

# 连续刚构桥合理成桥预拱度设置研究及应用

张小亮 赵 庭

西安公路研究院有限公司 陕西 西安 710065

**摘要:** 随着公路交通的蓬勃发展,连续刚构桥以其造型美观、造价经济、行车舒适、跨越能力强等独特优势,受众多桥梁设计者青睐。然在已通车运营连续刚构桥中,很多桥梁出现了不同程度下挠和开裂现象,由此给桥梁正常使用和结构安全造成严重威胁。设置预拱度是避免结构过度下挠的一种有效手段,而运营阶段挠度在总挠度值中占比大,因此,针对现有连续刚构桥下挠病害统计分析,研究其病害产生原因,设置合理预拱度具有重要的理论意义和工程应用价值。

**关键词:** 连续刚构;桥梁;预拱度

## 引言

连续刚构桥的结构特点是梁体连续、梁墩固结,既保持了连续梁无伸缩缝、行车平顺的优点,又保持了T型刚构不设支座、不需转换体系的优点,方便施工,且有很大的顺桥向抗弯刚度和横向抗扭刚度,能满足特大跨径桥梁的受力要求。随着高强预应力钢材、高强混凝土、大吨位张拉锚固体体系的应用与发展,设计手段的计算机化,施工水平的提高,我国连续刚构桥取得了迅速发展。<sup>[1]</sup>

连续刚构桥设置纵坡及横坡后,其纵向高差和横向高差较大,在施工过程中,箱梁平、纵面线形及标高又受二期恒载、预应力、二期恒载、结构体系转换、挂篮自重及变形、墩身压缩、前期收缩、徐变、环境温度和气候、施工中的平衡重和配重等因素的影响。因此,连续刚构桥在施工过程中预拱度的设置尤为重要。

近年来,在已通车运营的连续刚构桥中,主梁都普遍的出现下挠现象,尤其是在跨中位置,处于使用阶段的连续刚构桥,由于混凝土的收缩徐变、有效预应力的损失、施工质量差异等各种作用而产生下挠,主梁不断地下挠主要表现出以下两个特征:设计时的挠度计算值相对于长期挠度实测值往往过小;长期挠度实测值的增长率并不固定,可能加速、匀速或者减速变化。

设置预拱度是避免此类桥梁下挠的一种有效手段,而运营阶段的挠度在总挠度值中所占比例比较大,因此,针对现有连续刚构桥的下挠统计分析,研究其下挠产生的原因,进而设置合理预拱度具有重要的理论意义和工程应用价值。

## 1 预拱度设置影响因素

### 1.1 影响预拱度的因素

连续刚构桥的预拱度可分为施工预拱度和成桥预拱

度。设置施工预拱度,可抵消施工荷载对桥梁线形的影响;设置成桥预拱度,可抵消后期运营过程中各种预应力的作用对桥梁线形的影响。

连续刚构桥在施工时通常会采用挂篮悬臂法。在设置预拱度时需考虑的因素,如表1所示。

表1 预拱度影响因素

编号	预拱度	影响因素	预拱度设置方向
1		一期恒载	+
2		二期恒载	+
3		预应力	-
4		挂篮自重及变形	+
5		结构体系转换	+, -
6	施工预拱度	墩身压缩变形	+
7		前期收缩、徐变	-, +
8		温度影响	+或-
9		施工临时荷载	+或-
10		墩顶转角影响	+或-
11		支架弹性,非弹性变形	-
12	成桥预拱度	1/2活载	+
13		后期收缩、徐变	+, -

附注1:“+”表示向上,“-”表示向下。

### 1.2 设置施工预拱度的原理

结构自重(一期恒载)作用预拱度的设置结构自重的计算方法是本阶段块件生成后及以后各阶段对本阶段挠度累计值,特点是先浇阶段已完成本身自重变形,不再对后浇阶段产生影响,虽然合拢段与悬浇阶段单项挠度计算方法不同,但计入方法是相同的。

### 1.3 设置成桥预拱度原理

目前,由于对混凝土徐变的计算,不论是老化理论,修正者化理论还是规范规定的计算方法,都难以正确地估算混凝土徐变的影响。在施工中对这一影响不直

接识别、修正，通常是用以往建成的同类跨径的下挠量来类比的，并且通过立模标高的预留来实现的。因此，成桥预拱度合理设置尤为重要。

### 2 跨中合理成桥预拱度设置

连续刚构桥的预拱度可分为施工预拱度和成桥预拱度。设置为施工预拱度主要是:为消除施工过程中各种何在对线形的影响。设置成桥预拱度主要是:为消除后期运营过程中的收缩徐变和后期预应力的损失、活载变形等而设置的。大跨度连续刚构桥在大多数情况下的施工方法，基本上都是采用挂篮悬臂施工法的。

预拱度设置包括两方面：一是施工预拱度设置；二是成桥预拱度设置。施工预拱度主要根据桥梁施工工艺并考虑恒载、预应力及施工过程中临时荷载计算得到；成桥预拱度为多年收缩徐变并考虑部分活载效应计算得到。<sup>[2]</sup>由于混凝土收缩徐变有较大的不确定性，因此成桥预拱度也因各控制单位经验取值不同而有所差别，则收缩徐变是影响大跨度连续刚构桥预拱度预测准确性的最大障碍。以下为国内目前成桥预拱度设置计算方法：

① 经验计算值法：连续刚构桥成桥预拱度计算方法：“中跨跨中预拱度在设计预拱度的基础上，按设置，边跨预拱度按中跨预拱度1/4设置，其余各点按余弦曲线分配”。

② 正交多项式拟合法：考虑预应力损失的条件下利用正交多项式拟合法计算成桥预拱度，克服了通常算法的不足处。

计算成桥预拱度，其中 $\alpha$ 为修正系数，按目前相近跨径桥梁下挠实际情况确定此系数； $d_1$ 为成桥3~5年收缩徐变挠度计算值， $d_2$ 为活载挠度计算值。

③ 公式基础上考虑地基沉降和温度引起挠度值计算成桥预拱度。

业内成桥预拱度计算方法不一，究竟哪种计算方法更合理，能使连续刚构桥在后期运营过程中不出现下挠过大情况，并无明确定论。

### 3 成桥合理线形设置

成桥预拱度的主要作用是消除混凝土后期徐变的影响，而混凝土徐变对桥梁运营中线形影响还没有可靠的计算结论。<sup>[3]</sup>因此，成桥预拱度设置一般是在理论计算基础上，根据经验确定跨中最大预拱度后，按某种曲线向全跨分配。

据近年工程实践，预应力混凝土连续刚构桥(连续梁桥)后期混凝土收缩徐变对中跨跨中的挠度影响约为 $L/1500 \sim L/1000$ ，理论计算结果表明，边跨最大挠度一般发生在 $3L/8$ 处，约为中跨最大挠度的 $L/4$ 。

① 二次抛物线分配法：目前成桥预拱度分配法采用最多的是二次抛物线法，该法是将前文方法得到的经验值作为中跨跨中最大预拱度，两边墩顶预拱度值为0，按二次抛物线拟合分配曲线。由于边跨最大挠度一般发生在 $3L/8$ 处，约为中跨最大挠度的 $L/4$ 。

② 余弦曲线法：采用余弦曲线分配法设置成桥预拱度能很好克服二次抛物线曲线分配预拱度造成桥梁成桥线形不平顺、不协调的不足；并与理论计算结果吻合。余弦曲线分配与二次抛物线分配原理相同，只在曲线拟合上加以改进。

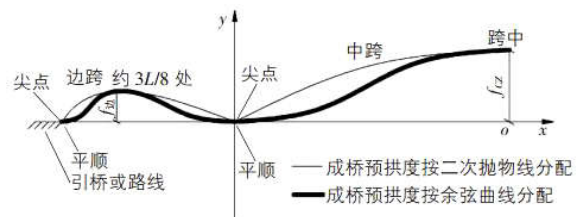


图3.1 成桥合理预拱度线形比较

③ 虚拟荷载法：在全桥施加虚拟均布荷载，使中跨跨中挠度达到某一特定值，将该均布荷载此刻在全桥产生挠度值为各节段断面反向预拱度值，<sup>[5]</sup>这种通过加载虚拟荷载得到预拱度的方法称为虚拟荷载法。该法从能量角度属于结构最自然一种变形状态，且成桥时结构线形理想、桥面曲线平滑。

该法操作简单，具体步骤如下：

- 1)根据经验得到中跨跨中最大预拱度 $f_{cz}$ 。
- 2)在模型成桥阶段后，给全桥施加一大大小为 $100\text{kN/m}$ 的均布荷载，然后计算挠度值。
- 3)由计算结果得到该荷载作用下挠度值 $y$ ，然后根据式 $q=100f_{cz}/y$ 计算出虚拟荷载法所需虚拟均布荷载值 $q$ 。
- 4)将 $q$ 代替第二步荷载然后进行结构计算，最后得到各断面挠度值即为该桥所需预拱度的反向值。

### 4 成桥预拱度实例分析

本文选取1座主跨200m以内的连续刚构桥梁，分别按二次抛物线法、余弦曲线法、虚拟荷载法设置了成桥预抛高对比分析来验证成桥预拱度设置方法适用性。结果见图4.1~4.2。

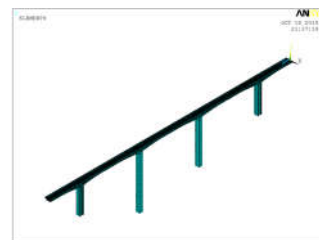


图4.1 李家洼大桥结构计算模型(主跨140m)

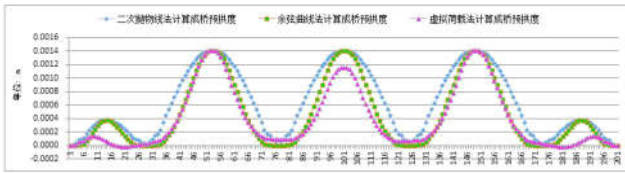


图4.2 李家洼大桥预拱度设置对比

通过对李家洼大桥跨中合理成桥预拱度计算分析和实桥应用结果,对比可得以下结论:

1)从线形方面看,虚拟荷载法与余弦曲线法均避免二次抛物线下的线形不平顺、墩顶出现尖点等问题。而虚拟荷载法设置预拱度与结构实际线形很接近,总势能低于经验曲线法,特别在边跨,从而采用此法有利于结构受力。

2)从受力性能方面,虚拟荷载法与余弦曲线法都明显优于二次抛物线法,特别在 $L/4$ 及 $3L/4$ 附近区域出现拉应力小,减少混凝土开裂几率。虚拟荷载法受力略优于余弦法,但虚拟荷载法水平刚度大于余弦法,就能减缓桥墩纵向偏移及跨中下挠。虚拟荷载法设置成桥预拱度是三种方法中最好的,既线形协调,而且受力合理,接近实际的变形<sup>[4]</sup>。随着跨径的日益增大,该方法优越性则更突出。

5.实施效果在支铰座安装中,每个相对应的支铰座螺杆穿装均十分顺利,没有一根螺杆需要校正才能安装支铰座,在支铰座安装完成后对其进行测量检测,中心点、高程、里程和同轴度都在规范要求范围内,得到了业主和监理的一致好评。所以在实践应用中,通过对支铰座预埋螺杆安装新技术的使用,对比传统的假支铰安装方法降低了

成本和安装难度,同时解决了由于支铰座螺孔制作误差可能带来的质量问题,也提高了安装的速度。

### 结语

本文对成桥预拱度设置方式对比分析,结合实桥应用结果,得出以下结论:

1)对成桥预拱度设置法进行研究,提出采用优化公式计算各截面成桥预拱度,将不平顺成桥预拱度拟合平顺的曲线。

2)从线形和受力方面看,虚拟荷载法既线形协调,且受力合理,接近实际变形。随跨径日益增大,该法优越性更突出。

3)连续刚构桥成桥预拱度设置法适用于主跨跨径80m~200m连续刚构桥,为后续建设连续刚构桥设置成桥预拱度提供参考。

### 参考文献

[1]袁卓亚,马毓泉,冯威.高墩大跨径预应力混凝土连续刚构空间仿真方法研究[J].公路交通科技,2007,69(6):34-37.

[2]肖金军,司徒毅等.预应力连续刚构桥荷载试验下的应力状态分析[J].中外公路,2011,31(5):86-89.

[3]公路桥涵设计通用规范[S].人民交通出版社JTGD60-2015.

[4]刘亮,伍金华,张保俊.连续刚构桥梁荷载试验分析[J].湖南交通科技,2010,36(3):59-62.

[5]公路桥梁荷载试验规程.人民交通出版社[S],JT21-01-201