

# 西气东输二线东江隧道总体设计

向 勇, 黄 寒

(中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610017)

**摘 要:** 东江隧道穿越工程是西气东输二线深港支干线控制性工程, 是中国石油天然气管网继穿越长江、黄河等大型河流后, 首次以钻爆隧道方式穿越东江敷设天然气管道。主要介绍项目背景、建设条件、总体布置、结构设计和特点等, 为以后的类似工程总体设计提供参考。

**关键词:** 东江隧道; 总体设计; 技术特点

**文章编号:** 1006-5539(2010)04-0058-04

**文献标识码:** A

## 0 前言

西气东输二线深港支干线管道工程输气管道直径  $\Phi 1\ 016\ \text{mm}$ , 设计压力 10 MPa。管道始于广州首站, 向南经东莞、惠州后止于深圳求雨岭分输站, 承担向深圳、香港等城市及沿线发达城镇输送天然气的任务。深港支干线管道大致为西北—东南走向, 与东北—西南走向的东江在惠州—东莞河段相交, 势必要穿越东江。设计初期, 根据管道宏观路由、规划和地质条件对东莞市桥头镇与惠州市潼湖镇之间的江段进行了路由比选, 拟定在苏村西侧约 500 m 处穿越东江<sup>[1]</sup>。

## 1 穿跨越方案

### 1.1 穿跨越方案比选

管道通过河流、湖泊、池塘的穿越方法有大开挖沟埋穿越、定向钻穿越、顶管法隧道穿越、钻爆法基岩隧道穿越、盾构法隧道穿越方式。选择原则是根据地质、地形、施工、投资和维护的条件, 通过比选推荐一个安全可靠、技术可行、经济合理的过江方案<sup>[2]</sup>。

由于穿越河段为东江主航道, 江面近 1 000 m

宽, 航运繁忙、航道等级高, 穿越河段不适宜大开挖方式, 也不具备修建跨越的条件。

#### 1.1.1 顶管法隧道

顶管法适合于穿越土质较软的河床, 在河床地层结构较复杂条件下, 大口径顶管顶进困难, 超长距离 (大于 1 000 m) 顶管同时又存在曲线顶管, 施工更加困难, 不经济。因此, 本工程不宜采用。

#### 1.1.2 定向钻穿越

定向钻是一种先进的施工方法, 也是我国近年管道穿越工程应用最多的一种方式。其优点较多, 例如施工期短, 对周围环境影响小, 管道敷设后运营安全等。但考虑穿越河段江面较宽, 若采用定向钻穿越, 受穿越长度限制, 存在一次回拖长度大的技术难题不容易解决。

#### 1.1.3 盾构法隧道

该方法是利用盾构掘进机在地层中推进, 通过盾构外壳和管片支承四周围岩防止土砂溃塌进行隧道施工的一种方法。盾构机选型要正确 (如泥水加压式、土压平衡式等), 对穿越场地的工程地质和水文地质条件要求高, 地层结构要适宜, 否则投资太大。其优点是: 适用地层范围广、施工技术先进、机械化程度高、施工不受季节影响、风险较低。缺点是: 工程造价高, 盾构机价格昂贵, 而且不适于硬质岩及岩性变化大的河床; 施工工期较长, 盾构机从制造、搬运、组装到开始掘进需要较长的周期; 对施工

收稿日期: 2010-03-10

基金项目: 中国石油天然气股份公司重点项目资助 (S2007-722)

作者简介: 向 勇 (1981-), 男, 四川石棉人, 学士, 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。

技术和管理水平要求较高。因此,对较短的隧道而言不经济,不适宜采用。

### 1.1.4 水下钻爆隧道法

水下钻爆隧道是采用人工钻眼爆破的方法在水底的岩石层中开凿出一条通过水域的隧道,然后在隧道中敷设管道的穿越方法。该方法采用新奥法施工,故要有足够良好的基岩岩体特性及隔水顶板厚度,有较好的无潜在地质隐患的洞口位置及弃渣堆

砌场地。对本工程的地形及工程地质条件而言,水下钻爆隧道是成熟可行的方式。在国内的管道建设中,类似长江、黄河等穿越工程均多次以钻爆隧道方式穿越敷设管道。

因此本次穿越主要在隧道与定向钻之间比选,并做了技术比较,见表 1。经过技术优缺点、穿越长度的比选,推荐水下钻爆隧道方案。

表 1 隧道方案技术比较表

方 案	穿越长度/m	优 点	缺 点
水下钻爆隧道方案	1 753	a 造价相对低; b 有成熟的隧道施工技术,工期有保障; c 光缆可一并敷设	弃渣多,对环境的影响较大
定向钻方案	1 831	a 工期短,对环境的影响小; b 技术先进	a 花岗岩和变质石英砂岩岩质坚硬,岩质不均匀,定向钻施工困难; b 穿越长度最长; c 国内尚无如此长距离、大口径基岩内定向钻的先例,风险较大; d 需单独进行光规定向钻

## 1.2 隧道方案概况

推荐东江隧道进出口里程  $K_0+000-K_1+683$  投影为直线型。进口高程 26.40 m 出口高程 77.50 m 水平长度 1 683 m 实长 1 753 m(图 2)。纵断面采用“北岸斜巷+平巷+南岸斜巷”穿越东江,其中北岸斜巷倾角  $-25^\circ$ ,长度 299 m;南岸斜巷倾角  $25^\circ$ ,长度 396 m;平巷 1 058 m;隧道总长 1 753 m 图 1。

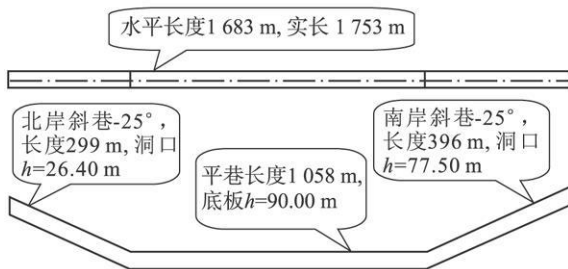


图 1 东江隧道平面、纵断面示意图

## 2 建设条件

### 2.1 地形地貌

拟建隧道地貌属于丘陵河谷地貌。北岸主要以浅丘和河谷阶地为主,南岸则为低山和河谷阶地,两

岸 I 级阶地发育不连续,沿江呈半月状分布。I 级阶地在北岸阶面宽度 200~400 m;在南岸阶面宽度 150~200 m;阶面海拔高程,北岸 10.7~11.5 m;南岸 7.9~8.2 m。浅丘位于北岸,海拔高程 8.1~84.1 m;相对高差约 76 m。低山则位于东江南岸 I 级阶地后缘,海拔高程 8.0~244 m;相对高差约 240 m。

### 2.2 工程地质

东江隧道穿越的主要岩层为第四系全新统坡残积层、侏罗系燕山三期 ( $\gamma_{52(3)}$ )花岗岩类、侏罗系中统漳平组 ( $J_4$ )粉砂质泥岩、砂岩、砾岩和侏罗系下统桥源组 ( $J_3^{IV}$ )石英砂岩地层。围岩类别有 III 级、IV 级、V 级。

### 2.3 水文

东江为珠江流域的三大水系之一,干流全长约 562 km。穿越断面左岸为惠州市惠城区潼湖镇广和村,右岸位于博罗县龙溪镇苏村,该段河道顺直,属于东江下游段,距上游博罗水文站约 17.0 km;距下游东深供水工程的太园抽水泵站约 7.2 km;距下游石龙(樊屋)潮水位站约 41 km;控制集水面积 25 822 km<sup>2</sup>。勘察期对穿越断面进行了日潮汐观测,河水位高程日变化在 1.2 m 左右。勘察期间水

面宽度约 610 m, 最大水深约 17.2 m。设计百年一遇流量为  $14\ 100\ \text{m}^3/\text{s}$ 。

根据勘察报告的计算结果推算拟建隧道开挖施工中涌水量可达  $16\ 700 \sim 19\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 。其中, 隧道北段总涌水量可达  $1\ 300 \sim 2\ 100\ \text{m}^3/\text{d}$ 。隧道南段总涌水量可达  $1\ 800 \sim 2\ 900\ \text{m}^3/\text{d}$ 。隧道中段通过的东江水域地区, 总涌水量可达  $9\ 200 \sim 13\ 300\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

## 2.4 气象

穿越点及其附近地区属于南亚热带季风气候, 处于西南季风与东北季风的交汇处, 具有日照时间长, 太阳辐射较丰富, 气候温暖, 雨量充沛, 无霜期长, 雨日多, 时程和分布不均, 四季常绿等特点。多年年均气温  $20.9 \sim 21.9^\circ\text{C}$ ; 每年的七月最热, 月均气温  $27.8 \sim 28.4^\circ\text{C}$ ; 一月最冷, 月均气温  $11.6 \sim 13.8^\circ\text{C}$ 。极端最高气温  $38.3 \sim 38.9^\circ\text{C}$ , 极端最低气温  $-1.9 \sim -2.4^\circ\text{C}$ 。多年平均年降水量  $1\ 761.0 \sim 1\ 827.6\ \text{mm}$ ; 最大年降雨量为  $2\ 347.2 \sim 2\ 743.1\ \text{mm}$ ; 最小年降雨量为  $720.8 \sim 1\ 010.4\ \text{mm}$ ; 一日最大降雨量  $300.3 \sim 405.3\ \text{mm}$ 。每年雨季为 4~9月, 降雨量占全年的  $82.3\% \sim 85.0\%$ , 为地下水补给期; 旱季为每年 10月~次年 3月, 降雨量占全年的  $16.7\% \sim 17.7\%$ 。风向的季节性转换明显。每年 10月至来年 1月受冬季季风控制, 主要以东、北东风为主, 2~6月受夏季季风环流控制, 偏南风 and 东南风基本相等。历年主导风向为 E、NE。多年平均风速  $1.5 \sim 2.1\ \text{m/s}$ , 最大风速  $31 \sim 33\ \text{m/s}$ 。

主要灾害性天气为夏季的热带气旋, 热带气旋带来大量雨水和强大的风力, 表现为暴雨、洪灾、风灾等。

## 2.5 交通

拟选隧址区附近有高速公路、高等级公路, 洞口附近有乡村公路直达洞口, 交通条件较好。

## 2.6 地震

根据中国地震烈度区划图 (国家地震局 1990年版, 1:400万), 穿越区地震基本烈度属于 VI度。根据国家质量技术监督局 2001年 2月 2日发布的 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》, 穿越区地震动反应谱特征周期值为  $0.35\ \text{s}$ , 地震动峰值加速

度为  $0.05\ \text{g}$ 。场地类别为 II类, 为抗震有利地段。

## 3 主要技术标准

a 隧道等级: 天然气管道水下隧道, 2级;

b 隧道净宽:  $3\ \text{m}$ ;

c 设计洪水频率:  $1/300$ ;

d 设计基准期: 50 a;

e 地震设计烈度: VII度。

## 4 总体设计原则

总体设计指导原则如下:

a 认真贯彻执行国家的各项政策、规定以及有关标准、规范和规定;

b 穿越位置服从线路宏观走向, 为管道提供安全可靠、经济合理的过江通道;

c 应满足当地水利部门和规划部门的相关规定和要求, 穿越位置附近应有一定的施工场地及便利的交通运输条件;

d 充分吸取国内外已建同类隧道的建设经验, 认真分析本项目特点和在管网中的作用和地位, 采用合理的技术标准和实施规模;

e 在满足隧道建设的同时, 确保航运、防洪的安全, 最大限度地减少对周围环境的影响;

f 合理选择弃渣场地, 做好水土保持措施和渣场覆土设计, 减少对环境的影响;

g 精心组织、精心设计, 加强总体协调, 设计文件编制深度达到规定要求以上。

## 5 主体结构及技术特点

### 5.1 洞口设计

隧道洞口采用明挖方式进行开挖, 修筑环形截水沟防止地表水进入斜巷, 隧道洞口周围边坡锚喷混凝土支护。待管道安装完毕后, 隧道两端洞口封闭, 封闭建筑采用砖混结构。

### 5.2 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。根据本工程要求安装  $\Phi$

1 016 mm 的输气管道 (R), 管道距左边墙的安装间距 ( $I_1$ ) 500 mm, 检修通道含支墩影响宽度 ( $I_2$ ) 1 100 mm, 水沟及光缆通道 ( $I_3$ ) 300 mm, 则  $S=R+I_1+I_2+I_3=1\ 016+500+1\ 100+300=2\ 916$  (mm)<sup>[3]</sup>, 隧道净空应  $\geq 2\ 916$  mm, 因此取隧道横断面净空尺寸为 3 000 mm $\times$ 3 000 mm, 见图 2。

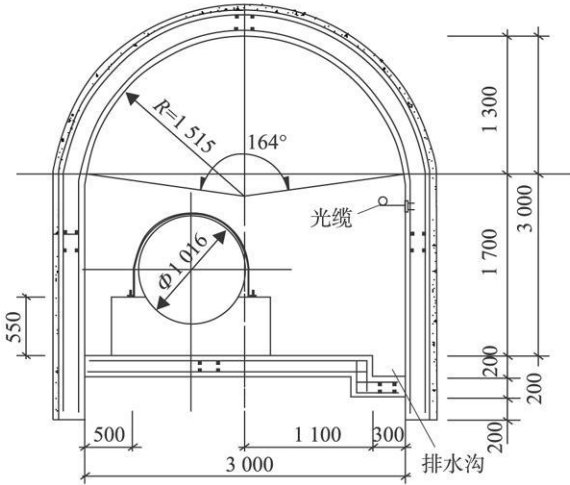


图 2 隧道净空断面图 (单位为 mm)

### 5.3 衬砌设计

由于本隧道为水下钻爆法隧道, 遵循新奥法 (NATM) 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, 隧道支护结构采用复合式衬砌形式。初支采用砂浆锚杆加喷射混凝土, 二次衬砌采用现浇混凝土, 初衬与二衬之间压注水泥浆。斜巷每 40 m 设置壁座, 防止二衬混凝土向下位移。

### 5.4 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。由于东江隧道为水下隧道, 有效地防止水对隧道的影 响是隧道能否顺利建成的关键因素。通过探水将地下水堵截在洞室影响范围之外, 探一段, 挖一段, 每一循环预留 10 m 的止水岩盘。

隧道施工是从两端开口, 斜巷均向下开挖, 平巷采用人字坡, 坡度 0.3%, 流水沿临时排水沟进入积

水坑后抽放。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。

### 5.5 通风设计

本隧道管道安装完毕后封门注水, 除检修外禁止入内, 因此通风设计主要针对施工期间的通风问题。目前的天然气管道隧道通风设计主要借鉴铁路隧道的经验, 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<sup>[4]</sup>。

依照《公路隧道施工技术规范》的规定, 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  $\leq 90$  dB;

c 有害气体允许浓度见表 2, 粉尘允许浓度见表 3。

表 2 空气中有有害气体允许浓度表

有害气体	CO /mg $\cdot$ m <sup>-3</sup>	NO <sub>2</sub> /mg $\cdot$ m <sup>-3</sup>	CO <sub>2</sub> /(%)	CH <sub>4</sub> /(%)
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 $\cdot$ m <sup>-3</sup>
游离 SO <sub>2</sub> 的粉尘 10% 以上	2
游离 SO <sub>2</sub> 的矿物性粉尘 10% 以下	4

d 洞室内风量、风速要求。作业人员人均新鲜空气  $\geq 3$  m<sup>3</sup>/min, 内燃机械设备供风量  $\geq 3$  m<sup>3</sup>/(min $\cdot$  kW), 风速 0.15~6 m/s;

e 通风方案设计。东江隧道从南北两岸洞口开始掘进, 单头平均通风距离约 900 m。洞内主要空气污染源为爆破炮烟和耙斗装岩机废气。根据隧道的特点, 采用送排式通风方式。由一台风机从洞口压入式送风, 在洞内设移动式射流风机, 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容许浓度范围内。

### 5.6 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 250~300 m。通过

(下转第 64 页)

对起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。这种超探结合方案能减少探水时间,提高探水效果,加快施工进度,在穿越长江、黄河等水下隧道建设中起到很好的效果。

(上接第 61页)

对起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。这种超探结合方案能减少探水时间,提高探水效果,加快施工进度,在穿越长江、黄河等水下隧道建设中起到很好的效果。

### 5.7 管道安装设计

Φ1 016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 20 m,每个管墩上设置双管卡。在隧道洞门外设置水平管沟补偿和锚固墩,隧道两端斜巷靠近洞口 2/3处设置洞内锚固墩,以减少温差变化、斜巷管道自重对隧道内落平点弯头及洞内管道的影响。

## 6 结束语

博罗东江隧道其所处地区水文条件复杂,因此

勘察设计要查明地质状况,查清岩层中是否有地下水“漏含水层”,其对隧道施工的影响尤为重要,为隧道穿越推荐良好的穿越岩层,隧道上方要有良好的隔水顶板岩层。施工中尽量选择电动环保型设备,减少废气排放。为保证隧道的安全、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,确保东江隧道安全、按期建成。

参考文献:

- [ 1 ] 西气东输二线可研联合体. 西气东输二线可行性研究报告[ J]. 廊坊: 西气东输二线可研联合体, 2008
- [ 2 ] 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
- [ 3 ] 中国石油工程设计西南分公司. 油气管道山岭隧道设计规定[ J]. 北京: 中国石油管道建设项目经理部, 2009
- [ 4 ] 向 勇. 佛顶山特长隧道设计浅谈[ J]. 天然气与石油, 2009, 27(3): 53-58