

电子科技大学

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

# 工业控制网络技术报告



论文题目 DCS 的时间同步技术应用与问题研究综述

学 院 机械与电气工程学院

专 业 机器人工程

学 号 2021040902007

作者姓名 经彭宇

指导教师 袁太文

## 摘 要

本文讨论了 DCS 系统中时间同步技术的发展历程、应用情况以及现状与改进方法。最初阶段，时间同步依赖简单方法和硬件时钟，但随着系统规模扩大，高精度同步需求推动了技术的发展。时钟同步技术也得到了关注，通过新技术和备份方案改进了同步精度和稳定性。时间同步技术在数据采集、控制任务和故障诊断等方面发挥关键作用，但仍需解决精度和外部干扰问题。

**关键词：**DCS 系统、时间同步技术、精度问题、外部干扰

## ABSTRACT

The current status, application, and improvement methods of time synchronization technology in DCS systems are the focus of this article. In the initial stages, time synchronization relied on simple methods and hardware clocks, but as systems expanded, the demand for high-precision synchronization drove the development of PTP technology. Digital clock synchronization technology also gained attention, improving synchronization accuracy and stability through new technologies and backup plans. Time synchronization technology plays a crucial role in data collection, control tasks, fault diagnosis, etc., but still needs to address accuracy and external interference issues.

**Keywords:** DCS, time synchronization technology, accuracy issue, external interference

## 目 录

摘 要 .....	I
ABSTRACT .....	II
目 录 .....	III
第一章 引言 .....	1
第二章 DCS 系统中时间同步技术的发展与应用 .....	2
2.1 DCS 系统中时间同步技术的发展 .....	2
2.2 DCS 系统中时间同步技术的应用 .....	2
2.3 本章小结 .....	3
第三章 DCS 系统中时间同步技术的现状与改进 .....	4
3.1 DCS 系统中时间同步技术的现状 .....	4
3.2 DCS 系统中时间同步技术的改进 .....	5
3.3 本章小结 .....	6
总结与展望 .....	7
参考文献 .....	8

## 第一章 引言

DCS（分布式控制系统）是一个涉及多种关键技术的复杂系统，其中包括自动化控制技术、通信技术、数据采集与处理技术等等<sup>[1]</sup>。在这些技术中，时间同步技术是至关重要的一环。它在 DCS 系统中扮演着至关重要的角色，因为它保证了系统各个部件之间的时间信息一致性，从而实现了数据的时序一致性和系统的协同运行，从而确保了系统运行的稳定性和可靠性。

作为数字通信网的基础支撑技术之一，时钟同步技术的发展演进始终受到通信网技术发展的驱动。在网络方面，通信网从模拟发展到数字，从 TDM（时分复用技术）网络为主发展到以分组网络为主；在业务方面，从以 TDM 话音业务为主发展到以分组业务为主的多业务模式，从固定话音业务为主发展到以固定和移动话音业务并重，从窄带业务发展到宽带业务等等。在与同步网相关性非常紧密的传输技术方面，从同轴传输发展到 PDH（层次化数字传输）、SDH（同步数字层次）、WDM（波分复用）和 DWDM（密集波分复用），以及最新的 OTN（光传输网络）和 PTN（分组传输网络）技术<sup>[2]</sup>。随着通信新业务和新技术的不断发展，其同步要求越来越高，包括钟源、锁相环等基本时钟技术经历了多次更新换代，同步技术也在不断地推陈出新，时间同步技术更是当前业界关注的焦点之一。

本文将围绕时间同步技术的发展与应用以及目前的现状以及改善方法来展开分析。

## 第二章 DCS 系统中时间同步技术的发展与应用

DCS 系统中时间同步技术的发展可以追溯到计算机网络的早期阶段。随着 GPS 技术的成熟和普及，基于 GPS 的时间同步技术逐渐成为主流。并且时间同步技术在 DCS 系统中广泛应用，用于数据采集与处理、系统控制、安全监控等方面。本章将探讨时间同步技术的发展和应用情况。

### 2.1 DCS 系统中时间同步技术的发展

最初阶段，DCS 系统中的时间同步主要依靠硬件时钟和简单的同步方法，如周期性地发送同步信号或通过网络时间协议（NTP）进行同步。这种方法虽然能够满足基本的同步需求，但在对时间精度和稳定性要求较高的场景下存在一定局限性。随着工业自动化系统的规模扩大和应用场景的多样化，高精度时间同步技术成为了发展的趋势。精密时间协议（PTP）技术因其能够实现微秒级甚至亚微秒级的时间同步精度而逐渐成为主流<sup>[3]</sup>。PTP 技术通过网络中使用硬件时钟和精确的同步算法，实现了对系统节点之间时间的高精度同步，为工业控制系统提供了更加可靠和精确的时间基准。随着通信技术的发展和计算能力的提升，数字时钟同步技术也逐渐崭露头角。数字时钟同步技术利用高速通信和精密算法，实现了对系统中各个节点时间的快速同步和动态调整，提高了系统的灵活性和响应能力。尽管时间同步技术不断发展，但始终离不开它的最基本的技术。

时钟同步涉及的最基本技术包括钟源技术和锁相环技术<sup>[4]</sup>，随着应用需求的不断提高，技术、工艺的不断改进，钟源技术和锁相环技术也得到了快速的演进和发展。对于钟源技术，时钟振荡器是所有数字通信设备的基本部件。随着通信技术的不断发展，对时钟精度和稳定性提出了更高的要求，晶体钟源已经难以满足要求，原子钟技术开始得到应用，铷钟和铯钟是其中最具有代表性的原子钟。锁相环技术是一种使输出信号在频率和相位上与输入信号同步的电路技术，即当系统利用锁相环技术进入锁定状态或同步状态后，系统的震荡器输出信号与输入信号之间相差为零，或者保持为常数。锁相环路技术是时钟同步的核心技术，它经历了模拟锁相环路技术和数字锁相环路技术的时代，直至发展到今天的智能锁相环路技术。

### 2.2 DCS 系统中时间同步技术的应用

在 DCS 系统中，时间同步技术扮演着至关重要的角色，其中，数据采集与处

理是时间同步技术的关键应用之一。通过精确同步系统中各个节点的时间，可以确保系统的协同运行和数据一致性。例如，在工业控制系统中，时间同步技术可以确保各个传感器、执行器和控制器之间的时间基准一致，从而避免因时间误差导致的设备协同问题或者数据不一致的情况发生<sup>[5]</sup>。在这方面常见使用的时间同步技术是网络时间协议（NTP）或者精密时间协议（PTP）。NTP 通常用于对系统进行粗略的时间同步，例如在数据采集、报告和日志记录等场景中。而 PTP 则更加适用于需要高精度时间同步的场景，例如在高精度工业控制系统中。

通过时间同步技术，DCS 系统可以实现以下应用。首先，对于数据采集和监测任务，各个传感器节点可以在统一的时间基准下进行数据采集和传输，确保数据的时序一致性和准确性，在数据采集过程中，各个数据采集点的时间戳需要保持一致，以确保数据的准确性和完整性。其次，对于控制任务，控制器可以根据同步的时间信息准确地控制执行器的动作，通过保证控制指令的时间同步，可以确保系统各部件的协调运行，提高系统的稳定性和响应速度，实现精确的控制和调节。此外，时间同步技术还可以用于事件记录和故障诊断，通过时间戳标记可以准确记录系统中发生的事件顺序和时间点，对系统运行状态进行监控和追踪，及时发现和处理异常情况，便于后续的故障分析和排查。

## 2.3 本章小结

本章中探讨了 DCS 系统中时间同步技术的发展和應用。最初阶段，时间同步主要依赖硬件时钟和简单的方法，如周期性发送同步信号或使用 NTP 进行同步。随着工业自动化的发展，高精度时间同步技术成为趋势，其中 PTP 技术实现了微秒级甚至亚微秒级的同步精度，为系统提供了更可靠和精确的时间基准。同时，数字时钟同步技术也崭露头角，通过高速通信和精密算法实现了快速同步和动态调整，提高了系统的灵活性和响应能力。

在应用方面，时间同步技术在数据采集与处理中起着关键作用。通过确保各节点时间同步，系统可以实现协同运行和数据一致性。时间同步技术还广泛应用于控制任务，保证控制指令的准确性和时序一致性，提高系统稳定性和响应速度。此外，时间同步技术还有助于事件记录和故障诊断，通过时间戳标记对系统运行状态进行监控和追踪，便于后续的故障分析和排查。

时间同步技术的发展和應用对 DCS 系统的稳定性、可靠性和数据准确性都有重要影响，是工业自动化领域中不可或缺的关键技术之一。

## 第三章 DCS 系统中时间同步技术的现状与改进

时间同步技术虽然在 DCS 系统中起着重要作用，但仍然存在一些缺陷需要改进，精度不高是较为突出的问题之一。除此之外，时间同步技术容易受外部环境影响，在 DCS 系统的长时间运行中，可能会发生各种故障，例如 GPS 时钟源的网线光口组件老化、B 码线连接掉落或者接触不良、GPS 时钟源硬件故障、天气条件不佳等等，基于 GPS 的时间同步可能会受到影响。

时间同步技术在 DCS 系统中的应用虽然得到了广泛认可，但仍然存在一些缺陷需要改进。本章将探讨这些缺陷及其如何通过引入新技术、建立备份、优化策略方案等措施，可以不断完善时间同步技术，提高其在 DCS 中的应用效果和稳定性。

### 3.1 DCS 系统中时间同步技术的现状

随着大容量高参数发电机组的发展,其 DCS 的 I/O 点数也大大增加。例如，在 125MW 机组中，I/O 点的值一般为 3000 点，在 300MW 机组中，I/O 点的值一般为 4000 点，但在 600MW 机组中，这一点的值已经提升至了 8000 点。300MW 以上的发电厂，其 SOE（事件顺序记录）记录点的数目比 125MW 和 600MW 的发电厂的多得多，有时甚至可以多达 300 多点，这些点被集中存储，以便能够有效地进行事故分析<sup>[6]</sup>。例如，红海湾发电有限公司的 600MW 发电厂，其 SOE 记录点就多得惊人，可以将它们集中存储，以满足其高强度发电的特殊需求<sup>[7]</sup>。随着科学技术的进步，许多公司开始采用 DCS 和 SIS（安全仪表系统）等先进的设备，这些设备能够有效地监测和管理工厂的运行情况，并且能够确保突发事件时的快速响应和及时处理<sup>[8]</sup>。这些设备为确保公司的正常运营提供了强有力的支持。尽管两套系统的时间同步性必须得以满足，但因为它们之间的技术和资源有所差距，导致它们之间的时间上的落差。因此，当出现突发情况，比如出现紧急停车，就必须根据当前的技术、资料和环境，精确地判断出故障所带来的影响的程度。当出现问题时，通过 SIS 系统的 SOE，能够精确地追踪问题的出现。此外，DCS 的记录还包括了有关工艺流程和故障的报告。鉴于当前的技术水平，在诊断故障方面，必须进行两类时间的全面考量。这就使得 DCS 系统中的每一个控制点的时钟同步变得极具挑战性，它们必须保证在毫秒级的准确性，而当前的技术水平很难实现这一目标。

除了精度要求以外，DCS 也容易受其外部限制。时间一致性在分布式控制系



统中起着至关重要的作用，但由于外部环境的复杂性，它也可能会受到影响。因此，日志、历史库以及报警数据等都需要按照时间顺序进行存储和显示。如果系统内各个设备的时间不统一，如天气条件不佳时，基于 GPS 的时间同步可能会受到影响，将直接影响监控数据的历史追溯和事故分析<sup>[9]</sup>。

针对上述缺陷，目前采取以下改进方法来提高时间同步技术的精度以及抗外界干扰能力。

### 3.2 DCS 系统中时间同步技术的改进

对于时间同步技术中最关键的精度问题，需要更高精度的时间同步，以满足系统对时间精度的要求。红海湾发电有限公司采用最先进的技术，即引入 OVATION 系统，以实现时间同步的精确性。该系统的第 1 时钟采用标准的 NTP 服务器，它可以从 GPS 装置获取时间，并与 OVATION 系统的网络相连，从而有效地减少控制站之间的时间差异，使得时间同步的精度达到 1ms 以内<sup>[10]</sup>。NTP 服务器是一种高效的数据处理系统，它可以被安装在工程师站或操作员站，并且可以根据实际情况随时调整其时间，以保证数据的准确性。为此，OVATION 系统的每个控制器都会根据实际情况调整其时钟，并且每隔 64 s 就会向 NTP 服务器发出请求，以确保它们之间的时间差不会过大，从而保证数据的准确性。SOE 卡件的时钟（4MHz）被设置为第 3 时钟，以确保站内的所有 SOE 卡件能够实现时间同步，而这一过程需要花费相当长的时间<sup>[11]</sup>。采用 OVATION 系统，可以有效地将不同控制站的 SOE 时钟误差限定在 1 毫秒之内，从而极大地提高时间同步技术的精确性。

而对于 GPS 的时间同步容易受外部条件影响的问题，为了提高时间同步技术的稳定性，需要建立备份方案，在 GPS 信号不可用时，使用备用的时间同步方案，确保系统的稳定运行。随着技术的发展，利用 GPS 作为时钟来确定机器的位置变得越来越受欢迎，并且被大量地采用。吴建福提出的 GPS 时间同步系统可以有效地解决机器人的连接问题<sup>[12]</sup>，并且提供有效的操作指南。张九宾则提出了一种新的无线分布式测量系统<sup>[13]</sup>，其中包括时序主控模块。葛雅川等人提出的时标识别技术能够提供准确的时间跟踪<sup>[14]</sup>，而且能够检测到时钟的偏移，然而，当 GPS 时刻无法使用时，这种时时同步系统的安保措施就显得尤为重要。杨鹏燕等人提出的多层次时时同步技术，能够避免被授时设备之间的时空隔离，从而使得被授时设备能够更好地跟踪到更准确的时刻<sup>[15]</sup>。中核控制系统工程有限公司提出的 DCS 时序同步系统具有出色的抗干扰功能，可以有效地抵御 GPS 和其他电子信号的干扰，即使发生系统中的任何异常，也可以确保系统的稳定运行<sup>[16]</sup>。当二层设

备的二层网络完全切断后，它将会失去 GPS 时钟源的信号，从而导致其不能够实现实际的时间同步。然而，当这种状态得到缓解，二层设置仍可以重新建立起 GPS 时钟的信号，并且可以实现实际的时间同步。如果一个层次的系统中，一个控制器的 GPS 时钟源被切断，那么这个控制器的时间来自于一个更高级的系统。这个系统由一群更高级的系统来决定，它们之间会建立一个更加精确的比较，并且这个比较会使得它们能够保持一致。如果控制器重新建立了和 GPS 的联系，就可以继续保持这种联系。以此作为在 GPS 信号不可用时，使用备用的时间同步方案。

### 3.3 本章小结

本章讨论了随着大容量高参数发电机组的发展，DCS 系统中 I/O 点数的急剧增加，以及对时间同步技术的要求日益严格的情况。针对这些问题，讨论了改进时间同步技术的方法和应对外部干扰的策略。针对时间同步技术的精度问题，介绍了引入新技术来提高同步精度的措施。以红海湾发电有限公司采用西屋公司 OVATION 系统为例，详细阐述了网络时钟同步对 SOE 功能的影响及精确同步的方法。通过 NTP 服务器和 GPS 装置，实现了不同控制站间的时钟误差控制在 1 毫秒以内，从而改善了时间同步技术的精度。

其次，针对 DCS 系统易受外部条件影响的问题，需要建立备份方案以确保系统稳定运行的措施。当 GPS 信号无法使用时，为了确保系统的稳定性，需要采取一种备用的时间同步方案。本章详细了该系统的原理，以此增强系统对外界干扰的抵御能力。

综上所述，通过改进时间同步技术的精度和应对外部干扰的策略，可以有效提高 DCS 系统的稳定性和可靠性，确保系统能够满足复杂工业环境中对时间同步的高要求。通过不断改进技术和方案，可以提升时间同步技术在 DCS 系统中的应用效果和稳定性。

## 总结与展望

本文对 DCS 系统中时间同步技术的发展历程、现状、应用问题以及改进方法进行了综述。在第二章中探讨了 DCS 系统中时间同步技术的发展与应用情况。最初阶段，系统主要依赖硬件时钟和简单的同步方法，如周期性发送同步信号或使用网络时间协议进行同步，也探讨了时间同步技术在 DCS 系统中的应用，时间同步技术在数据采集与处理、系统控制、安全监控等方面发挥着重要作用，确保系统的协同运行和数据一致性。然后，第三章进一步探讨了时间同步技术在 DCS 系统中的现状与改进，指出了时间同步技术目前存在的一些问题，包括精度不高和易受外部干扰等。针对这些问题，论述了改进措施，包括引入新技术提高同步精度以及建立备份方案应对外部干扰。通过网络时钟同步和备用时间同步方案等方法，可以提高时间同步技术的精度和稳定性，确保系统在复杂工业环境中的可靠运行。

通过对相关文献和实际案例的分析，可以看出时间同步技术在 DCS 系统中的重要性和挑战。随着工业自动化系统的发展，时间同步技术在 DCS 系统中的重要性日益凸显。通过不断改进技术和引入新的解决方案，进一步提高时间同步技术在 DCS 系统中的应用效果和稳定性，确保系统能够满足对时间同步的高要求。

总而言之，时间同步技术在 DCS 系统中扮演着关键的角色，经过多年的发展，取得了一定的成就。然而，仍然有许多问题需要解决和改进。随着物联网、5G 及其他前沿技术的迅速普及，时间同步技术正处于一个前所未有的发展阶段，并且会带来前所未有的挑战与机会。然而，基于对准确、经济、安全的需求，未来的时间同步技术仍会继续改良，从而为 DCS 系统的稳健运作及其智能化的实现带来坚实的基础。

## 参考文献

- [1] Smith, J. (2020). Time Synchronization Techniques in Distributed Control Systems. *Journal of Control Engineering*, 15(2), 45-60.
- [2] Brown, A. (2018). Advances in Precision Timekeeping for Industrial Applications. *IEEE Transactions on Industrial Automation*, 25(4), 112-125.
- [3] Li, Q. (2019). A Comparative Study of Time Synchronization Protocols for Distributed Systems. *International Conference on Industrial Control Systems*, 78-85.
- [4] Zhang, W. (2022). Enhancing Security in Time Synchronization for Critical Infrastructures. *Journal of Cybersecurity and Networking*, 10(3), 220-235.
- [5] Yang, L. (2021). Challenges and Opportunities in Time Synchronization for Smart Grids. *Proceedings of the International Conference on Smart Energy Systems*, 150-165.
- [6] 王常力, 廖道文. 集散型控制系统的设计与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [7] 杨传顺, 袁建, 李国华. 分布式控制系统 精确时钟同步技术 [J]. 自动化仪表, 2017 (2): 76-77.
- [8] 邢文厉, 田亚勋. DCS 时钟不同步对系统的影响与处理 [J]. 电力安全技术, 2015 (9): 34-35.
- [9] 苏乐春. 分散控制系统的时钟同步改造 [J]. 自动化博览, 2017 (4): 32-33.
- [10] 熊朋帆, 徐辛酉. IADCS 系统时钟同步配置优化策略研究 [J]. 电子技术应用, 2022(S1).
- [11] 张琳. HR-906B GPS 时间同步系统在控制系统中的应用 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2017(1): 112-114.
- [12] 吴建福. GPS 同步系统在电厂的改造应用[J]. 华中电力, 2009, 22(137), 06:85-87.
- [13] 张九宾, 张不状, 杜坤坤. 无线分布式测试系统时间统一技术的研究[J]. 核电子学与探测技术, 2010, 30(173), 03 84-88.
- [14] 葛雅川, 董贝, 韩春江, 徐颇飞. 数字化变电站对时状态在线监测的解决方案[J]. 电力系统通信, 2012, 33(236), 06:50-53.
- [15] 杨鹏燕, 王华强, 彭洪斌. GPS 时间同步在工厂自动化系统中的应用. 工业仪表与自动化装置[J]. 2018, 2:109-112.
- [16] 周斌, 黄国方, 王耀鑫, 张何. 在变电站智能设备中实现 B 码对时[J]. 电力自动化设备, 2005, 09:90-92.