

ICS 13.110
CCS J 09



中华人民共和国国家标准

GB/T 44686—2024

机械安全 危险能量控制 通则

Safety of machinery—Control of hazardous energy—General principles



2024-09-29 发布

2024-09-29 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	2
5 机器正常运行时的危险能量控制	3
6 维护时的危险能量控制	3
6.1 一般要求	3
6.2 确定所有危险能量的类型和隔离位置	4
6.3 断开危险能量	4
6.4 锁定或上锁	5
6.5 挂牌	7
6.6 储存能量的释放和/或阻断	8
6.7 机器正确断开能源的验证	8
6.8 机器重新接通能源	8
6.9 交接工作	8
6.10 隔离管理	8
7 机器接通所有能源或部分能源的维护和调试	8
7.1 一般要求	8
7.2 风险评估报告	9
7.3 机器的电气维护	9
7.4 流体动力系统	10
7.5 需要机器全部或部分通电的检查和测试	10
7.6 机器调试	11
8 使用信息、组织措施、安全操作规程和培训	12
8.1 一般要求	12
8.2 使用信息	12
8.3 组织措施	12
8.4 个体防护装备	13
8.5 能力与培训	13
附录 A (资料性) 利用安全控制系统进行危险能量控制的示例	14
附录 B (资料性) 安全锁交接工作的典型示例	15

附录 C (资料性) 智能链化安全锁系统工作原理	18
附录 D (资料性) 在接通能源且有物理危险的机器上作业的指南	20
附录 E (资料性) 与遵守危险能量控制程序相关的人为因素示例	21
参考文献	22
 图 1 气动阀上的多锁搭扣	6
图 2 锁箱示例	6
图 3 机械作业挂牌示例	7
图 4 电气作业挂牌示例	7
图 5 判定是否需要带电作业的流程图	10
图 6 与作业有关的安全操作规程	12
图 C.1 智能链化安全锁系统用于锁定气动阀时的示意图	18
 表 1 典型危险能量控制方法	2
表 2 关于风险减小措施要求的指导性清单	9
表 B.1 安全锁交接工作的典型示例	15
表 B.2 公共安全锁发放和交接日志示例	16

前　　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国机械安全标准化技术委员会(SAC/TC 208)提出并归口。

本文件起草单位：南安市中机标准化研究院有限公司、合肥瑞志科技有限公司、苏州维嘉科技股份有限公司、华测检测认证集团股份有限公司、厦门市科力电子有限公司、皮尔磁电子(常州)有限公司、宁波纬诚科技股份有限公司、苏州莱恩精工合金股份有限公司、济宁科力光电产业有限责任公司、浙江凯富博科科技有限公司、深圳市湾测技术有限公司、苏州市质量和标准化院、青岛软控机电工程有限公司、浙江奥鹏工贸有限公司、嵒图汽车科技有限公司、济南铸锻所检验检测科技有限公司、奥煌检测技术服务(上海)有限公司、广汽本田汽车有限公司、福建思安智能科技开发有限公司、安士能电器(上海)有限公司、中机研标准技术研究院(北京)有限公司、山东卫禾传动股份有限公司、四川蜀兴优创安全科技有限公司、福建省闽旋科技股份有限公司、杭州鑫泽源医疗科技有限公司、山东三维重工有限公司、山西途悦选煤工程技术股份有限公司、中煤北京煤矿机械有限责任公司、东莞市迪奥数控设备有限公司、山东黄金矿业(鑫汇)有限公司、湖北华中电力科技开发有限责任公司、青岛雷悦重工股份有限公司、山东亿博光电科技有限公司、东莞市大研自动化设备有限公司、广东铨冠智能科技有限公司、山东省扬帆轴承有限公司、山东正泰工业设备安装有限公司、江西省力速数控机械有限公司、山东华恒新材料有限公司、广东华汇智能装备股份有限公司、山东阳谷顺达塑胶有限公司、迅得机械(东莞)有限公司、济南万向通机械有限公司、山东广利铁塔有限公司、山东顺发重工有限公司、余姚泰速自动化科技有限公司、青岛汽车散热器有限公司、山东利尔新材股份有限公司、东莞市鹏锦机械科技有限公司、山东日辉电缆集团有限公司、青岛华瑞丰机械有限公司、立铠精密科技(盐城)有限公司、宁波飞图自动技术有限公司、国能江苏电力工程技术有限公司、江西赣玛智能科技有限公司、深圳市配天智造装备股份有限公司、济源市丰泽特钢实业有限公司、广东铜锐锶数控技术股份有限公司、浙江三瑞汽车科技有限公司、温岭市三和数控机床设备有限公司、广东煜祺检测股份有限公司、深圳市迪尔泰科技有限公司、浙江昂华新材料有限公司、象山申达轿车配件有限公司、慈溪市大华电器有限公司、宁波亚辉智能科技有限公司、广东真宇科技有限公司、宁波欧菱电梯配件有限公司、枣庄市恒祥纸制品有限公司、东莞市谊科数控科技有限公司、沈阳永攀金属制品有限公司、广东锦亚科技有限公司、杭州泰尚智能装备股份有限公司、义乌市经龙模具有限公司。

本文件主要起草人：朱斌、刘玉富、常远、桑万永、张鹏、黄庆、李俊需、田绍状、黄之炯、戴闻杰、张秀卓、李海明、夏燕、张晶晶、陈卓贤、杨慧丽、陈国良、卢军、陈妙仁、黄飞、曲仲、秦培均、陆晓光、刘治永、付卉青、郑华婷、王秋荣、杨维生、上官永岗、包冬生、官炳政、王珍、史雁冰、孙宁、陶庆斌、雷明凯、肖大放、周建、杨斌、徐广、晏海峰、孙杰、张思沅、王继平、宋廷曾、魏震、王立军、裘珠江、杨振、隋巧光、王长海、谭军华、王敬、宋振、赵治良、马志华、施红卫、高瑞斌、周向波、吕战争、王泽强、吕文龙、赵后美、张国芳、陈永龙、王光建、柴松、张碧莹、吴春平、屈华慧、陈广成、李建、陈明珍、林坚勇、徐正方、王立华、龚丽华、张硕、吴海建、徐永斌、邓成斌、陈乃恩、汪中亨、陈家兴、殷小宇、王轶华、张磊、荆东青、徐浩智、张晓飞。

引　　言

机械安全领域标准体系由以下几类标准构成。

—— A 类标准(基础安全标准),给出适用于所有机械的基本概念、设计原则和一般特征。

—— B 类标准(通用安全标准),涉及在机械的一种安全特征或使用范围较宽的一类安全装置:

- B1 类,安全特征(如安全距离、表面温度、噪声)标准;
- B2 类,安全装置(如双手操纵装置、联锁装置、压敏装置、防护装置)标准。

—— C 类标准(机械产品安全标准),对一种特定的机器或一组机器规定出详细的安全要求的标准。

根据 GB/T 15706,本文件属于 B 类标准。

本文件尤其与下列与机械安全有关的利益相关方有关:

—— 机器制造商;
—— 健康与安全机构。

其他受到机械安全水平影响的利益相关方有:

—— 机器使用人员;
—— 机器所有者;
—— 服务提供人员;
—— 消费者(针对预定由消费者使用的机械)。

上述利益相关方均可参与本文件的起草。

此外,本文件预定用于起草 C 类标准的标准化机构。

本文件规定的要求可由 C 类标准补充或修改。

对于在 C 类标准的范围内,且已按照 C 类标准设计和制造的机器,宜优先采用 C 类标准中的要求。

本文件为机器用户提供了在各种交互作用工况下控制机器动力系统中危险能量的操作指南。



机械安全 危险能量控制 通则

1 范围

本文件规定了机器调试、正常运行和维护时危险能量控制的要求和方法。

本文件适用于按预定用途使用的固定式机器的危险能量控制。

本文件不适用于机器改造过程中的危险能量控制。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 8196 机械安全 防护装置 固定式和活动式防护装置的设计与制造一般要求

GB/T 15706—2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小

GB/T 17454(所有部分) 机械安全 压敏保护装置

GB/T 18153 机械安全 用于确定可接触热表面温度限值的安全数据

GB/T 18831 机械安全 与防护装置相关的联锁装置 设计和选择原则

GB/T 19436(所有部分) 机械安全 电敏保护设备

GB/T 19876 机械安全 与人体部位接近速度相关的安全防护装置的定位

GB/T 23821 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离

GB/T 29483 机械电气安全 检测人体存在的保护设备应用

GB/T 31523.1 安全信息识别系统 第1部分：标志

3 术语和定义

GB/T 15706—2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

隔离 isolation

安全断开机器并将其与所有危险能量分开的操作。

3.2

隔离装置 isolator

固定在隔离位置使能量实现物理分离的装置。

3.3

危险能量 hazardous energy

任何可能造成人身伤害的能量。

注：包括电气、机械、液压、气动、化学、热能、势能等。

[来源：GB/T 33579—2017, 3.9, 有修改]

3.4

上锁/挂牌 lockout/tagout; LOTO

按照既定程序在能量隔离装置上放置锁具/标牌。

注 1：该操作通常由维护或生产部门执行。

注 2：没有上锁的单独挂牌是不够安全的隔离措施。

[来源：GB/T 33579—2017, 3.11, 有修改]

3.5

机械 machinery

机器 machine

由若干个零、部件连接构成并具有特定应用目的的组合，其中至少有一个零、部件是可运动的，并且配备或预定配备动力系统。

注：术语“机械”也包括为了同一应用目的，将其安排、控制得像一台完整机器那样发挥它们功能的若干台机器的组合。

[来源：GB/T 15706—2012, 3.1]

3.6

安全操作规程 safe operation code

基于对任务的风险评估结果，为消除危险或减小风险而制定的有关安全工作方法的程序文件。

3.7

用户 user

使用/拥有机器(3.5)且需对危险能量控制有关人员的安全负责的实体。

[来源：GB/T 33579—2017, 3.13, 有修改]

4 基本要求

4.1 在机器投入使用前，用户应按照 GB/T 15706—2012 的第 5 章对机器进行风险评估，充分了解机器存在的危险能量的风险。

4.2 应根据风险评估结果确定在机器调试、正常运行和维护期间采用的危险能量控制方法。表 1 给出了机器调试、正常运行和维护期间的典型危险能量控制方法。

表 1 典型危险能量控制方法

工作阶段	交互类型	典型任务示例	典型风险减小措施 ^a	制定的文件	备注
调试	按照安全操作规程进行调试	调试机器	部分隔离、保持-运行控制、低能量、低电压、低速	安全操作规程	见第 7 章
正常运行	按照标准作业程序(SOP)进行工作	正常生产	固定式防护装置或联锁防护装置	SOP	见第 5 章
	进入联锁防护装置或保护装置防护的区域工作	清除堵塞、装卸物料	防止意外启动的安全控制	SOP	见第 5 章和附录 A
维护	局部干预、局部维护	更换电机	局部隔离、上锁/挂牌	安全操作规程	见第 6 章
	整机维护、整机清理	定期或不定期清理/维护	整机隔离、上锁/挂牌	维护程序和安全操作规程	见第 6 章
	要求机器全部或部分通电的维护	查找带电设备故障/机器人操作/调试 ^b	部分隔离、保持-运行控制；低能量、低电压、低速	安全操作规程	见第 7 章

^a 需要确定执行任务的工作人员的能力，这可能是有关风险减小措施中的主要要求(见 8.5)。

^b 所有活动均可能在调试期间进行。带电故障查找和调试可能是特别高风险的活动。

4.3 根据风险评估结果,如果允许在不需要安全隔离的情况下执行某些任务(如装载/卸载物料、检查、微调、润滑或疏通等),则应通过安全控制系统防止意外启动。执行上述任务前,机器应处于安全状态。附录 A 给出了可以利用安全控制系统进行危险能量控制的示例。

4.4 除非风险评估结果还允许其他操作,否则应在执行安全隔离后才允许进入危险区。

4.5 危险能量的风险应按下列顺序采取风险减小措施:

- a) 消除危险;
- b) 使用防护装置、保护装置等安全防护装置进行安全防护;
- c) 尽可能控制剩余风险:
 - 1) 制定并实施安全操作规程;
 - 2) 设立危险警示标志并进行人员培训。

5 机器正常运行时的危险能量控制

在机器正常运行期间,危险能量控制措施主要是防止人员意外接触机器的危险部件,例如运动部件(或可能运动的部件)、热表面以及带电导体。通常采用固定式防护装置、活动式防护装置或联锁防护装置等安全防护装置对机器进行安全防护,以防止或限制人员进入危险区。

由于危险能量不同,如机械、电气、气动、液压、惯性或势能等危险能量,应基于风险评估确定需要分别采取的危险能量控制措施。

典型安全防护装置的选择和安装应符合下列规定:

- 固定式防护装置或围栏,应符合 GB/T 8196 和 GB/T 23821 的规定;
- 联锁防护装置,应符合 GB/T 8196 和 GB/T 18831 的规定;
- 敏感保护设备,应符合 GB/T 17454(所有部分)、GB/T 19436(所有部分)、GB/T 29483 和 GB/T 19876 的规定;
- 热绝缘或电绝缘,应符合 GB/T 18153 和 GB/T 5226.1 的规定。

机器正常运行期间,用户应无法绕过防护装置触及危险区。防止上下肢触及危险区的安全距离见 GB/T 23821。

如果断开动力源之后运动部件仍然在运动,应采取安全防护措施防止在完全停止之前触及运动部件,如通过防护锁定。

6 维护时的危险能量控制

6.1 一般要求

机器维护时通常应执行隔离程序以耗散或控制所有危险能量。对于需要保留全部或部分动力的情况,见第 7 章。

隔离程序应包括以下步骤:

- a) 识别相关的机器和相邻设备;
- b) 确定所有危险能量的类型和隔离位置(见 6.2);
- c) 向所有受影响的人员传达即将进行隔离的信息;
- d) 停止需要维护的机器;
- e) 使用隔离装置断开能量(见 6.3);
- f) 锁定隔离装置(见 6.4);

- g) 在隔离区域的明显位置设置警示标志或挂牌,确认机器已被隔离且隔离有效(见 6.5);
- h) 释放或阻断任何储存的能量(见 6.6);
- i) 验证机器已切断动力源,且无其他未受控制的危险能量(见 6.7)。

注 1: 通常由机器操作者使用常规的停止控制装置来停止机器。

注 2: 上述过程通常称为上锁/挂牌(LOTO)。

注 3: 作为隔离验证的一部分,可以尝试启动机器的附加步骤,这个阶段称为上锁/挂牌的验证阶段。

执行隔离的人员应具备相应专业知识和经验,并得到正式授权。应确保只有获得授权的人员才能进行隔离操作,以满足 6.2~6.8 的要求。

对于复杂的隔离,包括不同类型的危险能量,需要各工序/专业之间的合作,应由一人负责统筹安排。

在维护(如设置、变更工艺、保养、清理、疏通等)时需要屏蔽某些安全防护装置的功能,可能需要采用替代方法或其他措施来控制危险能量。

注: 通常情况下,将机器与所有动力源隔离即可。但在某些情况下,切断动力源后机器仍然存在残余能量,如电能(电容或感应能)、机械能(弹簧或残余压力)或机器部件的势能等。

6.2 确定所有危险能量的类型和隔离位置

根据风险评估结果,执行隔离的人员应确定:

- a) 危险能量的类型和数量;
- b) 隔离这些危险能量的最合适位置和方法;
- c) 是否存在储存的能量,如果存在,确定释放或控制的方案。

已确定并存档的机器特定隔离程序文件应受控,以便能够追溯与核查程序文件的变更情况。

执行隔离的人员应目视检查机器,以确认隔离程序文件没有变化。如果特定的机器隔离程序文件有变更,则应在开始隔离前重新识别所有的危险能量。

6.3 断开危险能量

6.3.1 一般要求

机器应配备能实现以下功能的隔离装置:

- a) 将机器与所有外部危险能量安全隔离;
- b) 安全释放所有内部储存的危险能量;
- c) 阻断无法释放的残余危险能量。

6.3.2 隔离装置

6.3.2.1 隔离装置应满足以下要求:

- a) 安全可靠;
- b) 只允许手动操作;

 注: 尽量不采用液压、气动、电气或可编程电子控制的装置来隔离、释放或阻断危险能量。

- c) 永久加贴并清晰标明其功能和所隔离的机器部件的标签;
- d) 若可行,永久加贴并清晰显示其断开和接通状态位置的标签;
- e) 通过上锁或其他适当方式锁定在切断动力源的位置;
- f) 安置在合适的位置(例如,靠近机器且位于危险区之外、易于从机器上观察识别、便于从地面或平台接近)。

中断控制回路的联锁装置或其他控制装置,即使能够被锁定,也不应用作隔离装置。

注 1: 截留钥匙联锁系统是一种适宜的危险能量隔离装置,其工作原理见 GB/T 41108.3。

注 2: 接触器、具有“安全转矩取消”的变速驱动器、继电器和其他机电控制装置不适宜用来隔离危险能量。

6.3.2.2 流体动力(包括液压/气动)应使用隔离阀隔离。隔离阀应满足下列要求:

- a) 只有打开和关闭两种状态;
- b) 只能通过手动上锁限制在打开或关闭位置。

注 1: 球阀、板阀、闸阀、隔膜阀是用作危险能量隔离的阀门类型。

注 2: 控制阀不用作隔离危险能量。

6.3.3 流体动力隔离

6.3.3.1 在流体动力系统中,阀门执行机构的位置应防止流体流动。

注 1: 通常,通过专门安装用于隔离目的的直通阀实现。

注 2: 在某些情况下,工艺阀门是否用于隔离目的,取决于管道输送的流体类型(以及流体泄漏的后果)。

应将阀杆用链锁锁定,或将挂锁直接连接到阀杆臂上,以使阀门保持在完全关闭位置。

应将传递流体动力的管道相关部位内的流体排空,并使用在线压力表或专用测试仪表点(以及插入校准的测试仪表)进行检验。排放阀宜固定在打开位置。

对于气动系统,应通过隔离阀和排放阀组合排出残余气体来隔离。

对于液压系统,应使用阀门将管道中的流体隔离并手动固定到位。

6.3.3.2 由于介质的保留或耗尽可能导致危险,应专门对液压或气动动力隔离进行风险评估,其中:

- a) 介质保留——将机械部件保持在固定位置,使其保持受压状态(存在持续的储存能量的风险);
- b) 介质耗尽——消除储存能量意外移动或膨胀的风险,这可能导致部件失控移动或因重力坠落。

风险评估应确定与具体任务相关的主要危险,以及机械输出装置临时支承的适当方法(楔子、临时支柱等),并在最终采用的支承方法报告中明确说明。

在风险评估确定为高风险的情况下,如果需要长时间作业,应进行双重隔离。

6.3.3.3 由于蒸汽和热流体系统存在大量储存能量,应在作业位置上游通过两个单独的阀门对其进行双重隔离。必要时,还应隔离下游,防止回流。

流体动力隔离应包括控制蒸汽或热流体的排放,可通过确保蒸汽或热流体系统中有足够的排放点来实现。

注 1: 蒸汽和热流体的温度和压力是需要考虑的重要因素,由于快速冷却或释放,蒸汽或热流体的状态迅速变化,可能有潜在爆炸危险。

注 2: 工艺排水管通常不是密封系统,不用于蒸汽/热流体的快速排气,因为这可能导致附近人员被蒸汽烫伤。

6.4 锁定或上锁

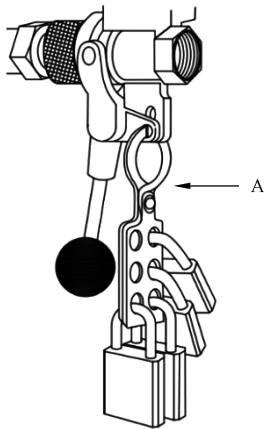
6.4.1 一般要求

锁定或上锁应通过以下人员来实现:

- a) 用户,在隔离位置安装了该用户的个人安全锁(见图 1);
- b) 负责隔离的专业人员,该人员负责将安全锁上的钥匙放入锁箱(见图 2)。

注 1: 这可能需要使用多锁搭扣来增加锁点的数量。图 1 所示的多锁搭扣通常用于单点隔离。

注 2: 锁箱配有两个上锁点,并准许每个人都能有效地将钥匙锁入箱中。图 2 所示的锁箱通常用于多点隔离。



标引序号说明：

A——搭扣。

注：本图中，只有 4 人都打开并取下各自的挂锁后，才能松开搭扣并操作阀门手柄，否则会发生危险。

图 1 气动阀上的多锁搭扣

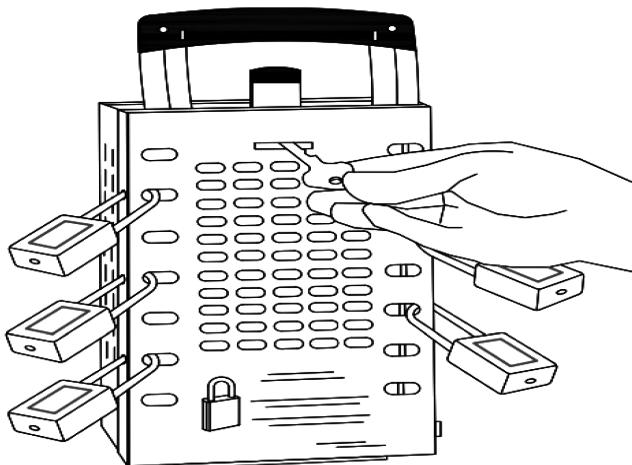


图 2 锁箱示例

6.4.2 安全锁及其钥匙

6.4.2.1 一般要求

个人的安全锁应按人数情况发放，并由领取者保管。共用的安全锁，即公共安全锁应仅在需要时才发放。

所有安全锁均应有各自的标识。

注：在个人的安全锁上注明其所有者或者在公共安全锁上注明部门是一种有效的措施。

安全锁只能使用一把钥匙打开。作业时，钥匙应由相应安全锁的人员控制。

应制定书面程序文件，给出在钥匙丢失或无法取下安全锁的情况下安全地移除安全锁的方法。该程序文件应由能够判定开锁是否安全的资质人员签字授权。

6.4.2.2 公共安全锁

公共安全锁均应单独存放在只有授权人员才能使用的位置，并有发放和交接的记录。

附录 B 给出了公共安全锁发放和交接日志的示例。

6.4.3 智能链化安全锁系统

对于没有锁孔的能量隔离装置,如压缩空气的球阀开关、闸阀开关等,可采用智能链化安全锁系统进行上锁。智能链化安全锁系统应满足以下要求:

- 通过钢丝绳与锁具模块锁定一个或多个隔离装置;
- 钢丝绳或锁具模块都应具备防破坏功能;
- 通过人体生物特征识别(如指纹、人脸)或 RFID 卡等授权方式解锁锁具模块;
- 能够记录和可视化显示授权人员信息、锁具编号和状态等信息;
- 断电或电量不足时,系统能自动锁定,并触发报警提示;
- 必要时,能实现远程授权解锁。

附录 C 给出了智能链化安全锁的示意图和工作原理。

6.5 挂牌

挂牌可以是警示标志、标牌或标签,也可以是它们的组合,示例见图 3 和图 4。

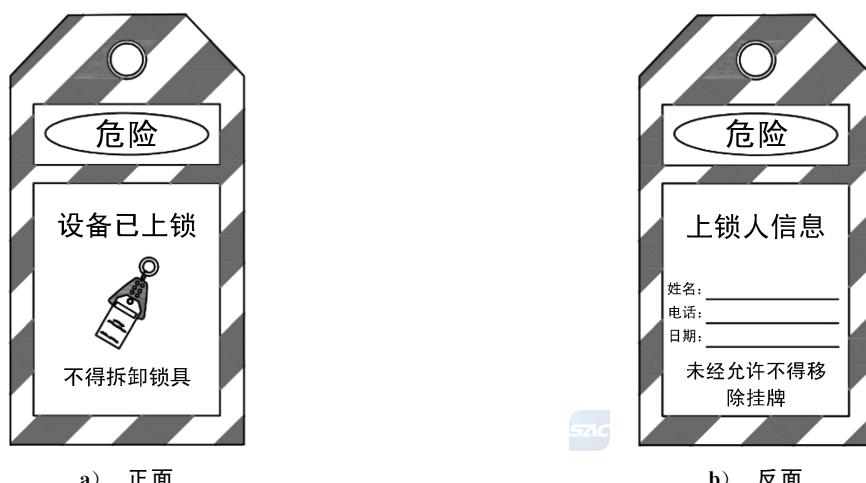


图 3 机械作业挂牌示例



注: 电气作业挂牌正反面一致。

图 4 电气作业挂牌示例

警示标志、识别标牌或标签上应至少标明下列信息:

- 执行隔离操作人员的姓名和联系方式;
- 隔离时间与日期。

注: 用于机械隔离的警示标志通常称为危险标志,但是对于电气作业,用于指示隔离的标志称为警示标志。然而电气作业的警示标志是用于警示隔离后设备仍然带电。

6.6 储存能量的释放和/或阻断

执行隔离操作的人员应采取措施安全地释放所有危险的储存能量,例如:

- 将电容器放电;
- 释放加压系统的下游压力;
- 将位于高处的部件降到低处;
- 排出所有带压力的流体。

对于不可能完全释放储存能量的机器,应采取措施阻断/隔离能量,使其在干预期间不能对人员造成伤害或损坏机器。

6.7 机器正确断开能源的验证

对作业活动风险评估后,应制定安全操作规程并说明所需的隔离类型和验证。

通常使用启动按钮操作机器来检查隔离是否成功。作为预防措施,完成验证后按下停止按钮。

当使用安装在设备上的控制面板时,如“通电”灯或电压表,作为验证项目的一部分,在执行隔离之前应检查设备是否正常。

如果安全操作规程要求由合格的电气人员执行隔离(风险评估要求或按计划进行电气作业时),验证应包括证明导体不带电。

6.8 机器重新接通能源

机器重新接通电源前应满足下列所有条件:

- a) 已完成重新接通能源前所有需要进行的检查和测试;
- b) 所有人员和工具已远离机器;
- c) 所有安全防护装置已复位;
- d) 已告知所有受影响的人员即将重新接通能源的信息;
- e) 已移除所有的锁具和挂牌(必要时);
- f) 所有能源已按正确的顺序重新连接到机器上;
- g) 已验证安全操作。

6.9 交接工作

如果要执行的作业超出班次时间,或作业未完成,应执行事先制定的有关交接工作的程序,并填写记录,确保作业处于安全状态。

注:附录B给出了交接工作的示例。

6.10 隔离管理

应定期进行监督和审查,以确保授权人员能够正确地执行隔离程序,以及现有程序的正确性与符合性。

7 机器接通所有能源或部分能源的维护和调试



7.1 一般要求

对需要接通所有能源或部分能源的机器进行维护和调试前,应优先采用完全隔离机器危险能量的方式。在需要接通能源的情况下,危险能量的风险应通过以下方式减小到可接受水平:

- a) 合适的设计方法(将潜在危险能量降低到可接受水平);
- b) 附加防护或临时性防护;
- c) 使用个体防护装备;
- d) 提供机器的技术文件(如图纸、使用信息和安全操作规程);
- e) 确认相关人员的能力是可以胜任的。

应对维护和调试进行风险评估,并给出风险评估报告(7.2)和书面授权。

在接通能源且有物理危险的机器上作业的指南见附录 D。

7.2 风险评估报告

风险评估报告应至少提供下列信息:

- a) 作业地点或操作的机器;
- b) 作业限制的准确描述;
- c) 已存在或可能存在的危险;
- d) 不能隔离机器能源的原因;
- e) 用于避免危险的控制措施;
- f) 作业人员能力;
- g) 剩余风险。

如果风险评估报告给出了风险减小措施,则应评价其实施后的效果。

表 2 给出了典型作业的示例,并提示性的给出了相应的风险减小措施。

表 2 关于风险减小措施要求的指导性清单

风险减小措施	典型作业示例	
	带电电气设备故障查找	机器人训练
设计考虑	外壳防护等级达到 IP2X 或 IPXXB 使用超低电压 快速有效的隔离方法 清晰的标记 机器内部清洁,无灰尘或液体进入 周围无其他危险 机器在光线充足的地方容易接近	控制装置的恰当定位 采用受限的控制模式和双手操纵 降低速度、功率/力/扭矩 有限的运动控制 限制进入危险区 急停装置触手可及
文件要求	风险评估报告 作业许可证 安全操作规程 最新的图纸	风险评估报告 作业许可证 安全操作规程 最新的图纸
个体防护装备	护目镜和手套	安全帽或防撞帽 高可见度服装
能力	√	√
注:“√”表示需要人员具备相关的能力。		

7.3 机器的电气维护

在带电作业前应按 GB/T 15706—2012 进行风险评估,以确定带电作业的风险水平和带电作业的必要性与合理性。只有经风险评估确定带电作业的风险水平可以接受,或者带电作业是为完成特定任

务的必要条件,才能进行带电作业。图 5 给出了判定是否需要带电作业的流程图。

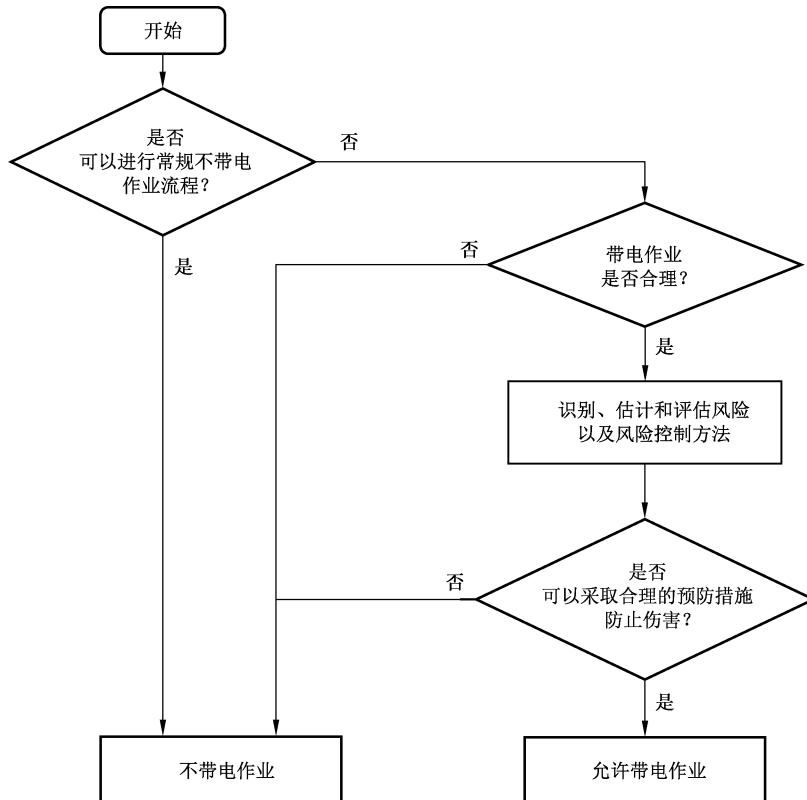


图 5 判定是否需要带电作业的流程图

一般情况下,不应在带电导体上或其附近作业,特别是不应在特低电压以上的带电导体上或附近作业。

如果确定需要在特低电压以上的带电导体上或附近作业,则除应满足 7.1 的要求之外,还应满足以下要求。

a) 在带电导体上,应仅限于:

- 1) 测量电路中的参数,例如故障查找、调试,但不应带电进行对任何已识别故障的维修工作;
- 2) 检测是否带电。

b) 带电导体附近,应仅限于:

- 1) 观察设备的运行情况;
- 2) 使用专用仪器调整预设控制;
- 3) 重置保护装置。

对于其他电气维护工作,应隔离带电导体。

7.4 流体动力系统

流体动力系统的部件安装、维护、改造、修理或更换完成后,应对系统进行压力测试,以验证其整机性能。压力测试通常涉及危险能量,试验时应进行风险评估,并遵循安全操作规程。

注: 尽管已知的严重液压喷射事件通常压力超过 10 MPa,但有证据表明低至 0.7 MPa 的压力仍可能发生液压喷射伤害。

7.5 需要机器全部或部分通电的检查和测试

如果需要机器全部或部分通电进行检查和测试,则应按以下步骤进行:

- a) 确认已完成通电前需要进行的所有检查和测试；
- b) 所有不参与带电检查和测试的人员均已离开机器；
- c) 与带电检查和测试无关的机器部件的安全防护装置已就位并牢固固定；
- d) 向所有受影响的人员通告即将通电的信息；
- e) 移除需要通电的隔离位置的锁具和挂牌；
- f) 重新接通待检查和测试的机器部件的电源；
- g) 在部分或全部通电的情况下完成检查和测试；
- h) 检查和测试完成后，恢复所有剩余的安全防护装置；
- i) 移除所有剩余的锁具和挂牌；
- j) 重新连接所有剩余的能源；
- k) 验证安全运行。

7.6 机器调试

7.6.1 一般要求

机器调试时,由于机器在安全防护装置无法正常使用或其安全功能被屏蔽的工况下运行,且需要机器全部或部分接通能源。因此,调试属于高风险作业。

调试人员应按 8.5 进行培训,并熟悉机器的风险评估和潜在的失效模式。

调试期间,应结合安全防护装置的具体情况,制定调试安全操作规程。

应对机器调试作业进行风险评估,并至少包括以下内容:

- a) 确定完成调试所需的作业；
- b) 识别作业所需的危险能量；
- c) 识别机器预期和意外动作产生的潜在危险；
- d) 识别可用的安全防护装置；
- e) 识别无法使用的安全防护装置。



应根据风险评估结果提出风险减小措施,包括:

- 对作业区域进行物理隔离,仅允许授权人员进入；
- 控制作业所需的危险能量；
- 确定合适的作业程序。

7.6.2 调试计划

调试计划应有具体的责任人。责任人应对计划负责,并提供从实施、进度到完成和审查的明确责任及分工。

应定期召开会议审查调试作业,以便责任人能够将信息传达给现场人员。

如果无法对作业进行准确规划或排序,则应增加会议的内容和频次。

计划变更应反映在项目计划中,并传达给所有相关方。

责任人应定期对调试过程进行审查,以确认是否遵守了相关制度,以及采取预防措施对相应任务是否有效。责任人应负责确保安全操作规程得到严格执行。

如果调试过程涉及多人,则调试计划应包括:

- a) 制定与相关方沟通的机制；
- b) 定期召开计划和协调会议；
- c) 审查进度；
- d) 审查现场条件变化是否需要风险评估。

8 使用信息、组织措施、安全操作规程和培训

8.1 一般要求

只有在设计、安全防护和补充保护措施得到充分实施后,才能使用用于风险减小的使用信息、组织措施和个体防护设备。

8.2 使用信息

使用信息包括以下形式:

- 机器上的信息,如警示标志、指示信号和警告装置;
- 机器以外的信息,如操作、维护和安全手册、图纸/零部件清单和培训文件。

警示标志应满足下列要求:

- a) 符合 GB/T 31523.1 的规定;
- b) 标志上的语言文字和图形符号清晰易懂。

8.3 组织措施

组织措施应包括:

- a) 安全管理架构明确的安全管理措施;
- b) 机构和职责;
- c) 安全操作规程。

安全操作规程应结合作业的风险水平制定(见图 6)。

注:通常,作业越被动风险越大,并且需要机器接通能源的作业也会比正常情况风险更高。

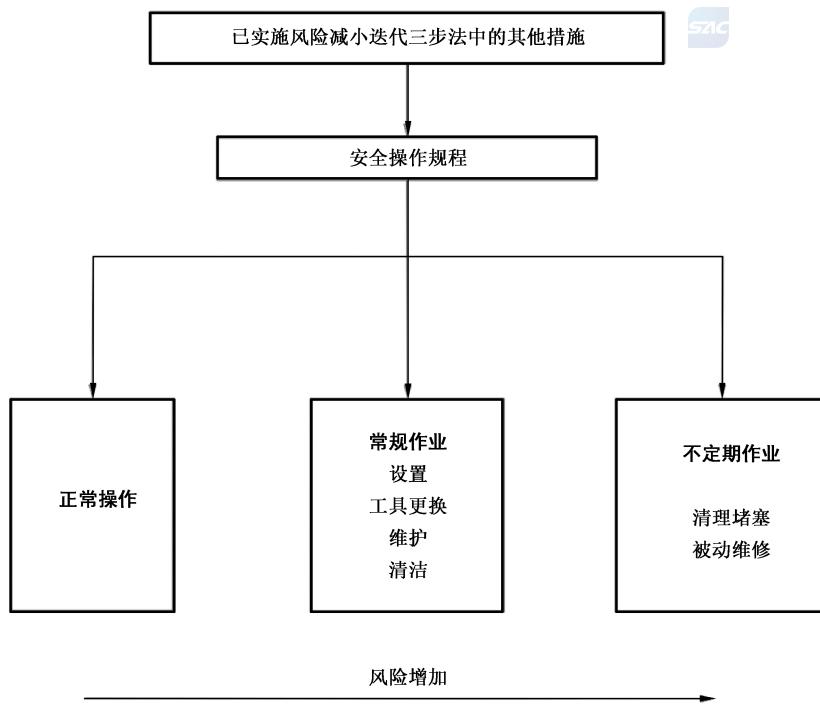


图 6 与作业有关的安全操作规程

8.4 个体防护装备

个体防护装备的使用应通过风险评估来确定。

8.5 能力与培训

8.5.1 能力

为提高人员的作业能力,保护人员的安全,应结合相关人员的能力为其提供足够的培训。

作业人员应具备执行作业相应的知识与经验,包括:

- a) 充分了解机器和系统的危险和失效模式;
- b) 了解并理解实际作业情况;
- c) 具备良好的沟通能力;
- d) 对自己在知识、经验和资源等方面的局限性有良好的认知。

8.5.2 培训

参与危险能量控制的人员应接受以下培训:

- a) 进行危险能量控制时的典型危险;
- b) 危险能量控制所涉及机器的失效模式;
- c) 风险评估方法;
- d) 有关危险能量控制失效的因素。

与遵守危险能量控制程序相关的人为因素的示例见附录 E。

应保留培训记录,确认培训已完成并得到理解。

应定期检查培训效果,确保其具有相关性和时效性。

应定期进行再培训,确保掌握所学到的知识。



附录 A

(资料性)

利用安全控制系统进行危险能量控制的示例

A.1 概述

在对机器进行作业时,安全联锁功能依靠控制装置(如位置开关、安全继电器和接触器)使机器进入并保持安全状态,但这类控制装置有时会发生故障,因此安全控制系统的设计人员需进行完整性设计,用以表示安全控制系统的可靠性水平。安全控制系统的完整性用于衡量其所实现的风险减小的效果,通常以性能等级(PL)或安全完整性等级(见 SIL)来表示。

注:关于性能等级和安全完整性等级的更多信息,见 GB/T 16855.1 和 GB 28526。

具体作业的风险评估表明,不同的任务需要安全控制系统减小风险的等级也不同。风险越高需要安全控制系统更可靠。因此,根据机器安全控制系统的完整性对每项作业进行评估,确认其具备所需要的可靠性。

对于长时间的作业或可能全身进入危险区的情况,通常需要可靠隔离。

对于短时间的小型任务,如果活动可以在无需全身进入危险区的情况下轻松快速完成,且不存在暴露的危险部件产生持续的危险状态,或者防护装置被关闭或不存在旁路的风险时,则通过联锁来实现危险能量控制。

除非风险评估允许,否则在执行安全隔离后进入危险区。

A.2 小型任务

小型任务是指在机器标称性能范围内进行的常规的、重复的任务,该任务是机器功能的一个组成部分。小型任务通常在机器正常运行时进行,定期干预的需求是可预见的。

小型任务具有以下典型特征:

- a) 单人任务;
- b) 持续时间短;
- c) 性质上相对次要;
- d) 在每班、每天或每周内频繁发生;
- e) 通常由操作、设置或维护人员执行;
- f) 不需要大量拆卸;
- g) 预先确定的周期性活动;
- h) 预计定期发生;
- i) 最小限度地中断生产过程;
- j) 即使达到最佳工艺水平仍然需要;
- k) 需要针对具体任务的人员进行培训。

小型任务的示例包括:

- 清理松散或放错位置的产品、材料或包装;
- 检查机器状态、评估堵塞情况;
- 在指定润滑点润滑机器部件;
- 在机器停止时调整机器设置;
- 清理轻微的堵塞;
- 补料。

附录 B
(资料性)
安全锁交接工作的典型示例

B.1 概述

当隔离时间超过一个班次或控制隔离的人员变更时,使用安全锁交接文件。

安全锁交接工作典型示例见表 B.1。

表 B.1 安全锁交接工作的典型示例

工作状态	典型步骤	
	交班工人	接班工人
交班工人交给接班工人 (使用公共安全锁)	在工作开始时,按程序使用公共锁进行隔离,在公共安全锁发放日志中记录安全锁的发放情况,并将钥匙放在自己身上	—
	向接班工人口头报告	收到交班工人关于工作状态的口头报告
	将安全锁钥匙当面交给接班的工人,并在公共安全锁发放日志中记录	接收公共安全锁钥匙。 在开始工作前检查所有安全防护措施是否足够
作业没有完成 (使用公共安全锁)	未完成状态下离开工作时,公共安全锁留在隔离位置。将工作状态记录在公共安全锁发放日志中,并将钥匙返还	—
恢复作业 (使用公共安全锁)	—	查阅交班工人的工作记录。 取钥匙并记录在公共安全锁发放日志中。 在开始工作前检查所有安全防护措施是否足够
交班工人交给接班工人 (使用个人安全锁)	在工作开始时,使用个人安全锁来确保隔离	—
	向接班工人作口头报告	收到交班工人关于工作情况的口头报告
	取下个人安全锁	交班工人把个人安全锁放在隔离位置。 在开始工作前检查所有安全防护措施是否足够
作业没有完成 (使用个人安全锁和公共安全锁)	在工作开始时,使用个人安全锁来确保隔离 当工人在未完成的状态下离开工作时,从安全锁钥匙盒处拿到安全锁,并记录在公共安全锁日志中,工人还要记录工作情况。 安全锁的钥匙保持在安全锁钥匙盒中。 工人用新发放的公共安全锁替换其个人安全锁	—

表 B.1 安全锁交接工作的典型示例 (续)

工作状态	典型步骤	
	交班工人	接班工人
恢复作业 (使用个人安全锁或公共 安全锁)	—	<p>选项 1 使用公共安全锁 当工作未完成时,阅读交班工人写的工作记录。 取下安全锁的钥匙,将工作情况记录在公共安全锁发放日志中。 在开始工作前检查所有安全防护措施是否足够</p> <p>选项 2 使用个人安全锁 取下公共安全锁的钥匙,并用个人安全锁代替公共安全锁。 返还公共安全锁和钥匙并记录在公共安全锁发放日志中。 在开始工作前检查所有安全防护措施是否足够</p>

B.2 公共安全锁

公共安全锁使用公共安全锁发放日志表(见表 B.2)交接并记录。

当隔离作业可能长时间无人看管时,宜使用公共安全锁发放日志表,即使是同一个人恢复作业,也宜使用公共安全锁发放日志表。

B.3 公共安全锁使用指南

为每项任务单独制定日志表(见表 B.2),在表中记录作业位置、机器信息和交接内容。

恢复工作的人员宜在开始工作前执行完成的隔离程序,以便重新建立自行隔离,包括始终将安全锁的钥匙置于他们的控制下。

如果是口头交接,则交接工作的人员宜在记录表上予以确认,并由接管人在日志表上签字确认。

如果工作未完成,则恢复工作的人员需要完成下一个交接部分,如果完成,返还钥匙,则完成钥匙返还部分。钥匙返还后,表单将被存档。

如果超过 3 次交接,则启用新表。

表 B.2 公共安全锁发放和交接日志示例

本日志表可以用作预定公共安全锁和交接已完成隔离的机器	
基本 信 息	作业地点/机器信息:
	安全锁编号:
	姓 名:
	签 字:
时间:	日期:

表 B.2 公共安全锁发放和交接日志示例 (续)

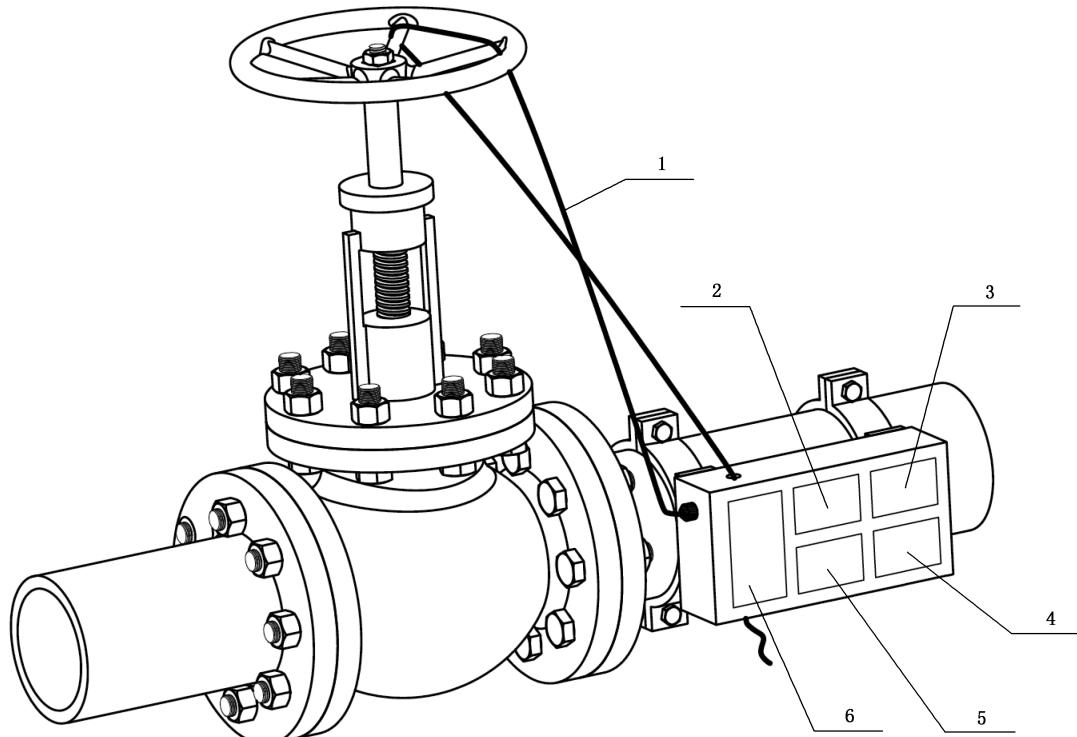
工作未完成,需要在以下位置隔离			
交接单 1	是否完成口头交接? 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
	剩余作业的详细描述(包括潜在的危险): 		
	姓 名:	签 字:	时间: 日期:
	恢复作业 1: 		
	姓 名:	签 字:	时间: 日期:
交接单 2	是否完成口头交接? 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
	剩余作业的详细描述(包括潜在的危险): 		
	姓 名:	签 字:	时间: 日期:
	恢复作业 2: 		
	姓 名:	签 字:	时间: 日期:
交接单 3	是否完成口头交接? 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
	剩余作业的详细描述(包括潜在的危险): 		
	姓 名:	签 字:	时间: 日期:
	恢复作业 3: 		
	姓 名:	签 字:	时间: 日期:
如果三次交接之后仍未完成作业,需提交新的交接单			
归还	归还安全锁:  安全锁编号: 姓 名: 签 字: 时间: 日期:		

附录 C
(资料性)
智能链化安全锁系统工作原理

C.1 概述

对于没有锁孔的能量隔离装置,如压缩空气的球阀开关、闸阀开关等,采用链化锁进行上锁能达到可靠地隔离能量的目的。智能链化安全锁系统还能实现远程授权通过人体生物特征识别等方式锁定或解锁,并在钢丝绳或锁具模块被破坏时、断电或电量不足时声光报警提示。

图 C.1 给出了智能链化安全锁系统用于锁定气动阀时的示意图。



标引序号说明:

- 1——钢丝绳;
- 2——主控模块;
- 3——身份识别模块;
- 4——电池模块;
- 5——报警模块;
- 6——锁具模块。

图 C.1 智能链化安全锁系统用于锁定气动阀时的示意图

C.2 工作原理

智能链化安全锁系统主要由 5 个模块组成:锁具模块、身份识别模块、主控模块、报警模块和电池模块。各模块的功能如下。

- a) 锁具模块根据主控模块的指令用机械结构实现柔性钢丝绳的拉紧锁定,出现模块断电或电量

不足应自动锁紧且向主控模块报警。

- b) 身份识别模块可实现由指纹、虹膜、人脸识别等操作人员的身份识别,发送到主控模块进行是否被授权比对。
- c) 主控模块可实现与危险能量控制中央控制系统联系,获取人员的授权信息(一人或多人)并发出程序规定的被授权操作指令。

注:主控模块还能实现信息记录,如时间、人员、操作、锁具状态等。

- d) 报警模块实现异常报警,通知中央控制中心立即处理。异常情况示例如下:
 - 钢丝缆绳没有连接牢固;
 - 钢丝缆绳断开;
 - 模块断电或电量不足;
 - 非授权人员试图操作等。
- e) 电池模块为智能链化安全锁系统提供工作需要的能量。



附录 D

(资料性)

在接通能源且有物理危险的机器上作业的指南

D.1 设置、示教、过程转换、故障查找、清洁或维护的特殊控制模式

对于需要机器接通能源的设置、示教、过程转换、故障查找、清洁或维护作业,由于以下原因可能导致危险:

- 不得不更换或移除防护装置;
- 屏蔽保护装置;
- 暂停其他安全措施。

此时,宜同步采用以下特殊控制模式来维持安全。

- a) 禁用其他所有控制装置。
- b) 仅在下列情况下允许操作机器的危险部件:
 - 1) 通过连续驱动使能装置;
 - 2) 风险已减小,例如降低速度、减小功率/力/扭矩、限制运动。
- c) 通过机器的传感器主动或被动地防止危险操作。

这种特殊控制模式宜与下列一项或多项措施结合使用:

- 在合理可行的范围内限制进入危险区;
- 急停装置位于危险区内可立即触及的位置;
- 采用便携式控制单元(示教器)和/或本地控制装置(允许清楚查看机器的受控部件)。

D.2 模式选择

模式转换不宜产生危险。

模式选择器通过机械方式切换时,每个位置都能锁定。

可以使用其他方式,例如密码。宜采取措施防止密码泄漏,例如定期更改。



附录 E
(资料性)
与遵守危险能量控制程序相关的人为因素示例

导致个人忽视安全说明或危险能量控制程序的因素主要包括：

——诱使个人忽视安全说明或危险能量控制程序：

- 个体敏感性；
- 相信如果有经验风险就会最小；
- 破坏安全控制措施被视为“常识”；
- 对减小风险的原因或方法一知半解；
- 对危险能量控制持消极态度；
- 认为危险能量控制只是作秀；
- 危险能量控制妨碍了工作。

——诱使出现不安全行为：

- 设备设计不佳；
- 人机接口不良；
- 危险能量控制方法不可用或不切实际；
- 对作业的要求使得危险能量不切实际；
- 缺乏危险能量控制相关培训；
- 有时认为对操作者的安全而言，不需要危险能量控制；
- 缺乏全员定期参与的安全相关讨论。

——加剧不安全行为：

- 对使用危险能量控制缺乏明显的管理投入；
- 制定了正式的危险能量控制程序，但多数情况下破坏或不遵守程序被视为“惯例”；
- 管理层有时对不进行危险能量控制或危险能量控制方法有误均“视而不见”；
- 不进行危险能量控制可能会带来经济上的好处；
- 对不进行危险能量控制或危险能量控制方法有误缺乏一致的处罚；
- 安全文化建设不足。



参 考 文 献

- [1] GB/T 16855.1 机械安全 控制系统安全相关部件 第1部分:设计通则
 - [2] GB/T 19670 机械安全 防止意外启动
 - [3] GB/T 23821 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离
 - [4] GB 28526 机械电气安全 安全相关电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全
 - [5] GB/T 33579—2017 机械安全 危险能量控制方法 上锁/挂牌
 - [6] GB/T 41108.3 机械安全 联锁装置的安全要求 第3部分:截留钥匙联锁装置及系统
-



