

万能式断路器健康管理规范

Health management specification for Air Circuit Breakers

(征求意见稿)

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

中国电工技术学会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 健康管理技术	1
4.1 技术体系结构	2
4.2 数据采集和传输	2
4.3 数据处理	3
4.4 状态监测	3
4.5 故障预测	3
4.6 健康评估	4
4.7 接口	6
5 健康管理功能应用	6
5.1 应用概述	6
5.2 设备侧	6
5.3 平台侧	7
附录 A（资料性） 典型寿命机理的函数及寿命预测示例	10
附录 B（资料性） 设备接入工业互联网平台的数据格式要求	11
参考文献	12

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。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会归口。

本文件起草单位：上海电器科学研究所、常熟开关制造有限公司（原常熟开关厂）、无锡新宏泰电器科技股份有限公司、浙江正泰电器股份有限公司、上海良信电器股份有限公司、上海诺雅克电气有限公司。

本文件起草人：陈正馨、冯玉峰、薛建虎、马世刚、谢建波、廖传灿、易颖。

本文件为首次发布。

引 言

健康管理是电器工业互联网中一项重要的功能应用,可以有效带动相关电器设备制造企业对产品状态监测技术的提升,为系统中运行的电器设备的运维策略、管控措施、更新和检修计划提供了有力的技术支持,可有效提高城市配电网运行管理自动化、数字化、智能化水平,提高供电可靠性,降低企业运维成本。

本文件基于万能式断路器的寿命机理模型、老化机理模型、故障预警机理模型、控制器及平台故障预警的研究成果,结合电力、建筑、新能源、轨道交通、5G通信等通用市场和细分市场的应用场景需求对万能式断路器健康管理的要求,从工业互联网平台应用出发,提出万能式断路器的健康管理理念、技术及应用指南。

本文件有助于规范行业对万能式断路器健康管理的认知,引导企业利用工业互联网平台进行远程运维、故障预警和预测性维护,对行业的创新发展有着积极的推动作用和指导意义。

万能式断路器健康管理规范

1 范围

本文件规定了万能式断路器（以下简称断路器）健康管理的内容和技术要求，以及利用工业互联网平台对断路器进行远程运维和预测性维护等的应用指南。

本文件适用于指导企业接入电器行业工业互联网应用服务平台，企业工业互联网平台建设也可参考执行。

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。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

健康管理

利用感知在线监测、定期巡检和离线检测相结合的方法，广泛获取设备状态信息，借助各种智能推理算法评估设备本身的健康状态；在系统故障发生之前，结合历史工况信息、故障信息、运行信息等多种信息资源对其故障进行预测，并提供维修保障决策及实施计划等以实现系统的视情维修。

3.2

健康状态评估

根据感知数据、人工测量数据、历史数据等进行分析，综合考虑设备的使用、环境、维修等因素的影响，利用评估算法对设备的健康状态进行评估，包括对设备当前的健康状态进行综合评估，以及对设备未来的健康状态进行预测。

3.3

健康度

设备健康状态的量化值，是用于健康管理的特征性指标，可用字母H表示。

3.4

剩余寿命

设备从检测的某一时刻起到该设备故障的时间长度，也可以是一定时间内设备的可靠度、风险率等其他可以表征设备寿命特征的参数。

3.5

剩余寿命预测

利用一定的预测方法，根据历史和现在的情况对设备的剩余寿命进行预先的估计。

3.6

故障预测

利用已掌握的设备故障知识，对运行期间的状态动态特性数据进行实时监测，根据设备的实际运行状态，结合历史数据和相关模型，利用预测方法预计一定时间之后的参数和性能变化趋势，准确快速地提供故障预测信息。

4 健康管理技术

4.1 技术体系结构

断路器的健康管理技术包括状态监控、健康评估、故障预测、维修决策四大内容，技术体系结构参见图1。

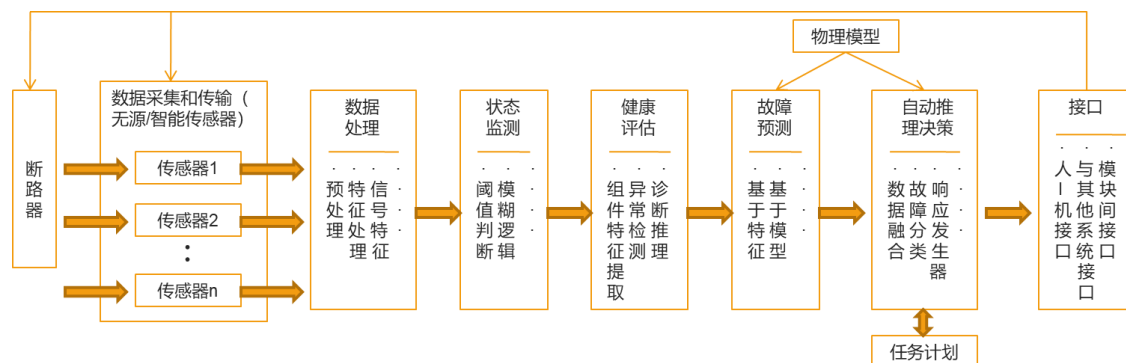


图1 断路器健康管理技术体系结构

4.2 数据采集和传输

断路器利用各种运行感知技术采集相关参数信息，为实现断路器健康管理提供基础数据，并具有数据转换以及数据传输等功能，运行感知技术主要有电气、机械、环境、自诊断等。

4.2.1 运行感知

4.2.1.1 电气感知

应能测量断路器的各类电气参数，并能将测量信息传送到本地和/或远程终端。可被测量的电气参数不限于：

- 电压；
- 电流；
- 频率；
- 触头压降。

4.2.1.2 机械感知

应能测量断路器的各类机械参数，并能将测量信息传送到本地和/或远程终端。可被测量的机械参数不限于：

- 弹簧力；
- 主触头角位移；
- 主轴角速度。

4.2.1.3 自诊断

应能监测断路器自身的各类状态，诊断断路器及其附件的失效，并能将信息传送到本地和/或远程终端。可被传送的信息不限于：

- 欠电压脱扣器、闭合脱扣器和分励脱扣器；
- 储能闭合机构；
- 智能控制器；
- 通信模块；
- 操作次数；
- 累计带电运行时间。

4.2.1.4 环境感知

应能监测断路器运行的内外部环境，并能将信息传送到本地和/或远程终端。可被传送的信息不限于：

- 温度（断路器进出线端温度、主触头温度、软连接温度、断路器周围空气温度）；
- 湿度；
- 盐雾；
- 振动。

4.2.2 数据传输

运行感知采集到的各种数据信息通过一定的方式传输到断路器健康管理模块中，主要有两种传输方式：

- 有线传输；
- 无线传输。

4.3 数据处理

断路器接收来自自身感知技术获得的数据及其他外接数据处理模块（如适用）的信号和数据，并将数据处理成后继的状态监测、健康评估和故障预测等部分处理要求的格式。

数据处理结果包括经过并压缩简化后的传感器数据、频谱数据以及其他特征数据等。

4.4 状态监测

断路器接收来自运行感知、数据处理以及其他外接状态监测模块（如适用）的数据，并将这些数据同预定的失效判据等进行比较来监测断路器当前状态，并可根椐预定的各种数据指标极限值或阈值来提供故障诊断、预警等信息。

4.5 故障预测

4.5.1 故障特征及故障集

将断路器运行感知的数据与阈值比较后得到“过大”、“过小”或“为零”等判断得出故障特征。断路器可能发生的、能被观察或测量到的故障特征集合为故障集。故障集可包括：

- 主触头温度过大；
- 储能闭合时长过大；
- 智能控制器芯片温度过大；
- 触头压降过大。

4.5.2 故障诊断

应结合故障机理模型以及故障集得出故障诊断的结果。典型的故障诊断结果可为：

- 动作不正常；
- 触头过热；
- 控制器失效；
- 附件失效；
- 抽屉不到位。

4.5.3 故障预警

断路器故障预警可包括以下类型：

- 机械故障；
- 过热故障；
- 控制/辅助电路故障；
- 控制器故障。

断路器基于运行期间的故障诊断情况，结合历史数据和相关模型，分析其趋势变化，从而预警各类故障类型的发生概率。

4.6 健康评估

4.6.1 断路器评估流程

断路器健康状态评估流程参见图2。

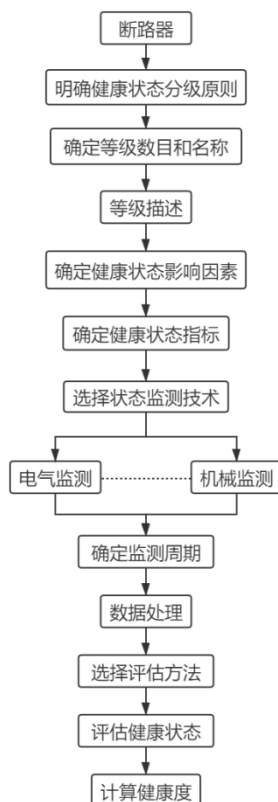


图2 断路器健康状态评估流程

4.6.2 健康状态等级

断路器生产企业可根据自身产品特点，明确断路器健康状态分级原则，确定等级数目和名称，以及等级的描述。健康状态等级划分可参见表1。

表1 健康状态等级

健康状态等级	等级描述
健康	设备的各项技术性能指标都在允许的范围内，所有测试数据均远离警告值，并且没有经历不良工况，能保证正常运行及实现各种规定功能，无需任何维护工作，大修周期可适当延长。
良好	设备的主要技术性能指标在允许的范围内，总体性能有所下降，但不会影响正常运行，按计划进行维修。
注意	设备一部分主要技术性能退化，有劣化的趋势，有少量不良工况记录，还可完成主要功能，在使用时就加强监控，注意健康状态的变化趋势。
恶化	设备的主要技术性能严重退化，劣化趋势明显，有不良工况记录，可考虑在计划维护时间点前实施维修活动。
危险	设备所有的数据均达到或超过警告值，已无法满足运行，如果继续使用可能会造成设备损坏，需停止使用立即进行维修。

断路器健康状态等级推荐选用三级，即健康、注意、危险。

4.6.3 健康状态指标

断路器健康状态指标可包括运行工况、触头磨损、热老化率等，断路器生产企业可根据自身产品特点，确定断路器健康状态指标。

4.6.3.1 运行工况

断路器通过运行感知获取的工况参数包括系统（含控制回路）电流、电压、频率电参量，温度、湿度、盐雾等环境参量，以及断路器本身如触头、控制器、附件线圈所产生的温度。

4.6.3.2 触头磨损

基于断路器触头磨损机理，可预测断路器操作性能（参见附录A），也可通过运行感知获取断路器实际操作次数、机械动作、工况等信息，给出断路器触头磨损数据，结果可通过百分比指示，百分比所代表的断路器触头磨损以及相应的操作性能状态定义可根据各断路器制造企业自行研究结果给出，推荐的定义方式如下：

- 触头磨损 0~50%：断路器能正常运行，剩余操作性能 50%~100%，触头压降或温升没有发生突变；
- 触头磨损 51%~80%：断路器能正常运行，但触头压降或温升已发生突变，剩余操作性能 20%~50%，需安排检修；
- 触头磨损 81%~100%：不能确保正常运行，剩余操作性能低于 20%，需立即更换断路器。

4.6.3.3 热老化

设备使用年限主要依据技术年限和固定资产折旧年限，再加上1-5年。由于低压开关折旧年限为18年，再加2年缓冲，一台断路器正常使用年限定为20年。

基于断路器老化机理，预测断路器使用年限，通过运行感知获取的温度、湿度等工况信息结合运行时间、使用年限给出断路器热老化率，结果可通过百分比指示，百分比所代表的断路器热老化情况以及相应的使用寿命情况定义可根据各断路器制造企业自行研究结果给出，推荐的定义方式如下：

- 热老化率 0~40%：断路器能正常运行，剩余使用寿命 12~20 年；
- 热老化率 41%~90%：断路器能正常运行，但断路器软连接等热元件热老化率已较高，剩余使用寿命 2~12 年需安排检修；
- 热老化率 91%~100%：不能确保正常运行，剩余使用寿命低于 2 年，需立即更换断路器。

4.6.4 健康度

假设备健康状态的指标有 m 个，它们一起构成了表征健康状态的特征向量 $X=(x_1, x_2, \dots, x_m)$ ，则健康度的一般定义为 $H=f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ 。

综合断路器触头磨损、热老化率等健康状态指标，可以计算出断路器健康度，结果可用0~100分指示。断路器制造企业可自行选取健康状态指标数量及定义，利用模型计算出健康度分数，并自行给出相关定义。健康度的分数推荐的定义方式如下：

- 70~100分：健康度为70分以上，断路器健康状态优良、健康；
- 50~70分：健康度为40至70分之间，断路器健康状态下降，需重点关注，并制定维修计划；
- 0~50分：健康度40分以下，已达到危险程度，需立即更换断路器。

4.6.5 维护策略

基于设备的健康度情况、故障预测、使用维护和环境信息，从整个系统运维的安全性、可行性、经济性出发，制定维护策略，提出维修规范和检验方法。

断路器维护策略可结合断路器的健康状态评估及健康度计算结果制定，推荐定义如下：

- 健康：断路器正常运行，不需要定期维护；
- 注意：断路器能正常运行，但需要制定检修计划；
- 危险：断路器不能正常运行，立即更换。

4.7 接口

断路器健康管理应是一个开放式的系统体系结构，具备“即插即用”能力，其数据传输接口主要包括：

- 人-机接口：包括断路器状态监测的警告信息显示以及健康评估、预测和维修等数据信息的显示；
- 机-机接口：包括断路器健康管理中各功能模块之间、功能模块与健康管理系统之间、断路器健康管理与其他决策支持、计划、库存、自动化及维修系统之间的数据传输接口。

5 健康管理功能应用

5.1 应用概述

断路器的健康管理功能可通过设备侧、边缘侧（如适用）和工业互联网平台侧三个维度分别实现，具体参见图3。

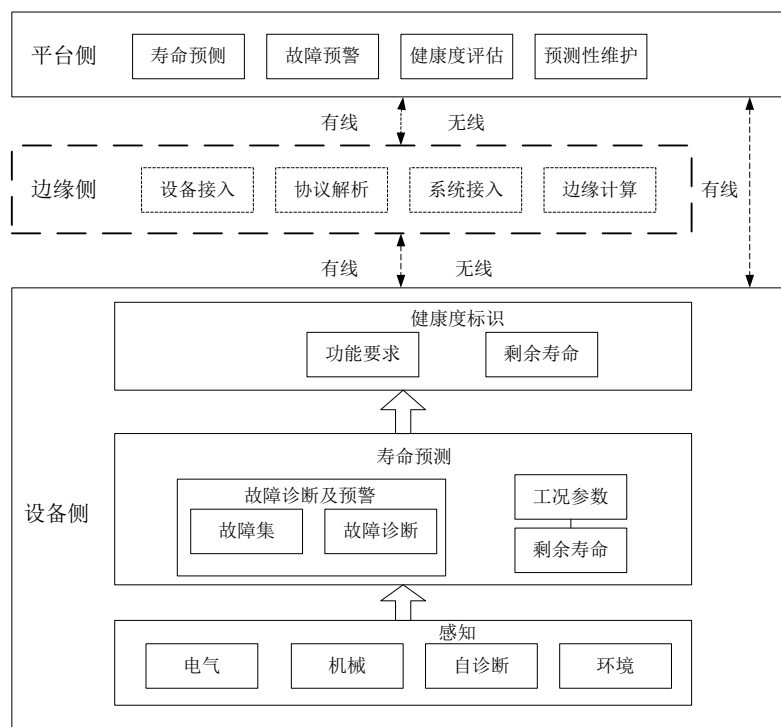


图3 健康管理的功能

注：虚框内容不在本文件中作具体规定。

5.2 设备侧

设备侧即断路器自身需具备数据采集和传输、数据处理、在线监测、健康评估、故障预测等功能，部分功能也可通过外接模块，即边缘侧实现。

每台断路器与健康管理相关的信息存储在断路器控制器，部分信息可在控制器显示屏（如有）上查看，表2为断路器人机交互信息示例。

表2 断路器人机交互信息

项目	信 息	显示与否
1.1	设备名称及编号	是
1.2	A、B、C三相电流 (A)	是
1.3	AB、BC、AC线电压 (V)	是
1.4	A、B、C三相温度 (°C)	是
1.5	累计运行时间 (h)	是
1.6	累计操作次数 (次)	是
2.1	触头磨损 (%)	是
2.2	热老化 (%)	是
2.3	健康度 (分)	是
3.1	故障次数	是
3.2	最近1次故障类型	是
3.3	故障预测故障率	是
4.1	出厂日期	否
4.2	运行日期	否
4.3	使用年限	否
4.4	实时环境温度	否
4.5	每一次开断 (包括正常或非正常) 三相电流、电压记录	否

5.3 平台侧

5.3.1 功能及标识

利用工业互联网，通过规范的数据格式（参见附录B），将断路器等设备接入互联网平台，在平台侧为用户展示断路器各种信息，除5.2介绍的可直接传输的信息外，还可利用平台具备的强大数据存储、处理、分析、计算能力，提供整个接入系统的故障预警、健康管理、预测性维护等健康管理信息，发起健康管理各种报表。

每台断路器在平台侧展示的健康状态、健康度除具体数值外，还可以用绿、黄、红三种颜色标识。

5.3.2 健康管理信息

5.3.2.1 故障预警

平台侧的故障预警可包括系统故障和设备故障。

通过工业互联网平台的大数据处理和分析，可给出各类故障的概率，得出断路器综合故障概率，为用户提供设备故障预警信息，并通过颜色标识：

——绿色：故障概率0~50%，建议正常维护；

——黄色：故障概率51%~80%，给出故障概率最高的故障，并建议关注此故障，并做好备品备件；

——红色：故障概率81%~100%，给出故障概率最高的故障，并建议立即更换。

在多级保护配电系统中，根据断路器的电参数如电流、电压的变化，预期或即时判断可能发生的系统故障如过电流、欠过电压、三相不平衡、接地、剩余电流等，并通过断路器自身或通过平台侧边缘计算分析精准定位故障点，结合用电负载的重要度，给出合理的预防措施建议或即时动作指令。

5.3.2.2 健康度

除在设备侧显示该台断路器的健康度评分，还可通过工业互联网平台侧进行整个系统健康度评估。利用工业互联网平台的后台机理模型进行数据处理和分析，对系统每台断路器的健康度评估可通过健康度预警、健康度排序、健康度风险等一系列操作方式进行，评估结果作为预测性维护的依据。

断路器健康度评分结果可通过颜色标识：

——绿色：70~100分，断路器健康状态优良、健康；

——黄色：50~69分，断路器健康状态下降，需重点关注，并制定维修计划；

——红色：0~49分，已达到危险程度，需立即更换断路器。

5.3.2.3 预测性维护

基于系统所有断路器的健康度情况、使用维护和环境信息，融合工业互联网平台侧的运维策略库，包括巡检、设备保养、检修及更换要求，提供预测性维护的建议（维护策略），制定维护计划。

5.3.3 断路器信息显示示例

通过工业互联网平台可显示断路器更多数据信息，表3为平台侧显示屏上断路器人机交互的信息示例：

表3 平台侧断路器人机交互信息示例

项目	信 息	显示方式
1.1	设备和编号	图片+字符
1.2	设备位置信息	文字
1.3	设备所属变电站	文字
1.4	设备制造厂家	文字
2.1	设备运行状态（闭合/断开）	文字
2.2	累计运行时间（h）	文字+字符
2.3	累计操作次数（次）	文字+字符
2.4	A、B、C三相电流（A）	折线图+颜色
2.5	A、B、C三相电压（V）	折线图+颜色
2.6	频率（Hz）	文字+字符
3.1	A、B、C三相负载率（%）	折线图+颜色
3.2	三相不平衡率（%）	折线图+颜色
3.3	有功、无功、视在功率（W）	文字+字符
3.4	功率因素	文字+字符
3.5	A、B、C三相温升（℃）	柱状图+颜色
4.1	触头磨损（%）	仪表盘+颜色
4.2	热老化（%）	仪表盘+颜色
5.1	健康度（分）	文字+字符+颜色
5.2	故障概率（%）	文字+字符+颜色
5.3	维护建议	文字

5.3.4 断路器健康报表示例

通过工业互联网平台可定期或在突发状况时提供各种报表，表4是其中一种形式。

表4 断路器健康报表示例

设备编号		报告日期		报告类型	定期/突发
设备名称		型号		规格	
出厂日期		运行日期		持续运行时间	天 小时
运行情况					
运行时最大参数					
运行时最小参数					
运行时最高环境温度					
运行时最低环境温度					
维护次数					
维护记录	第1次日期		维护内容		
维护记录	第2次日期		维护内容		
断路器健康状态					
操作次数		触头磨损		热老化	
故障发生次数					
第1次日期 时间		故障类型		处理方式与结果	
第2次日期		故障类型		处理方式与结果	
当前断路器故障发生率					
当前断路器健康度评分					
维护建议					

附录 A

(资料性)

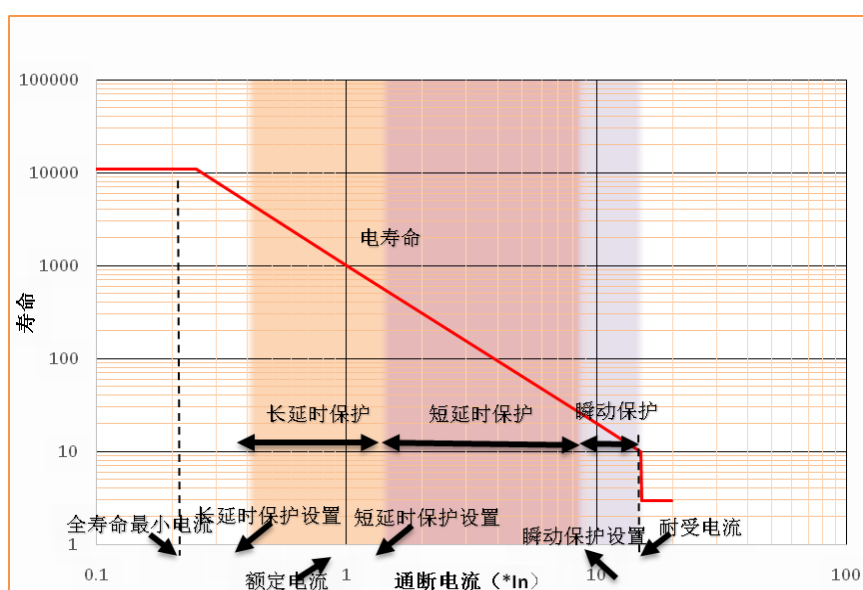
典型寿命机理的函数及寿命预测示例

分断电流（含额定电流及以下正常电流，以及过载及短路的故障电流）会大大降低断路器的使用寿命次数。

电流低于为设备指定的最小老化电流，则断路器老化不会受到电流的影响。在这种情况下，可以认为使用寿命次数仅取决于设备的机械寿命。

电流高于为设备指定的最小老化电流，则断路器老化要进一步考虑相关电流的影响。

带电操作寿命次数典型案例如图A.1所示。



图A.1 断路器寿命次数曲线图

根据图A.1可得断路器电流与寿命次数的对应关系（举例），以及每次带电操作对寿命的影响系数，具体数据如表A.1所示。

表A.1 断路器电流与寿命次数的对应关系

	0.15 I_n 以下	0.3 I_n	I_n	2 I_n	4 I_n	6 I_n	10 I_n	15 I_n	15 I_n 以上
次数	10000	8000	1000	300	100	40	20	10	3
影响系数/次	0.01%	0.0125%	0.1%	0.33%	1%	2.5%	5%	10%	33.3%

根据表A.1中的数据，在实际运行时，只要给出每次分断的电流参数，可推算出剩余寿命次数，即剩余不带电操作次数。

从而可以提供剩余寿命次数预测报告，包括影响寿命次数的因素，即分断的原因，分断时的电流大小等情况，预期还剩余多少次不带电操作次数，为是否进行维护提供数据支撑。

附录 B

(资料性)

设备接入工业互联网平台的数据格式要求

设备应能对感知到的数据进行标准化处理，采用统一的数据存储格式。同时能根据工业互联网平台对数据的要求，进行数据类型转换、大小端数据转换等。数据格式要求示例见表B.1。

表B.1 设备接入平台的数据格式要求

序号	分类	参数	数值类型
1	设备信息数据	设备编号	字符串
2		设备名称	字符串
3		型号	字符串
4		规格	字符串
5		出厂日期	字符串
6		运行日期	字符串
7	电气感知数据	电压	浮点型
8		电流	浮点型
9		频率	浮点型
10		触头压降	浮点型
11	机械感知数据	储能簧压力	浮点型
12		机构动作声音	浮点型
13		主轴应力	浮点型
14		主触头角位移	浮点型
15	自诊断数据	脱扣器	字符串
16		智能控制器	字符串
17		触头磨损率	浮点型
18		操作次数	浮点型
19	外部环境数据	温度	浮点型
20		湿度	浮点型
21		盐雾	字符串
22		振动	字符串
23	故障与运维数据	设备状态	字符串
24		故障预警	字符串
25		寿命预测	浮点型
26		健康度	浮点型
27		设备检修与维护信息	字符串

参 考 文 献

- [1] JB/T××××-×××× 《智能低压断路器》