

ICS 29. 200

CCS K81



# 团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

## 高速公路 1500V 直流供电系统

### 第 1 部分：系统总体设计

DC Power Supply System of 1500V for Expressway

Part 1: General System Design

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布



目录

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 系统设计 ..... 3

    4.1 一般规定 ..... 3

    4.2 系统组成 ..... 3

    4.3 主要设施设备 ..... 5

    4.4 系统性能 ..... 5

    4.5 保护与防护 ..... 6

    4.6 监测与控制 ..... 8

    4.7 电力传输线缆 ..... 8

附录 A ..... 10

附录 B ..... 11

## 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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

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标准工作委员会能源智慧化专业委会标准工作组归口。

本文件起草单位：蜀道投资集团有限责任公司、北京中交国通智能交通系统技术有限公司、广西交科集团有限公司、四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、四川省交通勘察设计研究院有限公司、四川西香高速建设开发有限公司、西南交通大学、深圳市金溢科技股份有限公司、四川蜀道清洁能源集团有限公司、四川欣智造科技有限公司。

本文件主要起草人：张胜、丁应虎、杨辉、廖知勇、易雷、高龙、罗瑞发、刘大远、王思程、朱劲、胡洋、郭育华、郑宇、廖龙兴、刘斌、周俊、汪正勇、周荣强、易圣舒、段作义、杨程、张艇。

本文件为首次发布。

## 引 言

为贯彻执行国家的技术经济政策，提升高速公路对清洁能源的接入和消纳能力，助力交通运输行业新型电力系统建设，规范高速公路直流供电系统设计技术要求，保障高速公路 1500V 直流供电系统安全可靠、经济合理、技术先进、功能完善、维护便捷，制定本标准。

本文件适用于新建、改扩建高速公路 1500V 直流供电系统设计，高速公路 1500V 直流供电系统应根据负荷性质、工程特点、供电条件、运行维护等因素，合理确定设计方案。

本文件主要适用于高速公路路段场景和隧道场景两种。

本系列标准中引用的标准，凡是不注日期的，其最新版本适用于本系列所有部分。

本文件是《高速公路 1500V 直流供电系统》系列标准的第 1 部分。该系列标准已发布以下部分：

- 第 1 部分：系统总体设计；
- 第 2 部分：设备技术条件及检验要求；
- 第 3 部分：系统检验要求。

本系列标准围绕高速公路 1500V 直流供电系统的全生命周期，从系统设计、设备制造到系统检验，构建了完整的技术规范体系。各部分分工如下：

- 第 1 部分规定系统的设计原则、架构组成、性能指标及总体要求；
- 第 2 部分规定系统中各类设备的技术条件、功能性能技术条件及检验要求；
- 第 3 部分规定系统整体在工程现场的验收检验要求。



# 高速公路 1500V 直流供电系统

## 第 1 部分：系统总体设计

### 1 范围

本文件确立了高速公路1500V直流供电系统的总体设计、系统构成与集成要求，包括路段和隧道两种场景的供电总体设计原则与要求。

本文件适用于高速公路1500V直流供电系统，以及集成光伏、储能等分布式能源的混合直流供电系统设计，也可供其他等级公路、城市道路及具有类似线性分布负荷特征的交通基础设施直流供电工程设计参考，也适用于高原山地等电网薄弱、光伏资源丰富且桥梁隧道占比较高的高速公路项目。

### 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。

GB 4208-2017	《外壳防护等级(IP 代码)》
GB 50052-2009	《供配电系统设计规范》
GB 50054-2011	《低压配电设计规范》
GB 50217-2018	《电力工程电缆设计标准》
GB/T 15543-2008	《电能质量 三相电压不平衡》
GB/T 20645-2021	《特殊环境条件高原用低压电器技术要求》
GB/T 34120-2023	《电化学储能系统储能变流器技术要求》
GB/T 35727-2017	《中低压直流配电电压》
GB/T 37048-2018	《高速公路机电系统防雷技术规范》
GB/T 39462-2020	《低压直流系统与设备安全导则》
JTG 2182-2020	《公路工程质量检验评定标准 第二册 机电工程》

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**高速公路 1500V 直流供电系统** **Dc Power Supply System Of 1500V For Expressway**

通过电力电缆或光电复合缆进行直流电能远距离传送和接收的供电系统，系统电压等级为 1500V。

### 3.2

#### **电力传输线缆 Power Transmission Cable**

传输工频或直流电能的传输线缆，其性能以额定电压、载流能力、绝缘等级为主要特征。

### 3.3

#### **光电复合缆 Optical Fiber Composite Cable**

集电力传输与光纤通信于一体的复合缆，适用于长距离供电与信号同步传输场景。

### 3.4

#### **多脉冲整流 Multi-pulse Rectifier**

多脉冲整流是指通过多个相位或脉冲的整流电路来减少输出直流电中的谐波含量，提高电能质量。

### 3.5

#### **PWM 整流 PWM Rectification Function**

PWM 整流（脉宽调制整流）是一种基于脉宽调制技术的整流方法，能够实现高效、可控的交流到直流的电能转换。

### 3.6

#### **供电系统主站 Power Supply System Master Station**

安装于收费站、服务区内，将交流电转换为直流 1500V 输出的电源设备，由监控模块、电源模块(AC/DC)、输入、输出配电单元、及防雷单元等组成。

### 3.7

#### **用电设备节点站 Power Consumption Node**

安装于路侧，将 1500V 直流转换为直流 12V、24V、交流 220V 输出的电源设备。

### 3.8

#### **直流不间断电源 DC Uninterruptible Power Supply**

采用 N+1 冗余配置，将 1500V 直流转换为符合用电设备需求的直流输出的电源设备。集成电池管理功能，对备电电池具备充放电管理功能。

### 3.9

#### **照明节点站 Lighting Junction Station**

照明节点站包含 DC/DC 降压单元、智能开关、智能传感、智能终端等模块。

### 3.10

#### **风机节点站 Fan Junction Station**

安装于远端用电设备侧，输入电压直流 1500V，输出电压：三相 0~380V，0~50Hz，输出相序可调可实



现电机正反转。

### 3.11

#### 母线联络装置 Bus Tie Device

连接两段直流母线的装置，具备配电、监测、保护及备自投功能，用于提高供电可靠性。

### 3.12

#### 悬浮方式 Suspended Mode

系统的直流输出采用正、负极均不接地的方式。

### 3.13

#### 附属设施 Ancillary Facilities

附属设备包括雷电防护装置、备电与应急装置、配电装置等。

## 4 系统设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 高速公路 1500V 直流供电系统应满足安全可靠、高效稳定、智能可控、柔性调节的基本性能要求，适应高速公路线性分布、负荷分散、长距离供电及复杂环境条件的系统特性。

4.1.2 高速公路 1500V 直流供电系统所采用的直流熔断器或直流断路器，其额定工作电压应与系统输出直流电压相适应，应同时切断回路的正极和负极。

4.1.3 高速公路 1500V 直流供电系统的输入及输出侧均应配置 SPD 浪涌保护器，防止雷电等过电压造成设备损坏。

4.1.4 高速公路 1500V 直流供电系统输出端到用电设备的受电端之间的配电级数不宜超过 3 级。

4.1.5 高速公路 1500V 直流供电系统应具备完善的保护功能。

4.1.6 高速公路 1500V 直流供电系统应具备智能运维平台，对供电系统主站、用电设备节点站进行监测与控制。

4.1.7 高速公路 1500V 直流供电系统应充分考虑包括海拔在内的环境条件，当海拔高度超过 2000m 时，应根据《特殊环境条件高原用低压电器技术要求》（GB/T 20645-2021）的相关规定对设备进行降额使用，确保设备的安全和可靠性。

4.1.8 高速公路 1500V 直流供电系统应综合考虑传输容量、传输距离、负荷性质等工程参数，根据不同的负荷需求和供电场景，应选择合适的设备配置。

### 4.2 系统组成

#### 4.2.1 路段供电系统组成

高速公路路段 1500V 直流供电系统包括供电系统主站、用电设备节点站、供电线缆、接地系统和附属设施等，供电系统示意图如图 1 所示。

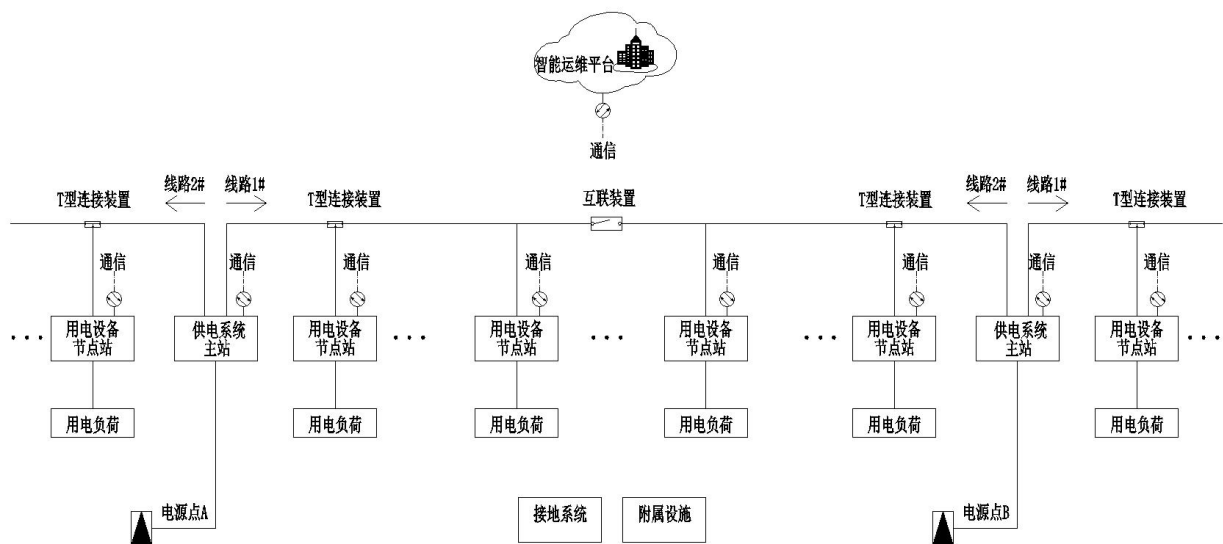


图 1 高速公路路段 1500V 直流供电系统示意图

- 说明：
- 1——上级电源和用电负荷不属于本文件规定范围。
  - 2——供电系统主站的接入电源可采用变电所交流市电、光伏与风力等新能源、储能电源或其混合形式。
  - 3——供电路段根据负荷等级要求设计为分段独立供电时，可不配置互联装置。
  - 4——互联装置默认处于非联络状态，供电系统主站分段运行，承担对应线路下用电设备的供电任务；当对侧供电主站出现供电异常时，闭合互联装置，由本侧供电系统主站实现联络供电。
  - 5——用电设备节点站采用 T 接形式接入干线，T 接处应具备分断能力。

4.2.2 隧道供电系统组成

高速公路隧道 1500V 直流供电系统包括供电系统主站、用电设备节点站、供电线缆、直流不间断电源、接地系统和附属设施，供电系统示意图如图 2 所示。

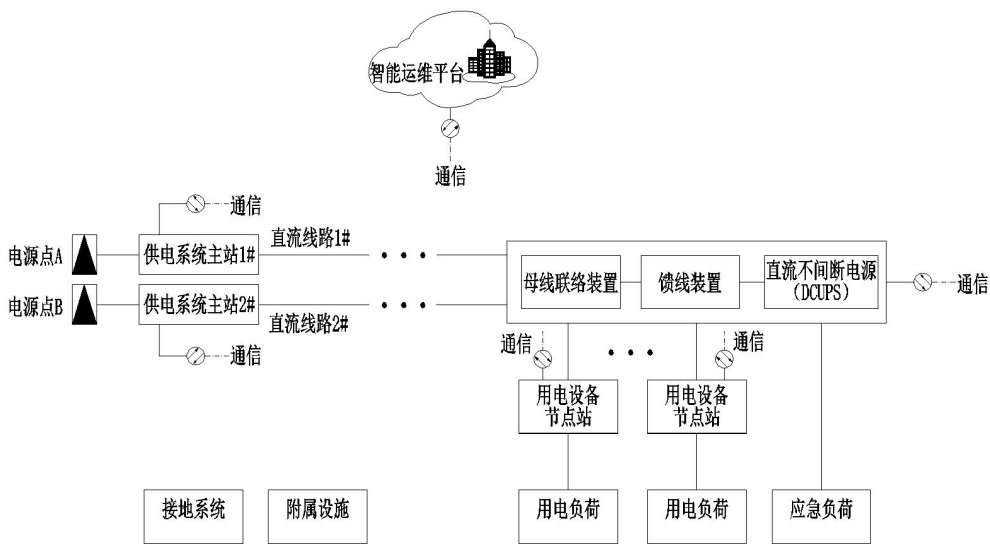


图 2 高速公路隧道 1500V 直流供电系统示意图

- 说明：
- 1——上级电源、母线联络装置、馈线装置、用电负荷不属于本文件规定范围。
  - 2——供电系统主站的接入电源可采用变电所交流市电、光伏与风力等新能源、储能电源或其混合形式。

3——用电设备节点站可根据用电负荷类型划分，包括但不限于风机节点站、照明节点站等。

4——隧道供电系统采用两段单母线接线，两段直流母线之间应设母线联络装置。正常运行时，两段直流母线应分别独立运行；当其中一条线路或供电系统主站异常时，应联络供电。

5——用电设备节点站采用 T 接形式接入干线，T 接处应具备分断能力。

## 4.3 主要设施设备

### 4.3.1 路段供电设施设备

4.3.1.1 高速公路路段 1500V 直流供电系统包括供电系统主站、用电设备节点站、供电电缆、接地系统和附属设施等。

4.3.1.2 供电系统主站和用电设备节点站应为隔离型变换架构。

4.3.1.3 供电系统主站和用电设备节点站转换效率不应低于 90%。

4.3.1.4 供电系统主站应具备直流稳压功能，稳压精度 $\leq \pm 2\%$ ，并可根据指令调整直流电压。

4.3.1.5 供电系统主站交流输入电源的电压、频率、谐波含量、功率因数应满足现 GB/T 12325、GB/T 12326、GB/T 15543 及 GB/T 14549 的相关规定。

4.3.1.6 供电系统主站宜就近安装于低压配电室或户外箱变内。

4.3.1.7 用电设备节点站应提供 220Vac、12Vdc、24Vdc 等多种电压输出，满足不同类型负载接入，电压精度 $\leq \pm 2\%$ 。

4.3.1.8 用电设备节点站应采用抱杆安装，离地高度 $\geq 1200\text{mm}$ 。

4.3.1.9 用电设备分支取电点应采用 T 型连接装置，T 型连接装置具备 IP65 的防护等级，应具备故障分断功能。T 型连接装置宜采用抱杆安装，安装高度应便于操作及维护。

### 4.3.2 隧道供电设施设备

4.3.2.1 高速公路隧道 1500V 直流供电系统包括供电系统主站、用电设备节点站、供电电缆、直流不间断电源、馈电装置、接地系统和附属设施等。

4.3.2.2 供电系统主站和用电设备节点站应为隔离型变换架构。

4.3.2.3 供电系统主站和用电设备节点站转换效率不应低于 90%。

4.3.2.4 供电系统主站应具备直流稳压功能，稳压精度 $\leq \pm 2\%$ ，并可根据指令调整直流电压。

4.3.2.5 供电系统主站交流输入电源的电压、频率、谐波含量、功率因数应满足现 GB/T 12325、GB/T 12326、GB/T 15543 及 GB/T 14549 的相关规定。

4.3.2.7 供电线路采用双回路设计时，应设置母线联络装置。母线联络装置包含但不限于配电单元、智能电表、电涌保护、监控单元、备自投控制模块等。

4.3.2.8 供电系统主站宜与高低压配电设备（如高压柜、箱变、馈线柜、测控装置等）一体化集成，构成预装式系统；直流不间断电源宜与母线联络装置、馈线装置一体化集成，构成预装式系统。

4.3.2.9 供电系统的接入电源，包括但不限于：变电所交流市电、光伏与风力等新能源、储能电源或其混合形式。

## 4.4 系统性能

4.4.1 系统设备应能在 $-25^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$ 环境温度、 $\leq 95\%$ 相对湿度（无凝露）条件下正常运行。

4.4.2 高速公路 1500V 直流供电系统宜采用单极直流系统，变换装置应采用隔离型，直流系统接地型式宜采用 IT 系统。

4.4.3 高速公路 1500V 直流供电系统直流供电电压偏差范围应为标称电压的 $-15\% \sim +5\%$ 。

4.4.4 1500V 直流高速公路供电系统宜具备动态电压补偿及快速功率响应能力，可实现有功、无功支撑以提升电网电压与频率稳定性，谐波治理及三相不平衡调节以全面优化电能质量，可支持基于调度指令或本地测量数据的自动调节功能。

4.4.5 1500V 直流高速公路供电系统应具备输出电压动态柔性调节、快速功率响应、负荷适配及多源协同调控的柔性调节能力，确保系统运行稳定性、供电可靠性及电能质量满足相关要求。

- a) 输出电压动态调节：可根据电网电压波动及负荷变化，实时平滑调整系统输出电压，精准补偿电压暂态偏差，确保供电电压稳定在额定允许范围；
- b) 功率柔性响应：支持有功功率与无功功率独立可控、灵活调节，能快速响应调度指令或本地功率需求变化，实现功率平滑输出与切换；
- c) 负荷适配调节：可兼容沿线不同类型、不同功率等级用电负荷的随机接入与退出，自动匹配负荷特性调整供电策略；
- d) 多源协同调控（若接入分布式电源、储能装置）：应能与多能源单元柔性互动，优化能量分配，提升系统运行效率与可靠性。

4.4.6 系统应具备告警功能。系统在各种保护功能动作的同时，应能自动发出相应的告警信号，将各种故障类别进行区分，并通过通信接口将告警信息上传；系统可储存告警记录，即使在系统完全掉电状况下，告警信息也不会丢失，可随时刷新、查询。

4.4.7 系统应支持本地及远程监控，具备实时数据采集、故障诊断、事件记录及远程控制功能。

4.4.8 系统应具备过压、欠压、过流、短路、过温等保护功能，保护动作准确率不低于 99%。

4.4.9 直流远供系统分单回路和双回路运行机制，采用双回路接线时，两段直流母线之间应设母线联络装置。正常运行时，两段直流母线应分别独立运行。

4.4.10 供电系统的接入电源，包括但不限于：变电所交流市电、光伏与风力等新能源、储能电源或其混合形式。

4.4.11 电源点须具备足够的冗余容量和短路容量，不仅能满足直流供电系统额定负载的长期运行，还要能承受系统的启动冲击电流，且不影响上级电源点为其他原有负荷的正常供电。

4.4.12 系统应具备防误操作、防触电、防电弧等安全设计，危险部位应设置明显警示标识。

## 4.5 保护与防护

4.5.1 高速公路 1500V 直流供电系统应具备完善的保护功能，应能识别常见故障和不正常运行方式，保护功能应由保护装置和变换装置共同配合实现，保护功能应灵敏可靠。

4.5.2 高速公路 1500V 直流供电系统保护功能应具备输入和输出端口过压、欠压保护，短路、过流保护，过载保护，过温保护，直流反接保护，接地保护，防雷保护等。

4.5.2.1 过压保护阈值：系统输出过压保护动作值宜为标称电压的+10%~+15%，当电压超过阈值时，保护装置应动作切断电源或发出告警信号。

4.5.2.2 欠压保护阈值：系统输出欠压保护动作值宜为标称电压的-20%~-15%，当电压低于阈值时，保护装置应动作切断电源或发出告警信号。

4.5.2.3 过流保护阈值：系统主回路过流保护动作值宜为额定电流的 120%~150%，瞬时过流（短路）保护动作值宜为额定电流的 3~5 倍；分支回路过流保护动作值根据支路额定电流设定，为支路额定电流的 110%~130%，过流保护动作时间应满足选择性要求，主回路动作时间不大于 200ms，分支回路动作时间不大于 100ms。

4.5.2.4 过载保护阈值：过载保护动作值宜为额定电流的 110%~120%，过载保护动作时间采用反时限特性，当过载 110% 时，动作时间不小于 10 分钟；过载 120% 时，动作时间不小于 1 分钟。

4.5.2.5 过温保护阈值：功率模块、整流装置等关键设备的过温保护动作温度宜为 85℃~95℃，当设备温度持续超过阈值时，保护装置应动作切断电源或降额运行，并发出告警信号；设备表面温升不应超过 GB/T 39462-2020 规定的限值。

4.5.2.6 防雷保护阈值：SPD 浪涌保护器的标称放电电流（ $I_n$ ）不应小于 20kA，最大放电电流（ $I_{max}$ ）不应小于 40kA；对于差模过电压，保护动作电压不应超过系统标称电压的 2.5 倍；对于共模过电压，保护动作电压不应超过系统标称电压的 3 倍。

4.5.3 当直流线路上发生短路、过流故障时，系统设备应跳闸保护，迅速切除电源，动作时间不大于100ms，避免在短路过流情况下出现电缆温升过高而导致的燃烧事故，保护人身和设备的安全。

4.5.4 高速公路 1500V 直流供电系统设备应配置 SPD 浪涌保护器，防止雷电等过电压造成设备损坏。

#### 4.5.5 接地保护要求

4.5.5.1 低压直流远供系统电气装置的外露可导电部分的下列部分应可靠接地：

- a) 电能变换设备的底座和外壳。
- b) 配电、控制和保护用的柜(箱)等的金属框架和金属箱体等；
- c) 电缆沟和地上各种电缆金属支架等
- d) 电缆接线盒、终端盒的外壳，电力电缆的金属护套或屏蔽层，穿线的钢管和电缆桥架等。

4.5.5.2 高速公路 1500V 直流供电系统工作接地、保护接地、防雷接地等共用接地装置，接地电阻应不大于  $1\Omega$ 。

4.5.5.3 应按照接地系统的要求接地，并做好明显标识。

4.5.6 低压直流系统中元器件的选择应考虑极性、保护器件的动作时间和选择性等因素。

4.5.7 对于断路器应注意是否有极性的标识，应按照制造商给出的串、并联方法与接线图进行安装。考虑到反向故障电流的影响，推荐选用无极性，具有灭弧功能的直流断路器或无极性的直流熔断器。

4.5.8 直流负荷接入直流母线处应采用具有隔离功能断路器，分断能力应不小于反向故障电流，并需具备极间电压通断能力。

4.5.9 熔断器的保护特性，例如时间-电流特性、截断电流和分断能力受时间常数影响较大，不同低压直流系统应考虑其直流线路的时间常数应进行合理选型。

4.5.10 当外部交流电压窜入直流配电系统时，直流配电系统应能识别并报警。

4.5.11 高速公路 1500V 直流供电系统应具备直流输出绝缘监测功能，绝缘电阻低于报警阈值时，绝缘监测装置应报警。当直流配电回路数较多时，直流配电回路宜配置剩余电流监测装置，以配合绝缘监测装置完成绝缘故障定位。绝缘监控装置，应能实时监测并显示正负母线对地绝缘电阻。在系统发生接地故障或绝缘电阻下降到设定值，应能显示接地极性并及时、可靠地发出报警信息。绝缘监测装置在报警范围内的监测精度应高于 $\pm 5\%$ ，绝缘监测测量周期宜小于 2s。其绝缘监测报警范围按表 1 规定。

表 1 绝缘监测报警范围表

直流系统标称电压（V）	绝缘电阻报警范围(k $\Omega$ )
110	10~30
220	15~40
240	15~40
336	20~60
400	25~75
440	25~75
600	30~90
750	40~120
1000	50~150
1500	75~220

## 4.6 监测与控制

4.6.1 高速公路 1500V 直流供电系统应具备系统监测和控制功能，包括本地查询、本地设置、本地控制、远程监控等功能。

4.6.1.1 本地查询：宜带有中文液晶显示屏及操作按钮，可快速查询电源系统及各电源模块的工作状态及运行信息，如系统输入、输出电压值、负载电流值及系统状态，模块电压值、电流值及模块运行状态等。

4.6.1.2 本地设置：可精确、快捷地进行与系统相关的参数设置，宜包括直流参数、系统参数、通讯参数，如输入过欠压保护门限值、密码重置、本机地址等。

4.6.1.3 本地控制：应具有 RS485 或以太网等标准通信接口，可通过上位机实现系统本地控制，宜包括系统的开关机控制，输出电压控制，电源模块的开关机控制等。

4.6.1.4 远程监控：应具有 RS485 或以太网等标准通信接口，通过控制网关接入智能运维平台，上报系统运行状态、参数和告警信息，同时智能运维平台也可以远程设置系统相关参数及控制系统运行状态。

4.6.2 高速公路 1500V 直流供电系统应具备智能运维平台。

4.6.2.1 系统宜通过控制网关接入智能运维平台，系统与智能运维平台之间的数据传输应采用加密方式，确保数据在传输过程中不被窃取、篡改或伪造。

4.6.2.2 系统设备与智能运维平台之间的通信应采用标准化、开放式协议，优先支持 MQTT 、Modbus-TCP 等协议。

4.6.2.3 智能运维平台应实现从统计数据、运行状态到调节控制、异常告警的全景可视化展示，通过智能运维平台能实时看到每个设备的运行状态。

4.6.2.4 借用供电系统主站专用断路器，智能运维平台可远程切断供电系统主站对外输出，当出现系统供电故障等紧急情况时，避免对用电设备及用电负荷造成冲击。

4.6.2.5 智能运维平台宜具备远程柔性调节功能，如调节系统工作电压等级、光伏发电功率及储能系统出力等，从而实现供需平衡及系统最优运行。

4.6.2.6 智能运维平台应对单设备、单路段、多路段、多隧道的供电系统进行统一管控，支持分级权限管理（如管理员、运维人员、查看人员等不同角色权限划分）。

## 4.7 电力传输线缆

4.7.1 电缆设计应符合 GB50217 的有关规定。

4.7.2 电缆截面应满足回路长期负荷电流及回路允许电压降要求。

4.7.3 1500V 直流供电系统直流供电电力电缆应符合 JTG 2182-2020 中 7.4 低压设备电力电缆技术要求，并且符合下列规定：

- a) 低压设备电力电缆应符合《额定电压 1kV( $U_m=1.2kV$ )到 35kV( $U_m=40.5kV$ )挤包绝缘电力电缆及附件第 1 部分：额定电压 1kV( $U_m=1.2kV$ )和 3kV( $U_m=3.6kV$ )电缆》(GB/T12703.1)等相关标准的规定。
- b) 低压直流电缆设计应符合《电力电缆设计规范》(GB 50217-2018)中要求。
- c) 低压配电电力电缆及配件的型号规格、数量应符合合同要求，部件完整。
- d) 阻燃电缆和耐火电缆应采用铜导体。
- e) 电缆的路径应避免电缆遭受机械性外力、过热、腐蚀等危害。
- f) 直埋电缆两端铠装层接地处理措施应得当，电缆标识埋设应符合设计要求。

4.7.4 1500V 直流供电系统中光电复合缆宜符合下列规定：

- a) 光电复合缆宜在长距离供电且需同步传输通信信号的场景中优先选用，尤其适用于需同时进行电能传输与数据通信的路段。
- b) 光电复合缆的电力导体宜采用铜或铝合金材质，其截面积应满足回路载流量与电压降要求。光纤部分宜采用单模光纤。

c) 光电复合缆的额定电压不应低于 1500V DC，绝缘电阻应符合 GB/T 12706.1 的规定，并能承受系统运行中可能出现的极性反转及直流叠加冲击等电气应力。

d) 敷设时宜避免缆体过度弯曲，其最小弯曲半径不应小于电缆外径的 15 倍。直埋敷设时埋深不应低于 0.8m，应设置醒目标识并采取防机械损伤措施。

4.7.5 直流电缆绝缘水平应能承受极性反向、直流与冲击叠加等的耐压考核。交联聚乙烯绝缘电缆应具有抑制空间电荷积聚及其形成局部高场强等适应直流电场运行的特性。

4.7.6 路段外场设施供电电缆宜选用铝合金导体电力电缆。

4.7.7 隧道内敷设的电缆应选用低烟无卤阻燃型电缆，消防负荷应选用耐火型电缆。

4.7.8 线缆最大电压降宜为系统标称电压的 15%，允许最大电压降为标称电压的 20%。

4.7.9 公路直流供电系统的裸母线严禁裸露在潮湿和多灰尘空气中，应进行封闭处理。裸露的直流正负极带电金属部分应增加物理隔离措施或防潮防水措施。

4.7.10 按电缆回路计算采购量应考虑配盘的影响，敷设时应避免中间接头。无法避免的中间接头尽量选择在室内、电缆沟等检修方便的场所，在室外做中间接头时宜设置人孔井或手孔井。应做好绝缘措施，并做好防水防潮处理。

4.7.11 直流配电线路在公路上敷设时，应采用直埋、穿管和架空敷设方式。架空线设计应符合 DL/T 5220 的有关规定。

4.7.12 桥梁上的电缆应采取防止振动、热伸缩以及风力影响下金属套管因长期应力疲劳导致断裂的措施，并符合下列规定：

- a) 桥墩两端和伸缩缝处电缆应充分松弛；当桥梁中有挠角部位时，宜设置电缆伸缩弧；
- b) 经常受到振动的直线敷设电缆，应设置皮、砂袋等弹性衬垫。

## 附录 A

高速公路路段 1500V 直流两侧独立供电系统示意图 A.1 如下，包括供电系统主站、用电设备节点站、供电线缆、型连接装置、接地系统和附属设施等。

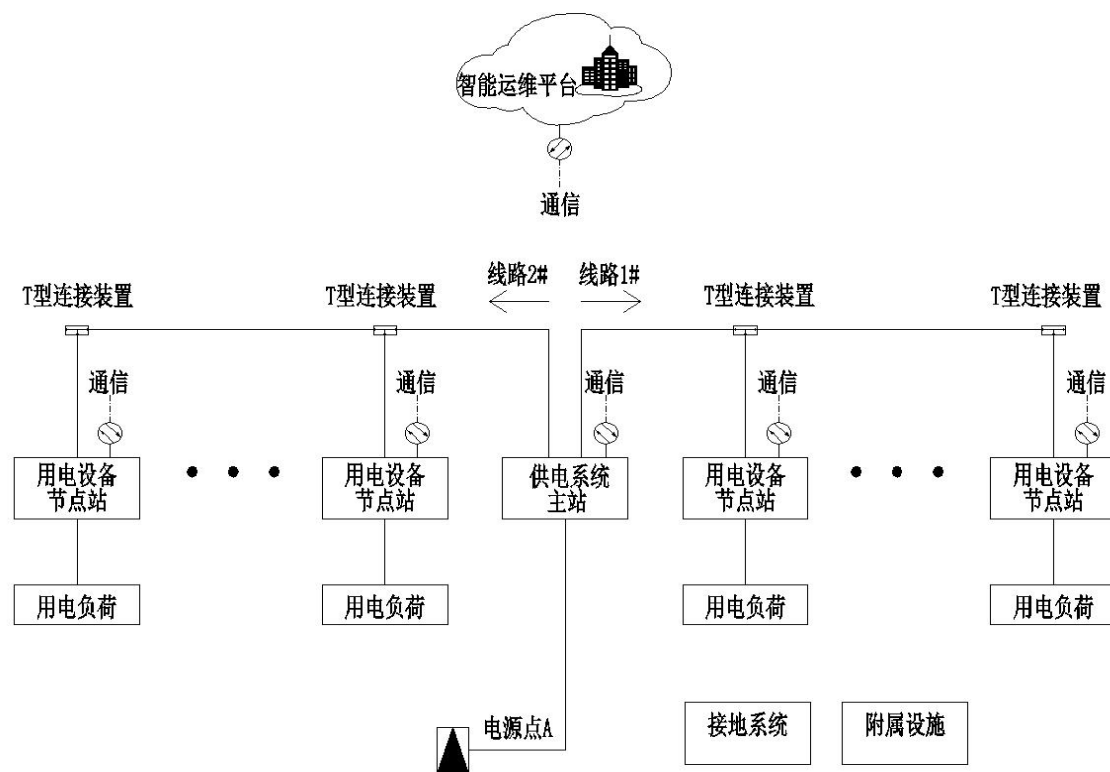


图 A.1 两侧独立供电系统示意图



附录 B

高速公路路段 1500V 直流两侧互为备用供电系统示意图 B.1 如下，包括供电系统主站、用电设备节点站、供电线缆、T 型连接装置、接地系统和附属设施等。

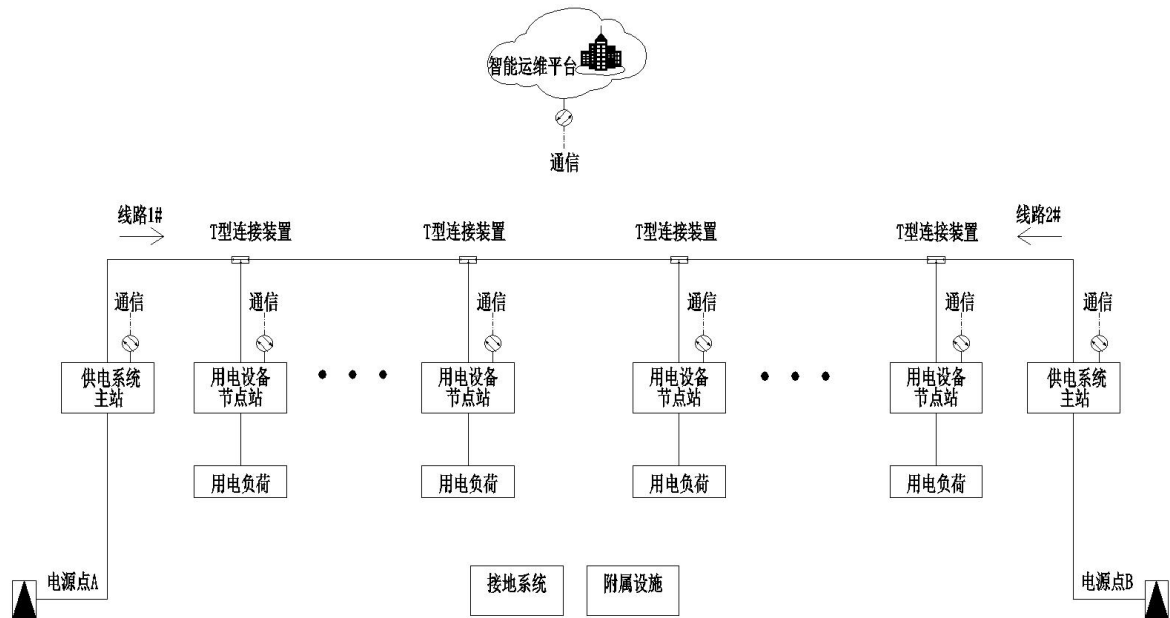


图 B. 1 两侧互为备用供电系统示意图