

波形钢腹板箱梁桥在大跨径桥梁中的优势

张小亮

西安公路研究院有限公司 陕西 西安 710065

摘要：随着桥梁技术的发展，波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥作为一种新型的钢-混凝土组合结构，以其独特的结构特点和受力性能，实现了桥梁的轻型化，提高了结构稳定性、强度及材料的使用效率，降低了造价，受到众多桥梁设计者青睐。本文从波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥的结构特点、技术优势、经济优势、施工优势四方面进行了对比分析，总结了波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥的总体优势和应用前景，对同类型结构的研究和应用有重要的理论意义和工程应用价值。

关键词：波形钢腹板；箱梁；RW工法；悬臂施工

引言：预应力混凝土箱梁是现代中等跨径或大跨径梁式桥（跨径在25m~270m之间）的常用结构形式，具有抗弯、抗扭刚度大、行车平顺等特点，是目前应用最为广泛的一种桥梁结构形式。但长期以来的工程实践和应用现状也反映出预应力混凝土箱梁结构存在很多问题：（1）混凝土腹板裂缝。腹板裂缝影响结构整体受力性能和耐久性；（2）体内预应力索锈蚀。预应力孔道灌浆不密实、预应力筋锈蚀严重，导致主梁腹板开裂、结构承载力及耐久性下降，结构存在安全隐患；（3）恒载重量占比大；针对传统预应力混凝土箱梁存在的上述问题，桥梁界提出箱梁腹板采用波形钢板替代的设想。

1 特点

波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥是一种新型的钢-混凝土组合结构，以波形钢腹板代替传统混凝土腹板，混凝土顶底板抗弯、钢腹板抗剪，受力明确，这样既能充分利用钢与混凝土材料各自的优势，同时又有效地解决了混凝土桥梁腹板开裂的问题。同时，波形钢腹板组合箱梁桥与传统混凝土箱梁桥对比，大幅度减轻了上部结构的重量，也减少了下部结构的工程量，从而降低了造价，实现了桥梁的轻型化，提高了结构稳定性、强度及材料的使用效率。

外国知名学者经过结构技术、经济指标对比发现，波形钢腹板预应力混凝土箱梁在桥梁跨度较大时其优势更明显，单跨跨径超过80米，经济性能更为显著。桥梁界对波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥降低前期投资、增加结构耐久性与运营可靠性、缩减寿命周期成本给予了特别的关注，近年建成了近200座波形钢腹板预应力混凝土箱梁桥，结构跨径由小到大，最大跨径250m左右，桥梁结构由简支梁逐渐到连续梁、连续刚构、斜拉桥，应用场景由公路推广到铁路^[1]。如图1：

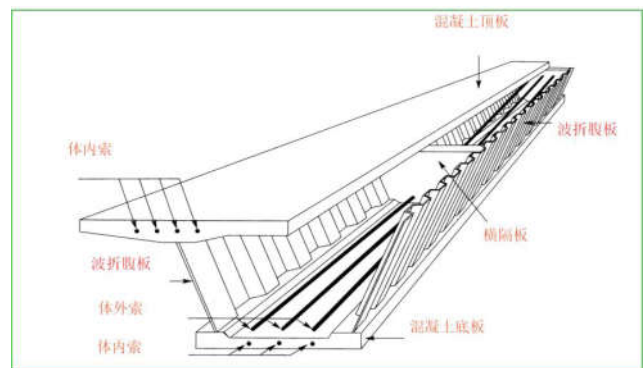


图1 一般波形钢腹板箱梁截面

2 技术优势

波形钢腹板PC箱梁桥由于其独特的构造特点，较常规PC箱梁桥有更好的力学性能。对比常规PC箱梁，波形钢腹板PC箱梁不仅使上部结构材料数量发生很大变化，箱梁自重减轻10%~30%，从而减少了恒载，降低了地震力，使得下部结构工程量也能减少很大部分，使结构整体的工程造价有所降低。具体表现如下：

- （1）波形钢腹板箱梁比传统预应力混凝土组合箱梁自重小，抗震性能好；
- （2）提高了材料的使用效率，受力明确；
- （3）提高了预应力的效率，改善结构性能；
- （4）减少现场作业，加快施工进度；
- （5）避免了腹板开裂问题，耐久性能好；
- （6）体外预应力可更换，便于桥梁的维修和补强。

3 经济优势调查

目前文献中对于波形钢腹板技术方面优点介绍较多，而对经济优势进行全面介绍的文献非常少，但从已有文献中得出，大跨径中波形钢腹板PC组合桥有很好的经济效应，较常规PC箱梁桥投资有节省。根据文献检索，共查到三个跨径的桥梁，其经济性能优势对比结果

汇总如下。

3.1 日本本谷桥

本谷桥,跨径布置为44m+97.2m+56m,悬臂施工连续梁桥,建于1997年。与常规PC箱梁上下部结构的经济对比结果如下。

上部结构:

- (1) 混凝土用量减少467.7m³,节约21.8%;
- (2) 波形钢板增加120.3t;
- (3) 纵向预应力体内索减少11141kg,节约18.9%;
- (4) 纵向预应力体外索增加14727kg;
- (5) 横向预应力钢筋减少3896kg,节约17.4%;
- (6) 普通钢筋减少40876kg。

按照我国高速公路单价估计,波形钢腹板PC箱梁桥方案较常规PC箱梁桥约节省投资12%。

3.2 桃花峪黄河副桥

桃花峪黄河副桥,主跨为80m,2010年开工建设,2013年建成通车。与常规PC箱梁上下部结构的经济对比结果如下:

上部结构:

- (1) 混凝土用量减少8304.5m³,节约29.1%;
- (2) 波形钢板增加1894.5t;
- (3) 预应力钢绞线共减少418.2t,节约30.9%,其中体外索增加271.2t;
- (4) 普通钢筋减少1655.8kg,节约31.8%。

下部结构:

- (1) 混凝土总用量减少14568.7m³,节约29.7%;
- (2) 普通钢筋减少1524.9kg,节约37.3%。

波形钢腹板PC箱梁桥方案较常规PC箱梁桥约节省投资1741.3万元,节省比例约为8.3%。

3.3 郟城黄河公路大桥

郟城黄河公路大桥,主桥布置为70+11×120+70m,波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁,单箱单室截面,梁高为3.5~7m,于2007年7月开工建设,2011年6月完成主体工程建设,2013年建成通车。通过与常规PC箱梁上下部结构的经济对比,结果如下:

上部结构:

- (1) 混凝土用量减少7850m³,节约20.6%;
- (2) 波形钢板增加2499t;
- (3) 预应力钢绞线共减少478.4t,节约21.4%,其中体外索增加450.6t;
- (4) 波纹管 and 锚具分别减少86522m及26174孔,节约46.0%及33.7%;
- (5) 普通钢筋减少1916kg,节约27.8%。

下部结构:

- (1) 混凝土总用量减少9409m³,节约13.7%;
- (2) 普通钢筋减少1216kg,节约29.0%。

经计算比较,郟城黄河公路大桥主桥由于采用波形钢腹板PC箱梁,可较常规PC箱梁节省约12%的费用。

3.4 试验桥估算

按照桥宽13.5m,跨径120m计算,3种上部结构材料及造价对比结果如下表1:

表1 上部材料及造价比较

项目		PC箱梁桥	波形钢腹板PC箱梁桥	钢—混凝土组合梁桥
混凝土/(m ³ /m ²)		1.29	0.98	0.52
材料用量	钢材/(kg/m ²)	-	85	400
	钢筋/(kg/m ²)	225	138	82
PC钢材/(kg/m ²)		68	49	30
单位长度质量/(t/m ¹)		45.2	35.2	23.7
上部结构造价比		1.0	0.92	1.2

从表1可得,波形钢腹板PC箱梁桥上部结构造价较常规PC箱梁桥节省约8%的费用,当然,这个费用还跟跨径、桥长等建设规模有很大的关系。

综上所述,波形钢腹板PC箱梁桥波形钢腹板取代混凝土腹板,箱梁自重减小,上部结构自重内力相应减小,从而上部结构混凝土、钢筋、预应力钢筋的用量减少,下部基础工程量也相应减少,整个桥梁造价降低约8%~12%,可带来一定程度的经济节约,效果较为可观。

以上讨论的经济优势为建设期间费用。若考虑大桥建成通车后的后期养护管理费用,对于波形钢腹板组合梁桥来说,由于其特殊的结构形式,多了钢腹板和体外索两个构件,会增加一些费用。(1)防腐涂装。现如今长效防腐涂装技术已经相对成熟,3层防腐设计,一次防腐涂装的有效期可达30年以上,当超过该年限时,只需要对面漆进行重新涂装,费用一般为30元/m²,费用并不高,且箱梁内侧钢腹板一般不需要再涂装;(2)体外预应力束的更换。对于体外预应力钢束来说,由于其位于箱梁内部,气候、温度、湿度变化范围小,对体外索的影响也很小,因此更换体外预应力钢束的周期长,可达40年左右(目前,斜拉索更换的周期一般为25年,而体外索的使用条件比斜拉索好很多,因此其更换周期要比常规斜拉索长很多),且技术较为成熟。另外,波形钢腹板箱梁预应力设置中,以体内索为主,体外索布置数量少、满足部分活载的需要即可。同时,还需要指出的是,更换体外索只是在箱内进行,并不需要中断交通和搭设支架。因此,从长期费用来说,对于波形钢腹板

组合箱梁桥而言,后期费用增加不多。对于常规PC箱梁桥,目前众多桥梁因重载交通、施工质量及环境因素等影响造成箱梁腹板纵向和竖向裂缝,部分体内预应力束压浆不密实等病害,导致桥梁承载能力下降,需要很高的加固维修费用才能恢复桥梁的正常使用性能^[2]。

总体来说,波形钢腹板的后期养护技术简单、成熟、且费用不高,波形钢腹板组合桥考虑到运营期费用的总体设计费用较常规PC箱梁桥,仍具有一定的优势。

4 施工方面优势

根据所建桥型及施工场地的不同,波形钢腹板组合梁所采用的施工方法有悬臂浇筑、满堂支架、顶推施工等^[3]。

4.1 悬臂浇筑法

目前,对波形钢腹板进行悬臂浇筑施工所采用的方法主要有:

(1) 类同一般的PC桥的最常见悬臂施工。

节段施工步骤如下:挂篮移动——吊装波形钢腹板——连接波形钢腹板——绑扎顶、底板钢筋——混凝土浇筑——养生——张拉体内预应力束——前移挂篮(完成一个循环)。

合拢施工:安装合拢吊架——安装合拢段钢腹板——合龙配重——绑扎顶、底板钢筋——混凝土浇筑——养生——张拉合拢钢束——张拉体外预应力束。

采用上述施工方法,技术成熟,与普通PC箱梁的悬臂施工方法差别不大,但由于采用了波形钢腹板,所需挂篮重量较普通PC箱梁的挂篮有所减轻,因此施工难度更小,安全性更好^[3]。

(2) RW工法

除了悬臂施工方法,日本还首创了一种悬臂施工方法——RW工法,如下图所示。该施工方法能够缩短工期、简化施工。具体采用了以下措施:

首次采用了波形钢板作施工架设材料,其移动作业平台较传统的挂篮更简单、更轻便;顶底板施工安排在不同节段同时进行,因而施工作业面更平顺、宽阔。同时为简化施工,本桥采用了预制横梁和顶板预制PC模板并全部采用了体外索,将体外索锚固在预制横梁的齿块上,简化了预应力索的锚固工作。

本施工方法的优点为:1、简化了挂篮;2、顶底板砼浇筑在两个节段同时平行进行,3个节段平行作业,有利于节段浇筑作业、并加快施工进度。

4.2 顶推施工法

波形钢腹板PC箱梁顶推施工法的大体步骤跟普通PC箱梁桥一样,其最大的特点就是波形钢腹板作为导梁以降低工程费用。波形钢腹板PC箱梁顶推施工法具有其独特的优势:

(1) 一般桥梁在应用顶推施工方法时需制作钢导梁,并且钢导梁重复利用机会少,势必增加桥梁的建设成本,而采用波形钢腹板自身作为顶推到梁的技术,为桥梁顶推施工技术节约成本开辟了一条新途径。

(2) 波形钢腹板预应力混凝土箱型梁的另一个优势是用约10mm厚的钢板取代30~80cm厚的混凝土腹板,减轻20%~30%上部结构自重,从而使顶推力有所减小,易于控制全桥顶推。

(3) 由波形钢腹板代替混凝土腹板,在一定程度上有效解决了顶推过程中腹板开裂的现象。

日本已使用顶推施工法成功建设了多座桥梁,包括岛崎川桥、银山御幸桥、栗东桥、桂岛高架桥等,显示出了优异的经济性。

结束语:从已建成的波形钢腹板PC箱梁桥来看,波形钢腹板桥的结构形式较多,从简支梁、连续梁到连续刚构,再到部分斜拉桥甚至斜拉桥,具有强大的适应能力;另外,在减少工程量、缩短工期、提高经济效益以及施工性能和美观等方面具有很大的优势,且跨越能力可从几十米到几百米。正是在技术和经济方面的优点,使得波形钢腹板PC组合桥成为新建高速公路的推荐桥型,是一种很值得推广的新型桥梁。

参考文献

[1]陈宜言,王用中.波形钢腹板预应力混凝土桥设计与施工[M].北京:人民交通出版社,2010
 [2]刘岚,崔铁万.本谷桥设计与施工[A].国外桥梁,1999,3.
 [3]波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥设计与施工规程 DB 44/T 1393-2014.