



中华人民共和国国家标准

GB/T 41344.4—2022

机械安全 风险预警 第4部分：措施

Safety of machinery—Risk early-warning—Part 4: Measures

2022-03-09 发布

2022-10-01 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 预警措施流程	1
5 预警级别输入	2
6 预警措施	2
6.1 措施类型	2
6.2 措施等级	3
7 预警升级	4
8 措施评估	4
9 预警解除	4
附录 A (资料性) 预警措施的应用示例	5
参考文献	9

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。

本文件是 GB/T 41344《机械安全 风险预警》的第 4 部分。GB/T 41344 已经发布了以下部分：

——第 1 部分：通则；

——第 2 部分：监测；

——第 3 部分：分级；

——第 4 部分：措施。

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：南京林业大学、四川中安科安全技术有限公司、淮北市中芬矿山机器有限责任公司、深圳国技仪器有限公司、厦门弘信电子科技集团股份有限公司、南京理工大学、中机生产力促进中心、苏州澳昆智能机器人技术有限公司、浙江大跑科技有限公司、广东黎麦检测科技有限公司、雅砻江流域水电开发有限公司、皮尔磁电子(常州)有限公司、苏州安高智能安全科技有限公司、福建省闽旋科技股份有限公司、季华实验室、陕西泛标软件有限公司、泉州市标准化协会、苏州迈为科技股份有限公司、山东伽达检测有限公司、广东昂益新科技有限公司、江苏强凯检测有限公司、广东当家人智能电器有限公司、义乌市卡一模具有限公司、广东成信科技有限公司、漳州市中南护理用品有限公司、广东铭凯科技有限公司、陕西协佳亚光软件有限公司、广东瑞谷光网通信股份有限公司。

本文件主要起草人：李忠、黄晓今、周成、居里镡、周瑜、刘治永、郭冰、居荣华、陈文辉、秦培均、李政德、汪希伟、李传波、赵茂程、李勤、杨弘、倪超、付弄青、刘英、杨玲玲、黄之炯、宋小宁、施政辉、黄琼芳、牛福永、程红兵、朱斌、肖华平、何剑平、王光建、向贤兵、郑华婷、庞艳、梅中、姜涛、郭爱军、黄建伟、万青兰、方志明。

引 言

机械安全风险预警通常考虑人、机器、环境及其复合效应等要素,针对这些要素可能产生的风险,通过在线数据监测与评估对其发展趋势作出预测,对可能发生的不安全状态按等级发出警告,并及时采取相应防范措施,以达到人、机器及环境的安全状态。

GB/T 41344 从风险预警角度出发,为安全预警系统的设计、监测、分级及措施提供可操作的指导。GB/T 41344 由四个部分构成。

- 第 1 部分:通则。规定了机械设计过程或使用过程中,风险预警一般原则及要求、风险预警流程、预警监测、预警分级及预警措施,旨在明确风险预警的概念、一般原则和流程以及与 GB/T 15706—2012《机械安全 设计通则 风险评估与风险减小》的关系。
- 第 2 部分:监测。规定了机械安全风险预警的监测流程、数据采集、数据处理、数据分析、数据输出等内容,旨在监测机械自身因素、环境因素、操作人员因素等多方面的数据,为预警分级及采取相应的措施提供有效依据。
- 第 3 部分:分级。规定了预警分级流程、风险值计算模型、要素确定、权重确定等,并给出了分级过程具体示例,旨在对风险程度进行量化分级,输出预警信息以便采取相应预警措施。
- 第 4 部分:措施。规定了预警措施流程、预警措施类型、预警措施升级、措施评估以及预警解除等,旨在根据对应的风险预警分级,发出信号、警报等预警信息或采取应对措施,进而预防事故发生。

机械领域安全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(如急停装置、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)。

上述利益相关方均有可能参与本文件的起草。

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,优先采用 C 类标准中的要求。

机械安全 风险预警

第4部分：措施

1 范围

本文件规定了风险预警措施流程、预警级别输入、预警措施、预警升级、措施评估、预警解除。
本文件适用于与机械安全相关的风险预警风险减小措施或防护措施。

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 30174—2013 机械安全 术语

GB/T 41344.1—2022 机械安全 风险预警 第1部分：通则

GB/T 41344.3—2022 机械安全 风险预警 第3部分：分级

3 术语和定义

GB/T 30174—2013 和 GB/T 41344.1—2022 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

灯光信号 light signal

用特定颜色的灯光表征的不同级别风险的视觉识别标志。

3.2

声音信号 acoustical signal

风险预警系统对人、机器、环境或其复合效应暴露的危险状态进行预测后并按级别发出的听觉警报。

4 预警措施流程

机械/机器风险预警措施流程一般包括预警级别输入、预警措施、预警升级、措施评估、预警解除等，示意图图1。依据输入的预警级别信息，采取对应级别的预警措施。若预警措施未响应，在预警级别升级的情况下，预警措施升级；若预警措施响应，展开措施评估，措施评估未达到安全状态时，返回预警级别输入，达到安全状态时，预警解除。

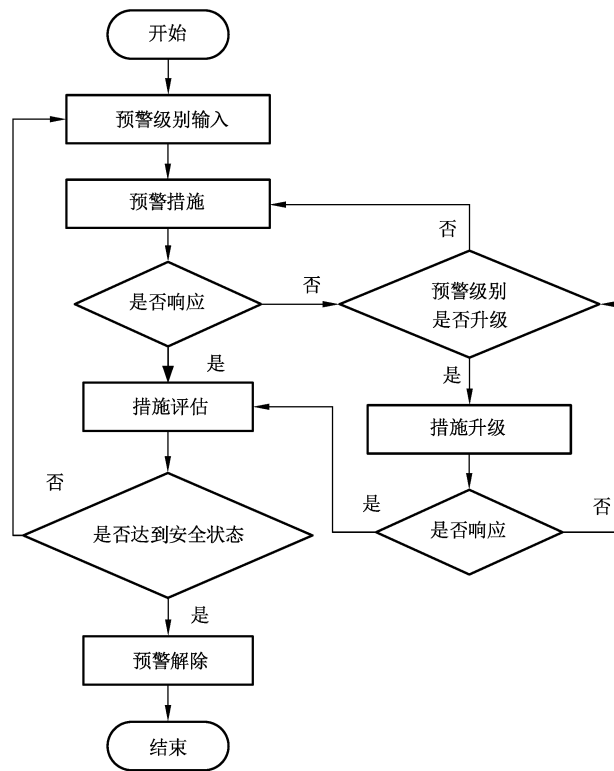


图 1 预警措施流程

5 预警级别输入

输入 GB/T 41344.3—2022 第 10 章所述预警级别。

6 预警措施

6.1 措施类型

6.1.1 分类

预警措施类型主要有信息措施、人工措施、机器措施。根据需要选择一种或多种类型,以达到消除危险或降低风险的目的。

注: 预警措施的应用示例见附录 A。

6.1.2 信息措施

信息类措施主要有视觉信号、听觉信号、文本文件等。

- a) 视觉信号应根据不同的风险级别选取,应具有较大区分度;同时,需要考虑在环境中显示的清晰度。视觉信号包括,但不限于:
 - 1) 灯光信号:不同颜色的灯光或组合,例如:蓝色→黄色→橙色→红色;
 - 2) 屏幕显示:通过屏幕显示警示图文;
 - 3) 警示标志:突显设置在适当位置的警示标志。
- b) 听觉信号根据不同的风险级别选取相应的声音信号,信号应具有较大辨识度;同时,需要考虑

声音信号穿越障碍物、持续时间、人的听觉阈等影响因素。影响因素至少包括,但不限于:

- 1) 警报音效;
 - 2) 语音警示。
- c) 文本文件用于发布预警信息,文件内容包括预警时间、预警分级时所依据的信息、预警分级的方法、预警分级的结果等。并对文件进行存档,企业视自身情况确定保留期限及文件使用范围,以备后续使用。

6.1.3 人工措施

6.1.3.1 即时措施

发生下列情况时,应采取即时措施进行人工干预:

- 风险较低但必须由人工进行操作时;
- 在预警未响应、风险升级的情况下;
- 当自动措施不足以防范危险时。

人工干预措施包括但不限于:

- 人工发出警告等;
- 人工强制控制机器设备进行急停、断电等操作。

6.1.3.2 非即时措施

非即时措施主要有行为管理措施、设备管理措施等。

- a) 行为管理措施包括,但不限于:
 - 1) 安全教育:使人员能自觉按要求佩戴防护装置、按操作规程进行操作等;
 - 2) 技能培训;
 - 3) 建立健全安全管理制度。
- b) 设备管理措施包括,但不限于:
 - 1) 在剩余风险设备上设置警示标识;
 - 2) 给出有关设备的使用信息;
 - 3) 设备定期检验和维护。

6.1.4 机器措施

机器措施主要指机器设备自身做出的措施,如机器人做出的减速、停机等行为;自动导引车(AGV)在遇到人后自动避障等行为。

6.2 措施等级

应按 GB/T 41344.3—2022 划分的预警级别,将预警措施对应分为Ⅳ级措施、Ⅲ级措施、Ⅱ级措施和Ⅰ级措施四个级别,具体见表1。

表1 预警措施等级

预警级别	措施等级	措施	特征
Ⅳ级预警	Ⅳ级措施	采取信息措施,必要时可采取非即时人工措施或机器措施	采取最低级别预警措施减小风险的低风险

表 1 预警措施等级 (续)

预警级别	措施等级	措施	特征
Ⅲ级预警	Ⅲ级措施	采取信息措施,必要时可采取即时人工措施或机器措施	需要在合适的时机采取警示措施减小风险的一般风险
Ⅱ级预警	Ⅱ级措施	采取信息措施和机器措施,必要时可采取即时人工措施	要求立即采取相应警示措施减小风险的较大风险
I级预警	I级措施	采用信息措施和机器措施,必要时可采取即时人工措施	需要立即采取消除危险或减小风险措施的重大风险

7 预警升级

当预警未响应,同时预警级别升高时,采取相应级别措施。

8 措施评估

措施实施后,根据监测数据实时进行风险分级计算,评估是否处于安全状态,风险分级见 GB/T 41344.3—2022。

9 预警解除

当处于安全状态时解除预警,例如解除灯光信号、解除声音信号、机器恢复正常工作。

附录 A
(资料性)
预警措施的应用示例

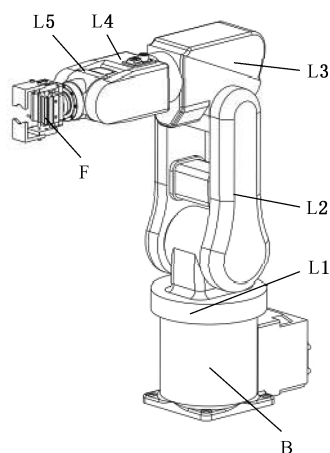
A.1 概述

本附录旨在依据本文件规定的原则,简要说明预警分级、预警措施在码垛机器人搬运环境中的应用。

本附录不准备成为供人仿效的范例,本附录仅试图给出足够的信息,以便于使用者对本文件所规定的原则的可能应用方式有一个完整的认识。

A.2 机械限制的确定

某机械臂结构示意图见图 A.1,工作范围见图 A.2,部分技术参数见表 A.1。



标引序号说明:

- B —— 底座;
- L1~L5 —— 机械臂;
- F —— 机械手。

图 A.1 机械臂结构组成

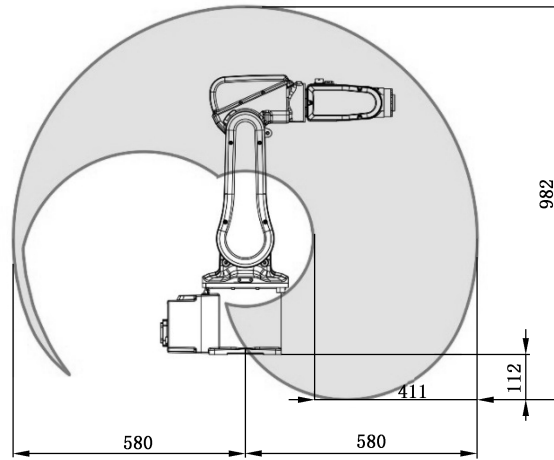


图 A.2 机械臂工作范围

表 A.1 某机械臂部分技术参数

内容	值
本体重量	25 kg
工作范围	580 mm
高度	700 mm
环境温度(机器人本体)	5 °C ~ 45 °C
环境相对湿度	≤ 95 %
环境噪声水平	≤ 70 dBA

A.3 监测要素确定

根据风险评估确定监测要素包含人距离机器人底座中心距离(L)、机器人紧固螺钉振动加速度值(a)、机器人夹具供气压力(P)、工作场所环境温度(θ)与湿度(H),具体如下:

- 人距离机器人底座中心距离(L), L 值越小, 人受到机器人挤压/撞击的风险越高, 可通过激光扫描仪监测人距离机器人底座中心距离;
- 机器人紧固螺钉振动加速度值(a), 安装机器人基座的紧固螺钉松动, 机器人存在倾覆风险, 可通过监测紧固螺钉振动加速度间接判断螺钉松紧情况;
- 机器人夹具供气压力(P), 机器人夹具供气压力异常会导致工件飞出击伤人, 可通过监测夹具供气压力判断夹持力大小;
- 工作场所环境温度(θ)与湿度(H), θ 和 H 异常会加速机器人零部件磨损程度, 导致机器人故障的发生, 可通过温湿度传感器监测工作场所环境温度与湿度。

A.4 模型与权重确定

采用 GB/T 41344.3—2022 公式(1)风险值计算模型。通过分析历史数据, 采用专家咨询权数法, 确定各要素权重如表 A.2。其中, 如监测到人机距离为 $0 \text{ mm} < L < 1\,000 \text{ mm}$, 机器人紧固螺钉振动加速度值 $a \geq 10 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$, 夹具供气压力为 $0 \text{ kPa} < P \leq 470 \text{ kPa}$ 或 $530 \text{ kPa} \leq P < 1\,000 \text{ kPa}$, 温度为 $\theta < 5 \text{ °C}$ 或 $\theta > 45 \text{ °C}$, 相对湿度为 $95\% \leq H < 100\%$ 等极限情况时, 风险值 $R_{v_N} = 1$, 此时预警级别为 I 级预警。

单项要素风险值(Rv_i)计算见公式(A.1):

$$Rv_i = M_1 \times M_2 \times M_3 \times M_4 \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

M_1 ——指标要素;

M_2 ——预警指标;

M_3 ——因素风险值;

M_4 ——监测值,如监测到某要素,则 $M_4 = 1$;未监测到,则 $M_4 = 0$ 。

除极限情况下风险值 $Rv_N = 1$ 外,由 GB/T 41344.3—2022 中公式(1)、公式(A.1)和表A.2,可得实时风险值(Rv_i),见公式(A.2)。

$$Rv_i = A \times \alpha_1 \times A_1 + B \times (\beta_1 \times B_1 + \beta_2 \times B_2) + C \times (\gamma_1 \times C_1 + \gamma_2 \times C_2) \dots\dots (A.2)$$

当 $\alpha_1, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$ 分别取最大值时,风险值最大值 $Rv_{\max} = 0.75$ 。

当 $\alpha_1, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$ 分别取最小值时,风险值最小值 $Rv_{\min} = 0$ 。

因风险值最大值 Rv_{\max} 不等于 1,计算风险值 Rv 时按归一化处理,见公式(A.3)。

$$Rv_N = \frac{Rv_i - Rv_{\min}}{Rv_{\max} - Rv_{\min}} \dots\dots\dots (A.3)$$

表 A.2 要素权重

指标要素 (M_1)	预警指标 (M_2)	指标范围	因素风险值 (M_3)	监测值 (M_4)	备注
人 ($A=0.7$)	人与机器人间距离 $L/\text{mm}(A_1=1)$	$0 < L < 1\ 000$ (危险区)	—	1/0	$Rv_N = 1$
		$1\ 000 \leq L < 2\ 000$ (预警区 III)	$\alpha_1 = 0.6$	1/0	
		$2\ 000 \leq L < 3\ 000$ (预警区 II)	$\alpha_1 = 0.3$	1/0	
		$3\ 000 \leq L < 4\ 000$ (预警区 I)	$\alpha_1 = 0.1$	1/0	
		$L \geq 4\ 000$ (安全区)	$\alpha_1 = 0$	1/0	
机器人 ($B=0.2$)	螺钉振动加速度 $a/(\text{m/s}^2)$ ($B_1=0.5$)	$a \geq 10 \times 10^{-3}$	—	1/0	$Rv_N = 1$
		$2 \times 10^{-3} \leq a < 10 \times 10^{-3}$	$\beta_1 = 1$	1/0	
		$0 < a < 2 \times 10^{-3}$	$\beta_1 = 0$	1/0	
	夹具供气压力 P/kPa ($B_2=0.5$)	$0 < P \leq 470$ 或 $530 \leq P < 1\ 000$	—	1/0	$Rv_N = 1$
		$470 < P \leq 490$ 或 $510 \leq P < 530$	$\beta_2 = 1$	1/0	
		$490 < P < 510$	$\beta_2 = 0$	1/0	
环境 ($C=0.1$)	温度 $\theta/^\circ\text{C}$ ($C_1=0.6$)	$\theta < 5$ 或 $\theta > 45$	—	1/0	$Rv_N = 1$
		$5 \leq \theta < 8$ 或 $42 < \theta \leq 45$	$\gamma_1 = 1$	1/0	
		$8 \leq \theta \leq 42$	$\gamma_1 = 0$	1/0	
	相对湿度 $H/\%$ ($C_2=0.4$)	$95\% \leq H < 100\%$	—	1/0	$Rv_N = 1$
		$85\% \leq H < 95\%$	$\gamma_2 = 1$	1/0	
		$0\% < H < 85\%$	$\gamma_2 = 0$	1/0	

A.5 预警级别界限确定

依据经验确定的预警级别界限如表 A.3。

表 A.3 预警级别界限确定

风险值	预警级别
$0 < Rv_N \leq 0.1$	IV
$0.1 < Rv_N \leq 0.25$	III
$0.25 < Rv_N \leq 0.55$	II
$0.55 < Rv_N \leq 1$	I

A.6 风险值计算

假设某时刻监测到各要素值如下： $L=700\text{ mm}$ ， $a=0.5\text{ m/s}^2$ ， $P=495\text{ kPa}$ ， $\theta=25\text{ }^\circ\text{C}$ ， $H=45\%$ 。因 $0\text{ mm} < L < 1\text{ }000\text{ mm}$ ， $Rv_N=1$ ，此时处于 I 级预警状态。

假设某时刻监测到各要素值如下： $L=3\text{ }850\text{ mm}$ ， $a=0.6\text{ m/s}^2$ ， $P=488\text{ kPa}$ ， $\theta=28\text{ }^\circ\text{C}$ ， $H=42\%$ 。由公式(A.2)、公式(A.3)计算得到 $Rv_N=0.24$ ，此时处于 III 级预警状态。

A.7 预警措施

不同措施级别如表 A.4。

表 A.4 预警措施

预警级别	措施级别	描述	措施	说明
IV 级预警	IV 级措施	低风险	采用蓝色灯光信号，机器人减速至原速度的 80%	若措施未响应，且预警级别升为 III 级预警时，措施级别升为 III 级措施；若措施响应后达到安全状态，则预警解除，否则再次输入预警级别
III 级预警	III 级措施	一般风险	采用黄色灯光信号，50 dB~60 dB 的声音信号（根据环境条件确定），对人员进行提示或警告，机器人减速至原速度的 50%	若措施未响应，且预警级别升为 II 级预警时，措施级别升为 II 级措施；若措施响应后达到安全状态，则预警解除，否则再次输入预警级别
II 级预警	II 级措施	较大风险	采用橙色灯光信号，50 dB~70 dB 的声音信号（根据环境条件确定），对人员进行提示或警告，机器人减速至原速度的 20%	若措施未响应，且预警级别升为 I 级预警时，措施级别升为 I 级措施；若措施响应后达到安全状态，则预警解除，否则再次输入预警级别
I 级预警	I 级措施	重大风险	采用红色灯光信号，50 dB~80 dB 声音信号（根据环境条件确定），机器人停机	措施响应后达到安全状态，则预警解除，否则再次输入预警级别

参 考 文 献

- [1] GB/T 15706—2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小
-