

第五届全国大学生油气储运工程数值仿真技能创新大赛

赛 题

基于国产自主可控的仿真软件、软件平台或自行编制的程序，针对我国油气储运行业领域实际需求，围绕结构、流体、热、电、磁单物理场或多物理场仿真，开展工艺流程仿真、操作单元仿真、事故场景仿真、工艺流程优化、经济性分析、完整性管理等分析，评比遴选一批具有高复用性、高应用价值、高扩展性的专业仿真软件或者案例。

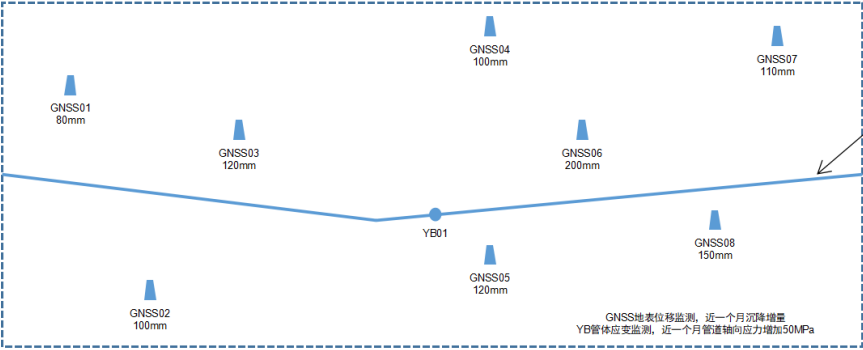
总体要求：

1. 参赛队任选一道赛题作答，须使用国产或自主开发的仿真软件完成相关工作。
2. 方案须给出分析报告和分析案例说明，并提交操作演示视频和验证报告。

（大赛组委会向参赛队伍提供仿真软件及相关培训与答疑）

目 录

赛题类型一：结构仿真.....	3
赛题一：采空区埋地管道应力状态模拟及评估.....	3
赛题二：土壤环境对光纤预警振动信号响应特性的影响.....	4
赛题三：高压氢气压缩机管路振动特性仿真分析.....	5
赛题类型二：工艺仿真.....	7
赛题一：埋地天然气管道微小泄漏过程声波传播模拟.....	7
赛题二：天然气管网输送能力与可靠性分析.....	8
赛题三：输氢管道投产混气规律模拟.....	13
赛题类型三：电磁仿真.....	14
赛题一：基于管壁剩磁响应的油气管道缺陷内检测多物理场仿真与量化识别.....	14
赛题二：动态磁场条件下漏磁检测关键影响因素机理分析.....	15
赛题类型四：多场耦合仿真.....	16
赛题一：冻土区输油管道油温—冻融耦合下管道力学响应演化数值仿真与预测.....	16
赛题二：油气管道热收缩带补口加热温度优化.....	18

赛题类型一：结构仿真		
题目	项目	问题描述与要求
赛题一：采空区埋地管道应力状态模拟及评估	建模参数	1. 模型描述 采空区段地下采煤活动经常会造成埋地油气长输管道产生应力集中问题，在煤柱留设、管道改线等措施无法实施情况下，通常采用监测获取地表变形、管体应力应变等信息，并据此评估管道安全状态，必要时采取应力释放等措施。针对某管道采空区段地下采煤活动造成的管道应力集中问题，结合现场地表位移监测和管体应变监测数据，开展建模分析，部分参数如下：管顶埋深 2 m，管径 660 mm，壁厚 8.7 mm，钢级 L450MB，设计压力 8 MPa，管道施工温度 20 ℃，现阶段管道运行温度 10 ℃~38 ℃，介质密度 0.830 t/m³，地表土体性质为粉质黏土（天然密度 1.80 g/cm³，内聚力 25 KPa，内摩擦角 21°）。不考虑煤矿采深和开采过程，模拟范围为地表 500 m×200 m 范围内，管道存在一处水平转角（转角 30 度），场地范围内建有地表 GNSS 和管体应变监测点，如图 1 所示。  场地范围500m×200m 图 1 场地示意图 2. 建模要求 (1) 原则：自由使用各种建模工具，准确建立包含地表浅层、场地范围、管道走向的二维或三维地质模型，手动导入地表位移数据。 (2) 单位制：长度 m。
	任务 1	(1) 基于 GB/T 50470-2017 推荐的土弹簧模型，模拟管土相互作用，计算采动过程中管道的附加应力、应变

赛题二：土壤环境对光纤预警振动信号响应特性的影响		(轴向、弯曲、环向)。 (2) 基于 SY/T 6828-2024，计算管道的安全裕量。
	任务 2	(3) 模拟应力释放沟施工对管道应力的影响，评估卸荷效果。(应力释放过程：首先开挖 YB01 监测点东段管道，开挖起始点为 YB01 监测点东侧 80 m 处，开挖顺序由远及近、自东向西逐步直至开挖到 YB01 监测点)
	建模参数	1. 模型描述 油气管道光纤预警系统常部署于砂土、黏土等差异化土壤环境中，土壤密度、含水率及光缆埋深等关键因素，会显著影响挖掘、车辆扰动等地表威胁振动传播至光缆处的信号特征，例如信号幅值衰减、主频偏移、到达时间等特性。请开发一款简易评估软件，实现以下功能： (1) 内置至少两种典型土壤即砂土和黏土的弹性波传播模型。模型可依据经典孔弹性理论或采用土壤波速经验公式如埋深-剪切波速回归模型建立。允许使用等效介质理论或经验公式进行简化。 (2) 输入参数包括：土壤类型、密度 (kg/m^3)、含水量 (%)、剪切波速 (m/s)，以及光缆埋深 ($0.5\sim 2.0\text{ m}$)、振动源横向距离 ($0\sim 15\text{ m}$)、振动源主频 ($10\text{ Hz}\sim 10\text{ kHz}$)。 (3) 输出结果：振动信号幅值衰减系数 (dB/m)、主频偏移量 (Hz)、信号到达时间 (ms)。 2. 建模要求 (1) 原则：使用国产软件或自主编程，不允许直接调用商业有限元软件完成全部计算。 (2) 应具备图形用户界面 (GUI)，支持参数输入、计算与结果展示，展示形式可为数值或曲线。 (3) 提交内容：软件源代码、可执行程序、用户使用说明、设计文档 (包含理论公式)。
	任务 1	(1) 针对至少 5 组不同的土壤参数组合，涵盖砂土、黏土及不同含水量、埋深，运行软件，计算并记录输出结果。 (2) 分析各输入参数尤其是土壤类型、含水量、埋深对输出特征即衰减、频移、时延的影响趋势，给出定性及半定量结论。 (3) 提交完整的分析报告，报告中应包含图表。
	任务 2 (任选一题)	(1) 模型扩展：在任务 1 模型基础上，考虑不同敷设方式如直埋与穿硅管对信号耦合效率的影响，扩展软件功能，使其能够预测两种敷设方式下的响应差异。要求给出修正模型的理论依据，并对比计算相同土壤条件下两种敷设方式的输出结果。 (2) 冻土影响：考虑北方季节性冻土区冬季冻融循环对振动传播的显著影响。引入冻土模型，例如考虑温度、未冻水含量、含冰量对波速的修正，扩展软件使其支持冻土环境下的信号特征预测。要求输入温度 ($-30\sim 0^\circ\text{C}$)，输出冻土与未冻土条件下的结果对比，并分析差异原因。

赛题三：高压氢气压缩机管路振动特性仿真分析

建模参数

1. 模型描述

对某氢气长输管线中的往复式压缩机出口管段进行气流脉动与共振风险分析。以某公开资料中的气体压缩机为例，其平面流程图如图 1 所示。

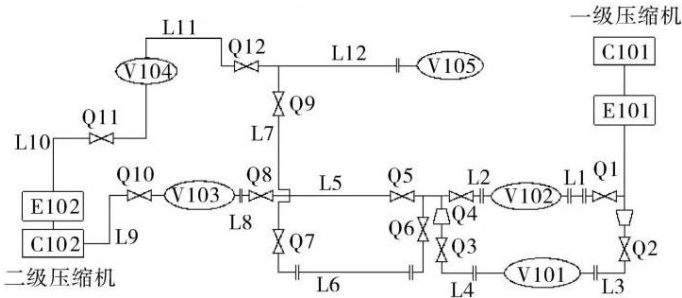


图 1 管网拓扑示意图

2. 工况条件

往复式氢气压缩机出口压力为 10 MPa，L5 管道两端法兰采用 D50 型号，管道外径为 60 mm，壁厚 7.5 mm，管长 2075 mm，两个弯管的中心间距为 165 mm，立管段中心距离 Q8 为 500 mm，材料为 P11 合金钢，弹性模量约 206 GPa，密度 7850 kg/m³，泊松比 0.29。管内输送介质为氢气，氢气的绝热压缩指数为 1.41，气体常数为 4124 J/(kg·K)，气体流速为 15 m/s，工作温度范围为 0~50℃。往复压缩机工况转速为 420 r/min。

表 1 氢气黏温数据

温度 (°C)	氢气粘度 (10 ⁻⁶ Pa·s)
0	8.76
10	8.98
20	9.19
30	9.40
40	9.61
50	9.81

3. 建模要求

(1) 原则：自由使用各种建模工具，建立压缩机出口 L5 管段的仿真模型。

		(2) 单位制：采用 SI 单位制。 (3) 仿真过程中，考虑压缩机运行引起的气流脉动，以压缩机运行基频作为进口氢气压力脉动的主要频率；目标管段结构模型两端采用固支边界条件。
	任务 1	(1) 建立管道流体仿真模型，计算不同温度下管内氢气的速度分布、压力分布；绘制管道关键位置处的压力脉动时域曲线及频谱特征，分析温度变化对气流脉动特性的影响。 (2) 建立管道结构仿真模型，开展管道模态分析，获得管道前 6 阶固有频率和对应振型，重点分析弯管、立管及连接等位置的振动特征，识别可能发生振动放大的薄弱部位。
	任务 2	(1) 基于仿真结果评估该管道是否存在共振风险。 (2) 针对高风险部位提出增加支撑或调整管路结构等相关治理措施，并通过仿真对比检验治理效果。

赛题类型二：工艺仿真		
题目	项目	问题描述与要求
赛题一：埋地天然气管道微小泄漏过程声波传播模拟	建模参数	1. 模型描述 针对埋地天然气管道可能发生的微小泄漏，对泄漏产生的声波信号在管内的传播情况进行模拟，为声波法泄漏监测技术提供参考。 2. 建模要求 (1) 原则：自由使用各种建模工具，准确模拟泄漏声波在埋地天然气管道内的传播过程。 (2) 单位制：长度 m。
	任务 1	(1) 构建埋地天然气管道泄漏仿真模型，管道埋深 1.5 m、管道直径 1219 mm，设置 2 mm、4 mm、6 mm 三种泄漏孔径，并支持管内压力、流量等运行参数的自定义修改。 (2) 模拟不同泄漏孔径、管内压力和流量条件下泄漏产生的声波信号。压力和流量取值应结合长输天然气管道典型运行范围合理确定，且每个影响因素不少于三个取值。分析孔径、压力和流量对泄漏声波信号的时域及频域特征影响规律。
	任务 2	(1) 计算不同工况下泄漏声波在管内的传播速度和衰减系数。 (2) 分析孔径、压力和流量变化对声波传播特性的影响。

赛题二：天然气管网输送能力与可靠性分析

建模参数

1. 模型描述

管网拓扑示意图见图 1，各条管道基础参数见表 1，压气站压缩机组均为电机驱动的离心式压缩机，参数见表 2。

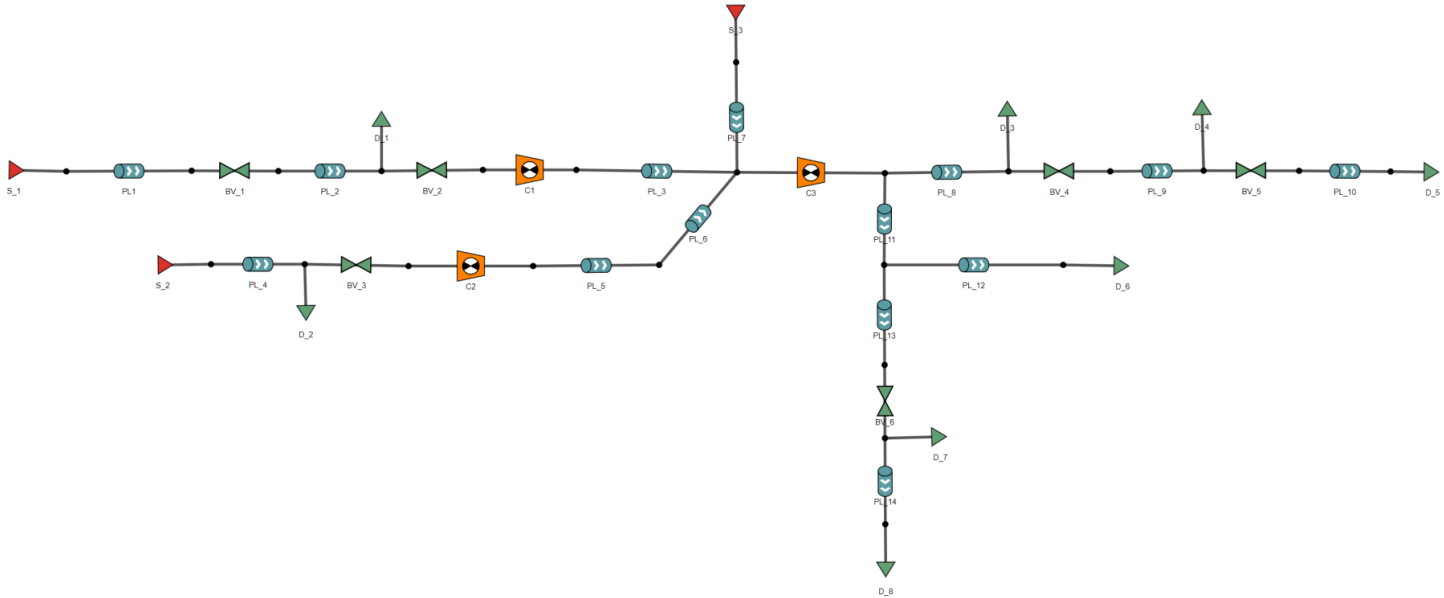


图 1 管网拓扑示意图

表 1 管段基础参数

管段名称	管长/km	管道外径/mm	管壁厚度/mm	粗糙度/mm	进口高程/m	出口高程/m	总传热系数 W/(m ² ·°C)	进口温度/°C	出口温度/°C
PL_1	100	1219	20	0.03	200	300	2.16	8	8
PL_2	95	1219	21	0.03	300	400	2.16	8	8
PL_3	130	1219	21	0.03	400	100	1.75	8	8
PL_4	48	1016	21	0.03	80	90	1.75	8	8
PL_5	150	1016	21	0.03	90	80	1.75	8	8
PL_6	180	1016	21	0.03	80	100	1.75	8	8
PL_7	150	1016	21	0.03	70	100	1.75	8	8

PL_8	90	1016	17.5	0.03	100	110	1.75	8	8
PL_9	100	1016	17.5	0.03	110	130	1.75	8	8
PL_10	100	1016	17.5	0.03	130	100	1.75	8	8
PL_11	200	1016	12.5	0.03	100	200	1.75	8	8
PL_12	100	1016	12.5	0.03	200	10	1.75	8	8
PL_13	90	813	20	0.03	200	170	1.75	8	8
PL_14	50	813	21	0.03	170	80	1.75	8	8

表 2 压缩机曲线特性表

压头/m	效率	入口体积流量 (m ³ /h)	转速/(r/min)	压头/m	效率	入口体积流量 (m ³ /h)	转速/(r/min)
2053.921	0.75227	2871	5873	3678.663	0.86153	6307	8132
2028.656	0.82958	3730	5873	3432.373	0.86536	7166	8132
1912.68	0.86213	4589	5873	3124.541	0.85731	8025	8132
1723.327	0.86299	5448	5873	2767.684	0.84232	8884	8132
1477.933	0.84524	6307	5873	2374.324	0.82531	9743	8132
1220.521	0.99	7085.303	5873	2337.792	0.80494	9818.191	8132
2371.935	0.72574	3061.583	6325	4850.022	0.69005	4386.692	9035
2374.085	0.811	3730	6325	4867.252	0.76533	4589	9035
2280.76	0.85416	4589	6325	4834.621	0.81688	5448	9035
2107.443	0.86569	5448	6325	4707.468	0.84831	6307	9035
1870.23	0.85607	6307	6325	4497.061	0.8632	7166	9035
1585.218	0.83577	7166	6325	4214.667	0.86514	8025	9035
1411.742	0.94047	7636.505	6325	3871.553	0.85773	8884	9035
3098.933	0.67516	3497.268	7228	3478.987	0.84456	9743	9035
3115.801	0.77062	3730	7228	3048.237	0.82921	10602	9035
3073.236	0.82949	4589	7228	2885.342	0.81529	10907.74	9035
2939.93	0.8588	5448	7228	5357.054	0.56838	4623.148	9487
2729.967	0.86556	6307	7228	5352.645	0.8036	5448	9487
2457.433	0.85678	7166	7228	5250.129	0.83938	6307	9487

2136.41	0.83947	8025	7228	5060.419	0.85903	7166	9487
1846.023	0.82532	8726.812	7228	4794.246	0.86564	8025	9487
3926.622	0.72956	3956.061	8132	4462.34	0.86232	8884	9487
3936.536	0.79856	4589	8132	4075.432	0.85217	9743	9487
3850.89	0.84091	5448	8132	3644.253	0.83829	10602	9487

2. 工况条件

(1) 上载数据

各气源上载数据见表 3。

表 3 资源供应计划

资源注入点	现状/万方/天	计划/万方/天	交接压力/MPa	交接温度/℃
S_1	1400	4200	6.5-6.8	10
S_2	2000	1500	6.0-6.2	15
S_3	500	1000	6.5-6.8	20

(2) 下载数据

各用户下载数据见表 4。

表 4 用户下载计划

下载点名称	现状/万方/天	计划/万方/天
D_1	0	300
D_2	0	100
D_3	0	500
D_4	0	500
D_5	1500	2500
D_6	100	200
D_7	0	100
D_8	2300	2500

(3) 组分数据
各上载点组分数据见表 5。

表 5 上载 1、3 气源组分

组分名称	甲烷 CH ₄	乙烷 C ₂ H ₆	丙烷 C ₃ H ₈	异丁烷 i_C ₄ H ₁₀	正丁烷 n_C ₄ H ₁₀	异戊烷 i_C ₅ H ₁₂
含量/%	95.92	1.88	0.32	0.06	0.08	0.03
组分名称	正戊烷 n_C ₅ H ₁₂	正己烷 C ₆ H ₁₄	正庚烷 C ₇ H ₁₆	正辛烷 C ₈ H ₁₈	正壬烷 C ₉ H ₂₀	异癸烷 C ₁₀ H ₂₂
含量/%	0.02	0	0.06	0	0	0
组分名称	乙烯 C ₂ H ₄	丙烯 C ₃ H ₆	氮气 N ₂	二氧化碳 CO ₂	硫化氢 H ₂ S	水 H ₂ O
含量/%	0	0	0.26	1.37	0	0

表 5 上载 2 气源组分

组分名称	甲烷 CH ₄	乙烷 C ₂ H ₆	丙烷 C ₃ H ₈	异丁烷 i_C ₄ H ₁₀	正丁烷 n_C ₄ H ₁₀	异戊烷 i_C ₅ H ₁₂
含量/%	96.05	0.77	0.11	0.01	0.01	0.01
组分名称	正戊烷 n_C ₅ H ₁₂	正己烷 C ₆ H ₁₄	正庚烷 C ₇ H ₁₆	正辛烷 C ₈ H ₁₈	正壬烷 C ₉ H ₂₀	异癸烷 C ₁₀ H ₂₂
含量/%	0	0.02	0	0	0	0
组分名称	乙烯 C ₂ H ₄	丙烯 C ₃ H ₆	氮气 N ₂	二氧化碳 CO ₂	硫化氢 H ₂ S	水 H ₂ O
含量/%	0	0	0.15	2.87	0	0

(4) 压气站数据

表 6 上载 1、3 气源组分压气站基础参数

站场名称	压缩机配置（使用+备用）
C_1	2+1
C_2	3+1
C_3	3+1

		(5) 经济数据 a. 压缩机组及辅助设备单价按 1.0 亿元/套考虑。 b. 管道单价：DN800 管径按 1000 万元/公里，DN1000 管径按 1000 万元/公里，DN1200 管径按 1100 万元/公里。 c. 电价按 0.6 元/千瓦时考虑。 3. 注意事项 (1) 各压气站进站压力不得低于 6 MPa，各分输用户压力不得低于 5.5 MPa。 (2) 模型至少需要一个气源控制方式为压力控制； (3) 气源、分输、压气站控制方式不限； (4) 压缩机工作点须在工作区内； (5) 管道设计压力 10 MPa。
	任务 1	(1) 根据资源市场的现状数据对以上管网系统进行稳态仿真，制定合理的输气方案。
	任务 2	(1) 根据未来输气计划分析当前管网系统的管输瓶颈，提出不少于 3 个可行的解决方案，进行经济比选（投资、运行成本、费用现值）、可靠性分析、环保性分析，给出推荐方案。 (2) 计算现状方案在关键压气站（C_3）停运事故工况下，未来 24 小时内的输量损失，分析系统薄弱环节，给出提高系统可靠性的可行建议。

赛题三： 输氢管道 投产混气 规律模拟	建模参数	1. 模型描述 输氢管道投产前，管道内部通常充满空气。若直接通入氢气，氢气与空气混合后可能形成可燃、可爆混合气体，存在较高安全风险。工程上常采用氮气隔离的“气推气”置换方式，即先在管道入口侧封存一定长度的氮气隔离段，再从入口通入氢气，由氢气推动氮气，氮气推动空气向出口流动，最终完成全线置换。																
		2. 工况条件 表 1 管道几何参数和运行工况 <table><tr><td>参数</td><td>取值</td></tr><tr><td>管长（km）</td><td>12</td></tr><tr><td>管径范围（mm）</td><td>DN700、DN1000、DN1200、DN1400</td></tr><tr><td>置换速度（m/s）</td><td>5、7、9</td></tr><tr><td>出口背压（MPa）</td><td>0.02、0.05、0.10</td></tr><tr><td>氮气封存压力（MPa）</td><td>0.05</td></tr><tr><td>初始氮气隔离段长度</td><td>取管长的 8%</td></tr><tr><td>管壁粗糙度（mm）</td><td>0.05</td></tr></table>	参数	取值	管长（km）	12	管径范围（mm）	DN700、DN1000、DN1200、DN1400	置换速度（m/s）	5、7、9	出口背压（MPa）	0.02、0.05、0.10	氮气封存压力（MPa）	0.05	初始氮气隔离段长度	取管长的 8%	管壁粗糙度（mm）	0.05
		参数	取值															
		管长（km）	12															
管径范围（mm）	DN700、DN1000、DN1200、DN1400																	
置换速度（m/s）	5、7、9																	
出口背压（MPa）	0.02、0.05、0.10																	
氮气封存压力（MPa）	0.05																	
初始氮气隔离段长度	取管长的 8%																	
管壁粗糙度（mm）	0.05																	
3. 建模要求 (1) 原则：自由使用各种建模工具，准确建立输氢管道投产混气模型。																		
任务 1	(1) 建立氢气管道置换模型，模拟氢气推动氮气隔离段完成管道置换的过程。计算管道内各组分气体的浓度分布，分析不同管径、置换速度和出口背压对混气段的影响规律。 (2) 比较不同管径条件下（出口背压 0.1MPa），各置换速度对混气段的影响，给出各管径下的推荐置换速度，并说明原因。																	
任务 2	(1) 在给定条件下（管径 DN1200，置换速度 7m/s；出口背压 0.1MPa），分析输氢管道投产置换中断时，中断位置（30%，60%，80%）对混气段的影响。 (2) 计算中断期间（5min）混气段变化和有效氮气隔离段剩余长度。																	

赛题类型三：电磁仿真																													
题目	项目	问题描述与要求																											
赛题一：基于管壁剩磁响应的油气管道缺陷内检测多物理场仿真与量化识别	建模参数	1. 模型描述																											
		要求通过多物理场仿真，构建 10 mm 壁厚油气管道剩磁场分布模型，实现对不同形貌、尺寸缺陷的剩磁响应信号仿真、特征提取与缺陷量化，贴合工程实际且具备创新研究价值。																											
		2. 工况参数																											
		(1) 管道参数：管材：X80 铁磁性碳钢（管线钢）；管壁厚度：10mm。																											
		(2) 管材属性：电导率 $\sigma=5.0\times10^6\text{ S/m}$ ，饱和磁感应强度 $B_s=1.65\text{ T}$ ，剩磁磁感应强度约 $B_r=0.85\text{ T}$ （漏磁内检测后固有剩磁，剩磁场方向设置为沿管道轴向）。管材磁滞回线曲线参数见附件 1。																											
		(3) 管道规格：长度不限（以均匀排布所有本竞赛规定全部类型的缺陷为准）、外径 $\Phi 813\text{mm}$ 管段为仿真对象。																											
		(4) 缺陷类型与尺寸（参赛队需在模拟管道上排布以下全部缺陷）如表 1 所示。																											
		(5) 核心约束：仅利用管壁固有剩磁，不新增励磁装置，通过缺陷引发的剩磁磁场畸变实现检测。																											
		表 1 曲线类型和参数																											
		<table><tr><th>序号</th><th>缺陷类型</th><th>长度（mm）</th><th>宽度（mm）</th><th>深度（mm）</th></tr><tr><td>1</td><td>金属损失</td><td>10</td><td>10</td><td>1、2、4、6、8</td></tr><tr><td>2</td><td>金属损失</td><td>20</td><td>20</td><td>1、2、4、6、8</td></tr><tr><td>3</td><td>环向裂纹</td><td>15</td><td>0.2</td><td>1、3、5</td></tr><tr><td>4</td><td>环向裂纹</td><td>30</td><td>0.2</td><td>1、3、5</td></tr></table>			序号	缺陷类型	长度（mm）	宽度（mm）	深度（mm）	1	金属损失	10	10	1、2、4、6、8	2	金属损失	20	20	1、2、4、6、8	3	环向裂纹	15	0.2	1、3、5	4	环向裂纹	30	0.2	1、3、5
序号	缺陷类型	长度（mm）	宽度（mm）	深度（mm）																									
1	金属损失	10	10	1、2、4、6、8																									
2	金属损失	20	20	1、2、4、6、8																									
3	环向裂纹	15	0.2	1、3、5																									
4	环向裂纹	30	0.2	1、3、5																									
		3. 建模要求																											
		(1) 原则：自由使用各种建模工具，准确模拟含缺陷管道漏磁检测模型。																											
		(2) 饱和磁化条件。																											

	任务 1	(1) 基础要求完成无缺陷管道剩磁场建模，实现单一尺寸金属损失、裂纹的剩磁信号仿真，绘制磁场畸变云图； (2) 提升要求完成多尺寸缺陷仿真，提取轴向/周向磁场峰值、峰宽等特征，建立缺陷深度-信号特征拟合关系； (3) 创新要求实现缺陷自动分类与量化，提出传感器最优布置方案，分析检测速度（0.5m/s~2m/s）对信号的影响。
	任务 2	(1) 管道剩磁场三维建模构建含剩磁的 10mm 壁厚管道三维模型，完成无缺陷状态下管壁剩磁磁场分布仿真，明确轴向/周向/径向磁场分布规律。 (2) 自主选择剩磁、涡流等无损检测方法（漏磁除外），对不同尺寸普通金属损失、裂纹缺陷进行剩磁条件下检测仿真，提取缺陷区域的剩磁磁场畸变信号，分析信号特征与缺陷尺寸的关联规律。 (3) 基于仿真信号，构建缺陷分类（金属损失/裂纹）、尺寸量化模型，实现缺陷类型判定与尺寸误差$\leq 10\%$的量化。
赛题二：动态磁场条件下漏磁检测关键影响因素机理分析	建模参数	1. 模型描述 对标 508 的牵拉实验数据，根据附件 2 提供的关键磁路参数，利用电磁线圈建立一个等效磁路（饱和磁场）。对照 508 在牵拉管无缺陷处的采集到的漏磁场，建立对磁化曲线的仿真能力，速度从 0.1 米每秒逐步提高 10 米每秒，预测轴向和径向分量的磁化曲线 2. 建模要求 (1) 原则：自由使用各种建模工具。
	任务 1	(1) 假定仅探头发生后移，分析探头偏移带来的影响，建立轴向径向和偏移的相关关系。
	任务 2	(1) 假定仅产生动生涡流，分析动生涡流带来的影响，建立轴向径向和速度的相关关系。

赛题类型四：多场耦合仿真		
题目	项目	问题描述与要求
赛题一：冻土区输油管道油温—冻融耦合下管道力学响应演化数值仿真与预测	建模参数	1. 模型描述 我国高寒地区管道沿线多分布多年冻土与季节性冻土，输送介质温度逐年升高易引发冻土融沉，土壤位移作用将导致管道承受附加荷载，给管道安全运行带来危害。需建立油温传热—土壤冻融—管道结构多物理场管土耦合数值仿真模型，分析介质温度升高导致的土体外载对管道力学响应的影响。 2. 工况参数 管道直径为 813 mm，壁厚为 12.5 mm，运行内压 10 MPa，管材为行 X65。模型长度为 120 m，融沉区长度为 40m（融沉区为粘土，两端为砂土不发生融沉），管道侧向土体单侧宽度为 10 m，管底土壤高度为 10 m。其余参数可以参照 GB 50253《输油管道工程设计规范》和 GB/T 50470《油气输送管道线路工程抗震设计规范》等标准进行选取。介质温度周期变化按照式（1）拟合，最高不超过 30℃；地表温度周期变化按照式（2）拟合。 $T_{oil} = -0.5 + 5.2 \sin\left(\frac{2\pi t}{360} + \frac{\pi}{6}\right) + 2.4 \frac{t}{360} \quad (1)$ 式中，T_{oil} 为介质温度，℃；t 为管道运行天数，一年取360天。 $T_{ground} = -3 + 21.9 \sin\left(\frac{2\pi t}{360} + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{2.4}{50 \times 360} t \quad (2)$ 式中，T_{ground} 为地表温度，℃；t 为管道运行天数，一年取360天。 3. 建模要求 (1) 原则：自由使用各种建模工具，准确模拟融沉作用下的管—土相互作用。 (2) 单位制：长度 m。 (3) 融沉区土壤力学参数及本构选取需能满足土壤固结沉降。
	任务 1	(1) 建立管土相互作用模型，计算模型原始温度场分布，并模拟管道运行 30 年后的温度场变化；分析管道运行 30 年间土壤融沉位移变化以及管道的力学响应状态。 (2) 模拟分析不同运行内压、管道壁厚和融沉区长度时的管道力学状态演化规律。

	任务 2	(1) 基于强度准则，应变设计准则和管道椭圆化失效准则分析不同影响因素下管道失效形式的演化过程，给出管道失效寿命。
--	------	---

赛题二：油 气管道热 收缩带补 口加热温 度优化	建模参数	1. 模型描述 热收缩带是油气管道防腐补口中常用的材料，通常通过红外辐射加热使其收缩包裹在管道焊缝或补口区域。实际施工中，热收缩带的加热质量直接影响防腐层的密封性与长期安全性。当前，加热过程多依赖人工经验，存在加热不均、局部过热或收缩不充分等问题。本题要求基于多物理场仿真手段，模拟热收缩带在红外辐射加热下的热-力耦合收缩过程，优化加热策略，提升加热均匀性与工艺可靠性。														
		2. 工况参数														
		(1) 物理对象：														
		a. 管道外径D：813 mm~1422 mm（可参数化）；														
		b. 热收缩带宽度：500 mm；														
		c. 热收缩带初始状态：未收缩，紧贴管道外壁（初始接触压力可忽略）；														
		d. 加热方式：红外辐射加热板阵列，布置于热收缩带四周，距离表面50 mm。														
		表 1 环境与工况条件														
		<table><tr><th>参数</th><th>范围/条件</th></tr><tr><td>环境温度</td><td>-30℃ ~ 40℃</td></tr><tr><td>风速</td><td>≤ 3 级 (≤ 5.4 m/s)</td></tr><tr><td>管道初始温度（向阳面 vs 背阴面）</td><td>温差 ≤ 20℃</td></tr><tr><td>最高加热温度</td><td>200℃（搭接处 220℃）</td></tr><tr><td>温度均匀性要求</td><td>±1℃（加热完成时）</td></tr><tr><td>加热时间</td><td>分为三个阶段（见下文）</td></tr></table>	参数	范围/条件	环境温度	-30℃ ~ 40℃	风速	≤ 3 级 (≤ 5.4 m/s)	管道初始温度（向阳面 vs 背阴面）	温差 ≤ 20℃	最高加热温度	200℃（搭接处 220℃）	温度均匀性要求	±1℃（加热完成时）	加热时间	分为三个阶段（见下文）
		参数	范围/条件													
环境温度	-30℃ ~ 40℃															
风速	≤ 3 级 (≤ 5.4 m/s)															
管道初始温度（向阳面 vs 背阴面）	温差 ≤ 20℃															
最高加热温度	200℃（搭接处 220℃）															
温度均匀性要求	±1℃（加热完成时）															
加热时间	分为三个阶段（见下文）															
(2) 加热策略要求（控制目标）：																
a. 最终温度均匀性：±1 °C																
b. 最高温度 ≤ 200 °C																
c. 各加热阶段的热输入需根据环境温度、风速、初始温差动态调整。																
表 2 加热过程																
<table><tr><th>阶段</th><th>加热方式</th><th>说明</th></tr><tr><td>第一阶段</td><td>中间区优先加热</td><td>热收缩带中间区域先加热至收缩温度（如 130℃），促使其收缩</td></tr><tr><td>第二阶段</td><td>向外逐步加热</td><td>向两侧依次加热，推动收缩逐步向外扩展</td></tr><tr><td>第三阶段</td><td>整体加热</td><td>整体 500mm 区域同时加热至最终温度（如 180℃），持续 5 分钟</td></tr></table>	阶段	加热方式	说明	第一阶段	中间区优先加热	热收缩带中间区域先加热至收缩温度（如 130℃），促使其收缩	第二阶段	向外逐步加热	向两侧依次加热，推动收缩逐步向外扩展	第三阶段	整体加热	整体 500mm 区域同时加热至最终温度（如 180℃），持续 5 分钟				
阶段	加热方式	说明														
第一阶段	中间区优先加热	热收缩带中间区域先加热至收缩温度（如 130℃），促使其收缩														
第二阶段	向外逐步加热	向两侧依次加热，推动收缩逐步向外扩展														
第三阶段	整体加热	整体 500mm 区域同时加热至最终温度（如 180℃），持续 5 分钟														

		3. 建模要求 (1) 原则：使用国产自主可控仿真软件或自行开发程序完成。 (2) 物理场：至少包含以下耦合： a. 热辐射（红外加热） b. 热传导（管道、热收缩带） c. 热对流（环境空气、风速影响） d. 热—力耦合（热收缩带收缩应力） (3) 几何建模： a. 可简化为二维轴对称模型或三维局部模型 b. 管道壁厚、热收缩带厚度、材料属性（导热系数、比热容、热膨胀系数、收缩应力-温度曲线）需自行合理设定或查阅文献 (4) 初始条件： a. 管道初始温度分布非均匀（向阳面 vs 背阴面） b. 环境温度、风速可参数化
	任务 1	(1) 建立热—力耦合仿真模型，模拟热收缩带在红外加热下的全过程温度演化与收缩位移。 (2) 给定标况（环境温度 20℃，无风，无初始温差）下，绘制至少 3 个位置的温度—时间曲线；给出最终温度云图和缩应力分布图。 (3) 分析非均匀初始温度影响：设置向阳面与背阴面初始温差 20℃，与标准工况对比最终温度均匀性、最大温度和收缩应力变化，评估温差对加热效果的影响。
	任务 2	(1) 选项 A：加热策略优化。在环境温度-30℃、0℃、40℃，风速 0 m/s、3 m/s 组合下（至少 3 种组合），优化加热板分区数量（如 3 区、5 区、7 区）及各区功率分配；以加热时间、温度均匀性和能耗为评价指标，提出一种自适应加热控制策略（如基于温度反馈的功率调节）。 (2) 选项 B：设备设计与布局优化。设计适配 D=813~1422 mm 管径的红外加热板阵列，优化加热板距离、角度和功率分布；在-30℃、风速 5.4 m/s 条件下验证加热均匀性，并给出布局示意、分区编号和控制时序。

注:上述赛题的最终解释权归属大赛专家评审委员会。