

机柜烧毁原因分析与技术改造建议

Analysis of the Causes of Cabinet Burnout and the Proposal of Technical Transformation

陈开智 黄光前 徐明 刘俊 张宜林

(中国石化西气东输管道公司华中分公司,湖北 武汉 430073)

摘要: 对 RTU 机柜烧毁现场进行了勘查和调查,从多角度进行原因分析。综合判定表明,变压器缺陷、安全栅故障是产生火源的直接原因;机柜布线不合理、柜内通风散热不畅和阀室供电设计不合理是引发火灾的间接原因。总结并提出了远传截断阀室 RTU 机柜的技术改造建议。这些建议对将来同类机柜的设计、选型、集成具有重要参考意义。

关键词: 安全栅故障 RTU HMI 监控系统 压力变送器

中图分类号: TP274+.2 **文献标志码:** A

Abstract: The survey and investigation for the site of burned RTU cabinet are conducted, the causes are analyzed from various angles, the comprehensive judgment is : transformer defects and faults of safety barriers are the direct cause of producing fire source; while unreasonable wiring, poor ventilation and heat dissipation inside cabinet, and improper power supply of the valve chamber are the indirect causes of posing a fire. The proposal of the technical transformation for blocking the valve chamber the RTU cabinet by remote transmission method is summarized. The suggestion possesses important significance to design, select and integrate similar cabinets in future.

Keywords: Safety barrier fault Remote terminal unit(RTU) Human machine interface(HMI) Monitoring system Pressure transmitter

0 引言

根据油气长输管道线路工艺要求,在管道沿线设置了监视阀室、监控阀室,监控阀室主要进行数据监视和控制;在线路截断阀室设置远程终端设备(remote terminal unit, RTU)。RTU 的主要功能有:采集阀室的温度、压力和阴极保护等参数;监视线路截断阀的状态;控制线路截断阀的开启和关闭。由调度控制中心远程关闭的线路截断阀,在确保安全的前提下可执行远程开阀,监视供电系统工作状态和阀室的可燃气体、火灾报警及设备间门禁开关状态等。

2009 年,某长输天然气管道远程截断阀室 RTU 机柜发生烧毁事件,现场机柜烧毁。为了查清事件原因,运行单位认真组织进行了调查,从现场勘查、信息解读、原因分析和改进建议多方面进行了总结。

1 事故原因调查

1.1 现场勘查

RTU 机柜烧毁事件发生后,由运行单位、原设计单位、RTU 控制器的设备供应商、甚小口径终端(very

small aperture terminal, VSAT)通信设备供货商、某甲级防雷设计单位、原消防施工单位、光通信机柜供货商、原仪表自动化施工单位和当地公安消防大队火灾方面的专家和技术人员组成了调查组,对现场进行了认真勘查。

现场损毁具体情况包括以下几个方面。

① RTU 机柜内部设备、电子元器件完全烧毁,只剩下机柜柜体和汇线槽内燃烧剩下的裸铜线,柜内主要包括卫星通信室内主机、Bristol Babcock 控制器(简称 BB 控制器);

② 墙面壁挂空调室内机塑料外壳受热烘烤变形;

③ 整个室内防静电地板和墙面被浓烟熏黑;

④ 光通信机柜塑料顶盖部分变形,其中柜内部分通信板卡也受热变形;

⑤ 吊顶的感烟探测器塑料外壳受热变形;

⑥ 其余(主要指恒电位仪、UPS 及蓄电池组)设备未受到损坏。

由于 RTU 机柜内部全部烧毁,给事件调查造成很大困难。调查组只能通过现场留下的痕迹、过火及燃烧传递方向、各个系统的报警和工艺参数历史趋势图等进行分析和推断。调查组对现场进行了充分勘查,尤其注意到 240 VAC/24 VDC 变压器燃烧后的外壳和铜线绕组已经散落到机柜的底部,且变压器金属外壳

修改稿收到日期:2013-02-16。

第一作者陈开智(1979-),男,2002年毕业于西南石油大学油气储运专业,获学士学位,工程师;主要从事输气管道的运行管理工作。

与铜线绕组之间完全分离,其铜线绕组绝缘层已经完全燃烧成灰。同时,调查组向气象局查阅了当地当日的气象资料,显示并无雷击气象发生。

1.2 监控画面报警信息整理

事故当天综合调度室 HMI 监控系统、调控中心卫星主站网管系统和光通信网管系统的报警信息分别如表 1、表 2 所示。专业技术人员对上述报警信息进行了梳理和分析,判定结果为:通信网管的报警真实;数据采集与监视控制系统(简称 SCADA 系统)的报警为火灾期间的报警,报警确实存在,但 RTU 中的 BB 控制器某些模块受火灾烘烤影响,其远传的压力数值与实际工艺运行参数偏离。这在一定程度上表明,当时压力模拟量回路的某一部分已经处于火灾,其在非正常工作状态下向 SCADA 系统中心传输了压力检测信号。

表 1 SCADA 系统报警信息
Tab.1 Alarm information of SCADA

时间	报警/描述	备注
11:42:29	#xxx 阀室出站压力低报警压力值为 0.233 MPa	数值不真实
11:46:15	#xxx 阀室火灾报警数字信号报警	与现场相符
11:52:26	#xxx 阀室进站压力低警告报警压力值为-1.373 MPa	数值不真实
11:52:26	#xxx 阀室进站压力低报警压力值为-1.373 MPa	数值不真实
11:55:39	#xxx 阀室气液联动阀 30001 阀关闭状态报警	实际未关闭
11:56:31	#xxx 阀室通信前置机通信状态报警	与现场相符

表 2 通信网管报警信息
Tab.2 Alarm information of communication network management

时间	报警/描述	备注
11:52:32	卫星主站网管系统显示#xxx 阀室卫星通信系统掉网	子站离线
11:56:11	光通信网管系统出现#xxx 阀室以太网输入信号丢失	与现场相符
12:13:24	光通信网管系统出现#xxx 阀室设备工作温度超限报警	与现场相符
12:18:32	光通信网管系统出现#xxx 阀室激光器发送故障	与现场相符
12:18:32 之后	继续出现多条#xxx 阀室光通信系统的重复或类似报警	与现场相符

2 事故原因分析

2.1 报警信息解读

根据工艺参数、通信状态、火灾报警信息,可以基本判断:整个火灾最先反馈给外界的是压力变送器数

值偏离实际工况,但这只能确定压力变送器回路的某一部分出现了问题;接着是火灾报警信息,该探测器属于感烟型,说明此时的燃烧浓烟已经充满了整个房间,位于吊顶的感烟探测器已经发出信号;紧接着是卫星通信掉网,说明机柜的燃烧是从底部往机柜顶部方向发展的;最后的报警是相邻的光通信机柜出现工作温度超限报警。

2.2 事故原因分析

从现场柜体板受热变形程度和灰烬颜色可以判断,着火点位于机柜的左中部,此区域的电子元器件有:变压器(QUINT-PS-100-240AC/24DC/10/EX)、24 V 直流防雷器(RPD24-30)和安全栅(SLP32D)。根据各电子元器件的工作原理和烧毁后的现场勘查情况判断,起火源为变压器。

干式变压器起火的主要原因说明如下^[1]。

① 绕组绝缘损坏产生短路。绕组绝缘老化、变质、焊渣等金属性异物进入、过负载等原因造成绝缘失效,导致匝间、层间发生短路,使绕组发热燃烧,从而引起火灾。

② 接触不良。变压器原、副边接线端子,电源引线等连接部位接触不良,长期运行时产生过热引发火灾。

③ 过电压。它包括雷击过电压和操作过电压,造成变压器负载过大,内部热量散发不出去引发火灾或绝缘失效引发火灾。

④ 铁心消耗过大。铁心质量不合格、叠片多接点等原因均可造成叠片短路,形成局部涡流,产生高温乃至引发火灾。

⑤ 输出侧设备或线路故障。输出侧电气线路或设备发生对地故障,从而引起变压器副边绕组输出电流增大,导致绕组绝缘失效引发火灾。

从全面燃烧和局部燃烧来看^[2],由于涡流过大使得温度升高时的负载短路和铁心绕组燃烧是整体全面的,而绕组匝间短路的燃烧是局部的。

经过以上分析,得出以下起火原因。

① 主要原因:根据事故期间的工艺参数变化趋势,线路截断阀上下游两个压力变送器回路同时被触发出现异常。导致这一现象及变压器着火的原因可能有以下两种。

第一,变压器本身缺陷。经过几年的运行,变压器出现了绝缘老化等问题,导致匝间短路,使得给压力变送器回路供电的电压突然升高,触发两个压力变送器同时出现异常。变压器线圈则持续发热引起燃烧。

第二,上下游压力变送器回路上的 SLP32D 型安

全栅出现故障。由于两个压力变送器回路利用的是同一个信号安全栅上的不同通道,安全栅出现故障可能同时触发两个压力变送器回路同时出现异常,进而引起变压器持续过热引起燃烧。SLP32D 型安全栅接线图如图 1 所示。

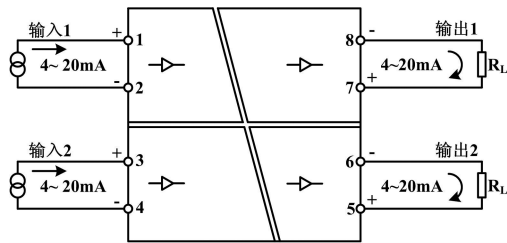


图 1 SLP32D 型安全栅接线图

Fig. 1 Wiring of SLP32D safety barrier

② 间接原因:机柜通风不畅。通过现场勘查和查阅相关竣工图可知,RTU 机柜的设计和配置存在缺陷,导致机柜内通风不畅,影响柜内设备散热,加速了事件的发生。具体原因有以下两种。

第一,RTU 机柜主要靠顶部的风扇和前门底部的

进气口进行强制通风。原设计要求装两台风扇,而现场实际只有一台直径为 10 cm 的小风扇。同时,进气口小并配有致密的过滤网,空气对流困难。

第二,RTU 机柜内设备、电子元器件、电气仪表电缆集成过于紧凑,顶部布置的 VSAT 卫星通信室内单元体积过大,与顶板风扇间间隙小(45 mm),其间还安装有有机柜荧光灯管,更不利于通风散热。

与 RTU 机柜并排安装的光通信机柜相比,光通信机柜内部有五台风扇,光通信机柜的前后门上都有布满柜面的排列致密状通气圆孔,顶部和底部则布满通气孔,而 RTU 机柜密封严实。

为取得准确的现场数据,在某同类型阀室做了一组机柜温度与控制室室温数据比对,对比结果如表 3 所示。从表 3 可以看出,RTU 机柜在闭门情况下,机柜内外部有 4 K 的温差,同时机柜门由开变为关的情况下,柜内升温速度也十分迅速;而光通信机柜,在机柜门开、关两种状态下温度测定值与室温基本相同。这进一步证明了机柜内设备的发热量大,机柜散热系统效果不理想。

表 3 某同类型阀室室温和机柜温度测试对比表

Tab. 3 Temperature tests of the valve chamber and cabinet

时间 (6月9日)	室温 /°C	RTU 机柜 温度/°C	光通信机柜 温度/°C	机柜柜门状态
11:30	22	22	24	RTU 机柜柜门开启,光通信机柜柜门关闭
13:00	24	27	25	RTU 机柜柜门关闭,光通信机柜柜门开启
14:00	23	27	25	RTU 机柜柜门关闭,光通信机柜柜门开启
15:00	24	24	25	RTU 机柜柜门开启,光通信机柜柜门关闭
16:00	23	23	25	RTU 机柜柜门开启,光通信机柜柜门开启
17:00	23	26	24	RTU 机柜柜门关闭,光通信机柜柜门开启

同时也对其他可能性进行了列举,并进行了分析讨论,但都给予排除。分析过程如下。

① 卫星通信室内单位

假设是卫星通信室内单元最先引起烧毁。由于卫星通信安装在 RTU 机柜的最上方,根据起火的特点,卫星通信室内单元应该最先烧毁,卫星通信应该最先掉网。这个假设与报警信息不一致。

② BB 控制器单元

假设是 BB 控制单元最先引起烧毁,则会在第一时间出现 SCADA 数据采集信号失败或掉网。但报警信息表明:从 11:42:29 至 11:56:31(持续时间:14 min),模拟 I/O、数字 I/O 模块仍能上传现场数据到 SCADA 系统。这个假设与报警信息不一致。

③ 电源插排

假设是电源插排故障。电源插排是给室内卫星通

信单元供电,如果有问题,则室内单元应该最先断电,卫星通信应该最先掉网。这个假设与报警信息不一致。

④ 空气开关

假设空气开关起火燃烧,则会导致不能给 RTU 柜内设备和火灾报警盘提供电源,RTU 功能会在第一时间丧失。在整个烧毁事件中,火灾自动报警系统的报警是在工艺参数(压力信号)报警出现 4 min 后才上传至 SCADA 系统。这个假设也与报警信息不一致。

⑤ 恒电位仪

假设恒电位仪影响 RTU 系统。由于上下游阴极保护站的开启已满足管线保护要求,本远传截断阀室阴极保护站内安装的恒电位仪一直没有投用,恒电位仪检测信号电缆已经与 RTU 远传单元完全断开。因此,恒电位仪的电源也与配电系统 24 VDC 电源已完全断开,无任何信号导入 RTU 机柜的可能。

⑥ 交流干扰

整个 RTU 系统只有压力变送器、气液联动阀执行机构与工艺管道相关联。但现场仪表的信号线与压力变送器本体、执行机构之间是完全隔离的,且防爆挠性管下端的电缆保护钢管已安装绝缘接头,事故发生后测试绝缘接头,其性能完好。即使工艺管线存在杂散电流干扰,也无法导入到 RTU 系统。

3 经验教训和建议

为了避免发生类似情况,需要汲取以下经验教训,并提出了相应的技术改造建议。

第一,在机柜柜内电子元器件的选择上,一定要选择质量可靠、运用成熟的工业化产品,并注意产品选择与使用环境符合并相匹配。对于小型变压器,可以考虑选择具有熔断和温度检测功能型,以备发生短路等故障时能采取相应的措施,消除故障^[3]。同时考虑对小型变压器定期进行预防性试验^[4],以防止绝缘老化出现隐患。在新机柜集成和更新改造中,当柜内电源回路不够时,采取普通电源插排也存在安全隐患。建议机柜内配电回路必须使用空气开关或机柜插排。

第二,机柜布线集成和柜内通风散热系统设计目前缺乏相关标准规范,需行业尽快出台。机柜的设计和集成需要进行评估,达到综合布置合理、机柜散热效果良好^[5]。通过在机柜中增加温度检测模块,并通过控制系统本身存在的通道进行数据的传输,完成相应的程序编写,便可实现机柜温度的监控和散热系统的启停控制^[6]。在机柜工厂验收测试时,需模拟现场工况进行上电测试。

第三,建设单位、设计单位对 RTU 阀室机房设计的重视程度有待提高。

设计各专业相互间沟通不够完善,RTU 阀室设计图中电力专业已给出空调用电负荷,但暖通专业遗漏空调设计。投产后,运行单位识别出综合控制室温度控制超标,并在机房中增加了空调以改善机房的运行环境温度。

由于受投资、地理位置等客观条件限制,RTU 阀室综合控制室的非自控部分供电系统普遍采用就近农用电单回路供电。农用电很不稳定,在用电高峰期经常跳闸停电或拉闸限电,即便安装了空调,也无法保证其在夏季高温天气下连续正常运行,通信仪表技术要求综合控制室温度在 18~28℃ 很难保证。

条件允许,可以考虑引进供电质量较好的市电,并增设一台燃气发电机组作为备用电源。建议增加一个

电能质量监测装置对市电进行监测并上传至 SCADA 系统,以便及时了解供电质量。同时,在此类无人值守的 RTU 阀室空调系统中单独安装一个空调来电自启动器^[7-10],以确保空调在断电后恢复供电情况下自动运行。

第四,运行单位需加强对 RTU 阀室综合控制室设备运行情况的监控和管理,提高巡检频次,保证机房的工作环境、设备运行状态符合要求,达到平稳运行。

4 结束语

远程截断阀室(RTU)在长输油气管道中发挥着重要作用,其功能的可靠性、稳定性事关管道线路的安全平稳运行。在设计阶段,对阀室一定要给予高度重视。在远程监控点位数据采集上,不但要考虑传统的温度、压力、恒电位仪参数、阀门开关信号和火灾报警信息的采集,还要将控制室环境参数(室温)、机柜温度、电能质量、UPS 运行参数和空调启停等信息一并考虑,并融入到控制系统中。远程截断阀室控制机柜在设计、选型、集成过程中,要通盘考虑产品质量、集成厂家水平和业绩。同时,为了提高运行 RTU 的可靠性,其日常巡检、设备预防性维护和预防性试验、仪表自动化春秋检必不可少。本文分析和提出的建议,对将来同类阀室设计、运行具有重要参考意义。

参考文献

- [1] 耿明. 干式变压器火灾现场勘查[J]. 消防技术与产品信息, 2010(9):19-20.
- [2] 赵长征. 电气火灾原因认定和痕迹鉴定[J]. 消防技术与产品信息, 2003(12):3-5.
- [3] 张春静. 浅谈干式变压器选型[J]. 林业科技情报, 2011(2):78-79.
- [4] 中华人民共和国电力工业部. DL/T 596-1996 电力设备预防性试验规程[S]. 1997.
- [5] 唐远明, 仇安娜, 赵威. 高密度机柜散热策略分析与实现[J]. 电脑知识与技术, 2009, 5(15):4043-4044, 4051.
- [6] 宋永刚. 基于 DCS 系统智能机柜温度控制系统: 中国, 201220205614X[P]. 2012-12-28.
- [7] 杜庆. 建立无人通信站空调自启动装置[J]. 电力系统通信, 2006, 27(11):72-74.
- [8] 苏荣艳. 基于 SAE J1850 通信协议的汽车发动机故障诊断与测试[D]. 上海: 上海交通大学, 2005.
- [9] 俞卫芳. 汽车电控系统通信模块的研制[D]. 南京: 江苏大学, 2005.
- [10] 李朝青. 单片机原理及接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005:37-62.