

# 新能源汽车电池包液冷方案流道 CFD 仿真设计

刘伟哲

(河北师范大学 河北 石家庄 050000)

**摘要:** 新能源汽车电池包液冷概念设计阶段, 对其流道进行流体力学仿真设计非常重要。本文利用流道三维图形和流体力学计算方法, 得到其流场液体流道滞止区、速度梯度大的区域、评估冷却管道的冷却性能, 以及压力损失较大的区域, 为电池包液冷泵选型提供指导。

**关键词:** 电池热管理; 电池包液冷流道; 流体力学分析; 仿真设计

## 0 引言

在新能源汽车设计过程中, 电池包的冷却系统的设计是汽车设计的核心过程, 目前新能源汽车电池包在充电过程中以及运行过程中, 如果不采取散热措施, 电池温度超过 80℃ 时, 就会导致发热失控, 所以对电池进行散热处理非常重要。

电池包热管理系统中, 目前有空气冷却、相变材料冷却和液体冷却等方式, 其中的液体冷却方式与传统空气冷却形式相比, 液体冷却介质导热能力强、传热速率较快, 可用于冷暖双向热控。在液冷结构设计中, 国内汽车品牌冷却水道有不同的设计方案, 比如通用沃蓝达 (Volt) 的冷却液为乙二醇溶液, 每个软包电芯大面冷却, 并行流道、紧凑性强、成本较低, 与 Volt 的并行流道相比, 特斯拉的液冷采用串行流道, 冷板安装于电池间隙, 结构设计难度较大, 同时, 蛇形冷板在较大程度上增加了液冷系统的压力损失。所以, 水道的结构形式对于冷却系统的冷却效能至关重要。

## 1 液冷水道仿真计算

本文利用 CFD 方法, 从概念设计阶段利用 CAE 仿真手段对初步设想进行验证优化, 首先利用设计的三维模型提取流道, 运用计算流体力学 (CFD) 对流场和温度场进行计算; 通过计算得到的速度场可以识别出液体流道滞止区, 速度梯度大的区域; 通过换热系数的分布可以评

估冷却管道的冷却性能; 通过压力分布可以显示出压力损失较大的区域, 计算压力损失, 为液冷泵选型提供指导。

### 1.1 液冷系统三维计算域模型

首先将 SolidWorks 模型进行几何清理简化, 提取流道, 2 根入口管, 1 根出口管设计, 共 4 组并联回路 (图 1、图 2)。

### 1.2 三维网格划分

三维网格尺寸参数设定如表 1 所示。

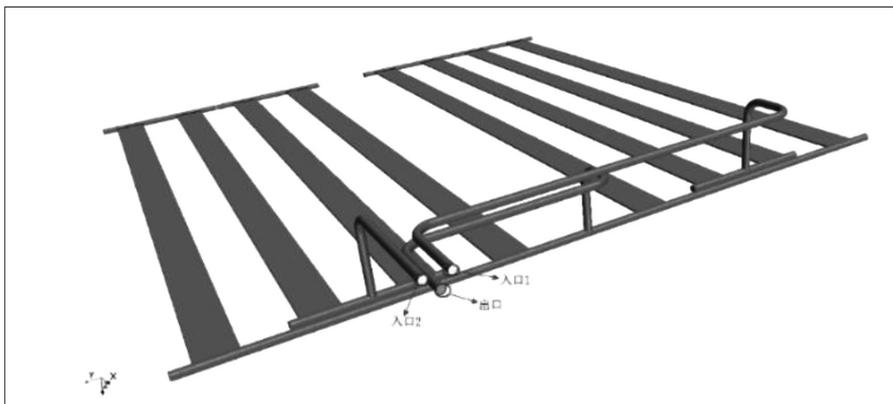


图 1 冷却水道三维模型

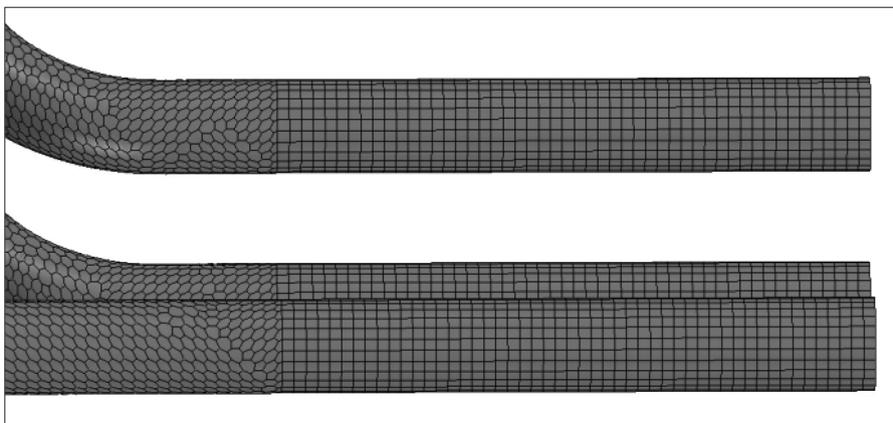


图 2 三维网格划分

表1 三维网格划分参数

名称	边界层	
	圆管 (D=20mm)	厚度
增长率		1.3
层数		3
铝板 (D=4mm)	厚度	0.5
	增长率	1.2
	层数	3

三维网格划分过程中,在总管速度入口与出口处设定拉伸层网格,以平缓流场,避免CFD计算出现回流与发散现象(参数100mm,50层,增长因子1)。在生成体网格之前要注意生成模型特征线,避免因多面体网格的存在,较大程度上改变几何特征。将三维模型导入前处理软件,进行几何清理,提取冷却液主管路与冷却板流道,划分面网格,star划分体网格,总数2386225。图3为三维网格的局部放大图。

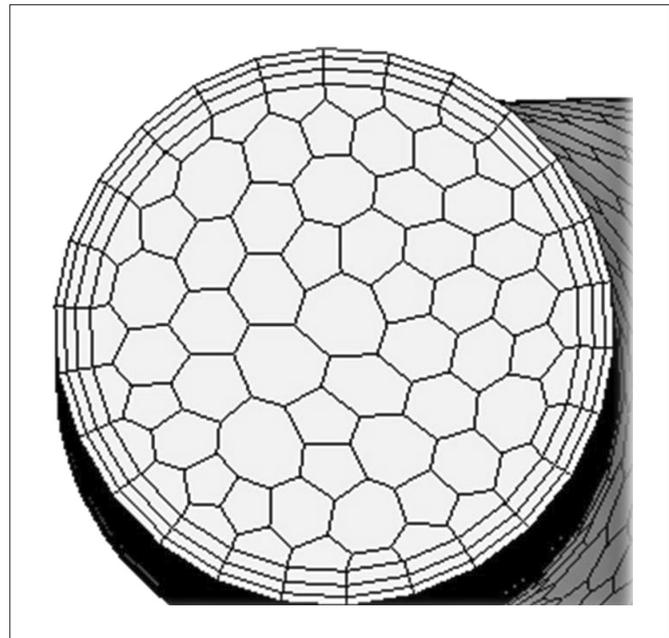


图3 三维网格局部放大图

### 1.3 计算边界条件与参数设置

在进行流体力学分析前,要设定边界条件。

入口:质量入口边界条件为0.28kg/s,16.8L/min;进口温度为25℃(298K)。

出口:压力边界条件,出口压力为1个标准大气压;出口温度为27℃(300K)。

其他壁面无滑移 wall;铝板管路区域40℃(313K)。

利用STAR-CCM分离流与分离能量求解器:稳态计算2000步。计算过程中边界条件与计算参数设置如下。

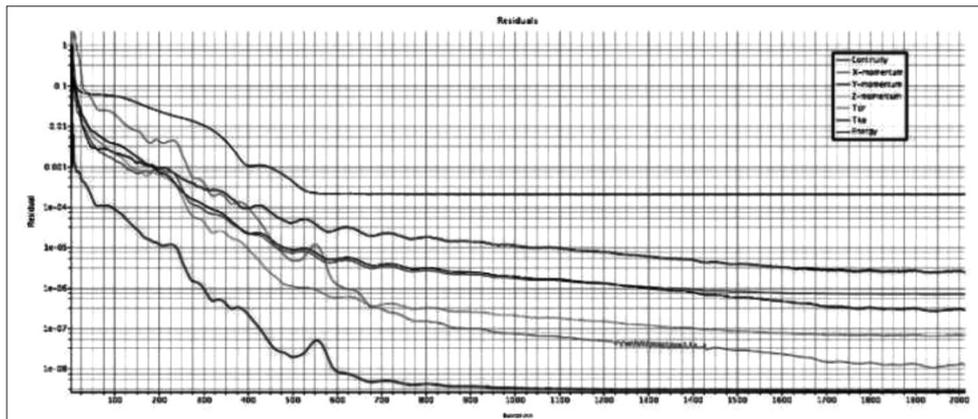


图4 残差曲线图

Segregated Flow(Velocity) under-relaxation factor=0.7

Segregated Flow(Pressure) under-relaxation factor=0.7

K-Epsilon Turbulence under-relaxation factor=0.8

K-Epsilon Turbulence Viscosity under-relaxation factor=0.6

通过监控残差曲线趋势与出入口质量流量一致性,判定计算收敛。

## 2 计算结果分析

### 2.1 管道内部冷却液流速分析

方形冷却管道部分内壁表面流速较低,由于摩擦阻力的存在,通过查看管道切面流速,可以得知采用对称

结构,4个并联回路设计的合理性,进口管道与出口管道流速较为均匀一致。在部分直角过渡区域,出现了流动死区,建议改为圆角过渡,并去掉不必要的管道耳朵设计(图6)。

Mass Flow 进 (kg/s)	Mass Flow 出 (kg/s)
-2.800000e-01	-2.800000e-01

图5 计算结果

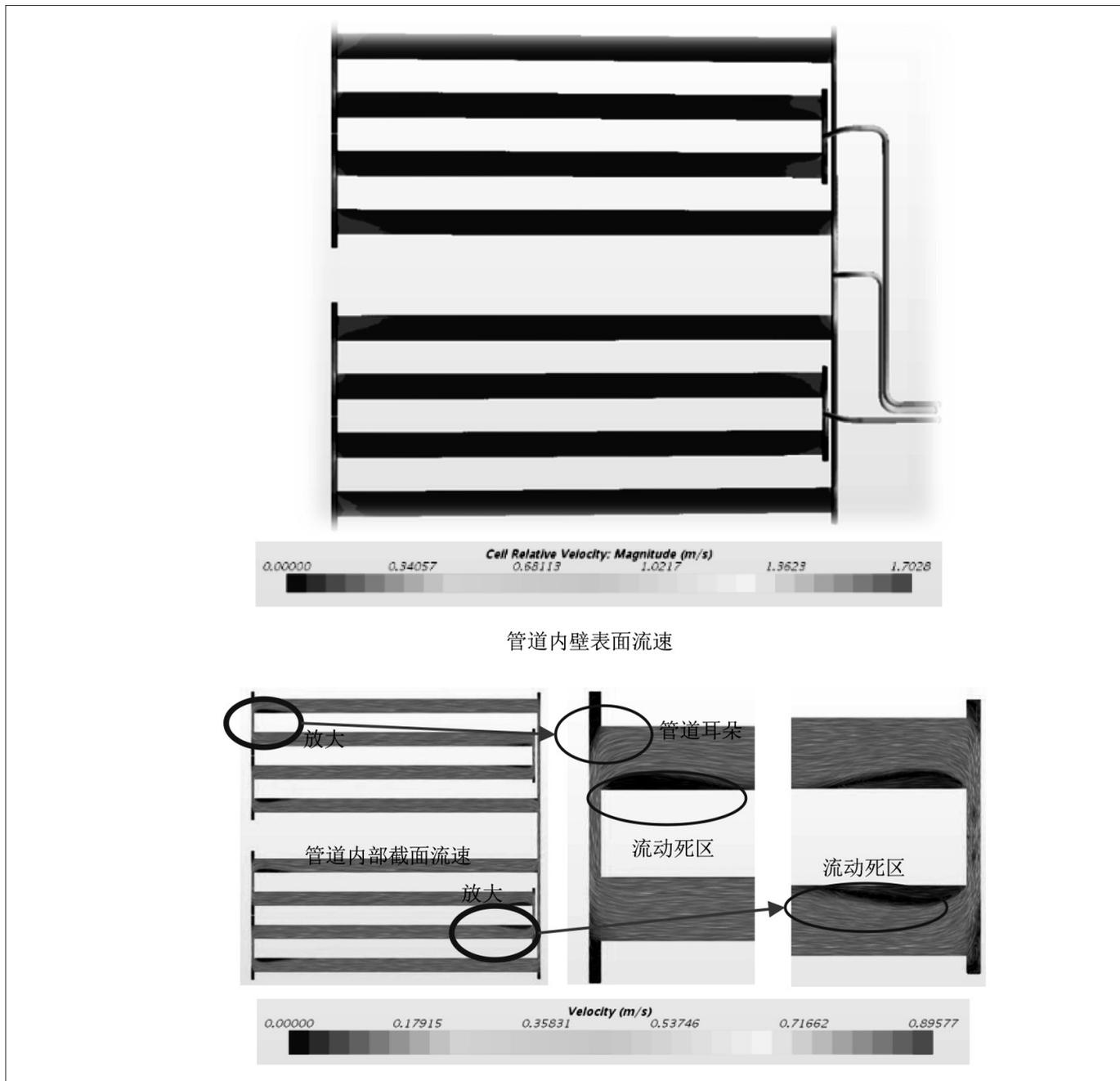


图6 管道内壁冷却液流速分析

### 2.2 管道内冷却液流量分析

计算结果中的流量分析如表2所示。

各模组冷却液流量均匀性较好，证明采用并联回路设计可行。各并联回路总流量占总质量入口流量的99%，在可接受范围之内。这是由于网格计算误差所致，并非结构设计缺陷。

### 2.3 换热系数分析

管道内换热系数如表3所示。

根据换热系数云图，通过指定边界温度，稳态分析可初步计算边界换热系数，用于对流传热性能评估。模组冷却管道对流换热系数分布如表3所示：冷却管道平

表2 各进/出口流量分析

进口	流量 / (kg/s)	百分比 /%	分析
进 -1	0.0646	23.07	总流量 0.28kg/s
进 -2	0.0751	26.82	
进 -3	0.075	26.79	
进 -4	0.0646	23.07	
出口	流量 / (kg/s)	百分比 /%	计算误差 99.75%
出 -1	0.0648	23.14	
出 -2	0.075	26.79	
出 -3	0.0753	26.89	
出 -4	0.0649	23.18	总流量 0.28kg/s
			计算误差 99.99%

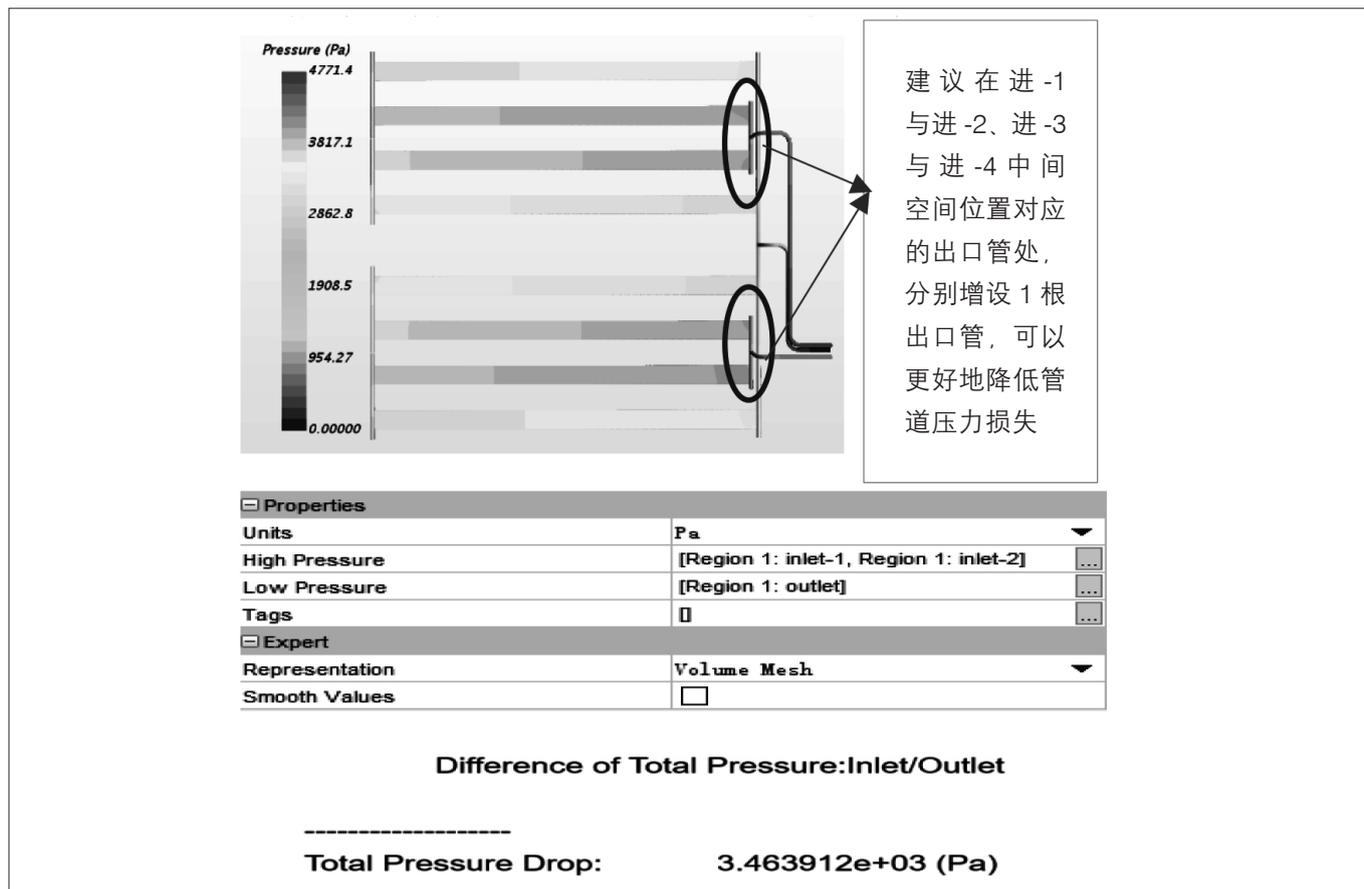


图7 管道压力分析图

表3 管道内换热系数

进口	换热系数 / (W/m <sup>2</sup> ·K)	出口	换热系数 / (W/m <sup>2</sup> ·K)
进 -1	9387.7	出 -1	9369.6
进 -2	9506.8	出 -2	9507.2
进 -3	9485.6	出 -3	9506.8
进 -4	9366.2	出 -4	9375.4

均换热系数 9438.2W/m<sup>2</sup>·K。

### 2.4 管道压力变化报告分析

创建 pressure drop 报告如图7所示, 计算总入口与出口的压降为 3.46kPa, 数值合理, 根据压降选取与之相匹配的液冷泵。

### 3 结语

本文利用流体力学分析方法对电池包冷却系统进行分析。根据分析结果得出: 系统采用对称结构, 4个并联回路设计, 各模组冷却液流量均匀性较好, 证明了采用并联回路设计的可行性。部分直角过渡区域建议改为圆角过渡, 并去掉不必要的管道耳朵设计。

冷却液总流量 16.8L/min 工况, 冷却管道平均换热系数 9438.2W/m<sup>2</sup>·K, 较低。具体换热性能的评估, 需

要后续整个电池模组固体域液冷的耦合温度场分析。

整个 PACK 模组总入口与出口的压降为 3.46kPa, 数值合理, 根据压降选取与之相匹配的液冷泵。建议在进 -1 与进 -2、进 -3 与进 -4 中间位置对应的出口管处, 分别增设 1 根出口管, 可以更好地降低管道压力损失。

**基金项目:** 河北师范大学职业技术学院教学改革研究项目, 编号 2021ZJJG005。

### 参考文献:

- [1] 马德粮. 新能源汽车技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- [2] 刘斌. 电动车辆动力电池包热管理控制策略研究 [D]. 北京: 清华大学, 2011.
- [3] 卢广冯. 汽车发动机冷却水泵电力驱动与控制系统研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2002.
- [4] 郑明超. 某新能源汽车电池热管理机组振动分析 [J]. 汽车工程师, 2018(11): 31-34.

**作者简介:** 刘伟哲 (1973-), 女, 汉族, 河北石家庄人, 硕士研究生, 副教授, 研究方向: 汽车设计。