

公路桥梁荷载试验应变数据异常分析

刘大洋¹, 黄福伟^{1,2}, 张朋¹, 覃高杰¹

(1.招商局重庆交通科研设计院有限公司, 重庆 400067; 2.桥梁工程结构动力学国家重点实验室, 重庆 400067)

摘要: 结合工程实例实测应变数据,对公路桥梁荷载试验中应变数据异常现象进行分析。介绍了公路桥梁荷载试验中常见应变数据异常现象,从环境、应变片粘贴工艺与采集系统及桥梁结构本身缺陷三方面分析了应变数据异常的来源,重点分析了预应力结构隐式裂缝对荷载试验应变数据异常的影响;提出了工具式应变计应用、多参数校验、严格试验程序、提高应变片粘贴工艺四项避免荷载试验应变数据异常的措施。

关键词: 桥梁;荷载试验;应变数据;异常来源;隐式裂缝

中图分类号:U446.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)01-0141-04

为评估桥梁结构的实际承载能力,应变测试数据的准确性尤为重要。目前桥梁荷载试验中常用的应变测试元件为基于电阻应变效应的电阻式应变片,通过惠斯通电桥原理输出与应变成正比的电信号。但在实际桥梁荷载试验中,少部分测点应变数据异常的现象经常发生。为准确评估桥梁结构的实际承载能力,有必要对异常应变数据进行对比分析,寻找引起应变数据异常的原因。该文针对公路桥梁荷载试验中常见应变数据异常现象,分析产生原因并提出改进措施,为公路桥梁荷载试验应变数据异常分析提供参考。

1 应变数据异常现象

公路桥梁荷载试验中的常见应变数据异常现象主要有:

- (1) 荷载试验开始前,应变数据持续飘移,难以调零。
- (2) 试验过程中,应变的绝对值偏大或偏小,卸载后的残余应变偏大或残余应变很小(基本恢复)。
- (3) 试验前和试验中应变数据正常,但卸载后应变数据的残余较大。

2 应变数据异常的来源

应变数据异常主要来源于环境影响、应变片与采集系统、桥梁结构自身缺陷。

2.1 环境影响

环境包括试验桥梁测点附近温度环境、湿度环境和磁场环境。对于大跨径桥梁,温度对应变数据的影响尤为明显。在某些较潮湿环境,防潮措施不

完善,可能会出现应变片电阻值正常而应变数据偏小的情况。磁场环境是指桥梁周围存在电视塔或移动通信信号塔的电磁波信号干扰或采集仪受到近距离对讲机信号干扰而使应变数据出现异常。在现场试验时避免对讲机干扰的最小距离为 10 m。

2.2 应变片与采集系统

除应变片本身质量问题外,应变片引起的应变数据异常主要来源于应变片的粘贴工艺问题,如构件表面打磨不光滑,导致构件表面与应变片粘结不密实或粘贴后的应变片未完全密封,长期暴露在潮湿空气中而受潮。某连续刚构桥荷载试验中,在箱内底板与顶板各布置 4 个应变测点(见图 1)。贴片等准备工作在试验前一天进行,试验时由于箱梁顶板部分施工污水渗入,使底板 4 个应变测点严重受潮。测得的应变数据见表 1。

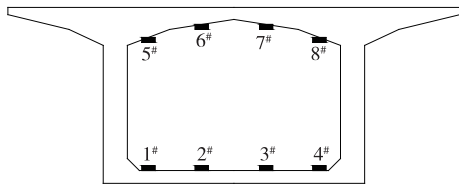


图 1 某连续刚构桥箱梁应变测点布置

由表 1 可知:1#~4# 应变测点由于受潮其应变数值较小,校验系数最大,为 0.12。而干燥情况下同一截面顶板的 5#~8# 测点的应变数据正常。受潮的 1#~4# 应变测点,虽然应变片的电阻值均正常,但测得的应变值偏小。可见,在荷载试验时,单凭应变片的电阻值不能判断试验梁的承载能力。

采集系统除参数设置问题外,地线接触不良而产生静电干扰或仪器设备受到强直流电干扰,应变

表 1 某连续刚构桥箱梁应变测试结果

测点	偏内 6 车/ $\mu\epsilon$	偏内 9 车/ $\mu\epsilon$	卸载/ $\mu\epsilon$	弹性应变/ $\mu\epsilon$	理论应变/ $\mu\epsilon$	校验系数	相对残余应变/%
1 [#]	-4	-6	0	-6	-63	0.10	0.0
2 [#]	-5	-7	0	-7	-59	0.12	0.0
3 [#]	-5	-7	-1	-6	-55	0.11	16.7
4 [#]	-4	-6	-1	-5	-51	0.09	20.0
5 [#]	23	34	1	32	52	0.62	3.6
6 [#]	17	24	0	24	49	0.49	0.0
7 [#]	22	30	0	30	45	0.67	0.0
8 [#]	18	28	0	28	42	0.66	0.0

数据也会产生较大飘移。某桥梁荷载试验时动应变数据出现较大飘移(见图 2)。

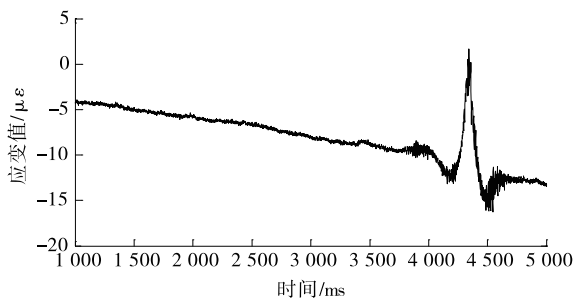


图 2 动应变数据飘移现象

2.3 结构本身缺陷

由结构本身缺陷所引起的应变数据异常是讨论重点,因为这类应变数据异常直接关系到结构的承载力与安全使用性能。常见结构本身缺陷有砼表面蜂窝麻面、横向裂缝与纵向裂缝等,该类病害会降低结构承载力。

当砼材质存在较多蜂窝麻面时,表面与应变片之间的粘结会不密实,甚至直接造成应变片弯曲,影响应变测试数据的准确性。

裂缝可分为显式裂缝和隐式裂缝。显式裂缝是指桥梁荷载试验前后凭借肉眼或裂缝观测仪能直接观察到的裂缝;隐式裂缝是指试验前后凭借肉眼不能观察到,但在试验过程中凭借裂缝观测仪能观测到的裂缝。对于显式裂缝,在荷载试验准备阶段,应变测点应尽量避免这类裂缝一定距离布置。对于垂直于受力方向的较小裂缝,跨缝粘贴的应变片可能会引起测试应变数据很大;对于较大裂缝,若跨缝粘贴应变片,在试验中可能直接损坏;靠近裂缝粘贴的应变片也会因为粘贴区域砼应力释放而使应变数据偏小。

隐式裂缝的隐蔽性高,难以发现,特别是对于预应力构件,在试验前后凭肉眼不能直接观察到裂缝,

但在试验过程中满载工况下测试截面出现裂缝,这类裂缝宽度很小,满载时在 0.03 mm 以内,一般需用专业裂缝观测仪才能发现。若试验截面及附近存在隐式裂缝,应变数据可能出现两种异常现象:一类是应变片跨裂缝粘贴,应变数据在满载时较大,严重超出理论计算值,校验系数远大于 1,而卸载后数据基本恢复;另一类是应变片粘贴在裂缝附近,没有跨缝,应变值由于附近砼开裂使测试区域应力释放而偏小。

某高速公路桥梁上部结构为 4×30 m 预应力连续小箱梁,试验截面尺寸见图 3,荷载试验应变测点布置见图 4。为使整个截面的 4 片箱梁荷载效率均达到规范值,对该截面进行偏内侧与偏外侧两种工况加载试验,各工况分两级加载。应变测试结果见表 2,挠度测试结果见表 3。

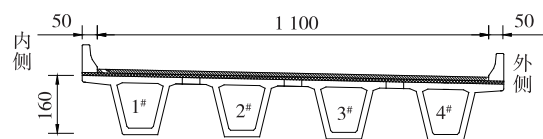
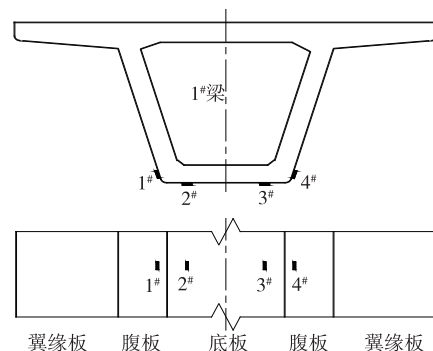


图 3 某高速公路桥梁试验截面示意图(单位:cm)

图 4 某高速公路桥梁 1[#]箱梁截面应变测点布置

由表 2 可知:1[#]、2[#]、3[#] 应变测点在偏内侧与偏外侧工况下截面应变校验系数均大于 1,最大达 1.86;而 4[#] 测点的校验系数远小于 1,最大为 0.11。

表 2 某高速公路桥梁 1# 箱梁应变测试结果

工况	测点	4 车/ $\mu\epsilon$	6 车/ $\mu\epsilon$	残余/ $\mu\epsilon$	弹性应变/ $\mu\epsilon$	理论计算值/ $\mu\epsilon$	校验系数	相对残余应变/%
偏内侧	1#	144	185	-6	185	154	1.20	—
	2#	142	180	-12	180	154	1.17	—
	3#	212	273	-31	273	154	1.77	—
	4#	12	17	-1	17	154	0.11	—
偏外侧	1#	58	148	-3	148	122	1.21	—
	2#	75	152	-2	152	122	1.25	—
	3#	109	229	2	227	122	1.86	0.90
	4#	5	10	-4	10	122	0.08	—

表 3 某高速公路桥梁 1# 箱梁挠度数据结果

工况	4 车/mm	6 车/mm	残余/mm	弹性应变/mm	理论计算值/mm	校验系数	相对残余应变/%
偏内侧	3.9	5.9	0.5	5.4	9.8	0.55	0.08
偏外侧	5.5	6.5	-0.1	6.6	12.6	0.52	—

由表 3 可知:1# 箱梁在偏内侧与偏外侧工况下截面挠度校验系数为 0.52~0.55,应变测点的校验系数远大于挠度测点的校验系数,存在异常情况。在满载工况时仔细观察应变测点区域,发现 1# 箱梁在满载工况下测试截面梁底存在 1 条横向贯通性裂缝,缝宽 0.03 mm,卸载后裂缝宽度为 0.01 mm,并在测试断面附近发现 3 条不连续的横向裂缝,间距为 20~30 cm,卸载后均闭合(见图 5)。

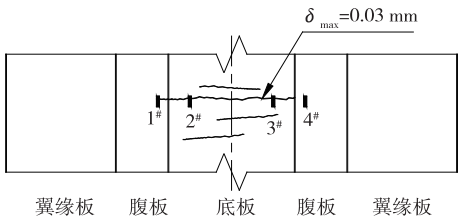


图 5 测点区域裂缝示意图

由图 5 可知:1#、2#、3# 应变片均跨缝粘贴,满载情况下,由于裂缝宽度变化引起应变数据急剧增大;4# 测点虽不跨缝,但距离裂缝较近(1 cm),应力在此得到释放,造成该测点的应变数据偏小。

对于这类由隐式裂缝引起的应变数据异常现象,在预应力桥梁荷载试验应变数据异常分析中应着重关注。

3 减小荷载试验应变数据异常的措施

3.1 应变片粘贴工艺

应变片的粘贴质量直接影晌应变数据的测试结果。下面以 BQ120-80AA 型电阻应变片为例,说

明应变片粘贴中减小桥梁荷载试验应变数据异常的措施。

(1) 选点。在测试截面选择应变片粘贴位置时,尽量避开存在较多蜂窝麻面、空洞和微裂纹的砼表面。

(2) 打磨、清洁。打磨是为应变片粘贴提供一个光滑的粘贴面,清洁的目的是除去打磨后砼表面的灰尘。

(3) 打底。打底基层的目的,一是处理粘贴表面的小孔等不光滑因素,为应变片粘贴提供密实平面;二是为应变片提供底层隔潮。

(4) 贴片。待底基层形成光滑平面后,在底基层上粘贴应变片。粘贴时避免在应变片与环氧树脂间出现气泡,该环节对粘贴人员的技术熟练程度要求较高;应变片引出线应预留适当长度,同时避免应变片引出线短路。

(5) 粘结线块、焊线。通过接线块(接线端子)实现由应变片引出线到连接采集仪屏蔽线之间的过渡,同时起到固定应变片端屏蔽线的作用,防止屏蔽线摆动引起应变片破坏。

(6) 防潮处理。检查应变片的粘贴质量合格后,对应变片进行防潮处理,通常在应变片外采用环氧树脂隔潮。

3.2 工具式应变计

根据电阻应变片的粘贴工艺流程,粘贴人员的技术水平会直接影响电阻应变片的粘贴质量。近几年工具式应变计的普及降低了粘贴工艺对测试数据

的影响,其主要优点:1) 多为全桥电路,在试验中可有效进行温度补偿;2) 结构封装,受环境影响小,不易损坏,本身具有良好的防潮作用;3) 简化粘贴工艺,大幅降低对粘贴人员技术的依赖;4) 可重复利用,成本较低。

3.3 试验程序

严格的试验程序也是避免应变数据异常的重要手段之一。试验程序包括试验设计和规划、试验准备、结构加载试验、量测实施、数据分析和总结评价。在试验设计阶段,应根据结构的受力特点与材料性能合理布置应变测点。在结构加载试验中,应严格按照试验加载制度进行,如结构试验前实施预压,消除结构本身存在的非弹性变形,减小残余应变;通过合理的持荷时间保证应变数据的稳定性,新桥荷载试验中分级加载持荷时间一般不小于 10 min。如在试验过程中出现应变数据不稳定现象,应分析原因,有时可采用现场立即重复试验的方法分析应变数据异常的原因。

3.4 多参数校验

多参数校验是分析应变数据异常的重要手段。当应变数据异常情况难以解决时,可通过其他截面的应变数据、测试截面的挠度数据、全桥的脉动频谱数据等进行多参数校验分析,评定结构的整体性能。因为应变数据反映的是截面的局部应力,具有一定的局限性,而挠度数据与频谱数据多反映结构的整体刚度性能,更具有全局性。

(上接第 140 页)

3 结论

(1) 在 1、5 和 10 mm/min 速度下进行声测管与砼间抗拉拔强度试验,加载速率对声测管与砼间的抗拉拔强度略有影响。

(2) 7 d 龄期下,公称外径为 48.6 mm 的新型 UPVC 声测管与砼间的破坏荷载为 5.5 kN,抗拉拔强度为 0.27 MPa,达到 28 d 抗压强度 75% 以上。

关于砼龄期对不同管径声测管抗拉拔强度的影响有待于进一步验证与分析。

参考文献:

- [1] ASTM D6760-08, Standard test method for integrity testing of concrete deep foundations by ultrasonic crosshole testing[S].

4 结语

该文针对公路桥梁荷载试验中常见的应变数据异常情况,分析引起应变数据异常的来源,并通过实例说明了实际工程中难以发现的预应力结构隐式裂缝对应变数据的影响,总结了公路桥梁荷载试验中降低应变数据异常现象发生概率的措施。

参考文献:

- [1] 代少敏,刘显陆.桥梁荷载试验要点评述与展望[J].交通运输研究,2009(11).
- [2] 周海俊,吴永昌,谭也平,等.桥梁荷载试验研究综述[J].中外公路,2008,28(4).
- [3] 湛润水,刘群安.公路桥梁荷载试验的作用与基本原则[J].公路交通科技:应用技术版,2006(5).
- [4] 王凌波,贺拴海,蒋培文,等.大跨径桥梁荷载试验加载方案算法设计[J].武汉理工大学学报,2012,33(2).
- [5] 周勇军,于明策,雷丹,等.中小跨径箱梁桥荷载试验加载车辆研究[J].中外公路,2014,34(3).
- [6] 吕大伟,袁卓亚,石雄伟,等.中小跨径梁桥试验荷载效率[J].长安大学学报:自然科学版,2013,33(6).
- [7] 王凌波,蒋培文,马印平,等.桥梁静载试验校验系数及优化评定方法研究[J].公路交通科技,2015,32(6).
- [8] 宋龙龙.桥梁荷载试验校验系数影响因素分析[D].西安:长安大学,2014.

收稿日期:2017-06-30

- [2] 李林永.基桩检测用塑料声测管的应用前景分析[J].土工基础,2015,29(3).
- [3] 杨仲元,李林永.塑料声测管的使用性能及外形设计[J].公路交通技术,2015(1).
- [4] JTG/T F30-2014,公路水泥混凝土路面施工技术细则[S].
- [5] GB 50152-2012,混凝土结构试验方法标准[S].
- [6] JT/T 705-2007,混凝土灌注桩用钢薄壁声测管及使用要求[S].
- [7] 李月文,杨仲元.新型 UPVC 声测管的环刚度检测分析[J].公路与汽运,2017(2).
- [8] 周玮,宋丽妹.钻孔灌注桩 PVC 声测管工艺及施工技术[A].施工机械化新技术交流会议论文集(第六辑)[C]. 2005.
- [9] 杨仲元.基桩声测管的管材选用述评[J].浙江交通职业技术学院学报,2014,15(2).

收稿日期:2017-06-20