准格式的三种文件为 ICD、SSD 和 SCD，IEC61850-6 标准中对SCL 进行了严格定义，采用了 8 个 XML Schema 文件，从而信息交互的统一规范

性得到了保障，ICD 与 SCD 文件结构如图 2.8 所示。

SCL
Header
Communication
IED
Services
AccessPiont
Server
Authentication
LDevice
LN0
LN1
LNn
DataTypeTemplates
LNodeType
DOType
DAType
EnumType
SCL
Header
Substation
IED1
IED2
IEDn
DataTypeTemplates
Communication
LNodeType
DOType
DAType
EnumType

图 2.8 ICD 与 SCD 文件结构Fig.2.8 File structure of ICD and SCD

在图 2.8 中，变电站内的设备信息在 IEC61850 标准下通过层次化的树状图来描述，IEC61850 标准是整个结构的核心基础，层次化的树状结构应用到 SCL 配置

文件中。在实际工程中，导入系统配置工具后，单装置 ICD 文件通过集成后形成SCD 文件。全站的结构、实例配置之间的联系和通信参数均在 SCD 文件中。

2.3 智能化一二次相关技术

2.3.1 智能化一二次设备

1) 智能变压器

变压器是一个变电站的核心部件，能够对电能进行转换。若对变电站的核心

一次设备进行智能化升级，加装智能化组件，能够明显提升全站自动化水平。

智能组件主要为合并单元，由多个 IED 构成，能够实现控制、测量和实时监测等 14

功能，有利于远程调整和控制变压器。根据工程实际的需要，可以选择配置相应的 IED，即冷却控制、测量、非电量保护、局部监测、绕组测温 and 合并单元等，

智能电压器的结构如图 2.9 所示。

油温采集套管监测接地电流采集局放监测绕组测温各侧开关控制油色谱监测测量IED

局放监测IED

绕组测温IED

非电量保护IED

油色谱监测IED

DLTC控制IED

监控主机信息一体化平台智能变压器有载调压套管互感器过程层网络合并单元智能组件柜站控层网络

图 2.9 智能变压器结构组成Fig.2.9 Structure composition of intelligent transformer

2) 智能断路器

断路器是电力系统中重要的开关设备，能够对整个变电站起到保护和控制双重作用。智能断路器的主要组成部分包括断路器本体、执行器、传感器和相关智能组件，能够实现对储能电机电流、分合闸线圈电流、SF6 气体监测和动触头形成等参数监测，对断路器的设备状态信息通过 IED 进行上传。对断路器进行智能操作需要三个模块配合，即智能识别、数据采集和调节装置，当断路器接收到操作人员或继电保护的指令后，状态设备信息通过智能识别模块判断断路器的状态，短时间内进行仿真模拟，选出合适的断路器动作特性，并发出一定的调整命令。操作机构通过调整后执行断路器分合闸动作。智能断路器的结构如图 2.10 所示。 15

互感器开关控制器霍尔电流传感器位移传感器压力传感器密度传感器温度传感器合并单元断路器在线监测装置测控装置保护装置

机械特性IED

SF6气体IED

触头温升IED

监控主机信息一体化平台智能断路器

图 2.10 智能断路器结构示意图Fig.2.10 Intelligent circuit breaker structure schematic

3) 全封闭组合电器

目前，气体绝缘全封闭组合电气（GIS）是高压、超高压和特高压领域中应用最广的设备，该设备能够将断路器、母线、隔离刀闸、避雷器、接地开关和互感器等元件全部封装在一个密闭的 SF6 气体装置中，从而实现高效的绝缘，提升抗干扰能力。

GIS 具有检修周期长、可靠性高和抗干扰能力强等优点，但金属封闭式外壳的结构导致检修维护困难。智能 GIS 设备应用了微电子技术、信号处理技术和先进的传感器技术，传统的互感器被电子式互感器替代，常规继电器被智能操作机构替代，从而实现了 GIS 的智能化，可靠性水平也得到了大幅提升。

4) 电子式电压互感器

电子式互感器与传统的互感器相比，不存在铁芯结构，从而也避免了过饱和和铁磁谐振现象，由于不通过充气或充油方式进行绝缘，所以具有较高的绝缘特性，测量精度高、结构简单，具备较高的抗干扰能力。

罗氏线圈或低功率线圈是有源电子式电流互感器的关键，能够对被测物体进行测量，根据电磁感应原理将测量得到的电流信号转换为电压信号，并通过一定的比例积分变换形成光纤参数信号传递到二次侧，电能计量装置和继电保护装置对信号进行最终的处理，其结构原理如图 2.11 所示。 16

电源模块信号调制电源低功率线圈空心线圈至合并单元信号传输光纤激光供能光纤

图 2.11 有源电子互感器结构Fig.2.11 Active electronic transformer structure

根据法拉第磁旋光效应和赛格耐克效应，无源电子式互感器通过光学电流传感器进行偏振角度采集，经过信号滤波和放大等处理方式，在二次侧形成数字信号进行传输。无源电子式电流互感器不存在一次电源，结构较为简单，如图 2.12

所示。

合并单

元

C相B相耦合器探测器激光器光源驱动信号调解绝缘子光学传感器

光缆

一次场A相保护测控计量

图 2.12 无源电子互感器结构示意图Fig.2.12 Structure of passive electronic transformer

有源电子式电压互感器主要分为电阻分压型和电容分压型，前者通过串联电阻构成分压器，在一次侧对电压进行转换，形成需要的低压信号，其原理如图

2.13 所示。根据分压公式能够得到分压比系数如下： 17 （2-1） 22 1 2

R

U U

R R （2-2） 1 2

R

k

R

R1

R2

图 2.13 电阻分压式电子式电压互感器电路结构Fig.2.13 Circuit structure of resistance voltage divider type electronic voltage transformer

同理，电容分压型有源电子式互感器的分压器结构如图 2.14 所示，分压比如下： （2-3） 22 1 2

R

U U

R R

U1

UC 1

UC 2

图 2.14 电容分压式电子式电压互感器电路结构Fig.2.14 Circuit structure of capacitive voltage divider type electronic voltage transformer

2.3.2 在线监测技术在线监测技术是实现变电站状态监测的关键，能够对变电站设备的故障原因、告警原因和状态进行智能评估和分析，是智能变电站技术的核心部分。该技术的 18

主要工作流程为，特定的 IED 接收特定传感器的信号，通过分析和处理形成信号的特征值，根据特征值能够初步得出诊断结果传递到主 IED 中，主 IED 能够对数据进行进一步的处理汇总到站控层网络，状态监测服务器得到该信息后，进行综合分析得出最终的诊断结果，即设备的状态检修。该系统的结构如图 2.15 所示。

变压器油色谱监测IED
变压器局放监测IED
变压器铁芯电流监测IED
变压器套管监测IED
GIS局放监测IED
GIS SF6气体监测IED
断路器分合闸电流监测IED
MOA漏电流监测IED

变压器
在线监测主IED
GIS

在线监测主IED
避雷器在线监测主IED
站控层监控主站间隔层过程层

图 2.15 在线监测系统结构Fig.2.15 On-line monitoring system architecture

2.3.3 合并单元合并单元（MU）一种物理单元，主要对二次转换器的电压电流信号进行时间层面的组合，可以独立为一个单元，也可称为一个组件。典型的 MU 中集成了 5

个 EVT 和 7 个 ECT，从而形成 12 路电量信号，进行数字信号转换后，在 IEC61850-9 标准对电量信号进行数据打包，在 GOOSE 网络中提供 FT3 报文传

递到过程层设备中，其中，时间特性是统一的，其结构如图 2.16 所示。

ECTa（测量）的SC
ECTb（测量）的SC
ECTc（测量）的SC
ECTa（测量）的SC
ECTb（测量）的SC
ECTc（测量）的SC
中性点ECT的SC
EVTa的SC
EVTb的SC
EVTc的SC
中性点EVT的SC
母线EVT的SC

合并单元数字输出时钟信号电源 19

图 2.16 合并单元结构Fig.2.16 Merge the structure of the cell

2.4 本章小结本章主要对智能变电站的优势进行了分析，在 IEC61850 规约标准下提供了建模思路，研究了各种网络构架适用的场合。从而奠定了智能变电站二次网络的设计基础，同时也为在线监控系统的设计提供了理论支撑。

对智能变电站的核心设备和技术进行了研究，主要包括变压器、断路器和 GIS

实现智能化的主要方式和途径，电子式互感器的主要原理和结构，为下一章智能化改造的实际案例提供理论基础。 20

第 3 章 110kV 变电站智能化改造方案

3.1 智能化改造概况

3.1.1 必要性分析以某 110kV 的变电站进行智能化改造为例，该变电站建设为无人值守变电站，

主变压器为三绕组，分三个电压等级，即 110kV、35kV、10kV。110kV 的电源线为两回，即 110kV 东王线与 110kV 东新线，110kV 母线为单母接线，并且经过隔离刀闸进行分段，中低压系统也采取这种接线方式。该变电站进行智能化改造前，运行的年限较为久远，运行期间进行了一定的自动化改造，主要采用“两层一网”的结构模式，以 IEC61850 通信标准为基础，通过以太网连接站控层和间隔层设备。

主变压器数量为两台，容量配置均为 50MW，互感器和断路器均为常规型，负荷水平为 45MW。

进行智能化改造前，该变电站已经通过综合自动化系统的升级，已经具备智能化改造的调节。但是由于一次设备运行时间较长，设备老化可靠性不高，二次系统主要为南瑞 NS9000 系列设备，目前已经不再生产，检修维护难度较高。改造前采用综合自动化系统的“两层一网”结构，信息间隔层无法实现实时的共享，设备之间的互操作性较低，一旦保护装置出现拒动或误动，则安全隐患较大。主变压在改造前进行过一次增容，来满足负荷的需要，但是在线监测装置未配置，无法实时对主变压器和断路器等重要设备进行实时监测，智能化水平较低，设备的隐患较大，因此，进行智能化升级改造是必经之路。

3.1.2 基本原则将传统变电站和智能变电站的网络结构进行分析对比，对于变电站的智能化升级改造，需要遵循几项基本原则，以基本原则为指导，进行设备的升级和安装。

从总体上讲，进行智能化改造的过程中，不能以设备的更新升级来牺牲经济成本，

应该充分利用现有的资源优势，有效地降低升级成本，老旧设备的淘汰和升级是必要的。

进行智能化改造的基本原则主要分为三大点，第一进行变电站主接线的改造，

其改造原则为安全可靠、方便快捷；第二是对现有的一次设备进行升级改造，其改造原则为增加智能组件，使智能化水平显著提升；第三是对控制系统进行升级改造，采用“三层两网”结构替换现有的“两层一网”机构，网络结构标准化，全站实

21
现智能化。具体分为以下几点：
1) 对 110kV 母线的单母隔离刀闸分段接线方式进行升级改造，宜采用可靠性更高的桥型接线或单母分段接线。

2) 部分一次设备运行较为良好，不对全站设备进行整体淘汰，重点对 110kV 侧的主变间隔、出线间隔和分段间隔进行改造，采用电子式电压互感器，实现信息的数字化采集，而对中低压侧的出线间隔采用常规互感器，以 SF6 气体互感器取代充油互感器，并配置智能终端和合并单元接口，从而常规互感器也能实现信息的数字化采集。

3) 加装在线监测系统，配置于 110kV 各间隔，特别对主变压器和避雷器等设备进行重点的在线监测，使一次设备具备状态检修功能。
4) 在原有的“两层一网”结构的基础上，升级为“三层两网”结构，进行智能化控制，即增加了过程层设备与网络，实现数据的互联和共享，进而实现全站的智能化升级改造。

3.2 智能化改造方案

3.2.1 接线模式的改进在进行智能化改造前，改变电站高压侧采用单母经隔离刀闸分段的接线模式，如图 3.1 所示。

1号主变压器 2号主变压器
QF1
QF2
QF3
QF4
QS1 QS2
110kV东王线110kV东新线

图 3.1 单母经刀闸分段接线方式Fig.3.1 Single mother through the knife gate section connection mode 22
单母经隔离刀闸分段的接线方式通常采用两个 110kV 母联刀闸。若其中一段母线发生故障时，故障的母线无法对故障点进行有效隔离，从而会进一步扩大事故；除此以外，由于隔离刀闸无法带电分合，当两段母线分列运行时，其中一段母线上进线电源失电，由于电位不相等，分段刀闸无法带电操作来对停电母线供电，此接线模式具有较差的可靠性。单母线经断路器分段、桥型接线方式电气主接线在 110kV 系统中广泛使用，但单母线经断路器分段和单母经刀闸分段的区别只是在现有的母联间隔中增加一组断路器，增加断路器要对设备分布现状以及变电站的地形结构进行综合考虑，前期建设阶段如果在母联间隔预留面积不足，在现有基础上难以增加新的断路器。而桥型接线所需断路器数量较少、结构相对简单，因此本文的改造中建议将单母经刀闸分段接线模式改造为桥型接线，

桥型接线模式分为两种，即外桥接线与内桥接线，分别如图 3.2、3.3 所示。
在外桥接线模式下，两个变压器间隔各设置一台断路器，桥断路器位于变压器间隔断路器的外侧；内桥接线模式的桥断路器位于变压器间隔断路器的内侧。

1号主变压器 2号主变压器1号主变压器 2号主变压器

图 3.2 外桥接线结构图 3.3 内桥接线结构Fig.3.2 External bridge connection structure Fig.3.3 Internal bridge connection structure

在变压器频繁切换以及联络间隔有穿越性功率流经的场合较适用外桥接线模式，其优点是在不影响其他间隔的正常供电的情况下快速切除故障变压器线路，

但劣势在于线路故障将影响与线路相连的断路器，造成断路器跳闸，扩大停电范围。内桥接线模式的优劣势与外桥刚好相反，优势是便捷切除线路故障时，不会对其他运行回路产生影响，因此可在变压器间隔解列情况下对桥断路器进行安全检修，缺点在于切除变压器故障的操作将较为复杂，一台变压器故障，需要操作连接的两台断路器，而且对其他非故障线路的运行产生供电中断影响。因此通常情况下，经常切除变压器、线路较长且故障情况复杂的情况并不适用内桥接线，

本文中的 110kV 该变电站，主变压器运行较为可靠，故障较少，电源进线线路长 23 度较大，变电站无穿越性功率流过，由上述分析，从经济性与安全可靠角度发出，应将该站的单母线经刀闸分段接线方式改造为内桥接线模式。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 110kV 的电源线为两回，即 110kV 东王线与 110kV 东新线，110kV 母线为单母接线，并且经过隔离刀闸进行分段，中低压系统
2. 改造的调节。但是由于一次设备运行时间较长，设备老化可靠性不高，二次系统主要为南瑞 NS9000 系列设备，
3. 在线监测装置未配置，无法实时对主变压器和断路器等重要设备进行实时监测，智能化水平较低，
4. 需要遵循几项基本原则，以基本原则为指导，进行设备的升级和安装。 从总体上讲，进行智能化改造的过程中，不能以设备
5. 现有的一次设备进行升级改造，其改造原则为增加智能组件，使智能化水平显著提升；第三是对控制系统进行升级改造，

6. 间隔和分段间隔进行改造,采用电子式电压互感器,实现信息的数字化采集,而对中低压侧的
7. 互感器,以 SF6 气体互感器取代充油互感器,并配置智能终端和合并单元接口,从而常规互感器也能实现信息的数字化采集。
8. 有效隔离,从而会进一步扩大事故;除此以外,由于隔离刀闸无法带电分合,当两段母线分列运行时,其中一段母线上进线电源失电,
9. 设备分布现状以及变电站的地形结构进行综合考虑,前期建设阶段如果在母联间隔预留面积不足,在现有基础上难以增加
10. 因此本文的改造中建议将单母经刀闸分段接线模式改造为桥型接线,桥型接线模式分为两种,即外桥接线与内桥接线,分别如图 3.2、3.3 所示。
在外桥接线模式下,两个变压器间隔各设置一台断路器,桥断路器位于变压器间隔断路器的外侧;内桥接线模式的桥断路器位于变压器间隔断路器的内侧。
11. 线路,
但劣势在于线路故障将影响与线路相连的断路器,造成断路器跳闸,扩大停电范围。内桥接线模式的优劣势与外桥刚好相反,优势是便捷切除线路故障时,不会对其他运行回路产生影响,因此可在变压器间隔解列情况下对桥断路器进行安全检修,缺点在于切除变压器故障的操作将较为复杂,一台变压器故障,需要操作连接的两台断路器,而且对其他非故障线路的运行产生供电中断影响。
12. 变电站无穿越性功率流过,由上述分析,从经济性与安全可靠角度,应将该站的单母线经刀闸分段接线方式改造为内桥接线模式。

3. 014_第3部分		总字数: 9874
相似文献列表		
去除本人文献复制比: 55%(5430) 文字复制比: 55%(5430) 疑似剽窃观点: (0)		
1	ZS电力学院20141200223王桂荣 王桂荣 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-06-20	39.5% (3898) 是否引证: 否
2	电力学院+20141200223+王桂荣 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-04-11	36.9% (3640) 是否引证: 否
3	4417860_王桂荣_变电站智能化改造关键技术研究 王桂荣 - 《学术论文联合比对库》 - 2017-09-07	22.7% (2243) 是否引证: 否
4	宕昌县110kV变电站改造设计及实现 樊秦华(导师: 商立群;张剑) - 《西安科技大学硕士论文》 - 2020-07-01	12.4% (1226) 是否引证: 否
5	222-2013221258-陈伟-智能变电站技术及其设计应用研究 陈伟 - 《学术论文联合比对库》 - 2017-12-05	5.4% (537) 是否引证: 否
6	智能变电站技术及其设计应用研究 陈伟(导师: 孙莹;张波) - 《山东大学硕士论文》 - 2017-11-15	4.9% (480) 是否引证: 否
7	陈伟_智能变电站技术及其设计应用研究 陈伟 - 《学术论文联合比对库》 - 2017-11-26	4.7% (464) 是否引证: 否
8	智能变电站技术及其设计应用研究 - 《学术论文联合比对库》 - 2017-09-14	4.7% (464) 是否引证: 否
9	33_唐楠_110KV杜庄变电站电气设计 唐楠 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-03-05	3.1% (310) 是否引证: 否
10	工程硕士论文-唐楠 唐楠 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-04-05	3.1% (310) 是否引证: 否
11	110KV杜庄变电站电气设计_唐楠 唐楠 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-03-20	3.1% (310) 是否引证: 否
12	201603261801461639_唐楠_110KV杜庄智能变电站设计 唐楠 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-03-26	3.1% (310) 是否引证: 否
13	董默_修改2017-12-22 董默 - 《学术论文联合比对库》 - 2017-12-22	2.2% (222) 是否引证: 否
14	浅谈唐山某铁矿220Kv智能变电站规划方案 李宏坤;国永田; - 《南方农机》 - 2018-04-15	1.9% (190) 是否引证: 否
15	1w2112313355 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-12-16	1.0% (96) 是否引证: 否
16	273 273 - 《学术论文联合比对库》 - 2014-05-09	0.7% (71) 是否引证: 否
17	9-重庆江北110kV银盆智能变电站设计	0.5% (45)

	重庆江北 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-05-10	是否引证: 否
18	2 重庆江北110kV银盆智能变电站设计 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-05-13	0.5% (45) 是否引证: 否
19	201605300814256527_钟璐_重庆江北110kV银盆智能变电站应用设计与实现 钟璐 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-05-30	0.5% (45) 是否引证: 否
20	201605300826076551_钟璐_重庆江北110kV银盆智能变电站应用设计与实现 钟璐 - 《学术论文联合比对库》 - 2016-05-30	0.3% (33) 是否引证: 否
原文内容		

3.2.2 一次设备智能化改造

1) 互感器改造

该 110kV 变目前使用是传统电磁式互感器，其中一部分互感器采用充油式结构，110kV I 段电压互感器采用的是由沈阳互感器厂生产的 JDCF-110 型，此互感器的储油柜无金属膨胀器，35kV 侧的 3 组电流互感器采用的是江苏如皋电气有限公司生产的 LB6-35 型电流互感器，同样储油柜无金属膨胀器。充油式电流互感器结构简单，取油样、注油操作简单方便，但是此互感器为全密封结构，无缓冲空间，当温度发生变化，柜内易出现过压、欠压，如果互感器发生密封不严时，渗漏油程度会更严重，导致绝缘油的含水量增高，绝缘下降。此外，传统电磁式互感器的绝缘结构复杂、易受谐振较大影响；故障情况下产生大电流，很可能发生磁饱和现象；二次回路的开路和短路都会对人身安全产生很大危害，安全存在极大风险；采集的数据是模拟量，数字化传输无法实现等。根据本站一次设备情况，本次智能化改造主要更换一次设备附属互感器为电子式互感器，对其他设备加装智能组件的方式来进行。

110kV 侧系统的充油式互感器更换为电子式互感器，其他电压等级的互感器不变，加装合并单元和智能终端，对接口进行智能化配置，实现参数的数字化采集。

根据《智能变电站继电保护技术规范》的要求，智能变电站的保护采用直采直跳方式，35kV 及 10kV 侧系统先基本保留传统互感器，在变电站设备后续智能化改造时，再考虑过程层设备相关的组网建设和电子式互感器的应用。110kV 系统过程层的装置具备直接接入 GOOSE 和 SV 网的条件，可直接连接电子互感器，

因此 110kV 侧系统统一更换互感器为有源型罗氏线圈电子式互感器。电子互感器的转换装置可以把采集的模拟量转换为数字化信号，传输至合并单元，再经光纤传输至过程层的相应装置。同理而言，考虑 35kV 系统后期设备的智能化状况，35kV 现运行的充油式互感器一并更换为有源式电子互感器，控制电缆同时更换为光纤，但 10kV 系统必须考虑实际安装情况，10kV 保护装置就地安装于户内高压开关柜上，电子式互感器的安装难度较大，可靠性不高，10kV 间隔层装置配置只能维持原有状态。所更换的电子式互感器如图 3.4 所示。 24

图 3.4 电子式互感器实物图Fig.3.4 Physical view of electronic transformer

2) 合并单元改造

合并单元和传统、电子式互感器之间的数据传输方式一致，均通过采集参数组帧后经以太网传送，传统与电子式的区别在于接口配置不同，传统互感器与合并单元通过模拟接口通信，电子式互感器则通过通信协议传输数据。

使用传统互感器时，传统互感器采集的数据是模拟量，模数转换由合并单元承担，合并单元的模数转换装置可以把模拟量转换为数字信号，以 IEC61850-9-2 协议为基准，最后数据量组帧，发送至保护及测控等装置。合并单元与传统互感器之间信息传输采用的是控制电缆，与保护测控装置之间则用光纤传输。其工作示意如图 3.5 所示。

TA A/D
TA A/D
调制采样CPU
组帧合并单元保护装置
测控装置IEC61850-9-2/FT3
传统互感器

图 3.5 传统互感器的合并单元连接模式Fig.3.5 Merged unit connection mode of traditional transformer

合并单元在与电子式互感器连接时，电子式互感器采集的数据为数字信号， 25

无需转换，合并单元直接将传输过来的数字信号解码后组帧，发送至保护及测控装置，电子互感器、保护控制装置和合并单元的连接均用光纤。其工作示意图如图 3.6 所示。

FP
GA
解码CPU
组帧合并单元保护装置
测控装置IEC61850-9-2/FT3
电子互感器采用脉冲通信协议

图 3.6 电子式互感器的合并单元连接模式Fig.3.6 Combined unit connection mode of electronic transformer

合并单元的数据传输必须对时，合并单元需要保证采样频率与采样时间点的

一致，保证传输至保护测控装置中数据的连续性与真实性，数据的真实可靠决定

装置是否可靠运行。合并单元对时目前有两种途径来实现：

一是对 IEC60044-8 通讯协议标准进行采用，能够对信息量进行同步采集；

二是接入外部时间源在合并单元中，外部时间源主要为 IEC61588 或 B 码同步对时信号，与系统装置进行对时后，在进行全站样本数据的同步采样。

根据《智能变电站合并单元技术规范》中的规定，接入两段及以上母线电压的母线合并单元应能够实时母线电压并列；单母接线方式中的母线，每一段都应配置一组电压合并单元，合并单元通过 GOOSE 网获得一次设备例如断路器与刀闸等的闭合状态。而且合并单元要有能力接受 IEC61588 或 B 码同步对时信号，并且要保证采集信号之间的同步误差不得超过 1 微秒，合并单元需要提供 IEC60044-

7/8 和 IEC61850-9 的 FT3 协议接口，兼容间隔层设备的应用；与电子式互感器之

间通信遵循统一的 IEC60044-7/8 的 FT3 协议标准。

根据国家电网公司现有智能变电站一次设备的应用情况以及适应于 110kV 某变电站的运行特点，对于智能化改造过程中主要一次设备的设备选型如表 3-1 所示。 26

表 3-1 智能变电站一次设备选型结果Table.3-1 Primary equipment selection results of intelligent substation

项目设备型号特点

110kV 电子式互感器许继 ECVT800

快捷方便、传递无损、无需采用 LPCT，罗氏线圈采集精确度高。电容分压传感技术的应用能够保持较好的线性度，避免电容间的干扰。重量较轻，绝缘技术可靠，采用 SF6 为主绝缘

35kV 常规互感器

JDQXF-35

LVQB5-35

防爆片安装在电流互感器顶部，一次绕组耐受电流较大。电压互感器采用 SF6 和菱格点聚脂薄膜复合绝缘，耐受电压能力较强。

合并单元许继 DTI-806

合并单元集成化程度较高，实现了最大程度的信息共享，使网络结构的到了优化，内存空间得到释放。

3.2.3 二次系统智能化改造根据国内的 Q/GDW679-2011 统一标准，即《智能变电站一体化监控系统建设规范》进行智能变电站系统的设计，以分层式的网络构架为基础，对整个智能变电站进行分层，即站控层、间隔层和过程层。具体的智能化改造的原则主要分为以下几点：

1) 智能化升级改造后，自动化系统主要包括输变电在线监测系统、一体化监

控系统、计量系统和辅助应用系统等，全站的接口统一为标准化，对全站的信息进行统一采集、储存和共享，即统一的信息模型。全景的信息采集主要包括设备运行的数据、状态监测、计量数据和保护信息等，这些信息既有实时信息，也有非实时信息。

2) 网络结构以开放式分层结构为核心，其中，站控层设备进行远景的规划布局，间隔层则以实际需要进行布局。

3) DL/T860 是通信规约统一采用的标准，在该标准下能够实现间隔层与站控层之间二次设备的互操作，站内的监控保护采用统一组网和建模的方式。单星形以太网是站控层与间隔层之间的通讯方式，既可以实现点对点通讯，又可以实现网络通信。通信的媒介为光纤，传输速度快，效率加高，保护装置则以“直采直跳”为原则。

4) 共享性和唯一性时整个变电站信息采集和传输的原则，监控主站与设备之间能够实现信息的实时共享，避免了数据的重复传递，从而节约了经济成本。 27

5) 全站设备的监控均是通过计算机系统实时进行的。

6) 变电站自动化系统应配置与电力调度数据网、综合数据网相匹配的传输信息接口，软硬件配置应满足联网的网络通信技术、通信规约的要求。

7) 按照《智能变电站二次系统安全防护方案》中的规定，智能变电站建成的关键在于对各个层的划分和构建。

8) 信息子站的故障信息和保护信息与监控网络合一，保护和故障信息的管理功能均由监控系统实时负责。

9) 110kV 系统采用保护测控一体化装置；35kV、10kV 系统采用保护测控计量一体化装置。

10) 110kV 及主变三侧均配置相应的智能终端和合并单元，实现数字化采样和网络化控制，智能终端和合并单元均安装于汇控柜。

11) 冗余和非冗余信息均在站控层设备中同时进行接收

12) 统一储存和统一规范数据访问服务是变电站信息处理的特点。

智能化系统配置最关键的是建立系统的结构，保证系统能够在此结构中顺利工作与快速运转。本次改造采用的是三层两网结构。按照 IEC61850 的标准，连接站控层与间隔层的网络称为站控层网络，连接间隔层与过程层的网络称为过程层网络。将过程层、GOOSE 网和 SV 网混合构建在一起，至于过程层和间隔层的联系，有网络以及直连这两个形式，在这里保护利用的是直采直跳，而需要跨越间隔，具体模式图如图 3.7 所示。

站控层设备站控层设备测控及其他二次设备1

过程层交互机1

继电保护1

合并单元1 智能终端1

电流采集器1 电压采集器1

测控及其他二次设备2
过程层交互机2
继电保护2
合并单元2 智能终端2
电流采集器2 电压采集器2
GOOSE/SV网MMS网

图 3.7 三层两网结构Fig.3.7 Three layers and two networks structure

1) SV 网络设计

具体设计方案如下： 28

SV 网络是实现采样值传输的网络，主要实现电流、电压值等测量信息的传输。

智能站二次设备需要从合并单元发送的 SV 报文中采集电流电压量值，这些设备包括保护装置、测控装置、计量装置、故障录波器、网络报文分析仪等。在智能变电站中，不同的电压等级，有着不同的 SV 网络构成。

在 110kV 间隔 SV 网络的设计方案中，110kV 电压等级需要较高的可靠性，

因此在其线路、主变、母线等间隔的 SV 网络的设计中首要考虑的就是可靠性的保证。具体设计方案如下：

保护装置 SV 采样方案：双套配置的保护装置采样各自从该配置的合并单元处完成，即保护装置 1 从合并单元 1 直接采样，保护装置 2 从合并单元 2 直接采样。

测控装置 SV 采样方案：测控装置按照单套配置，线路测控装置从合并单元 1

直接采样，以确保测量值的准确；主变高、中、低三侧测控装置分别从各自的合并单元 1 直接采样。

计量装置 SV 采样方案：单套配置是其主要原则，合并单元 2 是其线路计量装置的直接采用点。此外，主变压器的高压侧和中压侧的计量装置也在该处直接采样，但主变压器的低压侧则不再设置计量装置。

网络报文分析仪和故障录波器 SV 采样方案：网络报文分析仪和故障录不起进行 SV 采样时并不具备较高的可靠性要求，因此，网络采用的方式常被采用，SV

信息在合并单元中经过过程层交换机进行传输，到达过程层中心交换机后，最后经过故障录波器和网络报文分析仪处理。

在 35kV 及以下间隔 SV 网络的设计方案中，不同于 110kV 电压等级下的要求，

35kV 及以下电压等级间隔可采用单套配置，使用单套配置的保护测控一体化装置

和单套配置的合智一体化装置。具体设计方案如下：

保护测控一体化装置 SV 采样方案：单套配置的智能一体化装置是单套配置的保护测量一体化装置的直接采用点。

2) GOOSE 网络设计方案。

GOOSE 信息的可靠性要求是所有设备的线路保护装置中最高的，引出，直采直跳和直接采集是智能终端和保护装置之间的 GOOSE 信息传递方式，而网采网跳

则是线路测控装置的 GOOSE 信息传递方式。通过交换机，故障录波器对所有的

GOOSE 信息进行接收，采取的是组网方式。网采网发的方式则是合并单元对所有GOOSE 信息处理的方式。

3) 站控层网络设计方案

站控层网络的通信协议为 MMS，因此站控层网络英文名称为 MMS 网。站控层网络将 VLAN（虚拟局域网）分割成不同的逻辑网段，形成不同的通道。 29

3.2.4 在线监测技术改造本文将根据 110kV 某变电站现有一次设备的运行状态以及智能化预期实现目标，并结合第 2 章中对变电站在线监测技术的相关阐述，制定该变电站在线监测方案。在线监测系统主要对变电站三个部分进行监测，包括主变压器、110kV 与

35kV 侧断路器以及避雷器。系统构成图如图 3.8 所示。

110kV某变电站站控层主机

CAN通讯总线绝缘油色谱监测绕组温度监测油温监测局部放电监

测SF6

气体绝缘性能监测气体微水含量监测全电流与阻性电流监测漏电流监测

图 3.8 变电站在线监测系统结构Fig.3.8 Structure of substation on-line monitoring system

根据系统运行需要，主要元件应包括传感器、数据处理装置、通讯传输单元、

站控层主机、故障判断与分析应用系统等。首先，由传感器对数据进行采集，而采集来的数据会经过数据处理器完成预处理，通过模数转换，采集的模拟量转为数字信号，CAN 总线通讯将其传输给站控层上位主机并实现信号储存，接着，故障判断与分析应用系统会对相关信息进行分析，通过经运动系统，分析处理的最终结果被传输到控制中心，完成监测。

在线监测系统中传感器的安装应当根据设备构造的特点，充分考虑到现有一

次设备的运行对安全性与可靠性的要求，因而在安装时选用外置模式，即选择安装智能组件。主变压器的在线监测通过安装就地智能组件，能够实现对设备安全运行的多项参数的监测，包括绝缘油中含水量以及油温、局部放电、溶解气体含量、色谱含量分析等。智能组件通过 IEC61850 通信标准来实现与站控层主机的连接，在线监测系统中能够实现故障判断与分析的高级应用软件对监测处理后的参 30

数信号进行分析，得到的结果经系统传输到调度控制中心，为设备的运行和检修提供了参考与建议。此外在侧断路器在线监测系统中，就近安装在断路器附近的智能组件也能够将传感器测量到的 SF6 气体局绝缘性能与气体微水含量等参数转换处理，上传至站控层上位主机。而安装在避雷器外周的传感器也能发挥避雷器在线监测单元功能，监测全电流、阻性电流以及漏电流等参数，将相关参数上载至智能组件，通过站控层主机分析处理以实现避雷器的在线监测。在线监测系统方案选型如表 3-2 所示。

表 3-2 在线监测系统选型分析Tabale.3-2 On-line monitoring system selection analysis

在线监测系统选型特点

变压器

RH2000DGA 油色谱监测对象为变压器，能够接受和发送相关监测信息，并进行收集和处理，通过阈值比较实现装置告警和综合分析，并具备存储功能。

断路器DSF-802 SF6 在线监测通信对时功能完备，就地诊断和在线预警功能完备

避雷器DAM-802 避雷器在线监测数据和功能自述，以不同形式重组描述文件，无液晶整体面板、全封闭机箱、强电和弱电分离，较强的抗干扰能力

3.2.5 辅助智能管理系统现阶段的智能变电站的辅助智能技术得到了进一步的发展，不仅包括原有的视频监控、安防、消防、动力环境监测等系统，还增加了智能机器人巡视、智能红外成像仪测温等一系列先进的辅助技术。本文所研究的 110kV 某变电站电站，

采用的主要辅助措施为以红外对射为主的安防和火灾报警两个系统，然而当下的系统无法实现现代化无人值守变电站的监控要求，达不到智能变电站的运行要求， 31

具有局限性。为此，本文对该变电站的辅助控制系统进行智能化改造，集成完善相关的子系统，进而提高变电站的安全运行水平。

智能安消防控制系统作为辅助智能管理系统的主要构成，基本内容为图像监控，辅助智能管理系统除安消防控制系统以外还集合了视频监控、智能安防、智能巡检、智能机器人巡视、智能火灾报警等多个子系统。以汉源高科智能变电站辅助综合管理系统为例，该系统可以全天候的进行智能视频监控，遥信、遥测、

遥控系统设置的每个安防设备、动力设备以及变电站的环境，对系统设备的运行状态进行实时监控，对监控的数据能够实时记录并处理，在侦测到故障时能够及时通知维护人员，在实现了无人值守的同时满足了电力系统安全生产的要求。辅助智能管理系统的主要结构图如图 3.9 所示。

变电站自动化系统正向隔离智能辅助控制系统主机智能巡检系统视频监控系统智能安防系统智能火灾报警系统智能机器人巡视系统监控中心

图 3.9 辅助智能管理系统结构Fig.3.9 The architecture of auxiliary intelligent management system

3.3 经济性分析

3.3.1 成本预算对该 110kV 变电站进行智能化改造，充分发挥了智能设备的作用，为了降低总成本，在充分利用现有设备的前提下进行智能化改造，主要以采用智能终端和合并单元的方式，其改造的费用分析如表 3-3 所示。 32

表 3-3 某变电站智能化改造费用分析Table.3-3 Cost analysis of intelligent transformation of a substation

序号改造项目费用估算（万元）

- 1 接线 10
- 2 互感器 75
- 3 综合自动化系统 660
- 4 保护系统 430
- 5 通信及网络系统 85
- 6 计量系统 120
- 7 在线监测系统 350
- 8 辅助控制系统 160
- 9 站控层服务器 50
- 10 高级应用软件 300
- 11 总计 2240

3.3.2 静态投资回收期以静态投资回收期来评估智能化改造的经济性，即现金流量抵偿原始总投资所需要的年限，其表达式为： (3-1) 0 0

tP
t
t
CI CO

式中，CI 和 CO 分别表示现金流入和流出量；Pt表示静态回收期。

该 110kV 变电站所带的负荷为民用，变化量较小，长期处于稳定状态，可以长期实现无人值守状态，由于设备可靠性较好，智能化程度高，运行产生的费用较低，因此，年净收益变化较小。主要的运行维护成本在于对一、二次设备的操作、检修和巡视等基本的工作成本，还包括一些站用电系统的运维，年收益主要体现在电量的传送效益。通过统计变电站的经济效益状况，在进行智能化改造之前，该变电站的年运行费用和税金分别为 480 万元和 850 万元，若按照 2%的增长速度，第一年的费用合计约为 1330 万元，收益为 1750 万元，则第一年的净现金流为 420 万元。

结合变电站的运行状况，对智能化改造项目进行评估，改造之后的第二年运行费用和税金分别为 220 万元和 930 万元，仍然以 2%的增长速度进行计算，第二年的合计费用和收益分别为 1150 万元和 2150 万元，净现金流达到了 1000 万元。

33 改造前后的 20 年运行现金流量情况评估分别如表 3-4 和表 3-5 所示。
对改造前的运营费用和盈利进行评估，表达式应改写为：

(3-2) t
P
P
A

式中，P 表示初期投资总额；A 表示年均净收益。

根据上述公式可以得到，该变电站的智能化改造需要总投资成本 2240 万元，

结合年收益率，可回收投资的年限为 4 年。因此，经过智能化改造，变电站的年运行费用较小，由于供电可靠性得到了保证，年收益在逐年增加，净现金流量也持续上升。

表 3-4 智能化改造前现金流量分析（万元）

Table.3-4 Cash flow analysis before intelligent transformation (ten thousand yuan)

年份年均投资年运行费用税金合计现金流入年收益净现金流量																																																																																																																																											
1	0	480	850	1330	1750	420	2	0	498	867	1357	1785	428	3	0	499	884	1384	1821	437	4	0	509	902	1411	1857	446	5	0	520	920	1440	1894	455	6	0	530	938	1468	1932	464	7	0	541	957	1498	1971	473	8	0	551	976	1528	2010	482	9	0	562	996	1558	2050	492	10	0	574	1016	1589	2091	502	11	0	585	1036	1621	2133	512	12	0	597	1057	1654	2176	522	13	0	609	1078	1687	2219	532	14	0	621	1100	1721	2264	543	15	0	633	1122	1755	2309	554	16	0	646	1144	1790	2355	565	17	0	659	1167	1826	2402	577	18	0	672	1190	1862	2450	588	19	0	686	1214	1900	2499	600	20	0	699	1238	1938	2549	34

表 3-5 智能化改造后现金流量分析（万元）

Table.3-5 Cash flow analysis after intelligent transformation (ten thousand yuan)

年份年均投资年运行费用税金合计现金流入年收益净现金流量																									
1	2240	0	0	2240	0	-2240	2	0	220	930	1150	2150	1000	3	0	224	949	1173	2193	1020	4	0	229	968	
1196	2237	1040	5	0	233	987	1220	2282	1061	6	0	238	1007	1245	2327	1082	7	0	243	1027	1270	2374	1104	8	0
248	1047	1295	2421	1126	9	0	253	1068	1321	2470	1149	10	0	258	1090	1347	2519	1172	11	0	263	1111	1374	2569	1195
12	0	268	1134	1402	2621	1219	13	0	274	1156	1430	2673	1243	14	0	279	1179	1458	2727	1268	15	0	285	1203	1488
2781	1294	16	0	290	1227	1517	2837	1319	17	0	296	1252	1548	2894	1346	18	0	302	1277	1579	2951	1373	19	0	308
1302	1610	3011	1400	20	0	314	1328	1642	3071	1428															

3.3.3 内部收益率在计算周期内，对项目的净现金流量现值累计为 0 时的折算率进行计算，可得到内部收益率，该指标是评价盈利能力的动态指标。内部收益率（FIRR）的表达式如下： (3-3) 1 1 0

$$\sum_{t=0}^n \frac{CI_t - CO_t}{(1+FIRR)^t} = 0$$

将表 3-5 的数据带入上述表达式中，可得到去掉税金后，内部收益率可达到 35 14.53%，而行业基准收益率为 10%，智能化改造的内部收益率水平明显较高，智能化改造是具备可行性的。

3.3.4 全寿命周期成本分析通过智能化改造，该变电站开始采用状态检修来替代周期性检修，从而降低了工作量，智能化设备和高级应用的使用，极大地降低了设备的故障率，对延长检修周期具有重要意义。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 一次设备智能化改造 1) 互感器改造 该 110kV 变目前使用是传统电磁式互感器，
2. 互感器采用充油式结构，110kV I 段电压互感器采用的是由沈阳互感器厂生产的 JDCF-110 型，此互感器的储油柜无金属膨胀器，35kV 侧的 3 组电流互感器采用的是江苏如皋电气有限公司生产的 LB6-35 型电流互感器，同样储油柜无金属膨胀器。充油式电流互感器结构简单，取油样、注油操作简单方便，但是此互感器为全密封结构，无缓冲空间，当温度发生变化，柜内易出现过压、欠压，如果互感器发生密封不严时，渗漏油程度会更严重，导致绝缘油的含水量增高，绝缘下降。此外，传统电磁式互感器的绝缘结构复杂、易受谐振较大影响；
3. 饱和现象；二次回路的开路和短路都会对人身安全产生很大危害，安全存在极大风险；采集的数据是模拟量，数字化传输无法实现等。根据本站一次设备情况，本次智能化改造主要更换一次设备附属互感器为电子式互感器，对其他设备加装智能组件的方式来进行。 110kV 侧系统的充油式互感器更换为电子式互感器，其他电压等级的互感器不变，
4. 合并单元和智能终端，对接口进行智能化配置，实现参数的数字化采集。 根据《智能变电站继电保护技术规范》的要求，智能变电站的保护采用直采直跳方式，35kV 及 10kV 侧系统
5. 控制电缆同时更换为 光纤，但 10kV 系统必须考虑实际安装情况，10kV 保护装置就地安装于户内高压开关柜上，电子式互感器的安装难度较大，可靠性不高，10kV 间隔层装置配置只能维持原有状态。所更换的电子式互感器如图 3.4 所示。 24 图 3.4 电子式互感器实物图Fig.
6. of electronic transformer 2) 合并单元改造 合并单元和传统、电子式互感器之间的数据传输方式一致，均通过采集参数组帧后经以太网传送，传统
7. 以 IEC61850-9-2 协议为基准，最后数据量组帧，发送至保护及测控等装置。合并单元与传统互感器之间信息传输采用的是控制电缆，与

保护测控装置之间则用光纤传输。其工作示意如图 3.5 所示。

TA A/D

TA A/D

调制采样CPU

组帧合并单元保护装置

测控装置IEC61850-9-2/FT3

传统互感器

图 3.5 传统互感器的合并单元连接模式Fig.

8. 合并单元直接将传输过来的数字信号解码后组帧，发送至保护及测控装置，电子互感器、保护控制装置和合并单元的连接均用光纤。其工作示意图如

图 3.6 所示。

FP

GA

解码CPU

组帧合并单元保护装置

测控装置IEC61850-9-2/FT3

电子互感器采用脉冲通信协议

图 3.6 电子式互感器的合并单元连接模式Fig.

9. 合并单元的数据传输必须对时，合并单元需要保证采样频率与采样时间点的
一致，保证传输至保护测控装置中数据的连续性与真实性，数据的真实可靠决定
装置是否可靠运行。合并单元对时目前有两种途径来实现：

一是对 IEC60044-8 通讯协议标准进行采用，能够对信息量进行同步采集；

二是接入外部时间源在合并单元中，外部时间

10. 系统装置进行对时后，在进行全站样本数据的同步采样。

根据《智能变电站合并单元技术规范》中的规定，接入两段及以上母线电压的母线合并单元应能够实时母线电压并列；单母线接线方式中的母线，每一段都应配置一组电压合并单元，合并单元通过 GOOSE 网获得一次设备例如断路器与刀闸等的闭合状态。而且合并单元要有能力接受 IEC61588 或 B 码同步对时信号，并且要保证采集信号之间的同步误差不得超过 1 微秒，合并单元需要提供 IEC6

11. 设备的应用；与电子式互感器之

间通信遵循统一的 IEC60044-7/8 的 FT3 协议标准。

根据国家电网公司现有智能变电站一次设备的应用情况以及适应于 110kV 某变电站的运行特点，对于智能化改造过程中主要一次设备的设备选型如表 3-1 所示。 26

表 3-1

12. 无需采用 LPCT，罗氏线圈采集精确度高。电容分压传感技术的应用能够保持较好的线性度，

13. 根据国内的 Q/GDW679-2011 统一标准，即《智能变电站一体化监控系统建设规范》进行

14. 信息进行统一采集、储存和共享，即统一的信息模型。全景的信息采集主要包括设备运行的数据、状态监测、

15. 6) 变电站自动化系统应配置与电力调度数据网、综合数据网相匹配的传输信息接口，软硬件配置应满足联网的网络通信技术、通信规约的要求。

7) 按照《智能变电站

16. 8) 信息子站的故障信息和保护信息与监控网络合一，保护和故障信息的管理功能均由监控系统实时负责。

9) 110kV 系统采用保护测控一体化装置；35kV、10kV 系统采用保护测控计量一体化装置。

10) 110kV 及主变三侧均配置相应的智能终端和合并单元，实现数字化采样和网络化控制，智能终端和合并单元均安装于汇控柜。

17. 按照 IEC61850 的标准，连接站控层与间隔层的网络称为站控层网络，连接间隔层与过程层的网络称为过程层网络。将过程层、GOOSE 网和 SV 网混合构建在一起，至于过程层和间隔层的联系，有网络以及直连这两个形式，在这里保护利用的是直采直跳，

18. 设计方案如下： 28

SV 网络是实现采样值传输的网络，主要实现电流、电压值等测量信息的传输。

智能站二次设备

19. 设备包括保护装置、测控装置、计量装置、故障录波器、网络报文分析仪等。在智能变电站中，

20. 电压等级，有着不同的 SV 网络构成。

在 110kV 间隔 SV 网络的设计方案中，110kV 电压等级需要较高的可靠性，

因此在其线路、主变、母线等间隔的 SV 网络的设计中首要考虑的就是可靠性的保证。具体设计方案如下：

保护装置 SV 采样方案：双套配置的保护装置采样各自从该配置的合并单元处完成，即保护装置 1 从合并单元 1 直接采样，保护装置 2 从合并单元 2 直接采样。

测控装置 SV 采样方案：测控装置按照单套配置，线路测控装置从合并单元 1

直接采样，以确保测量值的准确；主变高、中、低三侧测控装置分别从各自的合并单元 1 直接采样。

- 计量装置 SV 采样方案
21. SV 采样时并不具备较高的可靠性要求，因此，网络采用的方式常被采用，SV 信息在合并单元中经过过程层交换机进行传输，到达过程层中心交换机后，最后经过故障录波器和网络报文分析仪处理。
 - 在 35kV 及以下间隔 SV 网络的设计方案中，
 22. 要求，
35kV 及以下电压等级间隔可采用单套配置，使用单套配置的保护测控一体化装置和单套配置的合智一体化装置。具体设计方案如下：
保护测控一体化装置 SV 采样方案：单套配置的智能一体化装置是单套配置的保护测量一体化装置的直接采用点。
 23. 智能终端和保护装置之间的 GOOSE 信息传递方式，而网采网跳则是线路测控装置的 GOOSE 信息传递方式。通过交换机，故障录波器对所有的 GOOSE 信息进行接收，采取的是组网方式。网采网发的方式则是合并单元对所有GOOSE 信息处理的方式。
 - 3) 站控层网络设计方案
站控层网络的通信协议为 MMS，
 24. 在线监测技术改造本文将根据 110kV 某变电站现有一次设备的运行状态以及智能化预期实现目标，
 25. 站控层主机
CAN通讯总线绝缘油色谱监测绕组温度监测油温监测局部放电监测SF6
气体绝缘性能监测气体微水含量监测全电流与阻性电流监测漏电流监测图
 26. of substation on-line monitoring system
根据系统运行需要，主要元件应包括传感器、数据处理装置、通讯传输单元、站控层主机、故障判断与分析应用系统等。首先，由传感器对数据进行采集，而采集来的数据会经过数据处理器完成预处理，通过模数转换，采集的模拟量转为数字信号，CAN 总线通讯将其传输给站控层上位主机并实现信号储存，接着，故障判断与分析应用系统会对相关信息进行分析，通过经运动系统，分析处理
 27. 安装时选用外置模式，即选择安装智能组件。主变压器的在线监测通过安装就地智能组件，
 28. 为设备的运行和检修提供了参考与建议。此外在侧断路器在线监测系统中，就近安装在断路器附近的智能组件也能够将传感器测量到的 SF6 气体局绝缘性能与气体微水含量等参数转换处理，上传至站控层上位主机。而安装在避雷器外周的传感器也能发挥避雷器在线监测单元功能，监测全电流、阻性电流以及漏电流等参数，将相关参数上载至智能组件，通过站控层主机分析处理
 29. 方案选型如表 3-2 所示。
表 3-2 在线监测系统选型分析Tabale. 3-2 On-line monitoring system
 30. 在线监测系统选型特点
变压器
DTM-800 监测 IED
RH2000DGA 油色谱监测对象为变压器，能够接受和发送相关监测信息，
 31. 包括原有的视频监控、安防、消防、动力环境监测等系统，还增加了智能机器人巡视、智能红外成像仪测温等一系列先进的辅助技术。本文所研究的 110kV 某变电站站，采用的主要辅助措施为以红外对射为主的安防和火灾报警两个系统，
 32. 变电站自动化系统正向隔离智能辅助控制系统主机智能巡检系统视频监控系统智能安防系统智能火灾报警系统智能机器人巡视系统监控中心
图 3.9 辅助智能管理系统结构Fig.3.9 The architecture of auxiliary intelligent management system
 - 3.3
 33. 2%的增长速度进行计算，第二年的合计费用和收益分别为 1150 万元和 2150 万元，净现金流达到了 1000 万元。 33 改造前后的 20 年运行现金流量情况评估分别如表

4. 014_第4部分

总字数：7939

相似文献列表

去除本人文献复制比：0.5%(37) 文字复制比：0.5%(37) 疑似剽窃观点：(0)

1	220kV智能变电站技术特点及其运行管理探析 费丹； - 《机电信息》- 2014-08-25	0.5% (37) 是否引证：否
---	--	---------------------

原文内容

设备的全寿命周期为运行到报废时间段内所需要的总费用，这个费用不仅仅指设备的初期投资成本，还包括设备寿命周期内的维修、维护和人工等成本。全寿命周期成本 CLCC的表达式如下：

(3-4) L
CC t M Loss A x
C C C C C C

式中，Ct表示投资费用、C
M表示运行维护费用、C
Loss表示停电损失费用、C
A表示残值，Cx表示其他项目费用。

停电损失主要考虑到设备故障、非计划停电和计划停电等给电力用户带来的经济损失，在全寿命周期内，停电损失费用是随时都可能发生的，一般根据可靠性进行停电损失的理论计算，表达式如下： (3-5) 1 1

jTm
Loss jt jt
j t
C E C

式中，m 表示用户数，即负荷点数；Tj表示负荷点 j 的停电持续时间，E
jt表示负荷
点 j 的第 t 个停电持续时间中所对应的停电损失量；Cj
t表示负荷点 j 的第 t 个停电持续时间所对应的单位停电损失。

在未进行智能化改造时，根据近些年的一、二次设备故障情况进行统计，电量损失平均约为每年 100 万千瓦时，若电费按照 0.5 元每度来计算，直接的停电损失约为 50 万元。通过智能化改造，停电率得到了极大的降低，年平均损失电量约为 10 万千瓦时，直接的停电损失约为 5 万元。

当设备的寿命周期结束后，会产生电力设备的残值，即清理这些设备所需要的费用。而部分设备通过报废可以得到一定的残值收入，对于化学性质的设备，则需要支付一定的销毁费用。本文为了对计算过程进行简化处理，近似于将设备报废后剩余的价值和清理设备需要支付的费用进行等价，即残值近似为零。

以该变电站全部设备均处于运行状态为例，智能化改造的主要成本为综合自动化系统的升级、老旧设备的更换和充油设备的替代等，初期投资成本预估为 1350

万元，对每一年的一次性投资进行成本分摊约为 67.5 万元。智能化改造的一次性投资资金约为 2240 万元，对每一年的
一次性投资进行成本分摊约为 112 万元。根据这些数据，得到该变电站全寿命周期成本分析如表 3-6 所示。 36

表 3-6 全寿命周期成本分析Table.3-6 Full life cycle cost analysis

项目常规改造费用（万元） 智能化改造费用（万元） 备注

一次性投资 67.5 112

维护 583.1 251.2

停电损失 50 5

残值 0 0

其他 20 20

合计 720.6 388.3

全寿命以 20

年为准由表 3-6 可知，对全寿命周期成本进行计算，以 20 年为运行的全寿命周期进行计算，常规化改造变电站年均等值
费用约为 720.6 万元，而经过智能化改造后，

年均等值费用约为 388.3 万元，智能化改造将年均等值费用降低 46.1%，是非常可观地，因此，智能化改造项目是可行的。
。

3.4 本章小结本章基于前文对智能化改造技术的研究，结合了 110kV 变电站的运行现状，

提出了该变电站智能化改造的具体方案。主要包括对接线方式、组网模式、互感器和控制保护系统等的升级改造，改造的原则为资源的合理化利用，在最大限度保留原有一次设备的前提下，增配智能终端和合并单元来实现智能化。此外，在线监测系统的改造是实现状态检修的前提，对重点设备如变压器和断路器实时在线监测，并提出了具体的改造方案。同时，在此基础上也实现了很多辅助技术，

如智能视频监控、智能安全消防和智能巡检等，进一步提升变电站的智能化水平。

根据智能化改造的具体情况，评估了经济性。通过静态投资回收期 and 内部收益率指标可知，进行智能化改造是可行的。通过
将常规化改造与智能化改造进行全寿命周期成本对比，结果表明智能化改造的经济性水平更高。 37

第 4 章智能变电站继电保护检修策略

智能变电站状态检修是随时监测设备的状态，在有可能发生故障时进行预警，

故障发生前对设备进行维护和检修。这种检修方式可以灵活确定检修周期，避免过度检修节省成本，现在已经成为变电站的主流检修方法。继保系统元件的故障率变化满足浴盆曲线。本章介绍了浴盆曲线的含义，采用威布尔分布曲线进行拟合。研究
根据故障概率曲线确定检修策略的方法，并以实例进行分析。

4.1 基础故障概率曲线模型继电保护系统的结构比较复杂，故障率变化满足浴盆曲线，如图 4.1 所示，曲线包括早期、偶然
和损耗故障期 3 个阶段。

图 4.1 继电保护元件模型故障率变化曲线Fig.4.1 Relay protection component model failure rate variation curve

由图 4.1 可知，继电保护元件在使用周期内的故障概率，在第一个阶段，也就是早期故障阶段，由于元件刚生产进行组
装成，在生产过程中或者设备调试过程存在的潜伏性故障在运行后充分暴露出来，因此早期故障率较高，然后这些潜伏性故障充
分暴露出来后，元件的故障率逐渐降低。在第二个故障阶段，设备故障率维持在一个很低的水平。在第三个阶段，随着设备的
长期使用，元件存在磨损，

材料老化，继电保护元件的故障概率会升高。

对组件故障概率的模型的描述方式很多，常见的分布形式包括威布尔、正态和对数正态。

1) 威布尔分布

基于的该分布故障率函数表达式如 (4-1) 所示 38 (4-1)

$$1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right)$$

式中， t 是时间； a 是形状参数； b 是尺度参数。

威布尔函数尤其适合分析零件的寿命试验数据，此表达式能够完整刻画浴盆曲线早期、偶然和损耗故障期的曲线变化。由式 4-1 中可知， b 取不同的值时，曲线的变化存在差别。 b 小于 1 的情况下，曲线单调递减； b 大于 1 的情况下，曲线单调递增。

2) 正态分布

正态分布曲线如图 4.2 所示，其密度函数计算公式为 (4-2)。

图 4.2 正态分布函数曲线 Fig.4.2 The normal distribution function curve , (4-2) 22 2 1

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

式中， σ 是常数， X 服从参数为 μ, σ^2 的正态分布，记为 $x \sim N(\mu, \sigma^2)$ ，其中， μ, σ^2

是两个不确定常数。在确定了 μ, σ^2 的大小之后，就能唯一确定正态分布曲线的函数形状，正态分布是比较常用的概率分布曲线，因此能用于产品可靠性的估计。

3) 对数正态分布

对数正态分布的累计概率分布函数如式 (4-3) 所示： (4-3)

$$\Phi\left(\frac{\ln t - \ln \mu}{\sigma}\right)$$

式中， t 取值范围为 $0 < t < \sigma$ 。对数正态分布实际上是由正态分布变形而来，因此 σ 和 μ 的要求和正态分布一样。

上述三种分布适用的范围有所差异，正态分布适合用于可以描述机械零件磨 39

损，因而常用做磨损对组件可靠性的分析。威布尔分布经常用作分析电子元器件的建模，例如用来分析电容的使用周期。威布尔分布建模灵活简单，特别的，常用作电气设备的故障刻画，因而本毕业设计选用威布尔分布进行拟合建模分析。

根据公式 (4-1) 可以得到，要得到故障曲线模型，只要算出 a, b 的值即可。

当前，进行参数估计的算法有最小二乘法、极大似然法和贝叶斯法等。最小二乘法是拟合过程中常用的方法，主要原理是将预测值与实际值的平方和最小。此方法在曲线拟合、回归分析中应用很多，具有实现方便、计算准确的优点。最小二乘法在 MATLAB、Origin 软件中也用的特别多，考虑到这些原因，在计算设备的故障曲线的 a, b 的值时采用最小二乘法。

浴盆曲线有 3 个阶段，但是在早期故障时期，设备处于调试投运阶段，相关的故障会被排除和处理。确定电气设备合理的检修周期主要是在浴盆曲线的后 2

个时期。在进行参数估计时，首先需要确定后两个时期的估计曲线，然后再需要确定后两个时期的分界点。接下来将对求解曲线的过程进行详细分析。

1) 计算威布尔曲线 a, b 的值

计算曲线之前需要获得设备的电气参数故障情况。在收集到继保设备元件的故障概率后，对每一年的故障概率进行统计，整理得到元件故障率随时间变化的序列，然后导入计算软件计算 a, b 的值。

对威布尔分布计算公式中的 a 和 b 进行求偏导。 (4-4)

$$\frac{\partial L}{\partial a} = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{t_i}{a} \right)^b - 1 \right] = 0$$
$$\frac{\partial L}{\partial b} = \sum_{i=1}^n \left[\ln \left(\frac{t_i}{a} \right) \left(\frac{t_i}{a} \right)^b \right] = 0$$

带入初始值进行迭代根据误差平方和判断是否收敛，直到迭代符合精度要求。

2) 分界点求解

在进行参数估计时，首先需要确定后两个时期的估计曲线，然后再需要确定后两个时期的分界点。根据年限分界点确定检修周期和计划。分界点确定主要是根据故障率的变化趋势，假设分界点所在的位置为 t_a ，根据公式 (4-5) 11 1 1 ,

$$S(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right)$$

这里，的取值计算公式为： 40

$$(4-6) \quad \ln S(t) = -\left(\frac{t}{a}\right)^b$$

让 $S(t)$

a 取得最小值，就能得到两个时期的分界点 t

a 。

4.2 继电保护状态检修流程与策略该 110kV 智能变电站继电保护系统状态检修流程如图 4.3 所示。

开始继电保护系统各组件信息数据状态检测、试验、巡视等信息数据组件检测型健康状态分值故障历史统计、家族性缺陷、检修信息等信息数据组件基础故障率分布曲线考虑个体缺陷及家族性缺陷的故障率分布曲线第K次检修后的组件故障率分布曲

线各组件不同运行状态下故障分布和等效运行年限继电保护系统各组件检修间隔时间智能变电站继电保护系统检修间隔时间结束

图 4.3 智能变电站继电保护系统状态检修流程Fig.4.3 Maintenance process of intelligent substation relay protection system 41

- 根据设备概率确定检修策略的步骤流程如下：
- 1) 获得继保设备故障的原始数据，统计设备投运年限与故障概率的对应数列离散点。
 - 2) 根据最小二乘法，导入软件，计算 α ， β 的值，获得威布尔曲线。
 - 3) 确定偶然故障期和损耗故障期的分界点 t_a
 - 4) 依据相关的检修原则以及上述的计算结果，确定继保设备的合理检修周期与策略。

继保系统特别复杂，任意一个零件发生故障均能导致继保故障，故制定检修策略时检修周期应该取所有部件检修周期中的最小值。

在继保检修时不仅要考虑故障率确定的检修策略，还需要考虑避开用户用电高峰、减少停电时间等因素，具体而言主要包括：

- 1) 高压设备停运时，继电保护应该趁机进行检修，这样不会增加设备停电时间。
- 2) 某条线路停运时，线路两侧的继保都会推迟运行，最好两个变电站的继保都同时进行检修。
- 3) 继保设备检修应遵循整体性的原则。

4.3 算例分析对该 110kV 变电站的继保装置故障率进行梳理和整理，初步统计计算获得了继保设备运行年限与平均故障率对应的点，如表 4-1 所示。 42

表 4-1 继电保护装置故障率统计结果Table.4-1 Statistic results of failure rate of relay protection device

年限	平均故障率	年限	平均故障率	年限	平均故障率	年限	平均故障率	年限	平均故障率	年限	平均故障率	年限	平均故障率	年限	平均故障率
0.5	0.02711	10.5	0.02459	1	0.02931	11	0.02863	1.5	0.02217	11.5	0.02552	2	0.02211	12	0.02696
2.5	0.02211	12.5	0.03001	3	0.02211	13	0.03235	3.5	0.02211	13.5	0.03789	4	0.02211	14	0.04036
4.5	0.02211	14.5	0.04896	5	0.02211	15.5	0.06898	5.5	0.02211	16	0.06365	6	0.02211	16.5	0.1169
6.5	0.02211	17	0.1403	7	0.02211	17.5	0.2031	7.5	0.02211	18	0.2569	8	0.01912	18.5	0.2954
8.5	0.02024	19	0.3568	9	0.02102	19.5	0.5033	9.5	0.02459	20	0.6132	10	0.02641	43	

- 4.3.1 建模过程Origin 软件是科研过程中常用的绘图软件，该软件具备强大的图形修改功能，同时此款软件也可用于统计分析、滤波、傅里叶变换和非线性曲线拟合。在非线性拟合模块中，Origin 软件采用 Levenberg-Marquardt 算法（LMA）的非线性最小二乘法算法。此外这款软件支持从 Excel 导入数据，因此本毕业设备采用 Origin 进行拟合。

将表 4-1 中数据导入 Origin，选择初始值进行迭代，采用 Origin 中的威布尔分布模型进行拟合，得到威布尔分布的拟合表达式如公式 4-7 示： (4-7)

$$1 \quad t_a$$
$$t \quad R$$
$$t f$$
$$t$$

式中， a 取 0.0021， α 取 0.9519。
采用威布尔分布进行拟合，结果如图 4.4 所示。

图 4.4 威布尔分布拟合曲线Fig.4.4 Weibull distribution fitting curve
由图 4.4 可知，拟合曲线可以较好地反应，设备随年限的变化趋势。
在进行曲线拟合前，首先需明确数据拟合应遵循的原则。一般来讲，数据拟 44
合遵循以下两个原则：

- 1) 拟合方程的显著性检验。一般用 F 检验，F 检验又叫方差齐性检验，计算公式为： (4-8)
$$F = \frac{ESS}{k} / \frac{RSS}{n-k} / 1$$

ESS 为回归平方和，RSS 为残差平方和，n 是样本数量，K 为自由度。利用F 检验法对拟合表达式进行显著性检验，计算出来的具有统计学意义的 P 值可用

来判断拟合表达式的显著性。一般以 P 值为 0.05 作为显著性检验水平来衡量，
P<0.05 时显著，P<0.01 为非常显著，P>0.05，不显著。

- 2) 拟合优度检验。判断曲线拟合是否良好的指标叫 R^2 ， R^2 在 1 附近，说明曲

线可以反映出数据的变化趋势，通常 $R^2>0.9$ ，拟合曲线才达到想要的精度，拟合优度计算公式为： (4-9)
$$R^2 = \frac{TSS - RSS}{TSS}$$

式中， R^2 表示拟合优度，RSS 为残差平方和，TSS 为总平方和，

TSS=ESS+RSS。

对拟合曲线的拟合效果进行分析，方差分析结果如图 4.5 所示。 45

图 4.5 威布尔分布拟合曲线残差分布Fig.4.5 Weibull distribution fitting curve residual distribution

表 4-2 威布尔分布拟合曲线方差分析结果Table.4-2 Variance analysis results of Weibull distribution fitting

curve

项目 a b R 方 F 值 P 值 -0.02539 0.9519 0.95 327.116 小于 0.001

对图 4.5 和表 4-2 进行分析可知，所选模型拟合出的表达式 P 值均小于

0.001，拟合优度均大于 0.95，说明表中所列拟合表达式均能通过显著性检验和拟

合优度检验。

4.3.2 状态检修策略分析将威布尔分布的拟合表达式进行求偏导后获得故障变化率曲线较大的点，

结果如表 4-3 所示。

表 4-3 继电保护装置故障率统计结果Table.4-3 Statistic results of failure rate of relay protection device

运行年限 13.5 年 14 年 14.5 年故障变化率 0.0112 0.0196 0.0301

残差 0.3065 0.3126 0.4892

由表 4-3 可知，运行 13.5 年后，残差为 0.3065；运行 14 年时，残差为

0.3126；运行年限为 14.5 年时，残差为 0.4892。根据公式 4-5 和 4-6 可知，当残差值取最小时，对应的运行年限即为

偶然故障期和故障损耗期的分界点，因此根据概率曲线计算出来的检修年限为 14 年。 46

4.4 本章小结智能变电站状态检修现在已经成为电力系统的主要检修技术，电气设备实现状态检修的合理做法是对其未来的故障发生概率进行预测分析，确定检修策略。

本章在对传统浴盆曲线进行分析的基础上，研究了利用威布尔分布函数的意义及参数求解方法，制定了电气设备故障概率预测的继电保护状态检修流程与策略，并以案例为例，采用 Origin 软件进行拟合和建模，从而确定智能变电站设备的状态检修策略。 47

第 5 章结论与展望

随着社会与经济的快速发展，对用电的需求越来越高，为了满足供电可靠性，

实现高自动化水平的电网，我国逐步加大对智能电网的**建设力度，而智能变电站是智能电网中最重要的环节，也是智能电网建成的关键之一**。本文以 110kV 变电站为研究对象，将传统变电站与智能变电站进行对比分析，在此基础上研究智能化改造的关键技术，提出该 110kV 变电站智能化改造的方案。在全站实现在线监测的基础上，提出状态检修策略。主要的研究成果如下：

1) 在 IEC61850 标准下进行了变电站智能化改造升级，实现通信规约标准化、

设备智能化和高级应用集成一体化等目标。特别是电子式互感器高效数据采集和传输能力极大满足了智能化改造的需求。在线监测系统的构建，使全站的状态检修成为了可能。

2) 在 110kV 电压等级的各间隔采用 SV 点对点 and GOOSE 组网方式，中低压电压等级采用“智能终端+传统断路器”的应用模式，有效地保留了原有的一次设备，提升了资源有效利用率。

3) 通过对智能化改造前后的各项经济指标分析评估，表明智能化改造的投资回收周期较短，具有较高的内部收益率，全周期成本也能够得到明显下降，经济效益显著。

4) 变电站进行智能化改造后，由于具有较高水平的在线监测系统，可实现继电保护的状态检修，即通过预测模型来判断设备即将发生的故障，能够有效降低检修周期。

展望未来，不足之处在于本次改造主要针对一次设备的成熟智能技术进行了重点应用，对二次设备的智能改造只进行了一部分，而二次设备的智能化改造将是未来的重中之重。从整体上分析，变电站的智能化改造是需要分阶段进行的，

是个长期复杂的过程。本次改造的实例中，还存在不支持 IEC61850 协议的设备，

仍需要一定的时间去淘汰更新，并且在改造结束后投入运行时出现的问题，也值得进一步去关注。 48

参考文献

[1] 刘振亚. 智能电网技术[M]. 北京：中国电力出版社，2010.

[2] 曹楠，李刚，王冬青. 智能变电站关键技术及其构建方式的探讨[J]. 电力系统保护与控制，2011, 39 (5)：63-68.

[3] 高翔，张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术. 2006, 30 (23)：67-71.

[4] 国家电网公司. 智能变电站技术导则[S]. 北京，2010.

[5] 李孟超，王允平，李献伟等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制，2010, 38(18)：59-62.

[6] Scheer G W, Dolezilek D J. Comparing the reliability of Ethernet network topologies in substation control and monitoring networks[C]. Western Power Delivery Automation Conference, Spokane, Washington, 2000, 12(6)：120-123.

[7] Janssen M C, Apostolov A. IEC 61850 impact on substation design[C]. Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. T&D. IEEE/PES. 2008: 1-7.

[8] 刘琴霞. 110kV 数字化变电站的技术设计及应用研究[D]. 河北：华北电力大学，2014：11-14.

[9] 梁建平，赵永平. 浅析智能变电站与常规变电站的几点关键区别[J]. 电子科技，2013：7-8.

[10] 陈其森，宣晓华. 智能变电站自动化系统集成测试技术[M]. 中国电力出版社，2015：1-8.

[11] 王大千，周余，都思. 新型数字化故障录波器方案[N]，电子发烧友，2012-01-06(3).

[12] 李廷. 110kV 数字化变电站继电保护配置方案研究[D]. 河北：华北电力大学，2014：32-36.

[13] Grewal G S, Konowalec J W Hakim M. Optimization of a Load Shedding Scheme[J]. Industry Applications Magazine. 1998, 4(4)：25-30.

- [14] Mitchell M A, Pecos Lopes J A, Fidalgo J N, et al. Using a Neural Network to Predict the Dynamic Frequency Response of a Power System to an Under-frequency Load Shedding Scenario[A]. In: Power Engineering Society Summer Meeting[C]. 2000.
- [15] 徐进杰. 广州 110kV 尖峰数字化变电站关键技术及二次系统应用研究[D]. 广州: 49 华南理工大学, 2014: 13-16.
- [16] 周和. 智能变电站的设计及其应用[D]. 河北: 华北电力大学, 2014: 5-8.
- [17] 陈轶玮. 数字化变电站实用化研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2007: 12-13.
- [18] 温慧. 智能变电站与传统变电站的比较[J]. 中文信息, 2014[9]:5-6.
- [19] Premaratne. Security Analysis and Auditing of IEC61850-Based Automated Substations[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, (4):245-253.
- [20] 李斌. 智能变电站技术及其应用研究[D]. 河北: 华北电力大学, 2014: 31-35.
- [21] DL/T860, 变电站通信网络与系统[S]. 中华人民共和国: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2006.
- [22] 刘从洪. 基于 IEC61850 的数字化变电站通信研究[D]. 四川: 西南交通大学, 2008: 25-29.
- [23] 邱静超. 某 66kV 常规变电站智能化改造方案的研究与应用[D]. 河北: 华北电力大学, 2014: 19-22.
- [24] 汪洋. 数字化变电站继电保护系统的可靠性研究[D]. 安徽: 安徽理工大学, 2015: 27-33.
- [25] IEC61850-7-1. Communication networks and system in substations-part7-1: Basic Communication structure for substation and feeder equipment-Principles and models [S]. 2003.
- [26] IEC61850-7-2. Communication networks and system in substations-part7-2: Basic Communication structure for substation and feeder equipment-Abstract communication service interface [S]. 2003.
- [27] IEC61850-7-3. Communication networks and system in substations-part7-3: Basic Communication structure for substation and feeder equipment-Common data classes[S]. 2003.
- [28] IEC61850-7-4. Communication networks and system in substations-part7-4: Basic Communication structure for substation and feeder equipment-Compatible logical node classes and data classes [S]. 2003.
- [29] 陈志伟. 分析智能化变电站与传统变电站继电保护的比较[J]. 科技风, 2003(17): 7-8. Berdinyazov A, Camci F, Sevkli M, et al. Economic analysis of maintenance policies for a system[C]// Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, 2009. SDEMPED 2009. IEEE International Symposium on. IEEE, 2009.
- [30] 苏迪华. 智能变电站继电保护检修作业的安管理工作要点分析[J]. 自动化应用, 2018(01):110-114.
- [31] Tang W H, Spurgeon K, Wu Q H, et al. An evidential reasoning approach to transformer condition assessments[J]. Power Delivery IEEE Transactions on, 2004, 19(4):1696-1703. 50
- [32] 张项, 李坚, 成竹. 智能变电站继电保护的调试方法分析[J]. 内燃机与配件, 2017(20): 117.
- [33] Li W, Korczynski J. A Reliability-Based Approach to Transmission Maintenance Planning and Its Application in BC Hydro System[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2004, 19(1):303-308.
- [34] 张永峰. 智能变电站继电保护系统检修安全措施分析[J]. 工程技术研究, 2017(07): 161-162.
- [35] 罗劲松. 分析智能变电站继电保护调试方法及其应用[J]. 信息通信, 2017(07):281- 282.
- [36] Jirutitijaroen P, Singh C. The effect of transformer maintenance parameters on reliability and cost: a probabilistic model[J]. Electric Power Systems Research, 2004, 72(3):213-224. 51

说明: 1. 总文字复制比: 被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2. 去除引用文献复制比: 去除系统识别为引用的文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

3. 去除本人文献复制比: 去除作者本人文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

4. 单篇最大文字复制比: 被检测文献与所有相似文献比对后, 重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比

5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的

6. 红色文字表示文字复制部分; 绿色文字表示引用部分; 棕灰色文字表示作者本人文献部分

7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



✉ amlc@cnki.net

🌐 <http://check.cnki.net/>

👤 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>