

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.10.042

预制装配式综合管廊防水构造及材料应用研究

陆长兵

(南京市江北新区公共工程建设中心, 江苏 南京 210000)

摘要: 预制装配式综合管廊符合我国城市基础设施绿色化建设政策要求,在质量、工期等方面较现浇法施工有较大优势而被广泛运用。对于预制装配式综合管廊,其接缝形式和防水施工都直接影响其功能和正常运行。现结合预制装配式综合管廊的防水结构主要类型,对常用的三种防水构造和接缝材料的性能进行比较,对预制装配式综合管廊防水技术的发展趋势进行展望。

关键词: 预制装配;综合管廊;防水材料性能;防水施工

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)10-0162-04

0 引言

综合管廊是城市市政基础设施建设发展的方向。综合管廊内纳入电力、通信、给排水等市政管线,可有效缓解土地资源紧张与日益增长的城市功能需求之间的矛盾,提高地下空间的利用率。同时,避免了繁华区域反复挖掘路面、维修各类地下管线等反复施工,有效解决“街道拉链”“空中蜘蛛网”等问题。综合管廊的施工方法主要有现浇法和预制拼装法。与现浇综合管廊相比,预制装配式综合管廊更具有保证质量、缩短工期、节能环保等显著的优势。综合管廊示意图如图 1 所示。

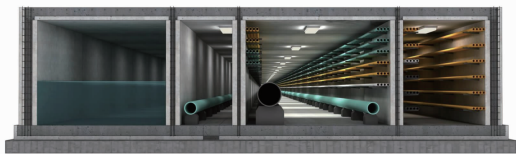


图 1 综合管廊示意图

装配式综合管廊包括预制装配式和预制复合装配式两种。其中,预制装配式分为整体装配式和组件式预制装配式^[1]。与现浇法相比,装配式综合管廊在工期和质量上具有更大的优势,但由于预制管片短、接缝多而产生接头防水问题。防水技术是影响装配式综合管廊适用性和耐久性的关键技术,受到世界各国的普遍关注。为了提高防水密封材料的质量、延长使用寿命和拓展实际应用,需要对其计算理论、试验数据和设计标准进行进一步研究;而且在长期动

荷载和周围建筑物的影响下,防水材料更需要适应结构的变形。张国荣^[2]、王恒等^[3]利用等温试验和压缩应力松弛试验,通过丁基橡胶型圈随着压力的变化而产生不同的体积变化,从而进行了应力松弛老化预测。宋兆哲^[4]分析了垫片在管道密封中的机理,以及在影响垫片密封效果的因素,针对密封失效的原理建立失效模型。王昊等^[5]通过对橡胶材料在不同条件下的老化试验,提出了各种密封橡胶的老化变化规律和橡胶材料寿命预测模型。吴长河等^[6]根据压缩变形试验和老化试验的试验数据,预测了硫化橡胶的耐久性寿命。崔小明^[7]对氯丁橡胶与其他橡胶并用改性效果进行了研究,得出 EPDM 与其他弹性体并用可以得到兼具两种橡胶性能的并用胶结果。朱祖熹^[8]对盾构隧道管片的各类密封橡胶应用条件和实际中的使用功效进行了总结回顾,提出密封垫片老化受损等的研究课题。肖明清^[9]针对三元乙丙橡胶在管道密封中的工作机理进行了阐述,并从防水密封的演化过程中对双道密封垫与螺栓孔密封协同防水等的复合型密封垫问题出发,指明未来的研究方向。

预制装配式综合管廊存在的关键问题和方向如下:(1)水平和垂直拼装接缝的防水能力亟待加强。(2)通过预应力连接适应不均匀沉降,消除漏水。(3)必须消除承插连接结构受力变形造成的防水隐患。(4)需要开发更加合理的界面形式和高性能的止水带材料。

现针对装配式综合管廊,分析了预制装配式管廊工程的常用的防水结构,比较了常用防水材料的性能,为预制装配式综合管廊接头的设计和改进了提供了参考。

收稿日期: 2021-12-29

作者简介: 陆长兵(1979—),男,本科,高级工程师,从事工程管理工作。

1 接头结构自防水

预制装配式综合管廊接头的质量关系到结构的耐久性,影响到后期维护和运行,应结合工程特点选择合适的接缝形式。常用的接口形式分为承插连接、企口连接,预应力连接和叠层板现浇连接等方式。

(1)承插连接方式:对不均匀沉降适应良好,但其受力变形存在问题,通常用于圆形截面管廊。

(2)企口连接方式。适用于小型矩形截面管廊,是《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)推荐的接缝形式。

(3)预应力连接方式:满足结构受力,但针对不均匀沉降方面存在后期运行风险,通常用于在基础条件良好的中小截面管廊。

(4)叠层板现浇连接方式:用于解决大断面综合管廊预制拼装、防水及沉降问题,其计算理论和施工精度仍有待研究,通常用于大断面管廊。

企口连接方式是预制装配式综合管廊的主要接缝形式。下文将重点对承插连接方式防水结构形式进行研究。

1.1 双密封剂防水构造

双密封剂防水构造主要防水措施为双橡胶圈,其他为辅助防水措施,如图2所示。双密封剂防水构造对接阻力较小,易于安装;但承插口的橡胶圈不易安装,需要采取固定措施。同时设置注浆试压孔管作为止水失效的补救孔。

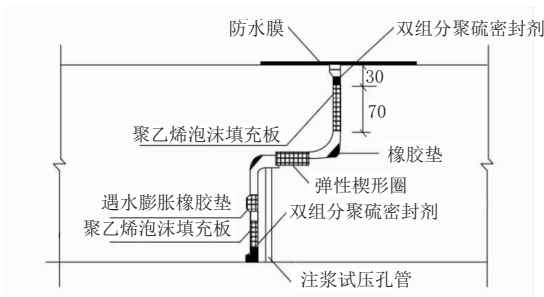


图2 双密封剂防水构造图

1.2 双胶圈密封防水构造

双胶圈密封防水构造由承插工作面密封和端面密封两部分组成,如图3所示。端面压缩密封与斜面变形密封的大组合具有密封性能好、抗震、抗沉降性能好等优点。工程实际中选择的密封圈类型有:(1)承插式EPDM楔形圈与端部腻子复合条;(2)承插三元乙丙橡胶楔形圈与弹性复合中空胶条,端面遇水膨胀;(3)承插EPDM楔形橡胶围裙。所述密封条包括承插口的实心楔形(三角形)结构,端面的空心梯

形结构。

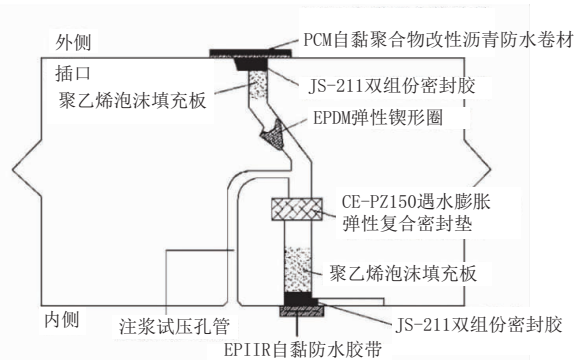


图3 双胶圈密封防水构造图^[11]

1.3 承插面密封防水构造

承插面密封防水构造根据各种防水材料的特点,在转折点处安装楔形橡胶圈,在承插口处采用遇水膨胀弹性橡胶圈,如图4所示。施工过程中,用千斤顶对橡胶圈进行压缩,在管廊内外缝安装聚乙烯泡沫填充板和双组分的聚硫密封剂,可使防水性能更好,避免管廊内缝漏水。此措施可保证接缝防水达到内外连接、相互补充的效果,使接缝防水质量达到施工规范的要求。

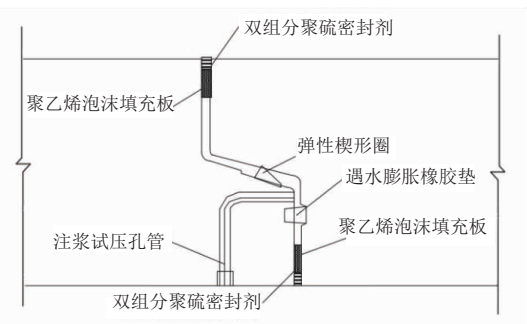


图4 承插面密封防水构造图^[10]

1.4 防水构造注意事项

基于上述三种实用防水结构,对预制装配式综合管廊防水结构应注意以下几点:

- (1)当压缩量较小时,通常实验压力值小于计算值。在压缩后期,橡胶垫块被压实,其压力明显增大。
- (2)当开口为6mm,交错缝为0mm或10mm时,接缝耐水压力达到0.6MPa。
- (3)双胶圈橡胶为主要防水材料,采用预应力连接。同时在双胶圈中间预留注浆孔。
- (4)建议去除聚乙烯泡沫。内侧面的密封剂可改为聚氨酯防水涂料或手工刮涂料。
- (5)建议预留注浆孔,避免漏水,即使使用单个橡胶圈进行防水。
- (6)注浆孔的位置和数量要合理,不受管廊内管道、电缆的影响,在防水失效时可以方便注浆进行

补救。

(7) 预加应力应适当。过大的预应力会增加结构节点的刚度,削弱结构的柔性和变形适应性,过小的预应力将不能给橡胶圈提供足够的压应力,导致防水失效。

(8) 建议每隔 40 m 设置一道伸缩缝,并设置承插接头。聚乙烯泡沫塑料可用于伸缩缝的防水结构中,增加密封胶圈的横截面积,并放宽接缝外缘的最大开度限制。

2 反演预测方法及模型建立

2.1 接缝材料的类型

预制装配式综合管廊防水主要是结构自防水和拼缝防水。拼缝防水采用预制成型弹性密封垫为主要防水措施。弹性密封垫的界面应力不应低于 1.5 MPa;拼缝弹性密封垫应沿环、纵面兜绕成框型。沟槽形式、截面尺寸应与弹性密封垫的形式和尺寸相匹配。选用的弹性橡胶与遇水膨胀橡胶等制成的复合密封垫,其复合方式应能使两者牢固地结合成一体。弹性橡胶密封垫应采用三元乙丙(EPDM)橡胶或氯丁(CR)橡胶为主要材质,宜采用中间开孔、下部开槽等特殊截面的构造形式,并应制成闭合框型。预制装配式综合管廊中常用的防水密封结构密封胶圈主要有三元乙丙橡胶止水带、弹性空心止水带、遇水膨胀弹性复合止水带。其结构示意图如图 5 所示。

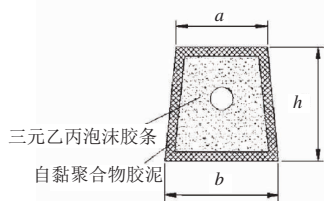


图 5 端面腻子复合条密封垫结构示意图

端面腻子复合条密封垫的结构由经过发泡的内芯三元乙丙泡沫复合外部的自黏聚合物胶泥构成。内芯的三元乙丙泡沫柔软度高、回弹性好,能充分密封接缝;而自黏胶泥的黏性与混凝土构件的贴合程度高,密封性能进一步增强。通常呈梯形构造,尺寸通常为上 10 mm 下 22 mm,预张应力最高可达到 20 MPa。

遇水膨胀橡胶密封垫示意图如图 6 所示,主要采用三元乙丙橡胶(EPDM)生产,为 EPDM 橡胶密封垫(用于环、纵缝)和表面复合遇水膨胀橡胶的复合密封垫(用于变形缝环缝)组合而成,接缝用弹性密

封垫辅助材料包括遇水膨胀橡胶密封垫(用于变形缝环缝密封垫表面)和将管片密封垫粘结在管片侧面预留凹槽内的阻燃型氯丁-酚醛树脂胶粘剂。

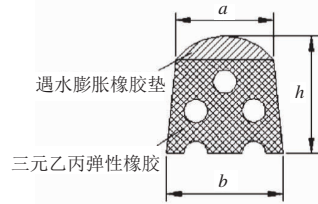


图 6 遇水膨胀橡胶密封垫结构示意图

弹性中空橡胶密封垫示意图如图 7 所示,中部开孔,主要由上部的遇水膨胀橡胶和下部的三元乙丙橡胶(EPDM)构成,中部开孔以适应变形。其特点为:(1)规则中空结构使密封条受力变形稳定;(2)三元乙丙橡胶化学特性稳定,耐酸、碱、热、冷等性能优越,抗老化性能较好;(3)胶条界面应力 ≥ 1.5 MPa;(4)适用环境温度广泛,可在 -40°C 到 130°C 下长期适用;(5)双胶圈中间注水试验可达 0.2 ~ 2.0 MPa;(6)具有很好的弹性、密度较小^[11]。

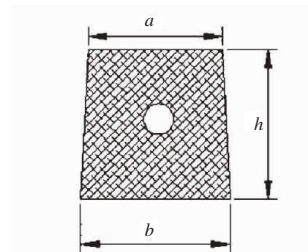


图 7 弹性中空橡胶密封垫结构示意图

2.2 接缝材料试验研究

接缝防水材料的防水性能、防水技术在管廊防水设计中极为重要。胡翔等^[12]基于上海世博园预制管廊,赵雅婷^[13]基于盾构隧道管片,对遇水膨胀橡胶垫块进行了水膨胀性能试验、压缩应力和压缩变形试验、防水性能试验、压缩蠕变试验、应力松弛试验等试验。并在不同水压条件下进行了短期和长期防水试验。分析其测试结果表明:(1)施工过程中,接缝处遇水膨胀橡胶垫块的错位需要严格控制。(2)水膨胀后的防水性能增强;但由于防水横向膨胀较大,其压力增长率略低于体积增长率。(3)膨胀性能、截面形式、接触面条件、接触应力等几个重要参数在设计 and 施工中必须严格控制。

上海地铁 2 号线陆家嘴至河南中路区间隧道工程,接头防水结构中采用三种横截面密封垫片,包括中间孔型(氯丁橡胶和遇水膨胀橡胶复合)、梳式(氯丁橡胶与水膨胀橡胶复合)和梯形(水膨胀橡胶)。同样对比分析其直条压缩试验和 T 型模抗渗试验,结果

表明:(1)与其他类型相比,梯形弹性垫片遇水时的防水性能更好;(2)交错装配时,弹性垫片贴合接头的开口比正常装配减少 1~2 mm;(3)若遇水膨胀橡胶在组装前已膨胀,需在橡胶垫面涂一层缓膨胀剂,以防止对混凝土的损伤。

成都地铁一线采用挤压接头橡胶垫块(EPDM 非膨胀橡胶)进行防水施工。防水性能试验包括测量防水橡胶垫块力学性能的压缩试验和为验证防水结构合理性而设计的水密性试验。测试结果表明:当压缩量较小时,实验压力值小于计算值。在压缩后期,橡胶垫块被压实,其压力明显增大;当开口为 6 mm,交错缝为 0 mm 或 10 mm 时,接缝耐水压力达到 0.6 MPa。

3 影响管廊防水的其他因素

(1)软基处理的质量。预制装配式综合管廊所处的工程地质条件的好坏,影响管廊施工期以及运营期不均匀沉降大小,其不均匀沉降带来的构件平整误差,造成构件以及接头的变形,从而影响管廊的防水性能。

(2)管廊装配施工的垫层平整度。良好的垫层平整度对于管廊的防水性能起到至关重要的影响,通常做法是于垫层铺设 10 mm 厚度的细砂,从而有效降低预制构件之间的摩擦力。

(3)承插口尺寸的精确度。在预制管廊构件的就位对接中,构件的接头效果允许的误差在(+2 ~ -1 mm),模具插口允许偏差(+1 ~ -2 mm)。过大的接头误差会降低防水性能的发挥效果。

4 结 语

本文对预制装配式综合管廊的接头防水结构、防

水材料及防水技术进行了总结,并提出了相关建议,为今后预制装配式综合管廊接头防水性能的研究和设计提供参考。此外,装配式综合管廊接缝防水技术的发展趋势包括以下几点:(1)提倡多尺寸、分段、拼装;(2)选择合适的接头形式;(3)开发高性能防水材料;(4)选择合理的计算方法;(5)发展方便可靠的施工技术。

参考文献:

[1] 白帆,张世浪.各型式预制综合管廊的特点与关注问题探讨[J].南方能源建设,2017,4(2):81-85.

[2] 张国荣.不同压缩比下橡胶老化松弛机理的研究[D].北京:北京化工大学,2011.

[3] 王恒,钱坤,柯玉超,方炳虎,李方山,章于川,钱家盛,夏茹.天然橡胶/三元乙丙橡胶合金弹性体的共硫化及耐热氧化性能[J].合成橡胶工业,2021,44(4):294-299.

[4] 宋兆哲.静密封过程中垫片的密封机理及失效分析[D].昆明:昆明理工大学,2011.

[5] 王昊,危银涛,王静.橡胶材料疲劳寿命影响因素及研究方法综述[J].橡胶工业,2020,67(10):723-735.

[6] 吴长河,冯晓伟,叶培,符志,刘占芳.应变率对硫化橡胶压缩力学性能的影响[J].功能材料,2013,44,323(8):1098-1101.

[7] 崔小明.三元乙丙橡胶并用改性的研究进展[J].橡胶科技,2018,16,284(8):5-10.

[8] 朱祖熹.盾构隧道管片接缝密封垫防水技术的现状与今后的课题[J].隧道建设,2016,36,195(10):1171-1176.

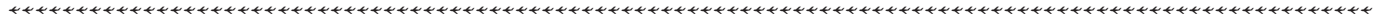
[9] 肖明清,谢宏明,王士民,钟元元.盾构隧道管片接缝防水体系演化历程与展望[J].隧道建设(中英文),2021,41,256(11):1891-1902.

[10] SZ102.湖南省标准,湖南工程建设标准设计图集[S].2015.

[11] 严林.预制拼装综合管廊发展现状与接头防水密封性能的探讨[J].混凝土与水泥制品,2017(1):31-34.

[12] 胡翔,薛伟辰,王恒栋.上海世博园区预制预应力综合管廊接头防水性能试验研究[J].特种结构,2009,26,104(1):109-113.

[13] 赵雅婷.高性能盾构管片用遇水膨胀橡胶密封垫性能研究[J].中国橡胶,2020,36,827(11):49-51.5.5



(上接第 157 页)

[3] Tanner B J,Finno R J.Three-dimensional responses observed in an internally braced excavation in soft clay[J].Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,2007,133(11):1364-137.

[4] Iyengar M.Analysis of a Diaphragm Wall Panel After Leakage During Deep Excavation, in: Lecture Notes in Civil Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering[M].2019.

[5] 徐中华.上海地区支护结构与主体地下结构相结合的深基坑变形性状研究[D].上海:上海交通大学,2007.

[6] 刘涛.基于数据挖掘的基坑工程安全评估与变形预测研究[D].上海:同济大学,2007.

[7] 刘国彬,黄院雄,侯学渊.基坑工程下已运行地铁区间隧道上抬变形的

的控制研究与实践[J].岩石力学与工程学报,2001(2):202-207.

[8] 金成武.考虑渗流影响的基坑开挖数值模拟[D].武汉:华中科技大学,2007.

[9] 谷清泉.地铁车站深基坑地下连续墙接缝渗漏原因分析及防治[J].江西建材,2014(18):144-145.

[10] 周游,王益楠,史剑.基于声呐渗流检测的地下连续墙渗漏处置措施研究[J].现代隧道技术,2020,57(S1):1288-1292.

[11] 郝利伟,彭显晓.电渗法在地下连续墙渗漏检测中的应用[J].中国科技信息,2014(12):40-42.

[12] 顾晓强,吴瑞拓,梁发云,等.上海土体小应变硬化模型整套参数取值方法及工程验证[J].岩土力学,2021,42(3):833-845.