

江苏建科建筑技术培训中心

△ 结构性能

—— 补充讲义 ——



袁小军 博士
高级工程师

2019年全省第三期建设工程质量检测人员培训班 培训课程及分班表

日 期	时 间		培训方式	培训项目	参培地区
09.11~09.12 周三~周四	全天	08:30 ~17:30	网络培训	△结构性能	全省
				防腐防火涂装、钢结构变形	全省
09.16~09.17 周一~周二	全天	08:30 ~17:31	网络培训	砌体结构	全省
				电线、电缆，△电工套管，△开关，△插座	全省
09.17周二	全天	09:30 ~17:30	报到、办理相关手续，领取培训讲义		
09.18 周三	上午	08:00 ~12:00	面授培训	混凝土结构及构件实体、后置埋件（1班）	南京、苏州、无锡、常州、镇江、扬州、泰州
	下午	13:30 ~17:30	面授培训	混凝土结构及构件实体、后置埋件（2班）	南通、淮安、盐城、宿迁、徐州、连云港
09.19周四	上午	08:00 ~10:00	面授培训	墙体、屋面材料（1班）	泰州、南通、淮安、盐城、宿迁、徐州、连云港
	上午	10:00 ~12:00	面授培训	墙体、屋面材料（2班）	南京、苏州、无锡、常州、镇江、扬州
	下午	13:00 ~15:30	面授培训	钢结构工程用钢材、连接件	全省
	下午	15:30 ~18:00	面授培训	饰面材料	全省
09.20~09.21 周五~周六	全天	08:30 ~17:30	网络培训	排水管材（件），给水管材（件），△阀门	全省
				化学分析	全省

备注：本期学员请按规定的分班班次参加培训。

目 录

一、检测依据	1
二、术语	1
三、基本规定	3
四、材料性能	4
五、试验加载	5
六、试验量测	10
七、实验室试验	13
八、预制构件试验	14
九、原位加载试验	25
十、试验安全	28
十一、例题	30

结构性能

结构试验就是在结构物或试验对象（实物或模型）上，使用仪器设备为工具，利用各种实验技术为手段，在荷载（重力、机械扰动力、地震力、风力……）或其他因素（温度、变形）作用下，通过量测与结构工作性能有关的各种参数（变形、挠度、应变……），从承载力（稳定）、刚度和抗裂度以及结构实际破坏形态来判明建筑结构的实际工作性能，估计结构的承载能力，确定结构对使用要求的符合程度，并用以检验和发展结构的计算理论。

一、 检测依据

1、《混凝土结构试验方法标准》	GB/T50152-2012
2、《混凝土结构工程施工质量验收规范》	GB50204-2015
3、《混凝土结构现场检测技术标准》	GB50784-2013
4、《混凝土结构设计规范》	GB50010-2010(2015 版)
5、《建筑结构荷载规范》	GB 50009-2012
6、《建筑结构检测技术标准》	GB/T50344-2004

二、 术语

- 永久荷载

在结构使用期间，其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计，或其变化是单调的并能趋于限值的荷载。

- 可变荷载

在结构使用期间，其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载。

- 偶然荷载

在结构设计使用年限内不一定出现，而一旦出现其量值很大，且持续时间很短的荷载。

- 荷载代表值

设计中用以验算极限状态所采用的荷载量值，例如标准值、组合值、频遇值和准永久值。

- 荷载组合

按极限状态设计时，为保证结构的可靠性而对同时出现的各种荷载设计值的规定。

- 基本组合

承载能力极限状态计算时，永久荷载和可变荷载的组合。

- 偶然组合

承载能力极限状态计算时永久荷载、可变荷载和一个偶然荷载的组合，以及偶然事件发生后受损结构整体稳固性验算时永久荷载与可变荷载的组合。

- 标准组合

正常使用极限状态计算时，采用标准值或组合值为荷载代表值的组合。

- 频遇组合

正常使用极限状态计算时，对可变荷载采用频遇值或准永久值为荷载代表值的组合。

- 准永久组合

正常使用极限状态计算时，对可变荷载采用准永久值为荷载代表值的组合。

- 预制构件试验

为检验预制构件产品结构性能而进行的试验。

- 原位加载试验

对既有工程结构现场进行加载和量测的试验。

- 等效加载

模拟结构或构件的实际受力状态，使试件控制截面上主要内力相等或相近的加载方式。

- 使用状态试验荷载值

试验时对应于结构正常使用极限状态的荷载值，根据构件设计控制截面的内力计算值与试验加载模式经换算确定。

- 承载力状态荷载设计值

承载力极限状态下，根据构件设计控制截面上的内力设计值与试验加载模式经换算确定的荷载值。

- 加载系数

承载力试验时，与不同承载力标志所对应的各临界试验荷载值相对于承载力状态荷载设计值的倍数。

- 承载力试验荷载值

试验时对应于结构承载能力极限状态的荷载值，对验证性试验为承载力状态荷载设计值与加载系数、结构重要性系数的乘积。

- 抗裂检验系数

试件开裂检验荷载实测值与使用状态试验荷载值的比值

- 承载力检验系数

试件承载力检验荷载实测值与承载力状态荷载设计值的比值

三、基本规定

(一)、混凝土结构试验前，应根据试验目的制定试验方案。试验方案是试验进行全过程的指导文件，需经过审核后执行。试验方案宜包括下列内容：

- 1、试验目的：试验的背景及需要达到的目的；
- 2、试件方案：试验试件设计、预制构件试验中试件的选择、结构原位加载试验和结构监测中试件或试验区域的选取等；
- 3、加载方案：试件的支承及加载模式、荷载控制方法、荷载分级、加载限值、持荷时间、卸载程序等。对于结构监测应根据实际工程情况确定荷载作用的方式；
- 4、量测方案：确定实验所需的量测项目、测点布置、仪器选择、安装方式、量测精度、量程复核等；
- 5、判断准则：根据试验目的，确定试验达到不同临界状态时的试验标志，作为判断结构性能的标准；
- 6、安全措施：保证试验人员人身安全以及设备、仪表安全的措施。对结构进行原位加载试验和结构监测时，宜避免结构出现不可恢复的永久性损伤。(尤其是现场原位试验时，应采取必要的支撑和防护措施，防止发生意外破坏，造成设备损坏或试验人员伤害)

(二)、试验记录应在试验现场完成，宜包括下列内容：

- 1、钢筋和混凝土材料力学性能的检测结果；
- 2、试验试件形状、尺寸的量测与外观质量的观察检查记录；
- 3、试验加载过程的现象观察描述；
- 4、试验过程中仪表测读数据记录及裂缝草图；
- 5、试件变形、开裂、裂缝宽度、屈服、承载力极限等临界状态的描述；
- 6、试件破坏过程及破坏形态的描述；
- 7、试件影响记录。

(三)、试验记录的初步整理（在试验后及时进行，对于得出正确的试验结论十分重要），分析宜

包括下列内容：

- 1、荷载与位移或变形的关系曲线；
- 2、试件的变形或位移分布图；
- 3、试件的裂缝数量、裂缝宽度增长的表格或曲线；
- 4、试件的裂缝形态图及描述；
- 5、试件的破坏状态和性质；
- 6、对其他有关的试验参数的测读数据也应进行相应的整理和初步分析。

（四）、试验结束后应对试验结果进行下列分析：

- 1、试验现象描述应按照实测的加载过程，结合实测的钢筋、混凝土应变，对各级荷载作用下混凝土裂缝的产生和发展、钢筋受力、达到临界状态以及最终破坏的特征及形态等进行描述；
- 2、根据试验目的，应对试件的加载位移关系、加载应变关系等进行分析，求得试件开裂、屈服、极限承载力的荷载实测值及相应位移、延性指标等量值，并分析其他需要探讨和验证的内容；
- 3、对于验证性试验，应根据试件的试验结果和初步分析，对已有的结构理论、计算方法和构造措施进行复核和验证，并提出改进、完善的建议。

四、材料性能

（一）、混凝土结构试验中用于计算分析的有关材料性能的参数应通过实测确定。

（二）、实验室试验中试件的混凝土性能参数，当有可靠经验时可按下列方法确定：

- 1、同批浇筑试件的每一强度等级混凝土，应制作不少于 6 个立方体试块作为一组，并与试件同条件养护；试验周期较长时，宜适当增加试件组数；需要测定不同龄期混凝土强度或有其他特殊要求时，可根据试验需要适当增加试块的组数；
- 2、混凝土立方体抗压强度实测值应在每组立方体试块抗压强度实测值中，去掉最大值和最小值，取其余试块抗压强度实测值的平均值。

（三）、试件的钢筋材料性能测试应符合下列规定：

- 1、钢筋试样应在制作试件的同批钢筋中抽取，每种规格的钢筋按有关标准取不少于 2 个试样；
- 2、应根据需要测定钢筋的屈服强度、极限强度、弹性模量和最大力下的总伸长率；
- 3、钢筋的材性实测值应取钢筋材性试样测试结果的平均值。

(四)、当需要进一步核实试件的材性参数时，可在试验完成后直接从试件受力较小且混凝土尚未开裂的部位钻取混凝土芯样，从钢筋未屈服的部位截取钢筋试样，补充进行力学性能测试。

(五)、进行结构原位加载试验及结构监测时，宜根据现行《建筑结构检测技术标准》50344（附录 B、C）等规定的方法，对结构中的钢筋、混凝土材料性能进行检测、评估取值（如已使用一定年限的厂房、办公楼），并应符合下列规定：

- 1、当有条件时宜根据施工资料或已有资料确定；
- 2、结构实体的取样应有代表性；
- 3、取样应减少对既有结构的损伤；
- 4、混凝土材料实体强度宜根据不少于两种检测方法得到的结果，综合分析确定。

五、试验加载

（一）、支承装置

1、试验试件的支承应满足下列要求：

- （1）支承装置应保证试验试件的边界约束条件和受力状态符合试验方案的计算简图；
- （2）支承试件的装置应有足够的刚度、承载力和稳定性；
- （3）试件的支承装置不应产生影响试件正常受力和测试精度的变形；
- （4）为保证支承面紧密接触，支承装置上下钢垫板宜预埋在试件或支墩内；也可采用砂浆或干砂将钢垫板与试件、支墩垫平。当试件承受较大支座反力时，应进行局部承压验算。

2、简支受弯试件的支座应符合下列规定：

- （1）一端应为固定铰支座外，其他应为滚动铰支座，铰支座的长度不宜小于试件在支承处的宽度；
- （2）固定铰支座应限制试件在跨度方向的位移，但不应限制试件在支座处的转动(图 5.2)；滚动铰支座不应影响试件在跨度方向的变形和位移，以及在支座处的转动(图 5.1)；

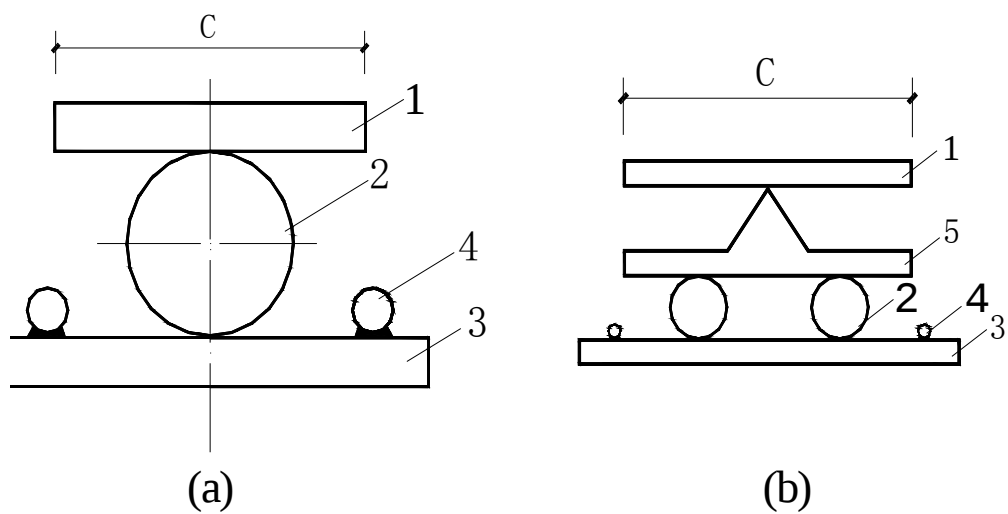


图 5.1 滚动铰支座

(a) 滚轴式

(b) 刀口式

1-上垫板； 2-钢滚轴； 3-下垫板； 4-限位钢筋； 5-刀口式垫板

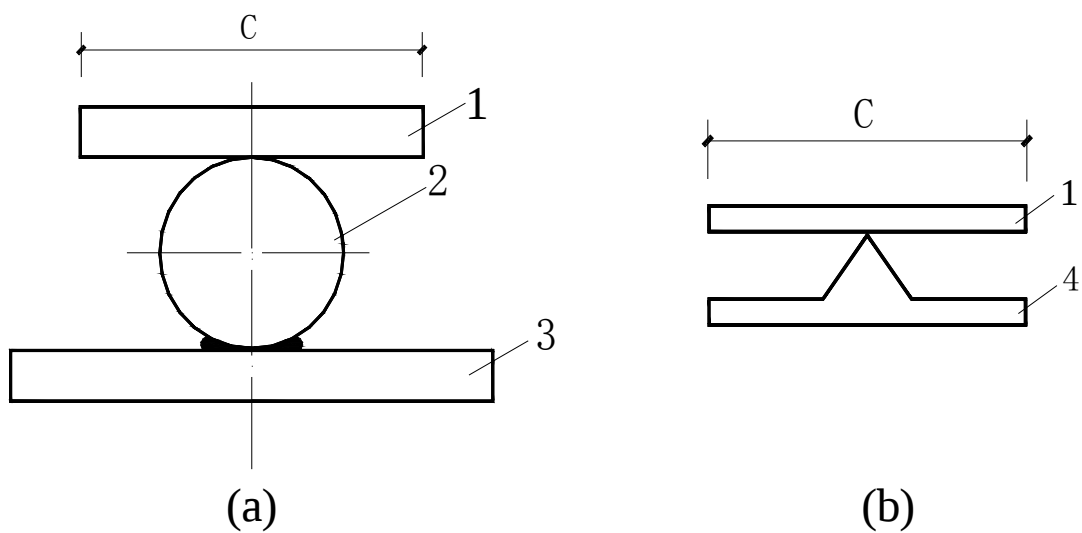


图 5.2 固定铰支座

(a) 滚轴式

(b) 刀口式

1-上垫板； 2-钢滚轴； 3-下垫板； 4-刀口式垫板

(3) 试件铰支座的长度不宜小于试件的宽度；上垫板的宽度宜与试件的设计支承宽度一致；垫板的厚宽比不宜小于 $1/6$ ；钢滚轴直径看下表取用：

钢滚轴的直径	
支座单位长度上的荷载 (kN/mm)	直径 (mm)
<2.0	50
2.0~4.0	60~80
2.0~6.0	80~100

(4) 为保证试件的水平状态，并防止过大的支座沉降影响试验结果，试验时试件支座下的支墩和地基应符合下列规定：

- ① 支墩和地基在试验最大荷载作用下的总收缩变形不应超过试件挠度值的 $1/10$ ；
- ② 连续梁、四角支承和四边支承双向板等试件需要两个以上的支墩时，各支墩的刚度应相同；
- ③ 单向试件两个支座的高差应符合设计的要求，其允许偏差为试件跨度的 $1/200$ 。

(二)、加载方式

1、实验室试验加载所使用的各种试验机应符合规定的精度要求，并应定期检验校准、有处于有效期内的合格证书；非实验室条件进行的预制构件试验、原位加载试验等受场地、条件限制时，可采用满足试验要求的其他加载方式，加载量值的允许误差为 $\pm 5\%$ 。

2、实验室加载用试验设备的精度、误差应符合下列规定：

- (1) 万能试验机、拉力试验机、压力试验机的精度不应低于 1 级；
- (2) 电液伺服结构试验系统的荷载量测允许误差为量程的 $\pm 1.5\%$ 。

3、采用千斤顶进行加载时，宜采用符合精度要求的荷载传感器、弹簧式测力器等力值量测仪表直接测定加载量值。对非实验室条件进行的试验，也可采用油压表测定千斤顶得加载量。油压表的精度不应低于 1.5 级，并应与千斤顶配套进行标定，绘制标定的油压表读数值——荷载曲线，曲线的重复性允许误差为 $\pm 5.0\%$ 。同一油泵带动的各个千斤顶，其相对高差不应大于 5mm。

4、对需在多处加载的试验，可采用分配梁系统进行多点加载。采用分配梁进行试验加载时，分配比例不宜大于 4:1；分配级数不应大于 3 级；加载点不应多于 8 点。分配梁的刚度应满足试验要求，

其支座采用单跨简支支座。

5、集中力加载作用处的试件表面应设置钢垫板，钢垫板的面积及厚度应由垫板的刚度及混凝土局部受压承载力验算确定。钢垫板宜预埋在试件内，也可采用砂浆或干砂垫平，保持试件稳定支承及均匀受力。

6、当采用重物进行加载时，应符合下列规定：

- (1) 加载物应重量均匀一致，形状规则；
- (2) 不宜采用有吸水性的加载物块；
- (3) 铁块、混凝土块、砖块等加载物重量应满足加载分级的要求，单块重量不宜大于 250N；
- (4) 试验前应对加载物称重，求得其平均重量；
- (5) 加载物应分堆码放，沿单向或双向受力试件跨度方向的堆积长度宜为 1m 左右，且不应大于试件跨度的 $1/6 \sim 1/4$ ；
- (6) 堆与堆之间预留不小于 50mm 的间隙，避免试件变形后形成拱作用。

7、当采用散体材料进行均布加载时，应满足下列要求：

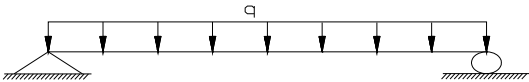
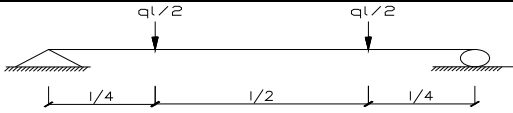
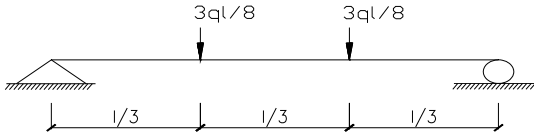
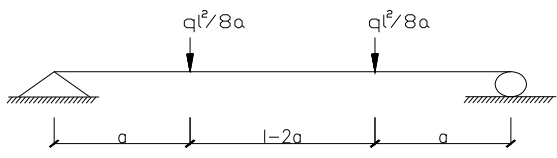
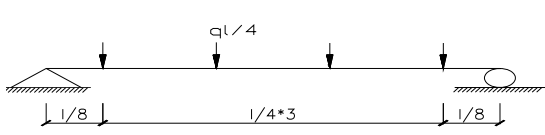
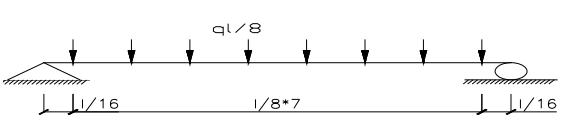
- (1) 散体材料可装袋称量后计数加载，也可在构件上表面加载区域周围设置侧向围挡，逐级称量加载并均匀摊平；
- (2) 加载时应避免加载散体外漏。

8、当采用流体（水）进行均布加载，应有水囊、围堰、隔水膜等有效防止渗漏的措施。加载可以用水的深度换算成荷载加以控制，也可通过流量计进行控制。但对现场储水装置的要求高，尤其是水位较高的情况。

9、试验试件宜采用与实际受力状态一致的正位加载。当需要采用卧位、反位或其它异位加载方式时，应防止试件在就位过程中产生裂缝、不可恢复的绕曲或其它附加变形，并应考虑试件自重作用方向与实际受力状态不一致的影响。

10、试件的加载布置应符合计算简图。当试验加载条件受到限制时，也可采用等效加载的形式。当采用集中力模拟均布荷载对简支受弯试件进行等效加载时，可按下表所示方式进行加载。

加载图式修正系数

名称	加载图式	修正系数 ψ
均布荷载		1.0
四分点集中力加载		0.91
三分点集中力加载		0.98
剪跨 a 集中力加载		计算确定
八分点等效荷载		0.97
十六分点集中点加载		1.00

(三)、加载程序

1、结构试验开始前应进行预加载，检验支座是否平稳，仪表及加载设备是否正常，并对仪表设备进行调零。预加载应控制试件在弹性范围内受力，不应产生裂缝及其他形式的加载残余值。

2、结构试验的加载程序应符合下列规定：

- (1) 探索性试验的加载程序应根据试验目的及受力特点确定；
- (2) 验证性试验宜分级进行加载，荷载分级应包括各级临界试验荷载值；
- (3) 当以位移控制加载时，应首先确定试件的屈服位移值，再以屈服位移值的倍数控制加载等级。

3、验证性试验每级加载的持荷时间应符合下列规定：

- (1) 每级荷载加载完成后的持荷时间不应少于 5min~10min，且每级加载试件宜相等；

(2) 在使用荷载值 $Q_s (F_s)$ 作用下，持荷时间不应少于 15min；在开裂荷载计算值 $Q_{cr}^c (F_{cr}^c)$ 作用下，持续荷载时间不宜少于 15min；如荷载达到开裂荷载计算值前已经出现裂缝，则在开裂荷载计算值下的持续荷载时间不应少于 5min~10min；

(3) 跨度较大的屋架、桁架及薄腹梁等试件，当不再进行承载力试验时，使用状态试验荷载值 $Q_s (F_s)$ 作用下的持续时间不宜少于 12h。

4、试件的自重和作用在其上的加载设备的重量，应作为试验荷载的一部分，并经计算后从加载值中扣除。试件自重和加载设备的重量应经实测或计算取得，并根据加载模式进行换算，对验证性试验其数值不宜大于使用状态试验荷载值的 20%。

5、当试件承受多组荷载作用时，施加于试件不同部位上的各组荷载宜按同一个比例加载和卸载。

六、试验量测

(一)、一般规定

1、结构试验的量测方案应符合下列原则：

- (1) 应根据试验目的及探讨规律所需的参数，确定量测项目；
- (2) 量测仪表布置的位置应有代表性，能够反映试件的结构性能；
- (3) 应选择能够满足量测量程和精度要求的仪表及支架等附属设备；
- (4) 除基本测点外，尚应布置一定数量的校核性测点；
- (5) 在满足试验分析需要的条件下，宜简化量测方案，控制量测数量。

2、混凝土结构试验时，量测内容宜根据试验目的在下列项目中选择：

- (1) 荷载：包括均布荷载、集中荷载或其它形式的荷载；
- (2) 位移：试件的变形、挠度、转角或其它形式的位移；
- (3) 裂缝：试件的开裂荷载、裂缝形态及裂缝宽度；
- (4) 应变：混凝土及钢筋的应变；
- (5) 根据试验需要确定的其它项目。

3、混凝土结构试验用的量测仪表，应符合有关精度等级的要求，并应定期检验校准、有处于有效期内的合格证书。人工读数的仪表应进行估读，读数应比所有测量仪表的最小分度值小一位。仪表的预估试验量程宜控制在量测仪表满量程的 30%~80%范围之内。

4、为及时记录试验数据并对量测结果进行初步整理，宜选用具有自动数据采集和初步整理功能的配套仪器、仪表系统。

5、结构静力试验采用人工测读时，应符合下列规定：

- (1) 应按一定的时间间隔进行测读，全部测点读数时间应基本相同；
- (2) 分级加载时，宜在持荷开始时预读，持荷结束时正式测读；
- (3) 环境温度、湿度对量测结果有明显影响时，宜同时记录环境的温度和湿度。

(二)、力值量测

1、结构试验中测量集中加载力值的仪表可选用荷载传感器、弹簧式测力仪等。各种仪表的测量应符合下列规定：

(1) 荷载传感器的精度不应低于 C 级；对于长期试验，精度不应低于 B 级；荷载传感器仪表的最小分度值不宜大于被测力值总量的 1.0%，示值允许偏差为量程的 1.0%；

(2) 弹簧式测力仪的最小分度值不应大于仪表量程的 2.0%，示值允许误差为量程的 1.5%；

(3) 当采用分配梁及其他加载设备进行加载时，宜通过荷载传感器直接量测施加于试件的力值，利用试验机读数或其他间接量测方法计算力值时，应计入加载设备的重量；

(4) 当采用悬挂重物加载时，可通过直接称量加载物的重量计算加载力值，并应计入承载盘的重量；称量加载物及承载盘重量的仪器允许偏差为量程的 $\pm 1.0\%$ 。

2、均布加载时，应按下列规定确定施加在试件上的荷载：

(1) 重物加载时，以每堆加载物的数量乘以单重，再折算成区格内的均布加载值；称量加载物重量的衡器允许误差为量程的 $\pm 1.0\%$ ；

(2) 散体装在容器内倾倒加载，称量容器内的散体重量，以加载次数计算重量，再折算成均布加载值；称量容器内散体重量的衡器允许误差为量程的 $\pm 1.0\%$ ；

(3) 水加载以量测水的深度，再乘以水的重度计算均布加载值，或采用精度不低于 1.0 级的水表按水的流量计算加载量，再换算为荷载值。

(三)、位移及变形的量测

1、位移量测的仪器、仪表可根据精度及数据采集的要求选用电子位移计、百分表、千分表、水准仪、经纬仪、倾角仪、全站仪、激光测距仪、直尺等。

2、试验中应根据试件变形量测得需要布置位移量测仪表，并由量测的位移值计算试件的挠度、

转角等变形参数。试件位移量测应符合下列规定：

(1) 应在试件最大位移处及支座处布置测点，对宽度较大的试件，尚应在试件的两侧布置测点，并取量测结果的平均值作为该处的实测值；

(2) 对屋架、桁架和具有侧向推力的结构构件，还应在跨度方向的支座两端布置水平测点，量测结构在荷载作用下沿跨度方向的水平位移。

3、量测试件挠度曲线时，测点布置应符合下列要求：

(1) 受弯及偏心受压构件量测挠度曲线的测点应沿构件跨度方向布置，包括量测支座沉降和变形的测点在内，测点不应少于五点；对于跨度大于 6m 的构件，测点数量还宜适当增多；

(2) 屋架、桁架量测挠度曲线的测点应沿跨度方向各下弦节点处布置。

4、各种位移量测仪器、仪表的精度、误差应符合下列规定：

(1) 百分表、千分表和钢直尺的误差允许值应符合国家现行相关标准的规定；

(2) 水准仪和经纬仪的精度分别不应低于 DS_3 和 DJ_2 ；

(3) 位移传感器的准确度不应低于 1.0 级；位移传感器的指示仪表的最小分度值不宜大于所测总位移的 1.0%，示值允许误差为量程的 1.0%；

(4) 倾角仪的最小分度值不宜大于 5"，电子倾角计的示值允许误差为量程的 1.0%。

(四)、应变的量测

应变量测仪表应根据试验目的以及对试件混凝土和钢筋应变测量的要求进行选择。钢筋和混凝土的应变宜采用电阻应变计、振弦式应变计、光纤光栅应变计、引伸仪等进行量测。

(五)、裂缝的量测

1、试件混凝土的开裂可采用下列方法进行判断：

(1) 直接观察法：在试件表面刷白，用放大镜或电子裂缝观测仪观察第一次出现的裂缝；

(2) 仪表动态判定法：当以重物加载时，荷载不变而量测位移变形的仪表读数持续增大；当以千斤顶加载时，在某变形下位移不变而荷载读数持续减小，则表明试件已经开裂；

2、裂缝出现以后应在试件上描绘裂缝的位置、分布、形态；记录裂缝宽度和对应的荷载值或荷载等级；并全过程观察记录裂缝形态和宽度的变化；绘制构件裂缝形态图；并判断裂缝的性质及类型。

3、裂缝宽度量测位置应按下列原则确定：

(1) 对梁、柱、墙等构件的受弯裂缝应在构件侧面受拉主筋处量测最大裂缝宽度；对上述构件的受剪裂缝应在构件侧面斜裂缝最宽处量测最大裂缝宽度；

(2) 板类构件可在板面或板底量测最大裂缝宽度；

(3) 其余试件应根据试验目的，量测预定区域的裂缝宽度。

4、试件裂缝的宽度可选用刻度放大镜、电子裂缝观测仪、振弦式测缝仪、裂缝宽度检验卡等仪表进行测量，量测仪表应符合下列规定：

(1) 刻度放大镜最小分度不宜大于 0.05mm；

(2) 电子裂缝观察仪的测量精度不应低于 0.02mm；

(3) 裂缝宽度检验卡最小分度值不应大于 0.05mm。

5、对试验加载前已存在的裂缝，应进行量测和标志，初步分析裂缝的原因和性质，并跨裂缝作石膏标记。试验加载后，应对已存在裂缝的发展进行观测和记录，并通过对石膏标记上裂缝的量测，确定裂缝宽度的变化。

七、 实验室试验

(一)、一般规定

1、实验室试验应充分利用实验室的加载控制系统、量测和数据采集、分析系统等有利条件；当在室外进行试验时应采取必要的遮盖和屏蔽措施。

2、实验室进行的探索性试验和验证性试验，钢筋的主要力学性能指标和混凝土的立方体抗压强度值与设计要求值的允许偏差宜为 $\pm 10\%$ 。

(二)、试验方案

应根据试验目的计算下列荷载及变形参数：

(1) 试件自重及加载设备的重量；

(2) 试件在各种临界状态下相应的荷载及变形预估值，包括开裂荷载、屈服荷载、屈服变形、极限荷载及相应的变形等；

(3) 计算加载值应扣除试件自重及加载设备重量，加载设备的加载能力应留有余量。

(三)、试验过程及结果

当要求将试验结果与理论计算结果进行比较时，可绘制试件实测与理论的荷载—位移关系曲线，

计算试件开裂荷载、短期挠度、屈服荷载、承载力试验荷载等计算值与实测值的比值，以及这些比值的平均值、标准差或变异系数。

承载力标志及加载系数

受力类型	标志类型 (i)	承载力标志	加载系数
受拉	1	弯曲挠度达到跨度的 $1/50$ 或悬臂长度的 $1/25$	1.20 (1.35)
	2	受拉主筋处裂缝宽度达到 1.50mm 或钢筋应变达到 0.01	1.20 (1.35)
受压	3	构件的受拉主筋断裂	1.60
	4	弯曲受压区混凝土受压开裂、破碎	1.30 (1.50)
受弯	5	受压构件的混凝土受压破碎、压溃	1.60
受剪	6	构件腹部斜裂缝宽度达到 1.50mm	1.40
	7	斜裂缝端部出现混凝土剪压破坏	1.40
	8	沿构件斜截面斜拉裂缝，混凝土撕裂	1.45
	9	沿构件斜截面斜压裂缝，混凝土破碎	1.45
	10	沿构件叠合面、接槎面出现剪切裂缝	1.45
受扭	11	构件腹部斜裂缝宽度达到 1.50mm	1.25
受冲切	12	沿冲切锥面顶、底的环状裂缝	1.45
局部受压	13	混凝土压陷、劈裂	1.40
	14	边角混凝土剥裂	1.50
钢筋的锚固连接	15	受拉主筋锚固失效，主筋端部滑移达到 0.2mm	1.50
	16	受拉主筋在搭接接头处滑移，传力性能失效	1.50
	17	受拉主筋搭接脱离或在焊接、机械连接处断裂，传力中断	1.60

注：1 表中加载系数与承载力状态荷载设计值、结构重要性系数的乘积为相应承载力标志的临界试验荷载值；

2 当混凝土强度等级不低于 C60 时，或采用无明显屈服钢筋为受力主筋时，取用括号中的数值；

3 试验中当试验荷载不变而钢筋应变持续增长时，表示钢筋已经屈服，判断为标志 2。

八、预制构件试验

(一)、一般规定

1、批量生产的预制混凝土构件宜进行型式检验，检验应符合规定；

2、批量生产的预制混凝土构件，生产单位在批量生产之前宜进行首件检验；

3、批量生产的预制混凝土构件，应根据现行国家标准《混凝土结构工程施工验收规范》

(GB50204) 的规定按产品检验批抽样进行合格性检验。预制构件的合格性检验应符合下列规定：

（预制构件应按标准图或设计要求的试验参数及检验指标进行结构性能检验）

- （1）钢筋混凝土构件和允许出现裂缝的预应力混凝土构件进行承载力、挠度和裂缝宽度检验；
- （2）要求不出现裂缝的预应力混凝土构件进行承载力、挠度和抗裂检验；
- （3）预应力混凝土构件中的非预应力杆件按钢筋混凝土构件的要求进行检验。

4、检验数量（GB 50204-2015）：每批进场不超过 1000 个同类型预制构件为一批，在每批中应随机抽取一个构件进行检验。同类型是指同一钢种、同一混凝土强度等级、同一生产工艺和同一结构形式。抽取预制构件时，宜从设计荷载最大、受力最不利或生产数量最多的预制构件中抽取。

5、叠合构件底部的预制构件，应在同条件养护的混凝土立方体试块抗压强度达到设计强度等级以后，在其上部浇筑后浇层混凝土，并在后浇层混凝土强度达到设计要求后进行结构性能检验。后浇层要求、叠合试件结构性能检验允许值及试验方法等，应由设计文件规定或根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB50204）的有关规定，按实配钢筋相应的检验要求确定。

6、对一般梁、板类叠合构件的结构性能检验，后浇层混凝土强度等级宜与底部预制构件相同，厚度宜取底部预制构件厚度的 1.5 倍；当预制底板为预应力板时，还应配置界面抗剪构造钢筋。

7、对设计成熟、生产数量较少的大型构件，当采取加强材料和制作质量检验的措施时，可仅作挠度、抗裂或裂缝宽度检验；当采取上述措施并有可靠的实践经验时，可不作结构性能检验。

8、预制构件结构性能检验的检验指标及合格性判断方法，应根据现行国家标准《混凝土结构工程施工验收规范》（GB 50204）的规定确定。

（1）当试件结构性能的全部检验结果均满足附录 B 第 B.1.1~B.1.5 条的检验要求时，该批构件可判为合格；

（2）当第一个试件的检验结果不满足上述要求，但又能符合第二次检验的要求时，可再抽两个试件进行二次检验。第二次检验的指标，对承载力及抗裂检验系数的允许值应取附录 B 第 B.1.1 和 B.1.4 条规定的允许值减 0.05；对挠度的允许值应取附录 B 第 B.1.3 条规定允许值的 1.10 倍。

（3）当进行二次检验，如第一个检验的预制构件的全部检验结果均满足附录 B 第 B.1.1~B.1.5 条的检验要求时，该批构件可判为合格；当第二次抽取的两个试件的全部检验结果均符合第二次检验指标的要求时，该批构件也可判为合格。

（二）、试验方案

1、混凝土预制构件应采用短期静力加载试验的方式进行结构性能检验。有特殊要求的预制构件，由设计文件对其试验方式作出专门规定。

2、试件的结构性能检验指标及其检验允许值，应根据构件的受力特点和混凝土强度等级由设计文件计算确定。结构性能检验应在同条件养护的混凝土立方体抗压强度达到设计要求后进行。当试件在混凝土尚未达到设计强度等级，或在超过规定的龄期后进行结构性检验时，检验所需的结构性能试验参数和检验允许值宜作相应的调整。

3、试验用的加载设备及量测仪表应预先进行标定或校准。试验应在 0°C 以上的温度中进行。蒸汽养护后的试件，应在出池冷却至常温后进行试验。

4、试件加载应根据设计文件规定的加载要求、试件类型及设备条件等，按荷载效应等效的原则选择下列方式：

（1）荷重块加载适用于板类构件的均布加载；

（2）千斤顶加载适用于集中加载，可采用分配梁系统实现多点加载，并用荷载传感器量测力值，也可采用油压表读数，并计算力值；

（3）梁或桁架等大型受弯构件加载时应有侧向限位装置，也可并列拼装后在面板上加载；重型梁可采用对顶加载的方法。

5、试件的试验荷载布置应符合设计文件的规定。当试验荷载的布置不能完全与设计规定相符时，应按荷载效应等效的原则换算。换算应使试件试验的内力图形与设计的内力图形相似，并使控制截面上的主要内力值相等。但改变荷载布置形式对试件其他部位产生不利影响并可能影响试验结果时，应采取相应的措施。

6、预制构件试验应按阶段分级加载，加载等级、持续时间等应符合有关规定。型式检验加载到试件出现承载力标志后宜进行后期加载；首件检验应加载到试件出现承载力标志；合格性检验可加载至所有规定的项目通过检验，直接判为合格不再继续加载。

7、预制构件结构性能试验的检验记录应在现场完成。记录表可采用《混凝土结构试验方法标准》（GB/T50152-2012）附录 A 的格式。

*《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB50204-2015）对预制构件结构性能检验作修订，主要解决了三个主要问题：

1、结构性能检验基本要求

（1）考虑构件特点及加载检验条件，仅提出了梁板类简支受弯预制构件的结构性能检验要求，常见的有预制梁、预制板、预制楼梯等。

（2）对于其他预制构件，如常用的墙板、预制柱，由于很难通过结构性能检验确定构件受力性能，故规范规定除设计有专门要求外，进场可不作结构性能检验，此类构件如需检验，需设计提出详细的检验要求与试验加载方法。

（3）对于用于叠合板、叠合梁的梁板类受弯预制构件（叠合底板、底梁），是否进行结构性能检验、结构性能检验的方式应根据设计要求确定。工程中，叠合梁的预制底梁可根据设计要求进行加载试验；钢筋混凝土叠合板的底板由于刚度较小，且板类构件强度与混凝土强度相关性不大，一般可不进行结构性能检验；预应力混凝土叠合板可根据情况仅进行抗裂检验。

2、如何做结构性能检验

（1）结构性能检验通常应在构件进场时进行，但考虑检验方便，工程中多在各方参与下在预制构件生产场地进行。

（2）对多个工程共同使用的同类型预制构件，也可在多个工程的施工、监理单位见证下共同委托进行结构性能检验，其结果对多个工程共同有效。

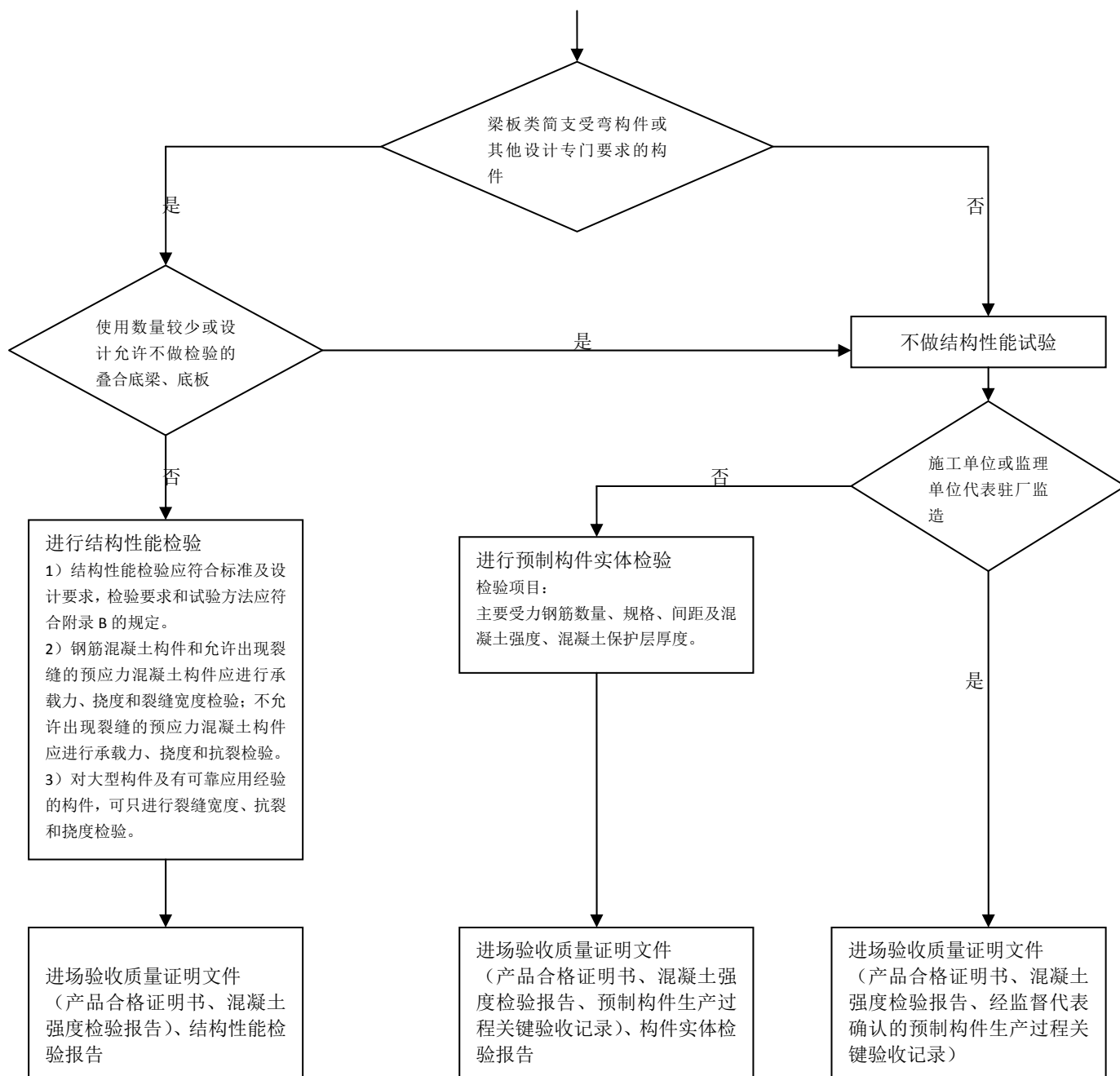
（3）对大型构件及有可靠应用经验的构件，可只进行裂缝宽度、抗裂和挠度检验。大型构件一般指跨度大于 18m 的构件；可靠应用经验指该单位生产的标准构件在其他工程已多次使用，如预制楼梯、预制空心板、预制双 T 板等。

（4）对使用数量较少的构件，当能提供可靠依据时，可不进行结构性能检验，使用数量较少一般指数量在 50 件以内，近期完成的合格结构性能检验报告可作为可靠依据。

（5）具体的受弯预制构件结构性能检验要求和检验方法见（GB50204-2015）附录 B

3、对于不做结构性能检验的构件，可通过施工单位或监理单位代表驻厂监督生产的方式代替，此时构件进场的质量证明文件应经监督代表确认。当无驻厂监督时，预制构件进场时应应对预制构件主要受力钢筋的数量、规格、间距及混凝土强度、混凝土保护层等进行实体验验。

预制构件结构性能检验流程图



《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2015

附录 B 受弯预制构件结构性能检验

B.1 检验要求

B.1.1 预制构件的承载力检验应符合下列规定：

- 1 当按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定进行检验时，应满足下式要求：

$$\gamma_u^0 \geq \gamma_0 [\gamma_u] \quad (\text{B.1.1-1})$$

式中： γ_u^0 ——构件的承载力检验系数实测值，即试件的荷载实测值与荷载设计值（均包括自重）的比值；

γ_0 ——结构重要性系数，按设计要求的结构等级确定，当无专门要求时取 1.0；

$[\gamma_u]$ ——构件的承载力检验系数允许值，按表 B.1.1 取用。

- 2 当按构件实配钢筋进行承载力检验时，应满足下式要求：

$$\gamma_u^0 \geq \gamma_0 \eta [\gamma_u] \quad (\text{B.1.1-2})$$

式中： η ——构件承载力检验修正系数，根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 按实配钢筋的承载力计算确定。

表 B.1.1 构件的承载力检验系数允许值

受力情况	达到承载能力极限状态的检验标志		$[\gamma_u]$
受弯	受拉主筋处的最大裂缝宽度达到 1.5mm；或挠度达到跨度的 1/50	有屈服点热轧钢筋	1.20
		无屈服点钢筋（钢丝、钢绞线、冷加工钢筋、无屈服点热轧钢筋）	1.35
	受压区混凝土破坏	有屈服点热轧钢筋	1.30
		无屈服点钢筋（钢丝、钢绞线、冷加工钢筋、无屈服点热轧钢筋）	1.50
	受拉主筋拉断		1.50
受弯构件的受剪	腹部斜裂缝达到 1.5mm，或斜裂缝末端受压混凝土剪压破坏		1.40
	沿斜截面混凝土斜压、斜拉破坏；受拉主筋在端部滑脱或其它锚固破坏		1.55
	叠合构件叠合面、接搓处		1.45

B.1.2 预制构件的挠度检验应符合下列规定：

1 当按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 规定的挠度允许值进行检验时，应满足下式的要求：

$$a_s^0 \leq [a_s] \quad (\text{B.1.2-1})$$

式中： a_s^0 ——在检验用荷载标准组合值或荷载准永久组合值作用下的构件挠度实测值；

$[a_s]$ ——挠度检验允许值，按本规范第 B.1.3 条的有关规定计算。

2 当按构件实配钢筋进行挠度检验或仅检验构件的挠度、抗裂或裂缝宽度时，应满足下式的要求：

$$a_s^0 \leq 1.2a_s^c \quad (\text{B.1.2-2})$$

a_s^0 应满足公式 (B.1.2-1) 的要求。

式中： a_s^c ——在检验用荷载标准组合值或荷载准永久组合值作用下，按实配钢筋确定的构件短期挠度计算值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 确定。

B.1.3 挠度检验允许值 $[a_s]$ 应按下列公式进行计算：

按荷载永久组合值计算钢筋混凝土受弯构件

$$[a_s] = [a_f] / \theta \quad (\text{B.1.3-1})$$

按荷载标准组合值计算预应力混凝土受弯构件

$$[a_s] = \frac{M_k}{M_q(\theta-1) + M_k} [a_f] \quad (\text{B.1.3-2})$$

式中： M_k ——按荷载标准组合值计算的弯矩值；

M_q ——按荷载准永久组合值计算的弯矩值；

θ ——考虑荷载长期效应组合对挠度增大的影响系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 确定；

$[a_f]$ ——受弯构件的挠度限值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 确定。

B.1.4 预制构件的抗裂检验应满足公式 (B.1.4-1) 的要求：

$$\gamma_{cr}^0 \geq [\gamma_{cr}] \quad (\text{B.1.4-1})$$

$$[\gamma_{cr}] = 0.95 \frac{\sigma_{pc} + f_{ck}}{\sigma_{ck}} \quad (\text{B.1.4-2})$$

式中： γ_{cr}^0 ——构件的抗裂检验系数实测值，即试件的开裂荷载实测值与检验用荷载标准值组合值（均包括自重）的比值；

$[\gamma_{cr}]$ ——构件的抗裂检验系数允许值；

σ_{pc} ——由预加力产生的构件抗拉边缘混凝土法向应力值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 确定；

γ ——混凝土构件截面抵抗矩塑性影响系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 确定；

f_{tk} ——混凝土抗拉强度标准值；

σ_{ck} ——按荷载标准组合值计算的构件抗拉边缘混凝土法向应力值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 确定。

B.1.5 预制构件的裂缝宽度检验应满足下式的要求：

$$w_{s,max}^0 \leq [w_{max}] \quad (\text{B.1.5})$$

式中： $w_{s,max}^0$ ——在检验用荷载标准组合值或荷载准永久组合值作用下，受拉主筋处的最大裂缝宽度实测值（mm）；

$[w_{max}]$ ——构件检验的最大裂缝宽度允许值，按表 B.1.5 取用。

表 B.1.5 构件的最大裂缝宽度允许值（mm）

设计要求的最大 裂缝宽度限值	0.1	0.2	0.3	0.4
$[w_{max}]$	0.07	0.15	0.20	0.25

B.1.6 预制构件结构性能检验的合格判定应符合下列规定：

1 当预制构件结构性能的全部检验结果均满足本规范第 B.1.1~B.1.5 条的检验要求时，该批构件可判为合格；

2 当预制构件的检验结果不满足第 1 款的要求，但又能满足第二次检验指标要求时，可再抽两个预制构件进行二次检验。第二次检验指标，对承载力及抗裂检验系数的允许值应取本规范第 B.1.1 条和第 B.1.4 条规定的允许值减 0.05；对挠度的允许值应取本规范第 B.1.3 条规定允许值的 1.10 倍；

3 当进行二次检验时，如第一个检验的预制构件的全部检验结果均满足本规范第 B.1.1~B.1.5 条的要求，该批构件可判为合格；如两个预制构件的全部检验结果均满足第二次检验指标的要求，该批构件也可判为合格。

B.2 检验方法

B.2.1 进行结构性能检验时的试验条件应符合下列规定：

- 1 试验场地的温度应在 0℃ 以上；
- 2 蒸汽养护后的构件应在冷却至常温后进行试验；
- 3 预制构件的混凝土强度应达到设计强度的 100% 以上；
- 4 构件在试验前应量测其实际尺寸，并检查构件表面，所有的缺陷和裂缝应在构件上标出；
- 5 试验用的加载设备及量测仪表应预先进行检定或校准。

B.2.2 试验预制构件的支承方式应符合下列规定：

- 1 对板、梁和桁架等简支构件，试验时应一端采用铰支承，另一端采用滚动支承。铰支承可采用角钢、半圆型钢或焊于钢板上的圆钢，滚动支承可采用圆钢；
- 2 对四边简支或四角简支的双向板，其支承方式应保证支承处构件能自由转动，支承面可相对水平移动；
- 3 当试验的构件受较大集中力或支座反力时，应对支承部分进行局部受压承载力验算；
- 4 构件与支承面应紧密接触；钢垫板与构件、钢垫板与支墩间，宜铺砂浆垫平；
- 5 构件支承的中心线位置应符合设计的要求。

B.2.3 试验荷载布置应符合设计要求。当荷载布置不能完全与设计的要求相符时，应按荷载效应等效的原则换算，并应计入荷载布置改变后对构件其它部位的不利影响

B.2.4 加载方式应根据设计加载要求、构件类型及设备条件选择。当按不同形式荷载组合进行加载试验时，各种荷载应按比例增加，并应符合下列规定：

1 荷重块加载可用于均布加载试验。荷重块应按区格成垛堆放，垛与垛之间的间隙不宜小于 100mm，荷重块的最大边长不宜大于 500mm。

2 千斤顶加载可用于集中加载试验。集中加载可采用分配梁系统实现多点加载。千斤顶的加载值宜采用荷载传感器量测，也可采用油压表量测；

3 梁或桁架可采用水平对顶加荷方法，此时构件应垫平且不应妨碍构件在水平方向的位移。梁也可采用竖直对顶的加荷方法；

4 当屋架仅作挠度、抗裂或裂缝宽度检验时，可将两榀屋架并列，安放屋面板后进行加载试验。

B.2.5 加载过程应符合下列规定：

1 预制构件应分级加载。当荷载小于标准荷载时，每级荷载不应大于标准荷载值的 20%；当荷载大于标准值时，每级荷载不应大于标准荷载值的 10%；当荷载接近抗裂检验荷载值时，每级荷载不应大于标准荷载值的 5%；当荷载接近检验荷载值时，每级荷载不应大于荷载设计值的 5%；

2 试验设备重量及预制构件自重应作为第一次加载的一部分；

3 试验前宜对预制构件进行预压，以检查试验装置的工作是否正常，但应防止构件因预压而开裂；

4 对仅作挠度、抗裂或裂缝宽度检验的构件应分级卸载。

B.2.6 每级加载完成后，应持续 10min~15min；在标准荷载作用下，应持续 30min。在持续时间内，应观察裂缝的出现和开展，以及钢筋有无滑移等；在持续时间结束时，应观察并记录各项读数。

B.2.7 进行承载力检验时，应加载至预制构件出现本规范表 B.1.1 所列承载能力极限状态的检验标志之一后结束试验。当在规定的荷载持续时间内出现上述检验标志之一时，应取本级荷载值或前一级荷载值的平均值作为其承载力检验荷载实测值；当在规定的荷载持续时间结束后出现上述检验标志之一时，应取本级荷载值作为其承载力检验荷载实测值。

B.2.8 挠度量测应符合下列规定：

1 挠度可采用百分表、位移传感器、水平仪等进行观测。接近破坏阶段的挠度，可采用水平仪或拉线、直尺等测量；

2 试验时，应量测构件跨中位移和支座沉陷。对宽度较大的构件，应在每一量测截面的两边或两肋布置测点，并取其量测结果的平均值作为该处的位移；

3 当试验荷载竖直向下作用时，对水平放置的试件，在各级荷载下的跨中挠度实测值应按下列公式计算：

$$\alpha_t^o = \alpha_q^o + \alpha_g^o \quad (\text{B.2.8-1})$$

$$\alpha_q^o = v_m^o - \frac{1}{2}(v_l^o + v_r^o) \quad (\text{B.2.8-2})$$

$$\alpha_g^o = \frac{M_g}{M_b} \alpha^o b \quad (\text{B.2.8-3})$$

式中： α_t^o ——全部荷载作用下构件跨中的挠度实测值，mm；

α_q^o ——外加试验荷载作用下构件跨中的挠度实测值，mm；

α_g^o ——构件自重及加载设备重产生的跨中挠度值，mm；

v_m^o ——外加试验荷载作用下构件跨中的位移实测值，mm；

v_l^o, v_r^o ——外加试验荷载作用下构件左、右端支座沉陷的实测值，mm；

M_g ——构件自重和加载设备重产生的跨中弯矩值，kN.m；

M_b ——从外加试验荷载开始至构件出现裂缝的前一级荷载为止的外加荷载产生的跨中弯矩值，kN.m；

α_b^o ——从外加试验荷载开始至构件出现裂缝的前一级荷载为止的外加荷载产生的跨中挠度实测值，mm。

4 当采用等效集中力加载模拟均布荷载进行试验时，挠度实测值应乘以修正系数 ψ 。当采用三分点加载时 ψ 可取 0.98；当采用其它形式集中加载时， ψ 应经计算确定。

B.2.9 裂缝观测应符合下列规定：

1 观察裂缝出现可采用放大镜。试验中未能及时观察到正截面裂缝的出现时，可取荷载—挠度曲线上第一弯转段两端点切线的交点的荷载值作为构件的开裂荷载实测值；

2 在对构件进行抗裂检验时，当在规定的荷载持续时间内出现裂缝时，应取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为其开裂荷载实测值；当在规定的荷载持续时间结束后出现裂缝时，应取本级荷载值作为其开裂荷载实测值；

3 裂缝宽度宜采用精度为 0.05mm 的刻度放大镜等仪器进行观测，也可采用满足精度要求的裂缝检验卡进行观测；

4 对正截面裂缝，应量测受拉主筋处的最大裂缝宽度；对斜截面裂缝，应量测腹部斜裂缝的最大裂缝宽度。当确定受弯构件受拉主筋处的裂缝宽度时，应在构件侧面量测。

B.2.10 试验时应采用安全防护措施，并应符合下列规定：

- 1 试验的加荷设备、支架、支墩等，应有足够的承载力安全储备；
- 2 试验屋架等大型构件时，应根据设计要求设置侧向支承；侧向支承应不妨碍构件在其平面内的位移；
- 3 试验过程中应采取安全措施保护试验人员和试验设备安全，并对构件可能的破坏结果进行防护。

B.2.11 试验报告应符合下列规定：

- 1 试验报告内容应包括试验背景、试验方案、试验记录、检验结论等，不得有漏项缺检；
- 2 试验报告中的原始数据和观察记录应真实、准确，不得任意涂抹篡改；
- 3 试验报告宜在试验现场完成，并应及时审核、签字、盖章、登记归档。

九、 原位加载试验

（一）、一般规定

1、 对下列类型结构可进行原位加载试验：

- （1）对怀疑有质量问题的结构或构件进行结构性能检验；
- （2）改建、扩建再设计前，确定设计参数的系统检验；
- （3）对资料不全、情况复杂或存在明显缺陷的结构，进行结构性能评估；
- （4）采用新结构、新材料、新工艺的结构或难以进行理论分析的复杂结构，需通过试验对计算模型或设计参数进行复核、验证或研究其结构性能和设计方法。

2、原位加载试验分为下列类型，可根据具体情况选择进行（根据委托需要，一般不需要检验全部性能）：

- （1）使用状态试验，根据正常使用极限状态的检验项目验证或评估结构的使用功能；
- （2）承载力试验，根据承载力极限状态的检验项目验证或评估结构的承载力。

3、结构原位试验的试验结果应能反映被检结构的基本性能。受检构件的选择应遵守下列原则：

- （1）受检构件应具有代表性，且宜处于荷载抗力较弱或缺陷较多的部位；

- (2) 受检构件的试验结构应能反映整体结构的主要受力特点;
- (3) 受检构件不宜过多;
- (4) 受检构件应能方便地实施加载和进行量测;
- (5) 对处于正常服役期的结构, 加载试验造成的构件损伤不应影响结构的安全性和正常使用功能产生明显影响。

4、根据原位加载试验的类型和目的, 试验的最大加载限值应按下列原则确定:

a. 仅检验构件在正常使用极限状态下的挠度、裂缝宽度时, 试验的最大加载限值宜取使用状态试验荷载值, 对钢筋混凝土结构构件取荷载的准永久组合, 对预应力混凝土结构构件取荷载的标准组合;

荷载准永久组合的效应设计值按《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 公式 3.2.10 计算

$$S = \sum_{j=1}^m S_{GjK} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik}$$

荷载标准组合的效应设计值按《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 公式 3.2.8 计算

$$S = \sum_{j=1}^m S_{GjK} + S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik}$$

式中 S_{GjK} — 按第 j 个永久荷载标准值 G_{jk} 计算的荷载效应值;

S_{Qik} — 按可变荷载标准值计算的荷载效应值, 其中 S_{Q1K} 为诸可变荷载效应中起控制作用者;

ψ_{ci} — 第 i 个可变荷载的组合值系数, 应分别按各章的规定采用;

ψ_{qi} — 第 i 个可变荷载的准永久值系数, 应分别按各章的规定采用;

b. 当检验构件承载力时, 试验的最大加载限值宜取承载力状态荷载设计值和结构重要性系数 γ_0 乘积的 1.60 倍;

荷载基本组合的效应设计值 S 应从下列荷载组合值中取用最不利的效应设计值确定:

1) 由可变荷载控制的效应设计值, 应按《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 公式 3.2.3-1 计算

$$S = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{GjK} + \gamma_{Q1} \gamma_{L1} S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \gamma_{Li} \psi_{ci} S_{Qik}$$

式中 γ_{Gj} — 永久荷载的分项系数, 应按《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 第 3.2.4 条

采用;

γ_{Qi} — 第 i 个可变荷载的分项系数, 其中 γ_{Q1} 为主导可变荷载 Q_1 的分项系数, 应按《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 第 3.2.4 条采用;

γ_{Li} — 第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数, 其中 γ_{L1} 为主导可变荷载 Q_1 考虑设计使用年限的调整系数。

2) 由永久荷载控制的效应设计值, 应按《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 公式 3.2.3-2 计算

$$S = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{GjK} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \gamma_{Li} \psi_{ci} S_{QiK}$$

c. 基本组合的荷载分项系数, 应按下列规定采用:

1) 永久荷载的分项系数应符合下列规定: 当永久荷载效应对结构不利时, 对由可变荷载效应控制的组合应取 1.2, 对由永久荷载效应控制的组合应取 1.35; 当永久荷载效应对结构有利时, 不应大于 1.0;

2) 可变荷载的分项系数应符合下列规定: 对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载应取 1.3; 其他情况, 应取 1.4。

(二)、试验方案

1、结构原位加载试验应采用短期静力加载试验的方式进行结构性能检验, 并应根据检验目的和检验条件下列原则确定加载方法:

(1) 加载形式应能模拟结构的内力, 根据受检构件的内力包络图, 通过荷载的调配使控制截面的主要内力等效; 并在主要内力等效的同时, 其他内力与实际受力的差异较小;

(2) 对预计出现裂缝或承载力标志等现象的重点观测部位, 不应堆积加载物;

(3) 宜根据试验目的控制加载量, 避免造成不可恢复的永久性损伤或局部破坏。

2、原位加载试验宜采用一次加载的模拟方式。应根据试验目的, 通过计算调整荷载的布置, 使受检构件各控制截面的主要内力同步受到检验。当一种加载模式不能同时使试验所要求的各控制截面的主要内力等效时, 也可对受检构件的不同控制截面分别采用不同的荷载布置方式, 通过多次加载使各控制截面的主要内力均受到检验。

3、加载过程中结构出现下列现象应立即停止加载, 分析原因后如认为需要继续加载, 宜增加荷载分级, 并应采取相应的安全措施:

- (1) 控制测点的变形、裂缝、应变等已达到或超过理论控制值；
- (2) 结构的裂缝、变形急剧发展；
- (3) 出现 GB/T50152-2012 表 7.3.3 所列的承载力标志；
- (4) 发生其他形式的意外试验现象。

4、原位加载试验的测点数量不宜过多；原位加载试验过程中宜进行下列观测：

- (1) 荷载—变形关系；
- (2) 控制截面上的混凝土应变；
- (3) 试件的开裂、裂缝形态以及裂缝宽度的发展情况；
- (4) 试件承载力标志的观测；
- (5) 卸载过程中及卸载后，试件挠度及裂缝的恢复情况及残余值。

(三)、试验结果的判断

1、如使用状态试验结构性能的各检验指标（挠度、开裂荷载、裂缝形态和最大裂缝宽度、试验方案要求检验的其他变形）全部满足要求，则应判断结构性能满足正常使用极限状态的要求。

2、混凝土结构需进行承载力试验时，应按相应标准的规定逐级对结构进行加载，当结构主要受力部位或控制截面出现的相应的承载力标志时，即认为结构已达到承载能力极限状态，应按标准要求确定承载力检验实测值，并进行承载力检验和判断。

3、如承载力试验直到最大加载限值，结构仍未出现任何承载力标志，则应判断结构满足承载力极限状态的要求。

十、试验安全

1、结构试验方案应包含保证试验过程中人身和设备仪表安全的措施及应急预案。试验前试验人员应学习、掌握试验方案中的安全措施及应急预案；试验中应设置熟悉试验工作的安全员，负责试验全过程的安全监督。

2、制定结构加载方案时，应采用安全性高、有可靠保护措施 of 加载方式，避免在加载过程中结构破坏或加载释放伤及试验人员或设备、仪表损坏。

3、在试验准备工作中，试验试件、加载设备、荷载架等的吊装，设备仪表、电气线路的安装，试验后试件和试验装置的拆除，均应符合有关建筑安装工程安装技术规定的要求。吊车司机、起重

工、焊工、电工等试验人员需经专业培训，且具有相应的资质。试验加载过程中，所有设备、仪表的使用均应严格遵守有关的操作规程。

4、试验用的荷载架、支座、支墩、脚手架等支承及加载装置均应有足够的安全储备，现场试验的地基应有足够的承载力和刚度。安装试件的固定连接件、螺栓等应经过验算，并保证发生破坏时不致弹出伤人。

5、试验过程中应确保人员安全，试验区域应设置明显的标志。试验过程中，试验人员测读仪表、观察裂缝和进行加载等操作均应有可靠的工作台或脚手架。工作台和脚手架不应妨碍试验结构的正常变形。

6、试验人员应与试验设施保持足够的距离，或设置专门的防护装置，将试件与人员和设备隔离，避免因试件、推载或试验设备倒塌及倾覆造成伤害。对可能发生试件脆性破坏的试验，应采取屏蔽措施，防止试件突然破坏时碎片或者锚具等物体飞出危及人身、仪表和设备的安全。试验中危险部位量测宜采用自动仪表。

7、对桁架、薄腹梁等容易倾覆的大型结构构件，以及可能发生断裂、坠落、倒塌、倾覆、平面外失稳的试验试件，应根据安全要求设置支架、撑杆或侧向安全架，防止试件倒塌危及人员及设备安全。支架、撑杆或侧向安全架与试验试件之间应保持较小间隙，且不应影响结构的正常变形；悬吊重物加载时，应在加载盘下设置可调整支垫，并保持较小间隙，防止因试件脆性破坏造成的坠落。

8、试验用的千斤顶、分配梁、仪表等应采取防坠落措施。仪表宜采用防护罩加以保护。当加载至接近试件极限承载力时，宜拆除可能因结构破坏而损坏的仪表，改用其他测量方法；对需继续量测的仪表，应采取有效的保护措施。对位移的量测，破坏前可拆除位移计百分表，改用激光测距仪、水准仪或者拉线一直尺测量。

十一、例题

(一)、空心板 HWS42-4 进行出厂检验, 试分析试验结果。

结构性能检验参数表

板型号	预应力筋	板自重标准值 (kN/m)	检验荷载标准值 q_k^e (kN/m)	$[\gamma_{cr}]$	短期挠度允许值 $[a_s]$ (mm)	短期挠度计算值 a_s^e (mm)	承载力检验荷载设计值 q_u^e (kN/m)
HWS 21—1	2 Φ^{H5}	1.10	7.20	1.70	5.74	0.55	8.65
HWS 24—1	2 Φ^{H5}	1.10	5.40	1.70	6.59	0.67	6.48
HWS 24—2	2 Φ^{H6}	1.10	7.69	1.38	6.55	1.04	9.23
HWS 27—2	2 Φ^{H6}	1.10	5.98	1.38	7.35	1.28	7.18
HWS 27—3	4 Φ^{H5}	1.10	8.19	1.28	6.85	1.85	9.83
HWS 30—2	2 Φ^{H6}	1.10	4.79	1.38	8.12	1.50	5.75
HWS 30—3	4 Φ^{H5}	1.10	6.55	1.28	7.55	2.23	7.86
HWS 33—3	4 Φ^{H5}	1.10	5.36	1.28	8.18	2.60	6.42
HWS 33—4	4 Φ^{H6}	1.10	7.59	1.11	8.16	3.97	9.10
HWS 36—3	4 Φ^{H5}	1.10	4.47	1.28	8.73	2.96	5.36
HWS 36—4	4 Φ^{H6}	1.10	6.32	1.11	8.72	4.60	7.59
HWS 36—5	4 Φ^{H7}	1.10	8.30	1.04	8.64	6.32	10.08
HWS 39—3	4 Φ^{H5}	1.10	3.78	1.28	9.21	3.28	4.53
HWS 39—4	4 Φ^{H6}	1.10	5.34	1.11	9.18	5.21	6.42
HWS 39—5	4 Φ^{H7}	1.10	7.02	1.04	9.10	7.26	8.35
HWS 42—4	4 Φ^{H6}	1.10	4.58	1.11	9.54	5.82	5.50
HWS 42—5	4 Φ^{H7}	1.10	6.01	1.04	9.45	8.18	7.31
HWS 45—4	4 Φ^{H6}	1.10	3.98	1.11	9.79	6.38	4.77
HWS 45—5	4 Φ^{H7}	1.10	5.21	1.04	9.68	9.11	6.34
HWS 48—5	4 Φ^{H7}	1.10	4.35	1.08	9.51	9.41	5.54

注: 1、表中检验荷载标准值 q_k^e 及承载力检验荷载设计值 q_u^e 均包括自重在内;

2、表中短期挠度允许值 $[a_s]$ 和短期挠度计算值 a_s^e 已扣除自重挠度。

结构性能检验参数表

图集号	苏G/T13-2005
页次	11

(1) 试验时板的支点距离 (计算跨度) 为: $l_e = 4140 - 100 = 4040\text{mm}$;

(2) 检验荷载值 (折合成荷重块重量):

检验荷载标准值 $= q_k^e \times l_e = 4.58 \times 4.04 = 18.50\text{kN}$ (包括板自重)

其中板自重 $= 1.10 \times 4.04 = 4.44\text{kN}$

抗裂检验荷载允许值 $= [\gamma_{cr}] \times q_k^e \times l_e = 1.11 \times 18.50 = 20.54\text{kN}$ (包括板自重)

承载力检验荷载设计值 $= q_u^e \times l_e = 5.50 \times 4.04 = 22.22\text{kN}$ (包括板自重)

达到承载力极限状态检验标志时的荷载值, 计算如下:

当主筋处最大裂缝宽度达到 1.5mm 或挠度达到跨度的 1/50 时为

$$q_u^e \times l_e \times [\gamma_u] = 22.22 \times 1.35 = 30.00\text{kN};$$

当腹部斜裂缝达到 1.5mm 或斜裂缝末端剪压破坏时为

$$22.22 \times 1.40 = 31.11kN ;$$

当受压区混凝土受压破坏时为 $22.22 \times 1.45 = 32.22kN ;$

当受拉主筋拉断时为 $22.22 \times 1.50 = 33.33kN ;$

当沿斜截面混凝土斜压破坏或受拉主筋在端部滑脱时为

$$22.22 \times 1.55 = 34.44kN ;$$

(3) 均布加荷，检验荷载分级按相应分级规定；

(4) 试验结果及分析

试验结果应记入统一的试验记录表中。

设试件在检验荷载标准值（扣除自重）作用下挠度实测值 $a_s^0 = 5.20 \text{ mm}$ ，而 $[a_s]$ 为

$9.54mm$ ， $a_s^0 < [a_s]$ ，故该试件挠度检验合格；

设开裂荷载实测值 q_{cr}^0 为 $24.05kN$ （包括板自重）， $\gamma_{cr}^0 = 24.05/18.50 = 1.30$ ，而

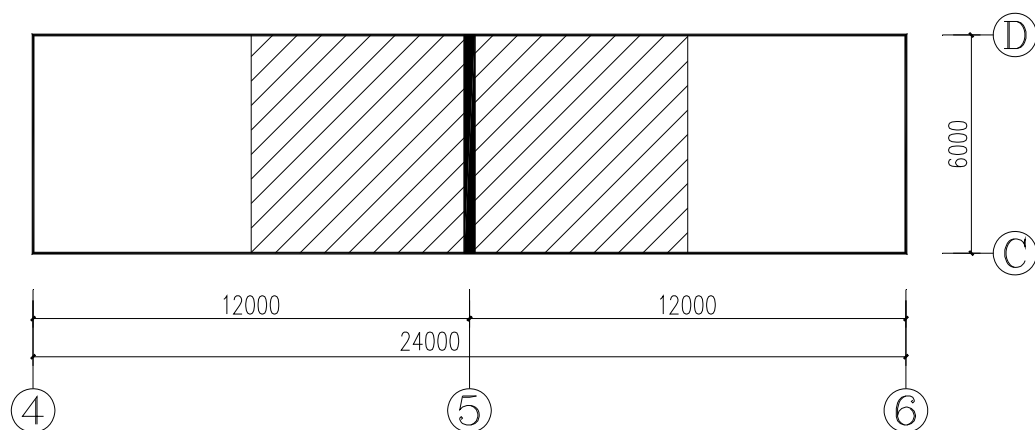
$[\gamma_{cr}] = 1.11$ ， $\gamma_{cr}^0 > [\gamma_{cr}]$ ，故该试件抗裂检验合格；

设检验荷载加至 $34.44kN$ (包括板自重)时，板的挠度达到跨度的 $1/50$ ，板的承载力检验系数

实测值 $\gamma_u^0 = 1.55 > 1.35$ ，故该试件承载力检验合格；

由于上述三项检验指标全部合格，则判该试件结构性能合格。

(二)、某综合楼为四层框架结构, C-D 轴柱距 7.5m, 4-5 轴和 5-6 轴柱距 12m, 现需对二层 5/ (C-D) 轴楼面梁进行结构性能试验。该楼面梁截面尺寸 $b \times h = 300\text{mm} \times 700\text{mm}$, 跨度 6.0m, 相邻钢筋混凝土楼板厚 120mm, 水磨石楼地面, 板面均布活载取 6.0kN/m^2 , 准永久系数取 0.85, 组合系数取 0.7, 构件的承载力检验系数允许值 $[\gamma_u]$ 取 1.50。试验准备: 百分表及表座、玻璃、黄油、标准砖、脚手架等安全设施。计算单元如下图阴影处所示:



(1) 荷载设计数据

该梁承受相邻两块板所传递的荷载, 在二层 5/ (C-D) 轴楼面梁相邻两块板上加载, 加载面积 $6.0\text{m} \times 24\text{m} = 144\text{m}^2$ 。

恒载: 根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 附录 A 查得:

钢筋混凝土自重为 25kN/m^3

水磨石地面自重为 0.65kN/m^2

楼面板自重: 120mm 楼板+水磨石地面

$$25\text{kN/m}^3 \times 0.12\text{m} + 0.65\text{kN/m}^2 = 3.65\text{kN/m}^2$$

框架梁自重: $25\text{kN/m}^3 \times 0.3\text{m} \times 0.7\text{m} = 5.25\text{ kN/m}$

活载: 板面均布活载 6.0kN/m^2

(2) 荷载值计算

a. 荷载的准永久组合计算

根据《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 标准 3.4.3, 3.4.4 条知混凝土受弯构件的最大挠度与裂缝计算均按荷载的准永久组合考虑。

$$S = \sum_{j=1}^m S_{GjK} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik}$$

$$S=3.65\text{kN/m}^2 \times 72\text{ m}^2 + 5.25\text{kN/m} \times 6.0\text{m} + 0.85 \times 6.0\text{kN/m}^2 \times 72\text{ m}^2 = 661.5\text{kN};$$

b. 荷载基本组合的效应设计值计算

$$\text{楼面恒载} = 3.65\text{kN/m}^2 \times 72\text{m}^2 = 262.8\text{kN}$$

$$\text{框架梁恒载} = 6.0\text{ kN/m} \times 6.0\text{m} = 36\text{ kN}$$

$$\text{楼面活载} = 6.0\text{kN/m}^2 \times 72\text{ m}^2 = 432\text{kN}$$

1) 按《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 公式 3.2.3-1 计算

$$S = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{GjK} + \gamma_{Q1} \gamma_{L1} S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \gamma_{Li} \psi_{ci} S_{QiK}$$

$$S = 1.2 \times (262.8 + 36) + 1.4 \times 432 = 963.36\text{kN}$$

2) 按《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 公式 3.2.3-2 计算

$$S = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{GjK} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \gamma_{Li} \psi_{ci} S_{QiK}$$

$$S = 1.35 \times (262.8 + 36) + 1.4 \times 0.7 \times 432 = 826.74\text{ kN}$$

取最不利的效应 963.36kN 为承载力状态荷载设计值

根据 GB/T50152-2012 第 9.1.7 条要求，检验钢筋混凝土结构在正常使用状态下的挠度、裂缝宽度时取荷载的准永久组合，故 Q_s 取 661.5 kN。

检验构件承载力时，试验的最大加载限值取承载力状态荷载设计值与结构重要性系数的乘积，按本题要求 $[\gamma_u]$ 取 1.50，故试验的最大加载限值为 $1.5 \times 963.36 = 1445.04\text{kN}$ 。

肩负行业责任，为检测人员素质保驾护航！



 025-8545 8112

<http://jkpx.jsgcjc.com>

江苏建科建筑技术培训中心