

结构混凝土试验

〔英〕 J·H·邦 奇 著

王 怀 彬 译

中国建筑工业出版社

度，因此，工程师们可能与技术专家就一定的试验技术进行富于意义的讨论。书末列出了精选的重要参考文献，供深入研究时使用。本书引用的资料和数据是选自世界各国的有关文献，在这里，除了有公认的试验方法以外，还概括地论述了一些很有发展前途的新技术，其中大多数技术，在混凝土工程的实际应用中仍然处于早期阶段，应用还很有限。本书的重点，是说明各种试验技术的可信度、局限性和试验结果，并根据规范、设计计算上的要求加以讨论。基于上述考虑，本书列举了大量的说明例题。

在各国的试验标准中，某些项目的试验方法、测量单位上可能会略有差别，但是，其基本试验技术，世界各国基本上是相近的。本书采取在英国通用的国际单位（SI），当参照设计规范时，应注意英国标准的最新建议，因为建议随时都在进行修改。

我非常感谢英国、美国、澳大利亚的一些工程师们所给予的颇有价值的建议、指导和讨论。在这里要特别感谢丹尼尔·C.格里菲斯公司（Daniel C. Griffith）朗·汉普森（Ron Hampson）的大力协助，他在化学分析的章节里给予了有益的建议和帮助。泰松斯建筑公司（Tysons），F.索科（F. Sawk）教授，C.N.S.仪器公司，和劳克仪器公司（LOK）提供了照片，在此表示感谢。还应当感谢M.A.雷维尔（M. A. Revell）女士为本书整稿打字，B.科特格蕾夫CB. Cotgreave）精心制表绘图，以及我夫人的充分理解与热情鼓励。

J. H. B.

本书在结构混凝土试验方法、范围、局限性等方面作了比较详尽的介绍，编撰内容广泛，力求做到更多地阐述结构硬化混凝土试验的各种方法，说明各种试验技术的可信度、局限性和试验结果，并根据规范、设计计算上的要求加以论述，列举了大量说明例题。书中除了有公认的试验方法以外，还概括地介绍了一些很有发展前途的新技术。书末列出精选的重要参考文献供深入研究时使用。

本书可供土建工程设计、施工人员阅读，亦为非专业的工程师在进行规划和试验上提供了综合性知识。

The Testing of Concrete in Structures

J.H.Bungey

Published by Surrey University Press

First Published 1982, New York

结 构 混 凝 土 试 验

王 怀 彬 译

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

煤炭工业出版社印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：8³/₄。字数：1,187千字

1987年8月第一版 1987年8月第一次印刷

印数：1—10,690册 定价：1.45元

统一书号：15040·5270

前 言

近年来，对于硬化混凝土现场测试技术的兴趣大大地增加了。在英国，已有相当数量的混凝土结构，特别是近年来建造的一些结构，表现出损坏的特征。在世界其他各地，也出现了类似的问题。水泥生产工艺的变化，水泥掺合料和其他附加剂的应用，工艺标准的差异，施工控制等因素，都具有一定的影响。目前，愈加意识到，在施工质量控制上和合格性试验上都存在着一些缺点：试验结果，必须要等待28d后取得，而且，这些试验结果仅仅反映了配用材料的性质，并不代表全部施工条件。

有的工程必须进行现场试验，但是，对许多工程师来说，由于对现有试验方法的特点和它的局限性不甚了解，往往需要把问题交给“专家”去解决。应当指出，在缺少对试验工作一般性了解的情况下，把试验工作交由有经验的专家去完成是必要的。否则，将在编制试验计划和试验结果说明的阶段中，都可能出现各种各样的难题，因而可能有大量的时间、金钱和工作浪费在规划不当，或规划错误的试验上，导致毫无结论的结果，造成激烈争执的局面。

本书的主要目的，是为非专业的工程师在进行规划和试验上提供综合性知识。本书编撰的内容相当广泛，并力求做到更多地阐述结构硬化混凝土试验的各种方法。本书在试验方法、范围、局限性方面作了详尽的介绍，达到了足够的深

目 录

1 现场试验计划与说明	1
1.1 现场试验的目的	1
1.1.1 规范验收试验	2
1.1.2 现场质量评定	3
1.2 试验方法的选择	4
1.3 试验计划	7
1.3.1 外观检查	7
1.3.2 试验方法的选择	10
1.3.3 试验部位和测点数量	12
1.4 现场混凝土的变异性	14
1.4.1 构件混凝土的变异性	15
1.4.2 现场强度与标准试件强度的关系	17
1.5 试验结果的分析说明	19
1.5.1 试验数据的整理计算	19
1.5.2 变异性检验	20
1.5.3 校准与应用	22
1.6 综合试验	27
2 表面硬度法	29
2.1 回弹法试验设备及其操作	30
2.2 操作方法	31
2.3 基本原理, 校准曲线, 试验说明	32

2.3.1	影响试验结果的若干因素	32
2.3.2	试验强度校准	36
2.3.3	试验说明	39
2.3.4	适用性和局限性	40
3	超声法	43
3.1	声波在混凝土中传播的原理	44
3.2	仪器与操作	45
3.2.1	仪器	45
3.2.2	应用	47
3.3	校准试验及试验结果的说明	53
3.3.1	强度校准	53
3.3.2	试验结果的各种实际影响因素	56
3.4	应用	63
3.4.1	实验室应用	63
3.4.2	现场试验应用	64
3.5	可靠性和局限性	72
4	贯入阻力法、拔出法、剥离法和折断法	73
4.1	贯入阻力法	73
4.1.1	试验设备与操作	74
4.1.2	试验方法	75
4.1.3	原理、校准和说明	77
4.1.4	可信度、局限性、实用性	82
4.2	拔出法试验	85
4.2.1	预埋先装法	85
4.2.2	钻孔后装法	91
4.3	剥离法和折断法	101
4.3.1	剥离法	101

4.3.2	折断法	102
5	取芯试验	105
5.1	芯样的钻取和试验的一般方法	105
5.1.1	取芯位置与尺寸	105
5.1.2	钻取芯样	107
5.1.3	芯样试验	108
5.2	试验结果的说明	113
5.2.1	影响芯样试验抗压强度的若干因素	113
5.2.2	立方强度的评定	117
5.2.3	可靠性、局限性和实用性	119
5.3	小直径芯样	122
5.3.1	试件尺寸的影响	122
5.3.2	可靠度、局限性和适用性	125
6	荷载试验	127
6.1	现场荷载试验	128
6.1.1	试验方法	128
6.1.2	加荷技术	132
6.1.3	测试与说明	136
6.1.4	应变测量技术	143
6.1.5	可信度、局限性、适用性	151
6.2	极限荷载试验	153
6.2.1	试验方法和测试技术	153
6.2.2	可靠性、实用性和试验结果的说明	156
7	混凝土有关性质的试验方法	159
7.1	电磁法	160
7.1.1	原理、仪器、校准	160

7.1.2	测试方法	162
7.1.3	可信度、局限性、实用性	163
7.2	放射法	164
7.2.1	X射线照相法	165
7.2.2	γ射线照相法	166
7.2.3	γ射线辐射测量法	166
7.3	核子法	169
7.3.1	中子湿度计	169
7.3.2	中子活化分析(水泥用量试验)	170
7.3.3	可靠性、局限性、实用性	171
7.4	电学方法	171
7.4.1	含湿度和水泥含量的测试	172
7.4.2	钢筋锈蚀试验	173
7.4.3	路面厚度的确定	174
7.5	微波吸收法	175
7.6	全息照相技术和声发射技术	176
7.6.1	全息照相技术	176
7.6.2	声发射技术	177
7.7	红外线温度记录法	179
7.8	光弹法	180
7.9	渗透性和吸收试验	181
7.9.1	原表面吸收法	182
7.9.2	英国建筑科学研究院的试验方法	186
7.9.3	流动性试验	188
7.9.4	吸水试验	190
7.9.5	毛细水上升试验	191
7.10	反射波试验技术	192
7.11	耐磨性和密实性试验	193
7.11.1	耐磨性试验	193

7.11.2	密实度试验	194
8	化学试验及有关技术	197
8.1	取样和报告	198
8.1.1	取样	198
8.1.2	报告	199
8.2	水泥含量、骨灰比和级配	200
8.2.1	一般原理	200
8.2.2	试验方法	201
8.2.3	可靠性及试验结果的说明	208
8.3	原水含量试验	209
8.3.1	原理	209
8.3.2	试验方法	210
8.3.3	可靠性和试验结果的说明	212
8.4	水泥品种和水泥掺合料	212
8.4.1	原理	212
8.4.2	试验方法	213
8.4.3	可靠性和试验结果的说明	215
8.5	骨料品种试验	215
8.6	硫酸盐、硫代铝酸盐的确定	216
8.7	氯化物测定	217
8.7.1	试验方法	217
8.7.2	可靠性和试验结果的说明	220
8.8	外加剂和碳化作用	222
8.9	测微法	222
8.9.1	原理	223
8.9.2	试验方法	223
8.9.3	可靠性和适用性	224
8.10	热致发光试验	225

8.10.1	原理	225
8.10.2	试验设备和方法	225
8.10.3	可靠性、局限性和适用性	226
8.11	其他复杂的试验方法	227
8.11.1	X射线荧光光谱法	227
8.11.2	差热法	227
8.11.3	热重分析法、X射线衍射法、红外吸 收光谱法、扫描电子显微镜	229
附录 A	试验计划的几个典型实例及试验结果 的说明	230
A1	28d立方强度不合格 (立方强度存在怀疑)	231
A2	28d立方强度不合格 (立方强度不可信)	233
A3	新建结构没有试块	235
A4	已有结构, 没有试块	237
A5	表面开裂	238
附录 B	取芯强度评定实例	239
参考文献		243
主题索引(汉英对照)		249

1 现场试验计划与说明

现场试验，如果没有明确地规定出试验目的，就可能浪费大量的时间和经费，并且要影响到试验方法、范围、位置的选择。试验结束后，试验数据的处理，常由于缺乏必要的知识和对试验方法的了解而得不到适当的结果，甚至导致错误；要避免事后发生争议，应在早期周密制订出试验计划，协调各有关方面的意见，进行试验结果的说明和工程判断，这样是可以减少错误的。

1.1 现场试验的目的

现场混凝土试验分为三个主要的方面：

（a）混凝土质量控制试验。一般地由施工单位或供料厂家为保证使用材料的质量而进行的合格性评定。

（b）混凝土验收试验。按照材料供应的协议和规范的要求，由混凝土供应厂家的工程师主持进行合格性评定。

（c）辅助性试验。通常是在结构物上或结构外硬化的混凝土上进行试验，当质量控制检验查无资料，或验收试验不合格的老结构、灾害结构，或对其可靠性发生怀疑时才进行。

质量控制试验和验收试验，通常采用同批结构混凝土的硬化的标准试件，不对新鲜混凝土进行试验。硬化混凝土试

验，在混凝土预制厂里普遍采用了标准构件的试验，来控制生产构件的匀质性及其与预定的最低验收强度的相关关系。工程师们已愈加认识到，标准试件尽管采用了同样的材料，但是由于供应材料的不均匀性，振捣、养护、工艺条件的差异，已不能代表实际结构混凝土的真正质量。因此，目前产生了一种新的趋势，采用非破损和局部破损的方法进行现场性的验收试验，特别在北美的一些国家里，这种方法已成为传统的控制试验的辅助方法，来探测与工程结构耐久性有关的内部隐患问题。

现场试验，基于种种原因，目前还是一种辅助的手段。主要分为二类：

1.1.1 规范验收试验

在大多数的情况下，规范验收试验是当标准试件不合格而发生了合同纠纷时，需要追加验证资料而进行的；在另外一些情况下，当结构遭受一定的损坏要求进行鉴定试验，这项工作常与评判法律上的责任有关。强度试验要求是大多数规范的重要内容，工程师必须充分考虑各种结构构件的变异性（见第1.4节），选择最合适的方法评定现场混凝土强度。试验结果经分析说明确定现场试验的变异性 and 混凝土试验强度，但是，其中的困难课题在于建立试验强度与其对应的控制试件强度，在某一个规定的龄期下的相关关系。有关这方面的问题将在第1.4.2节中详述。

最低水泥用量与结构耐久性有密切关系，是工程质量的主要要求，一般都有规定的限量，水泥含量可以通过化学分析来鉴定其合格性。当混凝土的质量发生恶变时，也可以采用化学分析的方法检验是否存在禁用的外加剂、加气剂以及

水泥含量。其次，施工质量差也是造成耐久性问题的关键因素，因此还应检验钢筋是否有足够的保护层，混凝土的密实程度，钢筋数量、位置的准确性，以及后张预应力灌浆特种工艺质量的好坏。

1.1.2 现场质量评定

现场质量评定，主要与已有结构物的可靠度有关。在这里，要区别对待评定材料性质和整体结构构件的特性，这一点是很重要的。提出现场质量评定要求的，可能有各种各样的原因，如：

（a）扩建和改变结构用途；

（b）建筑物的买卖或加入保险业务的验收；

（c）结构物遭受火灾、冰冻或超载使用后，结构整体性和安全度的评定；

（d）已知构件内含有或者怀疑含有不符合规范要求的材料，或者发现有设计上的错误时，对构件的耐久性和可靠性进行评定；

（e）拆模、施放预应力和承受荷载前的强度控制。

现场强度是工程结构最主要的指标，混凝土的密实度、抗渗性指标要求，只与某些特种结构有关。在施工的过程中，通过强度测试结果与开工前的试配强度限值进行比较来监测混凝土强度，在有些情况下，要求预测混凝土的实际强度，补充计算结构构件强度。建筑物加入保险业务和进行买卖时的强度评定，是一个例外的情况，它的强度评定，除非已发现有破坏征兆或者对结构发生怀疑，通常只进行外观检查就足够了。如果强度计算依据现场测试强度的实际结果，那么，必须严格注意测试位置的选择和安全系数的合理性。

这方面的问题将在第1.5节内详加论述。

精确地、定量地评定现场混凝土强度，难度相当大，所以，现场试验的目标，一般地是通过对存疑混凝土与该结构其他部位的同类混凝土的质量和强度的优劣情况，进行比较加以评定的。

单个构件的结构性能的试验也常是现场试验的主要任务，普遍承认，在大多数情况下，通过现场荷载试验，能够提供最直接、令人信服的试验验证，荷载试验结果的可信度，远远大于根据现场材料试验间接估算的构件预测强度。但是，荷载试验的费用相当昂贵，很少实际应用。

1.2 试验方法的选择

在本节内将把各种试验方法按照不同的要求加以综合分类，每种试验方法的细节将在以下几章里进行叙述。表1.1根据不同的试验要求给出了主要的试验方法，但有的试验内容提出了几种选用方法，这就要求根据对构件可能造成的损坏程度、费用的大小、时间、可靠性等诸因素的考虑，综合判断选定。

评定混凝土质量，或构件强度，是现场试验最普遍的要求，但是，目前还没有一种方法可以在任何一种情况下都能提供可靠的试验数据。表1.2提供了采用不同试验方法对混凝土可能造成的损害，以及每种试验方法的限制条件（不管采用哪一种试验方法，对混凝土的装修面层的局部损坏总是不可避免的）。表1.3给出了采用各种试验方法时，试验费用、试验速度、强度评定的可靠性的比较。

表1.1给出的大多数试验方法，除了化学法和岩相试验

现场混凝土试验

表 1.1

试 验 要 求	选 用 方 法
构件强度和性能	荷载试验和变形应变测量
混凝土强度	取芯强度试验
	回弹法
	拔出法和钻孔内裂法
	折断法和剥离法
	贯入阻力法
	超声法
裂缝检验	超声法
	声发射和全息摄影技术
蜂窝麻面及混凝土的密实度	超声法
	γ 射线辐射测量法
	取芯法
	波反射技术
密实度	γ 射线辐射测量法
渗透性	吸收, 流动试验和毛细水上升
	试验
含湿量	中子法
	电阻法
	微波吸收法
水泥含量	化学分析法
	中子法
配合比与组合材料	化学分析法
	取芯法
	测微法
钢筋探测	电磁法
	X 射线和 γ 射线照相法
混凝土变质试验	化学分析法
	热致发光试验
	超声法
	测微法

续表

试 验 要 求	选 用 方 法
耐磨性和密实度	回弹法 耐磨试验 物理试验 红外线温度记录法

强度试验——局部破损和主要限制条件 表 1.2

试验方法	可能的局部破损	主要限制条件
破坏荷载试验	构件被破坏	试验构件必须被隔离开，在试前最好与其他结构移开
超载试验	试验构件可能被废弃	试验构件必须被隔离开，并考虑荷载对相邻构件的影响 防止可能破坏时充分的安全保护措施
取芯试验	遗留孔洞必须修补	对取芯试件尺寸和分布的限制
贯入阻力法（温泽探针法）	遗留锥孔约 50mm 必须修补	主要构件的安全保护措施 最小边距限制
拔出法	遗留拔出孔洞	最小构件厚度限制
钻孔内裂法	拔出螺栓遗留约 75mm 直径的锥孔需要修补	预先周密计划 钻孔困难
超声波	无损害	要求相对测试面光滑
回弹法	无损坏（如果混凝土已经硬化）	要求光滑的测试表面

要求从混凝土内钻取或切割小块样品以外，其他的方法都是非破损的试验方法。其中多数的试验方法都是高度专业化的，要求配备贵重的设备仪器和严格的安全保护措施。因为

它的试验费用昂贵，而取得的试验价值是有限的，所以，只有在没有其它方法选用时才采用。有关这方面的问题及其可靠度的估计，将在本书有关试验方法的章节里加以介绍。

强度试验——各种方法的优缺点比较 **表 1.3**

试验方法	试验费用	试验速度	对混凝土的损坏	代表性	试验强度的可靠性
破坏荷载试验	高	慢	全部破坏	优	高
超载试验	高	慢	各部位不同	优	高
取芯法	高	慢	局 部	良	高
贯入阻力法	中	快	微 小	接近表面	中
拔出法/钻孔内裂法	中	快	微 小	接近表面	中
超声法	低	快	无	优	中
回弹法	很低	快	无	表 面	低

1.3 试验计划

试验计划，包括考虑并选择满足规定试验目的要求的最合适的试验方法，说明混凝土实际状态所必须的试验范围、测试数量，以及测试位置的选定；外观检查，不管采用哪一种试验目的都是必要的、基本的，它有助于分析和确定最合适的试验方法。这些方法已在第1.2节里作了综合说明，附录A还给出了若干个适应规范要求的试验计划的典型实例。

1.3.1 外观检查

混凝土的外观特征与施工工艺、结构耐久性、材料恶变有关，外观检查可以为具有丰富经验的人提供有价值的情况，对工程师们来说，它对区别各种各样裂缝的性质，是极