

路泽太高架钢板梁桥现场连接方案比选研究

邹正其, 陈宏俊

(中交第一公路勘察设计院有限公司, 陕西 西安 710075)

摘要: 钢结构桥梁在中国的应用前景广阔, 钢混组合钢板梁桥又是最普遍的结构形式, 该文以路泽太高架快速路示范工程的钢板梁桥现场连接方案为研究对象, 介绍各连接方案的受力计算过程, 综合考虑了造价、施工、现场质量管理等综合因素, 提出了推荐的连接方式: 采用等强度连接顶板焊接、腹板和底板栓接的方案。

关键词: 钢板梁桥; 螺栓; 焊接; 连接; 比选

随着中国钢铁产能的提高和钢结构桥梁建设技术的进步, 已经具备推广钢结构桥梁的物质基础和技术条件, 是推进钢结构桥梁建设、提升公路桥梁建设品质的良好时机。

钢结构桥梁上部结构主要包括钢桁梁、钢箱梁和钢混组合梁三大类。钢桁梁在特大跨径桥梁中应用占优; 钢箱梁结构自重相对较轻, 横向稳定性好, 但结构受力、维修养护、桥面板疲劳等问题仍需要进一步研究改进。钢混组合梁结构综合了钢材和混凝土的各自优势, 在中等跨径桥梁中应用优势明显。

钢板梁桥是最为常见、应用最广泛的钢混组合梁桥。欧美等发达国家对于组合钢板梁桥积累了大量的研究与工程实践, 在桥梁建设中得到广泛应用, 以法国为例, 近些年建造的公路组合桥梁约90%为组合钢板梁。

该文以交通运输部钢结构典型示范工程——台州路泽太高架快速路项目中的一座钢板梁桥为研究载体, 对该桥现场连接方案进行分析对比, 以得到最佳的钢板梁桥连接方式。

1 桥梁上部结构形式与组成

研究桥梁为 5×35 m连续梁结构, 荷载等级为公路—Ⅰ级, 设计采用钢混组合形式的钢板梁桥, 下部结构施工完成后, 在工厂将节段加工好, 现场完成连接, 桥面板施工采用预制和现场部分现浇相结合, 最后完成桥梁的附属设施。上部结构主梁和横梁在平面上形成格子状, 主梁、横梁均采用焊接组合截面工字梁。

钢主梁在预制工厂采用数控设备进行切割、加工、焊接、拼装相应的节段, 然后将主梁节段运至施工现场临时存放, 采用钢梁吊装的施工方法进行桥梁架设。该桥横桥向单幅桥设计采用4片主梁, 2片工型梁间的中横梁或者端横梁工厂焊接后组成一组进行安装, 组间的横梁现场连接。桥梁的现场连接工作主要是钢主梁的纵向拼接和组间横梁的横向连接。桥梁横断面见图1。

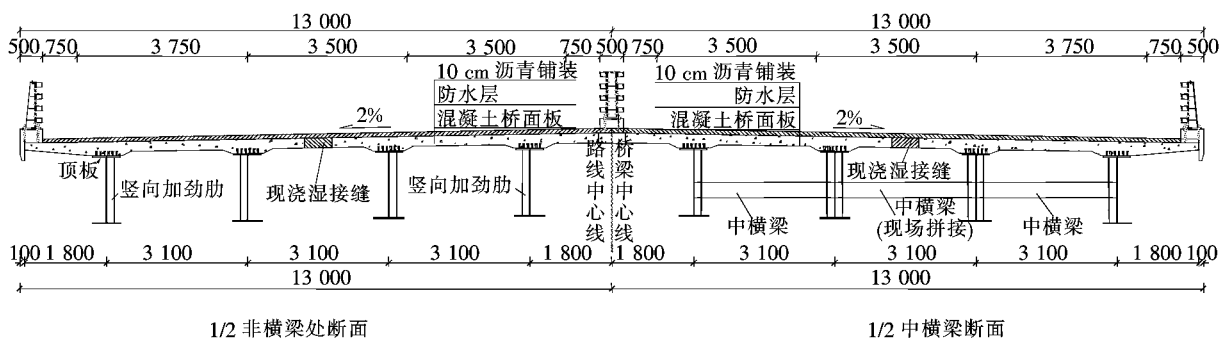


图1 桥梁标准横断面图(单位:mm)

收稿日期:2018-12-10(修改稿)

作者简介:邹正其,男,大学本科,高级工程师,E-mail:281872798@qq.com

在工厂加工组装完成的部分,连接部位自动化程度高,质量可靠,现场连接方案成为关注重点。连接方案主要有:全部栓接、全部焊接和栓焊结合 3 种,各种连接方案在设计、加工、安装、工程造价及现场质量管理等方面各有优缺点,在设计时应根据工程特点,选用合适的连接方式。

2 现场拼接的主要方案

焊接连接在设计上相对简单,根据设计条件拟定连接形式和焊缝质量等级要求等,再对焊缝连接强度进行验算即可。

螺栓连接设计相对复杂,按设计原则一般又分为:

① 钢梁拼接宜按等强度原则计算,拼接板的净截面面积不小于母板的净截面面积;② 按连接处最不利受力进行设计。桥梁钢主梁为主要受力构件,且承受动荷载,不宜采用高强螺栓承压型连接,因此未特别说明时,文中螺栓连接指摩擦型高强螺栓连接。

考虑到钢主梁与混凝土桥面板拼接处上翼缘板存在剪力钉,上翼缘连接如果采用栓接将导致剪力钉设置困难,且后续无法更换该处螺栓,同时,该处焊接为对接平焊,施工质量相对容易控制。故提出采用栓焊结合的连接方式:上翼缘焊接、腹板和下翼缘采用栓接,先进行腹板和下翼缘的栓接,后进行上翼缘焊接。

根据该典型桥梁工程的自身特点,设计考虑 4 种现场连接方案:① 方案 1:按等强度原则设计,截面全部螺栓连接;② 方案 2:按等强度原则设计,上翼缘焊接;腹板、下翼缘螺栓连接;③ 方案 3:按最不利内力设计,截面全部螺栓连接;④ 方案 4:按最不利内力设计,上翼缘焊接;腹板、下翼缘螺栓连接。

3 主要连接方案的设计计算

该桥钢板梁主梁间现场连接当采用焊接时均为对接焊,对接焊缝质量等级采用一级时,焊缝强度与母材相同,不需要进行专门连接验算;横梁横向连接采用角焊缝连接时,由于横向连接受力较小,连接强度验算不控制设计,因此该文对焊接连接的计算都做省略处理。

连接处的受力采用有限元计算,计算公式根据 GB 50017—2003《钢结构设计规范》中的相关规定采用。

3.1 方案 1 受力计算

下翼缘高强螺栓的数量按轴向力 $N=A_n f=28 \times$

$650 \times 270 / 1\,000 = 4\,914\text{ kN}$ 考虑,需求螺栓数量: $n=N/f_{tb}=4\,914/136.8=35.9$,实际布置 6 排,总数为 36 个。

上翼缘高强螺栓的数量按轴向力 $N=A_n f=20 \times 600 \times 270 / 1\,000 = 3\,240\text{ kN}$ 考虑,需求螺栓数量: $n=N/f_{tb}=3\,240/136.8=23.6$,实际布置 4 排,总数为 24 个。

因为组合结构,钢梁为拉弯或压弯构件,故腹板受拉弯或压弯受力,以上下翼缘板屈服为极限状态,以腹板受拉屈服为极限确定最大轴拉力 N_L ;以腹板边缘屈服确定纯弯弯矩 M_L ,实际极限受力为 N_L 和 M_L 的线性组合。分别按受拉屈服极限轴力 N_L 和腹板边缘纯弯弯矩 M_L 计算螺栓受力。当腹螺栓钉取 4 排 21 行时,极限剪力作用下螺栓剪力为 51.8 kN;极限轴力作用下螺栓剪力为 91.4 kN;极限弯矩作用下螺栓剪力为 90.3 kN。拉剪组合作用下螺栓剪力为 105.1 kN;弯剪组合作用下螺栓剪力为 104.1 kN。螺栓抗剪极限承载能力为 136.8 kN。故连接螺栓满足承载能力要求。考虑腹板上螺栓和翼缘上螺栓的受力协调,根据平截面假定,由翼缘螺栓极限承载能力推算腹板最不利螺栓极限承载能力为 122.7 kN。故此螺栓布置满足受力需要。

该方案的栓接构造如图 2 所示。

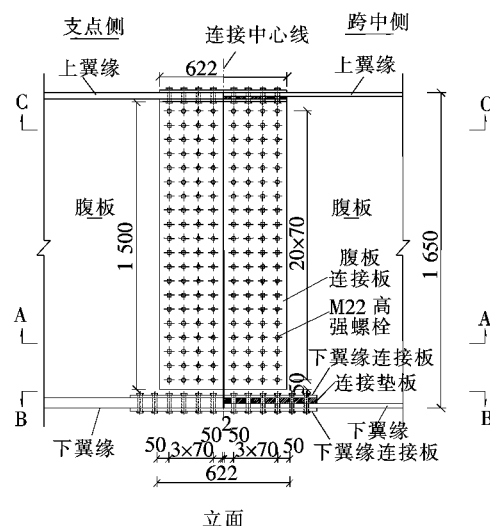


图 2 等强度、全栓接,主梁连接示意图(方案 1)(单位:cm)

方案 1 的主梁纵向连接工程材料数量见表 1。

2 片工型梁间焊接中横梁或端横梁后组成一组进行吊装,吊装后组间横梁现场栓接。该桥的桥面板设计为横向承重,主梁间的横梁为“小横梁”形式。中横梁的主要作用在于减少梁受压翼缘自由长度。中横梁

除应具有一定刚度外,尚应具有一定强度,将梁的受压翼缘视为轴心压杆按 GB 50017—2003《钢结构设计规范》第 5.1.7 条计算,采用倒 U 形模型,在钢梁下翼缘施加水平力,计算中横梁的内力,并作为螺栓连接设

计依据,考虑同向变形和反向变形两种工况。根据以上计算原则,容易求出横梁与横隔梁的连接所需要的螺栓数量,主要分析计算过程与纵向连接类似。

表 1 为方案 1 的中横梁连接工程材料数量。

表 1 一处主梁纵向、中横梁、横隔梁连接工程材料数量表(方案 1)

位置	项目	长/ mm	宽/ mm	厚/ mm	数量/ 个	单重/ kg	总重/ kg
主梁纵向	下翼缘连接板 1	902	240	14	2	23.79	47.58
	下翼缘连接板 2	902	574	14	1	56.90	56.90
	下翼缘垫板	450	240	31	2	26.28	52.56
	腹板连接板	1 500	622	10	2	73.24	146.48
	上翼缘连接板 1	622	240	10	2	11.72	23.44
	上翼缘连接板 2	622	574	10	1	28.03	28.03
	M22 螺栓				288		
	Q345						354.99
中横梁	翼缘连接板 1	342	90	8	4	1.93	7.72
	翼缘连接板 2	342	200	8	2	4.30	8.6
	腹板连接板	342	310	8	2	6.66	13.32
	M20 螺栓				32		
	Q345						29.64
	上翼缘连接板 1	342	180	8	2	3.87	7.74
横隔梁	上翼缘连接板 2	342	400	8	1	8.59	8.59
	腹板连接板	1 500	342	8	2	32.22	64.44
	下翼缘连接板 1	482	100	8	2	3.03	6.06
	下翼缘连接板 2	482	260	8	1	7.87	7.87
	M20 螺栓				88		
	Q345						80.77

中横隔梁、端横隔梁除约束钢主梁横向变形外,截面构造尺寸相对受力富余,故其连接处栓钉设计主要考虑刚度要求,按构造要求设置螺栓布置。

方案 1 的横隔梁连接工程数量亦示于表 1 中。

3.2 方案 2 受力计算

方案 2 的主梁腹板、下翼缘栓钉布置情况与方案 1 一致。焊缝和高强螺栓共用时,需要注意施工顺序,如果先施焊而后上紧螺栓,板层间有可能因焊接变形而产生缝隙,拧紧时不易达到需要的预拉力,如果先上紧螺栓而后施焊,高温可能使螺栓预拉力下降,一般情况是高强螺栓终拧、焊接、再复拧。

经计算,方案 2 的主梁纵向连接工程材料数量见表 2。限于篇幅,中横梁和横隔梁的数量表不再详细列出。

3.3 方案 3 受力计算

方案 3 的主梁上、下翼缘板螺栓以应力为控制条件,按轴向受力构件进行栓钉设计;腹板螺栓设计以钢梁设计内力为控制条件,按毛截面刚度计算分配到腹板的弯矩和轴力进行计算,上翼缘最不利应力 80 MPa。上翼缘高强螺栓的数量按轴向力 $N=A_n f=20 \times 600 \times 80 / 1\ 000=960\ \text{kN}$ 考虑,需求螺栓数量: $n=N / f_{cb}=960 / 136.8=7$,实际布置 2 排,总数为 12 个。下翼缘最不利应力 180 MPa,高强螺栓的数量按轴向力 $N=A_n f=25 \times 650 \times 180 / 1\ 000=2\ 925\ \text{kN}$ 考虑,需求螺栓数量: $n=N / f_{cb}=2\ 925 / 136.8=21.4$,实际布置 4 排,总数为 24 个。

腹板螺栓根据受力分析结果,采用了单侧布置 2 列,每列 15 行的布置,经验算符合受力计算要求。

表 3 为方案 3 主梁纵向连接工程材料数量。限于篇幅,中横梁和横隔梁的数量表不再详细列出。

表 2 一处主梁纵向连接工程材料数量表(方案 2)

项目	长/ mm	宽/ mm	厚/ mm	数量/ 个	单重/ kg	总重/ kg
下翼缘连接板 1	902	240	14	2	23.79	47.58
下翼缘连接板 2	902	574	14	1	56.9	56.9
下翼缘垫板	450	240	31	2	26.28	52.56
腹板连接板	1 500	622	10	2	73.24	146.48
M22 螺栓				240		
Q345						303.52

表 3 一处主梁纵向连接工程材料数量表(方案 3)

项目	长/ mm	宽/ mm	厚/ mm	数量/ 个	单重/ kg	总重/ kg
下翼缘连接板 1	622	240	14	2	16.41	32.82
下翼缘连接板 2	622	574	14	1	39.24	39.24
下翼缘垫板	310	240	31	2	18.11	36.22
腹板连接板	1 500	342	10	2	40.27	80.54
上翼缘连接板 1	342	240	10	2	6.44	12.88
上翼缘连接板 2	342	574	10	1	15.41	15.41
M22 螺栓				132		
Q345						217.11

3.4 方案 4 受力计算

该方案上翼缘焊接;腹板、下翼缘栓接构造同方案 3,工程数量减去上翼缘的螺栓数量即可。

4 不同方案的综合比选

4.1 造价对比

根据钢结构公路定额,结合预算编制办法,针对钢板梁栓接安装工艺,进行详细的测算,以该典型桥梁进行预算造价对比,结果见表 4。

表 4 典型桥梁连接方案造价对比

项目	造价/(元·m ⁻²)	比率
全断面焊接	5 443.300	1
方案 1	5 570.00	1.023 3
方案 2	5 557.02	1.020 9
方案 3	5 529.05	1.015 8
方案 4	5 516.24	1.013 4

4.2 施工对比

螺栓连接,若采用工厂制孔,工地拼装,对加工和安装精度要求较高,稍有偏差则无法安装;若采用工地现场制孔,可降低对加工和安装的精度要求,但现场施工速度慢,制孔精度低。螺栓连接现场施工质量容易控制,可进行标准化作业。在施工精度满足要求的前提下,工厂制孔,工地拼装可在保证施工质量的前提下,大大提高施工进度。

焊接对于钢结构的制造和安装精度要求相对较低,但现场焊接工作量较大,且焊接质量相差较大,易受外部因素(诸如天气、工人技术水平等)影响,进行标准化施工较为困难。

4.3 受力分析对比

采用焊接和等强度连接方案 1、2,在设计时,对连接方案专门进行设计后,均不降低连接处的强度。采用最不利受力控制连接的方案 3、4,在计算工况下均可以满足设计要求,但当出现超出结构受力的工况时,连接处将成为薄弱环节。

桥梁应变监测技术及应变数据解耦研究

张弛¹, 高震², 薛丽³

(1.基础设施安全监测与评估国家地方联合工程研究中心, 江西 南昌 330052;

2.山东科技大学 土木工程与建筑学院; 3.江西交通职业技术学院 路桥工程系)

摘要: 为了得到温度作用下桥梁主梁的应变变化, 基于振弦式应变计所采集的应变原始数据, 通过滑动平均的方法进行数据解耦。首先, 在上海市吴淞大桥主跨四等分截面安装振弦式应变计, 实时监测主梁的应变变化, 得到1个月内的原始数据; 其次, 提取温度升高时段的应变数据, 采用二次滑动平均法进行数据解耦; 最后, 通过回归分析, 比较滑动平均前后应变和温度的1阶线性拟合判定系数, 证明二次滑动平均法可提取由于车辆荷载导致的桥梁主梁应变变化。

关键词: 桥梁; 应变; 吴淞大桥; 数据解耦; 滑动平均

桥梁应变是衡量桥梁性能和损伤识别的重要指标, 目前常用的桥梁应变监测方法包括应变片、光纤光栅法、导电膜法、振弦式应变计等。振弦式应变计由于构造简单、性能稳定, 故而得到了广泛的应用。在以往的桥梁健康监测数据分析中, 加速度往往是被高频使用的数据类型, 而应变数据多用于分析结构的应变水平以及开裂情况。桥梁监测系统所采集的应变值可表

示为荷载、温度、混凝土收缩以及混凝土徐变叠加或耦合的结果。应变反映了结构在荷载作用下的局部受力状态, 是结构安全最为重要的度量指标之一。该文通过在上海吴淞大桥主跨四等分截面布设振弦式应变计, 实时监控桥梁主梁的受力状况, 并采用滑动平均法对采集到的应变数据进行解耦。

4.4 综合比选结论

根据以上造价、施工、受力等方面的分析对比, 钢结构现场连接方案各有利弊, 应根据项目情况进行综合比选。

在满足钢结构安装精度的前提下, 栓接方案可采用工厂制孔, 现场安装, 将使现场工作量大为降低、现场工程质量更加可控, 施工更加便捷, 结合对已完成的3个典型类比工程项目考察调研情况, 为了实现示范工程的“现场施工更快捷, 工程质量更加可控, 现场工作量尽量减少, 现场管理前场尽量后场化”的目标, 在投资预算相对充足、保通和施工质量要求较高的市政项目中推荐采用等强度连接顶板焊接、腹板及底板栓接方案。

5 结语

以路泽太高架快速路示范工程钢板组合梁桥钢结

构现场拼接方案为研究对象, 列举了不同的现场连接方案, 详细给出了不同连接的设计过程, 进行了造价、施工、受力的对比, 最后根据示范工程的总体要求, 推荐了等强度连接顶板焊接、腹板及底板栓接方案。

参考文献:

- [1] 交公路发[2016]115号.关于推进公路钢结构桥梁建设的指导意见[Z], 2016.
- [2] 周荣锋.推进公路钢结构桥梁建设正逢其时——《关于推进公路钢结构桥梁建设的指导意见》政策解读[Z], 2016.
- [3] 邵长宇.梁式组合结构桥梁[M].北京:建筑工业出版社, 2015.
- [4] 吴冲.现代钢桥[M].北京:人民交通出版社, 2006.
- [5] 翟宏峰, 毛英杰.钢结构现场连接方式优缺点比较[J].城市建设理论研究:电子版, 2012(20).
- [6] JGJ 82-2011 钢结构高强螺栓连接技术规程[S].
- [7] GB 50017-2003 钢结构设计规范[S].