

城市预制拼装综合管廊的研究和应用现状

李嘉维

(阳光学院, 福建 福州 350001)

摘 要: 预制拼装综合管廊是我国地下综合管廊工业化建设的必然要求,也是城市综合管廊建设的发展趋势。因此,针对预制拼装综合管廊研究和应用的现状,就构造和受力性能、接头防水性能和抗震性能等几方面的研究和应用中存在的问题进行了分析,并提出了进一步发展方向,可以为预制拼装综合管廊的研究和应用提供新的思路。

关键词: 综合管廊; 预制拼装; 半刚性连接; 不均匀沉降; 防水; 抗震

中图分类号: TU 990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7767(2019)01-0175-04

Study and Application Status of Prefabricated Assembly Urban Utility Tunnel

Li Jiawei

城市道路作为都市的交通网络,承担着繁重的地面交通负荷,也为都市提供了绿化空间,也是地震时的紧急避难所。同时,社会民众所需的各种管线,如自来水、燃气、电力、通信、有线电视和雨污水等管线通常埋设在道路下方。但由于道路地下空间有限、建设时间和规划不统一等,出现了“马路拉链”,“昨天铺,今天改,明天修”,“城市看海”等现象,不仅影响市容,给民众的生活造成很大的困扰,也影响了社会生产的正常进行。综合管廊,又称为“共同沟”,作为一种类似隧道的城市地下空间结构,主要功能是集中分类收纳各种市政、电力、通讯等管线。综合管廊的建设将有效地解决城市地下管线收纳和反复开挖地面施工的问题^[1-2]。综合管廊在欧、美国家已经有 170 余年的发展历史,日本和我国台湾地区也进行过较多的工程实践^[3]。在我国,随着城市化建设进程的逐渐加快,综合管廊也在城市化进程中开始得到重视,并被广泛推广和应用。如上海浦东新区张杨路共同沟、广州大学城共同沟、厦门湖边水库共同沟和平潭坛西大道共同沟等。

在综合管廊施工方法可分为:1)暗挖现浇工法;2)明挖现浇工法;3)明挖预制拼装工法。其中,与现浇工法施工的综合管廊相比,预制拼装综合管廊具有质量可保证、工期缩短、成本低和节能环保等显著优势。预制拼装式综合管廊早期主要为电缆沟,但随着城市建设需求的发展,其断面开始逐渐扩大,目前已发展为能够容纳各类城市管线、适合各类城市应用的综合

管廊,成为综合管廊建设和发展的新趋势和动向^[4-6]。但是,我国在这方面的实践还相对较少,对相关问题还缺乏充分研究,包括连接接缝构造和整体力学性能、不同接缝构造形式的选择依据和设计计算方法、接缝防水、地震损伤机理和抗震设计等。因此,笔者认为有必要对预制拼装综合管廊研究和应用中存在的问题进行分析,以便提出相应的解决思路,为进一步的研究和应用提供参考。

1 预制拼装综合管廊接缝的构造和力学性能

1.1 连接接缝构造

与现浇整体综合管廊相比,预制拼装综合管廊在结构上的最大不同就是预制节段之间存在连接接缝,其主要作用是承受不均匀沉降和地震荷载等。在已经开展的预制拼装综合管廊实践中,连接接缝的形式主要包括高强螺栓连接、预应力筋连接和承插式(采用受力插销固定)连接^[7-11]等。从受力的角度说,高强螺栓连接和预应力连接的综合管廊整体性强,属于刚性连接(预应力连接构造见图 1)。但刚性连接在不均匀沉降或地震荷载作用下其结构受力较大,可能会导致结构损伤或破坏。承插式连接整体性较弱,属于柔性连接(承插式连接安装示意图见图 2),该连接在软土等沉降不均匀的地基中,接缝位置容易产生张开角度过大的问题,进而影响工程质量。因此,一些学者已经开始研究半刚性连接的性能与适用性,如:薛伟辰等^[12]提出了一种结合预应力和承插式连接的半刚性连接,并通过

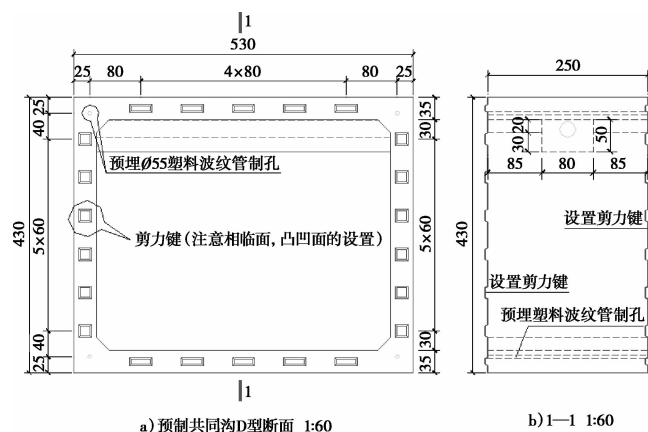
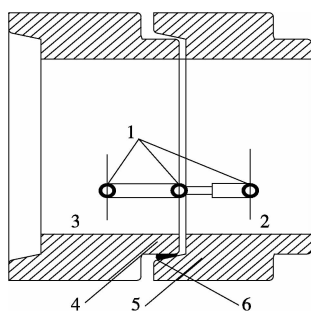


图1 预应力连接预制拼装综合管廊



注:1. 受力插销;2. 液压油缸;3. 拉力钢环;
4. 被装节段;5. 已装节段;6. 橡胶密封圈。

图2 承插式连接安装示意图

纤维塑料筋和锚具主动调节应力大小。目前,使用承插式连接和预应力连接的综合管廊较多,而半刚性连接的综合管廊还缺乏实践经验,但其因具有对软土地基较好的适应性以及抗震性能良好的特点,因此可以结合试验和理论分析对其设计方法、受力分析方法和抗震性能分析等方面进行研究,以便尽快地应用于工程实践。

1.2 设计受力性能分析

在设计受力性能分析方面,我国目前在现浇整体的综合管廊方面已经开展了比较多的工程实践^[13-23]。其中:设计方面,包括断面选择、平面设计、纵断面设计、特殊节点(沟内管线出现位置和总管沟的交叉)设计、各类孔口设计和附属设施设计等,其经验均比较成熟;结构受力分析、设计方面与一般土木工程结构类似,而外部作用则包括综合管廊承担的活荷载、水土压力、地下水浮力、地质变化所产生的不均匀附加应力^[7,24-28]等。

预制拼装综合管廊受力性能研究除了常规的受力性能分析外,还需要对不均匀沉降和地震等荷载下节段间连接接缝的受力性能进行重点研究。目前,针对

这方面的研究主要是以上海世博园的综合管廊预应力连接接缝为工程背景开展的^[29-30],但研究中还存在对不均匀沉降地基的适用性、预应力损失的影响和耐久性问题,特别是针对高强螺栓连接和插销连接的预制拼装综合管廊受力性能研究还很少,以及不同连接组合的半刚性连接综合管廊的受力性能还缺乏研究,因此无法为设计计算提供依据。如何选用针对不同地质状况,特别是适合于较大不均匀沉降的综合管廊的连接接缝方式,进行接缝构造细节设计和计算分析仍需要开展进一步研究,以适应预制拼装综合管廊理论和实践的需求。

2 预制拼装综合管廊的连接接头防水

接头防水是预制拼装综合管廊研究和应用中的关键问题之一。目前,对于现浇整体式综合管廊,其结构变形缝的防水问题的解决方法是在变形缝内埋入带钢边的橡胶止水带,但是该方法不适用于预制拼装综合管廊的接头防水。其原因是主体结构无法在现场浇筑,带钢边橡胶止水带也不能埋入其中,并形成防水体系。国内外学者针对地下装配式结构的接头防水问题开展了一定的研究工作,主要包括地下隧道预制衬砌接头防水性能的理论分析与试验验证、防水用橡胶材料的物理力学性能测试与分析^[31-32]等。在这些研究中,学者们提出了针对弹性密封垫的材料物理参数指标和接头防水设计相关建议,但主要是针对地下隧道预制衬砌结构^[33-34]。

在预制拼装综合管廊的接头防水性能研究方面,主要有针对于上海世博园预应力预制拼装综合管廊的遇水膨胀橡胶条的防水性能试验研究^[35]、厦门湖边水库承插式综合管廊双胶圈橡胶条的防水性能试验研究^[36-37]以及焦勇强等^[38]对整体预制拼装式综合管廊接头形式与防水构造进行了探讨。这些研究为预制拼装综合管廊的接头防水设计和施工提供了参考。其中,双胶圈橡胶条防水性能较好,而且通过设置注水孔,使得密封性检验十分有效且易于后期维护,在工程中的应用比较广泛。但预制拼装综合管廊的接头防水作为连接接缝设计中的重要部分,如何既能满足地基不均匀沉降的需要,又能满足长期防水和耐久性要求,仍然需要进一步研究和工程实践。

3 预制拼装综合管廊的抗震性能

3.1 基本震害类型

综合管廊是城市生命线工程。由于综合管廊中容纳了城市供水、供气、电力、通讯等多种管线,在地震等

灾害的冲击下,会出现大面积的功能性障碍,甚至会导致城市系统全面的功能瘫痪。根据已有的震害记录和研究成果,引起地下结构的震害类型大致可分为两类,第1类是地震惯性力引起的破坏,第2类是围岩失稳。各种浅埋或者明挖法施工的地铁隧道、综合管廊等结构的破坏基本属于第1类,与地上结构的地震破坏较为相似,特别是预制拼装综合管廊结构以该类型的破坏为主。如:1997年土耳其 Izmit 地震中,共同沟身混凝土出现开裂、脱落;1999年台湾集集地震中,共同沟衬砌发生开裂、脱落,断层错位导致沟身被剪断。总体而言,地震力作用下引起的地下结构变形主要有轴向拉压变形、轴向弯曲变形和截面椭圆变形、挤压变形;既有综合管廊相应的震害包括连接处拉断、内壁混凝土开裂、压碎和剥落以及沟体剪断等^[39]。

3.2 抗震性能研究

对地下结构的抗震性能研究主要有4种方法:1)原型观测法;2)解析法;3)数值分析方法;4)试验方法。其中,数值分析方法较其他方法有许多优势,也是目前主要采用的方法,并取得了一些成果^[40-43]。但是,在地下结构动力分析中仍存在问题,如土体材料的本构关系、土体和结构相互作用的模拟以及人工边界和地震波输入等。

随着综合管廊的建设,其抗震问题在国内开始得到相关人员的重视,并进行了研究。如:蒋录珍等^[44-50]进行了振动台试验和数值分析,验证了采用变刚度法模拟层状剪切箱的可行性,并研究了一致和非一致激励,以及瑞利波作用下均匀场地土条件的综合管廊地震反应规律;汤爱平等^[51]利用共同沟土箱振动台对包括干线和支线共同沟、混凝土侧墙、土压力和沟内管道在内的共同沟体系地震反应的变化规律进行了研究;由浩宇^[52]提出了一种管道隔震装置,并通过相关试验验证了其有效性;叶飞^[39]进行了共同沟体系抗震性能研究。

总体来说,以上研究基本针对的是现浇整体综合管廊,并以试验和有限元计算方法为主,而对于预制拼装综合管廊的抗震性能研究则较少,特别是在整体抗震性能、拼接接缝的地震破坏机理和设计计算方法方面仍然需要开展系统的研究,才能适应预制拼装综合管廊抗震设计和实践的需求。

4 结论

1)预制拼装综合管廊节段之间的连接接缝构造目前使用较多的是刚性和柔性接缝,对于半刚性连接接

缝的性能与效果仍然需要做进一步的研究,包括半刚性连接接缝构造形式、受力特点和分析设计方法,特别是应如何适应发生较大的、不均匀沉降的地基。

2)预制拼装综合管廊的接缝防水材料主要采用遇水膨胀橡胶条和双胶圈橡胶条,但相应的计算分析方法研究还不充分,无法为防水设计提供试验和理论依据。特别是在满足不均匀沉降、长期防水和耐久性等方面,仍然需要做进一步研究和工程实践。

3)预制拼装综合管廊作为一种浅埋地下结构,受地震威胁较大,但目前关于综合管廊抗震性能的研究以现浇结构为主,对于预制拼装综合管廊的抗震性能还缺乏深入了解,包括整体的地震响应特点、连接接缝地震损伤机理和抗震设计方法等方面仍需要开展进一步的研究。MET

参考文献:

- [1] 王恒栋,薛伟辰.综合管廊工程理论与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2013:3-10.
- [2] 张锴生.小窑湾国际商务区综合管廊工程设计分析[D].大连:大连理工大学,2014.
- [3] 雷升祥.综合管廊和管廊盾构[M].北京:中国铁道出版社,2015:21-26.
- [4] 曹生龙.开发研制用于市政综合管廊的新型混凝土涵管——为建设“美丽中国”助力[J].混凝土与水泥制品,2013(4):21-28.
- [5] 曹生龙.应用预制混凝土箱涵建设地下综合管廊的优点[A]//东北地区首届城市地下综合管廊技术高峰论坛会议资料汇编[C].沈阳,2016.
- [6] 黄剑.预制拼装综合管廊研究和建设进展[J].特种结构,2018,35(1):1-11.
- [7] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,等.城市综合管廊工程技术规范:GB 50838-2015[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [8] 彭鹏.世博会园区预制综合管沟拼装施工技术[J].城市道桥与防洪,2010(1):98-99.
- [9] 叶志光.厦门集美新城共同沟预制拼装施工方法[J].建材发展导向,2013,11(3):325-326.
- [10] 高政.厦门市湖边水库市政共同沟设计[J].给水排水,2010,36(10):116-119.
- [11] 姚怡文,蒋理华,范益群.地下空间结构预制拼装技术综述[J].城市道桥与防洪,2012(9):286-292.
- [12] 薛伟辰,胡翔.一种半刚性连接的预制拼装综合管廊:中国,CN 102345297 A[P].2012-02-08.
- [13] 罗海兵,李有新.西大堤管线共同沟工程方案设计分析[J].中国市政工程,1997(4):46-50.

- [14] 叶战军. 杭州市城站广场综合管廊设计[J]. 中国市政工程, 2001(4):61-62.
- [15] 张红辉. 上海市嘉定区安亭新镇共同沟工程设计[J]. 给水排水, 2003, 29(12):7-10.
- [16] 刘文钧. 东郊宾馆管线共同沟设计[J]. 上海建设科技, 2005(6):9-11.
- [17] 刘利, 林永恒, 丛丹丹. 青岛高新区综合管沟的设计[J]. 城市道桥与防洪, 2009(8):224-227.
- [18] 陈卓如. 深圳光侨路共同沟工程设计[J]. 市政技术, 2011, 29(1):66-69.
- [19] 杨先华. 广州亚运城综合管廊结构设计综述[J]. 市政技术, 2012, 30(5):71-73.
- [20] 武迪, 高雷. 南京市浦口区临江路综合管廊设计要点探讨[J]. 给水排水, 2013, 39(6):104-107.
- [21] 姚枝良. 石家庄正定新区隆兴大道综合管廊设计[J]. 中国市政工程, 2014(3):49-51.
- [22] 吴晓庚. 大型隧道与综合管廊一体化建设应用实例[J]. 中国市政工程, 2015(4):88-90.
- [23] 范翔. 城市综合管廊工程重要节点设计探讨[J]. 给水排水, 2016, 42(1):117-122.
- [24] 孙玉品, 荣哲. 城市综合管廊的设计研究[J]. 工业建筑, 2013(Sup1):77-79.
- [25] 荣哲, 孙玉品. 城市综合管廊设计与计算[J]. 工业建筑, 2013(Sup1):230-232.
- [26] 周志刚. 某综合管廊受力性能分析[J]. 低温建筑技术, 2012(5):61-62.
- [27] Il'ICHEV V A, NIKIFOROVA N S, TUPIKOV M M. Deformation of soil masses during construction of shallow utility tunnels[J]. Soil mechanics and foundation engineering, 2011, 48(3):94-104.
- [28] 荣哲. 预制混凝土综合管廊设计浅谈[J]. 工业建筑, 2017(Sup1):3.
- [29] 胡翔, 薛伟辰. 预制预应力综合管廊受力性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2010(5):29-37.
- [30] 陈智强, 孔祥臣, 胡翔, 等. 预制预应力综合管廊接头设计计算方法研究[J]. 力学与实践, 2011, 33(4):42-46.
- [31] 陈晓理, 刘彧. 821BF 遇水膨胀橡胶在地下工程中的应用[J]. 铁道建筑技术, 1998(Sup):506-512.
- [32] 陆明. 大型排污沉管隧道管段接头防水研究[D]. 上海: 同济大学, 2004.
- [33] CHARLTON D J, YANG J, TEH K K. A review of methods to characterize rubber elastic behavior for use in finite element analysis[J]. Rubber chemistry and technology, 1994, 67(3):481-503.
- [34] 樊庆功, 方卫民, 苏许斌. 盾构隧道遇水膨胀橡胶密封垫止水性能试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2002, 22(4):335-338.
- [35] 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(1):109-113.
- [36] 孔祥臣. 预制拼装综合管廊接头防水性能研究[J]. 中国建设信息, 2012(11):50-51.
- [37] 张移生, 张建祥. 新型预制管件抗渗检验接口及使用该接口的抗渗性能检测方法: 中国, CN 202580450 U[P]. 2010-01-15.
- [38] 焦勇强, 史长城, 索告. 整体预制拼装式综合管廊接头形式与防水构造探讨[J]. 混凝土与水泥制品, 2018(3):35-38.
- [39] 叶飞. 管道共同沟结构体系地震反应分析[D]. 北京: 中国地震局工程力学研究所, 2014.
- [40] 全深. 共同沟结构体系抗震性能分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- [41] 岳庆霞, 李杰. 近似 Rayleigh 地震波作用下地下综合管廊响应分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2008, 28(4):409-416.
- [42] 蒋录珍, 陈隽, 李杰. 非一致地震激励地下综合管廊振动台模型试验研究(Ⅲ)——数值模拟[J]. 地震工程与工程振动, 2010, 30(3):45-52.
- [43] 张建兵, 韩懿, 张旭滨, 等. 长沙市老城区综合管廊工程入廊管线及穿越节点设计[J]. 中国给水排水, 2017(14):43-46.
- [44] 蒋录珍, 陈隽, 李杰. 非一致激励下综合管廊振动台试验的数值模拟[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2008(4):203-206.
- [45] 岳庆霞, 李杰. 地下综合管廊地震响应研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2009, 37(3):285-290.
- [46] JIANG L, CHEN J, LI J. Seismic response of underground utility tunnels: shaking table testing and FEM analysis[J]. Earthquake engineering and engineering vibration, 2010, 9(4):555-567.
- [47] 史晓军, 陈隽, 李杰. 非一致地震激励地下综合管廊振动台模型试验研究(Ⅰ)——试验方法[J]. 地震工程与工程振动, 2010, 30(1):147-154.
- [48] 陈隽, 史晓军, 李杰. 非一致地震激励地下综合管廊振动台模型试验研究(Ⅱ)——试验结果[J]. 地震工程与工程振动, 2010, 30(2):123-130.
- [49] 岳庆霞, 李杰. 非一致随机地震激励下综合管廊响应分析[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(9):133-136.
- [50] CHEN J, JIANG L, LI J, et al. Numerical simulation of shaking table test on utility tunnel under non-uniform earthquake excitation[J]. Tunneling and underground space technology, 2012, 30:205-216.
- [51] 汤爱平, 李志强, 冯瑞成, 等. 共同沟结构体系振动台模型试验与分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(6):1-5.
- [52] 由浩宇. 共同沟管道隔震分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.

收稿日期: 2018-06-27

基金项目: 福建省教育厅科技项目(JAT170773)和厦门市建设局科技项目(XJK2017-1-5)联合资助

作者简介: 李嘉维, 女, 讲师, 硕士, 主要从事桥梁结构检测和评估、抗震性能评价等研究和教学工作。