

浅谈海外数据中心项目的测试和调试框架

沈德龙 朱子健 张秀宏

上海中建海外发展有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i9.8384

[摘要] 随着世界范围内数字经济的蓬勃发展，数据中心作为数字经济的核心基础设施，其调试管理正由传统的单一试运行模式向全过程、多阶段、标准化演进。本文以马来西亚 Infinaxis 赛城数据中心项目为依托，系统梳理并实践了 Level 1-5 调试体系的阶段划分与实施策略。概述了项目建设背景，从调试策划、设备验收、系统启动、功能验证、集成联调直至最终移交，全面解析了测试各阶段的工作内容、执行要点与组织要求。为类似大型数据中心项目介绍了调试体系构基本框架，提供了可以借鉴的参考。

[关键词] 数据中心；调试体系；系统集成测试；调试管理；交付可运维性

[中图分类号] TU855

[文献标识码] A

A Brief Discussion on the Testing and Debugging Framework for Overseas Data Center Projects

Shen Delong Zhu Zijian Zhang Xiuhong

Shanghai Zhongjian Overseas Development Co., Ltd.

[Abstract] With the booming development of the digital economy worldwide, data centers, as the core infrastructure of the digital economy, are evolving from traditional single trial operation mode to full process, multi-stage, and standardized debugging and management. This article is based on the Infinaxis Saicheng Data Center project in Malaysia, and systematically reviews and practices the stage division and implementation strategy of the Level 1-5 debugging system. An overview of the project construction background was provided, which comprehensively analyzed the work content, execution points, and organizational requirements of each testing stage from debugging planning, equipment acceptance, system startup, functional verification, integration and joint debugging to final handover. Introduced the basic framework of debugging architecture for similar large-scale data center projects, providing a reference for reference.

[Key words] data center; Debugging system; System integration testing; Debugging management; Delivery operability

引言

随着数字经济的蓬勃发展，数据中心作为数字经济的重要基础设施，呈现出高密度部署、高能效运行和高稳定性等特征。同时，数据中心建设过程中涉及多个技术，是一项较为复杂的工程，在建设周期内实现系统验证、设备集成和性能交付，是项目成败的关键^[1]。传统“先施工后调试”的模式已难以满足对运行可靠性、能效与智能化的需求。

数据中心设备在生产制造完成之后，能够正常投入运行需要先进行安装并调试，经过调试确认无误之后，方可投入运行^[2]。其中，验证测试工作是数据机房安全可靠、不间断运行的强有力保障措施^[3]，调试作为连接设计、施工与运维的重要环节，其标准化、节点化与可追溯性正成为行业关注重点。基于阶段管控的 Level 1-5 调试体系，通过关注设计、出厂、安装、启动、功能验证、集成测试与移交等阶段，涵盖了数据中心相

关的柴发、UPS、变压器、配电柜、精密空调、风墙、冷水机组、BMS 系统、消防、供油系统等系列内容和设备，构建闭环控制测试流程。融合 Level 1-5 与 ASHRAE 体系，建立系统化、可交付、可运维的调试流程，已成为保障项目高质量交付的核心路径。

1. 工程概况

Infinaxis 数据中心项目位于马来西亚雪兰莪州赛城，建筑面积约为 17,700 平方米，建筑高度为 43.5 米，结构类型为钢筋混凝土，基础形式为桩基加独立承台。首层层高为 9.5 米，标准层层高为 6.4 米。数据中心满足 Uptime Tier III 标准，并按照 TCDD 在线可维护性要求执行。项目绿色建筑等级为 GreenRE 金奖标准。

数据中心规划总 IT 容量为 15MW，设有 10 个存储单元，每个单元容量为 1.5MW。首期交付一层和二层，总容量为 6MW。供电系统采用 2N 市电架构，配置 36 小时油储发电机，支持 15 秒内自动启动。网络连接由不少于两个供应商提供。制冷系统采用水冷方案，配置 N+1 冗余，具备 24 小时运行能力。UPS 系统配置 10 分钟电池备份，采用 DR 分布式 4 拖 3 架构。

2. Level 1-5 调试体系的结构化分级逻辑

数据中心建造方兴未艾，其对高可用性、能效与系统集成的要求持续提升。传统“临交付前突击调试”的方式已难以满足对系统稳定性、灾备能力和智能控制的高标准。Level 1-5 调试体系应运而生，在这套体系下，各设备必须完成前一道测试无误后，才可以进行下一次测试程序。作为一套基于阶段性验证和闭环控制理念构建的调试模型，通过标准化流程和节点性门槛，有效推动设计、施工与运维的深度融合，提升项目的交付质量与运行保障能力。

L1-L5 分别代表不同阶段的测试，分别用不同颜色的标签标记：L1-红色标签，为设备出厂测试阶段；L2-黄色标签，为现场静态验收阶段；L3-绿色标签，为系统启动与动态测试阶段；L4-蓝色标签，为功能验证阶段；L5-白色标签，为集成联动测试阶段。另外，在每一阶段测试完成后应在完成测试的设备上粘贴标志着各阶段测试完成的标签，其内容应包括设备编号、项目名称、测试通过日期以及承包商、设计方、测试机构的签名。



图1 调试各阶段标签示意图

2.1 调试策划与设计统筹阶段

标志调试流程的启动，以调试计划的编制、技术路径的设计与多方协同机制的建立为核心任务。由总包单位牵头，联合

业主调试顾问开展设计审查、系统耦合分析、接口协调、施工图深化等工作，识别系统间的潜在冲突。其中，在测试前，对需要测试的设备名单进行整理建立台账，以防止遗漏部分设备。调试团队需同步完成任务分工、文件模板编制及调试系统清单整理。尽管本阶段不涉及实物测试，但其成果将直接决定后续调试活动的组织效率与技术落地可行性，尤其是应当在规划阶段要对调试的内容、周期、人员安排以及相关的难点进行充分考虑，以避免后期出现类似投入使用周期（RFS, Ready For Service）滞后的相关问题。

2.2 Level 1: 设备出厂测试

Level 1 阶段将调试工作前移至设备制造环节，通过 FAT（出厂测试）对 UPS、发电机、冷水机组、电池柜等关键设备进行功能验证，检验其是否满足设计技术参数、控制逻辑及远程通讯能力。该阶段由总承包单位组织实施 FAT/FWT 测试，内容涵盖外观检查、铭牌核对、绝缘性能测定、功能模拟及保护设定初验，调试顾问可选取首台设备进行见证。测试完成后需生成报告，粘贴具备唯一识别编码的可追溯标签，并同步在租户平台完成状态标识。

2.3 Level 2: 现场静态验收

在进入此阶段后的每一阶段测试均需要由总包汇总各分包出具的操作文件（D00, Document of Operation）以及测试脚本（Test Script）作为前置文件，由业主和顾问进行审查，准许后方可进行相应的测试。

Level 2 则转入现场静态验收，确保设备在运输及安装过程中未出现结构性或功能性损伤，所有电缆连接、端子接头、接地措施及管路安装均符合设计要求，并完成接口点位确认，为后续启动调试提供物理保障。现场 QA/QC 检验包括紧固扭矩、接地连续性、绝缘电阻等标准项目，所有测试应按统一脚本执行并形成记录，由调试顾问重点对首件或关键设备实施审核见证。两个阶段共同构成系统调试前的硬件验收基础，确保设备具备良好的接入条件与调试前提。

2.4 Level 3: 系统启动与动态测试

Level 3 是调试流程中的关键转折点，标志各子系统正式进入动态运行状态。主要任务包括冷水机组通电、精密空调启机、配电系统切换测试等，同时进行控制逻辑、报警联动、远程通信等功能验证。系统运行需保持稳定一段时间，以验证整体响应能力与协调逻辑，并同步处理 Level 2 遗留问题，形成绿色标签作为阶段完成标志。此阶段要求测试数据完整、问题记录闭环，为功能验证奠定数据基础。

Level 3 为设备启动前测试，确认供电供水准备就绪，执行短时试运行以验证转向、相序、冷却润滑等安全条件，形成可运行状态后方可进入下一阶段。

2.5 Level 4-5: 功能验证与集成联动测试

Level 4 阶段着重于系统功能测试，通过模拟各种正常与

异常工况下的响应状态,验证供配电、空调、消防、BMS等系统的自动切换能力与联动逻辑。此阶段由调试顾问主导脚本编制,组织全专业参与,测试目标为逐点验证设备与BMS/EPMS系统的互锁逻辑、控制信号、报警响应及故障切换流程。测试应涵盖UPS模式切换、冷站转换、消防触发、通信中断等工况,通过趋势记录、波形捕捉与参数追踪确认功能实现,并形成图文并茂的测试记录。总承包需依据脚本配置人员、仪器与临时资源,确保测试执行效率与数据完整性。

Level 5为调试的技术高点,将各子系统集成为统一平台,开展系统级应急演练与高强度异常测试,如断电切换、发电自启、冷却系统故障联动等。测试不再聚焦单设备运行,而是全面验证系统架构容错性与控制策略稳定性。IST阶段为全系统联合测试,由调试顾问总体策划并统一组织实施。测试除正常运行验证外,还需模拟不少于12种典型异常,如市电失电、UPS模块故障、冷站设备失效、火灾报警等,确认系统响应与恢复策略。测试资源包括6MW电加热器、PQA仪器、数据记录仪、消防/运维值守人员、安全围挡等,需保障全场介质稳定供应、各岗位联动执行。测试要求精细、操作协同性强,对调试经理的统筹能力、各单位配合及脚本科学性均提出高要求。

2.6 移交验收与资料归档

作为调试流程的最终阶段,重点在于构建完整的文档体系和高效的运维衔接机制。需完成全部测试记录、参数设定及问题闭环报告的整理归档,并同步组织业主运维团队开展培训,编制系统操作手册以支撑后期运维。针对重点系统,还应执行冷启动测试及PUE能效验证,确保实际运行性能与设计目标一致。通过最终验收会议及正式签署,实现调试流程闭环,为数据中心长期稳定运行奠定基础。

各阶段调试资料(脚本、记录、图表、截屏、报告)须按统一格式归档,并依据系统、楼层及设备进行分类命名。所有原始数据由总承包方下载并提交调试顾问审核,形成正式报告后上传至DCIM或租户指定系统。

建议各参与单位依托本框架建立WBS任务表,细化每台设备在各阶段的测试项目、执行人员、计划时间、所需工具及记录模板。测试前应完成测量仪器布点、安全资源配置及人员调度,避免因资源调配滞后影响整体测试进度。

2.7 专项设备测试与专业配套要求

电力系统需覆盖发电机、配电柜、母线、电缆、电能质量系统等专项测试,重点为负载响应、功率因数、波形与谐波指标等,UPS需关注模式切换下的性能表现。

暖通系统需验证风机、水泵、冷站群控、温湿度趋势曲线;消防系统则验证VESDA、预作用管网、水泄漏报警、广播系统等联动;照明系统需确保续航能力,应急系统要做实战检验。

所有测试必须满足设计参数,具备实用性与故障容错能力,并与DCIM/BMS系统顺利对接。

3.与国内测试体系的对比

国内传统的机电调试流程通常在设备安装完成后,进行单机试运与系统试运行,主要由施工单位组织,业主与顾问单位配合完成验收。测试内容集中在设备能否启动、系统能否联动,形式较为单一,缺乏阶段划分与系统集成验证,调试记录多为验收文件所需,较少服务于后期运维。

相比之下,L1-L5调试体系来源于ASHRAE Guideline 0及Uptime标准,广泛应用于海外数据中心项目,强调全过程、分阶段、可追溯的调试机制。L1阶段聚焦设备本体检查,L2进行功能联动测试,L3验证系统性能参数,L4整合多个系统进行模拟演练,L5则完成移交前的运维准备,包括人员培训与平台对接。各阶段既独立执行,又层层递进,确保问题在早期暴露、系统在交付前完成验证闭环。

L1-L5体系相较传统模式更具系统性与精度,测试过程文档化程度高,集成测试覆盖更全,特别适用于对可靠性、稳定性要求极高的项目。对于需通过Uptime、GreenRE等认证的高等级数据中心而言,该体系不仅保障交付质量,更显著提升了项目的运维适配性与长期运行效率。

4.结论

随着数字基础设施建设的不断深化,数据中心项目对系统调试管理提出了更高的专业化与标准化要求。传统国内调试模式在项目周期压缩和性能目标提升的背景下,已难以充分满足高可靠性、高集成度和高能效目标的工程需求。本文以马来西亚Infinaxis赛城数据中心项目为例,系统梳理了Level 1-5调试体系的分阶段逻辑与实施路径,结合现场实践,明确了调试策划、设备验收、系统启动、功能验证、集成联调及最终移交等关键环节的操作要点与组织机制。

L1-L5体系通过“标准化流程+节点化控制”的机制,不仅强化了项目的过程质量控制,还为后期的高效运维提供了技术支撑和数据基础。其相较国内传统模式更具阶段清晰、责任明晰、数据完整、测试全面等优势,尤其适用于国际化数据中心项目在绿色节能、认证达标和长期运行方面的多重要求。

结合L1-L5体系中可落地的关键环节,以本项目的应为载体,开展标准适配研究,以推动调试管理体系的本土化升级,为高质量交付与稳定运行提供更加坚实的保障。

[参考文献]

- [1]欧阳斌.企业数据中心机房施工及调试技术[J].数码精品世界,2023(2):400-402.
- [2]朱博.数据中心建设中的设备集成及调试分析[J].农家参谋,2020, No.651(07):144-144.
- [3]尚升,高惠润,张仟,等.数据中心工程的验证测试和典型高风险问题应对[J].安装,2021.