

第一篇 绪论

第一章 公路桥梁荷载试验的作用与分类

第一节 桥梁荷载试验作用

桥梁是公路的纽带与咽喉,直接左右着公路的生命。因此,必须确保其工程质量,始终使其处于良好的工作状态。一般来说,桥梁是一项大型工程,决定其质量的因素是多方面,例如设计分析理论、施工技术、建筑材料,以及地质、水文等自然条件。为此,在桥梁建设过程中,人们采取相应和依靠材料试验(包括试块试验)、模型试验、结构试验、施工监控、成桥后的动、静载试验等手段,了解和控制工程质量。在这些工程质量控制手段中,其中荷载试验和相关试验技术起着至关重要作用。

随着科学技术的进步,桥梁结构的设计方法和设计理论都有了根本性的变化,然而影响桥梁工程质量的许多不确定因素仍然存在,对于建成后的桥梁工程质量,人们更希望了解和掌握其使用性能和效果。此时,人们通过对公路桥梁实施静、动荷载试验,来检验设计和施工质量是否满足设计和标准规范要求,评定桥梁运营荷载等级和实际使用状况等。美国一位专家曾说过:“无论多么高新的结构分析技术都不能取代用于评估公路大桥性能的现场测试。当建筑物承受工作荷载时,记录下应变测试结果,根据测试结果工程师就能更好地了解桥梁的真实结构响应。”

桥梁荷载试验的作用和目的,就是通过对桥梁结构物直接加载后进行有关测试、记录与分析工作(包括试验准备、理论计算、现场试验、对试验结果分析整理等一系列内容),以达到了解桥梁结构在试验荷载作用下的实际工作状态,进而评定桥梁结构施工质量和使用状况,为竣工验收和深入探索提供科学依据。

对于采用新结构、新材料、新技术、新工艺等修建的桥梁,尚有许多诸如结构的材料性能、动力反应、不能建立与研究问题相对应的完善的数学模型,或计算模型与实际结构之间的差距等问题,通过桥梁荷载试验,可以直

接测得理论分析与计算的相关参数，掌握桥梁结构在荷载作用下的实际受力和工作状况，探索桥梁结构受力行为的一般规律，检验是否符合国家标准和设计要求，为充实和发展桥梁设计计算理论为施工工艺积累科学的实践资料。

桥梁荷载试验还是对新建桥梁，特别是大跨度、复杂结构的桥梁竣工验收和质量评定的重要手段。通过荷载试验，可以测试桥梁的施工质量和结构受力性能，判定桥梁结构的实际承载能力，确定桥梁的实际运营状况和使用条件，为竣工验收、投入运营使用提供科学的依据。

对于既有桥梁，特别是修建时间较长、已无法查找到原设计、施工和竣工资料的桥梁，通过桥梁荷载试验，可以评估其使用性能和承载能力，为既有桥梁的继续安全使用、养护、加固、改建或限载提供可靠的技术资料。

桥梁荷载试验涵盖的内容较为丰富，其核心内容是：通过测试在荷载直接作用下的桥梁各结构部位以及整体的响应参数，从而反映和揭示桥梁的实际承载能力和使用状况。与桥梁结构的理论计算和分析体系一样，桥梁荷载试验都属于对桥梁结构进行微观分析与评价的内容，但又自成体系，桥梁荷载试验与分析评定，是对于桥梁结构理论计算与分析的有机延伸和完善与补充。

桥梁荷载试验是一门直接服务于工程实践的技术学科，涉及到桥梁的设计计算理论、试验测试技术、仪器仪表性能、数理统计分析、现场试验组织等方面，具有较强的综合性、应用性和复杂性。同时，桥梁荷载试验对于推动桥梁建设事业的发展，为确保桥梁安全运营、进行科学养护又发挥着重要的作用。

第二节 桥梁荷载试验分类

在实际工作中，桥梁荷载试验在桥梁的科研、设计及施工、验收等各方面都起着重要的作用。按照荷载试验的侧重点、目的与要求不同，桥梁荷载试验分为以下几种：

- 科学研究性试验和生产鉴定性试验；
- 静荷载试验和动荷载试验；
- 原型试验和模型试验；
- 破坏性试验和非破坏性试验；
- 长期试验和短期试验。

下面分别简要论述如下：

一、科学研究性试验与生产鉴定性试验

1. 科学研究性试验

科学研究性试验是一种探索性试验，主要解决科研和生产中有探索性、开创性的问题。其试验特点 针对性很强 对试件设计、选择测量仪器、确定测试方法，都有特殊要求。

科学性研究试验，是为了建立或验证结构设计计算理论和经验公式，或验证某一结构理论体系中的科学假设判断的可信程度。一般多采用模型结构，当然有必要时，也可选用实际结构。在进行这种试验时，一般把影响结构的主要因素作为试验参数，按照试验目的进行结构设计和选定试验数量，并在专门的试验室进行，利用特定的加载装置，以消除或减少外界因素的干扰影响，以突出所要研究的主要因素。通过系统的模型试验，对测试资料数据加以分析，从而揭示出具有普遍意义的规律。

科学研究性试验一般要达到下列目的之一：

(1) 验证新的结构分析理论、设计计算方法

在进行桥梁结构分析时，对复杂的结构问题进行模拟时，常需要进行必要的简化和假设，然后建立计算模型。为了验证这些简化和假设是否合理，需要配合理论分析进行一系列的模型试验。

(2) 为发展新的结构形式、新的施工工艺开创道路、积累经验

当一种新的结构形式或新的施工工艺刚提出来时，往往缺少设计和施工方面的经验。为了探索相关内在规律和积累这方面的实际经验，常配合做一些科学研究性试验。

(3) 为制定和修改设计规范提供依据

随着设计理论研究的提升和设计方法与技术的改变（例如，从容许应力法设计到按极限状态法设计，从确定性设计到概率设计等），设计规范也应作相应的修改，新规范的依据常常来自相应的试验。

2. 生产鉴定性试验

生产鉴定性试验具有直接服务于生产实践的意义，一般以原型结构作为试验对象 在现场进行试验。根据规范、标准的要求 按照有关设计文件，通过试验来确定结构的实际承载能力、使用性能和使用条件，检验设计施工质量 提出桥梁养护、加固、改建、限载对策，有效地保证桥梁结构的安全使用。

生产鉴定性试验也称之为桥梁检测 包括 静载试验、动载试验、无损检

测与长期监控测试四个方面。

在桥梁试验中，原型试验存在费用高、期限长、测试环境多变等不利的影响因素，如对一些大型桥梁进行多因素的研究性研究，单靠原型试验有时是难以实现和达到目的。因此，结合原型桥梁进行模型试验，往往成为科技工作者的一种有效手段，可以更为方便全面地研究主要影响因素之间的关系，探索结构行为的普遍规律，推动新结构、新材料、新工艺的发展与应用。

生产性试验主要有以下几种情况：

(1)对新建桥梁进行鉴定

为了对新建桥梁的质量进行鉴定，通过一定的试验手段，对桥梁的主要质量指标（例如混凝土质量、钢材的焊接质量、检验荷载作用下桥梁的最大挠度或挠曲线、控制截面上的应力等）进行测试，根据测得的这些基本数据，对新建桥梁的质量进行评定。这种试验可以用来检验设计理论以及施工质量，为即将投入使用的桥梁的运行、养护提供依据。

(2)对既有桥梁进行鉴定

既有桥梁在运行过程中因受到地震、台风、雨雪、冰冻等自然因素的影响以及冲击荷载等人为因素的作用和随着时间的推移，桥梁结构都会受到不同程度地损害。为了了解桥梁的实际损害程度以便决定采取何种养护或维修措施，就有必要对这些受损桥梁进行鉴定测试。对于一些重要桥梁，如南京长江大桥为了确保其运行安全除了日常的养护、检查外每隔十年还要进行一次大规模的测试鉴定工作。

另外，随着交通运输事业的发展，许多公路都要提高运输等级，线路上的桥梁也要进行改建或重建。为了采取切合实际的旧桥改造方案以便获得最佳的经济和社会效益，常常有必要对既有桥梁的实际承载能力和耐久性等进行检测与评定，从而决定采用何种措施来满足线路对桥梁的诸如承载能力、桥宽、纵坡等各项指标的要求。

二、静荷载试验和动荷载试验

静载试验与动载试验虽然在试验目的、测试内容等方面不同，是两种性质的试验，但对于全面分析掌握桥梁结构的工作性能是同等重要的。

1. 静荷载试验

所谓桥梁静载试验，是将静止的荷载作用在桥梁上的指定位置，然后对桥梁结构的静力位移、静力应变、裂缝等参量进行测试，从而对桥梁结构在荷载作用下的工作性能及使用能力作出评价。

静载试验是桥梁结构试验中最大量、最常见的基本试验。因为桥梁结构工作时所受的荷载主要是静力荷载，其自重当然属于静力荷载，就是荷载位置随时间而变的移动车辆荷载，在设计计算时一般也是作为静载来考虑的。这样做的原因，一方面是：因为区分静力问题与动力问题的主要标志，并不是与结构受力状态有关的各物理量是否随时间变化，而是由结构的运动加速度引起的惯性力是否已经大到不可忽略的程度，通常由移动车辆荷载引起的结构反应的动态增量部分只占全部反应的极小部分；另一方面，将移动车辆荷载作为动力问题来考虑，分析起来过于复杂，因此，常用将静力荷载乘以冲击系数的办法来近似考虑移动车辆荷载的动力影响。

桥梁结构静载试验，一般可以通过重力或其他类型的加载设备来实现，并能满足试验要求。静载试验的加载过程，是从零开始逐步递增，一直到预定的荷载为止。静载试验是了解结构特性的重要手段，不仅用它来直接解决结构的静力问题，就是在进行结构动力试验时，一般也要先进行静载试验，以测定结构有关的特性参数。

2. 动荷载试验

桥梁动载试验是利用某种激振方法激起桥梁结构的振动，然后测定其固有频率、阻尼比、振型、动力冲击系数、行车响应等参量，从而判断桥梁结构的整体刚度、行车性能。

桥梁结构的动载试验，目前主要包括两方面的内容：

一是测量移动车辆荷载作用下桥梁指定断面上的动应变或指定点的动挠度；

二是测量桥梁结构的自振特性和动力响应。

移动车辆荷载作用下的动应变或动挠度测定，一般用于实桥试验，试验时将单辆或多辆载重车辆按不同的车速通过桥梁，有时为了模拟路面的不良情况，还在桥面上设置人工障碍（比如有一定宽度和高度的木板），使行驶车辆产生跳动，以形成对桥梁的冲击作用，此时测出指定断面上的动应变或动挠度，将动态情况下的峰值与相应的静态数值相比，可以求出车辆振动引起的动态增量。用测试的方法确定桥梁的动态增量，是研究车辆对桥梁动力作用的一种手段，由试验求得的数据可以作为确定桥梁冲击系数的依据。

桥梁自振特性的测量对象，可以是实际桥梁，也可以是桥梁模型。测量模型的自振特性时，一般要对模型进行专门的激励（输入），然后测量模型的响应（输出）；在已知激励和响应（或只有响应）的情况下可以求出模型（系统）的自振特性。测量实桥的自振特性时，也可以同模型试验一样，对实桥

进行激振，测得输入和结构的响应后可以求出自振特性。有时，也可以不用对实际结构进行专门的激振而是利用自然因素如风、水流、地脉动等作为实际桥梁的振源（只要能满足一定的条件），测出实际桥梁在这些自然因素作用下的响应，求出实际桥梁的自振特性。

正确确定桥梁结构的自振特性是进行桥梁动力响应的基础。结构自振特性中除阻尼比外，频率与振型可以用计算的力法求得，但计算时所采用的计算图式与实际结构往往有区别，所以用试验的方法确定桥梁结构的自振特性就很有必要。

在诸如地震荷载和风荷载作用下，测量桥梁结构的动力响应的目的是：研究桥梁结构抗震和抗风性能，确保桥梁结构抵抗突发性自然灾害的能力。这类动力响应的测试分析一般都通过模拟震动台试验和风洞试验进行。在有条件的地方，也可以在实桥上进行实时测试。

三、原型试验和模型试验

1. 原型试验

原型试验的对象是实际结构或构件。桥梁结构原型试验的对象一般都是实际桥梁，所以原型试验也称实桥试验。

原型试验一般直接为生产服务，但也有以结合科研为试验目的。例如近年来交通运输系统对诸多既有桥梁的质量鉴定试验、新建桥梁的鉴定试验以及一些大型、新型桥梁结构的施工控制测试等基本都属生产性试验，而对有的大跨度斜拉桥进行施工全过程动力特性测试，则基本上是以科研为目的，是为斜拉桥的抗震、抗风研究积累实测资料。

原型试验是以实际结构为测试对象，试验结果真实地反映了实际结构的工作状态。对于评价实际结构的质量、检验设计理论都比较直接可靠，特别是质量鉴定性试验，只能在实际结构上进行。当然，原型试验存在所需费用大、周期长、现场测试条件差等问题。

2. 模型试验

当进行桥梁结构的原型试验由于投资大、周期长、测量精度受环境影响，在物质上或技术上存在某些困难时，往往采用模型试验的办法，来解决设计分析中的疑难问题。特别是科学研究性试验，则更需要借助模型进行试验。模型是仿照真实结构，按照一定比例关系复制成的真实结构的试验代表物，它具有实际结构的全部或部分特征，但模型的尺寸比原型小得多。

根据不同的试验目的，可以将模型分成两类：一类是以解决生产实践中

的问题为主要目的的模型试验，这类模型试验的模型的设计制作与试验要严格按照相似理论，使模型与原型之间满足几何相似，力学相似和材料相似的关系，这样，模型就能反映原型的特性，模型试验的结果可以直接返回到原型上去。这种模型试验常常用于解决一些目前尚难以用分析的办法解决的工程实际问题。

还有一类模型试验，主要是用来验证计算理论或计算方法的。这类试验的模型与原型之间不必满足严格的相似条件，一般只要求满足几何相似同时满足边界条件。将这种模型的试验结果与理论计算的结果对比较核，可用以研究结构的性能，验证设计假定与计算方法的正确性，并确认这些结果所证实的一般规律与计算理论可以推广到实际结构中去。

四、破坏性试验和非破坏性试验

一般情况下，鉴定性试验多为非破坏性试验。但在某些情况下为了达到预定的试验目的，往往需要进行破坏性试验，以掌握试验结构由弹性阶段进入塑性阶段甚至破坏阶段时的结构行为、破坏形态等试验资料。实际上，原型结构的破坏试验，不论在费用上还是在方法上都存在一些具体的问题，特别是在结构进入破坏阶段后试验是比较困难的。因此，破坏试验一般均以模型结构为对象，在实验室内进行，以便能够较为方便可行地进行加载、控制、量测、分析，从而总结出具有普遍意义的规律，推广应用于原型结构。

五、长期试验和短期试验

鉴定性试验与一般性的研究试验多采用短期试验方法，只有那些必须进行长期观测的现象，如混凝土结构的收缩和徐变性能、桥梁基础的沉降结构材料的疲劳等，才采用长期试验方法。此外，对于大型桥梁结构或新型桥梁结构常常采用长期观测或组织定期的检测，以积累这些结构长期使用性能的资料。

第二章 公路桥梁荷载试验一般程序和方法

本书论述的公路桥梁荷载试验系指生产鉴定性、非破坏性、短期原型的静、动荷载试验。一般情况下，进行公路桥梁荷载试验的一般程序可分为三个阶段，即试验准备阶段、加载与观测阶段和分析总结阶段。

第一节 荷载试验准备阶段

试验准备阶段是桥梁荷载试验顺利进行的前提和保障，其工作包括：

- 收集、桥梁设计文件、施工记录、监理记录、原试验资料、桥梁养护与维修记录等桥梁技术资料；
- 检查桥梁现状 如桥面系、承重结构构件、支座、基础等部位的表观状况；
- 检算设计荷载和试验拟加荷载作用下理论内力；
- 制定加载和量测方案，选用仪器仪表；
- 搭设工作脚手架、设置测量仪表支架、测点放样及表面处理、布置测试元件、安装调试测量仪器仪表等。

可以说，试验检测工作的顺利与否，很大程度上取决于检测前的准备工作。

一、试验总体领导管理组织

为了使试验能顺利进行，并能达到预期的目的，应成立试验总体领导管理组织，统一布署、组织和领导整个试验工作。试验总体组织者必须熟悉桥梁荷载试验工作，并具有与试验相关的知识，特别是大型复杂的公路桥梁试验 试验工作环节繁多 情况多变 因此必须精心安排，一丝不苟 做好应对措施。在进行试验组织时，必须做好以下几方面的工作：

1. 明确试验目的

在进行其他各项工作以前，必须首先了解清楚本次桥梁荷载试验要达到的目的以及各项具体要求。如果提出试验要求的不是试验组织者本人，则试验组织者有必要与提出试验要求的人进行讨论，询问提出各项试验要求的前提与背景，通过荷载试验要解决的问题，然后再将试验目标确定下来，最好要能分清各项目的主次，试验时万一不能兼顾各项目标时可以放弃次要目标而保证完成主要任务。

2. 阅读有关文献

在明确试验目的以后，应该阅读与试验有关的文献资料。如果有人做过类似的试验则通过阅读他人试验报告或情况介绍，弄清试验目的有何不同 哪些地方可以改进等等。

3. 收集设计、计算资料

如果公路桥梁荷载试验对象具有实际工程背景，在组织试验时要向有关部门收集与试验有关的设计资料，以便对试验对象有透彻的了解。

4. 拟定试验方法

在以上几步工作的基础上，可以拟定试验方法，拟定试验方法主要是根据试验目的和客观条件确定静载试验的加载方法和动力试验的激振方法，选择合适的测试仪器和观察方法，确定试验程序。

5. 桥梁荷载试验的理论分析和检算

在试验前应模拟试验状态对结构进行必要的分析计算，以便对试验结果有初步的估计。

6. 测试仪器设备的准备和试验人员的组织

在确定了试验方法以后，就可着手测试仪器设备的准备和试验人员的组织。为了保证试验的顺利进行，调试仪器的规格、数量、测试精度等都要能满足试验的要求。对于使用数量大、容易损坏的仪器还应有一定数量的备件。

对于规模较大的试验，通常需要较多的测试人员，单靠某一个单位的专业测试人员往往是不够的，还需要几个单位的测试人员通力合作；此外，还可能需非专业测试人员的协助，试验前应该做好所有参加试验人员的组织与协调工作。

二、试验方案的制订

在完成试验组织的基础上，还应订出详细的试验方案以便照此执行。桥梁荷载试验是一项复杂而细致的工作，应在桥梁检查和检算的基础上确定试验项目。仔细考虑试验的全过程，预计可能出现的问题及其处理方法，才能保证所定试验方案切实可行和试验工作的顺利进行。试验方案一般应包括如下内容：

- 试验目的以及测量要求；
- 加载方法；
- 测试内容；
- 测量方法；
- 试验程序；
- 试验进度；
- 试验人员的组织和分工；
- 安全措施。

三、静载试验的准备工作

桥梁结构的静荷载试验是：将静止的荷载作用在桥梁上的指定位置，以测试结构的静应变和位移或其他项目，从而推断桥梁结构在荷载作用下的工作状态和使用能力。对于一些缺乏设计资料、结构受力不详、不便检算，或对根据检查及检算结果综合判断的桥梁承载能力有怀疑的旧桥，采用静荷载来评定它们的承载能力和安全度是十分必要的。

(一) 试验孔(墩、台)的选择

桥梁试验孔(墩、台)确定应选定结构受力最不利、结构技术状况较差,或病害多而严重、便于搭设脚手架和设置测点以及加荷方便的桥孔。一般可结合桥梁检查和检算工作进行。对于多孔结构,还需考虑病害或问题的种类和结构上的不同。

(二) 检查架与仪表架的搭设

检查架必须方便观测仪表和裂缝,应以经济、方便、安全为原则。检查架与仪表架应完全脱离,不影响仪表和测点的正常工作,不干扰测点附属设施。当桥下净空高不便设置固定检查架时,可采用轻便活动吊架。仪表架要稳固并能承受试验时可能产生的碰动干扰。用于观测墩台沉降和位移的仪表架,应离开墩台基础边缘至少 1.5m,以不受墩台变位的影响。搭设仪表架时,还需留心观测点不要受阳光直接照射和防雨措施等。

(三) 加载方案与实施

1. 加载试验项目的确定

静荷载试验项目按其目的来分,大体上有两类:一类为测定荷载横向分布特性的单点加载试验;另一类为鉴定桥梁承载能力的加载试验。因此加载试验项目安排应抓住重点,不宜过多。几种常见主要桥型的加载试验项目如表 1-2-1 所列。

几种主要桥型试验项目表表 1-2-1

桥梁型式	加载试验项目	
	主要	附加
简支梁	跨中最大正弯矩及挠度 L/4 截面正弯矩及挠度	支点最大剪力和墩台垂直位移
连续梁	支点最大负弯矩 跨中最大正弯矩	支点最大剪力 墩台最大垂直力及位移
悬臂梁	支点最大负弯矩 悬臂端最大挠度 锚跨跨中最大正弯矩	支点最大剪力 墩台最大垂直力及位移 挂梁跨中最大正弯矩
无铰拱	拱顶最大正弯矩 拱脚最大负弯矩	拱脚最大水平推力及变位 L/4 截面最大正弯矩和最大负弯矩
刚架桥	跨中截面最大正弯矩和挠度 结点截面的最大负弯矩	柱脚截面最大负弯矩、最大水平推力
斜拉桥与悬索桥	主梁最大挠度 主梁控制截面最大内力 索塔塔顶水平变位 主缆最大拉力,斜拉索最大拉力	主梁最大纵向漂移 主塔控制截面最大内力 吊索最大索力

2. 静载试验荷载的确定与布置

承载能力评定荷载一般有以下几种 即标准汽车、挂车或履带车、人群荷载和需通行的特种重载。产生控制截面最不利内力的评定荷载常作为静力试验荷载。但由于客观条件的限制,实际采用的试验荷载往往会与评定荷载有所不同。为保证试验效果常采用等效荷载试验的方法,在选择等效试验荷载时,要使等效试验荷载作用下的控制截面内力计算值与评定荷载作用下同截面的内力之比 即试验荷载效率 在 0.95 ~ 1.05 之间。等效试验荷载通常有可行式车辆和重物直接加载两种。当采用重物直接加载时,需注意避免加载设备与桥梁共同承载而形成'卸载'现象。试验荷载布置应使结构处于某种实际可能的最不利工作状态。

3. 试验荷载分级与加载方式

为了解结构应变或变位随加载内力增加的变化关系和防止结构意外损坏,试验荷载需逐级增加。用车辆加载一般分成 2 ~ 3 级 用重物加载为 3 ~ 4 级即基本荷载的 60%、80%、90% 和 100%。车辆荷载的分级可采用逐渐增加加载车数量和加载车位于控制截面内力纵横向影响线不同位置的方法。静力试验荷载的加载方式 根据加载设备情况可分成两种 即:一是单逐级递加到最大荷载,然后逐渐卸载至零载,这种方法适合于重物直接加载。二是逐级递增的循环加载方法,此法宜用于车辆加载。

4. 加载时间选择与静力荷载的持续时间

加载试验应安排在气温变化不大,外界气候条件较好的时间(如晚上 10 时至凌晨 5 时)内进行。静力荷载的持续时间取决于结构最大变位达到相对稳定所需的时间。对钢筋混凝土和木结构一般取 15 ~ 30min 钢结构通常不少于 10min。

5. 加载程序的确定

正式加载试验前,一般需对试验结构进行必要次数的预加载。通过预加载,一方面可以使结构进入正常工作状态 另一方面也可检查试验装置的可靠性以及检查全部观测仪表工作是否正常,并能起到演习作用。预加载的荷载一般取 1 ~ 2 级分级荷载。

6. 加载试验的控制

加载应严格按设计的加载程序进行,荷载的大小和截面内力都应从小到大逐渐增加 并随时做好停止加载或卸载的准备。加载试验过程中 要及时分析控制测点的变位或应变 随时观察结构薄弱部位开裂等状况,一旦发现下列情况,应立即终止加载试验:

- (1)控制测点应力或挠度(变位)超过检算控制值和规范规定值;
- (2)加载过程中超过规范允许缝宽的裂缝大量增多,对结构使用寿命造成明显影响时;
- (3)墩台变位超过允许值且不能稳定时;
- (4)发生其它损坏,影响桥梁承载能力和正常使用时。

(四)制订观测方案

观测方案应按照试验目的和要求确定观测项目、测量区段、测点位置,并选择合适的仪表和确定试验观测方法。

1. 观测项目的确定

在荷载作用下的桥梁变形可以分成两类:一类变形能反映结构的整体工作状况如挠度、转角和支座位移等为整体变形,另一类反映结构的局部工作状况,如纤维变形、裂缝和局部挤压变形等,称局部变形。在确定观测项目时,首先要考虑结构的整体变形,因为它能概括结构工作的全貌,也能反映结构任何部分的异常变形或局部损坏。同时局部变形的观测也很重要,它能反映结构的抗裂性能,又是推断结构实际状况和极限强度的主要指标,所以观测项目和测点位置应满足分析和推断结构工作状态的需。

常见桥梁主要观测项目有结构的最大挠度、支座沉降、结构最大拉、压应力和中性轴位置、支座附近截面的主拉应力、活动支座的变化以及裂缝的出现和扩展状况。几种主要桥梁的检测部位和观测项目如表 1-2-2 所示。

几种主要桥型检测部位及项目表 1-2-2

桥型 \ 部位 \ 检验项目	截面应力 (应变)	挠度	转角	下沉	水平位移
简支梁	跨中、四分点、支点	跨中、四分点	支点		
连续梁	跨中、四分点、支点	跨中、四分点	支点	支座	
悬臂梁	支点、牛腿	牛腿、跨中	梁端、支点		
拱桥	跨中、四分点、拱脚	跨中、四分点、八分点	墩台	墩台	墩台
刚架桥	跨中、结点、柱脚	跨中、结点	柱脚		
斜拉桥和悬索桥	跨中、主缆、斜拉索	跨中、四分点	塔顶	索塔	塔顶

2. 测量部位选择与测点布设

测量部位的选择与测点布置的原则有：

(1)在满足试验目的的前提下 测点数量与布置必须充分、足够 测点宜少不宜多，以便试验工作重点突出。

(2)测点位置必须有代表性，以利计算分析。

(3)应布设一定数量的校核测点，以保证测量数据可靠。此外，测点的布置对试验工作应是安全和方便的。

3. 仪器仪表的选择与测读原则

根据观测项目需要选择仪器仪表时，应从实际需要出发选择满足测试精度要求的仪器仪表，但要注意环境条件，避免盲目追求精度。仪器仪表要有足够的量程、型号规格要一致，种类尽可能少一些。在测点较多时，宜用电测仪表。

所有测点读数时间必须基本相等，在加载前均需进行零载读数，以后每次加卸载后立即读数一次，并在结构变位稳定后，进入下一级荷载前再读数一次。对于结构变位最大的测点，需每隔 5min 读数一次，以观测结构变位相对稳定与否。每次测读时，应同时记录周围的气象资料如温度、湿度等。

4. 观测方法的确定

选择观测方法时，要根据试验方案所提供的客观条件，密切结合加载程序来确定。

(1) 位移测量

位移测量的方法大致有两类：一类是接触式测量，常见的方法是机械测量法和电测法 这类测量的仪器、仪表有各种类型的挠度计、百分表和位移传感器等 另一类是非接触式测量 多为光学测量 如精密水准测量、经纬仪测量和近景摄像测量等 常用的设备有 精密水准仪 高精度经纬仪、摄影经纬仪、立体坐标仪和计算机等。

(2) 应变测量

应变测量可分两种情况，即桥梁结构主应力方向已知或、未知情况两种。后者是经常遇到的，例如在弯剪共同作用区，截面形状不规则或有突变的位置。当测定这些部位的平面应力状态时，一般按一定直角坐标系均匀布点，每点按三个方向布设成一个应变花形式。应变测试中常用的仪器、仪表有：千分表、应变片、应变花、杠杆引伸仪、手持应变仪、钢筋应力计和电阻应变仪等。

(3) 裂缝观

裂缝观测通常是依靠目力辅以刻度放大镜，有时也用沿受力主钢筋方向连续布置电阻应变片或应变计来测定裂缝的出现或开裂荷载。此时，应变计片连续布置的长度不小于 2~3 个计算裂缝间距或 30 倍主筋直径。

（五）荷载试验准备工作

- （1）加载位置放样及加载设备的准备；
- （2）试验人员组织与分工；
- （3）仪表的选择、安装、检查与调试等。

四、动载试验的准备工作

1. 动力试验的项目确定

桥梁结构动载试验的主要项目：测桥梁的动力性能，如自振频率固有振型和阻尼特性等；测定动荷载本身动力特性，如动力荷载的大小、方向、频率及作用规律等；测定桥梁结构在动力荷载下的强迫振动响应，如振幅、动应力（挠度）冲击系数等。

2. 试验前现场准备工作

（1）出发前应对所携带的仪器仪表、传感器等进行全面的检查与标定，确保仪器仪表状态良好。此外，要在距离测试部位适当的地方搭设帐篷，以供操作仪器使用，还要接通电源，安装照明设备，检查通信设备的状态。

（2）按照试验方案所定的传感器布置位置，进行放样定位，布置测试导线，采用合适的方法将传感器固定在被测对象上。此外，根据被测结构的动力特性，确定“跳车试验”进行的位置，并作出标记。

（3）对于运营中的桥梁，试验准备工作要注意传感器、测试导线的防护，试验开始前应封闭交通，禁止闲杂人员和非试验用车辆进入。

（4）建立试验领导组织，进行人员分工安排。一般地，根据试验实际情况，设指挥一人，试验车辆导引员一人，测试人员数人。配备相应的通信联络工具或明确联络方式，以便统一指挥，统一行动。

（5）正式试验前，要进行预测试，以检查仪器、仪表、测量线路的工作状态，确定测量放大器的放大系数。

第二节 荷载试验现场实施阶段

加载与观测阶段是整个检测工作的中心环节。这一阶段的工作是在各项准备工作就绪的基础上，按照预定的试验方案与试验程序，利用适宜的加载设备进行加载，运用各种测试仪器，观测试验结构受力后的各项性能指标

如挠度、应变、裂缝宽度、加速度等 并采用人工记录或仪器自动记录手段记录各种观测数据和资料。有时,为了使某一加载、观测方案更为完善,可先进行试探性试验,以便更完满地达到原定的试验目的。需要强调的是,对于静载试验,应适时根据当前所测得的各种技术数据与理论计算结果进行现场分析比较,以判断受力后结构行为是否正常,是否可以进行下一级加载,以确保试验结构、仪器设备及试验人员的安全,这一点对于已存在病害的既有桥梁结构进行试验时尤为重要。

第三节 试验结果分析和评定阶段

分析总结阶段是对原始测试资料进行综合分析的过程。原始测试资料包括大量的观测数据、文字记载和图片等材料 受各种因素的影响,一般显得缺乏条理性与规律性,未必能深刻揭示试验结构的内在行为规律。因此,应对它们进行科学的分析处理 去伪存真 去粗取精 综合分析比较 从中提取有价值的资料。对于一些数据或信号,有时还需按照数理统计的方法进行分析,或依靠专门的分析仪器和分析软件进行分析处理,或按照有关规程的方法进行计算。这一阶段的工作,直接反映整个检测工作的质量。测试数据经分析处理后 按照相关规范、规程以及检测的目的要求 对检测对象作出科学的判断与评价。全部检测工作体现在最后提交的试验研究报告中。

测试过程完毕并不意味着试验的结束,试验过程中的原始记录,是试验结果的真实记录。但是原始记录的数据必须经过分析、整理或画成图表以后才能清晰明了地反映试验结果的情况。

试验报告则是整个试验的总结。试验报告要概括试验的各主要环节,内容至少应包括:

- 介绍试验目的、要求及依据等;
 - 试验实施情况(包括 试验荷载、加载方式、测试内容、测点布置和测试仪器等等);
 - 试验量测数据结果,各种关系曲线及相关分析;
 - 对试验结果的综合分析;
 - 结 论 ;
- 。试验和报告的日期,主持和参加单位,试验单位资质及人员名称,主持人签名。

一项试验,从进行试验设计开始,直到写出试验报告为止,是一个前后紧密联系的过程,必须从一开始就非常慎重非常细致地对待试验的每一个

环节。试验前应考虑到试验的方方面面，分析各个环节，制订出周密地试验工作计划以保证试验井然有序。在试验过程中本着对工作认真负责、一丝不苟的精神，正确测读每一个试验数据。在整理分析数据、撰写试验报告阶段，如果草率从事，就会使整个试验前功尽弃，使花了大量精力测得的试验数据说明不了什么问题或者引出错误的结论。因此，在进行数据整理时必须十分仔细，使经过整理后的数据能真实反映试验实际。对试验结果中反映出来的反常现象要仔细推敲并反复核对，不宜轻易判断为测试中的失误，往往这些反常现象揭示了在理论分析时被忽视而客观存在的事实，这正是试验优于理论的地方。参照理论分析的结果，对试验结果进行分析说明，是试验报告的重要组织部分，也是试验人员深化对试验认识的过程。在试验报告的结论部分，应该明确回答试验目的所希望解决的问题，同时应特别指出通过试验发现的新规律、新事实。

一、静载试验结果的分析与评价

静载试验数据整理分析，实际上是对试验数据进一步深化过程，从理论上探求其内在规律，目的是为了便于对桥梁结构做出相应的技术评价。静载试验数据整理分析，包括对现场实测数据进行修正、整理，也包括实测数据的评价方法与评价指标的取用。

（一）实测资料整理

试验的原始资料与原始记录是研究试验结果、评价桥梁使用性能与承载能力最基本的依据。原始记录是说明试验情况的第一手资料，从整体上看是最可靠的，但也难免繁琐和庞杂，缺乏必要的条理性，不能够集中而明确地说明试验所得到的主要技术结论。因此，在实测资料的整理过程中，要进行去粗存精、去伪存真的加工，这样所得到的综合材料要比原始记录更为清楚地表达了试验主要成果。同时，在测试数据整理过程中，要重视和尊重原始资料与原始记录，珍惜有用的点滴资料，保持原始记录的完整性与严肃性。此外，对于一些量测方法和量测内容，要按照科学合理的方法进行计算和修正，以获取有价值的的数据或进行量测误差分配。

1. 试验原始资料的内容

- (1) 试验桥梁的调查结果和验算结果；
- (2) 试验方案及编制说明；
- (3) 各测试项目的读数记录及结构裂缝分布图；
- (4) 桥梁结构材料的力学性能试验结果；

(5) 荷载试验过程中出现的各种异常情况的记录、照片等。

2. 试验资料整理

一般地 对于处在弹性工作阶段的结构而言 测值等于加载读数减去初读数。在试验完成后 根据试验观测项目及相应的记录表格 就可直接计算出在各级荷载作用下相应的测值, 找出各观测项目具有代表性的数据来。在测值计算时 要注意以下几个问题。

(1) 测值修正

测值修正是根据各类仪表的标定结果而进行测试数据修正的工作, 如机械式仪表的校正系数 电测仪器的率定系数、灵敏系数 电阻应变仪观测导线电阻的影响等。一般说来 仪器仪表的偏差具有系统性 应在试验前设法予以排除 当这类因素对测试值的影响小于 1% 可不予修正。

(2) 测点应力计算

各测点的实测应力可按胡克定律 由实测应变求得 即:

$$\sigma = E \times \epsilon \quad (1-2-1)$$

(3) 挠度计算及误差处理方法

当采用精密光学仪器进行变形测量时 应根据测量误差理论 平差处理方法及试验所采用的测量路线进行测量误差的调整计算。首先, 假定起点的假设高程 计算各测点在各级试验荷载作用下的假定高程 然后 根据测量线路计算高差闭合差及高差闭合差的容许值, 若测量成果的精度符合要求 即可进行高差闭合差的调整 调整方法是高差闭合差反号 按与各测段的路线长度成正比地分配到各段高差中, 计算出各测点在各级试验荷载作用下的改正高程 最后 将改正高程减去零载时的初始假定高程 即可得出各测点在各级试验荷载作用下的挠度。

(4) 支点沉降影响的修正

对于梁式桥 支点沉降会产生刚体位移和转角 测试结果不仅包括弹性挠度 也包括刚体位移 因此 当支点产生沉降时 应修正其对挠度的影响。

(5) 荷载横向分布系数的计算

对于由多片主梁组成的桥梁结构, 荷载横向分布的量测与计算往往是桥梁检测的内容之一。通过对桥梁结构跨中截面各主梁挠度的测定, 可以绘制出跨中截面的横向挠度曲线 然后按照荷载横向分布的概念 运用变位互等原理, 即可计算出任一主梁的荷载横向分布系数。

(二) 试验曲线整理

1. 荷载—变形曲线的整理