

黄土峽岬拓宽处理技术

吴克信, 付开伟, 胡晓梅

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘要:西气东输管道工程经过高陡黄土峽岬几十处, 通过对黄土地区峽岬的地貌和地质特征分析, 对峽岬拓宽结构选型和结构受力计算作了论述, 提出了黄土峽岬拓宽处理措施和施工技术要求。

关键词:黄土峽岬拓宽; 受力分析; 处理技术; 施工要求

文章编号: 1006-5539(2005)04-0053-05 **文献标识码:** A

0 引言

西气东输管道工程靖边至临汾段地跨陕西和山西两省, 线路长度约 390 km, 通过了我国典型的黄土山地地形, 在该段线路管道通过了多处高陡边坡、大型冲沟和高陡峽岬部位, 在这些特殊地段, 由于周边地形都是连绵的深沟陡坎, 管线无法以绕避方式通过, 若不采取特殊保护处理, 将无法保证管道施工和运营的安全。

1 黄土地貌、黄土峽岬的定义

发育在黄土(包括黄土状土)地层中的地貌称之为黄土地貌。我国北方是世界上黄土最发育的地区, 面积有 $63.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全国面积 6.6% ^[1]。其中, 黄河中下游的陕西北部、甘肃中部和东部、宁

夏南部以及山西西部, 是我国黄土分布最集中的地区。分布面积广、厚度大、地势较高, 形成著名的黄土高原。

西气东输管道工程线路穿过黄土高原(靖边至临汾段)。该地区沟壑众多、地面支离破碎、崎岖起伏、现代侵蚀异常强烈, 侵蚀严重地段两峽(塬)之间的连接仅有一条狭窄地段(宽 2~10 m), 此种黄土塬地区连接两峽(塬)之间的狭窄通道称之为峽岬。

2 黄土峽岬地貌、地质特征

西气东输管道穿过几百公里的黄土塬, 所经峽岬上百处, 采取工程措施后方可通过的总计 65 处, 是西气东输工程建设面对的一大难题。黄土塬属于湿陷性黄土, 其地貌特点是千沟万壑、丘岗起伏、峽梁逶迤; 而峽岬所处地段地貌形态为黄土梁峽沟壑, 地形破碎, 梁峽坡面细沟、浅沟发育, 面状、线状侵蚀

强烈,梁峁边缘以下,沟谷深切,冲沟横剖面多呈“V”形,沟坡约10~70 m,冲刷强烈,水土流失严重。局部梁峁间鞍部由于水流侵蚀逐渐缩小变窄,宽仅几米至十几米,高度从几米至六七十米,两侧几乎被深切之沟谷切穿形成峽岬,见图1。并且峽岬较两侧山梁地势低,两端山体汇水均汇入峽岬两侧冲沟内,对峽岬构成较大的危害,大部分峽岬均有黄土陷穴、落水洞等现象存在,见图2。同时,该地区植被覆盖率低。仅有少量草灌植被,大量的地面裸露,使土壤失去了对雨水冲刷的有效保护及对水的调节作用。



图1 峽岬原始地貌



图2 峽岬黄土陷穴现象

峽岬地表为马兰黄土覆盖,具III~IV级自重湿陷性。该地区的黄土砂粒含量较高,粘粒含量低,黄土孔隙大,密度低,垂直节理发育。而黄土地区降雨少而不均,属暴雨集中地区,据调查本区段7~9月的降雨量可占全年降雨量的61.4%。大量的地表水以集中、一定强度运动时,就能产生侵蚀—水蚀。

雨水极易沿黄土中的裂隙或孔隙下渗集于相对隔水层顶面附近形成含水层,对黄土产生溶蚀和侵蚀,并把可溶性盐类带走,胶结强度大幅度降低从而降低其抗剪强度,造成边坡变形和失稳致使下边掏空,当上边的土体失去顶托时,侧向临空面就易产生

滑坡、陷落,形成陷穴、边坡失稳等现象,严重威胁峽岬的稳定。

3 黄土峽岬拓宽结构选型

根据线路总体走向,要求线路尽可能避开黄土大型冲沟、高陡边坡、高陡峽岬、不稳定峽岬以及地质不良地段,确保管道的运行安全、节省投资和缩短工期。通过方案比较和论证,当管道不可避免地通过高陡黄土峽岬段时,应根据每处峽岬的地形地貌以及地质情况进行针对性的专项设计。西气东输管道经过需要处理的黄土峽岬有六十余处,根据峽岬的顶部宽度、峽岬的高度以及两侧边坡坡度以及边坡的稳定情况确定峽岬拓宽护坡结构形式,主要有以下两种:a)直立式加筋挡土墙;b)台阶式斜面护坡。

直立式加筋挡土墙形式拓宽峽岬,填土量较小,但由于填土过于集中,对地基的要求很高,基础一般需要使用桩基,否则变形难以满足要求,而桩基的施工场地及施工条件都有很大的困难。通过多次现场调研以及与业主、施工单位结合,进行了安全性、经济性、可实施性综合分析比较,最后确定对高陡峽岬拓宽处理采用台阶式斜面护坡形式。

4 黄土峽岬拓宽结构受力及变形分析

稳定的峽岬为目前一般的交通道路,长期经受碾压而使其土体性质得到改善,密实度增加,空隙率降低,劈裂性能与稳定性能较好,这是进行峽岬拓宽设计的基础。

实际高陡峽岬拓宽设计为分级处理。最上部两个台阶范围采用2:8灰土夯填,其下采用3:7灰土夯填,端头采用C15混凝土护脚。石灰土物理力学指标实验数据^[2],见表1。

4.1 典型峽岬拓宽水平推力分析

根据Rankine土压理论,稳定土体表面下 z 处的土体所受的主动土压力为:

$$\sigma_a = \gamma \cdot z \cdot \tan^2(45^\circ - \varphi/2) - 2c \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2) \quad (1)$$

令 $\sigma_a = 0$,以15:85灰土的指标为例,得:

$$\begin{aligned} z &= 2c \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2) / [\gamma \cdot \tan^2(45^\circ - \varphi/2)] \\ &= 2c / [\gamma \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)] \\ &= 15.824 \text{ m} \end{aligned}$$

表 1 石灰土物理力学指标

| 灰土配合比 | 含水量 $w_0/(\%)$ | 密度 $\rho_0/g \cdot cm^{-3}$ | 空隙率 $n/(\%)$ | 粘聚力 /kPa | 内摩擦角 $\varphi/(\circ)$ | 压缩模量 $E_{s1.0-2.0}/MPa$ |
|----------|-------------------|--------------------------------|-----------------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| 7:93 灰土 | 18.3 | 1.93 | 40.0 | 44 | 38 | 27.2 |
| 10:90 灰土 | 19.0 | 1.94 | 39.8 | 58 | 37 | 41.6 |
| 15:85 灰土 | 20.7 | 1.91 | 41.0 | 77 | 36 | 55.5 |

根据以上分析可得出灰土填方在上部 18 m 左右范围内对原有峽岷产生水平推力可以不计,形成整体后起到与原峽岷相互加强的作用。

4.2 典型峽岷拓宽沉降变形分析

高陡黄土峽岷拓宽处理,由于填土较厚,对天然地基将产生很大的自重压力,峽岷地表将产生一定的沉降。沉降变量主要由两部分组成:首先是天然地基在填土荷载作用下的变形;其次是填土在自重作用下的变形。天然地基变形量主要由填土厚度以

及天然地基的土力学性质决定;填土自重变形量主要由填土的压实系数、厚度、材料性质决定。

由于峽岷的地形十分复杂,大致成弧形漏斗状,在不同的区域,峽岷拓宽部分的填土厚度不一样。经过地形与受力特点分析,模拟一个直边圆弧区域的峽岷模型,再根据实际地形对圆弧区域进行受力区块的划分,竖向压力从峽岷中心到四周逐渐降低。按整块基础弹性地基梁法进行峽岷沉降计算分析,结果见图 3。

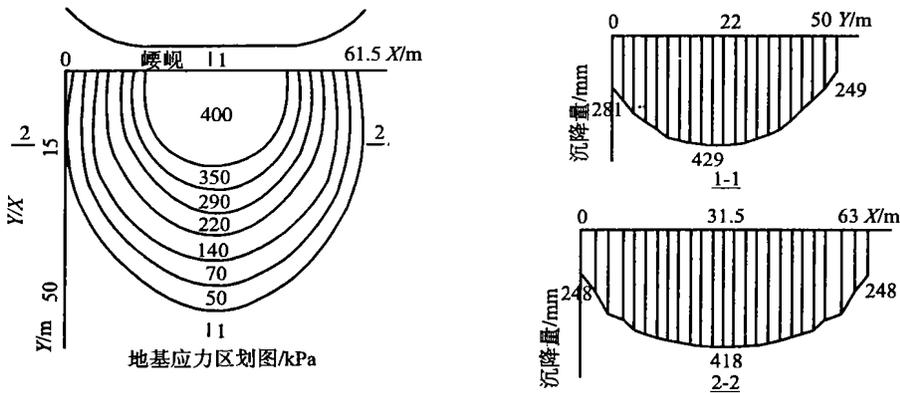


图 3 地基应力及变形

沉降计算的分析参数选择:原始的天然地基表层黄土(厚约 15~20 m)的压缩模量为 4~7 MPa,经压实后压缩模量取 7 MPa,下层黄土(厚约 30 m)的压缩模量为 13~20 MPa,经压实后其压缩模量按 15 MPa 考虑,压缩层深度按 50 m,填方最大厚度按 20 m,填土的重度按 20 kN/m³ 考虑,沉降计算经验系数取 1.0。峽岷拓宽部分的平均沉降量 S_1 为 347 mm,最大沉降量为 429 mm。

峽岷拓宽部分填土在自重作用下的变形计算。典型峽岷拓宽护坡自身变形计算模型,见图 4。

在侧向受限的条件下计算 \hat{q}_i 土层的变形,根据《建筑地基基础设计规范》,其变形公式为:

$$S_2 = \Psi_S S' = \Psi_S \sum P_0 (\hat{q}_i a_i - \hat{q}_{i-1} a_{i-1}) / E_{si} \quad (i = 1 \sim n)^{[4]} \quad (2)$$

令(2)式中 $h_{i-1} = 0$,可简化为:

$$\hat{q}_i = \Psi_S P_0 (\hat{q}_i a_i) / E_{si} \quad (3)$$

式中 \hat{q}_i ——该土层的最终变形量, mm;

Ψ_S ——沉降计算经验系数,这里取 0.2;

P_0 ——该土层顶部的附加压力, $P_0 = \gamma h$, γ 为灰土的重度, h 为该土层到填方表面的距离,这里 $h = 0 \sim 20$ m;

a_i ——该土层内的平均附加应力系数,由于 \hat{q}_i 为极小值,取 $a_i = 1.0$;

E_{si} ——灰土的压缩模量, MPa。

将以上参数代入(3)式,可得:

$$\hat{q}_i = (0.2 \gamma h / E_{si}) \hat{q}_i \quad (4)$$

将(4)式两侧积分,可得:

$$S_2 = 0.1 \gamma h^2 / E_{si} \quad (h = 0 \sim 20 \text{ m}) \quad (5)$$

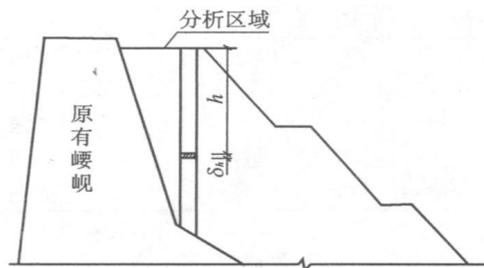


图4 峽峽拓宽护坡自身变形计算模型

将 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $E_{si} = 55.5 \text{ MPa}$ 为实验数据(施工中难以达到), 这里取 $E_{si} = 30 \text{ MPa}$, 代入(5)式, 可得:

$$S_2 = 27 \text{ mm}$$

取天然地基变形和峽峽填土变形的不利组合, 那么拓宽护坡的计算最大沉降量为:

$$S = S_1 + S_2 = 429 + 27 = 456 \text{ mm}$$

由于峽峽的填方量较大, 施工周期较长, 而且设计要求峽峽施工完成以后 2~3 个月才能敷设管道, 参考相关工程经验以及规范的取值, 估计在管道施工前的峽峽表面已经达到了 30% 计算沉降量, 最终实际沉降量为 $S_s = 0.7S = 319 \text{ mm}$ 。

该分析结果略大于实际量测的结果, 主要是由于施工过程中地基及填土已产生了部分变形, 该最终沉降变形量能够满足管道敷设的要求。

5 黄土峽峽的治理措施

根据管道通过黄土峽峽的具体特点, 进行针对性的专项设计, 特别是峽峽宽度及边坡稳定不能满足管道设计要求以及管道长期运行安全要求时, 就必须拓宽峽峽和进行边坡处理, 采取修建截排水沟、植被恢复等水土保持措施; 在设计、施工中还要考虑施工产生的弃渣的集中堆放和保护; 采用导流排水、填堵、深埋、阻水墙等适宜的工程施工措施, 确保管道安全通过, 减轻水土流失。

根据黄土的力学特性、黄土峽峽边坡稳定性以及地形地貌的特征, 在峽峽较为稳定一侧设置加筋灰土护坡进行拓宽, 让管道从灰土护坡拓宽部分穿越。灰土是一种在黄土中掺入一定体积比的石灰, 通过热反应、与土凝结使其性质得到改良的土, 在最优含水量控制下, 经过人工压实(或夯实)的 3:7 灰土, 当压实系数控制在 0.93 以上及干土重度不小于 $14.5 \sim 15.0 \text{ kN/m}^3$ 时, 其承载力可达 250 kPa ; 对于

2:8 灰土, 当压实系数控制在 0.93 以上及干土重度不小于 $14.8 \sim 15.5 \text{ kN/m}^3$ 时, 其承载力可达 220 kPa , 同时具有较高的抗冲刷能力。根据护坡的高度在护坡的底部或顶部位置敷设拉筋形成加筋土。由于拉筋自身具有很高的抗拉强度, 以及与灰土产生的摩擦力, 可以抵抗由填土自重和外力产生的侧压力, 从而使整个土工系统的力学性能得到改善, 保证输气管道敷设在加筋灰土护坡上的安全性。

5.1 设计措施

a) 根据该处峽峽地形地貌, 在施工前做好临时性截、排水措施, 防止发生原有沟头继续发育和大面积积水侵蚀黄土的事故。

b) 清除需处理一侧峽峽坡面的浮土及植被, 如发现有漏斗或塌陷, 应用 3:7 灰土回填夯实。然后在坡脚稳定部位砌筑混凝土基础, 并在此基础上分阶设置灰土护坡, 见图 5, 每阶护坡坡高应不大于 10 m , 灰土的夯实系数不应小于 0.95; 对于高度在 20 m 以上的峽峽护坡上、下部均采用加筋土以保证护坡稳定性。灰土护坡的两侧应嵌入原状土层不小于 0.5 m 。在雨季、冬季进行灰土夯填时, 应采取防雨、防冻措施, 防止灰土受雨水淋湿或冻结, 并应采取防止出现“橡皮”土。



图5 峽峽施工过程

c) 待护坡沉降相对稳定后(一般要 2~3 个月), 管道按设计标高通过峽峽护坡, 其管顶埋深不得小于 1.5 m , 外侧管壁边缘至峽峽边缘应大于 2.5 m 。

d) 在护坡坡面上砌筑门拱形浆砌石护面, 拱形内铺垫一层厚不小于 250 mm 的素土, 并在素土内播撒草籽使其尽快成活生长, 以利配合当地的绿色环保工程, 见图 6。

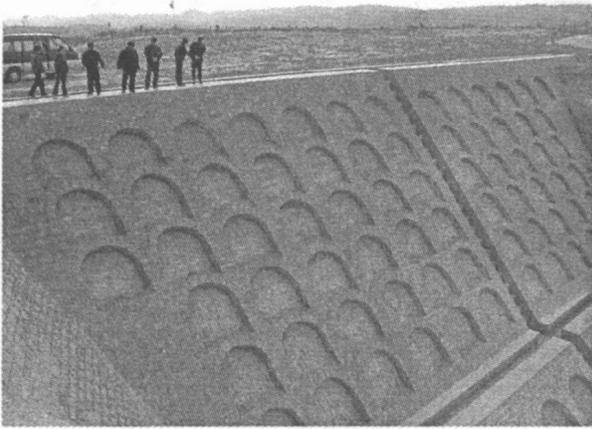


图 6 完工后峽岷护面

e) 峽岷两端高陡边坡每隔 50 m 左右, 均应根据地形修筑截、排水沟, 尽量将山体汇水排至远离峽岷 50 m 以外的沟底稳定位置。

f) 在峽岷其余空余位置设置鱼鳞坑或集水池, 以拦截地表汇水、让地表水就地下渗、防止形成汇流, 其位置及数量应根据实际地形、汇水面积和方向现场确定; 同时查清峽岷两端及冲沟内距沟头长度 100 m 内所有漏斗, 并用 3:7 灰土分层夯实, 防止管道附近灾害性地貌的继续发育。

5.2 施工技术要求

a) 施工前应对照设计文件对现场的地形地貌进行复勘。如若与原勘察资料不符, 应通知设计单位对原设计进行修改。

b) 应对峽岷顶部及附近地区的落水洞进行测量, 在边坡处理时一并考虑回填处理。

c) 施工组织设计中应考虑灰土拌和场地问题, 并在现场选择适宜的场地进行灰土拌和。

d) 灰土夯填可采用机械碾压、蛙式夯或柴油夯。但是靠近基底部位宜采用蛙式夯或人工夯, 以免对原状土层造成过多的扰动。

e) 坡面放阶应采取逆作法, 人工修阶, 以减少对原状土层的扰动。

f) 填土干密度应严格质量控制, 建议预留沉降量为堤高的 0.5%~0.9%。

g) 由于峽岷高度较高, 护坡变形较复杂, 管沟开

挖及管道敷设建议在峽岷护坡完工 3 个月后进行。

5.3 峽岷施工程序流程

峽岷施工程序流程, 见图 7。

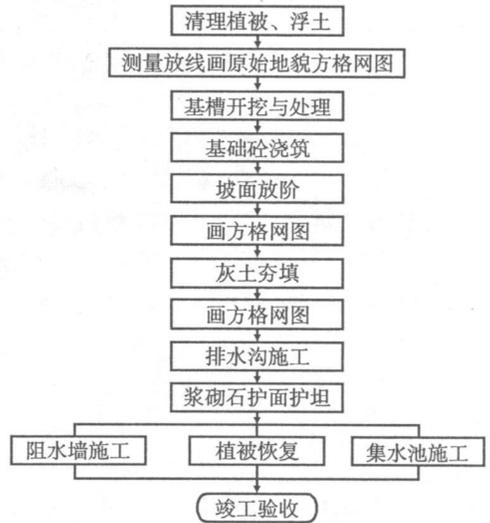


图 7 峽岷施工程序流程图

6 结论

西气东输黄土高陡峽岷的拓宽护坡设计与施工已经过几个雨季和暴雨的考验, 峽岷拓宽护坡的实际的沉降变形小于理论计算值, 边坡稳定, 植被也得到了的恢复, 满足环境保护及管道安全运行的要求。实践证明该设计方案是可行的。

今后我们还将对黄土峽岷拓宽护坡结构形式的优化、护坡土工格栅的应用、环保型土体、固化材料、植被恢复等方面继续进行研究, 以完善和提高黄土峽岷处理技术。

参考文献:

- [1] 中国地质学会冰川及第四纪地质专业委员会. 中国黄土及黄土区应用地质学术讨论会——论文摘要汇编 [Q]. 西安: 陕西省地质学会, 1984.
- [2] 李洪训, 闵军. 陕甘宁—北京输气管道工程黄土地区管道建设的岩土工程研究 [Z]. 成都: 中油岩土工程有限公司, 1995.
- [3] 华南理工大学, 东南大学, 浙江大学, 等. 地基及基础 (第三版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [4] GB 50007—2002. 建筑地基基础设计规范 [S].