

# 新能源应急电源装置开发的 可行性报告

编制： 无锡军工智能电气股份有限公司

日期： 2024年5月

# 目 录

一、概述.....	1
二、新能源应急电源装置的开发背景 .....	1
2.1 国家政策支持 .....	1
2.2 行业应用层面 .....	3
三、新能源应急电源装置研发的必要性 .....	3
3.1 新能源应急电源装置在矿山应急救援中的重要作用 .....	3
3.2 新能源应急电源装置在矿山应急抢修中的重要作用 .....	4
3.3 新能源应急电源装置在矿井辅助作业中的重要作用 .....	5
四、新能源应急电源装置装置的性能需求分析 .....	5
4.1 对新能源应急电源装置的电压等级和功率分析 .....	5
4.2 对新能源应急电源装置的快速响应需求分析 .....	7
4.3 对新能源应急电源装置的连续作业需求分析 .....	7
4.4 对新能源应急电源装置的通过性和灵活性需求分析 .....	8
4.5 对新能源应急电源装置的安全性需求分析 .....	8
五、新能源应急电源装置的开发方案 .....	9
5.1 方案设计.....	9
5.2 技术参数.....	11
5.3 适用范围.....	14
5.4 功能描述.....	14
六、新能源应急电源装置的安全保障措施 .....	16
6.1 电源安全.....	16
6.2 逆变安全.....	18
6.3 配电安全.....	34
6.4 安全使用保障条件.....	35
七、新能源应急电源装置效益分析 .....	36
7.1 新能源应急电源装置对行业的贡献 .....	36
7.2 新能源应急电源装置产生的社会效益 .....	37

## 一、概述

煤炭是我国能源结构的主体，在能源的结构占比达到 60%左右，其战略地位十分重要！我国是产煤大国也是煤炭消费大国，近二十年来我国的煤炭产销量均占到全球总量的 50%以上。进入本世纪以来我国在煤炭生产总量、装备制造、管理手段、智能化水平、生态保护等方面都走到了世界前列，是全世界名副其实的煤炭王国！

新的时代,我国煤炭工业正在向更高的发展方向迈进。集约化开采提升矿井单产能力,装备升级全面提高工作面生产能力,体系化管理实现安全生产杜绝事故发生,节能低排保障生态友好,智能化开采实现少人无人。归纳一句话就是煤矿必须向安全、智能、高效、生态方向转型发展！

新能源应急电源装置的研究正是为了响应煤炭产业发展大势而开发的一种新型技术装备，其目的在于提高矿山应急救援的响应速度，为事故救援提供多方位的基本保障；在于为矿山日常应急作业、应急抢险、应急抢修、系统切换、设备搬迁、通信补盲等方面提供多维度动力支持和快速反应，达到更安全、高效、便捷的目的。

新能源应急电源装置是一个多功能于一体的设备，其便捷性、安全性、清洁性等特点一定会给矿山生产管理带来更多的效益！

## 二、新能源应急电源装置的开发背景

### 2.1 国家政策支持

GB/T29328-2018《重要电力用户供电电源及自备应急电源配置技术规范》规定了煤矿和非煤矿山作为重要电力用户，可以根据使用除主供

电源和备用电源以外的自备应急电源，同时对自备应急电源的类型进行了定义，包括自备电厂、发电机组、静态储能装置、动态储能装置、**移动发电装置和其他新型电源装置**。

2018年，《中华人民共和国宪法修正案》中，首次将生态文明写入宪法，**绿色矿山建设已经上升为国家战略**，在工业文明转向生态文明时代背景下，绿色矿山建设是大方向、大原则、大逻辑！

2019年，国家煤矿安监局制定公布了《煤矿机器人重点研发目录》，重点研发应用掘进、采煤、运输、安控和救援5类、38种煤矿机器人，**力争把煤矿工人从恶劣环境与危险繁重的劳动中解放出来**，对煤矿机器人研发应用具有重要的指导作用。

2020年2月国家八部委发布《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》为煤炭行业高质量发展明确了目标并提出了主要任务和保障措施，对于**提升煤矿安全生产水平、保障煤炭稳定供应具有重要意义**。

2021年，《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》聚焦煤炭行业环境污染大、生产风险高设备管理难等痛点，**以安全生产为切入点，推动产业向智能化、无人化、绿色化等方向加速数字化转型**。

2024年，七部门联合发布了《关于深入推进矿山智能化建设 促进矿山安全发展的指导意见》。指出**到2026年，建立完整的矿山智能化标准体系**，全国煤矿智能化产能占比不低于60%，智能化工作面数量占比不低于30%，智能化工作面常态化运行率不低于80%，煤矿、非煤矿山危险繁重岗位作业智能装备或机器人替代率分别不低于30%、20%，全国矿山井下人员减少10%以上，打造一批单班作业人员不超50人的智

能化矿山。到 2030 年，建立完备的矿山智能化技术、装备、管理体系。

各地方政府根据国家文件和当地实际情况陆续发布了相关政策文件，旨在支持矿山设备创新，进一步推动矿山向智能化、无人化、绿色化的方向安全发展、可持续发展。

## **2.2 行业应用层面**

大型矿山企业，如国家能源集团、山东能源集团、中煤集团等也对移动新能源应急电源装备的配置，日益高度重视，这充分体现行业对提升应急保障能力的关切。除应急救援外，应急抢修和应急保障也是行业内迫在眉睫要解决的问题，安全无小事，安全就是生命。

为了支撑先进装备的使用和提高应急救援、抢修、作业效率，必须有可靠和高效的应急电源装置，这样的装置不仅能确保事故发生时的及时响应，还能为长时间的救援活动提供稳定的电力保障。应急电源装置作为安全生产和应急救援的重要组成部分，是确保能源行业稳定运行和人员安全的关键。未来，随着技术的不断进步和行业需求的增长，应急电源装置的研发和应用将更加重要，行业应用层一直致力开发更合理、更清洁、更安全、更稳定的移动应急电源装置，各项管理制度也将随之完善。

## **三、新能源应急电源装置研发的必要性**

### **3.1 新能源应急电源装置在矿山应急救援中的重要作用**

在矿井发生灾害时往往伴随的是矿井断电、通信中断、巷道受损、

巷道积水、交通受阻等现象。由于井下状态不明或者系统遭到破坏矿井可能在相当长的时间内没有电力，造成抢险救灾工作不能快速开展，严重影响应急救援进度。

新能源应急电源装置是一台四轮驱动的胶轮车平台，是专门为抢险救灾而设计的具有响应快速、适应性强的独立工作装置。具备 1140V、660V、127V 三种交流电压输出，可以为抢险救灾提供充足的电量;可以为救灾现场提供 16MPa 的液压动力输出，为救灾液压破拆工具提供动力;可以为作业现场提供全方位的灯光照明，保证作业现场敞亮工作;可以搭建应急中继通信平台，为应急救援提供可视化实时指挥;车载平台同时携带 11-37kW 的水泵和 1 吨的自备吊臂，更方便进行相关救灾作业。

新能源应急电源装置可以为抢险救灾提供多方位的保障支持，是救援作业快速反应的重要装备。

### **3.2 新能源应急电源装置在矿山应急抢修中的重要作用**

煤矿由于地质条件比较复杂、作业空间狭小、保障系统较多且战线长，矿井系统出现故障是常见不鲜的事件。如：管道漏水、巷道意外积水、小水泵故障、风门损坏、局部顶板离层、棚架变形、局部故障停等等。这些抢修工作的最大障碍是不一定有方便的电源，往往因电源准备时间长给抢修工作带来困难，有时候还会延误最佳时机而出现灾害！

新能源应急电源装置是集各种工作电源于一体，自带配电开关，常备一台排水泵，配备自吊臂等相关检修工具，是专门为矿山应急抢修定制开发的快速反应抢修装备，是矿井系统保障的快速“消防员”。

### 3.3 新能源应急电源装置在矿井辅助作业中的重要作用

在矿井日常生产过程中，临时施工、辅助作业、设备迁移等工作也是非常频繁的。如：补打锚杆锚索、打电缆水管吊挂孔、开挖排水水窝、局部挑顶作业、掘进设备搬家迁移等。这些临时性作业且作业战线较长的工作需要铺设大量的移动电缆和配电开关，其工作量之大同时存在电缆移动的安全隐患。尤其是搬家倒面，程序繁琐、中间环节多、行走时间长，盘放电缆人员劳动强度大，且作业人员的安全也得不到良好保障。掘进设备一次接入电缆所能行走的最大距离也约为 1000 多米，掘进机边行走，人工边放电缆，当掘进机行走完放置电缆的距离时，需要拉移电缆接入到新的供电接入点，再次将电缆盘放在掘进机上方，然后再次行走所放置电缆距离，以此往复循环，直至到达目的地。

新能源应急电源装置可以很好地解决矿井上述作业的困难，降低作业风险，降低员工劳动强度，提高工作效率，是矿井辅助作业的好帮手！

## 四、新能源应急电源装置装置的性能需求分析

### 4.1 对新能源应急电源装置的电压等级和功率分析

表 1 应急供电目标负荷的电压等级和电机功率统计表

设备	电压等级	油泵电机	行走电机
12CM27JOY 连采机	1140V	40kW	3×35kW
三一 ML340 连采机	1140V	110kW	/
12CM15-10JOY 连采机	1140V	52kW	2×60kW
太科院 EML340 连采机	1140V	45kW	2×50kW
山西天地掘锚机	1140V	132kW	50kW

山特维克 MB670 掘锚机	1140V	132kW	液压马达
太科院掘锚机	1140V	132kW	50
山西天地 160 掘进机	1140V	90kW	/
佳木斯 230 掘进机	1140V	90kW	/
佳木斯 260 掘进机	1140V	110kW	/
太科院 EBH315Q 掘进机	1140V	200kW	液压马达
三一 EBH200 掘进机	1140V	110kW	液压马达
三一 260 掘进机	1140V	132kW	/
CMM25-4 锚杆机	1140V/660V	2×45kW	/
DM300 锚杆机	1140V/660V	2×45kW	/
进口四臂锚杆机	1140V	2×45kW	/
太科院 JLY1000/340 型破碎机	1140V	2×40kW	液压马达
給料破碎机	1140V/660V	75kW	/
菲利普斯梭车	1140V	14kW	2×46kW
太科院 SC10/182F 型梭车	1140V	25kW	2×65kW
梭车	1140V	22kW	2×90kW
排水泵	660V	泵 37kW	
局部通风机	660V	通风 2×37kW	
煤电钻	127V	钻 1.2kW	

根据对应急供电（非生产类供电）目标负荷的分析，矿井下存在着多种用电设备，如照明、通风、排水、掘进工作面设备等，这就要求应急电源能够提供多种电压和电流输出，以满足不同设备的用电需求。综合统计表可知，井下常用电压等级是 1140V、660V 和 127V 三种，临时排水水泵最大功率、局部通风机功率、煤电钻功率、掘进工作面的油泵电机和行走电机等多数负荷需求在 110kW 以下，少数油泵电机功率需求在



110kW 以上，因此，应急电源的主导功率规格应为 110kW 以下，既能满足应急救援和应急作业的全部需求，又能满足搬家倒面的大部分需求，同时避免了应急电源的乱用（掘进类设备的生产用电机功率基本都在 170kW 以上）。

单台应急电源装置的功率上限，受矿用隔爆型锂离子电池的使用标准、车辆载重能力及尺寸通过性的限制。

#### **4.2 对新能源应急电源装置的快速响应需求分析**

矿井事故往往需要立即进行救援，这就要求应急电源具备快速响应能力，能够在短时间内提供足够的电力支持。根据应急救援和应急抢修场景的分析可知，新能源应急电源装置应具备快速响应性能，一是车辆快速到达现场及到达现场后快速展开性能，主要涉及车辆的快速安全达到、电缆的快速收放和电缆连接器的快速插拔等；二是快速启动供电性能，应急电源系统可在接通后，通过人工监控操作，可基本实现几秒内快速供电。

#### **4.3 对新能源应急电源装置的连续作业需求分析**

由于矿井事故的不确定性和救援工作的复杂性，应急电源需要有足够的长续航能力，以满足长时间的救援需求。另外应急作业中搬家倒面的设备行驶电机功率较大，运行时间较长，这就需要电池容量越大越好，可一次性将工作面设备全部行驶到指定地点。

但鉴于行业对锂电池的相关规定，电池最大 230Ah，一组电源最多由 100 个 3.2V230Ah 的单体电池串联，容量最大不能超过 74kWh，电源

可串联或并联使用，这就限制了整体电源容量 220kWh 或 440kWh 最适合，既满足了电压等级 1000V 以下，又满足了逆变成 AC1140V 的要求，起到应急供电的作用，为救灾和抢修争取更多的时间。对于容量需求大的场景，可两台或多台同时使用。

#### 4.4 对新能源应急电源装置的通过性和灵活性需求分析

根据井下环境复杂，巷道狭小，路况差等情况的分析，客观上对应急电源车的外形尺寸的通过性和行驶方式的灵活性提出了高要求。综合各矿井的巷道尺寸和路况，从巷道通过性、车辆行驶稳定性、转向灵活性和车辆安装可行性几个方面综合考虑，新能源应急电源装置的移动底盘应该采用四轮驱动、四轮转向和多种转向方式，以实现更小的转弯半径，便于车辆在狭小的巷道内行驶和会车；同时整机的防震性能和离地高度，要保证车辆在复杂的路况下快速通过。

#### 4.5 对新能源应急电源装置的安全性需求分析

常规的应急电源车以柴油发电机为主，柴油发电机应急电源不仅消耗柴油，而且柴油机启动时会产生大量烟雾和高噪音，工作时对环境的影响严重，一氧化碳超标直接影响矿工的健康安全。而采用锂电池的新能源应急电源装置可以从根本解决上述问题，且具备较高的供电可靠性（供电稳定、安全闭锁）和安全性能（防火、防爆、防尘等）；同时，新能源车对系统需求的响应足够迅速，具有良好的灵活性和稳定性，可以快速响应紧急负载的特殊需求，确保在紧急情况下安全地为井下设备提供不间断的电力支持。

## 五、新能源应急电源装置的开发方案

### 5.1 方案设计

结合相关国家政策及行业对新能源应急电源装置的性能需求分析，我公司特研发出以下新能源应急电源装置。

表 2 整机电驱计算表

序号	项目	单位	分宜车桥+普兹变速箱 4.44/1.9	
1	车重	t	14.5	14.5
2	轮胎半径	m	0.4	0.4
3	爬坡度	°	14	1
4	车速	km/h	5	20
5	车速换算	m/s	1.39	5.56
6	转速转（轮）	r/min	33.17	132.70
7	滚动摩擦系数	/	0.05	0.05
8	桥速比	/	15.428	15.428
9	变速箱速比	/	4.44	1.9
10	总驱动力	N	41254.19	9582.65
11	轮扭矩	Nm	16501.67	3833.06
12	桥扭矩	Nm	1069.59	248.45
13	变速箱扭矩	Nm	240.90	130.76
14	桥转速	r/min	511.81	2047.24
15	变速箱转速	r/min	2272.44	3889.76

16	功率理论消耗	kW	57.32	53.26
17	齿轮效率	/	0.96	0.96
18	电机效率	/	0.95	0.95
19	功率总消耗	kW	62.85	58.40

根据计算我们选型了 TBYC-62-8 (367) 型 62kW 电机, 既满足平路 20km/h 的速度, 又满足以 5km/h 的速度爬 14°坡, 还能提高整机的续航里程, 满足矿井下连续性作业的需求。

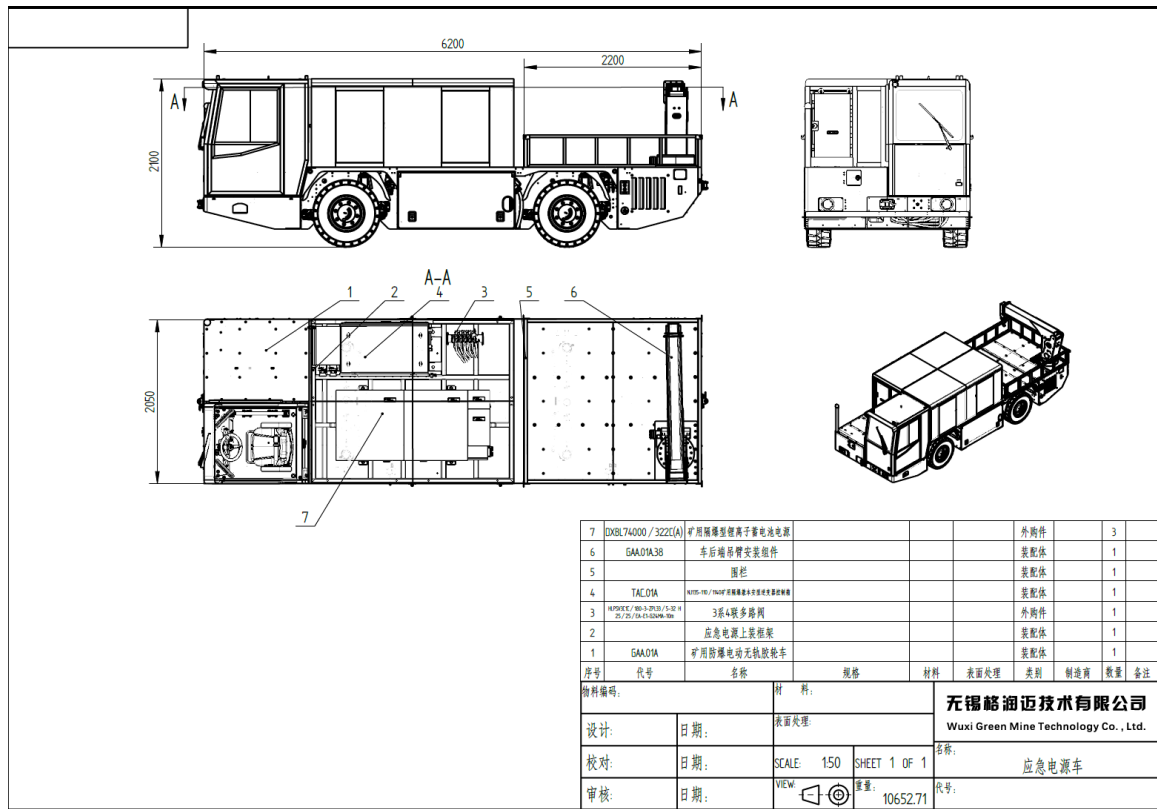


图 1 新能源应急电源装置方案总装图



图 2 新能源应急电源装置厂区测试图

## 5.2 技术参数

新能源应急电源装置主参数		
整机尺寸	mm	6200×2050×2100
整机整备质量	kg	13500±100
满载最大总质量	kg	14500±100
轴距	mm	2750±5
轴数	根	2
轮距	mm	1700±5
轮胎个数	个	4
最小离地间隙	mm	≥220
最小转弯半径	mm	≤2200

最小转弯通道外圆半径	mm	≤4950
爬坡能力	°	14
驾驶室准乘人数	个	1
接近角/离去角	°	15/15
最高车速	km/h	20
悬架型式		板簧+减震器
工作制动型式		湿式全封闭液压制动
驻车制动型式		湿式全封闭弹簧制动
<b>110kW 逆变电源产品参数</b>		
输入电压	V	直流 820~1050
输出电压	V	三相 AC660/AC1140 三相 AC127V
输出电流	A	(660V) 113A/ (1140V) 66A (功率因数≥0.85) / (127V) 30A
额定容量	kW	AC1140/660V 回路 110kW (功率 因数≥0.85), AC127V 回路 6kW
输出频率	Hz	50
效率		≥96% (1140V, 110kW, 功率因 数≥0.85 时)
<b>1T 随车吊参数</b>		
最大工作半径起重量	T	1
最大工作半径	m	3

回转角度	°	270	
俯仰角	°	+50	
<b>防爆锂电池电源、电机参数</b>			
单体电池规格/厂家	Ah	230/中航锂电	
电源能量	kWh	74	
电源输出电压	V	3.2	
质量比功率	Wh/kg	92	
牵引电机名称/型号		矿用隔爆型永磁同步电机 TBYC-62-8 (367)	
牵引电机额定功率	kW	62	
<b>电池箱参数</b>			
电池箱单体电池个数	个	100	
串并联方式		串联	
额定容量	Wh	≥73600	
额定输出电压	V	320	
额定输出功率	W	24VDC/300W	
最大持续充电电流	A	0.5C (115)	
最大持续放电电流	A	1.0C (230)	
SOC 可使用窗口		2%~100%	
工作寿命	0.3C 放电	次	≥3000
	1C 放电	次	≥1500

月自放电率		≤2%（具有自动降低静置状态下功耗功能或休眠功能）
电池内阻阻值振动变化率		≤5%

### 5.3 适用范围

5.3.1 新能源应急电源装置是完全按照 GB3836 相关标准而设计的煤矿防爆设备。适应于具有爆炸性气体环境工作场所，包括煤矿、非煤矿山、工厂等等。

5.3.2 新能源应急电源装置是应急救援、应急抢修、生产辅助作业的临时性电源保障设备。必须坚持辅助作业、局部用电、即用即撤、负荷匹配的原则。

5.3.3 新能源应急电源装置不能在高温环境（ $\geq 30^{\circ}$ ）、涉水 $\geq 300\text{mm}$ 、瓦斯超限、通风不达标、顶板不稳定环境中作业。

5.3.4 新能源应急电源装置不得向矿井供电系统送电。

5.3.5 进入矿井总回风巷作业前必须制定专门的施工作业措施，经矿井总工程师批准后方可作业。

### 5.4 功能描述

#### 5.4.1 供电保障

在应急抢修过程中，新能源应急电源装置可即时为井下设备提供各种电压等级（1140V/660V/127V）的电力供应，确保矿井的关键设备如通风系统、通信设备、排水设备、上下山道的小绞车等在紧急情况下持续运作，从而保障矿工的生命安全和环境稳定。



#### 5.4.2 设备运行

在事故救援过程中，新能源应急电源装置可以为救援设备提供电源动力，如救援机器人、其他救援车辆等，确保救援设备持续获得动力，以使救援工作能够顺利进行；在搬家倒面过程中，为掘进面设备（如掘锚机、掘进机、破碎机、梭车等）的行驶电机提供不间断动力，省去外接电缆的搬运工作，提高搬迁效率和人员安全性。

#### 5.4.3 通信支持

新能源应急电源装置可以为井下的通信设备提供电力，确保救援人员和井下矿工之间的通讯不受影响，以便于传递信息和指令；同时通过自身的通讯系统和视频监控系統达到快速响应及实时调度的目标。

#### 5.4.4 环境检测

在矿井事故中，新能源应急电源装置可以承担环境检测任务，为现场提供环境安全守卫。

#### 5.4.5 照明保障

新能源应急电源装置可以为井下提供照明保障，除自身配备照明灯外，还可为标识灯提供 127V 电源支持，确保救援工作和矿工撤离时的视觉安全。

#### 5.4.6 辅助搬运

新能源应急电源装置配置的起重设备可以方便救援及检修作业的搬运起重，全面提高作业效率，减轻人员劳动强度，达到快速救援的目的。

### 5.4.7 液压动力

新能源应急电源装置除提供电力、通信、照明、起重等支持外，还配置液压动力输出接口，即插即用，应急作业时为液压工具和设备提供动力，能快速帮助维护矿井的稳定性和安全性。

## 六、新能源应急电源装置的安全保障措施

### 6.1 电源安全

#### 6.1.1 电源的一级保护

选用的锂电池侧面和底部小部分区域覆盖了 PET 绝缘膜（蓝色），具有良好的隔热性能，可以有效阻挡热量的传递；具有良好的耐高温性能，可以在较高的温度下长期使用而不会发生变形或熔化；同时，在防火方面也有很好的表现，能有效降低火灾风险。另外，电池还具有一级过充放保护、二级过充放保护、过热报警和过热保护，从源头实现电源的第一关安全防护。

#### 6.1.2 电源的二级保护

配置可抗压为 1.5Mpa 的防爆隔爆壳体，即使受到外力挤压碰撞和电池内部短路燃烧也不会对设备内、外产生安全隐患。防爆箱电气腔盖板与箱体法兰隔爆面应增加 O 型防水密封，进一步提升防爆箱防水性能。

#### 6.1.3 电源的三级保护

合理的电气设计提高了电源的安全性能，电源通过失效分析，设计

多重电气“防火墙”，再配合软件的防护控制策略做到软、硬件的互补互锁，达到系统的高安全的性能要求；搭配保护管理系统对防爆电池箱内的电池组进行管理，对所有单体电池的电压和温度，电池组的电压、电流、绝缘电阻、电池容量等参数进行检测，实现单体电池运行状态实时监控保护、电池箱各种参数计算及设置、充放电控制管理、高压配电及绝缘检测、故障诊断，从而实现单体电池过充电电压保护、单体电池过充电电压保护失效检测、单体电池过放电压保护、单体电池过放电压保护失效检测、充电过流保护、放电过流保护、输出短路保护、温度保护、充电均衡、电池信息采集线开路保护、低温禁止充电、严重过放电后不允许充电等。

#### 6.1.4 电源的四级保护

电源箱内增设了消防灭火方案，当电池箱内发生火灾或热失控时，热引发器（热敏线）受到高温或明火后引燃，传导至装置内的气体发生器，气体发生器内的产气发生剂发生氧化还原反应瞬间产生大量气体，逐级冲破发生器、灭火装置膜片，随即全氟己酮灭火介质被喷出，形成脉冲到达火灾现场实施抑制、灭火。

#### 6.1.5 电源的五级保护

电源后端的逆变器控制箱具有过压、过载、过温和短路自动保护；同时，具备变频启动电机和给变频器提供电源的能力，当后端负载为电机时，系统通过变频方式启动电机，以减小启动冲击电流；当后端负载为变频器时，系统输出工频 AC1140V 或 AC660V 正弦波电压，给变频器设

备供电。操作人员在应急电源启动前可根据负载类别对逆变单元进行设置，当接触器闭合后逆变单元才会安全启动，并同步对负载参数进行判断，如不一致立即告警重设。

### 6.1.6 电源在目标负荷下放电安全性

应急电源车的最大输出电流（660V）113A/（1140V）66A 小于选用的 DXBL73600/320C(A)电源最大持续放电电流，用电安全。当负载瞬时工作电流过大时，电源系统直接保护动作进行停机，不会反向损伤电池。

## 6.2 逆变安全

### 6.2.1 高效高功率逆变系统概述

本逆变系统由两部分组成：前级 DCDC 升压变换器和后级 DC/AC 逆变器。前级 DCDC 升压变换器将储能电池电压通过三电平 boost 电路升压到 1800V（1140V 交流输出）或 1100V（660V 交流输出），以保证后续 DC/AC 逆变器能够输出满足要求的交流电压。交流侧不管是 1140V 还是 660V 输出，DCDC 变换器都能够输出 110kW（电池以 0.5C 放电）的功率；由于逆变器功率较高，需要采用 3 个交错并联 boost 升压模块共同构成 DCDC 变换器，该级变换器总损耗约为 1100W。后级 DCAC 变换器负责将升压后的直流电压逆变为 1140V/66A 或者 660V/113A 的三相交流电压；输出电压等级 1140V/690V 可由用户通过操作界面设定。该级变换器在 660V/110W 输出时总损耗约为 2000W，在 1140V/110kW 输出时总损耗约为 1000W。

逆变系统让新能源应急电源装置实现了变频启动电机和给变频器提

供电的能力。当后端负载为电机时，系统通过变频方式启动电机，以减小启动冲击电流；当后端负载为变频器时，本产品启动完成后输出工频 AC1140V 或 AC660V 正弦波电压，给变频器设备供电。

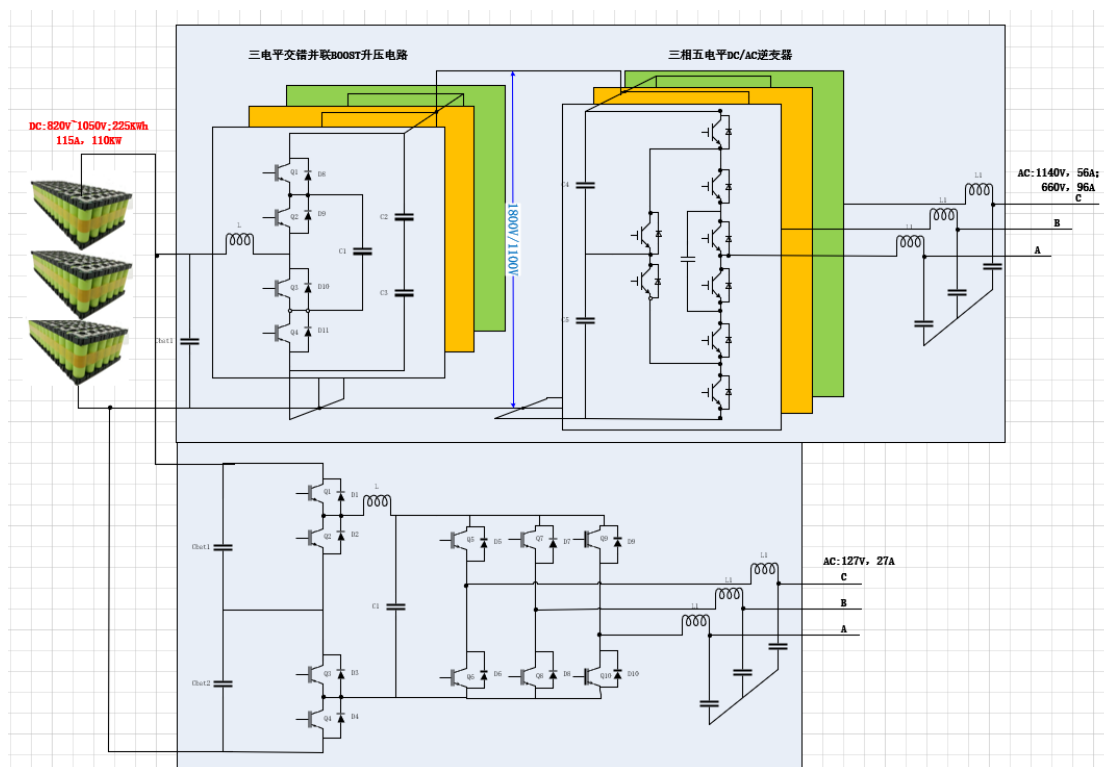


图 3 110kW 高效大功率矿用逆变模块产品结构图

系统还可以同时输出一组三相 AC127V/50Hz、容量为 6KW 的低压三相电源，可做为低压电源为煤矿井下照明、通讯电源。该路输出也由两部分组成，前级 DCDC 降压变换器和后级 DC/AC 逆变器。前级 DCDC 降压变换器将储能电池电压通过三电平 buck 电路降压到 250V（127V 交流输出），以保证后续 DC/AC 逆变器能够输出满足要求的交流电压。后级通过三相逆变器得到交流 127V，频率为 50 赫兹交流电给负载提供 6kW 功率。

## 6.2.2 各子系统关键参数设计和仿真

### 6.2.2.1 三电平 boost 变换器

#### (1) 输入/输出电压/电流参数要求

直流输入电压范围：DC810V~DC1050V

直流输出电压：DC1800V、DC1100V

直流输入电流：DC115A

#### (2) 关键参数设计和器件选型

输入滤波电感：电感电流峰峰值  $\Delta I_{L,max}$  应不超过平均电感电流的 10%到 20%，因此输入滤波电感应满足

$$L \geq \frac{1}{3} \cdot \frac{U_o}{16f \times k \cdot I_L}$$

输出电压为 1800V,开关频率为 50kHz, k 取 12%，平均输入电流为 39A,计算得  $L \geq 160\mu H$ ,考虑一定余量,取电感为 180 $\mu H$ 。

输入滤波电容：LC 滤波器截止频率为

$$f_w = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

截至频率一般为开关频率的 1/10 到 1/5，这里取截止频率为 8kHz，计算得滤波电容容值为 2.2 $\mu F$ ,考虑耐压等级与实际型号，选取 1100V2 $\mu F$  电容。

飞跨电容：飞跨电容容值应满足以下条件

$$C_f \geq \frac{2I_{L,max}}{\Delta U_{O,max} \cdot f}$$

输出电压为 1800V,开关频率为 50kHz，平均输入电流为 45A,计算

得  $C_f \geq 50\mu F$  ,考虑一定余量, 考虑耐压等级与实际型号, 选取并联三个 1100V20uF 电容。

开关管: 考虑耐压等级和电流, 选取开关管为瞻芯 IV1Q12050T4 1200V58A 50mR 双管并联。

### (3) 闭环控制框图和仿真验证

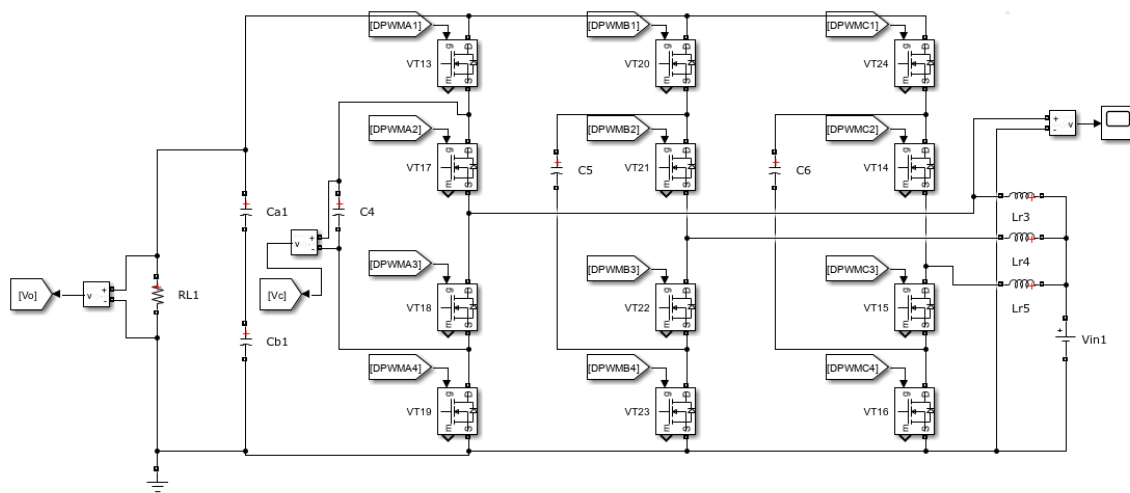


图 4 仿真模型

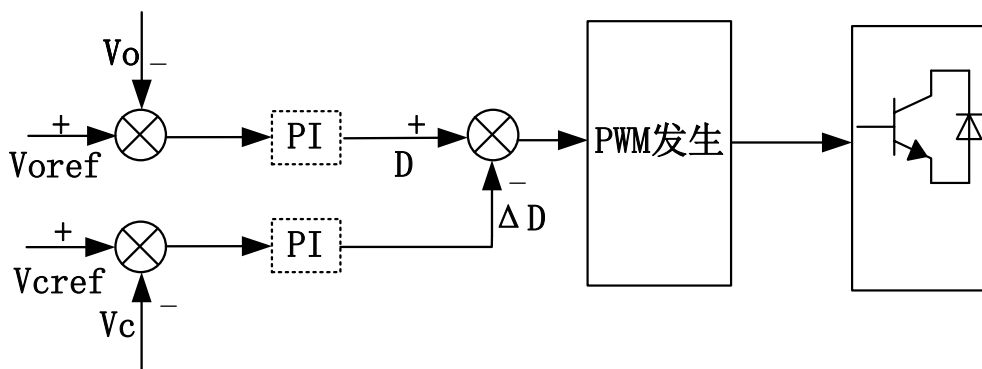


图 5 闭环控制框图

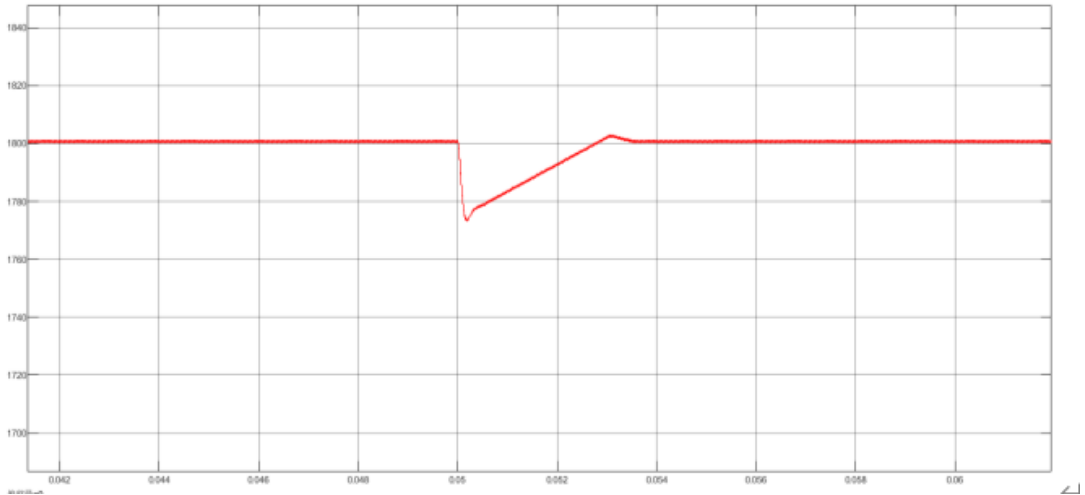


图 6 负载功率突增时输出电压动态波形

上图为闭环控制下直流侧负载功率突增直流母线电压波形，电压跌落 30V，在短时间内恢复稳定 1800V。

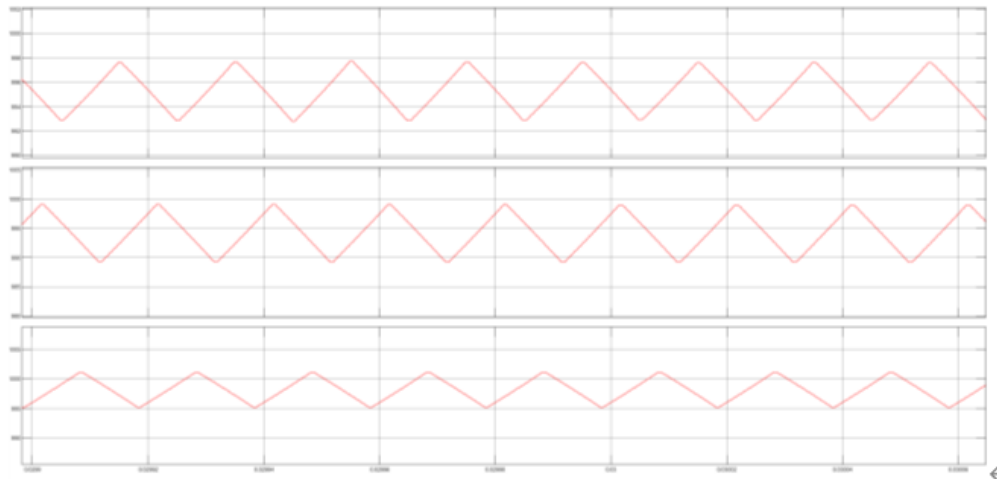


图 7 稳态飞跨电容电压波形

上图为飞跨电容电压波形，波动峰峰值为 15V 以内，波动峰峰值在其额定电压的 10%以内，符合要求。

#### 6.2.2.2 五电平有源钳位型逆变器

##### (1) 输入/输出电压/电流参数要求

输入电压：直流 1100V/1800V

输出电压：线电压有效值 660V/1140V



输出电流：相电流有效值 96A/56A

## (2) 关键参数设计和器件选型

滤波电感：滤波电感设计考虑抑制电流纹波和快速跟踪指令电流的要求。经公式推导，得电流纹波和滤波电感值关系为

$$L_f \cdot \frac{\Delta i_{\max}}{T_s} = \frac{V_{dc}}{24}$$

考虑电流纹波峰峰值为额定电流峰值的 20%，得

$$L_f \geq \frac{U_{dc}}{24 f_s I_{\max} 20\%}$$

若满足快速电流跟踪要求，经公式推导，得

$$L_f \leq \frac{U_{dc}}{6 I_{\max} w}$$

将参数代入并考虑一定裕量，取滤波电感值为 100uH。

最终选型为感值 100uH，额定电流 100A，线径 2.0mm×5，14 匝，磁芯重 1.25kg。

滤波电容：交流滤波电容设计考虑截止频率，LC 滤波器截止频率为

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_f C_f}}$$

由此可得滤波电容的取值下限为：

$$C_f > \frac{1}{w_c^2 L_f} = \frac{1}{(2\pi f_c)^2 L_f}$$

为降低开关频率附近的高频谐波，同时负载电压波形不受影响，截止频率  $f_c$  须远小于开关频率  $f_{sw}$ ，取值范围通常为  $0.1f_{sw} < f_c < 0.2f_{sw}$ 。

且须保证截止频率  $f_c > 5f_{sw}$ 。本系统开关频率为 50KHz，截止频率  $f_c$  范

围为 5KHz 到 10KHz。

同时，滤波电容  $C_f$  上的损耗电流应满足小于额定输出电流 10% 的要求，即

$$\sqrt{2}wC_fU_{ag} < 10\% \times \sqrt{2}I_{oa}$$

综合考虑并留有一定裕量，取滤波电容值为 3.3uF。

考虑其耐压等级和纹波电流有效值，最终选型为 CFD800305JL100，容值 3.3uF±5%，耐压等级 800V.AC 两串两并。

飞跨电容：飞跨电容设计考虑其电压波动情况，桥臂输出  $\pm 1/2U_{dc}$  时存在两个模态，其中一个模态飞跨电容充电，另一个模态飞跨电容放电，飞跨电容容值满足下式要求：

$$C_f \Delta u_f \geq \max(I_L T_1)$$

考虑占空比为 0.5，输出 660V 时飞跨电容电压波动最大，取飞跨电容电压波动峰峰值为额定 10% 即 27.5V，将各参数代入得飞跨容值需大于 49.4uF，考虑其耐压等级和纹波电流有效值并留有一定裕量，最终选型厦门法拉 C3D1U186B02，容值 18uF，耐压等级 600V，四个并联。

母线电容：母线电容设计考虑其中点电位波动情况，若母线电容设计不合理会导致母线电容电压不平衡，造成输出电压畸变过调制等。在桥臂 O 状态和  $\pm 1/2U_{dc}$  其中一个模态，会形成直流电容充放电路径，导致直流侧中点电位发生波动。中点电流表达式为

$$i_{np} = (1 - |S_a|)i_a + (1 - |S_b|)i_b + (1 - |S_c|)i_c$$

中点电位波动  $\Delta V_{np}$  为：

$$\Delta V_{np} = \frac{1}{2C_{bus}} \int i_{np}(t) dt$$

考虑中点电流中的低频分量，设定中点电位波动峰峰值取额定10%，经傅里叶分析并将各参数代入得半母线电容容值为2200uF，考虑耐压等级并留有一定裕量，选择献智东磁 CD293H，容值470uF，耐压等级500V，四串十并。

开关管：考虑耐压等级和电流，选取工频开关管为英飞凌 FF225R17ME41 700V225A IGBT 模块；高频开关管为瞻芯 IV1Q12050T4 1200V58A 50mR 三管并联。

### (3) 闭环控制框图和仿真验证

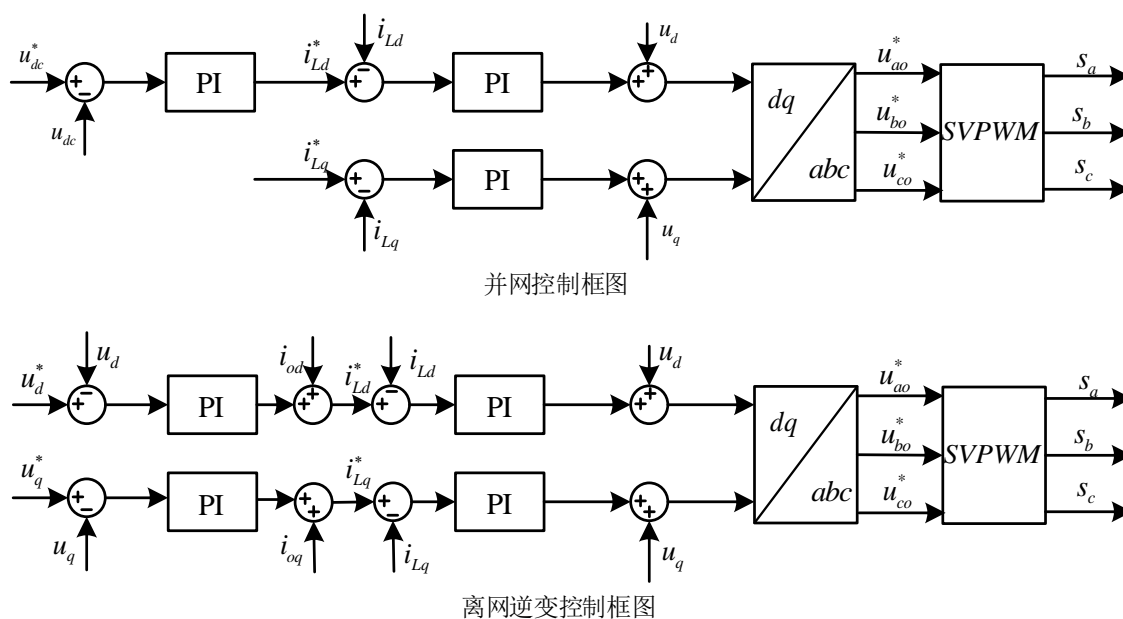


图 8 闭环控制框图

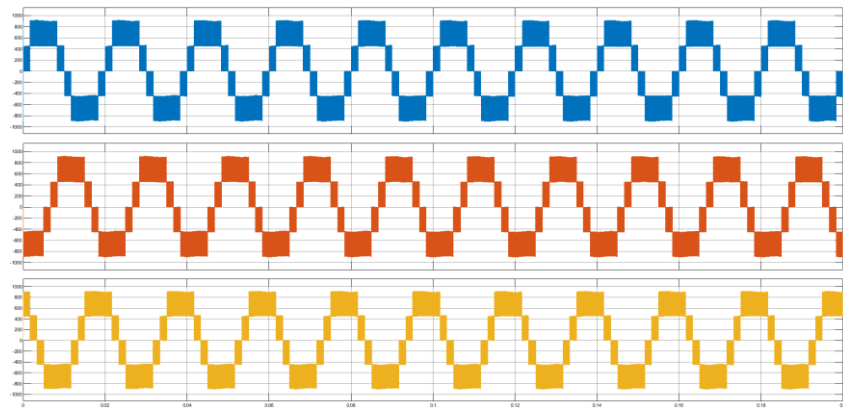


图 9 仿真验证：三相桥臂输出电压

上图为桥臂输出电压波形，可以看出经双载波移相调制桥臂输出电压为五电平阶梯波，波形良好无畸变。

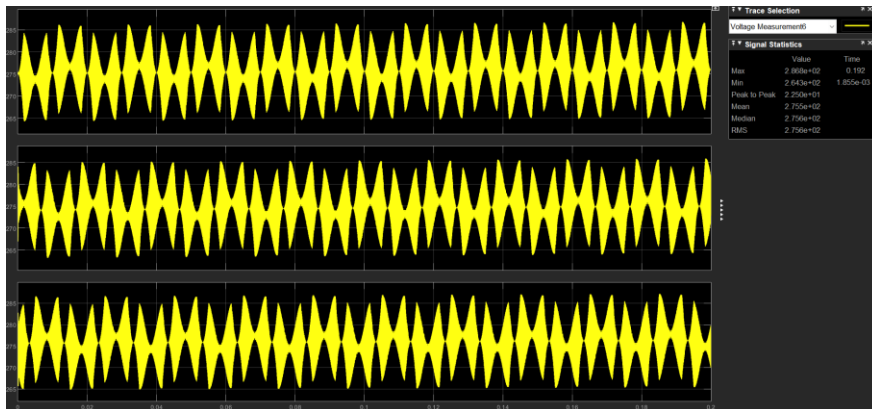


图 10 仿真验证：飞跨电容电压

上图为飞跨电容电压波形，波动峰值 22.5V，其额定电压为直流母线电压 1/4 即 275V，波动峰峰值在其额定电压的 10%内，符合要求。

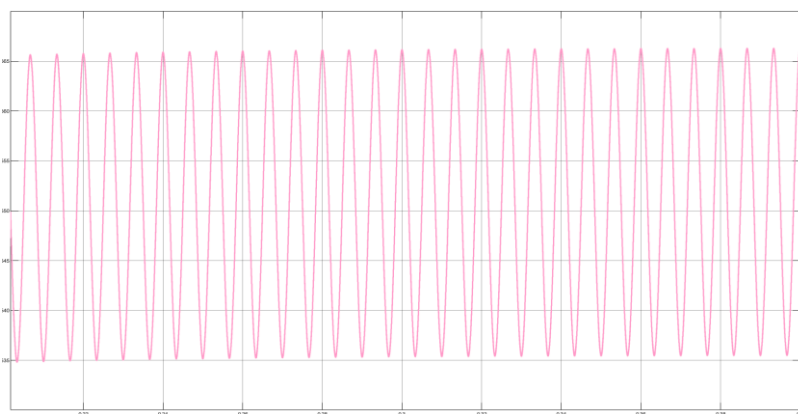


图 11 仿真验证：中点电位

上图为中点电位波形，波动峰峰值为 31.6V，其额定电压为直流母线电压 1/2 即 550V，波动峰峰值在其额定电压的 10%内，符合要求。

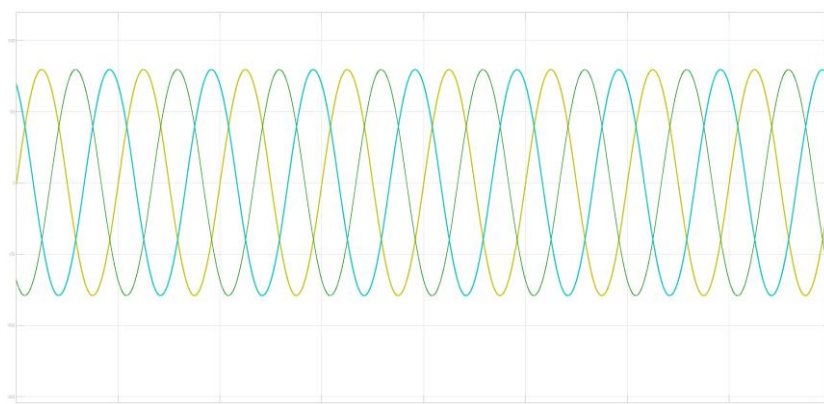


图 12 仿真验证：三相输出相电流

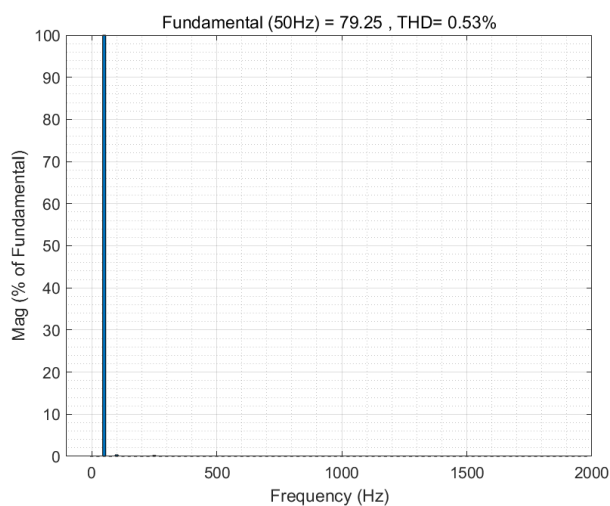


图 13 仿真验证：三相输出相电流 FFT 分析

上图为三相输出相电流的仿真波形及 FFT 分析结果，得输出电流 THD 为 0.53%，说明滤波参数设计结果符合要求。

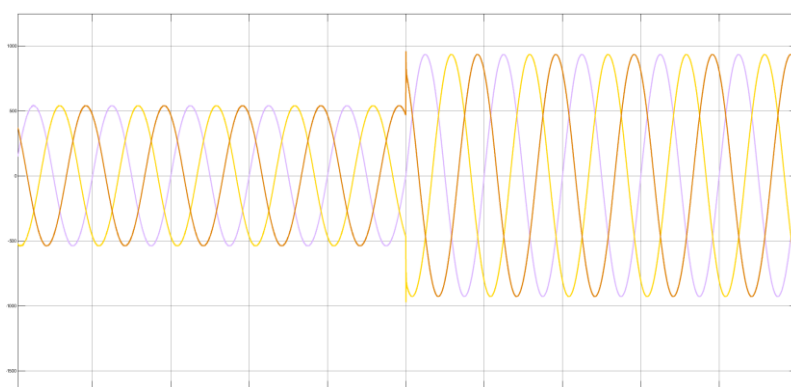


图 14 仿真验证：电压指令突变三相输出相电压

上图分别为离网闭环控制下交流指令电压突变三相输出相电压波形。其中，输出电压跟随指令快速变化。

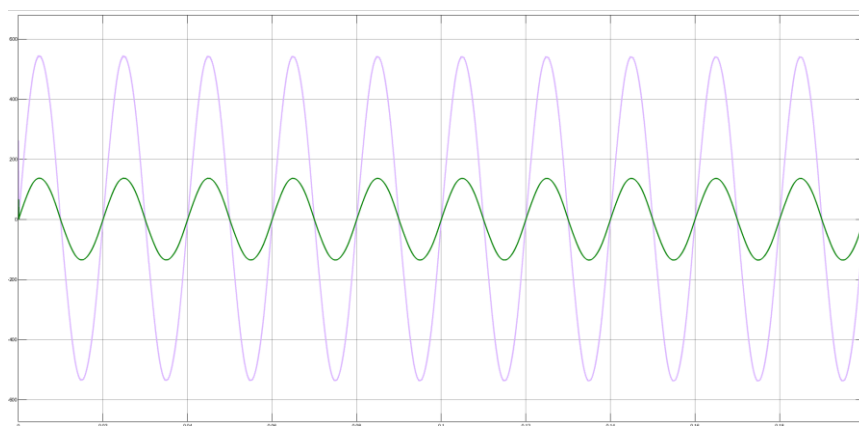


图 15 仿真验证：交流侧电压电流

上图为并网闭环控制下交流侧电压电流波形，处于单位功率因数运行状态。



图 16 仿真验证：直流侧负载突变直流母线电压

上图为并网闭环控制下直流侧负载功率突增直流母线电压波形，电压跌落 55V，在短时间内恢复稳定 1800V。

### 6.2.2.3 三电平 buck 变换器

(1) 输入/输出电压/电流参数要求

直流输入电压范围：DC810V~DC1050V

直流输出电压：DC250V

直流输出电流：DC30A

(2) 关键参数设计和器件选型

输出滤波电感：根据电感感值与纹波电流关系得到下式

$$L \geq \frac{(1-2D)DU_{in}}{2f\Delta i_{L,max}}$$

其中占空比 D 取 0.25，输入电压为 1050V,开关频率 50kHz，纹波电流峰峰值取 4.5A，计算得到  $L \geq 291\mu H$ ，考虑一定裕量，最终选取两个 150uH 电感串联在直流母线两侧。

输出滤波电容：LC 滤波器截止频率为

$$f_w = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

截至频率一般为开关频率的 1/10 到 1/5，这里取截止频率为 5kHz，计算得滤波电容容值为 3.4uF,考虑耐压等级与实际型号，选取 600V5uF。

电容：输入分压电容

$$C \geq \frac{2P \cdot D}{\Delta U_{C,max} U_{in} f}$$

其中占空比 D 取 0.25，输入电压为 1050V,开关频率 50kHz，计算得输入分压电容容值为 5.8uF，考虑耐压等级与实际型号，选取并联两个 600V5uF 电容。

(3) 闭环控制框图和仿真验证

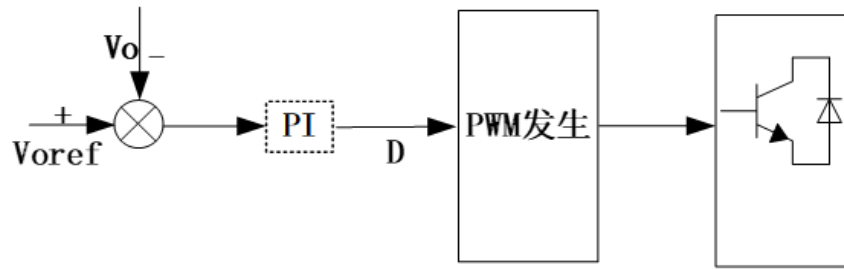


图 17 闭环控制框图

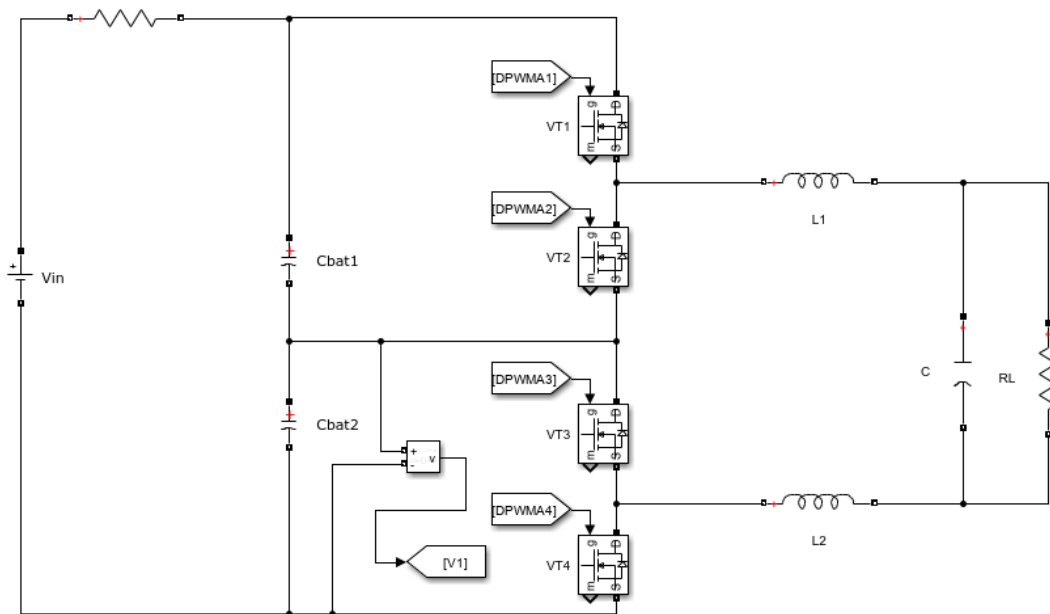


图 18 仿真模型

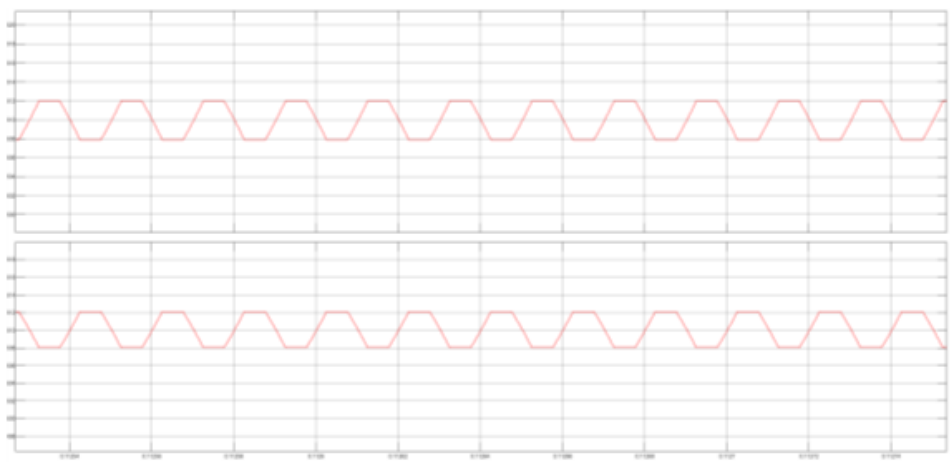


图 19 稳态母线分压电容电压波形



稳态时母线分压电容电压保持稳定，为总母线电压的一半，波动也在规定范围内。

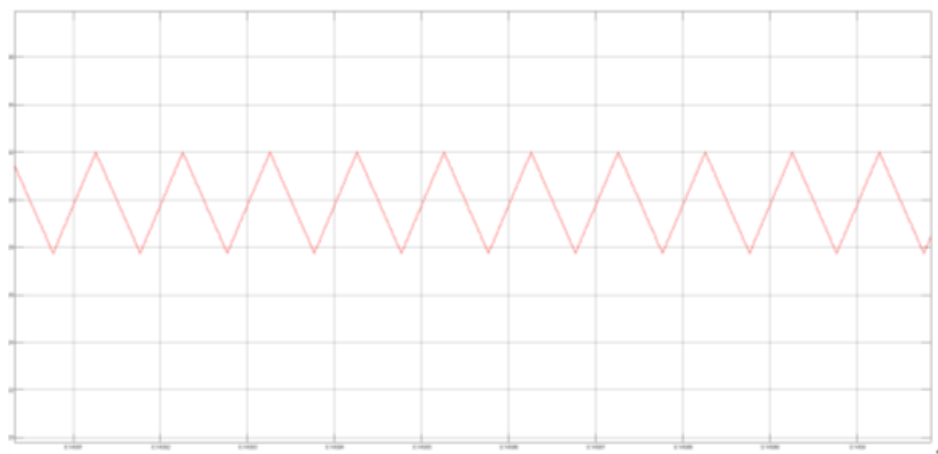


图 20 输出电感电流波形

稳态时输出电感电流保持稳定，波动值约 4A，在规定值 15%内。

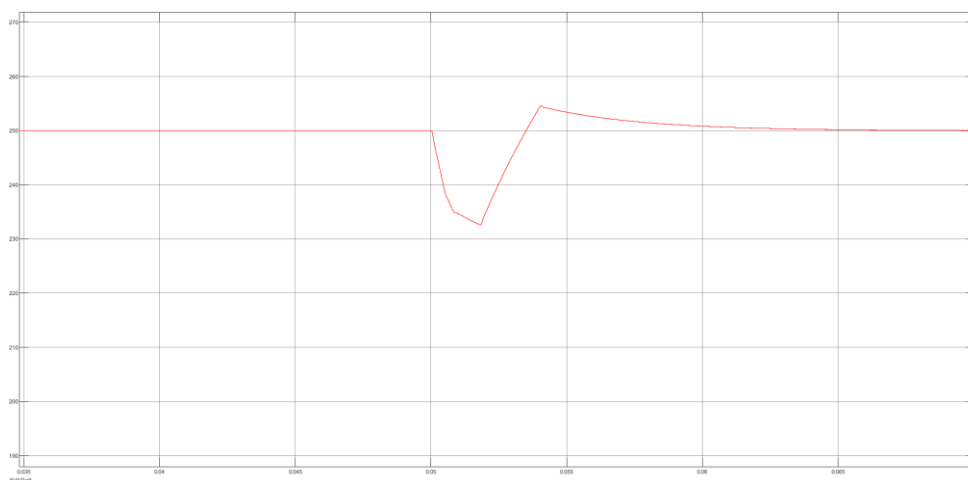


图 21 负载功率突增时输出电压动态波形

上图为闭环控制下直流侧负载功率突增直流母线电压波形，电压跌落 20V 左右，在短时间内恢复稳定 1800V。

后期实际加载测试结果符合设计要求，满足逆变各性能和安全用电。

### 6.2.3 逆变系统水冷设计与仿真

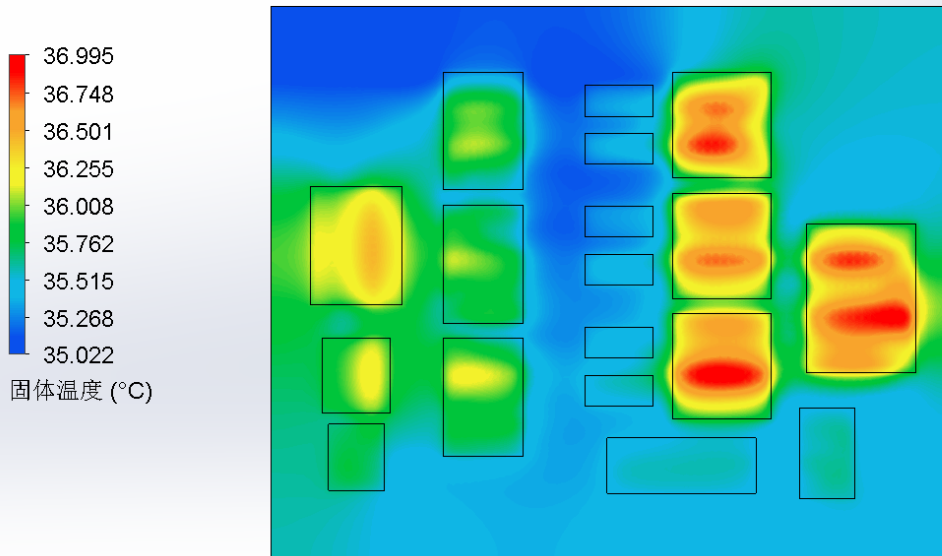


图 22 逆变系统热源分析

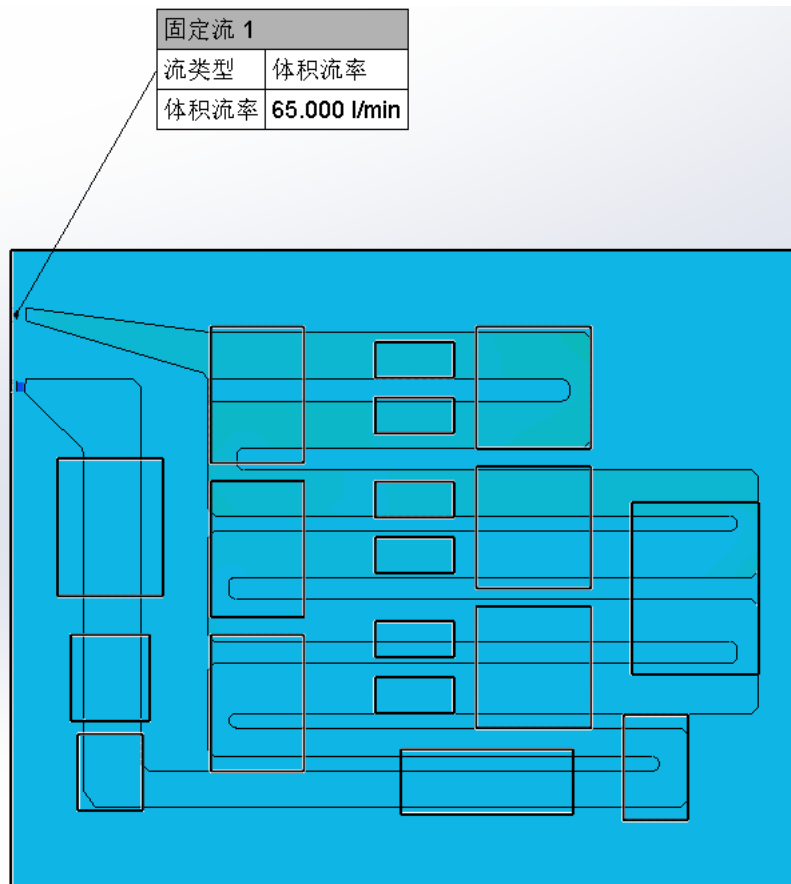


图 23 水道设计

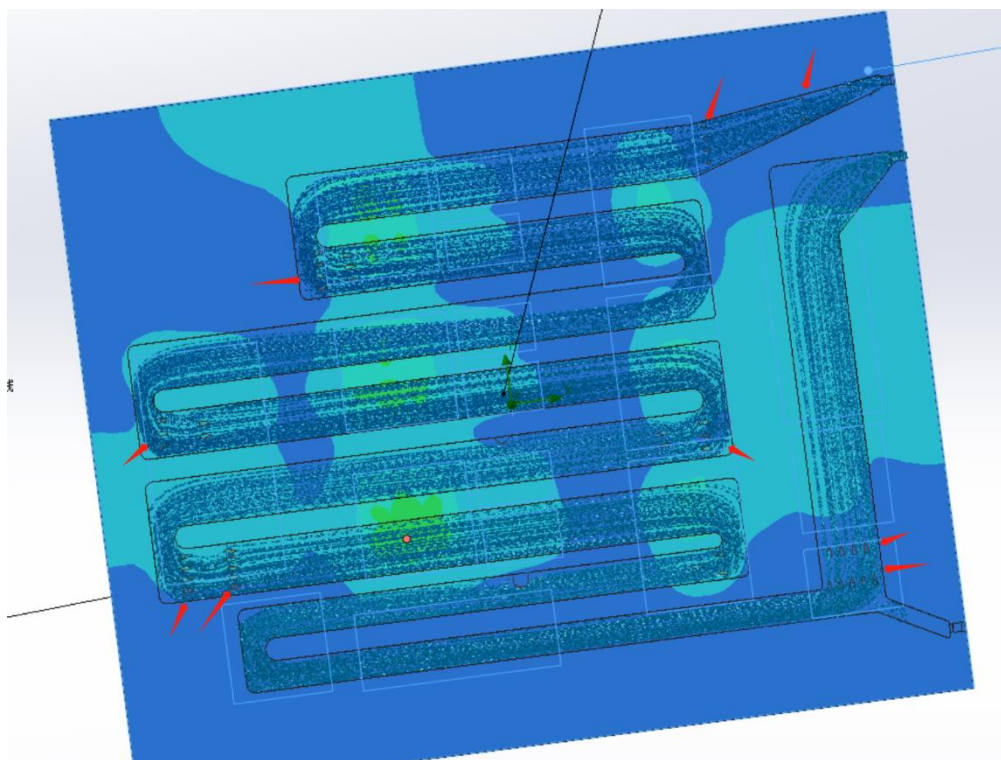
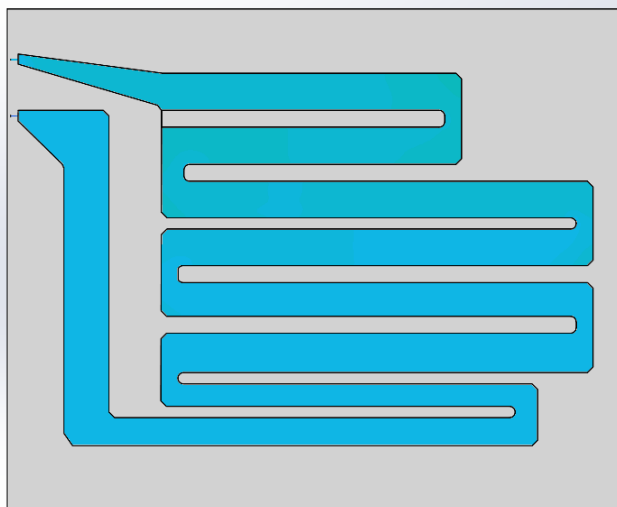
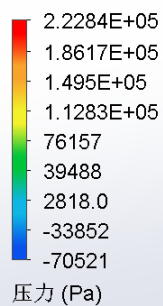


图 24 水冷效果分析

水冷板设计及仿真结构均满足表面温升小于 40°C 的要求，且实际测试也满足要求。

### 6.3 配电安全

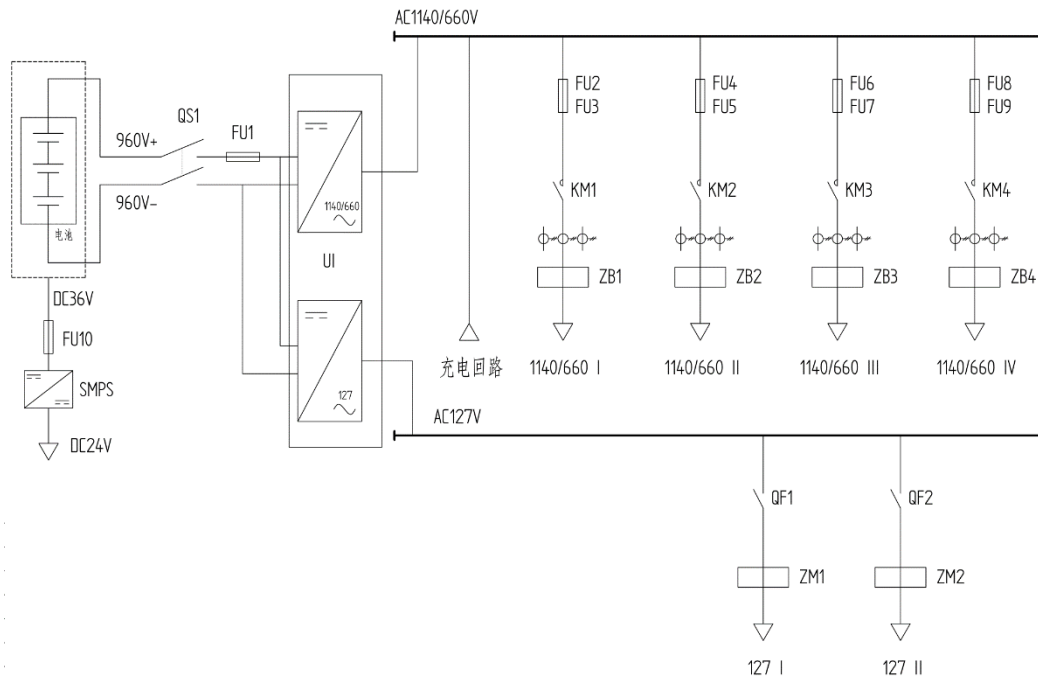


图3 逆变控制箱电气原理图

控制箱进线到逆变器上，逆变器具有电压采集传感器，过压、欠压都不能启动，过欠压值软件上可设定。输出的每个回路上都安装有综合保护器和电流互感器，具有短路、过载和过温保护。短路和过载是通过检测电流过大实现，过温是通过热敏电阻传感器来检测温度给保护器和逆变器来实现温度保护。可长期满负荷连续工作，可对外输出 AC1140V、AC660V、AC127V 三种电压等级，覆盖井下大部分设备所需电压等级，满足应急用电需求。

## 6.4 安全使用保障条件

### 6.4.1 紧急断电

在该装置的保护系统中配备有瓦斯实时检测仪、瓦斯超标断电仪，瓦斯断电仪通过逆变电源切断直流电源，实现应急电源装置无电源输入状态。

### 6.4.2 联动保护

新能源应急电源装置按照电池独立保护、逆变器管理单元保护、配电装置保护（过流、过载、漏电、接地）三大部分组成，三大部分通过 can 通信按照实现保护联动。

### 6.4.3 建立应急处理机制

建立应急处理机制，了解锂电池产品安全事故的应急处理方法，车辆配备 8kg 水基灭火器、灭火毯、沙袋等灭火器材，为人工开展灭火创造条件，确保在紧急情况下能够迅速应对。

### 6.4.3 实行审批制管理

新能源应急电源装置的使用实行审批制管理，调度中心按照审批作业内容进行实时监督管理，任何人不得随意派车作业，且定期对应急电源的外观、电量和使用状态进行检测，发现问题及时处理。

### 6.4.4 快速插拔闭锁

电源快拔插头配备有机械闭锁和电器闭锁两部分。保证在断电状态下完成快拔操作。

## 6.4.5 建立安全管理制度

建立完善的安全管理制度：制定并执行针对锂电池使用、维护的安全管理制度和操控人员的教育培训制度。确保各项安全防范措施得到有效执行。并在车辆醒目的位置设置安全使用提示牌，确保其规范操作安全使用。

# 七、新能源应急电源装置效益分析

## 7.1 新能源应急电源装置对行业的贡献

### 7.1.1 提高煤炭生产过程中的电力供应可靠性

在煤炭生产过程中，电力供应是非常关键的。新能源应急电源装置可以为煤炭企业提供快速、可靠的电力支援，确保生产过程中的稳定供电，减少因电力供应不足或中断导致的生产延误。

### 7.1.2 保障煤炭矿井的安全

矿井是煤炭生产的重要场所，而矿井中的作业环境复杂且危险。新能源应急电源装置可以为矿井提供紧急电力支援，确保矿井通风、排水等关键设备的正常运行，从而保障矿工的生命安全。

### 7.1.3 提高煤炭企业的应急响应能力

煤炭企业可能会遇到突发情况，如自然灾害、电力中断、设备故障等。新能源应急电源装置可以帮助企业快速应对这些突发情况，降低事故对人员安全和生产安全的影响。

#### 7.1.4 促进煤炭行业的可持续发展

随着我国对环保要求的不断提高，煤炭行业面临着转型升级的压力。新能源应急电源装置可以帮助煤炭企业提高生产效率，降低能耗，从而实现可持续发展。

总之，新能源应急电源装置在煤炭行业中起到了至关重要的作用，对煤炭行业做出了巨大的贡献。

## 7.2 新能源应急电源装置产生的社会效益

### 7.2.1 提高煤矿安全生产水平

新能源应急电源装置能够在煤矿发生电力故障时迅速提供电力支援，从而大大提高煤矿的安全生产水平。

### 7.2.2 保障矿工生命安全

矿井内环境复杂，紧急情况下的电力供应对矿工生命安全至关重要。新能源应急电源装置能够有效减少因电力中断导致的矿难事故，同时大大减少矿工的劳动量和在危险环境中的作业时间，对保障矿工安全起到重要作用。

### 7.2.3 增强社会应急能力

煤矿用新能源应急电源装置不仅是煤矿自身的应急设备，还可以在发生区域性电力危机或其他紧急情况时，作为应急资源进行调配，增强整个社会的应急响应能力。

#### 7.2.4 减少环境污染

新能源应急电源装置能够提供清洁、稳定的电力供应，减少因煤炭开采和加工过程中因电力不稳定导致的设备故障和能源浪费，有助于减少环境污染。

#### 7.2.5 提升煤炭行业形象

随着安全生产意识的提升和技术装备的现代化，煤炭行业的形象得到改善。使用新能源应急电源装置等先进设备，展现了煤炭行业积极转型、重视安全的良好形象。

#### 7.2.6 促进技术进步和创新

煤矿用新能源应急电源装置的研发和应用，推动了相关技术的进步和创新，对整个煤炭行业的发展具有积极影响。

综上所述，煤矿用新能源应急电源装置不仅对煤矿安全生产具有重要意义，还能带来广泛的社会效益，有助于提升社会整体的应急响应能力和安全生产水平。