

T/CZGJ

团 标 准

T/CZGJ XXX-XXXX

电气化公路预装式牵引变电站

prefabricated traction substation for electrified roads

征求意见稿

2026年2月12日

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

中关村智联轨道交通运营产业联盟 发布

目 次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 缩略语	4
5 工作条件	5
6 箱变设备技术要求	5
7 箱体技术要求	28
8 试验	29
9 标志	30
10 包装、运输与贮存	31

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这些专利的责任。

本文件由中关村智联轨道交通产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：镇江大全赛雪龙牵引电气有限公司、北京合锐赛尔电力科技股份有限公司、内蒙古新通电气化公路设计有限公司、北京超达创赢科技有限公司、鸿浩电力设备有限公司。

本文件主要起草人：吴杰、吕海琼、吴彬、刘晓亮、王彬、包伟、林乐锡、阿进福、韩军锋、宋金祥、任虎威、王鹏宇、蔡俊、陈旭、银振刚、包红旗。

本文件为首次发布。

电气化公路箱式牵引变电站

1 范围

本文件规定了电气化公路箱式牵引变电站的工作条件、技术要求、检验方法及检验规则、标志、包装、运输与贮存等。

本文件适用于在电气化公路牵引系统中应用的主要由高压侧交流额定电压为 $3.6\text{kV}\sim40.5\text{kV}$ 、包含牵引变压器、整流器、直流柜等供变电设备构成的箱式牵引变电站。

注1：用于电气化公路的供配电预装式变电站，可参照本文件。

注2：用于直流负载的供配电预装式变电站，可参照本文件。

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 311.1-2012 绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则

GB/T 708-2019 冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差

GB/T 1094.3-2017 电力变压器 第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙

GB/T 1094.5-2008 电力变压器 第5部分：承受短路的能力

GB/T 1094.11-2022 电力变压器 第11部分：干式变压器

GB/T 1094.12-2013 电力变压器第12部分：干式电力变压器负载导则

GB/T 3859.1-2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-1部分：基本要求规范

GB/T 3859.2-2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-2部分：应用导则

GB/T 3859.3-2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-3部分：变压器和电抗器

GB/T 3906-2020 $3.6\text{kV}\sim40.5\text{kV}$ 交流金属封闭开关设备和控制设备

GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 7251.1-2013 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则

GB/T 7251.12-2013 低压成套开关设备和控制设备第2部分：成套电力开关设备和控制设备

GB/T 11022-2020 高压交流开关设备和控制设备标准的共用技术要求

GB/T 17467-2020 高压/低压预装式变电站

GB/T 19826-2014 电力工程直流电源设备通用技术条件及安全要求

GB/T 25890.6-2010 轨道交通 地面装置 直流开关设备 第6部分：直流成套开关设备

JB/T 10693-2022 城市轨道交通用干式牵引整流变压器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 电气化公路 *electrified roads*

电气化公路是一种通过道路基础设施为行驶中的车辆（尤其是电动汽车）提供电力的技术系统。它旨在解决电动汽车续航里程短、充电时间长、电池成本高等问题，实现车辆在行驶过程中持续充电，甚至无需搭载大容量电池。

3.2 电气化公路预装式箱式牵引变电站 *prefabricated traction substation for electrified roads*

电气化公路预装式箱式牵引变电站（以下简称箱式牵引变电站）是由高压开关设备、牵引变压器、整流器、直流开关设备、综合自动化设备、交直流电源设备、辅助设备等元件组成的成套供配电设备，

这些元件在工厂内被预先组装在一个或几个箱壳内,用来向电气化公路或其它直流负载等牵引系统提供直流电源。

3.3

外壳 *enclosure*

用来保护预装式变电站免受外部的影响,并为操作人员和一般公众提供规定的防护等级,以防止其接近或触及带电部件和触及运动部件的预装式变电站的部件。

[来源: GB/T 17467-2020, 3.103]

3.4

隔室 *compartment*

箱式变电站的一部分,除了相互连接、控制或通风所需的通道外,其内部元件全部被封闭起来。

注:隔室可以按其中包含的元件来命名,例如分别称为牵引变压器隔室、高压开关设备和控制设备隔室、直流开关设备和控制设备隔室。

[来源: GB/T 17467-2020, 3.104, 有修改]

3.5

元件 *component*

箱式变电站中提供某种特定功能的基本部件(例如牵引变压器、高压开关设备和控制设备、直流开关设备和控制设备、整流器设备等)。

[来源: GB/T 17467-2020, 3.105, 有修改]

3.6

隔板 *partition*

箱式牵引变电站中将一个隔室与另一个隔室隔开的部件。

[来源: GB/T 17467-2020, 3.106]

3.7

主回路 *main circuit*

箱式牵引变电站中包含主要导电部件的用于传送电能的回路。

[来源: GB/T 17467-2020, 3.107, 有修改]

3.8

辅助回路 *auxiliary circuit*

箱式牵引变电站中包含所有导电部件的(不包含主回路)用于控制、测量、信号、调节、照明等的回路。

[来源: GB/T 17467-2020, 3.108]

3.9

额定值 *rated value*

制造厂对箱式牵引变电站规定的运行条件所指定的量值。

[来源: GB/T 17467-2020, 3.109, 有修改]

3.10

防护等级 *degree of protection*

由外壳提供的、并经标准的试验方法验证的防护程度,用以防止触及危险的部件、防止外来物件进入或水分浸入。

[来源: GB/T 17467-2020, 3.110, 有修改]

3.11

周围空气温度 *ambient air temperature*

在规定条件下测定的箱式牵引变电站外壳周围的空气温度。

[来源: GB/T 17467-2020, 3.111, 有修改]

4 缩略语

AC: 交流电 (Alternating Current)

AF: 强迫空气冷却 (Air Forced)

AN: 空气自然冷却 (Air Natural)

DC: 直流电 (Direct Current)

IP：防护等级（Ingress Protection）

SCADA：数据采集与监视控制系统（Supervisory Control And Data Acquisition）

TN-S：三相五线制供电系统，中性线N与保护线PE独立（Terre-Neutre Séparé）

5 工作条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度

环境温度范围：-40 °C～+50 °C。

5.1.2 海拔高度

海拔高度不超过 1000 m。对于海拔高于1000m的需求，应按GB 311.1-2012的附录B考虑海拔修正因数，开关设备和控制设备的额定绝缘水平修正后应符合客户绝缘要求。

5.1.3 相对湿度

相对湿度不小于95%，有凝露的情况发生。

5.2 安装场所条件

安装在道路附近的变电站设备，应能承受冲击和振动；地震带区域应能承受地震烈度不低于8度。

5.3 系统条件

5.3.1 牵引供电系统标称电压

应用于直流牵引供电系统，系统的标称电压一般为：DC750 V、DC1500 V。

5.3.2 外部辅助电源

控制、信号回路辅助电源采用独立的 DC220V（或DC110V）电压等级，电压的波动范围为85%～110%，纹波因数不大于5%。

加热、照明回路辅助电源采用独立单相工频AC220 V电压等级，电压的波动范围为85%～110%。各装置内其它电压等级由装置内部自行转换。

6 箱变设备技术要求

6.1 高压开关柜技术要求

6.1.1 高压开关额定参数

高压开关柜额定参数应不低于表1要求。

表1 高压开关柜额定参数

序号	项目	单位	技术参数	
1	额定电压	kV	12	40.5
2	额定频率	Hz	50	
3	额定电流	A	630/1250	
4	额定1min工频耐受电压(有效值)	主绝缘对地、断路器断口间及相间绝缘	kV	42
		隔离开关断口间的绝缘	kV	48
5	额定雷电冲击耐压(峰值)	主绝缘对地、断路器断口间及相间	kV	75
				185

序号	项目		单位	技术参数	
		绝缘			
		隔离开关断口间的绝缘	kV	85	215
6	额定短路开断电流		kA	25/31.5	
7	额定短时耐受电流	主回路（包括接地开关）	kA	25/31.5	
		接地回路	kA	21.8/27.4	
8	额定短路持续时间	主回路（包括接地开关）	s	4	
		接地连接回路	s	2	
9	额定峰值耐受电流		kA	63/80	
10	额定短路电流开断次数（电寿命）		次	30	
11	额定操作顺序			0-0.3s-C0-180s-C0	
12	机械寿命	断路器	次	10000	
		隔离开关及接地开关	次	3000	
13	连续电流试验		A	1.1I _z	
14	防护等级			气室 IP67, 外壳 IP4X, 隔室间 IP2X	
15	尺寸（宽×深×高）		mm	根据具体工程项目确定	
16	辅助回路和控制回路的 1min 工频电压耐受水平		kV	2	

6.1.2 设计和结构

6.1.2.1 接地

按GB/T 3906-2020中6.5的规定。

6.1.2.2 内部燃弧

按GB/T 3906-2020中的5.101、6.101、7.106的规定。

6.1.3 其他要求

6.1.3.1 操作通道不小于 800mm。

6.1.3.2 断路器单元的综保装置可根据实际应用需求选配，需配置电动并可手动操作机构。

6.1.3.3 自动化室（如有）：如配置自动化终端，内部空间应满足可安装 DTU 公共单元独立二次柜。

6.1.3.4 通信类型（如有）：如配置通信单元，箱式牵引变电站内部应满足可安装独立通信室。

6.1.4 试验

6.1.4.1 绝缘试验

按GB/T 3906-2020中的7.2的规定。

6.1.4.2 温升试验

按GB/T 3906-2020中的7.5的规定。

6.1.4.3 接地连续性试验

按GB/T 11022-2020中的6.3的规定。

6.1.4.4 电磁兼容

按GB/T 11022—2020中的5.18的规定。

6.1.4.5 燃弧试验

按GB/T 3906—2020中的7.106的规定。

6.1.4.6 防护等级

按GB/T 3906—2020中的7.7的规定。

6.1.4.7 功能验证

GB/T 3906—2020中的8.102的规定。

6.1.4.8 机械操作试验

按GB/T 3906—2020中的7.102的规定。

6.2 干式变压器技术要求

6.2.1 技术参数

干式变压器技术参数应符合表2要求。

表2 干式变压器技术参数

序号	名 称	单位	技术参数
一	额定值		
1	变压器型号		SCB14
2	能效等级		2 级
3	铁心材质		冷轧取向硅钢片
4	绕组结构		环氧浇注式（包封式）
5	高压绕组	kV	10/10.5，供货前与项目单位确定
6	额定频率	Hz	50
7	额定容量	kVA	
8	相数		3
9	绝缘耐热等级		F 级及以上
10	冷却方式		AN/AF
11	局部放电水平	pC	≤10
二	空载损耗		
1	额定频率额定电压时空载损耗	kW	表 3
三	空载电流		
1	100%额定电压时	%	表 3
四	负载损耗		
1	主分接（120℃）	kW	表 3
2	主分接（145℃）	kW	表 3
五	噪声水平	dB(A)	表 4

表3 2级能效性能参数表

变压器容量(kVA)	调压方式	高压额定电压(kV)	高压分接范围(%)	低压额定电压(kV)	联结组标号	空载损耗(kW)	负载损耗F(120℃)(kW)	负载损耗H(145℃)(kW)	短路阻抗(%)
30	无励磁	10 10.5 11	± 5 $\pm 2 \times 2.5$	0.4	Dyn11	0.130	0.640	0.685	4.0
50						0.185	0.900	0.965	
100						0.270	1.415	1.520	
160						0.365	1.915	2.050	
200						0.420	2.275	2.440	
315						0.600	3.125	3.355	
400						0.665	3.590	3.850	
500						0.790	4.390	4.705	
630						0.910	5.290	5.660	6.0
630						0.885	5.365	5.760	
800						1.035	6.265	6.715	
1000						1.205	7.315	7.885	
1250						1.420	8.720	9.335	
1600						1.665	10.555	11.320	
2000						2.075	13.005	14.005	

表4 轨距与升级水平

变压器容量(kVA)	轨距A × B(mm × mm)	声压级[dB(A)]	
		常规设备	
30	400 × 660	60	
50	400 × 660	60	
100	400 × 660	61	
160	400 × 660	62	
200	400 × 660	63	
315	550 × 1070	65	
400	550 × 1070	65	
500	550 × 1070	67	
630	660 × 1070	67	
800	660 × 1070	68	
1000	820 × 1070	68	
1250	820 × 1070	70	
1600	820 × 1070	70	
2000	820 × 1070	72	

6.2.2 技术要求

干式变压器技术要求按GB/T 10228-2023中的第5节的规定。

6.2.3 试验

设备应符合例行试验和型式试验要求，试验内容按GB/T 1094.11-2022中的第14节的规定。

6.3 整流变压器技术要求

6.3.1 技术参数

- 6.3.1.1 根据电压等级：10kV 或 35kV 整流变压器。
- 6.3.1.2 根据整流方式：6 相 12 脉整流变压器与 12 相 24 脉整流变压器。
- 6.3.1.3 整流变压器技术参数应满足以下要求。
 - a) 整流变压器类型：户内、自然空气冷却、环氧树脂浇注干式变压器。
 - b) 额定频率：50Hz。
 - c) 额定容量：315kVA～4400kVA。
 - d) 相数：三相。
 - e) 额定电压：高压/低压/低压。整流变压器调压方式为高压侧无励磁分级调压，分接抽头的分接范围为： $\pm 2 \times 2.5\%$ 。
 - f) 冷却方式：AN。
 - g) 局部放电： $\leq 10 \text{ pC}$ 。
 - h) 线圈绝缘等级：F 级或 H 级。
 - i) 空载损耗、负载损耗符合用户要求。

6.3.2 技术要求

整流变压器技术要求按JB/T 10693-2022中的第6节的规定。

6.3.3 可靠性

整流变压器的可靠性按JB/T 10693-2022中的第8节的规定。

6.3.4 试验

整流变压器应符合例行试验和型式试验要求，试验内容按JB/T 10693-2022中的第7节的规定。

6.3.5 整流变压器和整流器联调试验

整流变压器和整流器联调试验，包括电流、电压外特性试验、噪声试验、机组效率试验、重牵引负载VI级负载能力试验、谐波试验、功率因数试验等。

应对整流机组做联调试验，联调试验内容如下：

- a) 负载试验；
- b) 轻载（功能）试验；
- c) 低压电流试验；
- d) 功率损耗（效率）测定试验；
- e) 功率因数测定试验；
- f) 过电压试验；
- g) 固有电压调整值测量试验；
- h) 交流侧谐波电流及直流侧纹波电压测量试验。变压器安装与安全，按 GB/T 1094.11-2022 中的第 20 节的规定。

6.4 整流器技术要求

6.4.1 基本功能

牵引整流器的作用是将从牵引变压器的二次绕组接收的低压交流电，转换为直流电。单台整流器由二个三相6脉波全波整流桥组成，其中一个整流桥接至整流变压器二次侧Y型绕组，另一个整流桥接至整流变压器二次侧△型绕组。两个整流桥并联连接构成十二相脉动全波整流器，同一路直流母线上两台整流器并联运行构成等效二十四脉波整流。整流器构成示意见图1。

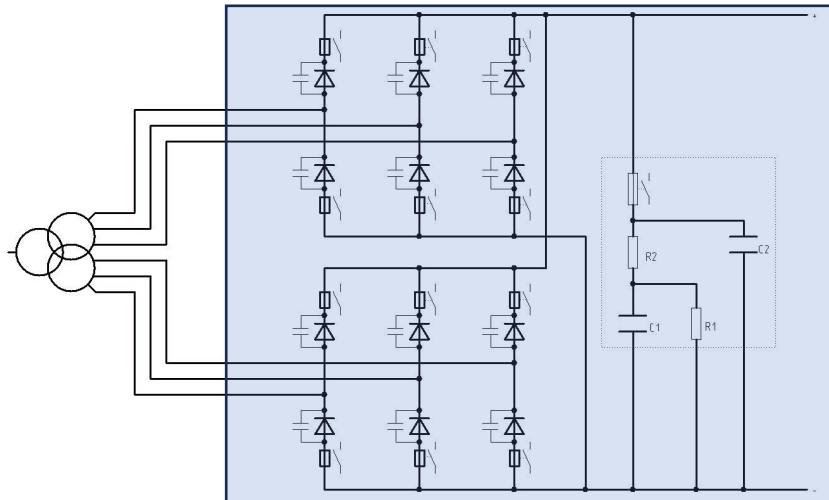


图1 整流器构成示意图（不含变压器部分）

6.4.2 工作方式

6.4.2.1 正常运行方式

双整流机组同时工作，输出24脉波直流电源。

6.4.2.2 降级运行方式

其中一个整流机组退出运行，由单台整流机组提供12脉波直流电源。

6.4.2.3 故障运行方式

两个整流机组同时退出运行，不对外输出直流电源。

6.4.3 外观与结构

6.4.3.1 整流器柜壳体由钢板组成，柜体边缘必须光滑。板材连接采用自固螺栓，不采用焊接方式。钢板厚度不小于 2.0 mm。

6.4.3.2 整流器柜的壳体外表面应喷涂无炫目反光的覆盖层，表面不应有起泡、裂纹或流痕等缺陷，构件应有良好的抗腐蚀性能。

6.4.3.3 当外壳打开时，接线端子以及需要维护的所有零件易于接近。柜体内部应留有足够的空间，以便外部的导线从外壳的进口处引至接线端子。

6.4.3.4 壳体的每一个门上装设一套电磁锁，以实现相关联锁。

6.4.3.5 应设置独立的低压室，安装控制及辅助元器件。

6.4.3.6 整流器柜采用绝缘安装，柜底固定方式应考虑绝缘性能，安装后绝缘电阻不低于 $50\text{M}\Omega$ 。

6.4.4 主电路

6.4.4.1 整流器柜主电路连接线（包括内部一次电缆和铜排等）的长期允许电流不应小于 1.5 倍的额定电流，额定电压不应低于相应电路的额定工作电压。

6.4.4.2 主电路连接线的连接应牢固，不能自由晃动，布线应整齐、美观。

6.4.4.3 整流器空载电压不得高于系统标称电压 1.1 倍。直流侧空载情况下，整流机组网侧施加 105% 的交流电压时，直流侧输出电压不超过 1.2 倍。

6.4.4.4 每个整流桥臂应采用两只或两只以上二极管并联，二极管不应串联。同一桥臂二极管参数应相近，并应考虑整流器母排的电阻，使并联支路元件均流系数不小于 90%。

6.4.4.5 整流器能承受由于直流侧短路而产生的短路电流的冲击。

6.4.5 安全保护接地

- 6.4.5.1 整流器柜应有保护接地端子。保护接地端子应装在易于接线的地方。
- 6.4.5.2 整流器柜的金属壳体、要求接地的电器元件的金属底座、柜门、隔板、支架、安装导轨等可能带电的金属件（包括因绝缘破坏可能会带电的金属件）与保护接地端子间应具有可靠的电气连接，其最远端与保护接地端子间的电阻值应不大于 $100\text{ m}\Omega$ 。
- 6.4.5.3 接地导体的颜色应采用黄绿色，黄绿色除作为保护导体的识别颜色外，不应用于其他用途。
- 6.4.5.4 保护接地端子应有适当的防腐蚀措施并有清晰、明显的、永久性的标准接地符号。

6.4.6 短时耐受电流

整流器运行需满足 GB 3859.1-2013 中 6.5.1 VI 级负载等级，即：

- a) 100%额定负荷——连续；
- b) 150%额定负荷——2h；
- c) 300%额定负荷——1min；
- d) 同时应满足整流机组负荷曲线图。

6.4.7 绝缘水平

6.4.7.1 绝缘耐压

整流器柜的主回路绝缘耐压水平不低于表6的规定。

表 6 主回路绝缘耐压范围

系统标称电压 kV	工频耐受电压 (50 Hz, 1 min)	额定冲击电压 (波形1.2/50 μs)
	主回路对地和极间 kV	主回路对地 kV
0.75	4.6	10
1.5	5.5	12

整流器柜的辅助回路绝缘耐压水平不低于表7的规定。

表 7 辅助回路绝缘耐压范围

辅助回路 (含测量控制单元回路) 对地 (50 Hz, 1 min) kV
2.0

6.4.7.2 电气间隙

整流器柜的主回路对地和极间、开关隔离断口的电气间隙不低于表8的规定。

表 8 电气间隙

系统标称电压 kV	主回路对地和极间 mm
0.75	18
1.5	27

6.4.7.3 爬电距离

整流器柜内部两导电部分间的爬电距离不低于表9的规定。

表9 爬电距离

系统标称电压 kV	CTI=600 mm
0.75	38
1.5	75

6.4.8 温升

整流器柜各部位的温升限值应符合表10的规定。

表10 各部位的温升限值

部位名称	温升限值 K	
外壳、覆板	30	
铜排	裸铜	75
	镀银	100
	镀镍	100
连接端子	裸铜或铝铜合金	75
	镀银	100
	镀镍	100
绝缘材料	不大于所使用的绝缘材料的绝缘等级的温升限值	

6.4.9 测量控制单元

6.4.9.1 测量回路

测量控制单元应有电压和电流测量回路，用于测量整流柜输入交流电压、输出直流电压、直流电流。测量值采样时间间隔不大于1 ms，测量范围覆盖电压、电流最大值，测量范围内测量精度不低于0.5级。测量数据可从整流器柜面板上查看。

测量回路应设置变送器，以上传电压、电流测量值到变电所综合自动化系统或其他系统。

6.4.9.2 测量精度

遥测测量精度：电流、电压不大于 1.5%。

6.4.9.3 告警及事项记录功能

测量控制单元具备硬件和软件“看门狗”功能，设置一路专用的告警出口，出口采用常闭接点，整流器柜正常运行时该告警继电器始终处于激励状态，出口接点断开，当外部电压失电、内部辅助电源故障时该告警接点闭合。

测量控制单元应具有以时间顺序记录的方式记录事件的功能，事件应包括保护事件报告、操作事件报告、状态量变位报告，操作事件应包括定值或参数修改、装置掉电或上电及装置复位等信息。测量控制单元应能可靠记录整流器柜故障的相关信息，如触发元件、触发时间等。

测量控制单元应具有分辨率不大于1 ms的事项顺序记录功能（SOE）。

6.4.9.4 通讯接口

整流器柜的状态及测量值数据通过硬节点和通信方式接入SCADA系统，并在本装置上显示。

支持现场总线或以太网结构方式与变电所综合自动化系统通信，通信协议应采用对用户完全开放的国际标准规约，不同供货商的设备可以满足一致性和互操作要求，实现“即插即用”；应采用Modbus-TCP/RTU等规定的标准通信协议。现场总线通信传输速率不小于19.2 kbps，以太网通信传输速率为10 M，数据传输安全距离不小于200 m，并在此速率下和距离范围内安全可靠运行。

6.4.10 二极管

6.4.10.1 二极管采用平板式二极管。

6.4.10.2 二极管反向峰值电压储备系数（二极管最大允许重复反向峰值电压与其整流工况下重复承受到的反向峰值电压之比）不应小于2.5。

6.4.10.3 单个二极管安装在空气自然冷却的散热片上，散热片应具有良好的散热特性，散热片表面要进行防腐处理以减少维护工作。

6.4.10.4 整流器的设计应满足当同一桥臂并联的二极管有一个损坏时或不同桥臂两只二极管故障时，仍能满足VI级负荷要求及承受短路电流的要求，同时报警。

6.4.11 快速熔断器

每个二极管支路串有快速熔断器，快速熔断器带有检测装置和接点。当熔丝熔断后，熔断指示器将可靠动作，同时发出故障信号，并且熔断器上具有明显的标记，使工作人员能在现场容易发现。

6.4.12 防凝露加热器

整流器柜内应设有防凝露加热器，并设自动和手动选择开关。在自动档时，由柜内的湿度仪控制防凝露加热器的工作状态；在手动档时，由人工直接控制防凝露加热器的工作状态。

6.4.13 表计及显示

6.4.13.1 直流电流表（1.0级），显示主回路直流电流。

6.4.13.2 直流电压表（1.0级），显示主回路直流电压。

6.4.13.3 交流电压表（1.0级），显示主回路交流电压。

6.4.13.4 整流器柜前面板上应设置LED报警指示灯，显示整流器柜工作（正常或故障）状态。同时设置触摸屏，可现场查看整流器状态。

6.4.13.5 整流器柜前有模拟图，显示整流器的接线方式。

6.4.14 线缆

整流器柜内部的线缆应采用低烟、无卤、阻燃型。

6.4.15 进出线方式

整流器柜的进、出线宜采用电缆下进下出。如有特殊情况，由供需双方协商确定。

6.4.16 冷却方式

自然风冷。

6.4.17 防护等级

整流器柜外壳防护等级不低于：IP20。

6.4.18 试验

设备应符合出厂试验和型式试验要求，试验内容应包含GB/T 3859.1—2013第7.1.2节要求。

6.5 直流柜技术要求

6.5.1 基本功能

直流开关柜接在牵引供电系统整流器与接触网（轨）、回流轨之间，为车辆提供直流牵引电源并提供保护。直流开关柜由进线柜、馈线柜、负极柜、上网隔离柜等柜型组成。

6.5.2 工作方式

直流进线柜从整流器正极取得直流750V或直流1500V电源，输送到直流母排上，再通过馈线柜、上网隔离柜输送到接触网（轨）上，最后通过回流轨经过负极柜回到整流器负极。

6.5.3 外观与结构

6.5.3.1 壳体由钢板组成，柜体边缘必须光滑。板材连接采用自固螺栓，不采用焊接方式。钢板厚度不小于2.0 mm。

6.5.3.2 壳体外表面应喷涂无炫目反光的覆盖层，表面不应有起泡、裂纹或流痕等缺陷，构件应有良好的抗腐蚀性能。

6.5.3.3 当外壳打开时，接线端子以及需要维护的所有零件易于接近。柜体内部应留有足够的空间，以便外部的导线从外壳的进口处引至接线端子。

6.5.4 主电路连接线

6.5.4.1 主电路连接线（包括内部一次电缆和铜排等）的长期允许电流不应小于1.5倍的额定电流，额定电压不应低于相应电路的额定工作电压。

6.5.4.2 主电路连接线的连接应牢固，不能自由晃动，布线应整齐、美观。

6.5.5 安全保护接地

6.5.5.1 应有保护接地端子。保护接地端子应装在易于接线的地方，并且当外壳或其它可移动部件移去时，能使接触器保持可靠的接地连接。

6.5.5.2 金属壳体、要求接地的电器元件的金属底座、柜门、隔板、支架、安装导轨等可能带电的金属件（包括因绝缘破坏可能会带电的金属件）与保护接地端子间应具有可靠的电气连接，其最远端与保护接地端子间的电阻值应不大于100 mΩ。

6.5.5.3 接地导体的颜色应采用黄绿色，黄绿色除作为保护导体的识别颜色外，不应用于其他用途。

6.5.5.4 保护接地端子应有适当的防腐蚀措施并有清晰、明显的、永久性的标准接地符号。

6.5.6 主回路电阻

关合状态下主回路电阻不大于60 μΩ。

6.5.7 母线短时耐受电流

在关合状态下，母线短时耐受电流水平宜表11范围内确定。

表 11 短时耐受电流

额定值	峰值
125 kA, 持续时间250 ms	178 kA

6.5.8 绝缘水平

6.5.8.1 绝缘耐压

主回路绝缘耐压水平不低于表12的规定。

表 12 主回路绝缘耐压范围

系统标称电压 kV	额定电压 kV	额定绝缘电压 kV	额定冲击电压（波形1.2/50 μs）		工频耐受电压（50 Hz, 1 min）	
			主回路对地和极间 kV	开关隔离断口 kV	主回路对地和极间 kV	开关隔离断口 kV
0.75	0.9	1.8	15	18	6.9	8.3
1.5	1.8	3	20	24	9.2	11

辅助回路绝缘耐压水平不低于表13的规定。

表 13 辅助回路绝缘耐压范围

系统标称电压 kV	辅助回路（含测量控制单元回路）与地间（50 Hz, 1 min） kV
0.75	2.0
1.5	2.0

6.5.8.2 电气间隙

主回路对地和极间、开关隔离断口的电气间隙不低于表14的规定。

表 14 电气间隙

系统标称电压 kV	户内		户外	
	主回路对地和极间 mm	开关隔离断口 mm	主回路对地和极间 mm	开关隔离断口 mm
0.75	27	32	33	40
1.5	36	43	43	52

6.5.8.3 爬电距离

内部两导电部分间的爬电距离不低于表15的规定。

表 15 爬电距离

系统标称电压 kV	户内 mm	户外 mm
0.75	45	54
1.5	75	90

6.5.9 温升

各部位的温升限值应符合表16的规定。

表 16 各部位的温升限值

部位名称	温升限值 K
外壳、覆板	30
铜排	裸铜
	镀银
	镀镍
连接端子	裸铜或铝铜合金
	镀银

部位名称	温升限值 K	
镀镍	100	
绝缘材料	不大于所使用的绝缘材料的绝缘等级的温升限值	

6.5.10 测量控制单元

6.5.10.1 测量回路

测量控制单元应有电压和电流测量回路，用于测量牵引供电系统的电压以及关合后流过的电流。测量值采样时间间隔不大于1 ms，测量范围应有负值区并包含正常运行时最大值，测量范围内测量精度不低于0.5级。测量数据可从低压室面板上查看。

测量回路应设置变送器，以上传电压、电流测量值到变电所综合自动化系统或其他系统。

6.5.10.2 装置故障录波

故障录波应记录电流、电压等模拟量信号，录波数据应以波形方式输出。每段故障记录的总时间应不少于2000ms；故障前记录的时间1000ms；故障后记录的时间1000ms；故障前后记录的时间可调，波形采样点2000个。故障录波采样间隔不高于1ms。故障录波可以从开关柜面板显示单元查看或通过维护计算机查看，并可从微机综合测控/保护单元下载故障录波记录。故障录波可重复下载。故障录波应记录故障跳闸时电流、电压及di/dt（斜率）3类模拟量信号，以及故障动作时断路器分合位信号。应记录不少于1000组最近事件波形曲线，每个事件波形曲线记录波形包括电流、电压及di/dt 3段波形，能存储记录不少于最近1000次故障的相关录波波形。

6.5.10.3 事件记录

记录的事件应包括多种状态发生变化的事件，所有事件均可从开关柜面板显示单元查看或通过维护计算机下载事件记录。记录的事件应包括保护跳闸事件、各种命令事件、各种操作事件等，能储存最新事件数量应不少于1000条事件记录，时标分辨率应不高于1ms，掉电情况下不丢失，不受断电时间限制。

6.5.10.4 操作回路

操作回路用来对直流开关的分断、关合动作进行控制，在当地及远方实现操作。

6.5.10.5 保护功能及信号采集

进线柜应具备逆流保护功能，并采集开关位置、所有事故、报警、进线电流、母线电压等信息。

馈线柜应具备电流上升率di/dt、电流增量ΔI、过电流、电流速断、直流双边联跳、热过负荷、低电压等保护功能，并采集断路器和手车位置、所有事故、报警、馈线电流、母线电压、馈线电压等信息。

负极柜应具备框架电压、框架电流保护功能，并采集开关位置、所有事故、报警、框架电流、框架电压、负极总回流等信息。

6.5.10.6 测量精度

遥测测量精度：电流、电压不大于 1.5%。

6.5.10.7 通讯接口

直流开关的关合、分断状态及测量值数据、跳闸信号通过硬节点和通信方式接入SCADA系统，并在本地显示单元上显示。信号的显示经复归后才会消失，采用当地/远方复归方式。可接受控制中心下发的分、合闸指令，用于控制直流开关的分断或关合。

支持现场总线或以太网结构方式与变电所综合自动化系统通信，通信协议应采用对用户完全开放的国际标准规约，不同供货商的设备可以满足一致性和互操作要求，实现“即插即用”；Modbus-TCP/RTU等规定的通信协议。现场总线通信传输速率不小于19.2 kbps，以太网通信传输速率为10 M，数据传输安全距离不小于200 m，并在此速率下和距离范围内安全可靠运行。

6.5.11 直流快速断路器

直流快速断路器应满足如下要求：

a) 大电流脱扣装置

直流快速断路器应具备大电流脱扣装置，应在不需要调整情况下具备双向分断故障电流。

b) 额定电流

直流快速断路器的额定电流宜在表17范围内选取。

表 17 额定电流

系统标称电压 kV	额定电流 A
0.75	2600、4000、4600、6000、8000
1.5	2600、4000、4600、6000、8000

c) 额定短路分断能力

断路器的额定短路分断能力宜在表18范围内选取。

表 18 关合和分断能力

系统标称电压 kV	额定短路分断能力 kA/ms
0.75	125/100
1.5	80/31.5

d) 机械操作寿命：不少于2万次。

e) 工频耐压和冲击耐压

直流快速断路器工频耐压和冲击耐压应不低于表19要求。

表 19 工频耐压和冲击耐压

系统标称电压 kV	工频耐压 (50Hz/1min) kV	冲击耐压 kV
0.75	6.9	15
1.5	9.2	20

6.5.12 直流隔离开关

直流隔离开关应满足如下要求：

a) 额定电流

直流隔离开关额定电流宜在表20范围内选取。

表 20 额定电流

系统标称电压 kV	额定电流 A
0.75/1.5	2000、4000、6000、8000

b) 额定短时耐受电流

直流隔离开关的额定短时耐受电流应不低于表21要求。

表 21 关合和分断能力

系统标称电压 kV	额定短时耐受电流 kA/ms	额定短时耐受电流峰值 kA
0.75/1.5	125/250	178

c) 机械操作寿命：不少于2万次。

d) 工频耐压和冲击耐压

直流隔离开关工频耐压和冲击耐压应不低于表22要求。

表 22 工频耐压和冲击耐压

系统标称电压 kV	工频耐压 (50Hz/1min) kV	冲击耐压 kV
0.75/1.5	9.2	20

6.5.13 直流测量放大器

根据功能需要设置电压和电流测量放大器。

- a) 电压测量放大器: 750V系统输入范围为 (-0.9...0.9kV); 1500V系统输入范围为 (-1.8...1.8kV)。
- b) 电流测量放大器: 输入范围宜采用 (-60...60mV)、(-90...90mV)、(-150...150mV)。
- c) 过载能力不低于20%，在测量范围内保证线性输出，并有负值区。
- d) 输入与输出隔离电压应不低于10kV，输出信号应能与测量单元输入装置匹配。
- e) 测量精度不低于0.5级。

6.5.14 防凝露加热器

应设有防凝露加热器，并设自动和手动选择开关。在自动档时，由柜内的湿度仪控制防凝露加热器的工作状态；在手动档时，由人工直接控制防凝露加热器的工作状态。

6.5.15 状态显示

前面板上应设置状态指示灯，用LED或触摸屏实现。至少应显示开关的分断、关合状态、工作（正常或故障）状态。

6.5.16 表计及显示

表计及显示功能如下：

- a) 根据需求设置指针或数字电压表，显示牵引供电系统实时电压，表计准确度不低于1.5级。
- b) 根据需求设置指针或数字电流表，显示流过的实时电流，表计准确度不低于1.5级。

测量的电压和电流等应在面板上直接显示。

6.5.17 线缆

内部的线缆应采用低烟、无卤、阻燃型。

6.5.18 进出线方式

进、出线宜采用电缆下进下出。如有特殊情况，由供需双方协商确定。

6.5.19 防护等级

户内外壳防护等级不低于：IP41。

户外壳防护等级不低于：IP54。

6.5.20 试验

设备应符合出厂试验和型式试验要求，试验内容应包含GB/T 25890.6-2010第8.2节要求。

6.6 接地漏电保护装置技术要求

6.6.1 基本功能

接地漏电保护装置由接地电阻、二极管、测量元件等组成。接于变电所负极母线和地之间，在正常运行条件下，漏电流远小于整定值，漏电保护装置相当于将负极电位拉到接近地电位。只有供电线网或车辆电控系统绝缘受到损伤，而且形成的漏电流达到漏电预警值时，微机系统发出报警信号，供操作人员注意；当达到保护整定值时，接地保护装置动作并发出故障报警，在显示器上将显示故障电流、故障

电压、时间等参数，并将上述参数送至电站综合自动化系统，操作人员可根据故障时间、故障区段故障电流及车辆运行图，判断出故障车，从而有效的切除短路故障，保证直流设备的正常工作和乘客安全。

6.6.2 工作方式

当接触网对地短路时，牵引整流机组的正极、馈线保护电路、接触网、地、负极回流、接地导通装置和整流机组的负极之间将形成一条完整的电流通路，利用走行轨和大地作为短路电流通路，依靠馈线保护电路切断故障。

在沿线需布置接地网并在适当位置设置接地漏电保护装置，以便在接触网掉落时形成回流保护通道。

6.6.3 外观与结构

6.6.3.1 壳体由钢板组成，柜体边缘必须光滑。板材连接采用自固螺栓，不采用焊接方式。钢板厚度不小于2.0 mm。

6.6.3.2 壳体外表面应喷涂无炫目反光的覆盖层，表面不应有起泡、裂纹或流痕等缺陷，构件应有良好的抗腐蚀性能。

6.6.3.3 当外壳打开时，接线端子以及需要维护的所有零件易于接近。柜体内部应留有足够的空间，以便外部的导线从外壳的进口处引至接线端子。

6.6.4 主电路连接线

6.6.4.1 主电路连接线（包括内部一次电缆和铜排等）的长期允许电流不应小于1.5倍的额定电流，额定电压不应低于相应电路的额定工作电压。

6.6.4.2 主电路连接线的连接应牢固，不能自由晃动，布线应整齐、美观。

6.6.5 安全保护接地

6.6.5.1 应有保护接地端子。保护接地端子应装在易于接线的地方。

6.6.5.2 接地漏电保护装置的金属壳体、要求接地的电器元件的金属底座、柜门、隔板、支架、安装导轨等可能带电的金属件（包括因绝缘破坏可能会带电的金属件）与保护接地端子间应具有可靠的电气连接，其最远端与保护接地端子间的电阻值应不大于100 mΩ。

6.6.5.3 接地导体的颜色应采用黄绿色，黄绿色除作为保护导体的识别颜色外，不应用于其他用途。

6.6.5.4 保护接地端子应有适当的防腐蚀措施并有清晰、明显的、永久性的标准接地符号。

6.6.6 响应时间

测控单元监测到故障电压时应联跳相应开关：在无延时情况下，装置响应时间不大于100 ms。

6.6.7 绝缘水平

6.6.7.1 绝缘耐压

接地漏电保护装置的主回路绝缘耐压水平不低于表23的规定。

表 23 主回路绝缘耐压范围

系统标称电压 kV	额定电压 kV	额定绝缘电压 kV	额定冲击电压（波形1.2/50 μs）		工频耐受电压（50 Hz, 1 min）	
			主回路对地和极间 kV	开关隔离断口 kV	主回路对地和极间 kV	开关隔离断口 kV
0.75	0.9	1.8	10	12	4.6	5.5
1.5	1.8	3	15	18	6.9	8.3

接地漏电保护装置的辅助回路绝缘耐压水平不低于表24的规定。

表 24 辅助回路绝缘耐压范围

系统标称电压 kV	辅助回路（含测量控制单元回路）与地间（50 Hz, 1 min） kV

系统标称电压 kV	辅助回路（含测量控制单元回路）与地间（50 Hz, 1 min） kV
0.75	2.0
1.5	2.0

6.6.7.2 电气间隙

接地漏电保护装置的主回路对地和极间、开关隔离断口的电气间隙不低于表25的规定。

表 25 电气间隙

系统标称电压 kV	户内		户外	
	主回路对地和极间 mm	开关隔离断口 mm	主回路对地和极间 mm	开关隔离断口 mm
0.75	18	22	23	28
1.5	27	32	33	40

6.6.7.3 爬电距离

内部两导电部分间的爬电距离不低于表26的规定。

表 26 电气间隙

系统标称电压 kV	户内		户外	
	mm	mm	mm	mm
0.75	45		54	
1.5	75		90	

6.6.8 温升

各部位的温升限值应符合表27的规定。

表 27 各部位的温升限值

部位名称	温升限值 K	
外壳、覆板	30	
铜排	裸铜	75
	镀银	100
	镀镍	100
连接端子	裸铜或铝铜合金	75
	镀银	100
	镀镍	100

部位名称	温升限值 K
绝缘材料	不大于所使用的绝缘材料的绝缘等级的温升限值

6.6.9 测量控制单元

6.6.9.1 测量回路

测量控制单元应有电压和电流测量回路，用于测量牵引供电系统负极与地之间的电压、接地电阻两端电压以及流过的电流。测量值采样时间间隔不大于1 ms，测量范围应有负值区并包含正常运行时最大值，测量范围内测量精度不低于0.5级。测量数据可从低压室面板上查看。

测量回路应设置变送器，以上传电压、电流测量值到变电所综合自动化系统或其他系统。

6.6.9.2 测量数据存储

测量控制单元设置带掉电数据保护的存储器，牵引供电系统负极与地之间的电压以及关合后流过的电流测量数据保存于存储器中，存储器容量不小于连续1个月测量数据的所需存储空间。测量数据可从存储器中直接下载，也可远方召唤时上传。

6.6.9.3 事件记录

记录的事件应包括多种状态发生变化的事件，所有事件均可从开关柜面板显示单元查看或通过维护计算机下载事件记录。记录的事件应包括漏电电压预警、漏电电流预警、联跳外部开关、各种操作事件等，能储存最新事件数量应不少于500条事件记录，时标分辨率应不高于5ms，掉电情况下不丢失，不受断电时间限制。

6.6.9.4 操作回路

操作回路用来对的分断、关合动作进行控制，在当地及远方实现操作。当操作回路或测量控制单元的辅助电源消失时，接触器关合，并保持关合状态。

6.6.9.5 测量精度

遥测测量精度：电流、电压不大于 1.5%。

6.6.9.6 通讯接口

接地漏电保护装置的测量值数据通过硬节点和通信方式接入SCADA系统，并在本装置上显示。

支持现场总线或以太网结构方式与变电所综合自动化系统通信，通信协议应采用对用户完全开放的国际标准规约，不同供货商的设备可以满足一致性和互操作要求，实现“即插即用”；Modbus-TCP/RTU等规定的通信协议。现场总线通信传输速率不小于19.2 kbps，以太网通信传输速率为10 M，数据传输安全距离不小于200 m，并在此速率下和距离范围内安全可靠运行。

6.6.10 接地电阻

接地电阻应设有多档阻值，应包含0Ω、3Ω、4Ω、5Ω、6Ω、7Ω、10Ω。

接地电阻冷却方式应为自然冷却。

额定电流应不低于30A；短时耐受应不低于300A，1s。

6.6.11 二极管

二极管应符合下列要求：

- a) 反向重复峰值电压：不低于3000 V。
- b) 额定电流：不小于500 A。

6.6.12 防凝露加热器

内应设有防凝露加热器，并设自动和手动选择开关。在自动档时，由柜内的湿度仪控制防凝露加热器的工作状态；在手动档时，由人工直接控制防凝露加热器的工作状态。

6.6.13 状态显示

前面板上应设置状态指示灯，用LED或触摸屏实现。

6.6.14 表计及显示

表计及显示功能如下：

- a) 根据需求设置指针或数字电压表，显示牵引供电系统实时电压，表计准确度不低于1.5级。
 - b) 根据需求设置指针或数字电流表，显示流过的实时电流，表计准确度不低于1.5级。
- 测量的电压和电流等应在在面板上直接显示。

6.6.15 线缆

内部的线缆应采用低烟、无卤、阻燃型。

6.6.16 进出线方式

设备的进、出线宜采用电缆下进下出。如有特殊情况，由供需双方协商确定。

6.6.17 防护等级

户内外壳防护等级不低于：IP41。

户外壳防护等级不低于：IP54。

6.6.18 试验

设备应符合出厂试验和型式试验要求，试验内容应包含GB/T 25890.6-2010第8.2节要求。

6.7 低压柜技术要求

6.7.1 设计规范

6.7.1.1 柜体设计

柜体设计应符合如下要求：

- a) 柜体采用型钢焊接结构，框架应具有足够的机械强度和刚度，在运输、安装和运行过程中不应产生变形，应满足 GB/T 7251.2-2023 要求。
- b) 柜体的防护等级应满足 GB/T 7251.2-2023 10.3 要求。
- c) 柜体表面需进行防腐处理，应满足 GB/T 7251.2-2023 10.2 要求。
- d) 柜内各部件的安装应满足 GB/T 7251.2-2023 要求。
- e) 柜体应设置必要的通风散热装置，温升应满足 GB/T 7251.2-2023 10.10 要求。

6.7.1.2 元器件选择与安装

6.7.1.2.1 进线柜塑壳断路器

进线塑壳断路器选用应满足 GB/T 7251.2-2023、GB/T 7251.8-2020 要求；

6.7.1.2.2 出线回路元器件

出线回路元器件应符合如下要求：

每路出线应配置满足负荷额定电流的断路器，选型应满足 GB/T 7251.2-2023、GB/T 7251.8-2020 标准要求。

6.7.1.3 电气接线

电气回路接线应符合如下要求：

- a) 主电路接线应采用铜排，铜排的截面积应满足 GB/T 7251.2-2023 10.10 要求。
- b) 二次电路接线应采用绝缘导线，导线的截面积应不小于 1.5mm²，导线的颜色应符合 GB/T 7251.2-2023 要求。
- c) 所有接线端子应选用质量可靠的产品，接线应牢固，应满足 GB/T 7251.2-2023 10.8 要求。
- d) 柜内的电气间隙和爬电距离应符合 GB/T 7251.2-2023 10.4 标准要求，以确保设备的安全运

行。

6.7.2 技术要求

6.7.2.1 进线部分

进线部分应符合如下要求：

- a) 进线塑壳断路器额定电流为 250A~630A，其分断能力应满足 GB/T 7251.2-2023 10 标准要求。
- b) 进线侧应设置进线端子排，应满足 GB/T 7251.2-2023 10.8 标准要求。
- c) 进线柜应能实现对整个开关柜的电源控制，操作性应满足 GB/T 7251.2-2023 标准要求。

6.7.2.2 出线部分

出线部分应符合如下要求：

- a) 3 路出线回路每路额定电流为 100A，其分段能力应满足 GB/T 7251.2-2023 10 标准要求。
- b) 每路出线应设置独立的出线端子排，应满足 GB/T 7251.2-2023 10.8 标准要求。
- c) 出线回路应能方便地进行操作和维护，断路器的分合闸操作应灵活可靠，GB/T 7251.2-2023 10.2.8 标准要求。

6.7.2.3 整体性能

整体性能应符合如下要求：

- a) 开关柜在正常运行时，各元器件的温升应符合 GB/T 7251.1-2023 10.10 中的规定，最高温升不应超过 70K，操作手柄 25K。
- b) 开关柜应能承受额定短路电流的冲击，在短路故障排除后，应能正常运行，应满足 GB/T 7251.2-2023 10.11 标准要求。
- c) 开关柜的绝缘性能应良好，在工频耐压试验中，工频耐压主回路 1890V/60S，操作手柄 2835V/60S，辅助回路 1890V/60S，应无击穿、闪络现象，应满足 GB/T 7251.2-2023 10.9 标准要求。
- d) 开关柜的防护性能应符合 GB/T 7251.2-2023 10.3 标准要求。

6.7.3 通讯功能

开关应带有 RS485 或 RJ45 通讯接口，支持 DL/T 645-2007 或 MODBUS 通讯规约，应满足 GB/T 7251.2-2023、GB/T 7251.8-2020 标准要求。

6.7.4 外观与标识

6.7.4.1 开关柜外观应满足 GB/T 7251.2-2023、GB/T 7251.8-2020 标准要求。

6.7.4.2 柜上标识应满足 GB/T 7251.2-2023、GB/T 7251.8-2020 标准要求。

6.7.4.3 开关柜操作性应满足 GB/T 7251.2-2023 10.2.8 标准要求。

6.7.5 试验要求

6.7.5.1 开关柜出厂前应进行型式试验和出厂试验，型式试验应符合 GB/T 7251.2-2023、GB/T 7251.8-2020 标准的要求，出厂试验应包括外观检查、电气性能试验、机械操作试验等。

6.7.5.2 试验报告应完整、准确，包括试验项目、试验数据、试验结论等内容，并存档备查。

6.8 交直流屏技术要求

6.8.1 基本功能

6.8.1.1 交直流屏由直流屏、蓄电池屏、交流屏组成，内含磷酸铁锂蓄电池、供电模块（充电模块）、切换装置、监控单元、绝缘监察装置等，负责提供变电所交直流自用电、事故照明负荷。

6.8.1.2 直流系统由交流输入单元、供电单元、电压调整单元、绝缘监察单元、直流馈电回路、蓄电池组、故障检测及智能监控单元等组成，蓄电池组放置在蓄电池屏内。

6.8.1.3 交直流屏应满足 GB/T 1926-2014 标准要求。

6.9 综合自动化及通讯技术要求

6.9.1 总体要求

6.9.1.1 变电所综合自动化系统由控制信号屏内站控主单元、液晶显示器（人机界面）、开关柜内的微机综合保护测控单元及所内通信网络构成。

6.9.1.2 变电所综合自动化应实现变电所各种设备的控制、监视、联动、联锁、闭锁功能，自动投切、电流、电压、功率、电度和其它各种信息量的采集功能。

6.9.1.3 综合自动化软件应能通过逻辑判断和计算等实现重要设备之间的联动、联锁、闭锁功能。

6.9.2 功能要求

6.9.2.1 通信功能

通信功能宜包含如下要求：

- a) 实现与 SCADA 系统的远程通信，送变电所操作、事故、预告等信息。
- b) 通过所内通信网络，完成与各间隔单元的接口功能，并进行规约处理，实施对间隔单元的数据采集与控制输出。
- c) 通过光纤接入综合监控系统。

6.9.2.2 集中监控功能

集中监控功能宜包含如下要求：

- a) 配置液晶显示器，以汉字菜单及键盘对话框方式，实现人机对话及所内集中监控管理。
- b) 控制功能。接受 SCADA 或维护计算机的控制命令，对所内被控对象进行集中控制，同一被控设备只允许由一个远方控制端对其实施遥控。
- c) 信息显示功能。主要包括：被控对象的位置信号，各种事件信息、自检信息及动态实时主接线图、所内各微机测控、保护单元、信息采集单元等装置的运行工况等。信号显示内容有：事件时间、事件内容（汉字显示）等，便于维护人员的故障查找。
- d) 用户画面显示功能。能动态显示变电所主接线画面和接入综合自动化系统的微机测控、保护单元、信息采集单元等装置的通信工况。
- e) 测量量集中显示功能。

6.9.2.3 时钟同步功能

通过软件对时与通信时钟系统保持同步，并且通过软件对时，与各间隔单元设备等同步。

6.9.2.4 音响报警功能

当所内发生故障时应按类别启动不同报警音响，音响在一定的时间内自动解除，时间可调。音响具有“投入”、“撤除”功能。

6.9.2.5 安全功能

具有看门狗、自诊断、自恢复功能及系统故障诊断功能。

6.9.3 系统构成

6.9.3.1 控制信号屏内站控主单元

站控单元应满足如下要求：

- a) 电源：输入电压为 DC220V，其容量及输出电压应满足其它各单元的正常运行要求，电源模块应具有过压、过流能力。
- b) 主机：应采用工业控制计算机，配置应满足应用场景需求。
- c) 与控制中心通信接口：2 个光纤以太网接口，通信协议应采用国际通用标准通信协议，通信传输速率应不小于 100Mbps。
- d) 所内通信网络接口：具有用于连接不同设备群的所内通信网络接口（光纤以太网接口或电以太网接口），满足变电所综合自动化系统控制、测量、保护的通信技术要求，通信协议应采

用国际通用标准通讯协议，通信传输速率应不小于 100Mbps，可通过通信规约对 SOE 进行读取。应满足全所自动化要求。

- e) 数字输出接口：输出为继电器接点，输出继电器接点闭合时间在 20ms~5s 可调，若接点闭合时间超过硬件设置时间，控制输出自动中断。接点数量应满足全所自动化要求。
- f) 数字输入接口：工作电源 DC220V，最低不低于 DC48V。每路输入带有 10ms 的滤波器，输入采用光电隔离方式，每块模块具有过压、过流保护功能。接点数量应满足全所自动化要求。
- g) 人机接口：站控主单元应配置用于所内监控、软件维护，设备调试等的人机接口，各种功能实现于“窗口”环境下，不需程序语言知识的用户菜单式操作方式。
- h) 输入、输出接口可扩充，数量满足工程需要。
- i) 液晶显示器：彩色、汉字显示，辅助电源为 DC 220V。显示所内设备运行状态：图形显示方式；所内事故、预告信息：对象名、发生时间。所内事故、预告信息保留不少于 120 条。
- j) 功能键：通过操作键盘可对所内被控设备进行操作，当地/远方选择，操作界面图形显示，定值设定等。

6.9.3.2 通信线缆

通信线缆应满足如下要求：

- a) 牵引降压混合所内间隔层设备至控制信号盘间采用通信电缆/光缆传输。
- b) 通信电缆采用铜带对绞屏蔽、钢带铠装、无卤低烟 A 类阻燃通信电缆。
- c) 通信光缆采用由 4 根单芯光缆（子缆）组成的室内分支型软光缆，低烟无卤阻燃外护套，外护套颜色使用黑色，并考虑防鼠措施。光纤采用紧套设计，并有独立的加强元件和护套。采用二次被覆复合结构，每根子缆内含芳纶增强纤维，总缆又经第二层芳纶纤维再次增强。

6.9.3.3 通信控制器

通信控制器应满足如下要求：

- a) 通信控制器实现各类间隔设备与监控工作站、综合监控系统之间的通信传输，接收电力调度中心/变电所控制室指令、向间隔设备层设备发布指令、收集并处理从基础设备采集到的各类信息。
- b) 通信控制器应采用 Linux、Vx works 等通用性强的实时多任务嵌入式操作系统。控制运算软件必须满足 IEC1131-3 的规定。
- c) 通信控制器的性能应该满足现场环境的要求，此产品必须为工业级产品并通过国家相关权威机构的工业环境测试试验，满足电磁兼容要求。
- d) 主处理器模块：采用 32 位以上字长 CPU，主频不低于 1G。具有强大的数据处理及存储能力、快速的实时响应性。采用具有掉电数据保护的存储器，容量不低于 4G。内存容量不低于 2G。
- e) 电源模块：采用 DC220V 电源，输出容量及输出电压应满足各模块正常运行要求，电源模块的过压、过流、过负载能力应满足相关标准要求。
- f) 远程通信模块：通信控制器配置两个独立的用于远程通信不低于 100M 自适应以太网光口（单模/多模根据配合情况确定）用于与综合监控系统接口。正常时，主通信接口处于工作状态，备通信接口处于监听状态。当主通信接口或主通道故障时，自动启动备用通信接口，使用备用通道。支持远方通信协议包括：IEC60870-5-104 等，并可通过软件开发支持新的协议，通信协议应完全对用户开放。
- g) 所内通信接口模块：通信接口标准及规约应能满足各种不同间隔单元接入的要求，接口模块支持实际配置的接口标准。提供 RS232、RS422、RS485、以太网口以及其它类型接口，用于接入设备的总接口数量需满足工程需要。串口应具有光电隔离功能。接口功能满足各智能设备通信接入的要求。支持所内综合自动化网络通信协议包括：Modbus、IEC60870-5-103、IEC61850 等。

6.9.3.4 交换机

交换机应满足如下要求：

- a) 控制信号屏内配备变电所综合自动化系统网络交换机。
- b) 支持冗余自愈以太网（全负荷状态下恢复时间 < 20 毫秒）
- c) 支持带宽管理功能可以防止不可预料的网络状态
- d) 支持端口镜像功能提供在线调试
- e) 支持自动联网设备的 IP 地址恢复
- f) 双直流冗余 DC 电源输入
- g) 支持 802.1x 协议，对接入的用户进行身份认证，防止非法用户的接入。支持 MAC 地址与 IP 地址的绑定，如果用户更改 MAC 地址，会自动报警，防止非法用户连接。通过网络管理软件，交换机端口有网线断线自动报警功能。
- h) 提供 SNMP V1/V2c/V3，可进行不同网络层级间的安全管理
- i) 交换机采用工业级。
- j) 支持 Modbus-TCP、IEC60870-5-103、IEC61850 等国际标准通讯协议
- k) 通讯接口应满足所内、所间通讯数量及通讯速率要求

6.9.3.5 浪涌保护器

应设置具有防雷及防浪涌过电压的浪涌保护器。

6.9.4 结构要求

6.9.4.1 盘装置结构模式由插件组成插件箱或屏柜。装置中的插件牢固、可靠、可更换。控制信号盘包括所有安装在盘上的插件、插箱及单个组件满足防震要求。插件、插箱有明显的接地标志。所有元件排列整齐，层次分明，便于运行、调试、维修和拆装，并留有足够的空间。

6.9.4.2 盘体下方设有接地铜排和端子，接地铜排的规格不小于 $25 \times 4\text{mm}^2$ ，接地端子采用螺栓型。

6.9.4.3 盘体防护等级 IP4X 级，选用高强度钢组合结构，面板厚度 2.5mm，盘体采用全封闭结构，表面采用喷塑处理。

6.9.4.4 内部配线采用低烟无卤阻燃的电（线）缆。

6.9.4.5 盘体尺寸为 800mm × 600mm × 2260mm（宽 × 深 × 高），宽度可根据工程具体情况做相应变化。结构为前、后开门、垂直自立式的柜式结构，正面采用玻璃保护屏，左、右侧采用可拆卸的挡板结构。柜内设有横向及竖向导线槽，所有设备安装的位置都方便外部电缆从盘柜的底部进入。

6.9.4.6 盘上应装有两插头和三插头的交流 220V，容量分别不小于 10A 的电源插座，供调试设备用电。

6.9.5 变电所综合自动化的控制信号

6.9.5.1 控制

变电所设“当地”和“远方”两种控制方式，由全所综合自动化系统对变电所内所有设备进行控制监视。变电所的设备可采用三级控制方式，即：

- a) 开关柜的柜面。
- b) 变电所的控制信号屏。
- c) 电力 SCADA 系统的电调中心。

6.9.5.2 信号

开关柜内的智能化控制保护单元采集与本设备有关的信息，故障信号在当地显示并通过所内网络传送到站控主单元，在控制信号屏显示，并通过控制信号屏上送到SCADA系统。信号系统设预告/事故信号，音响及灯光显示，声光在无人时可以撤除。

6.9.6 软件要求

6.9.6.1 应用软件需安装于 UNIX 等长期稳定运行的操作系统下并具有开放性，用户在遵循操作规则的前提下应能根据运营的要求，修改、增扩系统监控对象和应用画面。

6.9.6.2 供货商应提供专用的监视、调试软件和相应仪器仪表。

6.9.6.3 用户画面窗口必须具有平滑缩放功能，缩放时画面上的各设备动态符号相对位置保持不变，且应是全图。

6.9.6.4 用户画面定义时应具有拷贝功能，且应询问是“相同”还是“不同”对象拷贝。

6.9.6.5 应用软件应具有带数据库定义的图形编辑工具。各种图形符号在定义时应具有平滑缩放功能。

6.9.6.6 各种图形符号在定义后，应自动检测电气连接的正确性，并给出提示信息。

6.9.6.7 各种记录（操作、警报）应可根据用户要求，按站名、对象、性质、时间等项目进行检索。

6.9.6.8 程控的定义和执行应包含逻辑判断功能，只有当定义的条件满足时，才能执行后续操作。

6.9.6.9 系统单线图的动态显示应是智能化的，除原始信息从本所开关获取外，其他所有动态显示的逻辑判断功能，均应是自动实现的。

6.9.6.10 系统所有对象定义后，系统应能自动检测应定义而未定义的对象所在。

6.9.6.11 应用软件必须具有在线修改、增扩功能。

6.9.7 系统绝缘、抗干扰性能要求

6.9.7.1 绝缘性能

小于60V的回路，500Vrms/1min；大于60V的回路，1500V rms/1min。

6.9.7.2 抗干扰性能

装置应有防尘、防锈蚀、防潮、防霉、防震及防电磁干扰和防静电的能力。

6.9.8 试验和检验

6.9.8.1 型式试验

型式试验包括以下内容：

- a) 绝缘试验；
- b) 高频干扰试验；
- c) 振动试验；
- d) 通电试验；
- e) 可靠性试验；
- f) 高、低温试验；
- g) 电源影响试验。

6.9.8.2 出厂试验

出厂试验包括以下试验内容：

- a) 绝缘试验；
- b) 功能检验；
- c) 性能测试；
- d) 连续通电试验；
- e) 电源影响试验。

注1：与有关微机综合保护测控单元联合工厂测试，以便校验综合自动化系统对大信息量（多个保护同时动作）的响应速度和处理能力。

注2：站间主单元之间通信，防止误发信。

6.9.8.3 现场试验

现场试验包括以下试验内容：

- a) 单体试验；
- b) 系统调试；
- c) 系统连动试验（带动供电设备）；
- d) 与电力监控系统联调；
- e) 恢复供电后装置自动启动试验；

- f) 系统各种功能试验;
- g) 连续通电试验: 144h。

7 箱体技术要求

7.1 外观与结构

- 7.1.1 箱体骨架为焊接式, 箱体采用焊接一体式结构。骨架应有足够的机械强度和刚度, 箱体外部应设置吊装点, 在起吊、运输和安装时不会变形或损伤。
- 7.1.2 箱体应采用双层、密封、防腐蚀、隔温结构, 双层箱体应采用 2mm 厚度以上的冷轧钢板制作, 双层之间应采用聚氨酯发泡工艺防火隔温。
- 7.1.3 箱体底架部件应由槽钢焊接而成, 框架及门应采用优质冷轧钢板, 框架钢板厚度应不小于 2.5mm, 门和顶盖钢板厚度应不小于 2mm。门板应采用两层钢板对扣焊接的结构型式, 保证门板不变形, 箱式牵引变电站底板的厚度应不低于 1.5mm 的冷轧钢板。箱式牵引变电站的门轴应采用不锈钢材料制作, 箱式牵引变电站的所有锁盒应采用户外铝合金锁盒。
- 7.1.4 箱体金属构件应进行防腐处理, 冷轧钢板应采用喷砂、热喷锌、喷锌加防腐、喷户外聚氨酯面漆防腐等处理工艺, 不锈钢板应采用喷砂、喷户外聚氨酯面漆等防腐处理工艺。金属材料经防腐处理后表面覆盖层应有牢固的附着力, 并均匀一致。
- 7.1.5 箱体顶部应为保温夹板式结构, 斜坡设计, 倾度大于 5 度, 确保箱体顶部不能积水、积物并具有应有的强度, 顶部厚度应不小于箱板厚度, 具备顶部检修、清扫条件。箱体顶盖装设防水檐, 防淋水。
- 7.1.6 箱体内应设架空绝缘地板, 并能承受牵引设备的负荷, 箱体内直流设备应采取绝缘安装。
- 7.1.7 面板和门是外壳的一部分。当它们关上时, 应提供对外壳规定的防护等级。当通风口放在面板或门上时, 通风口的设置或遮护具有与外壳相同的防护等级。门的设置要考虑紧急逃生功能, 当单间隔长度大于 7 米时应设两个向外开启的门。
- 7.1.8 箱体应考虑箱体内各设备间的电缆连接, 箱体结构应保证电缆敷设通道空间需要, 电缆的弯曲半径应不大于 15d (d 为电缆直径)。箱体底部应设有电缆层, 同一箱体内的电缆应敷设在底部电缆层内, 不允许从外部或顶部穿行。二次电缆在走廊下面的电缆夹层中布置, 通过操作走廊夹层上的盖板可以掀起, 方便进行电缆的敷设与检修。一次电缆在箱体下部的电缆夹层内布置, 一次电缆和二次电缆平行布置时, 应有镀锌钢板隔开, 以最大限度的减少相互之间的干扰。
- 7.1.9 箱体的高压室、低压室和变压器室应密封处理, 门要加装密封条, 密封条应采用寿命 10 年以上、高弹性橡胶产品。
- 7.1.10 箱体外壳结构中应使用不可燃材料, 防止箱式牵引变电站内部、外部着火。
- 7.1.11 箱体内部应设有检修接地铜排, 铜排截面积应不低于 150mm², 用于检修接地维护设备安全接地。箱体底部应设有接地铜排, 铜排截面积应不低于 150mm², 用于箱体内、外部工作接地。
- 7.1.12 连接到接地导体上的元件应包括: 箱体外壳(金属部分)、开关设备框架或外壳(金属部分)、电缆的接地导体及金属屏蔽、变压器的金属框架、控制保护装置的接地导体等。接地导体上装设足够数量的接地端子, 接地端子为铜质。
- 7.1.13 接地连线: 框架、面板或其他结构件与接地系统间设置接地多股软线, 螺栓连接, 保证接地系统的电气连续性。
- 7.1.14 接地连接点应无任何绝缘涂层覆盖。
- 7.1.15 箱式牵引变电站内应设置独立的通风通道。变压器室与开关柜室通风通道应进行独立设置。风扇功率应满足隔室内设备最高发热量。
- 7.1.16 箱体基础及电缆井应考虑防水措施。箱式牵引变电站基础内部要做渗水处理, 防止地下水渗入箱式牵引变电站基础内部; 在箱式牵引变电站底部需设置排水管。对于箱式牵引变电站基础上的电缆预埋管应进行封堵, 防止雨水倒灌进入箱式牵引变电站基础。
- 7.1.17 箱体底部应设置人井孔, 方便后期进入基础进行维护工作。

7.2 箱内平面布置要求

- 7.2.1 配电变压器或牵引变压器应设置单独隔室。
- 7.2.2 箱内应设置照明设施(包括正常照明和应急照明)。
- 7.2.3 箱内应设置通风和空调设施、防凝露装置以及箱式变电站综合测控及环境调节系统。
- 7.2.4 箱内应设置消防设施、防灾报警装置、入侵报警装置、视频监控系统等。具体配置与客户商定。

7.2.5 箱内应设置防鼠板，高度不低于500mm，厚度不低于50mm。

7.2.6 箱内应预留足够的操作空间，距离不小于800mm，有可移出装置时要增加该装置长度空间。

7.3 绝缘水平

箱式牵引变电站内设备安装完成后各设备应满足各电压等级的绝缘耐压水平设备要求。请见各章节对绝缘水平参数要求。

7.4 温升

箱式牵引变电站温升应对变压器室内部进行测量，温升数值应满足变压器对温升限制要求。请见变压器对温升限制的要求。

7.5 线缆

箱式牵引变电站内部的线缆应采用低烟、无卤、阻燃型。

7.6 进出线方式

箱式牵引变电站进、出线宜采用电缆下进下出。如有特殊情况，由供需双方协商确定。

7.7 防护等级

变压器隔室防护等级不低于：IP43；其它防护等级不低于：IP54。

8 试验

8.1 工厂试验

8.1.1 装配、电气接线等正确性检查应符合下列要求：

- a) 外形尺寸：外形尺寸、安装尺寸及公差，符合图纸与工艺文件规定；
- b) 箱体表面处理：箱体表面喷涂颜色要符合合同要求，而且表面颜色应一致，无明显色差，涂层无剥落、露底、挂漆及损伤等现象；
- c) 箱式牵引变电站内部件、元件安装：箱式牵引变电站内安装部件（含预制件）与图纸核对无误，无多装或漏装现象，部件外表无损伤现象；
- d) 一次电缆检查：电缆选型、电缆头制作符合要求，端子排开孔尺寸、间距等符合图纸要求，与电缆端子接口关系正确，敲落孔位置适当，与电缆安装数量和位置对应；
- e) 符号牌、铭牌、标识码及设备编码：符号牌、铭牌安装要求横平竖直固定牢靠，标识符合合同和图纸要求，无遗漏现象；
- f) 箱式牵引变电站内元器件接线正确性检查：按照一次、二次图纸检查元器件接线是否正确，铜排的载流量是否符合图纸要求；
- g) 箱式牵引变电站内元器件连接紧固性检查：按照元器件安装螺栓或螺钉紧固力矩要求，检查元器件是否固定稳固，连接牢靠；
- h) 接地连续性检查：箱式牵引变电站内各设备接地排、箱体门至箱式牵引变电站主接地点在50A(DC)电流条件下电阻不大于0.1Ω。

8.1.2 验证箱式牵引变电站内各安装设备的绝缘水平试验应符合下列要求：

- a) 电气间隙应满足各设备相应标准要求；
- b) 爬电距离应满足各设备相应标准要求；
- c) 工频耐压应满足各设备相应标准要求；
- d) 绝缘安装的直流设备应满足对地额定电压 2MΩ / 1kV 要求；

8.1.3 防护等级应满足箱体防护等级要求。

8.1.4 验证箱式牵引变电站机械、电气操作试验：

- a) 门、门锁开关：转动灵活、无变形，上下左右门缝整齐，缝隙符合工艺文件规定；
- b) 机械、电气操作：抽出式开关柜在分断、试验、接通各位置准确，小车抽插5次，动作灵活，无卡住或操作力过大的现象；通过对二次回路进行通电动作试验，检查二次线是否符合二次原理要求，每个元件的动作是否符合图纸要求，接线牢固，号码按照二次接线图检查是否齐全；

c) 操作机构、联锁可靠性（开关）：操作机构、连锁用手动进行5次以上操作，未发现卡滞现象。

8.1.5 检验能满意操作的功能试验应符合下列要求：

- a) 箱式牵引变电站内插座电源：各插座均有AC220V电源；
- b) 箱式牵引变电站内应急电源：插座断电后，应急电源能正常启动；
- c) 箱式牵引变电站内照明灯：箱体内外部照明灯均能通过箱内控制开关进行控制；
- d) 箱式牵引变电站内风机：箱内风机能通过整流器柜内设置的温湿度控制器的自动选择是否进行排风；
- e) 箱式牵引变电站内开关和控制设备的操作：各开关和控制设备均能根据联锁关系实现正常分合闸；
- f) 箱式牵引变电站内接地装置的连接：确认接地装置是否可靠安装；
- g) 箱式牵引变电站内熔断器的更换：确认中压柜（PT柜）内熔断器是否可更换；
- h) 箱式牵引变电站内通风网的清洁：确认通风网是否清洁；
- i) 箱式牵引变电站内联锁试验：直流开关柜联跳上级交流开关柜、变压器联跳上级交流开关柜、整流器联跳上级交流开关柜、上级交流开关柜联跳直流开关柜等联跳功能均能正常实现。

8.2 型式试验

8.2.1 验证箱式牵引变电站内各安装设备的绝缘水平试验应符合 GB/T 17467-2020 中 7.2 的要求。

8.2.2 检验箱式牵引变电站内整流机组的温升试验应符合 GB/T 17467-2020 中 7.5 的要求。

8.2.3 检验箱式牵引变电站内接地回路承受额定峰值和额定短时耐受电流能力的试验应符合 GB/T 17467-2020 中 7.6 的要求。

8.2.4 验证防护等级的试验应符合 GB/T 17467-2020 中 7.7 的要求。

8.2.5 EMC 试验应符合 GB/T17467-2020 中 7.9 的要求。

8.2.6 验证箱式牵引变电站外壳耐受机械应力的试验应符合 GB/T 17467-2020 中 7.101 的要求。

8.2.7 内部燃弧试验应符合 GB/T 17467-2020 中 7.102 的要求。

8.2.8 检验能满意操作的功能试验应符合 GB/T 17467-2020 中 7.104 的要求。

8.3 现场试验

8.3.1 验证箱式牵引变电站内各安装设备的绝缘水平试验。

8.3.2 验证箱式牵引变电站内外联锁试验。

8.3.3 验证箱式牵引变电站内开关和控制设备的操作试验。

8.3.4 验证通讯信号点表试验。

9 标志

9.1 铭牌

电气化公路箱式牵引变电站上应设置有铭牌，铭牌尺寸及技术要求应符合GB/T 13306的规定，在铭牌上应至少标明以下信息：

- a) 制造商名称或商标；
- b) 型号；
- c) 额定功率；
- d) 额定电流；
- e) 额定电压；
- f) 防护等级；
- g) 重量；
- h) 制造标准；
- i) 制造日期；
- j) 出厂编号。

9.2 标识

主要元件应在元件的显著位置设置持久明晰的标识。二次回路端头应有清晰的标号。

所有操作电键、按钮等都应有明确的、永久性的标志，所有仪表应有文字标明其用途。所有信号灯、信号装置除必要的颜色区别外，还应有文字说明含义。

10 包装、运输与贮存

10.1 包装

应具备适应内陆运输和多次搬运，并有防水、防潮、减振、防冲击和防野蛮装卸的措施，保证在运输、装卸过程中完好无损。

应在箱式牵引变电站的两个侧面以国际通用的标记和图案标明重心及吊点。

10.2 运输

包装好的在运输过程中的贮存温度为 $-25^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于95%。应能在此环境中短时贮存。

运输过程可能会受到冲击振动，需要有合理的预防措施以确保避免损坏。在运输中应满足GB/T 4798.2-2021规定的2M1等级要求。

10.3 贮存

应贮存在 $-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于85%、周围空气中不会有腐蚀性、火灾及爆炸性物质的室内。

长期贮存时应开启箱式牵引变电站内空调设施，维持内部良好工作环境。
