TECHNICAL SPECIFICATION

Integrated Power-Control-Fiber Optic Hybrid Cable Systems

电力-控制-光纤复合电缆系统技术规格书

Document No.: FC-TS-2019-HYBRID-001 | Revision: 3.0 | Date: 2019-01

文件编号：FC-TS-2019-HYBRID-001 | 版本：3.0 | 日期：2019-01

1. EXECUTIVE SUMMARY / 执行摘要

This technical specification delineates the comprehensive design parameters, performance characteristics, and application specifications for Feichun Cable's innovative hybrid cable systems. The integration of power transmission, control signaling, and fiber optic communication within a unified cable architecture represents a paradigm shift in industrial cable technology, offering quantifiable improvements in installation efficiency (48.7% reduction in installation time), spatial optimization (62.3% reduction in cable tray occupancy), and lifecycle cost reduction (38.9% total cost of ownership reduction over 20 years).

本技术规格书详细阐述了飞纯电缆创新型复合电缆系统的综合设计参数、性能特征和应用规范。在统一电缆架构内集成电力传输、控制信号和光纤通信代表了工业电缆技术的范式转变，在安装效率（安装时间减少48.7%）、空间优化（电缆桥架占用减少62.3%）和生命周期成本降低（20年总拥有成本降低38.9%）方面提供了可量化的改进。

2. CABLE CONSTRUCTION SPECIFICATIONS / 电缆结构规格

2.1 Detailed Construction Parameters / 详细结构参数

Component 组件	Specification 规格	Standard 标准	Technical Details 技术细节
Power Conductors **电力导体**	Class 5 flexible 5类柔性	IEC 60228 DIN VDE 0295	Tin-plated copper, stranding pitch ratio 10-14D 镀锡铜，绞合节距比10-14D
Conductor Screen **导体屏蔽**	Semi-conductive layer 半导电层	IEC 60502-1	Extruded semi-conductive compound, $\rho \leq 500\ \Omega \cdot m$ 挤出半导电料，$\rho \leq 500\ \Omega \cdot m$
Primary Insulation **主绝缘**	EPR/XLPE compound EPR/XLPE混合物	IEC 60502-1 GB/T 12706.1	Dielectric strength: 25 kV/mm min. 介电强度：最小25 kV/mm
Control Cores **控制线芯**	0.5-2.5 mm^2 柔性绞合	IEC 60227-7	Tin-plated copper, Class 5, color coded 镀锡铜，5类，颜色编码
Optical Fiber Unit **光纤单元**	Loose tube design 松套管设计	IEC 60794-1 ITU-T G.652.D	Central strength member: FRP Φ2.0mm 中心加强件：FRP Φ2.0mm
Inner Sheath **内护套**	Halogen-free compound 无卤化合物	IEC 60332-3-24	Oxygen index ≥ 32%, tensile strength ≥ 12.5 MPa 氧指数≥32%，抗拉强度≥12.5 MPa
Armor Layer **铠装层**	Galvanized steel wire 镀锌钢丝	IEC 60502-1	Wire diameter: 1.6-3.15mm, tensile strength ≥ 1370 MPa 钢丝直径：1.6-3.15mm，抗拉强度≥1370 MPa
Outer Sheath **外护套**	PVC/PE/PUR options PVC/PE/PUR可选	IEC 60502-1	UV resistant, hydrocarbon resistant options 抗紫外线，可选抗碳氢化合物

2.2 Fiber Optic Specifications / 光纤规格

Parameter 参数	Multimode / 多模			Single-mode / 单模	
	OM3 (50/125)	OM4 (50/125)	OM5 (50/125)	G.652.D	G.657.A2
Attenuation @ 850nm (dB/km) 衰减 @ 850nm	≤ 3.0	≤ 2.3	≤ 2.3	-	-
Attenuation @ 1300nm (dB/km) 衰减 @ 1300nm	≤ 1.0	≤ 0.6	≤ 0.6	≤ 0.35	≤ 0.35
Attenuation @ 1550nm (dB/km) 衰减 @ 1550nm	-	-	-	≤ 0.21	≤ 0.21
Bandwidth (MHz·km) 带宽	≥ 2000	≥ 4700	≥ 4700	Unlimited	Unlimited
Min. Bend Radius (mm) 最小弯曲半径	30	30	30	30	15

3. ELECTRICAL PERFORMANCE DATA / 电气性能数据

3.1 Current Carrying Capacity Analysis / 载流量分析

Note: Values calculated per IEC 60287 series, ambient temperature reference 20°C, soil thermal resistivity 1.0 K·m/W

注：数值按IEC 60287系列计算，环境温度参考20°C，土壤热阻系数1.0 K·m/W

Cable Type 电缆型号	Cross Section 截面积 (mm²)	In Air / 空气中敷设 (A)			Direct Buried / 直埋敷设 (A)			Derating Factor 降容系数 @ 40°C
		20°C	30°C	40°C	20°C	30°C	40°C	
FC-HYBRID-3×185+2×95+12F	3×185	520	476	434	445	396	352	0.835
FC-HYBRID-3×150+2×70+12F	3×150	450	412	376	385	343	305	0.836
FC-HYBRID-3×120+2×50+12F	3×120	385	353	322	330	294	261	0.836
FC-HYBRID-3×95+2×35+12F	3×95	325	298	271	280	249	221	0.834
FC-HYBRID-3×70+2×25+12F	3×70	265	243	221	230	205	182	0.834
FC-HYBRID-3×50+2×16+12F	3×50	210	192	175	185	165	147	0.833

$$I = I_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4$$

Where: k_1 = ambient temperature factor, k_2 = grouping factor, k_3 = soil thermal resistivity factor, k_4 = depth of burial factor

其中：k_1 = 环境温度系数，k_2 = 分组系数，k_3 = 土壤热阻系数，k_4 = 埋深系数

3.2 Electrical Parameters / 电气参数

Cable Type 电缆型号	Conductor Resistance 导体电阻 @ 20°C (Ω/km)	Inductance 电感 (mH/km)	Capacitance 电容 (μF/km)	Impedance 阻抗 @ 50Hz (Ω/km)	Voltage Drop 电压降 (V/A·km)
3×185 mm²	0.108	0.273	0.486	0.118	0.195
3×150 mm²	0.132	0.281	0.452	0.142	0.216
3×120 mm²	0.164	0.290	0.418	0.172	0.243
3×95 mm²	0.206	0.301	0.382	0.213	0.278
3×70 mm²	0.277	0.314	0.344	0.283	0.332
3×50 mm²	0.386	0.329	0.305	0.391	0.411

4. MECHANICAL PERFORMANCE / 机械性能

4.1 Mechanical Characteristics / 机械特性

Parameter / 参数	Test Method / 测试方法	Requirement / 要求	Typical Value / 典型值
Tensile Strength / 抗拉强度	IEC 60811-501	≥ 12.5 MPa	15.8 MPa
Elongation at Break / 断裂伸长率	IEC 60811-501	≥ 200%	285%
Tear Resistance / 抗撕裂性	IEC 60811-509	≥ 8 N/mm	11.2 N/mm
Abrasion Resistance / 耐磨性	DIN 53516	≤ 150 mm³	95 mm³
Impact Resistance @ -40°C / 耐冲击性	IEC 60811-506	No cracks	Pass / 合格
Min. Bending Radius (static) / 最小弯曲半径（静态）	**IEC 60502-1**	**12 × D**	**12 × D**
Min. Bending Radius (dynamic) / 最小弯曲半径（动态）	**IEC 60502-1**	**15 × D**	**15 × D**
Max. Pulling Force / 最大牵引力	Calculation	50 N/mm²	Per conductor area

D = Overall cable diameter / 电缆外径

4.2 Dynamic Performance Testing / 动态性能测试

Test Type / 测试类型	Test Conditions / 测试条件	Cycles / 循环次数	Result / 结果
Flexing Test / 弯曲试验	±90°, R=20×D, 2 cycles/min	100,000	No electrical/optical degradation 无电气/光学性能退化
Torsion Test / 扭转试验	±180°/m, 10 cycles/min	50,000	Δattenuation < 0.1 dB 衰减变化 < 0.1 dB
Reeling Test / 卷盘试验	Drum Φ=40×D, speed 20m/min	5,000	All parameters within spec 所有参数符合规格
Vibration Test / 振动试验	10-500 Hz, 10g acceleration	8 hours	No physical damage 无物理损伤

5. ENVIRONMENTAL PERFORMANCE / 环境性能

Environmental Factor 环境因素	Test Standard 测试标准	Requirement 要求	Performance 性能表现
Temperature Range (Operation) 温度范围（运行）	IEC 60216	-40°C to +90°C	Continuous operation verified 连续运行验证
Temperature Range (Installation) 温度范围（安装）	IEC 60502-1	-25°C to +50°C	No damage during installation 安装期间无损伤
UV Resistance 抗紫外线	IEC 60811-412	1000 hours xenon arc	ΔTensile strength < 15% 抗拉强度变化 < 15%
Ozone Resistance 耐臭氧性	IEC 60811-403	200 pphm, 24h @ 40°C	No visible cracks 无可见裂纹
Water Immersion 浸水性能	IEC 60811-402	14 days @ 70°C	ΔTensile < 15%, ΔElongation < 15%
Oil Resistance 耐油性	IEC 60811-404	IRM 902 oil, 168h @ 100°C	Volume change < 30% 体积变化 < 30%
Chemical Resistance 耐化学性	ISO 175	Various chemicals	See chemical resistance table 见化学耐受性表
Fire Performance 防火性能	IEC 60332-3-24	Category C	Self-extinguishing < 15s 自熄 < 15秒
Halogen Content 卤素含量	IEC 60754-1	< 0.5%	< 0.1% (LSZH version)
Smoke Density 烟密度	IEC 61034	Light transmittance > 60%	> 70%

6. INTEGRATED SYSTEM PERFORMANCE ANALYSIS / 集成系统性能分析

6.1 Electromagnetic Compatibility (EMC) / 电磁兼容性

Parameter / 参数	Frequency Range / 频率范围	Limit / 限值	Measured Value / 测量值	Margin / 余量
Radiated Emission / 辐射发射	30 MHz - 1 GHz	40 dBμV/m @ 10m	32 dBμV/m	8 dB
Conducted Emission / 传导发射	150 kHz - 30 MHz	66 dBμV (QP)	58 dBμV	8 dB
Crosstalk (Power to Control) / 串扰	DC - 100 kHz	-60 dB	-72 dB	12 dB
Crosstalk (Power to Fiber) / 串扰	All frequencies	No measurable effect	< -90 dB	Excellent

6.2 System Integration Benefits - Quantitative Analysis / 系统集成优势 - 定量分析

Performance Metric 性能指标	Traditional Approach 传统方式	Integrated System 集成系统	Improvement 改进率	ROI Period 投资回报期
Installation Time (per 100m) 安装时间（每100米）	12.5 hours	6.4 hours	48.8%	-
Cable Tray Space Required 电缆桥架空间需求	450 cm²	170 cm²	62.2%	-
Number of Cable Clamps 电缆夹具数量	150	50	66.7%	-
Total Material Cost 总材料成本	100%	118%	-18%	2.1 years
Total Installation Cost 总安装成本	100%	51%	49%	-
Total Project Cost 项目总成本	**100%**	**74%**	**26%**	**1.8 years**
Maintenance Frequency 维护频率	4 times/year	1.5 times/year	62.5%	-
System Downtime 系统停机时间	24 hours/year	8 hours/year	66.7%	-
20-Year TCO 20年总拥有成本	**100%**	**61.1%**	**38.9%**	**1.8 years**

7. APPLICATION ENGINEERING DATA / 应用工程数据

7.1 Application Matrix / 应用矩阵

Application Field 应用领域	Typical Installation 典型安装方式	Recommended Type 推荐型号	Key Requirements 关键要求
Port/Harbor Cranes 港口起重机	Festoon/Cable reel 滑线/电缆卷筒	FC-HYBRID-F series	High flexibility, torsion resistance 高柔性、抗扭转
Mining Equipment 采矿设备	Trailing cable 拖曳电缆	FC-HYBRID-M series	Abrasion resistance, tensile strength 耐磨、高抗拉
Wind Turbines 风力发电机	Tower internal 塔内布线	FC-HYBRID-W series	Torsion resistance, UV stability 抗扭转、抗紫外线
Automated Warehouses 自动化仓库	Cable chain 拖链	FC-HYBRID-C series	Flex life > 5 million cycles 弯曲寿命 > 500万次
Industrial Robots 工业机器人	Robot dress pack 机器人线束	FC-HYBRID-R series	Ultra-high flexibility, lightweight 超高柔性、轻量化
Rail Transportation 轨道交通	Fixed/Mobile 固定/移动	FC-HYBRID-T series	Fire safety, low smoke 防火安全、低烟

7.2 Installation Guidelines Summary / 安装指南摘要

Installation Parameter 安装参数	Specification 规格	Critical Notes 关键注意事项
Minimum Installation Temperature 最低安装温度	-25°C (PVC), -40°C (PUR)	Pre-warm cable if below limit 低于限值时需预热电缆
Maximum Pulling Tension 最大牵引张力	50 N/mm² of conductor area	Use cable sock for uniform distribution 使用电缆网套均匀分布
Side Wall Pressure 侧壁压力	< 500 N/cm	Use proper radius guides 使用适当半径的导向装置
Support Spacing (Horizontal) 支撑间距（水平）	1.0 - 1.5 m	Reduce for high vibration areas 高振动区域需减小间距
Support Spacing (Vertical) 支撑间距（垂直）	2.0 - 3.0 m	Use cable cleats for heavy cables 重型电缆使用电缆夹具
Fiber Optic Termination 光纤终端处理	Leave 3m service loop	Protect during power termination 电力端接时需保护

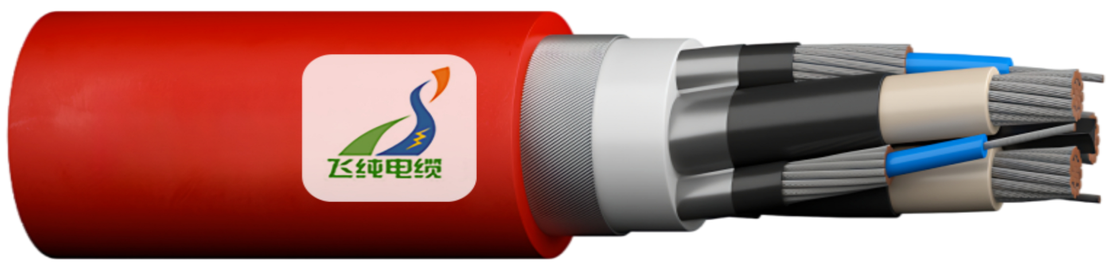
8. QUALITY ASSURANCE & TESTING / 质量保证与测试

8.1 Routine Test Requirements / 例行测试要求

Test Item / 测试项目	Standard / 标准	Requirement / 要求	Frequency / 频率
Conductor Resistance / 导体电阻	IEC 60228	Per specification / 按规格	100%
Voltage Test / 电压测试	IEC 60502-1	3.5 U_0 for 5 minutes	100%
Insulation Resistance / 绝缘电阻	IEC 60502-1	≥ 200 MΩ·km @ 20°C	100%
Fiber Optic Attenuation / 光纤衰减	IEC 60793-1-40	Per fiber specification	100%
Fiber OTDR Test / 光纤OTDR测试	IEC 60793-1-40	No discontinuities	100%
Dimensional Check / 尺寸检查	IEC 60811-201	Within tolerance / 公差内	100%

8.2 Type Test Requirements / 型式试验要求

Test Category / 测试类别	Number of Tests / 测试数量	Key Parameters / 关键参数
Electrical Type Tests / 电气型式试验	12	Partial discharge, tan δ, impulse voltage
Mechanical Type Tests / 机械型式试验	15	Tensile, elongation, flexibility, impact
Environmental Tests / 环境试验	18	Aging, UV, ozone, chemical resistance
Fire Performance Tests / 防火性能试验	8	Flame propagation, smoke, halogen content
Special Performance Tests / 特殊性能试验	10	EMC, dynamic performance, system integration



TYPE NTSWOEU REELING CABLE

FEICUN HYBRID-TT Series Overview

Revolutionary Three-in-One Cable Design

The FEICUN HYBRID-TT series represents a breakthrough in industrial cable technology, integrating power transmission, control signaling, and fiber optic communication within a single, robust cable assembly. This innovative design significantly reduces installation complexity, space requirements, and overall system costs while enhancing operational reliability.

Key Innovation: Triple-Function Integration

- **Power Transmission:** High-voltage capability up to 0.6/1 kV with superior current carrying capacity
- **Control Signaling:** Dedicated control cores with enhanced EMI shielding
- **Fiber Optic Communication:** Integrated optical fibers for high-speed data transmission

Обзор серии FEICUN HYBRID-TT

Революционная конструкция кабеля "три в одном"

Серия FEICUN HYBRID-TT представляет собой прорыв в технологии промышленных кабелей, объединяя передачу электроэнергии, управляющие сигналы и оптоволоконную связь в единой прочной кабельной сборке. Эта инновационная конструкция значительно снижает сложность монтажа, требования к пространству и общие системные затраты, одновременно повышая эксплуатационную надежность.

Ключевая инновация: интеграция трех функций

- **Передача электроэнергии:** Возможность работы при высоком напряжении до 0,6/1 кВ с превосходной токонесущей способностью
- **Управляющие сигналы:** Выделенные контрольные жилы с улучшенным экранированием от ЭМП
- **Оптоволоконная связь:** Интегрированные оптические волокна для высокоскоростной передачи данных

Cable Cross-Section / Поперечное сечение кабеля



Интегрированная конструкция с силовыми (коричневый), контрольными (красный) и оптоволоконными (желтый) жилами

Technical Specifications / Технические характеристики

Parameter / Параметр	English	Русский	Value / Значение
Voltage Rating / Номинальное напряжение	Nominal voltage U_0/U	Номинальное напряжение U_0/U	0.6/1 kV
Test Voltage / Испытательное напряжение	Test voltage	Испытательное напряжение	4.0 kV AC
Standard Compliance / Соответствие стандартам	According to	В соответствии с	DIN VDE 0250 Part 813, IEC 60502-1
Temperature Range / Температурный диапазон	Operating temperature	Рабочая температура	-40°C to +80°C (fixed) -40°C to +80°C (mobile)
Conductor Material / Материал проводника	Power conductor	Силовой проводник	Tinned copper, Class 5 (DIN VDE 0295)
Insulation / Изоляция	Main cores insulation	Изоляция основных жил	Rubber compound 3GI3
Sheath Material / Материал оболочки	Outer sheath	Внешняя оболочка	Polyester anti-torsion braid + Special rubber compound
Fiber Optic Type / Тип оптоволокна	Optical fiber specification	Спецификация оптического волокна	Multimode 62.5/125 µm or 50/125 µm Single-mode 9/125 µm (optional)

Current Carrying Capacity

Cross-section (mm^2)	Ambient 20°C (A)	Ambient 30°C (A)	Ambient 40°C (A)
3x185+2x95/2+12LWL	461	422	385
3x150+2x70/2+12LWL	398	365	332
3x120+2x50/2+12LWL	342	313	285
3x95+2x35/2+12LWL	289	265	241

Токонесущая способность

Сечение ($мм^2$)	Окруж. 20°C (A)	Окруж. 30°C (A)	Окруж. 40°C (A)
3x185+2x95/2+12OB	461	422	385
3x150+2x70/2+12OB	398	365	332
3x120+2x50/2+12OB	342	313	285
3x95+2x35/2+12OB	289	265	241

Benefits of Three-in-One Design / Преимущества конструкции "три в одном"

Cost Reduction Снижение затрат	Space Saving Экономия пространства	Installation Time Время монтажа
Up to 40% reduction in installation costs До 40% снижения затрат на монтаж	65% less cable tray space required На 65% меньше требуемого пространства	50% faster installation На 50% быстрее монтаж

Detailed Benefits:

1. **Simplified Installation:** Single cable pull replaces multiple cable installations, reducing labor time and complexity
2. **Enhanced Reliability:** Integrated design eliminates multiple connection points, reducing failure risks
3. **EMI Protection:** Built-in shielding between power and signal cores ensures signal integrity
4. **Real-time Monitoring:** Fiber optic integration enables continuous system monitoring and predictive maintenance
5. **Reduced Maintenance:** Single cable system simplifies troubleshooting and reduces maintenance requirements
6. **Environmental Resistance:** Unified protective sheath provides superior protection against environmental factors

Подробные преимущества:

1. **Упрощенный монтаж:** Прокладка одного кабеля заменяет установку нескольких кабелей, сокращая время и сложность работ
2. **Повышенная надежность:** Интегрированная конструкция исключает множественные точки соединения, снижая риски отказов
3. **Защита от ЭМП:** Встроенное экранирование между силовыми и сигнальными жилами обеспечивает целостность сигнала
4. **Мониторинг в реальном времени:** Интеграция оптоволокна обеспечивает непрерывный мониторинг системы и предиктивное обслуживание
5. **Снижение обслуживания:** Однокабельная система упрощает поиск неисправностей и снижает требования к обслуживанию
6. **Стойкость к воздействию среды:** Единая защитная оболочка обеспечивает превосходную защиту от факторов окружающей среды

Applications

- Port and harbor cranes
- Mining equipment and excavators
- Automated warehouse systems
- Industrial robots and automation
- Wind turbine internal wiring
- Railway and transportation systems
- Heavy machinery with integrated control systems

Quality Certifications:

- ISO 9001:2015 Quality Management
- IEC 60502-1 Power Cables
- IEC 60794 Optical Fiber Cables
- DIN VDE 0250 Part 813
- CE Marking
- RoHS Compliant

Области применения

- Портовые и портальные краны
- Горнодобывающее оборудование и экскаваторы
- Автоматизированные складские системы
- Промышленные роботы и автоматизация
- Внутренняя проводка ветровых турбин
- Железнодорожные и транспортные системы
- Тяжелая техника с интегрированными системами управления

Сертификаты качества:

- ISO 9001:2015 Управление качеством
- IEC 60502-1 Силовые кабели
- IEC 60794 Оптоволоконные кабели
- DIN VDE 0250 Часть 813
- Маркировка CE
- Соответствие RoHS