

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.04.053

# 内衬高密度聚乙烯钢筋混凝土管的应用研究

黄金明<sup>1</sup>, 周质炎<sup>2</sup>, 李修富<sup>1</sup>, 张威<sup>2</sup>, 高武<sup>2</sup>

[1.上海市城市排水有限公司, 上海市 200233; 2.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘要:** 高密度聚乙烯(简称“HDPE”)内衬通过锚固键机械式嵌入钢筋混凝土管内壁, 以达到增强钢筋混凝土防腐性能的目的。为了验证内衬 HDPE 钢筋混凝土管在实际工程中的应用性能, 开展了相关试验和应用分析。通过对 HDPE 内衬材料化学性能和物理性能的检测并结合相关标准, 提出 HDPE 材料的指标要求。通过内衬 HDPE 抗拔试验研究锚固键锚固性能, 通过抗外水压试验研究外水压对 HDPE 内衬的影响, 通过三点支承法外压荷载试验研究 HDPE 内衬对混凝土管的外荷载性能的影响。试验结果表明, HDPE 内衬与混凝土具有很好的锚固性能和泄水性能, 可以满足排水管道工程应用的需求。

**关键词:** 内衬 HDPE 钢筋混凝土管; HDPE 板材; 试验研究

**中图分类号:** TU528

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)04-0195-03

## 0 引言

污水是一种成分复杂且多变的腐蚀介质, 在此环境条件下, 钢筋混凝土管道内壁极易被腐蚀<sup>[1-3]</sup>。根据已建管道工程的检测结果, 管道结构都有不同程度的腐蚀, 并且大口径污水管道维修耗资巨大, 对社会环境影响极为不利。因此, 管道内壁有必要采取有效的防腐措施, 减少污水和腐蚀气体对管道的腐蚀, 确保管道安全服役。

排水管道工程中采用内衬的形式已逐渐成为管道防腐的一种新型解决方案<sup>[4-6]</sup>。内衬防腐板材具有耐酸、耐碱、经久耐用的优良特性, 而且本身是微软材质, 富有弹性、韧性, 与钢筋混凝土材料相协调。

内衬高密度聚乙烯(以下简称“HDPE”)钢筋混凝土管作为一种新型管材, 是以钢筋混凝土管为基体, 成型过程中在管内壁嵌入 HDPE 板材衬里的管子。其中, HDPE 板材是以聚乙烯为原料挤出成型, 一面是光滑平面, 另一面是梅花型布置的“V”字形锚固键的 HDPE 板材, 见图 1。但以往研究缺乏对内衬 HDPE 钢筋混凝土管应用于实际工程的研究且暂无相关工程标准参考。为给内衬 HDPE 钢筋混凝土复合管的应用提供技术支持, 本文进行 HDPE 内衬材料的检测、复合管性能试验的相关研究。

## 1 HDPE 内衬材料检测

HDPE 内衬材料检测选取了 3 个厂家的 HDPE

收稿日期: 2021-06-22

作者简介: 黄金明(1964—), 男, 本科, 教授级高级工程师, 从事市政基础设施项目建设和运行工作。

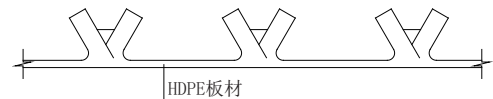


图 1 HDPE 板材断面示意图

材料进行检测, 分别为 A 材料、B 材料、C 材料。HDPE 内衬采用锚固键机械式嵌入混凝土管内壁的工艺, 与浇筑的混凝土共同成型后, 经过和混凝土共同蒸养的步骤, 所以本次试验也检测了每种材料未蒸养和经蒸养(100℃; 12 h)后的性能。

检测项目包括耐化学试剂性能试验、密度测定试验、断裂拉伸强度及拉伸伸长率测定试验、弯曲弹性模量测定试验、硬度(邵氏硬度)测定试验、吸水率测定试验、氧化诱导时间测定试验、热空气老化试验、耐碱性测定试验、燃烧性能等级测定试验、气体通过性试验和滚动磨损试验。

分析检测结果显示, 蒸养过程对材料化学性能和物理性能指标影响不明显。根据本次检测结果并结合现有 HDPE 相关材料标准, 提出 HDPE 内衬材料的耐化学试剂性能和物理性能指标要求, 分别见表 1、表 2。

表 1 HDPE 板材耐化学试剂性能指标

各种浓度化学溶液	重量变化率	实验方法
20%硫酸	≤0.12%	
5%氢氧化钠	≤0.20%	
5%氨水	≤0.40%	
1%硝酸	≤0.20%	GB/T 11547—2008
1%氯化铁	≤0.60%	(7 d, 20℃)
5%氯化钠	≤0.15%	
1%次氯酸钠	≤0.20%	
2%肥皂液和洗涤剂	≤0.40%	

表2 HDPE 板材物理性能指标

物理性能指标	参考指标值	实验方法	
密度 /( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	$\geq 0.95$	GB/T 1033.1	
断裂拉伸强度 /MPa	$\geq 16$	GB/T 528	
拉断伸长率 /%	$\geq 500$	GB/T 528	
弯曲弹性模量 /MPa	$\geq 600$	GB/T 9341	
硬度(邵氏硬度)/(°)	$\geq 50$	GB/T 531.1	
吸水率(24 h)/%	$\leq 0.10$	GB/T 1034	
氧化诱导时间(210°)/min	$\geq 20$	GB/T 19466.6	
热空气老化	抗拉强度保持率 /% 断裂伸长率保持率 /%	$\geq 95$ $\geq 85$	GB/T 3512(72 h, 85℃)
耐碱性	抗拉强度保持率 /% 断裂伸长率保持率 /%	$\geq 95$ $\geq 95$	GB/T 1690(7 d, 20℃)
燃烧性能等级	B2	GB 8624	

## 2 内衬 HDPE 钢筋混凝土管试验

### 2.1 表面抗拔试验

#### 2.1.1 试验方法

通过表面抗拔试验,获得 HDPE 内衬与钢筋混凝土管之间的黏结强度。试验在管节的 HDPE 内衬包含 5 个固定键的面积做表面抗拔试验,示意图见图 2。试验拉拔环采用 14 mm 厚 90 mm × 132 mm 的碳钢板中间位置上垂直焊接尺寸为 100 mm × 132 mm 碳钢板(14 mm 厚),并在钢板中心留孔  $\phi 50$  圆孔。拉拔环碳钢板与内衬之间的连接采用热熔,并沿碳钢板外侧切割 HDPE 内衬。

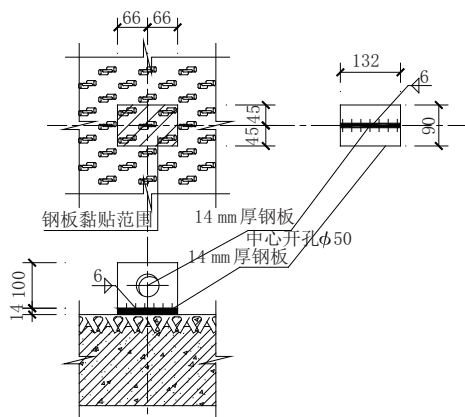


图2 表面抗拔试验示意图

试验采用分级加荷,前两级按最大试验荷载值的 30%级差加荷至 60%,每次静停 1 min。之后按最大试验荷载值的 20%级差加载至 80%,每次静停 1 min。最后按最大试验荷载值的 10%级差加载至 100%,每次静停 1 min。若仍未破坏,继续按最大试验荷载值的 10%级差加载至试验块 HDPE 内衬与钢筋混凝土管剥离,记录下最终的加载值。

#### 2.1.2 试验结果与分析

试验共进行了 2 节管节 6 处试点,试验见图 3,

试验结果见表 3。



图3 锚固键从混凝土中拔出

表3 表面抗拔试验结果

试点编号	破坏荷载 /kN	单个平均破坏荷载 /kN	破坏形式
试点 A1	5.76	1.15	锚固键从混凝土中拔出,见图 3
试点 A2	6.43	1.29	锚固键从混凝土中拔出
试点 A3	5.92	1.18	锚固键从混凝土中拔出
试点 C1	5.68	1.14	锚固键从混凝土中拔出
试点 C2	6.15	1.23	锚固键从混凝土中拔出
试点 C3	5.54	1.11	锚固键从混凝土中拔出

根据拉拔试验过程和结果,得出以下结论:

(1)表面抗拔试验的破坏模式都是锚固键从混凝土中拔出。

(2)单个锚固键的锚固强度标准值可以达到 1.13 kN。

### 2.2 三边支承法外压荷载试验

#### 2.2.1 试验方法

通过三边支承法外压荷载试验,测定内衬管节的裂缝荷载与破坏荷载,并观测管节损坏形态,验证内衬管节的荷载能否满足规范要求。试验参考标准《混凝土和钢筋混凝土排水管试验方法》(GB/T 16752—2017)。

试验按每分钟不大于 5kN/m 的加载速度均匀加载,每级加载量为裂缝荷载的 20%,恒压 1min,逐级加载至裂缝荷载的 80%时,观察管节外侧或端部顶、底内侧有无裂缝。若裂缝宽度较小或无裂缝,可继续按裂缝荷载的 10%加载至裂缝荷载。若裂缝仍小于 0.2 mm,继续按裂缝荷载的 5%加载至裂缝宽度达到 0.2 mm。继续按破坏荷载的 10%加载至破坏荷载,恒压 3 min,检查管节是否破坏。若仍未破坏,可继续按破坏荷载的 5%加载直至破坏。

#### 2.2.2 试验结果与分析

本次试验一共进行了 4 次三边支承法外压荷载试验。试验见图 4。试验结果见表 4。



图4 三边支承法外压荷载试验

表4 三边支承法外压荷载试验结果 单位:kN/m

管节编号	裂缝达到 0.20 mm 的荷载	裂缝荷载	管节破坏荷载
管节 A1	342.7	342.7	491.7
管节 A2	342.7	327.8	491.7
管节 C1	297.6	285.2	409.2
管节 C2	285.2	272.8	427.8

根据计算,试验管节 A 的裂缝荷载为 298 kN/m,破坏荷载为 447 kN/m;试验管节 C 的裂缝荷载为 248 kN/m,破坏荷载为 372 kN/m。由试验结果可以看出,试验得到的裂缝荷载和破坏荷载均大于理论计算。HDPE 材料的抗拉弹性模量远小于混凝土且管节的变形很小,因此不足以使 HDPE 材料产生足够大的拉力以影响混凝土管节的外压荷载试验的结果。从试验结果也可以看出,HDPE 内衬锚固键的锚入也没有对混凝土管节的外压荷载产生较大影响。因此,HDPE 内衬厚度可以计入混凝土保护层厚度。

### 2.3 内衬抗外水压试验

#### 2.3.1 试验方法

通过内衬抗外水压试验,测试模拟管节开裂漏水后,内衬承受外水压的能力与界面排水条件。试验参考标准《超大型钢筋混凝土顶管管节制作、施工及验收规程》(DG/TJ 08—2221)。

试验通过管节钢筋混凝土外壁预埋 DN10 钢管试压管,模拟管节开裂漏水,定位和试压管埋设见图 5 和图 6。试压管位于内壁端须采取措施防止混凝土浇筑时堵塞钢管。

抗外水压试验过程中对通水处附近的 200 mm × 200 mm 范围内衬材料进行位移测量,每处试验共测 9 个点位移。位移计布置详见图 7。

试验先按每级 0.05 MPa 的增量分级加载,加载至 0.15 MPa 后,按每级 0.03 MPa 的增量分级加载,

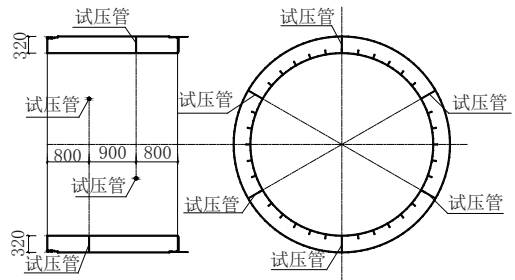


图5 试压管埋设位置示意图(单位:mm)

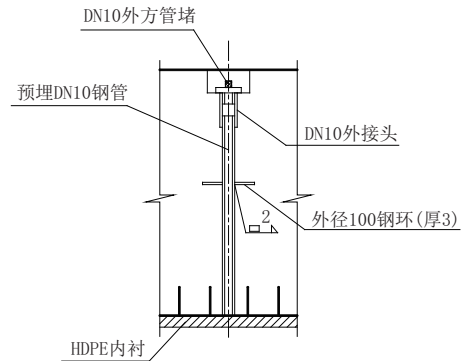


图6 试压管埋设详图

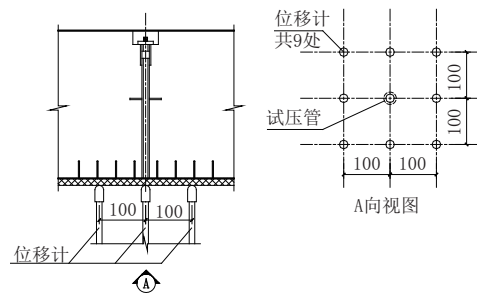


图7 位移计布置图(单位:mm)

每级保持 5 min,记录水压变化情况和位移计度数,并观察试压处 HDPE 内衬是否出现鼓胀现象,直至水压无法继续增加位置。

#### 2.3.2 试验结果与分析

本次试验一共对 4 节管节 24 个测点进行了抗外水压试验,见图 8。



图8 内衬抗外水压试验

试验最大水压只能达到 0.1~0.42 MPa,测点 S1~S9 的最大位移 0~0.44 mm,都可以观察到水流

(下转第 203 页)

素关系研究[J].现代城市轨道交通,2021(2):75-80.

[7] 薛禹群,张云.长江三角洲南部地面沉降与地裂缝[J].华东地质,2016,37(1):1-9.

[8] 吴冰柔.内蒙古包头市地铁项目 PPP 融资模式的成本收益分析[D].天津:天津商业大学,2019.

[9] 陈小坚,李海华.拓展建设“节约型城市”的新思路,合理开发利用城市地下空间——访中国工程院院士钱七虎先生[J].现代城市研究,2005(6):14-16.

[10] 程光华,苏晶文,李采,等.城市地下空间探测与安全利用战略构想[J].华东地质,2019,40(3):226-233.

[11] 陈丽.我国城市地下空间开发利用法律规制研究[D].海口:海南大学,2017.

[12] 季方.我国城市地下空间权法律研究[D].重庆:西南政法大学,2014.

[13] 邢俊.我国城市地下空间开发法律制度规范化研究[D].苏州:苏州大学,2013.

[14] 中华人民共和国住房和城乡建设部.住房和城乡建设部关于印发城市地下空间开发利用“十三五”规划的通知(建规[2016]95号)

[EB/OL].2016-05-25[2016-06-27].http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201606/t20160622\_227841.html.

[15] 张顶立.城市地下工程施工诱发的安全事故及其控制[J].科技导报,2017,35(5):31-37.

[16] 深圳市南山区应急管理局.深圳地铁1号线“3.4”隧道结构被打穿事故调查报告[R].深圳:深圳市南山区应急管理局,2021.

[17] 吴浩,杨帆,王斌,等.基于数字孪生的火箭结构设计制造与验证技术研究[J].宇航总体技术,2021,5(2):7-13.

[18] 罗伟,水滨.BIM技术在武汉市轨道交通12号线双墩站初步设计阶段中的应用[J/OL].土木工程信息技术,1-7[2021-06-02].

[19] 苏立勇,周轶,张志伟,等.基于BIM-GIS技术的城市轨道交通附属一体化工程应用研究——以北京地铁19号线一期工程为例[J].隧道建设(中英文),2020,40(11):1541-1551.

[20] 邦宁.基于BIM+GIS技术的铁路隧道设计应用研究[J].四川建筑,2017,37(2):128-130.

[21] 贾斯博,刘慧明,孙晓满,等.基于BIM与GIS技术的地铁隧道三维建模方法的研究[J].中国建材科技,2020,29(4):88-89.

(上接第197页)

从管节边缘渗出,内衬未见破坏。在外水压作用下,HDPE内衬的位移较小,肉眼不易分辨,并且大部分情况下,水在较低的压力时沿内衬与混凝土之间的间隙流出管节,之后水压无法继续上升。观察内衬管节的HDPE内衬与混凝土管壁的黏结界面,可见到HDPE内衬与混凝土基本没有黏结力,外水压可轻易渗透进HDPE内衬与混凝土管壁的缝隙。

所以,内衬管节中HDPE内衬受到外水压力后可以形成畅通的排水通道,不会导致内衬材料损坏。

### 3 结论

通过对内衬HDPE钢筋混凝土管HDPE内衬材料检测、复合管试验的相关研究,得出以下结论:

(1)根据本次检测结果并结合现有HDPE相关材料标准,提出HDPE内衬材料的耐化学试剂性能和物理性能指标要求。

(2)表面抗拔试验的破坏模式都是锚固键从混凝土中拔出,并且单个锚固键的锚固强度标准值可以

达到1.13 kN。

(3)HDPE材料对内衬钢筋混凝土管节受力没有影响,故HDPE内衬厚度可以计入混凝土保护层厚度。

(4)内衬管节中HDPE内衬受到外水压力后可以形成畅通的排水通道,外水压力不会导致内衬材料损坏。

#### 参考文献:

[1] 高礼雄,丁汝茜,姚燕,等.混凝土的微生物腐蚀:机理、影响因素、评价指标及防护技术[J].材料导报,2018,32(3):503-509.

[2] 张小伟,张雄.混凝土微生物腐蚀防治研究现状和展望[J].材料保护,2005(11):52-56.

[3] 张小伟,张雄.混凝土微生物腐蚀的作用机制和研究方法[J].建筑材料学报,2006(1):52-58.

[4] 柳献,张宸,叶宇航,等.深层盾构排水隧道PVC防水防蚀内衬力学性能试验研究[J].隧道建设,2016,36(12):1428-1434.

[5] 朱少锋.聚氯乙烯防蚀内衬材料的应用[J].混凝土与水泥制品,2009(2):38-40.

[6] JC/T 2280—2014,内衬PVC片材混凝土和钢筋混凝土排水管[S].