



EPTCHINA.CN
中国电力科技网



中国华电
CHD

第三届热电联产远距离低能耗集中供热技术研讨会



杨宜将

华能上安电厂供热项目处工程部主任，华北电力大学热能动力专业，从事电力生产技术管理工作、火电建设管理工作以及燃料供应工作、火电厂供热改造及供热技术监督工作，现负责本公司供热技术监督和供热工程建设。参与了华能集团《供热反事故措施》的编审。

华能上安电厂供热长输工程

主办单位：中国电力科技网

协办单位：华电宁夏灵武发电有限公司 宁夏华电供热有限公司

2020年1月8-10日 中国·银川



华能上安电厂供热长输工程

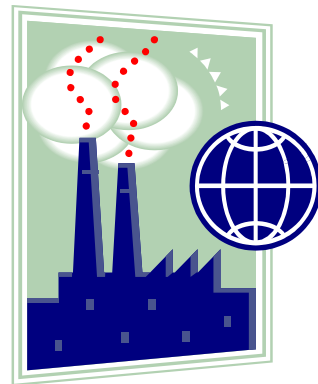
华能上安电厂
2020年元月



一、大温差输送及余热利用

○ 1. 响应规划

按照《石家庄市城市集中供热专项规划（2016-2020）》，华能上安电厂供热改造后，利用热网大温差输送、电厂余热利用和末端调峰技术，向石家庄市市区供热。





一、大温差输送及余热利用

○ 2. 热源简介

- 华能上安电厂位于石家庄市以西井陘县上安镇，距石家庄市市区25公里。规划总容量为2560MW，由华能国际电力股份有限公司投资建设
- 石家庄市中心城区现状集中供热面积1.9亿 m^2 。根据河北电力设计院方案，通过打孔抽汽、切缸、增加空冷凝汽器回收余热等一些列供热改造，上安电厂供热能力3020MW，考虑30%调峰负荷，总供热面积8700万 m^2





一、大温差输送及余热利用

○ 3. 热网工程

- 2018年3月，上安电厂余热入市一期工程经华能集团公司批复立项，投资18亿元，主管线桩长46公里，设计供热能力1350MW。管网工程8月开工建设，同年投产供热，替代曲寨热电、西郊燃煤锅炉，现状供热面积2600万 m²
- 根据市区热负荷替代、发展时序，上安电厂余热入市二期工程2020年开工建设，DN1400主管线32公里，设计供热能力1374MW。





一、大温差输送及余热利用

- 4. 一期工程
- 本工程长输管网现状供回水温度 $120/50^{\circ}\text{C}$ ，通过末端大温差改造，远期可实现 $125/35^{\circ}\text{C}$ ，大温差供热
- 本工程供热主管线桩长46公里，其中DN1400管线18公里，热源厂出口至主管线末端高差197米，在距离热源厂9.3公里处建设隔压换热站及回水升压泵站





一、大温差输送及余热利用

- 4. 一期工程
- 全线2处穿越石太高铁，3处穿越货运铁路，5处穿越307国道，2处穿越高速，1处穿越南水北调，1处穿山隧道，1.7公里山地架空段
- 电厂至隔压换热站高差127米，长输管网设计压力2.5MPa，最大工作压力2.2MPa；隔压站至主管线末端一级网高差70米，设计压力1.6MPa，一级网不设加压泵站，末端热力站设计为分布变频模式





一、大温差输送及余热利用

- 4. 一期工程
- 隔压换热站2018年6月15日开工建设，同年11月13日带电，14日通水循环，15日带热运行
- 长输管网2018年8月14日开工建设，同年11月12日贯通，14日通水循环，15日带热运行，16日鹿泉主城区达标供热。



一期工程





二、设备选型

○ 1. 隔热支架

- 热力管道支架是直接支撑热力管道并承受热力管道作用力的管路附件，如采用常规热力管道支架，支架与热力管道工作钢管焊接连接会形成热桥效应，其产生的热损失约占整体架空敷设段热损失的15%~20%
- 本工程借鉴同类供热工程，采用隔热支架可将架空热力管道在设计工况下的沿程温降控制在 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 以内，满足《城镇供热系统节能技术规范》（CJJ/T 185-2012）的要求。长输管线9.3公里，总温降 $< 0.5^{\circ}\text{C}$





二、设备选型

○ 2. 补偿器

○ a. 内压平衡补偿器

- 本项目长输管网管径为DN1400，设计压力为2.5MPa，架空敷设段长度约1.7km且架空敷设路由位于山地，为尽量避免设置主固定支架以降低项目投资，尽量采用自然补偿设计
- 架空段起点及隧道段受路由限制，无法采用自然补偿设计，必须采用设置主固定支架及采用轴向型补偿器补偿设计，由于采用常规轴向型补偿器产生的内压不平衡力较大（单管415t），将造成主固定支架土建投资增加及施工难度增大，从减少项目投资及加快施工进度两方面综合考虑，采用轴向内压直通直管平衡补偿器



本工程轴向内压直通直管平衡型补偿器





二、设备选型

- 2. 补偿器
- b. 横向大拉杆波纹补偿器
- 根据近年补偿器事故案例，宜在设计、招标阶段增加导流筒最小壁厚、最小波纹层数和单层壁厚等约束条款，其中不带加强环波纹补偿器层数DN600-900不少于5层，DN1000及以上规格不少于6层
- 波纹补偿器生产加工过程中，涉及选材、压制成形、高温烘干处理、波纹管端部封焊、端管与波纹管焊缝处专用坡口等复杂工序、因此要对波纹管补偿器生产制造全程监造，确保产品质量



事故案例：DN600波纹层数少（2层），投运短时间损坏



事故案例：鼓包，波纹端部未封焊或层间积水





二、设备选型

○ 2. 补偿器

○ c. 套筒补偿器

- 套筒补偿器主要分为压兰式、注填式、直埋式三种形式。
- 免维护直埋套筒补偿器采用自压式动密封，靠介质压力；而其它两种套筒补偿器密封材料的压紧是靠外力作用，补偿器拉动后密封材料和芯管之间出现缝隙，无法弥补，补偿器会泄漏，需要靠外力的作用压紧密封材料，需安装检查井，不能直埋。
- 宜选用免维护直埋套筒补偿器。





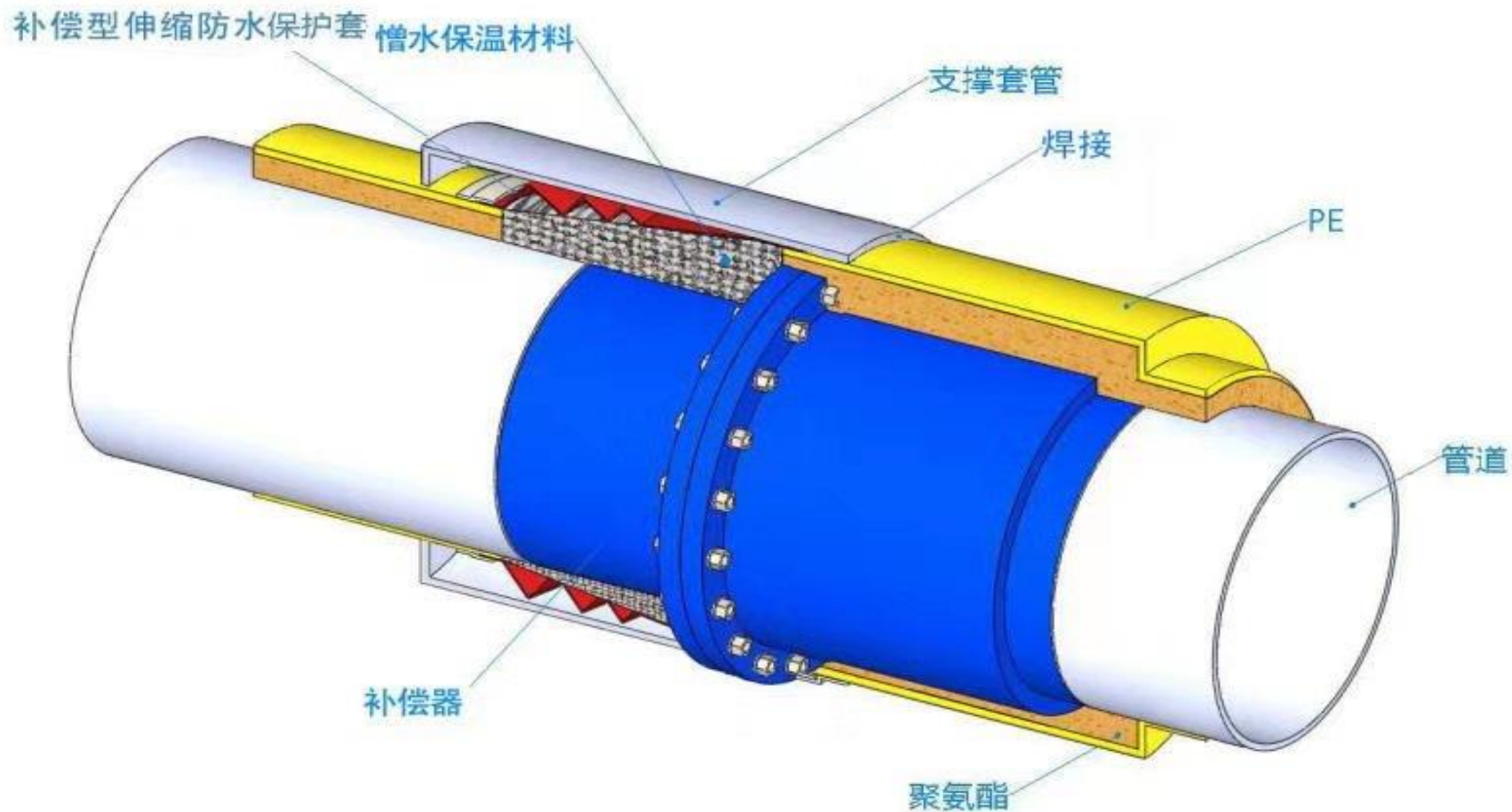
二、设备选型

○ 2. 补偿器

○ c. 套筒补偿器

- 直埋套筒补偿器在安装时，必须保证管道的同轴度，补偿器的活动端与管道同轴，补偿器的固定端与固定节之间允许打折角
- 直埋套筒补偿器在安装时，固定端靠近固定墩，如反装，则补偿器的保温易被破坏
- 补偿器保温宜工厂预制，采用活动的防水护套及憎水软质保温材料，通过多种方式，多层防护，做到严格密封，尤其适用于地下水位高的工况。

套筒补偿器厂家预制保温





二、设备选型

○ 3. 板式换热器

- 大温差管网需降低回水温度，提高管网输送能力，充分利用热电厂余热。回水主要依靠末端热力站热泵机组降温，同时要尽量减小隔压换热站板换端差，长输管网隔压站板换端差 $\leq 5^{\circ}\text{C}$
- 高宽比大、波纹角度大、沟槽较浅的板换，热长度值更大，换热效果更好，端差更小，其中高宽比、波纹角度，不同厂家有不同的设计选型。





二、设备选型

- 需要重点注意的是，虽然沟槽深度越浅密换热能力越强，但浅密波纹的流通性能会弱，因此要根据系统水质情况，在换热能力与流通性两方面综合考虑，建议隔压站板换沟槽深度 $\leq 3\text{mm}$ 。





二、设备选型

○ 3. 板式换热器

- 按照板换制造选型，NTU大于8时，需要串联布置。按照实际运行情况，长输管网供回水温差 90°C ，选取端差 5°C ，则传热单元数（NTU）为18，两级串联即可满足要求
- 考虑水力失衡，板片数量过大时，换热效率会受到影响，对于隔压站的大板换来说，建议不超过750片
- 按照PN25的设计，板片厚度 $\leq 0.6\text{mm}$





三、安全质量保证措施

- 1. 焊接管理
- 长输管网工程工期不足100天，焊接管理是重点。
- 人员管理：甲方配备两名焊接专工，每标段配备一名专业经验丰富、责任心强的焊接监理工程师，焊接、检测人员持证、考试入场，总计考核焊工75批次536名，淘汰清除58名。
- 器具、材料管理：严格焊接工器具和焊材的进场和入库把关，焊材进场和入库都要经过监理和甲方查验、核实确认，杜绝假冒伪劣的焊材以及不合格工器具进入施工现场，有效保证了焊材质量。





三、安全质量保证措施

○ 1. 焊接管理

- 严格焊接工艺评定，各标段焊接专业根据工艺评定书编制焊接作业指导书，监理甲方审定，下发焊接机组认真学习并落实到实际焊接工作中
- 焊缝统一编号，实行焊缝检测申请、检测指令和检测结果回执流程。有效监控焊缝的自检、复检及探伤检测存在的漏检风险，保证每道焊缝都进行检查和检测
- 本工程焊口总计11536道，焊缝一次检测合格率达到98%以上，投产至今未出现由于焊接质量导致的泄漏事故，供热管网安全稳定运行





三、安全质量保证措施

- 2. 补口保温
- 传统搭接热熔
- 搭接处有缝隙
- 搭接纵焊缝处由于下方缺少支撑点，易造成焊接不实
- 搭接区域存在加热重叠区，造成过烧
- 熔接电流手动控制，熔接温度无法检测，造成过度熔接或熔接不上
- 气密试验通过率低，漏气现象普遍





三、安全质量保证措施

- 2. 补口保温
- 无缝化热熔套
- 无缝套袖式设计，为主管线保温管道的连接提供更有效保护，电热熔套安装简单，缩短安装周期
- 智能热熔仪，实现熔接的自动控制和熔接质量的可追溯性，施工过程参数标准化，过程自动化
- 熔接工艺可重复性，保证了熔接质量的一致性
- 专用热熔仪具备定位功能，熔接数据无线传输，用户可在线监控现场施工情况
- 气密性试验合格率99%以上





三、安全质量保证措施

- 2. 补口保温
- 注料口排气口封堵
- 注料口和排气口采用锥形口和锥形塞堵，塞堵材料采用母管相同材料加工。塞堵焊接时由于工人的按压方向和按压力度的不同，容易产生焊接空隙和气孔，所以采用专用工具进行热熔按压，熔接强度和气密性能够保证。常用自攻螺栓式封帽，采用模具浇注生产，无法保证熔接强度，管道热位移时，尤其是定向钻拖管工艺过程中，这种封帽极易损坏、脱落





三、安全质量保证措施

○ 2. 补口保温

- 综上所述，为保证供热管网的安全运行和使用寿命，补口焊接强度(拉伸强度)大于母管，保温管道补口宜采用无缝化热熔套，熔接设备采用数字化智能热熔机，塞堵采用辅助塞堵焊接工具进行焊接，塞堵的焊接强度也能够得到保障





三、安全质量保证措施

○ 3. 管道内部清洁

- 长输管网根据工艺要求在正式投入使用前，需要进行吹扫和冲洗，以保证管道内部清洁，但长输管网通常存在地势起伏较大，分段阀门、翻转折点较多，系统容量大排放困难，工期紧张等特点，实际施工过程中吹扫冲洗很难全部去除管道内部大的遗留物。系统投运后经常出现水质不达标，阀门卡塞损坏、除污器、换热器堵塞，水泵机械密封磨损等一系列问题，影响系统安全、经济运行





三、安全质量保证措施

○ 3. 管道内部清洁

- 本工程明确专门队伍负责管道内部清洁，开工前成立课题组研究专项方案，研制了专用机械设备，包括发动机、风机、手持清扫杆、可拆换清扫头等一些列配件
- 清理工作分管道到场后和焊接后两步进行，清理与焊接同步，对所有管道清理施工人员进行安全培训和工艺培训，制定严格工作顺序和检验标准，管道清理与焊口对应统一编号，每一处存留经纬影像记录，监理甲方验收签证





三、安全质量保证措施

- 3. 管道内部清洁
- 本项目投产至今，除污器无堵塞停运，系统无大量排污，水泵机封无损坏，隔压站板换无堵塞拆洗，系统水质稳定合格
- 建议同类工程管道内部清洁单独招标，制定有效的管理流程，明确验收考核指标，保证管网系统清洁安全运行





三、安全质量保证措施





三、安全质量保证措施

○ 4. 井室分仓布置

- 供热系统受限空间作业较多，尤其是井室内作业风险很大，窒息、淹溺事故时有发生。为保证受限空间作业人身安全，建议新建、改建工程将排气、排水阀门与排气、排水口分井布置，或将井室内排气、排水阀门改为井外操作，将排气、排水口引至井室外





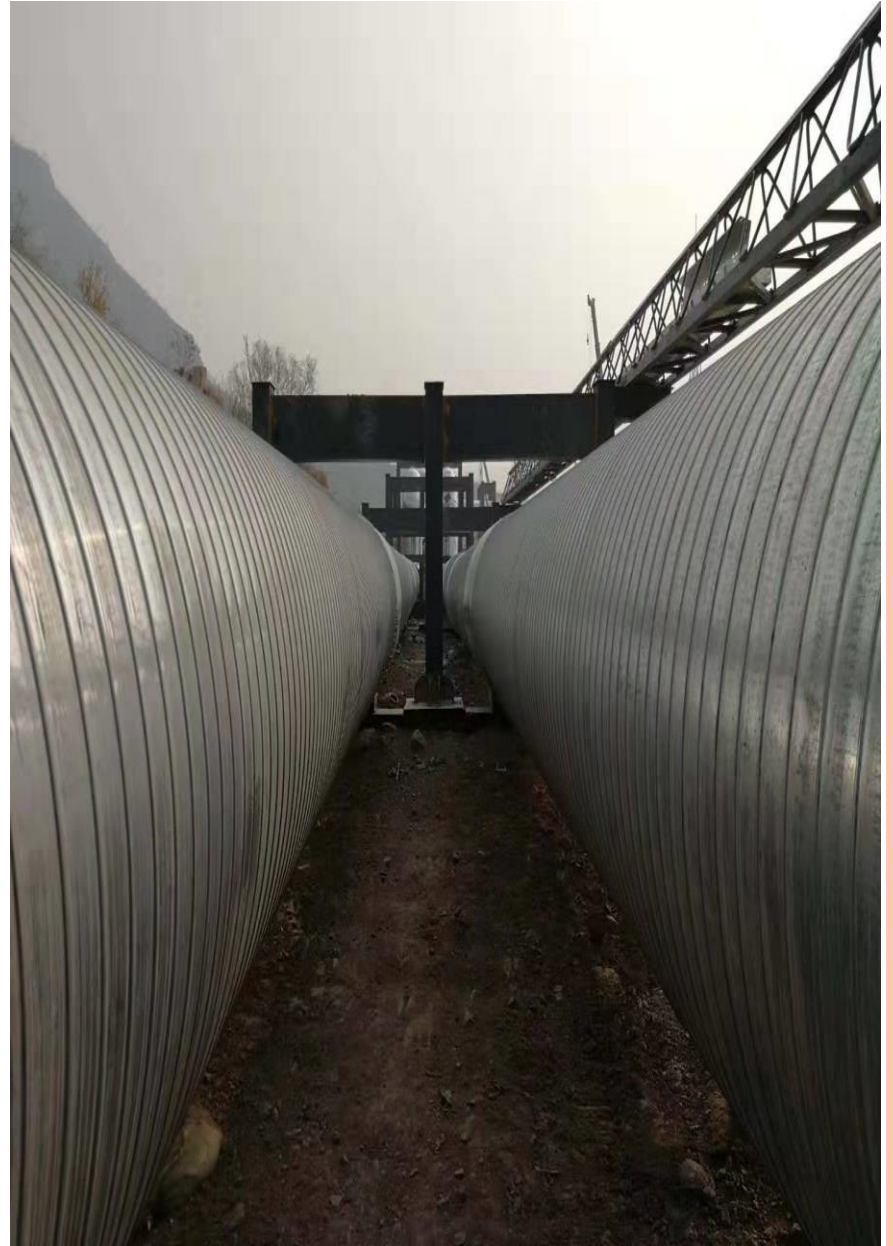
四、工期保证措施

○ 1. 工区划分

- 由于开工较晚，为保证如期供热，每个标段划分若干工区，其中一标段为电厂至隔压站，桩长9.3公里，划分16个工区，每个工区一个工程小分队，同时开工。架空段1.7公里，开始由3个工程队分段施工，架空管线工程涉及山体基础开挖，承台浇筑，钢结构吊装组焊，保温管道吊装焊接等多道工序，过程中调整为6个工区。安装高峰时，约20个工区同时施工。









四、工期保证措施

- 2. 日调度会
- 本项目每晚召开调度会，政府主管部门、甲方、设计代表、监理、施工方参加，施工方汇报每日进度完成情况，提出工程过程中需要协调解决的问题，甲方各标段项目经理、监理确认各标段进度完成情况。对落后日进度计划的工作，各方协商解决方案，连续落后的工区，监理下发考核单，甲方可按照双方合同约定，以1.5倍中标价另委切分工程量。对由特殊原因需要变更原施工方案的，设计代表当晚拿出解决方案，各方签字确认生效，相应正式变更图纸3天内完成。对于施工方协调难度大的阻工问题，甲方与政府职能部门协助协调





四、工期保证措施

○ 3. 下向焊

- 本工程DN800及以上的管道采用下向焊工艺，与传统氩电连焊比较，纤维素半自动下向焊速度快，焊缝一次检测合格率高
- 分析原因，由于长输管线大都在野外作业，氩电连焊受风的影响较大，下向焊不存在气体保护的问题，本工程总计11536道焊缝，全部焊缝一次检测合格率达到98%以上，其中下向焊焊缝一次检测合格率高达99.5%
- 清洁度方面，氩电连焊有氩弧打底工序，管道内部清洁度较下向焊要好，因此建议DN800及以上可以人工内部清理的管道采用下向焊，小口径管道仍采用氩电联焊工艺





四、工期保证措施

○ 3. 下向焊

- 长输大口径管道采用传统焊接工艺很难满足工期需要，宜采用纤维素半自动下向焊工艺，优点是焊接缝隙小，焊接速度快，与传统焊接工艺相比，具有高效、节能、电弧吹力大、抗外界干扰能力强特点
- 下向焊工艺进行大口径管道焊接，大大提高了焊接施工速度和焊接质量，降低了施工成本。实践证明，采用下向焊工艺生产效率比普通焊条电弧焊提高2倍多，焊缝X射线探伤合格率达到99.5%，保证了40多公里管道的焊接质量，此工艺应用在大口径的热力管道焊接工程中，充分体现它独特的优越性，值得大力推广



3. 下向焊





四、工期保证措施

○ 4. 隧道工程

- 本工程架空段末端处山体陡峭，垂直落差近30米，设计方反复核算，无法架空通过，选择炸药爆破隧道方案。施工方入场后，与石太高铁管理处多次沟通，认为此处距离高铁线不足150米，不能采用炸药爆破施工，由此导致施工队入场一个多月无法开工。经多方协商，上报审批，选择大型挖掘机爆破石方、开挖山体至设计标高，建设混凝土箱涵的方案。此处隧道长180米，8台大型挖掘机昼夜不停45天，爆破挖掘石方83000m³，按期完成了隧道工程
- 对于隧道距离长、工期紧的工程，可参照此方案，选择相对低洼地段，爆破挖掘出多个工作面，缩短工期

四、工期保证措施





四、工期保证措施

- 5. 特殊穿跨越EPC总包
- 本工程供热管线涉及5处穿越铁路，其中3处货运、2处高铁，安全要求高，施工难度大。掘进速度严格受限，保护区内施工需要申请批复，通行火车降速，路基加固等一系列要求
- 采用EPC总包方式，6月初入场，10月底长输段2处铁路穿越工程结构主体完工，给管道安装只留出10多天的时间，非常紧张
- 对于高速、国道、高铁、南水北调等特殊穿跨越路段，存在特殊行业，特殊管理，安全等级高等特点，前期手续繁杂，如果工期紧张，建议选择EPC总包方式

四、工期保证措施





四、工期保证措施

- 6. 管道定尺预制
- 由于架空段管道200多个隔热支架附带2米管道厂家预制，如果保温管道按常规12米供货，现场切割加工量会很大，影响工程进度。经与设计院、保温管道厂家协商，按照施工图桩号、隔热支架位置坐标，本工程采用定尺预制保温管，按照管线不同位置，由保温管道厂家厂内预制6米、8米、10米等不同长度的成品保温管，并加工坡口，现场直接对口组焊，大大节省了时间





四、工期保证措施

- 7. 隔压站工期
- 隔压站涉及到基础开挖、换填，主厂房建设，设备安装调试，工期要求更高
- 建议开工前运用三维BIM技术，排演合理的安装工序，缩短工期
- 建议主厂房选择轻钢结构，缩短工期
- 本工程隔压站从一片荒地到投产供热，仅用了5个月时间



四、工期保证措施



四、工期保证措施



四、工期保证措施





四、工期保证措施

○ 8. 分段注水

- 长输管网水容量约3万吨，由上安电厂单点制水、补水，制水能力300t/h，全线注满需要5~6天时间。根据工期进度，如果管线全部贯通后再开始注水，无法保证供热节点要求，为保证工期，采用分段注水方案，7处分段阀门按照电厂至隔压站顺序，逐个关闭，逐段注水
- 长输管网11月12日全线贯通，一天之后，全线注水完成
- 一级网采用热力站制水设备多点注水，同时采购移动制水设备，移动注水
- 以上方案，对工期紧张的工程有参照意义。





五、经验与教训

- 1. 结构与工艺安装
- 所有工程都有其科学合理施工工序，供热工程有其特殊性，有时为保证如期供热，一些工序会被打乱
- 比如隧道、顶管、井室这类结构工程，理论上一衬、二衬、防水、注浆结束，强度满足要求才能够进行工艺管道安装，但有时受制于通水供热要求，不得不将二衬、防水注浆等工序放在管道安装之后进行
- 这样就存在结构强度不够的安全风险，还有空间受限，一些工序无法正常展开，质量无法保证，应尽量避免





五、经验与教训

○ 2. 主管线开口

- 分段阀门旁通阀等主管线开口工作应该在主阀门安装、管道封闭前完成，如果在主阀门安装、管道封闭后开口，会导致开口处杂质进入管网系统，带来安全隐患

○ 3. 补偿器安装

- 直埋套筒补偿器在安装时，必须保证管道的同轴度，补偿器的活动端与管道同轴，补偿器的固定端与固定节之间允许打折角对口。有些安装队伍用活动端强制对口，这也是需要注意的。

○ 4. 用电

- 如果热电厂与热网建设方是同一主体，建议场站采用厂用电，可降低运营成本。



谢谢！

