

浙江大口径天然气长输管道 穿跨越工程建设综述

王晓峰¹ 郑正友² 曹 洋³

1. 中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610041;

2. 浙江省电力建设有限公司, 浙江 宁波 315012;

3. 浙江省浙能天然气管网有限公司, 浙江 杭州 310051

摘 要: 大口径天然气长输管道在浙江地区敷设时, 由于经济发达、人口密集, 环境敏感点众多, 加之地方政府规划的要求, 可供管道通过路由大大受限, 而且还频繁地与公路、铁路、水利、电力设施相互交叉, 为了保证管道及其他设施的安全, 需要采用安全可靠的穿跨越方式。以金丽温输气管道工程为例, 较为全面地介绍了管道工程穿跨越设计及施工的情况, 为今后在发达地区管道工程建设提供参考。

关键词: 大口径; 天然气长输管道; 穿跨越工程

DOI: 10. 3969/j. issn. 1006-5539. 2020. 05. 001

Review on Pipeline Crossing Engineering Construction of Large Diameter Long Distance Gas Transmission Pipeline in Zhejiang Province

Wang Xiaofeng¹, Zheng Zhengyou², Cao Yang³

1. China Petroleum Engineering & Construction Corp. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China;

2. Zhejiang Electric Power Construction Co., Ltd, Ningbo, Zhejiang, 315012, China;

3. Zhejiang Zheneng Natural Gas Pipeline Network Co., Ltd, Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract: When large-diameter natural gas long-distance pipeline is laid in Zhejiang, due to its developed economy, dense population, numerous environmental sensitive points, and the requirements of local government planning, the route for pipelines is greatly limited. At the same time, it frequently intersects with highways, railways, water conservancy and electricity transmission facilities. In order to ensure the safety of pipelines and other facilities, a safe and reliable way of crossing is required. Taking Jinliwen Gas Pipeline Project as an example, this paper presents the engineering design and construction of pipeline crossing, which provides reference and guidance for pipeline engineering and construction in developed areas in the future.

Keywords: Large diameter; Long distance natural gas transmission pipeline; Crossing engineering project

收稿日期: 2020-06-09

基金项目: 浙江能源集团有限公司重点工程资助项目“金丽温输气管道工程”(S 2012-03)

作者简介: 王晓峰(1970-) 男, 四川汉源人, 高级工程师, 学士, 主要从事管道穿跨越及结构设计与科研工作。E-mail: ssswxf3025@163.com

0 前言

进入21世纪以来,随着中国经济建设的迅猛发展,国家对石油、天然气能源的需求更加迫切。浙江省作为中国东部沿海地区,经济发达且增长迅速,能源需求量大。2010年浙江省能源消费总量 $16\,865\times 10^4$ t标准煤,其中煤炭占61.3%,天然气仅占2.4%。随着浙江省产业结构升级和能源结构优化工作的进一步推进,节能减排要求不断提高,清洁能源需求量不断增长。根据《浙江省省级天然气管网建设规划》,浙江省将形成“多气源一环网”的供气格局。金丽温输气管道是浙江省天然气管网规划“一环网”中的南段,其实施将填补浙江省南部地区天然气供应的空白,并与现有和拟建的省级主干管形成管网,实现互联互通,进一步增强供气的安全性和稳定性。

金丽温输气管道工程线路途经金华市、永康市、丽水市、温州市等9个县(区)市,干线全长220.2 km,支线长度6.7 km,管径 $\Phi 813$ mm,设计压力6.3 MPa。工程所经过的地区为浙江中部金衢盆地、浙南山地,经济发达、人口稠密、公路及铁路交通纵横交错、河流沟渠水网密布、山区丘陵植被茂密,还有众多的环境敏感点(风景区、寺庙、坟地墓区、生态保护区、珍惜鱼类保护区、饮用水源保护区等等)。大口径天然气长输管道通过上述地区,必须因地制宜采用多种多样的穿跨越方式,做到安全可靠、依法合规、经济合理、施工便捷^[1]。管道线路穿越大、中型河流12处(定向钻2处、大开挖2处、水下隧道6处、顶管2处),新建山岭隧道30条,陆上定向钻穿越1次,穿越高速公路12次,穿越国省干道9次,穿越县道26次,穿越铁路13次等。

目前,国内已建大口径天然气长输管道工程中,金丽温输气管道工程穿跨越部分长度占管道线路总长度的20.8%,为国内第一;其中,石门洞隧道全长4 329 m,为目前已建的国内最长天然气长输管道山岭隧道;小溪管道跨越全长467 m,为国内最大跨度的天然气长输管道上承式矩形桁架跨越^[2]。

本文以金丽温输气管道工程线路穿跨越部分的设计及施工情况为例,对大口径天然气长输管道穿跨越工程建设进行探讨和经验总结。

1 工程地质

金丽温输气管道工程管道所经区域受地壳运动、岩性和断裂构造,以及外动力地质作用的综合影响,地貌类型复杂多样,其地势总体呈东南高西北低。通过的地貌单元有山地(低山)、丘陵(深丘、浅丘)、山间、丘间沟谷、山前平原、河谷阶地等。其中南段线路经过地区以

低山为主,丘陵次之,间夹山间冲沟,整体海拔高程30~720 m,相对高差20~300 m;冲海积平原仅在温州末站附近分布,海拔高程8~13 m。

根据区域地质资料及地质测绘,本段构造剥蚀地貌单元内出露的地层岩性以侏罗纪世磨石山群、白垩纪永康群地层为主,局部有燕山期侵入岩体。第四系覆盖层遍布于部分河床谷地、冲沟及山坡坳地,厚度变化较大。冲海积平原地貌单元上部为第四系冲海相沉积物,底部为风化基岩。沿线地下水受地形地貌、水文地质单元、地层岩性和地质构造的多种因素控制,主要划分为第四系松散堆积层孔隙潜水和基岩裂隙水两大类。

2 山岭隧道穿越

2.1 隧道穿越设计

2.1.1 位置选择

本工程管道在通过山区地段时,为了减少对地表植被的破坏,减少大削坡大挖方对地形地貌的破坏,保证管道运营安全,降低施工难度,采用了大量的山岭隧道进行穿越通过。根据对已建的多个油气长输管道工程的调研分析,管道在山区段的地表采用翻山敷设、横坡敷设方式时,由于气候因素、地形地貌变化、施工质量、第三方破坏等多种原因,致多处管沟被冲毁、管道被拉裂、气体泄漏爆燃、山体滑坡、地表水土流失等等,对周围人员及建构筑物造成巨大损失,而敷设在隧道内的油气管道均安然无恙^[3-5]。因此,本工程在山区段采用了30条山岭隧道,总长度约37.4 km。

2.1.2 隧道断面设计

考虑到管道路由经过的地区,首先要满足国家相关法律、法规及规范要求,又要满足地方政府规划要求,同时还要尽量绕避环境敏感区域等,因此,本工程山岭隧道平面及纵断面设计中,利用油气管道自身灵活多变的敷设方式,采用了多种多样的隧道结构形式,如平面折线、纵断面折线、大坡度斜井、超长隧道等等,较好地满足了相关要求。例如,石门洞隧道(全长4 329 m),采用超长隧道方式,有效地避开了国家级4 A风景区、在建高铁以及野生动物保护区;江心田隧道(全长1 072 m),在隧道中部采用122°平面转角,有效地避开了仙人谷风景区、采矿场、居民聚居点等,通过在隧道转折点位置局部扩大净空断面,满足管道弯管运输安装要求,以前类似工程中曾出现过直线型隧道由于紧邻敏感建、构筑物,从而导致施工期间多次变更施工方案,不得已采用非爆破开挖(静态爆破、机械或人工掘进等),延长了施工工期和增加了工程投资;横栏上隧道(全长1 034 m),采用单坡18.17%大坡度斜井方式,管道在斜井段利用锚固墩和滑动支墩相结合方式来固定管道,较好地解决了

管道翻越高陡坡的安全风险; 施工中采用了大容绳量的卷扬机(设置了挡车器、安全岔轨等)有轨出渣方式, 按照规范要求大于 17% 的坡度应采用有轨运输方式; 同时, 采用高扬程大容量水泵(一用一备)分级提升的方式, 进行隧道内排水, 保证隧道施工安全。

根据油气行业管道隧道相关规范要求, 本工程管道直径 813 mm 隧道断面一般情况下为 3.0 m×3.0 m(净宽×净高)^[6]; 在兼顾安全可靠、经济合理、施工方便的原则下, 考虑到部分隧道自身特殊性, 对隧道断面做了适当增大。如石门洞隧道, 因为长度超长, 小断面隧道在掘进到 800 m 以上时, 爆破后烟尘排放时间较长, 隧道出渣运距增长, 且相关的衬砌支护材料(如长距离泵送混凝土、钢材等)的运输及施工也非常困难, 导致工效明显降低, 为了方便施工、加快进度, 将断面改为 3.5 m×3.5 m; 对于平面转角隧道, 在转角处, 为了满足管道安装要求, 将该处断面局部进行适当加大。

2.2 施工措施

由于本工程山岭长隧道较多, 超过 2 000 m 以上的就有 6 条(包括石门洞隧道), 施工期间的通风、出渣尤为重要^[7]。施工单位的通风方式灵活采用“风机多段接力式”“压入式”“压入式+抽出式”等多种方式, 分别采用 2×11 kW 轴流式通风机。出渣施工, 根据小隧道断面的特点, 定制了小型带四驱的农用车, 方便隧道内进出, 见图 1。同时, 根据围岩条件, 灵活设置错车道, 提高施工工效^[8-9]。

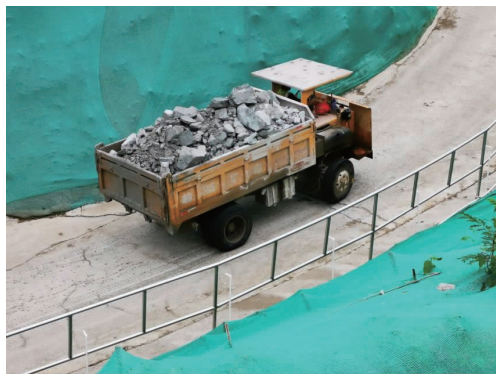


图 1 定制带四驱农用车照片

Fig.1 Customized agricultural vehicle with 4 WD

同时, 考虑到隧道所处区域均为植被茂密、山体水系发达、地表村庄众多的地区, 因此设计对施工期间地下水的处理提出了更严格的要求, 全程坚持超前预探、遇水注浆、以堵为主、限量排放的原则^[10]。根据综合超前地质预报成果资料, 可分别采用超前帷幕注浆、超前局部注浆或开挖后径向注浆等方式^[11-12], 防止大量地下水流入隧道, 确保施工安全和运营期间的水环境安全。具体实施图片见图 2~5。



图 2 隧道洞口轴流通风机照片

Fig.2 Axial fan for tunnel portal

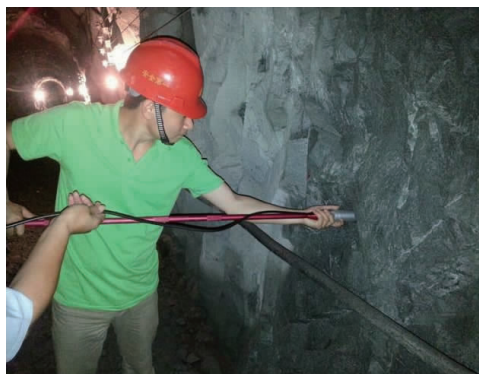


图 3 隧道内超前地质预报照片

Fig.3 Advance geological prediction in tunnel

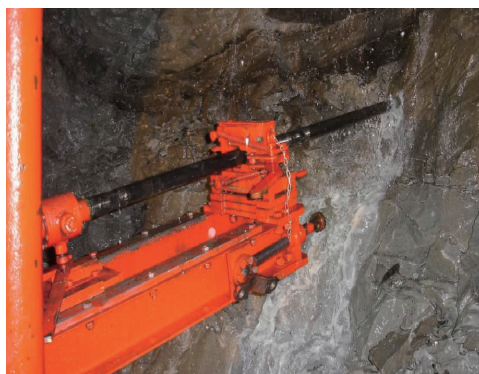


图 4 隧道内超前地质钻探照片

Fig.4 Advanced geological drilling in tunnel



图 5 隧道内注浆堵水施工照片

Fig.5 Grouting and blocking water construction in tunnel

2.3 政策处理及地方协调

2.3.1 爆破影响的处理

本工程山岭隧道均采用钻爆法施工,虽然在前期隧道洞口位置选择时,尽量绕避及远离了村庄民居等建、构筑物,但还是不能完全避免隧道洞口爆破施工对周边邻近建、构筑物的影响。因此,设计人员在前期应对隧道洞口周边相邻建、构筑物进行详细调查和精确测量,在设计文件中明确相应的处理工程量:原则上在洞口为中心 50 m 范围内,均考虑拆迁处理;50~200 m 范围内,考虑爆破振动损害赔偿的工程量(一般情况下根据当地的经济情况,综合考虑每平方米建筑面积的赔偿金额)。在隧道施工正式开展前,委托具有相关资质的房屋鉴定机构,对爆破影响范围内建、构筑物的现状进行鉴定评估;在隧道施工完成后,再进行一次鉴定评估,根据二者差异进行赔偿、修复等工作。这样大大减少了隧道施工期间因爆破影响而导致村民漫天要价、阻工等影响正常

施工的情况发生。

2.3.2 弃渣场的处理

由于隧道施工的特殊性,会产生出大量的弃渣,而弃渣的安全处置又非常重要。弃渣场位置的选择原则上尽量占用荒地、洼地,少占耕地,严格控制侵占良田^[13];不得将弃渣场设置在水源保护区、风景名胜区、自然保护区等敏感地区。本工程所经过的地区大多为山区丘陵,可供选择的弃渣堆放场地非常有限,特别是青田县素有“九山半水半分田”之称,足见其平地的匮乏。因此,本工程弃渣场的选择,充分依托隧道洞口所在当地乡镇的政府基层组织,选择指定的弃渣临时或永久堆放场,并做好弃渣场的水工保护措施(如截排水沟、挡渣墙、涵管等);弃渣的利用,根据政府统一要求进行处理,如修筑道路、平整场地、建筑材料等,弃渣再利用率达到 45%。隧道弃渣场及弃渣再利用见图 6。



图 6 隧道弃渣场及弃渣再利用照片

Fig.6 Photos of tunnel spoil area and its reuse

3 水域穿跨越

3.1 钻爆隧道穿越

本工程水域钻爆隧道共 4 条(总长度约 5 500 m)。主要穿越的水域为瓯江及其流水系。由于地形条件的限制,金丽温高速公路、金丽温高铁、国道 330、金温铁路等均在紧邻瓯江两岸布置,本工程的水域隧道不可避免地要与上述公路、铁路进行交叉或并行,因此隧道洞口及平面位置的选择非常困难,设计中创新地提出了平面与

竖向转角相结合的方式,解决了此难题。例如,大溪隧道(全长 1 279 m)采用斜井+平巷+斜井的形式,在进口端斜井与平巷交界处,采用平面转角 142°+竖向转角 14°的方式,较好地解决了整条隧道依次穿越国防光缆、居民聚居区、金丽温高速公路、国道 330、大溪主河道、金温铁路等障碍物。在隧道平面与竖向转角交界处,加大了隧道净空断面,方便管道运输及安装,此处管道弯管需要采用叠加角空间弯管。水域钻爆隧道统计见表 1。

表 1 水域钻爆隧道统计表

Tab.1 Statistics of drilling and blasting tunnels in water area

隧道名称	隧道长度 / m	纵断面型式	备注
好溪隧道	1 325	斜巷(490 m -24.87%) + 平巷(646 m) + 斜巷(189 m 46.46%)	平面转角 143°
官庄源隧道	1 015	斜巷(393 m -26.8%) + 平巷(436 m) + 斜巷(186 m 53.2%)	—
大溪隧道	1 279	斜巷(371 m -25.0%) + 平巷(637 m) + 斜巷(271 m 40.4%)	平面转角 142°
上皮山隧道	1 546	斜巷(445 m -26.8%) + 平巷(639 m) + 斜巷(462 m 46.6%)	—

由于隧道进出洞口紧邻上述敏感建、构筑物,因此,在爆破施工中采用了小药量的毫秒雷管微振爆破,严格控制爆破振动速率,做好洞口冲击波运动方向的外围防护,最大程度减小对周边建、构筑物的影响;爆破振动速率按照 GB 6722《爆破安全规程》中的相关规定,控制在 2.0 cm/s ;同时,针对在运的金温铁路,专门编制了相应的安全评估报告,并协调铁路运营单位,在爆破施工期间对隧道与铁路交叉范围内,进行列车运营管制,保证铁路运行的安全及隧道施工正常进行。在今后处理钻爆隧道与铁路、公路交叉的情况时,应协同业主提早与相关部门沟通,完善设计及施工安全措施方案,在满足规范及行业条例同时,做到安全可靠、施工便捷、经济合理。

3.2 河流跨越

本工程建成之前,浙江地区还尚未采用过大口径天然气长输管道跨越,其主要原因还是后期管道运营管理不太方便。但是在特殊情况下,受地质条件和周边环境条件等诸多因素的制约,其他穿越方式均不适宜采用时,还是需要采用跨越方式^[14]。小溪桁架跨越就是本工程唯一的大型跨越(全长约 467 m),见图 7。根据地质勘察报告显示,该处河段平均水深约 10 m,河床上层有漂石层(层厚 1.90~14.80 m),粒径 200 mm 以上占 60%~70%,粒径 20~200 mm 占 20%左右;卵石层(层厚 4.00~17.90 m),粒径 20~200 mm 占 60%~70%,粒径 5~20 mm 占 20%左右;下层为侏罗系上统磨石山组凝灰岩。经过综合技术比选分析,采用大开挖、定向钻、顶管隧道、钻爆隧道等穿越方式均不太适宜,因此设计推荐采用多跨桁架+梁式直跨相结合的方式,先采用 5 跨桁架跨过小溪主河道,然后采用梁式直跨通过滩地及邻近的县道。

由于受小溪两岸地方规划及现有建、构筑物的制约,经过与地方政府及村民的多次协商沟通,确定了跨越轴线无法与河道垂直,只能与主河道成 37° 交角斜跨,采用斜交方式过河,大大增加了桁架的总长度,同时也相应减小了通航河道的有效净空;为满足通航评价的要求,通航的主河道采用了主跨为 95 m 大跨度变截面上承式桁架,两侧河道采用了跨度为 75 m、69 m 及 2 跨 59 m 的桁架组合^[15-16]。桁架跨越段采用双桩基础桥墩,承台下布置 2 根 $\Phi 1.5 \text{ m}$ 的机械成孔灌注桩;直跨段采用单桩桥墩,承台下布置 1 根 $\Phi 1.2 \text{ m}$ 的机械成孔灌注桩。施工时,进展非常顺利,仅用 4 个月就全部完成了跨越主体部分施工。

3.3 大开挖穿越

随着国家对环境保护和水土保持的要求不断提高,对于大、中型河流水域越来越多要求采用非开挖方式通



图 7 小溪桁架跨越全貌照片

Fig.7 Overall perspective of Xiaoxi truss type pipeline aerial crossing

过。本工程大、中型河流采用大开挖方式只有 2 处,其中大溪(南明湖段)大开挖穿越设计的水平长度约 340 m。因河段上游修建有水库大坝,穿越河段枯水期水面宽度约 45~50 m,水深 1~5 m,河床表层主要为卵石、漂石,适宜在枯水期采用大开挖方式穿越。施工中,采用河道分段围堰开挖的方式,完成顺利。

需要提醒的是,本工程施工图设计完成时间 2013 年 10 月,但由于各种因素影响,实际施工时间在 2016 年 12 月,由于时隔 3 年多时间,水利部门在上、下游新建了水库大坝,导致前期所作的防洪评价已经不能满足现状的要求,因此需要重新进行评价,核算冲刷线深度,最终在原设计冲刷线位置再加深了 1.5 m,确定管道的安全埋深,相应的开挖工程量也增加了。

3.4 顶管穿越

本工程大、中型河流采用顶管隧道方式只有 2 处,其中青田县四都港(河道)穿越相对复杂。四都港(河道)原穿越方式是采用大开挖方式,设计已于 2013 年 4 月提交施工图,在实施阶段,由于地方政府规划调整,总体线路走向发生变化,导致四都港(河道)穿越位置进行了 4 次调整。最终实施的四都港(河道)穿越方案包括主河道、滩地和省道 S 230 的顶管穿越,实长 198.1 m,顶管隧道净断面为 $\Phi 1.5 \text{ m}$ 。河道和省道 S 230 公路顶管长 137 m(竖井+平巷+竖井,其中套管顶进 120 m),其余为开挖敷设段。由于省道 S 230 为傍山公路,一侧紧邻河道,一侧紧靠山脊,设计人员结合临河场地分布受限等特点,充分考虑场地影响,合理布置顶管穿越两侧竖井位置,减少施工时对省道路基安全影响^[17-18]。顶管穿越的层位是强风化~中风化凝灰岩,采用泥水平衡顶管机进行掘进,经过 4 个月施工,顺利完成。

3.5 定向钻穿越

本工程陆上定向钻穿越仅 1 次,为穿越缙云县新建镇堆土区。设计阶段,该地区是一片空地,无任何堆积物;到施工阶段放线测量时,新出现大面积堆土情况,如

采用直接开挖敷设,需将大量堆土临时外运,工程量大且完工后又需将外运土方拉回恢复,管道也需采取保护方式,且大量土方堆积和机器作业对管道安全造成较大隐患。

通过与地方政府协调处理,设计推荐采用定向钻穿越方式来通过该堆土区,穿越主要地层为中风化钙质砂岩,同时考虑一并穿越了几处鱼塘,减小了管道在地表敷设时政策处理的难度(包括临时占地、各种赔偿等等)。该定向钻钻孔施工段水平长 692.3 m,实长 695.6 m,穿越入土角取 $9^{\circ}29'$,出土角取 $9^{\circ}0'$,整个穿越曲线为“两弧三直”,弧线曲率半径均为 1 250 m;地面堆土区高度约 12 m,工艺设计断面堆土区管顶埋深最小 14.65 m(即中风化基岩内管顶最小埋深),经核算能完全保证管道安全;施工时一次穿越成功。在此类丘陵间的河流冲积平原实施定向钻穿越,应尽量选择在非雨季施工,避免场地积水影响穿越管道的钻进、管道拼组等。

从该定向钻穿越堆土区的成功实施来分析,在浙江等发达地区,对于某些特定的人工或天然障碍物,在满足定向钻穿越施工条件的前提下,优先推荐采用定向钻穿越方式,可以避免采用其他如大开挖、钻爆隧道等可能对周边环境产生较大影响的施工方式。

4 公路、铁路穿越

根据本工程线路管道路由走向,需多次与各种等级公路、铁路频繁交叉,为了保证管道安全,并同时满足公路、铁路部门的相关安全要求,设计人员根据现场实际位置关系、地形地貌、地质情况,综合考虑施工场地条件等因素,灵活采用多种多样的穿越方式进行通过。常用的主要有顶管隧道穿越、大开挖穿越(预埋套管、箱涵或加设盖板)等。特别是与铁路和高等级公路交叉时,严格遵照交公路发(2015)36号《关于规范公路桥梁与石油天然气管道交叉工程管理的通知》、国能油气(2015)392号《油气输送管道与铁路交汇工程技术及管理规定的》相关规定要求执行。

本工程管道穿越大量的乡村水泥公路时,在地形不受限制时一般采用顶管方式穿越,在地形受限时采用大开挖加盖板或加箱涵等方式保护管道(由于浙江西南部山区较多,公路一般依山而建,无法采用顶管穿越,只能采用大开挖方式)^[19-20],同时需要处理好与地方的协调关系;另外在穿越长度的确定时应考虑公路扩建等问题,一般在穿越道路两侧各延长至 5 m。

5 结论

浙江地区经济发达,管道沿途交通网络密布、各种规划、风景区较多,同时政府环保意识较强,征地协调难

度较大。通过金丽温输气管道工程近 6 年的工程建设,其间遭遇到了 2016 年百年一遇台风,对本工程在建的山区段管道产生了较大影响,但采用了钻爆隧道、顶管隧道、跨越等穿跨越方式的地段均安然无恙。建议在后续管网工程的建设中,尽量多采用隧道穿越方案,减少对环境的破坏,同时有利于减少征地协调的难度。

同时,针对管道穿越铁路、公路、鱼塘、水渠等天然或人工障碍物,应综合考虑地质条件、施工场地、政策处理等多种因素,在满足规范要求前提下,灵活采用适宜的穿跨越方式。

参考文献:

- [1] 杨帆,刘玉峰,姚林,等.经济发达地区长输天然气管道的设计要求点[J].天然气与石油,2008,26(5):4-6.
Yang Fan, Liu Yufeng, Yao Lin, et al. Outlines of Design of Long-Distance Gas Pipelines in Economically Developed Areas [J]. Natural Gas and Oil, 2008, 26(5): 4-6.
- [2] 程劲.金丽温输气管道工程——科技查新报告[R].成都:四川省科学技术信息研究所,2019.
Cheng Jin. Jinliwen Gas Pipeline Project—Scientific and Technological Novelty Retrieval Report [R]. Chengdu: Sichuan Institute of Science and Technology Information, 2019.
- [3] 向勇.西气东输中卫黄河隧道设计[J].石油工程建设,2011,37(3):51-56.
Xiang Yong. Design of Zhongwei Yellow River Tunnel in West-East Pipeline Project [J]. Petroleum Engineering Construction, 2011, 37(3): 51-56.
- [4] 杨成刚,胡川,杨守聪.中卫黄河隧道选址[J].天然气与石油,2009,27(3):45-48.
Yang Chenggang, Hu Chuan, Yang Shoucong. Site Selection of Zhongwei Yellow River Tunnel [J]. Natural Gas and Oil, 2009, 27(3): 45-48.
- [5] 曹兴山,卿春和.西气东输管道工程中卫黄河穿越隧道场地工程地质条件评价[J].工程地质学报,2007,15(3):338-345.
Cao Xingshan, Qing Chunhe. Evaluation of Engineering Geological Conditions for a Large Gas Pipeline Tunnel Crossing Yellow River at Zhongwei, Ningxia Province [J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(3): 338-345.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.油气输送管道穿越工程设计规范:GB 50423-2013[S].北京:中国计划出版社,2014:24-38.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for Design of Oil and Gas Transportation Pipeline Crossing Engineering: GB 50423-2013 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014: 24-38.

- [7] 周晓军, 吴克信. 西气东输延水关黄河隧道的设计与施工[J]. 地下空间, 2004, 24(1): 57-63.
Zhou Xiaojun, Wu Kexin. Design and Construction of Tunnel across Yellow River at Yanshuiguan for Gas Transportation Project from West China to East [J]. Underground Space, 2004, 24(1): 57-63.
- [8] 向勇, 杨成刚, 吴克信. 西气东输中卫黄河隧道设计与施工[J]. 现代隧道技术, 2011, 48(4): 110-115.
Xiong Yong, Yang Chenggang, Wu Kexin. Design and Construction of the Zhongwei Yellow River Tunnel for West-East Gas Transmission [J]. Modern Tunneling Technology, 2011, 48(4): 110-115.
- [9] 王进, 向勇. 第八堡黄河隧道设计和施工[J]. 中国科技财富, 2012(8): 21-24.
Wang Jin, Xiang Yong. Design and Construction of Dibapu Yellow River Tunnel [J]. China's Science and Technology Wealth, 2012(8): 21-24.
- [10] 周晓军, 吴克信. 陕京二线输气管道工程张家湾黄河隧道的设计与施工[J]. 现代隧道技术, 2004, 41(1): 32-39.
Zhou Xiaojun, Wu Kexin. Design and Construction of Zhangjiawan Yellow River Tunnel in the Project of the No.2 Gas-Transmitting Pipe Line from Shaanxi to Beijing [J]. Modern Tunneling Technology, 2004, 41(1): 32-39.
- [11] 陈文国, 王金喜, 陈文备. 忠武输气管道山岭隧道研究[J]. 油气储运, 2007, 26(7): 30-33.
Chen Wenguo, Wang Jinxi, Chen Wenbei. Pipeline Tunnel Design on Zhongxian-Wuhan Gas Transmission Pipeline Project [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2007, 26(7): 30-33.
- [12] 刘建武, 付超, 闫彦. 长输管道穿越山岭隧道设计的有关问题[J]. 石油工程建设, 2009, 35(2): 23-24.
Liu Jianwu, Fu Cao, Yan Yan. Some Key Matters Regarding Mountainous Tunnel Design of Long-Distance Pipeline [J]. Petroleum Engineering Construction, 2009, 35(2): 23-24.
- [13] 李长阁, 李淑娟. 长输管道穿越山岭隧道施工技术要求[J]. 石油工程建设, 2002, 28(4): 22-24.
Li Changge, Li Shujuan. Construction Technology of Long Distance Pipeline Passing Through Ridge Tunnel [J]. Petroleum Engineering Construction, 2002, 28(4): 22-24.
- [14] 王保群. 长输油气管道十大穿跨越方式[J]. 石油知识, 2014(3): 30-33.
Wang Baoqun. Ten Crossing Mode of Long-Distance Oil and Gas Pipeline [J]. Petroleum Knowledge, 2014(3): 30-33.
- [15] 董青. 主要管道跨越结构形式浅析[J]. 科技创新导报, 2010(33): 110-111.
Dong Qing. Brief Analysis of Main Pipeline Spanning Structural Forms [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010(33): 110-111.
- [16] 黄寒, 李婷婷. 油气管道桁架式跨越设计探讨[J]. 山西建筑, 2011, 37(9): 52-53.
Huang Han, Li Tingting. Inquiry on the Truss-Type Span Design of Oil and Gas Pipeline [J]. Shanxi Architecture, 2011, 37(9): 52-53.
- [17] 包宏宇. 陕京四线天然气管道怀九河顶管隧道穿越的实践[J]. 化工管理, 2017(31): 152.
Bao Hongyu. Practice of Pipe Jacking Tunnel Crossing Huaijiuhe Natural Gas Pipeline on the Fourth Shaanxi-Beijing Line [J]. Chemical Enterprise Management, 2017(31): 152.
- [18] 王宏华. 长输管道顶管隧道穿越河流的实践与探索[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012(1): 228.
Wang Honghua. Practice and Exploration of Pipe Jacking Tunnel for Long-Distance Pipeline Crossing River [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2012(1): 228.
- [19] 赵永强, 李友, 李海滨, 等. 大管径钢管穿越顶管隧道的质量控制[J]. 石油和化工设备, 2012(10): 42-45.
Zhao Yongqiang, Li You, Li Haibin, et al. Quality Control of Large Diameter Steel Pipe Crossing Pipe Jacking Tunnel [J]. Petro & Chemical Equipment, 2012(10): 42-45.
- [20] 张岩. 长输管道穿越技术[J]. 油气田地面工程, 2013, 32(6): 106.
Zhang Yan. Long-Distance Pipeline Crossing Technology [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2013, 32(6): 106.