水力发电厂全厂3D视景及运行仿真培训系统

建设内容、功能及需求

一、项目建设内容

水力发电厂全厂3D视景及运行仿真培训系统应配置典型机组水力发电仿真机软件若干套及硬件一套，至少仿真三个水力发电站，实现一机多模，并应均为国内典型水力发电机组。

仿真范围是：三台机组包括从大坝蓄水开始的电能生产过程到网控站的电能传输，电站内其余机组作为外部参数的形式进行仿真；两台机组能同时运行，并实现对集控系统仿真。详细的机组仿真包括水轮机、发电机、主变、厂用电系统以及相应的油、气、水等辅助系统，同时包括机组的调速、控制和保护装置。

（一）首部枢纽及引水系统仿真

1.仿真范围

设备包括：拦河闸、取水设施、闸门、引水隧洞、调压井、压力钢管。

2.仿真程度

按水力学理论对引水系统进行仿真，准确描述引水系统的水压、流量和时间的关系。能反映汛期水位变化情况及其对系统运行的影响。

按照现场系统图建立其数学模型，能正确系统内阀门的开启、关闭的过程，包括油泵启动等过程，阀门可以手动和自动操作，能反映阀门系统的各种事故故障。

（二）水轮机系统仿真

1.水轮机

以电站的一台机组为主要对象进行仿真，其余机组进行适当简化，作为该机组的外部参数。

（1）仿真范围

设备包括：水轮机、导叶、尾水管、尾水闸门、导轴承与推力轴承、制动系统、发电机冷却系统等。

水轮机基本参数，包括：水头、流量、出力、效率、转速、转轮动力矩等。

运行监视参数，包括：压力、振动、摆度、水位、流量、以及各导轴承油位、油温、瓦温等。

（2）仿真程度

在仿真时，按水轮机的运转特性建立水轮机的数学模型，遵循水头、流量、力矩、转速及导叶开度之间的关系，除此之外，还要计入动态力矩、转动惯量，使水轮机的各运行参数变化关系和原型基本一致。

无论手动或自动开、停机，其开机升速、停机减速、增/减负荷、发电/调相、紧急停机速度变化和实际情况基本一致。

2.调速系统

调速器能完成控制水轮机转速和调整负荷基本功能。可通过反馈转速误差信号来控制导叶位置，与运行有关的仪表、信号、开关、按钮等都予以仿真，动态特性和原型基本一致。调速系统能完成机组起停控制、频率调整、负荷调整、甩负荷后的转速控制等功能。

（1）仿真范围

调速器,包括调速器各主要特性，系统频率、水头、机组转速、负荷的调整，一次调频，油压装置等。油压装置系统，包括油压、油位的自动和手动控制，油压油位的各限值。

（2）仿真程度

* 能正确反映调速器的调节特性。
* 能正确反映油压、油位的调节过程。
* 调速器控制面板和触摸屏上的菜单，可以在就地站进行仿真。
* 能够实现手动和自动开停机过程。
* 既可按照导叶反馈对机组频率进行调节也可以按照功率反馈进行调节。
* 能自动完成有功调节，能手动或自动完成停机过程。
* 能自动完成部分甩负荷、甩全负荷处理，并实现紧急停机。
* 能对调速器的动态特性进行仿真，实现不同的PID参数对应不同的动态调节特性。
* 调速系统动态特性应与原型一致，对调速器运行过程的绝大多数环节和状态都可以进行仿真。

（三）辅助设备系统仿真

辅助系统仿真包括油（压力油系统、透平油系统）、水（冷却水系统、润滑水系统）、气（高压气系统、低压气系统）等。水轮发电机组不同运行方式下，辅助系统的运行参数也不相同。辅助系统在水轮发电机组各种工况下的工作状态可以通过模型确定，其压力、流量、液位、温度、阀门的开闭状态等都计入数学模型，它们的数值变化、越限与否通过模型可以作用于机组控制及全厂运行，使整个辅助系统和原型一样呈闭环运行。

1.油系统

（1）仿真范围

油系统应包括透平油系统和压力油系统。

包括上述各油系统的工作过程、运维操作和监视参数，对厂内油库、供油管道，不进行仿真，即总认为其是可用的，除非人为设置故障。

（2）仿真程度

能模拟现场的各种操作和响应。凡现场能在中控室操作的设备，仿真机上也能在操作员站操作；凡现场在机组启停、停复役及故障处理时需进行现地操作的设备，仿真机中也能在就地站进行操作。

油系统各处油压、油位可正确指示，各阀门应可操作，其操作对相应油压、油位产生影响；各油泵控制盘、动力盘上各种开关、表计、指示灯、按钮等均与实际设备一致。

2.水系统

（1）仿真范围

水系统应包括技术供水系统、排水系统、消防水系统。

技术供水系统：仿真技术供水系统、消防供水系统、闸门、阀、高位水池、各水泵。

排水系统：仿真渗漏排水系统、检修排水系统、集水井

消防水系统：仿真消防供水系统、消防泵、阀门、喷淋系统等。

（2）仿真程度

属仿真范围内的所有设备，都能进行操作和控制，且其响应与现场一致。现场具有的监视仪表，被监视的参数都能正确反映。

水系统各处压力、流量等能正确指示，各阀门均可操作，其操作能对相应压力、流量产生影响；各水泵控制盘、动力盘上各种开关、表计、指示灯、按钮等均与实际设备一致；按照实际设备原理建立各水泵的控制回路；闸门系统有与实际相符的控制方式。

3.气系统

（1）仿真范围：

气系统分为高压气系统和低压气系统。

高压气系统仿真范围：仿真高压空压机控制系统、机组压油罐补气系统、公用压油罐补气系统、储气罐、管路、各种阀门、仪表、电源开关状态、熔断器。

低压气系统仿真范围：仿真低压气机控制系统、机组风闸制动系统、空气围带系统、储气罐、管路、各种阀门、仪表、电源开关状态、熔断器。

（2）仿真程度

气系统各处压力能正确指示，各阀门应能操作，其操作应对相应压力产生影响；高、低压空压机控制盘、动力盘上各种开关、表计、指示灯、按钮等均与实际设备一致；按照实际设备原理建立空压机控制回路。

（四）开关站仿真

开关站仿真（典型开关站主接线复杂程度不低于双母线接线形式）。

1.仿真范围

仿真开关站的各种设备。包括母线、断路器、隔离开关（包括接地刀闸）、电流互感器、电压互感器、避雷器、出线等。

2.仿真程度

正确仿真开关站的各种一次设备系统，反映输电线路及开关站系统在各种运行方式下以及事故情况下对发电机组的影响。应正确反映断路器的动作特性，正确反应各回路在正常和事故情况下的潮流分布。

能正确反映稳态和故障时/故障后各线路的功率流向、各电源的出力和各负荷的变化情况。

能正确反映母线、断路器、隔离开关的连接关系，并形成电网拓扑。能正确反映正常和事故情况下，上述各电气设备的状态，也能正确反映由于运维人员误操作所引起的相应响应。除断路器的机械故障是设定的，电气模型在机理上与原型一致。所仿真的正常、异常和事故现象与原型一致。

（五）电气系统仿真

1.发电机系统

以一台发电机为主要对象进行仿真，其余机组进行适当简化，作为该机组的外部参数。

（1）仿真范围

主要包括发电机及其冷却系统等辅助系统，以及接地开关、各断路器、隔离开关、互感器、避雷器等。

（2）仿真程度

准确地仿真发电机电压、电流、有功功率、无功功率、励磁电流、转速转子角度间的动态关系。无论在发电机空载、并列、解列、增减转速、发电调相、增减有功、无功负载时的特性，都应与原型一致。

能准确地模拟发电机的全物理过程，在各种运行工况和不同负荷下，能够准确实时地模拟发电机动、静态行为，现象与现场一致，真实地反映其运行特性、规律。在正常工况以及异常和事故情况下，各表计的变化应与实际运行情况一致，各有关参数的变化符合物理定律。

能准确反映发电机的空载特性、短路特性、调节特性和各种负载下不同功率因数时的负载特性。

能正确反映机组启动、停机、负荷变化、甩负荷、超速、发电机和变压器各种异常和故障等现象，当故障加入后，有关参数反映正确，保护动作和报警情况与现场一致。

能准确模拟发电机的冷却系统，当负荷变化或冷却系统故障时，能够正确地反映各参数的变化。

2.励磁系统

（1）仿真范围

包括励磁变压器及其断路器、互感器、整流装置、微机励磁调节器、启励装置、灭磁开关等。

（2）仿真程度

励磁系统应包括输出励磁功率单元和励磁调节器两个部分。

对励磁变压器、整流装置、微机励磁调节器、启励装置等的特性进行精确仿真。

准确地模拟自动励磁装置的就地控制/远方控制方式及其自动调节过程，其逻辑关系、操作方式等与实际一致。

准确地模拟励磁系统的各种运行方式及其切换过程，包括恒机端电压、恒励磁电流、恒无功、恒功率因数等方式，并正确反映微机励磁调节器通道的切换逻辑和过程。

正确地仿真励磁系统的各种保护和限制功能，例如最大励磁电流限制、过励限制、欠励限制、定子电流限制、V/Hz限制、TV断线保护等，各种限制和保护的动作过程、动作结果、产生的现象、逻辑关系等与实际一致。

正确地对励磁系统的故障进行仿真，故障加入后，仪表、保护、报警以及对其它系统的影响等反映正确，与实际一致。

3.主变压器

（1）仿真范围

主要包括主变压器及其冷却系统、消防系统等辅助系统，带负载调压装置，以及换相隔离开关、接地开关、各断路器、隔离开关、互感器、避雷器等。

（2）仿真程度

V温升的影响。

4.继电保护、自动装置

（1）仿真范围

该系统包括继电保护、同期系统、现地监控单元（LCU）、备用电源自动投入装置等。

发电机、变压器、线路、开关、母线、厂用电交流系统中的继电保护和自动装置，保护和自动装置的种类、型号、数量按实际设备的保护配置。自动装置包括现地监控单元（LCU）、备用电源自动投入、自动重合闸、自动同期、自动启动/停机装置。

（2）仿真程度

能准确地模拟备用电源自投装置，包括其动作条件、逻辑、信号等。

可以保证继电保护和自动装置的外部特性与原型一致。每套继电保护、自动装置的小刀闸、熔丝、压板的状态，都包括在模型中，每套保护都有其整定值。在事故情况下动作情况和效果与原型一致，所产生的光字牌和声音信号与原型一致。

5.量测系统

（1）仿真范围

用于表计和保护的电流、电压量测回路，包括电压互感器的熔断器。

（2）仿真程度

包括正常工况和故障情况。故障内容应包括各项电流互感器断线、电压互感器熔丝熔断等，能反映量测回路出现故障而引发的各种结果。

6.控制系统和同期系统

（1）仿真范围

包括机组、变压器、线路、母线等所有单元的控制回路，包括其中的控制开关、切换开关、按钮和信号灯。

同期系统包括手动和自动同期回路，同期检查装置以及各切换开关。

（2）仿真程度

所有控制逻辑都可以得到真实地仿真，信号灯的亮、闪、灭应和原型一致。

同期装置的操作方式、各种现象应与实际一致。可以准确反映同期操作过程中自动准同期对电压、转速的调节和同期合闸；手动准同期对电压、转速的调节和同期合闸。

7.交流厂用电系统

（1）仿真范围：

包括高压厂用变压器、低压厂用变压器、各小车开关、互感器、厂用母线及附属设备，厂用电开关控制盘、厂用电备自投系统等，其数学模型应正确反映系统的潮流分布，各支路电流、电压动态变化应与实际一致。

（2）仿真程度：

能正确反映正常和异常工况下厂用变压器原、副边的电流、电压关系。厂用变压器的各个电量随整个电厂动态过程变化的情况而变化，符合实际，能正确反映厂用母线失电对断路器、变压器、发电机组的影响。母线切换的条件和现象与现场一致。厂用电系统的备自投能够正确动作。

能准确地模拟高压及各低压厂用变压器的运行方式及切换操作，操作过程、反映的现象、自动切换的条件和逻辑等与实际一致。

能准确模拟厂用电系统的各种联锁、保护及信号，其逻辑、动作特性与现场相符。

能正确反映厂用电系统各断路器的操作，其操作、逻辑、信号与实际一致，包括开关的手动分合、自动分合、分合的条件逻辑关系及信号指示均与现场相符。

能准确地模拟厂用电系统的各种故障，故障加入后保护、开关、仪表、信号、联锁等反映正确无误，与实际一致。厂用电系统正常、异常和事故等情况下，与其它系统相互之间的影响与实际一致。

8.直流系统

（1）仿真范围

包括蓄电池、直流母线、可控硅主充电设备、可控硅浮充电设备、绝缘监察装置、各熔断器、开关等。直流屏上仪表、光字信号、转换开关、切换开关等均应仿真。

（2）仿真程度

能正确模拟直流系统的参数、操作及运行方式，正确模拟直流系统出现的各种异常和故障。直流系统运行状态与其供电的仪表、控制回路、信号回路、直流设备等直流负荷运行状态相一致。在各种正常和异常状态下，直流系统的电流、电压等关系应正确反映，各种表计的变化应与实际运行情况一致。

能模拟真实系统的直流供电网络，为各保护装置、控制回路和自动装置提供直流电源。直流电源消失或异常后，各保护装置和控制回路的反应应与实际情况一致。

（六）中控室监控系统仿真

凡是在仿真对象中央控制室内进行的操作和监视及其所涉及到的仿真对象的设备和系统均含在仿真范围内。仿真现场的监控后台系统，完成综合自动化水电站的监控。

1.仿真范围

系统工况显示：包括系统各节点的电压、电流、有功、无功等的显示；机组辅助系统各处的压力、液位；机组的状态参数如：振动、摆度、工况参数（有功、无功、接力器行程、励磁电压、励磁电流等）、油温、瓦温等；所有模拟量、开关量及二次参数的单点、成组、棒图、报警、趋势、操作指导及机组启停画面、控制回路状态显示等。

记录报告：包括事件记录、操作记录、误操作记录、设备故障记录等。

事故故障报警：包括简报信息窗和机组、线路、母线、公用系统等的报警台光字。

2.仿真程度

仿真现场的监控后台系统，完成综合自动化水电站的监控。仿真系统的简报信息窗、画面索引窗、监视画面以及报表、曲线、棒图等画面，操作界面和操作方法应与实际系统保持一致，以满足综合自动化站的培训和考核需求。系统可连续监视机组的各种运行参数，并为运维人员提供各种文字、声光报警。

* 监控系统的画面应与实际机组一致。
* 可连续监视机组的各种运行参数。
* 为运维人员提供各种文字、声光报警。
* 控制系统应与实际机组相符；调节系统的功能、特性与实际机组相同，调节系统品质不低于实际系统；调节系统逻辑动作准确无误；各调节系统的手／自动切换逻辑及方式与实际系统一致。
* 具有机组工况转换控制功能：对机组发电、空载、停机等工况进行自动转换，包括这些转换所需的开关操作及机组附属和辅助设备操作，与实际机组一致。
* 机组的有功功率及频率调节、无功功率及电压调节，应与实际机组一致。
* 机组操作既可以自动执行，也可以按照操作流程，逐一设备进行手动操作。
* 顺序控制的逻辑动作关系及信息显示方式应与实际机组一致，联锁、保护逻辑正确无误。

（七）外部参数仿真

对于运维人员不可控制而又影响机组运行特性的因素，如环境温度、电网频率、水情信息等，作为外部参数，可在教练员站进行设置，并能够真实地影响仿真效果。

开发的仿真模型具备外部参数修改能力，外部参数是仿真机教练员台设定的一项重要功能。仿真机的外部参数仿真通过通用子程序的形式，由教练员台设定来实现，具有界面清晰，内容易扩充等特点。

（八）水电站全厂3D视景及仿真就地操作要求

应采用基于虚拟现实技术的现场环境仿真。电气一次设备、机组、辅助系统等设备采用组件技术、3D建模技术和虚拟现实技术来模拟，构建虚拟电厂，形象地反映设备的正常、异常、事故状态及其操作过程，不但可以对虚拟场景中的设备巡视、检查、漫游，而且可以进行虚拟操作，提高了系统的真实感、现场感。

应以三维方式展现水电厂主要设备，在此基础上，采用三维视景、图像、图片、声音、文字结合的多媒体方式对设备的巡视、操作、异常、事故场景进行仿真，包括开关站、水机、电气、辅助系统设备。按照巡回检查路线进行开关站内设备、回路，厂内各层、各室主要设备的巡视，包括巡视所用的专用工具，按照现场的运行规程进行操作，逼真地仿真设备的正常与异常状态，达到身临其境的效果。可通过3D视景技术对设备进行漫游巡视，具体内容包括：

1.开关站：包括变压器、开关、刀闸、地刀、电流互感器、电压互感器、避雷器、母线、线路、电容器、电抗器、电缆等电气设备的巡视。

2.厂房内设备巡视：厂房内水轮机层、发电机层、尾水层、廊道层、母线室等，各层分室制作厂房三维场景；

此部分的仿真应是整个系统仿真的一部分，与仿真数学模型是通过数据通讯软件相连接的，在多媒体系统上进行操作，会直接影响到数学模型的计算，直接影响到全厂的变化。

二、项目建设功能及需求

1.具备完善的受训人员培训功能，提供向受训人员展现正常和故障情况的实际现场运行状态，有效地提高受训人员的专业知识、操作技能、应变能力和熟练程度，使受训人员经培训后能熟练地掌握机组启停过程和维持正常运行的全部操作，学会处理异常、紧急事故的技能，提高实际操作能力和分析判断能力，训练应急处理能力，确保机组安全、经济运行；

2.具备在不同工况条件下分析和改进机组运行操作方案、方式，并加以优化的能力；

3.具备对受训学员和教职工进行定期轮训，并作为考核手段，客观地反映实际操作能力和分析判断能力；

4.具备对机组的控制系统进行仿真研究，以选择最佳的控制方案和整定参数的能力；

5.具备对机组的故障原因和结果进行分析，以便改进运行操作和制定反事故对策的能力；

6.具备从DCS实时数据数据库接收并储存现场实际参数的能力，能根据这些参数，复原、演示现场发生的各种事件以及事件过程中受训人员的处理操作行为，以供事件的分析和研究。并能有选择的利用获取的实时数据对模型进行自校正；

7.具备仿真系统远程维护功能。