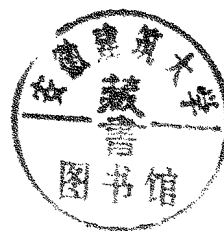


混凝土结构试验方法 新标准应用讲评

中国建筑科学研究院

沈在康 编著

中国建筑工业出版社



前 言

新编制的《混凝土结构试验方法标准》GB 50152—92经国家技术监督局和建设部批准，自1992年7月1日起施行。

新标准GB 50152—92是在总结我国建国40年来混凝土结构试验和检验的丰富实践经验的基础上，参考了国际上现有的试验方法单项标准、建议等有关内容，编写出的我国第一部完整的混凝土结构（包括钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构）试验方法的国家标准。新标准既统一了量大面广的检验性试验方法，又对一般的研究性试验方法提出了基本要求，对生产和科研具有广泛的实用性，是今后进行混凝土结构试验（包括检验性试验和研究性试验）统一的试验准则。

为使广大施工、科研、设计、管理部门的工程技术人员、大专院校的师生及从事混凝土结构试验的专业人员和预制混凝土构件的质检人员及时熟悉和掌握新标准的内容和应用方法，特编写了《混凝土结构试验方法新标准应用讲评》一书。

本书主要介绍了新标准GB 50152—92的主要内容、编制的主要依据、应用新标准的注意事项及对新标准中若干问题的评述。本书编写时在文字上力求深入浅出，简明易懂。在编写顺序上与新标准一致，以便读者查阅和应用。

全书由哈尔滨建筑工程学院潘景龙主审，在此表示衷心感谢。

在本书编写过程中，得到标准编制组内外有关专家的帮助，在此深表感谢。

由于时间紧迫，书中难免有不当之处，敬请读者指正。

目 录

第一章 总 则	1
第二章 试验结构构件的制作及材料基本力学性能	4
第三章 量测仪表、加载设备及试验装置	14
第一节 量测仪表	14
第二节 加载设备	39
第三节 试验装置	48
第四章 试验荷载和加载方法	61
第一节 加载图式和加载方案	61
第二节 试验荷载的确定	67
第三节 加载程序	128
第五章 试验前的准备工作	172
第六章 变形的量测	180
第一节 试验结构构件的整体变形	180
第二节 试验结构构件的局部变形	185
第三节 试验结构构件变形的量测时间	189
第七章 抗裂试验与裂缝量测	191
第一节 试验结构构件的抗裂试验	191
第二节 试验结构构件裂缝的量测	198
第八章 承载力的确定	200
第九章 试验资料的整理分析	215
第一节 试验原始资料整理	215
第二节 变形量测的试验结果整理	216
第三节 抗裂试验与裂缝量测的试验结果整理	227
第四节 承载力试验结果整理	242
第五节 试验结果的误差及统计分析	244
第十章 专门试验	252

第一节	低周反复荷载作用下混凝土结构构件力学性能试验.....	252
第二节	混凝土受弯构件等幅疲劳试验.....	267
第三节	钢筋和混凝土粘结强度对比试验.....	273
第十一章	安全与防护措施.....	281
第十二章	对新标准中若干问题的评述.....	284
参考文献		286

第一章 总 则

一、新标准 GB 50152—92 的编制目的

为了研究和发展混凝土结构理论、鉴定重要结构和旧有结构的可靠性、检验评定预制混凝土构件的结构性能，在我国每年都要进行大量的混凝土结构试验。然而，建国四十多年来，尽管已经有了《混凝土结构设计规范》、《混凝土结构工程施工及验收规范》和《预制混凝土构件质量检验评定标准》，但还没有一本相应配套的混凝土结构试验方法的国家标准。

编制新标准 GB 50152—92 的目的在于统一混凝土结构的试验方法，确保结构试验质量，并使所得到的同类试验结果具有一致性和可比性，其试验结果可以相互利用。

二、新标准 GB 50152—92 的适用范围

新标准 GB 50152—92 主要是针对工业与民用建筑和一般结构物的钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构在荷载作用下的检验性试验和研究性试验。对于低周反复荷载作用下混凝土结构构件力学性能试验、混凝土受弯构件等幅疲劳试验及钢筋和混凝土粘结强度对比试验，在新标准中亦作了规定。

试验性试验是指为评定已经生产的结构构件而进行的试验。已经生产的结构构件包括工厂及施工现场生产的工业与民用房屋和一般构筑物的预制混凝土构件及施工现场现浇的混凝土结构构件。

研究性试验是指为了探索客观规律，验证各种科学判断、推理、假设的正确性，改进或创造一种新型结构等目的而进行的试验。例如，为了改进《混凝土结构设计规范》的设计理论、计算方法和构造措施而进行的系统试验，即属于研究性试验。

新标准 GB 50152—92 不适用有特殊要求的研究性试验，以及

处于高温、负温、侵蚀性介质等环境下的结构试验。

具有特殊要求的研究性试验是指某些探索性试验，这类试验对于量测仪表、加载设备和试验装置及对加载方式、加载程序（包括加载速率、荷载持续时间等）有特殊要求。因此，对于这类具有特殊要求的研究性试验，应根据试验目的拟定专门的试验方法，可不受新标准的约束。允许试验技术和试验方法向前发展。

由于一般量测仪表、加载设备及试验装置在高温、负温、侵蚀性介质等环境条件下已不能正常工作或可能受到腐蚀，因此新标准对上述情况是不适用的。

根据国家计量检定规程的规定，各种量测仪表进行检定时，对室内温度均有较严格的要求，例如：

检定百分表的温度应在 $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 范围内，检定前，受检百分表在室内的平衡温度时间一般不少于2h；

检定千分表时，室内温度应在 $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 范围内，检定前受检千分表在室内的平衡温度时间不少于2h；

检定钢直尺的示值误差时，室内温度应在 $20 \pm 8^{\circ}\text{C}$ 范围内，被检尺及检定工具在室内平衡温度时间不应少于2h；

在室内检定DS1、DS3水准仪时，一般项目可在室内常温下进行，但第2、3项水准角值的检定，室内温度应在 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内；

在室内检定光学经纬仪时，在常温下进行。

检定负荷传感器时，必须在下列标准检定条件下进行：

1. 温度： $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
2. 相对湿度： $\leq 70\%$ ；
3. 气压： $90 \sim 106\text{kPa}$ （ $680 \sim 800\text{mmHg}$ ）。

进行结构试验时的环境温度距量测仪表检定时要求温度越远，仪表量测的附加误差就越大。因此，新标准GB50152—92不适用于处于高温、负温环境条件下的结构试验。

轻骨料混凝土是指用轻粗骨料、轻细骨料或普通砂和水泥配制成的混凝土，其干密度不大于 1950kg/m^3 。高强混凝土通常是

指混凝土强度等级大于C 50的混凝土。以上这两种混凝土和特种混凝土，由于其混凝土的材料力学性能与普通混凝土的材料力学性能相比有较大差异，其结构性能和设计方法与普通混凝土结构性能和设计方法亦不相同，因而新标准中试验荷载的确定方法不适用于轻骨料混凝土结构、高强混凝土结构及特种混凝土结构，但这类结构试验所采用的量测仪表、加载设备及试验装置，变形的量测，抗裂试验与裂缝量测，承载力的确定，试验资料的整理分析，安全与防护措施等，新标准GB50152—92的规定仍是适用的。

第二章 试验结构构件的制作及材料基本力学性能

一、试验结构构件的制作

试验结构构件制作时应严格进行检查，以保证构件制作的质量，它包括以下四个方面：

1. 钢筋、水泥、砂、石、水等材料的质量；
2. 钢筋工程的质量；
3. 混凝土工程的质量；
4. 模板工程的质量。

以上各项均应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204—92)、《预制混凝土构件质量检验评定标准》(GBJ321—90)及有关标准的要求。

制作试验结构构件时，除了应保证构件施工质量外，还应当保证量测仪表用的预埋件和预留孔洞的正确位置，并应尽可能减少截面的削弱。在施工过程中，预埋传感元件和引线容易受到损坏，应采取措施保护。

在构件承受较大集中荷载的部位可能产生比较大的局部应力，为了防止构件局部受压破坏，应采用钢筋网片或钢板等局部加强。

二、材料基本力学性能

钢筋和混凝土的力学性能指标是判定试验结构构件质量的重要依据；是正确估计试验结构构件的承载力、挠度、抗裂性和裂缝宽度，选用合适的量测仪表的重要依据；是正确确定试验荷载，选用合适的加载设备的重要依据；同时也是结构试验资料整理分析的重要依据。因此，新标准GB50152—92对应进行的钢筋和混凝土的力学性能试验作出了若干规定。

(一) 钢筋力学性能试验

在制作试验结构构件时，应当取钢筋试件作力学性能试验，试验内容包括屈服强度、抗拉强度、伸长率和冷弯等。

测定试验结构构件钢筋试件，应在同批钢筋中取样，但取样部位不应在钢筋端部，通常从一根钢筋或一盘钢丝的任一端截除500mm以上后再取试件，否则会产生较大误差。

制作试验结构构件时，钢筋试件取样的数量应根据试验目的确定。

对于混凝土结构，在施工时，检验评定钢筋力学性能用的钢筋取样数量和取样方法可归拿起来，列于表2.1中。

钢筋验收时的取样数量和取样方法

表 2.1

钢筋种类	验收批钢筋组成	每批数量	取 样 数 量
热轧钢筋	1.同一截面尺寸和同一炉罐号 2.同钢号的混合批，不超过10个炉罐号	$\leq 60t$	在任取2根钢筋上，每根取1拉力试样和1个冷弯试样
热处理钢筋	1.同一外截面尺寸，同一热处理制度和炉罐号 2.同钢号组成的混合批，不超过10个炉号	$\leq 60t$	取10%的盘数（不少于25盘），每盘取1个拉力试样
碳素钢丝 刻痕钢丝	同一钢号、同一形状尺寸， 同一交货状态	—	取5%的盘数（但不少于3盘），优质钢丝取10%（不少于3盘）每盘取1个拉力和1个弯曲试样
钢 绞 线	同一钢号，同一规格，同生产工艺	$\leq 60t$	任取3盘，每盘取1根拉力试样
冷拉钢筋	同级别、同直径	$\leq 20t$	在任取2根钢筋上，每根取1个拉力和1个冷弯试样

续表

钢筋种类		验收批钢筋组成	每批数量	取 样 数 量
冷拔低碳钢丝	甲级	——	逐盘检验	每盘取 1 个拉力试样和 1 个弯曲试样
	乙级	用相同材料的钢筋冷拔成相同直径的钢丝	5t	任取 3 盘，每盘取 1 个拉力和 1 个弯曲试样

注：拉力试验包括屈服点、抗拉强度和伸长率三个指标。

钢筋试件的拉力试验应符合国家标准《金属拉力试验法》的要求。

热轧钢筋、冷拉钢筋、热处理钢筋、碳素钢丝（即矫直回火钢丝）、刻痕钢丝、冷拔低碳钢丝和钢绞线的力学性能的试验结果应分别符合表2.2至表2.8的规定。

当需要确定试验结构构件的钢筋应力时，应测定钢筋的弹性模量，并绘制应力——应变曲线，然后根据此钢筋弹性模量实测值或实测的应力——应变曲线和构件中钢筋应变实测值来确定构件中的钢筋应力实测值。

钢筋、钢丝和钢绞线的力学性能。

热轧钢筋的力学性能 (GB 1499—84) 表 2.2

品 种		牌 号	公 称 直 径 (mm)	屈服点 σ_s (N/mm ²)	抗拉强度 σ_b (N/mm ²)	伸长率 (%)	冷 弯 $d = \text{弯心直径}$ $a = \text{钢筋直径}$
外形	强度 等级			不 小 于			
光圆钢筋	I	A3、AY3	8~25	235	370	25	180° $d = a$
			28~50				180° $d = 2a$
变形钢筋	II	20MnSi	8~25	335	510	16	180° $d = 3a$
		20MnNb(b)	28~50	315	490	16	180° $d = 4a$

续表

品 种		牌 号	公 称 直 径 (mm)	屈 服 点	抗 拉 强 度	伸 长 率	冷 弯
外形	强度 等级			σ_s (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	(%)	$d = \text{弯心直径}$
				不 小 于			$a = \text{钢筋直径}$
变 形 钢 筋	Ⅲ	25MnSi		370	570	14	90° $d = 3a$
	Ⅳ	40Si ₂ MnV 45Si MnV	10~25	540	835	10	90° $d = 5a$
		45Si ₂ MnTi	28~32				90° $d = 6a$

冷拉钢筋的力学性能 表 2.3

项次	钢筋级别	直 径 (mm)	屈 服 点	抗拉强度	伸长率	冷 弯	
			σ_s (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	δ_{10} (%)	弯曲角度	弯曲直径
			不 小 于				
1	冷拉Ⅰ级	6~12	280	380	11	180°	3d
2	冷拉Ⅱ级	8~25 28~40	450 430	520 500	10 10	90° 90°	3d 4d
3	冷拉Ⅲ级	8~40	500	580	8	90°	5d
4	冷拉Ⅳ级	10~28	700	850	6	90°	5d

注：1.冷拉Ⅰ级钢筋适用于混凝土结构中的受拉钢筋，冷拉Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋可用作预应力混凝土结构预应力筋；
2.钢筋直径大于25mm的冷拉Ⅲ、Ⅳ级钢筋，冷弯弯曲直径应增加1d，冷弯后不得有裂纹、裂断或起层等现象；
3.经过冷拉后的钢筋表面不得有裂纹起层和局部缩颈。

热处理钢筋的力学性能 (GB 4463—84) 表 2.4

公称直径 (mm)	牌 号	屈服强度	抗拉强度	伸 长 率
		$\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	δ_{10} (%)
		不 小 于		
6 8.2 10	40Si ₂ Mn 48Si ₂ Mn 45Si ₂ Cr	1325	1470	6

碳素(矫直回火)钢丝的力学性能GB5223—85

表 2.5

公称直径 (mm)	抗拉强度 σ_b (N/mm ²) 不小于	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²) 不小于	伸长率 (%) $L_0 = 100\text{mm}$ 不小于	弯曲次数		松 松 弛		
				次数 不小于	弯曲 半径 R (mm)	初始应力相当 于公称 强度的 百分数	1000 小时应力 损失, 不大于	
							I 级 松弛	II 级 松弛
4	1670	1410	4	3	10	70%	8 %	2.5%
5	1470	1255		4	15			
	1570	1330		4	15			
	1670	1410		4	15			

注: 1. Ⅰ级松弛即普通松弛级, Ⅱ级松弛即低松弛级;
2. 屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 值不小于公称抗拉强度的85%。

刻痕钢丝的力学性能(GB 5223—85)

表 2.6

公称直径 (mm)	抗拉强度 σ_b (N/mm ²) 不小于	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²) 不小于	伸长率 (%) $L_0 = 100$ 不小于	弯曲次数		松 弛		
				次数 不小于	弯曲 半径 R (mm)	初始应力相当 于公称 强度的 百分数	1000 h 应力损 失, 不大于	
							I 级 松弛	II 级 松弛
5.0	1180	1000	4	4	15	70%	8 %	2.5%
5.0	1470	1255		4	15			

注: 屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 值不小于公称抗拉强度的85%。

冷拔低碳钢丝的力学性能

表 2.7

项次	钢丝级别	直 径 (mm)	抗拉强度 (N/mm ²)		伸 长 率 (标距100mm) (%)	反复弯曲 180° (次数)
			I 组	II 组		
			不 小 于			
1	甲 级	5	650	600	3	4
		4	700	650	2.5	
2	乙 级	3 ~ 5	550		2	4

注: 1. 甲级钢丝采用符合Ⅰ级热轧钢标准的圆盘条拔制;
2. 甲级钢丝主要用作预应力筋; 乙级钢丝用于焊接网、焊接骨架, 箍筋和构造钢筋。

钢绞线的力学性能 (GB 5524—85) 表 2.8

钢 绞 线 公 称 直 径 (mm)	公 称 截 面 积 (mm ²)	强度级别 N/mm ² (kgf/mm ²)	整根钢绞线 的破断负荷 kN (kgf)	屈服负荷 kN (kgf)	伸长率 (%)	1000小时松弛值, 不大于			
						I 级松弛		II 级松弛	
						初 始 负 荷			
						70%破 断负荷	80%破 断负荷	70%破 断负荷	80%破 断负荷
9.0	50.34	1670(170)	83.89(8560)	71.30(7280)	3.5				
		1770(180)	88.79(9060)	75.46(7700)					
12.0	89.45	1570(160)	140.24(14310)	119.17(12160)	3.5	8.0% 12% 2.5% 4.5%			
		1670(170)	149.06(15210)	126.71(12930)					
15.0	139.98	1470(150)	205.80(21000)	174.93(17850)	3.5				
		1570(160)	219.52(22400)	186.59(19040)					

注: 1. I 级松弛即普通松弛级, II 级松弛即低松弛级;
2. 屈服负荷是整根钢绞线破断负荷的35%;
3. 表中括号中数值的计量单位为kgf/mm²或kgf

(二) 混凝土的力学性能试验

1. 混凝土试件的留置

在制作试验结构构件时、应当留置混凝土试件，以进行混凝土力学性能试验。

混凝土力学性能试验应以三个试件为一组。

每组试件所用的拌合物，根据不同要求，应从同一盘搅拌或同一车运送的混凝土中取出，以使所制作的试件能真正代表试验结构构件混凝土的材性。

用来评定混凝土结构构件混凝土强度的试件，应在构件浇筑地点制作。

制作试验结构构件时，混凝土试件留置的组数应根据试验目的确定。

对于混凝土结构，在施工时，检验评定混凝土强度用的混凝土试件组数，应按下列规定留置：

(1) 每拌制100盘，且不超过 100m^3 的相同配合比的混凝土，其取样制作的试件不得少于一组；

(2) 每工作班拌制的相同配合比的混凝土不足100盘时，其取样制作的试件不得少于一组；

(3) 现浇楼层，每层取样制作的试件不得少于一组。

上述规定中强调了只能以相同配合比的混凝土作为一个母体来取样，不是相同配合比的混凝土不能作为一个母体来取样。同时还表明，混凝土试件的取样频率除了与拌制盘数和混凝土总量有关外，还与工作班的划分有关。当每一工作班拌制的相同配合比的混凝土超过100盘时，其取样次数尚应增加。

应当注意，按上述规定留置的混凝土标准试件是用来进行混凝土强度评定的。当需要控制施工各阶段（如拆模、出池、出厂、吊装、张拉、放张及施工期间临时负荷阶段）的混凝土强度时，还应增加与结构或构件同条件养护的试件。这些试件应在相应的施工阶段进行试验，其试验结果只能作为结构或构件能否继续施工的依据，不能用来评定混凝土强度。两类试件不能混同。

综上所述，可以看出，在施工时，应制作的混凝土试件的总组数，除应考虑检验评定混凝土强度用的必须的组数外，还应考虑为控制结构或构件各个施工阶段混凝土强度所必须的试件组数。

例如，生产预应力混凝土圆孔空心板时，每工作班拌制的同配合比的混凝土不足100盘时，应至少各制作两组试件，一组按标准条件养护，一组与构件同条件养护。标准条件下养护28天试件的抗压极限强度，作为评定构件混凝土强度质量的依据；同条件养护试件的抗压极限强度，作为预应力钢丝放张的依据。

最后，除了上述应当留置的试件外，对于需要进行试验的结构构件，还应至少留置一组同条件养护试件，以确定试验时被试构件的实际强度。

此外，新标准GB50152—92还对试验结构构件制作时的棱柱体试件和劈裂抗拉立方体试件的留置提出了要求：

(1) 当需要测定混凝土的应力、弹性模量或轴心抗压强度时，应制作棱柱体试件，并宜绘制混凝土的应力——应变曲线；

(2) 当进行抗裂性试验研究时，应同时制作用来测定抗拉强度的混凝土立方体试件，以确定混凝土的轴心抗拉强度。

2. 混凝土试件的养护

混凝土立方体试件的养护方法应根据试验目的来确定。

(1) 标准养护

对用来检验评定结构构件混凝土强度等级的试件和用于材料性能研究的试件，应采用标准养护

标准养护是指拆模后的混凝土试件放在温度为 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ，湿度为90%以上的标准养护室中的养护或将混凝土试件放在温度为 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 的不流动水中的养护。试件一般养护到28天龄期（由成型时算起）进行试验。

(2) 同条件养护

新标准GB50152—92中规定，在制作试验结构构件时，除应有标准养护试件外，还应有同条件养护的混凝土立方体试件。这是因为，对于研究性试验，往往需要确定试验时构件混凝土的实

际强度，然后根据此强度来计算结构构件的试验荷载、挠度、裂缝宽度等数值，以获得较为准确的计算结果。

同条件养护的试件成型后应复盖表面。试件的拆模时间可与实际构件的拆模时间相同，拆模后，试件仍需保持同条件养护。

此外，当需要构件在拆模、吊装、预应力钢筋张拉或放张时的混凝土强度时，应采用同条件养护的试件。

(3) 蒸汽养护

对蒸汽养护的混凝土构件，用来检验评定此构件混凝土强度等级的试件，应先随构件同条件蒸汽养护，然后再转入标准养护条件下养护，共计28天。采用这种养护方法可消除蒸汽养护对混凝土后期强度增长的不利影响。

3. 混凝土试件的试验

立方体试件和棱柱体试件的试验应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》的要求。

当需要混凝土轴心抗拉强度时，可根据混凝土劈裂抗拉强度换算求得。

混凝土劈裂抗拉强度应按下列公式计算：

$$f_{pt,15} = \frac{2F_u}{\pi A} = 0.637 \frac{F_u}{A} \quad (2.1)$$

式中 $f_{pt,15}$ ——混凝土劈裂抗拉强度 (N/mm²)；

F_u ——破坏荷载 (N)；

A ——混凝土立方体试件劈裂面面积 (mm²)。

以三个试件测值的算术平均值作为该组试件的劈裂抗拉强度值。三个测值中的最大值或最小值如有一个与中间值的差值超过中间值的15%，则把最大值及最小值一并舍除，取中间值作为该组试件的劈裂抗拉强度值。如有两个测值与中间值的差均超过中间值的15%，则该组试件的试验结果无效。

在按上式求得混凝土劈裂抗拉强度值后，混凝土的轴心抗拉强度可按下列公式计算：

$$f_t = 0.9f_{pt,15} \quad (2.2)$$

式中 f_t ——混凝土轴心抗拉强度；

$f_{pt,15}$ ——混凝土劈裂抗拉强度。

三、新品种钢筋或水泥的质量要求

当采用新品种的钢筋或水泥制作试验结构构件时，材料的质量应符合国家现行有关标准、规范的规定。

当使用新品种钢筋或进口钢筋制作试验结构构件时，应对钢筋的力学性能进行试验，有焊接要求的应做可焊性试验。钢材的质量应符合《进口热轧变形钢筋应用若干规定》和其它有关标准的规定。

当用新品种水泥或进口水泥制作试验结构构件时，水泥的抗压强度、抗折强度和安定性等指标，应符合相应的水泥标准的规定。

四、从结构构件中取试件的要求

当试验结构构件没有材性试件时，或对材料强度有争议时，可在构件试验完成之后，从构件受力较小部位截取钢筋试件或钻取混凝土试件作材料力学性能试验，测定材料强度。

从构件中取试件时应注意：

1. 取试件的部位应选择在受力较小部位，例如，受弯构件应取支座附近，不应取跨中；取中和层不应取力缘层，因该处材料受力处于弹性阶段，其力学性能与原材料基本相同，有代表性；

2. 取下的试件质量应保持不变，例如，用热割的方法取钢筋试件，在热影响区钢材要发生“蓝碎”；强烈的打击可能使混凝土试件开裂等。