

陆 上 黄 土 隧 道 设 计

李如海, 黄金铎

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 结合西气东输管道工程中陆上隧道工程设计, 分析了天然气管道黄土隧道设计的若干要点: 如围岩级别、隧道断面形式、洞口位置和隧道衬砌的确定等等。利用有限元软件对隧道围岩和支护进行稳定性分析和计算。

关键词: 黄土隧道; 设计要点

文章编号: 1006-5539(2005)04-0067-04

文献标识码: A

1 隧道工程在石油天然气领域的应用及工程地质条件

1.1 隧道工程在石油天然气领域的应用

隧道工程在现今社会的各个领域得到了广泛应用, 包括交通、水利等, 近两年也进入了石油天然气行业。石油天然气管道在输送过程中, 会遇到不同的地形障碍。在多年来的管道建设中, 对陡峭山体都采用绕避方式通过, 这样不仅增加了工程造价, 且在一些地质条件不好的地方, 会由于管沟开挖后易造成次生地质灾害, 使管道的安全得不到保证。而对于管道遇到江河时, 一般采用空中跨越和在河底用管道穿越两种方式, 但这两种方式都具有一定的施工难度, 且都不利于在使用期对管道的保养和维护。在采用了隧道方式通过陡峭山体和江河后, 既不会大幅度增加工程造价, 又能方便在使用期中的养护和管理, 还能在修建管道复线中达到高效率、低费用。现石油天然气管道陆上隧道已在兰—成一渝成品油管道工程、西气东输管道工程等工程中得到采用。

1.2 靖边—临汾段隧道工程简介

在靖边—临汾段, 按推荐的线路走向开展了相应的进一步优化定线工作。由于本段处于黄土地区, 在现场踏勘时所确定的 13 处隧道, 均属于山体地形陡峻地段, 是西气东输管道工程最困难段之一。管道沿陡坡爬行通过困难重重, 沿路铺设则崎岖蜿蜒、耗资巨大, 且大多地段道路不太稳定, 冲蚀严重, 管沟开挖后易造成次生地质灾害, 使管道的安全得不到保证, 而以绕避方式通过时, 会增加管道的长度, 且管沟成沟困难。以陆上隧道穿越方式敷设管道, 可以缩短管道长度, 保证管道安全, 且隧道穿越设计、施工有公路铁路隧道成熟的经验可借鉴。因此设计确定靖边—临汾段共修建 13 处陆上隧道。主要是位于黄土层为主的地层中, 属黄土(质)隧道, 该段设计陆上隧道总长度为 3 379 m。

1.3 工程地质

1.3.1 地形地貌

隧道穿越区域内地貌属黄土丘陵沟壑组合类

收稿日期: 2004-12-28; 修回日期: 2005-05-24

作者简介: 李如海(1971-), 男, 四川成都人, 工程师, 硕士, 从事建筑结构设计工作。电话: (028) 86014545。

型,分为沟间地(土质山丘)和沟壑地(河谷川台)两大类型。沟间地分为梁、峁梁、峁等;沟壑地有细沟、浅沟、切沟、悬沟、冲沟、坳沟(干沟)和河谷。

1.3.2 隧道工程地质条件

隧道洞身的岩土体及其性质按自新到老的顺序简述如下:

第①层—马兰黄土(Q_3^{al}):浅灰黄色、灰白色,干燥,坚硬,壁立性好,可见大孔隙,以粉粒为主。局部下部分布圆砾、卵石层,该层分布于第②层离石黄土之上,分布不均匀,厚度变化较大。

第②层—离石黄土(Q_2^{al}):浅灰黄色、灰黄色,局部夹褐黄色,干燥,坚硬,壁立性好,垂直裂隙发育,可见柱状劈理(照片),以粉粒为主,局部粘粒含量较高,含钙质及少量锰质结核,局部富集。

第③层—卵石、圆砾(Q_2^{al+pl}):密实,一般粒径20~40 mm,磨圆度较好,主要母岩成份为砂岩,砂质及土质充填。

第⑤层—砂质泥岩夹泥质粉砂岩、页岩(J_2a):灰绿色、褐紫色夹黄绿色及灰色、灰白色、灰黑色,致密坚硬,粘粒、粉细粒结构,厚层状构造,裂隙发育,产状:倾向 $283^{\circ}\sim 286^{\circ}$,倾角 $2^{\circ}\sim 3.5^{\circ}$ 。综上所述,该隧道组洞体顶部地形高低起伏不平,为马兰黄土所覆盖,该层马兰黄土具湿陷性,湿陷等级为中等~强烈。

1.3.3 隧道涌水量评价

隧道所穿越区域的各大冲沟仅雨季在局部沟段有流水,但持续时间较短,旱季或平水期一般无水,所有这些沟系的流水均汇入秀延河,资料对比可以看出,各洞口附近的冲沟历史最高洪水位均比设计洞口标高要低。而黄土层中的潜水仅在雨季方有少量水,而上部黄土层仅在雨季时局部与基岩接触带附近含少量水。综上所述,本隧道群施工时洞身不

可能出现大量涌水现象。

2 黄土隧道设计

2.1 隧道围岩级别

本设计所穿越的地层主要有第四系上更新统马兰组马兰黄土(Q_3^{al})、第四系中更新统离石组离石黄土(Q_2^{al})、第三系上新统保德组(N_2b)棕红色粘土、三叠系下统和尚沟组(T_1h)泥岩夹砂岩等,通过对隧道穿越地层岩土物理力学参数的分析,根据《铁路隧道设计规范》(TB 10003-2001)隧道围岩级别判定。确定李家岔隧道群围岩级别为V~IV级,白家腰隧道的围岩级别为V~IV级。且上述隧道通过地层主要以黄土为主,确定为黄土隧道。皮峁沟隧道群的围岩级别为V~IV级,通过地层主要以红粘土为主,确定为土质隧道。荆坡隧道由于在 T_1h 泥岩夹砂岩中通过,隧道围岩分级为II级,确定为岩质隧道。

2.2 隧道埋深类别的判定

由于本设计中陆上隧道共有13处,根据《公路隧道设计规范》计算出隧道深、浅埋的分界深度 H_p ,计算公式为^[1]:

$$H_p = 1.125 \times 2^{6-s} \omega$$

式中 H_p ——深、浅埋隧道的分界深度,m;
 s ——围岩类别;
 ω ——隧道宽度影响系数, $\omega = 1 + i(B - 5)$;
 B ——隧道的开挖宽度,m;
 i ——每增减1 m时围岩压力增减率。

以 $B = 5$ m的围岩垂直均布压力为准,当 $B < 5$ m时,取 $i = 0.2$; $B = 5 \sim 15$ m时,取 $i = 0.1$ 。通过计算得出各隧道的深浅、埋分界深度 H_p ,见表1。

表1 陆上隧道深浅埋分界深度

序号	隧道名称	围岩级别	H_p /m	隧道长度/m	隧道洞身主要岩性
1	阳道峁隧道组(1 [#] ~5 [#])	IV	7.2	941	离石黄土
2	新庄隧道组(6 [#] ~7 [#])	IV	7.2	319	离石黄土
3	南家砭隧道(8 [#])	V~IV	14.4~7.2	149	离石黄土
4	徐家砭隧道(9 [#])	V~IV	14.4~7.2	124	离石黄土
5	皮峁沟隧道群(10 [#] ~11 [#])	V~IV	14.4~7.2	1321	红粘土
6	白家腰隧道(12 [#])	V~IV	14.4~7.2	108	离石黄土
7	荆坡隧道(13 [#])	III	3.6	417	泥岩夹砂岩

由表1可以看出,黄土隧道的深、浅埋分界深度为14.4~7.2 m。李家岔隧道群与皮崩沟隧道群的洞身段土层厚度均大于20 m;白家腰隧道洞身段土层厚度20~30 m。隧道拱顶以上土体厚度均大于深、浅埋隧道的分界深度。因此,判定陆上隧道洞身段均属于深埋隧道。

2.3 隧道断面形式的确定

选择隧道断面形状必须综合考虑隧道围岩物理力学性质、地应力大小及其方向、隧道用途以及支护方式等因素。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。

参照《铁路隧道设计规范》和《公路隧道设计规范》中对特殊条件下隧道的衬砌要求,V级围岩和IV级围岩采用复合式衬砌,其断面形式采用仰拱直墙圆弧拱的结构形式。鉴于黄土特殊的物理力学性质,容易引起底鼓,设置成弧形的仰拱,则隧道结构成为封闭形式,而封闭的结构形式具有较好的抵抗变形能力,同时在支护结构中还不产生拉应力,因此采用仰拱的形式。隧道断面尺寸确定为:

隧道净断面为3.2×3.1 m,墙高为1.85 m,拱高为1.25 m。

2.4 隧道衬砌的确定

隧道衬砌的确定参照《铁路隧道设计规范》和《公路隧道设计规范》推荐的方法,结合工程类比法进行,并用2D-σ分析软件对衬砌强度进行了校核。

根据隧道受力计算,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,隧道衬砌按照围岩级别分别加以确定。

IV、V级围岩均采用复合式衬砌。采用喷锚混凝土为初期支护,并加挂钢筋网。边墙、拱顶喷厚80~100 mm C20 砼。二次衬砌采用模筑钢筋混凝土C20,厚度为300 mm。洞内挡土墙及隧道边墙每隔30 m设泄水孔。

2.5 隧道围岩与支护稳定性分析

隧道围岩稳定性分析是隧道支护结构设计与施工过程中不可缺少的环节。隧道开挖后,其围岩是否稳定取决于围岩二次应力场与岩土体强度特性矛盾发展的结果。主要体现在围岩的二次应力状态与

岩土体强度的协调、围岩的位移状态与岩土体变形能力的协调以及围岩局部岩土体的稳定性等三个方面。

隧道结构的破坏都是结构受力作用的结果。与硬质岩石类似,黄土隧道开挖后围岩内部立即进行应力重新分布,其结果是在隧道围岩区域形成高应力区。由于黄土的承载能力较低,其弹性在瞬间消失而进入塑性流动状态,并不断伴随着塑性区的扩大,在某些部位的土体内产生局部剪切带,此时黄土的抗剪强度不足以克服形成的剪切应力时,洞壁黄土便产生局部失稳。如果初期支护结构的强度或刚度不足时,洞壁就将发生坍塌。但是,过早地施作二次衬砌,势必使二衬承受过大的后期变形压力,也可能导致隧道衬砌失稳。复合式衬砌的隧道中,确定合理的二衬支护时间是非常重要的,这应从现场隧道监控量测的数据分析中加以确定。

2.6 隧道计算

荷载—结构模型和地层—结构模型是隧道工程设计中最常采用的数值分析方法。工程实践表明:对于深埋隧道结构计算分析和了解围岩结构动态的受力变形时以及隧道结构和地表建筑物的相互影响时常采用地层—结构模型;对于浅埋隧道结构计算分析,常采用荷载—结构模型,必要时结合两种方法共同计算分析,起到相互验证的作用,以确保设计的安全、合理、可行^[2]。鉴于各隧道段所穿越地层的工程地质和水文地质条件(洞口段除外)基本类似,因此,在全面分析的基础上进行控制计算是合理可行的,同时可避免大量的重复劳动。计算思路基本是先模拟施工阶段,分析围岩和支护的稳定性,同时计算二衬是否需要配筋,如果需要配筋,那么按概率极限状态法设计进行相关计算。

2.7 隧道洞口设计

根据工程地质勘察报告,隧道洞口边坡、仰坡宜采用混凝土板加3:7灰土护坡。坡度过陡,可增加砂浆锚杆。岩质隧道洞口边坡及仰坡采用浆砌片石防护。洞口设永久性的钢板大门。此外,在隧道洞门附近应设置沉降缝。洞口范围5 m内衬砌埋至冻土层以下^[3]。

2.8 隧道防排水设计

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进行。鉴于黄土的稳定性受水的影响最为敏感,含水量增幅越大,黄土塌方的速度越快,塌方的范围也越大。因此,隧道施工时要特别注意黄土含水量及其中地下水的变化情况。首先,要重视防止地表水的下渗。对隧道地表的沟谷、坑洼积水以及雨水应及时采用疏导、勾补、引流和填平等措施。

根据该隧道工程地质勘察报告,黄土层中基本不含水,隧道施工期间洞身涌水量可能不大。为防止局部淋水,沿隧道纵向设置排水沟,排水沟坡度与隧道坡度一致。在局部淋水处,可在衬砌背后设排水孔集中引流。洞门应设置必要的截水沟和排水沟。隧道边坡、仰坡应采取必要的防护措施。

3 结 束 语

在西气东输的工程建设中,陆上黄土隧道为石

油天然气行业第一次采用的管道穿越形式。本设计不同于公路铁路黄土隧道,断面尺寸 $3.2 \times 3.1 \text{ m}$,属于小断面黄土隧道,设计中确定了小断面黄土隧道深埋与浅埋的界定标准。在结构上对 IV、V 级围岩采用复合式衬砌。初期支护采用喷锚混凝土,并加挂钢筋网,属于柔性支护方式。既保证了洞室初期的稳定,又降低了建设费用。西气东输工程靖边—临汾段黄土隧道的建成投产,对国内石油天然气管道在黄土地区的建设开拓了新的思路,提供了可供选择的管道穿越新形式。

参考文献:

- [1] 铁道部第二勘测设计院. 铁路工程设计技术手册——隧道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [2] 关宝树. 隧道力学概论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1998.
- [3] 铁道部第一、二、四勘测设计院和专业设计院. 洞门[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1990.