

预应力混凝土空心板梁静载试验方案比较分析

郭锋钢, 田 原

(哈尔滨市市政工程设计研究院, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘 要:通过对城市立交桥及高架桥的板梁检测, 比较了预应力混凝土空心板梁的三种不同的静载试验方案, 并分别从理论和实际上对结果进行分析, 提供实际工程中板梁检测的可行方案。

关键词:预应力混凝土; 空心板梁; 静载试验; 方案比较; 哈尔滨市

中图分类号: U448.212 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2005)02-0052-03

0 引言

在哈尔滨市建设的立交桥及高架桥工程中, 大量采用了预制的先张法和后张法预应力混凝土空心板梁, 先后有十个预应力预制厂为工程提供空心板梁。为保证桥梁结构安全可靠, 先后多次对各预制厂生产的先张法和后张法预应力混凝土空心板梁进行抽样静载试验, 其中包括正常使用阶段的抗弯、抗剪应力及挠度试验。

1 板梁静载试验方案

在对各预制厂板梁的抽检和试验过程中, 本着符合现场要求试验简单可行但又要数据准确可靠的原则, 先后采用了三种试验方案对二十余根板梁进行测试。下面简要介绍各试验方案, 通过对有代表性的几个测试结果数据进行分析, 讨论各方案的优缺点及可行性。

试验梁的试验控制荷载由各设计单位提供, 试验梁的图纸由各施工单位提供, 试验梁由各厂的驻地监理工程师选定。考虑到未铺装的桥面自重的影响, 板梁在活载及桥面自重的共同作用下, 单梁的正常使用阶段跨中截面的活载弯矩 M_q 及二期恒载弯矩 M_{g2} 之和 $P \cdot a = M_q + M_{g2}$, 其中 P 为荷载, a 为两点加载时加载点分别到支座的距离。根据与控制截面内力相等的原则换算抗弯试验跨中荷载 P 。控制剪力由设计单位给定, 试验以集中荷载的形式施加于梁上。三种方案共同的抗弯和抗剪试验图参见图 1 和图 2, 但注意每个方案实际与之有很大差别。

1.1 方案一

在检验板梁的抗弯能力时, 荷载为单点跨中加

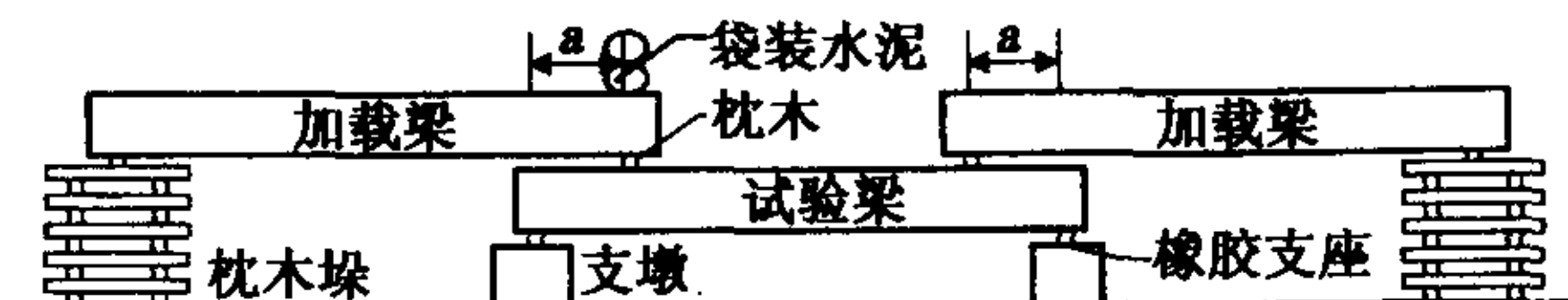


图 1 抗弯试验图

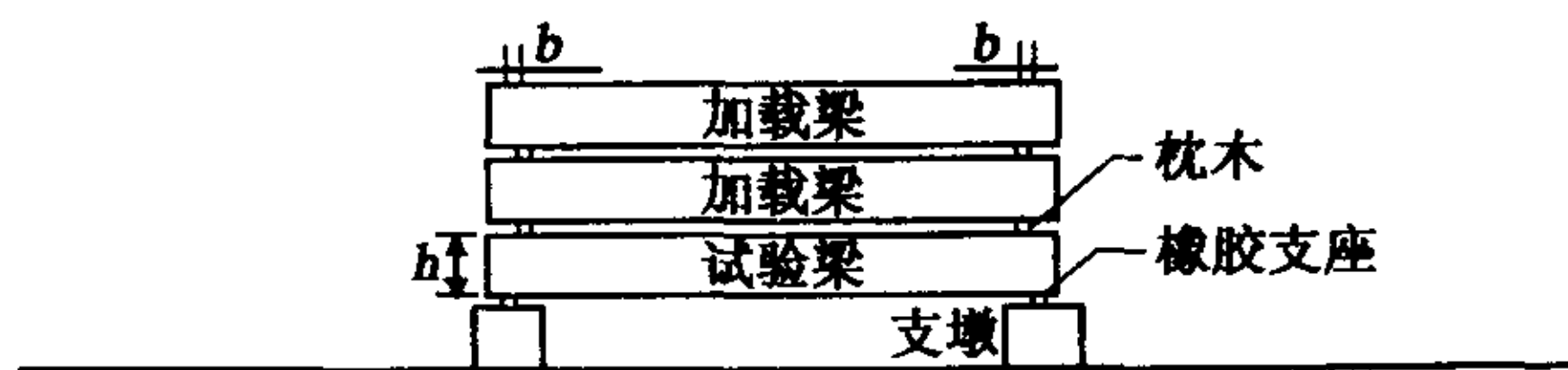


图 2 抗弯试验图

载, 但加载梁仅为左侧一条且加载点位于跨中 $a = L/2$, L 为梁长。在检验支点抗剪能力时, 支点边缘施加等效集中荷载为两根同等梁重, 加载位置在支座附近 $b \approx 0$, 相当于纯剪力测试。此方案在试验梁的支座及跨中截面位置布设百分表或挠度计, 以观测在抗弯、抗剪荷载作用下梁的挠度变化及沉降值。

1.2 方案二

抗弯能力测试为分组加载, 最后一级加至设计工作荷载。抗剪能力测试时集中荷载作用在梁的剪力最不利部位, 分级加载, 最后一级加至设计工作荷载。但修改加载点为 $b = 1.7h$, 即 1.7 倍梁高处。抗弯试验中挠度计布置在跨中、1/4、1/8 截面及两侧支座处。应变仪布置在跨中截面梁两侧下沿处。抗剪试验中挠度计布置在跨中截面及两侧支座处。剪力测试的应变设置在剪力加载点(距支座为 b)与距支座 $1/2h$ 连线中点处, 见图 3。

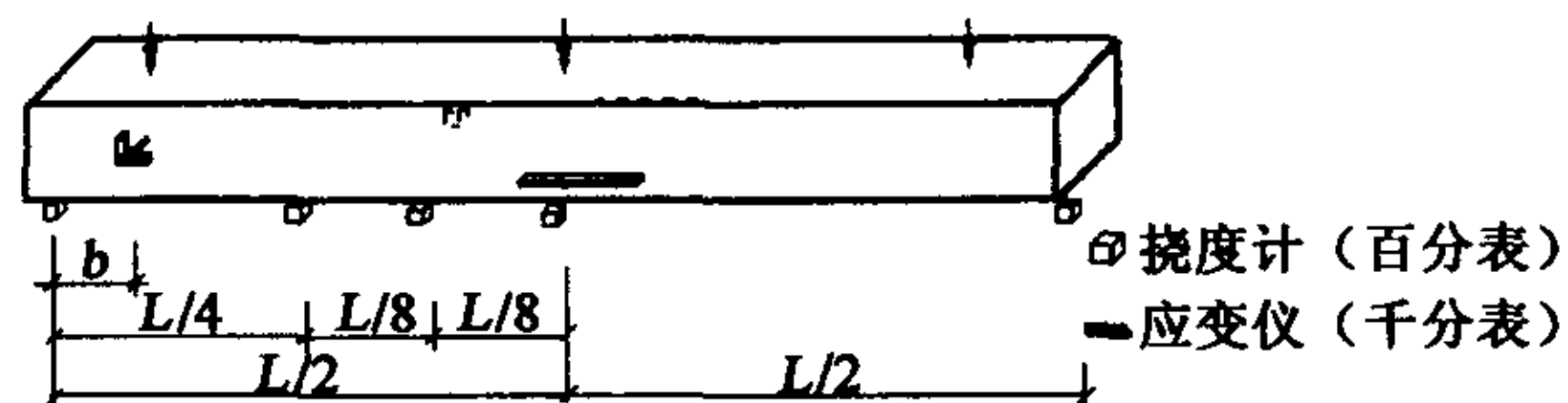


图 3 方案二抗弯仪器设置图

1.3 方案三

抗弯能力测试中, 换算两点加荷位置及相应的

收稿日期: 2004-11-05

作者简介: 郭锋钢(1967-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 高级工程师, 总工程师, 从事道路桥梁设计检测研究工作。

荷载。考虑到预制构件厂的现场试验条件,只能用成品梁作为荷载,以加载梁的一半作为 P 。为保证试验梁跨中的等弯矩区,调整加载点距离 a 以满足弯矩要求。抗剪能力测试中,集中荷载作用在梁的剪力最不利部位,为了与《公路旧桥承载能力鉴定方法》中试行的 $b=1.0h$ 加载点进行对比,此方案在 $b=1.0h$ 和 $b=1.7h$ 即剪跨比分别为 1.0 和 1.7 处进行加载试验。抗弯试验时在跨中设置两架挠度传感器,支座附近设置百分表来消除沉降影响。在梁的上缘及底面分别布置三格应变片来测试梁上下缘的压拉应力,抗剪试验时在梁底距支承线二分之一梁高和加载点连线的中点各设置一组有三个应变片组成的应变花,见图 4。

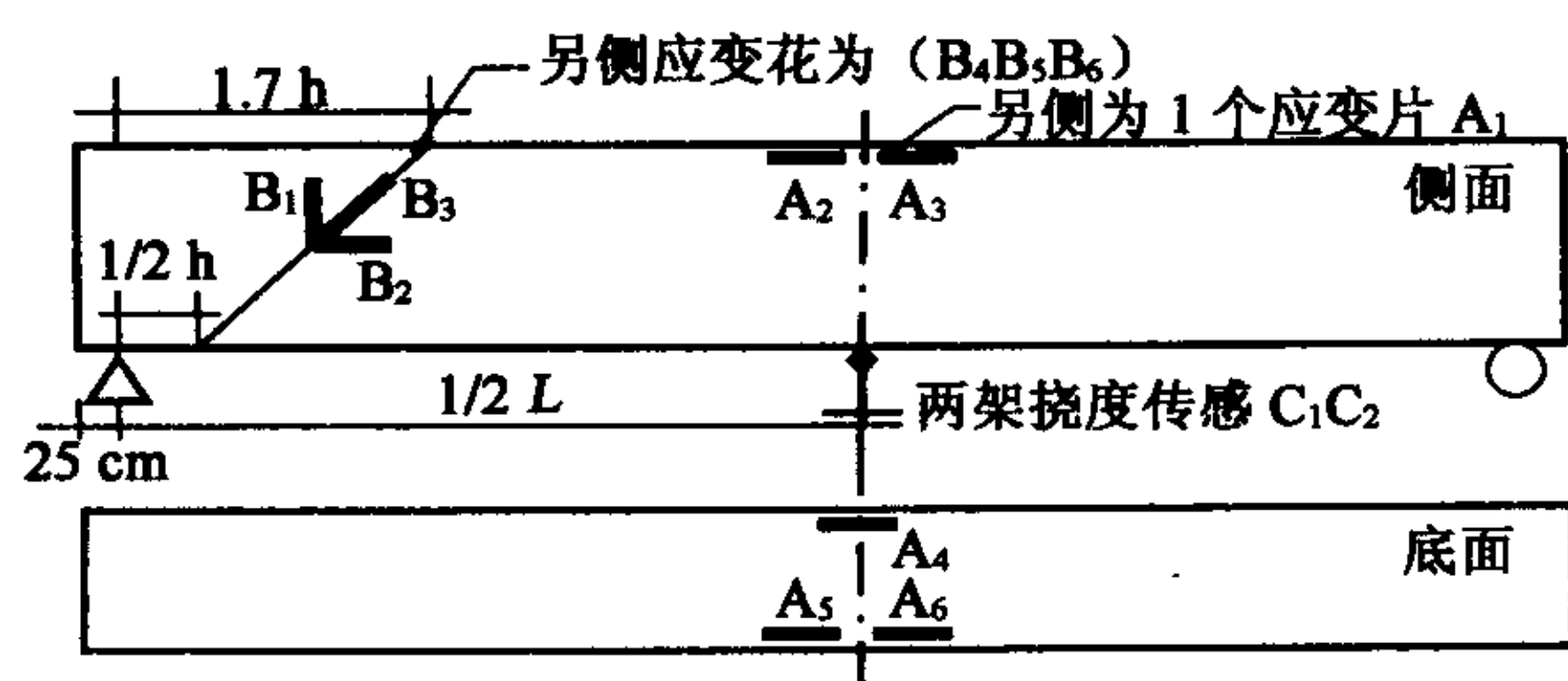


图 4 方案三仪器设置图

2 试验数据计算

三种方案的板梁截面外形均可参考图 5, 注意具体数据有区别。

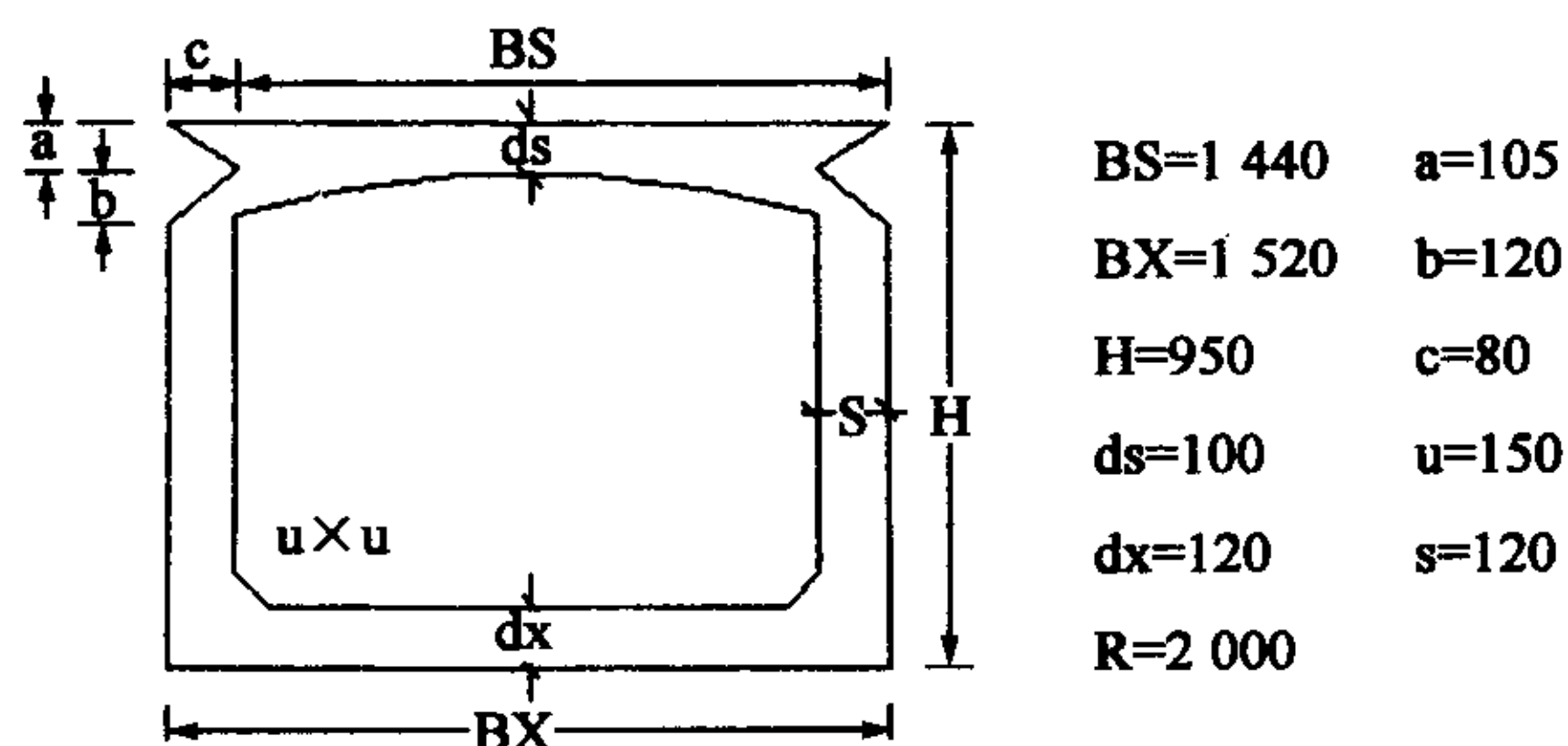


图 5 板梁截面外形

2.1 方案一试验结果

抽检的板梁系预应力混凝土空心板梁,混凝土强度等级 C40,梁计算跨长 20.62 m,梁高 95 cm,梁的一端宽 142.2 cm,另一端宽 156.6 cm。最大内力跨中弯矩:汽车载重 $M=648 \text{ kN} \cdot \text{m}$,挂车载重 $M=669.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$,支点剪力:汽车载重 $Q=268.1 \text{ kN}$,挂车载重 $Q=328.6 \text{ kN}$ 。考虑到板梁在活载及未铺装桥面自重的共同作用下,以产生跨中弯矩 $M=956 \text{ kN} \cdot \text{m}$,支点剪力 $Q=350 \text{ kN}$ 的内力进行载荷试验。换算抗弯跨中等效集中荷载 $P=185.5 \text{ kN}$ 。测试数据见表 1。

表 1 消除支座沉降后的测试数据

| 跨中荷载(kN) | 跨中弯矩(kN·m) | 跨中挠度(mm) |
|----------|------------|----------|
| 0 | 0 | 0 |
| 162.5 | 837.7 | 11.94 |
| 185.5 | 956.3 | 13.35 |
| 0 | 0 | 0.315 |

2.2 方案二试验结果

抽检的板梁系先张法预应力混凝土箱形中板,混凝土强度等级 C40,板梁计算跨长 22.12 m,梁高 95 cm。控制截面的最大内力为产生跨中弯矩 $M=878 \text{ kN} \cdot \text{m}$,支点剪力 $Q=323 \text{ kN}$ 的内力进行荷载试验。换算的跨中施加等效集中荷载 $P=162 \text{ kN}$ 。测试数据见表 2。

表 2 消除支座沉降后的测试数据

| 项目 | 跨中荷载 | 跨中弯矩 | 跨中应变 | 挠度(mm) | | |
|-----|------|--------|----------------------|--------|-------|-------|
| | (kN) | (kN·m) | ($\times 10^{-6}$) | 1/4 L | 3/8 L | 跨中 |
| 实测值 | 162 | 878 | 128 | 9.50 | 13.11 | 14.55 |
| 理论值 | — | — | 144 | 9.96 | 13.55 | 14.85 |

注:理论计算应用桥梁博士 2.7 软件计算并通过验证取得。

2.3 方案三试验结果

抽检的板梁系先张法预应力混凝土箱形中板,混凝土强度等级 C40,板梁计算跨长 22.12 m,梁高 95 cm,控制截面的最大内力为产生跨中弯矩 $M=1\,130\text{ kN}\cdot\text{m}$,支点剪力 $Q=374\text{ kN}$ 的内力进行荷载试验。抗弯时换算两点加载时等效集中荷载 $P=161.25\text{ kN}$,加载点距支点 $a=6.233\text{ m}$ 。抗剪时由于现场条件限制,控制剪力 $Q=322.5\text{ kN}$,加载点在剪跨比 $m=1.7$,即 $b=1.615\text{ m}$ 处。测试数据见表 3。

表 3 消除支座沉降后的测试数据

| 项目 | 抗弯试验 | | | | 抗剪试验 | | |
|-----|------------|--------------|-------------------|-------|------------|-------------------|-------|
| | 荷载 (kN) | 跨中挠度 (mm) | 跨中上、下缘 应力(MPa) | | 荷载 (kN) | 支点主压、 拉应力(MPa) | |
| 实测值 | 161.25 | 21.60 | 5.99 | -5.39 | 322.50 | 1.10 | -0.66 |
| 理论值 | — | 26.37 | 7.45 | -6.49 | — | 1.14 | -0.83 |

3 试验方案分析

3.1 方案一分析

在设计活载及桥面自重产生的等效集中荷载作用下,梁的最大挠度 $f_{\max} = 13.4 \text{ mm} < f_{\text{理论}} = 17.8 \text{ mm}$,若仅在汽车活载作用下,挠度值更小,梁最大挠度值远小于 $L/600 = 34.4 \text{ mm}$,符合行车安全的使用要求;在加载过程中梁未有任何细小裂纹产生,且卸载后,挠度基本上恢复至零,梁具有足够的抗弯能力。在抗剪试验中,加载过程支点截面无任何细小裂纹出现,梁抗剪能力有保证。

从以上分析中可以看出,在抗弯试验中,计算分析仅由跨中挠度测试值与理论值相比较取得,虽然

可以通过理论计算得到水平应变值,进而计算跨中底面拉应力,但缺乏实测数据毕竟可靠性差些;抗弯试验时加载点为跨中单点,实际测试中不易准确掌握,建议二点加载,形成比较宽阔的最大弯矩区域。在抗剪试验中,所采取的纯剪力测试,即在支座附近加荷方式,理论可行,实际测试中会形成“斜压柱”,最大剪力不在此位置,建议采用斜截面剪力测试,见以下分析。

3.2 方案二分析

拉应力校核:

跨中下缘拉应力 $\sigma_{\max} = E \cdot \epsilon = 4.22 \text{ MPa}$

拉应力校验系数 $\eta = \frac{\sigma_{\text{实测}}}{\sigma_{\text{理论}}} = \frac{E \cdot \epsilon_{\text{实}}}{E \cdot \epsilon_{\text{理}}} = \frac{128}{144} = 0.889$

挠度校核:

跨中挠度校验系数 $\eta = \frac{f_{\text{实测}}}{f_{\text{理论}}} = \frac{14.55}{14.85} = 0.979$

梁的最大挠度 $f \approx 14.55 \text{ mm}$ 小于设计容许值,远小于桥梁的容许挠度 $L/600 = 36.9 \text{ mm}$ 。预应力混凝土梁在设计荷载作用下不允许出现裂纹,此抗弯、抗剪试验中用 20 倍刻度放大镜未见裂纹。

与方案一相比,增加了跨中截面下缘拉应力的测试,作为应变仪的千分表应变精度达 2×10^{-6} ,满足精度要求;在 $1/8 L$ 、 $1/4 L$ 、 $3/8 L$ 位置增加的挠度测试虽然不起决定性作用,但很好地验证了挠度曲线,使得分析更加可靠;此方案同样存在单点加载问题。

3.3 方案三分析

此方案分别对跨中截面的上下缘的压拉应力、跨中挠度、支点抗剪的主拉压应力进行了校核,在此不一一列举;抗剪试验中,通过分析计算加载点分别在 1.0 h 和 1.7 h 的最大剪力处的主拉压应力 $\sigma_{\max/\min} = \frac{E}{2} \left\{ \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{1 - \mu} \pm \frac{1}{1 + \mu} \times \sqrt{2[(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2]} \right\}$, $\sigma_{\text{主拉}1.7 \text{ h}} = 0.827 \text{ MPa}$ 大于 $\sigma_{\text{主拉}1.0 \text{ h}} = 0.445 \text{ MPa}$,可

知《公路旧桥承载能力鉴定方法》中推荐的最大剪力位置不太合适,后来的静载试验普遍采用 1.7 h 加载点。从与以上两种方案比较来看,该方案获取的试验数据最为全面,非常完整地反映了预应力混凝土空心板梁在正常工作状态下的使用情况;试验所用仪器设备精度较高,电阻应变仪为 1×10^{-6} ,挠度传感器为 0.01 mm,刻度放大镜为 0.05 mm,满足试验要求;但由于每次测试时贴应变片等复杂工作,延长了加载时间,由此产生温度补偿修正,增加了试验的复杂性。

4 结论

在预应力混凝土空心板梁抗弯试验中,建议采用两点加载,形成较宽的固定弯矩区域,有利于现场实施,保证数据的准确,最好不采用方案一的单点加载方法。

在抗弯试验中,可根据设计工作最大弯矩按公式 $P \cdot a = M_q + M_{g2}$ 换算成两点集中荷载 P 及加载位置 a ,荷载 P 尽量按测试现场成品梁重量的倍数计算。

在抗剪试验中,经过测试比较,加载点应在距支座 1.7 h 处而不是《公路旧桥承载能力鉴定方法》中推荐的 1.0 h 处。应变花就设置在梁底距支座 $1/2$ 梁高至加载点的连线中点处。

挠度测量可采用大量程百分表,裂缝观测建议使用刻度放大镜,满足精度要求。

测试现场温度变化比较大时,建议采用简单快捷的测试方法。可参考方案二采用千分表代替应变片,直接测得位移,换算为拉压应变,加快测试速度,避免复杂且不可靠的温度修正,完全满足测试精度要求。

当现场温度变化不大时,建议采用方案三的测试方法,测试过程规范,数据准确。但温度变化大时,温度补偿可靠性不高,此方案更适于作室内试验。

上海中环线北段部分高架通车

上海市中环线北段部分高架分为“二段、三个立交、六条高架匝道”。其中,“二段”为汶水路高架西段(共和新路立交—沪嘉高速)和汶水路高架东段(大柏树立交—共和新路立交)。“三个立交”为大柏树立交、共和新路立交和沪嘉立交。“六条高架匝道”分别为曲阳路到逸仙路高架上匝道、中环线广粤路西侧的一对高架上下匝道、广粤路东侧的一条上匝道、凉城路东侧的一条下匝道和原平路东侧的一条下匝道。2005 年 1 月 31 日下午 20 时,上海中环线北段中的西段的北侧道路和东段的南北两侧全部道路正式通车。