

2021 年第十一届 MathorCup 高校数学建模挑战赛题目

C 题 海底数据中心的散热优化设计

据统计，全球数据中心每年消耗的电量，占全球总电量的 2% 左右，而其中能源消耗的成本占整个 IT 行业的 30%-50%，特别是电子器件散热所需消耗的能量占比极大。

目前，国内大数据中心主要建设在内陆地区，预计 2020 年大数据中心年经济体量超过 3000 亿元。但大数据中心建设在陆地上需要占用大量土地，冷却时需要消耗大量的电能和冷却水资源，并花费大量建设成本。由于沿海发达省市数据中心增长迅猛，类似的资源矛盾尤为突出。

“海底数据中心项目（Project UDC）”是将服务器等互联网设施安装在带有先进冷却功能的海底密闭的压力容器中，用海底复合缆供电，并将数据回传至互联网；海底数据中心通过与海水进行热交换，利用巨量流动海水对互联网设施进行散热，有效节约了能源。海底数据中心对岸上土地占用极少，没有冷却塔，无需淡水消耗，既可以包容海洋牧场、渔业网箱等生态类活动，又可与海上风电、海上石油平台等工业类活动互相服务。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，是完全绿色可持续发展的大数据中心解决方案。

据悉，2015 年 8 月，微软首次在美国西部加利福尼亚州一处海域对一个水下数据中心的原型机进行了测试。研究人员在位于美国西北部华盛顿州的微软总部办公室对其进行操控，为期 3 个月的测试取得了超出预期的

成功。该水下数据中心原型机装配了传感器，可以感知压力，湿度等状况，帮助研究人员更好地了解其在水下环境的运行情况。2018 年微软 Project Natick 项目在苏格兰海岸线附近的水域中实验性地部署了一个水下的数据中心。这是数据中心首次部署在海底，这个数据中心被设计成集装箱样式，然后被悬放在海平面 117 英尺处，之后海底数据中心通过铺设的海底电缆与陆上操作中心相连。海底数据中心以城市工业用电为主，海上风能、太阳能、潮汐能等可再生能源为辅，具有低成本、低时延、高可靠性和高安全性的特点。据微软团队测算，海底数据中心的故障率是陆地的 1/8。



2021 年 1 月 10 日，由北京海兰信数据科技股份有限公司联合中国船舶集团广船国际有限公司打造的全国首个海底数据舱在珠海高栏港揭幕，标志着我国大数据中心走进了海洋时代。

对于海底数据中心，如何在有限的体积内存放更多的服务器且保证服务器工作过程中向海水中正常快速的散热是一项非常有挑战性的问题。现在各位参赛队员将参与到海底数据中心的优化设计，解决如下问题，并给微软，谷歌，华为等公司的海底数据中心的外壳散热提供设计方案。

问题 1：固体在液体中的冷却的方式主要是对流传热，对流传热可分为自然对流和强制对流。假定数据中心集装箱的尺寸为直径 1m，长 12m 的圆柱形，悬空放置（圆柱形轴线与海平面平行）在中国南海温度为 20 摄氏度的海域深度，其中单个 1U 服务器的产热为 500W（正常工作温度不能超过 80 摄氏度），1U 服务器机箱的高度为 44.45 毫米，宽度为 482.6 毫米，长度为 525 毫米，请评估单个集装箱外壳中最多可以放多少个服务器（仅考虑服务器的散热需求）。

问题 2：假定集装箱外壳最大尺寸不超过 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 12\text{m}$ ，结合第一问的分析，如何设计集装箱外壳的结构（如在圆柱体，长方体等上考虑翅片结构），可以实现最大化的散热效果，即存放更多的服务器。

问题 3：较深的海水具有较低的温度，能取得更好的散热效果，同时增大的压力会对集装箱外壳的耐压能力提出更高的要求；值得注意的是海水本身是一种强的腐蚀介质，直接与海水接触的各种金属结构物都不可避免地受到海水的腐蚀。请在问题 2 的基础上进一步选择合适的材料和海底深度进行优化设计，进一步提高散热效果，并尽可能降低成本，提高使用年限。

问题 4：潮汐和季节会改变局部水位和温度，并带来暂时性的海水流动，可能对数据中心的散热带来一定影响。请考虑潮汐和季节变化等因素对海底数据中心集装箱散热效果的影响。

问题 5：竞赛组委会希望大家可以根据自己的分析结果写一封建议信给相关公司的海底数据中心散热设计部门。

数据中心：数据中心是全球协作的特定设备网络，用来在 internet 网络基础设施上传递、加速、展示、计算、存储数据信息。简单来讲就是数据中心大概就是一个有庞大数量的服务器（计算机）放在一起，提供运行应用来处理商业和运作的组织的数据。

附件：Some Commonly Used Marine Materials.pdf