

ICS 93.040

CCS P 66

团 体 标 准

T/GDHS 009—2023

公路桥梁混凝土预制梁静载试验规程

Code of static load testing for precast concrete beams of highway bridges

2023 - 12 - 30 发布

2023 - 12 - 30 实施

广东省公路学会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	1
4.1 一般规定	1
4.2 试验程序	2
4.3 试验条件	2
4.4 试验环境	2
5 方案制定	2
5.1 资料收集与现场踏勘	2
5.2 试验控制荷载	3
5.3 试验检测项目及参数	3
5.4 试验仪器设备	3
5.5 试验方案	4
6 现场准备	4
6.1 试验梁检查	4
6.2 试验安装	4
6.3 测点布置	4
7 试验实施	6
7.1 加载程序	6
7.2 加载控制	6
7.3 试验量测	6
8 报告编制	7
8.1 数据处理	7
8.2 结果评价	8
8.3 试验报告编写	8
9 安全要求	9
附录 A（规范性）全预应力混凝土预制梁和 A 类预应力混凝土预制梁正常使用极限状态静载试验控制荷载计算方法	10
A.1 试验控制荷载的计算原则	10
A.2 试验控制荷载的确定	10
A.3 静力性能试验控制弯矩的确定	10

附录 B（规范性）钢筋混凝土预制梁和 B 类预应力混凝土预制梁正常使用极限状态静载试验控制荷载计算方法	13
B.1 试验控制荷载的计算原则	13
B.2 试验控制荷载的确定	13
附录 C（资料性）预制梁静载试验设计资料	14
附录 D（资料性）加载装置示意图	15
附录 E（资料性）预制梁静载试验记录表	17
E.1 预制梁静载试验挠度记录表	17
E.2 预制梁静载试验应变记录表	18
E.3 预制梁静载试验裂缝检查记录表	19
参考文献	20

前 言

本文件按照GDHS-BZBX-01-2021《广东省公路学会标准编写规则》的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省交通运输建设工程质量事务中心提出。

本文件由广东省公路学会归口。

本文件起草单位：广东省交通运输建设工程质量事务中心、广东交科检测有限公司、广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、广东省路桥建设发展有限公司。

主编：郭明泉

参加编写人员：梁立农、王勇平、王安福、康谦、陈东亮、陈国雄、罗秀锋、李勇、许肇峰、刘城、李键、王学义、曾汉辉、林熠钿、朱英正

主审：洪显诚

参加审查人员：胡利平、李万恒、谢峻、王荣辉、王强、魏立新、胡朝辉、桑登峰、王佳胜、庄明融

本文件为首次发布。

引 言

混凝土预制梁是装配式桥梁结构的重要承重构件。通过静载试验检验其力学性能，对加强预制梁生产质量管控、保障结构安全具有重要意义。目前我国公路行业缺少预制梁的静载试验方法，现有铁路、建筑行业的预制构件静载试验方法不适用于公路行业。为规范公路桥梁混凝土预制梁静载试验工作，确保试验结果准确、可靠，制定本文件。

本文件在总结广东省近年来公路桥梁混凝土预制梁静载试验工作实践及相关试验研究成果的基础上，吸纳了广东省高速公路设计标准化的相关成果，从方案制定、现场准备、试验实施及报告编制等方面规定了公路桥梁混凝土预制梁静载试验相关程序和工作要求。

请各有关单位在文件使用过程中，将发现的问题和意见及时反馈至广东省交通运输建设工程质量事务中心（地址：广州市白云区陈田丛云路399号，邮政编码：510420），以便修订时研用。

公路桥梁混凝土预制梁静载试验规程

1 范围

本文件确立了公路桥梁混凝土预制梁抗弯静载试验及评价的工作程序。

本文件适用于公路简支梁桥、先简支后连续梁桥的混凝土预制梁静力性能试验评价，其他道路的预制梁静载试验可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

静载试验 static load test

通过在预制梁上施加静力荷载，测试预制梁力学效应是否满足设计要求的现场试验。

3.2

试验荷载 load of test

试验过程中对预制梁施加的荷载。

3.3

试验控制荷载 test controlling load

根据设计荷载效应，确定的试验目标荷载。

3.4

加载图式 load diagram

表征试验荷载在预制梁上施加方式的示意图。

3.5

支点沉降 support settlement

支座的压缩量与台座的竖向位移之和。

3.6

校验系数 verification coefficient

试验荷载作用下预制梁控制截面实测弹性挠度值与其相应的理论计算值的比值。

4 总体要求

4.1 一般规定

4.1.1 预制梁静载试验应以设计与施工资料及结构计算分析为基础，通过检验预制梁的竖向刚度、抗裂性能，判定预制梁的静力性能是否满足设计要求。

4.1.2 下列情况宜开展预制梁静载试验：

- a) 预制梁场首件生产质量检验；
- b) 批量生产预制梁的过程抽检；
- c) 质量存疑预制梁的静力性能检验。

条文说明

对集中批量生产的预制梁，生产单位在批量生产之前或当生产工艺、设备、原材料等有较大调整变化时进行首件检验，以掌握生产质量；对于大批量生产的预制梁，可根据质量监管部门、建设单位或设计单位等提出的相关要求，通过静载试验加强生产过程质量监控。通常批量生产的预制梁以不超过300片且不超过3个月生产的同类型预制梁为一批，每批采用随机方法抽检不少于1片，当试验结果不满足设计要求时，对该生产批预制梁进行加倍抽检，以加强预制梁生产过程的质量控制。同类型指同材料、同制作工艺、同结构类型、同跨径。同材料是指同一原材，包括：水泥、集料、钢筋等；同制作工艺是指相同的施工方法、施工设备和施工队伍；同结构类型是指相同的截面类型和结构形式（结构连续、桥面连续、结构简支）；同跨径是指相同计算跨径，非标准跨径预制梁和与其跨径接近的标准预制梁视为同一跨径。

4.1.3 预制梁静载试验应遵循科学、客观、严谨、安全的原则。

4.1.4 预制梁静载试验前应制定详细的试验方案，经审定、批准后执行。

4.1.5 预制梁静载试验应按本文件第9章要求做好安全防护工作，确保试验人员人身安全和仪器设备安全。

4.1.6 预制梁静载试验报告应提供真实有效、信息完整的试验检测数据和试验检测结论。

4.2 试验程序

4.2.1 预制梁静载试验应按“方案制定、现场准备、试验实施和报告编制”四个阶段依次进行。

4.2.2 方案制定阶段应根据试验目的开展资料收集、现场踏勘，确定试验对象，明确试验检测项目及参数，确定试验控制荷载及加载方案，编制试验方案等工作。

4.2.3 现场准备阶段应开展试验梁与加载装置的检查与安装、测点布置、仪器设备的安装与调试等现场准备工作。

4.2.4 试验实施阶段应开展预加载、试验加卸载、试验量测与记录、过程监控等工作。

4.2.5 报告编制阶段应开展数据处理、结果评价、试验报告编写等工作。

4.3 试验条件

预制梁静载试验应满足以下条件：

- a) 预制梁的几何尺寸、混凝土强度应满足《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）相关要求；
- b) 先张法预应力混凝土预制梁养护龄期应达到28天以上，采用特殊养护的预制梁，龄期应符合设计要求；
- c) 后张法预应力混凝土预制梁应在预应力压浆28天后或浆体强度满足设计要求后进行。

条文说明

由于混凝土强度受养护龄期的影响、有效预应力受混凝土收缩徐变的影响，所以预制梁的混凝土强度与应力状态随时间动态变化。为保障试验时混凝土强度与弹性模量达到设计要求以及试验控制荷载的计算科学准确，需结合生产实际明确预制梁的试验龄期。

4.4 试验环境

4.4.1 预制梁静载试验宜选择阴天或晚上天气稳定、气温平稳的时段进行，在强风、大雾及大、中雨天气等恶劣环境下不应进行预制梁静载试验。

条文说明

环境温度的变化对试验结果产生影响，通常选择气温平稳的时间段进行试验，减小温度对测试结果的影响。根据试验经验，当试验过程中温度变化超过3℃时，温度变化对试验结果可能产生较大影响。

4.4.2 试验现场不应有影响试验的生产作业，无电磁、振动、冲击等影响试验结果的干扰因素。

5 方案制定**5.1 资料收集与现场踏勘**

5.1.1 试验前应收集预制梁的设计、施工和材料验收等资料。

5.1.2 试验前应根据试验目的及有关要求进行现场踏勘，了解预制梁场基本情况、生产状况及加载条件，确定试验加载方式并评估安全风险。

5.2 试验控制荷载

5.2.1 全预应力混凝土预制梁及 A 类预应力混凝土预制梁试验控制荷载的计算以应力等效为原则。应力计算应考虑施工方法及顺序的影响；对于预制阶段截面不对称的预制梁，应计入截面特性的附加影响。具体计算方法按附录 A 执行。

5.2.2 钢筋混凝土预制梁及 B 类预应力混凝土预制梁试验控制荷载的计算以名义应力等效为原则。构件刚度折减应计入截面开裂后材料非线性的影响，名义应力计算应考虑施工方法和顺序的影响；对于预制阶段截面不对称的预制梁，应计入截面特性的附加影响。具体计算方法按附录 B 执行。

5.2.3 试验控制荷载的计算应符合以下规定：

- a) 计算荷载横向分布系数时，对于 T 梁及小箱梁，荷载横向分布系数宜同时采用刚性横梁法、刚（铰）接板梁法等方法计算，取较大值；对于空心板梁，荷载横向分布系数宜同时采用铰接板梁法、刚接板梁法等方法计算，取较大值；
- b) 进行荷载效应计算时，整体化层计算厚度的取值应与设计一致；
- c) 计算护栏荷载作用时，应考虑荷载的横向分布；
- d) 应考虑试验梁养护龄期对预应力损失的影响；
- e) 设计有特殊要求的应另行确定计算原则。

条文说明

整体化层计算厚度的取值关系试验控制荷载的计算，不同设计或不同梁型有差别。参考《广东省高速公路设计标准化指南》，由于空心板梁梁高较矮，考虑整体化层一半厚度参与受力，在不增加空心板梁高的前提下可有效提高空心板的承载力和刚度，经国内大量空心板桥检验，预制空心板与整体化层协同受力是可靠的。T 梁、小箱梁梁高较高，考虑整体化层参与受力对梁的承载力和刚度提高幅度不大，因此偏安全地不考虑整体化层参与受力。

5.2.4 试验控制荷载计算值宜由设计单位提供，并经试验实施单位复核后再开展试验。预制梁静载试验设计资料样式见附录 C。

5.3 试验检测项目及参数

5.3.1 全预应力混凝土预制梁及 A 类预应力混凝土预制梁应进行刚度和抗裂性项目的检验，具体测试参数为挠度和应变（裂缝）。

条文说明

根据试验目的，全预应力混凝土预制梁及 A 类预应力混凝土预制梁应检验预制梁竖向刚度、正常使用状态下的抗裂性，因此试验检验项目为刚度和抗裂性；试验通过挠度反映刚度，通过应变测试监测裂缝的产生，因此具体检测参数为挠度和应变。

5.3.2 钢筋混凝土预制梁及 B 类预应力混凝土预制梁应进行刚度和耐久性项目的检验，具体测试参数为挠度和裂缝宽度。

条文说明

根据试验目的，钢筋混凝土预制梁及 B 类预应力混凝土预制梁应检验预制梁竖向刚度、正常使用状态下的裂缝宽度，其中裂缝宽度是耐久性指标，因此试验检验项目为刚度和耐久性；试验通过挠度反映刚度，通过监测裂缝宽度变化来反映预制梁耐久性，因此具体检测参数为挠度和裂缝宽度。

5.4 试验仪器设备

5.4.1 试验用仪器设备的技术性能应符合相关标准的规定，仪器设备应定期进行检定（或校准），宜使用先进、性能稳定的仪器设备。

5.4.2 试验仪器设备应根据试验需求选择，量程和精度应满足试验要求。

5.4.3 压力传感器的分辨力应不大于 1kN，压力传感器量程应大于试验控制荷载的 1.5 倍，宜不大于试验控制荷载的 5 倍。

5.4.4 试验加载用千斤顶的起重量应大于试验控制荷载的 1.5 倍，宜不大于试验控制荷载的 3 倍，且有足够的行程。

5.4.5 挠度量测设备的分辨力应不大于 0.01mm。

5.4.6 应变量测设备的分辨力宜不大于 $3\mu\varepsilon$ ，且量测标距宜不小于 10cm。

条文说明

应变量测标距不小于 10cm 可达到 3 倍骨料最大公称粒径，尽量减小混凝土材料非均匀性对测试结果的影响。

5.4.7 裂缝量测设备的分辨力应不大于 0.02mm。

5.4.8 温度量测设备的分辨力应不大于 1℃。

5.5 试验方案

试验方案应根据试验检测目的、内容、委托要求和国家现行标准有关规定制定。试验方案宜包含但不限于以下内容：

- a) 试验委托信息、试验目的及试验资料；
- b) 试验检测参数及方法；
- c) 仪器设备和测点布设；
- d) 试验加载程序及控制；
- e) 试验量测方案与记录要求；
- f) 试验安全措施；
- g) 需要委托方现场配合的工作内容等。

6 现场准备

6.1 试验梁检查

试验前应核查试验梁的几何尺寸、混凝土强度等是否满足设计要求，检查是否存在裂缝等外观质量缺陷。

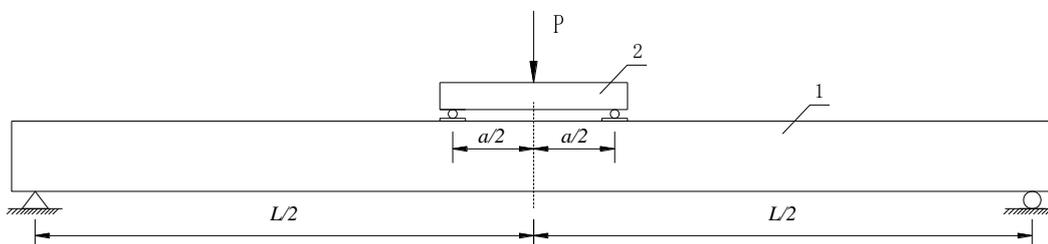
6.2 试验安装

6.2.1 试验台座应有足够的强度、刚度和稳定性，且顶面平整。

6.2.2 试验台座的布置应满足预制梁计算跨径的要求，两台座顶面的高差与两台座中心点之间距离的比值宜不大于 1/2000。

6.2.3 试验支座的型号与布置宜与设计要求的相符。

6.2.4 试验采用两点加载，两加载点纵向以跨中截面为轴对称布置，横向应与支座的支撑线处于同一竖直平面，加载图式见图 1。



标引序号说明：

- 1——试验梁；
- 2——分配梁；
- P——试验荷载；
- a ——两加载点间距；
- L ——计算跨径。

图1 试验加载图式

6.2.5 试验通过分配梁进行两点加载，在加载点铺设薄砂垫层及高度不小于 10cm 的钢垫梁，钢垫梁用水平尺找平后安装分配梁，并移入千斤顶。千斤顶中心与梁顶加载中心线纵横向位置偏差应不大于 10mm，千斤顶中心与加载反力梁中心纵横向偏差应不大于 10mm，且应垫实两者之间的空隙。

6.2.6 试验反力可由配重加载装置或地锚加载装置提供，加载装置应有足够的强度、刚度和稳定性。加载装置示意图见附录 D。

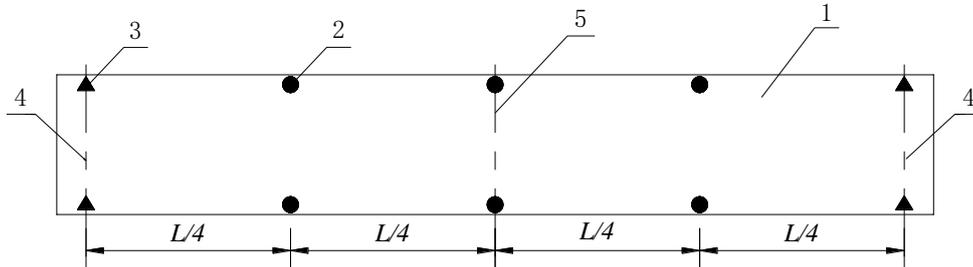
6.2.7 试验前应称量放置于试验梁上加载设备的质量，确定加载设备自重产生的荷载。

6.2.8 试验加载系统安装后应进行调试，调试完成后才能进行试验加载。

6.3 测点布置

6.3.1 挠度测点布置应符合以下规定：

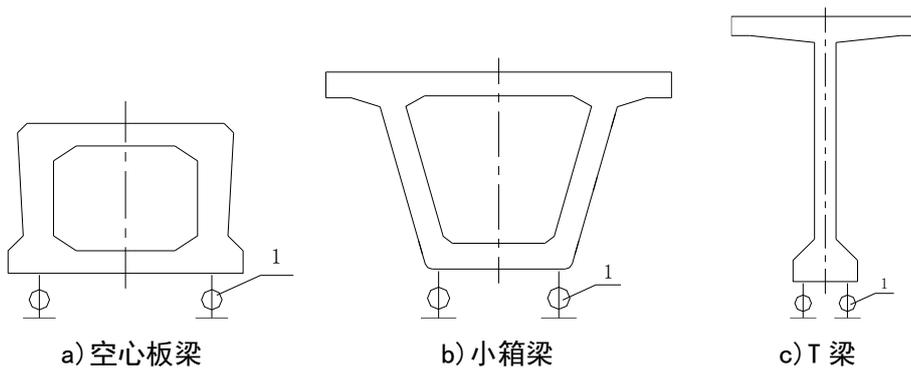
- a) 挠度测点的测值应能反映预制梁的最大挠度及整体挠度分布规律;
- b) 挠度测点应包含预制梁挠度测点和支点沉降测点,纵向测点数量不宜少于 5 个,见图 2;横向以预制梁中心线为轴在梁底或梁顶对称布置 2 个测点,常见截面挠度测点横向布置见图 3。



标引序号说明:

- 1——试验梁;
- 2——挠度测点;
- 3——支点沉降测点;
- 4——支座中心线;
- 5——跨中截面;
- L——计算跨径。

图2 预制梁挠度测点平面布置示意图



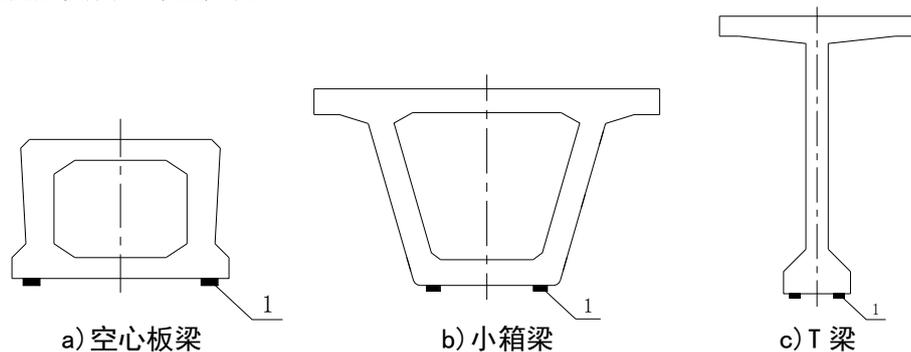
- 标引序号说明:
1——挠度测点。

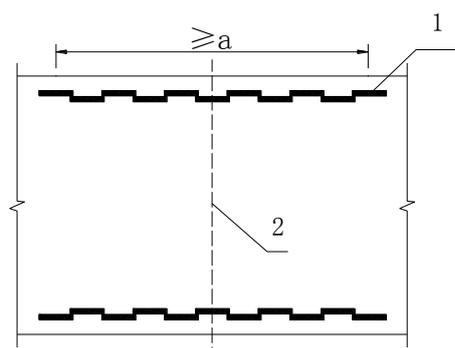
图3 常见截面挠度测点横向布置示意图

6.3.2 试验应选择预制梁最不利受力位置(梁底)监测裂缝的产生,选择裂缝宽度较大的位置监测裂缝的发展情况。

6.3.3 采用应变监测裂缝的测点布置宜遵循下列原则:

- a) 应变测点应在预制梁底板对称布置;
- b) 应变测点沿梁底纵向连续搭接布置,距离边缘 10cm 左右,布置范围不小于加载点间距 a,常见截面应变测点布置见图 4。





d) 应变测点梁底纵向布置示意图

标引序号说明:

1——应变测点;

2——跨中截面;

a——两加载点间距。

图4 预制梁应变测点布置示意图

6.3.4 试验测点与测量仪器应设保护措施，避免日照、风雨、振动和其他干扰。

7 试验实施

7.1 加载程序

7.1.1 试验加载宜采用四级均匀加载，每级加载量为试验控制荷载的 25%。

7.1.2 正式加载之前应进行预加载，宜采用分级加载的第一级荷载进行预加载。

7.1.3 试验卸载宜采用两级卸载，每级卸载量为试验控制荷载的 50%。

7.2 加载控制

7.2.1 试验加载、卸载应缓慢匀速，加卸载速率宜不超过 3kN/s。

7.2.2 试验加载时间间隔应满足结构响应稳定的时间要求，每级加载完成后持荷时间宜不少于 5min。持荷 5min 后，对预制梁挠度（或应变）进行量测，每 2min 采集一次数据，当连续两次量测的挠度增量小于 3 倍的量测仪器分辨率或挠度理论计算值的 1%时，记录本级测试结果，并进行下一级加载。

7.2.3 试验中通过压力传感器量测千斤顶施加的每一级加载量，当示值稳定时读数。

7.2.4 试验加载过程应对结构控制点的挠度（或应变）、最不利受力位置的裂缝情况进行监测分析。

当发生以下异常情况时，应停止加载，查清原因，采取措施后确定是否继续进行试验：

- a) 控制测点挠度值已达到或超过理论计算值；
- b) 全预应力混凝土预制梁及 A 类预应力混凝土预制梁出现受力裂缝；
- c) 钢筋混凝土预制梁和 B 类预应力混凝土预制梁裂缝的长度、数量明显增加或裂缝宽度超过限值；
- d) 实测挠度（或应变）增长速率或分布规律异常；
- e) 试验梁发生异常响声；
- f) 试验台座、支座发生异常变形或位移；
- g) 试验加载系统出现失稳、扭曲、晃动等异常情况。

7.3 试验量测

7.3.1 试验宜选用具有自动数据采集和初步整理功能的配套测试系统，能够及时记录试验数据并对量测结果进行初步整理分析。

7.3.2 每一级加、卸载后的试验量测，宜在持荷开始时进行预读，在结构响应稳定、持荷时间结束后进行正式测读，各测点数据测读宜同时进行。

7.3.3 每次测读后应对测读数据进行核查分析，核查挠度（或应变）实测值与理论值的对比情况以及实测值的增长速率等。

条文说明

对每次测读数据的核查分析有助于掌握预制梁试验受力情况及对试验进程的控制。最终卸载后，对挠度实测值与初始值进行对比分析，核查卸载后预制梁的恢复情况及数据采集质量。

7.3.4 试验过程中每一级加、卸载后应检查梁体是否出现新增裂缝、监测原有裂缝的变化情况，并对其进行标记、量测和记录。

7.3.5 试验过程中应对大气温度等环境条件进行监测与记录，如果试验过程中温度变化较大，宜评估其对试验结果的影响，并确定是否继续进行试验。

7.3.6 试验量测记录表格见附录 E。

8 报告编制

8.1 数据处理

8.1.1 挠度

8.1.1.1 挠度数据分析时，应考虑支点沉降的影响，并对测试数据进行修正，支点沉降修正量按式(1)计算，支点沉降修正计算图示见图 5。

$$C = \frac{l_0 - x}{l_0} \times d_a + \frac{x}{l_0} \times d_b \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：C——测点的支点沉降影响修正量；

l_0 ——A 支点到 B 支点的距离；

x ——挠度测点到 A 支点的距离；

d_a ——A 支点的沉降量；

d_b ——B 支点的沉降量。

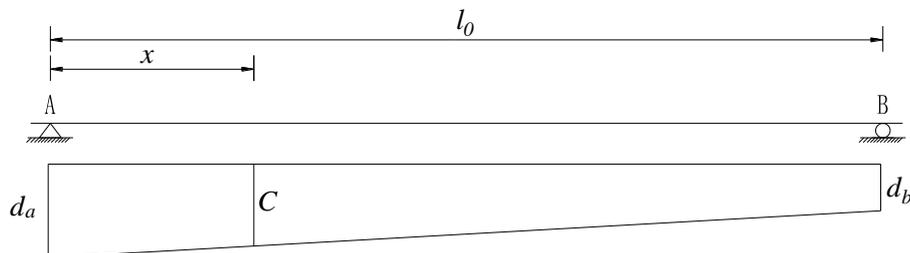


图5 支点沉降修正计算图示

8.1.1.2 挠度数据分析时，温度影响修正宜按式(2)进行计算：

$$S' = S - \Delta t \times K_t \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：S'——温度修正后测点的挠度值；

S——温度修正前测点的挠度值；

Δt ——试验温度变化量(°C)；

K_t ——温度上升 1°C 时挠度测点测值变化量。

条文说明

温度影响修正可利用试验前的温度稳定性观测数据，分析温度变化与试验梁挠度之间的关系(K_t)，修正试验梁的挠度数据。

8.1.1.3 测点的挠度按式(3)~式(4)计算。

$$S_t = S_l - S_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$S_e = S_l - S_u \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中： S_t ——试验荷载作用下测点的挠度值；

S_l ——加载达到稳定时的测值；

S_i ——加载前的测值；

S_e ——试验荷载作用下测点的弹性挠度值；

S_u ——最后一次卸载后达到稳定时的测值。

8.1.1.4 试验过程中根据挠度测试结果，可绘制以下试验曲线：

- a) 主要测点的荷载——挠度关系曲线；
- b) 主要测点的挠度实测值与理论计算值关系曲线；
- c) 预制梁的整体挠度分布图。

8.1.1.5 预制梁静载试验挠度校验系数按式(5)计算。当钢筋混凝土预制梁及B类预应力混凝土预制梁开裂时，挠度理论值宜根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)考虑刚度的折减。

$$\eta_l = \frac{\bar{S}_e}{S_s} \dots\dots\dots (5)$$

式中： η_l ——挠度校验系数；

\bar{S}_e ——试验荷载作用下跨中截面测点弹性挠度值的平均值；

S_s ——试验荷载作用下跨中截面测点的挠度理论值。

8.1.2 裂缝

8.1.2.1 应变

对于全预应力混凝土预制梁以及A类预应力混凝土预制梁，试验过程中根据应变测试结果绘制荷载-应变关系曲线，并通过曲线斜率变化分析预制梁是否发生开裂。

条文说明

应变测点的荷载-应变关系曲线能够比较灵敏的反映预制梁局部是否发生开裂，当曲线斜率发生突变时，对应测点附近通常发生混凝土开裂。

8.1.2.2 裂缝宽度

裂缝出现后应绘制裂缝的位置、分布及发展示意图，对于B类预应力混凝土预制梁以及钢筋混凝土预制梁应将量测的最大裂缝宽度与不考虑长期效应影响的计算裂缝宽度进行比较。

8.2 结果评价

8.2.1 对于全预应力混凝土预制梁以及A类预应力混凝土预制梁，试验检测结果同时满足以下条件时，判定预制梁静力性能满足设计要求：

- a) 主要测点的挠度校验系数 $\eta_l \leq 1.00$ ；
- b) 在试验荷载作用下梁体未出现受力裂缝。

8.2.2 对于B类预应力混凝土预制梁以及钢筋混凝土预制梁，试验检测结果同时满足以下条件时，判定预制梁静力性能满足设计要求：

- a) 主要测点的挠度校验系数 $\eta_l \leq 1.00$ ；
- b) 在试验荷载作用下梁体未出现受力裂缝或实测最大受力裂缝宽度小于不考虑长期效应影响的计算裂缝宽度。

条文说明

裂缝宽度按作用频遇组合效应并考虑长期效应影响计算，静载试验时龄期短，忽略长期效应影响。

8.3 试验报告编写

预制梁静载试验报告应包括但不限于以下内容：

- a) 试验委托信息及试验目的；
- b) 试验梁基本信息、试验依据及试验资料；
- c) 试验内容与方法；
- d) 试验主要仪器设备；
- e) 试验数据处理与分析评价；
- f) 试验结论与建议；
- g) 现场照片等其它试验资料。

9 安全要求

预制梁静载试验应做好以下安全管理工作：

- a) 试验方案应包含试验安全措施，试验前应对试验人员进行安全技术交底；
- b) 试验前后与过程中应对人员安全、设备状况进行检查，防止意外事故发生；
- c) 试验用的荷载架、加载装置均应通过结构验算，并有足够的安全储备；
- d) 试验梁及加载装置应严格按照试验方案进行安装，确保试验安全；
- e) 试验梁、加载设备、荷载架等设备设施的吊装，应有专人指挥，并符合有关建筑安装工程安全技术规定的要求；
- f) 试验过程中应加强安全检查，观察预制梁、加载装置是否存在异常变化，发现异常情况应停止加载，查明原因确保安全后方可继续加载；
- g) 试验区域应设置明显的管理及安全警示标志。试验期间不应进行其他生产作业，并加强试验区域的管理，禁止无关人员进入。

附录 A (规范性)

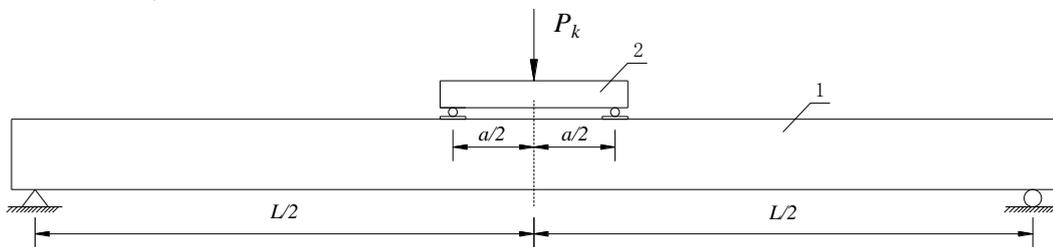
全预应力混凝土预制梁和 A 类预应力混凝土预制梁正常使用极限状态静载试验控制荷载计算方法

A.1 试验控制荷载的计算原则

全预应力混凝土预制梁和 A 类预应力混凝土预制梁静载试验跨中等效弯矩根据应力等效原则,按照正常使用极限状态作用频遇组合效应设计值计算得出,构件刚度按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)计算,并通过试验加载图式计算试验控制荷载。设计有特定要求的,另行确定计算原则。

A.2 试验控制荷载的确定

试验通过分配梁进行两点加载,在跨中截面对称布置,加载图式见图 A.1。根据加载图式,按式(A.1)计算试验控制荷载 P_k 。



标引序号说明:

1——试验梁;

2——分配梁。

图A.1 试验加载图式

$$P_k = \frac{4(M_k - M_s)}{L - a} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中: M_k ——静力性能试验控制弯矩,单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$;

M_s ——加载设备自重产生的跨中弯矩,单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$;当加载设备自重小于计算试验控制荷载的1%时,可以忽略加载设备自重的影响;

L ——计算跨径,单位为 m ;

a ——两加载点间距,单位为 m ;宜根据梁高确定,通常取1.5 m 。

A.3 静力性能试验控制弯矩的确定

A.3.1 静力性能试验控制弯矩 M_k 按式(A.2)计算;当汽车荷载效应小于其他可变荷载效应时,试验弯矩按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)计算。

$$M_k = K(M_1 + M_2 + M_3 + 0.7M_4 + 0.4M_5 + 0.8M_6 + M_7 - M_8 + M_9) - M_1 \dots\dots (A.2)$$

式中: K ——预制梁考虑预应力类型的频遇组合调整系数,根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG-3362)第 6.3.1 条,全预应力混凝土预制梁 $K = 1/0.85$,取 1.18; A 预应力混凝土预制梁 K 取 1.0;

M_1 ——预制梁自重跨中弯矩,单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$;

M_2 ——预制梁承担的二期恒载跨中弯矩,单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。对于空心板梁,二期恒载包括其分配到的铰缝、整体化层、铺装层、防撞墙、人行道等荷载;对于小箱梁及 T 梁,二期恒载包括其分配到的桥面板湿接缝和横隔梁湿接缝、调平层、铺装层、防撞墙、人行道等荷载;

M_3 ——未完成预应力损失的预制梁跨中补偿弯矩,计算由收缩徐变引起的未完成的预应力损失时应考虑纵向钢筋对收缩徐变的约束作用,单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$;

M_4 ——汽车荷载（不计冲击力）引起的预制梁跨中最大正弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_5 ——人群荷载引起的预制梁跨中最大正弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_6 ——温度梯度引起的跨中等效弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_7 ——整体温度变化引起的跨中等效弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_8 ——连续结构支点预应力总效应引起的跨中等效弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_9 ——不均匀沉降的跨中等效弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

A.3.2 未完成的预应力损失的预制梁跨中补偿弯矩 M_3 按式（A.3）~式（A.4）计算：

$$M_3 = \Delta\sigma_s \times A_p \times \left(\frac{W_0}{A_0} + e_p \right) \times 10^3 \dots\dots\dots \text{（A.3）}$$

$$\Delta\sigma_s = (1 - \eta_1)\sigma_1 + (1 - \eta_2)\sigma_2 \dots\dots\dots \text{（A.4）}$$

式中： $\Delta\sigma_s$ ——未完成的预制梁跨中预应力损失值，计算由收缩徐变引起的未完成的预应力损失时应考虑纵向钢筋对收缩徐变的约束作用，单位为 MPa ；

A_p ——预制梁跨中截面预应力钢筋截面面积，单位为 m^2 ；

W_0 ——预制梁跨中截面下缘换算截面弹性抵抗矩，单位为 m^3 ；

A_0 ——预制梁跨中截面换算截面面积，单位为 m^2 ；

e_p ——预制梁跨中截面预应力合力中心至换算截面重心的距离，单位为 m ；

η_1 、 η_2 ——分别为预应力松弛与混凝土收缩徐变引起的跨中应力损失完成率；

σ_1 、 σ_2 ——分别为预应力松弛与混凝土收缩徐变引起的跨中应力损失值，计算由收缩徐变引起的未完成的预应力损失时应考虑纵向钢筋对收缩徐变的约束作用，单位为 MPa 。

A.3.3 汽车荷载引起的预制梁跨中最大正弯矩 M_4 按式（A.5）计算：

$$M_4 = M_4' \times \frac{W_0}{W_1} \dots\dots\dots \text{（A.5）}$$

式中： M_4' ——汽车荷载（不计冲击力）引起的预制梁组合截面跨中最大正弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

W_0 ——预制梁跨中截面下缘换算截面弹性抵抗矩，单位为 m^3 ；

W_1 ——预制梁截面变化后跨中截面下缘换算截面弹性抵抗矩，单位为 m^3 。（根据《广东省高速公路设计标准化指南》，小箱梁及 T 梁为预制梁与湿接缝的组合截面，空心板梁为预制梁与一半整体化层的组合截面）。

A.3.4 人群荷载引起的预制梁跨中最大正弯矩 M_5 按式（A.6）计算：

$$M_5 = M_5' \times \frac{W_0}{W_1} \dots\dots\dots \text{（A.6）}$$

式中： M_5' ——人群荷载引起的预制梁组合截面跨中最大正弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

W_0 ——预制梁跨中截面下缘换算截面弹性抵抗矩，单位为 m^3 ；

W_1 ——预制梁截面变化后跨中截面下缘换算截面弹性抵抗矩，单位为 m^3 。（根据《广东省高速公路设计标准化指南》，小箱梁及 T 梁为预制梁与湿接缝的组合截面，空心板梁为预制梁与一半整体化层的组合截面）。

A.3.5 温度梯度引起的跨中等效弯矩 M_6 按式（A.7）计算：

$$M_6 = \sigma_{t1} \times W_0 \times 10^3 \dots\dots\dots \text{（A.7）}$$

式中： σ_{t1} ——温度梯度引起的预制梁组合截面跨中下缘最大拉应力，单位为 MPa ；

W_0 ——预制梁跨中截面下缘换算截面弹性抵抗矩，单位为 m^3 。

A.3.6 整体温度变化引起的跨中等效弯矩 M_7 按式（A.8）计算：

$$M_7 = \sigma_{t2} \times W_0 \times 10^3 \dots\dots\dots \text{（A.8）}$$

式中： σ_{t2} ——整体温度变化引起的预制梁组合截面跨中下缘最大拉应力，单位为 MPa ；

W_0 ——预制梁跨中截面下缘换算截面弹性抵抗矩，单位为 m^3 。

A.3.7 连续结构支点预应力总效应引起的跨中等效弯矩 M_8 按式(A.9)计算:

$$M_8 = \sigma_p \times W_0 \times 10^3 \dots\dots\dots (A.9)$$

式中: σ_p ——连续结构支点预应力总效应引起的预制梁跨中下缘最大压应力(取压应力的绝对值),单位为MPa;

W_0 ——预制梁跨中截面下缘换算截面弹性抵抗矩,单位为 m^3 。

A.3.8 不均匀沉降的跨中等效弯矩 M_9 按式(A.10)计算:

$$M_9 = \sigma_c \times W_0 \times 10^3 \dots\dots\dots (A.10)$$

式中: σ_c ——不均匀沉降引起的预制梁组合截面跨中下缘最大拉应力,单位为MPa;

W_0 ——预制梁跨中截面下缘换算截面弹性抵抗矩,单位为 m^3 。

附录 B (规范性)

钢筋混凝土预制梁和 B 类预应力混凝土预制梁正常使用极限状态静载试验控制荷载计算方法

B.1 试验控制荷载的计算原则

钢筋混凝土预制梁和 B 类预应力混凝土预制梁静载试验跨中等效弯矩根据名义应力等效原则，按照正常使用极限状态作用频遇组合效应设计值计算得出，构件刚度折减按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG-3362) 计算或计入截面开裂的非线性影响进行精细分析确定，并通过试验加载图式计算试验控制荷载。设计有特定要求的，另行确定计算原则。

B.2 试验控制荷载的确定

试验控制荷载 P_k 按附录 A 中式 (A.1) 计算，其中静力性能试验控制弯矩 M_k 按式 (B.1) 计算；当汽车荷载效应小于其他可变荷载效应时，试验弯矩按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 计算。

$$M_k = M_2 + M_3 + 0.7M_4 + 0.4M_5 + 0.8M_6 + M_7 - M_8 + M_9 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中： M_2 ——预制梁承担的二期恒载跨中弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；对于空心板梁，二期恒载包括其分配到的铰缝、整体化层、铺装层、防撞墙、人行道等荷载；对于小箱梁及 T 梁，二期恒载包括其分配到的桥面板湿接缝和横隔梁湿接缝、调平层、铺装层、防撞墙、人行道等荷载；

M_3 ——未完成预应力损失的预制梁跨中补偿弯矩，计算由收缩徐变引起的未完成的预应力损失时应考虑纵向钢筋对收缩徐变的约束作用，对于钢筋混凝土预制梁应考虑纵向钢筋对收缩徐变的约束作用，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_4 ——汽车荷载（不计冲击力）引起的预制梁跨中最大正弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_5 ——人群荷载引起的预制梁跨中最大正弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_6 ——温度梯度引起的跨中等效弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_7 ——整体温度变化引起的跨中等效弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_8 ——连续结构支点预应力总效应引起的跨中等效弯矩，对于钢筋混凝土预制梁取 0，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

M_9 ——不均匀沉降的跨中等效弯矩，单位为 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

附 录 C
(资料性)
预制梁静载试验设计资料

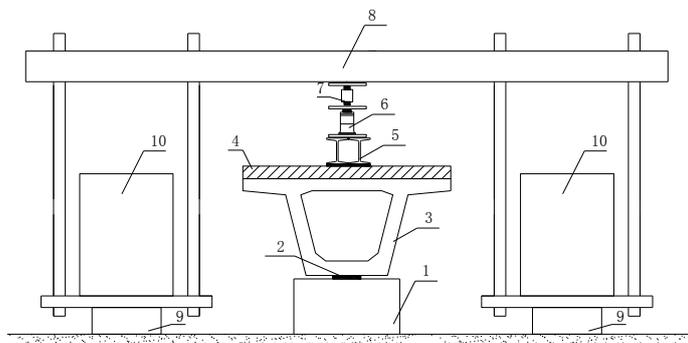
预制梁静载试验设计资料样式见表C.1。

表C.1 预制梁静载试验参数表

序号	试验参数	计算值
1	计算跨径 L (m)	
2	跨中截面换算截面抗弯惯性矩 W_0 (m^4)	
3	跨中截面试验控制弯矩 M_k (kN·m)	
4	两加载点间距 a (m)	
5	试验控制荷载 P_k (kN)	
6	试验控制荷载下跨中截面挠度理论值 S_s (mm)	
7	试验控制荷载下跨中截面裂缝宽度理论值 W_{cr} (mm)	
注：对于B类预应力混凝土预制梁及钢筋混凝土预制梁，还需提供“跨中截面开裂后换算截面抗弯惯性矩”。		

附录 D
(资料性)
加载装置示意图

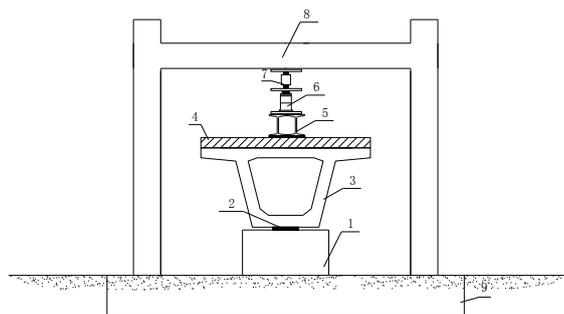
配重加载装置示意图D.1，地锚加载装置示意图D.2，加载装置平面示意图D.3。



标引序号说明：

- 1——台座；
- 2——支座；
- 3——试验梁；
- 4——钢垫梁；
- 5——分配梁；
- 6——千斤顶；
- 7——压力传感器；
- 8——反力梁；
- 9——支撑；
- 10——配重块（梁）。

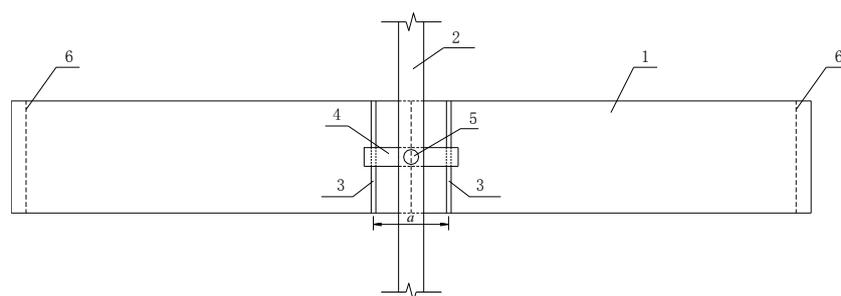
图D.1 配重加载装置示意图



标引序号说明：

- 1——台座；
- 2——支座；
- 3——试验梁；
- 4——钢垫梁；
- 5——分配梁；
- 6——千斤顶；
- 7——压力传感器；
- 8——反力梁；
- 9——基础。

图D.2 地锚加载装置示意图



标引序号说明:

1——试验梁;

2——反力梁;

3——钢垫梁;

4——分配梁;

5——千斤顶和压力传感器;

6——支座中心线;

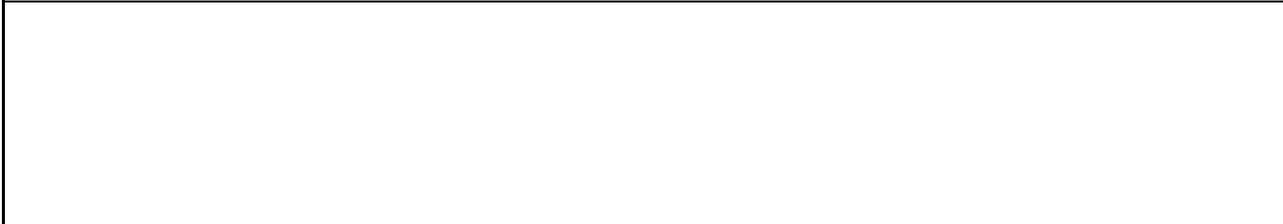
a ——两加载点间距。

图D. 3 加载装置平面示意图

附 录 E
(资料性)
预制梁静载试验记录表

预制梁静载试验挠度记录表样式如表E. 1所示，预制梁静载试验应变记录表样式如表E. 2所示，预制梁静载试验裂缝检查记录表样式如表E. 3所示。

E. 1 预制梁静载试验挠度记录表

工程项目		预制梁编号		结构类型				
跨径		仪器设备及编号		试验日期				
加卸载状态	分级	初始状态	加载1	加载2	加载3	满载	卸载1	卸载2
	荷载(kN)							
持荷开始时间								
读数时间								
挠度测值 (mm)	测点1							
	测点2							
	测点3							
	测点4							
	测点5							
							
温度(℃)								
挠度测点布置图								
								
检测		记录		复核				

E.2 预制梁静载试验应变记录表

工程项目		预制梁编号		结构类型				
跨径		仪器设备及编号		试验日期				
加卸载状态	分级	初始状态	加载1	加载2	加载3	满载	卸载1	卸载2
	荷载(kN)							
持荷开始时间								
读数时间								
应变测值 ($\mu\epsilon$)	测点1							
	测点2							
	测点3							
	测点4							
	测点5							
							
温度($^{\circ}\text{C}$)								
应变测点布置图								
检测		记录		复核				

E.3 预制梁静载试验裂缝检查记录表

工程项目		预制梁编号		结构类型				
跨径		仪器设备及编号		试验日期				
加卸载状态	分级	初始状态	加载1	加载2	加载3	满载	卸载1	卸载2
	荷载(kN)							
持荷开始时间								
读数时间								
裂缝长度(m)								
裂缝宽度(mm)								
裂缝示意图								
检测		记录		复核				

参 考 文 献

- [1] GB/T 50152-2012 混凝土结构试验方法标准
 - [2] GB 50204-2015 混凝土结构工程施工质量验收规范
 - [3] JTG / T J21-01-2015 公路桥梁荷载试验规程
 - [4] TB/T 2092-2018 简支梁试验方法 预应力混凝土梁静载弯曲试验
 - [5] ISBN 978-7-114-13996-3 广东省高速公路工程设计标准化指南
 - [6] YC4-4/1978 大跨径混凝土桥梁的试验方法
-