

Discussion on the Design of ESD Button Monitoring Loop

Shaoqing Shan, Yishan Guan, Xianqiang Meng

China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd. International, Langfang Hebei
Email: 1073340745@qq.com

Received: Sep. 24th, 2020; accepted: Nov. 5th, 2020; published: Dec. 15th, 2020

Abstract

Emergency shutdown (ESD) system is an important subsystem of safety instrumented system. ESD button is the most common manual trigger device in ESD system, which is used to trigger the protection program of ESD system artificially to alleviate the expansion of hazard and reduce the loss when accidents or dangers occur. In order to standardize the configuration of ESD button and reduce the error trigger rate, the corresponding loop detection function should be added to the ESD button circuit to ensure no error trigger. The diagnosis resistance in the detection circuit is recommended by the manufacturer, and the diagnosis current needs to be configured according to the actual situation of the ESD cabinet.

Keywords

ESD Button, Diagnosis Resistance, Monitoring Loop, Safety Instrumented System, ESD System

ESD按钮检测回路设计探讨

单少卿, 关沂山, 孟献强

中国石油管道局工程有限公司国际事业部, 河北 廊坊
Email: 1073340745@qq.com

收稿日期: 2020年9月24日; 录用日期: 2020年11月5日; 发布日期: 2020年12月15日

摘要

紧急停车(ESD)系统是安全仪表系统中一个重要的子系统, ESD按钮是ESD系统中最常见的人工触发装置, 用于人为触发ESD系统的保护程序来缓解事故或危险发生时危害的扩大并减少损失。为了规范ESD按钮的配置, 减少误动作的发生, ESD按钮回路需要增加相应回路检测功能, 确保不进行误触发。检测回路中的诊断电阻由厂家推荐, 诊断电流需要结合ESD机柜实际情况进行配置。

关键词

ESD按钮, 诊断电阻, 检测回路, 安全仪表系统, ESD系统

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

石油、天然气是人类生活中常用的工业生产原料和化石燃料能源, 它们在生产和输送时具有易燃、易爆、有毒等危险因素[1], 因此, 国内外的石油、天然气项目, 经过安全评估后, 经常会使用安全仪表系统(Safety Instrumented System, 简称 SIS)来实现安全仪表功能, 即利用安全仪表系统中的测量仪表、逻辑控制器、最终元件及相关软件等, 来防止、减少危险事件发生或保持过程安全状态, 实现的安全保护或安全控制[2]。

紧急停车系统(Emergency Shut Down, 简称 ESD)是安全仪表系统中一个重要的子系统, ESD 按钮则是 ESD 系统中最小的、最常见的一个仪表设备, 用于在事故或危险已经发生或即将发生时, 人为触发 ESD 系统的保护程序以缓解危害扩大、减少损失。然而在实际运行中, ESD 按钮由于配置不合理, 是发生误动作较多的设备之一, ESD 按钮的误动作将造成区域停车或全站停车, 或者要求实现安全功能时根本无法停车, 这就为管道的正常运行带来很多损失和隐患。

ESD 按钮的配置

目前, ESD 按钮有常开接点、常闭接点两种, 普通 ESD 按钮对于断开或短路原因是人为触发还是误触发, 系统无法进行区分, 只要回路断开或短路都会触发 ESD, 误触发原因可能包括 ESD 按钮进水老化、回路接线不禁锢、回路浪涌损坏、24 V 电源故障、地面沉降拉脱接线线头、小动物咬断线缆等。

国家标准 GB/T50770-2013《石油化工安全仪表系统设计规范》要求: 重要的输入回路宜设置线路开

路和短路故障检测，输入回路的开路和短路故障，宜在安全仪表系统中报警和记录[2]。

国内行业标准 SY/T6966-2013《输油气管道工程安全仪表系统设计规范》要求：安全仪表系统的开关量检测元件应为常闭或带诊断功能的接点，ESD 按钮应具有防误触、保持和复位功能[3]。

为了规范 ESD 按钮的配置，减少误动作的发生，ESD 按钮回路需要增加相应回路检测功能，确保不进行误触发。首先要求 ESD 按钮为带回路诊断功能的 ESD 按钮，其次，安全仪表系统的 PLC 机柜内 I/O 模块应具有信号通道的回路检测及保护功能，对每个控制回路具有诊断功能(这里不单指 I/O 模块的自诊断功能，还包括执行对元件的回路诊断，例如 ESD 按钮)，利用模块的回路诊断功能，在现场 ESD 按钮处并入一个电阻和串入一个电阻，诊断电阻的阻值可以根据 SIS 系统 I/O 模块的技术指标要求进行调整，通过测量回路中电流的大小，根据系统软件编制相应的报警程序，当回路异常时应自动产生报警提醒运行人员[4] [5] [6] [7]。

2. 诊断电阻的配置

1) 常开触点 ESD 按钮

对于带有 2 个诊断电阻的常开触点 ESD 按钮，ESD 按钮接 SIS 系统 DI 模块的等效电路见图 1，图中虚线框表示 1 个 ESD 按钮(含 2 个诊断电阻)。

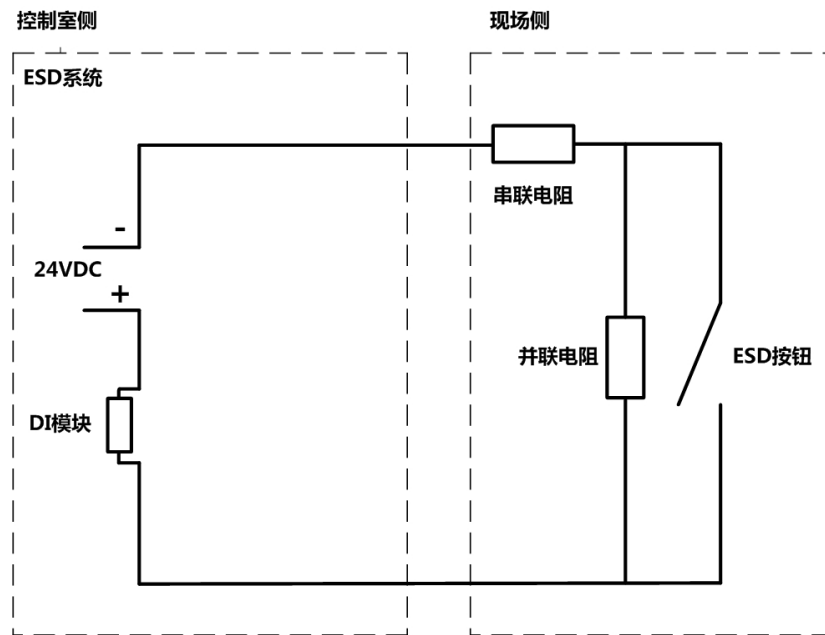


Figure 1. Circuit diagram of diagnostic resistance for normally open ESD push-button
图 1. 常开触点 ESD 按钮诊断电阻设置图

下面以德国黑马公司 SIL3 等级的 DI 输入模块为例进行回路电流计算，ESD 按钮正常情况下，ESD 按钮触点不闭合，回路通过 $10\text{ k}\Omega$ 并联电阻和 $1\text{ k}\Omega$ 串联电阻联通，DI 模块的回路电压为 24 VDC ，模块最大输入阻抗为 $2\text{ k}\Omega$ ，回路中为诊断电流。

由于 ESD 按钮电缆的电阻一般在 $0.008\sim 0.02\text{ k}\Omega$ 之间，与 DI 模块的最大输入阻抗($2\text{ k}\Omega$)相比太小。下面的计算不考虑电缆电阻。不会影响计算结果。

① 回路诊断电流

回路诊断电流在 $1.2\sim 2\text{ mA}$ 之内，表示 ESD 按钮的 DI 模块回路正常。

$$\text{回路诊断电流} = 24 \text{ VDC} / (1 + 10 + 2) \text{ k}\Omega \approx 1.84 \text{ mA}。$$

② 触发 SIS 系统回路电流

当 ESD 按钮被按下时触点闭合, SIS 系统的 DI 回路越过并联电阻, 通过串联电阻联通, 当回路电流在 2 mA~12 mA 之内, 就触发 SIS 系统的停车保护程序, 切断区域或者全站的流程。

$$\text{触发 SIS 系统回路电流 } I = 24 \text{ VDC} / (1 + 2) \text{ k}\Omega = 8 \text{ mA}。$$

③ 无电流

电缆任何一处断开, SIS 系统的 DI 回路无电流, 即 DI 回路电流小于 1.2 mA, SIS 系统立即进行报警, 提醒操作人员检查物理电路, 这在 SIS 系统中属于显性故障。此时 SIS 系统并不启动安全保护程序, 由于 ESD 按钮的故障或者电缆的故障不会引起区域或者全站停车。

④ 短路电流

电缆任何一处短路, SIS 系统的 DI 回路直接联通。

$$\text{触发 SIS 系统回路电流 } I = 24 \text{ VDC} / (2) \text{ k}\Omega = 12 \text{ mA}。$$

SIS 系统的 DI 回路电流最大, 即 DI 回路电流大于 12 mA, SIS 系统立即进行报警, 提醒操作人员检查物理电路, 这在 SIS 系统中也属于显性故障。

2) 常闭触点 ESD 按钮

带 2 个诊断电阻的常闭触点 ESD 按钮接到 SIS 系统 DI 模块的等效电路见图 2, 图中虚线框表示 1 个 ESD 按钮(含 2 个诊断电阻)。

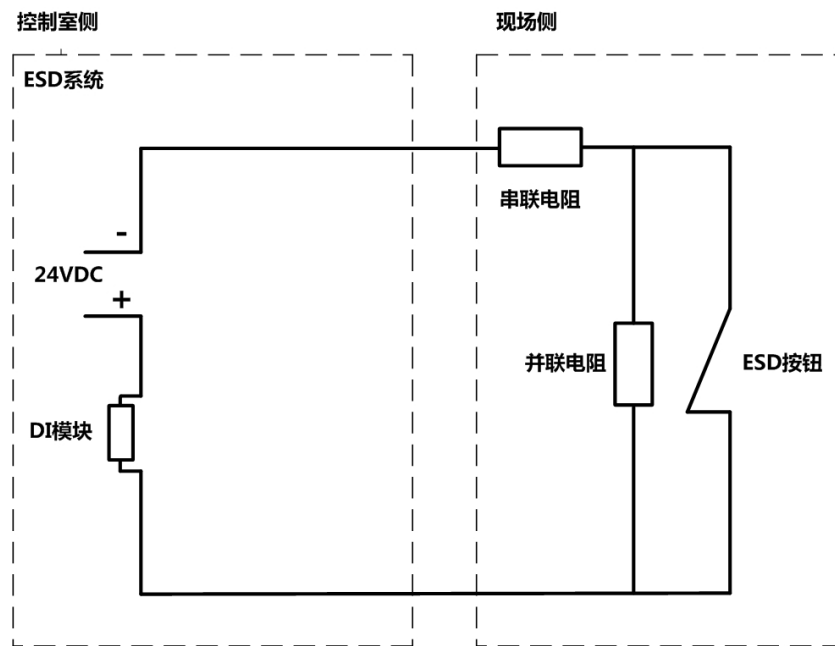


Figure 2. Circuit diagram of diagnostic resistance for normally closed ESD push-button

图 2. 常闭触点 ESD 按钮诊断电阻设置图

下面以德国黑马公司 SIL3 等级的 SIS 系统 DI 输入模块为例进行回路电流计算, ESD 按钮正常情况下, ESD 按钮触点闭合, 回路通过 10 k Ω 并联电阻和 1k Ω 串联电阻联通, DI 模块的最大输入阻抗为 2 k Ω , 回路中是诊断电流。

由于 ESD 按钮电缆的电阻一般在 0.008~0.02 k Ω 之间, 与 DI 模块的最大输入阻抗(2 k Ω)相比太小。

下面的计算不考虑电缆电阻。不会影响计算结果。

① 回路诊断电流

ESD 按钮正常情况下, ESD 按钮触点闭合, 回路通过串联电阻联通, 回路中是诊断电流。回路诊断电流在 2 mA~12 mA 之内, 表示 ESD 按钮的 DI 模块回路正常。

$$\text{回路诊断电流} = 24 \text{ VDC} / (1 + 2) \text{ k}\Omega \approx 8 \text{ mA}。$$

② 触发 SIS 系统回路电流

当 ESD 按钮被按下时触点打开, SIS 系统的 DI 回路越过并联电阻和串联电阻, 当回路电流在 1.2~2 mA 之内, 就触发 SIS 系统的停车保护程序, 切断区域或者全站的流程。

$$\text{触发 SIS 系统回路电流 } I = 24 \text{ VDC} / (1 + 10 + 2) \text{ k}\Omega = 1.84 \text{ mA}。$$

③ 无电流

电缆任何一处断开, SIS 系统的 DI 回路无电流, 即 DI 回路电流小于 1.2 mA, SIS 系统立即进行报警, 提醒操作人员检查物理电路, 这在 SIS 系统中属于显性故障。此时 SIS 系统并不启动安全保护程序, 由于 ESD 按钮的故障或者电缆的故障不会引起区域或者全站停车。

④ 短路电流

电缆任何一处短路, SIS 系统的 DI 回路直接联通。

$$\text{触发 SIS 系统回路电流 } I = 24 \text{ VDC} / 2 \text{ k}\Omega = 12 \text{ mA}。$$

SIS 系统的 DI 回路电流最大, 即 DI 回路电流大于 24 mA, SIS 系统立即进行报警, 提醒操作人员检查物理电路, 这在 SIS 系统中也属于显性故障。

3. 检测回路特点

带有诊断电阻的 ESD 按钮, 将 SIS 系统安全回路的隐性故障转化为显性故障, 提高了 SIS 系统的安全可用性, 不会引起误触发, 符合安全仪表系统标准的要求。ESD 按钮带诊断电阻, 在 ESD 按钮没有被按下时, DI 回路一直有小电流, 对 ESD 按钮 DI 回路起到诊断的作用。一旦任何一个位置的电缆断开, 小电流就会消失, 安全仪表系统就会诊断报警, 提醒操作人员进行回路维护, 此时并不触发安全仪表系统的保护程序。

同时, 可以看到的是, ESD 按钮带诊断电阻价格高, 由于不同供货商 SIS 系统 DI 回路的技术指标不同, 在设计 SIS 系统时需要考虑 ESD 按钮诊断电阻的大小。确保回路诊断电流、触发 SIS 系统回路电流符合 DI 模块的技术指标。对于不同的厂家提供的具备回路诊断功能的 PLC 模块, 其要求的电阻值是不一样的。

以下为各厂家针对不同类型的按钮所需的电阻值见表 1。

Table 1. Configuration table of ESD push-button diagnostic resistance from various manufacturers

表 1. 各厂家 ESD 按钮诊断电阻配置表

厂家名称	SIL 等级	回路诊断功能	常开		常闭		备注
			串联电阻	并联电阻	串联电阻	并联电阻	
AB	SIL2	是	1 K	14 K	1 K	14 K	
霍尼韦尔		是	7.5 K	15 K	7.5 K	15 K	
黑马	SIL3	是	1 K	10 K	1 K	10 K	
安控	SIL2	是	1.8 K	无	1.8 K	无	
和利时	SIL2	是	10 K	10 K	10 K	10 K	
浙江中控	SIL3	是	2 k	27 k	2 k	27 k	

4. 阿美公司 ESD 按钮设计要求

目前来看,在阿美公司的标准体系中,并没有标准对 ESD 按钮的检测回路进行要求,仅对制造商要求按钮必须具备如 ATEX/IECEX 等机构的电气设备防爆认证和对外壳、电压等级等的使用认证,保证按钮可以在爆炸危险场所安全使用。

5. 国内外 ESD 按钮设计现状

近年来,随着国内油气管道行业中安全仪表系统的不断推广应用,ESD 按钮的误触发问题已经引起了各管道工程设计单位和运行业主的重视。

目前,在 2012 年以前投建的如西气东输一线、兰郑长、兰成渝等油气管道,现场 ESD 按钮回路均采用未配检测电路的常闭(NC)单回路,IO 模块也不具备回路诊断功能,对于断开原因是人为触发还是误触发,系统无法进行区分,只要回路断开均会触发紧急停车。

从 2013 年开始,中国石油天然气管道工程有限公司(管道设计院)在站场控制系统技术协议中要求 ESD 按钮必须配备检测回路,其他几家油气管道行业设计单位也有相关要求。西气东输分公司、西部管道公司等管道运行业主同时对 ESD 按钮的误触发问题进行了关注和研究,尤其西气东输分公司压缩机处对 ESD 按钮的检测回路做了深入研究,并积累了一定的实践经验。各管道运行业主相继开展了对未配备检测回路 ESD 按钮的改造工作,并要求在以后工程中必须使用带检测回路的 ESD 按钮,以避免 ESD 按钮误动作问题。

目前,国外管道行业部分运行业主对 ESD 按钮带检测回路没有明确要求,沙特阿拉伯地区由阿美公司批准的 WOOD、WorleyParsons、KBR、SNC-Lavalin 等几家本地 GES + (General Engineering Service Plus) 设计分包商对 ESD 按钮是否带检测回路均没有要求;而泰国石油公司建设的泰国压气站工程使用了带检测回路的 ESD 按钮;中亚、中缅天然气管道业主都要求使用带检测回路的 ESD 按钮[8]。

6. 结束语

为了更好地降低 ESD 按钮因为模块故障导致的误触发,建议将接入系统的 IO 模块设计成冗余结构,现场检测信号进入 3 个 IO 模块,通过 2oo3 方式进行设置,当其中 1 个模块故障时,不触发 ESD,这样既提高可用性,同时又保证了安全性[9][10]。

ESD 按钮在大规模使用过程中,误触发事件发生的频率较高,这给油气管道的正常运行带来很多问题,但由于它有着不可或缺的重要性[11][12][13],所以如何减少 ESD 按钮的误触发事件是今后我们需要长期关注和持续研究的课题。

参考文献

- [1] 王书惠. ESD 按钮的选型探讨[J]. 自动化博览, 2012(11): 90-92+101.
- [2] 黄步余, 叶向东, 等. GB/T50770-2013 石油化工安全仪表系统设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013: 2.
- [3] 聂中文, 邓东花, 等. SY/T6966-2013 输油气管道工程安全仪表系统设计规范[S]. 北京: 石油工业出版社, 2013: 41.
- [4] 彭太翀, 王海峰, 王多才, 等. 关于西气东输 ESD 系统报错的探讨和可行性优化建议[J]. 工业控制计算机, 2011(11): 28-30.
- [5] 严密, 管文涌, 田家兴, 等. 带诊断电阻的 ESD 按钮选型分析[J]. 电气自动化, 2015, 37(6): 111-113.
- [6] 管文涌, 王新园, 杨阔. 站场 ESD 系统触发回路可靠性及提升措施[J]. 油气储运, 2019(10): 1151-1158.
- [7] 管文涌, 王多才. 基于功能安全的新建管道输气站场 ESD 按钮选型建议[C]//2016 中国油气储运技术交流大会, 乌鲁木齐, 2016: 260-265.

- [8] 李伟, 周勇, 邱昌胜, 等. 中亚天然气管道哈国段 ESD 浅析[C]//中国石油学会,新疆石油学会. 2016 中国油气储运技术交流大会, 2016: 101-106.
- [9] 杨永光, 金常青, 崔黎宁, 等. 安全仪表系统中传感器冗余配置方式的分析[J]. 石油化工自动化, 2014, 50(1): 14-16.
- [10] 冯兆宇. 安全仪表系统回路设计与研究[J]. 仪器仪表标准化与计量, 2010(4): 28-30.
- [11] 赵廉斌, 朱金辉, 张丽, 等. 以 Safety Manager 为控制核心的安全仪表系统在输气站场中的可用性和可靠性探讨[J]. 化工自动化及仪表, 2014(11): 1324-1327.
- [12] 张小亮. 安全仪表系统外围硬件配置探讨[J]. 石化技术, 2015(7): 238-239, 241.
- [13] 陈彦, 陈超声. 浅析西气东输二线 ESD 系统的功能安全现状[J]. 仪器仪表用户, 2014(2): 90-93.