

上埋式柔性过水涵管的施工可行性

郑娟¹, 刘保健¹, 刘春锋², 马伟思¹

(1. 长安大学公路学院, 西安 710064; 2. 江西交通职业技术学院, 南昌 330013)

摘要: 柔性管应用到上埋式过水涵管会遇到很多问题, 对症下药才能使其应用成为可能。从柔性管工作机理入手, 提出了“开槽法”的施工措施。首先对施工措施的理论根据进行解读, 然后通过对 HDPE 缠绕增强管按此工艺进行现场试验来检验该措施的可行性。从滑线电阻位移传感器测得的变形值及光纤光栅测得的应变数据表明, 采用“开槽法”施工后, 管变形及应变均极小, 无弹性失稳现象, 从而证明采用“开槽法”进行施工充分发挥了周围土体的作用, 可将柔性管成功地用于上埋式过水涵洞。

关键词: 柔性管; 开槽法; HDPE 缠绕增强管; 弹性失稳; 上埋式过水涵洞

中图分类号: U449.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)03-0585-04

Construction feasibility of flexible pipe for buried discharge culverts

ZHENG Juan¹, LIU Baojian¹, LIU Chunfeng², MA Weisi¹

(1. Highway Institute, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Jiangxi Traffic Career Technical College, Nanchang 330013, China)

Abstract: Application of the flexible pipe to the buried embankment culvert encounters many problems, and determination of the appropriate method can make it work. In this paper, the working mechanism of flexible pipe was introduced, and the construction measure of "Grooving method" was proposed. The rationale of the construction measure was explained, and then the feasibility of the measure was verified through the field tests for HDPE winding reinforcement pipe. Based on the deformation values measured by the slide resistance displacement sensor and the strain data measured by the fiber grating, the deformation and strain of the pipe are minimal and the pipe has no elastic instability after the construction with "Grooving method", which indicated that "Grooving method" can develop the ability of surrounding soil and therefore the flexible pipe can be used for buried discharge culvert using this method.

Key words: flexible pipe; Grooving method; HDPE winding reinforcement pipe; slide resistance displacement sensor; elastic instability; buried discharge culvert

1 概述

涵洞是公路重要的组成部分之一, 有沟埋式和上埋式、柔性管和刚性管之分。公路路堤的涵洞在理论与实践上属于上埋式涵洞。上埋式涵洞的特点是施工期间涵洞结构承受的侧向土压力很大, 运营期间承受的涵顶竖向土压力高, 且一般都大于上覆土重, 因此涵管一般都采用承压较高且变形较小的刚性结构。但正是由于刚性涵管结构变形小的优点, 也产生了它的缺点, 就是适应地基不均匀沉降变形的能力差, 常因为地基的不均匀沉降变形造成涵管的横向开裂结构破坏。另外, 上埋式刚性涵管一般都是现场制作, 质量不易保证, 施工期长, 造价有的过高。而柔性管为工业产品, 批

量生产, 质量可保证, 价格便宜, 易于施工, 适应地基不均匀沉降变形能力强, 若能用于上埋式涵洞, 则相对于刚性管具有一定的优势。

目前, 工程上使用较多的柔性管多为钢波纹管和各种高密度聚乙烯管。对于波纹管, 研究重点多放在截面参数对于管涵刚柔性的影响^[1-2]; 而高密度聚乙烯管则多用于地下排污, 并未充分发挥其优势所在, 且两者普遍采用的施工方法均为沟埋式。而本文探讨如何采用适当的措施将柔性管用于上埋式涵洞, 充分发挥了其自身优势, 拓宽了其使用范围, 具有理论与实际上的研究意义。而理性分析、措施探讨、实验验证应为研究工作较好的途径。本文正是从这三个方面入手, 首先对柔性管工作机理进行理性分析, 然后探讨其

用于上埋式堤坝过水涵洞的可行性措施,最后通过现场试验进行验证。

2 柔性管工作机理理性分析

柔性管包括钢波纹管,各式塑料及合成材料管等,与刚性管相比有自身的优点,如质量可靠、价格便宜、适应地基不均匀变形能力强等。但是不得不承认,要将柔性管成功地用于上埋式涵洞还将面临很多亟待解决的问题。

首先要解决上埋式涵洞施工期巨大的侧向土压力问题。在上埋式涵管侧向土体进行压实施工时,涵管所受的侧向土压力非常大,例如拱涵一米多厚的边墙,在此压力下也常常会发生侧向位移。而柔性涵管之所以称为柔性是因为相对于刚性管而言,其刚度较小,容易在压力作用下产生较大的变形。若按照刚性管一样的施工方法进行施工,则很可能在施工期间涵管就产生工程不允许的过大变形而发生失稳破坏。

其次解决柔性涵管变形大、承载小的问题。随着科技的进步,柔性涵管的材料日益完善,但其变形量相对刚性管仍然较大。如近期较新型的 HDPE 缠绕增强管,其环形刚度(3%管径变形时)为 20 kN/m²,则按此值上部填土方 1 m,管的直径(内径 2 m)就变化 6 cm。虽然如此大的变形材料并没有破坏,但是此变形值在设计中是不允许出现的,会严重影响道路及堤坝路面的正常使用。柔性管与刚性管的受力性能是完全不同的,若不考虑涵土共同工作的实质,而将柔性涵管脱离出来按结构法分析是错误的。国外已经有钢波纹管的填方高度达几十米的例子存在,说明可以采用分荷的方法,充分发挥管与土作为一个系统来承载,或者不计涵管结构的受力,而仅把涵管结构作为一种洞室保护层来考虑。

3 柔性管用于上埋式过水涵管的可行性措施

3.1 柔性管用于上埋式过水涵管的措施提出

根据上述分析的柔性管工作机理,也为了将柔性涵管成功地用于上埋式涵洞,提出“开槽法”的施工工艺。

首先在涵管两侧至少 50 cm 的范围内进行填方施工,直至填土到涵管顶高程以上约 50 cm 处。该填方以重型击实试验的压实度 K 为控制标准。除此之外的路堤其他部位按规范正常设计标准进行填方施工。然后在拟放置涵管部位开垂直槽,槽底铺设约 20 cm 厚砂料,用于找平槽底。放置涵管入槽后,槽内分层填入干砂土,用砵振捣棒振实。槽顶砂土用平板打夯机整平并密实。之后,土槽顶部高程以上的路堤填方施工,仍按常规的标准与规程进行。

3.2 柔性管用于上埋式过水涵管的措施解读

经过重型标准压实的土体,可充分利用压实后土体再开挖能够自稳的性质来埋设柔性涵管,这样就可减少涵管结构的受力,甚至不计涵管结构的受力,而仅把涵管结构作为一种洞室保护层考虑。“开槽法”的施工工艺避免了在放置好的涵管侧面进行土体的压实,使得柔性管不会因为在施工期周围巨大土压力作用下产生变形过大而结构失稳。同时,经过重型压实后的土体刚度很大,可分担上部传递下来的大部分荷载,起到分荷作用。而中间刚度较小的柔性管反而承担较少荷载,从而减弱其变形。此原理可用下图进行说明。图

1 为涵管与两侧填土相对刚度及分担的垂直荷载的关系示意图,其中间的弹簧表示涵管,两侧的弹簧表示管侧的填土。刚度越大,承担的上部荷载越多。

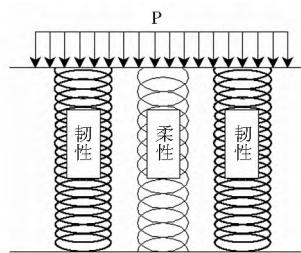


图 1 涵洞及两侧填土相对刚度及分担的垂直荷载示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the relative stiffness and vertical load of culverts and embankment

该填方实施过程中应尽量避免在涵管范围内填入块石,并填至涵管顶高程以上约 50 cm 处,以此措施来避免应力集中。

根据 Timoshenko S.^[3]提出的径向顶力作用下薄圆环中的应力分布公式(式 1)可以计算径向力作用下管内外壁周向应力与径向力的关系。

$$\sigma_{\theta}(\theta) = \pm \frac{3}{4} \cdot \frac{F}{W\delta^2} \times R_a (\cos\theta - \frac{2}{\pi}) \quad (1)$$

式中: $\sigma_{\theta}(\theta)$ 为内外壁周向应力, θ 为 F 作用线与水平方向的夹角; W 为管宽度; δ 为半壁厚; R_a 为中径; F 为径向顶力($\theta = \frac{\pi}{2}$)。可见,周向应力 $\sigma_{\theta}(\theta)$ 与径向顶力 F 成正比关系。

将后续现场试验所用管体参数代入上式,得出 $\sigma_{\theta}(\theta) \approx \pm 107F$ 。显然,施工中出现集中应力对于涵管受力而言是非常危险的。

“开槽法”中关键的一步是在涵管入槽后,在槽内回填干砂土,并振密。此步利用了砂土协调变形的作用,将受到的应力均匀传至周围介质中,避免了应力集中,使圆形涵管可均匀受力,则其变形很小,且不易失稳。可用图 2 所示的理想等幅约束管涵受力与变形关系来理解。

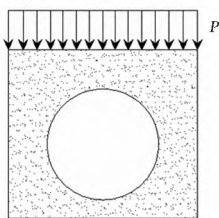


图 2 周围等幅约束的管涵受力与变形

Fig. 2 The force and deformation of pipe culvert with uniform amplitude constraint

同时,管侧回填的砂土对涵管的约束如同侧支撑的作用。回填砂土越松散,侧支撑越弱,在垂直填土荷载的作用下,管涵的侧向越容易变形,承受的竖向填土荷载就越小,涵管结构就越容易因变形过大而失稳。因此,回填砂土必须分层且干燥,这样能在振动荷载的作用下密实。密实后的砂土必将提供足够的约束,约束越大,管变形量越小。此时柔性管与管侧填土共同抵抗绕曲变形,体现了涵土共同工作的实质。

可见,该方法实际上是将上埋式涵管采用“沟埋式施工法”,为检验该措施的可行性,对一种典型的柔性管 HDPE

缠绕增强管按上述工法进行现场试验, 以下是其试验结果及分析。

4 试验测试结果及分析

HDPE 缠绕增强管的原材料为高分子成分的聚乙烯组成, 试验所用的管内径为 2 m, 总长 8 m。为了尽量保证 8 m 全段都承受相同的上覆土压力, 则在涵管两头(外)用工程措施进行了封堵。

本试验工程对一个管节长中心横断面进行了变形和应变检测。其中变形检测采用滑线电阻位移传感器, 应变检测采用目前最为先进的光纤光栅测试技术。

通过滑线电阻位移传感器测得各关键点的变形与填土的关系, 考虑篇幅, 选取其中两点的关系图见图 3、图 4。

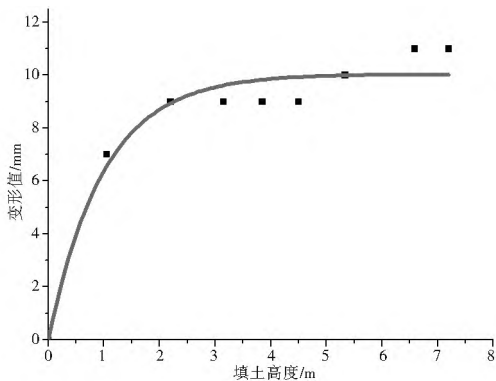


图 3 管水平变形与填土高度的关系

Fig. 3 Relationship between the horizontal deformation of pipe and filling height

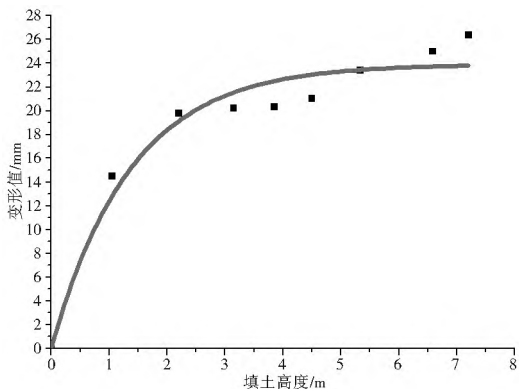


图 4 管竖向变形与填土高度的关系

Fig. 4 Relationship between the vertical deformation of pipe and filling height

从图中不难看出, 断面各测试点变形随填土高度的变化规律大致相同。在填土达到 2 m 之前, 由于管侧填土少量沉降使得涵管需承受部分填土压力而产生较大变形。2 m 之后, 管侧填土变形基本完成, 后续填土产生的变形量较小, 且最后趋向一临界值。

各测点中, 中心断面管顶竖向变形量是最大的, 填土 8 m 时达到了 26 mm。但这个最大变形量也远小于该涵管的设计环形刚度 20 kN/m² (相当于填土 1 m, 允许管径 3% 的变形, 在本试验中即 6 cm)。变形如此之小, 主要是由于采用了先填后挖的埋设技术, 确保了管周约束。

应变检测采用了光栅解调仪记录光栅波长的变化, 得到相应应变与填土高度的关系, 绘制成图, 见图 5、图 6。

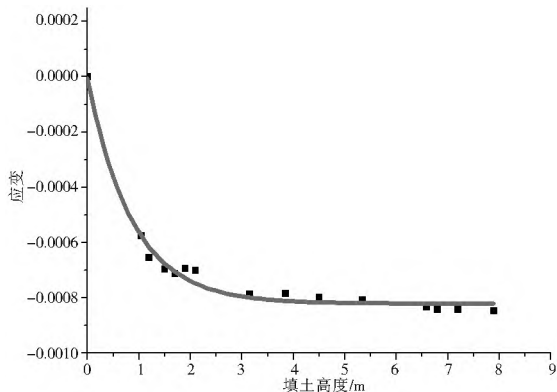


图 5 截面顶点处应变与填土高度关系

Fig. 5 Relationship between the strain and filling height in the vertex of the section

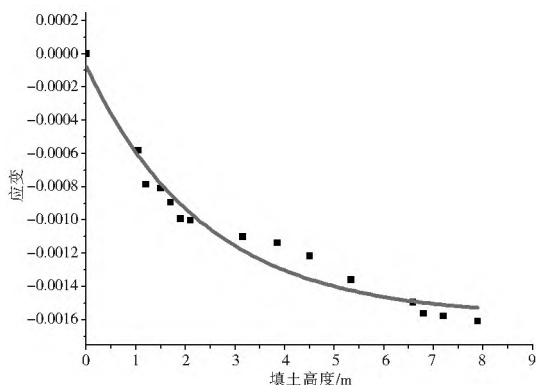


图 6 截面水平节点处应变与填土高度关系

Fig. 6 Relationship between the strain and filling height in the horizontal node of the section

从图中可以看出, 应变与填土高度之间在各点处的规律基本一致。随填土高度增加应变增加值越来越小, 最终趋于一临界值。本试验中填土高度为 8 m, 根据上述趋势, 若继续填方也能满足要求。

5 结论

(1) 柔性管涵用于上埋式过水涵洞的技术关键在于涵管侧向有足够的约束。约束越大越均匀, 侧向变形越小, 承受上部压力越大, 越不容易失稳。

(2) 文中所提的开槽法充分发挥了土的作用, 将柔性涵管只用于支护, 不用于结构受力。试验数据证明开槽法可满足柔性管用于上埋式过水涵洞。

(3) 文中采用的施工工艺能满足变形最小要求, 数据证明填土 8 m 产生的最大变形值远小于管材料本身环形刚度的要求; 光纤光栅测出的应变值很小, 也在经验范畴以内。

参考文献(References):

[1] 王全录, 刘保东, 李雨株, 等. 埋置波纹钢板管涵刚度对其受力性能的影响[J]. 北京交通大学学报, 2012, 36(4): F 4. (WANG Quar lu, LIU Bao dong, LI Yu zhu, et al. Rigidity of buried corrugated steel pipe culvert and its influence to mechanical behaviors[J]. Journal of Beijing Jiao tong University, 2012, 36

- (4): 1-4. (in Chinese))
- [2] 张淼鑫. 考虑结构刚柔性的埋置式波纹管涵力学性能研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011. (ZHANG Miaoxin. Structural Mechanics performance of buried corrugated steel pipe culverts considering rigidity and flexibility [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011. (in Chinese))
- [3] Timoshenko S. On the distribution of stress in a circular ring compressed by two forces along a diameter [J]. Phil. Mag., 1922, 44: 126-133.
- [4] 刘保健, 谢永利, 程海涛. 涵管的作用荷载于影响因素分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011. (LIU Baojian, XIE Yongli, CHEN Haitao. Analysis of loads on culvert and influencing factors [M]. Beijing: Tsinghua University press, 2011. (in Chinese))
- [5] 王倩, 张小洁. 圆管涵洞设计施工中的问题 [J]. 华东公路, 1999 (6): 39-41. (WANG Qian, ZHANG Xiaojie. The problems in the design and construction for circular culvert [J]. East China highway, 1999(6): 39-41. (in Chinese))
- [6] 林选清. 高填土下结构物的竖向土压力及结构设计计算方法 [J]. 岩土工程学报, 1989, 22(4): 27-37. (LIN Xuanqing. The calculation method of vertical soil pressure and structure design of structures under high embankment [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1989, 22(4): 27-37. (in Chinese))
- [7] 顾安全. 上埋式管道及洞室垂直土压力的研究 [J]. 岩土工程学报, 1981, 3(1): 3-15. (GU Anquan. Investigation of the vertical earth pressure on projecting conduit and underground chamber under a high embankment [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1981, 3(1): 3-15. (in Chinese))
- [8] 魏红卫, 张起森. 考虑位移协调的上埋式圆管涵设计方法 [J]. 岩土工程学报, 2003, 25(6): 737-741. (WEI Hongwei, ZHANG Qisen. Design method for buried circular tube consideration of displacement compatibility [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25(6): 737-741. (in Chinese))
- [9] 折学森. 埋置式管道垂直土压力的计算 [J]. 西北建筑工程学院学报, 1993(1): 28-34. (SHE Xuesen. Calculation of vertical earth pressure on conduit hidden by filling with soil [J]. Journal of Northwest Institute of Architectural Engineering, 1993(1): 28-34. (in Chinese))
- [10] JTJ 041-2000, 公路桥涵施工技术规范 [S]. (JTJ 041-2000, Technical Specifications for Construction of Highway Bridges and Culverts [S]. (in Chinese))
- [11] JTG D60-2004, 公路桥涵设计通用规范 [S]. (JTG D60-2004, General specifications for design of highway bridges and culverts [S]. (in Chinese))
- [12] 李祝龙. 公路波纹管涵洞设计与施工技术研究 [D]. 西安: 长安大学, 2005. (LI Zhulong. Study on the design and construction of highway corrugated pipe culvert [D]. Xi'an: Chang'an University, 2005. (in Chinese))
- [13] 谢永利, 刘保健, 杨晓华. 公路涵洞工程 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2009. (XIE Yongli, LIU Baojian, YANG Xiaohua. Highway Culvert Engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2009. (in Chinese))
- [14] 魏红卫, 邹银生, 谢献忠. 公路涵管结构设计方法研究 [J]. 公路交通科技, 2005, 22(10): 79-84. (WEI Hongwei, ZOU Yirsheng, XIE Xiannong. Investigation on structural design methods of the buried conduit in highway [J]. Highway traffic science and technology, 2005, 22(10): 79-84. (in Chinese))
- [15] 魏红卫. 埋入式圆形涵管的力学分析及裂缝控制研究 [D]. 长沙: 长沙交通学院, 2001. (WEI Hongwei. Stress analysis and crack control study of buried circular tube [D]. Changsha: Changsha Institute of traffic, 2001. (in Chinese))
- [16] 顾安全. 上埋式管道垂直土压力的研究 [D]. 西安: 陕西工业大学, 1963. (GU Anquan. Research on vertical soil pressure for buried tube [D]. Xi'an: Shaanxi Industrial University, 1963. (in Chinese))

《南水北调与水利科技》优先数字出版声明

为即时确认作者科研成果、彰显论文传播利用价值,从 2011 年起,将《南水北调与水利科技》印刷版期刊出版的定稿论文在“中国知网”(http://www.cnki.net)以数字出版方式提前出版(优先数字出版)。欢迎读者在中国知网“中国学术期刊网络出版总库”检索、引用本刊作者最新研究成果。

《南水北调与水利科技》编辑部