



Simulation Study of Temperature Field of GIL Pipe Gallery

Xu Dakun^{1,*}, Jiang Yangbin¹, Wang Hao¹, Ma Xiuting², Zhang Wenke²

¹Shandong Electric Power Consulting Institute, Jinan, China

²School of Thermal Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, China

Email address:

xudakun2023@163.com (Xu Dakun)

*Corresponding author

To cite this article:

Xu Dakun, Jiang Yangbin, Wang Hao, Ma Xiuting, Zhang Wenke. Simulation Study of Temperature Field of GIL Pipe Gallery. *Science Discovery*. Vol. 11, No. 6, 2023, pp. 205-214. doi: 10.11648/j.sd.20231106.13

Received: October 24, 2023; Accepted: November 15, 2023; Published: November 21, 2023

Abstract: The thermal environment of the pipe gallery employing the gas-insulated metal-enclosed transmission lines (GIL) has a direct influence on the safe operation and service life of the line, so effectively eliminate the heat dissipation of the line can ensure the reasonable temperature distribution of the pipe gallery. The paper takes a underground GIL pipe gallery of Qingdao City as the research object and then the corresponding simulation analysis is conducted. The FLUENT software is employed to establish the physical model of GIL pipe gallery, and the ventilation mode adopting both mechanical air intake and mechanical exhaust air is set. Accordingly, the rules of indoor temperature distribution can be investigated for both normal and abnormal working conditions in winter or summer. The simulation results show that the inlet air temperature has a great influence on the temperature distribution of pipe gallery, the indoor overall temperature of the pipe gallery increases with the air supply temperature; in addition, the surrounding local temperature of GIL is too high under abnormal conditions in summer, and cannot meet the specification requirements because the temperature cannot be higher than 40°. Therefore, the timely maintenance should be conducted to avoid the occurrence of such conditions as far as possible. The research results of the paper can provide theoretical basis and technical guidance for the application of ventilation of GIL pipe gallery.

Keywords: GIL Pipe Gallery, Mechanical Ventilation, Temperature Field, Thermal Environment, Numerical Simulation

GIL管廊温度场模拟研究

徐大坤^{1*}, 姜洋彬¹, 王浩¹, 马秀婷², 张文科²

¹山东电力工程咨询院有限公司, 济南市, 中国

²山东建筑大学热能工程学院, 济南市, 中国

邮箱

xudakun2023@163.com (徐大坤)

摘要: 气体绝缘金属封闭输电线路 (GIL) 管廊的热环境对线路的安全运行及使用寿命具有直接的影响, 有效排除线路的散热可保证管廊合理的温度分布。本文以青岛市某地下GIL管廊为研究对象进行模拟分析, 利用FLUENT软件建立了GIL管廊的物理模型, 设定机械进风机械排风的通风模式, 分析冬夏两季正常工况以及非正常工况下管廊内温度的分布规律。通过分析模拟结果得知: 管廊受进风温度的影响较大, 送风温度越高使得管廊整体温度越高; 夏季非正常工况下, 出现电缆周围的局部温度过高, 不能满足规范要求不能高于40°C的要求, 应及时检修维护, 尽量避免这种工况发生。本文的研究结果可为GIL管廊通风系统的应用提供理论依据和技术指导。

关键词: GIL管廊, 机械通风, 温度场, 热环境, 数值模拟

1. 引言

作为综合利用地下空间的有效措施之一，综合管廊能合理紧凑地布置市政管线，提高对地下空间的利用和管理水平[1]。综合管廊是一种地下密闭的空间，气体绝缘金属封闭输电线路（gas insulated transmission line, GIL）布置在其中不断散发大量的热量，如果不能及时排除产生的热量，会导致设备的寿命降低以及影响日常维护工作，不利于维修人员的巡视与检修。有效解决运行过程中电缆的散热问题，对于提高敷设电缆的载流量和延长电缆线路的使用寿命具有重要意义[2]。GIL中一般采用SF6气体进行绝缘，该气体属于温室气体，会对环境造成破坏，吸入过多还会导致工作人员头晕、呕吐等[3]。因此需要对管廊设置合适的通风系统，及时排除管廊内余热以及SF6气体。

针对温度场，国玉山等[1]通过对综合管廊工程通风系统的理论分析及实地测试，得出不同舱室通风量的设计标准、不同断面和管线布置形式下的通风阻力的计算以及在电力舱的电缆散热量，避免仅按通风次数造成通风量偏大的现象，实现减少通风系统土建投资及其运行费用，从而减少综合管廊工程的总体运行费用。周游等[4]建立了湍流数学模型，分析得到随着通风距离的增长，降温效果减弱，导致局部温度过高，冬季要校核通风量以免舱室过冷，优化电缆布置，电缆远离侧壁布置增强通风散热的效果。李哲等[5]分析得出随着通风风速的增大，舱内壁面与空气的对流冷却作用逐渐增强，考虑通风效果和能耗，通风系统应在满足通风要求的前提下尽量减小总风量，降低能耗。徐亮等[6]发现随着空气流速的增大 GIL管道温度降低，当风速较低时，增加风速可以显著降低GIL温度：当风速

较高，达到10 m/s以上时，增加风速对GIL散热效果不佳。白思卓等[7]通过数值模拟的方式发现诱导通风系统温度分布均匀性优于机械排风加自然补风通风系统。邱灏[8]等对三种机械通风方式在不同换气次数下管廊内的空气温度分布情况进行了数值模拟，得出了管廊内空气温度分布特性，并对不同通风口布置形式的通风效果进行了对比分析。甘露[9]等得出管廊内空气温度受进风温度影响很大，在工程设计时要考虑夏季室外极端温度的影响。

已有的文献表明，相关专家和学者对地下GIL管廊的通风系统做了一定的研究工作。目前，针对GIL使用过程中管廊的温度分布以及采用通风系统后管廊热环境改善的研究相对较少。随着中国城市基础设施的发展，政府和建设单位开始将重点放在建设和运营综合管廊上，安全是重中之重。在许多类型的综合管廊中，电缆舱具有特殊的地位。在没有通风的情况下，电缆散热会产生积聚效应，如果散发的热量没有及时释放，就会逐渐升高廊内的温度。在高温环境下，电缆外壳绝缘会被破坏，降低对电缆的保护作用，为电缆管理工作带来更大的负担[10]。现有规范中对于电力舱廊内有关规定通风换气的规定不够完善，仅规定最小换气次数，因此研究机械进排风方式下通风量以及温度场分布，为更好优化管廊提供指导。

本文采用数值模拟的方法，以青岛市某地下GIL管廊为研究对象，利用FLUENT软件建立了GIL管廊的物理模型，布置合适的通风系统，设定管廊空间合理的初始和边界条件，对管廊内的温度分布进行模拟分析，掌握其温度分布规律，从而为GIL管廊的通风系统提供参考依据。

2. 工程概况

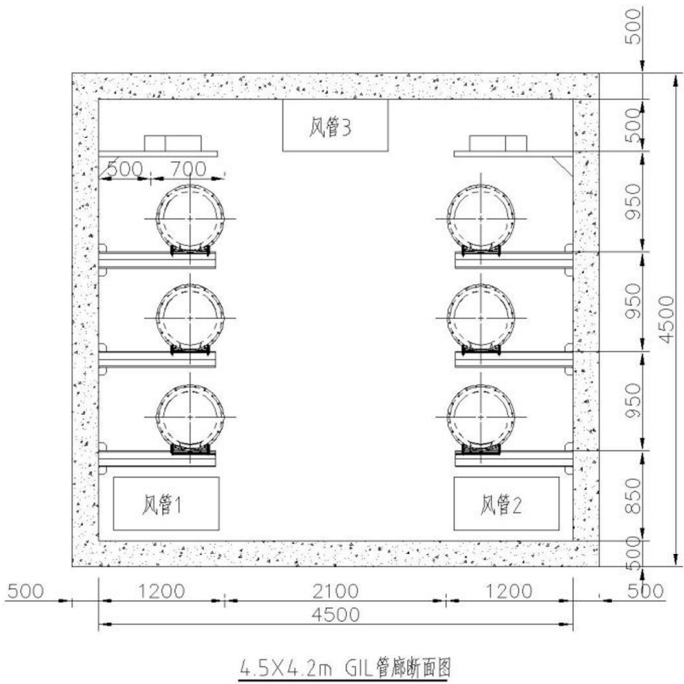


图1 某GIL管廊断面布置图。

青岛市某地下GIL管廊标准断面为高4.2米,宽4.5米的矩形断面,管廊全长为290米,GIL管线为双侧六根布置,GIL正常运行时,6根同时运行,每根载流量为2210A,即正常工况;非正常运行时,3根同时运行,每根载流量为4130A,即非正常工况。根据GIL厂家提供的资料,GIL管道发热量正常工况下按照71W/(m.根)考虑,非正常工况下按235 W/(m.根)考虑,计算得到,GIL管廊正常工况下的发热量为426W/m,非正常工况下的发热量为705 W/m。中间设置人员巡视检查通道。管廊断面布置图如图1所示。该GIL管廊采用机械进风、机械排风的通风方式,在管廊上部布置送风管道,管道上布置送风口,每隔29m布置一个送风口,一共布置十个;管廊通风系统需要满足两个要求,排除余热及排除SF₆气体,由于SF₆气体密度比空气大,泄露后会沉积在管廊下部,因此必须在管廊下部设置排风管道,在排风管道设置排风口,每隔29m设置一个排风口,一共设置十个。风机通过风管与管廊相连。

3. 数值模拟

3.1. 网格划分

将管廊简化为高4.2米,宽4.5米,长290米的长方体,以管廊的宽、高、长作为坐标的X、Y、Z轴正方向,以管廊底面的端部位置为坐标原点,电缆简化为直径为0.7米的圆柱体,将进风口简化为0.8×0.5米的矩形,将出风口简化为0.5×0.4米的矩形。

利用FLUENT MESHING对几何模型进行六面体网格的划分,为了提高计算精确度,对电缆表面网格进行加密,其数量约190万,模型网格断面图如图2所示。

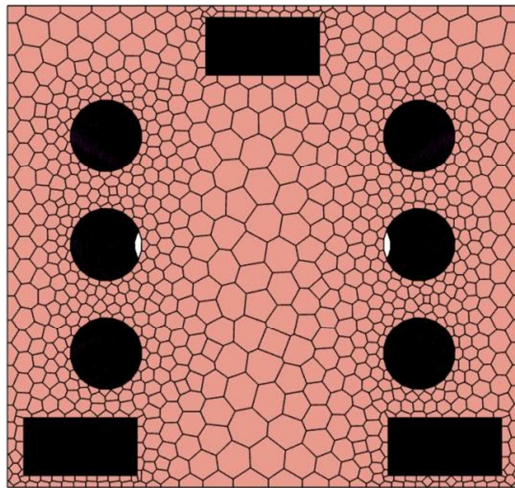


图2 网格断面图。

3.2. 边界条件

GIL管廊在通风过程中的边界条件如下所述:

- (1) 将送风口处设置速度入口,送风速度由机械送风量确定。

- (2) 将排风口设置速度出口,排风速度由机械排风量确定[11, 12]。
- (3) 模拟温度分布时,简化电缆表面为第二类边界条件,根据GIL厂家提供的资料,GIL管道发热量正常工况下按照每米每根71W考虑,非正常工况下按每米每根235 W考虑,设置为壁面无滑移条件。
- (4) 电力舱内各壁面设置为绝热条件[13]。

3.3. 求解设置

温度分布模拟设置基于压力的求解器,湍流模型采用Realizable的k-epsilon方程,临近固壁面的区域采用标准壁面函数,开启能量方程。求解过程采用SIMPLE算法,动量方程、K方程和二方程等控制方程采用具有二阶精度的迎风差分模式[15]。

4. 模拟结果分析

4.1. 夏季温度场结果分析

4.1.1. 正常工况

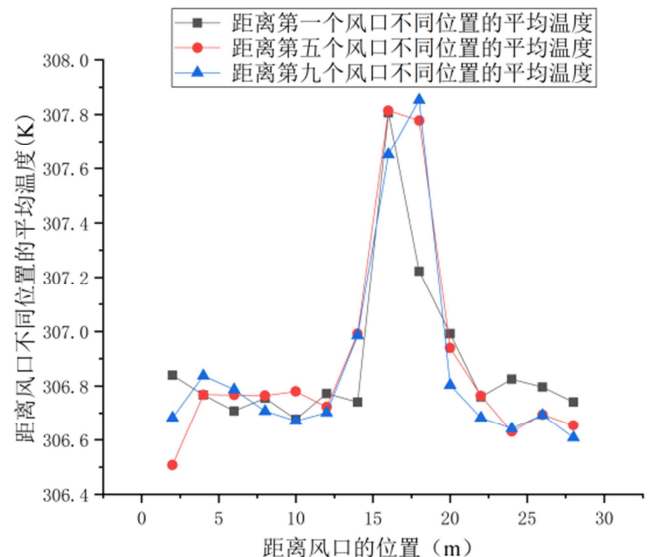


图3 夏季正常工况下距离不同风口不同位置处的平均温度曲线图。

由图3可以看出不同风口处温度分布趋势大致是相同的,均呈现平均温度随着离风口的距离增加而升高,在中间位置左右到达最高温度,随后温度降低的趋势。受到进风口以及排风口的扰动,距离风口越近温度相对较低,且因为进风口和排风口均匀布置,并且风口风速设置相同,因此选取两个风口中间、距离风口处8m等典型位置。

- (1) 两个风口中间

选取管廊前部前两个进排风口、中间两个风口以及尾部的最后两个风口中间位置的截面,分别为29m、145m以及260m处。

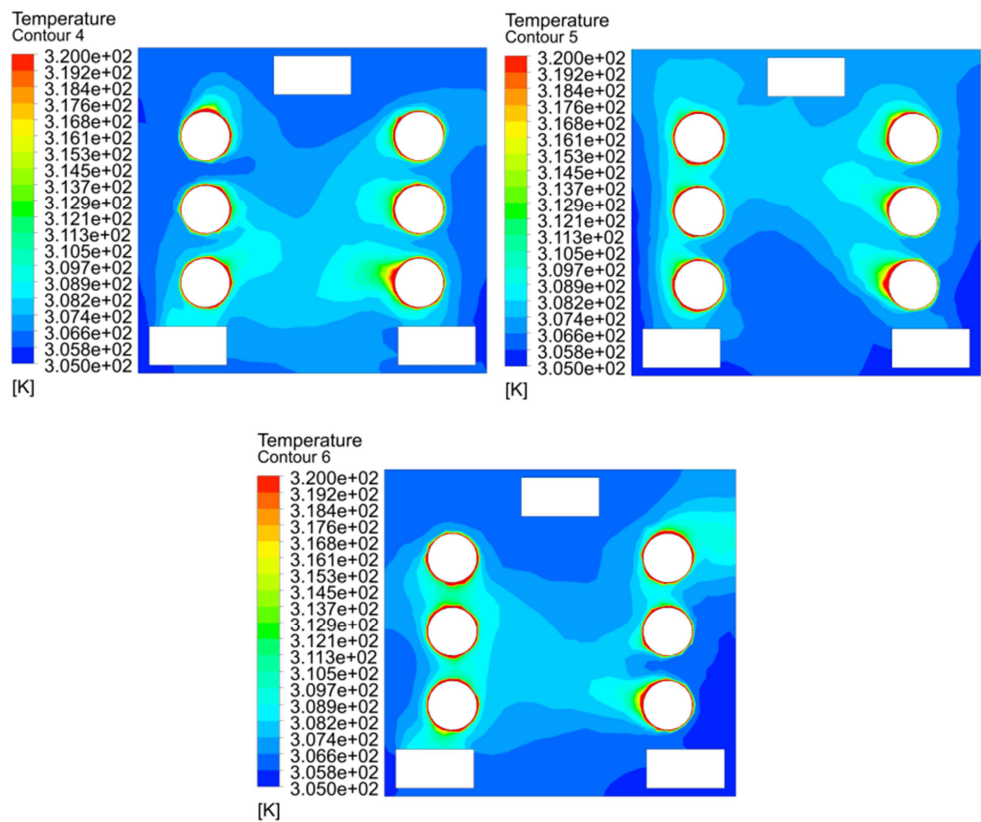


图4 29m、145m以及260m处温度分布图。

(2) 距离风口8m处
选取距离管廊前部第一个进排风口、中间风口以及尾部最后一个风口的5m处截面，分别为23m、139m以及255m处。

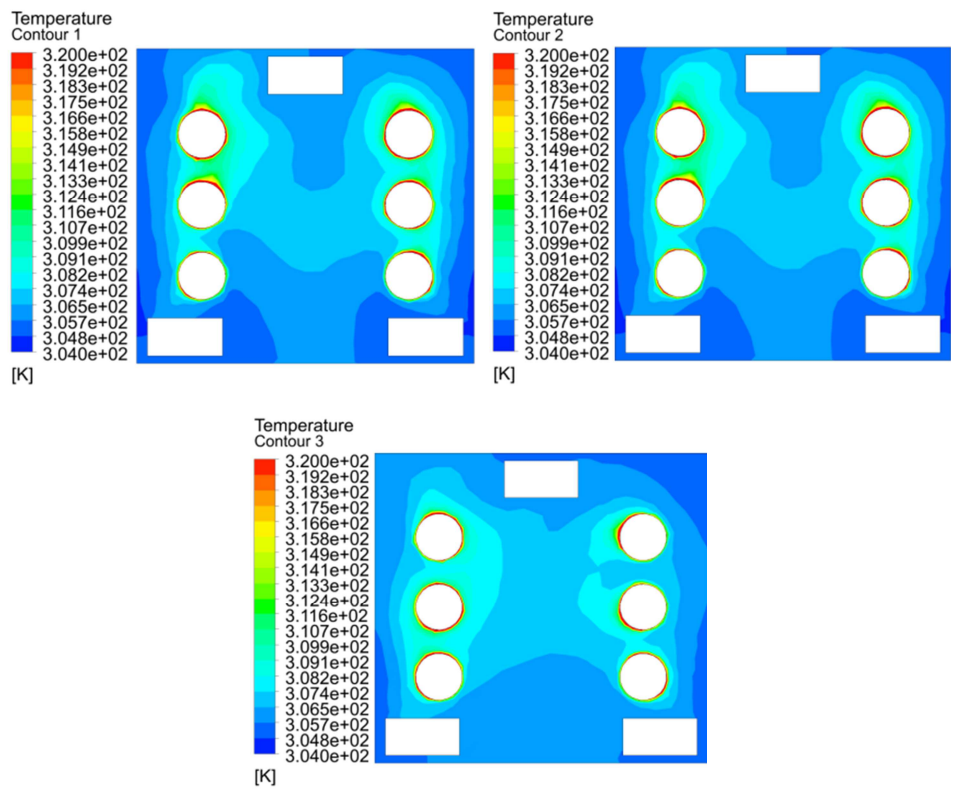


图5 23m、139m以及255m处温度分布图。

图4~5为夏季正常工况下的温度分布图，从图中可以看出距离风口8m处的截面温度在306.5-308.3K之间，两个风口中间位置的截面温度分布基本在306.6-309.7K之间，距离风口越远处温度越高，在两个风口中间位置温度达到最高值，随着距离的增加温度又降低下来。由图3和图4~5可以分析出，6根管线同时运行且管廊分布对称，管廊内左右两侧温度分布情况基本相同，且两个风口之间温度由中间向两侧对称分布，且同样位于两个风口之间的位置，管廊尾部处温度分布稍高于管廊前部的温度分布。由于空气受热密度降低，高温空气聚集在管廊的顶部[14]，又因为排风口布置在管廊下部，未上升的高温空气受到排风口的引力作用向排风口聚集。

4.1.2. 非正常工况

图6 中可以看出夏季非正常工况下平均温度低于正常工况下，因为非正常工况下只有左侧三根电缆发热，管廊右侧温度小于左侧7K左右，而管廊左侧的温度比正常工况下仅高3K左右，因此平均温度会有所降低。选取两个风口中间、距离风口处8m等典型位置。

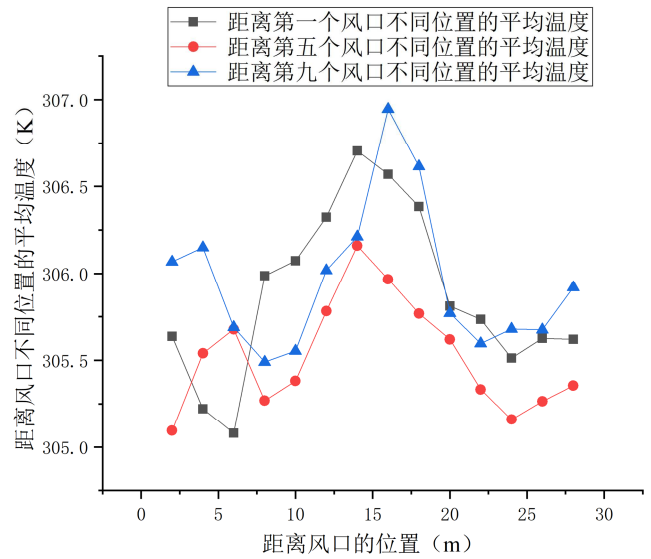


图6 夏季非正常工况下距离不同风口不同位置处的平均温度曲线图。

(1) 两个风口中间

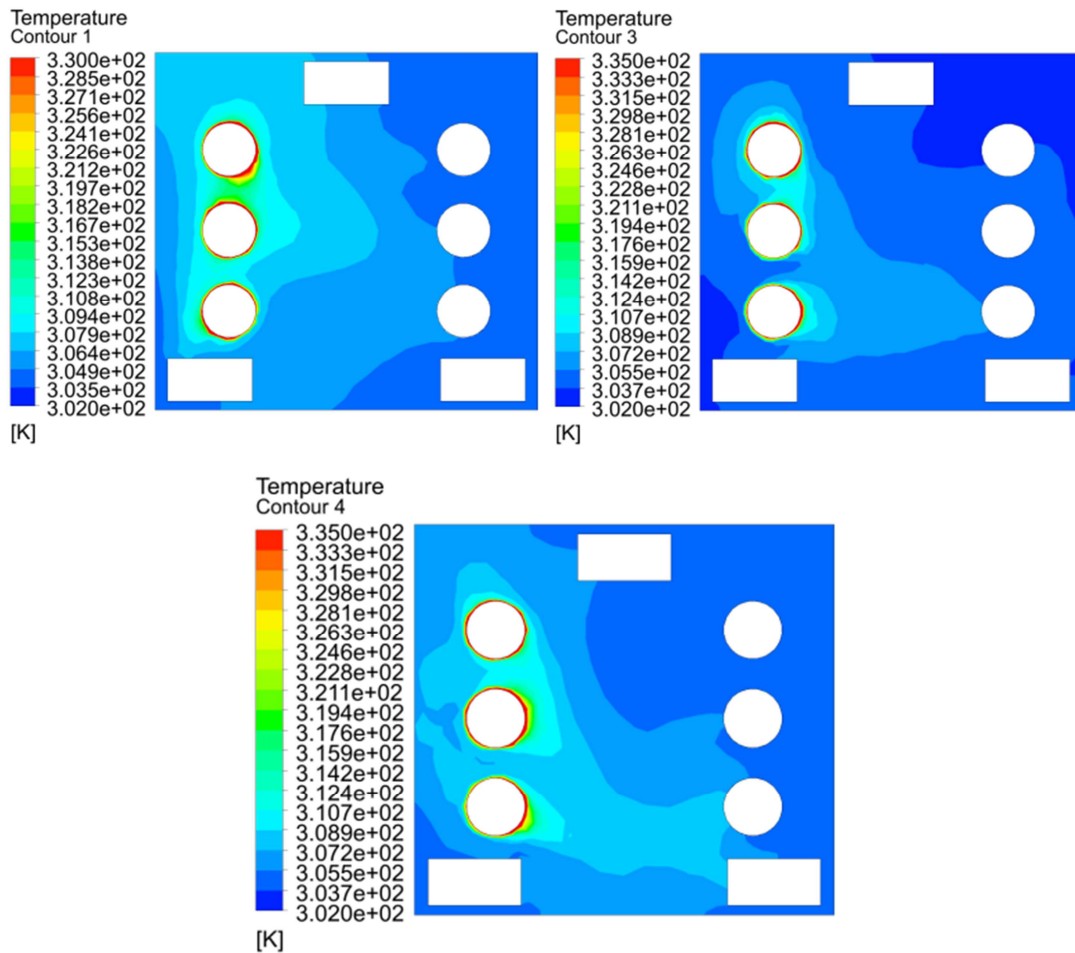


图7 29m、145m以及260m处温度分布图。

(2) 距离风口8m处

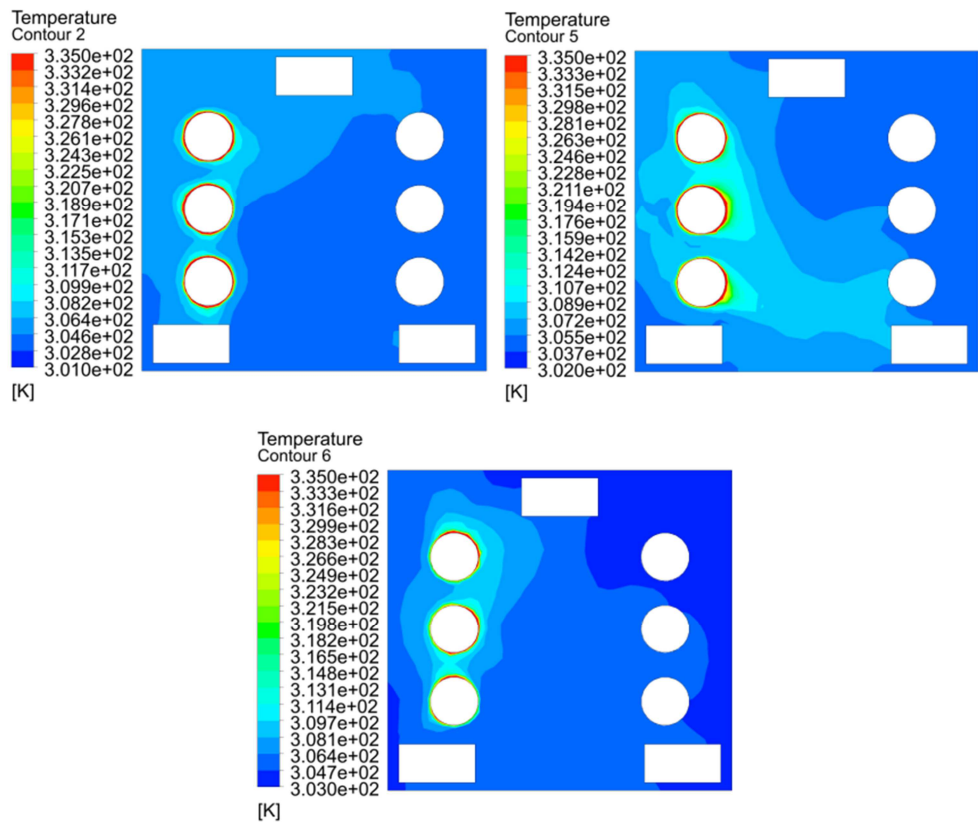


图8 23m、139m以及255m处温度分布图。

图7~8为夏季非正常工况下（即左侧三根电缆发热）的温度分布图，选取与正常工况下相同截面处，距离风口8m处的截面温度在303.7~310.7K之间，两个风口中间位置的截面温度分布基本在304.9~312.4K之间。明显管廊左侧附近的温度高于右侧温度，部分高温气体在右侧底部排风口的作用下排出，因此在右侧排风口处附近出现高温气体[16]。由于非正常工况下电缆每米每根的发热量为235，是正常工况下电缆每米每根的发热量71的3倍左右，因此截面处左侧温度比正常工况下温度高1~3K左右，电缆局部

会出现高温，可以通过增加进风口以及排风口，改善通风效果。

4.2. 冬季温度场结果分析

4.2.1. 正常工况下

从图9中可以看出，夏季管廊内不同位置处平均温度比同样是正常工况下的冬季管廊内平均温度高出不少，不同风口处位置的平均温度分布趋势也是先升高后降低。同样选取两个风口中间、距离风口处8m等典型位置。

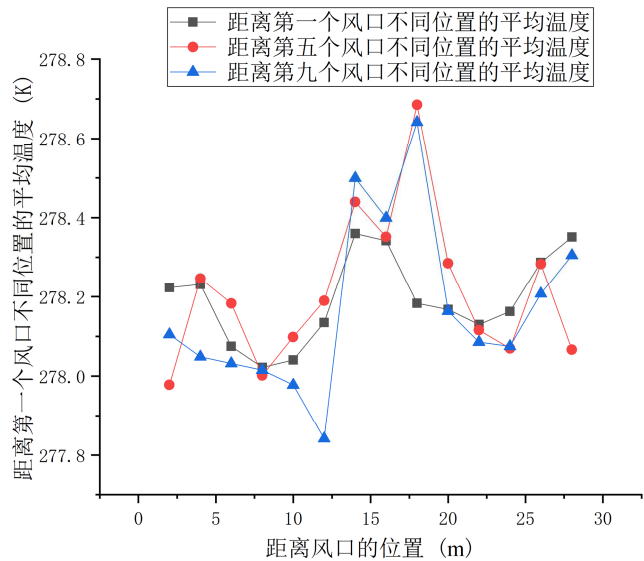


图9 冬季正常工况下距离不同风口不同位置处的平均温度。

(1) 两个风口中间

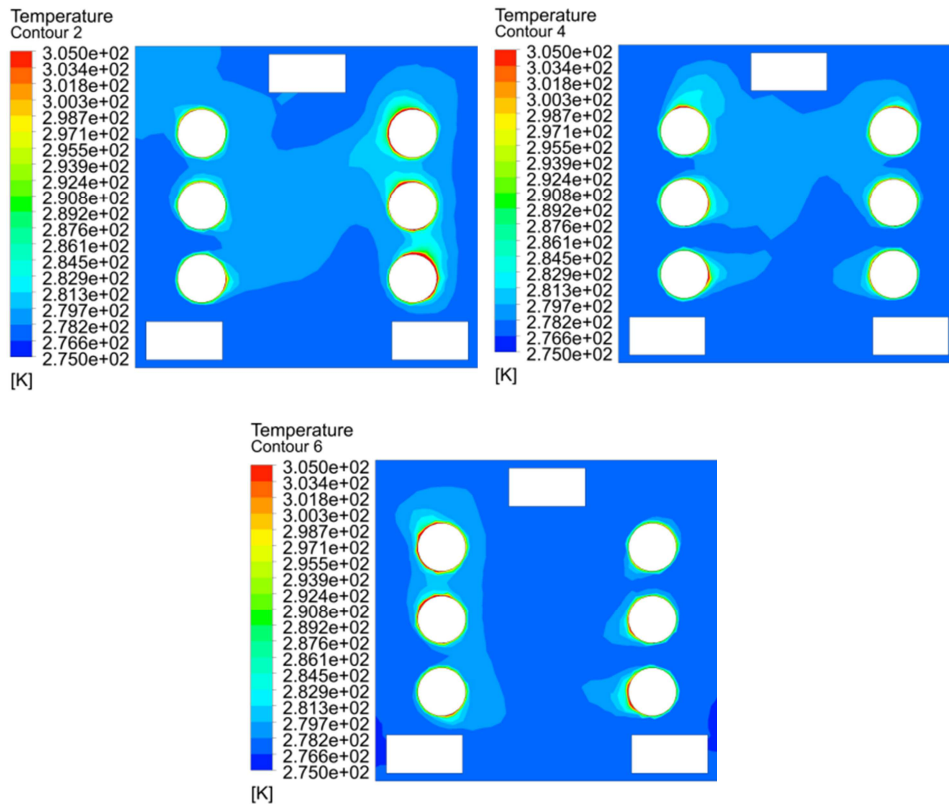


图10 29m、145m以及260m处温度分布图。

(2) 距离风口8m处

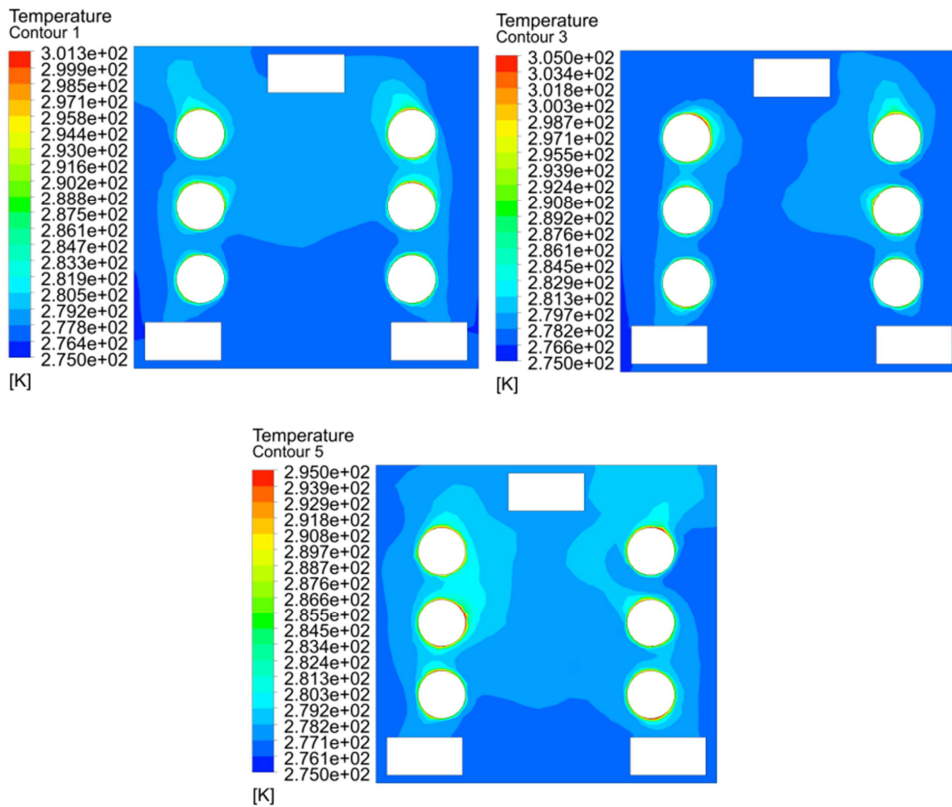


图11 23m、139m以及255m处温度分布图。

从图10~11可以看出，冬季工况下温度分布与夏季工况的温度分布相似，且管廊内温度受进风温度的影响较大，距离风口8m处的截面温度在277.8~280.3K之间，两个风口中间位置的截面温度分布基本在278.2~281.3K之间，均满足规范要求的不高于40℃。因为进入管廊的空气没有进行预热处理，温度本身就低，且进风口进入的大部分冷空气还没充分换热就被排风口吸除，因此靠近风口处温度较低，甚至部分区域出现低于5℃的温度。

4.2.2. 非正常工况下

图12可以看出冬季非正常工况下的平均温度与正常工况下平均温度相差不大，管廊右侧温度小于左侧2K左右，而管廊左侧的温度比正常工况下高3K左右，因此平均温度相差不大。同样选取两个风口中间、距离风口处8m等典型位置。

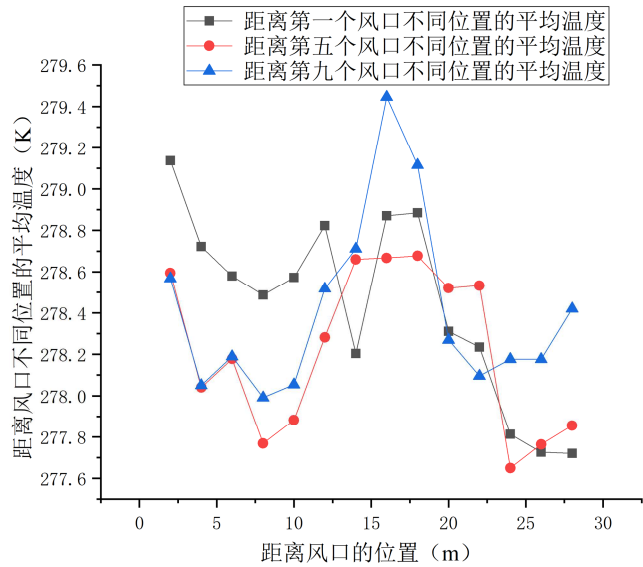


图12 冬季非正常工况下距离不同风口不同位置处的平均温度。

(1) 两个风口中间

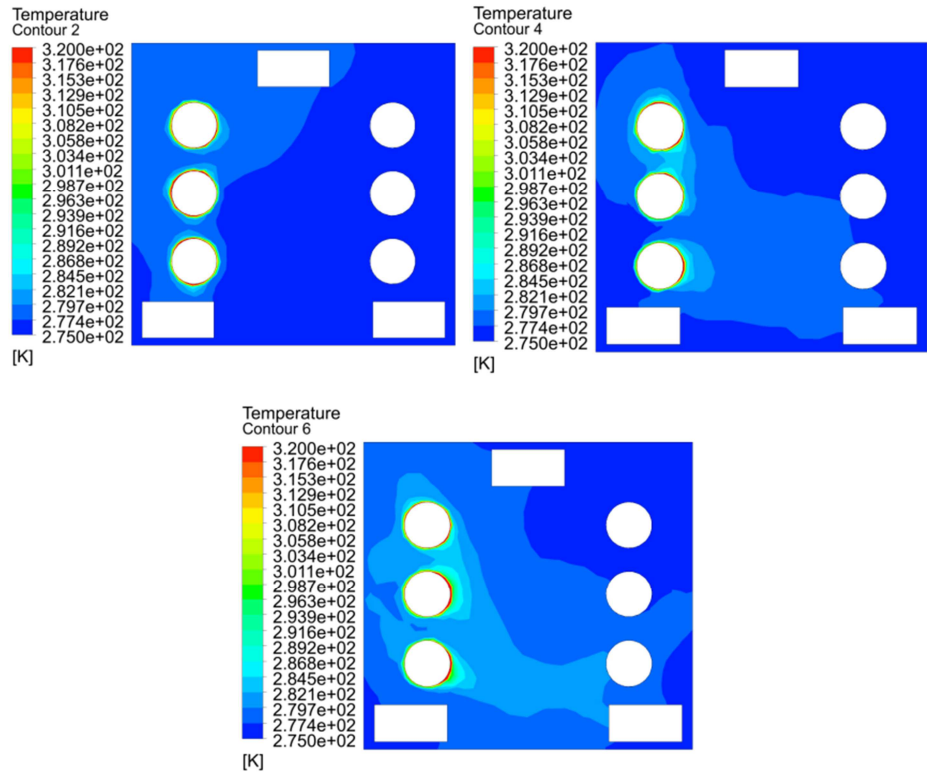


图13 29m、145m以及260m处温度分布图。

距离风口8m处

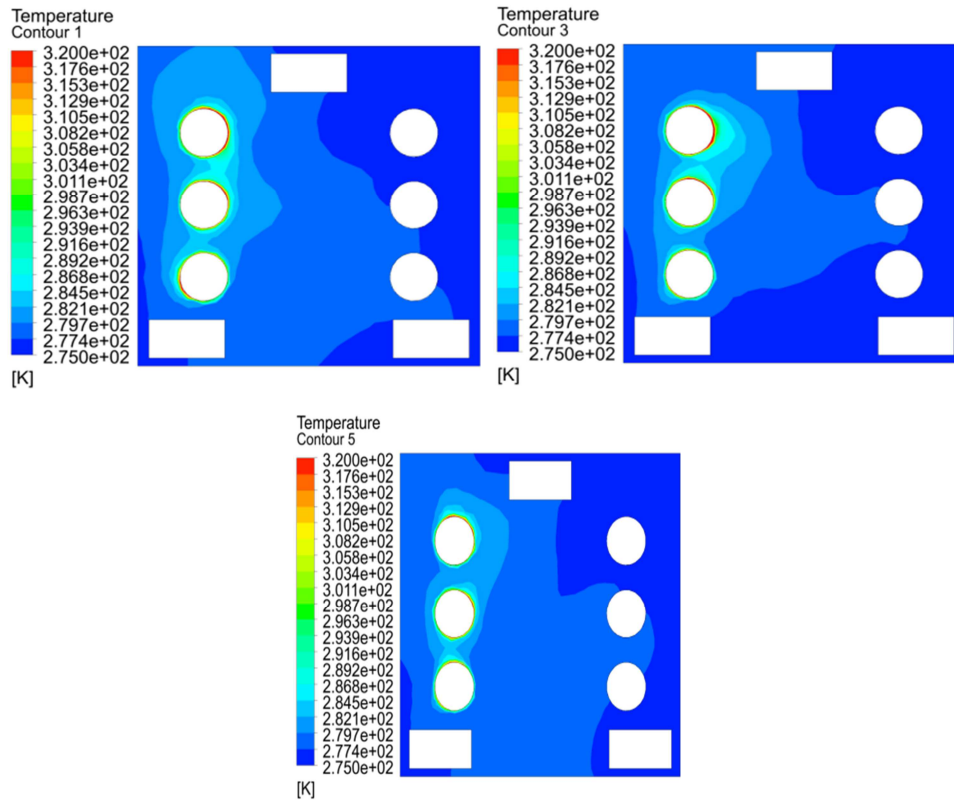


图14 23m、139m以及255m处温度分布图。

从图13~14可以看出，距离风口8m处的截面温度在277.4-284.5K之间，两个风口中间位置的截面温度分布基本在279.7-286.8K之间，与夏季非正常工况相似，因为左侧电缆发热，管廊左侧温度比右侧温度明显较高，并且非正常工况下电缆发热量较高，造成电缆局部温度过高，使管廊内温度分布不均匀，可适当增加风口，改善通风效果。

5. 结论

本文结合青岛市某GIL管廊工程实例，采用数值模拟的方式对管廊内温度场分布规律进行研究分析，结果表明如下：

- (1) 管廊采用机械进风、机械排风的通风方式，由于风口距离较远，风口中间会出现高于规范要求的40℃的情况，可以适当增加风口，改善气流组织。
- (2) 管廊受进风温度的影响较大，送风温度越高使得管廊整体温度越高，可以尝试对进入的空气进行预热或者预冷，以防管廊出现高于40℃限值或者出现较低的温度，会造成管廊内电缆及设备的损坏。
- (3) 夏季非正常工况下，出现电缆局部温度过高，不能满足规范要求不能高于40℃的要求，应及时检修维护，尽量避免这种工况发生。适当增加进风口和排风口，使得空气气流组织分布更加均匀，降低电缆的局部高温。

参考文献

- [1] 国玉山, 于秋燕, 赵兴海等. 城市综合管廊通风系统关键技术研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2022, 41 (07): 80-84.
- [2] 胡康, 赵德宁, 吴劲松等. 地下电力电缆隧道通风系统的模拟计算 [J]. 电力勘测设计, 2020 (06): 55-60.
- [3] 关为民, 卞超, 谭婷月等. 苏通GIL综合管廊SF₆气体泄漏分布特性数值模拟研究 [J]. 高压器, 2020, 56 (11): 102-110.
- [4] 周游, 周伟国. 综合管廊电缆舱通风数值模拟研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2016, 35 (11): 29-33+91.
- [5] 李哲, 高锴, 张晨等. 综合管廊电力舱温度场的数值模拟研究 [J]. 资源节约与环保, 2019 (12): 137-140.
- [6] 徐亮, 张高爽, 龙艳等. 特高压管廊GIL热特性的数值模拟 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2018, 50 (07): 177-184.
- [7] 白思卓, 樊越胜, 王欢等. 综合管廊电缆舱室通风形式数值模拟研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2020, 39 (02): 32-35+44.
- [8] 邱灏, 邓志辉, 袁艳平等. 通风形式对综合管廊内空气温度影响的研究 [J]. 制冷与空调 (四川), 2018, 32 (06): 668-672.

- [9] 甘露, 梁佳琪, 徐大坤等. GIL管廊的通风效果模拟分析 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12 (36): 74-76+82.
- [10] 韩东. 城市地下综合管廊电力舱通风系统模拟设计研究 [D]. 西安工程大学, 2023.
- [11] 赵光辉. 基于断面风速对地下综合管廊电力舱通风研究 [D]. 北京建筑大学, 2023.
- [12] 陈伟, 丁燕, 卢柯等. 综合管廊通风系统流场数值模拟分析 [J]. 制冷与空调, 2022, 22 (03): 20-25.
- [13] 邱灏. 城市地下综合管廊通风量研究 [D]. 西南交通大学, 2018.
- [14] 杨霁虹. 地下综合管廊电力舱内高温聚集区的通风系统模拟研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2018.
- [15] 白思卓. 地下综合管廊电缆舱室通风系统研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2019.
- [16] 刘旭辉. 城市地下综合管廊热力舱散热及通风研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2019.