

DIANLI GONGCHENGSHI PEIXUN JIAOCAI



电力工程师培训教材

发变电设备运行 分册

河南省电机工程学会 编著
河南省电力公司焦作供电公司



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANLI GONGCHENGSHI

电力工程师培训

发变电设备运行 分册

河南省电力公司焦作供电公司 编著

藏书章



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《电力工程师培训教材 发变电设备运行分册》。分为电力网的输变电设备和输变电设备的检测技术2篇。

本书从变电站设备开始介绍,内容包括输电设备,配网设备,过电压技术与检测技术,220、500kV 输变电设备,特高压的输变电设备,常规变电站设备,数字变电站设备,高压电网设备。其内容丰富、全面,尽可能包含最新技术的介绍。

本书可供从事发变电设备运行的电力工程师使用,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力工程师培训教材. 发变电设备运行分册 / 河南省电机工程学会, 河南省电力公司焦作供电公司编著. —北京: 中国电力出版社, 2011. 8

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2046 - 8

I. ①电… II. ①河…②河… III. ①发电厂 - 发电设备 - 运行 - 技术培训 - 教材②变电所 - 电气设备 - 运行 - 技术培训 - 教材 IV. ①TM7②TM6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 171890 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http://www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 13.25 印张 228 千字

印数 0001—5000 册 定价 38.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

电力工程师培训教材

编 委 会

主 编 杨成兴 赵建宾

副主编 赵建保 周凤珍

编 委 (按姓氏笔画排序)

丁文彦	丁恒春	弋苗钦	王 圈	王 琦
王 璟	王忠强	石 光	卢 明	付海金
白明久	冯业忠	华盘勇	刘 忠	刘建军
刘遵义	闫 东	孙永亮	孙永阁	孙守信
孙新良	李 岩	李光伟	李国钧	李耿河
李德志	吴多华	何南强	宋晓凯	张 林
张 静	张可恩	张伟剑	张欲晓	陈 强
陈玉斌	陈守聚	陈劲游	林 烽	尚金成
周志平	赵载祥	姚德贵	郭子仁	郭耀珠
黄兴泉	韩金华	智海燕	熊世泽	熊浩清

前言

随着我国经济的飞速发展,电力需求也在迅猛增长,电网的发展日新月异,特高压输电、数字化变电站等新设备和新装置应运而生。电网的规划需要适应新形势的变化,电网的调度运行也必须加速自动化水平,相应的电网二次设备、通信及自动化系统都要与电网的发展相适应。

为了适应电网发展的需要和提高电力系统企业管理人员、专业技术人员的业务水平,我们编写了这套“电力工程师培训教材”,包括“发变电设备运行分册”、“电力调度及运行分册”、“电气二次设备分册”三个分册。本套教材内容通俗易懂,且有一定的理论深度,适合从事电网运行、检测、检修的工程师培训使用,同时可供电网企业管理人员和工程技术人员参考学习。

“发变电设备运行分册”从变电站设备开始介绍,内容包括输电设备,配网设备,过电压技术与检测技术,220、500kV 输变电设备,特高压的输变电设备,常规变电站设备,数字变电站设备,高压电网设备。其内容丰富、全面,尽可能包含最新技术的介绍。

“电力调度及运行分册”不但介绍了通常的电网规划方法,而且把电网运行新技术也放入了规划的内容中,如在规划时考虑无功电压优化系统的建设等;调度运行部分详细、全面阐述了调度运行技术的基本内容,并特别对大电网出现的低频振荡作了较详细的论述;还从电力市场的基本理论开始,阐述了电力市场的模式分析,努力使读者较全面地了解电力市场。

“电气二次设备分册”主要介绍电网的继电保护与安全自动装置,书中也介绍了特高压电网的继电保护与安全自动装置;电力系统通信主要介绍了电网中的光纤与微波通信装置;电力系统自动化设备从远动设备、变电站综合自动化系统、调度自动化系统直到传输通道和数据网络等内容都作了全面详细的介绍。该

分册对配网自动化、信息技术也有一定篇幅的介绍。

本套丛书由一批长期从事电网工作、有丰富实践经验的高级工程技术人员编著，内容切合实际，贴近实际工作，希望读者能在自己的工作中得到帮助，这就是我们编著本书的最大愿望。

编 者

2011. 8. 18

目 录

前言

第1篇 电力网的输变电设备

第1章 数字化变电站	3
第1节 概述	3
第2节 数字化变电站的技术特征	6
第3节 数字化变电站的架构体系	8
第4节 数字化变电站的数据—信息交换	10
第5节 光电/电子式互感器的应用	15
第6节 智能断路器及组合电气系统的应用	18
第7节 变电站数字化对二次系统的影响	20
第8节 结束语	24
第2章 电力变压器类设备	26
第1节 特高压交流输电和特高压电力变压器	26
第2节 超高压电力变压器	41
第3节 220kV 高阻抗变压器	47
第4节 干式变压器	50
第5节 SF ₆ 变压器和互感器	54
第6节 非晶合金变压器	57
第7节 光电互感器	59
第3章 高压开关电气设备	64
第1节 我国高压开关电气设备的水平与发展	64
第2节 特高压断路器	66
第3节 特高压隔离开关	69
第4节 特高压高速接地开关	72

第5节	特高压气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS)	74
第6节	新型户外紧凑型配电装置	79
第7节	新型中压配电开关设备 (充气柜)	82
第8节	GIS 设备的运行与在线检测新技术	84
第4章	输电线路	92
第1节	概述	92
第2节	输电线路绝缘子	93
第3节	输电线路用导线	96
第4节	架空输电线路的杆塔	102
第5节	输电线路绝缘子运行性能及分析	104
第6节	输电线路导线舞动	111
第7节	带电水冲洗	114
第8节	利用红外技术测量导线接续件运行状态下的温度	117
第5章	配电网与一次设备	120
第1节	网络接线	120
第2节	配电网一次设备	123
第6章	交联聚乙烯绝缘电力电缆的特性及检测	131
第1节	XLPE 电缆的优缺点	131
第2节	XLPE 电缆结构及其材料性能	133
第3节	XLPE 电缆试验	139
第4节	XLPE 电缆在线检测方法	141
第5节	电缆防火	144
第6节	交联电缆故障检测	146
第7章	过电压及其防护	152
第1节	雷电过电压及防护	152
第2节	内过电压及其限制措施	161
第3节	雷电定位系统	165

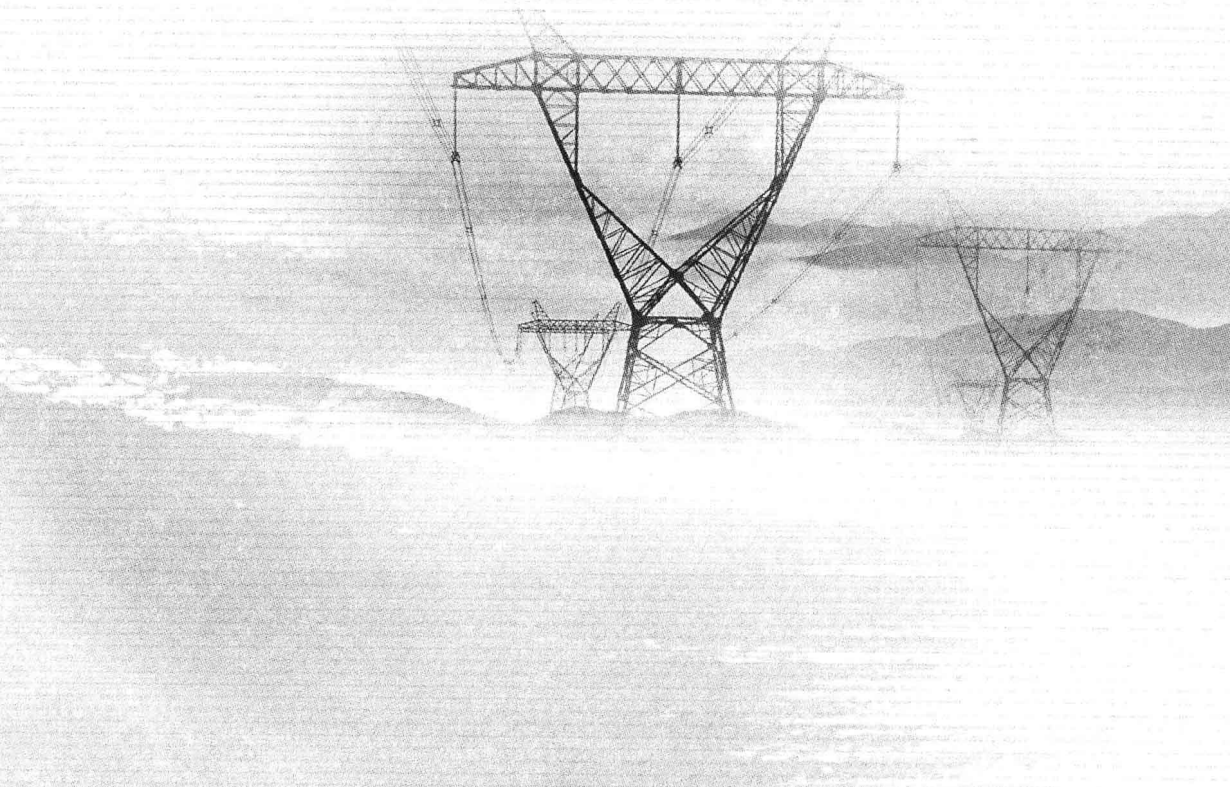
第2篇 输变电设备的检测技术

第1章	电力系统电磁辐射及测量	173
第1节	概述	173
第2节	工频电磁辐射现状	176

第3节	高压架空输电线、变电站工频电磁场及 无线电干扰测量方法	179
第4节	电磁辐射防护	182
第2章	状态检修	185
第1节	电气设备的状态检修	185
第2节	电力变压器超高频局部放电在线监测技术	191
第3节	变压器油色谱在线检测	199

第1篇

电力网的输变电设备



第 1 章

数字化变电站

第 1 节 概 述

数字化变电站是以变电站一、二次系统为数字化对象，使站内信息全部做到数字化；对数字化信息进行统一建模，使通信模型达到标准化；采用标准化的网络通信平台，实现信息共享和互操作，满足电力系统安全、稳定、可靠和经济运行要求的现代化变电站。作为一门新兴技术，数字化变电站从提出开始就受到了极大的关注，目前已成为我国电力系统研究的热点之一。随着相关软硬件技术的不断发展和成熟，数字化变电站将成为变电站技术的发展方向。

1.1 数字化变电站的优势

数字化变电站技术是变电站自动化技术发展中具有里程碑意义的一次变革，对变电站自动化系统的各方面将产生深远的影响。数字化变电站三个主要的特征是“一次设备智能化，二次设备网络化，符合 IEC 61850 标准”，即数字化变电站内的信息全部做到数字化，信息传递实现网络化，通信模型达到标准化，使各种设备和功能共享统一的信息平台。这使得数字化变电站在系统可靠性、经济性、维护简便性等方面均比常规变电站有大幅度提升。

我国微机保护在原理和技术上已相当成熟，常规变电站有时发生事故的主要原因在于电缆老化接地、电流互感器（TA）特性恶化和特性不一致引起保护误动。这些问题在数字化变电站中都能得到根本性的解决。数字化变电站中采用电子式互感器根本性地解决了 TA 动态范围小及饱和问题，解决了 TA 二次回路开路产生过电压及电压互感器（TV）二次回路短路而产生过电流的问题，从源头上保证了保护的可靠性。信息传递全部采用光纤网络后，二次回路设计得到了极大简化，保护连接片、操作按钮和把手大大减少，显著减少了运行维护人员的“三误”事故，光纤的应用也彻底解决了电缆的老化问题，系统可靠性得到了充分保障。少量的光纤取代了大量电缆，也节约了大量的投资。

数字化变电站中 IEC 61850 所支持的互操作性，把用户从不同制造商设备互

联困难的限制中解脱了出来,提高了变电站选择产品的自由度。不仅如此,通用的配置方式提高了用户对设备的驾驭能力,即使某些设备的供应商出现问题,该产品也可以很容易地用其他供应商的产品来替换,从而保证了变电站设备的正常运行,也方便和简化了日常检修和维护工作。标准化的信息模型实现了变电站的信息共享,原先必须由各自独立的测量、控制、继电保护及电网安全自动装置等,可以通过一些标准化软件模块来实现,减少了设备,同时减少了变电站的占地面积,节约了大量成本,而且提高了可靠性。信息网络平台的建立,用光纤取代了常规金属电缆,二次回路设计大大简化,接线大大减少,显著降低了安装、调试、维护工作量,把维护人员从繁杂的工作中解脱了出来。数字化变电站中实现了信息共享,设备提供了更丰富的状态监测信息,根据这些信息可实现更智能化的维护工作,包括故障诊断和定位,维护更简便,数字化变电站的性能得以大大提高。更为重要的是,数字化变电站的推广和普遍应用为智能化电网的建立奠定了基础。

1.2 数字化变电站的发展

国际上,ABB、西门子、AREVA 等公司对数字化变电站的相关技术研发方面起步较早,都参与了 IEC 61850 标准的研究制定和数字化变电站工程的建设。2003 年,ABB、ALSTOM、西门子在意大利的 TERNI 变电站完成了示范性工程。西班牙在 Bizkaia 省建立 Gernika 示范性数字化变电站,并于 2004 年 4 月投入使用。国外用户主要是从经济性的角度来考虑是否建设数字化变电站的。目前,全世界已有百余座数字化变电站投入运行。

目前,世界主要发达国家已经将 IEC 61850 标准作为变电站自动化系统采用的通用技术标准。2003 年,IEC 61850 标准已被等同引用为我国电力行业标准(DL/T 860 系列)。2005 年起,国家电网公司调度通信中心组织进行了 6 次 IEC 61850 互操作实验。数字化变电站技术被列入《国家电网公司“十一五”科技发展规划》中,作为提高电网自动化水平的五大重点技术课题之一。

国内的电力自动化企业虽然在 IEC 61850 规约方面处于跟随国外企业的位置,但技术发展非常迅速,相关技术日趋成熟。国内企业的主要优势体现在成本较低、服务更优、对用户的需求了解更深入、系统更适合中国市场需要等方面。在一次设备方面,目前部分企业在自发地进行数字化设备的相关研究,进展很快。国内研制成功的基于罗科夫斯基线圈原理的光电流互感器、电容分压原理的光电压互感器已经成功投入市场,并在多个示范性工程中得到了应用。许继电气已经成功研制出自适应光学电流互感器,并在 110kV 河北沙窝变电站成功运行四年。

数字化变电站能否得到大量快速地推广，主要取决于数字化技术的发展情况、运行经验的积累及相关技术被认可的程度。

国家电网公司在上海、江苏、浙江、山东、内蒙古等地区均开始了试点工作，南方电网公司的广东电网公司、云南电网公司，华中电网的河南电网也开始了试点工作。

2005年10月，国内首套采用 IEC 61850 标准的变电站自动化系统在无锡正式投入运行。2006年11月，云南省曲靖 110kV 翠峰变电站数字化改造通过鉴定。2006年12月，在内蒙古乌兰察布市杜尔伯特草原，全国第一座 220kV 数字化变电站杜尔伯特变电站一次启动成功投入生产运行。翠峰变电站和杜尔伯特变电站采用南京新宁光电自动化有限公司的数字化变电站系统。

2007年3月，广州供电局 220kV 鹿鸣变电站自动化改造顺利完成。鹿鸣变电站自动化系统改造在南方电网首次采用了 IEC 61850 规约和变电站程序化操作技术。

2009年5月2日2时，我国第一个 500kV 数字化变电站试点工程在南方电网超高压输电公司柳州局桂林变电站成功投入运行，标志着我国电力系统自动化水平进入崭新的里程碑。

由于数字化变电站技术优势明显，具有安全可靠、占地少、成本低、维护少、环境友好等优势，又能节省大量投资，是发展智能电网的重要基础。国内电力企业表现出极大的热忱，短短数年，国内已有数十座数字化变电站投入使用。

河南省电力公司和许继集团基于国际先进标准，攻克了一系列难题，使数字化变电站技术的应用达到了实用化水平。三年来，河南省电力公司的多个数字化变电站（110kV 洛阳金谷园变电站、郑州叠彩、吴河变电站和 220kV 郑州陈庄变电站）运行可靠，性能良好，优势明显，具有良好的示范作用和推广应用前景，充分发挥了“产学研用”的优势，为数字化变电站推广应用提供了技术支持和应用环境，具有显著的经济效益和社会效益，对推动电力工业和电力装备等行业、促进经济社会发展具有重要的意义。

河南省政府近期提出了依托许继集团打造中原电气谷的战略，其中，进一步开发数字化变电站技术被列为重要内容。河南省电力公司根据自身需求，指导和推动相关产品开发，许继集团充分发挥技术研发和产品营销优势，实现多方共赢的美好愿景最终促成数字化变电站技术被列入河南省重大科技专项，河南省政府将投入 1000 万元资金，支持该技术推广应用。坚强智能电网已成为国内外电网企业的发展方向，河南省电力公司将充分发挥现有优势，在现有 4 座数字化变电站的基础上，到 2010 年底前投运 20 座数字化变电站，进一步对相关技术加以完善，在打造数字化智能电网方面进行新的有益探索。

第2节 数字化变电站的技术特征

光电/电子互感器的应用,使变电站电气量信息采集数字化;IEC 61850 的颁布和实施,为变电站实现信息的统一建模奠定了基础;以太网技术的发展,为变电站内实现基于网络方式交换信息提供了技术支持;智能断路器技术的发展,使变电站自动化技术实现了二次系统向一次系统的延伸。这些主要技术的发展和日趋完善,必然会对变电站数字化产生深刻且全面的影响。数字化变电站的技术特征主要表现在以下几方面。

1. 数据采集数字化

各类数据从源头实现数字化,真正实现信息集成、网络通信、数据共享。在电流、电压的采集环节采用数字化电气测量系统,如光电/电子式互感器,实现了电气量数据采集的数字化应用,并为实现常规变电站从装置冗余向信息冗余的转变,为实现信息集成化应用提供了基础。打破常规变电站的监视、控制、保护、故障录波和计量等几乎都是功能单一、相互独立的装置模式,改变了硬件重复配置、信息不共享和投资成本大的局面。数字化变电站使得原来分散的二次系统装置,具备了进行信息集成和功能合理优化及整合的基础。系统结构更加紧凑,数字化电气量监测系统具有体积小和质量轻等特点,可以有效地集成在智能开关设备系统中,按变电站机电一体化设计理念进行功能优化组合和设备布置。

2. 系统建模标准化

系统建模实现标准化。IEC 61850 确立了电力系统的建模标准,采用统一的建模语言和变电站配置描述语言,为变电站数字化系统定义了统一的、标准的信息模型和信息交换模型,实现智能设备的互操作,实现变电站的信息共享。对一、二次设备进行统一建模,资源采用全局统一命名规则,变电站内及变电站与控制中心之间实现了无缝通信,从而简化了系统维护、配置和工程实施。

3. 系统分层分布化

变电站的一、二次设备可分为三层:站控层(变电站层)、间隔层和过程层。站控层包括监控主机、远动通信机等,并设现场总线或局域网,实现各主机之间、监控主机与间隔层之间的信息交换。间隔层一般按断路器间隔划分,包含相应的测量、控制元件和继电保护及自动装置,这些装置直接通过局域网络或者串行总线与变电站层联系。过程层通常又称为设备层,主要是指变电站内的变压器、断路器、隔离开关及其辅助触点和电流互感器、电压互感器等一次设备。

4. 使用智能断路器

数字化变电站的主要特征之一是智能断路器,它将断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器和电压互感器等组合在一个 SF₆ 绝缘密封壳体内,实现了变电站布置紧凑化。智能化一次设备的数字化传感器、数字化控制回路代替了继电保护装置、测控装置等的 I/O 部分。对于中、低压断路器,则将保护、测控装置安装于开关柜内,因此在数字化变电站内,设备和元件数量少,设备布置灵活紧凑,占地面积减小,土建成本降低。

5. 信息交换网络化

站控层(变电站层)、间隔层和过程层,各层内部和各层之间进行数据流传输。各种数据流在不同运行方式下,有不同的传输响应速度和优先级的要求。数字化变电站内设备之间的连接全部采用高速网络通信,二次设备不再出现常规装置重复的 I/O 接口,通信网络真正实现了数据共享、资源共享,而常规装置变成了逻辑功能模块。信息交换网络的性能应满足:

(1) 可靠性。

电力生产的连续性和重要性对信息交换网络可靠性的要求是第一位的,应避免一个元件或装置损坏导致通信中断。

(2) 开放性。

信息交换网络除应保证站内各种智能电子装置(Intelligent Electronic Device, IED)互连、便于扩展外,还应服从电力调度自动化的总体设计,硬件接口应满足国际标准,选用国际标准的通信协议以便系统集成。

(3) 实时性和同步性。

测控数据、保护信号、遥控命令等都要求实时传送,特别是在发生故障时要实时快速传送大量数据,而且保证信息的同步性也十分重要。

(4) 安全性。

电力系统历来都十分强调安全性,特别是数字化变电站安全问题更为突出。数字化变电站是基于 IEC 61850 标准建立起来的,具有开放性和标准性,这样就带来一个重要问题,即如何防止外界的干扰,甚至是“黑客”的入侵。

6. 信息应用集成化

在常规变电站中,监控、保护、计量、故障录波等几乎都是功能单一、彼此相互独立的装置或系统,信息不共享,硬件重复配置,TA 和 TV 负载重,二次接线复杂,可靠性差,投资成本大。新型光电/电子互感器的出现和采用面向对象的技术,将原来分散的二次装置进行了合理的功能集成,成为多功能数字装置。

站内数字通信用光纤总线实现，取消了传统的硬件连接。

7. 设备检修状态化

各种设备实现广泛在线监测，使设备状态检修更加科学可行。在数字化变电站中，可以有效地获取电网运行状态数据、各种智能电子装置（IED）的故障和动作信息及信号回路状态。数字化变电站中将几乎不再存在未被监视的功能单元，在设备状态特征量的采集上没有盲区。设备检修策略可以从常规变电站设备的“定期检修”变成“状态检修”，这将大大提高系统的可用性。

第3节 数字化变电站的架构体系

新型光电/电子互感器的出现和应用代替传统的电磁式互感器，从源头上获得数字信息，使变电站全数字化成为可能，也使变电站的继电保护、自动装置、测控装置及二次回路发生了根本的变化，亦使变电站的面貌发生了改变，变电站的自动化水平进入了新的里程碑。

数字化变电站可分为过程层、间隔层和变电站层，各层之间的关系如图 1-1-1 所示。

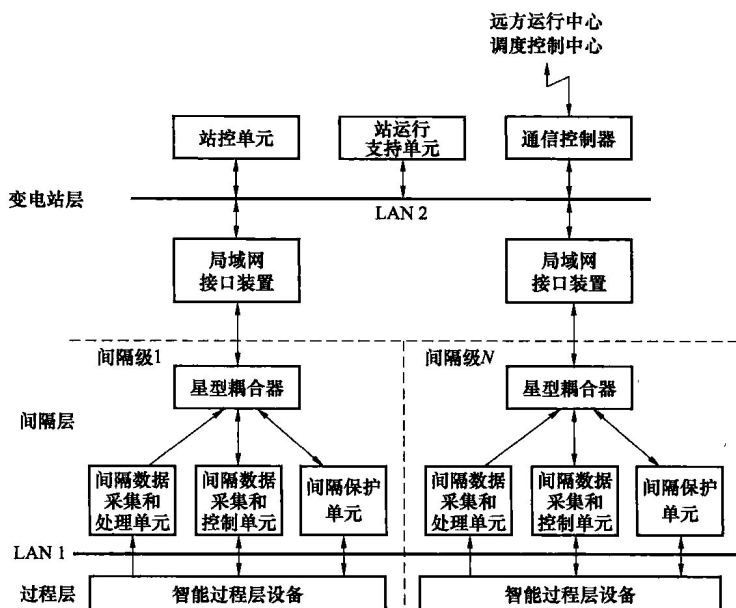


图 1-1-1 数字化变电站的架构体系