

FTU设备健康评分系统技术文档

1. 系统概述

1.1 背景

配网终端（FTU）作为配电网智能化的重要组成部分，其健康状态直接影响电网的安全稳定运行。本系统基于配网终端的遥测、遥信数据，建立了一套科学、合理的健康评分体系，为南网配网设备的智能运维提供技术支撑。

1.2 目标

- 实现FTU设备健康状态的量化评估
- 提供设备异常的早期预警
- 指导设备的预防性维护
- 提升配网运维的智能化水平

1.3 评分范围与等级

评分采用百分制（0-100分），分为5个健康等级：

等级	分数区间	状态描述	处理建议
优秀	90-100	设备状态良好	正常运维
良好	80-89	设备基本正常，有轻微异常	关注监控
一般	70-79	设备有明显问题，需关注	加强巡检
较差	60-69	设备故障较多，需维护	安排检修
很差	0-59	设备严重故障，需紧急处理	紧急抢修

2. 评分体系架构

2.1 评分维度

本系统采用五个维度的综合评分方法：

总评分 = 遥测数据健康度（35%） + 运行状态评分（25%） + 故障频率评分（20%） + 数据质量评分（10%） + 趋势分析评分（10%）

2.2 各维度权重设计依据

维度	权重	设计依据
遥测数据健康度	35%	电气参数是设备状态的直接反映，权重最高
运行状态评分	25%	开关状态和保护动作直接关系设备安全
故障频率评分	20%	历史故障频率反映设备可靠性趋势
数据质量评分	10%	数据质量影响评分的准确性

维度	权重	设计依据
趋势分析评分	10%	变化趋势预示未来状态走向

3. 详细评分算法

3.1 遥测数据健康度评分 (35%)

3.1.1 评分对象

监测13项遥测参数：

- **电流参数**：I0 (零序电流)、IA、IB、IC
- **电压参数**：UA、UB、UC、UAB、UBC、UCA
- **功率参数**：P (有功功率)、Q (无功功率)、COS (功率因数)

3.1.2 评分逻辑

基于统计学方法建立的参数阈值体系：

```
# 阈值分类
- normal_range: [lower_threshold, upper_threshold] # 正常范围
- extreme_range: [extreme_low, extreme_high] # 极值范围
- statistical_base: mean ± std # 统计基准
```

3.1.3 扣分规则

- **极值违规**：单次扣分3分，累计超过总读数20%扣30分
- **阈值违规**：单次扣分1分，累计超过总读数10%扣20分
- **轻微异常**：累计超过总读数5%扣10分

3.1.4 特殊参数处理

```
# 零序电流I0特殊阈值
I0 > 5.0A # 严重故障 ( 可能接地 )
I0 > 3.0A # 异常告警
I0 > 1.0A # 关注监测
```

3.2 运行状态评分 (25%)

3.2.1 遥信参数分析

基于28项遥信数据进行状态评估：

遥信类别	关键参数	扣分权重
故障类	开关事故总、终端故障告警	10-15分
保护动作类	过流I/II/III段动作、零序动作	4-8分
告警类	过负荷告警、开关未储能	5-6分
电源类	终端电源交流失压	15分

3.2.2 评分算法

运行状态评分 = 基础分90分 - ∑(故障扣分)

3.3 故障频率评分 (20%)

3.3.1 故障识别标准

通过遥测数据异常模式识别潜在故障：

```
-- 零序电流异常统计
SELECT COUNT(CASE WHEN i0_current > 3.0 THEN 1 END) as i0_fault_count

-- 电流极值异常统计
SELECT COUNT(CASE WHEN ia_current > 25.0 OR ib_current > 25.0 OR ic_current > 25.0 THEN 1 END

-- 电压异常统计
SELECT COUNT(CASE WHEN ua_voltage < 4.0 OR ub_voltage < 4.0 OR uc_voltage < 4.0 THEN 1 END) a
```

3.3.2 扣分机制

- 零序异常率>5%：扣20分；>2%：扣10分
- 电流极值率>1%：扣15分
- 电压异常率>2%：扣25分

3.4 数据质量评分 (10%)

3.4.1 质量指标

- 数据完整性：实际数据量/期望数据量
- 数据一致性：检测异常相同值（如三相电流完全相同）
- 数据时效性：数据上报的及时性

3.4.2 评分标准

```
# 数据完整性
completeness < 80%: 扣30分
completeness < 90%: 扣15分

# 可疑数据率
suspicious_rate > 10%: 扣20分
```

3.5 趋势分析评分 (10%)

3.5.1 趋势计算

采用线性回归方法分析关键参数的变化趋势：

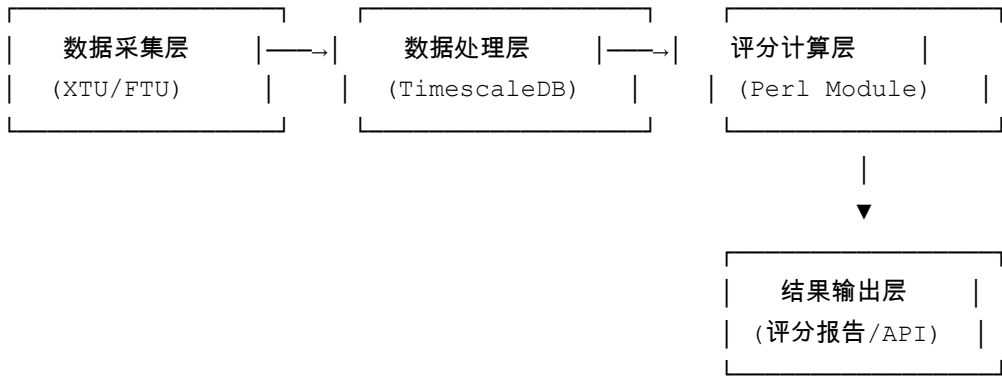
```
# 线性回归计算斜率
slope = (n * ∑(xy) - ∑(x) * ∑(y)) / (n * ∑(x²) - (∑(x))²)
```

3.5.2 异常趋势识别

- 电流变化率 $|slope| > 0.5A/天$ ：扣10分
- 功率变化率 $|slope| > 10kW/天$ ：扣10分
- 数据不足 (<7天)：扣20分

4. 技术实现

4.1 系统架构



4.2 数据库设计

4.2.1 核心表结构

```
-- 事实表：存储遥测数据
FactPowerReadings (
    TimestampKey BIGINT,
    FTUKey VARCHAR(50),
    ReadingTimestamp TIMESTAMPTZ,
    -- 13项遥测参数
    IO_Current, IA_Current, IB_Current, IC_Current,
    UA_Voltage, UB_Voltage, UC_Voltage,
    UAB_Voltage, UBC_Voltage, UCA_Voltage,
    ActivePower_Total, ReactivePower_Total, Power_COS
);

-- 维度表：FTU设备信息
DimFTU (
    FTUKey VARCHAR(50) PRIMARY KEY,
    FTU_ID VARCHAR(50),
    XTUKey VARCHAR(50),
    -- 设备属性信息
    DeviceName, OperationalStatus, VoltageLevel,
    City, County, Substation, Feeder
);
```

4.2.2 时序数据优化

```
-- 创建TimescaleDB超表
SELECT create_hypertable('FactPowerReadings', 'readingtimestamp',
```

```
chunk_time_interval => INTERVAL '1 day');
```

```
-- 创建键索引
```

```
CREATE INDEX idx_factpowerreadings_ftukey ON FactPowerReadings (FTUKey);
```

```
CREATE INDEX idx_factpowerreadings_timestampkey ON FactPowerReadings (TimestampKey);
```

4.3 Perl模块设计

4.3.1 核心类结构

```
package FTU::HealthScoring;
```

```
# 主要方法
```

- new()	# 构造函数
- calculate_health_score()	# 单设备评分
- calculate_batch_health_scores()	# 批量评分
- _calculate_telemetry_health()	# 遥测健康度
- _calculate_operational_status()	# 运行状态
- _calculate_fault_frequency()	# 故障频率
- _calculate_data_quality()	# 数据质量
- _calculate_trend_analysis()	# 趋势分析

4.3.2 配置管理

```
# 阈值配置
```

```
threshold_config => {  
    "IA" => {  
        "lower_threshold" => 6.618440,  
        "upper_threshold" => 19.227284,  
        "extreme_high" => 25.0  
    }  
}
```

```
# 权重配置
```

```
scoring_weights => {  
    telemetry_health => 0.35,  
    operational_status => 0.25,  
    fault_frequency => 0.20,  
    data_quality => 0.10,  
    trend_analysis => 0.10  
}
```

5. 使用指南

5.1 基本用法

```
use FTU::HealthScoring;
```

```
use DBI;
```

```
# 1. 数据库连接
```

```

my $dbh = DBI->connect("dbi:Pg:dbname=powerdb;host=localhost",
                        $username, $password);

# 2. 创建评分对象
my $scorer = FTU::HealthScoring->new(
    dbh => $dbh,
    debug => 1
);

# 3. 单设备评分
my $score = $scorer->calculate_health_score('FTU001', 30);
print "设备评分: $score->{total_score}\n";
print "健康等级: $score->{health_level}\n";

# 4. 批量评分
my @ftu_list = ('FTU001', 'FTU002', 'FTU003');
my $batch_scores = $scorer->calculate_batch_health_scores(\@ftu_list, 30);

```

5.2 评分结果结构

```

{
    ftu_key => 'FTU001',
    timestamp => '2025-05-27 10:30:00',
    days_analyzed => 30,
    total_score => 85.3,
    health_level => '良好',

    # 分项评分
    telemetry_health => {
        score => 82,
        issues => [
            {
                parameter => 'IO',
                violations => 15,
                percentage => '2.1%',
                severity => 'high'
            }
        ],
        violation_rate => '0.038'
    },

    operational_status => {
        score => 90,
        issues => [],
        analysis_period => '30天'
    },

    fault_frequency => {
        score => 88,
        issues => ['零序电流异常频率偏高: 2.3%']
    },

    data_quality => {
        score => 95,
    }
}

```

```
        completeness => '98.5%'
    },

    trend_analysis => {
        score => 85,
        data_points => 28
    },

    # 改进建议
    recommendations => [
        '检查遥测传感器状态，校准测量设备',
        '分析故障原因，加强预防性维护'
    ]
}
```

6. 系统特色

6.1 技术优势

- **实时性**：基于TimescaleDB的时序数据库，支持实时查询
- **准确性**：基于大量历史数据的统计阈值，评分更加准确
- **灵活性**：模块化设计，权重和阈值可灵活配置
- **扩展性**：支持新增评分维度和参数

6.2 业务价值

- **预防性维护**：提前识别设备隐患，减少故障停电
- **运维优化**：量化设备状态，优化维护资源配置
- **决策支持**：为设备更新改造提供数据支撑
- **成本控制**：降低设备故障造成的经济损失

6.3 适用场景

- 配网FTU设备的日常监控
- 设备健康状态的定期评估
- 维护计划的制定和优化
- 设备异常的早期预警

7. 部署与维护

7.1 系统要求

- **数据库**：PostgreSQL 12+ with TimescaleDB
- **运行环境**：Perl 5.20+
- **依赖模块**：DBI, JSON, List::Util, POSIX

7.2 部署步骤

1. 安装数据库和TimescaleDB扩展
2. 创建数据仓库表结构

3. 部署Perli评分模块
4. 配置数据库连接参数
5. 测试评分功能

7.3 维护建议

- 定期检查阈值配置的合理性
- 根据设备类型调整权重参数
- 监控评分系统的性能指标
- 收集用户反馈优化评分算法

8. 后续优化方向

8.1 算法优化

- 引入机器学习算法提升预测准确性
- 增加设备类型和环境因素的考虑
- 优化异常检测的敏感度

8.2 功能扩展

- 增加评分历史趋势分析
- 支持自定义评分规则
- 集成更多数据源（气象、负荷等）

8.3 应用拓展

- 扩展到其他类型配网设备
- 集成到现有运维系统
- 开发移动端应用

版本信息：FTU设备健康评分系统 v1.0.0

更新日期：2025年5月27日

技术支持：配网终端智能运维团队