

湿陷性黄土地区高填方大孔径钢波纹管涵洞受力分析

解卫江¹, 梁凯^{2,3}, 胡滨^{2,3}, 何强⁴

(1. 山西离隰高速公路有限公司, 山西 太原 030006; 2. 中交第一公路勘察设计院有限公司, 陕西 西安 710075;
3. 西安中交土木科技有限公司, 陕西 西安 710075; 4. 西安工业大学, 陕西 西安 710021)

摘要:依托试验工程,对湿陷性黄土地区高填方路基大孔径钢波纹管涵洞施工过程中的受力特征进行测试,得出不同角度管内壁应变及外壁径向土压力的变化规律。通过研究取得以下结论:波峰、波谷和波侧在填土初期出现拉、压应变交替变化,各角度应力重新分布,填土中期快速增长,后期增长缓慢。波峰、波谷和波侧最大应变值均出现在上半圆或下半圆的45°处,且波峰和波谷相同角度的应变值相反,具有互补性。轴向应变变化规律与切向相似,但整体略小,说明钢波纹管涵洞以切向受力为主、轴向受力为辅。管外壁径向土压力随填土高度的增长而增大,且初期快速增大,后期形成土拱效应趋于平缓。

关键词:湿陷性黄土地区;高填方路基;钢波纹管涵洞;受力分析

中图分类号: U449.8 **文献标志码:** A

湿陷性黄土特殊地质修筑混凝土涵洞时,常常由于地基的下沉引起混凝土涵洞产生裂缝等问题,进而产生不均匀沉降引起涵洞的破坏。而钢波纹管涵洞可解决以上问题,且方便运输,现场拼装工艺简单,后期养护方便,更能适应湿陷性黄土的土质特点,推广前景广阔。公路工程中修筑钢波纹管涵洞具有很多优势,很有必要开展相关研究,特别是高填方、大孔径结构受力方面的研究,以得到其内壁应变及外壁土压力的变化规律。

试点位。具体的布置位置如图1、2所示。

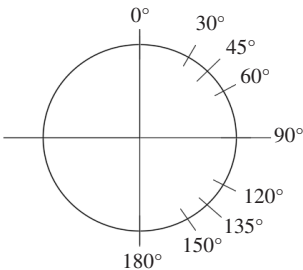


图1 应变片不同角度分布图

1 试验方案

针对山西湿陷性黄土地区的特点,在离隰高速公路上进行直径5 m,波距400 mm×波高150 mm,壁厚8 mm钢波纹管涵洞的应用。钢波纹管涵洞管周两侧采用分层对称填筑,管周1 m和管顶填筑1 m范围内采用小型夯机进行夯实,其他区域采用25 t压路机压实。钢波纹管涵洞长度为170.6 m,测试位置为涵洞长度的中间位置。路基高度为20.1 m。

1.1 管内应变布置方案

在路中位置,波峰、波谷和波侧沿管周切向进行应变片布置,角度按以下分布:0°、30°、45°、60°、90°、120°、135°、150°和180°,合计27个测试点位;同时沿管周轴向进行应变片布置,角度按以下分布:0°、45°、90°、135°和180°合计15个测试点位,切向和轴向合计42个测

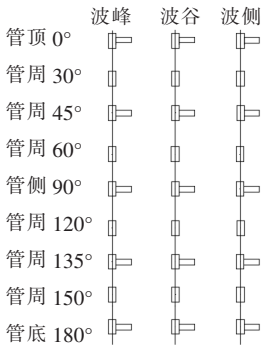


图2 应变片布置平面图

1.2 管外土压力盒布置方案

在路中位置钢波纹管外侧按照不同的角度分别贴着管壁埋设压力盒,角度按以下分布:0°、30°、45°、60°、90°、120°、135°、150°和180°共计9个测点。

1.3 测试工况

钢波纹管涵洞管顶按照设计要求的一定厚度进行填筑,通过压实并验收通过后,方可进行应变及土压力的采集,每次采集5组数据,取平均值。应变与土压力的测试工况一致(表1)。

表1 测试工况统计			
工况	填土高度/m	工况	填土高度/m
1	管顶+0.5	6	管顶+7.2
2	管顶+1.0	7	管顶+10.1
3	管顶+2.2	8	管顶+13.0
4	管顶+3.4	9	管顶+16.2
5	管顶+4.1	10	管顶+20.1(路基顶部)

注:填土土质:管顶以上素土;测试时间为填土压实后。

2 钢波纹管涵洞测试结果及分析

2.1 管内切向应变测试结果及分析

(1) 波峰切向应变随管顶填土高度增长的测试结果如图3所示。

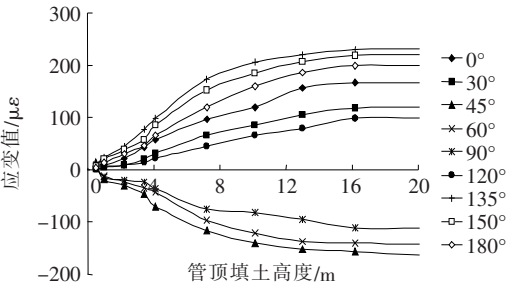


图3 波峰切向应变随填土高度增长分布规律

由图3可知:① 总体上,管侧90°、管周60°和45°为压应变,大小关系为:管周45°>管周60°>管顶90°;而拉应变的大小关系为:管周135°>管周150°>管底180°>管顶0°>管周30°>管周120°;② 不同角度应变值增长率先增大后减小,其中管周135°为最大拉应变,而最大压应变出现在管周45°;③ 填土2.2~13.0 m过程中,各角度应变值突然增大,这是由于管顶1 m范围的黄土碾压不充分(为避免破坏钢波纹管,未采用大型机械进行压实),填至管顶上2.2 m时,对管顶黄土进行了充分碾压,应变值增长幅度较大;管顶填土16.2~20.1 m时,各角度应变值几乎不变,这是由于土体与钢波纹管之间产生了土拱效应,减小了钢波纹管内壁受力。

(2) 波谷切向应变随管顶填土高度增长测试结果如图4所示。

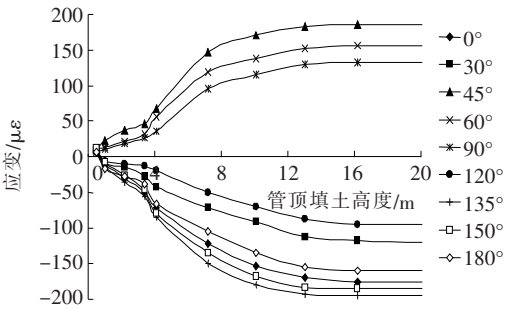


图4 波谷切向应变随填土高度增长分布规律

由图4可得出:① 管顶填土2.2~13.0 m,应变增长幅度最大,这是由于管顶1 m范围的黄土碾压不充分,后期充分碾压形成的应变值增长较大;而当填筑16.2~20.1 m过程中,由于形成土拱效应,应变值几乎不变;② 与波峰规律相反,波谷在管周45°拉应变最大,而管周135°压应变最大。

(3) 波侧切向应变随管顶填土高度增长测试结果如图5所示。

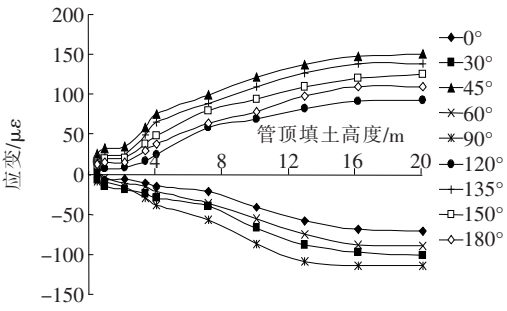


图5 波侧切向应变随填土高度增长分布规律

由图5得出:① 波侧的应变变化规律与波峰和波谷相似,前期波动增长,中期(管顶填土2.2~13.0 m)快速增长,后期(管顶填土16.2~20.1 m)趋于稳定;② 总体来看,波侧作为波峰和波谷过渡区,主要为力的传递作用,受力较小。

(4) 对比图3~5,可以看出:① 管顶填筑黄土较薄时(即2.2 m以内),部分位置应变值出现拉、压交替变化的情形,这可能是小型夯机在施工过程中对钢波纹管有一定的影响,钢波纹管各角度应力出现重新分布的情况;② 总体上,管顶填土不断增加时,应变均逐渐增大。对比波峰和波谷可以看出,相同测点的应变性质刚好不同,具有互补性;③ 综合对比波峰、波谷和波侧的应变值,得出波峰的管周135°为最大拉应变,其值为232 με,波谷的管周135°为最大压应变,其值为-195 με,均小于钢材允许值,结构安全稳定。

(5) 随着测试位置的变化,波峰切向应变结果如图 6 所示。

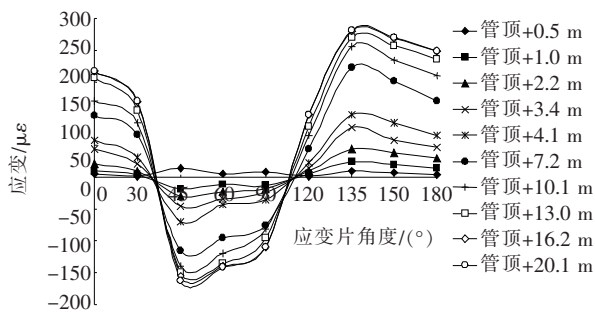


图 6 波峰切向应变随角度变化分布规律

对图 6 分析得出:① 应变可分为 3 个部分:第一部分,钢波纹管 0°位置在整个填土过程为拉应变,30°逐渐变小;第二部分,管周 45°→60°→90°为压应变逐渐减小;第三部分,管周 120°→135°→180°再次变成拉应变;② 45°和 135°应变值变化较大,表现为力的集中,现场填筑时采取必要的观测;③ 沿着管顶 0°→管底 180°的不同角度的变化,应变值也在不断变化,总体上为拉应变→压应变→拉应变的变化过程。

(6) 波谷随着测试位置的变化,波谷切向应变结果见图 7。

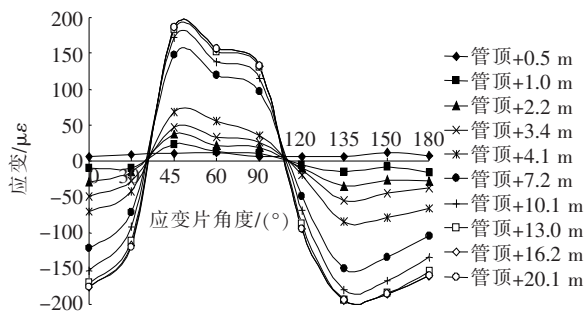


图 7 波谷切向应变随角度变化分布规律

由图 7 可得:波谷应变值在管顶 0°→管底 180°的范围,出现压应变→拉应变→压应变交替变化的现象。

(7) 随着测试位置变化波侧切向应变结果见图 8。

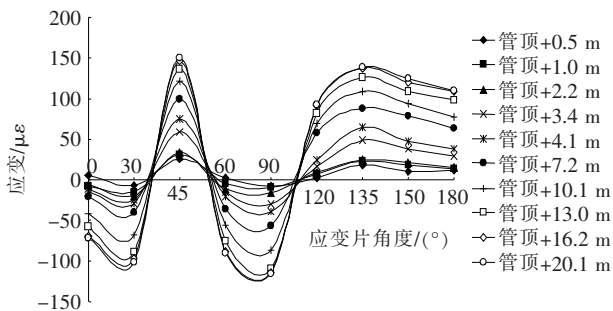


图 8 波侧切向应变随角度变化分布规律

由图 8 可得出:① 管周 45°、管周 120°→180°均为拉应变,且 120°→180°变化过程为先逐渐变大至 135°为最大值,后逐渐随着测试位置变化而减小。管顶 0°→30°、管周 60°→90°均为拉应变,且都有增大的趋势;② 波侧在管周 45°、135°和管侧 90°出现应力集中。但同一角度的应变与波峰、波谷相比,数值上比较小。

(8) 对比图 6~8 可得出:① 从整个测试角度来看,相同角度波峰和波谷的应变变化规律恰好相反,并且具有一定的周期性和互补性;② 波峰、波谷和波侧在管周 45°和 135°位置均出现了应力集中,应进行重点观测。

2.2 管内轴向应变变化规律分析

波峰、波谷、波侧轴向应变随填土高度增长的变化规律见图 9。

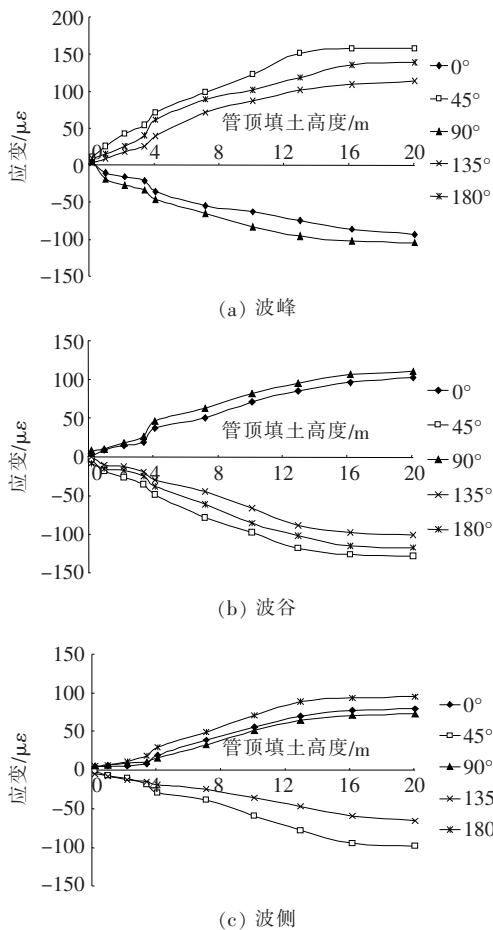


图 9 轴向应变随填土高度增长分布规律

由图 9 可得出以下规律:

(1) 管顶填土初期,即小于 4.1 m,波峰、波谷和波侧的轴向应变变化曲线相似,管周不同角度拉、压应变交替且增幅较小;当管顶填土 4.1~13.0 m 过程中,应变值开始快速增加,这是由于管顶黄土在管顶 1

m范围碾压不充分,后充分碾压,应变值增长幅度较大;管顶填土16.2~20.1 m,应变值开始缓慢增加并趋于平稳,此时形成土拱效应。

(2) 波谷和波峰同一角度应变值相反,具有一定互补性。

(3) 轴向应变变化规律与切向相似,但整体略小,说明钢波纹管涵洞以切向受力为主、轴向受力为辅。

2.3 管外径向土压力测试结果及分析

(1) 管外径向土压力随填土高度变化的测试结果见图10。

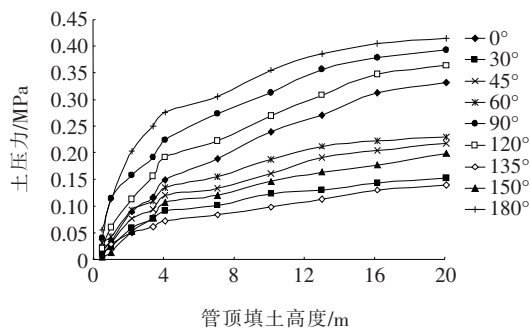


图10 管外径向土压力随填土高度的变化规律

由图10可以得出:① 施工过程中,各角度径向土压力值随填土高度的增加而逐渐增大,且增长率先大后小;② 填土初期(管顶填土4.1 m以内),各角度径向土压力值迅速增加,增长率最大,大小关系为:管底180°>管侧90°>管周120°>管顶0°>管周60°>管周45°>管周150°>管周30°。填土至4.1~13.0 m,管外各角度径向土压力值出现快速增大;填土后期(管顶填土16.2~20.1 m)各角度径向土压力值趋于稳定,此时形成土拱效应;③ 各个测点的径向土压力值均以抛物线的形式增长。填筑至管顶上4.1 m时应进行观测,防止钢波纹管产生较大变形。

(2) 管外径向土压力随测试位置变化的测试结果见图11。

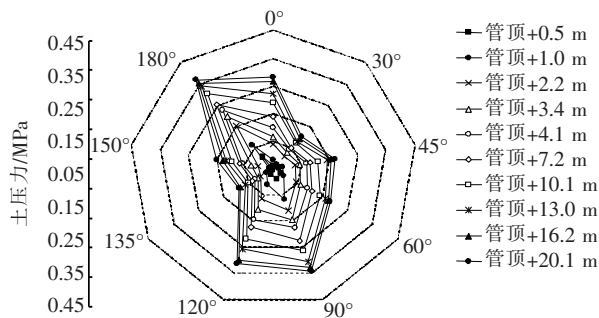


图11 管外径向土压力随测试位置的变化规律

由图11可以得出:① 不同角度径向土压力随填

土高度增长幅度不同,最大土压力值在管底180°位置,最小土压力值在管周135°位置;② 从整个圆周角度来看,管外各角度径向土压力从管顶0°→管底180°的变化趋势为:减小→迅速增大→急剧减小→增大。

3 设计计算与测试结果对比分析

(1) 采用极限状态法对直径5 m、波形400 mm×150 mm、壁厚8 mm的钢波纹管涵洞进行计算,最大填土高度约为15 m。

(2) 钢波纹管涵洞现场实际填土达到20.1 m,并没有较大的变形,现场应用安全稳定。这主要由于钢波纹管涵洞与土体形成了土拱效应,抵消了一部分受力。因此在高填方路基钢波纹管涵洞设计时,可适当考虑土拱效应对填土高度的影响。

(3) 对于高填方路基,钢波纹管涵洞与周围土体形成土拱效应的关键在于施工时应控制好钢波纹管管周土体的压实度,管周两侧应对称均匀碾压,确保填筑质量。

4 结论

(1) 钢波纹管涵洞内壁波峰、波谷和波侧的切向应变,初期各角度应力重新分布,填土中期快速增长,后期增长缓慢。波峰和波谷变化规律正好相反,具有互补性,且随角度变化具有一定的周期性规律。管周45°和135°位置均出现了应力集中,应进行重点观测。

(2) 钢波纹管涵洞内壁波峰、波谷和波侧的轴向应变,变化趋势与切向相似,但整体值比切向略小。说明钢波纹管涵洞主要为切向受力,轴向受力为辅,共同受力有利于结构整体稳定。

(3) 钢波纹管涵洞径向土压力初期增长较快,增幅较大,但填土后期形成土拱效应,土压力值几乎不变。从整个圆周角度来看,存在减小→迅速增大→急剧减小→增大的变化过程。

(4) 钢波纹管涵洞可解决湿陷性黄土特殊地质修筑混凝土涵洞时,地基下沉引起混凝土涵洞产生裂缝等问题,且具有造价低、施工速度快、环保等优势,推广应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 李祝龙,刘百来. 钢波纹管涵洞力学性能现场试验研究[J]. 公路交通科技,2006,23(3):79-82.