

ICS 97.200.40  
Y 57



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39417—2020

---

## 大型游乐设施健康管理

Health management of large-scale amusement device

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	1
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 健康管理体系 .....	2
4.1 概述 .....	2
4.2 健康管理要素 .....	2
4.3 健康管理流程 .....	2
4.4 健康管理方案 .....	3
4.5 健康管理人员的要求 .....	3
5 健康指标的确定 .....	4
5.1 一般要求 .....	4
5.2 用户健康管理要求 .....	4
5.3 设计制造阶段健康指标的提出 .....	4
5.4 安装完成后健康指标的确定 .....	4
5.5 运行过程中健康指标的调整 .....	4
5.6 风险分析方法 .....	4
5.7 健康指标的输出 .....	5
6 健康监测 .....	5
6.1 一般要求 .....	5
6.2 健康监测实施流程 .....	5
6.3 健康监测方案 .....	6
6.4 健康监测结果输出 .....	6
7 健康评价 .....	7
7.1 一般要求 .....	7
7.2 健康评价流程 .....	7
7.3 健康评价步骤和方法 .....	10
7.4 评价结果及采取措施 .....	10
8 健康恢复 .....	10
8.1 一般要求 .....	10
8.2 健康恢复措施 .....	10
8.3 结果输出 .....	11
9 记录和文档管理 .....	11
附件 A (资料性附录) 大型过山车健康评价方法应用案例 .....	12

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国索道与游乐设施标准化技术委员会(SAC/TC 250)提出并归口。

本标准起草单位：中国特种设备检测研究院、华侨城集团有限公司、中山市金马科技娱乐设备股份有限公司、华强方特文化科技集团股份有限公司、广东长隆集团有限公司、中国航天员科研训练中心。

本标准主要起草人：沈功田、胡斌、梁琳、刘洲、刘然、张勇、梁朝虎、宋伟科、叶超、李坚、文红光、刘喜旺、肖原、刘辉、林伟明、刘书娟。



# 大型游乐设施健康管理

## 1 范围

本标准规定了大型游乐设施健康管理的内容、方法和要求。

本标准适用于大型游乐设施,其他游乐设施、索道或机械系统的健康管理参照本标准执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 20002.4 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 20050 游乐设施检验验收

GB/T 20306 游乐设施术语

GB/T 30220 游乐设施安全使用管理

GB/T 34370(所有部分) 游乐设施无损检测

GB/T 34371 游乐设施风险评价 总则

GB/T 36668(所有部分) 游乐设施状态监测与故障诊断

## 3 术语和定义

GB/T 20002.4 和 GB/T 20306 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**游乐设施健康 health of amusement device**

游乐设施的功能性、安全性、稳定性和可靠性都处于良好的状态,虽有运行过程中产生的损伤、磨损、损耗等,但不影响其实现设计功能。

### 3.2

**游乐设施健康状态 health status of amusement device**

综合表征游乐设施的功能性、安全性、稳定性和可靠性的程度。

注:本标准将其状态分为“健康”“亚健康”“亚健康”和“病态”四种状态。

### 3.3

**健康指标 health indicators**

反映游乐设施的功能性、安全性、稳定性和可靠性的指标。

### 3.4

**健康监测 health monitoring**

对游乐设施健康指标进行定期或者持续的检查、检测或监测以获取其健康信息。

### 3.5

**健康评价 health evaluation**

通过对健康监测获取的游乐设施健康指标数据进行综合分析、安全评价、寿命评估等,确定游乐设施当前健康状态的过程。

### 3.6

#### **健康恢复 health recovery**

通过对处于不健康状态的游乐设施采取针对性的维护保养、修理和改造等手段将健康状态恢复到可接受范围内的活动。

### 3.7

#### **健康管理 health management**

对游乐设施的健康状态不断跟踪和评价,持续采取各种措施将其健康状态控制在可接受范围内,保证游乐设施安全、经济、可靠运行的管理活动。

### 3.8

#### **健康管理方案 health management plan**

对游乐设施健康管理活动做出针对性计划和安排的文件,系统地指导健康指标确定、健康监测、健康评价、健康恢复等健康管理工作。

## 4 健康管理体系

### 4.1 概述

大型游乐设施健康管理是将游乐设施作为一个有机整体进行全寿命周期的健康管理,通过建立合理的健康管理方案,统筹应用多种技术手段,根据管理对象的健康状况,选取最合适的检测维修手段和周期,实现以最经济的方法保障大型游乐设施安全与可靠运行的目的。其具有以下特点:

- a) 全寿命周期的管理。健康管理涵盖了设计、制造、安装、运行、维保和报废整个过程。
- b) 动态的管理。健康指标的确定、健康监测、健康状态的评价、维保策略与周期、设计制造的反馈和风险分析的输出都是根据设备的实际状态动态调整。
- c) 协调的管理。健康管理的目的是让设备安全、可靠和经济的运行,所采用的技术手段和方法都是为了保证安全、可靠和经济的协调统一。

### 4.2 健康管理要素

大型游乐设施健康管理体系基本要素包括健康指标的确定、健康监测、健康评价和健康恢复四个方面。

### 4.3 健康管理流程

根据用户提出的健康管理要求,通过设计制造、安装和运行等环节的修正,经过风险分析确定健康指标的参数及其范围,通过健康监测、健康评价和健康恢复,实现安全性、可靠性和经济性的协调统一。大型游乐设施健康管理的流程如图1所示。

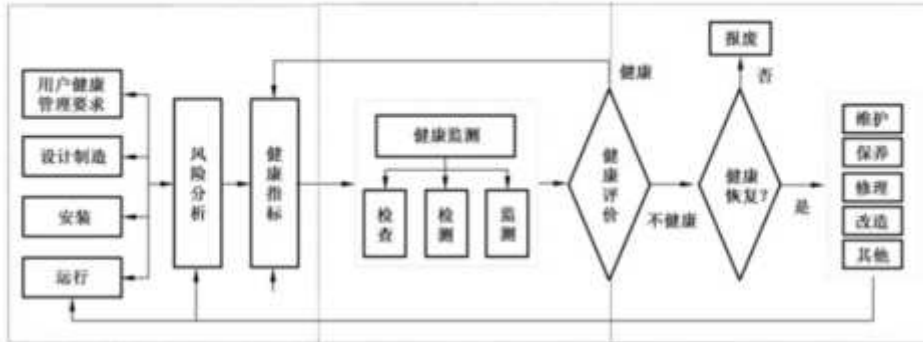


图1 大型游乐设施健康管理的流程

#### 4.4 健康管理方案

大型游乐设施的使用单位应对每台大型游乐设施制定健康管理方案,健康管理方案应至少包括以下内容:

- 依据和执行标准;
- 设备的基本信息,包括设备的类型、结构尺寸、运动参数、承载人数等;
- 健康管理人员职责,包括游乐园各类健康管理人员的职责;
- 设备健康指标及其范围,包括在设计制造、安装和运行等各阶段的不同指标和范围;
- 健康监测方式、方法和时机,包括检查、检验检测和状态监测的方式、方法和时机;
- 健康评价,包括评价步骤、方法、结果及措施;
- 健康恢复,主要是指健康恢复措施;
- 编制、审核、批准人员和日期。

#### 4.5 健康管理人员的要求

##### 4.5.1 健康管理人员包括以下几类:

- 游乐园健康管理总负责人、每台设备的负责人、健康监测与评价技术负责人、维护保养负责人等;
- 检验检测和维护保养等专业人员;
- 运行操作人员。

##### 4.5.2 从事游乐设施健康管理的人员应先按照国家有关法律法规取得资质后,再进行健康管理相关培训,培训内容至少包括以下方面:

- 游乐园健康管理总负责人、每台设备的负责人应经过游乐设施相关法律法规、安全技术规范、健康管理要素、健康管理流程、健康管理方法、失效模式识别与风险评估、日常管理等方面的培训;
- 健康监测与评价技术负责人和检验检测专业人员应经过相关法律法规、安全技术规范、健康监测相关方法与结果评价、检验检测方法与结果评价等方面的培训;
- 维护保养负责人和专业人员应经过相关法律法规、安全技术规范、设备维护保养、缺陷维修与管理等方面的培训;
- 运行操作人员应经过相关法律法规、安全技术规范、风险评估、操作规范等方面的培训。

##### 4.5.3 应编制并执行对健康管理人员的培训大纲,定期审查培训计划。当新标准、法规发布,新设备、新工艺程序或新管理制度实施时,应对培训大纲进行审查,并根据需要进行修订。

4.5.4 对健康管理应人员进行培训、考核,合格后方可上岗。

4.5.5 健康管理应人员应定期接受知识更新培训,以更新岗位知识和技能。

## 5 健康指标的确定

### 5.1 一般要求

5.1.1 确定健康指标的应依据是保证游乐设施本质安全的前提下,根据失效模式和失效机理分析,进行危险源识别、损伤和故障模式识别,找出导致失效的原因和影响因素,并区分主要因素和次要因素,同时考虑降低运营成本,给出体现设备运行参数、运行环境、设备本体等健康状态的指标参数。

5.1.2 健康指标的确定应遵循以下原则:

- a) 对于新制造安装的设备,应根据健康管理要求,在设计的同时给出初步的健康指标,从制造过程发现的质量问题对健康指标进行调整,安装、运行试验后根据安装和运行试验情况进一步调整健康指标,在经过对投入运行的设备进行全面风险分析后,确定设备健康指标及其参考值范围。
- b) 对于在用设备,根据用户健康管理要求,审核原设计、制造、安装的相关文件和历史运行记录,经过风险分析确定健康指标及其参考值范围。

### 5.2 用户健康管理要求

用户根据本单位社会责任、经营理念、品牌策略、顾客对象等方面的定位,对设备运行过程中的安全、经济、可靠等方面提出的综合要求,以达到用较低的经济成本保证设备安全、可靠运行,延长使用寿命。在考虑健康指标及其参数时应综合考虑安全、可靠和经济的协调。

### 5.3 设计制造阶段健康指标的提出

设计制造阶段应根据用户的管理要求,对设备运行参数、机械系统、液压与气动系统、电气系统、安全保护装置等项目进行危险源识别、损伤和故障模式识别,采用风险分析方法找出可能导致设备运行过程中失效的原因及后果,给出设计制造过程中的设备健康指标及其参考值范围。

### 5.4 安装完成后健康指标的确定

设备安装完成后应进行全面检验和运行试验,综合考虑发现的问题、运行环境、管理人员水平、游客素质等因素,对设计阶段健康指标及其参考值范围进行修正确定。

### 5.5 运行过程中健康指标的调整

根据设备运行过程中出现的损伤、故障和失效情况及进行的健康监测与评价结果等,再次进行风险分析,适时调整设备的健康指标及其范围。

### 5.6 风险分析方法

5.6.1 游乐设施风险分析按 GB/T 34371 的要求进行。

5.6.2 风险可接受的水平由使用单位确认。健康指标参数应处于风险可接受水平内的范围;当风险接近不可接受的水平时,应采取针对性的措施降低风险,对应需要调整设计制造和健康管理要求所确定的相应健康指标参数。

5.6.3 当风险判定为风险不可接受时,则需要提出风险控制措施建议,并根据风险控制措施调整健康指标参数。

5.6.4 当设备经过维护保养、修理或改造等健康恢复措施后,应重新进行风险分析和评价,修正原有的

健康指标及其参数范围。

### 5.7 健康指标的输出

5.7.1 健康指标包括健康管理项目以及关键零部件、损伤/故障/失效模式及产生原因、健康指标表征参数及范围等。在健康评价过程中,健康管理项目作为1级评价指标,一般指设备的子系统,如钢结构、列车等;关键零部件作为2级评价指标,一般为子系统的零部件,连接及机械传动等。如表1所示。

5.7.2 健康管理项目是根据健康管理对象的特点,能够描绘健康管理对象的结构、运动和控制等特性的项目,至少应有运行参数、机械系统、控制系统(液压与气动、电气)等。

5.7.3 损伤/故障/失效模式是指根据导致健康管理项目发生损伤、故障或失效的典型模式,损伤/故障/失效产生原因是指产生损伤/故障/失效的可能原因,为健康指标参数的设定提供依据。

5.7.4 健康指标参数是表征健康管理项目及关键部件健康状态的参数,这些参数应能量化和进行检测或监测,并应给出正常的范围。

表1 健康管理项目和指标参数

健康管理项目 (1级评价指标)	关键零部件 (2级评价指标)	损伤/故障/ 失效模式	损伤/故障/ 失效产生原因	健康指标参数	健康指标范围
运行参数	—	—	—	—	根据具体对象确定
机械系统	轨道(结构件)	腐蚀、磨损	表面涂层损坏、 疲劳	表面涂层、壁厚	根据具体对象确定
	齿轮(关键零部件)	断裂、胶合、 窜变	过载、湿度过 高、疲劳	温度、载荷	根据具体对象确定
液压与气动系统	管路	泄漏	管接头松动、 密封面老化	压力	根据具体对象确定
电气系统	限位开关	不动作,不带电	短路、烧坏、 线路老化	电压、电流	根据具体对象确定
安全保护装置	安全压杆	压杆不能 正常锁紧	压力不足、 电气元器件烧坏	动作灵敏度	根据具体对象确定

## 6 健康监测

### 6.1 一般要求

检查、检测和监测是健康监测的主要方法,是获得游乐设施健康信息的手段,应当按照已建立的健康管理指标体系确定健康监测方法和实施方案,对游乐设施进行有针对性的检查、检测和监测。

健康监测方法应按照 GB/T 20050、GB/T 30220、GB/T 34370(所有部分)、GB/T 36668(所有部分)选取。

### 6.2 健康监测实施流程

健康监测的实施一般采用日常巡检,定期检验的顺序进行,对部分需要进行状态监测的设备可减少已监测的参数,但不可替代法定的定期检验。



## 6.3 健康监测方案

### 6.3.1 方案内容

健康监测方案包括健康监测对象、内容、周期和方法,健康监测方案的制定要综合考虑健康指标之间的相互关联,以及各自的风险程度,并根据健康评价结果及时调整方案。健康监测的模式包括日常巡检、定期检验和状态监测。

### 6.3.2 日常巡检

日常巡检是保证大型游乐设施安全运行的重要环节,各个游乐设施使用单位都应制定全面的日常巡检范围、巡检项目及巡检时机。

日常巡检一般采用人工检查的方式,也可采用自动化或机器人巡检。巡检内容包括每日开机试运行的检查、运行周期检查和固定项目的每日巡检。

日常巡检项目主要包括运行参数(电压、电流、压力、速度、运行周期、噪声等)、机械系统(结构的完整性、机构动作的灵活性、零部件的缺失和松动情况、宏观变形、易损件的磨损情况、运行噪声等)、液压与气动系统(漏气/液、压力、温度、响应速度、定位等)、电气系统(电流、电压、温度等)等。

### 6.3.3 定期检验

定期检验是在设备运行一段时间后进行的固定周期检验。定期检验根据检验的项目不同采用不同的周期和检测方法。

运行参数中的速度、加速度、运动状态等应根据设备特点和运行状态进行不定期的检测。

机械系统中的主要机械结构及重要部件可进行原位、局部拆卸和整体拆卸检验,主要手段是无损检测技术,无损检测的实施除了满足设备的设计制造标准和制造厂提供的设备用户使用说明书的要求外,还应根据健康指标和日常巡检的结果来进行;此外,还应针对机械系统中部分存在功能时效性的部件进行功能性复核,譬如安全压杠的弹簧等。

液压与气动系统的定期检验主要为对关键部件的功能性复核和运行状态观察,例如气缸与阀动作是否灵活、管件老化龟裂、液压油状态、滤油器阻塞等。

电气系统主要是确保功能性部件的正常工作,譬如开关触点检查,接近开关距离,接地系统等。

### 6.3.4 状态监测

日常巡检和定期检验具有一定的时效性,而游乐设施的失效具有一定的突然性,可通过对电压、电流、压力、速度、温度、油样成分、振动和噪声等运行参数和结构件的磨损、腐蚀、开裂、变形等进行实时监测,并通过历史数据比对和趋势分析进行故障诊断、预警和预知失效。

关键部件的状态还可通过部分参数间接获取,譬如转动轴承的损伤、受变载荷的支撑部件和轨道的疲劳等,可通过声发射或电磁信号间接评判。

## 6.4 健康监测结果输出

应根据所采用的健康监测方法和规则进行数据分析和结果评价,输出结果应至少包括以下内容:

- 仪器仪表输出数据;
- 一般检验检测和结果评价按照 GB/T 20050 执行;
- 无损检测和结果评价按照 GB/T 34370 执行;
- 状态监测和故障诊断按照 GB/T 36668 执行。

## 7 健康评价

### 7.1 一般要求

健康评价的结果是给出设备的健康状态,健康评价应根据健康监测的结果进行。健康评价可以采用本章方法进行快速宏观评价,也可参照附录 A 采用计算方法进行精准评价。

### 7.2 健康评价流程

设备的健康状态是利用健康监测信息和健康指标的取值范围进行评价,评价流程如图 2 所示。

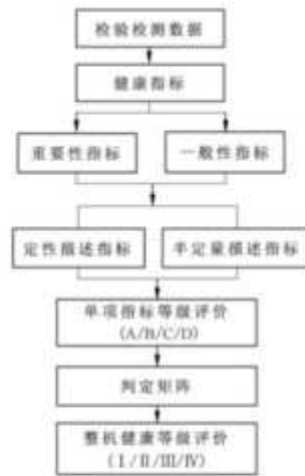


图 2 健康评价流程图

### 7.3 健康评价步骤和方法

#### 7.3.1 概述

根据健康指标对设备安全可靠运行的重要性,将其划分为重要和一般性指标。重要和一般性健康指标的确定可根据国家有关法规、标准和用户管理要求来确定,健康指标的评价根据评价的方法可以分为定性和半定量评价。

#### 7.3.2 健康指标的定性评价

在健康监测中,只能通过人的感官或者借助简单的工具来获取的不能量化的指标,通常是由专家依据经验直接给出,一般采用“优”“良”“中”“差”等模糊性的语言来描述,对应的等级划分和取值范围如表 2 所示。

表 2 定性指标等级对照表

等级	定性描述
A	优
B	良
C	中
D	差(不合格)

## 7.3.3 健康指标的半定量评价

通过仪器仪表的健康监测数据能量化的指标,对应的等级划分和取值范围如表 3~表 5 所示。

- a) 当健康指标的取值范围不大于某一阈值  $a$  时(如,飞行塔类游乐设施的桁架端面滑轮中心线对水平面的高差应不大于 40 mm),则根据表 3 来判断其健康等级。

表 3 不大于某一阈值类定量指标的等级对照表

等级	健康指标实际测试值
A	$[0, \lambda_1 a]$
B	$(\lambda_1 a, \lambda_2 a]$
C	$(\lambda_2 a, a]$
D	$> a$

注:“ $a$ ”是单项健康指标的取值范围,由表 1 给出;  
“ $\lambda_1, \lambda_2$ ”是单项健康等级判断系数,取值范围为 $[0, 1]$ ,取值可基于风险主观赋值,赋值大小因设备的类型、级别、运动形式和工作地点不同而不同。例如大型过山车、大摆锤为高参数、高刺激、高速度的典型 A 级大型设备,潜在风险数相对较高, $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 分别取值宜为 0.4 和 0.8。

- b) 当健康指标的取值范围不小于某一阈值  $a$  时(如,安全带带宽尺寸应大于或等于 30 mm),则根据表 4 来判断其健康等级。

表 4 不小于某一阈值类定量指标等级对照表

等级	健康指标实际测试值
A	$> a + \lambda_1 a$
B	$[a + \lambda_1 a, a + \lambda_2 a]$
C	$[a, a + \lambda_1 a)$
D	$< a$

注:“ $a$ ”是单项健康指标的取值范围,由表 1 给出;  
“ $\lambda_1, \lambda_2$ ”是单项健康等级判断系数,取值范围为 $[0, 1]$ ,取值可基于风险主观赋值,赋值大小因设备的类型、级别、运动形式和工作地点不同而不同。例如大型过山车、大摆锤为高参数、高刺激、高速度的典型 A 级大型设备,潜在风险数相对较高, $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 分别取值宜为 0.4 和 0.8。

- c) 当健康指标的取值范围为一区间 $[a, b]$ 时(如,侧轮在轨道内时轨距允许误差为 $-3 \text{ mm} \sim +5 \text{ mm}$ ),则根据表 5 来判断其健康等级。

表 5 取值范围为一区间类定量指标等级对照表

等级	健康指标实际测试值
A	$\left[ \left( a + \frac{b-a}{2} \right) - \lambda_1 (b-a), \left( a + \frac{b-a}{2} \right) + \lambda_2 (b-a) \right]$
B	$\left[ \left( a + \frac{b-a}{2} \right) - \lambda_2 (b-a), \left( a + \frac{b-a}{2} \right) - \lambda_1 (b-a) \right]$ 或 $\left[ \left( a + \frac{b-a}{2} \right) + \lambda_1 (b-a), \left( a + \frac{b-a}{2} \right) + \lambda_2 (b-a) \right]$
C	$\left[ a, \left( a + \frac{b-a}{2} \right) - \lambda_1 (b-a) \right]$ 或 $\left[ \left( a + \frac{b-a}{2} \right) + \lambda_2 (b-a), b \right]$
D	$<a$ 或 $>b$
<p>注：“a”是单项健康指标的取值范围，由表 1 给出；</p> <p>“<math>\lambda_1, \lambda_2</math>”是单项健康等级判断系数，取值范围为[0,1]，取值可基于风险主观赋值，赋值大小因设备的类型、级别、运动形式和工作地点不同而不同。例如大型过山车、大摆锤为高参数、高刺激、高速度的典型 A 级大型设备，潜在风险数相对较高，<math>\lambda_1</math>和<math>\lambda_2</math>分别取值宜为 0.4 和 0.5。</p>	

### 7.3.4 整机的健康等级评价

根据单项健康指标确定的等级，可采用表 6 和表 7 所示的健康评价准则对整机进行快速健康评价，并分为 I、II、III、IV 四个等级，按如下步骤执行：

- a) 根据重要指标的数量初步判定整机的健康等级，评价准则如表 6 所示，即：
- 1) 当重要指标都是 A 级时，判定整机为 I 级；
  - 2) 当重要指标有 1 项~5 项为 B 级时，判定整机为 II 级，大于 5 项为 B 级时，判定整机为 III 级；
  - 3) 当重要指标有 1 项为 C 级时，判定整机为 II 级，2 项~5 项时判定整机为 III 级，大于 5 项时判定整机为 IV 级；
  - 4) 当重要指标存在 1 项为 D 级时，判定整机为 IV 级。

表 6 基于重要指标级别和数量的整机健康等级评价准则

等级	数量					
	1	2	3	4	5	>5
A	I (全部重要指标都为 A 级时)					
B	II					III
C	II	III				IV
D	IV					

- b) 根据一般指标的数量再次判定整机的健康等级，评价准则如表 7 所示，即：
- 1) 当一般指标都是 A 级时，判定整机为 I 级；
  - 2) 当重要指标有 1 项~5 项为 B 级时，判定整机为 I 级，大于 5 项为 B 级时，判定整机为 II 级；
  - 3) 当一般指标有 1 项~5 项为 C 级时，判定整机为 II 级，大于 5 项时判定整机为 III 级；

- 4) 当一般指标存在 1 项~5 项为 D 级时,判定整机为Ⅲ,大于 5 项时判定整机为Ⅳ级。

表 7 基于一般指标级别和数量的整机健康等级评价准则

等级	数量					
	1	2	3	4	5	>5
A	I (全部重要指标都为 A 级时)					
B	I					II
C	II					III
D	III					IV

- c) 根据上述重要指标和一般指标的评价结果,取其中级别最高者即为整机的健康等级。

#### 7.4 评价结果及采取措施

健康评价等级 I、II、III、IV 分别对应于游乐设施健康状态的“健康”“亚健康”“微病态”和“病态”4 个定性状态,如表 8 所示。

对于评价结果为“健康”的设备,允许使用,正常维保。

对于评价结果为“亚健康”的设备,允许使用,应提出相应措施消除不健康因素,同时缩短检查检验周期。

对于评价结果为“微病态”的设备,允许使用,应确定不健康因素,预测未来健康风险和剩余寿命,且需增加状态监测措施,应尽早安排修理,调整下一步的健康监测方案和健康指标参数范围。

对于评价结果为“病态”的设备,应立即停止使用,直接报废或安排修理以恢复健康。

表 8 大型游乐设施健康评价分级及对应维护保养策略

级别	健康等级	健康状况定性描述	使用与维护保养策略
I	健康	设备运行状况非常好	允许使用,正常维保
II	亚健康	设备运行状况较好	允许使用,缩短检查检验周期
III	微病态	设备出现轻微异常征兆	允许使用,增加状态监测措施,且尽早安排修理
IV	病态	设备出现严重异常征兆	停止使用,报废或安排修理

## 8 健康恢复

### 8.1 一般要求

健康恢复是指对健康评价中确定的不健康因素进行人工干预,使大型游乐设施恢复健康状态的过程。

对评价为“病态”的设备可进行技术与经济评估。对于评估为不可恢复或无经济价值恢复健康的设备,应直接报废;对评估为可恢复健康的设备,应根据产生不健康的原因制定健康恢复方案。

### 8.2 健康恢复措施

#### 8.2.1 工作参数调整

根据健康评价的结果,在日常管理中及时调整不健康的工作状态,主要是通过监控操作面板的显示

信息,读取各仪器仪表的数据和观察关键部件的运行状态等信息来掌控游乐设施的运行状态,一旦发现游乐设施的健康指标参数偏离了正常范围,可通过调整游乐设施的运行参数(譬如速度、加速度、运行周期等)使得其健康指标恢复到正常范围内。

### 8.2.2 外部环境改造

外部环境改造是指排除周围环境的不健康因素。

外部环境改造包括对游乐设施运行环境进行改造、对乘客进行安全教育等来规范乘客的乘坐行为,通过开展岗前培训、继续教育和严格执行持证上岗等手段来强化管理和业务水平等。

### 8.2.3 保养维修

保养维修指对游乐设施设备本身的不健康因素进行维护保养、修理或改造。

对于润滑、清洗、备品备件修复和小缺陷处理等,采用日常维护保养方式。

对于主要受力零部件存在裂纹、严重变形、严重磨损和腐蚀等情况,应予以更换。

对于系统或整机的安全技术性能下降达不到设计的基本要求时,应根据诊断和评估的结果进行修理或更换。

对于发生故障、事故或重大自然灾害损伤的设备,要进行重大修理或改造。

## 8.3 结果输出

应对实施健康恢复措施后的设备进行与原始设计制造参数比对、风险评价,以重新修订设备的健康管理方案,重点调整健康指标参数及范围和健康监测方案。

## 9 记录和文档管理

### 9.1 记录和文件控制的目的:

- a) 保存游乐设施全寿命周期安全运行与维护所需的历史信息;
- b) 保存游乐设施健康管理有效性和合规性的客观证据;
- c) 保存决策制定和审批的相关资料。

9.2 使用单位应建立和管理涉及游乐设施设计、制造、安装、运行、维保,直至报废阶段健康管理活动的记录和文档。

### 9.3 使用单位应建立记录和文档管理计划以及识别、收集和存储以下记录和文档:

- a) 与游乐设施健康管理系统相关的文件、记录和报告;
- b) 与其他设备管理方案相关的文档;
- c) 管理计划应包含电子和纸质记录 and 文档的管理流程。



附录 A  
(资料性附录)  
大型过山车健康评价方法应用案例

A.1 评价对象概述

评价对象为某大型游乐园的弹射式过山车,该设备于 2012 年投入使用,采用弹射发射方式,发射高度达 60 m,轨道长度为 887 m,最大运行速度为 135 km/h,可同时运行两列列车,列车每排 4 人,每列车可载 24 人,如图 A.1 所示。整个运行过程为:首先,列车由助推电机推送至发射段,使得发射拖车与列车结合;然后,列车在长度为 55 m 的水平轨道上,速度迅速由零增加到 135 km/h,列车驶出水平发射段后向左转,冲上高为 60 m 的爬升段;接着在势能的作用下迅速向下滑行,穿越水平面下的隧道。整个过程经历三段起伏和回旋轨道,最终在刹车段由刹车系统进行二次减速,之后由助推器缓缓送回站台。



图 A.1 弹射式过山车

A.2 评价指标的建立及评价内容的确定

构建该大型过山车的健康评价项目、指标及其评价内容如表 A.1 所示。健康管理项目作为 1 级评价指标,一般指设备的子系统,如钢结构、列车等;关键零部件作为 2 级评价指标,一般为子系统的零部件,连接及机械传动等;评价内容是指能反应 2 级指标性能的表征参数或者物理现象,可以包括定性和定量两方面的评价信息。评价指标可以用矩阵[式(A.1)]来表示。本例中评价项目(指标)有 7 个,且都是时间  $t$  的函数,则可以表示为:

$$p(t) = [p_1(t), p_2(t), \dots, p_7(t)]^T \dots\dots\dots (A.1)$$

表 A.1 大型过山车健康评价指标及评价内容

健康管理项目 (1级评价指标)	关键零部件 (2级评价指标)	评价内容
钢结构 $B_1$	轨道及立柱 $C_{11}$	强度、变形、开裂、破洞、磨擦、腐蚀、移位、运行过程异响等状态
	结构连接 $C_{12}$	焊缝缺陷、开裂、连接松动、腐蚀等状态
列车 $B_2$	车体 $C_{21}$	表面状况、开裂、紧固件和预埋件松弛、脱落等状态
	车轮轴 $C_{22}$	开裂、磨擦、支撑架、盖子、环圈紧固件紧固等状态
	轮系及约束 $C_{23}$	磨擦、开裂、损坏、紧固件紧固状态、开口销安装状态、轮毂润滑油位状态等
	连接钩 $C_{24}$	磨擦、损坏、盖板紧固状态、安全拉索断裂情况等
	安全带、安全压杆 $C_{25}$	安全带固定、老化、破损状态、锁扣装置完好状态、安全压杆启闭状态、开裂、锈蚀、异物划伤等状态
	底盘 $C_{26}$	焊缝开裂、易磨件几何尺寸等状态
制动装置 $B_3$	气动制动装置 $C_{31}$	制动蹄片表面磨擦、开裂、紧固件紧固状态、剪切块焊缝开裂、锈迹状态等
	液压制动装置 $C_{32}$	表面清洁、开裂、紧固件紧固状态、导板、导电刷完好状态等
气动、液压系统 $B_4$	空压机 $C_{41}$	安装牢固状态、皮带的松紧程度、曲轴箱内油位状态、运转中异响、振动、温度升高及密封状态等
	油泵及马达 $C_{42}$	安装牢固状态、运行中异响、油密封、温度升高状态等
	气压、液压回路 $C_{43}$	压力、密封、堵塞、开裂、破擦及老化状态、安全阀动作灵活状态等
电气装置 $B_5$	操作台 $C_{51}$	功能、按键、表盘、指示灯等工作状态、污损、破擦状态等
	信号装置 $C_{52}$	检测、限位及行程开关动作状态、锈蚀、污损等情况
	照明、监控、广播设备 $C_{53}$	部件固定、完好情况、照明状态、监控设备画面清晰与工作状态、广播音量、音质状态等
安全防护装置 $B_6$	站台、安全通道、栅栏 $C_{61}$	畅通与障碍物情况、安装紧固状态、安全栏杆锈蚀、破擦状态等
	应急救援 $C_{62}$	应急救援装置完好状态、功能是否有效
安全管理措施 $B_7$	安全管理 $C_{71}$	安全规章制度和操作规程建立情况、安全教育和安全检查实施情况
	人员素质 $C_{72}$	特种设备操作人员培训、持证、能力素质等情况
	安全保障 $C_{73}$	人身保险、安全措施、安全投资、安全文化等情况

### A.3 评价指标的量化处理

#### A.3.1 评价体系结构

在上述健康评价指标体系及评价内容的基础上,抽取出发定性和定量评价分量,定性分量用模糊性语言  $\delta$  表示,定量分量用  $\Delta$  表示。若某些指标不能量化,即不能抽取定量分量,则该类指标完全采用定性分量来标度。抽象化大型游乐设施整机的健康评价指标体系的层次结构如图 A.2 所示。即,对应表 A.1将整台设备分为目标层、1级和2级3个层级以及检测数据;其中检测数据以定性或定量的方式来描述指标的相应评价内容。



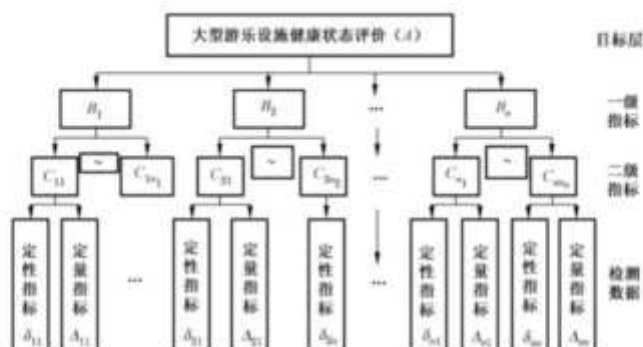


图 A.2 大型过山车健康评价指标体系层次结构

### A.3.2 指标的定性评价

考虑到指标所对应评价内容的复杂性,既包含了定性信息也有定量信息,因此需要将数据分为主观和客观两类来对待。定性信息主要是由专家依据经验主观直接给出,通常采用“优”“良”“中”“差”等含有模糊性的语言来描述,对应的等级和取值范围如表 A.2 所示。表中取值范围设定为 $[0,1]$ ,不同的评价结果对应不同的取值范围,如“优”对应的取值范围为 $(0.8,1]$ 。

表 A.2 定性指标评价等级对照表

序号	取值范围	等级
I	$(0.8,1]$	优
II	$(0.6,0.8]$	良
III	$(0.4,0.6]$	中
IV	$(0,0.4]$	差

本例中,定性评价指标值由专家对照表 A.2 直接给出,分别为: $\delta_{11} = 0.84$ ,  $\delta_{12} = 0.75$ ,  $\delta_{21} = 0.76$ ,  $\delta_{22} = 0.82$ ,  $\delta_{23} = 0.73$ ,  $\delta_{24} = 0.86$ ,  $\delta_{25} = 0.84$ ,  $\delta_{26} = 0.9$ ,  $\delta_{31} = 0.73$ ,  $\delta_{32} = 0.75$ ,  $\delta_{33} = 0.86$ ,  $\delta_{34} = 0.88$ ,  $\delta_{35} = 0.78$ ,  $\delta_{36} = 0.84$ ,  $\delta_{37} = 0.80$ ,  $\delta_{41} = 0.71$ ,  $\delta_{42} = 0.73$ ,  $\delta_{43} = 0.75$ ,  $\delta_{44} = 0.69$ ,  $\delta_{45} = 0.68$ ,  $\delta_{46} = 0.63$ 。

### A.3.3 指标的定量评价

定量信息中由于计量单位的差异性,因此需要对其进行无量纲化和归一化处理。可量化的评价指标有强度、刚度、裂纹、变形、锈蚀、磨损等数据,其无量纲化处理方法如表 A.3 所示。如强度指标用应力来表征,无量纲化值为实际测试值与许用应力值的比值。

表 A.3 常见定量评价参数无量纲化处理对照表

评价指标	表征参数	量纲	无量纲化
强度指标	应力	MPa	$\Delta_i = 1 - \sigma_{\text{测}} / [\sigma]$
刚度指标	挠度	mm	$\Delta_i = 1 - f_{\text{测}} / [f]$

表 A.3 (续)

评价指标	表征参数	量纲	无量纲化
裂纹指标	长度	mm	$\Delta_l = 1 - T_{l,max} / [F_l]$
	深度	mm	$\Delta_d = 1 - T_{d,max} / [F_d]$
变形指标	波浪度	mm	$\Delta_b = 1 - h / 10$
腐蚀指标	腐蚀深度	mm	$\Delta_c = 1 - d_{cor} / [d]$
磨损指标	磨损量	mm	$\Delta_w = 1 - w_{cor} / [w]$

表中 $[\cdot]$ 为相应的许用值; $\sigma_{max}$ 、 $T_{l,max}$ 、 $T_{d,max}$ 、 $f_{max}$ 等为实际测试值,是关于时间变量 $t$ 的函数,是健康状态数学模型的输入量之一,体现了健康评价中数据来源的动态特性,是实现动态的健康评价的基础; $\Delta$ 为相应的无量纲化处理值。

分析表 A.4 可知,本例中的定量评价信息可以通过壁厚、应力应变、裂纹长度(活性缺陷)、振动、温升、外观几何尺寸等来表征磨损、腐蚀、强度、开裂、异常声响、过热、变形等损伤或故障模式。采取的检测手段或方式主要有:光纤光栅应力测试、声发射、电磁超声、涡流、磁粉、红外、游标卡尺等。通过对 2019 年期间开展的定检、日常维保、状态监测数据的收集和整理,并根据表 A.3 原则进行无量纲化处理,结果如表 A.4 所示。如,根据表 A.1 的评价内容,采用疲劳、裂纹、壁厚等参数从客观的角度反映了 2 级指标轨道及立柱的健康情况。其中值 $\Delta_{f,max}(C_{11}) = 0.76$ ,是通过测试应力,根据线性累积损伤理论,并进行无量纲化处理,得出的疲劳程度,用以表征轨道和立柱的强度情况。值 $\Delta_{wcor,shor}(C_{22}) = 0.67$ 是通过游标卡尺测量并经无量纲化处理所得,从客观的角度表征了轮系的磨损情况。

表 A.4 大型过山车的定量健康评价数据

1 级指标	2 级指标	定量健康评价值	检测方法
钢结构 $B_1$	轨道及立柱 $C_{11}$	疲劳: $\Delta_{f,max}(C_{11}) = 0.76$ 裂纹: $\Delta_{l,max,act}(C_{11}) = 1$ 壁厚: $\Delta_{th,minimum}(C_{11}) = 1$ 轨距: $\Delta_{th,max}(C_{11}) = 1$ 磨损: $\Delta_{wcor,shor}(C_{11}) = 1$	光纤光栅应力测试 声发射+涡流+直尺 电磁超声测厚 直尺测轨距 电磁超声测厚
	结构连接 $C_{12}$	裂纹: $\Delta_{l,max,act}(C_{12}) = 1$	涡流检测表面裂纹
列车 $B_2$	车体 $C_{21}$	裂纹: $\Delta_{l,max,act}(C_{21}) = 1$	表面磁粉探伤
	车轮轴 $C_{22}$	裂纹: $\Delta_{l,max,act}(C_{22}) = 1$ 磨损: $\Delta_{wcor,shor}(C_{22}) = 1$	表面磁粉探伤 游标卡尺检测磨损量
	轮系及约束 $C_{23}$	温升: $\Delta_{th,max}(C_{23}) = 1$ 磨损: $\Delta_{wcor,shor}(C_{23}) = 0.67$	红外热成像温升检测 游标卡尺检测磨损量
	连接轴 $C_{24}$	裂纹: $\Delta_{l,max,act}(C_{24}) = 1$	表面磁粉探伤
	安全带 $C_{25}$	裂纹: $\Delta_{l,max,act}(C_{25}) = 1$	表面磁粉探伤
制动装置 $B_3$	制动装置 $C_{31}$	刹车磨损: $\Delta_{wcor,shor}(C_{31}) = 1$	游标卡尺检测磨损量
气动系统 $B_4$	空压机 $C_{41}$	空压机温升: $\Delta_{th,max}(C_{41}) = 1$	红外热成像温升检测

#### A.4 整机健康状态评价

##### A.4.1 整机健康等级设定

健康等级(I/II/III/IV)分别对应于“健康”“亚健康”“微病态”和“病态”4个状态(见表A.5),条件合适的可综合给出设备的健康评分。

表 A.5 大型游乐设施健康评价分级及对应维护保养策略

级别	健康等级	健康状况定性描述	使用与维护保养策略
I	健康	设备运行状况非常好	允许使用,正常维保
II	亚健康	设备运行状况较好	允许使用,缩短检查检验周期
III	微病态	设备出现轻微异常征兆	允许使用,需增加状态监测措施,且尽早安排大修
IV	病态	设备出现严重异常征兆	停止使用,需要安排修理以恢复健康

##### A.4.2 指标权重的计算

采用层次分析法对各层健康指标进行权重计算,参照表A.1的指标体系,依据表A.2的评分规则,对本研究对象的健康指标参数建立模糊一致性判断矩阵 $R$ ,并计算各层指标的权重值,1级指标和前两项2级指标的权重值 $W$ 分别见表A.6和表A.7。

表 A.6 模糊一致性判断矩阵  $R(A-B)$

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$W$
$B_1$	0.50	0.75	0.40	0.55	0.75	0.68	0.60	0.18
$B_2$	0.25	0.50	0.15	0.30	0.50	0.43	0.35	0.16
$B_3$	0.60	0.85	0.50	0.65	0.85	0.78	0.70	0.21
$B_4$	0.45	0.70	0.35	0.50	0.70	0.63	0.55	0.16
$B_5$	0.25	0.50	0.15	0.30	0.50	0.43	0.35	0.09
$B_6$	0.32	0.57	0.22	0.37	0.57	0.50	0.42	0.10
$B_7$	0.40	0.65	0.30	0.45	0.65	0.58	0.50	0.10

表 A.7 模糊一致性判断矩阵  $R_1(B_1-C)$

	$C_{11}$	$C_{12}$	$W_1$
$C_{11}$	0.50	0.58	0.58
$C_{12}$	0.42	0.50	0.42

照此方法,可求得其他指标的权重,分别为: $W_2(B_2-C) = (0.07 \ 0.20 \ 0.22 \ 0.15 \ 0.24 \ 0.12)$ ,  
 $W_3(B_3-C) = (0.50 \ 0.50)$ ,  $W_4(B_4-C) = (0.45 \ 0.20 \ 0.35)$ ,  $W_5(B_5-C) = (0.35 \ 0.45 \ 0.20)$ ,  
 $W_6(B_6-C) = (0.65 \ 0.35)$ ,  $W_7(B_7-C) = (0.35 \ 0.45 \ 0.20)$ 。

### A.4.3 整机综合评价

#### A.4.3.1 评价构成

本过程包括定量指标合成,定性和定量合成,整机健康状态评价三部分。

#### A.4.3.2 定量指标合成

参考表 A.1 并利用式(A.2),将反应评价内容的客观值进行模糊合成,即为相应 2 级指标的健康状态值,合成结果见表 A.8。如表中第二行的 2 级指标轨道和立柱  $\Delta(C_{11})$ ,是由该项对应评价内容的客观信息(疲劳、裂纹、壁厚、轨距、磨损等)合成而来,结果为 0.76。

$$p_i(t) = p_{\delta_i}(t) \circ p_{\Delta_i}(t) \circ p_i^*(t) \quad (i=1,2,\dots,7) \quad \dots\dots\dots(A.2)$$

其中," $\circ$ "为模糊合成算子  $M(\odot|\oplus|\wedge|\vee)$ (表示有界乘法、和、取大或者取小运算);  $t$  表示时间变量;  $p_i(t)$  ( $i=1,2,\dots,7$ ) 表示指标的健康状态值,  $p_{\Delta_i}(t)$  表示实际测试值或计算值,  $p_{\delta_i}(t)$  表示主观评估值,  $p_i^*(t)$  表示重要项,且满足式(A.3):

$$\begin{cases} p_{\Delta_i}(t) = R \in [0, +\infty) \\ p_{\delta_i}(t) = R' \in [0, 1] \\ p_i^*(t) = \{0, 1\} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(A.3)$$

表 A.8 客观健康指标数据合成值

原始值	模糊合成算子	合成值
$\Delta_{f,crack}(C_{11}) = 0,76$ $\Delta_{c,crack,crack}(C_{11}) = 1$ $\Delta_{d,thickness,thickness}(C_{11}) = 1$ $\Delta_{d,thickness}(C_{11}) = 1$ $\Delta_{wear,wear}(C_{11}) = 1$	$\underline{M(\vee)}$	$\Delta(C_{11}) = 0,76$
$\Delta_{wear,crack}(C_{12}) = 1$	$\underline{M(\vee)}$	$\Delta(C_{12}) = 1$
$\Delta_{fat,crack}(C_{12}) = 1$		$\Delta(C_{12}) = 1$
$\Delta_{fat,crack}(C_{13}) = 1$ $\Delta_{wear,wear}(C_{13}) = 1$	$\underline{M(\vee)}$	$\Delta(C_{13}) = 1$
$\Delta_{d,thickness}(C_{14}) = 1$ $\Delta_{wear,thickness}(C_{14}) = 0,67$	$\underline{M(\vee)}$	$\Delta(C_{14}) = 0,67$
$\Delta_{wear,crack}(C_{15}) = 1$	$\underline{M(\vee)}$	$\Delta(C_{15}) = 1$
$\Delta_{fat,crack}(C_{16}) = 1$		$\Delta(C_{16}) = 1$
$\Delta_{d,thickness,crack}(C_{17}) = 1$		$\Delta(C_{17}) = 1$
$\Delta_{wear,crack}(C_{18}) = 1$		$\Delta(C_{18}) = 1$
$\Delta_{wear,wear}(C_{19}) = 1$		$\Delta(C_{19}) = 1$

#### A.4.3.3 定量和定性指标合成

利用式(A.2)对 A.3.2 中的定性指标和表 A.8 中的定量进行模糊合成,结果如下:  $p_{11} = \delta_{11} \circ \Delta_{11} = 0,76 \times 0,84 = 0,64$ ,  $p_{12} = \delta_{12} \circ \Delta_{12} = 0,76$ ,  $p_{13} = \delta_{13} \circ \Delta_{13} = 0,76$ ,  $p_{14} = \delta_{14} \circ \Delta_{14} = 0,82$ ,  $p_{15} = \delta_{15} \circ \Delta_{15} = 0,49$ ,

$$\begin{aligned}
 p_{24} &= \delta_{24} \cdot \Delta_{24} = 0.86, p_{25} = \delta_{25} \cdot \Delta_{25} = 0.84, p_{26} = \delta_{26} \cdot \Delta_{26} = 0.9, p_{31} = \delta_{31} \cdot \Delta_{31} = 0.73, p_{32} = \delta_{32} \cdot \Delta_{32} = 0.75, \\
 p_{41} &= \delta_{41} \cdot \Delta_{41} = 0.86, p_{42} = \delta_{42} \cdot \Delta_{42} = 0.88, p_{43} = \delta_{43} \cdot \Delta_{43} = 0.78, p_{51} = \delta_{51} \cdot \Delta_{51} = 0.84, p_{52} = \delta_{52} \cdot \Delta_{52} = 0.80, \\
 p_{53} &= \delta_{53} \cdot \Delta_{53} = 0.71, p_{61} = \delta_{61} \cdot \Delta_{61} = 0.73, p_{62} = \delta_{62} \cdot \Delta_{62} = 0.75, p_{71} = \delta_{71} \cdot \Delta_{71} = 0.69, p_{72} = \delta_{72} \cdot \Delta_{72} = 0.68, \\
 p_{73} &= \delta_{73} \cdot \Delta_{73} = 0.63.
 \end{aligned}$$

#### A.4.3.4 整机健康状态评价

在上述健康指标权重和评价值的基础上,利用式(A.4)计算整机的健康状态值  $H_s(t)$ ,再根据表 A.5 确定健康等级。

$$H_s(t) = f(W, h(\cdot)(p(t))) \rightarrow \begin{cases} H_s = R \in [0, 1], p_i^* = 1 \\ H_s = 0, \exists p_i^* = 0 \end{cases} \quad (i=1, 2, \dots, 7) \dots\dots (A.4)$$

式中:

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_7\}$  为各向量的权重;

$h(\cdot)$  表示健康状态指标变换算子,用于对  $p(t)$  进行无量纲化,具体形式视情况而定。

a) 1 级指标健康状态计算与评价

评价矩阵:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= f(W_1, h_1(\cdot)(p_1(t))) = W_1 \cdot P_1 = (w_{11} \quad w_{12}) \cdot \begin{bmatrix} p_{11} \\ p_{12} \end{bmatrix} = (0.58 \quad 0.42) \cdot \begin{pmatrix} 0.64 \\ 0.76 \end{pmatrix} = 0.69, \\
 H_2 &= 0.76, H_3 = 0.74, H_4 = 0.84, H_5 = 0.80, H_6 = 0.74, H_7 = 0.67.
 \end{aligned}$$

b) 整机健康状态计算与评价

通过表 A.1、表 A.2 和图 A.2 所反应的大型游乐设施健康评价指标体系层次结构以及式(A.4),易知 a) 中的计算结果  $H_1 \sim H_7$ ,即为本过程中的  $P(P_1 \sim P_7)$ 。

整机健康状态值:

$$\begin{aligned}
 H_s &= f(W, h(\cdot)(p(t))) = W \cdot P \\
 &= (0.18 \quad 0.16 \quad 0.21 \quad 0.16 \quad 0.09 \quad 0.10 \quad 0.10) \cdot \\
 &\quad (0.69 \quad 0.76 \quad 0.74 \quad 0.84 \quad 0.80 \quad 0.74 \quad 0.67)^T \\
 &= 0.75
 \end{aligned}$$

即,整机健康状态值  $H_s$  为 0.75,根据表 A.5 定义的健康等级,可以判定该大型弹射式过山车的健康状态为 II 级(亚健康)。