

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2014.03.010

等离子割炬喷嘴热-流耦合分析及优化设计

曲鲁滨¹, 王仲勋^{1,2}

(1. 烟台职业学院 船舶工程系, 山东 烟台 264670; 2. 安徽理工大学 机械工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 等离子割炬工作原理复杂, 喷嘴在冷却水温度场和流场耦合作用下工作, 实物实验难度较大, 文章采用 CFD 软件针对两种割炬喷嘴进行数值模拟, 分析在不同冷却水流速度下的温度云图和温度曲线图, 确定喷嘴结构, 给出建议冷却水流速度。

关键词: 等离子割炬; 热-流耦合; CFD; 优化设计

中图分类号: TH89

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2014)03-0250-03

Heat-fluid coupled analysis of plasma cutting gun nozzle with optimization design

Qu Lubin¹, Wang Zhongxun^{1,2}

(1. Shipping Engineering Department, Yantai Vocational College, Yantai 264670, China;

2. College of Mechanical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: The practical experimenting of plasma cutting gun nozzle is difficult due to the coupled effect of temperature field and flow field of cooling water. Numerical simulation of two types of plasma cutting gun nozzle was made based on CFD. The temperature cloud diagram and curves under different cooling water flow rate were analysed. The structure of plasma cutting gun nozzle was presented with the recommended cooling water flow rate.

Keywords: plasma cutting gun nozzle; heat-fluid couple; CFD; optimization design

等离子割炬喷嘴在工作过程中, 电弧须经喷嘴孔道压缩来提高电弧能量密度以达到切割工件的目的。喷嘴在电弧热作用下, 温度较高, 需进行强制水冷却, 等离子割炬喷嘴在冷却水温度场和流场耦合作用下工作。故要对喷嘴结构进行优化设计, 进行喷嘴冷却水道热-流耦合分析非常必要。由于等离子割炬工作原理复杂, 实物实验不易实现, 本文采用 CFD 软件 SolidWorks Flow Simulation 进行冷却水道流场的数值模拟。针对前期考虑流场优化设计的两种等离子割炬喷嘴, 考虑热-流耦合作用, 对其冷却水道内部流场进行仿真分析, 分析不同冷却水流速度下的温度云图和温度曲线图, 从而确定喷嘴结构及冷却水流速度。

1 结构简介及几何模型

如图 1, 2 为喷嘴冷却水道简化模型。

喷嘴冷却水道流体流动可用 Navier-Stokes 方程及能量方程表示:

$$\frac{du}{dt} = f - \frac{1}{\rho} \nabla p - \frac{1}{\rho} \nabla \left(\frac{2}{3} \mu \Delta u \right) + \frac{1}{2} \nabla (2\mu s) \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = Q_H + W \quad (2)$$

式(1)中: $\frac{du}{dt}$ 为流体质点的加速度; f 为水流质点加速度; $\frac{1}{\rho} \nabla p$ 为单位质量流体作用在微团上的

收稿日期: 2014-05-09

基金项目: 山东省高等学校科研计划项目资助(J12LB53)

第一作者简介: 曲鲁滨(1963-), 男(汉), 山东东营人, 硕士, 副教授, 研究方向: 计算机辅助设计。

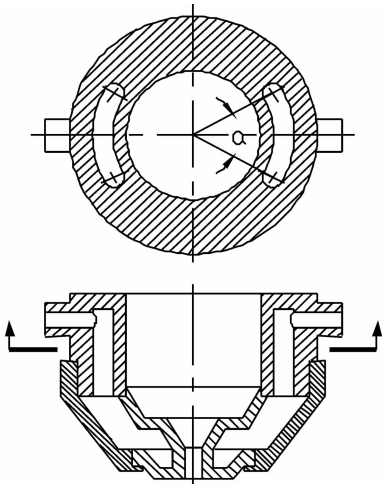


图1 喷嘴冷却水道简化模型1

Fig.1 Simplified model One of nozzle cooling channel

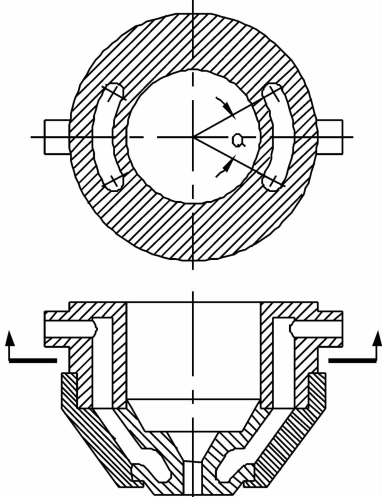


图2 喷嘴冷却水道简化模型2

Fig.2 Simplified model Two of nozzle cooling channel

压强合力; $\frac{1}{\rho}(\frac{2}{3}\mu\Delta u)$ 为单位质量流体作用在微团上的粘性体积膨胀力; $\frac{1}{\rho}\nabla(2\mu s)$ 为单位质量流体作用在微团上的粘性偏应力张量合力。

式(2)中, E 体耗 V 内流体的总能量; Q_H 为单位时间内由外界传入流体的热量; W 为单位时间内外界对流体所做的功。

2 求解设置及仿真结果

2.1 求解设置

等离子弧工作原理极其复杂,且在工作过程中参数变化很大,仿真分析中有必要对其工作状况进行简化。假定热源为喷嘴压缩孔道壁面温

度,设定温度值 1 300 K,水冷,故忽略模型与空气的对流传热影响。入口边界条件设置为 Flow Openings、Inlet Velocity、Normal to Face、水流速度分别为 $v = 3, 8$ 和 14 m/s ;出口边界条件设置为 Pressure Openings、Static Pressure、1 个标准大气压;固体边界条件 $V_x = V_y = 0$;Fluid Type and Physical Features 中选择 Heat Transfer in Solids ;Wizard 设置为 Internal,计算精度 3 级,流体与固体初始温度为 293 K,水平均流速及喷嘴平均温度为收敛目标。

2.2 仿真结果

仿真可得对称面温度云图、轨迹线 1—5 温度曲线图如图 3 ~ 图 8。

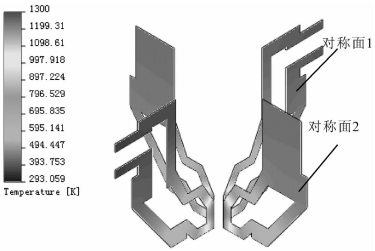


图3 对称面温度云图

Fig.3 The temperature distribution of symmetry planes

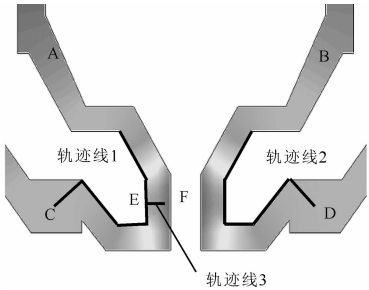


图4 对称面1温度云图

Fig.4 The temperature distribution of symmetry plane 1

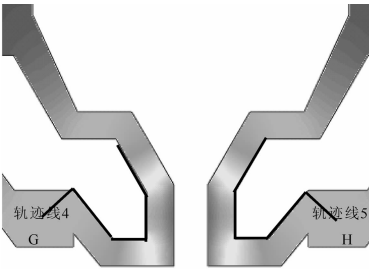


图5 对称面2温度云图局部放大图

Fig.5 Partial enlarged drawing of temperature distribution of symmetry plane 2

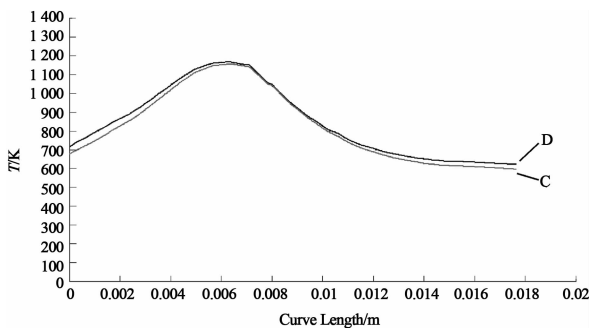


图 6 轨迹线 1、2 温度曲线图

Fig. 6 Path curve of temperature along path line 1 and 2

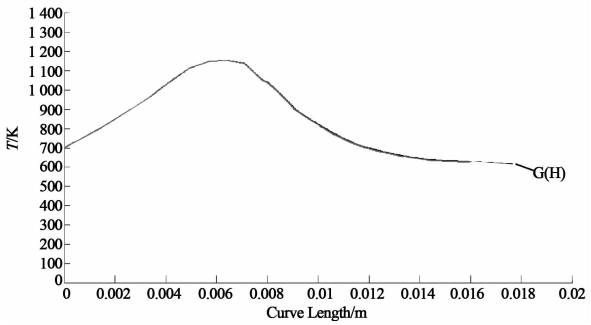


图 7 轨迹线 4、5 温度曲线图

Fig. 7 Path curve of temperature along path line 4 and 5

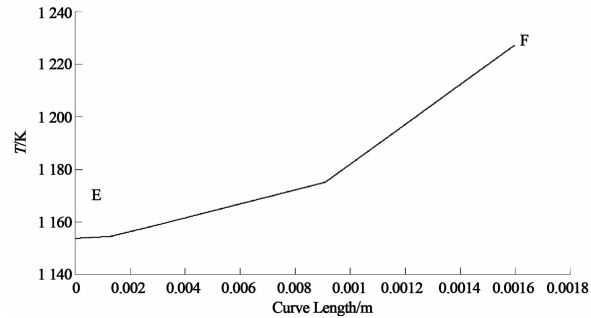


图 8 轨迹线 3 温度曲线图

Fig. 8 Path curve of temperature along path line 3

2.3 结果分析

由图 4 和 6 可知,沿轨迹线 1、2 的喷嘴内壁面温度变化趋势基本相同,轨迹线 2 稍高于沿轨迹线 1,原因是冷却水流速度在进水口侧略高于出水口侧,且热量随冷却水从进口被带到出口。

参考文献:

[1] 王仲勋,代丽华. 等离子割炬喷嘴冷却水道流场仿真[J]. 煤矿机械,2012,33:68 – 69.
[2] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

A、B 两点温度明显低于 C、D 点,故选择 C、D 点作为温度敏感点。由图 5 和图 7 可知,轨迹线 4、5 温度曲线图重合,且温度总体上稍高于轨迹线 1 而略低于轨迹线 2,原因是对称面 2 两侧的冷却水流流场对称。故可只考虑对称面 1 内轨迹线 1、2 喷嘴内壁面及温度敏感点 C、D 的温度。图 8 表示喷嘴沿轨迹线 3 的温度分布情况,即分析喷嘴压缩孔道径向温度分布情况,可以作为喷嘴冷却情况的重要衡量标准。喷嘴硅橡胶密封圈分布在喷嘴 A、B、C、D 四点位置,且其需用温度为 600 K,为保证其良好的工作性能及寿命,温度最好控制在 500 K 以下。

表 1 2 种典型结构在不同冷却水流速度下仿真结果
Tab.1 The simulation result of two typical nozzles under different cooling water flow speeds

速度/ (m · s ⁻¹)		温度/K				轨迹线	
		A、B 点	C、D 点	G、H 点	E、F 点	1、2	4、5
结构 1	3	300	600/ 630	610	1 155/ 1 225	2 比 1 高	重合
	8	300	525/ 560	530	1 130/ 1 215	2 比 1 高	重合
	14	300	500/ 530	510	1 125/ 1 213	2 比 1 高	重合
结构 2	3	300	505/ 520	510	1 010/ 1 170	2 比 1 高	重合
	8	300	480/ 490	485	980/ 1 150	2 比 1 高	重合
	14	300	450/ 460	455	960/ 1 143	2 比 1 高	重合

3 结论

分析表 1 数据可知:随着冷却水流速度增大,结构 1 与结构 2 冷却效果逐渐提高,但是结构 C、D 点温度一直在 500 K 以上;结构 2 在 $v = 8 \text{ m/s}$ 时,C、D 即低于 500 K,但随着冷却水流速度继续增大,轨迹线 3 的温度下降不明显,当冷却水流速度高至 14 m/s 时,E、F 点分别只有 20 和 7 K 的下降。故结构 2 冷却效果比较理想,冷却水流速度选择 8 m/s 左右。

室,堪称近代书法大全^[4]。这些文学作品及书法作品不仅仅是对山庄的介绍和褒扬,更为提升山庄的文化内涵拓展了审美空间,特别是对于主要功能为墓地的山庄更为重要,极大地增加山庄的价值性和观赏性^[5]。

3 结语

通过对古槩山庄的部分文献资料及相关图片资料逐一解读,梳理出古槩山庄的沿用族葬的墓葬方式、打破风水学说的造园思想、崇尚自然的造园选址、严谨对称的结构布局、中西合璧的建筑风格、层次分明的植物配置、文学书法的艺术融汇等七个方面的造园文化,可以清楚地看出古槩山庄具有典型的闽南园林风格,把闽南文化所具备的

开放性、兼容性、多元化在园林中表现得淋漓尽致。其中最具特色的有:一是在园林建筑采用中西合璧的建筑风格;二是在布局上既满足族葬的规制又效法西洋园林的中轴对称格局;三是黄秀烺在建造山庄时使用大量使用名人的题咏及其书法艺术大大地提升了墓园的艺术水准。更难能可贵的是黄秀烺在建造古槩山庄时,不受风水堪輿学说和传统墓葬习俗的影响而大胆沿用旧时的族葬方式,达到移风易俗的目的,又能充分吸收中西建筑文化的优点结合到墓葬的设计和建设。这对今后研究古代墓园的设计和建设具有十分重要的意义,同时也可以激发人们对历史文化的热爱和传承。

参考文献：

[1] 陈志宏. 闽南侨乡近代地域性建筑研究[D]. 天津:天津大学,2005.
[2] 罗光辉. 晋江走笔[J]. 华人时刊,2013(5):60-61.
[3] 宋怡明. 黄秀烺墓志:20世纪初期的华侨、侨乡与中国现代化[J]. 海交史研究,2003(1):100-105.
[4] 曹春平. 晋江古建筑[M]. 厦门:厦门大学出版社. 2010:166.
[5] 陈允敦. 泉州古园林钩沉[M]. 福州:福建人民出版社,1993:168.

(责任编辑：肖锡湘)

(上接第252页)

[3] 孟祥胜. 大厚度不锈钢和铝的等离子水下射流切割技术[J]. 金属加工:热加工,2012(6):23-24.
[4] 王宗杰. 熔焊方法及设备[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
[5] 王伟明,张少睿,张义顺,等. 等离子喷涂枪冷却水流场数值模拟[J]. 上海交通大学学报,2004(9):1468-1471.
[6] 王辉等. 空气等离子弧切割参数的试验研究[J]. 湖南理工学院学报:自然科学版,2003,16(4):27-29.
[7] 李伟光,聂小军. 一种等离子切割机切割机构的设计[J]. 制造技术与机床,2011(10):49-52.
[8] 张也影. 流体力学[M]. 北京:高等教育出版社,1998.

(责任编辑：陈雯)