

中华人民共和国国家标准

GB/T 41344.3—2022

机械安全 风险预警 第3部分：分级

Safety of machinery—Risk early-warning—Part 3: Classification

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 预警分级流程 | 1 |
| 5 模型确定 | 2 |
| 5.1 风险值计算模型 | 2 |
| 5.2 基本要求 | 2 |
| 5.3 要素确定 | 3 |
| 6 权重确定 | 3 |
| 6.1 权重确定方法 | 3 |
| 6.2 权重确定考虑因素 | 3 |
| 7 预警级别界限确定 | 4 |
| 8 监测值输入 | 4 |
| 9 风险值计算 | 4 |
| 10 预警级别输出 | 4 |
| 附录 A (资料性) 分级过程的应用示例 | 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 3 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：南京理工大学、四川语璐科技有限公司、安徽中捷矿山运输设备有限责任公司、厦门雷尼自动化科技有限公司、深圳国技仪器有限公司、苏州澳昆智能机器人技术有限公司、中机生产力促进中心、南京林业大学、金华万得福日用品股份有限公司、广东黎麦检测科技有限公司、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、雅砦江流域水电开发有限公司、广东成信科技有限公司、漳州宏展新材料科技股份有限公司、福建省闽旋科技股份有限公司、陕西协佳亚光软件有限公司、广东昂益新科技有限公司、义乌市卡一模具有限公司、山东伽达检测有限公司、陕西泛标软件有限公司、广东盈德数字科技有限公司、江苏强凯检测有限公司、广东当家人智能电器有限公司、泉州市标准化协会、广东铭凯科技有限公司。

本文件主要起草人：居里锴、郑小英、吴益飞、许信发、程红兵、杨弘、居荣华、李瑞国、李政德、李勤、秦培均、周成、倪超、杨玲玲、刘治永、张一为、朱斌、赵茂程、庞艳、姜云荣、刘英、黄之炯、宋小宁、黄琼芳、向贤兵、付卉青、何剑平、郑华婷、杨子勤、朱平、黄建伟、张直金、万青兰、方志明、姜涛、王光建。

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3部分：分级

1 范围

本文件规定了风险预警的分级流程、模型确定、权重确定、预警级别界限确定、监测值输入、风险值计算、预警级别输出，并给出了分级过程的应用示例。

本文件适用于与机械安全相关的风险预警分级。

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 3096—2008 声环境质量标准

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 41344.2—2022 机械安全 风险预警 第2部分：监测

GB/T 41344.4—2022 机械安全 风险预警 第4部分：措施

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

危险区 **danger zone; hazard zone**

使人员暴露于危险的机械内部和(或)其周围的任何空间。

[来源：GB/T 30174—2013, 2.27]

3.2

安全区 **safety zone**

人员处于其中不会暴露于危险的空间。

3.3

预警区 **early-warning zone**

介于安全区域与危险区域之间的空间。

3.4

异常行为 **abnormal behavior**

违反规定或不符合工作流程的动作。

4 预警分级流程

机械/机器风险预警分级流程一般包括模型确定、权重确定、预警级别界限确定、监测值输入、风险

值计算、预警级别输出等,示意图1。根据实际应用环境设计包含人、机器、环境等预警监测要素在内的风险值量化计算模型,确定其权重,并界定预警级别。根据监测值,实时计算风险值,确定风险预警级别并输出。

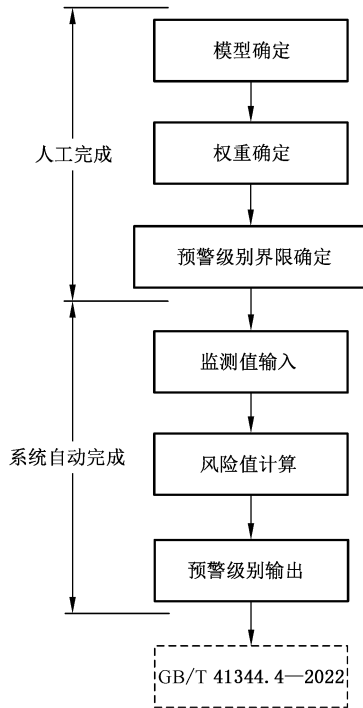


图 1 预警分级流程

5 模型确定

5.1 风险值计算模型

考虑人、机器、环境要素的风险值计算模型见公式(1)。

$$Rv = A \sum a_i \alpha_i G_i + B \sum b_j \beta_j G_j + C \sum c_k \gamma_k G_k \dots\dots\dots (1)$$

式中:

Rv —— 风险值;

$A、B、C$ —— 人、机器、环境要素的对应权重, $A+B+C=1$;

a_i —— 人的要素指标值,对应的权重为 α_i , G_i 为监测值, $\sum a_i = 1, \sum \alpha_i = 1$, 系统监测到该要素时 $G_i = 1$, 未监测到时 $G_i = 0$;

b_j —— 机器的要素指标值,对应的权重为 β_j , G_j 为监测值, $\sum b_j = 1, \sum \beta_j = 1$, 系统监测到该要素时 $G_j = 1$, 未监测到时 $G_j = 0$;

c_k —— 环境的要素指标值,对应的权重为 γ_k , G_k 为监测值, $\sum c_k = 1, \sum \gamma_k = 1$, 系统监测到该要素时 $G_k = 1$, 未监测到时 $G_k = 0$ 。

5.2 基本要求

应根据实际的应用场合及需求,选取人、机器、环境等方面合适的要素。

各要素权重是动态变化的,应根据更新的历史数据,采用 6.1 所述权重确定方法优化权重值。

风险值计算模型要素及权重确定后,应计算出公式(1)的最大值和最小值。在风险值实时计算时应

根据最大值与最小值,对风险值(Rv)进行归一化处理,归一化后的风险值为 Rv_N ($0 \leq Rv_N \leq 1$)。

在特定情况下,人、机器、环境的部分要素具有最高层级,如这些要素达到预设值,则归一化风险值(Rv_N)达到最大值 1。

应根据归一化风险值(Rv_N)所在的区间范围确定预警级别。

5.3 要素确定

GB/T 41344.2—2022 中附录 A 给出了人的状态信息、机器的状态信息和环境的状态信息监测要素示例,这些要素中的一种或多种可作为风险计算要素。

6 权重确定

6.1 权重确定方法

可采用德尔菲法、主成分分析法、层次分析法、优序图法、熵权法等数理统计方法确定各要素权重值。选用不同的方法获得的权重值会有所差异。

6.2 权重确定考虑因素

6.2.1 人

6.2.1.1 概述

人的要素权重确定主要考虑人的作业的空间限制、人的异常行为发生频次和持续时间等。

6.2.1.2 作业空间

人的活动范围分为安全区、预警区、危险区三部分。人在预警区时根据人与危险源的距离,将其分为预警 I 区、预警 II 区、预警 III 区,权重值依次增大。安全区、预警区、危险区可根据 GB/T 23821 和 GB/T 19876 中安全距离的计算方法确定。

6.2.1.3 异常行为发生频次和持续时间

异常行为发生频次——人的异常行为在单位时间内发生的次数,如在一段时间内操作人员未按规定穿戴防护用具操作机器的次数。频次由低到高,权重值依次增大。

异常行为持续时间——人的异常行为持续时间,如人在进入预警区域后的暴露时间。持续时间由短到长,权重值依次增大。

6.2.2 机器

机器的要素权重确定主要考虑机器异常行为发生频次和持续时间等。

机器的异常行为发生频次——机器异常行为在单位时间内发生的次数,如机器未按设定的动作流程工作的次数,频次由低到高,权重值依次增大。

机器的异常行为持续时间——机器异常行为持续的时间,如机器未按设定的动作流程进行工作的持续时间,持续时间由短到长,权重值依次增大。

6.2.3 环境

6.2.3.1 生产环境

生产环境要素主要考虑但不限于以下方面。

噪声——过强噪声会对人身心健康产生不良影响,噪声限值应符合 GB 3096—2008 的要求,依据工作现场要求确定不同噪声值时的权重值。

照明——作业环境中照明不足会导致工作人员的误操作。依据工作现场要求确定不同照明情况下的权重值。

色彩——车间环境色彩会影响操作者作业时的反应速度和准确度。依据工作现场要求确定不同色彩时的权重值。

粉尘——工作场所空气中的粉尘超过容许浓度会影响安全生产。依据工作现场要求确定不同粉尘浓度时的权重值。

6.2.3.2 自然环境

自然环境要素主要考虑但不限于以下方面。

温度——包括作业环境温度和机器自身温度。依据工作现场要求确定不同温度值时的权重值。

湿度——作业环境的湿度。依据工作现场要求确定不同湿度值时的权重值。

7 预警级别界限确定

预警级别界限用于确定各级预警的初始条件。根据风险值计算结果,从小到大将预警级别分为Ⅳ级预警、Ⅲ级预警、Ⅱ级预警、Ⅰ级预警,依据经验或大数据分析等方法设置不同预警级别的风险值界限值分别为 Rv_{Nc} 、 Rv_{Nb} 、 Rv_{Na} ,预警级别划分如表 1。预警级别界限值应随时间迭代优化。

表 1 预警级别划分

| 风险值 | 预警级别 | 特征 |
|-------------------------------|------|-------------------------|
| $0 < Rv_N \leq Rv_{Nc}$ | Ⅳ | 采取最低级别预警措施减小风险的低风险 |
| $Rv_{Nc} < Rv_N \leq Rv_{Nb}$ | Ⅲ | 需要在合适的时机采取警示措施减小风险的一般风险 |
| $Rv_{Nb} < Rv_N \leq Rv_{Na}$ | Ⅱ | 要求立即采取相应警示措施减小风险的较大风险 |
| $Rv_{Na} < Rv_N \leq 1$ | Ⅰ | 需要立即采取消除危险或减小风险措施的重大风险 |

8 监测值输入

输入 GB/T 41344.2—2022 中监测到的实时数据或历史数据。

9 风险值计算

根据输入的监测值,采用公式(1)计算风险值。

10 预警级别输出

根据风险值计算结果确定预警级别(即Ⅳ级预警、Ⅲ级预警、Ⅱ级预警、Ⅰ级预警中的一种),并将预警级别信息实时输出至预警措施。

机械安全风险预警措施应符合 GB/T 41344.4—2022 的要求。

分级过程的应用示例见附录 A。

附 录 A
(资料性)
分级过程的应用示例

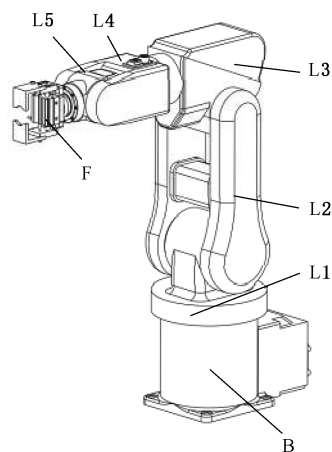
A.1 概述

本附录旨在依据本文件规定的原则,简要说明分级过程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

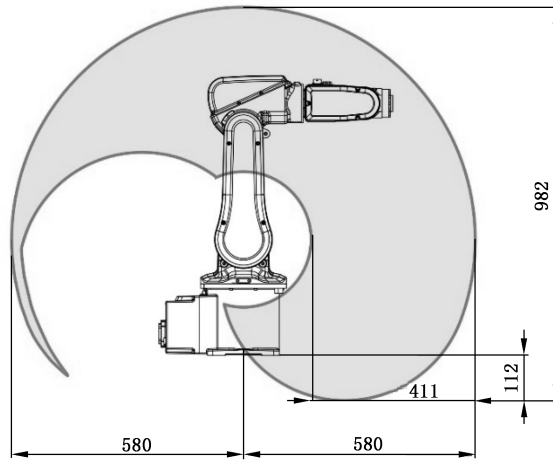


图 A.2 机械臂工作范围

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:

- a) 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;
- b) 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;
- c) 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;
- d) 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

$\theta > 45\text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $95\% \leq H < 100\%$ 等极限情况时，风险值 $Rv_N = 1$ ，此时预警级别为 I 级预警。

单项要素风险值 (Rv_i) 计算公式见公式 (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，由公式 (1)、公式 (A.1) 与表 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/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 | $Rv_N = 1$ |
| | | $470 < P < 490$ 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 $0 \text{ mm} < L < 1\ 000 \text{ mm}$ ， $Rv_N = 1$ ，此时处于Ⅰ级预警状态。

假设某时刻监测到各要素值如下： $L = 3\ 850 \text{ mm}$ ， $a = 0.6 \text{ m/s}^2$ ， $P = 488 \text{ kPa}$ ， $\theta = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ ， $H = 42\%$ 。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。

参 考 文 献

- [1] 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
 - [2] GB/T 23821 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离
-