

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

WH

中华人民共和国文化行业标准

XX/T XXXXX—XXXX

代替 XX/T

舞台机械 控制系统安全要求

Stage machinery Safety requirements for control system

（征求意见稿）

（本草案完成时间：）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 通用要求 3

 4.1 通则 3

 4.2 物理环境与运行条件 4

5 电气设备及控制电路 4

 5.1 通则 4

 5.2 电气设备的保护 4

 5.3 切断电源的措施 4

 5.4 电击保护 5

 5.5 急停功能 5

 5.6 提供冗余 5

 5.7 操纵装置 5

 5.8 使能装置 5

 5.9 无线操纵装置 5

6 安全功能和安全保护（装置） 6

 6.1 通则 6

 6.2 急停功能 6

 6.3 安全制动控制 6

 6.4 速度监控保护 6

 6.5 安全位置监控 7

 6.6 运行方向保护 7

 6.7 编组保护 7

 6.8 程序互锁保护 7

 6.9 超载保护 7

 6.10 欠载或松绳保护 7

 6.11 乱绳保护 7

 6.12 防挤压和防剪切保护 7

 6.13 防碰撞保护 7

 6.14 超行程保护 8

 6.15 防止形成危险区域 8

 6.16 防止进入危险门 8

7 安全验证 8

 7.1 通则 8

 7.2 安全功能的屏蔽 8

 7.3 功能安全系统的验证和确认 9

8 使用信息 9

 8.1 电气标牌 9

 8.2 安全标志 9

 8.3 技术资料 9

附录 A（资料性） 用例定义 12

 A.1 概述 12

 A.2 台上机械 12

 A.3 台下机械——升降 12

 A.4 台下机械——平移 13

附录 B（资料性） 推荐的安全功能和措施 1

 B.1 概述 1

 B.2 台上机械 1

 B.3 台下机械——升降 1

 B.4 台下机械——平移 2

参考文献 3

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。

本文件参考了欧洲标准EN 17206:2020《娱乐技术—舞台和其它作业区域的机械—安全要求与检测》（英文版）（Entertainment technology – Machinery for stages and other production areas –Safety requirements and inspections），GB/T 12668.502-2013/IEC 61800-5-2:2007《调速电气传动系统 第5-2部分：安全要求 功能》，并整合行业标准WH/T 28-2007《舞台机械 台上设备安全》、WH/T 36-2009《舞台机械 台下设备安全要求》中的必要内容，同时结合我国舞台机械行业发展的实际情况而制定。

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。

本文件由中华人民共和国文化部提出。

本文件由全国剧场标准化技术委员会（SAC/TC388）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

舞台机械 控制系统安全要求

1 范围

本文件适用于设置在各种演出场所的舞台机械，这些场所包括专业剧场、多用途剧场、多功能剧场、音乐厅、露天剧场等室内外演出场所，以及供演出和集会活动的各种其它场所。

所述舞台机械主要用于通过悬吊、升降、平移及旋转等方式运载景物或道具，也可用于载人；或人员可处于这些静止或载物运动的设备下方活动。

本文件不适用于刚性防火隔离幕、电动葫芦、运景吊机的设计或控制。

临时使用搭建的及杂技用的机械装置可参照本文件。

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 2894-2008 安全标志及其使用导则

GB/T 5226.1-2019/IEC 60204-1:2016 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 5226.32-2017/IEC 60204-32:2008 机械电气安全 机械电气设备 第32部分：起重机械技术条件

GB 8702-2014 电磁环境控制限值

GB/T 12668.502-2013/IEC 61800-5-2:2007 调速电气传动系统 第5-2部分：安全要求 功能

GB/T 13306-2011 标牌

GB/T 14048.5-2017 低压开关设备和控制设备 第5-1部分：控制电路电器和开关元件 机电式控制电路电器

GB/T 15706-2012/ISO 12100:2010 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小

GB/T 16754-2021/ISO 13850:2015 机械安全 急停功能 设计原则

GB/T 16855.1-2018/ISO 13849-1:2015 机械安全 控制系统安全相关部件 第1部分：设计通则

GB/T 16855.2-2015/ISO 13849-2:2012 机械安全 控制系统安全相关部件 第2部分：确认

GB/T 16895.19-2017/IEC 60364-7-702:2010 低压电气装置 第7-702部分：特殊装置或场所的要求 游泳池和喷泉

GB/T 17215.911-2011/IEC/TR 62059-11:2002 电测量设备 可信性 第11部分：一般概念

GB/T 17799.2-2023 电磁兼容 通用标准 第2部分：工业环境中的抗扰度标准

GB/T 18268.31-2022/IEC 61326-3-1:2017 测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求 第31部分：安全相关系统和预期执行安全相关功能（功能安全）设备的抗扰度要求 一般工业应用

GB/T 20002.4-2015 标准中特定内容的起草 第4部分：标准中涉及安全的内容

GB/T 20438.1~20438.7-2017/IEC 61508-1~61508-7:2010 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全

GB/T 30174-2013 机械安全 术语

GB/T 36727-2018 舞台机械 验收检测规范

WH/T 35-2022 舞台机械 术语

IEC 62061:2021 机械安全 安全相关的电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全（Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems）

3 术语和定义

GB/T 30174-2013、GB/T 15706-2012/ISO 12100:2010和WH/T 35-2022中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

控制电路 control circuit

用于舞台机械运行控制和电源电路保护的电路。

3.2

可控停止 controlled stop

停止过程中保持舞台机械执行机构电源的一种机械停止。

[来源：GB/T 5226.32-2017/IEC 60204-32:2008 3.12，有修改]

3.3

不可控停止 uncontrolled stop

通过切除机械执行机构的电源来停止舞台机械的运动。

注：本术语并不意味着对其它（例如非电气）停止器件做出任何的具体规定，如超出本部分范围的机械或液压式刹车机构。

[来源：GB/T 5226.32-2017/IEC 60204-32:2008 3.69，有修改]

3.4

多样性 diversity

执行一个要求功能的不同方法。

注：可用不同的方法或不同的设计途径来达到多样性。

[来源：GB/T 20438.4-2017/IEC 61508-4:2010 3.3.7]

3.5

冗余 redundancy

系统中具有一种以上的手段执行同一规定功能。

[来源：GB/T 17215.911-2011/IEC/TR 62059-11:2002 3.16]

3.6

共因失效 common cause failure

在多通道系统中由一个或多个事件导致的引起两个或多个独立通道同时失效，从而导致系统失效的一种失效。

[来源：GB/T 20438.4-2017/IEC 61508-4:2010 3.6.10]

3.7

保护措施 protective measure

用于实现风险减小的措施，这些措施由下列人员实施：

- 设计者（本质安全设计、安全防护和补充保护措施、使用信息）；
- 使用者（组织措施：安全工作程序、监督、工作许可制度；提供和使用附加安全防护装置；使用个体防护装备；培训）。

[来源：GB/T 15706-2012/ISO 12100:2010，3.19]

3.8

编组同步容差 group synchronization tolerance

编组内相对于另一台设备位置所允许的偏差。

3.9

安全功能 safety function

针对特定的危险事件，为实现或保持受控设备的安全状态，由电气/电子/可编程电子安全相关系统或其它风险降低措施实现的功能。

示例：安全功能的例子包括：

- 在要求时执行的功能，作为一种主动行动以避免危险状况（如关闭电机）；和
- 采取预防行为的功能（如防止马达启动）。

[来源：GB/T 20438.4-2017/IEC 61508-4:2010 3.5.1]

3.10

安全完整性等级 safety integrity level (SIL)

一种离散的等级（四种可能等级之一），用于规定分配给电气/电子/可编程电子安全相关系统的安全功能的安全完整性要求。安全完整性等级4是最高的，而安全完整性等级1是最低的。

[来源：GB/T 20438.4-2017/IEC 61508-4:2010 3.5.8，有修改]

3.11

性能等级 performance level (PL)

用于规定控制系统安全相关部件在预期条件下执行安全功能的离散等级。

[来源：GB/T 16855.1-2018/ISO 13849-1:2015]

注：PL_r指所需的性能等级。

3.12

本质安全设计 inherently safe design

通过改变机器设计或工作特性，而不是使用防护装置或保护装置来消除危险或减小与危险相关的风险的保护措施。

[来源：GB/T 30174-2013 2.19，有修改]

3.13

可容许风险 tolerable risk

按当今社会价值取向在一定范围内可以接受的风险。

[来源：GB/T 20002.4-2015, 3.15]

注：在本文件中，“可接受风险”和“可容许风险”被视为同义词。

4 通用要求

4.1 通则

4.1.1 在设计舞台机械控制系统时，应确定设备的各种限制（包括预定的使用和任何可合理预见的误用）并识别所有可预见的危险及其伴随的危险状态，再逐一进行风险评估，评估后应针对不可接受风险制定相应的安全要求和/或风险减小措施，最终实现可容许风险的目的。

4.1.2 根据 IEC 62061:2021 和/或 GB/T 16855.1-2018/ISO 13849-1:2015 的要求，通过对设备的风险评估，确定电气控制电路所需的安全完整性等级 SIL 或性能等级 PL_r。

4.1.3 根据所需的 SIL 或 PL_r 选择合适的安全措施和防护装置，确保暴露于相关危险中的人员达到可接受风险水平。

4.1.4 危险识别与风险评估工作应由具备专业能力的人员承担。

4.1.5 舞台机械控制系统不应通过矩阵切换的方式实现一个变频器控制多个不同的设备。

4.1.6 在设计和安装本文件所述机械设备的控制系统时，应遵守：

——GB/T 5226.1-2019/IEC 60204-1:2016 或 GB/T 5226.32-2017/IEC 60204-32:2008 中关于：

- 设备选型；
- 电源；
- 物理环境和运行条件；
- 进线电源导体端子；
- 连接外部保护接地系统的端子；
- 电源切断（隔离）装置；
- 防止意外启动的关断装置；
- 切断电气设备的装置；
- 防止未经授权、疏忽和/或错误连接的保护；
- 相序保护；
- 等电位联结；
- 控制电路和控制功能；
- 控制和使能装置；
- 无线控制装置；
- 失效时的安全功能和控制功能；
- 启动和停止装置及指示器；

- 紧急切断装置；
- 导体和电缆；
- 配线；
- 电动机及相关设备；
- 配件和照明；
- 电气设备技术文件。

——对于功能性安全相关主题，应遵守：

- GB/T 20438-2017/IEC 61508:2010（所有部分）；
- GB/T 16855.1-2018/ISO 13849-1:2015；
- GB/T 16855.2-2015/ISO 13849-2:2012；
- GB/T 12668.502-2013/IEC 61800-5-2:2007；
- IEC 62061:2021。

注：本文件中术语“电气”包含电气和电子（如：“电气设备”同时指电气和电子设备）。

4.2 物理环境与运行条件

4.2.1 电磁兼容性（EMC）

控制台不应超过GB 8702-2014规定的EMC排放限值，并应满足GB/T 17799.2-2023规定的EMC抗扰度要求。

- a) EMC 排放的测量方法和限值见 GB 8702-2014，EMC 抗扰度的测量方法见 GB/T 17799.2-2023；
- b) 应将满足上述要求所需的任何特殊措施告知用户（如使用屏蔽或专用电缆）；
- c) 用于执行安全相关功能的设备应符合 GB/T 18268.31-2022/IEC 61326-3-1:2017 的要求。

4.2.2 环境温度和湿度

所有电气设备的设计和选择应在预期的环境条件下正确运行。在电气机房及控制室应提供除湿设备或空调，以避免有害影响。

5 电气设备及控制电路

5.1 通则

5.1.1 电气设备包括但不限于：构成设备一部分的材料、配件、装置、器件、器具、固定装置和仪器。

5.1.2 舞台机械设备的控制电路和控制功能的设计应符合 GB/T 5226.32-2017/IEC 60204-32:2008 要求。

5.2 电气设备的保护

GB/T 5226.32-2017/IEC 60204-32:2008中描述了安全装置的推荐设计标准。根据该标准，在适用的情况下，应保护设备免受以下影响：

- a) 由短路引起的过电流；
- b) 过载电流；
- c) 异常温度；
- d) 电源的失压或欠压；
- e) 电机超速；
- f) 接地故障；
- g) 相序错误。

如果以上任何一种故障引起保护装置工作，导致设备停止，应防止自动重启。

5.3 切断电源的措施

5.3.1 调速设备

对于调速设备切断电源的措施有：

- a) 电源和变频器之间应采用接触器隔离（电源隔离）；

b) 应选用带 STO 功能的变频器，否则变频器和电机之间应采用接触器隔离（电机隔离）。

5.3.2 定速设备

对于定速升降设备，设置正反转接触器的同时，还应设置一个主接触器，以防止因触点粘连产生危险。

5.4 电击保护

5.4.1 电气设备应具备在正常情况下（基本防护）和单一故障条件下（故障防护）保护人员免受电击的功能。

5.4.2 对潮湿环境、户外或水下设备等特殊场所，应符合 GB/T 16895.19-2017/IEC 60364-7-702:2010 根据设备潮湿场所分区设计相应的防电击措施。

5.5 急停功能

5.5.1 急停

5.5.1.1 机械设备应具有急停功能，以停止驱动系统。

5.5.1.2 急停功能的设计原则应符合 GB/T 16754-2021/ISO 13850:2015。

5.5.1.3 每个操作者控制站都应配备急停装置。

5.5.1.4 应根据风险评估的结果确定附加的急停执行机构的位置。

5.5.1.5 急停执行机构应停止受影响区域内的所有设备的运动，包括不同装置的设备，除非风险评估表明单独的急停系统是可接受的。

5.5.1.6 急停系统可以为设备执行 0 类停止（不可控停止）或 1 类停止（可控停止），类别的选择应基于风险评估和设备的功能需求。

5.5.2 急停功能执行机构及设计

5.5.2.1 紧急切断和停止装置应按 GB/T 5226.1-2019/IEC 60204-1:2016 设计。

5.5.2.2 紧急切断装置应具有强制断开功能。

5.6 提供冗余

5.6.1 通过提供部分或全部的冗余，尽可能将电路中单个故障导致危险状态的概率降到最低。

5.6.2 在安全电路和安全装置中，如果相关接触器、继电器故障可能会使安全功能失效，则对此类接触器、继电器应提供冗余设计，并分别监控，除非一个单通道系统能够被证明满足所需的 SIL/PL_r。

5.6.3 进行冗余设计时，应考虑多样性要求，避免共因失效。

5.7 操纵装置

5.7.1 所有的运动都应通过操纵装置来激活和终止，并有明显的运动方向指示。一旦操纵装置释放，则运动应立即停止。运动可以是程序化的延时启动或其它运动触发的启动，不应采用鼠标或触摸屏点击图形按钮的方式启停设备。

5.7.2 操纵装置应防止无意的动作（如通过加防护罩或闭锁装置的办法）和未经允许的动作（如通过钥匙开关的办法）。

5.7.3 操纵装置的设置应使操作者能够从操作位置安全地监视操作区域。

5.7.4 当一个系统有多个控制站时，应通过硬件或软件的互锁阻止由多个操纵装置同时控制同一个轴或轴编组。

5.7.5 控制系统的设计应保证任何操作都不会引起非预期的运动。

5.8 使能装置

5.8.1 当操作员监视不到设备运动且又没有其它安全监控手段，或有特殊安全要求时，应设置使能装置。

5.8.2 使能装置的设计特点详细地规定在 GB/T 5226.32-2017/IEC 60204-32:2008 中。

5.9 无线操纵装置

- 5.9.1 采用无线操纵装置时，应满足 5.7 节中对于操纵装置的要求。
- 5.9.2 无线控制系统在下列情况下应自动引发舞台机械停机：
- a) 当检测到系统有故障时；
 - b) 当在 0.5s 内未检测出有效信号时，但是不包括舞台机械正在执行预先计划的超出无线控制范围以外且不会引起危险情况的一项任务时。对于 0.5s 太短的应用场合，该值可以最大延长到 2s。应评估舞台机械的预期使用，来确保延长时间值不会引起附加风险。

6 安全功能和安全保护（装置）

6.1 通则

- 6.1.1 安全功能是指在不使用防护装置或保护装置的情况下，通过改变机器的设计或操作特性的措施来消除危险或减少与危险相关的风险。这些安全功能一旦失效，风险就会立即增加。
- 6.1.2 通过本质安全设计实施的安全功能优先于补充的安全措施或使用信息。
- 6.1.3 组织措施不应被用作降低风险的主要保护措施。
- 6.1.4 控制系统的安全功能应在风险评估的基础上进行选择，并根据 GB/T 20438-2017/IEC 61508:2010（所有部分）、IEC 62061:2021 或 GB/T 16855.1-2018/ISO 13849-1:2015 和 GB/T 16855.2-2015/ISO 13849-2:2012 实施。
- 6.1.5 附录 B 是针对特定用例的安全功能指南。控制系统执行的安全功能应减轻风险评估过程中识别的危害。
- 6.1.6 若一个安全装置被激活，设备应进入安全状态（如停止）。经人工现场安全确认后，系统应允许操作者将设备朝一个消除危险的方向运动。
- 6.1.7 当安全装置处于激活状态，其激活状态应予以显示。

6.2 急停功能

6.2.1 安全转矩取消（STO）

能够引起转动（或运动，如果是直线电机）的电源不被应用到电动机。电气传动系统将不对产生转矩（或力，如果是直线电动机）的电动机提供能量。

注：本安全功能对应于不可控停止，与 GB/T 5226.1-2019/IEC 60204-1:2016 停止类别 0 相对应。

6.2.2 安全停止 1（SS1）

安全停止 1 应满足以下条件之一：

- a) 在设定的限值内，启动并控制电动机减速使电动机停止，当电动机速度低于规定的限值时启动 STO 功能；或
- b) 在设定的限值内，启动并监视电动机减速使电动机停止，当电动机速度低于规定的限值时启动 STO 功能；或
- c) 启动电动机减速并在规定的延时时间届满后启动 STO 功能。

注：本安全功能对应于可控停止，与 GB/T 5226.1-2019/IEC 60204-1:2016 停止类别 1 相对应。

6.3 安全制动控制

- 6.3.1 提供双通道输出信号以控制外部制动。
- 6.3.2 检测制动器的状态，并判断制动器动作的准确性。一旦判断制动器动作错误，应立即切断制动器电源并启用 0 类停止。

6.4 速度监控保护

6.4.1 速度偏差保护

速度调节装置应能自动识别机械设备在运行各阶段将导致危险状况的不允许的速度偏差，这种情况下系统应停止运行。

6.4.2 超速保护

当运行速度超过设备额定速度的1.25倍时，控制系统应启动0类停机。

6.5 安全位置监控

6.5.1 超软限位保护

当机械设备超过规定的位置限值应停止运行。

6.5.2 位置偏差保护

监控设备的实际位置是否在指定的容错范围内，一旦偏离并超过一定的容错值，启动相应的急停。

6.5.3 编码器数据校验

当设备配置双编码器或双通道编码器且满足一定的线性关系时，两编码器或编码器两通道数据应相互校验，如果超过指定的容错值，应触发停止命令。

6.6 运行方向保护

防止机械设备向非预期的方向移动。

6.7 编组保护

多台设备可编成一组由操作者一起控制。此时，编组控制对安全功能的响应取决于下列三种形式：

- a) 自由编组运行：当编组中某设备到达限位开关或相关安全装置激活时，该设备停止运行，其它设备运行不受影响。
- b) 异步编组运行：编组中任一设备相关安全功能激活时，整组设备应停止。系统应能识别造成安全功能激活的设备。
- c) 同步编组运行：编组中所有设备协同运行（行程同步或时间同步），且需要实时监控。当某设备相关安全功能被激活或超过编组同步容差时，应停止编组内所有设备，系统应能识别造成安全功能激活的设备。

6.8 程序互锁保护

当有共享路径的设备或人员可能处于危险状态，控制系统应提供程序互锁保护，停止或禁止启动该设备。

6.9 超载保护

6.9.1 当实际载荷超过额定载荷的1.2倍时，机械设备应停止运行。

6.9.2 台上机械超载停止后，系统应允许操作员下降或朝载荷减轻的方向运行设备。

6.9.3 升降台或走入式灯光渡桥在超载情况下不应允许运行。

6.10 欠载或松绳保护

6.10.1 在机械设备中，如果在欠载或松绳的情况下可能导致危险状态，则应停止运动。松绳检测装置的动作应迅速终止绳索进一步松弛。

6.10.2 只有在设备设计中明确允许的情况下，升降台才可在载荷不足或绳索松弛的情况下反向运动。

6.10.3 当舞台台上设备因检测到欠载或松绳而停机时，经人工现场安全确认，允许操作者将设备朝清除欠载或清除松绳的方向运动，排除故障后应将松弛的绳索绕回卷筒绳槽。

6.11 乱绳保护

在机械设备中，如果绳索缠绕紊乱(如跳槽或叠摞)可能导致危险状态时，应停止运动。

6.12 防挤压和防剪切保护

当防止挤压或剪切的安全装置被激活时，设备应停机，系统应允许操作者将设备朝一个消除危险的方向运动。

6.13 防碰撞保护

为避免有共享路径的设备，或设备与演员之间可能发生碰撞，宜采取适当的保护措施，这些措施包括但不限于：边缘压力传感器、光栅、光幕。当防碰撞保护激活时，设备应立即停止运行。

6.14 超行程保护

6.14.1 如果超行程将导致危险状况，则应安装两套限位开关，一套是限位开关，另一套是极限开关。限位开关应保证在任何负载及速度下从运动方向撞击都能以规定的精度重复动作。

注：这不适用于通过固定的、阻尼的限位器来限制液压缸的超行程，以及通过附加的方式，如压力开关来确保关闭液压缸。

6.14.2 限位开关应是一个机械限位开关，其连接电气系统的方式应能防止其在超行程方向上进一步运动，并允许用户以相反的方向运行设备。

6.14.3 极限开关应是一个强制断开型的机械式限位开关，可立即对电机执行 ST0。

6.14.4 极限开关的设置应满足这样要求：如果限位开关操作失灵，而设备在最大速度下冲击，考虑系统反应时间，机械设备应在超程导致设备损坏之前安全停机。

6.14.5 限位开关和极限开关的调整，只能由经过培训和授权的人员进行。

6.14.6 超行程限位开关的设计应符合 GB/T 14048.5-2017。

6.14.7 作为限位开关的替代，控制系统可以使用合适的位置传感器来实现系统的行程限制，该传感器和安全相关的控制系统具有等效 SIL/PL 级别。该位置传感器在包括维护在内的所有正常工作模式下应保持有效状态。

6.15 防止形成危险区域

6.15.1 为防人员坠入敞开的凹坑，在可形成凹坑的升降台或其它设备周围应安装防护装置或栅栏，并应在控制系统中做好互锁保护；如果防护装置或栅栏没有关闭到位，应停止危险区域内任何设备的运动；只有当防护装置或栅栏就位后，该区域内的设备才可以运行。

注：如果检测开关（传感器）很难安装，在做好相应安全措施的情况下可以不做自动互锁保护。

6.15.2 由于艺术表演的要求，安全保护功能在艺术表演或排练期间可能不适用而临时屏蔽取消。

6.16 防止进入危险门

6.16.1 在运动区域或为防止人员坠落提供保护而安装了门的地方，如果设备正在运动或者升降台板位置构成坠落危险（升降台板位置距相关楼层 $\pm 0.2\text{m}$ 及以上），在配置电动锁的情况下，控制系统应将门安全地锁定在关闭位置。

6.16.2 如果门未关闭到位或未锁到位（在有锁的情况下），则应停止防护区内任何设备的运动。

6.16.3 门锁的设计应考虑避免堵塞紧急逃生通道，门锁机构可在紧急情况下提供手动或自动释放。

7 安全验证

7.1 通则

7.1.1 如果安全功能和安全装置的设计不是本质安全或自我监控的，应有检测这些安全功能或装置的方法，包括但不限于以下方面：

- a) 证明各载荷阻止装置有效性的方法；
- b) 证明行程限制的有效性的方法；
- c) 为了测试载荷阻止装置而临时屏蔽载荷限制的方法。

7.1.2 如果需要屏蔽安全功能以提供测试安全功能或安全装置的方法，对这种屏蔽的设计适当考虑可预见的误用。当屏蔽模式处于激活状态时，只能进行测试所需的控制操作。

7.1.3 每个安全装置应能单独检查其有效性。

7.2 安全功能的屏蔽

7.2.1 临时屏蔽安全功能仅允许用于测试目的或特殊的环境。

7.2.2 屏蔽不应导致任何人暴露在危险情况下。在屏蔽期间，应通过其它方式提供安全条件。

7.2.3 应采取其它措施，以确保在预定的期间之后撤销屏蔽措施。控制系统重新启动或用户变更后，也应删除该屏蔽措施。

7.2.4 屏蔽时应显示屏蔽状态。

7.2.5 屏蔽功能不应降低相关安全功能的安全性要求。

7.3 功能安全系统的验证和确认

7.3.1 安全功能应由制造商和集成商进行验证和确认，并将结果记录在案。

7.3.2 制造商和集成商应设有有效的功能安全管理系统。

7.3.3 安全验证项目及方法按表 1 执行

7.3.4 设备在首次使用前、大量更改后或必要时应按 GB/T 36727-2018 进行检测。

表 1 控制系统安全验证项目及方法

序号	被检测项	检验方法	判断
1	4.2.1	提供相关EMC证书	是否符合本项要求
2	4.2.2	电气机房及控制室是否配置除湿设备或空调	是否符合本项要求
3	5.2	查看电气设计图纸	是否符合本项要求
4	5.3.1~5.3.2	查看电气设计图纸及现场	是否符合本项要求
5	5.4.1~5.4.2	查看电气设计图纸及现场	是否符合本项要求
6	5.5.1.1	查看电气设计图纸及现场	是否符合本项要求
7	5.5.1.2	根据条款所列标准查看电气设计图纸	是否符合本项要求
8	5.5.1.3	查看现场	是否符合本项要求
9	5.5.1.5	现场测试	是否符合本项要求
10	5.5.2	根据条款所列标准查看电气设计图纸	是否符合本项要求
11	5.6	查看电气设计图纸	是否符合本项要求
12	5.7	实际操作测试	是否符合本项要求
13	5.8	根据条款所列标准查看电气设计图纸	是否符合本项要求
14	5.9	根据条款所列标准查看电气设计图纸及现场 模拟测试	是否符合本项要求
15	6.2~6.7	由制造商或集成商提供相关记录	是否符合条款8
16	6.8~6.16	按GB/T 36727-2018执行	是否符合本项要求

8 使用信息

8.1 电气标牌

每个电气柜、分控箱、接口箱及维修箱等都应在明显的位置设永久性的标牌，标牌的尺寸及技术要求应符合GB/T 13306-2011的要求。

标牌上应注明（包括但不限于）：

- 产品名称及型号；
- 产品编号；
- 主要技术参数，如电压、电流或功率等；
- 制造商名或商标；
- 生产日期。

8.2 安全标志

舞台机械应设置适当的安全标志，标志的类型可以是禁止标志、警告标志或提示标志等，安全标志应符合GB 2894-2008的相关规定。

8.3 技术资料

8.3.1 通则

提供的技术资料应包括但不限于：

- 使用说明书（操作手册和维修手册）；
- 竣工图。

注：本文件仅列出与控制系统安全要求有关的使用信息，机械有关的使用信息参见相关标准。

8.3.2 操作手册

8.3.2.1 通则

操作手册至少应包含以下信息：

- a) 设备描述；
- b) 设备用途；
- c) 操作者的能力要求；
- d) 如何操作；
- e) 如何监控运行；
- f) 安全注意事项及特殊要求。

8.3.2.2 设备描述

设备描述应包括：

- a) 设备型号，以便有效地将说明与设备对应；
- b) 制造商或集成商的技术支持地址、联系方式；
- c) 重复设备上标示的信息，但制造年月、出厂号或序列号除外。

8.3.2.3 设备用途

设备用途应包括：

- a) 应用范围；
- b) 用途的信息；
- c) 技术参数；
- d) 使用的详细说明；
- e) 设备间的联锁关系；
- f) 各种安全装置；
- g) 紧急情况下的应急处理信息。

8.3.2.4 操作者的能力要求

应包括有关操作人员必要能力和资格的要求。

8.3.2.5 如何操作

应通过相关图表或文字说明各操作台/操作面板、就地操作箱、紧急操作面板或备用操作面板等的控制功能、操作方法、操作顺序等。

8.3.2.6 如何监控运行

操作手册应建议操作人员在怀疑有危险或故障时停止操作，对特定的设备提供指导，并建议向维修人员报告。

8.3.2.7 安全注意事项及特殊要求

规范操作员及维修人员等在设备运行前、运行中、紧急处理、维修或维护、常规巡视等情况下应注意的各种安全事项。如有其它特殊要求，也应充分说明。

8.3.3 维修手册

维修手册应包括维护与修理的信息，即保持机械设备功能与安全条件的所有必要的信息：

- a) 目测、功能性检验、检查和维护的类型及频率；
- b) 与检查和维护特别相关的危险；
- c) 负责检查与维护的人员的资质；
- d) 需要设置的数据和数值；
- e) 维修与调整的指导；
- f) 清洁与维护方法；

- g) 关于更换零件的信息;
- h) 常见故障及排查方法;
- i) 由接受过培训的非专业人员所进行的检查与维护工作的范围;
- j) 必须由专业人员检查与维护的工作说明;
- k) 售后维保部门及技术支持的联系方式。

8.3.4 电气竣工图

应提供与现场实际相符的电气竣工图。

附录 A
(资料性)
用例定义

A.1 概述

以下用例(见表A.1至表A.3)的定义反映了从相对较低到较高的常见机械风险场景。对于每个用例,附录B给出了推荐的安全功能和措施。

A.2 台上机械

表 A.1 台上机械用例

用例	描述	实例
UC1	运动时无人员进入危险区, 静定载荷, 速度< 0.2m/s。	用于移动和悬挂饰物或技术设备的吊机, 在装台, 舞台准备, 安装, 装配、吊装操作以及表演期间布景运动时, 人员不在危险区域内活动。
UC2	运动时无人员进入危险区, 超静定载荷, 速度< 0.2m/s。	
UC3	人员在运动过程中处于危险区域, 单轴式。	用于悬挂饰物或技术设备的吊机, 通常作为表演或排练的一部分, 在危险区域内有人员活动。饰物或设备以单轴或多轴驱动。
UC4	人员在运动过程中处于危险区域, 多轴式。	
UC5	人员悬挂在单轴运动的设备上。	在单点提升机或吊杆上用吊带悬挂人员, 或在单点提升机或多绳提升机悬挂的平台上载人升降。
UC6	人员悬挂在多轴运动的设备上。	三维飞行, 使用三台(或多台)单点吊机同步, 三绳(或多绳)集中到一点提升人员做空间飞行, 或人员处于一个由多台吊机悬挂提升的平台上做空间飞行。

SD——静定荷载系统

在静定载荷系统中, 所有的载荷和反力(单轴的作用载荷, 以及悬吊点的作用载荷)都是已知的。静定载荷系统的例子包括:

- a) 单轴载荷(点载荷或多绳卷扬机);
- b) 两轴均布载荷。

SI——超静定载荷系统

在超静定载荷系统中, 反作用力(单轴的作用载荷, 以及悬吊点的作用载荷)不能完全确定。超静定载荷系统的例子有:

- a) 分布在两个以上的轴上的荷载;
- b) 导向载荷。

A.3 台下机械——升降

表 A.2 台下机械用例——升降

用例	描述	实例
UC-LSL1	人员在危险区域内, 无剪切边, 短行程范围<0.4m, 从平台掉落风险低, 无共享负载。	用于在舞台或观众席地板上创建或补平有限高度差的升降台。这包括通向高层的台阶(楼梯)、为艺术家有更好视线的有限高度的台阶(乐队指挥台)、或从移动或移除部分舞台地板(舞台车台, 表演甲板)升起的设备。这种升降台通常叫补偿升降台、补平升降台或倾斜升降台。
UC-LSL2	人员在危险区域内, 无剪切边, 短行程范围<0.4m, 从平台掉落风险低, 共享负载。	
UC-LSL3	没有人员在危险区域内, 速度< 0.15m/s, 无共享负载	用于改变舞台地板、乐池或观众席地板高度或形状的升降台。
UC-LSL4	没有人员在危险区域内, 速度< 0.15m/s, 共享负载	用于从贮藏区到舞台或观众席区运输布景、技术设备、座椅或座椅车台的升降台, 没有人在上面活动。用于观众席地板从平面到座椅面转变过程中的升降台。这些升降台通常叫乐池升降台、运景升降台、观众席或座椅升降台。

用例	描述	实例
UC-LSL5	人员在危险区域内，无共享负载。	用于制作程控或手动场景变换或升降演员的升降台，人员处于危险区域或危险区域完整清晰的可见性不能得到保证。 这种升降台通常叫舞台升降台、演员升降台或表演台。
UC-LSL6	人员在危险区域内，共享负载。	

A.4 台下机械——平移

表 A.3 台下机械用例——平移

用例	描述	实例
UC-LSH1	仅有旋转运动，人员在危险区域内，无共享负载。	用于承载布景、设备或人员运动的转台、转环、鼓型转台，人员处于危险区域或危险区域完整清晰的可见性不能得到保证。
UC-LSH2	仅有旋转运动，人员在危险区域内，共享负载。	
UC-LSH3	平移运动，无人处于危险区域中，速度 $< 1\text{m/s}$ ，无共享负载。	舞台车台或类似设备，用于将布景或设备移进/移出舞台，或将座位或座椅台车移进或移出观众席，由操作员进行不可编程的直接控制。
UC-LSH4	平移运动，无人处于危险区域中，速度 $< 1\text{m/s}$ ，共享负载。	
UC-LSH5	平移运动，人员处于危险区域中，无共享负载。	舞台或座椅台车或类似的设备，用于将布景、设备或人员移上/移下舞台或从观众席移进/移出，有可编程控制。平移设备承载布景上/下舞台，而人员处于危险区域或危险区域完整清晰的可见性不能得到保证。
UC-LSH6	平移运动，人员处于危险区域中，共享负载。	

附录 B (资料性) 推荐的安全功能和措施

B.1 概述

表B.1至表B.3包含了一系列机械运动用例中最常见的安全功能指南。对于每个用例，在一般风险评估的基础上给出了要实现的安全功能的指南。

机械设计人员需考虑下列非详尽的安全功能清单，但仍有责任进行自己的风险评估，并考虑其它的安全功能，以应对特定的危害。

标记：

— 没有安全功能推荐或不建议使用；

R 本用例推荐使用安全功能；

HR 对于这个用例，强烈推荐使用安全功能。如果这个安全功能没有实施，那么需详细说明不使用的理由。

B.2 台上机械

表 B.1 台上机械推荐的安全功能和措施

安全功能或措施	UC1	UC2	UC3	UC4	UC5	UC6
急停 ^a -0类或1类	HR	HR	HR (1类)	HR (1类)	HR (1类)	HR (1类)
通过操纵装置释放停止-0类、1类或2类	HR	HR	HR	HR	HR	HR
位置偏差保护	—	—	HR	HR	HR	HR
速度偏差保护	—	—	HR	HR	HR	HR
组同步保护	—	R ^b	—	HR ^c	—	HR
超速保护	—	—	HR	HR	HR	HR
过载保护	HR	HR	HR	HR	HR	HR
欠载保护	—	R	—	HR	HR	HR
意外载荷偏差保护（载荷监控）	—	R ^b	R	R ^c	R	R
松绳保护	—	R	HR	HR	HR	HR
行程限制 ^d	HR	HR	HR	HR	HR	HR
乱绳保护	HR	HR	HR	HR	HR	HR
制动失效保护 ^e	—	—	HR	HR	HR	HR
失电保护	HR	HR	HR	HR	HR	HR

a 虽然有时有人认为 Estop 不是安全功能，但在舞台机械环境中，它可以被认为是操作员安全环节的一部分。

b UC2—需提供组同步或过载保护。

c UC4—需提供组同步或过载保护。

d 仅在超程可能导致机械损坏或故障时才需要。

e 防制动失效保护，包括制动气隙监测和类似的技术。所有类别的设备制动器都需进行人工检查，以确保安全。

B.3 台下机械——升降

表 B.2 台下机械（升降）推荐的安全功能和措施

安全功能或措施	UC-LSL1	UC-LSL2	UC-LSL3	UC-LSL4	UC-LSL5	UC-LSL6
急停-0类或1类	HR	HR	HR	HR	HR	HR
通过deadman按钮释放停止-0类、1类或2类	HR	HR	HR	HR	HR	HR
位置偏差保护	—	—	—	—	HR	HR

安全功能或措施	UC-LSL1	UC-LSL2	UC-LSL3	UC-LSL4	UC-LSL5	UC-LSL6
速度偏差保护	—	—	R	R	HR	HR
超速保护	R	R	HR	HR	HR	HR
过载保护	R	R	R	R	HR	HR
欠载/松弛 保护	—	—	HR	HR	HR	HR
意外载荷变化保护（载荷监控）	—	—	R	R	R	R
组同步保护	—	HR	—	HR	—	HR
行程限制	HR	HR	HR	HR	HR	HR
乱绳保护	R	R	HR	HR	HR	HR
挤压/剪切 保护	R	R	R	R	HR	HR
制动失效保护	R	R	HR	HR	HR	HR
失电保护	—	—	R	R	HR	HR
与其它设备的碰撞保护	—	—	—	—	HR	HR
人员坠落/接近危险运动区域保护	R	R	HR	HR	R	R
进入危险门保护	R	R	HR	HR	HR	HR

B.4 台下机械——平移

表 B.3 台下机械（平移）推荐的安全功能和措施

安全功能和措施	UC-LSH1	UC-LSH2	UC-LSH3	UC-LSH4	UC-LSH5	UC-LSH6
急停-0类或1类	HR	HR	HR	HR	HR	HR
通过操纵装置释放停止-0类、1类或2类	HR	HR	HR	HR	HR	HR
位置偏差保护	R	R	—	—	HR	HR
速度偏差保护	R	R	R	R	HR	HR
超速保护	HR	HR	HR	HR	HR	HR
组同步保护	—	HR	—	HR	—	HR
行程限制	—	—	HR	HR	HR	HR
乱绳保护	R	R	R	R	R	R
失电保护	R	HR	R	HR	R	HR
与其它设备的碰撞保护	—	—	R	R	HR	HR
防止移动到凹坑区域保护	—	—	R	R	HR	HR
人员坠落/接近危险运动区域保护	—	—	R	R	R	R
进入危险门保护	R	R	R	R	R	R

参 考 文 献

- [1] GB/T 7251.1-2023/IEC 61439-1:2020 低压成套开关设备和控制设备 第1部分:总则
- [2] GB/T 16856-2015 机械安全 风险评估 实施指南和方法举例
- [3] GB/T 16895.3-2017/IEC 60364-5-54:2011 低压电气装置 第5-54部分: 电气设备的选择和安装 接地配置和保护导体
- [4] GB/T 22696.1~5 (所有部分) 电气设备的安全 风险评估和风险降低
- [5] GB/T 25295-2010 电气设备安全设计导则
- [6] GB 50054-2011 低压配电设计规范
- [7] GB 50055-2011 通用用电设备配电设计规范
- [8] GB 50254-2014 电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范
- [9] JGJ 57-2016 剧场建筑设计规范
- [10] WH/T 27-2007 舞台机械 验收检测程序
- [11] WH/T 28-2007 舞台机械 台上设备安全
- [12] WH/T 36-2009 舞台机械 台下设备安全要求