

多梁式简支斜箱梁设计

文/王强

(中铁十七局集团有限公司勘察设计院, 山西 太原 030032)

摘要: 本文介绍道路立交工程中采用多梁式斜梁的设计方法, 采用有限元结构软件建模并分析简支斜箱梁的空间力学特性, 并总结出设计要点, 为同类型设计提供一些参考。

关键词: 梁格法; 斜箱梁; 多梁式

中图分类号: U448.21 **文献标志码:** A



当下, 我国公路事业中出现越来越多的立交桥。由于地形及立交桥下建(构)筑物的限制, 出现不少斜交桥。箱梁截面的特点是抗弯、抗扭刚度大, 稳定性好, 而且偏载作用下, 整体受力状况优异, 因而, 在实际设计中, 箱梁被广泛应用于跨线桥中。正交箱梁的理论计算与使用都比较成熟, 斜交箱梁的使用频率还不及正交箱梁, 斜交箱梁仍需单独设计。

1 斜梁的计算

1.1 斜梁的受力特性

斜梁的受力特性包含静力特性和动力特性。静力特性主要反映结构受力情况, 包括内力、反力、变形、应力等。动力特性主要结合抗震进行分析。本文只考虑静力特性分析。

一是存在弯扭耦合, 即使是竖向荷载作用在梁轴线上, 梁体也同时存在弯矩、扭矩。二是反力分布特点: 钝角角隅处出现较大的反力和剪力, 锐角角隅处出现较小的反力, 且两者的反力差与斜交角及抗扭刚度比有关。斜角度越大, 两者反力差越大; 梁体抗扭刚度越大, 两者反力差越大。三是跨中弯矩折减: 较正交梁而言, 跨中弯矩要小。这也是由弯矩耦合直接导致的。当简支斜梁的抗扭刚度增大时, 跨中弯矩明显减小, 所以斜梁桥通常采用抗扭刚度大的箱形截面。四是存在平转趋势。汽车制动力、温度作用等作用于梁体后, 斜梁变形不统一, 导致在梁体平面上形成弯矩, 存在由钝角向锐角一侧平转的趋势。

1.2 斜梁的计算方法

斜梁桥的计算是空间问题。基于平面理论的计算方法主要是采用结构力学的单梁模型+横向分布理论, 不适用于斜桥。基于空间理论的计算方法: 一是计算正桥的内力, 然后用斜桥修正系数进行修正。修

正系数主要有G-M法、铰接板法, 偏心压力法等。二是梁格理论, 包括简化的梁格法及梁单元有限元法。

斜梁的有限元分析方法有梁单元法、梁格法、板壳单元法、实体单元法等。这几种方法目前均可通过计算机实现数值分析。梁单元方法只能粗略计算主梁内力, 在模拟箱梁端部受力方面存在较大缺陷。梁格法是将箱梁上部结构模拟成由纵梁、横梁组成的一个等效梁格体系, 可以直接输出各主梁的内力, 便于采用规范进行强度验算, 整体精度能满足设计要求。板壳单元法通过对箱梁离散, 可以精确分析箱梁的受力。这种方法离散混凝土结构很好, 但是模拟预应力方面则存在一些难点。实体单元法与实际模型最接近, 不需要计算横截面的形心、剪力中心、翼板有效宽度, 截面的畸变、翘曲自动考虑。其缺点是输出的是梁横截面上若干点的应力, 不能直接用于强度计算, 不能直接考虑预应力问题。

斜梁的计算方法: 项贻强^[1]建立斜梁桥静力分析的有限元法; 冯文煊^[2]等验证梁格法分析正交小箱梁桥的有效性和准确性; 金波^[3]等对横向刚度与支承刚度也提出自己的见解, 同时也验证了梁格法的有效性。

2 梁格法建模

2.1 梁格法特点

对斜箱梁桥, 由于支撑轴线与桥轴线斜交、横隔板斜向布置, 边界条件异常复杂, 可导致斜箱梁的弯曲-扭转耦合效应, 甚至多重耦合效应。正交箱梁的计算理论不能简单地用于斜箱梁中。

将桥梁上部结构用一个等效梁格系来代替, 分析后再将结果还原到原结构中。梁格法能考虑截面的空间效应, 整个截面不需要满足平截面假定。梁格法中横梁的主要作用是荷载在横向的传递, 而不能直接得

到截面的横向框架效应。

虽然梁格法整体满足设计要求，但也存在一些不足，例如虚拟横梁的分配具有一定的随意性，划分后的梁格的截面特性（抗扭、抗弯）需要设计人员自行计算等。

2.2 工程概况

大同市某道路跨越铁路线路3股道，斜交角为 22° ，为典型的小角度斜交桥。采用单跨为35 m装配式预应力混凝土箱梁跨越，箱梁为斜梁，斜度为 45° ，共布置箱梁18片。桥上行车道宽为15 m。桥高为7 m^[4]。

2.3 模型建立

2.3.1 梁格划分

为满足计算精度，要对梁格进行合理划分。梁格划分时遵循以下原则：

(1) 斜角度较大时，一般考虑大于 20° 时，应采用正交的梁格。反之，斜角度减小时，可采用斜交的梁格。本模型采用正交梁格。

(2) 箱梁主梁考虑了翼缘板质量，因此在建立虚拟梁时建立一个不计自重的梁^[5]。

(3) 横隔板距端梁较远，应适当增加横向虚拟梁格，一般梁格数目不少于4个。考虑精度要求，本模型横向梁格宽度为1 m。

2.3.2 截面特性计算

横向联系梁采用工字形截面。横梁的抗弯惯性矩按照绕其中性轴来计算，且不计顶底板自身的抗弯惯性矩。

2.3.3 荷载作用

考虑以下荷载作用：

- (1) 恒载：自重+预应力荷载，自重系数1.04。
- (2) 温度作用：整体升温 20°C ，整体降温 20°C 。
- (3) 收缩徐变：收缩龄期3d。
- (4) 活载：汽车荷载，公路I级。汽车荷载的冲击系数 μ 按照现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)取用， $\mu=0.170$ ，结构基频 $f=2.87\text{ Hz}$ 。

(5) 荷载组合：程序自动考虑10种荷载工况的组合，基本组合、频遇组合、准永久组合共计48种组合。

2.3.4 有限元模型

模型边界条件的设置采用一般支承与弹性连接相结合。每根主梁采用两点支承。本工程采用18片小箱梁组成的35 m跨简支箱梁桥，箱梁斜度为 45° 。在箱梁跨中设置一道横隔板，两端均设置一道端横梁。采用有限元分析软件Midas Civil(空间有限元分析软件)建立了该桥的有限元模型(图1)，共划分为808个节点，1349个单元。纵梁每隔1 m划分为一个单元，在相邻两道纵梁之间箱梁的翼缘板处增加一排节点将虚拟

横梁分成两部分。施工阶段有3个，分别为架梁及横梁湿接缝、二期加载和成桥10年。

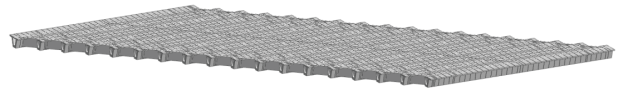


图1 横断面结构图

3 计算结果与分析

梁主要为受弯构件，不考虑轴力。斜梁受力分析包括弯矩、扭矩、剪力。

3.1 持久状况承载力极限状态(正截面抗弯、斜截面抗剪、抗扭)

持久状况承载力极限状态下，跨中最大弯矩出现的截面大致平行于斜梁截面。斜梁产生扭矩，主要在支承点附近，端横梁内也产生了扭矩^[6]。

3.2 持久状态正常使用极限状态(正截面抗裂、斜截面抗裂)

频遇组合下，箱梁顶板、底板未出现拉应力，顶缘 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}=1.397\text{ MPa}$ ，底缘 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}=7.693\text{ MPa}$ ，均为压应力^[7]。

准永久组合下，箱梁顶板、底板未出现拉应力，顶缘 $\sigma_{lt}-\sigma_{pc}=2.408\text{ MPa}$ ，底缘 $\sigma_{lt}-\sigma_{pc}=9.683\text{ MPa}$ ，均为压应力。

斜截面上拉应力 $\sigma_{lp}=1.390\text{ MPa}\leq 0.7f_{tk}=1.855\text{ MPa}$

3.3 持久状况应力验算(正截面压应力、斜截面主压应力、预应力钢筋拉应力)

受压区混凝土的最大压应力：顶缘 $\sigma_{kc}-\sigma_{pc}=13.557\text{ MPa}\leq 16.2\text{ MPa}$ ，满足规范要求；

底缘 $\sigma_{kc}-\sigma_{pc}=12.708\text{ MPa}\leq 0.5f_{ck}=16.2\text{ MPa}$

如图2、图3：

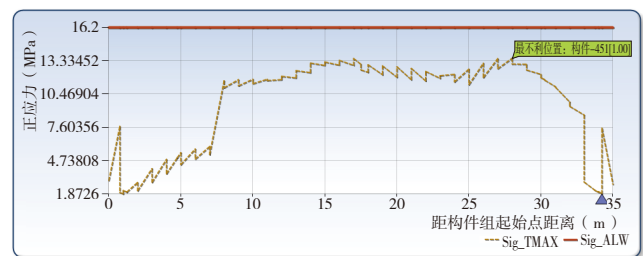


图2 使用阶段正截面压应力(顶)包络图

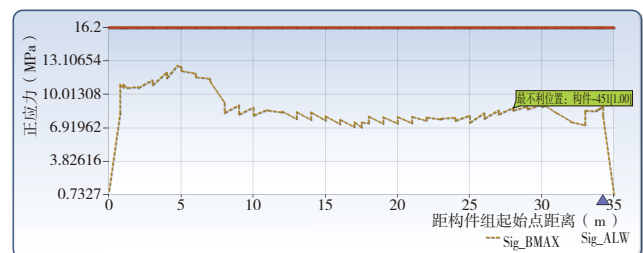


图3 使用阶段正截面压应力(底)包络图

斜截面混凝土的主压应力： $\sigma_{cp}=13.564 \text{ MPa} \leq 0.60f_{ck}$
 $k=19.440 \text{ MPa}$

3.4 预应力计算

荷载取标准值，汽车荷载考虑冲击系数。受拉区预应力钢筋的最大拉应力： $\sigma_{pe}+\sigma_p=1205.177 \text{ MPa}$
 $< 0.7f_{ck}=1209.0 \text{ MPa}$

3.5 短暂状况应力验算（法向应力）

截面边缘混凝土的法向应力 $\sigma_{ccc}=13.333 \text{ MPa} \leq 0.7f_{ck}$
 $=18.760 \text{ MPa}$

3.6 横梁设计

多梁式斜桥中，横梁是重要构件，合理构造的横梁可以加强各箱梁之间的横向联系，能保证荷载在横向上有效传递，使箱梁整体受力更加合理。正交桥一般是跨中横梁控制设计，而斜桥横梁所受弯矩自锐角侧向钝角侧方向呈逐渐增大的趋势。从表1可以看出，整体上横梁从锐角向钝角侧所受弯矩逐渐增大，在车道以外，又逐渐减小。故需要进行钝角侧横梁控制设计^[8]。

表1 横梁弯矩受力

节点号	弯矩 (N/mm ²)	备注
130	9.5	
173	9.5	车道以外
216	10.3	锐角处
259	11.7	车道1
302	12.6	车道2
345	20.9	钝角处
388	18.9	车道以外
431	17.4	
474	16.4	

另外，要更加注意横梁的配筋问题。因为横梁内内力差异较大，存在异号弯矩，应考虑不同位置的横梁截面。在实际设计过程中，要采用统一的横梁截面，横梁钢筋在上下缘应对称布置。

3.7 构造设计

3.7.1 防转动措施

斜梁桥在使用过程中，出现爬移现象，具体表现为伸缩缝变形或破坏，梁体端部被挤坏。因此，在实际设计时，应设置防转动措施，以阻止梁体的爬移。要在锐角处设置挡块，挡块与梁体之间粘贴橡胶块作为缓冲之用，同时，挡块配筋要适当加强。

3.7.2 支座留足余地

支承在斜角处的支座受力悬殊，钝角处的支座所受荷载总是大于其他支座。而锐角处支座甚至会出

现上拔力。要精确计算支座反力是困难的。一般采用橡胶支座，保证各向均可移动。因此支座设计要留有余地。

3.7.3 预应力施加问题

上部结构为超静定结构，预加力、温度变化等都会在梁体内部引起二次内力。由于斜梁中存在的弯扭耦合效应，配束时应考虑弯剪扭复合作用。可只考虑预加力抵消弯矩的设计值，未被抵消的扭矩采用附加的抗扭力筋来抵消。尤其是预应力筋在支承部位需要慎重处理^[9]。

4 结束语

采用Midas civil软件梁格法对单跨多梁式斜交箱梁桥上部结构进行建模模拟，可清晰搜索到各个截面的受力情况，满足设计要求。本文运用梁格法进行斜梁分析计算的同时，对一些具体参数的选取做了详细介绍，例如梁格的划分，截面特性的计算等，并提出斜梁设计过程中需要注意的几个问题。

综上所述，斜梁桥通过梁格法进行空间分析，比较简便，结果精确。加强构造措施设计可在一定程度上满足斜梁使用要求。

参考文献

- [1] 项贻强, 余建华. 桥梁结构分析的数值方法及其程序[M]. 北京: 人民交通出版社, 1993.
- [2] 冯文焕, 苏巨峰. 梁格法分析小箱梁桥虚拟横梁刚度模拟[J]. 山西建筑, 2013, 39(10): 148-149.
- [3] 金波, 赵清波. 单跨斜箱梁桥设计计算研究[J]. 城市道桥与防洪, 2011(4): 172-175.
- [4] 林丽霞. 钢筋混凝土箱梁分线性分析及剪滞、剪切效应的有限段法研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2010.
- [5] 杨美良, 何恒波, 谭海亮, 等. 斜度对多梁式连续斜交小箱梁桥力学性能的影响[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2014, 11(1): 30-36.
- [6] 夏淦, 邵容光. 斜梁结构分析[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995.
- [7] 黄平明. 混凝土斜梁桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [8] 中华人民共和国交通运输部. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG 3362—2018[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
- [9] 杨传永. 梁格法在预应力混凝土斜交箱梁桥中的运用[J]. 工程与建设, 2009, 23(2): 196-198.