飞纯电缆 · SUEZ CANAL TERMINAL / RTG / REEL / FESTOON / DRAG CHAIN

飞纯电缆出口苏伊士运河码头：高柔性、抗拉、抗磨损矿山级动态电缆如何服务RTG / RMG / STS

这不是一篇只写“耐磨、柔软、质量好”的宣传稿。本文把飞纯2025年苏伊士运河集装箱码头项目的**PI 2025072408**与**HBL PSE15218**放在同一证据链中，完整列出10项RTG动力、控制和光纤电缆规格，并从导体疲劳、承力路径、成缆节距、卷筒散热、VFD电磁兼容、光纤动态衰减和现场验收的角度解释：为什么矿山级电缆设计可以迁移到港口重载移动设备，但卷筒、拖令与拖链仍然不能混为一谈。

An evidence-led Chinese engineering guide to Feichun high-flex, tensile- and abrasion-resistant cable systems supplied through Wheeler Industrial Worldwide Ltd for RTG maintenance at Suez Canal Container Terminal, Port Said East.

Anhui Feichun Special Cable Co., Ltd. 安徽飞纯特种电缆有限公司 ·

Hefei Economic and Technological Development Zone Comprehensive Bonded Zone, Anhui, P.R. China ·

2026-08-13

CONTENTS / 目录

1. 工程结论：这批货是什么，为什么不是普通软电缆
2. 出口证据链与海关数据：公司案例和市场数据如何区分
3. SCCT为什么属于典型重载动态电缆工况
4. 高柔性不等于“越软越好”
5. 飞纯的独特设计：把电气、承力、抗扭与耐磨分层
6. 专业SVG截面：动力、控制、光纤和承力层
7. 卷筒、拖令、拖链三种场景不能互换
8. 项目10项规格数据完整表
9. 4G16、1X70C、12G62.5/125等代码怎么读
10. 机械选型：半径、张力、加速度、扭转和导向
11. 电气与热设计：载流量、卷筒降容、压降和短路
12. VFD、控制对与光纤的信号完整性
13. 材料对比：EPR / XLPE / CPE / PCP / PUR / LSZH
14. 对比评测：普通柔性、拖链、拖令、卷筒、矿用拖曳

15. 九类高频失效与现场判断
16. VDE、ATEX、IECEx、CE、UKCA、EAC与俄罗斯消防认证
17. RFQ、FAT、SAT与MRO交付清单
18. 港口工程师高频FAQ
19. 参考标准、公开数据与项目文件

1. 工程结论：这批货是什么，为什么不是普通软电缆

先说结论

这是一套围绕RTG维护/改造的多回路动态电缆包，不是一根“万能矿用软电缆”。项目同时包含4G16、5G6、(4G6)C、1×70、(1×50)C、12芯62.5/125 μm光纤、18G2.5、6×(2×0.5)、1×70C和4G10。动力、控制、保护接地和光通信必须分别保持电气功能，同时在设备运动中承受弯曲、加速、局部拉力、摩擦和端接应力。

10

PI技术条目，全部在本文保留

11,470

PI累计QTY；原单未明示单位，本文不擅自写成米

8,450 kg

HBL记录毛重

11.900 CBM

HBL记录体积，10 parcels

高柔性只是入口条件。真正决定寿命的是**导体股线应变是否受控、铜导体是否被迫承担机械拉力、芯线是否在反向运动中迁移、外护套能否抵抗滚轮/地面/相邻线圈的接触磨损，以及绕在卷筒上时能否安全散热**。因此，飞纯的工程重点不是把电缆做得无限柔软，而是把运动工况拆解为可验证的载荷路径。

RTG maintenance cable | Power + Control + Fibre | Tensile load path | Anti-twist design | Abrasion-resistant sheath | VFD / EMC | Dynamic FAT / SAT

2. 出口证据链与海关数据：公司案例和市场数据如何区分

证明“飞纯出口至苏伊士运河码头”需要两类证据：一类是**公司/项目级单据**，另一类是**国家级海关统计**。两者可以互相提供背景，但不能互相替代。

安徽飞纯

PI制造/供货方 · 10项RTG电缆

↓

Wheeler Industrial Worldwide Ltd

PI买方/收货安排 · HBL Shipper栏关联方

↓

SCCT · Port Said East

HBL Consignee · 卸货港与最终目的地

表 1 — 项目单据中可公开核验的物流事实

证据项	文件记录	工程含义
PI	No. 2025072408；24/07/2025；项目串 `G-300716 GPG- M&R- RTGS`	锁定10项产品描述、Part No.、飞纯Ref和QTY
HBL	No. `PSE15218`	独立物流单据编号
船名 / 航次	MAERSK HORSBURGH / 551W	历史装运识别
路线	Shanghai → Port Said East；Final Destination: Port Said East	与苏伊士运河集装箱码头位置一致
收货人	Suez Canal Container Terminal, Private Freezone Area	项目目的地直接出现在提单
箱/封识别	`MSKU7743071 / 20'GP`；seal `CN4689991`	历史物流追踪信息
货量	10 parcels；8,450 kg；11.900 CBM	与PI的10项产品包形成数量层面的呼应，但不是逐项重量分配
装船日	26 Dec 2025	证明该批货已装船，而不只是报价
HBL货描HS	`85444995`	仅记录本票申报口径；未来订单仍应按实际电压、结构、连接器和当地归类规则确认

国家级数据用于回答“埃及是否真实进口这一类电缆、市场量级如何”。World Bank WITS对UN Comtrade数据的整理显示：**2024年中国向埃及出口HS 854449电导体约4,839.613万美元、6,184,320 kg**，中国是该品类对埃及的重要供应来源之一。[1] 这组数据能证明市场和贸易流存在，但**不能单独证明某一家公司的订单**；飞纯的公司级论证仍来自PI与HBL。

> **数据披露边界**
>
> 本文只公开技术规格、公司/项目名称、航线、货量和必要的单证编号；没有复制客户个人电话、客户邮箱、银行账户、进口商税号或ACI/ACID号码，也没有增加任何虚拟联系人。

3. SCCT为什么属于典型重载动态电缆工况

APM Terminals公开的SCCT页面列出大型岸桥和RTG设备基础；2025年扩建又增加955 m岸线、510,000 m^2堆场、12台岸桥、30台电动RTG及90余台车辆。[2][3] 2024年的设备到港公告还说明新岸桥具备大型船舶作业能力，电动RTG带自动化和远程控制功能。[4] 对电缆而言，这意味着高循环反向运动、驱动系统谐波、多个控制/通信链路和海港盐雾、紫外线、砂尘、温差的叠加。

STS岸桥 / Gantry travel

长距离行走、卷筒或拖令供电、VFD大功率驱动；关键是卷筒张力、导向角、弯曲、屏蔽与快速维护。

RTG / RMG

高频启停和反向，可能同时存在动力、控制与光纤；端接、转折点和电缆管理系统经常先于主体材料失效。

矿山级载荷迁移

矿用拖曳电缆对拉力、磨损、挤压、泥水和移动设备供电的经验可迁移到港口，但必须重新匹配卷筒/拖令/拖链运动学。

4. 高柔性不等于“越软越好”

电缆弯曲时，外侧材料受拉、内侧材料受压。理论上半径越大，单位循环的轴向应变越低；但如果绞合节距、层间摩擦和填充设计不稳定，芯线会发生轴向迁移，出现鼓包、鸟笼状股线或“开瓶器”变形。单纯增加细丝数量可以降低单丝弯曲应力，却也可能增加股线之间的滑移和端接难度。

高动态寿命 ≠ 最软材料

高动态寿命 = 导体柔性 × 成缆平衡 × 承力解耦 × 护套耐久 × 正确电缆管理

因此，工程师不应只问“弯多少万次”，而要同时问：试验半径是多少、行程多长、速度和加速度是多少、是否施加拉力/扭转、导体是否通电、环境温度多少、失败判据是断路还是电阻变化、试样长度和端接方式是什么。没有这些条件的“循环次数”不能横向比较。

5. 飞纯的独特设计：把电气、承力、抗扭与耐磨分层

飞纯高柔性矿山/港机电缆的独特性不应被描述为某一种“神奇材料”，而是**对载荷路径的系统设计**：铜负责导电，绝缘负责电场与温度，成缆结构保持几何稳定，增强层分配拉力/扭矩，外护套处理外部磨损和环境介质。具体材料和层厚必须根据电压、运动方式、外径限制和认证Scope确定。

① 导体疲劳控制

Class 5或Class 6柔性铜导体，配合股线直径、束绞/复绞节距和方向平衡；IEC 60228控制截面与电阻，但动态寿命需额外验证。

② 承力路径解耦

高强纤维、承力填充或增强编织把轴向载荷分散到电缆整体，避免让铜导体和端子独自承担牵引力。

③ 抗扭与圆整

反向/平衡绞合、稳定内护套和抗扭编织降低剩余扭矩、芯线爬移及卷绕时的椭圆化。

④ 抗磨损护套

按油、臭氧、UV、盐雾、泥水、低温和滚轮摩擦选择PCP/CPE/PUR或项目化弹性体；“耐磨”以试验方法和结果表达。

⑤ 动力/控制/光纤协同

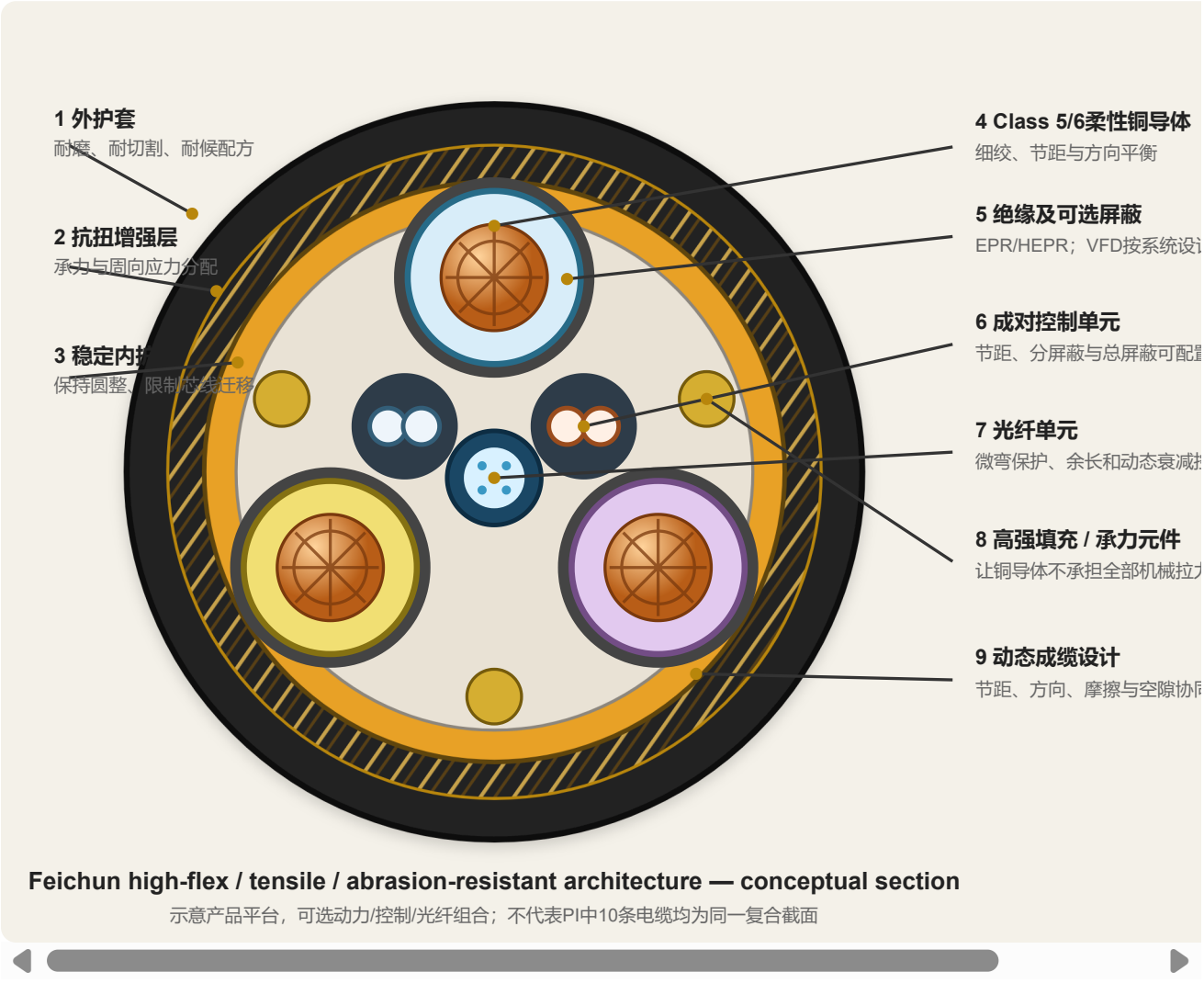
分别设计PE、屏蔽、控制对和光纤余长；避免机械拉伸、电机共模电流或微弯损耗破坏通信链路。

⑥ 文件化交付

Part No.、批准图纸、R20、耐压、动态试验、材料试验、证书Scope和鼓轮包装相互对应，减少现场“同截面误替换”。

6. 专业SVG截面：动力、控制、光纤和承力层

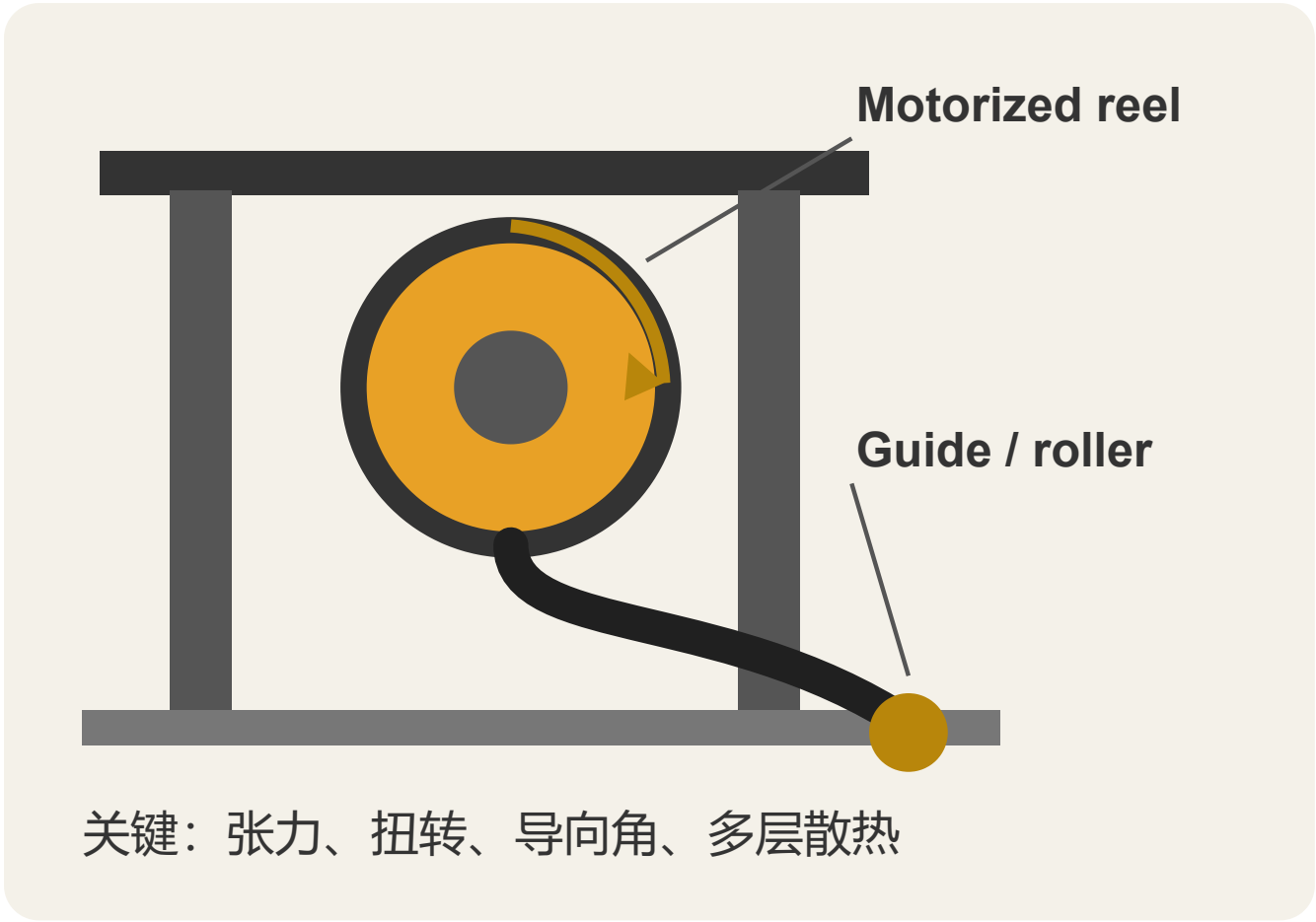
图 1 — 飞纯高柔性抗拉耐磨电缆平台截面（概念设计）



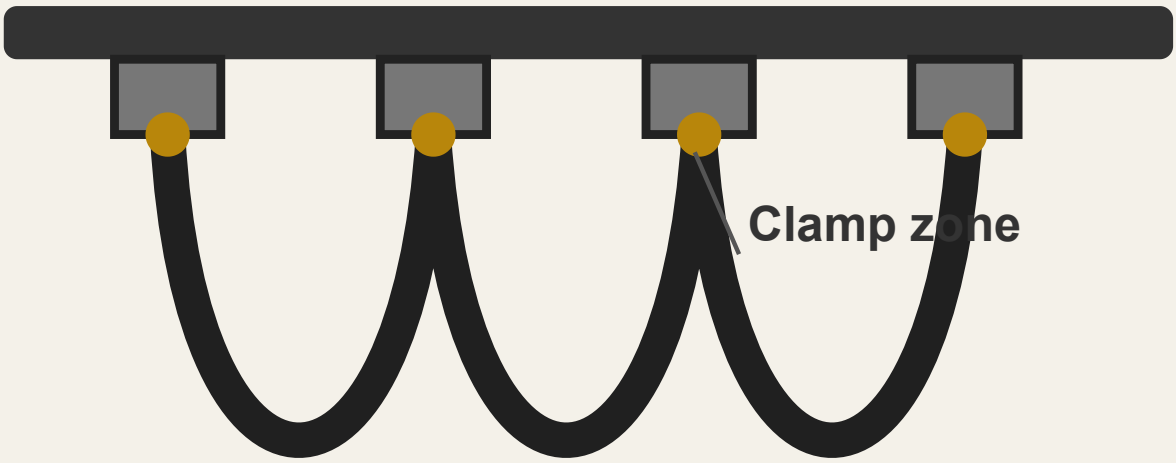
图纸边界

该SVG用于解释结构机理，不是PI 10项电缆的共同生产图。2025项目单据显示动力、控制和光纤为多条独立条目；是否做成复合电缆，必须由设备接口、卷筒外径、维修策略和批准图纸决定。

7. 卷筒、拖令、拖链三种场景不能互换

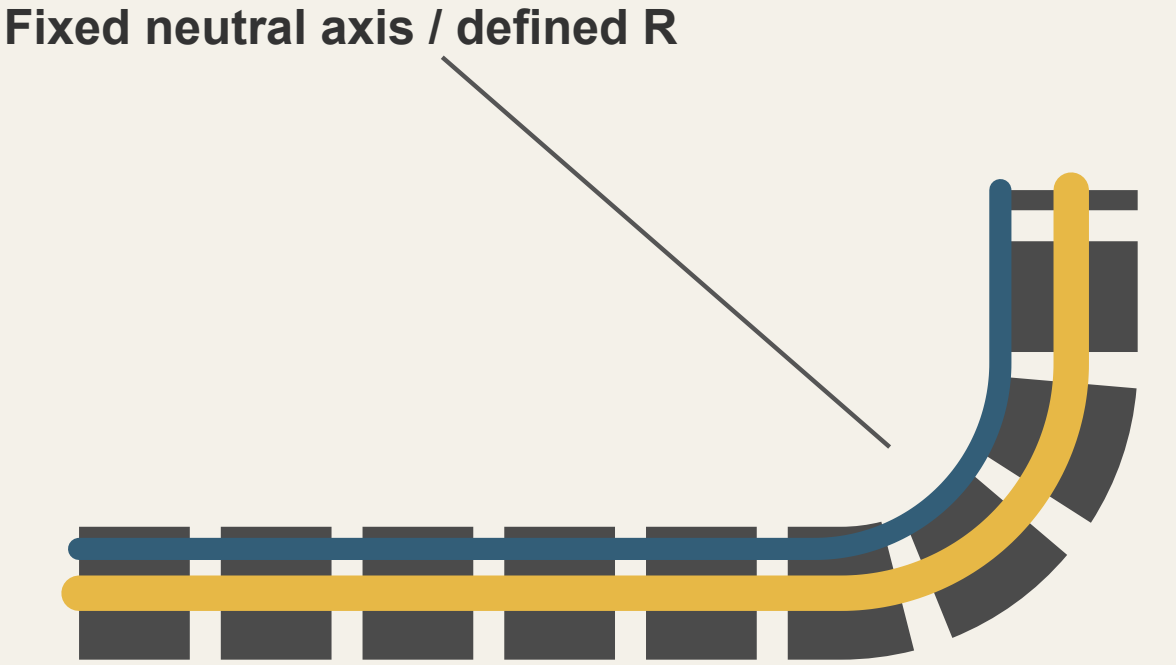


卷筒 Reel：同时承受收放张力、导向弯曲、潜在扭转、层间挤压与热积聚。



关键：回路几何、夹具压力、局部弯曲、悬垂重量

拖令 / Festoon：反复弯曲集中在小车和夹具附近，回路几何与悬垂重量决定局部应力。



关键：弯曲半径、链腔填充、分隔、加速度与循环次数

拖链 / Cable carrier：在固定平面与固定半径内高循环运动，要求中性轴、链腔填充和层间滑动稳定。

表 2 — 三种电缆管理方式的工程差异

方式	主要载荷	首要输入	常见误选	验收重点
卷筒	张力、弯曲、扭转、层间挤压、散热	筒径/轮径、层数、速度、加速度、扭矩控制、导向角	用自由空气载流量；把普通橡套软线当 reeling cable	排线、张力、温升、corkscrew、端接应变
拖令	悬垂、自重、夹具区局部弯曲、摆动	回路深度、小车间距、夹具宽度/压力、速度	夹具过紧或夹在弯曲区；让电缆承担牵引	夹具位移、护套压痕、回路同步和最小半径
拖链	固定平面高循环弯曲、加速度、链节冲击	链半径、行程、速度、加速度、填充率、分隔	仅凭“高柔”使用；芯线混放、链腔过满	中性轴、芯线迁移、电阻趋势、外护套粉化

8. 项目10项规格数据完整表

下表逐字保留PI中的核心Description、Part No.、Our Ref与QTY。商业价格未纳入技术文章；QTY栏在原单中没有显示单位，因此本文保留数字而不擅自写成“m”。

表 3 — PI 2025072408：G-300716 GPG-M&R-RTGS全部10项规格

Line	原始技术描述	Part No.	Feichun Ref.	QTY	工程阅读
1	**G-300716 GPG-M&R- RTGS, 4G16 for CRD & CRE for 10 RTGs**	`CF35.UL.160.04`	`W0052369`	620	4G16：项目写法保留；通常可理解为含保护导体的4芯×16 mm²，最终芯线定义以批准图纸为准。
2	**G-300716 GPG-M&R- 5G6 control cable two pieces for CRD,E and two pieces for CRB**	`CF34.UL.60.05.D`	`W0052370`	620	5G6控制电缆；原单明确用于CRD、E与CRB的分段配置。
3	**G-300716 GPG-M&R- RTGS, (4G6)C for CRB for 10 RTGs**	`CF35.60.04`	`W0052371`	620	(4G6)C：C属于项目/制造商代码，不能仅凭字母擅自解释为屏蔽或同心导体。
4	**G-300716 GPG-M&R- RTGS, 1X70 for CRD,E,B for 20 RTGs**	`CF300.UL.700.01.D`	`W0052372`	930	1×70 mm²单芯回路；CRD、E、B的电气功能仍应按设备原理图确认。
5	**G-300716 GPG-M&R- RTGS, (1x50)C for CRB for 10 RTGs**	`CF310.500.01.UL`	`W0052373`	2,790	(1×50)C单芯项目结构；该行数量最大，替换时尤其要按Part No.锁定结构。
6	**G-300716 GPG-M&R- RTGS, 12G62.5/125 um fiber optics cable two pieces for CRD,E and two pieces for CRB**	`CF LG.`	`W0052374`	620	12芯、62.5/125 μm光纤几何参数；OM等级、波长、衰减和连接器需另由光纤数据表确认。
7	**G-300716 GPG-M&R- RTGS, 18G2.5 control**	`CF900.05.222`	`W0052375`	1,860	18G2.5多芯控制电缆；应核对芯号、PE、屏蔽、
累计QTY（原单未明示单位）				**11,470**	与HBL的10 parcels不是同一计量维度，不应直接换算。

Line	原始技术描述	Part No.	Feichun Ref.	QTY	工程阅读
	cable two pieces for CRD,E and two pieces for CRB				备用芯与端子排映射。
8	**G-300716 GPG-M&R- RTGS, 6X(2X0.5) control cable two pieces for CRD,E and two pieces for CRB**	`CF900.05.219`	`W0052376`	1,240	6×(2×0.5)成对控制结构；每对节距、总屏蔽/分屏蔽及阻抗需按信号类型确认。
9	**G-300716 GPG-M&R- RTGS, 1X70C for CRD,E for 10 RTGs**	`CF310.UL.700.01`	`W0052377`	1,860	1×70C项目结构；不得与第4行1×70仅按截面互换，必须比对完整Part No.。
10	**G-300716 GPG-M&R- RTGS, 4G10 for CRD & CRE for 10 RTGs**	`CF34.UL.100.04.O.PE.D`	`W0052378`	310	4G10项目配置；Part No.中的O、PE、D属于完整识别码，采购时不得删减。
累计QTY（原单未明示单位）				**11,470**	与HBL的10 parcels不是同一计量维度，不应直接换算。

表 4 — 10项电缆按系统功能归组

系统	项目条目	工程风险	不可缺少的核对文件
动力 / PE	4G16、1×70、(1×50)C、1×70C、4G10	载流量、压降、PE连续性、VFD共模电流、端接受力	单线图、负载表、短路电流、端子/格兰图、批准截面
控制	5G6、(4G6)C、18G2.5、6×(2×0.5)	芯号错接、屏蔽接地不当、噪声、弯曲后电阻漂移	I/O表、端子排、pair/屏蔽结构图、导体电阻与耐压记录
光纤	12G62.5/125 µm fiber optics	微弯/宏弯衰减、拉伸导致余长耗尽、连接器污染	光纤等级、波长/带宽、IL/OTDR基线、动态弯曲后报告

9. 4G16、1X70C、12G62.5/125等代码怎么读

> **不要“看字母猜结构”**
>
> **型号缩写只在其所属命名体系和制造商图纸中有效。**尤其是Part No.中的UL、C、D、O或PE，不得被销售人员自行扩展成第三方认证、屏蔽形式或防火等级。

表 5 — 项目代码的可解释范围与证据边界

写法	通常工程含义	本文能否最终确认	采购动作
`4G16 / 5G6 / 18G2.5 / 4G10`	G在欧洲协调写法中通常表示含绿/黄保护导体；前数为芯数，后数为mm^2	可作为初读，项目芯色与PE功能仍需图纸	核对core identification与PE截面
`1X70 / 1x50`	单芯×70或50 mm^2	截面可读；电气功能不能仅凭代码判断	核对相、PE、直流或其他回路用途
`C`	可能在不同厂家体系中代表屏蔽/同心层/结构变体	不能	只按完整Part No.和截面图确认
`UL`（Part No.片段）	可能是项目内部后缀，也可能关联某设计路线	不能据此证明UL认证	要求UL file/数据库Scope，否则只当代码
`O.PE.D`	完整的制造商/项目识别后缀	只能确认其必须保留	PO、标签、测试报告不得省略
`6X(2X0.5)`	6个二芯单元，每芯0.5 mm^2	基本几何可读	确认是否twisted pair、分屏蔽/总屏蔽及阻抗
`12G62.5/125 um`	项目文字指向12芯、62.5/125 μm光纤	几何可读；OM等级/带宽不可直接确认	要求光纤CoC、衰减与动态测试

10. 机械选型：半径、张力、加速度、扭转和导向

10.1 最小弯曲半径必须按运动方式分开

$$R_{min} = k \times D$$

D = 成品外径；k = 具体型号在静态 / 自由移动 / 卷筒 / 导向轮 / 拖链条件下的系数

同一根电缆在静态安装、自由悬垂、绕卷筒和通过反向导轮时，k值可能不同。RFQ若只写“minimum bending radius 6D”而不说明工况，无法完成设计。还要注意：卷筒barrel的**直径**通常约为半径的两倍，不能把两者混写。

10.2 动态张力不能只看电缆自重

$$T_{weight} = m'gL_{vertical}$$
$$T_{acc} = m'L_{active}a$$
$$T_{design} = \gamma_{dyn}(T_{weight} + T_{acc} + T_{friction} + T_{guide})$$

其中m′为单位长度质量，a为最大加速度，γ_{dyn}吸收冲击、控制误差和工况不确定性。还应把卷筒驱动矩、导向轮摩擦、悬垂段、风摆和转折点冲击纳入模型。最终T_{design}必须小于具体电缆在该安装方式下的允许张力，并验证端接/strain relief不会把载荷重新传回铜导体。

10.3 扭转、fleet angle和排线

“电缆允许扭转角”通常按活动长度表达，不能把总旋转角集中在一小段。卷筒偏斜、导向轮不共面、错误放线方向或安装前残余扭转，会造成corkscrew。对于多层卷绕，还要控制fleet angle、层间交叉和线圈压紧力；更高的增强编织并不能补救错误导向。

> **本文为何不给一个万能的5D或100 M/MIN**
>
> 两份项目文件没有提供成品外径、允许拉力、动态半径、速度、加速度、扭转角和卷筒层数。为了不虚构参数，本文只给计算框架。正式选型应由飞纯按准确Part No.出具批准图纸和动态数据。

11. 电气与热设计：载流量、卷筒降容、压降和短路

11.1 自由空气载流量不能直接用于多层卷筒

IEC 60287提供稳态载流量和损耗的通用计算框架，其边界条件是恒定环境与热阻。[10] 卷筒内层的散热路径、邻近线圈互热和非连续占空比都改变边界条件，因此必须取得制造商针对**层数、同时载流芯数、环境温度和duty cycle**的表或热模型。最危险的错误是：按完全展开时的自由空气载流量选截面，却让设备长期在多层收卷状态下带载。

$$P_{Cu} \approx nI^2R_\theta L$$

绕组层数增加不会减少I^2R发热，却会显著削弱内层散热。

11.2 三相压降

$$\Delta U_{3\varphi} \approx \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot (R_\theta \cos\varphi + X \sin\varphi) / 1000$$

L取单程长度，R_θ要按工作温度修正。对RTG/RMG驱动，不只校核稳态压降，还要校核启动/制动、再生、长电机电缆的dV/dt和保护动作裕量。

11.3 短路热稳定

$$I_{ad} = kS / \sqrt{t}$$

该式是绝热快速校核，k取决于导体、绝缘、初始和最终温度；复杂短路应按IEC 60949考虑非绝热修正。[11] 对多芯复合电缆，还要分别验证相导体、PE/地线、屏蔽和金属编织的故障电流路径。

12. VFD、控制对与光纤的信号完整性

RTG和岸桥的大功率驱动通常涉及变频系统。IEC 61800-3把可调速电力驱动系统的EMC作为系统问题处理。[15] 电缆设计应与驱动器输出滤波、开关频率、电机端反射、电缆长度、PE和360°屏蔽端接共同确定；“有铜网”不等于系统EMC合格。

表 6 — 动力、控制和光纤的系统化验收

回路	主要风险	结构对策	动态验收
VFD动力	dV/dt、共模电流、轴承电流、屏蔽疲劳	对称PE/屏蔽、低阻抗端接、适配绝缘系统	R20、耐压、屏蔽连续性、运行温升与EMC基线
6×(2×0.5)控制对	串扰、共模噪声、对绞散开、断芯	稳定pair lay、分屏蔽/总屏蔽、合理隔离	导通、电阻平衡、绝缘、必要时电容/阻抗与噪声测试
18G2.5控制	芯号错接、备用芯误用、PE/屏蔽功能混淆	永久芯号、颜色和端子映射	100% point-to-point、标识和端子拉力检查
12×62.5/125 µm光纤	微弯/宏弯、拉伸耗尽余长、连接器污染	光纤松套/缓冲、余长和承力解耦	弯曲/运动前后IL或OTDR对比；IEC 60794-1-111提供弯曲测试思路

把动力、控制和光纤做成一根复合电缆可以减少卷筒和安装空间，但维修时需要整体停机，且各单元必须共享同一弯曲半径与拉力环境；分开布置则更易替换，却需要更多导向与空间。飞纯的工程选择应由可维护性、备件策略和设备接口决定，而不是只追求“集成度”。

13. 材料对比：EPR / XLPE / CPE / PCP / PUR / LSZH

表 7 — 动态矿山/港机电缆材料的优势与边界

材料/结构	工程优势	需要警惕	适合的证明
EPR / HEPR 绝缘	弹性、耐热与动态弯曲适配性好，常见于重载柔性和矿用路线	配方差异大；电气强度、热延伸和水/臭氧性能须实测	产品标准 + IEC 60811材料试验 + 成品动态试验
XLPE绝缘	成熟的电力电缆绝缘，电气与热性能稳定	普通固定安装XLPE结构不能直接等同高循环动态结构	准确产品标准、弯曲/扭转qualification
PCP / 氯丁橡胶护套	重载橡套路线常用，耐候、耐油、耐磨性能可平衡	低温、油种、火焰与机械性能取决于具体compound	油、臭氧、低温、拉伸/撕裂、磨耗试验
CPE护套	矿用电缆常见，耐油、阻燃和机械性能可项目化	不同配方的柔性、低温与烟气表现不可互推	ICEA/项目标准与成品试验
TPU / PUR 护套	可获得很高的耐磨、耐切口和薄壁强度，适合拖链/地面摩擦场景	水解、热、火焰、粘连和低温性能须按grade确认；过硬会增加弯曲应力	ISO 4649、DIN VDE 0472-605及动态成品试验
LSZH护套	降低燃烧烟、卤酸和腐蚀性气体，适合封闭或人员密集区域	“无卤”不自动等于高柔、耐油、耐磨或低烟等级	IEC 60332、IEC 61034、IEC 60754 + 动态试验

耐磨数据怎么比较

ISO 4649:2024用旋转圆筒法比较橡胶磨耗体积损失，但ISO同时提醒实验室磨耗与真实服役磨损没有简单一一对应关系。[23] 因此，供应商比较必须在同一方法、磨料、试样和结果单位下进行，并增加成品电缆在真实滚轮/卷筒压力下的验证；不能只比较“PUR比橡胶耐磨”这样的材料标签。

14. 对比评测：普通柔性、拖链、拖令、卷筒、矿用拖曳

表 8 — 面向港口工程师的选型对比

方案	最擅长	不应默认具备	适用搜索词	飞纯选型条件
普通重型橡套柔性电缆	移动设备、临时供电、中等频次弯曲	电动卷筒扭转、多层热降容、百万级拖链循环	H07RN-F heavy duty cable	只有工况落在具体产品声明内才可使用
Dedicated drag-chain cable	固定平面、规定半径、反复高循环	悬垂拖令、地面拖曳、卷筒拉力	高柔拖链电缆 / continuous flex cable	给出chain radius、travel、v/a、填充和循环目标
Festoon / flat or round	小车悬挂回路、起重机横移	多层卷绕或地面拖曳	拖令电缆 / festoon cable for crane	给出loop depth、trolley pitch、clamp与速度
(N)SHTÖU / reeling family	0.6/1 kV卷筒、滑轮和物料搬运设备路线	任意拖链循环、任意扭转/速度、任意层数载流量	RTG卷筒电缆 / NSHTÖU	按DIN VDE 0250-814及项目动态参数出图
Mining trailing / MV reeling	矿山移动设备、地面拖曳、重机械载荷，可扩展至MV/地线监测/光纤	无需设备端保护、无需端接匹配、自动适合港口卷筒	矿用拖曳电缆 / NTSCGEWOEU / Type G-GC	按VDE 0250-813、AS/NZS 1802/2802或ICEA路线匹配市场

15. 九类高频失效与现场判断

表 9 — 失效现象、根因与修正措施

失效	现场征兆	可能根因	工程修正
Corkscrew螺旋变形	电缆呈永久螺旋、排线漂移	残余扭转、导向不共面、成缆失衡	检查放线方向、fleet angle、导向轮和抗扭结构
导体疲劳断丝	外观正常但电阻升高、局部发热	半径过小、S弯、加速度冲击、股线结构不匹配	趋势测R20/相平衡，增大半径并消除局部转折
Bird-caging鸟笼	端头或弯曲区股线鼓起	轴向压缩、端接刚度突变、股线迁移	改善strain relief、导体绞合和端接过渡
芯线迁移/鼓包	局部外径增大、护套波纹	填充过软、层间滑移、反向运动	稳定内护套、成缆节距和填充摩擦
护套磨平/切口	亮面、平斑、露出增强层	滚轮毛刺、砂尘、卷层压力、材料不匹配	修整滚轮/槽、控制张力并用同方法比较耐磨
屏蔽断裂	EMC恶化、接地阻抗漂移	编织角/覆盖率与动态弯曲不匹配、端头僵硬	动态屏蔽设计、360°端接和连续性趋势监测
光纤衰减阶跃	丢包、链路间歇、OTDR事件点	微弯、余长耗尽、光单元受拉或被压扁	动态前后IL/OTDR；改余长、缓冲和承力路径
卷筒热老化	内层变色、软化、异味或无故跳闸	按自由空气载流量选型、多层散热差	按层数/温度/duty降容，测内外层温度
端接拉脱/护套后退	格兰处伸长、芯线露出、端子受力	strain relief不足、张力直接传到导体	夹持外护套/承力层，复核格兰和锚固长度

16. VDE、ATEX、IECEx、CE、UKCA、EAC与俄罗斯消防认证

FEICHUN GLOBAL COMPLIANCE POSITIONING

Engineered for maximum safety in demanding environments, our cable systems support applicable global compliance routes including ATEX, IECEx, VDE, CE, UKCA, EAC, and the Russian Fire Safety Certificate. They are developed for heavy-duty mining equipment, ship-to-shore cranes, RTG/RMG cranes and conveyor systems where reliability is non-negotiable.

工程限定语：上述为飞纯的项目化合规能力矩阵，不表示每个型号同时、自动持有全部证书。

表 10 — 标准/认证应如何专业地写进PO

体系	解决什么问题	采购时必须核对	不能怎样宣传
DIN VDE 0250-814	NSHTÖU橡套柔性电缆产品路线	准确型号、电压、芯数、材料、证书/试验Scope	不能把“based on VDE”直接写成VDE certified
DIN VDE 0250-813	矿用/重载trailing cable路线，覆盖更广电压与结构	屏蔽、PE/monitor、光纤、动态与环境选项	不能把任意港口电缆都叫矿安认证
IEC 60228 / 60245	导体电阻/结构与橡胶柔性电缆产品要求	版本、适用电压、具体产品标准与额外动态qualification	Class 5/6不等于无限弯曲寿命
ATEX 2014/34/EU	潜在爆炸性环境中的设备与保护系统市场合规	产品身份、类别、Ex标志、证书/声明及与格兰/设备的接口	普通电缆不能仅因阻燃就称“ATEX防爆电缆”
IECEx	爆炸性环境设备/组件的国际第三方认证体系	在线证书号、ExTR/QAR、Scope、状态和安装标准	不能用一张公司证书覆盖所有电缆
CE / UKCA	欧盟/英国适用法规的市场标识与声明路径	适用法规、DoC/技术文件、产品与制造地点	标志不是性能等级，也不是第三方“万能认证”
EAC	欧亚经济联盟技术法规合格评定	TR CU 004/2011等适用法规、证书/声明、HS与Scope	不能用过期或不含准确型号的证书
Russian Fire Safety	俄罗斯市场项目要求的防火性能文件	标准、试验等级、型号列表、有效期、签发机构	不能以英文宣传语替代正式证书页

ATEX与IECEx最容易被误写。IECEx官方将其定义为爆炸性环境设备认证体系；IEC 60079-14:2024处理Ex设备电气装置的设计、选择和安装。[17][18][19] 因此，正确表述应是“电缆系统支持特定Ex项目的选型与文件路线”，并核对电缆、格兰、密封方式、设备防爆型式、接地和安装条件。

> **证书证据边界**
>
> 本次提供的两份附件是PI与HBL，不是ATEX、IECEx、VDE、CE、UKCA、EAC或俄罗斯消防证书。本文不会虚构证书号。发布前如要把“support / applicable route”升级为“certified”，必须补入准确PDF、编号、签发机构、有效期和型号Scope。

17. RFQ、FAT、SAT与MRO交付清单

17.1 RFQ：询价时至少提供

设备与运动

STS/RTG/RMG/矿机；reel/festoon/chain；行程、速度、加速度、反向频次、导向和悬垂长度。

电气

U0/U/Um、负载与duty、VFD参数、短路电流/时间、PE体系、芯数/截面、压降限值。

机械

OD限制、barrel/pulley/chain radius、层数、允许张力、扭转、夹具、格兰和端接方式。

环境

最低/最高温、盐雾、UV、臭氧、油种、泥水、浸水、砂尘、火灾/低烟要求。

通信

控制信号类型、pair、屏蔽、阻抗；光纤芯数、62.5/125或50/125、波长、带宽和连接器。

市场文件

目的国、适用VDE/IEC/AS/NZS/ICEA、ATEX/IECEx接口、CE/UKCA/EAC/消防文件及语言。

17.2 FAT：工厂验收不应只有耐压和导通

表 11 — 建议的FAT / ITP层级

层级	项目	记录形式
身份	Part No.、Ref、芯数/截面、长度、标识、drum no.、批次	Approved drawing + packing list + traceability
尺寸/电气	OD/椭圆度、护套厚度、R20、绝缘电阻、耐压、导通、PE/屏蔽连续性	逐盘或抽样报告，方法和温度修正明确
材料	拉伸/伸长、热老化、热延伸、油/臭氧/低温、耐磨、阻燃/烟/酸气（如适用）	同一配方与批次的型式/例行证据
动态	按项目半径、速度、加速度、张力和扭转做reel/festoon/chain qualification	试验装置、循环数、载荷、失败判据和前后电气变化
光纤	端面、插入损耗、OTDR、弯曲/动态前后变化	每芯曲线与事件表
文件	证书Scope、DoC、标准版本、检验报告、安装说明、最小半径/张力/载流量	Data book / MDR索引

17.3 SAT与MRO

现场调试建议采用**慢速点动 → 25% → 50% → 100%速度**的阶梯方式，逐级观察排线、张力、护套接触、corkscrew、导向轮跳动、端接位移和温升。投入运行后建立基线：各芯电阻、相间平衡、屏蔽/PE连续性、光纤IL/OTDR、护套照片、外径/椭圆度和卷筒内外层温度。趋势变化比“完全断电后才维修”更能提前识别疲劳。

> **建议写入PO的替代控制条款**
>
> “No substitution by conductor size alone. Supplier shall match complete Feichun Part No., approved cross-section, conductor/PE/screen architecture, dynamic duty, sheath compound, optical/control performance and certificate scope.”

18. 港口工程师高频FAQ

▼ 飞纯这批电缆是否确实出口到苏伊士运河集装箱码头？

项目PI 2025072408显示飞纯向Wheeler Industrial Worldwide Ltd提供10项RTG电缆；HBL PSE15218的收货人为Suez Canal Container Terminal，卸货港和最终目的地均为Port Said East。两份单据组合构成项目证据链。

▼ 普通H07RN-F能否直接替代RTG卷筒电缆?

不能仅凭柔性和电压等级替代。卷筒电缆还需验证反复收放、动态拉力、导向轮弯曲、扭转、层间挤压与卷筒散热；替代必须依据相同运动工况下的批准图纸和动态型式试验。

▼ 卷筒、拖令和拖链电缆能否互换?

不能默认互换。卷筒重点是拉力、扭转、导向和多层热效应；拖令重点是悬垂回路与夹具区局部弯曲；拖链重点是固定平面内的高循环弯曲、链腔填充和中性轴稳定。

▼ 最小弯曲半径应该取多少倍外径?

没有适用于所有动态电缆的统一倍数。应分别取得静态、自由移动、卷筒、导向轮和拖链半径，使用具体型号批准图纸中的k值，并按Rmin=kD校核；卷筒筒体直径不得误写成弯曲半径。

▼ 为什么卷筒上的允许电流比自由空气中低?

多层绕组的内层散热路径变长，邻近电缆互相加热。IEC 60287提供稳态载流量计算框架，但实际卷筒还需输入层数、占空比、环境温度、通风、同时载流芯数和运动状态，不能直接套用自由空气载流量。

▼ 12G62.5/125 um是否就等于OM1光纤?

62.5/125 μm通常指多模光纤的芯径/包层直径，但仅凭PI文字不能完成OM等级、带宽和衰减验收。应核对光纤证明、工作波长、链路预算，并在动态试验前后做插入损耗或OTDR基线比较。

▼ Part No.里出现UL是否等于该电缆有UL认证?

不等于。UL可能只是制造商项目编码的一部分。只有能够在认证机构数据库中核验、且Scope覆盖准确型号、工厂、结构和电压的文件，才可作为认证依据。

▼ ATEX和IECEx是否意味着电缆本身自动防爆?

不应这样表述。ATEX 2014/34/EU和IECEx主要围绕爆炸性环境中的设备、保护系统和组件；电缆还要与设备防爆型式、格兰、密封、接地及IEC 60079-14安装设计匹配，并核对具体证书Scope。

19. 参考标准、公开数据与项目文件

公开数据与标准状态核对日期：2026-08-13。标准链接用于说明Scope和工程逻辑，不意味着任何飞纯Part No.自动取得该标准认证。采购时必须核对标准版本、产品Scope、制造地点、批准图纸和批次文件。

[P1] Feichun Proforma Invoice No. 2025072408, dated 24/07/2025（用户提供项目文件；本文仅引用技术条目与非敏感物流事实）

[P2] House Bill of Lading PSE15218, shipped on board 26 Dec 2025（用户提供项目文件）

[1] World Bank WITS / UN Comtrade — 2024年HS 854449出口至埃及的国家别数据

[2] APM Terminals — Suez Canal Container Terminal公开设备与码头参数

[3] APM Terminals — SCCT 2025扩建：955 m新岸线、12台岸桥、30台电动RTG

[4] APM Terminals — 2024年首批扩建设备抵港：岸桥与电动RTG

[5] DIN Media — DIN VDE 0250-814:1985-02，NSHTÖU橡套柔性电缆

[6] DIN Media — DIN VDE 0250-813:1985-05，Trailing cable / Leitungstrosse

[7] DIN Media — DIN VDE 0250-812:1985-05，NSSHÖU橡套柔性电缆

[8] IEC — IEC 60228:2023，绝缘电缆导体及Class 5/6柔性铜导体

[9] IEC — IEC 60245-4:2026，450/750 V及以下橡胶绝缘软线与柔性电缆

[10] IEC — IEC 60287-1-1:2023，载流量和损耗计算

[11] IEC — IEC 60949，电缆热允许短路电流计算

[12] IEC — IEC 60332-1-2:2025，单根电缆垂直火焰传播试验

[13] IEC — IEC 61034-2:2005+A1:2013+A2:2019，燃烧烟密度试验

[14] IEC — IEC 60754-2:2011+A1:2019，燃烧气体酸度与电导率

[15] IEC — IEC 61800-3:2022，变速电力驱动系统EMC

[16] IEC — IEC 60794-1-111:2023，光缆弯曲与衰减变化试验

[17] IEC — IEC 60079-14:2024，爆炸性环境电气装置设计、选择与安装

[18] IECEx — 爆炸性环境设备国际认证体系说明

[19] EUR-Lex — ATEX Directive 2014/34/EU

[20] Standards Australia — AS/NZS 1802:2018，地下煤矿卷筒与拖曳电缆

[21] Standards Australia — AS/NZS 2802:2000，非地下煤矿用卷筒与拖曳电缆

[22] ICEA — ANSI/ICEA S-75-381 / NEMA WC 58，矿山便携与馈电电缆

[23] ISO — ISO 4649:2024，橡胶旋转圆筒耐磨试验

[24] DIN Media — DIN VDE 0472-605:1985-01，电缆耐磨试验

[25] GOV.UK — CE与UKCA产品标识路径概览

[26] Eurasian Economic Commission — TR CU 004/2011低压设备法规更新说明

[27] Feichun Cable — 矿用、卷筒、拖曳、拖令和拖链产品家族

安徽飞纯特种电缆有限公司 — 港口 / 矿山高柔性动态电缆技术支持

技术支持 / TECHNICAL ENGINEERING

电话 / WHATSAPP / WECHAT
+86 13855123218

位置 / LOCATION

Hefei Economic and Technological Development Zone Comprehensive Bonded Zone, Anhui, P.R. China

安徽省合肥市经济技术开发区综合保税区

© 2026 Anhui Feichun Special Cable Co., Ltd. 安徽飞纯特种电缆有限公司 — All rights reserved.

本文用于港口工程师、矿山电气工程师、EPC、MRO和采购人员进行技术选型，不替代设备OEM图纸、卷筒计算、保护配合、当地法规、第三方证书或项目最终批准文件。

同截面不等于同结构；同一“高柔性”标签不等于同一卷筒、拖令或拖链寿命。最终供货以完整Part No.、批准图纸、FAT/ITP和证书Scope为准。