

探讨天然气处理厂投产前自控系统测试与仪表联校

廖旭芳（中国石油西南油气田公司，四川 成都 610500）

摘要：随着科学技术的发展，自控技术越来越成熟，并逐渐被应用各行各业，在天然气净化行业更是被普遍应用。虽然自控系统优势明显，但一旦出现异常，就容易造成连锁反应导致出现更大的问题，因此，在投产前必须对自控系统进行反复测试，对仪表进行联校，保证后续使用过程中不出现异常。本文以阿姆河第二天然气处理厂投产前自控系统测试以及仪表联校为例，对上述两项工作进行详细介绍，并探讨了自控系统仪表联校与投运过程可能出现的问题进行分析。

关键词：自控系统；测试；仪表联校；问题

天然气处理厂的主要功能是对开采出来的天然气进行净化和加工，去除里面的杂质（酸、水、硫等），提高天然气的纯度，避免在使用过程中出现问题，同时，通过进一步的加工处理，可以生产一系列的天然气附加产品，从而提高经济效益。在净化和加工过程中需要经过诸多的工序，需要对生产过程进行实时监控，同时需要实现异常报警响应，因此，单靠人工已经无法满足当前的需求，必须配备自控系统以实现精细化、安全化、可控化生产。

1 概述

1.1 项目情况

阿姆河第二天然气处理厂是土库曼斯坦巴格德雷合同区域重要的生产组成部分，设计年处理天然气 90 亿 m^3 ，为满足如此大处理量的需求，在前期规划时，就设计配套了自动控制系统以提高生产的效率和安全性。该系统按功能可以分为 DCS 系统、FGS 系统以及 SIS 系统这三种，其中 DCS 系统的主要功能是监视生产过程，采集生产过程的数据，并依据这些数据对生产进行调控；FGS 系统则可以实现可燃、有毒气体以及着火点的监测，一旦发现气体泄漏或火情的情况，系统会立即作出响应；SIS 系统是在异常情况下启用的，用于处理天然气处理厂的一些突发事件，一旦被唤醒，该系统会下达紧急动作指令以进行相应的安全保护操作。

1.2 自控系统测试与仪表联校工作

自控系统的组成包括三部分，检测单元相当于人眼睛的角色，对生产运行过程进行实时的监控，然后将各种物理参数通过各种变送器传送至控制中心；处理单元则相当于大脑，对检测单元传送给控制中心的数据，借助自动控制系统的各种控制器对数据进行分析运算，并根据分析的结果转化成指令下发；执行单元则相当于手，在接收到处理单元的指令后，对现场的工艺过程进行控制和调节。

系统测试的工作就是按照设计规范以及图纸要求对已组装集成完毕的系统硬件进行检查，并导入实际的控制程序进行测试，验证实际动作过程与既定的控制方案是否一致。系统测试合格的标准是所有部件无损坏，正常运转，控制程序所输出的指令全部与设计的要求

相符。仪表联校的工作需要在自动控制系统的测试工作初步完成的基础上进行，在确保系统运行无异常后，需要对整个自动控制系统进行天然气处理厂内相关设备的联动测试，除此之外，还需要对人机交互界面进行检测，主要检测软件组态，确保现场仪表运转正常，能够在系统程序的控制下按照既定方案对整个生产过程进行控制，故障检测及报警和突发事件的紧急切断。对于系统的测试和仪表的联校，必须做好充分的计划和准备工作后才能进行，包括测试的顺序、测试方案、测试的仪器、测试人员等都需要进行精密的筹备，尤其是人员的选择，必须选择熟悉工艺流程、控制方案、测试和联校规范的人员，以保证验证的精准性。同时，工具及器具必须检验合格，并以此准备齐全，以保证测试和联校工作的连续性。

2 自控系统测试

2.1 FAT

Factory Acceptance Test（工厂验收测试），简称为 FAT，是集成厂商将系统硬件全部组装完成后，发往现场安装之前，对自主控制系统的机柜，即系统的控制单元进行第一步的测试，其目的是为确保软件全部准备就绪，使软件能够满足终端用户的需求。经过工厂验收测试后，必须确保软件系统的完整性，接口错误全部排除。工厂验收测试需要通过一系列的墨盒测试，最终目的是确保软件与合同所规定的性能相一致。同时，还需要对系统的兼容性、可移植性、可维护性、稳定性等进行确认。验收的常用方法有三种，正式验收、 α 测试和 β 测试。其中 α 测试需要尽可能地模拟天然气处理厂的实际运行环境，使软件产品的功能能够最大程度地涵盖天然气净化和加工地需求。而 β 测试是在 α 测试的基础上进行完善，完善系统的功能性、可扩充性、资源占用率等要素，尽可能将系统进行完善。

2.2 通讯网络测试

作为自动控制系统的重要组成部分，通讯网络承担着自动控制系统各个模块组成之间的繁杂的数据以及各种指令的传输，其运行的好坏对于自控系统运行稳定性有极大影响。该测试的主要验证项目有以下三个方面：其一是自动控制系统各个模块与设备配置的 IP 地址的

准确性,其二是通讯网络的连接顺畅性及稳定性,其三是通讯网络结构的合理性。测试过程可以分为三个阶段:第一阶段为硬件通电测试,主要是为了检查各个网络硬件在通电情况下的运转情况。第二阶段为系统功能测试,通过产生各种数据以及下达各种指令,然后去检查处理单元和执行单元的动作情况,确保指令能够百分之百传递到位。第三阶段为试运行验收测试,该测试需要在通讯网络系统初步验收完成后才能进行,对于天然气处理厂自控系统,一般要求持续运行一个月无异常才算试产验收合格。

2.3 软件组态测试

一般来说,软件组态的测试和现场仪表的联校工作需要结合在一起,通过对现场各类检测仪表、执行机构等进行联校,然后观察人机交互界面或中控监控画面中的状态、数值、指令等是否符合要求,从而实现对上位机系统的组态以及下位机系统组态两个部分进行全面、准确的校对。通过对天然气处理厂内的自控系统组态软件的测试,确保在中控室内显示的数据以及发送的指令与现场的仪表显示数据、执行机构的动作情况均保持一致性。软件组态的好坏是实现现场各类仪表、执行机构等远程监控的决定性条件,对于天然气处理厂的后续平稳运行具有重要的意义。

2.4 故障响应测试

对于应用在天然气净化行业的自动控制系统,必须需要具备一定的保护作用,当系统出现故障时,可以发出指令对现场的生产运行过程进行保护,故障响应测试则是对这一功能的测试,即通过人为制造系统可能会出现故障,查看系统的反应以及动作情况,了解在这些故障情况下系统保护程度,对现场生产的影响程度。通过故障响应测试,可以对检查自动控制系统的容错能力是否达到设计要求,并通过不断地试验,不断积累系统问题排查以及问题解决的经验,让系统不断地改进,提高系统的准确性,以保证在出现异常时,系统能自动保护,给维护人员争取更多的时间来解决问题,降低损失率。

3 现场仪表联校

现场仪表联校是指在系统安装完成并校验后,为使仪表在试车时能够正常运转而对系统的各个独立模块进行联合校验的过程。仪表联校是自动控制系统在投入运行前必不可少的步骤,通过联校过程可以实现对仪表的回路情况全面确认,确保回路畅通,确保仪表实际参数与中控室内的显示参数是一致的,确保系统平稳运行,这是自控系统发挥其远程控制功能的重要前提。联校时通常的做法是对每台检测仪表进行五点(量程的0%、25%、50%、75%、100%)上行、下行检查。对于阿姆河第二天然气处理厂的自动控制系统,其需要联校的系统模块包括:显示回路、记录回路、调节回路、报警回路等,具体到设备就包括各种变送器类仪表、温度类仪表、开关类仪表、固定式气体报警仪以及控制阀门等。

3.1 变送器类仪表联校

变送器类仪表联校主要包括了压力变送器、流量变送器和液位变送器等。基于本天然气处理厂所使用的各类智能变送器均支持HART协议,因此本次联校采用FLUKE744的HART功能,向无法模拟实际工况的各类变送器的表头位置输入一个HART协议的电流信号,然后联校人员对人机互动界面中对相应点位的显示数值与现场的模拟信号进行对应确认,依次对每个变送器进行测试。

对于可模拟工况的差压变送器的联校,差压变送器的接入环节后移到差压变送器的正压侧。利用压力信号发生器等效差压值。应当注意的是三阀组应当处于关闭状态,负压侧(丝堵或放空阀)应当放空。测量液位的差压变送器,联校时应先去掉负迁移,联校完成后,应将导压管灌满隔离液体,按照实际进行迁移。

对于处理厂使用的外浮筒液位变送器而言,可采用同等浮力法进行联校。首先选定校准液(通常为水),计算出被校点应当灌注液体的高度,从浮筒下放空引出管向浮筒内充灌校准液。注意事项:连接浮筒的下取压阀一定要处在关闭状态,上放空阀(或上取压阀)一定要处于开启状态,浮筒下放空引出管应当使用透明软管。

3.2 温度类仪表联校

热电阻、热电偶是天然气处理厂使用普遍且用量大的温度检测仪表。温度对天然气的净化和加工意义重大,因此,其联校工作必须予以重视。热电阻的测温原理是温度的变化会引起电阻的变化,因此可以使用标准电阻箱等效热电阻的电阻值进行测试,将该值与仪表显示值进行比对。接线时需要注意将接线端接在热电阻接线盒的外接导线端。而热电偶的原理是当不同温度的不同金属导线相接触形成闭合回路时,由于金属的热效应,形成的回路就会产生一个电动势,其大小与温差直接相关。因此可以利用毫伏信号发生器等效热电势进行测试,将该值与仪表显示值进行比对。热电偶测量的接入环节在热电偶接线盒处的补偿导线端。应当注意的是,应考虑补偿导线联接处的温度补偿效应。

3.3 开关类仪表联校

开关类仪表在天然气处理厂主要包括液位开关、振动开关、火焰检测等,其联校都可以根据其作用原理进行。每个液位开关和振动开关都有一个临界值,当其超过该临界值时,开关状态就会出现变化。对该类仪表的联校思路就是在系统中输入临界值,然后查看开关的动作情况,若其会出现预期动作变化,则证明其运转正常。火焰检测仪表可以通过火焰探测灯进行测试,观察其动作情况与系统显示进行对比。对于无法模拟实际情况的开关仪表,可通过接入环节后移到信号输出端,使用导线把信号线进行短路,采用这种方法对回路进行联校。

3.4 固定式气体报警仪联校

固定式气体报警仪在天然气处理厂的应用主要包括固定式可燃气体报警仪和固定式有毒气体报警仪。其对

处理厂的安全运行至关重要。其联校方法是直接在探头处施加不同浓度的标准样气。观测、记录室内显示仪表的响应时间、显示数据、预报警设定值和报警设定值,同时现场联校人员观察确认声光报警响应。

3.5 控制阀门联校

控制阀门即天然气处理厂应用的各类切断阀、调节阀等,对于这些阀门的联校主要是确认现场阀门的开度状况与传输回中控画面中的显示画面的一致性,现场执行动作与中控指令相一致时,则表示控制阀门运转正常。因此,联校方法就是在中控系统中输入阀门开度的指令,相应现场位置有联校人员对阀门的动作情况进行确认,两人之间时刻联系,互相沟通指令与现场情况是否一致。

4 控制回路及联锁逻辑测试

为了提高对系统的各个控制回路和联锁机构的控制程度,阿姆河第二天然气处理厂所建设的自动控制系统含有大量的控制程序和控制逻辑,以确保现场生产运行过程的稳定性、安全性。对于控制回路以及联锁逻辑的测试原理是:模拟创造出一个能够使现场会利用正常运转的参数条件,然后将执行单元的运行状态切换到正常模式,在此基础上将正常条件进行破坏,对执行机构的运行状况进行观察,如若其能够按照控制方案的设定值做出相应的动作,则证明该控制回路以及联锁逻辑无异常。除此之外,还需要对联锁逻辑中所设定的联锁值的正确性进行进一步的确认,该项测试可以借助 FLUKE744 的 Ramp (区间连续给值) 功能来进行测试。

5 自控系统仪表联校与投运的问题

5.1 自控系统仪表联校与投运的安全问题

联校和投运是一个环节与过程均复杂的过程,稍不注意,就容易造成异常,甚至出现安全事故。安全是自控系统仪表联校与投运的首要问题。

5.1.1 仪表设备的安全

①在进行联校和投运之前,必须先对仪表的参数(型号、量程、精度、性能等)进行确认,然后依照标准表选择合适的校准方法和使用方法,防止因方法不对而造成仪表损坏的情况;②在进行联校时,必须确保电源的接线位置无误;③在使用标准仪表进行联校前,必须将挡位选择为被测量挡位,防止出现过载的情况,将仪表烧坏;④联校完成后,从检测端或等效替代接入处拆除信号发生器,将过程连接管线、阀门、丝堵、导线、仪表盖等恢复到原来状态;⑤对于重要的仪表、变送器、阀门等,需要在仪表上挂禁止触碰标识;⑥当发现仪表有烧焦、水浸、腐蚀等情况时,需要立即检查,确认无异常后才能继续;⑦强制急停按钮需要加装防护锁,防止人员随意触碰;⑧在电源箱附近禁止私拉电线,以免出现短路的情况造成安全事故。

5.1.2 人身安全

①在进入现场时,必须穿戴好劳保用品,如绝缘手套、防滑鞋、安全帽等;②在进行仪表联校与投运时,测试人员必须随身携带试电笔,对有异常的仪表进行无

电确认后才能进行后续的故障处理工作;③对于外露的电缆、电线接头,禁止使用身体的任何部位触碰,防止触电;④在未断电情况下开启仪表盖进行测量时,禁止使用铁制工具敲打,以免产生火花导致事故的发生;⑤对于在高温高压工况下使用的仪表,尽量避免拆卸,保证其紧固性,同时防止烫伤或压伤;⑥在含腐蚀性介质的工况下拆卸仪表时,必须穿戴防腐蚀装备,且配备至少两个人,确保安全。

5.2 自控系统仪表联校与投运的精度问题

精度是自动控制系统仪表性能的重要指标,也是系统性能的重要反映。从理论上来说,系统的精度取决于系统内各个模块、环节的精度,所有环节的仪表、元件等的误差通过叠加即可得到系统的精度。根据概率统计学,系统的理论误差为:

$$\sigma = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

在系统的实际运行过程中,由于各个环节的误差的方向不同,既可能出现误差叠加,也可能出现误差抵消的情况,因此,实际的误差值会比计算得到的理论值稍小。对于复杂的天然气处理厂自控系统,要想提高系统的精度,通常采用将系统中某一中间环节仪表(如转换器)进行调零处理的方法。对于调节系统,调节阀的精度都相对较差,但其是系统必不可少的仪表。对于调节阀可以采用将系统运行回路调整为闭环负反馈的方法来调节,因此调节阀的误差可自行克服,即处于动态消除误差的过程。通过调节阀仪表间的误差动态消除,其他误差对于系统的影响就会较少,对闭环控制主回路的影响不大。

6 结语

自动化控制系统的测试和仪表联校是天然气处理厂投产前必须进行的重要环节,该工作对于后续系统的稳定运行具有重要作用。系统的测试和联校前必须做好详细的计划,对所需的人员、物资、设备等进行准备和筛选,并按照标准要求进行测试和联校,期间对所有数据做好归集和整理,保证测试有据可查,有据可依,切实保障处理厂后续投产后自动控制系统的平稳运行。

参考文献:

- [1] 于大瑞. 自动化系统和仪表调试、维护和校准的解决方案 [J]. 国外电子测量技术, 2000(05):46.
- [2] 李群. 石油化工仪表控制系统的应用 [J]. 2021(14):77-77.
- [3] 刘菁, 高晓根, 雷英, 等. 天然气处理厂投产条件研究 [J]. 石油与天然气化工, 2014, 43(2):5.
- [4] 陈永刚. 仪表控制系统联校与投运中必须注意的几个问题 [J]. 仪器仪表用户, 2001, 8(2):2.

作者简介:

廖旭芳(1984-), 男, 汉族, 职称: 工程师, 籍贯: 四川成都, 本科学历, 研究方向: 自动化专业、自控系统、仪表管理维护。