

对海底数据中心服务器个数的研究

张雨辰 刘 斌 张少康

华北理工大学 华北理工大学数学建模实验室 河北 唐山 063210

【摘要】本文基于牛顿冷却定律和对流传热基本方程建立换热模型，对海底服务器散热问题进行分析建立规划模型，假定数据中心集装箱长为12m，直径为1m的圆柱体，悬空放置在温度20摄氏度的海域深度，其中单个服务器的产热为500W（正常工作温度不超过80℃），单个服务器机箱的宽度为482.6mm，高度为44.45mm，长度为525mm，由于服务器总数的体积小于集装箱的总体积，在正常工作温度时散热要大于服务器产热，根据这两个条件建立体积约束方程和散热约束方程；其次，利用对流传热方程对自然对流和强制对流传热系数进行计算，分别求出自然对流的传热系数 $h_1=44.4171$ ，强制对流的传热系数为 $h_2=114.939$ ，之后利用牛顿冷却定律求出自然对流和强制对流产生的热量，和总服务器产生的热量进行比较，最终求得单个集装箱外壳中最多盛放450个服务器。

【关键词】牛顿冷却定律；对流传热方程；海底服务器

0 引言

全球数据中心中电子器件散热所消耗的能量占每年耗电量的极大部分。为此海底数据中心项目，将服务器等设施安装密闭的压力容器并放入海底，通过海底复合缆为数据中心供电，并将数据传回互联网；海底数据中心通过与海水进行热交换，利用海水的流动进行设备的散热。将数据中心部署在沿海城市的附近水域可以极大地缩短数据与用户的距离，不仅无需占用陆上资源，还能节约能源消耗^[1-3]。

1 体积约束条件的建立

将集装箱放入20℃的海水中，集装箱（集装箱水平放置）与海水的对流传热示意图如下：

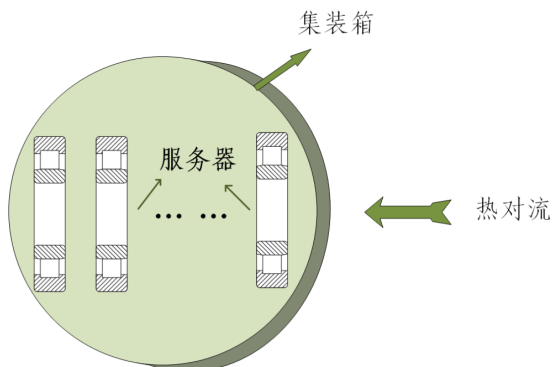


图1 集装箱换热概念图

题目中已给定集装箱和服务器的尺寸，由于集装箱为圆柱体，服务器为长方体，二者形状不同，填充后仍会留有缝隙，所以服务器的总体积小于集装箱的总体积，单个服务器的体积为 $V_i = 0.04445 \times 0.4826 \times 0.525 \approx 0.01126$ 。

所以个服务器的总体积为，集装箱的总体积为

$V_s = \pi \cdot 0.5^2 \times 12 \approx 9.4248$ ，所以体积约束条件为 $NV_i < V_j$ 。

2 散热约束条件的建立

设服务器数量为N，根据，计算出集装箱在t时间内产生的总热量。题目要求正常工作温度不超过80℃，所以在集装箱处于80℃时海水对流散去的热量要大于服务器产生的热量。假设服务器产生的总热量为，自然对流和强制对流产生的热量分别为 Q_z ， Q_q ，所以第一个约束条件为：

$$Q_f \leq Q_z + Q_q$$

根据牛顿冷却定律：自然对流热流量自然对流传热系数表面积温度差^[2]

根据公式求出格拉斯霍夫准数：

$$G_r = \frac{\beta \Delta t l^3 \rho^2}{\mu^2}$$

根据最大密度经验公式

$t_p(max) = 3.95 - 2.0 \times 10^{-1} S - 1.1 \times 10^{-3} S^2 + 0.2 \times 10^{-4} S^3$ 可得盐度为35的海水最大密度温度为-3.54℃

根据体积膨胀系数定义可知 $V_t = V_0 + V_0 \cdot t \cdot \alpha$ ，可推导出膨胀系数 $\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 - t}$ 。将数值代入方程中得，经过整理得

$$\beta = \frac{0.9738x - 0.9726x}{0.9726x \times 10}$$

再根据下列公式求出普兰特准数、努塞尔准数、传热系数，因此我们有：

$$P_r = \frac{C_p \mu}{k}$$

$$N_{ul} = C (G_r \cdot P_r)^m$$

$$h_1 = \frac{N_{ul} k}{L}$$

利用上述公式，可求得 G_r 与 P_r 乘积为 7.19705×10^8 ，查表1可知， $C_1=0.53$ ， $m=0.25$ ，属于层流区域，利用查找所得的数据，可以求得自然对流传热系数 h_1 为44.4171。

根据自然对流热流量公式，可求出自然对流热流量
 $Q_z=62793.1958$

强制对流：

强制对流热流量强制对流传热系数表面积温度差 ΔT ^[2]

运用如下公式依次求出格拉斯霍夫准数、普兰特准数、努塞尔准数、传热系数，因此我们有：

$$P_r = \frac{C_p \mu}{k}$$

$$R_e = \frac{du\rho}{\mu}$$

$$N_{u2} = C (G_r \cdot P_r)^m$$

$$h_2 = \frac{N_u k}{L}$$

利用上述公式求出，通过查表 2 得出 $C_2=0.0266$ ， $n=0.805$ ，通过代入数据，可求得强制对流热传热系数为 $h_2=114.939$ 。

利用求强制对流热量公式，可以求出强制对流传热
 Q_q 为 162491.1831

所以总散热量自然对流热流量强制对流热流量 Q_q 为
 225284.3789

$$Q_f = N \cdot P$$

单位时间，服务器产热量为

令，可以求出为 450.569，由于服务器必须为整数，所以最大服务器数量为 450。

3 结论

按所给条件，基于牛顿冷却定律和对流传热基本方程规划最终算出，单个集装箱外壳中最多可放 450 个服务器。

【参考文献】

- [1] 皮泽红. 国内首个海底数据舱落地珠海，大数据中心走进海洋时代 [N]. 中国经济导报, 2021.01.20
- 宾红霞. 密封大“胎盘”节能又安全 [N]. 南方日报, 2021.01.11
- 龙巍. 大数据中心由陆地走向海洋 [N]. 中国水运报, 2021.01.15
- [4] 刘志华, 刘瑞金. 牛顿冷却定律的冷却规律研究 [J]. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2005, 19(6): 23-27.