

## 电动汽车普及形势下汽车库消防给水设计探讨

张 斌<sup>1</sup>, 杨 磊<sup>1</sup>, 麻增龙<sup>2</sup>

(1. 北京东方华脉工程设计有限公司青岛分公司, 山东 青岛 266055;

2. 中国建筑第四工程局有限公司, 广东 广州 511400)

**摘要:**随着电动汽车的大量普及,出现了电动汽车与燃油汽车在车库内混合停放的情况,但目前缺少针对电动汽车车库的专项消防设计标准。通过对电动汽车火灾的特点进行分析,提出在电动汽车与燃油汽车混合车库的消防给水设计时,适当增加室内外消火栓系统和自动喷水灭火系统的火灾延续时间,能有效防止火灾复燃;自动喷水灭火系统采用湿式系统、快速响应喷头,并提高喷水强度,加大作用面积,灭火效果和冷却效果更好;灭火器的配置基准应同时满足B类火灾中危险级场所和E类严重危险级场所的要求,最大保护距离满足B类火灾中危险级的要求;为减少水渍损失,应设置具有相应排水能力的排水设施。本文成果可为同类汽车库中的消防给水设计提供一点借鉴。

**关键词:**电动汽车;混合车库;锂电池;热失控;消防给水;灭火器

**中图分类号:**TU892;TU821

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-8993(2025)02-0031-05

**doi:**10.13402/j.gcs.2025.02.019

## Discussion on fire water supply design for garage under popularization of electric vehicles

ZHANG Bin<sup>1</sup>, YANG Lei<sup>1</sup>, MA Zenglong<sup>2</sup>

(1. Beijing Dongfang Huamai Engineering Design Co., Ltd., Qingdao 266055, Shandong, China;

2. China Construction Fourth Engineering Division Co., Ltd., Guangzhou 511400, Guangdong, China)

**Abstract:** With the widespread popularity of electric vehicles, electric vehicles and fuel vehicles are parked together in garages, but there is currently a lack of special fire protection design standards for electric vehicle garages. By analyzing the characteristics of electric vehicle fires, it is proposed that when designing the fire water supply for mixed garages of electric vehicles and fuel vehicles, appropriately increasing the fire duration of indoor and outdoor fire hydrant systems and automatic sprinkler systems can effectively prevent the re-ignition of fires. The automatic sprinkler fire extinguishing system adopts a wet system and quick-response sprinkler heads, and increases the water spray intensity and the action area, so as to achieve better fire extinguishing and cooling effects; The configuration criteria of fire extinguishers should meet the requirements of Class B fire medium-hazard level places and Class E severe-hazard level places, and the maximum protection distance should meet the requirements of Class B fire medium-hazard level; In order to reduce water spots damage, drainage facilities with appropriate drainage capacity should be installed. The results can provide a certain reference for fire water supply design in a similar vehicle garage.

**Key words:** electric vehicle; hybrid garage; lithium battery; thermal runaway; fire water supply; fire extinguisher

随着我国电动汽车生产技术和国家政策的推广,电动汽车大量进入普通家庭。为方便

收稿日期: 2024-03-08

作者简介: 张 斌(1978—),男,正高级工程师,从事筑给排水和消防给排水设计工作。

通信作者: 杨 磊(1985—),男,高级工程师,从事筑给排水和消防给排水设计工作。

电动汽车的使用,规划阶段对住宅和公共建筑的停车库(场)也提出了建设或预留充电桩的要求。《电动汽车分散充电设施工程技术标准》(GB/T 51313—2018)规定,新建住宅小区的停车位应全部建设充电设施或预留安装条件,社会公共停车场、大型公共建筑停车场等应有不少于 10% 的停车位建设充电设施或预留安装条件。电动汽车节能环保,符合国家绿色发展理念,但同时由于锂电池热失控造成电动汽车自燃的事故也时有发生,停车库内设置合适的消防给水设施,对保障电动汽车消防安全非常重要。本文通过对电动汽车的起火原因和火灾特点进行分析,提出电动汽车与燃油车混合车库中消防给水设计的一些要求,以为设置有电动汽车充电桩的汽车库的消防给水设计提供借鉴。

## 1 电动汽车火灾特点和停车现状

### 1.1 电动汽车起火原因

目前,电动汽车的动力电池主流是锂离子电池。按照正极材料的不同,锂离子电池分三元锂电池、磷酸铁锂电池、锰酸锂电池和钴酸锂电池;按照热稳定性排序,从高到低依次为磷酸铁锂电池、锰酸锂电池、三元锂电池、钴酸锂电池<sup>[1]</sup>。锂离子电池的能量密度大,对自身制造缺陷敏感、易受外界环境刺激,在过热、过充、短路、碰撞挤压等情况下,容易导致锂离子电池热失控诱发火灾<sup>[2-3]</sup>。锂离子电池热失控是电动汽车起火的主要原因<sup>[4]</sup>,电动汽车的安全性在一定程度上取决于动力电池的安全性。

### 1.2 锂电池的火灾特点

对于锂离子电池火灾,国内很多专家做过试验和研究,总结出锂离子电池火灾特点如下。

(1) 事故突发性强<sup>[5]</sup>。电动汽车在充电、行驶、停车时都可能起火。付晋等<sup>[1]</sup>对某型电动汽车一年起火案例分析发现,68% 起火出现在充电过程中,20% 出现在行驶过程中,12% 出现在其他情况下。由此可见,过充是造成锂离子电池热失控引发火灾的主要原因之一。另外,对起火事件分析发现,超过 52% 的起火案例发生在气温较高的 5~8 月,环境温度过高也是导致锂离子电池

热失控起火的主要因素。

(2) 燃烧速度快、火焰温度高。根据美国防火协会(national fire protection association, NFPA)的试验,火势仅仅数秒钟的时间就在动力电池模块内快速蔓延,持续约 27 min。我国消防部门对电动汽车的火灾进行模拟试验后发现,当电动汽车电路故障起火 210 s 后,整辆电动汽车就被火焰包裹,火焰温度达到 1 200 ℃,室内温度超过 660 ℃<sup>[4]</sup>。

(3) 燃烧过程中会出现喷火现象。朱难难等<sup>[6]</sup>试验显示,电动车整车燃烧过程中,底盘电池包会产生喷射火,最远喷射距离可达 2.6 m,很容易引燃周围的车辆和可燃物。

(4) 释放大量有毒有害气体。电池在燃烧的过程中,会释放大量含有烯烃、烷烃、醚、硫化氢等化合物的气体,燃烧前和熄灭后尤为明显<sup>[2]</sup>。CO、CO<sub>2</sub> 浓度也超标,危及人民生命安全。

(5) 持续时间长、容易复燃。锂离子电池燃烧值大,即使明火被扑灭,电池内部依然处于热失控状态,灭火停止后,存在复燃的风险。

(6) 扑救困难。锂电池负极表面的固体电解质界面膜(solid electrolyte interface membrane, SEI 膜)在温度达到 120~140 ℃ 时会发生热分解,使负极裸露与电解液直接接触,发生剧烈的还原作用,释放大量可燃气体和热;当 SEI 膜不断释放热量使电芯温度达到 180~200 ℃ 时,锂电池正极发生分解,释放出活性很高的原子态的氧,导致电解液剧烈氧化分解<sup>[1]</sup>,使电池在缺氧的环境下也能继续燃烧。因此,一旦锂离子电池出现热失控,很难终止其反应,采用窒息的方式扑灭锂离子电池的火灾作用不大。锂离子电池的燃烧发生在电池外壳的内部,由于电池外壳的阻碍,灭火剂无法直接作用到电池内部,无法有效灭火。

### 1.3 电动汽车停车现状

不论在住宅小区,还是公共建筑内,目前都不可避免地出现了电动汽车与燃油汽车混合停放的问题。这种燃油汽车与电动汽车混合停放的汽车库称之为“混合车库”。目前,我国还没有关于电动汽车车库或“混合车库”专项消防设计标准,暂时依据《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》

(GB 50067—2014)进行消防设计。但 GB 50067—2014 适用于停放由内燃机驱动的汽车,并没有针对电动汽车的火灾特性作出相应的规定,因此对于“混合车库”,应结合电动汽车火灾的特点,设置相对应有效的消防设施。

## 2 消防给水设计参数

因“混合车库”的消防设计目前缺少专项设计标准,只能暂时参考 GB/T 51313—2018、《建筑设计防火规范(2018版)》(GB 50016—2014)和 GB 50067—2014 的规定进行消防设计。车库的消防给水系统主要包括室内外消火栓给水系统、自动灭火系统,以及建筑灭火器的配置等。

### 2.1 室内外消火栓给水系统

建筑面积大于 300 m<sup>2</sup> 的汽车库应设置室内消火栓给水系统<sup>[7]</sup>,汽车库室内外消火栓给水系统的用水量要求如表 1 所示<sup>[8]</sup>。

表 1 汽车库室内外消防用水量

车库分类	消防用水量/(L·s <sup>-1</sup> )		火灾延续时间/h
	室外	室内	
I、II类	20	10	2
III类	15	10	2
IV类	10	5	2

GB 50067—2014 参考 GB 50016—2014 中丁类库房进行汽车库消防设计。丁类库房储存难燃烧物品,其特点是高温作用时难燃或微燃,火源移走后燃烧即可停止<sup>[9]</sup>。而从电动汽车的火灾特点可知,电动汽车的锂离子电池一旦高温下发生热失控,移走火源依然可以继续燃烧,更类似于丙类库房内可燃固体。电动汽车在明火被扑灭后,仍需要大量的水持续冷却<sup>[10]</sup>,火灾延续时间大大延长。周冬冬等<sup>[5]</sup>认为,扑灭电动汽车锂离子电池火灾时,水枪的使用时间应大于 2 h,火灾延续时间与丙类库房相似。因此,将“混合车库”火灾延续时间取 3 h,并参照丙类库房要求对室内外消火栓消防用水量进行调整,如表 2 所示<sup>[11]</sup>。

### 2.2 自动灭火系统

I、II、III类地上汽车库(敞开式汽车库除外)、车位数大于 10 辆的地下或半地下汽车库、机械车库等,均应设自动灭火系统<sup>[7]</sup>。汽车库中

表 2 汽车库室内外消防用水量调整

车库分类	消防用水量/(L·s <sup>-1</sup> )		火灾延续时间/h
	室外	室内	
I类	40	25	3
II类	35	25	3
III类	25	25	3
IV类	25	15	3

可使用的自动灭火系统有自动喷水灭火系统(以下简称“自喷系统”)、泡沫-水喷淋系统、高倍数泡沫灭火系统、二氧化碳灭火系统等。

#### 2.2.1 灭火系统的选择

“自喷系统”是汽车库中最常用的一种自动灭火系统。“自喷系统”的灭火剂为水,系统投资低、灭火效果好、操作管理方便、冷却性能好,其冷却、窒息和水力冲击作用,用于扑救固体火灾特别有效<sup>[12]</sup>。在电动汽车火灾中,当明火被扑灭后,“自喷系统”持续、大量地喷水降温,冷却效果明显,能有效防止锂电池复燃。

高倍数泡沫灭火系统一般应用于地下或半地下汽车库<sup>[8]</sup>,可采用全淹没系统或局部淹没系统。高倍数泡沫的泡沫层有冷却、隔绝氧化和抑制燃料蒸发等作用,对油类火灾效果尤其明显,大量的泡沫还可以淹没处于火场内的人员和设备,使其免受火焰辐射热的伤害;同时,泡沫本身无毒,其中含有大量空气,不会造成人员窒息或受其他伤害<sup>[13]</sup>。高倍数泡沫的隔绝作用,可避免着火电动汽车将周边的车辆或物品引燃,控制火灾过火面积。朱难难等<sup>[6]</sup>在全尺寸电动汽车火灾特性试验中,采用细水雾和压缩空气泡沫进行灭火,发现压缩空气泡沫灭火优于细水雾。但高倍数泡沫的热稳定性差,易受风的影响,泡沫原液用量大且需要定期更换,增加后期维护工作量和费用。

二氧化碳灭火系统技术成熟,灭火剂价格低廉,灭火效率高。但 CO<sub>2</sub> 本身具有低毒性,浓度达到 20% 时会致死。汽车库面积较大时,管网成本和施工难度增加<sup>[13]</sup>。因此,二氧化碳灭火系统在汽车库内应用受限,仅适用于无人员停留的室内无车道且车位数不大于 50 辆的机械式汽车库<sup>[8]</sup>。

国内多名学者还对水喷雾、全氟己酮、压缩空气泡沫等用于扑灭锂电火灾的效果做了研究,

如：张军等<sup>[3]</sup>通过试验发现，不同压力细水雾均能扑灭三元锂电池的明火，但随着压力的减小，扑灭明火所需时间和耗水量增加，1.2 MPa 细水雾扑灭明火后三元锂电池出现复燃；周洁等<sup>[14]</sup>试验发现，全氟己酮和细水雾均能快速扑灭电池热失控产生的明火，且能较好地抑制电池温升，但没有明显降低电池表面温度，未能阻止电池内部反应，明火熄灭后几分钟电池发生复燃；王静萱等<sup>[15]</sup>试验发现，压缩空气泡沫对锂离子电池明火具有极强的快速灭火和降温能力，并且具有长效的抗复燃能力，对电池热失控产生的可燃气体也具有一定抑制能力。因此，压缩空气泡沫比较适合用于扑灭电动汽车火灾，但由于目前缺少相应的国家标准，使用受到一定限制。

综上所述，常用的灭火剂中，水最易获取且经济适用。“自喷系统”既能满足普通汽车库灭火要求，又能根据电动汽车的火灾特性，持续喷水冷却来防止复燃。因此，“自喷系统”作为当前推荐的自动灭火设施。“自喷系统”有湿式系统、干式系统、预作用系统、雨淋系统。针对锂离子电池火灾燃烧速度快的特点，“自喷系统”需要响应及时，喷头能够及时动作喷水。干式系统喷水时间因喷头开启后配水管道需要排气充水而滞后，预作用系统不允许采用快速响应喷头<sup>[15]</sup>，因此均不适合用于“混合车库”。雨淋系统响应速度快，开启后大面积喷水，灭火效果好，但喷水强度大，用水量大。因此，“混合车库”的“自喷系统”建议采用湿式系统，喷头采用快速响应喷头。

### 2.2.2 “自喷系统”设计参数

(1) 喷水强度及作用面积。车载电池一般设置在汽车底盘底部，“自喷系统”无法喷洒到电池表面，冷却效果大大降低，提高“自喷系统”喷水强度很有必要。电动汽车由于锂离子电池热失控引发的火灾，火灾蔓延速度快，考虑到闭式喷头开启滞后，为有效控制火灾，应适当加大作用面积。在研究数据不足的情况下，将火灾危险等级较燃油汽车库提高一级，按照严重危险级 I 级取值，即喷水强度为  $12 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ ，作用面积为  $260 \text{ m}^2$ 。

(2) 火灾延续时间。GB 50067—2014 规定，

汽车库内“自喷系统”的火灾延续时间取  $1 \text{ h}$ <sup>[16]</sup>。美国消防研究基金会试验发现，扑灭锂电池火灾的时间为  $6 \sim 49 \text{ min}$ ，灭火后  $22 \text{ h}$  发生一次复燃，因此灭火准备时间应不小于  $1.0 \text{ h}$ <sup>[16]</sup>。所以，“混合车库”自动喷水灭火系统的火灾延续时间应适当延长，建议取  $1.5 \text{ h}$  或  $2.0 \text{ h}$ ，这也符合《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2017)中“自喷系统”火灾延续时间不小于  $1 \text{ h}$  的要求。

### 2.3 消防排水系统

当“混合车库”的消防设计用水量提高、火灾延续时间延长时，如果没有设置相匹配的消防排水设施，将导致地面大量积水，严重时可能浸泡该场所的其他车辆，造成不必要的水渍损失。宗磊等<sup>[17]</sup>试验发现，一旦电动汽车电池系统的密封箱体密封性能降低导致进水，即使浸泡在净水中，也会电解水产生少量的  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$ ；若水中含有导电的盐类，长时间浸泡会发生打火和燃烧的情况。为避免消防期间发生车辆被积水浸泡的情况，“混合车库”内应设置消防排水，当消防排水设施设有潜污泵时，应采用消防电源供电，保证消防期间正常排水。

### 2.4 建筑灭火器配置

目前，燃油汽车库内灭火器配置危险等级为中危险级<sup>[17]</sup>，火灾种类为 B 类火灾。“混合车库”配置有充电桩，灭火器有效扑灭电动汽车火灾的可能性较小。灭火器的配置主要用于扑救充电设施，因此火灾种类按 E 类电气火灾考虑。由于电动汽车充电过程中火灾风险较大，混合车库灭火器配置的危险等级按严重危险级考虑<sup>[18]</sup>。“混合车库”中用于保护燃油汽车和电动汽车充电桩时灭火器配置参数如表 3 所示。由表 3 可知：按 B 类火灾中危险级配置的灭火器的最大保护距离更小。因此“混合车库”在配置灭火器时，应按照 B 类火灾中危险级场所的要求确定灭火器的最大保护距离，按照同时满足 B 类火灾中危险级场所和 E 类火灾严重危险级场所的要求确定灭火器的最低配置标准。灭火器的选择要同时满足扑灭 A、B、E 类火灾的要求，建议选用磷酸铵盐干粉灭火器。当采用手提式灭火器时，药剂充装量不小于  $5 \text{ kg}$ 。

表3 灭火器配置参数

保护部位	火灾种类	危险等级	最大保护距离/m		单具灭火器灭火级别的最小配置	单位灭火级别可保护的面积/m <sup>2</sup>
			手提式	推车式		
燃油汽车	B类	中危险级	12	24	55B	1
电动汽车	E类	严重危险级	15	30	3A	50

### 3 结 论

(1) “混合车库”室内外消火栓给水系统建议参考丙类库房进行设计。

(2) “自喷系统”采用湿式系统,喷头采用快速响应喷头,提高火灾危险等级、扩大作用面积和增加火灾延续时间。“混合车库”建议按照严重危险级I级取值,喷水强度为12 L/(min·m<sup>2</sup>),作用面积为260 m<sup>2</sup>。

(3) “混合车库”配置的灭火器最大保护距离满足B类火灾中危险级场所的要求,灭火器的最低配置要同时满足B类火灾中危险级场所和E类火灾严重危险级场所的要求。灭火器建议选用磷酸铵盐干粉灭火器,采用手提式灭火器时,药剂充装量不小于5 kg。

(4) “混合车库”应设置消防排水设施,以降低水渍损失和积水对锂电池的腐蚀。

### 参考文献:

- [1] 付晋,雍艾华,黄勇. 电动汽车锂电池灭火技术研究[J]. 消防科学与技术,2020,39(3):374-377.
- [2] 蔡兴初,朱一鸣,陈彬,等. 电动汽车充电停车楼消防设施配置研究[J]. 给水排水,2017,43(9):89-92.
- [3] 张军,王子阳,陆睿哲,等. 不同压力细水雾抑制三元锂离子电池热失控效果试验研究[J]. 消防科学与技术,2023,42(5):681-685.
- [4] 赵煜灵,刘福光,叶志良. 电动汽车充电设施汽车库灭火系统设计探讨[J]. 给水排水,2020,46(2):138-144.
- [5] 周冬冬,刘洪海,高洁. 电动汽车库的消防给水设计

探讨[J]. 给水排水,2019,55(10):111-113;117.

- [6] 朱难难,王学辉,余佳灵,等. 全尺寸电动汽车火灾特性试验研究[J]. 消防科学与技术,2023,42(1):38-41.
- [7] 建筑防火通用规范:GB 55037—2022[S]. 北京:中国计划出版社,2022.
- [8] 汽车库、修车库、停车场设计防火规范:GB 50067—2014[S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [9] 建筑设计防火规范(2018版):GB 50016—2014[S]. 北京:中国计划出版社,2018.
- [10] 代旭日,何宁. 锂电池火灾特点及处置对策[J]. 消防科学与技术,2016,35(11):1616-1619.
- [11] 消防给水及消火栓系统技术规范:GB 50974—2014[S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [12] 黄晓家,姜文源. 自动喷水灭火系统设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [13] 陈耀宗. 建筑给排水设计手册(上册)(第三版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [14] 周洁,何骁龙. 全氟己酮和细水雾抑制三元锂离子电池火灾有效性研究[J]. 消防科学与技术,2023,42(2):236-240.
- [15] 王静萱,赵彦卿. 压缩空气泡沫扑救锂离子电池火灾及抗复燃性能研究[J]. 消防科学与技术,2023,42(1):111-114.
- [16] 柯锦城,杨旻,谢宁波,等. 锂电池电动汽车灭火救援技术探讨[J]. 消防科学与技术,2017,36(12):1725-1727.
- [17] 宗磊,盛军. 锂离子动力电池系统的浸水试验及分析[J]. 北京汽车,2020(1):22-26.
- [18] 建筑灭火器配置设计规范:GB 50140—2005[S]. 北京:中国计划出版社,2005.