

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXXX—2026

在役机械设备安全升级规范

Specification for safety upgrading of in-service mechanical equipment

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

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 基本原则	1
4.1 安全优先原则	1
4.2 风险导向原则	1
4.3 适应性原则	1
4.4 技术可行性原则	1
4.5 系统性原则	2
4.6 动态性原则	2
5 安全风险评估	2
6 改造方案设计	2
6.1 设计原则	3
6.2 风险措施	3
6.3 设计方法	4
7 安全升级实施	5
8 质量控制与验收	5
9 安全管理	6
10 设备运行监测	6

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。

本文件由浙江三一装备有限公司提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：浙江三一装备有限公司、泰山智能制造产业研究院、锐科(无锡)科技有限公司、中铁隧道局集团有限公司、扬州中远海运重工有限公司、昆山市平安驾驶人训考管理中心有限公司。

本文件主要起草人：李伟、孙玉娟、边明源、侯焯、张杰、张龙。

在役机械设备安全升级规范

1 范围

本文件规定了在役机械设备安全升级的基本原则、安全风险评估、改造方案设计、安全升级实施、质量控制与验收、安全管理、设备运行监测。

本文件适用于在役机械设备的安全升级。

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 15706—2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小

GB/T 16855.1—2018 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 机械安全 控制系统安全相关部件 第2部分：确认

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

机械设备 machinery

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。

3.2

安全升级 safety upgrading

基于风险评估的结果，通过技术手段减小机械设备风险的活动。

4 基本原则

4.1 安全优先原则

升级方案应以提升设备本质安全水平为前提，不应追求效率、成本或便捷性而牺牲安全性能。

4.2 风险导向原则

安全升级应基于全面的风险评估，优先解决高风险隐患（即可能导致人员伤亡、重大财产损失或环境破坏的风险点），避免无差别投入。

4.3 适应性原则

升级方案应适配机械设备的当前状态（如老化程度、结构强度、使用环境），避免盲目套用新设备标准或过度改造。

4.4 技术可行性原则

升级所采用的技术、材料、部件应成熟可靠，并与机械设备现有系统兼容，避免因技术不成熟或兼容性差导致升级失效。

4.5 系统性原则

安全升级应兼顾局部改进与系统协调，避免因单一部件升级导致系统失衡。

4.6 动态性原则

安全升级应结合设备的定期检测、使用环境变化、新风险的出现（如新技术应用带来的衍生风险），持续优化升级措施，确保设备安全性能与风险变化同步适配。

5 安全风险评估

5.1 机械设备安全升级应当在风险评估结果基础上进行，风险评估工作主要是识别机械设备的危险因素。

5.2 机械设备或类似的机械设备具有相应的C类标准（机械产品安全标准），宜针对相应C类标准识别重大危险源，按照该C类标准的要求制定安全升级方案，并进行安全升级设计。

5.3 C类标准无涵盖的其他危险源，宜根据GB/T 15706进行风险评估，采用定性分析和定量分析方法，收集设备运行周期内的风险评估信息，包括关于机器的描述、法规、标准及其他使用的文件、使用经验等内容。

5.4 风险评估结束后，宜将识别出需减小风险的危险源记录表1中，并编制满足GB/T 15706相关要求的风险评估报告。

表1 安全升级方案

序号	危险源	采取的风险减小措施 (对应的解决方案)				安全相关控制 系统	备注
		C类标准规定的风险 减小措施	本质安全设计 措施	安全防护和补充保 护措施	使用信息	PL	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
参与人员					确认:	日期:	

注：一种风险减小措施可能减小多个危险源的风险。

6 改造方案设计

6.1 设计原则

6.1.1 安全升级设计宜针对安全升级方案中识别的危险源和对应解决方案,按照相应C类标准的规定或GB/T 15706确定的设计原则,并结合相关的标准逐项完成设计。

6.1.2 机械设备存在相对应的C类标准时,宜按照C类标准中规定的安全要求或风险减小措施进行安全升级设计。

6.1.3 当C类标准的要求与A类标准或B类标准的要求不同时,应满足C类标准的要求。安全升级设计时常用的B类标准见附件A。

6.1.4 机械设备无相对应的C类标准或C类标准没有给出明确的风险减小措施时,宜按照6.3进行安全升级设计。

6.2 风险措施

6.2.1 宜基于风险评估的结果和技术可行性,选择适宜的风险减小措施,制定安全升级方案。

6.2.2 选择风险减小措施时,宜征求从事机械设备操作、调试、保养、维修等人员的意见,使其对机械设备正常使用的影响减到最小。

6.2.3 在确定风险减小措施时,宜优先考虑C类标准。C类标准有多种可选风险减小措施,但未规定选择原则时,宜根据具体的风险评估结果选择适宜的风险减小措施。

6.2.4 对于机械设备或类似机械设备无C类标准,以及C类标准没有涵盖的危险,如需采取风险减小措施,则在制定安全升级方案时,宜按照GB/T 15706—2012中图1给出的风险减小过程迭代三步法选择合适的风险减小措施。

6.2.5 危险消除、风险要素(伤害的严重程度、人员暴露于危险、危险事件的发生、避免或限制伤害的可能性)等方面选择风险减小措施见表2。

表2 按照风险减小过程迭代三步法选择风险减小措施

风险减小措施的作用	本质安全设计措施	安全防护和/或补充保护措施		使用信息
		安全防护装置	补充保护措施	
消除危险源或减小风险	改进物理特性:形状、位置、尺寸、距离、温度、力、速度、功率、重量分布等		稳定性的保护措施:地脚螺栓、锁定装置等	
	考虑机械设计的通用技术知识:机械应力、材料及其特性、有害物质排放值等			
	应用适用的机械安全技术:电气、液压、气动、火灾防治、卫生要求等			
	替换危险的材料和物质:采用不可燃材料和食品级润滑剂等			
	人类工效学措施:消除视觉盲点、重复动作、有害姿势等			
减小伤害的严重程度	减少排放:噪声、有害物质、辐射等的排放	减少排放: 固定式或活动式防护装置等	减少排放: 隔声罩、消音器、隔振器、局部排气通风系统、加湿器、辐射衰减屏等	-
	减小能量:减小力、降低液压或气动压力、降低工作高度等			
	采用技术性安全设备预防或减小危险: 预防爆炸和/或减少危害性气体的通风系统			

表 2 按照风险减小过程迭代三步法选择风险减小措施（续）

风险减小措施的作用	本质安全设计措施	安全防护和/或补充保护措施		使用信息
		安全防护装置	补充保护措施	
减少人员暴露于危险	减小处于危险状态的需要：装卸作业机械化或自动化，将维修点设置在危险区外等	防止进入危险区或阻挡坠落物或弹射物的防护装置：固定式或活动式防护装置等	隔离和能量耗散措施：隔离阀、隔离开关、锁定装置、机械挡块等	培训、个人防护装备
	改变危险源的位置			
减小危险事件发生的概率	改进失效会导致伤害的零件的可靠性：机械、电气、电子、液压或气动零部件等	敏感保护设备：压敏保护装置、电敏装置等	限制装置：限制力、力矩、压力、温度、速度和排放等的装置	培训
	安全相关控制系统采用安全设计	与机器控制系统中的安全相关功能关联的装置：使能装置、有限运动控制装置、保持一运行装置等		
避免或限制伤害	-	-	急停	使用信息、培训、个人防护装备
	-	-	被困人员逃生和救援的措施	
	-	-	安全进入机械设备的措施	
	-	-	便捷安全搬运机械设备及其重型零部件的装置	

6.2.6 风险减小措施采用的安全防护装置（如联锁装置、急停装置等）需依靠控制系统来实现其安全功能，则需在制定安全升级方案时，宜根据 GB/T 16855.1 设计安全相关控制系统。

6.2.7 进行风险减小过程时，宜考虑下列内容：

- a) 在机械设备生命周期各阶段内的安全性；
- b) 机械设备执行其功能的能力；
- c) 机械设备的易用性；
- d) 安全升级后，机械设备运行及后续拆卸的成本。

6.3 设计方法

6.3.1 本质安全设计

6.3.1.1 本质安全设计宜满足 GB/T 15706—2012 中 6.2 的规定及相关的 B 类或 C 类标准的要求。

6.3.1.2 涉及对机械设备结构的重大改动时，宜取得机械设备的原始设计资料。

6.3.2 安全防护装置

6.3.2.1 安全防护装置的一般要求应符合 GB/T 15706—2012 中 6.3.1~6.3.4 的规定。

6.3.2.2 安全防护装置的设计或选择，宜满足相关 B 类标准的要求。

6.3.2.3 安全防护装置的设计或选择宜适用于预定使用，并考虑相关的机械危险和其他危险。

- 6.3.2.4 安全防护装置宜与机械设备的工作环境相协调，其设计宜使机械设备不易被废弃。
- 6.3.2.5 宜将安全防护装置对机械设备运行期间和机器生命周期其他各阶段的各种动作的干涉降至最低程度，减小机械设备被废弃的可能性。
- 6.3.2.6 安全防护装置安装宜符合下列规定：
 - a) 结构坚固耐用；
 - b) 不增加任何额外危险；
 - c) 不被绕过或使其无法操作；
 - d) 与危险区有足够的距离，并符合 GB/T 23821 和 GB/T 19876 的规定；
 - e) 对观察生产过程的视野障碍最小；
 - f) 只允许进入进行操作的区域，进行工具的安装和（或）更换及维修等必要的工作。

6.3.3 补充保护措施

- 6.3.3.1 补充保护措施的一般要求应符合 GB/T 15706—2012 中 6.3.5 的规定。
- 6.3.3.2 补充保护措施包括下列内容：
 - a) 急停装置；
 - b) 被困人员逃生和救援措施；
 - c) 隔离和能量耗散的措施；
 - d) 方便且安全搬运机械设备重型零部件的装置；
 - e) 安全进入机械设备的措施。

6.3.4 安全相关控制系统

- 6.3.4.1 宜根据 GB/T 16855.1 设计安全相关控制系统，并确保该系统的性能等级（PL）满足要求。如有 C 类标准且规定了相应的 PL 值，则宜按照规定的 PL 值设计安全相关控制系统。
- 6.3.4.2 控制系统中安全相关的部件应按照 GB/T 16855.1 进行设计，控制系统中的非安全相关部件，无需按照 GB/T 16855.1 进行设计。
- 6.3.4.3 在选择控制系统安全相关部件时，宜选用具有 PL、DC、PHFp、MTTFp 或 B_{10p} 等相关参数的部件。

6.3.5 使用信息

- 6.3.5.1 对于按照 6.3.1~6.3.4 进行风险减小之后的剩余风险，宜通过使用信息的形式告知或警示使用者。使用信息应符合满足 GB/T 15706—2012 中 6.4 的规定。
- 6.3.5.2 使用信息应由文本、文字、标记、信号、符号或图表等组成，以单独或联合使用的形式向使用者（包括专业和/或非专业人员）传递信息。

7 安全升级实施

- 7.1 安全升级实施宜根据安全升级设计结果，在现场完成对机械设备安全升级实施。在实施过程中，按照安全升级设计进行施工外，宜采取措施确保施工人员及相关人员的安全。
- 7.2 现场施工人员宜了解施工现场的安全要求，必要时，施工单位或人员应具备相应的资质。
- 7.3 施工过程中，应遵守相关的安全生产要求，宜与机械设备相关的操作人员、维修人员、管理人员或机械设备的供应商充分沟通和协调，确保安全升级得到顺利实施。

8 质量控制与验收

- 8.1 宜通过目视检查等方法，对安全升级采用的安全防护措施是否到位进行确认。
- 8.2 宜采取措施验证安全升级采用的安全防护措施是否能实现预期的安全功能。
- 8.3 宜依据 GB/T 16855.2 对安全相关控制系统的元件及安全回路进行确认。
- 8.4 检查安全升级所采取的风险减小措施是否产生新的风险，如有宜按照安全升级流程处理新的风险。
- 8.5 安全升级验证与评估应包括下列内容：
 - a) 安全升级完成后，应对机械设备进行验证与评估，确保安全升级措施的有效性，验证与评估应涵盖机械设备的各项功能；
 - b) 验证过程宜包括功能测试、性能测试以及必要的耐久性测试；测试过程中，应模拟机械设备可能遇到的各种工况，确保安全升级措施在各种条件下均能发挥作用；
 - c) 评估过程则宜根据预定的安全目标和性能指标，对机械设备的整体安全性进行评估，评估结果应形成书面报告，详细记录测试过程、测试结果以及潜在的问题和改进建议。

9 安全管理

- 9.1 应建立健全的安全管理制度，明确安全责任，规范操作流程，确保安全升级措施得到执行和有效维护。
- 9.2 应制定详细的安全操作规程，明确机械设备的安全使用要求、维护保养周期以及应急处理措施等，指导操作人员正确使用和维护机械设备。
- 9.3 应加强安全培训和教育，提高操作人员的安全意识和操作技能。培训内容应包括机械设备的安全性、操作流程、风险防范措施以及应急处理等方面，确保操作人员能够熟练掌握。
- 9.4 应建立安全检查和评估机制，定期对机械设备进行安全检查，及时发现并消除安全隐患。对于发现的问题，应及时记录并采取纠正措施，确保机械设备的安全运行。

10 设备运行监测

- 10.1 应通过安装传感器和监测设备，实时收集机械设备的运行状态数据，如振动、温度、压力等关键参数，通过数据采集系统传输至中央监控室，供管理人员进行分析和判断。
- 10.2 在监测过程中，发现异常数据或趋势，应立即采取措施进行调查和处理。包括停机检查、维修或更换故障部件等。
- 10.3 应利用大数据分析技术对收集到的运行数据进行分析，以发现潜在的故障模式和规律。有助于提前预测机械设备的寿命和维修需求，为制定科学合理的维护保养计划提供依据。通过持续优化设备运行监测机制，确保机械设备在安全、高效的状态下运行。

附录 A

(资料性附录)

安全升级设计时常用的B类标准

安全升级设计时常用的B类标准应符合表A.1的规定。

表A.1 安全升级设计时常用的B类标准

措施的作用	本质安全措施	安全防护和/或补充保护措施		使用信息
		安全防护装置	补充保护措施	
消除危险 或减小风 险	改进物理特性： 最小间距，见 GB/T 12265； 可接触表面温度，见 GB/T 18153； 开口尺寸，见 GB/T 18717.1、GB/T 18717.2、GB/T 18717.3； 操动器位置要求，见 GB/T 18209.3； 安全防护装置定位，见 GB/T19876； 安全距离，见 GB/T 23821； 机器的整体照明，见 GB/T 28780，其他见 GB/T 15706—2012 中 6.2.2。			
	考虑机械设计的通用技术知识： 集成制造系统，见 GB/T 16655，其他见 GB/T 15706—2012 中 6.2.3。		稳定性的保护措施： 见 GB/T 15706—2012 中 6.3.2.6。	
	应用机械安全的适用技术： 电气设备，见 GB/T 5226.1； 液压设备，见 GB/T 7932； 气动设备，见 GB/T 3766； 指示、标志和操作视觉、听觉和触觉信号的要求，见 GB/T 18209.1； 机械设计卫生要求，见 GB/T 19891； 防火与消防，见 GB/T 23819； 安全设计与精益制造，见 GB/T 33940； 生产设备安全通则，见 GB/T 35076，其他见 GB/T 15706—2012 中 6.2.5。			
	替换危险的材料和物质： 润滑剂的卫生要求，见 GB/T 23820。			
	人类工效学措施： 险情信号，见 GB/T 1251.1、GB/T 1251.2、GB/T 1251.3； 视觉工效学原则，见 GB/T 13379； 工作空间人体尺寸，见 GB/T 10000； 工作座椅，见 GB/T 14774； 操纵器，见 GB/T 14775； 工作岗位尺寸，见 GB/T 14776，其他见 GB/T 15706—2012 中 6.2.8。			

表A.1 安全升级设计时可用的B类标准（续）

措施的作用	本质安全措施	安全防护和/或补充保护措施		使用信息
		安全防护装置	补充保护措施	
减小伤害严重程度	减少排放： 空气传播的有害物质排放的评估，见 GB/T 25749.1~GB/T 25749.9； 机械辐射产生的风险的评价与减小，见 GB/T 26118.1、GB/T 26118.2、GB/T 26118.3； 减小由机械排放的危害性物质对健康的风险，见 GB/T 18569.1、GB/T 18569.2。	减少排放： 防护装置，见 GB/T 8196； 安全防护的实施准则，见 GB/T 30574。	减少排放： 隔声罩，见 GB/T 19886 消声器，见 GB/T 20431。	
	减小能量			
	采用技术性安全设备预防和/或减小危险： 局部排气通风系统，见 GB/T 35077。			
减小危险暴露	减小处于危险状态的需要： 见 GB/T 15706—2012 中 6.2.13、6.2.14 和 6.2.15	防止进入危险区或阻挡 坠落物/弹射物的各种防护装置： 防护装置，见 GB/T 8196； 安全防护的实施准则，见 GB/T 30574。	隔离和能量耗散措施： 上锁/挂牌，见 GB/T 33579，其他见 GB/T 15706—2012 中 6.3.5.4。	培训； 个体防护装备：见 GB 39800.1。
	改变危险源的位置			
减小危险事件发生的概率	改进失效会导致伤害的零件的可靠性： 见 GB/T15706—2012 中 6.2.12.2。	敏感保护设备： 压敏保护装置，见 GB/T 17454.1 GB/T 17454.2、GB/T 17454.3； 电敏保护装置，见 GB/T 19436.1 GB/T 19436.2、GB 19436.3 GB/T 19436.4。	限制装置： 见 GB/T 15706—2012 中 6.3.2.7。	培训
	控制系统安全相关部件采用安全设计： 见 GB/T16855.1—2018 和 GB/T30175。	与机器控制系统中的安全相关功能关联的装置： 联锁装置，见 GB/T 18831； 防止意外启动，见 GB/T 19670； 双手操纵装置，见 GB/T 19671。		

表A.1 安全升级设计时可用的B类标准（续）

措施的作用	本质安全措施	安全防护和/或补充保护措施		使用信息
		安全防护装置	补充保护措施	
规避或 限制伤害	—	—	急停，见 GB/T 16754	使用信息： 说明书的编制，见 GB/T 19678.1； 险情信号，见 GB/T 1251.1、GB/T 1251.2、GB/T 1251.3； 安全色，见 GB 2894； 安全标志，见 GB 2894； 指示、标志和操作，见 GB/T 18209.2； 个体防护装备：见 GB 39800.1。
	—	—	被困人员逃生和救援的措施，见 GB/T 15706—2012 中 6.3.5.3。	
	—	—	安全进入机器的措施： 见 GB/T 17888.1、GB/T 17888.2、 GB/T 17888.3、GB/T 17888.4。	
	—	—	便捷安全搬运机器及其重型零 部件的装置，见 GB/T 15706—2012 中 6.3.5.5。	
注：如果所采用的措施由控制系统的安全功能实现，宜按 GB/T 16855.1—2018 设计安全相关控制系统。				