

国家标准《电动汽车高压系统电压等级技术规范》编制说明

(征求意见稿)

一、任务来源

根据国家“863”计划《电动汽车整车及零部件技术标准研究》(2011AA11A277)要求,其子项目《电动汽车高压系统电压等级技术规范》,由东风集团股份有限公司技术中心负责起草,计划于2013年12月完成。

二、标准编制的意义和适用范围

标准编制的目的在于促进中国电动汽车行业电动附件等零部件企业的产品平台化发展,减少产品种类,提高产品销售数量,降低产品成本,推进电动汽车产业发展。

该标准适用于混合动力汽车、插电式混合动力汽车和纯电动汽车。对于电压等级小于144V与大于600V电动汽车高压系统,不在本标准规定范围之内。该标准为推荐性标准,不排斥整车企业开发定制的不符合该标准所规定的电压等级的电动汽车产品。该标准为推荐性标准,不排斥整车企业由于技术进步、整车布置空间等问题,导致整车电压等级略微偏离该电压等级。

三、工作过程简述

2011年9月,接到对《电动汽车高压系统电压等级技术规范》制定的任务后,东风汽车公司首先成立了标准制定工作组,确定了制定原则和方法,制定了工作计划,以确保标准制定质量和进度。

1. 广泛征集意见和建议

为了解掌握国内主机及零部件厂在研和已上市电动汽车及零部件产品高压系统电压等级信息，使制定的标准充分、合理、适宜，2011年9月，东风汽车公司起草了“电动汽车高压用电系统及零部件电压等级技术规范调查问卷”，对上汽、奇瑞、一汽、长安、广汽、北汽、国轩、万向等59个单位进行了问卷调查，收到问卷20份。

2. 对返还的20份问卷进行了统计分析，以确定国内电动汽车高压系统及零部件电压等级分布情况，为电压等级标准制定提供数据支持。

3. 对关键高压零部件电压等级确定因素如下：对于动力电池系统我们考虑现有电芯模块成组及电池系统的方便性通用性互换性与电压等级之间的关系；对于高压配电系统、电机及其控制器系统、DC/DC转换器、电动空调、PTC加热器等高压零部件，我们分析和考虑了其关键零部件效率、电压、成本、整车搭载之间的关系，最后提出了其电压等级。

4. 收集查阅国内电动汽车高压系统电压等级相关标准、文件，以确保修订后的标准与相关标准、文件的相容性。

5. 2012年8月，我们走访了奇瑞、上汽、英飞凌公司，进行企业和零部件厂家调研，讨论标准主体思想，听取企业意见和建议，丰富并修改了标准和编制说明的内容。

6. 2012年8月-2012年9月提出行业标准草案（第一稿），并通过标准研究工作组秘书处发往各有关单位征求意见，再次收集了同时在网上广泛征求意见部分意见和建议。共收集到9个单位共21条意

见，并对意见进行处理与答复，详见附件。

7. 2013年9月到2013年11月该行业标准草案在三个标准工作组内征集意见，共收到10个单位共41条意见，并对各单位的意见进行了处理，详见附件。

8. 2013年11月19日在武汉专门召开标准工作组第四次会议讨论该标准的内容部分，由标准起草单位对标准内容及编制说明进行了讲解，并现场解答了各工作组专家提出的疑问。讨论会问题整理与处理情况见附件。

四、编制原则

1. 充分考虑我国电动汽车及其关键零部件技术现状与未来的发展特点。

2. 有助于规范关键零部件的电压技术指标，促进关键零部件企业集中力量开发出平台化、高性能、高质量的产品。

3. 有助于电动汽车企业统一选择到通用的电动附件，提高电动附件产品销售数量，降低成本。

4. 有利于提高和规范电动汽车整车的生产技术水平。

5. 有利于提高标准的实用性和可操作性。

6. 有利于促进公平竞争，保护供需双方共同利益及社会利益。

五、主要技术内容的确定

1. 动力电池系统电压等级推荐说明：

a) 推荐电压等级分别参考了国内与电动汽车零部件相关的标准中的电压等级：

- i. GB/T 18488.1 《电动汽车电机及其控制器 第 1 部分：技术条件》中规定的电源电压等级要求；
- ii. GB/T 24347 《电动汽车 DC/DC 变换器》中规定的 DC/DC 输入/输出电压等级要求；
- iii. GB/T 22068 《汽车空调用电动压缩机总成》中规定电源的电压等级要求。

b) 考虑了电池模块成组的便利性、通用性和互换性：

目前电动汽车常用的典型电芯主要包括以下四种：传统铅酸电池、镍氢和各种材料体系的锂离子电池，其标称电压如表 1 所示。

考虑到控制整车模块连接、安全保护的成本需要，应采用较高的模块电压；因为电池模块的存放一般是开放式摆放，没有严格的防止触摸安全设施，故模块的成组需要考虑模块电压基本处于安全电压范围；国家标准《安全电压》（GB3805-83）规定安全电压额定值的等级为 42V、36V、24V、12V 和 6V；所以，在正常环境中模块电压选择一般低于 42V。

考虑到目前的电压采集芯片的采样数量主要是 6 的倍数；考虑整车要求能够用整数模块串联达成整车的各种标称电压的需求；考虑目前国内外成熟电动车型上电池模块的成组方式；考虑到通用性和互换性，最终我们推荐电池模块的组合方式见表 1。（本标准中没有对模块电压等级提出要求，但是在标准编制过程中充分考虑了动力电池系统模块设计的通用性和互换性）。

模块标称电压

（表 1）

成组数量(只单体)	铅酸电池(V)	代表车型	镍氢电池(V)	代表车型	锰酸锂(V)	代表车型	磷酸铁锂(V)	代表车型
1	2		1.2		3.6		3.2	
6	12	奇瑞QQ3 EV	7.2	本田思域	21.6		19.2	
8					28.8	三菱 i-MiEV、日产 leaf		
10			12	东风/一汽混合动力客车	36	别克君越	32	奇瑞PHEV
12	24		14.4	奇瑞ISG				

c) 收集了不同厂家电池组电压等级的现状，考虑了电池成组的发展趋势：

在标准编制前期，我们拟定了“电动汽车高压用电系统及零部件电压等级技术规范调查问卷”，对各主机厂的在研和上市的电动汽车动力电池系统电压等级信息进行了收集和总结，回复的 20 份问卷及意见中统计的结果如下：

aa) 总体样本数量为 49 个，其中乘用车样本共计 36 个。

bb) 根据超过 4 个样本的电压划分为区间，分为 5 个区间：

120-160V，278-310V，310-330V，330-360V，500-600V；

不足 4 个样本的电压放在“其它”区间，不推荐电压等级；

cc) 样本信息及样本统计信息详见表 2 和表 3：

(表 2)

电压范围	电压范围	电压范围	电压范围	电压范围	其他明细表，
120-160V， 144V 数量 4 占 该分段样本比	278-310V，288V 数量 3 占该分段 样本比例：43%	310-330V，320V 数 量 5 占该分段样本 比例：56%	330-360V， 346V 数量 4 占该分段样 本比例:33%	500-600V， 576V 数量 3 占该分段 样本比例:43%	由于电压比较 分散，而且属 于小概率，因

例：80%										此未予考虑	
车型	动力电池系统额定电压/V	车型	动力电池系统额定电压/V	车型	动力电池系统额定电压/V	车型	动力电池系统额定电压/V	车型	动力电池系统额定电压/V	车型	动力电池系统额定电压/V
EV	153.6	PHEV	300	EV	312	EV	339	商用车EV	538	商用车BSG	48
HEV	144	HEV	288	EV	316	EV	339.2	商用车EV	544	BSG	108
HEV	144	HEV	288	EV	318	EV	342	商用车EV	565.2	EV	60
HEV	144	EV	300	EV	320	EV	345.6	商用车EV	576	EV	72
HEV	144	EV	307	EV	320	EV	345.6	商用车EV	576	HEV	202
		EV	307	EV	326	EV	360	商用车EV	600	HEV	240
		HEV	288	PHEV	320	EV	336	商用车EV	576	PHEV	384
				PHEV	320	PHEV	336			商用车EV	400
				PHEV	320	PHEV	345.6			商用车EV	384
						商用车PHEV	345.6				
						商用车PHEV	336				
						EV	336				

(表3)

合计

乘用车	14%	19%	25%	25%	0%	17%	100%
	5	7	9	9	0	6	36
总体（乘用车和商用车）	10%	14%	18%	24%	14%	18%	100%
	5	7	9	12	7	9	49
分析结果推荐值/V	144	288	320	346	576		
推荐值占总体样本比列	8%	6%	10%	8%	6%		34%

电压范围分区/V	120-160	278-310	310-330	330-360	500-600	others	
----------	---------	---------	---------	---------	---------	--------	--

我们还分析了2012年和2013年车展及部分网络渠道获得的电动汽车动力电池系统信息总计40个，详见表4与表5。在400-500V区间内共有9个样本，其中400V电压等级占比例为44%，为最高。其他区间内电压等级分布144V、288V、320V、346V、576V所占为最高，与调查问卷分析结果一致。

(表4 车展及网络渠道动力电池系统电压等级信息汇总)

电压范围 120-200V, 144V 数量: 3 占 该分断样本比 例: 75%		电压范围 278-310V, 288V 数量: 1 占该分 断样本比例: 25%		电压范围 310-330V, 320V 数 量: 3 占该分断样 本比例: 67%		电压范围 330-360V, 346V 数量: 4 占该分断 样本比例:43%		电压范围 380-500V, 400V 数量: 4 占该分断 样本比例:36%		电压范围 500-600V, 576V 数量: 2 占该分断 样本比例:30%		其他明细表, 由于其偏离统 计较多, 属于 个例, 因此未 予考虑	
车型	动力电 池系统 额定电 压/V	车型	动力电 池系统 额定电 压/V	车型	动力电 池系统 额定电 压/V	车型	动力电 池系统 额定电 压/V	车型	动力电 池系统 额定电 压/V	车型	动力电 池系统 额定电 压/V	车型	动力电 池系统 额定电 压/V
ISG	144	EV	300	EV	316	EV	345.6	商用车 EV	400	商用车 EV	512	BSG	48
混合动力 客车	144	HEV	288	EV	320	REEV	336	商用车 EV	464	商用车 EV	544	BSG	商用车 115
混合动力 客车	144	HEV	294	商用车 EV	320	商用车 EV	336V	商用车 EV	480	商用车 EV	565.2		
ISG	120	EV	307			商用车 EV	336V	商用车 EV	400	商用车 EV	576		
						REEV	345.6	商用车 HEV	400	商用车 EV	576		
						PHEV	360	商用车 HEV	480	商用车 EV	540		
						商用车 PHEV	346	商用车 EV	450	商用车 EV	540		

								乘用车 EV	400	商用车 EV	576		
								商用车 HEV	476	商用车 EV	600		
								商用车 HEV	388	商用车 EV	540		
								商用车 EV	384				

(表 5 网络渠道及车展动力电池系统电压等级信息)

													合计
乘用车	6.5%	27%	14%	33%	6.5%	6.5%	6.5%	100%					
	1	4	2	4	0	0	1	15					
总体(乘用车和商用车)	10%	10%	7.5%	22.5%	22.5%	25%	2.5%	100%					
	4	4	3	7	11	10	1	40					
分析结果 推荐值/V	144	288	320	346	400	576							
推荐值占 总体样本 比列	7.5%	2.5%	5%	7.5%	10%	7.5%		40%					
电压范围 分区/V	120-200	200-310	310-330	330-360	380-500	500-600	others						

(表 6 网络渠道、车展、问卷调查动力电池系统电压等级信息汇总表)

乘用车	10.5%	19.3%	19.3%	22.8%	5.3%	10.5%	12.3%	100.0%					
	6	11	11	13	3	6	7	57					
总体(乘用车和商用车)	10.1%	12.4%	13.5%	21.3%	15.7%	19.1%	7.9%	100.0%					
	9	11	12	19	14	17	7	89					
分析结果 推荐值/V	144	288	320	346	400	576							
推荐值占 总体样本 比列	8%	4.5%	8%	8%	4.5%	7%		40%					
电压范围 分区/V	120-200	200-310	310-330	330-360	380-500	500-600	others						

车展及网络渠道动力电池系统电压等级信息汇总如表 6 所示，根据动力电池系统电压等级统计结果，我们建议推荐动力电池系统电压等级为 144V、288V、320V、346V、400V、576V；表 7 为推荐动力电池系统电压等级及对常见四种动力电池成组关系列表，所推荐动力电池系统电压等级对常见四种动力电池成组的可操作性较强，这也表明我们推荐动力电池组电压等级的合理性。

考虑到目前低压车型多为配备铅酸电池的低成本的场地车和低速电动汽车，，由于铅酸电池的污染性以及国家新能源产业规划中明确指出重点支持最高车速 $>100\text{km/h}$ 插电式混合动力汽车和纯电动汽车，因此在此标准未予以考虑。

大多数主机厂为便于与市电电压衔接，开发的乘用车电压多在 300-350 V 之间，在此区间内推荐了 2 个电压等级 320V 和 346V。

上汽建议：目前汽车用单芯电缆只有 60V 和 600V 两个等级(GB/T 25085)，我们所分析的数据信息中初步确定的电压等级中有 576V, 但是对于某些零部件（电池组）其工作制已经超过了电缆的 600V 安全限制电压等级，因此建议在 300-600V 之间增加一个 450V 左右的电压等级，而 576V 电压等级应该继续保留，以满足国内现有商用车对电压等级的需求。根据表 2 和表 4 的信息细分分析发现，400V 动力电池系统电压，总体样本数和其附近的样本数比较丰富，因此增加 400V 电压等级。

对于 576V 的电压等级，对两类四类锂电体系都是便于成组的，由于其的最大工作电压大于 600V，超出了线缆的耐压等级（600V 以

下)需求(GB/T 25087-2010),但是考虑到目前大型商用车的工作电压等级基本上都会超过 600V,考虑到大型商用车需要,因此保留 576V 电压等级。

(表 7)

动力电池系统电压等级及对常见四种动力电池成组关系列表

序号	标称电压(V)	铅酸	镍氢	钴镍锰锂	磷酸铁锂	主要车型
		串联数	串联数	串联数	串联数	
1	144	72	120	40	45	中度混合动力车/ 纯电动微型车
2	288	144	240	80	90	混合动力乘用车/ 纯电动乘用车
3	320	160			100	
4	345.6			96	108	
5	400	240			120	纯电动商用车
6	576	288	480	160	180	纯电动商用车

综上所述,在充分考虑了目前各种电动车用主流二次电池电压等级情况,并兼顾了安全、经济、电网电压、现有产品等多方面需求,能够满足电动汽车的一般需要,我们确定推荐整车动力电池系统电压等级为:144V、288V、320V、346V、400V、576V。

2. 电机及其控制器系统电机及其控制器系统电压等级推荐说明:

从电机效率方面考虑,目前电机及其控制器系统电机及其控制器系统上最常使用的功率器件是 IGBT,考虑到电池电压的波动,以及开关电压尖峰,在 $V_{max}/2$ 周围,电压利用率最好,可完全发挥 IGBT 的能力。

直流 300V 左右电压等级相当于交流的 220V,直流 600V 左右电压等级相当于交流 380V;从安全角度考虑,如果可以使用低电压尽

量不使用高电压；乘用车基本存在车载充电的需求，建议采用 300V-350V 电压等级的产品（IGBT 使用 600V/650V）；商用车由于电池能量的需求，多使用 600V 电压等级产品（IGBT 使用 1200V）。

电压等级变化对电机及其控制器系统电机及其控制器系统效率影响小于电压变动比例，300V 左右标称电压工作范围内， $\pm 10V$ 电压等级的变化，对系统效率的影响小于 1%，所以电压等级变动梯度可以定义在 20-30V，1%-1.5%电机及其控制器系统电机及其控制器系统效率影响应当是整车可以接受的。为此，根据电池系统信息，在车辆信息最密集的电压范围内，推荐 288V、320V、346V 作为电压推荐等级。

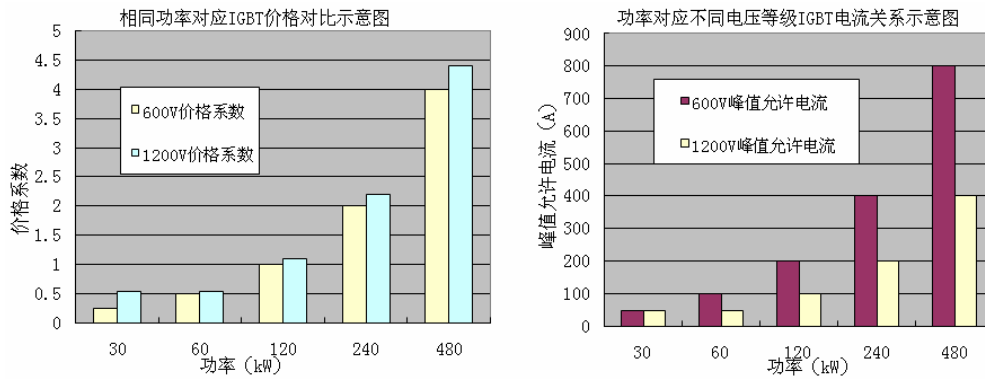
从电机控制器的关键器件 IGBT（占电机控制器总成本的 50%）成本对电压的敏感度来考虑，如下图 1 所示，在功率一定的情况下，IGBT 的成本是基本保持不变的，如下图所示在相同功率下，1200V 系列的 IGBT 产品价格比 600V 产品高 5%-10%，而电流要低于 600V 系列的产品，从而可以选用截面积更小的线束，连接器的体积也可以大大缩小，这两方面都可以降低成本。

为此，根据电池系统信息，在车辆信息最密集的电压范围内，推荐 288V、320V、346V 作为电压推荐等级。虽然，320V 和 346V 电压等级与《GB/T 184881.1 电动汽车电机及其控制器技术条件》推荐电压等级不一致（电机国标在 300-360V 阶段推荐了三个电压等级：312V、336V、360V），但如前面指出，本电压等级标准不是强制性标准，不强制要求完全一致，并不会影响整车对电机及其控制器的选型

与使用，而且 312V、336V、360V 额定电压的电机仍然可以满足前面所分析的 1%整车性能差异的需求。

电机及其控制器系统由于目前纯电动商用车对高功率电机的需要，为降低线路电流，降低成本，考虑目前车用线缆只有两个电压等级的产品 60V 和 600V，考虑动力电池系统成组的方便性和通用性，在 400-500 V 以上推荐电压等级 400 V，而与之对应的电机国标推荐的电压等级 408V 冲突，根据之前对电机及其控制器系统效率与电压等级关系的分析，408V 电机系列产品也是能满足 400V 整车需求；对于 576V 电压等级，电机国标推荐值 540V、576V 两个电压等级与之对应，并能满足整车的 576V 电压等级需求。

(图 1)



综上所述，我们建议电机及其控制器的电压等级为 144V、288V、320V、346V、400 V、576V，与动力电池系统一致。

3. DC/DC 变换器（输入）电压等级推荐说明：

在《GB/T 24347 电动汽车 DC/DC 变换器》中规定 DC/DC 输入/输出电压等级要求为 12V-600V 中 12 倍数的电压数值，而 DC/DC 变换器的关键器件对电压敏感度不强，因此建议 DC/DC 变换器（输入）电

压等级与动力电池系统一致。

4. 空调压缩机总成电压等级推荐说明：

空调压缩机电压等级推荐值需要综合考虑，因为目前空调压缩机必须使用三相 IGBT，即 6 个 IGBT 组成一个模块，而目前 IGBT 产品系列中 600V/1200V IGBT 最低工作电流只有 50A 等级；空调压缩机功率较小，在两种不同电压等级中选用的 IGBT 的电流范围相同，导致 1200V IGBT 成本是 600V 的 2 倍多。

从线束、插接件成本考虑，同等功率下，电压越高，所需电流越小，可以选用截面积更小的线束，连接器的体积也可以大大缩小，这两方面都可以降低成本；因此权衡两者成本，才能够得到电压对总体成本的影响。

(表 8)

不同情况下 PTC 加热器成本构成				
	IGBT	线束连接器	电路板	其他
若使用 IGBT	50%	30%	10%	10%
若使用 MOSFET	≤40%	≥30%	≥10%	≥15%

PTC 加热器电压等级推荐说明：PTC 加热器成本构成如表 8 所示，在使用 IGBT 时，IGBT 所占 PTC 加热器的总成本比例较大，由于 PTC 所使用的 IGBT 为单相 IGBT，即为 2 个 IGBT 封装组成，因此其在同样功率下，电压由 600V 升为 1200V 对其成本影响不大。在使用 MOSFET 时，在同功率条件下 MOSFET 成本对电压不太敏感，同等功率下，电压越高，所需电流越小，可以选用截面积更小的线束，连接器的体积也可以大大缩小，这两方面都可以降低成本；电压等级的高低对绝缘

防护措施的成本影响有限；因此 PTC 加热器电压等级越高，附属线缆等成本越低。建议 PTC 加热器电压等级与动力电池系统一致。

5、动力线缆的电压等级推荐说明：

考虑目前汽车用线缆，只有 60V 和 600V 线束绝缘等级(GB/T 25087)，考虑到目前动力电池系统的工作电压范围，应将电压值定在 <512V，才不会使线束成本及选择余地降低。因此建议在 300-600V 之间增加一个 400V 电压等级，而 576V 电压等级应该继续保留，以满足商用车对电压等级的需求。动力线缆的电压等级仍按 GB/T 25087 执行，动力线缆的电压等级不在本标准中体现。

6、高压配电系统(高压继电器、熔断器、电阻器)的电压等级推荐说明：

高压配电系统（高压继电器、熔断器、电阻器）电压等级，推荐与动力电池系统电压等级一致，理由如下：

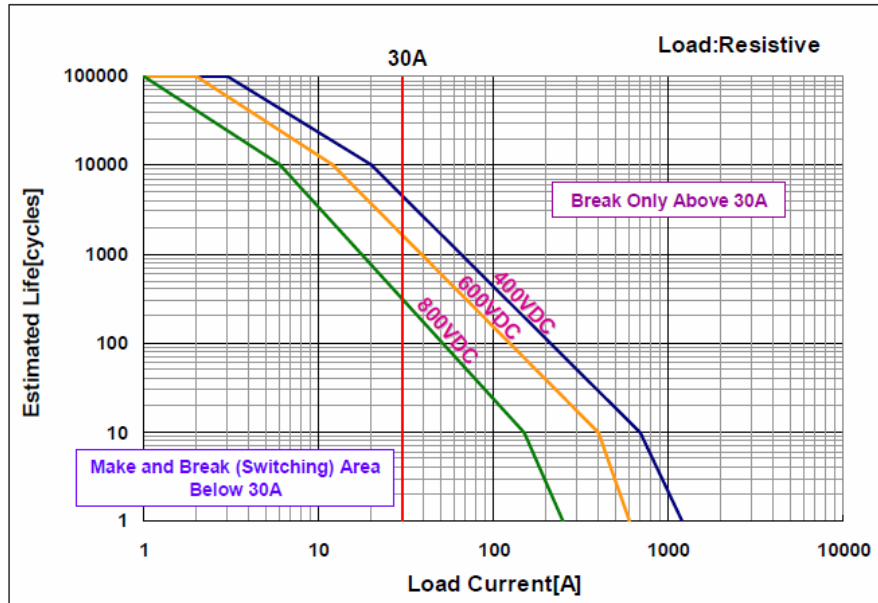
如下图 2 所示：在同样工作电流下，继电器工作电压由 600V 上升到 800V 或更大，继电器电气寿命下降速度加快；电压等级为 600V 以上继电器产品的成本呈现跨越式增长。而目前电动汽车主流的继电器产品的电压等级分度为：400V、600V、800V，能满足电动汽车整车电压等级要求。

高压熔断器电压等级推荐建议：压等级维持在 600V 以下，理由如下：

在同样电流下，熔断器的电压等级的提高会导致熔断器体积增大，相应的也会增加产品重量，这样非常不利于产品向轻量化、小型

化发展。结合所推荐的动力电池系统电压等级也在 600V 之下，因此建议熔断器电压等级与电池系统电压等级一致。

(图 2)



电阻器的电压等级对成本不敏感，电阻器的电压等级建议与动力电池系统一致。

综上推荐高压配电系统电压等级与电池系统电压等级一致。

7、相关企业反馈意见及处理结果详见附件。

五、总结

综合相关标准与以上讨论结果如表 7 所示，我们最终推荐电动汽车动力电池系统、电机及其控制器、空调电动压缩机总成、DC/DC 变换器、PTC 加热器、高压配电系统电压等级为：144V、288V、320V、346V、400V、576V。考虑到目前还有主流混合动力电动汽车，由于其给动力电池系统布置空间有限，加之对动力电池系统能量需求较小，其高压系统的电压等级集中在 144V、288V，而且这两个电等级点对于目前主流电动车电芯（镍氢、锂电）的成组设计都有利的。

对于超级电容混合动力汽车,其输出端用电负载与电动汽车是完全相同的,所以超级电容混合动力汽车同样也可以参考该电压等级规范。

备注:

本编制说明内所提及电压未作说明时都为直流电压。