

太古长输水网集中供热项目现场交流研讨会



李 平

中铁六局集团太原铁建公司总工程师，教授级高级工程师，中国施工企业管理协会理事，山西铁道学会理事。长期从事铁路、市政工程施工技术及施工管理工作，组织了太古供热工程3号隧道第3标段，A、B1、B2隧道及13公里管道安装等工程施工，施工中主持多项技术创新，获得省级工法3项、国家专利4项，《太古供热隧道陡坡斜井施工技术研究》技术成果荣获科技进步奖3项。

太古供热工程土建施工难点及解决方案

主办单位：中国电力科技网 协办单位：山西兴能发电有限责任公司 中能建山西省电力勘测设计院有限公司
2017年3月30-31日 中国·太原 太原市热力公司 山西工业设备安装集团公司 国电科学技术研究院

太古供热工程土建施工 难点及解决方案

古供热项目期到必成

中国中铁六局承建太古供热项目工程

中国中铁六局承建太古供热三号隧道工程

生命至高无上 安全责任如天



中国中铁

中国中铁六局太原铁建公司

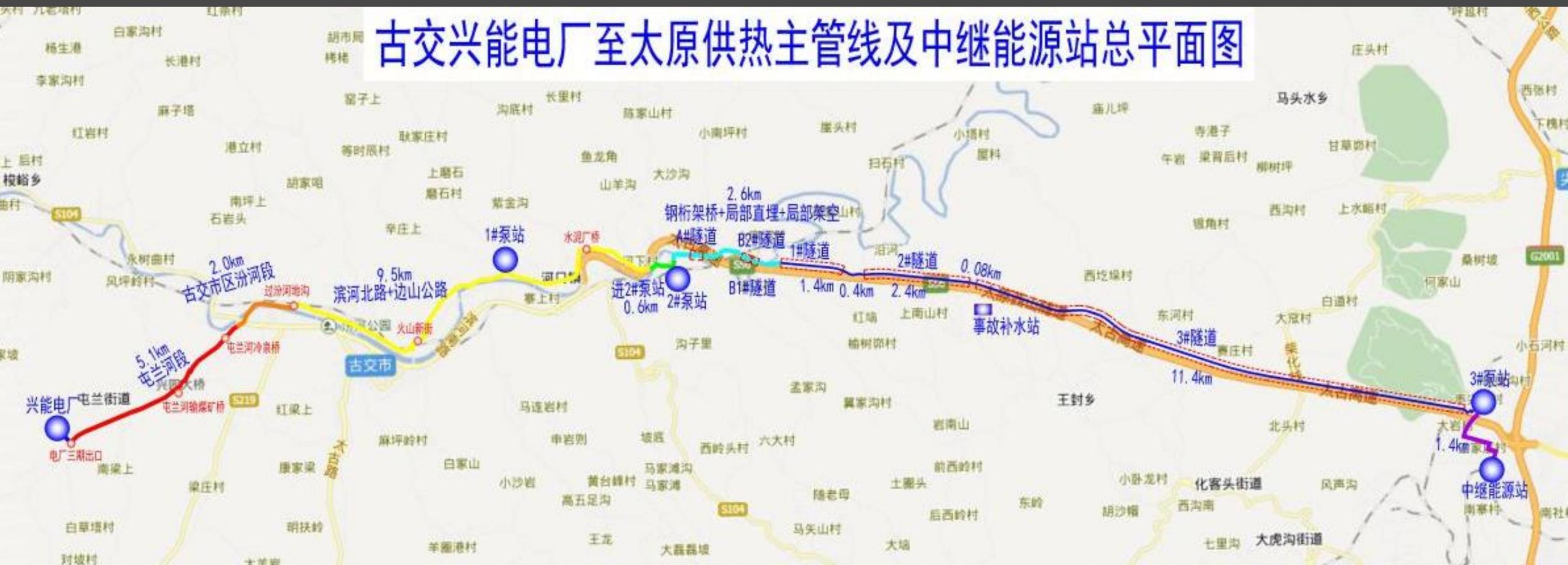




工程概况

Engineering survey

古交兴能电厂至太原供热主管线及中继能源站总平面图



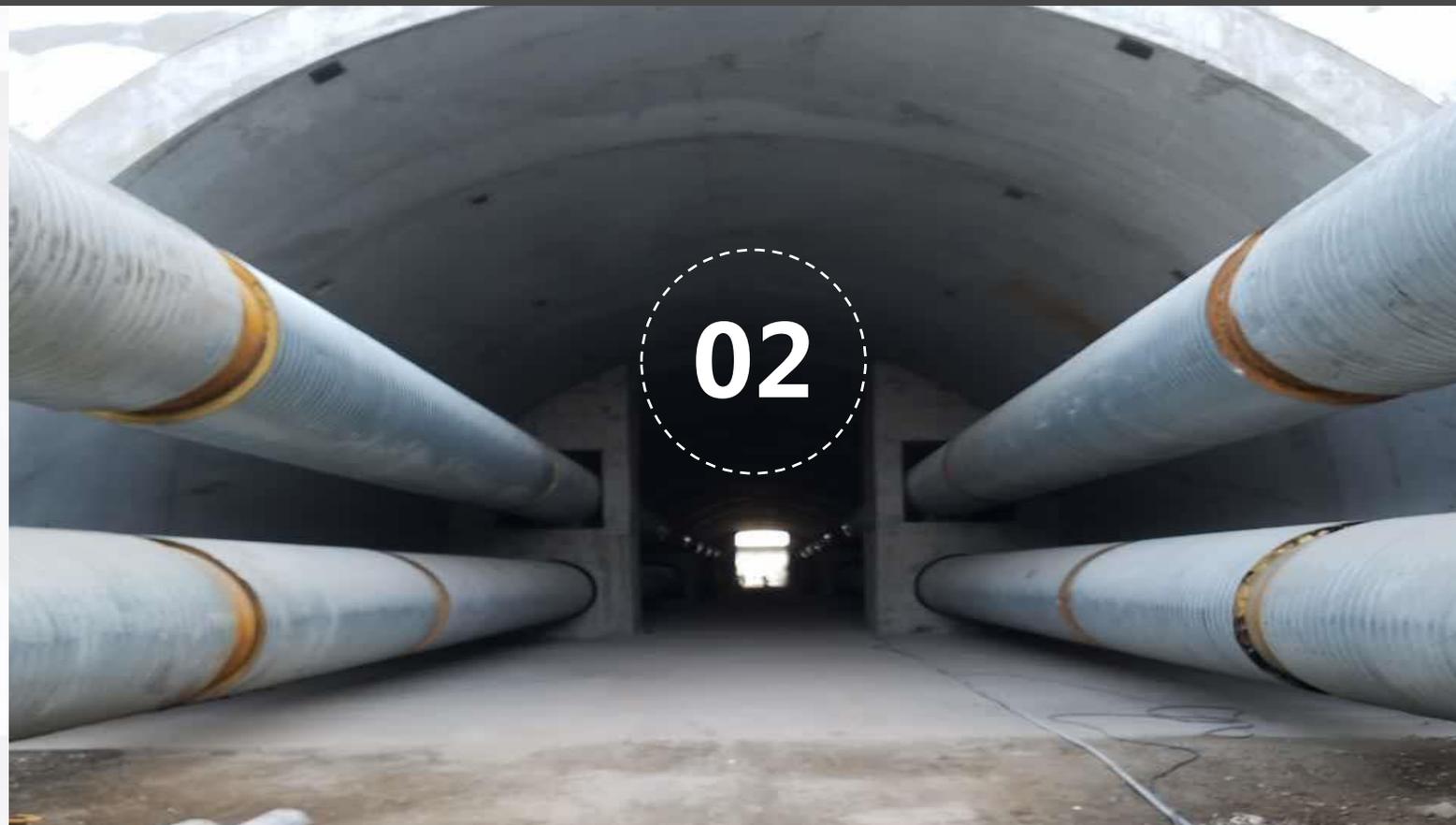
我局承建的古交兴能电厂至太原供热主管线工程，地跨古交市和太原市万柏林区，全长12.6KM，其中：直埋段3段5.7KM、桥梁4次跨越汾河1.2KM、隧道4座5.7KM。

供热管道采用双线DN1400热力管道



桥上管道布置图

供热管道采用双线DN1400热力管道



隧道内管道布置图

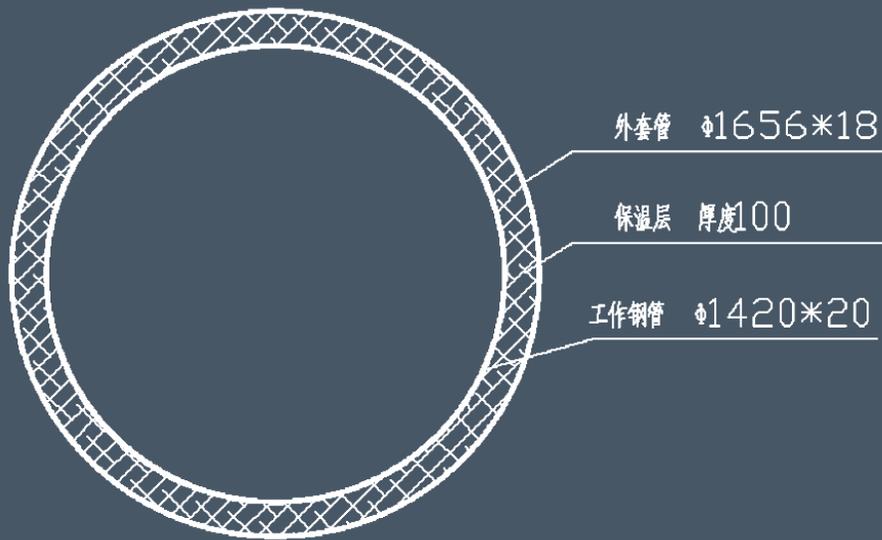
供热管道采用双线DN1400热力管道



直埋段管道布置图

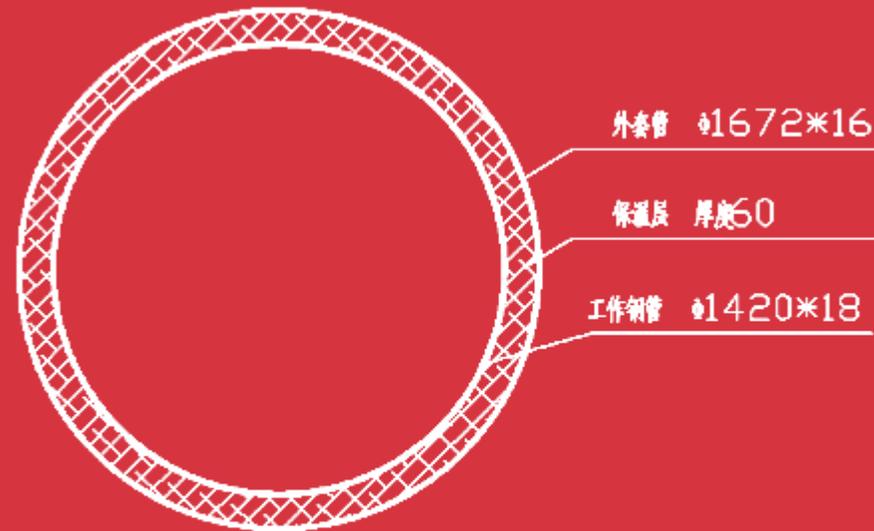
工程概况

Engineering survey



供水管结构示意图 单位: mm

供热管道采用双
线DN1400热力
管道 (管道图)



回水管结构示意图 单位: mm

工程概况

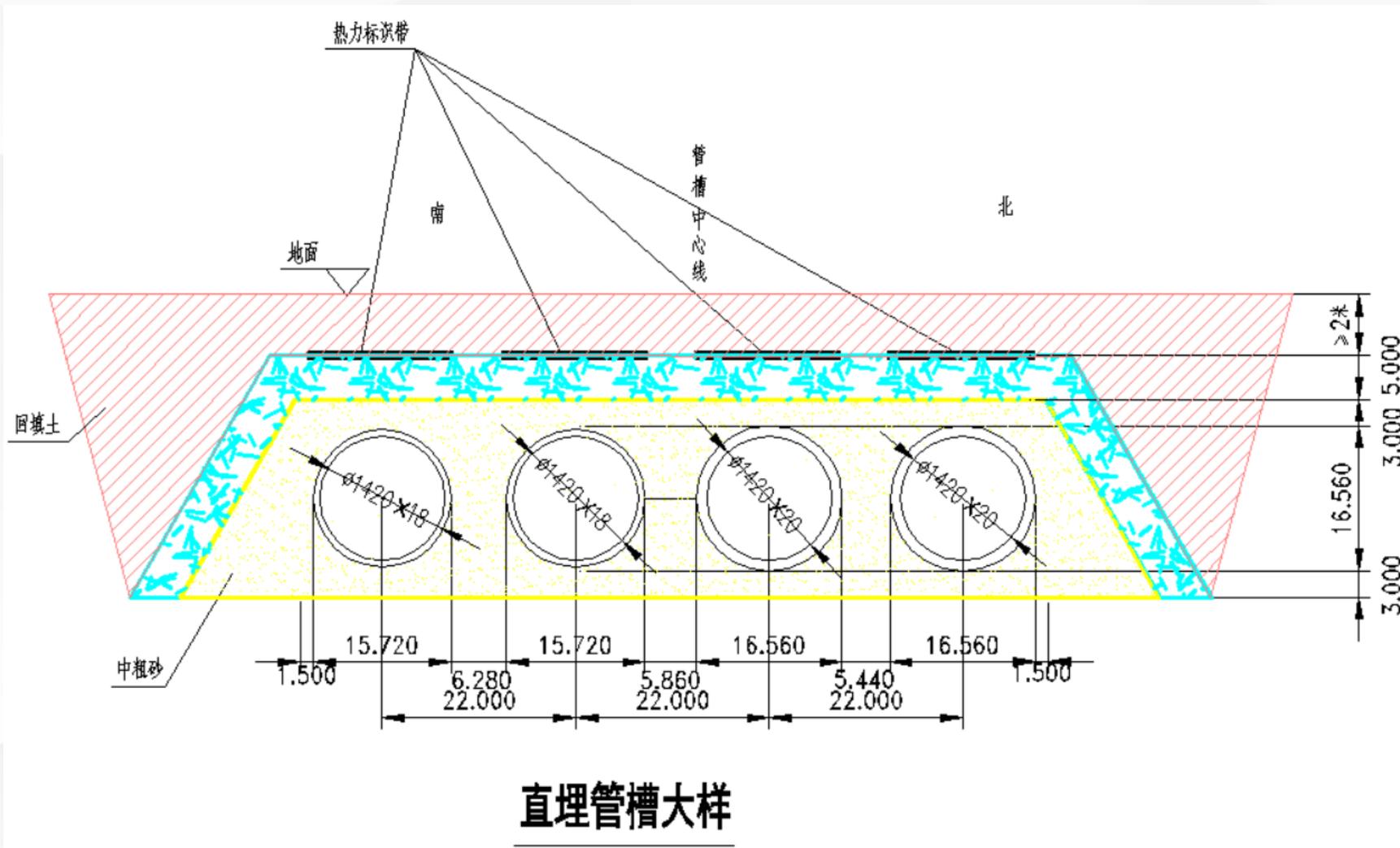
Engineering survey



直埋段最长一段为**5KM**，采用覆土电预热形式

工程概况

Engineering survey



直埋管槽大样

工程概况

Engineering survey

跨越汾河桥梁采用连续钢桁梁，梁结构**宽12米，高5.8m，跨度分为19米、20米、23米、25米、30米、55米六种**（钢桁梁图）。



工程概况

Engineering survey



工程概况

Engineering survey

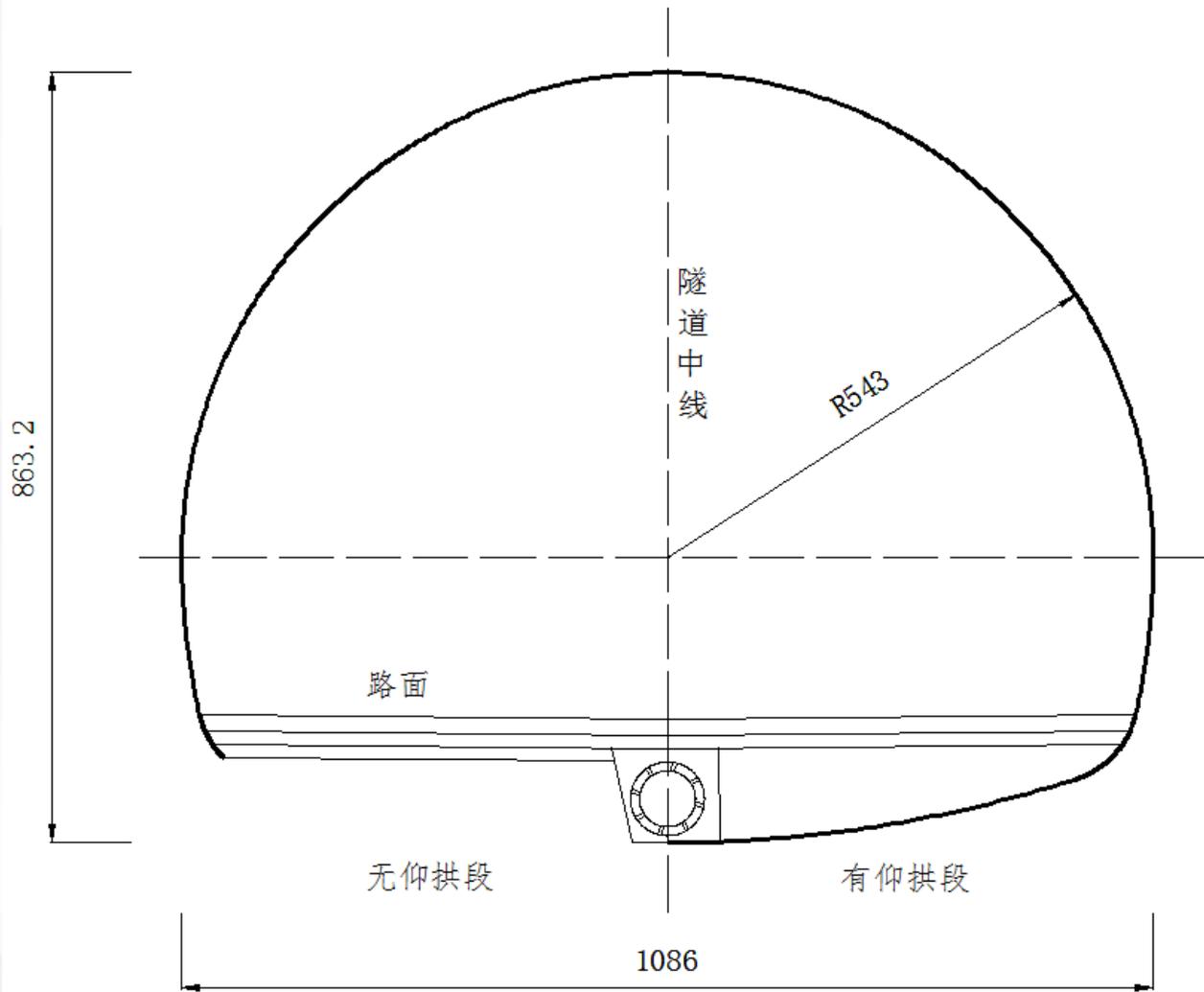


隧道最长一座为11.04km，隧道主洞净宽10.25米，净高5.0米，通风道加宽13.0米，设计等级按照公路一级标准设计。

工程概况

Engineering survey

隧道共设3座斜井，难度最大的是一座陡坡斜井，斜井高差为306.249m，斜井水平长度为657m，斜长725m，坡度为-46.6%，采用有轨运输；该隧道为国内现有最陡斜井。



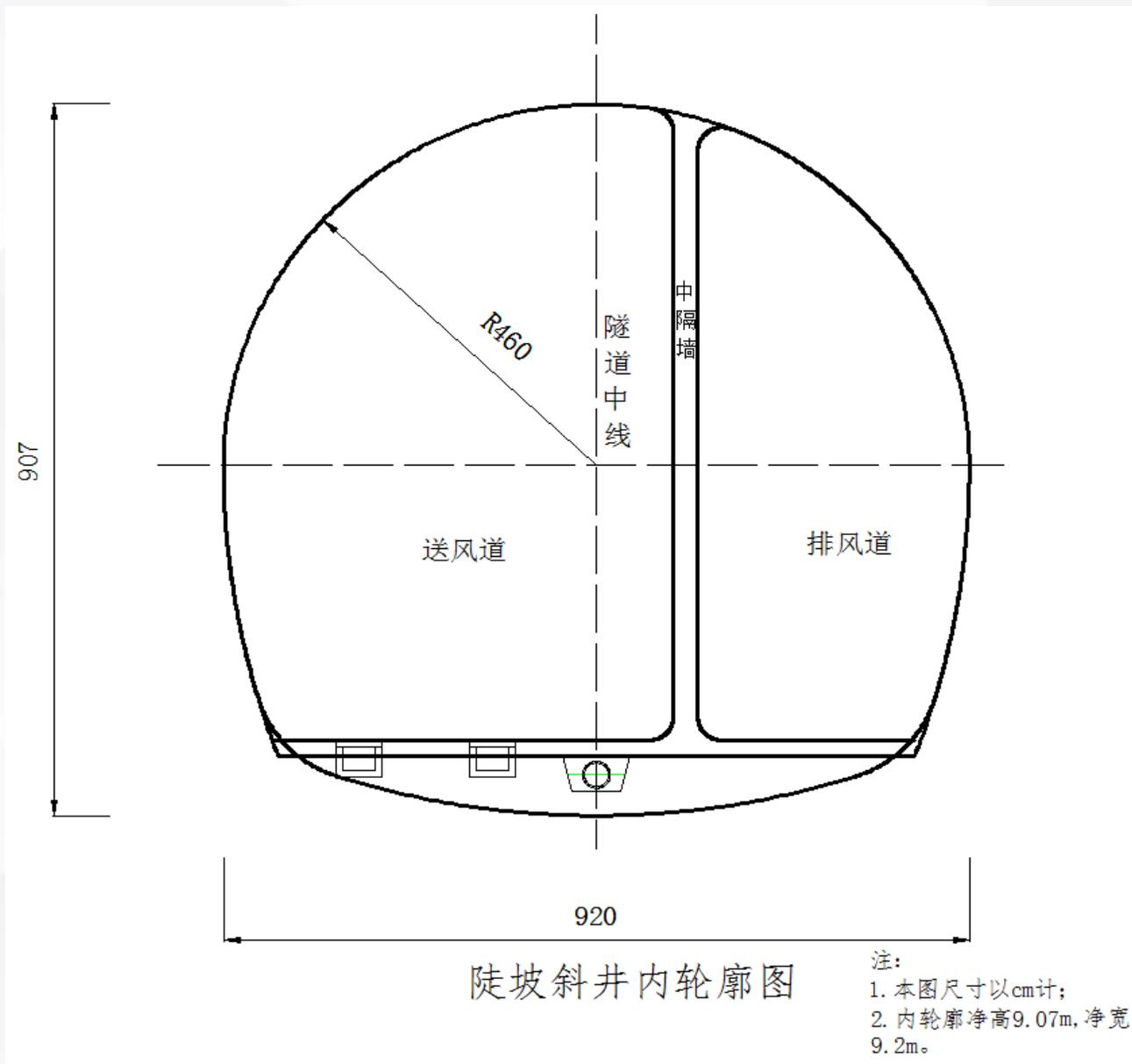
正洞内轮廓图

注：

1. 本图尺寸以cm计；
2. 内轮廓净高8.63m，净宽10.86m。

工程概况

Engineering survey



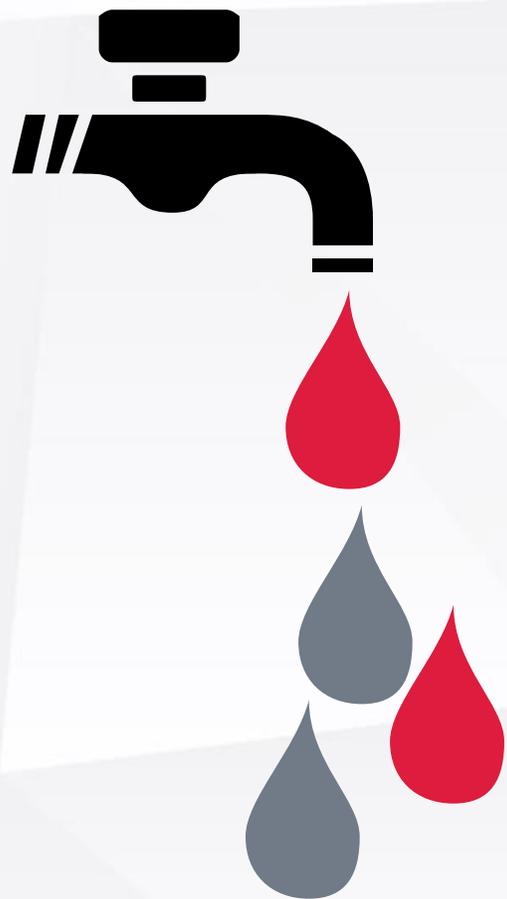


工程特点

Engineering characteristics

工程特点

Engineering characteristics



1

社会影响大 该工程为市政供热工程，供热有周期性，工期紧，工期上不能有一点延误，一延误就是一年，直接影响太原市的冬季供热。

2

控制工程多 有连续钢桁梁，要求精度高；长大隧道，地质复杂，施工周期长，难度大。

3

新工艺多 长距离超高压管道安装及焊接、陡坡斜井的掘进、有轨运输系统组织及安全控制。

4

安全风险高 隧道施工本身就是高风险，且经过11条断层，风险更高；陡坡斜井有轨运输安全风险高；钢桁梁空中拼装，高空作业安全压力大。

5

工期紧、交叉作业多。由于工期紧，作业面又小，机电、管道安装、土建后期施工基本都是平行交叉作业，相互影响大。



工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



1.陡坡斜井掘进及运输组织



1.1 施工难点



1.1.1

斜井水平长度为657m，高差306.249m，斜长725m，坡度为-46.6%，坡度大，汽车无法运输。



1.1.2

施工运输组织复杂，安全压力大。



工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions

1.2 解决方案



由于该陡坡斜井坡度较大，
通过多次的方案比选与计算论证，
最终确定采用2JK-3.5m双卷筒
提升机及JK-2.5m单卷筒提升机，
3条轨道有轨运输的施工方案。

工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



陡坡斜井提升运输设备选型需多方面进行综合考虑，首先根据施工工期确定每日的施工进度以及井底临时存渣场地存储能力，从而确定每日的最大出渣量。其次根据设计坡度要求，按照规范不大于5m/s提升速度要求、每日提升运行时间，计算出每小时提升量；每次提升重量；同时根据实际静张力差的结果初步选定设备型号。

工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



然后根据选定的设备型号、设计坡度、长度要求，计算所需钢丝绳的直径、钢丝绳的缠绕容量(即长度)、电机功率大小的配置、矿车容量及重量的配置。最后根据计算出所选择的设备配置，根据《矿山安全规程》逐一对所选的钢丝绳直径、钢丝绳的实际静张力、电机等进行安全检算，满足规定的安全系数后，说明选定的设备满足施工生产要求。

工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



根据提升机的提升能力，通过洞口2次变坡后设置符合规范要求的“L”型卸渣台。单卷筒提升机为材料运输，双卷筒提升为出渣运输，通过“L”型设计，卸渣台可同时满足两条运输线同时运输。

工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



游动天轮

在确定提升机与天轮之间的距离时，根据设备选择要求，提升机出绳角度不能小于**15度**，同时在考虑天轮及天轮架的高度时，要根据卸渣台的变坡后的坡度，设置天轮高度与钢丝绳与轨面平行，避免了牵引过程中产生的竖向分力。

提升设备选择天轮为游动天轮，天轮左右游摆范围不得大于**1度**，游动天轮的大小满足 $D \geq 60d$ 确定（ D 为天轮直径， d 为钢丝绳直径）。

工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions

1.3

施工方法

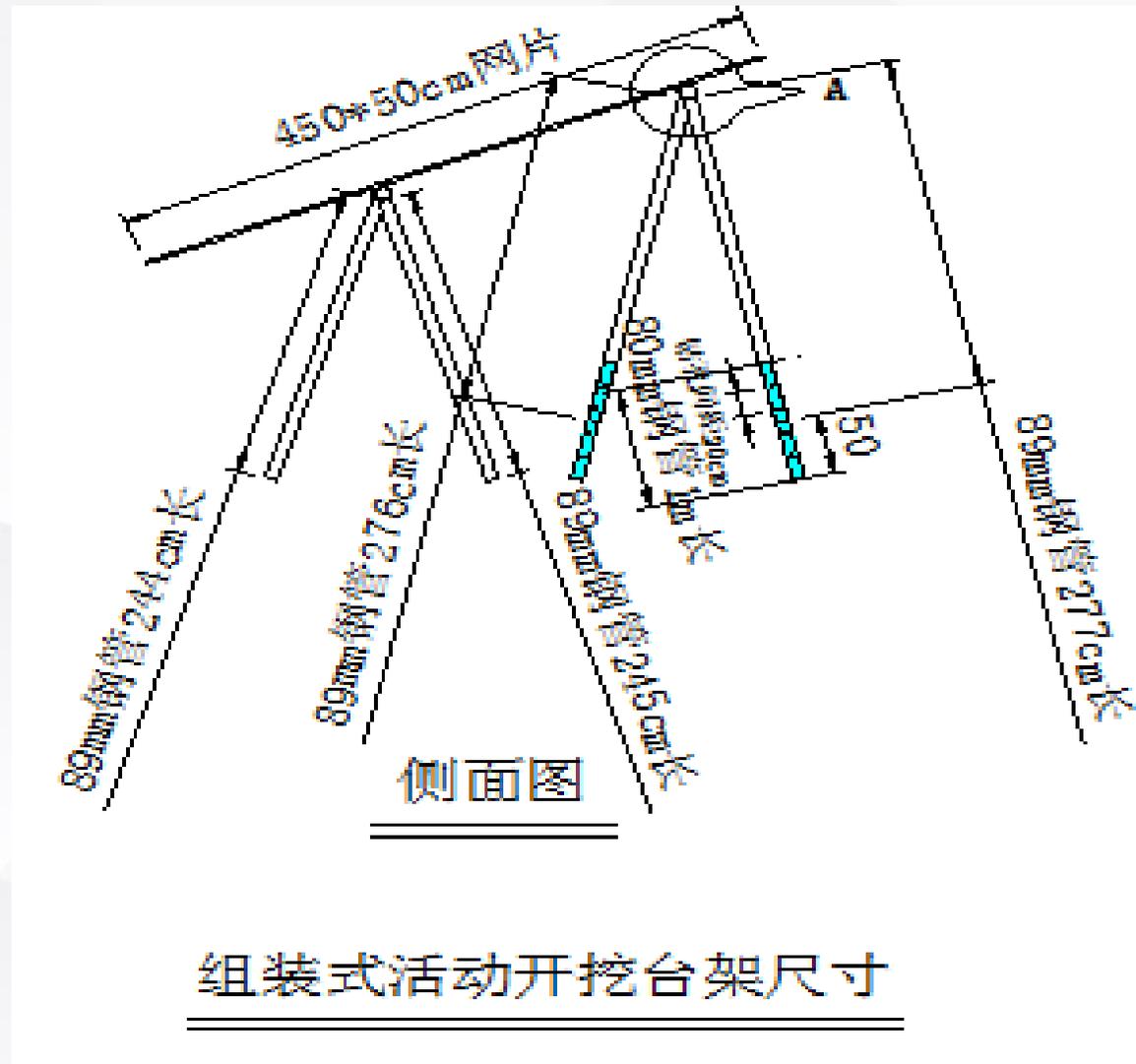
1.3.1

隧道开挖

由于在大坡度斜井施工时，受坡度影响，断面限制，给陡坡斜井掘进造成了很大的困难，且在爆破时开挖台架等机械设备需远离掌子面。由于坡度陡，通常用的整体开挖台架移出工作面困难，且移出后在陡坡上不便存放固定，为了减少施工工作量，降低施工难度，确保施工安全及施工进度，自行研制了一种大坡度斜井组装式开挖支护台架装置。其主要包括两组可折叠三脚架、连接杆和钢筋网片步板。爆破前将钢筋网片步板和连接杆由人工拆除堆码至斜井洞壁，由挖机将两组可折叠三脚架吊离掌子面，立于洞壁处折叠，达到避炮的目的。爆破出渣排险完成后，再由挖机将两组可折叠三脚架吊至掌子面支立就位。

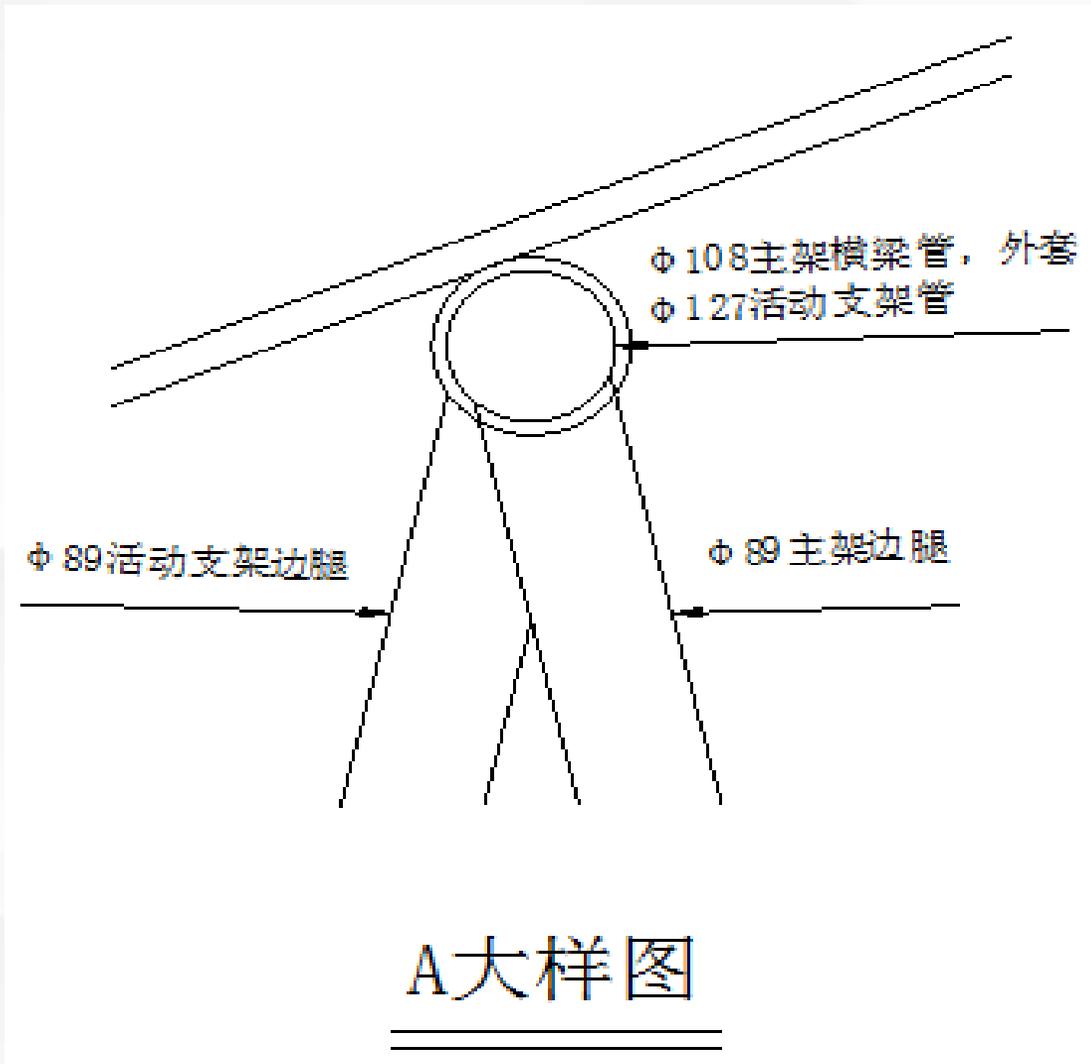
工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



1.3.2

仰拱及轨道

陡坡斜井运行轨道采用P43钢轨及1.2m混凝土枕，与仰拱浇筑成整体道床。混凝土整体道床的优点在于日后减少了轨道的维护及维修工作。

工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions

1.3.3 出渣

隧道内采用12m³矿车出渣，斜井底采用挖掘机装车，井底没有做仰拱段采用铺设临时轨排使矿车运行至掌子面，以便于装车。提升机将矿车提升至洞外卸渣台，通过卸渣台卸车侧轨，实现自行卸渣，完成出渣任务。



工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions

1.3.4 混凝土运输

陡坡斜井坡度大，过程中混凝土运输也是一大难题，为了满足混凝土的运输任务，结合斜井坡度，与矿车生产厂家共同研制了满足该斜井的运输罐车，罐车容量4m³，通过洞口龙门吊实现矿车与罐车的吊装转换，通过提升机实现混凝土的运输。



工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



绞提升机运行轨道地挡阻车系统

1.3.5

安全控制措施

斜井提升在运输轨道上必须设置防跑车系统自动挡车器，并设专人管理和维护。自动挡车器与提升机系统连接，当车辆通过时自动打开，其余时间应处于常闭状态。防止矿车出现意外下滑，对井下人员、机械造成伤害。

工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



提升机运行轨道天挡阻车系统

1.3.5

安全控制措施

在线路变坡点位置设置一组阻车器，同时在斜井洞身内每隔100m设置1组阻车器，共设7处阻车器，阻车器在运行过程中通过轨道电路实现自动升降，一旦发生断绳，阻车器会自动下降阻车器进行停车工作，并始终保持在阻车位置。

工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



提升设备在斜井内运行的监控系统采用全程摄像头监控，每隔100m设置1个监控摄像头，监控整个运输过程，一旦线路某个部位或运输过程出现问题，通过监控器能够及时发现，立即采取制动措施停车，排除故障，有效的保证了运输过程的安全。

工程难点及解决方案

Engineering difficulties
and Solutions



斜井底在施工范围的两侧安装2个摄像头，从不同方向监控斜井底的施工情况，洞口位置设置1个监控摄像头，对洞口的施工情况进行监控。卸渣台位置设置1个监控摄像头，用于监控这个卸渣的施工过程。



2.水平状围岩拱顶光爆控制



2.1 施工难点

太古供热隧道岩层产状为水平层，且层理较薄，在拱顶开挖过程中受开挖爆破振动影响，开挖爆破后拱部岩层底部临空，呈受弯变形状态，围岩出现应力重新分布，应力重新分布后围岩处于暂时稳定状态，但是经过找顶、排险过程中受到外力的扰动会将原本处于暂时稳定围岩中破碎的岩层进行掉落，直至清理完毕，造成开挖轮廓线较大，超挖现象严重，为后续工序增加了施工难度及工作量。



2014/07/18 17:47



2.水平状围岩拱顶光爆控制

2.2 解决方案

通过改进每次开挖进尺，合理布置炮孔及装药量，提高控爆质量，减少顶部的塌落。

2.3 施工方法

2.3.1 施工方法

首先对开挖进尺进行控制，缩短隧道掘进的每循环开挖进尺，根据围岩的稳定情况，选择适当的开挖方法，围岩不稳定时选择台阶法进行开挖。





2.水平状围岩拱顶光爆控制



2.3.2 爆破参数的选择与应用

制定光面爆破参数是光面爆破的关键问题。在施工中我们要根据前一次的光爆效果，及时研究、分析和调整爆破参数，求出最佳效果的冠冕爆破参数。其中孔距和最小抵抗线是光爆的两个重要参数，两者之间的比例关系，按照岩性的不同而变动，当岩石坚硬完整时，抵抗线取较小值，相对应炮孔的密集度较大；反之，当岩石软弱破碎时，抵抗线取较大值，相对应炮孔的密集度较小，通过反复试验和调整，确定出合理的孔距和最小抵抗线数据。



2.水平状围岩拱顶光爆控制



2.3.3 装药结构的选择

周边孔装药时，采用间隔装药、反向起爆的装药结构，即起爆雷管装在孔眼的底部炸药卷内，并使其由里向外进行起爆，炮孔采用炮泥进行封堵，在遇到较薄的水平岩层或两岩层分层处易形成平板、开挖不圆顺时，采用加密一层空眼的方法，不进行装药，以保证开挖质量。

2.水平状围岩拱顶光爆控制

2.3.4 周边孔装药量控制

在一般情况下，炮孔越深，岩石越硬，周边孔距越大，最小抵抗线越大，装药量越大，反之装药量越小，在施工过程中通过计算得出周边眼单孔装药量。





2.水平状围岩拱顶光爆控制



2.3.5 其他控制措施

水平层围岩拱顶爆破控制除了在爆破参数上是关键外，炮孔的施工钻孔质量也是控制拱顶光面爆破的关键因素。要精确定位，同时在钻眼过程中要求控制外插角度，一般不大于3度，钻孔完成后采用高压风进行清孔，确保孔内无杂物，装完药后必须采用炮泥封孔。

3.连续钢桁梁的安装

3.1 施工难点

3.1.1 工期紧、施工任务量大、钢桁梁共有52跨，总长1210米

3.1.2 施工在汾河河道内，场地狭小，不能全面进行拼装及吊装

3.1.3 23-24#跨下穿高速公路，紧临高速公路桥端，场地狭小，空间不足；现场高速公路护坡高差10m，与钢桁梁交叉，地形高差很大。24#墩北侧为山体，大型机械无法站位，不能进行整垮吊装作业，高速桥下空间有限不能满足机械施工要求。

3.连续钢桁梁的安装

3.2 解决方案

针对施工具体情况，我们采用连续钢桁梁分跨多工作面同时组拼、分段吊装、空中对接安装的施工方法。多处吊装，空中对接接口增多，安装精度要求提高。

对于下穿高速公路的钢横梁，经反复研究，采用不等边滑动支架将分段的钢桁梁运至设计位置组拼的方式进行施工。

3.3 主要施工方法

根据连续钢桁梁整体结构，划分组拼、吊装节段及顺序；根据节段划分和吊装顺序，首先在桥的一侧对钢桁梁侧弦进行卧拼、再对侧弦进行平转立、再进行剩余杆件竖拼，组成钢桁梁，最后进行吊装。

3.连续钢桁梁的安装

3.3.1 钢桁架侧弦卧拼



钢桁架分段卧拼

结合施工现场地形，在桥墩一侧选择合适卧拼位置进行胎架安装，胎架用H250×250×8×12mm H型钢搭设，高低差不得超过5mm。确保钢桁梁拼装质量符合设计要求。在搭设好的胎架上，同时进行两侧弦的拼装。拼装时考虑好对称性，对平转立时的影响。

3.连续钢桁梁的安装

3.3.2 侧弦平转立



卧拼完成后，利用大型吊车（350t）进行平转立。关键是钢桁梁侧弦的平、立面位置要准确定位，在水平面上，要求侧弦准确对位事先在台架上设好的标线，在立面上，校定侧弦的垂直度满足安装要求，再进行下弦鱼腹梁及上弦大梁安装，组成钢桁梁。

一侧弦平转立

3.连续钢桁梁的安装



二侧弦平转立

3.连续钢桁梁的安装

3.3.3

立拼



平转立后，大吊车移走，配置1-2台25t汽车吊，完成剩余构件的安装。

上下弦杆安装

3.连续钢桁梁的安装



立拼完善

3.连续钢桁梁的安装

3.3.4

吊装

3.3.4.1

吊装前对墩顶垫梁石进行放样，确保纵、横向轴线的准确，保证桁架对位的精度。

3.3.4.2

吊装采用2台大型吊车进行抬吊。重点为吊点布置在桁梁的中心线处。钢桁梁吊至设计位置上方后缓缓下放，人工配合，指挥吊车精确对位。



钢桁架分段抬吊

3.连续钢桁梁的安装



3.3.5

空中双口对接

3.3.5.1

空中对接是该施工的重点核心环节，两侧跨次已经完成，合龙时存在单跨两处缺口对接。

3.连续钢桁梁的安装



3.3.5.2

空中对接是该施工的重点核心环节，两侧跨次已经完成，合龙时存在单跨两处缺口对接。

3.连续钢桁梁的安装



3.连续钢桁梁的安装



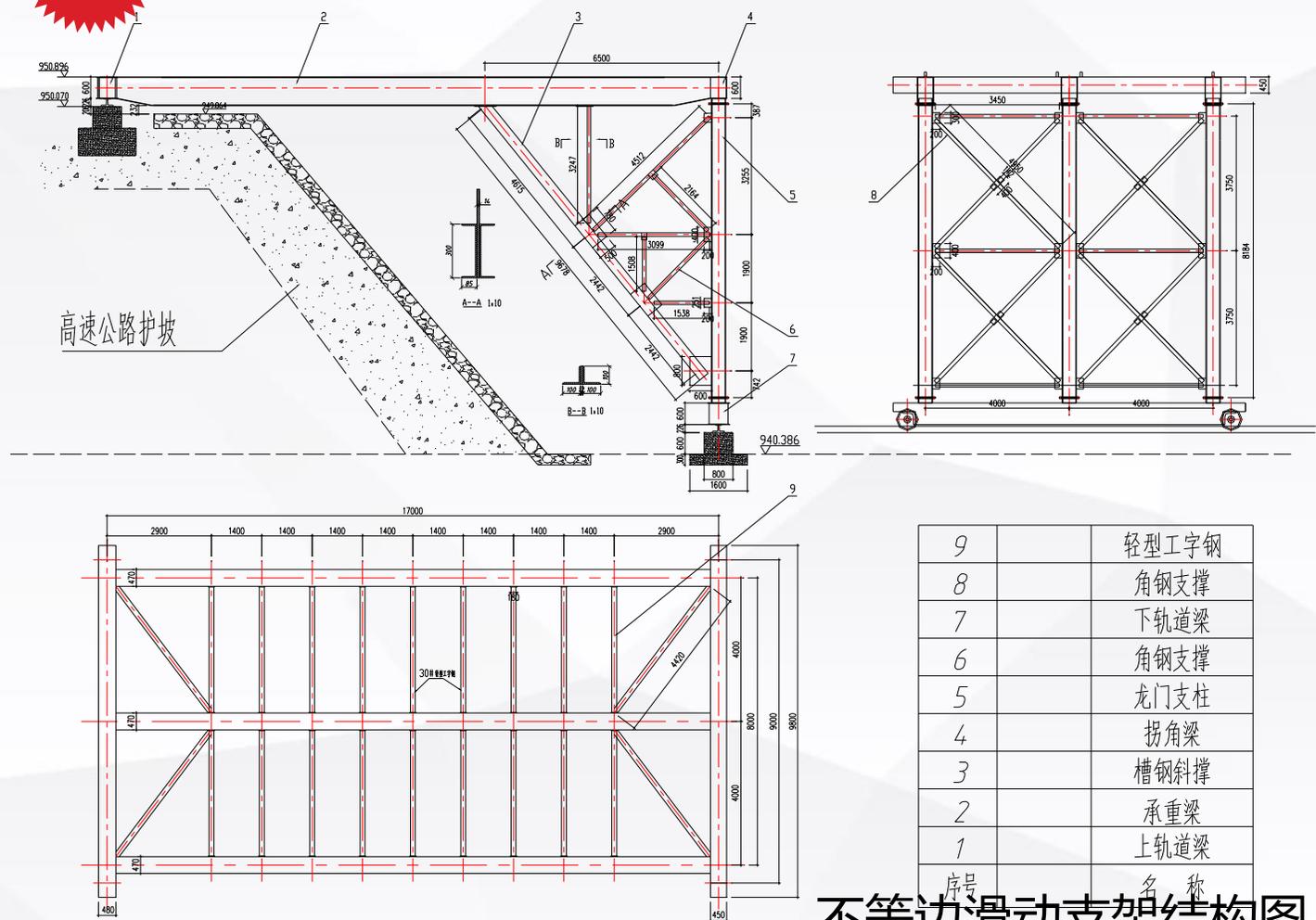
首先对前期预拼的桁架严格控制精度，每一段桁架都必须在误差允许范围内，吊装的桁架必须准确就位，严格按照测设的位置就位。其次在龙口桁架预计安装温度条件下多次准确测量预留龙口的跨度，在地面拼装时根据实际测量的尺寸进行拼装。

3.连续钢桁梁的安装



3.连续钢桁梁的安装

3.3.6 滑移法施工下穿高速公路连续钢桁梁



不等边滑动支架结构图

自行设计制作一个一侧为长支腿，一侧无支腿的滑动支架；在护坡底和护坡顶设置走行轨道，安放走行梁，顶面安放横梁，形成平面钢平台。将拼装好的梁段吊放至不等边滑动支架上，支架利用走行系统，将梁段运至设计与已完成的钢桁梁进行组拼，逐步完成整个钢桁梁施工。



3.连续钢桁梁的安装



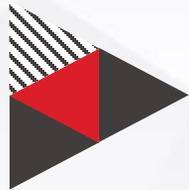
不等边滑动支架实施图片



3.连续钢桁梁的安装



不等边滑动支架实施图片



3.连续钢桁梁的安装



不等边滑动支架实施图片



3.连续钢桁梁的安装



不等边滑动支架实施图片



取得的成果

Achieved results

取得的成果

Engineering characteristics

在两年半的施工工期内，全体参建人员始终凝心聚力，团结协作，攻克了各种技术难关；“太古供热隧道陡坡斜井施工技术研究”的科研课题，达到了国际先进水平获中国中铁股份公司二等奖、中铁六局集团有限公司科技进步一等奖；《陡坡斜井仰拱混凝土施工工法》、《陡坡斜井井底施工工法》、《陡坡斜井多轨道提升运输施工工法》获中铁六局企业级工法、山西省省级工法；《隧道斜井卸渣台施工工法》、《多跨连续重型钢桁梁分段组拼、空中双口对接安装施工工法》获中铁六局企业级工法；《陡坡斜井长钢轨运输装置》、《斜井组装式活动开挖台架》、《隧道特长径向锚杆施工台架》、《隧道竖向锚杆钻孔装置》实用新型专利4项。

取得的成果

Engineering characteristics



太古供热隧道陡坡斜井施工技术研究



《陡坡斜井仰拱混凝土施工工法》



取得的成果

Engineering characteristics



《陡坡斜井井底施工工法》

取得的成果

Engineering characteristics



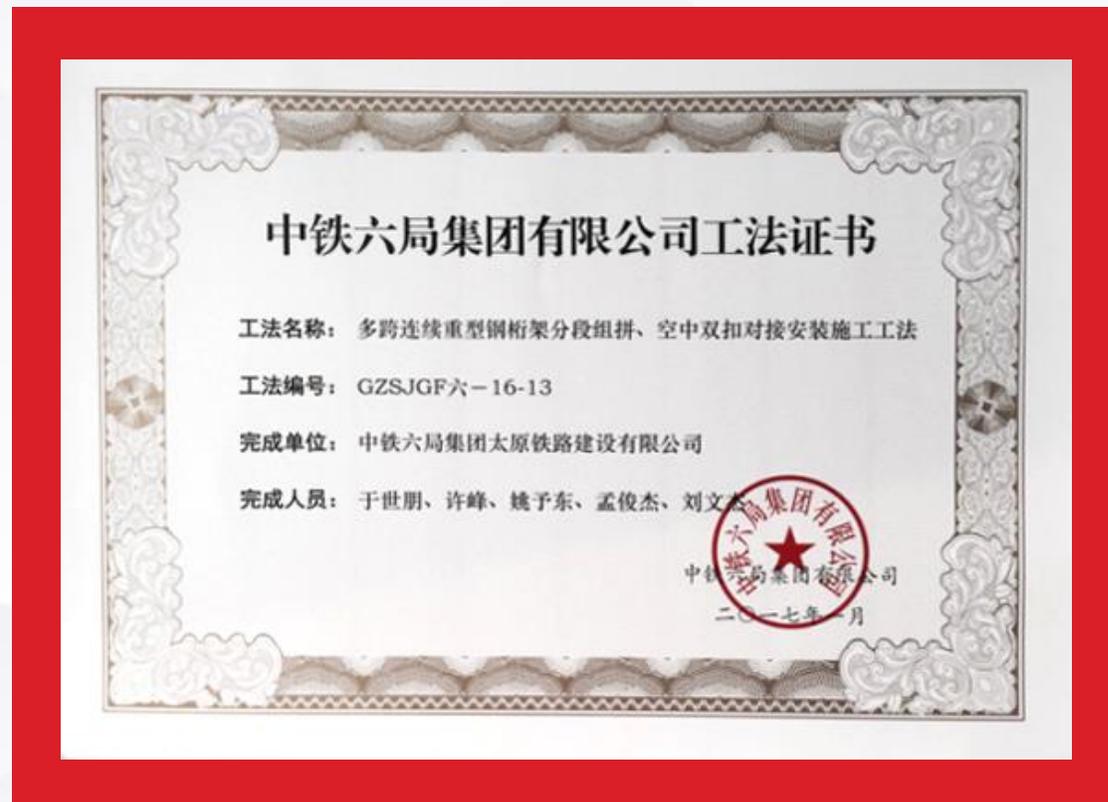
《陡坡斜井多轨道提升运输施工工法》

取得的成果

Engineering characteristics



《隧道斜井洞卸渣台施工工法》



《陡坡斜井长钢轨运输装置》

取得的成果

Engineering characteristics

国家级实用新型专利



《隧道陡坡斜井长钢轨运输装置》



《斜井组装式活动开挖台架》

取得的成果

Engineering characteristics

国家级实用新型专利



《隧道特长径向锚杆施工台架》



《隧道竖向锚杆钻孔装置》



各位领导、专家，以上就是中铁六局集团太原铁路建设有限公司在太古供热工程土建施工中的一些经验总结，不妥之处恳请批评指正。成绩的取得，离不开建设单位、设计、监理及相关兄弟单位大力支持与帮扶，在此，我代表中铁六局太原公司全体员工向各位表示衷心的感谢。

谢谢大家！