

佛顶山特长隧道设计浅谈

向 勇

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 随着国内天然气长输管道的建设发展, 在通过山体时由于环境保护、降低施工难度、节省投资、运行维护等因素, 更多的选择隧道方式敷设管道。以宝鸡至汉中天然气管道佛顶山特长隧道 (全长 4 783 m) 为例, 通过介绍主要设计内容, 包括项目背景、工程概况、平面纵断面设计、横断面设计、防排水设计、通风设计、管道安装设计、施工方案等, 进而指出了油气管道中有关特长隧道的设计以及施工的出渣、通风等主要技术难点。并在设计工作中进行创新, 以确保天然气管道特长隧道的建设目标顺利实现。

关键词: 佛顶山隧道; 特长隧道; 设计

文章编号: 1006-5539(2009)03-0053-04 文献标识码: A

1 项目背景

宝鸡至汉中天然气管道工程输气管道直径 323.9 mm, 设计压力 4 MPa, 目前已经全线开工。管线南段沿红岩河谷敷设, 该段为秦岭山区, 地形陡峭, 山高林密, 线路方案遇到许多技术难题。在留坝县与汉台区交界的约 20 km 线路要通过“蜀道难, 难于上青天”的褒斜栈道段, 因为已经修建褒河水库, 管线无法顺河床敷设。褒河水库周围的褒河森林公园区域面积大, 管线无法绕行, 且山高林密, 林

业主管部门不同意翻山方案。因此在该段需要以佛顶山隧道穿越通过褒河森林公园^[1]。

2 隧道路由方案

设计初期, 对留坝县青桥驿镇与汉台区褒河镇之间的佛顶山—安家山段进行了路由比选。褒河森林公园主管部门要求海拔 1 500 m 以上严禁管道通行, 因此对隧道群和长隧道做了线路调研 (见图 1), 并做了技术经济比较 (见表 1)。经过比选, 我们推荐长隧道方案。

表 1 隧道方案技术比较表

方案	类别	隧道长度 /m	连接线路长度 /m	设计工期 /月	造价 /万元	优 点	缺 点
长隧道方案		4 783 (一条)	500	16~24	5 600	a 造价相对低, 节省投资; b 有成熟的隧道施工技术, 工期有保障; c 临建道路短, 有相对较好的社会依托条件。	a 施工通风困难; b 出渣困难。
隧道群方案		5 350 (两条)	1 000	18~30	6 500	2 条隧道有 4 个洞口作业面, 降低施工通风和出渣难度。	a 造价较高, 工期长; b 老丈沟需要修建 7 km 的临时道路和拉接电源, 砍伐大量树木, 无社会依托。

收稿日期: 2009-03-03
作者简介: 向 勇 (1981-), 男, 四川石棉人, 学士, 助理工程师。2003年毕业于西南科技大学土木工程专业, 现主要从事结构设计工作。电话: (028)86014545

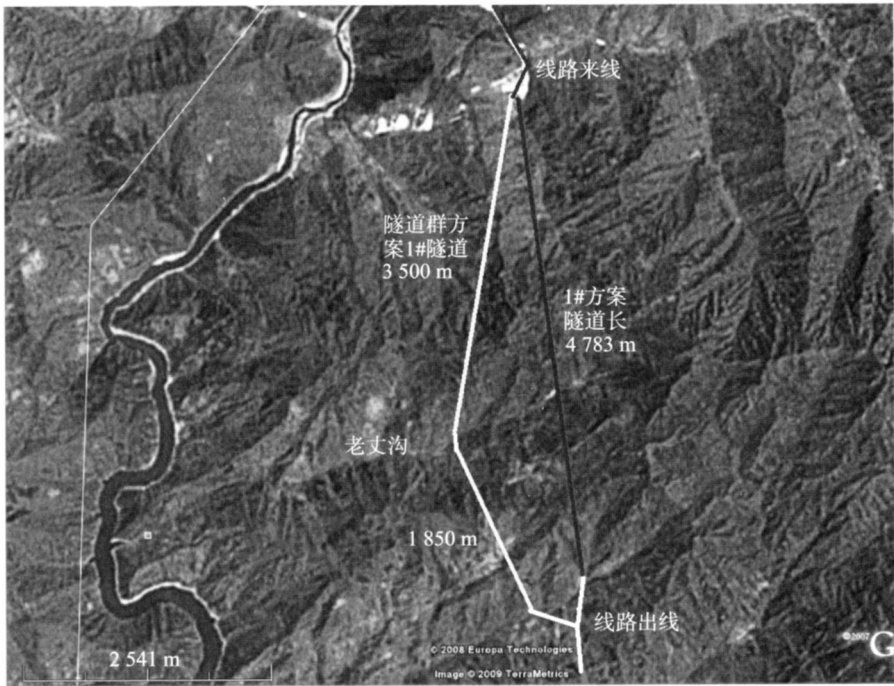


图 1 隧道方案比选图

佛顶山隧道进出口里程 K0+000—K4+763 投影为直线型。进口高程 918.84 m，出口高程 1 236.65 m，高差 317.81 m，水平长度 4 763 m，直线坡长 4 773 m(见图 2)。考虑隧道排水及施工便利，纵断面呈人字坡穿越山体，其中进口段坡度 11.7%，长度 2 783 m，出口段坡度 -0.25%，长度 2 000 m，隧道总长 4 783 m(见图 3)。

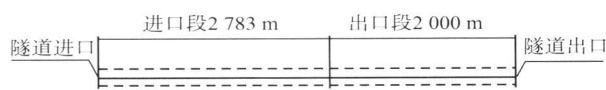


图 2 隧道平面示意图

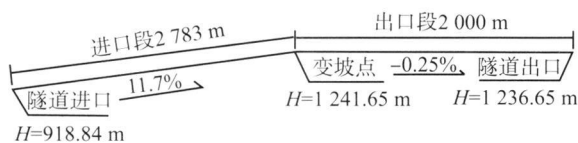


图 3 隧道纵断面示意图

3 工程地质概况

3.1 地形地貌

拟建隧道工程场地属构造剥蚀高中山山地地貌

单元，山坡较陡，植被茂密。隧址区内山岭纵横、沟壑交错、地形复杂，总体地形北高南低，地势高差约 700 m，垂直差异很大。

3.2 工程地质

隧址区位于秦岭山系南侧。秦岭山系主要为元古代、泥盆纪、志留纪的沉积变质地层、岩浆岩侵入体及其变质岩和混合岩类。地层主要为新太古宇佛坪岩群，该地层剖面属层状无序，具构造岩片性质。围岩岩性以片麻岩为主，间夹斜长角闪岩及少量石英岩和大理岩。隧址区地震基本烈度为Ⅶ度，围岩类别有Ⅱ级、Ⅳ级、Ⅴ级，其中Ⅱ级 3 505.5 m，Ⅳ级 1 170.5 m，Ⅴ级 107 m。

3.3 水文地质

隧址区地表水为流量较小的小溪，地下水主要分为松散层孔隙潜水、基岩裂隙孔隙层间水、块状基岩裂隙水、岩溶裂隙水，隧道中线高程远高于褒河水库。因此隧址区水文地质条件简单。

3.4 地震

根据中国地震裂度区划图，隧址区的地震烈度为Ⅶ度，设计基本地震加速度值为 0.10 g。

4 结构设计

4.1 洞口设计

隧道洞口采用无损进洞的方式进行开挖，修筑明洞时尽量避免破坏原始地形地貌。洞门端墙结构采用现浇钢筋混凝土，隧道洞口边坡及仰坡可锚喷混凝土支护。根据洞口地形，设计进洞口直接从出露基岩开挖成洞；出洞口先封闭洞口斜坡土体，采用管棚等形式支护后再开挖，短挖快支，同时采用钢格栅支架进行加强支护。斜坡应设置好排水、导水构筑物，以防止水土流失。

为防止隧道洞门端墙基础遭受冻害，根据汉中地区的最大冻土深度，参照公路隧道设计规范，确定端墙基础埋深为 1.2 m。隧道明洞部分施工完毕后，明洞顶部外面进行覆土保护，并恢复植被。

4.2 横断面设计

隧道的净断面尺寸应满足管道安装、检修、施工和各种安全间隙等要求。根据本工程要求安 $\Phi 323.9$ 的输气管道（ d_1 ），管道距左边墙的安装间歇（ w_1 ）500 mm；检修通道（ w_2 ）1 100 mm；则 $w = d_1 + w_1 + w_2 = 323.9 + 500 + 1\ 100 = 1\ 923.9\ (\text{mm})^{[2]}$ 。

如果取 2 000 mm 净宽断面，开挖断面为 2 500 ~ 2 600 mm；通风管需要解决 2 400 m 的通风距离，需要风管直径为 800 mm，则空间只有 1 800 mm；施工机械操作空间不足，将制约施工机械化程度，进而拖延工期。因此取隧道净空尺寸为 2 500 mm × 2 500 mm（见图 4），毛断面空间为 3 100 mm × 3 100 mm，适当增大洞室空间，满足耙斗装岩机、运输车辆和通风设备的布置需求，加快施工进度。

4.3 衬砌设计

由于本隧道为岩质隧道，遵循新奥法（NAIM）原则，采用钻爆法进行施工，尽量利用围岩的自承能力。根据隧道受力特征，综合考虑隧道围岩地质特征、洞室稳定状态的变化，施工中对围岩的改变影响，以及工程的重要性和服务年限长等因素，对 II 级 ~ V 级围岩隧道支护结构采用初期支护和二次衬砌相结合的复合式衬砌形式。

初支采用砂浆锚杆加喷射混凝土，局部破碎段挂钢筋网。

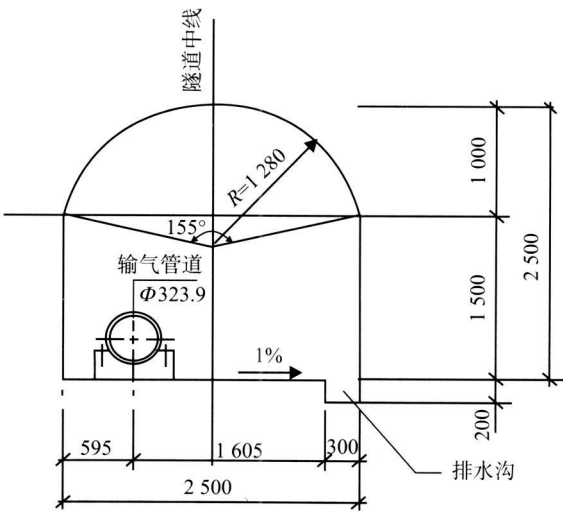


图 4 隧道净空断面图（尺寸为 mm）

二次衬砌采用现浇混凝土，II 级围岩为素混凝土，IV 级围岩、V 级围岩和明洞用钢筋混凝土。会车岛、躲避洞等按所在围岩类别衬砌予以保留。

4.4 防排水设计

隧道防排水应采取“防、排、堵、截相结合，因地制宜，综合治理”的原则。隧道防排水可按照洞内与洞外防排水相结合的方式。

隧道施工是从两端开口，均向上开挖，流水沿临时排水沟自流排放。施工期在洞外设置沉淀池，对生产污水进行沉淀处理达标后才能排放。

4.5 通风设计

本隧道管道安装完毕后封门，除检修人员外禁止入内，因此通风设计主要针对施工期间的通风问题。隧道施工期间通风效果的优劣将直接影响隧道施工进度和建设费用。目前的天然气管道隧道通风设计没有专门统一的计算公式，主要借鉴铁路隧道的经验公式，即隧道通风量应能将施工机械和爆破产生的有毒、有害气体排除至规定的允许限度以下的计算公式，还要能满足洞内各项作业所需要的最大风量^[3]。

《公路隧道施工技术规范》规定，施工过程中作业环境应符合下列卫生和安全标准：

- a 隧道内氧气含量：体积比 $\geq 20\%$ ；
- b 洞室内温度 $\leq 30^\circ$ ，噪音 $\leq 90\ \text{dB}$ ；
- c 有害气体允许浓度见表 2，粉尘允许浓度见表 3。

表 2 空气有害气体允许浓度表

有害气体	CO /mg·m ⁻³	NO ₂ /mg·m ⁻³	CO ₂ /(%)	CH ₄ /(%)
允许浓度	30	5~8	<0.5	<0.5

表 3 空气中粉尘允许最高浓度表

粉尘种类	最高值 /mg·m ⁻³
游离 SO ₂ 的粉尘 10% 以上	2
游离 SO ₂ 的矿物性粉尘 10% 以下	4

洞室内风量、风速要求: 作业人员人均新鲜空气 $\geq 3\text{ m}^3/\text{min}$ 内燃机械设备供风量 $\geq 3\text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{kW})$, 风速 $0.15\sim 0.6\text{ m/s}$

通风方案设计: 佛顶山隧道受地形影响, 只具备两端洞口掘进的条件, 单头平均通风距离约 $2\,386\text{ m}$ 。洞内主要空气污染源为爆破炮烟和耙斗装岩机、运渣车内燃机废气。根据隧道的特点, 采用送排式通风方式。由 1 台风机从洞口压入式送风, 风管直径 800 mm ; 掘进至 $1\,200\text{ m}$ 时增加 1 台风机串联供风。在洞内设移动式射流风机, 风管直径 300 mm 加速将洞内废气排出洞外。这种通风方式能有效的缩短排烟时间, 尽快将掌子面的废气降低到允许浓度范围内。

4.6 超前地质预探方案

隧道超前地质预报采用 TSP 超前地质预报结合超前钻孔。TSP 超前地质预报系统有着操作时间短、预报距离长、预报准确、费用低廉等优点, 一次操作时间约 40 min 有效探测距离 $250\sim 300\text{ m}$ 。通过对反射波数据对掌子面前方岩石完整性等进行分析预测。对局部可疑的地段, 采用超前钻孔进行钻探, 从而掌握前方地质情况, 以便在开挖过程中确定相应方案, 确保施工安全。

4.7 管道安装设计

Φ323.9 输气管道在隧道内均支撑在现浇的钢筋混凝土管墩上, 管墩间距 9 m 管墩上设置管卡, 管卡间隔设置。在隧道洞门外设置水平管沟补偿和锚固墩, 隧道两端靠近洞口段 100 m 范围内管道安装完毕后靠管道侧设置 240 mm 厚砖砌挡土墙, 然后回填素土覆盖管道, 以减少温差变化及外部管道对隧道内管道的影响。

5 施工方案

隧道施工采用“新奥法”原则。钻爆法施工应遵循“超前探水, 注浆堵水, 加固围岩”的原则, 坚

持“探一段、注一段、挖一段、衬一段”的施工方法, 使工程能安全顺利进行;

该隧道采用全断面一次开挖, 为保证隧道成形好, 应采用小药量光面爆破。若遇岩层破碎, 为减少爆破对围岩的扰动, 应采用预裂爆破;

隧道进口端斜巷坡度大, 工作面采用耙斗装岩机装渣和农用运输车出渣; 出口端坡度缓, 宜采用工作面耙斗装岩机装渣和轻轨电瓶车运输出渣, 减少内燃机设备进入隧道内, 降低通风压力, 加快施工进度;

为保证隧道安全、顺利贯通, 隧道的勘察设计工作采取动态模式, 即根据隧道开挖过程中出现的具体地质问题, 及时优化、变更设计, 以利于隧道施工。加强隧道应力、应变的监控量测, 根据量测数据和围岩实际情况, 及时对初期支护和二次衬砌的设计进行调整, 选择锚喷支护^[4], 以达到安全、经济的目的。

6 总结

佛顶山隧道断面小、长度较长, 隧道设计具有新的特点和难点。

首先是断面小, 大型设备无法进入作业面, 限制了开挖掘进和出渣的机械化作业程度, 影响施工进度。其次, 单头掘进平均长度 $2\,400\text{ m}$ 对通风提出了更高的要求。大功率燃油设备加重了隧道内空气污染, 施工中尽量选择电动环保型设备, 减少废气排放。目前国内在公路、铁路和水利水电等行业已经成功建设了较多的特长隧道, 但是油气管道的隧道还没有 $3\,500\text{ m}$ 以上的。因此, 佛顶山隧道没有现成的经验可以借鉴, 只能参照其他行业的特长隧道进行设计、施工, 对一些施工过程中可能出现的新问题还缺乏专门的研究, 需要进行监控量测, 根据量测数据及时调整设计和施工参数, 确保隧道安全、顺利建成。

参考文献:

[1] 向 勇, 付开伟, 杨守聪, 等. 宝鸡至汉中输气管道工程佛顶山隧道工程设计文件[Z]. 成都: 中国石油工程设计有限公司西南分公司, 2008

[2] 周晓军, 吴克信, 郑书进. 西气东输靖边至临汾段隧道工程的设计与施工[J]. 现代隧道技术, 2003, 40(4): 25-34

[3] 元文新. 京承高速公路司马台隧道通风设计[J]. 铁道建筑, 2007(2): 42-44

[4] 王晓峰. 隧道锚喷支护浅谈[J]. 天然气与石油, 2007, 25(4): 49-52