

寒冷地区中等跨径连续钢箱梁桥设计分析

聂玉东¹, 张静元¹, 王瑞琪²

(1.黑龙江省公路勘察设计院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2.内蒙古大学 生态与环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010040)

摘 要: 针对寒冷地区中等跨径连续钢箱梁桥, 分别按 7.5 cm 沥青混凝土铺装方案和 10 cm 水泥混凝土 + 10 cm 沥青混凝土组合铺装方案进行设计, 分析钢箱梁用钢量指标随桥梁跨径、箱梁梁高的变化规律; 研究寒冷地区钢箱梁桥采用组合铺装后, 钢箱梁用钢量指标变化情况, 以为寒冷地区中等跨径钢箱梁桥的设计提供参考。

关键词: 钢箱梁; 用钢量指标; 板件厚度; 组合铺装; 跨高比

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)06-0056-03

0 引言

我国南方省份温差较小, 钢桥桥面铺装普遍采用沥青混凝土桥面铺装方案。北方寒冷地区温差较大, 钢桥桥面铺装若采用沥青混凝土方案, 其与钢桥面的结合耐久性差; 若采用先铺筑防水混凝土, 再铺筑沥青混凝土的组合铺装方案, 则可能存在因荷载增大导致的钢梁用钢量增加问题^[1]。另外, 钢桥设计时采用经济梁高可以减少钢材用量, 节约材料费用。因此, 设计时对钢桥用钢量进行分析, 确定钢桥经济梁高至关重要。

本文按钢箱梁各板件均采用符合规范要求的最小板厚的设计原则, 对寒冷地区 4×30 m、 4×40 m 和 4×50 m 连续钢箱梁进行设计, 设计桥宽为 13.25 m; 桥面铺装采用 2 种方案, 分别为 7.5 cm 沥青混凝土铺装方案和 10 cm 水泥混凝土 + 10 cm 沥青混凝土的组合铺装方案, 以便分析 2 种铺装方案钢箱梁桥的经济梁高及用钢量变化情况, 从而为寒冷地区中等跨径钢箱梁桥的结构设计及桥面铺装方案的确定提供参考。

1 钢箱梁截面轮廓尺寸的确定

1.1 翼缘宽度

对 30 ~ 50 m 跨径钢箱连续梁, 截面单箱宽度在 2.0 m 左右时接近全宽有效, 截面较为经济, 受力性能也较好。另外, 钢箱梁截面悬臂翼缘宽度一般情况下取 1.0 ~ 2.5 m, 且左右翼缘板宽度对称。综合考虑, 本文钢箱梁采用双箱单室截面, 单箱宽度取 2.1 m,

外侧悬臂翼缘宽度取 2.2 m, 内侧腹板相距 4.65 m。

1.2 梁高

连续钢箱梁的经济梁高一般为 $L/30 \sim L/20$ (L 为跨径)^[2]。本文选择梁高 l 分别为 $L/25$ 、 $L/20$ 、 $L/15$ 进行研究分析, 具体为 1.2 m、1.5 m、2.0 m (跨径 30 m 时); 1.6 m、2.0 m、2.7 m (跨径 40 m 时); 2.0 m、2.5 m、3.3 m (跨径 50 m 时)。

1.3 顶、底板 U 肋

钢箱梁的顶、底板加劲肋均采用 U 形加劲肋, 截面尺寸为: 梯形上开口宽度 300 mm, 下开口宽度 180 mm, 高度 260 mm, 厚度 8 mm。

1.4 横隔板间距

钢箱梁桥跨径为 30 ~ 50 m 时, 根据规范, 从经济性、安全性以及节段的划分等方面考虑, 横隔板间距拟定为 5 m。

本文 13.25 m 桥宽的连续钢箱梁横断面布置示意图见图 1。

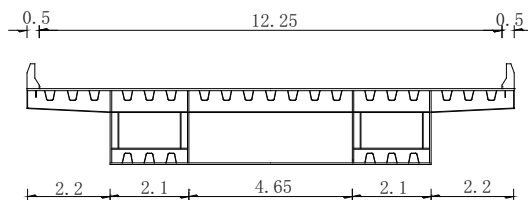


图1 横断面布置示意图(单位:m)

2 钢箱梁板件厚度的优化

将钢箱梁主梁划分为边支座、边跨间、中支座及中跨间 4 个标准梁段, 标准梁段的顶板、底板和腹板根据各自梁段的受力特性以及强度设计值来调整板厚设计值; 经过不断优化, 使钢箱梁各板件厚度的设计更加经济合理。

收稿日期: 2021-10-19

作者简介: 聂玉东(1968—), 男, 博士, 研究员级高级工程师, 从事桥梁设计理论研究工作。

2.1 计算参数和控制应力

钢箱梁采用 Q345E 钢材,钢材容重取 78.5 kN/m^3 ;桥面铺装材料为厚 7.5 cm 的沥青混凝土;钢箱梁的防撞护栏选择钢筋混凝土材料,每延米荷载为 10 kN ;汽车荷载采用公路 I 级;温度、支座变位等其他荷载按现行规范取值。

钢箱梁的顶板、底板和腹板的强度设计值采用《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)第 3.2.1 条中对应不同厚度的钢材抗压、抗拉和抗剪强度设计值^[3]。由于顶板直接受到车轮荷载的作用,考虑到第二体系应力,顶板的强度设计值再减去 50 MPa 作为安全富余量。

2.2 钢箱梁板件厚度确定

箱梁顶板厚度变化不大,一般为 14 mm ,底板与腹板厚度则随着跨径 L 的不同有变化。不同跨径箱梁底板、腹板厚度表见表 1、表 2^[4]。由表 1、表 2 可知,随着跨径的减小或梁高的增大,底板厚度及腹板厚度一般均减小,减小到构造厚度(8 mm 或 10 mm)时则不再变化。

表 1 不同跨径箱梁底板厚度表 单位:mm

跨径 /m	跨间梁段			支座梁段		
	$L/25$	$L/20$	$L/15$	$L/25$	$L/20$	$L/15$
30	14	10	8	16	12	8
40	18	12	10	18	14	10
50	20	14	10	24	16	10

表 2 不同跨径箱梁腹板厚度表 单位:mm

跨径 /m	跨间梁段			支座梁段		
	$L/25$	$L/20$	$L/15$	$L/25$	$L/20$	$L/15$
30	10	8	8	12	12	10
40	10	10	10	12	12	10
50	10	10	10	12	12	12

3 钢箱梁腹板加劲肋设计

钢箱梁腹板除了必须满足《公路钢结构桥梁设

计规范》中表 5.3.3 对纵、横向加劲肋最小厚度的要求,其余设计参数还必须满足该规范中式 5.3.3-1 ~ 式 5.3.3-6 的要求。通过计算,得到 $30\sim 50\text{ m}$ 跨径钢箱连续梁腹板加劲肋设置形式如下:

腹板横向加劲肋板厚 12 mm ,板宽 144 mm ,间距为 1.0 m 。

腹板纵向加劲肋板厚 10 mm ,板宽 120 mm ,设置在腹板受压区。钢箱梁高在 2 m 以下时不设置;钢箱梁高在 $2\sim 3\text{ m}$ 时设置 1 道;钢箱梁高大于 3 m 时设置 2 道。

4 钢箱梁横隔板设计

钢箱梁横隔板间距 5.0 m ,分为端隔板、跨间隔板。端隔板在支座处设置,厚度 14 mm ,跨间隔板厚度 10 mm 。2 道横隔板间设置 1 道小横梁,小横梁按工字梁设计,梁长与桥梁全宽一致,工字梁腹板高 600 mm ,腹板厚度 10 mm ;翼缘板宽度 240 mm ,厚度 10 mm 。

5 用钢量计算

5.1 钢材用量与跨径、梁高关系

钢箱梁总用钢量与跨径、梁高的关系见表 3。

由表 3 可知:(1)钢箱梁的用钢量一般随着跨径的增大而增大;(2)钢箱梁的用钢量一般在跨高比 L/l 为 15 时最大,在跨高比 L/l 为 20 及 25 时基本相同;(3)钢箱梁跨高比为 20 时截面用钢量较小,跨径 30 m 、 40 m 、 50 m 连续钢箱梁用钢量指标为 289 kg/m^2 、 319 kg/m^2 、 347 kg/m^2 。

5.2 钢材用量组成分析

钢箱梁由顶板板件(包括顶板及其加劲肋,下同)、底板板件、腹板板件及横隔板板件组成^[5],表 4 为不同跨径、不同梁高下的钢箱梁各板件质量占比。由表 4 可知:当跨高比 L/l 为 20 时,钢箱梁顶板板件

表 3 钢箱梁用钢量表

跨径 L/m	梁高 l/m	跨高比 L/l	顶板 /kg	底板 /kg	腹板 /kg	横隔板 /kg	总合计 /kg	平米指标 $/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})$
30	1.2	25	279 076	85 973	56 003	45 202	466 253	293
	1.5	20	271 587	70 147	67 336	50 734	459 803	289
	2.0	15	271 587	62 234	84 994	59 954	478 769	301
40	1.6	25	372 101	129 401	103 210	68 874	673 587	318
	2.0	20	362 116	104 080	130 805	78 436	675 436	319
	2.7	15	362 116	93 529	168 282	95 168	719 095	339
50	2.0	25	477 608	178 895	164 003	96 918	917 424	346
	2.5	20	452 645	139 331	217 201	111 601	920 778	347
	3.3	15	452 645	116 912	278 633	135 095	983 284	371

的质量占整个箱梁质量的 49%~59%;底板板件的质量占整个箱梁质量的 15%;腹板板件的质量占整个箱梁质量的 15%~24%;横隔板板件的质量占整个箱梁质量的 11%~12%。

表 4 钢箱梁板件用钢量占比

跨径 <i>L</i> /m	梁高 <i>l</i> /m	跨高比 <i>L/l</i>	板件质量占比 /%			
			顶板	底板	腹板	横隔板
30	1.2	25	60	18	12	10
	1.5	20	59	15	15	11
	2.0	15	57	13	18	13
40	1.6	25	55	19	15	10
	2.0	20	54	15	19	12
	2.7	15	50	13	23	13
50	2.0	25	52	19	18	11
	2.5	20	49	15	24	12
	3.3	15	46	12	28	14

6 采用组合铺装钢箱梁用钢量的增量计算

6.1 内力增量计算

在北方寒冷地区,中等跨径钢桥桥面一般采用

10 cm 水泥混凝土 +10 cm 沥青混凝土的组合铺装方案^[6],这时桥面铺装重量较 7.5 cm 沥青混凝土铺装方案增加 3.1 kN/m²。经过内力计算和组合后发现,采用组合铺装方案后,30~50 m 跨径连续钢箱梁截面弯矩组合值较沥青混凝土铺装方案增加 22%~24%,剪力组合值增加 21%~28%^[7]。

6.2 用钢量计算

根据增加后的弯矩及剪力,按符合规范要求且用钢量最少的原则,对 4×30 m、4×40 m 和 4×50 m 连续钢箱梁进行再设计,得到总用钢量见表 5。由表 5 可知:采用组合铺装方案后,连续钢箱梁用钢量随跨径、梁高的变化规律与采用沥青混凝土铺装方案时相同。在钢箱梁跨高比 *L/l* 为 20 时,截面梁高为经济梁高,用钢量指标最小,跨径 30 m、40 m、50 m 钢箱梁的用钢量指标分别为 294 kg/m²,324 kg/m²,356 kg/m²。

6.3 用钢量的增加量计算

采用组合铺装后,由于荷载增大,导致钢箱梁用

表 5 组合铺装钢箱梁用钢量表

跨径 <i>L</i> /m	梁高 <i>l</i> /m	跨高比 <i>L/l</i>	顶板 /kg	底板 /kg	腹板 /kg	横隔板 /kg	总合计 /kg	平米指标 /(kg·m ⁻²)
30	1.2	25	286 565	97 842	62 919	45 202	492 527	310
	1.5	20	271 587	77 268	68 168	50 734	467 757	294
	2.0	15	271 587	62 234	88 467	59 954	482 241	303
40	1.6	25	382 087	148 391	113 747	68 874	713 099	336
	2.0	20	362 116	113 575	132 541	78 436	686 668	324
	2.7	15	362 116	93 529	170 626	95 168	721 439	340
50	2.0	25	490 090	210 546	175 084	96 918	972 638	367
	2.5	20	465 127	155 157	210 934	111 601	942 818	356
	3.3	15	452 645	116 912	278 633	135 095	983 284	371

钢量增加。将表 5 与表 4 对比可知:(1)当跨高比 *L/l* 为 15 时,采用组合铺装后,荷载增大,钢箱梁用钢量的增加量却很小,基本为零。这是由于钢箱梁梁高较大时,钢箱梁截面应力富余较大,即使荷载增大,钢箱梁截面应力也不超限,基本不用增加钢箱梁板件厚度;(2)采用组合铺装后,当跨高比 *L/l* 为 20 时,即经济梁高情况下,钢箱梁用钢量的增加量为 5~8 kg/m²,相对沥青混凝土桥面铺装,用钢量增加 2%左右;(3)采用组合铺装后,当跨高比 *L/l* 为 25 时,即梁高较小情况下,钢箱梁用钢量的增加量为 17~21 kg/m²,相对沥青混凝土桥面铺装,用钢量增加 6%左右。

7 结 语

(1)对中等跨径连续钢箱梁,随着跨径的减小

或梁高的增大,钢箱梁顶板厚度变化不大,一般为 14 mm,钢箱梁底板厚度及腹板厚度一般均减小,减小到构造厚度(8 mm 或 10 mm)时则不再变化。

(2)钢箱梁的用钢量一般随着跨径的增大而增大。

(3)采用组合铺装方案后,连续钢箱梁用钢量随跨径、梁高的变化规律与采用沥青混凝土铺装方案时相同。在钢箱梁跨高比为 20 时,截面梁高为经济梁高,用钢量指标最小,跨径 30 m、40 m、50 m 钢箱梁的用钢量指标分别为 294 kg/m²,324 kg/m²,356 kg/m²。

(4)当跨高比为 15 时,采用组合铺装后,荷载增大,钢箱梁用钢量的增加量很小,基本为零;当跨高比为 20 时,钢箱梁用钢量增加 2%左右;当跨高比为 25 时,钢箱梁用钢量增加 6%左右。

参考文献:

[1] 张春海,刘士强,孙景帅. 钢桥设计方法及应用的研究[J]. 中文科技

(下转第 62 页)

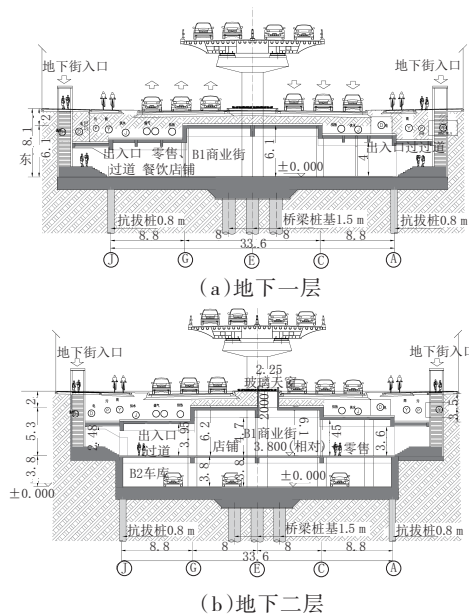


图9 桥梁与地下空间结合设计断面图

利用了北京盈建科软件进行了地下空间框架整体受力分析(如图10所示),通过适当加强桥梁桩基长度,由承载力控制的45 m加长至55 m,控制桥墩柱沉降,并适当加强底板及配筋,提高基础整体刚度,调节桥墩柱与其他柱之间的不均匀沉降。最终布置桥桩沉降约13 mm,与相邻柱间沉降差约4 mm,沉降差满足规范要求。柱网沉降分析图见图11。为满足沉降差要求,桥梁桩基虽然加长,但整体刚度提高桩基数量减少,桩基工程量为17 500 m³,较分离式只增加1.8%。

地下结构地板厚度为1.5 m,地勘报告揭示解放南路所处位置地下水位较浅,百年抗浮设计水位较高,除布置一般性工程桩以外,还需一定的抗浮桩,

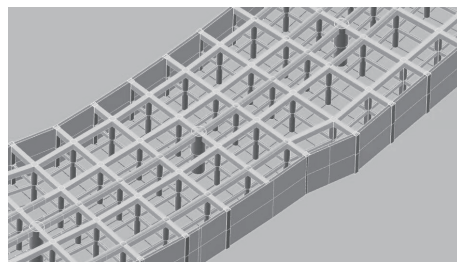


图10 空间柱网模型图

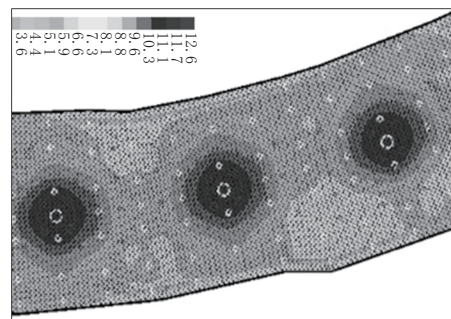


图11 柱网沉降分析图(单位:mm)

桩径均为0.8 m,桩长26 m,总桩数为692根,抗浮桩工程量9 000 m³,较分离式设计降低26.2%。

4 结 语

通过对太原市解放南路地面改造与地下空间的新建工程设计的探索与实践,结合高架桥与大南门地铁站至山西医科大学医院联络通道地下空间的一体化设计,对地下空间与桥梁结合设计的结构平面布置、基础共同受力计算等问题进行了设计论证,使地上地下不同建筑物较好地相互协调和有机融合,为研究和开发城市核心区地上地下空间资源,完善城市基础设施功能,提升城市品质提供了有益的参考。

(上接第58页)

- 期刊数据库(引文版)工程技术,2016(8):00295-00296.
- [2] 杨喆. 钢桥设计方法及应用的研究[D]. 西安:长安大学,2003.
- [3] 中交公路规划设计院有限公司. 公路钢结构桥梁设计规范[M]. 北京:人民交通出版社,2015.
- [4] 黄震伟. 中等跨径连续钢箱梁桥上部结构的标准化设计技术研究[D]. 南京:南京工业大学,2016.

- [5] 吴冲. 现代钢桥·上册[M]. 北京:人民交通出版社,2006.
- [6] 杨进,叶奋,贾晓阳. 大跨度钢桥面沥青面层铺装研究[J]. 城市道桥与防洪,2007(4):110-112.
- [7] 王桂鹏. 严寒地区正交异性钢箱梁桥面铺装的设计[J]. 工程技术(文摘版),2015,42:239.