

智能电网环境下的电力调度安全运行 监控方法研究

骆国铭¹, 陈章国², 吴海江¹, 唐鹤¹, 周俊宇¹

(1. 广东电网有限责任公司佛山供电局, 广东 佛山 528000;

2. 南京南瑞信息通信科技有限公司, 南京 210003)

摘要: 为了解决智能电网电力调度监控力度弱、运行安全差的问题, 采用方案设计出一种电力调度安全监控网络, 提高电网运行中的安全性; 通过设计电力调度系统, 总体把握电力运行过程, 实现调度指令集中控制; 建立 DOS 运行模型, 对电力输送路径进行更新, 为电力输送提供安全保证; 建立安全监控网络, 通过在运行节点设立监控设备, 对电力运行实时监控, 随时传达设备运行状态; 采用生成对抗网络 (ACGAN) 算法, 根据设立的电力安全标准, 结果实现电力调度的安全优化设计; 最后根据实验报表将电力调度安全等级分为三级, 安全性达到 III 级, 允许并网; 通过对比分析发现本研究安全指标达到 90% 以上; 电力调度中波动频率在 40~60 Hz, 整体稳定性较好; 从而验证了该设计方法的优越性, 证实了本研究的可行性。

关键词: 电力调度系统; DOS 运行模型; 安全监控网络; ACGAN 算法; 运行安全标准

Research on Security Operation Monitoring Method of Power Dispatching in Smart Grid Environment

LUO Guoming¹, CHEN Zhangguo², WU Haijiang¹, TANG He¹, ZHOU Junyu¹

(1. Foshan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Foshan 528000, China,

2. NARI Information & Communication Technology Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: In order to solve the problem of weak power dispatching and monitoring of smart grid and poor operation safety, the adopted scheme designs a power dispatching safety monitoring network to improve the safety of power grid operation. Through the design of the power dispatch system, the overall control of the power operation process is realized, and the centralized control of the dispatching instructions is realized; the DOS operation model is established to update the power transmission path to provide safety guarantee for the power transmission; the safety monitoring network is established, and the monitoring equipment is set up at the operation node. Real-time monitoring of power operation, and communicating the operating status of equipment at any time; using ACGAN algorithm, according to the established power safety standards, the result is to realize the safety optimization design of power dispatching. Finally, according to the experimental report, the power dispatch security level is divided into three levels, and the safety reaches III level, allowing grid connection; through comparative analysis, it is found that the safety index of this study reaches more than 90%; the frequency of fluctuations in power dispatch is 40-60 Hz, and the overall stability better. This verifies the superiority of the design method and the feasibility of this research.

Keywords: power dispatching system; DOS operating model; security monitoring network; ACGAN algorithm; operating security standard

0 引言

目前电力发展逐渐加快, 增加了电力调度安全监控的压力, 利用人员监控的方法难以达到目前需求, 不利于电网运行的安全和系统稳定。因此需要建立智能安全监控方法, 能够快速地进行电力调度安全监控, 实时提供电网环境可靠数据。

为加强电力调度安全监控力度, 国内外电网公司设计多个电力监控技术方案, 国内主要采用数据算法, 利用算

法的高计算能力加强监控数据的获取速度; 国外主要通过建立监控体系, 使电力监控更加具有严谨性。其中文献 [1] 利用深度学习算法的快速数据处理能力, 减少了电力安全故障发生频率。但这种算法对电力调度存在阻碍, 电力传输速度较慢, 从而出现信息滞后问题^[1]; 文献 [2] 基于大运行体系构建监控管理系统, 集中把控电力调度信息, 使电力监控设备布置更加合理化, 从而实现电力调度的安全监控。但这种体系的建立过于严格, 对监控设备和电力人员要求过高, 导致人员配置短缺的问题^[2]。

收稿日期: 2021-03-06; 修回日期: 2021-04-07。

作者简介: 骆国铭 (1979-), 男, 广东河源人, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力调度运行、人工智能及调控一体化等方向的研究。

引用格式: 骆国铭, 陈章国, 吴海江, 等. 智能电网环境下的电力调度安全运行监控方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(10): 108-113.

本文开展电力调度安全监控课题, 通过建立电力调度系统和 DOS 运行模型使电力运行模式化, 利用安全监控网络实现电力设备安全监控; 利用 ACGAN 算法的数据分析能力, 能够及时分析出数据信息存在的隐患, 从而对电力设备针对性检修。最终达到智能电网电力调度安全运行目的^[3]。

1 电力调度系统

综合电力安全监控方案, 本文通过设计电力调度系统, 使电力安全监控能够集中化处理, 加强了电力调度整体运行水平^[4], 主要创新点在于:

- 1) 建立 DOS 系统运行模型, 使电力运行更加安全, 使电力数据运行模型化, 更加符合电力体系标准。
- 2) 设计安全监控网络, 对各种监控设备合理化布置, 对电力运行系统形成无死角监控网络, 加强了电力运行中的监控力度。
- 3) 采用 ACGAN 算法对电力监控数据进行分析, 能够准确把握电力信息运行状态, 保证电力信息的数据安全, 制定最优调度计划^[5]。

根据各电网等级制定调度方案, 最终形成层级调度架构, 使调度步骤更加完善, 调度指令更加容易接收, 达到耗时最小化的目的。电力调度系统如图 1 所示。

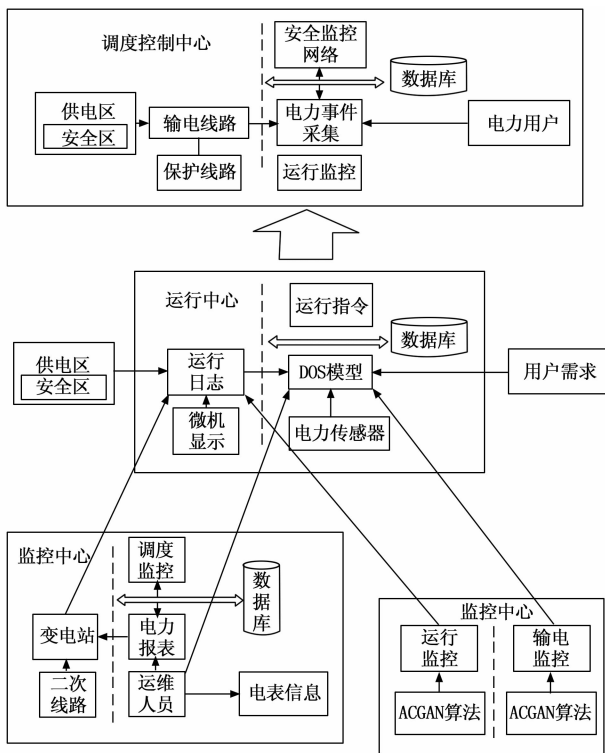


图 1 电力调度系统图

本文设计的电力调度系统主要由调度控制中心、运行中心和监控中心配合完成, 调度控制中心根据供电区提供电力资源, 供电区设有安全设备保证供电安全, 供电区输送的电压通过输电线路输送电压, 中间架设有保护线路, 输电线路与信息处理通过网关隔离。信息处理主要由安全

监控网络、电力事件采集和运行监控三部分完成, 安全监控网络和电力事件采集模块信息都会存放在数据库中, 而运行监控为电力事件采集模块服务, 调度中心尾端主要负责采集电力用户信息, 根据用户信息进行相应调整^[6]。

运行中心负责整个输电网络的运行管理, 根据供电区供给的电压生成运行日志, 通过微机进行日志显示, DOS 模型负责分析运行日志、电力传感器和用户需求 3 种数据, 根据处理结果发出运行指令, 整个运行中心由数据库记录整个过程^[7]。该模型的技术优势在于能够实现分布式操作系统的管理, 实现不同位置用户信息的处理。

监控中心分为调度监控和运行监控, 调度监控主要监控调度中心数据, 通过变电站和电力报表数据完成调度监控, 变电站通过二次线路保证运行安全, 运维人员更加电力报表收集电表信息; 运行监控主要根据运行中出现的数据异常进行分析, 通过 ACGAN 算法完成异常分析统计^[8]。

2 DOS 系统运行模型

传统电网的运行模式较为简单, 缺少必要的安全防护, 因此本文设计一种 DOS 系统运行模型, 该模型也被称为独立设备管理层 DOS (分布式操作系统) 模型, 采用该模型的目的在于加强电网安全防护能力, 而且使电网运行智能化, 符合现代电力发展需求^[9], DOS 系统运行模型如图 2 所示。

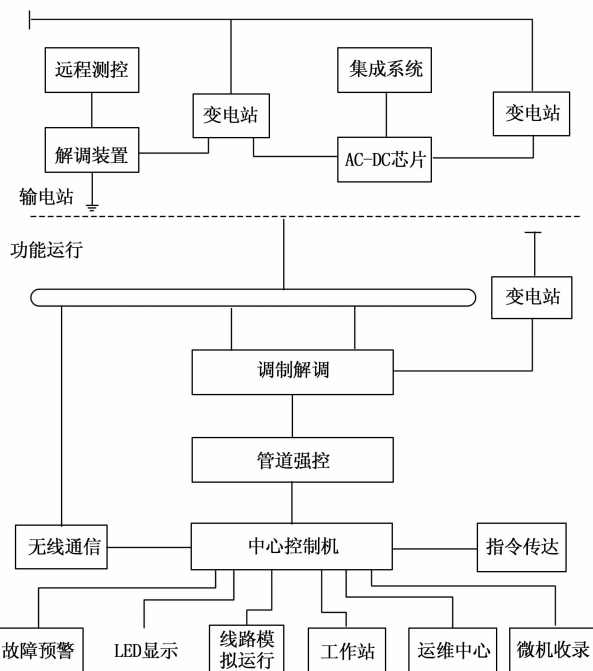


图 2 DOS 系统运行模型

电网的 DOS 运行模型主要针对输电站和功能运行进行设计, 利用 DOS 系统的数据搬运能力和安全性强的特点, 对输电站设备进行集成化控制, 对电网功能设备模块化, 实现电网的安全运行。该模型在工作过程中, 在中心控制机的作用下, 实现故障预警、LED 显示、线路模拟运

行等,其中对于输电站设备,主要进行远程测控和信号解调,经过解调后的变电站信号进行线路集成,将信号电路集成在 AC-DC 芯片中,实现输电站的统一管理^[10]。

功能运行线路设计通过强制解调装置将变电站信号解调为电流信号,然后经过管道强控功能传输到中心控制机中,中心控制机对电流信号进行分配,分配的功能模块包括故障报警、LED 显示、线路模拟运行、工作站、运维中心和微机收录,而无线通信负责联通几个功能模块,指令传达可以直接对中心控制机进行指令调度^[11]。

整个电网 DOS 系统运行模型的构建依赖于解调装置和集成芯片,电力调度能够在此模型中实现运行预览,为电网运行提供模型参照,加强了电网安全性^[12]。

3 安全监控网络设计

通过市场调研,分析电力市场成交记录,为提高电网网架的经济性,需要对整个网架运行进行优化,本文根据数据评估,利用双层建模理论建立网架优化模型,使电网运行达到经济运行的目的^[13]。经济运行优化模型如图 3 所示。

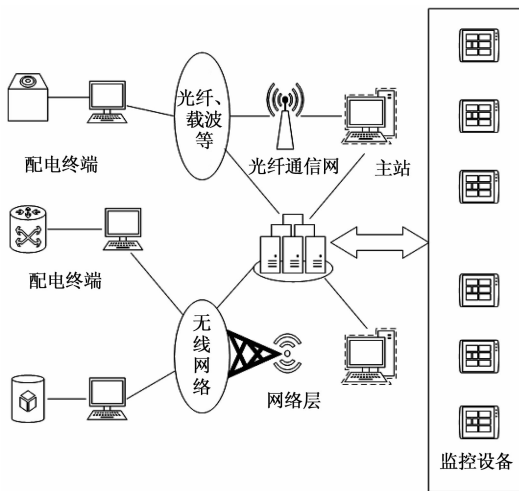


图 3 安全监控网络架构

安全监控网络的设计以 C/S 结构当做基本框架,其中设有配电终端、网络通讯和监控设备,配电终端由变电站和发电场组成,负责电力的输送和控制;网络通讯通过光纤和无线网络完成,根据传感器采集的配电网信息,将信息输送到各自处理主站或者由数据库收录;监控设备不仅负责收集电力调度信息,而且需要分析设备状态,需要根据设备状态分析对电力调度的影响,将处理数据上报至控制中心^[14]。在本研究中,监控设备可以为分布式的,也可以为集中式的。通过接收主站的信息能够实现配电终端的运行信息,在无线网络或者光纤、载波的通信下实现数据信息的传递。

安全监控网络架构的建立对整个电网运行具有重要意义,通过各种监控设备实现电网无死角监控,监控设备上架设的通信网络能够及时传输电网信息,使控制中心能够

掌握电网运行状态,使调度指令更加准确^[15]。

4 ACGAN 算法

生成对抗网络 (ACGAN) 算法能够对电力监控的数据合理化分析,通过博弈的方法对监控数据进行训练式分析,然后生成对抗网络,利用对抗数据实现电力调度数据的实时监控,为后续检修提供安全保障^[16]。

根据监控数据记录,对期望达到的安全标准进行数据化,由此得到电网运行最具安全表达式为:

$$\min_G \max_D V(G, D) = E_{x \sim P_{\text{data}}} [\ln D(x)] + E_{z \sim P_z(z)} [\ln(1 - D(G(z)))] \quad (1)$$

式 (1) 中, $V(G, D)$ 表示电网运行安全标准, $E_{x \sim P_{\text{data}}}$ 表示实际运行电网调度安全值, $E_{z \sim P_z(z)}$ 表示期望调度安全值, $D(x)$ 表示调度安全设备参数, $G(z)$ 表示监控设备安全参数。

传统的电力调度网络都是无监控模型,ACGAN 将监控网络应用到电力调度运行系统中,可以使监控图像显示出电力运行状态^[17]。根据期望的电力安全标准,ACGAN 算法在此基础上进行安全分析,并结合信息交互理念得到最佳目标函数为:

$$L_s = E[\ln p(s = \text{real}) | x_{\text{data}}] + E[\ln p(s = \text{fake}) | x_{\text{fake}}] \quad (2)$$

式 (2) 中, L_s 表示电力信息交互最佳安全目标, $p(s = \text{real})$ 表示电网真实安全标准数值, $p(s = \text{fake})$ 表示算法能达到的最佳运行安全标准。

从监控网络数据及最佳安全目标函数可以看出,ACGAN 损失函数能够表示输入样本电力运行信息与电力安全标准值之间的关系,即:

$$L_c = E[\ln p(C = c | x_{\text{data}})] + E[\ln p(C = c) | x_{\text{fake}}] \quad (3)$$

式 (3) 中, L_c 表示生成对抗网络的损失函数, $p(C = c | x_{\text{data}})$ 表示输入电力运行信息, $p(C = c)$ 表示电力安全标准值。

为保证监控网络有效采集到电力调度设备的运行数据,对监控数据进行初始化,并利用微机算法编写程序代码,将安全标准代码写入算法程序中,将安全标准样本当作最佳调度方案,然后在 DOS 运行模型的输出层与电力设备对接^[18],得到电力运行安全监控样本函数为:

$$\begin{aligned} L_{\text{supervised}} &= -E_{(x, y) \sim P_{\text{data}}} [\ln p(y' | x, y' < K + 1)] = \\ &= -\frac{1}{N} \ln p(y' | x, y' < K + 1) = \\ &= -\frac{1}{N} \ln \frac{\exp(\langle y, y' \rangle)}{\sum_{i=1}^K \exp y'_i} = \\ &= -\frac{1}{N} (\langle y, y' \rangle) - \ln \left(\sum_{i=1}^K \exp y'_i \right) = CE(y, y') \quad (4) \end{aligned}$$

式 (4) 中, $E_{(x, y) \sim P_{\text{data}}}$ 表示监控资料库中安全标准, $\langle y, y' \rangle$ 表示监控电力数据内积运算, y' 表示电力运行存在的不可控数据变化, K 表示运行监控设备采集样本总数, N

表示整个电网环境下的设备安全总量, C 表示标准电力监控安全代数, $E(y, y')$ 表示电网安全总期望。

因此, 实际运行中, 电网设备的损失函数为:

$$L_{real} = L_{supervised} \quad (5)$$

对损失函数生成数据, 其监控误差由生成安全样本过程中产生, 即监控数据相似取值; 或者是在输出端采集的电力传输造成的损失。通过降低监控电力运行安全期望, 由 $soft$ 函数表示电力设备状态变化, 有:

$$softmax(x) = softmax(x - c) \quad (6)$$

式 (6) 中, x 表示监控设备产生的数据误差, c 表示输出端引起的误差损失。

令 $y'_{k+1} = 0$, 可得:

$$\begin{aligned} L_{unsupervised} &= -E_{x \sim p_x} [\ln p(y' | x, y' < K + 1)] = \\ &= -\frac{1}{N} \ln p(y' = K + 1 | x) = \\ &= -\frac{1}{N} \ln \frac{\exp y'_{K+1}}{\sum_{i=1}^{K+1} \exp y'_i} = \frac{1}{N} \ln \left(1 + \sum_{i=1}^K \exp y'_i \right) \end{aligned} \quad (7)$$

式 (7) 中 $E_{x \sim p_x}$ 表示电力安全期望在运行中产生的变化, y'_{k+1} 表示电力调度运行中产生的误差, y'_i 表示监控网络总结出电力调度压降变化。

在监控网络中, 每个生成器生成的 ACGAN 样本的输入参数与期望安全值吻合, 其中生成器的构建方法通过下列代码实现:

```
生成器的构建代码: def build_generator(self):
model = Sequential()
model.add(Dense(128 * 7 * 7, activation='relu', input_dim
= self.latent_dim))
model.add(Reshape((7, 7, 128)))
model.add(BatchNormalization(momentum=0.8))
model.add(UpSampling2D())
model.add(Conv2D(128, kernel_size=3, padding='same'))
model.add(Activation('relu'))
model.add(BatchNormalization(momentum=0.8))
model.add(UpSampling2D())
model.add(Conv2D(64, kernel_size=3, padding='same'))
model.add(Activation('relu'))
model.add(BatchNormalization(momentum=0.8))
model.add(Conv2D(self.channels, kernel_size=3, padding='
same'))
model.add(Activation('tanh'))

model.summary()

noise = Input(shape=(self.latent_dim,))
label = Input(shape=(1,), dtype='int32')
label_embedding = Flatten()(Embedding(self.num_classes,
100)(label))

model_input = multiply([noise, label_embedding])
```

$img = model(model_input)$

通过上述代码实现生成器的构建。

因此监控数据的生成流程与输入电力调度指令存在细微差异^[19], 由此产生的生成数据的损失为:

$$L_{fake} = 0.5 \times (L_{unsupervised} + CE(y, y'_{fake})) \quad (8)$$

电力调度过程中通过调整各类机器参数, 根据控制指令分别构建运行模型和监控网络的布置方案。即运行模型安全函数为:

$$L_D = 0.5 \times (L_{real} + L_{fake}) \quad (9)$$

监控网络安全函数为:

$$L_G = 0.5 \times (L_{FM} + L_{unsupervised}) \quad (10)$$

其中, 由于监控功能的不同形成的安全函数存在差异, 具体表现为:

$$L_{FM} = \|E_{x \sim P_{data}}[f(x)] - E_{z \sim P_z}[f(G(z))]\|_2^2 \quad (11)$$

式 (11) 中, L_{FM} 表示 ACGAN 算法分析前后电力调度差异项, $E_{x \sim P_{data}}$ 表示调度资料库期望函数, $E_{z \sim P_z}$ 表示监控资料库安全标准, $f(x)$ 表示电力调度运行中变化函数, $G(z)$ 表示监控设备采集的运行数据函数。

ACGAN 算法针对整个调度运行数据, 对生成的调度数据与监控安全标准进行分析, 通过计算各自在运行中的损失函数, 最终得到稳定的安全运行函数式, 为智能电网的安全提供数据保证^[20]。

5 试验结果与分析

本实验在华中智能电网环境下进行, 建立多个测试网点, 经过人员记录和微机采集, 对调度安全监控系统进行测试, 根据系统数据屏显示, 现场实验报表生成, 最终统计结果验证了本实验的可行性^[21]。现场实验环境设置, 电网输电采用多个电压等级变电站, 最低为 400 MW, 最高为 2 500 MW; 传感器数据采集精度为 96%, 微机算法运算误差小于 2.5%, 通信方式采用无线通信。硬件配置参数如表 1 所示。

表 1 实验环境参数

实验环境	配置参数
电网测试点	华中电网
CPU	Intel i8 9600KF
内存	64 G + 256 G
微机系统	Win 10X64
模型构建	ModelBuilderV4.2.0
仿真软件	Matlab 2018

实验室计算机应用 Win 10 × 64 系统, 对电力调度运行监控数据进行统计, 根据测试记录显示, 通过后续分析, 将不同电网等级的监控事件和安全等级列表显示, 从而得到电网运行结果, 假设在两个小时内获取电力调度运行数据, 为了适宜性说明本研究的试验结果, 仅仅抽取运行告警、故障告警、设备检修、允许并网等几种类型的数据信息, 在数据库中的数据抽取情况如表 2 所示。

表 2 电力调度运行结果显示

测试 网点	电网功率/ MW	监控事件				安全性 分析
		运行 告警	故障 告警	设备 检修	允许 并网	
N1	445.04	告警	告警	检修	驳回	II 级
N2	1 260.59	安全	安全	正常	允许	III 级
N3	1 511.96	告警	告警	检修	驳回	I 级
N4	2 230.76	安全	安全	正常	允许	III 级

本文实验采集了 4 个不同电网等级数据进行分析，根据监控事件划分为 3 个安全等级，其中电网功率为 445.04 MW 的电网监控事件发现设备问题，并驳回了并网请求，将此设定为 II 级安全；电网功率为 1 260.59 MW 的电网监控事件均正常，因此允许并网，将此设定为 III 级安全；电网功率为 1 511.96 MW 的电网监控事件存在安全告警，驳回了并网请求，设定为 I 级安全；电网功率为 220.76 MW 的电网监控事件均正常，因此允许并网，将此设定为 III 级安全。明显安全等级越高，则电网安全性越好，达到 III 级安全允许并网。实验数据表明本研究对电网运行安全的严谨性，体现了研究方案的可靠性。

根据文献 [1] 深度学习算法和文献 [2] 提出的大运行体系以及本文的安全监控曲线，对 3 种研究方案的安全指标进行对比，安全监控曲线如图 4 所示。

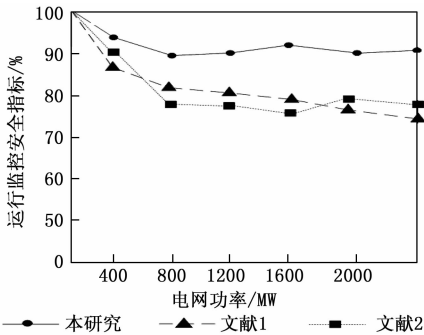


图 4 并网安全监控曲线

图 4 中对 3 种不同方案的安全监控指标进行对比，其中文献 [1] 提出的深度学习算法安全指标随电网功率增加逐渐减小，最低指标为 75%；文献 [2] 提出的大运行体系在 800 MW 之前安全指标减小较为明显，之后逐渐稳定在 78%；本研究整体安全指标减小较为缓慢，而且稳定安全指标为 90%。可见本研究安全监控指标更高，电力调度更为安全。

为了解本研究电力调度系统在电网中的稳定性，利用 Matlab 进行仿真，并与传统调度模型进行对比，电网运行稳定性仿真如图 5、6 所示。

分析图 5 中电网运行稳定性曲线，可以看出电网波动频率在 40~60 Hz 范围，整体波动范围不大，稳定性较好；而图 6 中传统电力调度电网波动频率在 30~70 Hz 范围，波动范围较大，稳定性较差。验证了本研究电力调度的稳定

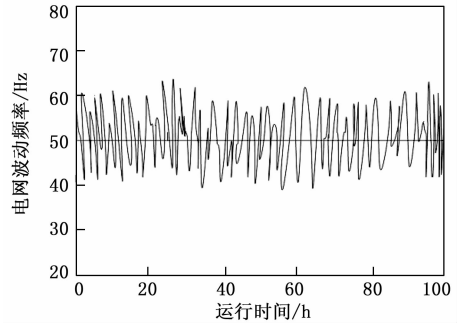


图 5 本研究电网运行稳定性

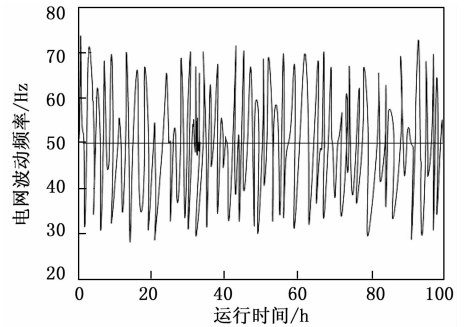


图 6 传统电网运行稳定性

性能。

综合上述实验分析，本文设计的电力调度安全监控网络，对智能电网的发展有促进作用，能够增加电力调度的安全性，同时加强了系统稳定性，达到对电力安全实时监控的目的，体现了本研究在电力运行方面的重要意义，解决了传统电网安全监控力度不足的问题^[22]。

6 结束语

本文主要研究电力调度运行的安全监控问题，通过分析国内外研究方案，对电力调度系统进行设计。通过设计 DOS 系统运行模型和安全监控网络，保证电力调度运行结构和运行实时监控；采用 ACGAN 算法生成安全标准，加强了系统监控能力，同时增加了调度安全性。最后进行实验测试，根据测试运行结果生成不同安全等级，保障了实验的严谨性；对系统安全指标和运行稳定性进行对比，验证了本研究的优越性。

但是本研究在实验中仍存在一些不足，由于国调范围较大，通信过程较长，容易造成指令传达的延迟；人为和特殊情况造成的监控设备损坏仍没有较好的处理办法。希望后续能够针对这些问题加以完善。

参考文献：

- [1] 田晓艳. 基于深度学习算法的自动问答概述 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2017 (23): 60-61.
- [2] 魏雷, 何欢, 安立东, 等. 大运行体系下电网调控运行安全风险 [J]. 名城绘, 2018 (6): 723-723.
- [3] 孔祥玉. 电力系统中的电力调度自动化管理策略 [J]. 商情, 2017 (14): 165.

