

编者按：本期《专题报道》栏目推出的是山西省工业设备安装集团有限公司施工的古交兴能电厂至太原长输供热工程。太古供热项目不仅有效解决了太原居民的供热要求，产生了良好的节能和环境效益，同时为国内长距离输送热源提供了典范。该工程创新了供热模式，采用了大温差等多项先进技术，解决了长距离输送、地形高差、经济输送三大技术难题，达到了“绿色化、低碳化、智能化、安全化”绿色供热标准，为大中型城市运用远离城市区域的电厂及工业余热承担供热负荷、实现集中供热，提供了可借鉴的成功经验。

太古供热热源工程开创长输供热项目之先河

赵海生 奥云军

(山西省工业设备安装集团有限公司 太原 030032)

古交兴能电厂至太原长输供热工程(以下简称“太古供热工程”)是目前亚洲最大的集中供热工程,其设计供热能力、建设投入资金、穿越西山的隧道、主干管网的口径以及项目的高差,都是前所未有的。该项目在建设过程中,解决了许多难以想象的难题,管线六次穿越汾河,多处劈山架管,开通三座穿山隧道,横穿八座桥梁,建设了一座钢结构管架桥,尤其是面对瓦斯、塌方、岩爆等诸多不利因素,施工人员勇克难关,开创了供热项目的历史记录,被称为史上最难建设的供热工程(见图1)。如此浩大的项目按正常工期,至少需要四年以上,然而该工程仅用两年半的建设周期就投入运行,且工程质量一流。

2017年1月9日,我国暖通行业顶级专家、中国工程院院士、清华大学建筑学院副院长江亿,在考察太古供热项目时对该项目的建设及目前的运行情况,予以充分肯定。他说:“太古供热项目的技术难度和要求,在全国乃至世界供热史上都史无前例,为全国各地长输供暖项目实施开创了先河,是成功的示范样板工程。”



图1 太古供热工程示意图

长距离输送热源的样板工程

太古供热工程是山西省和太原市的重点工程,项目建设总投资48亿元。工程以古交兴能电厂热电联产机组为热源,敷设4根DN1400管线37.8km(其中隧道长度15.17 km),建设三座中继泵站,一座事故补水站,一座中继能源站。项目建成后,近期可实现供热面积5000万 m^2 ,远期可实现7600万 m^2 ,总量相当于太原市供热量的一半。经测算,每年可节约标煤93.1万t,节电5700万kWh,节水2964万t,每年可减少二氧化碳排放244万t,减少二氧化硫排放3798t,减少氮氧化物排放1052t,减少粉尘排放2104t,节能和环境效益非常显著,使太原市实现真正意义的清洁型供热全覆盖。

该项目不仅有效解决了太原居民的供热要求,改善环境质量,同时为国内长距离输送热源提供了典范。本文从热源、长输管线工程、泵站工程三个方面介绍太古供热工程整体情况。

热源：兴能电厂内部供热改造古交兴能电厂规划装机容量3000MW,其中一期 $2 \times 300 MW$ 和二期 $2 \times 600 MW$ 已投产,三期规划建设 $2 \times 600 MW$ 机组,全部建成后可向太原市区提供的供热能力达到3484MW。

长输管线工程：

(1) 屯兰河段管线：屯兰河段管线起点在古交兴能热电厂三期预留分支处,管线沿屯兰河直埋敷设至屯兰河与汾河交汇口处,管线全长



5.1km。在电厂出口处采用逆做法施工，解决了施工空间狭小、没有空间打桩、开挖深度深、地下水位高的问题；沿屯兰直埋施工过程中对现状流水断面进行了改线，全线首先进行了降水处理，采用敞沟预热的的方式直埋敷设。

(2) 古交市区汾河段：汾河段管线起点接屯兰河末端，终点至过汾河的后古交市火车站门口滨河北路上，管线全长2.1km。屯兰河末端至过汾河之前沿汾河南河滩在二级堤防内直埋敷设，由于管位紧张，涉及到了古交市各个管线单位，对多种现状管线进行了改迁，尤其是尖山铁矿精矿粉高压输送管道，压力达到10MPa，涉及到特种管材的定制。严格按照时间要求交叉改线，并协调尖山铁矿停车等问题，最终在狭窄的汾河南河滩上采用敞沟预热方式将汾河南河滩严格按照图纸要求敷设完毕。

(3) 古交市滨河北路及边山公路段：管线全长9.8 km，管线起点过汾河地沟末端，终点为古交市高速匝道桥下边山公路末端。由于此段管线穿越铁路处为现状铁路桥，桥身宽度较窄，且基础为承台基础（铁路部门不允许破除），无论是从宽度空间还是深度空间均无法满足四根管线通过，最终方案确定为在保证现状桥梁安全的基础上少量拆除现状承台放大角，运用管线上下叠落地沟的方式通过了该处铁路桥。

(4) 1#隧道至3#隧道：该段管线全长约16km，其中1#隧道1.4km，2#隧道2.4km，3#隧道11.8km，其余部分为隧道之间直埋段。隧道断面尺寸与太古高速相同，供热管线在隧道内两侧敷设，上供下回（见图2）。

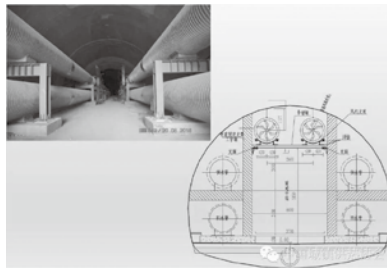


图2 隧道内的供热管道

泵站工程：根据系统总阻力及工程实际条件，系统共设置6级加压，分别为电厂内加压泵，1#泵站回水加压泵，2#泵站供、回水加压泵，3#泵站回水加压泵，中继能源站回水加压泵。

回水加压泵每套系统设4台，4用不备，每座泵站内共设置8台水泵；泵站内设置4台旋流除污器，每套系统2台，除污器规格为DN1200。其中中继能源站设备配置主要有高压侧和低压侧。

高压侧：来自古交兴能电厂的高温水管道，水温125℃，每套系统分为5路DN700管道，进入5台DN700旋流除污器后通过5组板换阵列，与低压侧循环水换热后降到30℃，经4台循环水加压泵加压后送至3#回水加压泵站，每套系统在一个换热车间内。高压侧设置整体旁通，防止停泵水锤。

低压侧：每套系统 DN1400管道，水温25℃，进入换热车间后，分为2路DN1200管线，进入2台DN1200旋流除污器，再经5台循环水泵加压后，进入5组板换阵列升温至120℃，供给太原市区。

新技术的应用

热网大温差输送技术：该技术突破了常规换热器的换热温差极限，实现了一次网回水温度显著低于二次

网回水温度，在保持二次网运行工况不变的前提下，可将一次网的回水温度由50~60℃降低到15~30℃，在热力站设置吸收式换热机组降低市区热网的回水温度，使长输管线的供、回水温差由传统的60℃提升到100℃以上，比常规技术的热量输送能力提高70%以上；其大温差小流量的运行特点，特别适合热量通过管道超远距离输送，显著降低管网建设初投资，同时降低长输供热的输入成本。同时，较低的热网回水温度也为在热源处进行余热回收创造了条件。

电厂乏汽余热利用：在电厂首站进行供热改造，大幅提升电厂内余热回收系统的经济性，升温幅度高达70~80℃，对传统热泵技术实现了重大突破，回收大量乏汽余热后供热能耗降低57%（整个采暖季回收余热热量占总供热量的比例）左右。

多级中继循环泵使用：将管线压力及输送成本控制在合理范围之内，并尽量提高热网循环水量。这是用现有城市区域之外的电厂为城市区域供热，用远离城市区域的电厂及工业余热承担基础负荷，该技术将为节能减排、改善大气环境做出重大贡献。

大型、高压、高NTU值可拆式板式换热器：由于中继能源站处于整个工程的最低点，系统静压值已经达到2.3MPa，因此设备招标时将换热器的设计压力定在2.8MPa。鉴于水质要求，定位可拆式换热器在设备招标时由阿法拉伐中标。最终方案为90台大型板式换热器，每套系统45台。

拼装式钢桁架桥：2#泵站出口至1#隧道西口段，由于管线沿汾河谷敷设，架空方式既要考虑施工的可行性及便捷性，也要考虑日后维护检

BIM技术在太古供热热源工程中的应用

梁波 刘剑峰 尚泉森

(山西省工业设备安装集团有限公司 太原 030032)

摘要: 本文介绍了太古供热热源工程BIM技术实施情况,详细阐述了BIM技术在首站兴能电厂施工工艺、隧道管道安装、中继能源站实景地形场景布置应用等方面的应用及实施内容,为同类型工程积累了大量的BIM基础模型和实践经验。

关键词: 太古供热 兴能电厂 隧道管道安装 中继能源站 BIM 钢结构

中图分类号: TP391 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-3607(2017)09-0020-03

山西省工业设备安装集团有限公司作为全国首家同时拥有市政公用、石油化工工程施工总承包双特级企业,积极响应政府号召,通过合同能源管理模式对太古供热热源首站古交兴能电厂进行投资、建设和运营管理。该项目是促进龙城发展、守护龙城碧水蓝天的优质工程。

1 项目简介

太古供热热源工程目前是亚洲最大的集中供热项目(见图1),该项目建

设总投资48亿元,主要包括以古交兴能电厂为首站,通过乏汽换热产生热源,敷设4根直径1.4m、总长37.8km管道进行热源输送,穿越总长15.17km的三座隧道,建设三座中继泵站、一座中继能源站和一座事故补水站。

项目以古交市木瓜会村南古交兴能电厂为起点,沿屯兰河敷设至三岔口,沿汾河由滨河北路经古交市区敷设至太古高速公路出口附近,继而平行于太古高速西山隧道修建新的供热隧道,管线通过供热隧道敷设至万



图1 太古供热热源工程整体示意图

修方便,因此最终方案为架空桥梁敷设。常规混凝土箱型桥梁由于现场预制没有场地,工厂预制不具备运输条件,而现场满搭脚手架则难以实施,经过多次研究讨论,必选方案最终确定为钢桁架桥,既可以在空中进行拼装,也可以在地面上拼装一跨后进行整体吊装。

直管压力平衡型波纹管补偿器: 在钢桁架管路段,由于结构限制无法处理管道盲板力,因此普通补偿器均

不能选用,最终选用压力平衡型波纹管补偿器,也是国内最大口径DN1200(见图3)。



图3 压力平衡型波纹管补偿器

管线沿途架空及隧道段的散热控制: 为了减少架空及隧道内的管道散热损失,采用镀锌铁皮外护的预制聚氨酯保温管;为了减少钢桁架桥上固定支座的散热损失,采用聚氨酯绝热固定节式绝热支座,与钢桁架支架采用剪力钉连接;为了减少管道滑动支座的损失,降低隧道内管道的安装难度,采用预装装配式管道绝热支座,减少了支座处二次保温的施工工序及散热损失。



柏林区王家庄村, 经过中继能源站隔压换热后向太原市区供热。工程通过中继能源站向以中环路为骨干的太原市区大热网供热, 可实现供热面积7600万 m^2 , 约占太原市热电联产集中供热能力的1/4, 为全国各地长输供暖项目实施开创了先河, 是成功的示范样板工程。

2 BIM技术应用背景

古交兴能电厂低位能(乏汽)供热技术改造项目, 施工作业面小, 既有空间设备紧凑, 空间作业有限, 环境复杂, 吊装难度大。多级热源串联分级加热, 施工工艺环环相扣, 电厂运行安全和供热施工安全要求极高, 工程在15.17km的隧道内安装4趟DN1400的架空供热管道尚属全国首例, 无类似经验可借鉴。如何排除隧道内有毒有害气体、完成管道的运输就位、实现管道与隧道同步弯曲、确定支架形式等成为亟待解决的难题。中继能源站规模空前, 占地12万 m^2 , 站内安装大型换热器90台、大型循环水泵18台。太古供热工程创造多项供热史第一, 被称为史上最难建设的供热工程。

3 BIM技术在工程中的应用

3.1 BIM技术在乏汽管道工程中的应用

古交兴能电厂供热改造工程采用超高背压热网凝汽器分级加热+尖峰热网加热器加热方案, 乏汽利用节能环保, 减少了空冷塔风机的耗电量, 小组利用BIM技术进行工艺流程模拟, 热网循环水依次经过4号机组凝汽器(背压15kPa, 将回水加热到54 $^{\circ}C$)、3号机组凝汽器(背压35kPa, 将回水

加热到72 $^{\circ}C$)、2号机组凝汽器(背压54kPa, 将回水加热到82 $^{\circ}C$), 使方案实施高效、可视(见图2)。顺利使多台机组同时串联, 最大程度利用了汽轮机乏汽, 产生巨大的社会效益和经济效益。

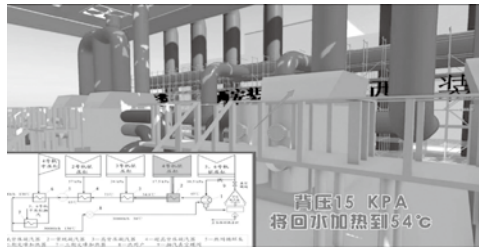


图2 分级加热施工动画模拟

该工程属于电厂技术改造工程, 施工环境非常复杂, 在所有乏汽构件中, 3#机最重构件为37.77t, 4#机最重构件35.12t。施工前应用BIM技术对起吊最不利状态进行演示(见图3), 模拟吊行走路线, 预选吊车站位, 根据不同站位模拟起吊过程, 结合吊车性能参数表, 确定最佳站位位置。运用BIM技术确保空间模拟起吊顺利通过碰撞检测, 施工过程安全可靠, 最终获得监理、甲方的一致好评。

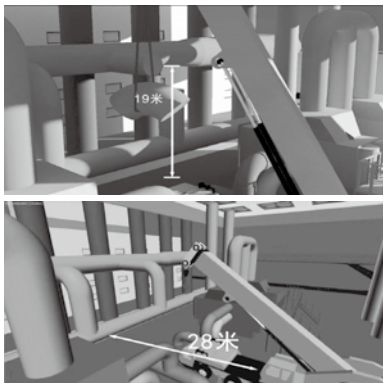


图3 吊装模拟

乏汽管道最大直径6020mm, 属非标管道, 均需通过现场钢板卷制, 总重1100多吨。小组建立乏汽管道模

型, 将其分为487个小部件, 导出各部件的加工详图。乏汽管道安装中心标高+19m, 脚手架搭设高度需超过19m。建立脚手架模型, 优化纵横向立杆间距、水平杆间距、水平和竖向剪刀撑的布置以进行加固处理。输出

脚手架施工图和工程物料单, 确保工程安全顺利进行。

3.2 BIM技术在隧道供热管道施工中的应用

隧道管道安装工程是太古供热热源工程中的一个重要节点。古交兴能电厂地面高程1020m, 中继能源站高程840m, 落差达180m。其中三号隧道11km(见图4), 属特长隧道, 断面为10.8m \times 8.6m, 常规起重机械在如此狭小空间内无法满足吊装要求且效率低下。

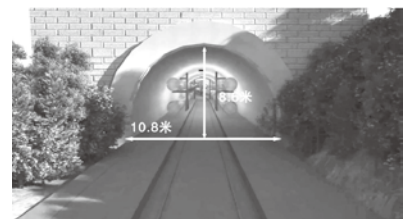


图4 3#隧道长11km

集团公司与太重公司共同研发了大口径供热管道双头轨道车, 利用BIM技术对构造复杂的轨道车及隧道进行高精度模型建立及技术交底。双头轨道车分前车、后车两部分, 中间用销轴连接。双头轨道车一次可运送两根管道, 轨道车达到指定位置后, 利用车上顶升和推出机构将可调式管道支架和管道就位。可调式管道支架可以对管道进行上下、左右、前后6个方向的调整, 支架上设有旋转功能, 可使管道旋转任意角度。

隧道弯曲段较多, 管口对接按照

渐变角方式实现弯曲。采用红外线仪现场实测折角，计算机放样确定管口加工尺寸，实现小折角对口，避免应力集中，确保弧度段管道对口折角角度不大于 1° 。通过隧道口的装车、运输、推送就位、旋转调整等实现快速布管，避免了传统门型架作业效率低、安全隐患大等缺点，实现城市地下综合管廊施工、维护的革命性变革。公司还创新设计了供（回）水主固定支架、供（回）水次固定支架、导向加强型支架、导向支架。

由于隧道施工过程中会产生大量有毒有害气体，公司结合隧道长度应用BIM技术对风机的排风量、设置点数进行了模拟计算，直观地展示出隧道内风机由外到内接力式的工作模式和安装位置及间距（见图5）。利用BIM+VR技术对工人进行安全教育和三维安全技术交底、质量动态监控，实现工程质量的可追溯性，同时对日后运维提供依据。

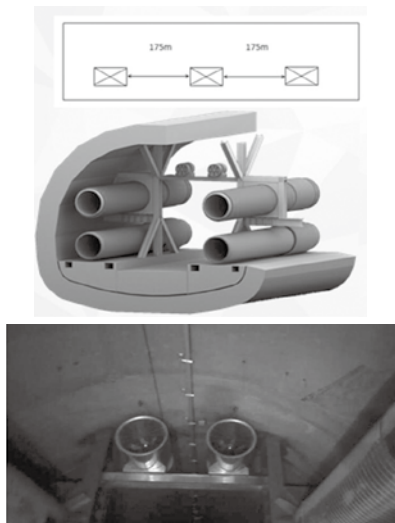


图5 风机安装示意图

3.3 BIM技术在中继能源站建设中的应用

通过中继能源站三维模型的建

立，为参建人员提供虚拟漫游，生动形象地反映出中继能源站空间关系，使参建人员快速了解厂房内部空间构造（见图6）。

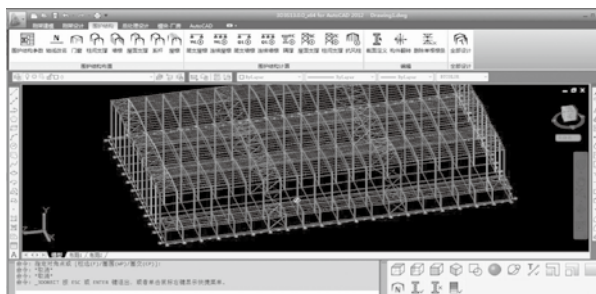


图6 钢结构厂房模型建立、分析

中继能源站厂房结构形式为多跨带毗屋门式钢架，单榀横向跨度大，桥式吊车数量多，厂房温度应力复杂，故采用同济大学的3D3S分析软件对厂房结构进行空间整体分析。通过企业自主研发的BIM云平台，将钢结构模型析构上传，时时掌握焊缝的状态信息，便于实现焊缝信息的全面追踪和质量管理。

中继能源站厂房内设备众多，管道纵横交错，通过BIM模型建立，明确区分各个管路系统，针对设备位置、管线走向、管道规格等施工信息进行三维交底。对厂区供热外管网进行碰撞检查（见图7），其中2#生产车间东南角DN1400主管线存在三处碰撞点，经BIM深化设计，厂房内换热器出口循环水管线Y型过滤器下无滤芯抽出空间，需增加操作空间，避免了因返工导致的经济损失和工期延误。

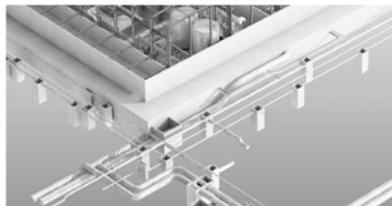


图7 外管网进行碰撞检查

将模型通过revit插件端上传至BIM云平台，通过调取物资数据库，准确快速统计工程量。生产车间内换热器、循环水泵进出口管线，通过

BIM模型建立，统计规格、型号、数量，进行模块化施工，这对项目综合管控发挥了重要作用。

4 结语

随着BIM技术广泛而深入的应用，太古供热项目先后完成了分阶段场地布置、全息投影展示、地形模拟、水压试验、高精度族模型建立、厂房地面效果方案比选等BIM应用，使得工程仅用两年半的建设周期就投入运行，且工程质量一流，实属罕见。

经测算，该供热项目每年可节约标煤93.1万t、节电5700万kWh、节水2964万t，节能环保效益非常显著。该项目获得中国安装协会科学技术进步奖二等奖、4项实用新型专利、3项BIM云平台软件著作权、2项省级工法、全国市政工程优秀QC小组二等奖、2017年度山西省优秀QC小组二等奖。

BIM技术在太古供热热源工程中的应用和尝试，对集团公司BIM技术的推广起到了引领辐射的作用。下一步山西安装集团将持续加强BIM技术的推广力度，为实现集团公司科技跨越式发展提供强有力的支持。既要金山银山又要绿水青山，在节能减排的大背景下，山西安装集团将把工程项目打造成国内一流的供热工程，为促进龙城持续发展，改善人类生存环境而不懈努力。