

1984年砒现场无损检测国际会议论文— — 译文集 —

及其它有关无损检测标准译文

中国建筑科学研究院结构所主编

1987.9

目 录

前 言	(5)
1、混凝土现场非破损检验方法综述 V·M·Malhotra	(7)
2、回弹锤在冲击时弹击杆内应力波的研究 [日本]Toyoki Akashi和Syoji Amasaki	(15)
3、罗马尼亚在混凝土强度非破损检测方面取得的成就 I·Făcăoaru	(24)
4、混凝土强度的非破损综合测定法 安尾谷川、近矶马场、广濑森	(34)
5、用非破损试验迅速可靠地检测现场混凝土强度 A·Samarin和R·K·Dhir	(46)
6、拔出技术—现场混凝土强度检测的辅助手段 L·M·Khoo	(56)
7、用拔出试验法和成熟度来确定早龄期的混凝土强度 T·J·Parsons和T·R·Naik	(63)
8、脉冲速度测量混凝土的强度 B·Y·V·R·Sturup, F·J·Vecchio and H·Caratin	(75)
9、钢筋对超声脉冲速度试验的影响 J·H·Bungey	(88)
10、用脉冲速度法检测自然干燥立方体试块强度及现场混凝土强度 R·N·Swamy和A·H·Al-Hamed	(97)
11、用局部破坏的“拉剥试验法”检验混凝土 A·E·Long和A·McC·Murray	(112)
12、通过芯样试验评价现场混凝土质量 John G·L·Munday和Ravindra K·Dhir	(123)
13、预拌混凝土生产厂对现场非破损试验的看法 K·Newman	(133)
14、用脉冲回波法检测混凝土缺陷的实验室研究 Nicholas J·Carino	(144)
15、雷达波穿透法应用于混凝土无损检测的综述 T·R·Cantor	(165)
16、混凝土的声发射特性 P·F·Mlakar, R·E·Walker, B·R·Sullivan和V·P·Chiarito	(166)
17、混凝土路面与建筑构件的厚度测量	

T. Takabayashi和H. Ishida	(175)
18、混凝土非破损试验法的研究动向	
谷川恭雄、小阪义夫	(180)
19、超声波检测混凝土在加热养护中的硬化过程	
I. Făcăoaru	(198)
20、混凝土试块的尺寸效应	
M. Sabnis和M. Mirza	(208)
21、混凝土结构非破损测定	
秋鹿为之	(218)
22、用超声波方法检验混凝土中的裂缝和接缝	
摘自苏联“混凝土与钢筋混凝土”	(226)
23、用非破损试验推定混凝土强度	
小阪义夫	(228)
24、关于拔出法的研究现状和存在问题	
昭和56年日本建筑学会	(234)
25、后装拔出法推定混凝土强度的精度	
小阪义夫等	(240)
26、硬化后的混凝土—用回弹仪测定回弹值(国际标准草案)	(246)
27、硬化后的混凝土—超声波脉冲速度的测定(国际标准草案)	(249)
28、硬化混凝土芯样的钻取、检查及抗压试验(国际标准草案)	(253)
29、硬化后的混凝土—拔出强度的测定(国际标准草案)	(256)
30、混凝土非破损检验建议	
英国标准4408第四部分:表面硬度法	(259)
31、英国标准 混凝土试验方法 BS1881—1983	
测定混凝土芯样抗压强度的方法	(264)
32、日本工业标准 JISA1107—1978	
混凝土的芯样和梁的取样及强度试验方法	(269)
33、东德TGL 33444/01(1981年7月1日起生效)	
用取芯法检验混凝土	(272)
34、美国ASTMC900—82	
硬化混凝土拔出强度标准试验方法	(278)
35、丹麦DS423.31硬化混凝土拔出试验方法	(282)
36、苏联ГОСТ212 43—75拔出法试验混凝土强度	(285)
附	
1984年混凝土现场无损检测国际会议论文简明摘要(1980—1983年) 目录	(289)

1984年砗现场无损检测国际会议论文译文集
及其它有关无损检测标准、译文

中国建筑科学研究院结构所主编

目 录

前 言	(5)
1、混凝土现场非破损检验方法综述 V·M·Malhotra	(7)
2、回弹锤在冲击时弹击杆内应力波的研究 [日本]Toyoki Akashi和Syoji Amasaki	(15)
3、罗马尼亚在混凝土强度非破损检测方面取得的成就 I·Făcăoaru	(24)
4、混凝土强度的非破损综合测定法 安尾谷川、近矶马场、广濑森	(34)
5、用非破损试验迅速可靠地检测现场混凝土强度 A·Samarin和R·K·Dhir	(46)
6、拔出技术—现场混凝土强度检测的辅助手段 L·M·Khoo	(56)
7、用拔出试验法和成熟度来确定早龄期的混凝土强度 T·J·Parsons和T·R·Naik	(63)
8、脉冲速度测量混凝土的强度 B·Y·V·R·Sturup, F·J·Vecchio and H·Caratin	(75)
9、钢筋对超声脉冲速度试验的影响 J·H·Bungey	(88)
10、用脉冲速度法检测自然干燥立方体试块强度及现场混凝土强度 R·N·Swamy和A·H·Al-Hamed	(97)
11、用局部破坏的“拉剥试验法”检验混凝土 A·E·Long和A·McC·Murray	(112)
12、通过芯样试验评价现场混凝土质量 John G·L·Munday和Ravindra K·Dhir	(123)
13、预拌混凝土生产厂对现场非破损试验的看法 K·Newman	(133)
14、用脉冲回波法检测混凝土缺陷的实验室研究 Nicholas J·Carino	(144)
15、雷达波穿透法应用于混凝土无损检测的综述 T·R·Cantor	(165)
16、混凝土的声发射特性 P·F·Mlakar, R·E·Walker, B·R·Sullivan和V·P·Chiarito	(166)
17、混凝土路面与建筑构件的厚度测量	

T. Takabayashi和H. Jshida	(175)
18、混凝土非破损试验法的研究动向	
谷川恭雄、小阪义夫	(180)
19、超声波检测混凝土在加热养护中的硬化过程	
I. Façãoaru	(198)
20、混凝土试块的尺寸效应	
M. Sabnis和M. Mirza	(208)
21、混凝土结构非破损测定	
秋鹿为之	(218)
22、用超声波方法检验混凝土中的裂缝和接缝	
摘自苏联“混凝土与钢筋混凝土”	(226)
23、用非破损试验推定混凝土强度	
小阪义夫	(228)
24、关于拔出法的研究现状和存在问题	
昭和56年日本建筑学会	(234)
25、后装拔出法推定混凝土强度的精度	
小阪义夫等	(240)
26、硬化后的混凝土—用回弹仪测定回弹值(国际标准草案)	(246)
27、硬化后的混凝土—超声波脉冲速度的测定(国际标准草案)	(249)
28、硬化混凝土芯样的钻取、检查及抗压试验(国际标准草案)	(253)
29、硬化后的混凝土—拔出强度的测定(国际标准草案)	(256)
30、混凝土非破损检验建议	
英国标准4408第四部分:表面硬度法	(259)
31、英国标准 混凝土试验方法 BS1881—1983	
测定混凝土芯样抗压强度的方法	(264)
32、日本工业标准 JISA1107—1978	
混凝土的芯样和梁的取样及强度试验方法	(269)
33、东德TGL 33444/01(1981年7月1日起生效)	
用取芯法检验混凝土	(272)
34、美国ASTMC900—82	
硬化混凝土拔出强度标准试验方法	(278)
35、丹麦DS423.31硬化混凝土拔出试验方法	(282)
36、苏联ГОСТ212 43—75拔出法试验混凝土强度	(285)
附	
1984年混凝土现场无损检测国际会议论文简明摘要(1980—1983年) 目录	(289)

前 言

1984年10月在加拿大首都渥太华举行了混凝土非破损及现场检验国际讨论会。会议出版了《1984年混凝土现场无损检测国际会议论文集》，该论文集内容相当丰富而且学术水平较高，值得我们研究和借鉴。为促进我国在混凝土非破损测试技术和理论方面更快的发展，特组织翻译了《1984年混凝土现场无损检测国际会议论文集》中有关非破损检测方面的论文，其中包括：混凝土现场非破损检测技术；罗马尼亚在混凝土非破损检测方面的成就；综合法、拔出法、超声法；拉剥法、钻芯法、雷达波穿透法、声发射法、电磁法等测试方法以及回弹锤在冲击时弹击杆内应力；钢筋对超声测试结果的影响；用脉冲回波法检测混凝土内部缺陷；混凝土路面与建筑构件厚度的测量；关于拔出法的研究现状和存在问题等内容。

在本专集译文中还编入了国外有关国家的非破损检测标准和钻芯法、拔出法标准以及其他有关混凝土非破损检测技术方面的论文。

本专集可供从事混凝土非破损检测工作的工程技术人员及从事混凝土质量检测人员之用。

本专集译文由中国建筑科学研究院结构所吴新璇主编，张仁瑜、吴新璇总校。对翻译的同志和结构所混凝土非破损检测室全体同志在校稿工作中所做的大量工作一并表示感谢。在本译文中各篇名词术语和符号不太统一，基本尊重原文翻译。由于时间仓促，难免有不准确之处，敬请指正。

编 者

混凝土现场非破损检验方法综述

V. M. Malhotra

提 要

在过去四十年中,混凝土现场非破损检验方法用于评定混凝土结构的均质性、耐久性和其他性能不断被人们所采用。本文综合评述了现有的混凝土现场非破损检验方法及其意义,混凝土非破损检验方法分为估计混凝土强度和检验除强度外其它性能两类方法。其中,估计混凝土强度的方法有表面硬度法、贯入阻力法、拔出法、超声脉冲速度法、折断法、综合法和成熟度法。检验其他性能的方法有磁测法、电测法、辐射法、脉冲回波法、雷达、微波吸收、声发射、核技术、红外扫描和渗透方法。

上述方法中,有的简单易行,有的需要较尖端的设备和受过专门训练的人员,还有的则仍处于研究阶段。但是,无论使用哪种方法,试验数据都必须由专家进行分析,一般技术人员只有在事先建立了需估计的强度参数与现场非破损检验数据关系的情况下,才能进行实验数据的分析,否则不允许进行混凝土抗压或抗弯强度的估算。

检索的关键词:

声发射、折断试验、标准化、抗压强度、混凝土、抗弯强度、击实锤试验、测量仪器、非破损试验、贯入试验、拔出试验、射线照相法、评述、超声试验。

引 言

一个完整的混凝土质量保证体系应保证混凝土构件达到结构设计的要求。按照目前世界上大多数国家现行的规范,如果混凝土圆柱体或立方体试样的28天抗压强度达到设计强度,就认为该试验所代表的那部分混凝土达到了设计要求。在混凝土技术中,混凝土的强度能直接或间接地反映混凝土的功能性质、弹性性能等许多其他性能,因而人们特别注重混凝土的强度,有时甚至达到盲目的程度;虽然强度试验在混凝土生产和交付中能较好地反映混凝土的质量,但还存在许多不足,主要是试验期长,试样因浇注、振捣和养护条件的差异不能完全反映结构中混凝土的质量,以及因破坏性试验而带来的试验结果的不可复演性。再加上结构混凝土构件尺寸较大,150×300mm的圆柱体能否真正代表结构混凝土的强度令人怀疑。因此,为了保证结构中混凝土的质量,在过去四十年中,人们对混凝土现场非破损检验方法作了大量的研究工作。

由于直接测定混凝土强度数值需要将混凝土试样加荷至破坏,很显然现场非破损检验方法是不能直接测得混凝土强度绝对值的。现有的混凝土现场非破损检验方法大致可分为两大类:一类是通过测定混凝土的某些性质推定其强度、耐久性和弹性参数的方法,混凝土的这些性质有硬度、回弹值、贯入阻力和允许超声脉冲穿透的能力。另一类是确定钢筋位置和大小、混凝土中的振捣不密实区、孔洞、裂缝、蜂窝以及含水率的方法。

本文综合评述了上述方法及其意义，最后列出了有关的参考文献。

推定混凝土强度的试验方法

推定混凝土抗压或抗弯强度的方法有两类：一类是不直接测定混凝土强度，而通过测定混凝土的其它性能去推定混凝土的强度，这类方法包括表面硬度法、贯入阻力法、超声脉冲速度法和成熟度法。另一类是通过测定混凝土的某种强度性质去推定混凝土的抗压或抗弯强度。这类方法包括各种形式的拔出法和折断法。下面就上述两类方法作一简要介绍。

表面硬度法

表面硬度法是一种按标准方法，用具有一定功能的重锤弹击混凝土表面，测定混凝土表面压痕大小或回弹值大小的方法。最常用的方法是回弹法。虽然回弹法是一种迅速、廉价的检验混凝土均质性的方法，但还应承认回弹法的应用受到许多限制，如回弹法的结果受混凝土表面的平整度、碳化程度、表面含水量、试件的尺寸和龄期、骨料的种类诸因素的影响。

贯入阻力法

测定混凝土贯入阻力使用一种火药发射装置，现今使用的是称为温泽探针（Windsor probe）的装置；这一装置使用一火药发射装置将一根硬质合金棒打入混凝土中，用棒的外露长度作为阻力的度量。该方法适宜于为确定拆模时间而进行的混凝土早期强度发展的测定，也适宜于测定同一结构不同部位的相对强度或不同结构的相对强度。但试验结果受混凝土中所用骨料硬度的影响。

拔出法

简单地说，拔出试验是将预先埋入混凝土中的底部带一凸出的帽子的钢杆从混凝土中拔出，其拔出力用测力计测量。钢杆因其形状在拔出时带出一园锥形混凝土块，混凝土在与拔出方向成 45° 角的园锥母线上受到剪切或拉伸作用，拔出强度约为混凝土抗压强度的20%。它与贯入阻力法一样，是一种适宜于测定混凝土早期强度发展的方法。

拔出法的主要缺点是它必须事先做好计划，不能象其他大多数现场试验那样在混凝土硬化后随时进行。为了克服上述缺点，人们正在研究开发在硬化混凝土上钻孔，然后埋入钢杆或膨胀螺栓进行拔出试验的新技术，前种情形拔出的是一混凝土园锥，后种情形将引起混凝土内部开裂。在混凝土上钻孔用环氧树脂固定螺栓后进行拔出试验的研究也已有报导。

折断法

此法是测定与混凝土表面平行且有一定距离的平面上混凝土的抗弯强度的方法。为此需在未硬化的混凝土中插入圆管，试验时将管子移出，在留下的混凝土芯顶部沿某角度加力，使混凝土在芯的底部断裂。

这种试验方法简捷易行且试验结果不受混凝土表面条件的影响。但是此方法仍有需事先做好计划，圆管难插入坍落度低于75毫米的混凝土，以及不适于骨料最大粒径大于19毫米的混凝土的缺点；该方法的手提设备已有出售。

超声脉冲速度法

超声脉冲速度是测定超声穿过混凝土的时间的方法，超声脉冲从发射装置传播到接收装置的时间由电子设备测量，将超声波的传播距离除以传播时间就得出波传播的平均速度。

超声脉冲速度法适宜于确定混凝土的匀质性，也常用于推定现场混凝土的强度。但是，超声脉冲速度与混凝土强度的关系受许多因素的影响，如混凝土的龄期、含湿量、骨灰比、骨料的种类和钢筋的位置等都有影响。

成熟度概念

成熟度概念的基本原理是混凝土的强度是它所经历的时间和温度的函数；现场混凝土的成熟度可用热电偶或成熟度仪测定；常用于推定混凝土强度的成熟度函数是来斯——索尔（Nurse—Saut）和阿累尼乌斯（Arrhenius）函数，前者适于养护温度为 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的混凝土，后者则适于更大的温度范围。丹麦生产的成熟度仪使用方便，使人耳目一新。

对推定混凝土强度方法的总评论

回弹法和贯入阻力法只有在试件成型、养护和试验条件都与建立标准曲线的条件相同时，推定混凝土强度的精度才能达到误差在 $15\sim 20\%$ 范围内，因此，它们是不能代替标准抗压强度试验的。

因为影响混凝土强度与超声声速关系的因素很多，超声声速法也不宜用于推定混凝土的抗压或抗弯强度。

拔出法测量的是混凝土的抗拉和抗剪强度，折断法测量的混凝土的抗弯强度，由这些强度可以推定混凝土的抗压强度，但必须事先在试验室建立相关关系。

变异性

一般说来，除超声声速法外，盘内混凝土现场检验结果的变异性都较高；在试验室内，同一批混凝土试验中，超声声速的变异系数约为 2% ，拔出法和贯入阻力法试验结果的变异系数为 $6\sim 10\%$ ，其他方法如表面硬度法的变异性更大。因此，应谨慎试验以保证试验结果的准确性，试验的最少次数应根据所用的试验方法而定。

设备制造商提供的校准图的使用

一般现场检验设备的制造商都随设备提供有关的图表，并推荐用于推定混凝土的强度性能。这些图是在骨料种类和大小、试件和试验条件一定的条件下制定的，在应用中不能取得令人满意的结果。因此，使用者应建立适于所研究混凝土的校准图，原材料变化时还应重新建立校准图。

试件的表面湿度对现场检验的结果有较大的影响，特别是对回弹法影响大；因此，现场试验应保证混凝土试验面的湿度均匀，更不用说不能用于受冻了的混凝土。

综合法的应用

在欧洲特别是在罗马尼亚，采用两种以上现场非破损检测技术改善推定混凝土强度的精度的方法已取得了一定的信誉。国际建筑材料及结构试验研究实验室联合会（RILEM）正在编写有关超声回弹法细节的文献。有些研究者建议使用超声拔出综合法，而另一些研究者建议使用其他一些综合法。综合法的建议者认为用两种测量不同性质的方法能克服仅用一种方法受到的限制，现已有一些证实此看法的事例报导，但也有些数据与其矛盾。

在某些情况下，使用两种以上的方法可能得到更多的信息，但在一般情况下，综合法这种耗费时间和金钱且推定混凝土强度的精度提高甚微的方法不宜提倡。

试验人员的执照

在应用现场非破损检验方法推定混凝土强度中出现了一系列问题，其中之一是缺乏经培训的技术人员，在金属非破损检验中，有一个结构合理的非破损检验技术员的执照发放机构，而在混凝土非破损检验中，还没有这样的执照发放机构。经训练认可的技术人员能通过给设计师和工程师提供可靠的试验数据而大大地促进现场非破损检验方法的应用。

标准化

许多象ASTM、BSI、DIN和ISO这样的领导机构已颁布或正准备颁布现场非破损检验应用的标准，ASTM颁布的标准最多，其中包括回弹法、超声法、贯入阻力法和拔出法。上述组织的标准中有许多共同之处，只是具体处理上有所不同。因此，建议各标准编制组组成联合委员会，对现有标准作进一步的研究，以提出更通用的处理方法。ASTM可能最适于此项工作。

规范

在加拿大和美国规范中，还没有用现场非破损检验方法对混凝土验收的条文，英国和欧洲规范也是一样。只有在试验组织提供详细的现场试验数据后，规范编制机构才可能允许采用非破损检验方法对混凝土验收；当前的迫切任务是取得这些试验数据。最适于这项工作的机构是美国的波特兰水泥协会和标准局、英国的建筑研究所和水泥混凝土协会。

北美和欧洲应用的差别

在北美，现场检验主要用于测定混凝土强度的发展，以提供安全拆模时间，此外，当28天强度试验不符合规范要求时，也用于估计混凝土质量。据作者所知，北美还没有一个地区的政府或私人试验室以推定混凝土强度为目的，建立现场检验数据与28天抗压强度关系数据库的基础工作。另一方面，在许多欧洲国家，现场检验主要用于推定混凝土28天强度；欧洲特别是东欧的许多试验室都按当地的骨料、水泥和配合比建立了现场检验数据与28天抗压强度之间的关系，如罗马尼亚的INCERC就是这样做的。

非破损检验应用的差异有其历史根源，但也可能是因为欧洲规范至今对混凝土只有强度要求，而北美规范则对强度和耐久性都有要求。

安全问题方面

所有的现场非破损检验方法中，贯入阻力法和拔出法最适宜于检测混凝土早期强度的发展，并用于确定安全脱模时间；应用贯入阻力法时，贯入探针进入混凝土的深度未能达到预定的距离，外露的长度愈长，表明混凝土已达到足够的成熟度，则可以安全地拆模，应用拔出试验时，并不需将混凝土锥体拔脱，只要测力表上读数达到一定值就可结束拔出试验，安全地拆模。

经济效益

现场非破损试验方法给人们提供了耗资少且能取得大量初步试验数据的有效手段，回弹法和超声法能取代钻芯试验确定混凝土构件的低强度区。只有在用现场非破损检验方法充分检验了混凝土构件后，才将钻芯和荷载试验作为最后的手段检验混凝土构件。

研究任务

推定混凝土强度的现场非破损检验方法尚无新的进展，北美和欧洲在这方面的研究和开发工作也未取得大的发展，看来暂时还不会有大的突破，唯一令人欣慰的是国际标准化组织已经或正在编制现有检验方法的标准。今后的研究可分为近期和远期两项任务，近期的研究任务是进一步完善贯入阻力法、拔出法和成熟度法；例如，拔出试验的预埋件太小、太靠近混凝土表面，且组内试验的变异性太大，这些都需要解决。在成熟度法的应用中，应鼓励研究和开发多通道数字式成熟度仪。远期的任务是对材料的性能作更多的基础研究工作，以便开发出新的试验方法。

检验除强度外的其他性能试验

在混凝土技术的许多事例中，强度常常不是研究的关键参数，而是其他一些诸如钢筋的

位置和大小, 含湿量和裂缝、不连续区、孔洞、蜂窝及振捣不密实区的位置等; 多年来, 人们为解决以上这些问题研究了许多方法, 这些方法包括从简单的磁测法到复杂的红外扫描方法的一系列方法, 它们中有的已达到成熟阶段, 有的仍处于试验阶段。下面简要地介绍一下这些方法。

磁测法

各种类型的手提式测定钢筋深度和位置的电磁装置都有出售, 英国、荷兰生产的这种装置称为保护层检测仪, 法国生产的称为测厚计。

测厚仪或保护层检测仪是一种电磁装置, 它是根据钢筋会影响电磁场的原理检测钢筋位置的。测厚仪或保护层检测仪的探测部分是一绕有两个线圈的U形磁铁; 给一个线圈通以交流电, 然后用检流计测量另一线圈中的感应电流, 感应电流的大小由线圈的互感系数和探头与钢筋的距离决定, 英国标准 (BS4408, 第1部分) 给出了这些装置的使用指导。对于配筋少的混凝土构件, 测厚仪或保护层检测仪能得到较满意的结果, 而对于配筋多的混凝土构件, 其他钢筋的影响不能忽略, 保护层厚度较难测量。当温度低于 0°C 时, 磁测装置受相反的影响,

电测法

电测法作为估计现场混凝土中钢筋的锈蚀程度和测量混凝土路面厚度的方法已逐渐为人们采用, 它也可能成为测量混凝土含湿量和硬化混凝土透湿性的方法。

钢筋的锈蚀程度通过测量钢筋与铜/硫酸铜参考电极组成的半电池的电势确定的, 等势线形象地给出了混凝土构件中钢筋可能锈蚀的区域, 累积频率图则反映出混凝土构件中受影响区域的大小。ASTM标准C876详细地介绍了此方法, 此方法常用于混凝土停车场和桥面的钢筋锈蚀程度。

电测法也用于混凝土路面厚度的测量, 这些方法根据电流通过某种材料时有一定的电阻的原理进行测量, 混凝土路面和它下面的基层有不同的阻抗特性, 因此, 从深度电阻线的斜率变化可估计出混凝土路面的厚度。

电阻测量法的设备和步骤都很简单。但是, 混凝土的电阻受其含湿量、含盐量和温度的影响很大; 因此, 混凝土路面中水分、盐和温度梯度的存在会给试验结果的分析带来困难。

辐射法

辐射法可分为射线照相法和放射量测法, 射线照相法利用射线源可得到一张呈现混凝土构件中钢筋的位置和大小、孔洞、离析、后张法构件中灌浆层和裂缝的照片。放射量测法用盖革或闪烁计数器测定各种放射线同位素产生的 γ 射线穿过混凝土后的强度, 再用事先作好的标准图确定现场混凝土构件的密度和厚度。

在射线照相法中, x射线照相法由于价格昂贵需高压设备而受到限制, 现场无法使用。另一方法, γ 射线照相法设备较轻便且能检测厚达450毫米的混凝土, 因此在欧洲和英国应用越来越多; 但厚度超过450毫米时, 由于曝光需较长时间, 使用该方法是不经济的。英国标准 (BS4408第三部分, 1970) 简略地介绍了 γ 射线照相法的步骤; γ 射线照相法同样受到价格和安全两方面因素的限制。

超声声速和脉冲回波技术

超声声速法的原理前面已有介绍, 它除了用于推定混凝土强度外, 也是检测大体积混凝土中的孔洞的好方法, 已成功地用于检验火灾后现场混凝土的质量。

脉冲回波技术是用分析反射波确定混凝土中的孔洞和断裂区的方法。其主要优点是只一个可测面时也能试验，回波可利用锤击或机械方法产生；这一技术最初用于检测混凝土桩，目前北美已将它用于检验混凝土中的蜂窝、裂缝和振捣不密实区。但示波器上反射波的分析较困难，它主要取决于操作者的经验。这一方法只要标准化并制造出轻便的检测仪器，它用于检验现场混凝土质量是大有潜力的。北美的许多机构已开始了这项工作。

微波吸收和雷达扫描技术

微波是一种波长为1毫米、频率为 10^{12} 赫兹的电磁波，它具有电磁波的反射、衍射和吸收的性质。由于水对微波有吸收，因此被用于测定混凝土的含湿量。微波束穿过混凝土的衰减是由其含湿量所决定的，因此，通过测量微波束的衰减就可以确定混凝土的含湿量。

目前微波技术仍处于研究阶段，在它可靠地用于测定现场混凝土的含湿量以前，还需做大量的研究工作。

雷达技术利用混凝土反射电磁的原理。美国纽约和新泽西州的港务局已将成功地用于评价混凝土路面和桥面。这一技术的最大特点是它能迅速地（约17公里/小时）对路面扫描，但其数据分析需许多技巧和设计。现已有轻便设备购买，但该方法还需标准化。

声发射方法

近年来，声发射方法已用于混凝土在荷载作用下裂缝的引发和开展研究中；简而言之，声发射是混凝土中应变超过其弹性极限点产生的小振幅弹性波，尽管它们位移很小，却仍能被放置在试样表面的传感器探测到，不同探测位置上应力波到达的时间差可确定变形点的位置。

该方法的主要不足，是它只在变形和应力增加时才能观察出来，在静荷载作用下不能单独用于测量混凝土。

核方法

核技术用于测定混凝土中含湿量和水泥含量是最近才开始的，含湿量用中子散射法测定，水泥含量用中子活化分析测定。

中子含湿量测定仪就是应用中子散射法，它是应用材料中的氢（如果混凝土中含水）是快中子的减速剂即中子能量的衰减由材料中的含氢量决定的原理测定含湿量；因此，只要记录下快中子与基质材料中的氢作用产生的慢中子数就能得到基质材料中的氢（或混凝土中的水）含量。

中子活化方法在现场混凝土中的应用仍处于大力开发阶段，目前尚无现场应用的数据。这些方法将主要用于测定混凝土中的水泥含量，在波特兰水泥中钙和硅的含量远高于其他组分，活化分析中就是利用这些元素。活化方法是利用在中子轰击下大多数元素成为放射线同位素，而这些同位素不稳定，会以 β 射线和 γ 射线的形式释放能量的原理，通过 β 射线和 γ 射线的特征能量和半衰期确定出放射线同位素及相应的稳定元素。

红外热谱

红外热谱或红外扫描是测量和记录结构的热发射的方法。由于混凝土中的裂缝和不连续区如桥板中的分层区影响其热发射速度，因此，扫描器上将显示出完好和有缺陷混凝土热发射的差异；这一技术已成功地用于检测烟囱中的缺陷。在美国和加拿大已成功地地将红外扫描

*骨料中的钙和硅会给试验数据的分析增加困难。

用于检测混凝土桥面板的分层。但试验数据受混凝土的物理条件如含湿量的影响很大，尽管已有设备购买，仍需作大量研究工作解决操作问题。这一方法还无相应的标准。

渗透法

混凝土的渗透性在蓄水结构中是重要的设计指标，对于暴露于侵蚀性元素如防冻盐的结构同样是很重要的。虽然小型试件的渗透性试验研究已取得了一些进展，但现场的渗透性检验仍处于试验阶段。丹麦利用气体渗透技术生产的手提设备是一种有价值的设备。

对检验除强度外其他性能的试验方法的总评论

以上介绍的混凝土检验除强度外其他性能的试验方法还处于初始阶段。除英国和欧洲规范中有保护层检测仪、射线照相和放射量测定技术的指导以及检验钢筋锈蚀的电测法由AS-TM标准化了以外，其他任何方法还没有哪个国家有指导或规范。这是因为：

(a) 大多数方法还处于研究开发阶段；

(b) 试验设备昂贵，并且需要高度熟练的技术人员；

(c) 试验数据的处理很大程度上取决于操作人员的经验和技巧。

在讨论的这些方法中，雷达扫描技术和脉冲回波最有发展前途，且能适用于各种现场情况，今后的主要研究工作应放在解决这两种方法的数据处理和设备小型化的问题上。由于混凝土的耐久性日益引起人们的重视，特别是英国和欧洲的重视，需要拨给资金研究开发可反复进行的现场渗透性试验。而核能、微波吸收、声发射和红外热谱技术是一些应用范围有限的特殊方法。

结 论

用于估计混凝土强度的方法已有许多标准；可是，用于检验混凝土除强度外其它性能的方法，除磁测法和辐射法外，还需作大量的研究工作，才能制订有关标准。雷达扫描和脉冲回波技术是这类方法中最有发展前途的方法。

现场非破损试验不能用来取代标准的圆柱体或棱柱体试验，只能作为一种补充；当它与钻芯试验一起使用时，可以减少试验费用。

大多数用于估计混凝土强度的方法都适于估计和评定混凝土的匀质性，可以用于混凝土的质量控制。除非已事先建立了现场非破损检验结果与强度参数的经验关系，非破损检验不宜用于估计混凝土的抗压或抗弯强度。

湖南大学土木系

黄 政 字译

吴 慧 敏校

参 考 文 献

1. Jones, R. "Non-Destructive Testing of Concrete", London, Cambridge University press, 1962, 102 pp.
2. Whitehurst, E.A. "Evaluation of Concrete properties from Sonic Tests", American Concrete Institute, Monograph No.2, Detroit, 1966, 94 pp.

3. Malhotra, V.M. "Non-Destructive Methods for Testing Concrete"; Monograph 875, Mines Branch (since renamed Canada Centre for Mineral and Energy Technology) Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 1968, 66 pp.
4. Moore, William M., Swift, Gilbert and Milberger, Lionel, J. "An Instrument for Detecting Delamination in Concrete Bridge Decks"; Highway Research Record No.451, Highway Research Board, 1973, 44-52 pp.
5. Malhotra, V.M. "Testing Hardened Concrete: Non-Destructive Methods", American Concrete Institute, Monograph No.9, Detroit, 1966, 188 pp.
6. Malhotra, V.M. and Carette, G.G. "In-Situ Testing for Concrete Strength", CANMET Report 79-30, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 1979, 20 pp
7. Bungey, John H. "The Testing of Concrete in Structures", Chapman and Hall, New York, 1982, 207 pp.