

装配式混凝土结构综合管廊桥设计

顾保贵

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 基于某工程实例,提出了装配式混凝土综合管廊桥的结构形式。针对其受力特点并考虑施工要求,在综合管廊的基础上进行了断面调整,衍生出此次综合管廊桥设计断面。从有限元实体单元分析出发,着重研究了装配式混凝土综合管廊桥的屈曲稳定及受力性能,并进行了结构的纵横向计算。结合该工程给出了一些设计建议,研究结论和建议可为类似工程的设计提供参考。

关键词: 装配式;混凝土;综合管廊桥;工字梁;有限元分析

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)02-0065-04

0 引言

城市综合管廊是建于城市地下用于容纳两类及以上城市工程管线的构筑物及附属设施^[1],是城市基础建设的重要组成部分。城市综合管廊作为城市现代化、科技化、集约化的标志,近年来得到广泛关注和发展。

综合管廊沿线常遇到各种障碍设施,一般会采用倒虹的方式予以通过,但如碰到重要的现状地下管线或深沟、河谷等,采用倒虹方式则会造成管廊埋深大、施工难度高、经济性较差,此时采用架空式综合管廊桥则更为合理。

对于综合管廊桥,目前一般采用钢桁架结构形式,其结构受力明确,设计方法与常规桥梁类似,但钢桁架结构对防腐性要求较高,而防腐涂层的保护年限一般为10~20 a,与综合管廊工程100 a的结构设计使用年限不匹配,势必会增加后期管理养护的难度。另外一种较少采用的则为混凝土结构形式的综合管廊桥,其与接线段的地下管廊在断面上衔接顺畅,封闭轮廓能隔绝外界不确定因素干扰,对后期管养要求不高。

国内对混凝土综合管廊桥的结构设计方面研究较少,相关文献^[2]对某架空式综合管廊桥进行了设计,但对结构受力未深入分析,计算深度稍显不足。结合某工程实例,对混凝土综合管廊桥的结构设计展开研究,对其提出了一些设计建议,供类似工程参考借鉴。

收稿日期:2020-06-22

作者简介:顾保贵(1987—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

1 工程概况

某综合管廊工程采用三舱断面形式,燃气舱、电力舱和综合舱净宽分别为1.7 m、2.2 m和3.2 m,外壁板厚0.4 m,内壁板厚0.3 m,总宽8.5 m。舱室净高3.4 m,顶底板厚0.4 m,总高4.2 m。标准横断面如图1所示。

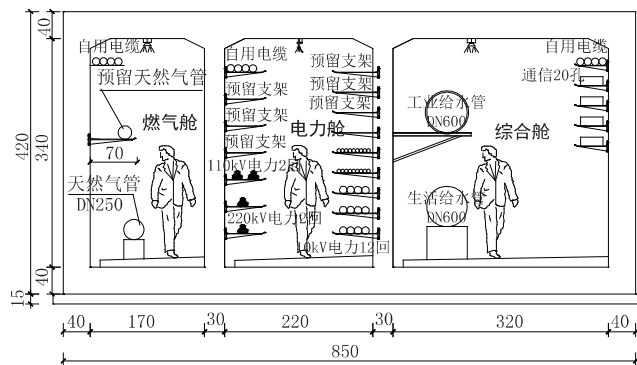


图1 综合管廊标准横断面(单位:cm)

综合管廊工程沿线需穿越中缅石油管道和天然气管道,石油管道管径813 mm,天然气管道管径1 016 mm,两管道中心间距约为12.6 m,平面上与管廊中心线呈81.7°交叉。经过与管道权属部门的沟通和征询,确定采用综合管廊桥的形式进行跨越。

根据相关法律及规程^[3]要求,结合管道权属部门的批复文件,此次综合管廊桥设计时主要考虑以下因素:

(1)桥下净高在满足结构安全的前提下,最大限度予以保留,以方便后期管道检修和维护。

(2)管廊桥承台基础与管道水平间距不小于5 m。

(3)在管道两侧各5 m范围内,施工期间禁止取土、堆放重物 and 停靠起重设施。

综上,综合管廊桥跨径定为单跨 30 m,具体布置如图 2 所示。

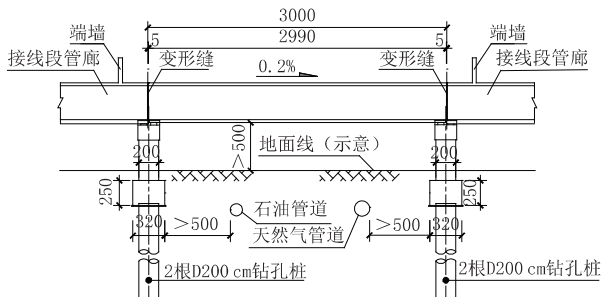


图 2 桥型布置图(单位:cm)

由于管道两侧一定范围内不允许堆放重物,少支架整体现浇的施工方案不可行,且考虑到综合管廊结构整体重量达到了 912 t,起吊难度大、施工风险高,该工程最终采用了装配式施工方法,以保证施工安全。

2 综合管廊桥结构断面设计

2.1 综合管廊断面与桥梁箱形断面对比

综合管廊结构与桥梁单箱多室的箱形截面存在诸多类似,但又有所不同。针对该工程,另外选取了某 30 m 简支现浇箱梁桥,对两者的主要结构尺寸及构造进行了对比,见表 1。

表 1 综合管廊与现浇箱梁对比

结构尺寸及构造	综合管廊	现浇箱梁
结构梁高 /cm	420	160
顶板厚度 /cm	40	25
底板厚度 /cm	40	25
腹板宽度 /cm	边腹板 40 中腹板 30	跨中 35 支点 55
是否设置横梁或横隔板	无	有

从表 1 可以看出,综合管廊若要成为桥梁结构,需重点考虑以下问题:

(1)综合管廊的结构梁高较大,而腹板宽度相对较小,特别是中腹板处,承托之间的腹板高度与宽度之比达到了 11 倍,因此腹板稳定性是首先需解决的问题。

(2)综合管廊由于内部管线布置及检修需要,不宜在箱内设置整片横梁。桥梁横梁的作用主要是加强各片梁体的横桥向联系,保证在荷载作用下各片梁体能共同受力。考虑到综合管廊桥主要受自重等恒载作用,各片梁体受力差别较小,当每片梁的端部均设置支座时,其受力实际上接近于单梁受力,存在不设置横梁的可能,但需通过计算定量分析予以验证。

2.2 结构断面优化

该工程采用装配式施工方法,为施工方便,在保证综合管廊各舱室内部净空不变的前提下,对结构断面进行了适当优化,具体调整如下:

- (1)适当减小了顶底板厚度,减轻吊装重量。
- (2)结构腹板高度较大,为保证腹板混凝土浇筑振捣密实,以及梁端预应力钢束锚具和张拉空间要求,将腹板厚度统一调整为 35 cm。
- (3)为增强单片梁的腹板稳定性,腹板与顶底板之间均设置加腋,将边梁外形调整与中梁一致。

通过上述措施,将综合管廊桥转化成四片相同的工字梁,采用预制场地分片制作、现场吊装后进行横向拼接的方法,从而实现了装配化施工(见图 3)。

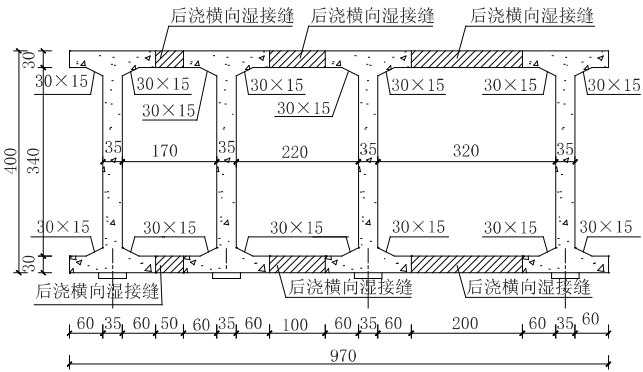


图 3 综合管廊桥支点横断面(单位:cm)

3 综合管廊桥的有限元计算分析

该工程针对 2.1 节中提出的两点问题,采用 Midas FEA 有限元软件建立全桥实体模型,考虑作用包括结构自重、二期恒载(管线、支架等)、预应力、梯度温度(见图 4)。施工阶段模拟了以下四个阶段:

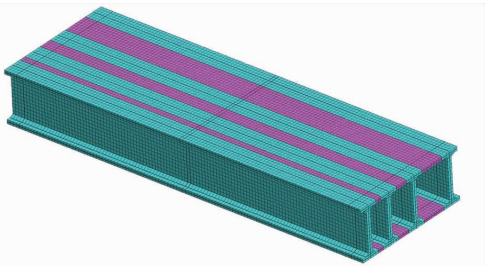


图 4 实体单元计算模型

- CS1:工字梁梁体预制,张拉预应力钢束。
- CS2:横向湿接缝施工,形成整体。
- CS3:二期恒载施工。
- CS4:成桥阶段。

3.1 屈曲分析

屈曲分析主要用于研究结构在特定荷载下的稳定性,可得到结构的临界荷载系数和对应的屈曲模态。

通过对结构各个施工阶段的屈曲分析,对比后得知,预应力张拉完成后横向湿接缝尚未参与受力时是结构稳定性最不利阶段,对应的第一阶屈曲失稳临界荷载系数为 30.44,结构的稳定性良好。屈曲模态如图 5 所示,表现为腹板顶层横向失稳。

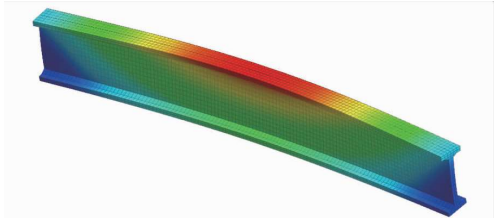


图 5 单片梁第一阶屈曲模态

事实上结构稳定性受到很多因素影响,如腹板宽度 b 、顶底翼缘板宽度 B 、梁高 H 和跨径 L 等。在上述分析的基础上做一定的延伸探讨,在该工程梁高和跨径确定的前提下,分别研究梁体腹板宽度和顶底翼缘板宽度对其稳定性的影响,结果见表 2。

表 2 不同结构参数下单梁稳定性分析

构造尺寸常量	腹板宽 /m	临界荷载系数	单梁自重 /kN
$H=4\text{ m}$ $L=30\text{ m}$ $B=1.55\text{ m}$	0.2	18.81	1 322
	0.25	23.12	1 454
	0.3	26.98	1 586
	0.35	30.44	1 718
	0.4	34.00	1 850
	0.45	37.67	1 982
	0.5	41.50	2 115
$H=4\text{ m}$ $L=30\text{ m}$ $B=0.35\text{ m}$	0.55	45.51	2 247
	1.25	22.83	1 577
	1.35	25.26	1 624
	1.45	27.80	1 671
	1.55	30.44	1 718
	1.65	33.19	1 765
	1.75	36.01	1 811
$H=4\text{ m}$ $L=30\text{ m}$ $B=0.35\text{ m}$	1.85	38.91	1 858
	1.95	41.88	1 905

通过分析表 2 可以得出以下结论:

- (1) 腹板宽度和顶底板宽度对单梁稳定性影响很大,增加腹板宽度或顶底板宽度可显著提高单梁屈曲失稳临界荷载系数。
- (2) 在吊装重量(单梁自重)一样的情况下,增加顶底翼缘板宽度对提高单梁屈曲失稳临界荷载系数更为有效。

3.2 工字梁的受力分析

选取跨中断面,四片工字梁在各个施工阶段的正应力分布情况如图 6~ 图 9 所示。

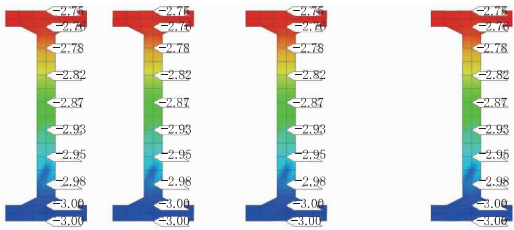


图 6 截面正应力分布(CS1)(单位:MPa)

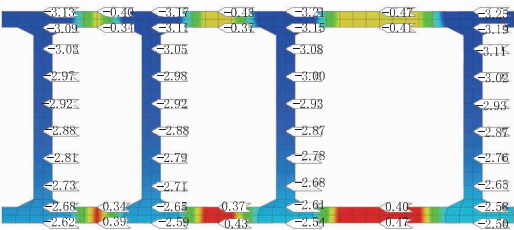


图 7 截面正应力分布(CS2)(单位:MPa)

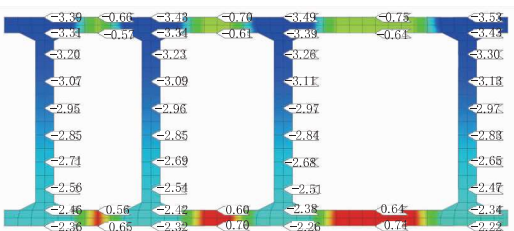


图 8 截面正应力分布(CS3)(单位:MPa)

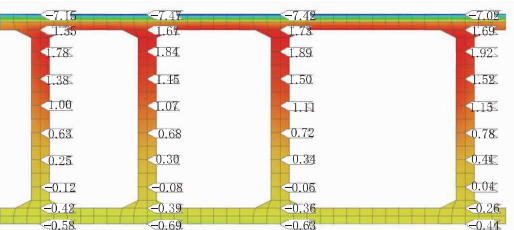


图 9 截面正应力分布(梯度升温工况)(单位:MPa)

从图 6 可知,在横向拼接之前,四片工字梁均为单梁受力形态,应力无差别。通过施加预应力,工字梁截面已有一定的压应力储备。图 7~ 图 9 显示,横向拼接完成后,同一高度上各片工字梁的应力有一定的差异,最大差别在 0.45 MPa,整体上四片工字梁受力区别不大。后浇湿接缝也会参与纵向受力,呈现顶板湿接缝受压、底板湿接缝受拉的状态。

4 结构计算

4.1 纵向计算

根据前述结论,各片梁体受力基本一致,故可采用梁单元近似分析。利用 Midas Civil 软件建立全桥模型,通过施工阶段联合截面来模拟湿接缝施工前后截面的变化(见图 10)。

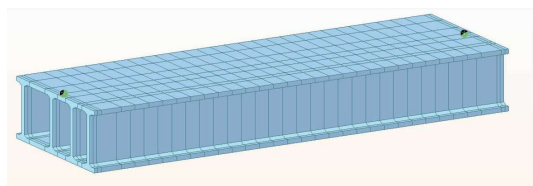


图 10 梁单元纵向计算模型

梁单元模型和实体单元模型的正应力结果罗列于表 3。

表 3 梁单元模型和实体单元模型的正应力结果 单位: MPa

施工阶段或荷载	位置	梁单元模型	实体单元模型
CS1	截面上缘	-2.74	-2.75
	截面下缘	-3.02	-3.01
CS2	截面上缘	-3.19	-3.23~-3.12
	截面下缘	-2.57	-2.65~-2.54
CS3	截面上缘	-3.46	-3.50~-3.36
	截面下缘	-2.29	-2.40~-2.26
梯度升温	截面上缘	-7.15	-7.02~-7.47
	截面下缘	-0.54	-0.44~-0.69

注:表中正应力数值拉为正,压为负。

从表 3 可以看出,两种模型的正应力计算结果差别不大,实体单元由于可以考虑正应力沿横桥向的不均匀分布,其计算结果较为精确,但实体模型建模稍显复杂,且不利于按照规范进行相应验算。梁单元模型虽然计算结果稍显粗糙,但在可接受的误差范围内,更适合工程应用,因此可采用梁单元模型进行综合管廊桥的纵向计算,按规范^[4]分别对其承载能力极限状态和正常使用极限状态进行验算,此处不再细述。

4.2 横向计算

横向计算按照框架进行模拟,将各种管线荷载按照其实际大小和位置施加于对应的单元节点,计算模型如图 11 所示。

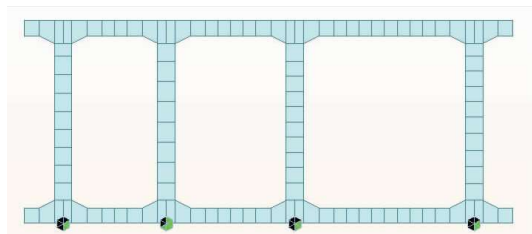


图 11 横向计算模型

横向计算类似于箱形截面桥梁桥面板的验算,由于综合管廊桥主要受恒载作用,不像桥梁还需承受车辆荷载,其计算较为简单明确,且各舱室宽度不大,一般不控制设计。横向可按普通钢筋混凝土构件

进行顶底板及腹板的配筋设计,此处也不再赘述。

5 细节设计

以上内容主要针对综合管廊桥的结构设计,而细节设计往往对其施工及建成后的使用功能有直接影响,应引起足够重视。结合该工程,设计提出以下几点建议:

(1)防排水设计。综合管廊桥的顶面应设置一定的纵横坡以方便雨水迅速排出,边梁顶板外侧翼缘下方可设置滴水槽以减轻雨水对结构的侵蚀,同时综合管廊桥应设防水层阻止水流渗入结构。

(2)变形缝设计。综合管廊桥和接线段管廊之间需留缝处理,缝宽可根据计算需要确定。变形缝的样式可参照建筑结构屋面变形缝和外墙变形缝进行设计,需注意变形缝的防水要求。

(3)综合管廊桥和接线段管廊由于基础形式不一,需考虑两种结构的不均匀沉降,采取合理措施,避免过大沉降差造成内部管道损坏。

(4)梁体腹板内的预应力钢束线形应考虑支架预埋件的影响,避免钢束直线段与支架预埋件在同一高度上的情况。

(5)工字梁在预制、运输、起吊过程中,应注意保持梁体的横向稳定,防止倾覆。架设后应采取有效措施加强横向临时支撑,并及时焊接湿接缝钢筋,以增加梁体的稳定性和整体性。

6 结 语

综合管廊桥可有效解决特殊情况下管廊跨越障碍物的问题。装配式综合管廊桥结构形式新颖,相比于整体现浇施工,其无须搭设支架,避免了对现有管线的影响;相比于整体预制吊装,其吊装体积、质量大幅度减小,施工安全性得到保障。

经过分析,装配式综合管廊桥的稳定性良好,受力较为明确。装配式综合管廊桥具有一定的应用前景,目前国内尚不多见,如何更加合理设计还需在工程实践应用中不断完善解决。

参考文献:

- [1] GB 50838—2015,城市综合管廊工程技术规范[S].
- [2] 徐硕,刘勇,孙磊,等.架空式综合管廊桥设计[C]//中国土木工程学会.中国土木工程学会 2019 年学术年会论文集.北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [3] Q/SY GD 0008—2011,油气管道管理与维护规程[S].
- [4] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].