

混凝土材料及结构综合检测技术体系

(V2.24)



2011-06-05 初稿

2023-04-28 第 94 次修订

2023-05-01 第 95 次修订

2023-09-06 第 96 次修订

四川升拓检测技术股份有限公司

www.scentralit.com

目 录

第 1 章 概述	3
第 2 章 裂缝及冷缝检测	4
2.1 背景	4
2.1.1 裂缝深度检测的意义	4
2.1.2 冷缝检测的意义	4
2.2 裂缝深度的测试方法和原理	5
2.3 冷缝的测试方法和原理	5
2.4 模型验证	5
2.4.1 裂缝深度检测基础试验（1998-2006）	5
2.4.2 裂缝深度检测现场验证（1998-2006）	6
2.5 裂缝现场验证与应用	8
2.5.1 裂缝发展的监测（1998-2009）	8
2.5.2 高层建筑底板裂缝检测（2011.12）	10
2.5.3 隧道混凝土衬砌裂缝修补效果检测（贵阳机场，2014.09）	11
2.5.4 坝体裂缝深度检测（吉林长春、2017.03）	11
2.5.5 预制梁板裂缝深度检测（贵州某高速、2017.09）	12
2.5.6 预应力现浇箱梁裂缝深度检测（安徽，2018.07）	13
2.5.7 预应力现浇箱梁裂缝深度检测（河南郑州，2019.08）	13
2.6 冷缝现场验证与应用	14
2.7 钻孔法	14
第 3 章 混凝土刚性及强度检测	14
第 4 章 厚度及埋深	14
4.1 基本原理	14
4.1.1 基本测试方法	14
4.2 现场验证	15
4.2.1 现场验证（隧道衬砌）	15
4.2.2 腹板厚度（浙江丽水、2019.06）	15
4.2.3 隧道仰拱厚度（四川绵阳、2023.04）	16
4.3 特点、影响因素及提高精度的方法	17
4.3.1 主要特点	17
4.3.2 影响测试精度的主要因素	17
4.3.3 提高测试精度的方法（IE 冲击回波法）	17
4.3.4 提高测试精度的方法（单一反射法）	18
4.3.5 厚度测试的流程	18
第 5 章 内部缺陷	18
5.1 基本原理和图像分析方法	18
5.1.1 检测原理概述	18
5.1.2 图像处理技术	19
5.2 模型验证	20
5.2.1 混凝土板间垫层破损（西南交大轨道实验室，2010）	20
5.2.2 混凝土块内空洞（中水东北勘察设计院，2014.02）	20

5.2.3	梁体内部缺陷检测（山东泰安、2017.08）	21
5.2.4	梁体内部缺陷真三维 CT 检测验证（四川成都、2020.07）	22
5.2.5	预制缺陷混凝土模型冲击回波法、冲击回波声频法、探地雷达法及面波 CT 法比对验证（四川德阳、2023.08）	22
5.3	现场验证及应用	24
5.3.1	城市隧道衬砌背面破损（日本埼玉、2005）	24
5.3.2	桥墩内部浇筑缺陷（南水北调中线大型渡槽、2012.05）	25
5.3.3	桥梁锚头附近混凝土（三江大桥、湖北宜昌、2015.04）	26
5.3.4	海河某水闸水下混凝土内部缺陷、材质检测（天津、2018.06）	27
5.3.5	混凝土柱顶端内部缺陷检测（广州、2020.01）	27
5.3.6	混凝土墩内部缺陷 2 维及 3 维 CT 检测（广东珠海、2021.7）	27
5.4	风机基础缺陷检测	28
5.4.1	风机基础缺陷检测（云南省马龙县、2019.11）	28
5.4.2	风机基础内部缺陷 CT 检测演示（贵州省贵阳市、2023.6）	29
5.5	特点和适用范围	30
5.5.1	技术特点	30
5.5.2	IE/IEEV 法缺陷检出分辨力	31
第 6 章	综合检测典型实例	31
6.1	桥梁	31
6.1.1	某铁路桥混凝土内部缺陷检测（湖南、2019.08）	31
6.1.2	某预制梁内部缺陷检测（河北、2020.06）	32
6.2	隧道、地下厂房	33
6.2.1	引、放水隧道（日本、东京电力，1998-2006）	33
6.2.2	盾构管片（2015.12）	33
6.3	其它结构	34
6.3.1	基础破损（山西某水电站发电机基础，2010）	34
6.3.2	快速交通轨道（日本、阪神地铁，2005）	35
6.3.3	圆形混凝土柱 CT 检测例（四川成都、2016.04）	35
6.3.4	大体积墙体弹性波 CT 检测（河北雄安、2023.04）	35
6.4	混凝土表面缺陷（剥离、脱空）	36
第 7 章	AI 辅助提高精度及 BQIM 管理机能	36
7.1	概述	36
	结语与致谢	37
	技术支持	37

第 1 章 概述

混凝土结构是最重要的土木、建筑结构，在社会基础设施中占据举足轻重的地位。然而在使用过程中，不可避免地出现各种老化、劣化现象（如裂缝、混凝土强度降低等）。同时，如果施工质量得不到很好的保证，会加速结构的劣化，从而造成社会经济的损失。

为此，我们历时 10 余年，与国内外相关机构合作开发了一整套针对混凝土的浇筑质量、结构的缺陷的综合解决方案和技术体系。该方案基于无损检测技术，具有测试效率高、可靠性好、对结构无损伤等特点，可以大大地提高混凝土材料及结构的质量。

该技术体系的检测内容主要包括：

- 1) 裂缝深度及冷缝的识别和评估；
- 2) 混凝土构件质量（强度及刚度）；
- 3) 结构尺寸
- 4) 表面剥离、脱空及内部缺陷；
- 5) 岩体力学特性及分级测试

整个技术体系采用冲击弹性波作为测试媒介，并集成到测试设备中。其测试精度和效率达到工程要求，已在国内外 2000 多个用户，数以万计的各类工程中得到了实际应用。我们具有相关技术的全部知识产权，并申请和获得了多项国家发明专利，产品出口到日本等海外。



广义弹性波检测体系

经过长期的研究开发和大量的现场验证，经谭建荣院士等领衔的专家组等鉴定，该技术达到了国际领先、先进水平。

第 2 章 裂缝及冷缝检测

2.1 背景

2.1.1 裂缝深度检测的意义

混凝土结构是最重要的土木、建筑结构，在社会基础设施中占据举足轻重的地位。然而，由于各种原因（如干燥收缩、温度应力、外荷载、基础变形等），裂缝是混凝土结构中最常见的缺陷或损伤现象。由于裂缝的成因、状态、发展以及在结构中的位置等的不同，对结构的危害性也有很大的区别。严重的裂缝可能危害结构的整体性和稳定性，对结构的安全运行产生很大影响。另一方面，也有些裂缝，如表面温度变化或干燥收缩引起的浅裂缝则无大的影响。此外，根据大量的观测资料，在混凝土结构物中出现的裂缝，大多数在竣工后 1-2 年内已产生。如果这些裂缝处于稳定状态，其对结构的影响程度要小得多。此外，对于裂缝的修补，如裂缝充填（往裂缝中注入水泥砂浆或者环氧树脂等充填材料，以防内部钢筋锈蚀）和裂缝补强（裂缝表面粘贴钢板等）都需要在明确裂缝的状态、成因的基础上才能合理、有效地进行。

因此，为了确定裂缝的状态、发展和成因，以及合理评价裂缝对结构物的影响，选择适当的修补方案和时机，掌握其深度与其长度、宽度都是非常重要的。所不同的是，裂缝的深度测试较之长度和宽度测试要困难得多，通常需要采用钻孔取样的方法加以直接测试。但是，钻孔取样的方法除费时费力，对结构也有一定的损害以外，对深裂缝由于取样困难往往难以测试。同时，对于裂缝的发展也难以监测，因此，采用合理的无损检测方法是非常必要的。

2.1.2 冷缝检测的意义

冷缝是指上下两层混凝土的浇筑时间间隔超过初凝时间，但小于终凝时间而形成的一个受力薄弱面，体现为一种施工质量的概念缝。冷缝的危害有以下几个方面：

1) 对下层混凝土的影响

由于下层混凝土尚未终凝，在上层混凝土浇筑振捣的过程中可能造成已初凝混凝土内部的粘结，进而降低冷缝附近的混凝土强度。同时，由于冷缝部位的混凝土尚未终凝，可能在后期混凝土强度发展过程中的收缩而导致新的宏观裂缝。

2) 对冷缝附近混凝土的影响

先期浇筑的混凝土在振捣过程中砂浆会上浮，初凝后在冷缝部位造成局部无粗骨料的砂浆层，以及在混凝土表面形成泛水灰浆层。当该不连续面趋于显著时，就会形成滑

动层，甚至造成上、下层混凝土脱离接触，进而产生一个明显的抗剪、抗渗的薄弱部位。

2.2 裂缝深度的测试方法和原理

裂缝深度的无损检测方法有多种。根据测试面的条件，可以分为单面平测法、双面斜测法和钻孔对测法。其中，单面平测法适用面最广。

裂缝深度测试方法一览表

方法		测试原理概要	备注
无损方法	平测法	相位反转法	根据接收信号初始相位的反转
		传播时间差法	根据激发信号的传播时间
		面波法	根据激发信号的衰减特性
	斜测法	传播时间差法	根据激发信号的传播时间
钻孔方法	直接确认法		在裂缝上钻孔确认其深度
	对测法		在裂缝两侧钻孔，采用声波透射的方法

在本节中，主要针对无损方法进行探讨，有关钻孔的方法在 2.6 中加以描述。

2.3 冷缝的测试方法和原理

请参考技术体系：SCIT-1-TEC-02I-2023-混凝土结构冷缝检测技术体系。

2.4 模型验证

2.4.1 裂缝深度检测基础试验（1998-2006）

1) 混凝土块试验（开口裂缝）

利用大型混凝土试验块，对开口裂缝（裂缝宽 2mm，无填充物）进行了验证试验。结果表明，对于开口裂缝，

- (1) 各测试方法的测试结果均很理想；
- (2) 表面波法的测试离散度相对较大。

2) 混凝土块试验（裂缝面压力）

在很多情况下，裂缝面上有可能受到压缩应力。对此，我们在试验室做了大型试验，来验证在受压应力条件下表面波法的测试精度。

测试结果表明：

- (1) 随着压力的增加，测试的裂缝结果逐渐变浅；
- (2) 传播时间法在受到微小应力时，已无法测试裂缝的深度；
- (3) 裂缝面上的应力在 5MPa 以上时，表面波法也无法检测出裂缝的存在。

2.4.2 裂缝深度检测现场验证（1998-2006）

我们对隧道、挡土墙、基础等钢筋混凝土结构以及大坝中的各类裂缝，进行了无损检测以及钻孔取样验证。

1) 钢筋混凝土结构物



照片 2-4-3 现场测试场景



照片 2-4-4 钻孔验证

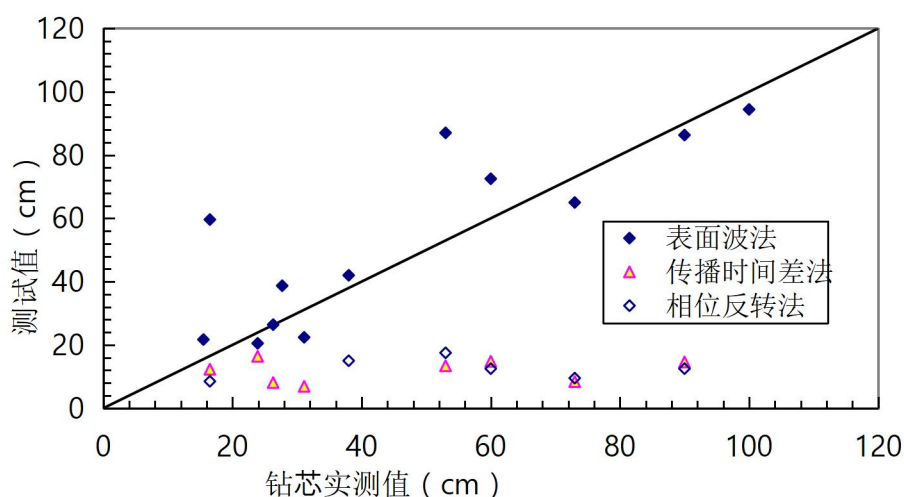


图 2-4-2 验证结果比较图（裂缝深度比较）

表 2-4-1 裂缝深度相对误差一览表（钢筋混凝土）

		表面波法	传播时间差法/相位反转法
平均相对误差		5.38% (与实际的裂缝深度基本一致)	-58.57% (比实际的裂缝深度浅很多)
离散性	数值	28.35%	26.22%
	深度分布	相对误差小	偏浅

根据验证试验的结果，可以得到如下结论：

- (1) 表面波法可较准确地测试出裂缝的深度，经验证的最大测试深度为 100cm；
- (2) 采用 P 波初始信号的方法（如传播时间法，相位反转法）测试值过浅。其最大测试深度一般不超过 20cm，往往测试了钢筋保护层厚度。

2) 无钢筋混凝土结构物



照片 2-4-5 钻孔验证场景 照片 2-4-6 钻孔结果

各测试方法的验证结果及离散程度如下所示。

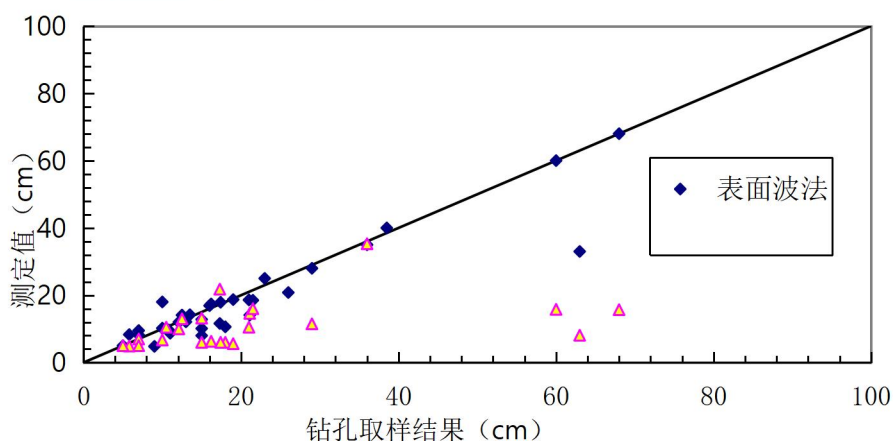


图 2-4-3 无钢筋混凝土中的验证结果

表 2-4-2 验证结果一览

		表面波法	传播时间差法
相对误差		-4.94% (与实际的裂缝深度基本一致)	-40.33% (比实际的裂缝深度浅很多)
离散性	数值	26.12%	31.19%
	深度分布	测试的相对误差小	测试的相对误差大

综上所述:

- (1) 无论是对于钢筋混凝土还是无钢筋混凝土结构物,利用表面波法都可以得到比较满意的结果;
- (2) 根据 50 多个现场钻孔试验的验证,表面波法的测试结果的标准偏差大约为 28%左右;
- (3) 利用 P 波的传播时间法和相位反转法,均只能测试裂缝的开口深度;
- (4) 在裂缝受压的条件下,表面波法得到的测试结果也有偏浅的趋势。并且其偏浅的程度与裂缝面上的压缩应力有相关关系;
- (5) 为了更全面地得到裂缝的信息,在条件许可的前提下,尽可能采用多种方法对比测试。

2.5 裂缝现场验证与应用

2.5.1 裂缝发展的监测 (1998-2009)

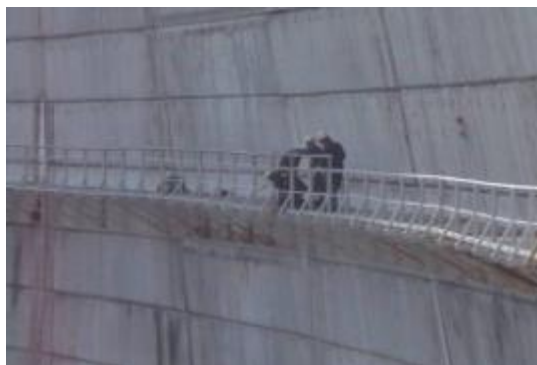
1) 日本梓川水系大坝裂缝监测

尽管拱坝是按照受压设计,然而在坝面上产生裂缝的情况并不少见。其裂缝的形态、深度以及成因、发展状况等直接影响到大坝的健康和安全。

应东京电力株式会社的要求,我们于 1998 年-2003 年期间,对位于日本梓川的奈川渡大坝(双曲拱坝)、水殿大坝(双曲拱坝)和稻核大坝(重力拱坝)的坝后裂缝的深度进行了连续检测。检测作业主要在冬夏季实施,部分在春秋季节进行了加测。同时,在裂缝的测点附近埋置了热电偶测量了混凝土的内部温度。为了提高测试精度,我们对各测点均埋设了螺杆,以保证每次测试时的传感器的位置和安装。



照片 2-5-1 奈川渡大坝

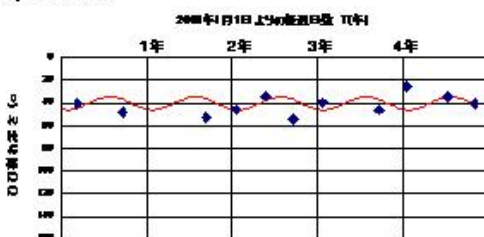


照片 2-5-2 测试情景

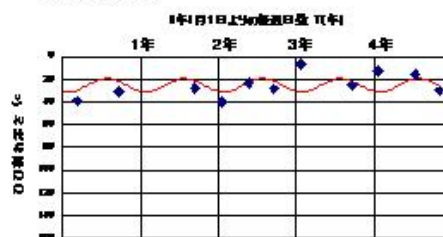
测试结果表明：

- (1) 裂缝深度一般在数十 cm 至 1.5m 左右；
- (2) 影响裂缝的最重要的原因在于温度的变化。特别是坝体较厚的部位，测试得到的裂缝深度与坝体温度有明显的负相关关系；
- (3) 坝体上部的裂缝受温度、水位等多种因素的影响；
- (4) 总体而言，裂缝是稳定的，没有发展的趋势。

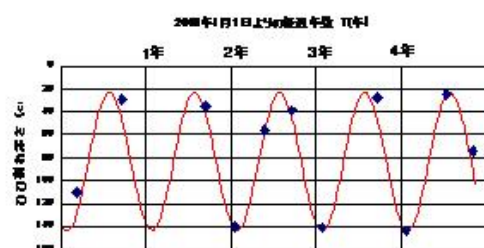
N 点 No.1



N 点 No.2



N 点 No.3



N 点 No.4

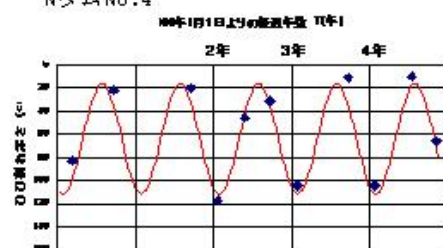


图 2-5-2 测试裂缝深度与坝体温度的关系

2) 李家峡大坝裂缝监测

李家峡大坝位于青海省尖扎县和化隆县交界处李家峡黄河干流上，为三圆心双曲拱坝，坝顶高程 2185 m，最大坝高 155 m，坝顶宽 8 m，坝底宽 45 m，厚高比 0.29，坝顶弧长 438.4 m。受业主单位委托，我们分别于 2008 年 2 月、9 月和 2009 年 3 月对坝后的裂缝深度进行了 3 次检测。其中，2009 年还对水位变化的影响程度进行了检测。

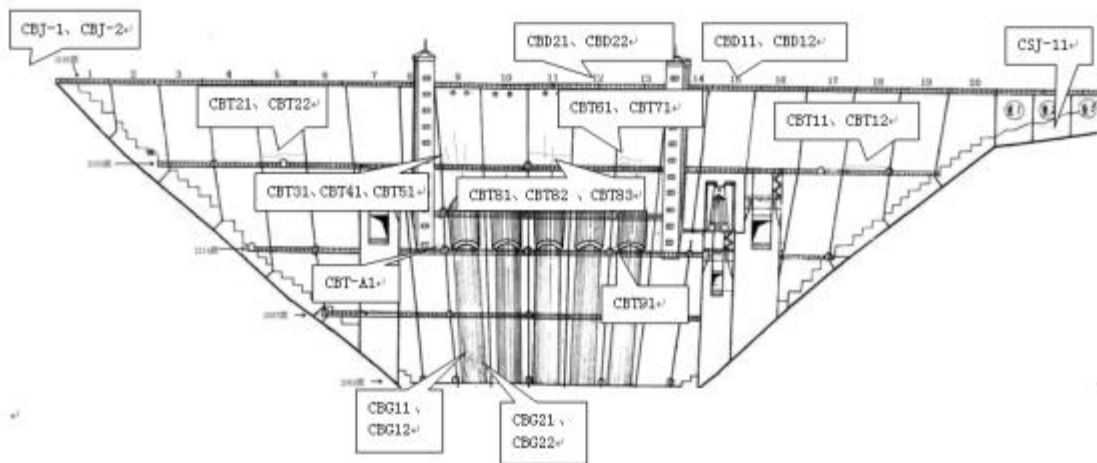


图 2-5-3 裂缝深度测点

测试结果表明：

- (1) 坝体的横向裂缝均为竖直方向，其深度相对较浅，一般在 0.3-0.5m 之间。
- (2) 坝体的纵向裂缝均为水平方向，其深度较深，一般大于 1m，部分裂缝有可能接近或超过 2m；
- (3) 背管的裂缝深度根据其位置不同而有所变化。在底部（靠近 2059 高程），其深度较浅，一般在 0.5-0.9m 之间。而随着位置的提高，其深度也有所增加，在 6m 左右的位置，其测试深度超过 1m，已接近贯穿状态。
- (4) 对于坝体、背管的裂缝状态，温度应力是最重要的影响因素；
- (5) 当坝体温度升高时，坝体的轴向、梁向（上下方向）的压应力都有明显增大，其数值据推算在数 MPa 以上。另一方面，坝顶径向（沿水流方向）的温度应力变化不大。
- (6) 综合大坝裂缝的测试结果，在消除测试误差影响后，可看出裂缝开展与水位变化关系不大，部分裂缝测试结果有所减小，说明裂缝面上压力增加。

2.5.2 高层建筑底板裂缝检测（2011.12）

受云南省建筑科学研究院委托，我们对某高层建筑的箱形基础底板以及横梁的裂缝深度进行了检测和验证。

表 2-5-1 验证结果对照表

测试项目	实际深度	测试结果
裂缝深度	25cm（贯穿横梁）	23.5cm

测试的裂缝深度最大超过 60cm。此外，还用非金属超声波测试仪进行了对比测试，

其结果均在 10~20cm，受钢筋、裂缝面接触的影响大，对裂缝深度有明显的低估趋势。



照片 2-5-3 测试情景

2.5.3 隧道混凝土衬砌裂缝修补效果检测（贵阳机场，2014.09）

经相关单位邀请，我们对贵阳市龙洞堡机场某隧道衬砌裂缝的补修效果进行了检测。根据相关单位提供的资料，裂缝发生于线路右侧，呈纵向发展，裂缝宽度大约 1~3cm。相关单位采用环氧树脂修补，修补后在表层铺设钢筋，并浇筑了 C35 的混凝土。根据现场勘察，经过修补后的裂缝表层最深约 20cm 宽度为 5cm 的表层开口裂缝。同时测试部位的混凝土厚度约 2.8m。

经过现场研究，确定对该修补后的裂缝每隔 2m 的位置布置测点，总共布置测点 9 个，布置测点依次从洞口往里布置，裂缝测点编号依次为 C01~C09。

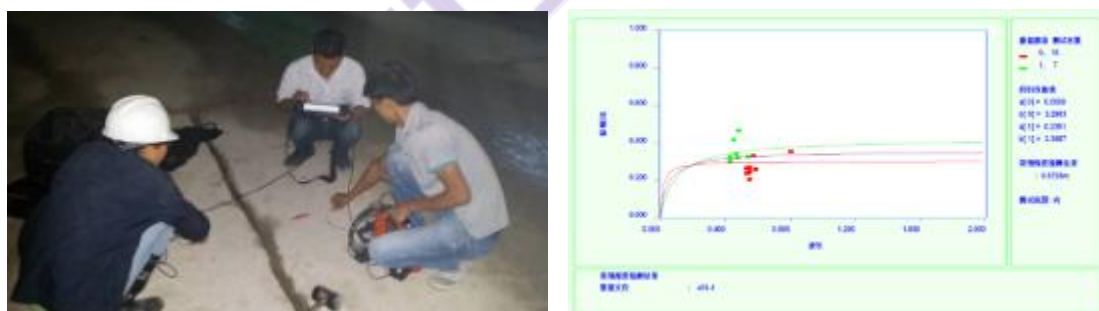


图 2-5-4 现场测试场景及解析结果

根据测试的裂缝深度结果来看，分布在 0.18~0.90m，测点 C05、C07 处裂缝最深，说明该处修补效果相对较差。因而建议相关单位结合现场情况再次进行补强。

2.5.4 坝体裂缝深度检测（吉林长春、2017.03）

山东省公路检测中心刘平等^[30]，采用我公司的设备对长春附近某水电站两处坝段裂缝深度进行了对比测试。坝段混凝土厚度约 5m，混凝土设计强度 C30，共 15 条裂缝。



照片 2-5-4 现场裂缝状态及测试场景

测试采用超声波平测法和弹性波表面波法分别进行，并分别取 11#坝段的 3-2 裂缝和 15#坝段的 4-2 裂缝进行了取芯验证作了对比。

表 2- 5-2 裂缝深度测试结果一览表 (单位: m)

坝段编号	裂缝编号	超声波结果	弹性波结果	钻芯取样结果
11#	3-2	0.168	0.184	0.203
15#	4-2	0.205	0.355	0.381

结果表明，超声波平测法得到的深度普遍偏浅，且测试结果在 0.2m 以内。而弹性波表面波法的测试精度要优越得多。

2.5.5 预制梁板裂缝深度检测 (贵州某高速、2017.09)

受相关单位委托，对贵州某高速预制 T 梁顶板裂缝深度进行检测。该梁板设计强度为 C50，顶板厚度约 0.2~0.25m，裂缝走向为顺桥向。该梁板已经上桥，且梁板两端已封闭。根据现场情况，确定采用面波法 (PB10 锤激振，标准采样参数) 进行检测。

梁板裂缝宽度较窄，约 0.1~0.2mm，为了更清楚的查看裂缝位置便于检测，现场确定对裂缝走向位置打磨，并在裂缝表面浇水以确定裂缝位置。现场进行了 R 波波速标定，标定得到的面波波速为 2.511km/s。



照片 2-5-5 检测对象场景 (左) 裂缝位置图 (右)

检测结果表明，裂缝深度略超过顶板厚度的一半，并超过了钢筋保护层厚度。

2.5.6 预应力现浇箱梁裂缝深度检测（安徽，2018.07）

应某单位邀请，我公司技术人员对某现浇箱梁裂缝进行了裂缝深度检测。经研究，采用相位反转法检测。检测时，采用 S31SC 传感器与直径 17mm 激振锤激振与受信。

根据现场情况，测线垂直于裂缝走向，两侧均匀布点，测点间距为 1cm，每侧 5 个测点，测点布置如下。

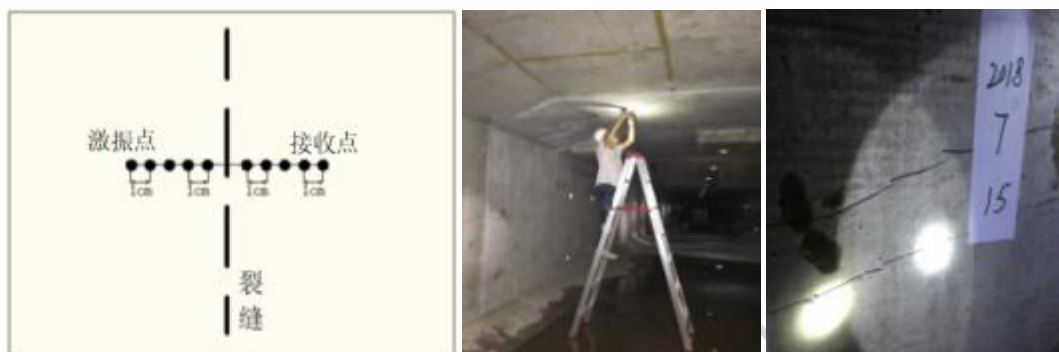
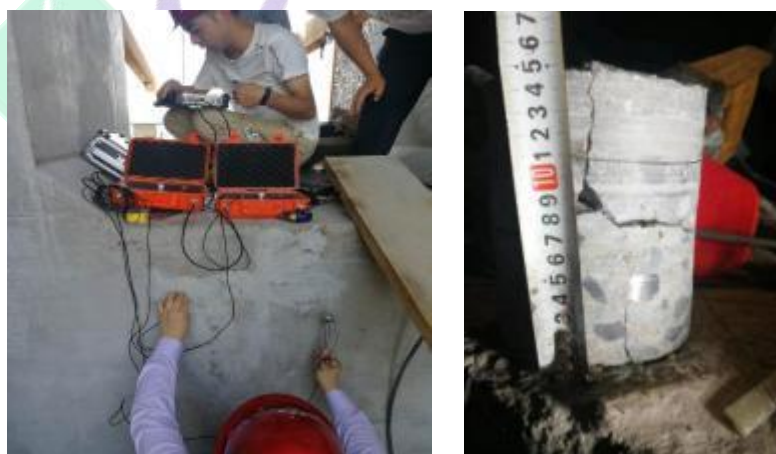


图 2-5-6 测点布置图、现场检测照片

经检测，3 条裂缝的深度均在 1cm 以下。

2.5.7 预应力现浇箱梁裂缝深度检测（河南郑州，2019.08）

受河南城际铁路有限公司委托，我公司于 2019 年 8 月 2 日对某铁路站前标某特大桥零号块进行质量检测中，在对中隔板进行裂缝检测时，发现多条裂缝，此次检测以冲击弹性波为媒介，利用相位反转法和表面波法相结合的方式对裂缝进行测试。



照片 2-5-6 现场测试及钻芯照片

经过检测发现，3#裂缝较深，达到 0.165m。为此，对 3#裂缝进行了取芯验证，取芯得到实际裂缝深度约 0.155m，误差仅 6%。

2.6 冷缝现场验证与应用

请参考技术体系：SCIT-1-TEC-02I-2023-混凝土结构冷缝检测技术体系。

2.7 钻孔法

钻孔法包括直接确认法和对测法。其中，直接确认法通过取芯的方式来观察裂缝的深度。但当裂缝较深和有偏斜时，钻芯往往无法取到裂缝的先端。

钻孔对测法，是在裂缝两侧分别钻出测试孔，将激发装置和接收装置置于测试孔中进行裂缝深度检测的方法。该方法适用于水坝、桥墩，承台等大体积混凝土，检测，被测混凝土结构允许在裂缝两侧钻测试孔。

第 3 章 混凝土刚性及强度检测

详细请参见“SCIT-1-TEC-02F-混凝土刚性及强度检测技术体系”。

第 4 章 厚度及埋深

混凝土结构的尺寸，如楼板、桥板、隧道衬砌厚度、基础和挡土墙厚度、埋深等也常常是重要的测试对象。根据测试对象的形状、厚度范围，需要采用不同的测试方法。

4.1 基本原理

4.1.1 基本测试方法

在结构表面激发冲击弹性波，通过测试其在结构底部反射的时间 T 和材料的冲击弹性波波速 V_c ，即可测试结构的厚度 H 。根据尺寸的大小、激振波长和能量的强弱，又可以分为单一反射法和重复反射法（冲击回波法）。

1) 单一反射法

当测试对象较厚，激振信号与反射信号能够分离时，可以直接得到反射时间 T 。

2) 重复反射法（冲击回波法）

当测试对象较薄，激振信号与反射信号不能很好分离时，通过频谱分析的方法可以

算出一次反射的时间（即周期），据此即可测出对象的厚度。

4.2 现场验证

4.2.1 现场验证（隧道衬砌）

1) 某水电站，2013.01

我们受黄河上游某水电开发公司委托，对地下厂房的衬砌进行了检测。采用的波速值为根据混凝土强度等级推定的经验值（3.5km/s）。



测试及验证场景

测试结果为0.75m，验证结果为0.74m。

2) 某水电站地下厂房，2013.12

我们受成都勘测设计研究院邀请，对该地下厂房的衬砌进行了检测。采用的波速值为3.90km/s。测试结果为0.113m，设计值为0.11m。



测试及验证场景

4.2.2 腹板厚度（浙江丽水、2019.06）

受某单位委托，对某预制小箱梁腹板厚度进行了检测。检测前，在某跨梁的腹板上钻孔，确定该位置腹板厚度为17.0cm，以此厚度进行波速标定，确定弹性波速为3.738km/s。检测后选取一个测点进行开孔验证，验证结果如下：

验证结果

测点编号	检测值	验证值	相对偏差
13#跨 3#箱梁-右腹板-大里程	13.7cm	14.0cm	-2.1%

经验证，该测点的相对偏差仅 0.3cm，检测结果的准确性得到了相关方的认可。

4.2.3 隧道仰拱厚度（四川绵阳、2023.04）

2023 年 4 月受中铁某局集团委托，成绵项目某标段项目经理部委托，我公司技术人员采用 IAE 法，对在建的成绵项目某隧道仰拱厚度进行检测演示和验证。检测结果表明，采用 IAE 法配合合适的激振方式，可以很好地检测仰拱厚度。

根据施工方提供资料，本次所检测区域分为上下两层浇筑，上层 1.5m 混凝土标号为 C20，下层 0.7m 混凝土标号为 C30，设计厚度为 2.2m。

1) 标定

选择 YK67+900 已知取芯厚度 2.1m 位置进行波速标定，确定信号激振方式采用专用钢钎+敲击手锤激振最为适宜，标定波速为 3.005km/s。



检测情景及所用激振装置

2) 测试

表 4-1 仰拱厚度检测结果统计表 单位 (m, %)

序号	检测位置编号	检测结果 (m)	取芯厚度 (m)	相对偏差 (%)	备注/说明
1#	ZK**1 左-1	1.902	1.855	<2.5%	/
	ZK**2 左-2	1.851		<0.2%	取芯附近
2#	ZK**3 右-1	1.917	1.860	<3%	取芯附近
3#	ZK**4 左-1	2.064	2.110	<2.1%	取芯附近
	ZK**5 左-2 复	2.075		<1.6%	取芯附近

4.3 特点、影响因素及提高精度的方法

4.3.1 主要特点

相对于超声波、楼板测试仪、雷达等混凝土厚度测试技术，基于冲击弹性波（冲击回波）的测试技术具有如下特点：

1) 可单面测试

与楼板厚度测试仪需要在楼板的上下两面对测相比，本方法可在一个作业面上进行测试。不仅提高了测试效率，而且可适用于隧道、基础、底板等各类结构。

2) 测试范围广

采用不同的激振波长和方法（单一反射法或 IE 法），可测试从数 cm 到数米的厚度。

3) 测试稳定性较好

影响测试稳定性和精度的重要因素之一为波速。相比电磁波在混凝土中的波速，冲击弹性波的波速变化要小得多，从而有利于提高测试的精度和稳定性。

4) 易于获取波速参数

既可以利用已知厚度的地点对波速标定，也可以结合设备中对波速的测试方法现场测试波速，而无需钻孔取芯。根据我公司积累的数据库资料和相应的规范，考虑了结构中钢筋以及尺寸效应的影响，按混凝土强度等级给出波速参考值（如下表）。

4.3.2 影响测试精度的主要因素

对于厚度、埋深的测试，影响测试精度的要素有：激振锤的选定、反射信号的识别、传播波速的确定、传感器及固定方式的选用、分析方法的确定、周围边界的影响。

4.3.3 提高测试精度的方法（IE 冲击回波法）

为了提高壁厚测试精度，除了保证波速的精度以外，提高 IE 反射信号的分辨力是非常重要的。

1) 反射时间的提取：

2) 变频激振：

3) 板振动的抑制：

如前所述，板振动也是非常重要的干扰因素。对此，对对象结构适当增加约束、改

变激振方式是有效的方法。

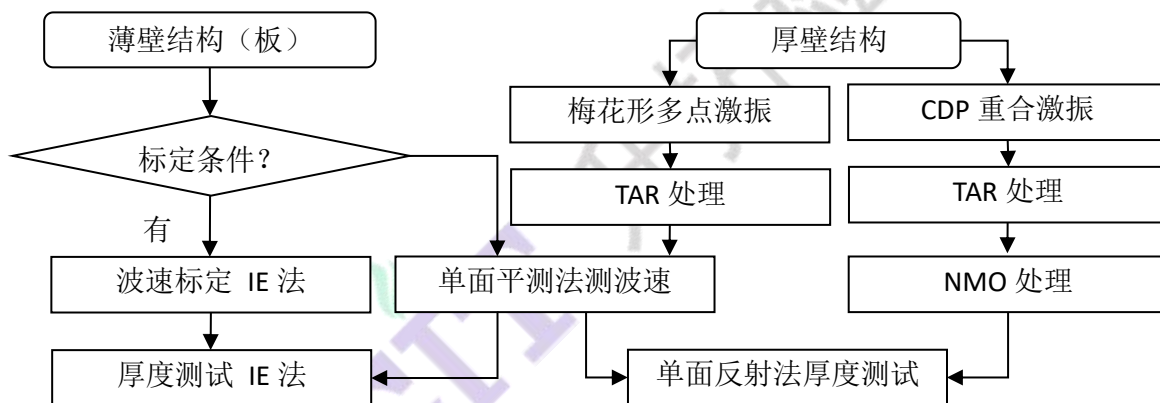
4.3.4 提高测试精度的方法（单一反射法）

与冲击回波法类似，但需要着重提高对底部反射信号的识别：

- 1) 多点激振/多通道采集
- 2) CDP 重合法、NMO 修正
- 3) TAR（真振幅回复）
- 4) 墙厚较厚时，反射信号十分微弱。因此，采用直线或指数形式的 TAR 可以有效地增强反射信号的识别精度。

4.3.5 厚度测试的流程

综上所述，对混凝土壁厚的测试可以采用以下流程：



混凝土结构厚度检测及分析流程

第 5 章 内部缺陷

由于浇筑不密实等原因，会造成混凝土内部产生蜂窝、空洞等浇筑不密实的状况。这类缺陷对结构的强度、耐久性、防渗性等均会产生不利的影

5.1 基本原理和图像分析方法

5.1.1 检测原理概述

根据检测作业面，可以将检测方法分为反射法（单面）和透射法（双面）。

- 1) 单面反射法

在单面反射法中，最有效的方法当属冲击回波法（IE）。对于厚壁，则可采用单一反射法，并结合 CDP 重合法等以提高分辨力。

采用冲击回波法测混凝土内部缺陷时，不仅可以通过识别在缺陷处的反射信号，对于厚度连续变化的板式结构，还可以通过板底部反射时间的变化状况来推算混凝土结构内部的各种缺陷。

2) 双面透射法

双面透射法（也称对测法）可以穿透结构内部，是非常有效的内部缺陷检测方法。

3) 测试参数与分析方法

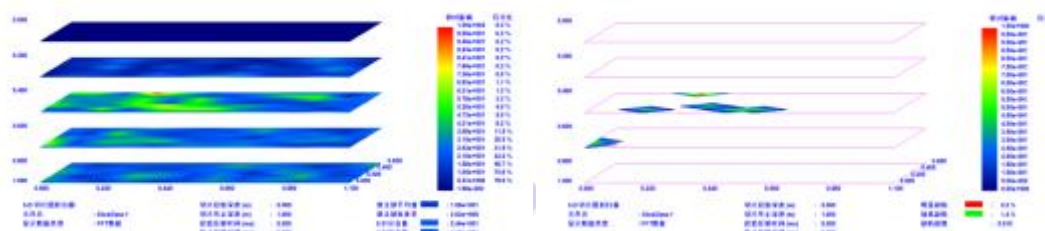
目前在混凝土缺陷检测中常用波速、波幅及频率，其中，波速是最重要的参数。

5.1.2 图像处理技术

1) 弹性波雷达扫描技术（EWR）

2) 缺陷阈值的自动获取技术

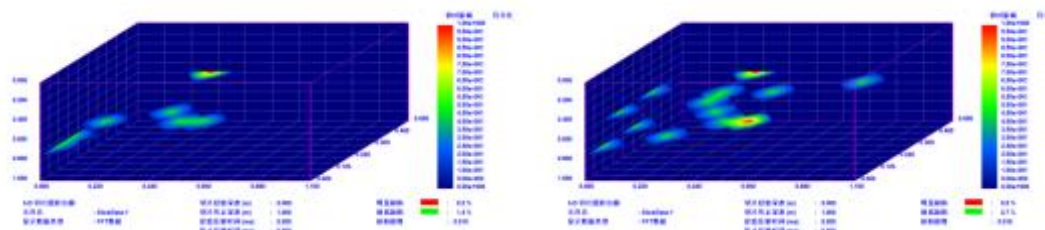
3) 3 维图形切片技术（3DS）



1-3 3DS（左：等值线图，右：缺陷锐化图）

4) 真三维缺陷成像技术（T3D）

测试方法与 3DS 相同，测试的结果可以快速形成平面图像。



内部缺陷、结构厚度的真三维云图表示

详细内容还请参照“冲击弹性波检测技术基本原理”。

5.2 模型验证

5.2.1 混凝土板间垫层破损（西南交大轨道实验室，2010）

测试对象为板式无碴道床，厚度为 0.2m，内部钢筋较密，设计强度为 C60。道床下部材料为树脂砂浆，设计厚度为 0.03m。并在其内部的相关位置设置了缺陷，用泡沫填充。树脂砂浆的下部为房屋的地板。测试采用 EWR 方法。



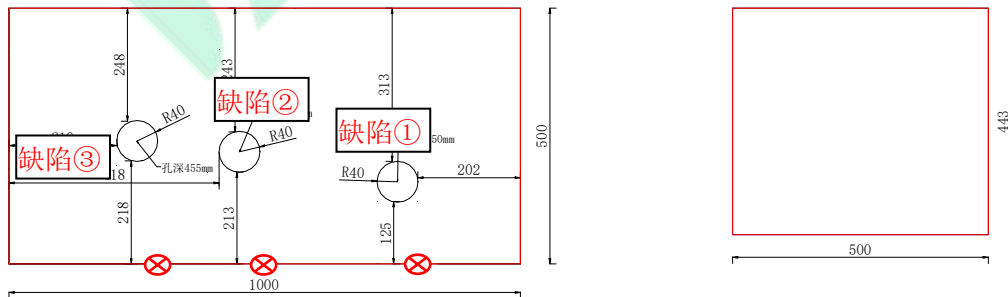
照片 5-2-1 试验场景

图 5-2-4 EWR 扫描等值线图

EWR 的测试结果与预埋状况完全一致。

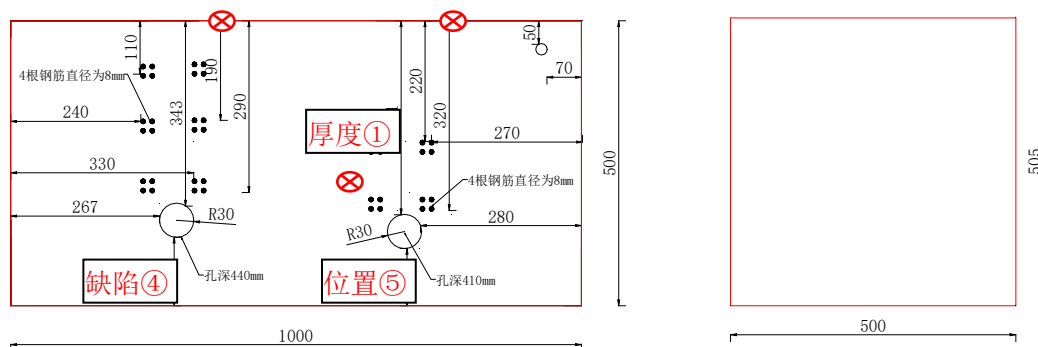
5.2.2 混凝土块内空洞（中水东北勘察设计院，2014.02）

应中水东北勘察设计院邀请，我们对混凝土试块中的缺陷进行了检测验证。其中，不仅测试了缺陷的有无，而且利用标定的波速（3.67km/s）对缺陷的深度也进行了检测。试块 I，尺寸为 1000mm*500mm*443mm，骨料最大粒径 30mm，时间编号为 K-1。在试块不同位置设置了 3 个缺陷，直径为 80mm，缺陷的具体位置请参考下图。



试块 I 缺陷位置示意图及照片

试块 III，尺寸为 1000mm×500mm×505mm，骨料最大粒径 30mm，试件编号为 K-3。在龄期为 3d 时，在试块上钻直径 60mm 孔 2 个，中间分别布置 3 排钢筋和 3 排钢筋。



试块Ⅲ缺陷位置示意图

通过本次对试块的测试，可以得到：

- 1) 从测试结果来看，利用冲击回波法（无论是采用 FFT 和 MEM 分析法），能够准确的分析出缺陷处的反射点，但 MEM 法的图形更为清晰。
- 2) 对结构进行标定后，进行无筋混凝土或钢筋缺陷深度测试误差小于 5%；
- 3) 从对试块Ⅲ进行测试缺陷的结果来看，混凝土中的钢筋对测试结果影响小；

5.2.3 梁体内部缺陷检测（山东泰安、2017.08）

应相关单位邀请，我们采用 IE/IEEV 法对泰安某预制梁的预设缺陷进行了检测，并与超声波，雷达，热成像等方法进行了对比。

现场预制梁大小为长 4×0.5×0.3m 的预制模型缺陷梁，现场共有 9 片。每一片梁浇筑的钢筋疏密程度，以及缺陷形态大小都不同。且每片梁都有 1~10cm 不同大小的缺陷，分别设置在不同位置。

弹性波测试采用标准方案，10cm 的间距测点且每个点敲击 3 次保存 3 个波形图。

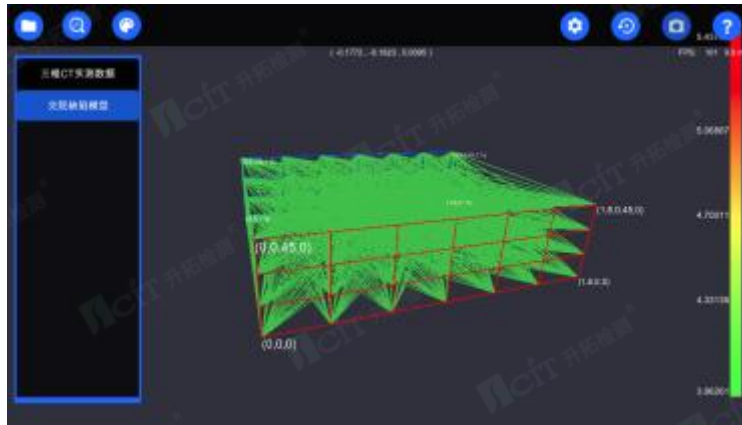


现场检测场景（左：雷达，右：弹性波）

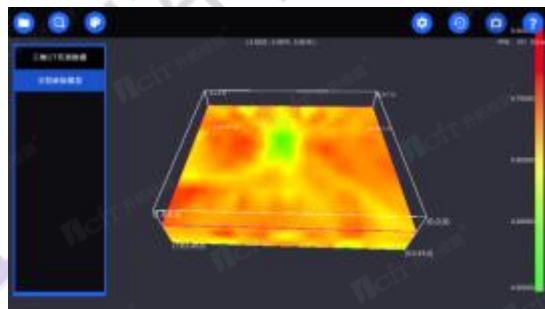
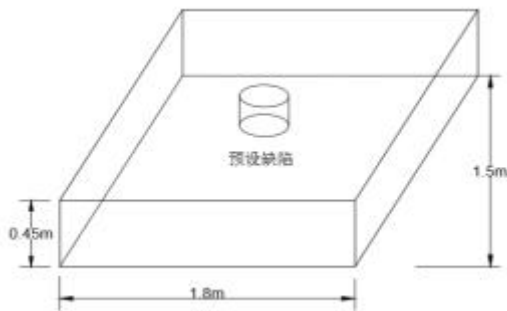
根据现场设置缺陷对比，5~10 cm 大小之间的缺陷都可以比较清晰的看到缺陷位置，且和现场实际缺陷位置吻合。1~4cm 大小的缺陷基本很难看出。

5.2.4 梁体内部缺陷真三维 CT 检测验证（四川成都、2020.07）

为了检验真三维 CT 成像技术，对位于成都的缺陷模型进行了测试。可以看出，真三维 CT 能够很好地检测出模型中的预设缺陷。



CT 测线图



左：缺陷模型示意图，右：反演结果

5.2.5 预制缺陷混凝土模型冲击回波法、冲击回波声频法、探地雷达法及面波 CT 法比对验证（四川德阳、2023.08）

被检测模型尺寸为 $3\text{m} \times 2\text{m} \times 0.4\text{m}$ ，预设缺陷 6 处，沿长轴方向布置三条测线（图 5-2-27 中纵 1~纵 3 测线）。分别采用冲击回波法、冲击回波声频法、探地雷达法及面波 CT 法进行检测。

图 5-2-27 测线布置图



左：声频现场测试

右：面波 CT 现场测试

表 5-2-5 典型测线分析结果图

<p style="text-align: center;">IE</p>	<p style="text-align: center;">探地雷达（无法看到缺陷）</p>
<p>IAE（蓝框为设计缺陷位置，图像上看第二处缺陷不明显）</p>	<p>面波 CT(起点 0.6m)——卓越频率法(多锤多次敲击)</p>
	<p>测线2（面波CT结果-D17-D22-D30）</p>
<p>D17 锤——单波形窄带滤波自动计算</p>	<p>D30 锤——单波形窄带滤波自动计算</p>
<p>测线2（面波CT结果-D17单一波形自动选点）</p>	<p>测线2（面波CT结果-D30单一波形自动选点）</p>
<p style="text-align: center;">多锤图像合成</p>	<p style="text-align: center;">多锤图像合成—k-means 聚类</p>
<p>测线2（面波CT结果-多锤合成）</p>	<p>测线2（面波CT结果-多锤合成-k-means聚类）</p>

通过比对，可以得出，

- 1) 面波 CT 总体测试总体效果较好，基本能够测出不同类型的预设缺陷；
- 2) 面波 CT 的单波形窄带滤波成图法较卓越波长法图像分辨率更高，同设计缺陷吻合度更好。
- 3) 不同锤测试结果差异不大，多锤数据合成后采用 k-means 聚类法能够提升检测精度。

5.3 现场验证及应用

5.3.1 城市隧道衬砌背面破损（日本埼玉、2005）

我们受东京电力株式会社委托，对某城市供电箱形隧道的衬砌尺寸、形状进行了检测。该隧道由于不均匀沉降的影响，在箱体连接部分有可能产生损伤。

根据 EWR 检测结果，鲜明地分辨出了连接部的形状和损伤状况。



照片 5-3-1 测试对象

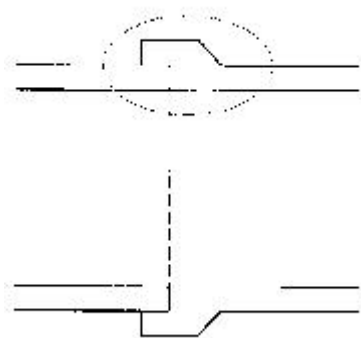
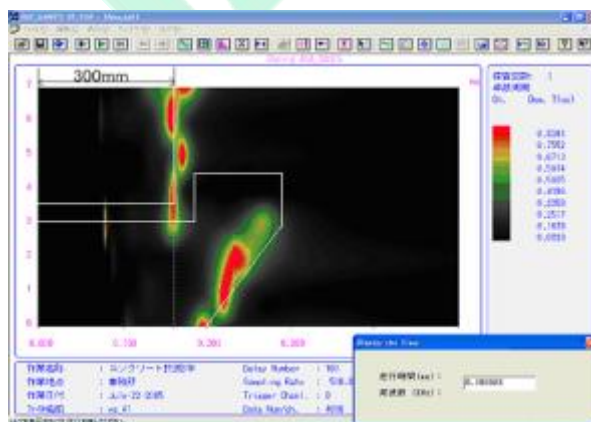
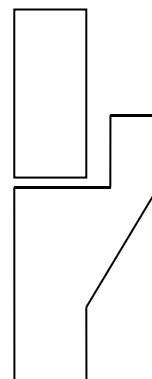


图 5-3-1 箱体连接部



测试结果（推测衬砌形状）



5.3.2 桥墩内部浇筑缺陷（南水北调中线大型渡槽、2012.05）

中国水利水电科学研究院，用弹性波 CT 测试了南水北调中线某渡槽槽墩混凝土的浇筑质量和缺陷。



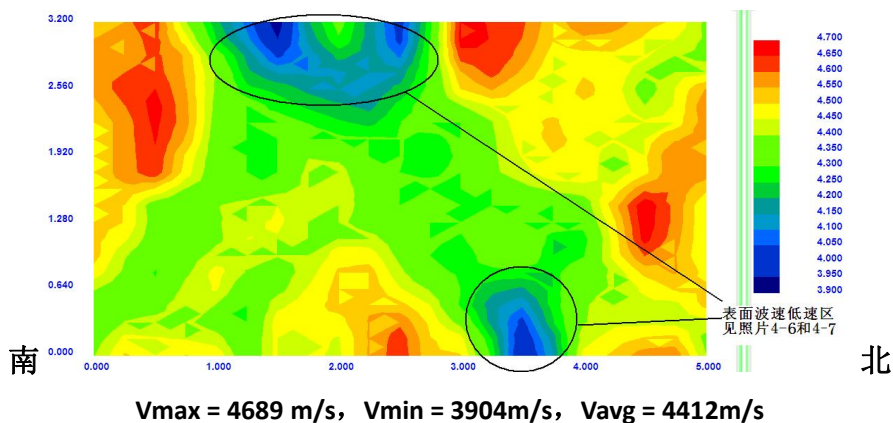
工程全景及表层不密实情景

槽墩高度（不含墩帽）为 7m，厚度为 3.2m，单个墩宽度为 14.7m（半圆墩头半径 1.6m），混凝土强度等级 C40。墩顶和墩底各设 1m 高的实体段，为该项目的检测重点。

根据试块试验，并考虑到钢筋对弹性波波速的影响，在本次检测中将 $V_{P3}=4400/s$ 作为弹性波 CT 的评价标准来判断内部混凝土的强度是否达到 40MPa。



试块试验及现场检测情景



CT 结果图形

图像中有两个较为明显的低速区（波速在 4000m/s 左右）：第一个位于西侧（上游面）从断面南端开始约 1m 到 3m 的范围内，深度约 60cm，现场检测发现此处对应于西侧表面的修补区域（见下照片左）；另一个处在东侧（下游面）从断面南端开始约 3.5m，深度约 60cm，现场检测发现此处对应于浇筑不密实区域（见下照片右）。

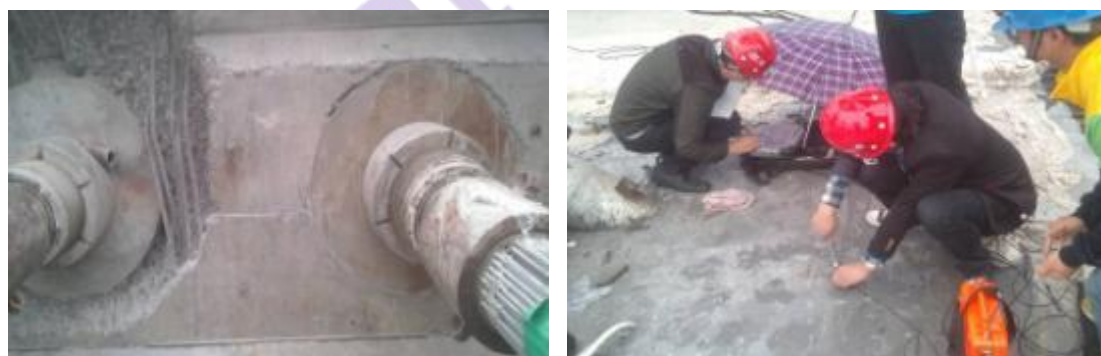


照片 5- 3-5 对应缺陷位置（左：西侧（上游面），右：东侧（下游面））

测试得到的断面最大波速 $V_{max} = 4689 \text{ m/s}$ ，最小 $V_{min} = 3904 \text{ m/s}$ ，平均 $V_{avg} = 4412 \text{ m/s}$ 。除上述两处表层的波速低速区外，内部混凝土未见明显低速区，判断检测断面内部混凝土密实性较好。

5.3.3 桥梁锚头附近混凝土（三江大桥、湖北宜昌、2015.04）

应华中科大检测中心邀请，我们对长江大桥三江桥 5 号及 6 号锚头附近区域混凝土（距测试表面最大壁厚约为 1.26m）的密实情况进行了检测。



照片 5-3-9 锚头外观及现场测试图

测试采用 D17、D30 锤和传感器专用支座，3D 切片分析结果显示 6 号锚头附近疑似存在混凝土缺陷。经多方面核实，缺陷处为波纹管暂未注浆所致，得到委托方，施工单位、监理及业主一致认可。

需要指出的是，委托方还邀请了雷达和超声波对其进行对比测试。结果显示，雷达及超声波检测因受钢筋及混凝土厚度影响，难以得到满意的结果。

5.3.4 海河某水闸水下混凝土内部缺陷、材质检测（天津，2018.06）

受天津某单位邀请，我公司技术人员利用最新专用设备对海河某水闸水下混凝土内部缺陷及材质进行检测。被检对象位于水下 8m，混凝土厚度为 2.5m，设计强度为 C20。通过本次检测，可以得出：

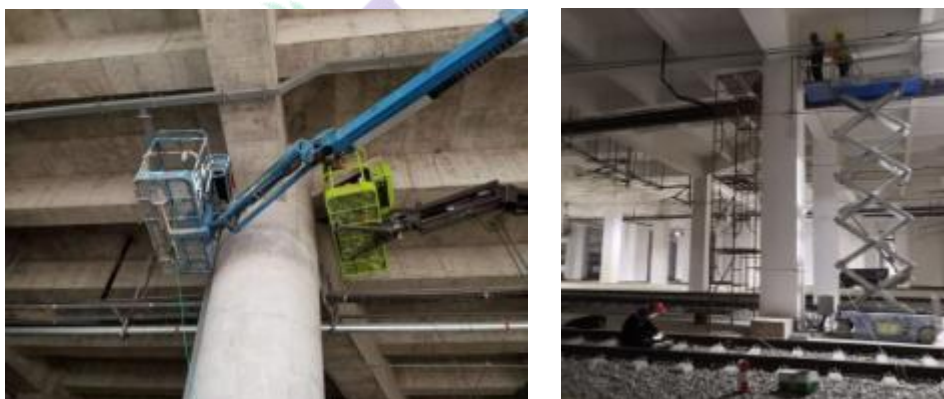
- 1) 能够较为准确的检测水下混凝土的缺陷位置及深度，以及水下混凝土的缺陷及材质；
- 2) 混凝土材质检测结果中，低速区为水闸混凝土的迎水面，检测结果与实际情况相符；

5.3.5 混凝土柱顶端内部缺陷检测（广州，2020.01）

某大型地下结构立柱顶端与横梁交叉区域，因钢筋分布密集，出现了混凝土不密实、孔洞等质量问题。施工单位采用了各种检测手段，如雷达、超声检测等，均无法有效检测其内部缺陷。

受相关单位委托，我公司采用基于冲击弹性波 CT 的层析扫描法对数百根立柱进行了检测。根据现场情况，盖板底面以下 0~100cm 范围梁柱交叉区域为重点排查部位，沿对角线布置检测面。对检测发现的明显内部缺陷，进行了开孔验证。

验证结果表明，弹性波 CT 的层析扫描法可应用于较大体积、钢筋密集的混凝土内部缺陷排查，如桥梁零号块、梁柱结构等等，较超声波、雷达等方式有明显的优势。



现场检测情形

5.3.6 混凝土墩内部缺陷 2 维及 3 维 CT 检测（广东珠海、2021.7）

受中铁四局邀请，对珠海某大桥桥墩内部缺陷进行 2 维及 3 维 CT 检测。



现场检测场景照片

根据现场情况，2 维 CT 检测时现场共计测试 3 个剖面，3 维 CT 现场检测位置及测点间距与 2 维 CT 一致，采用 3 行*6 列布点方式。



2 维 CT 测线布置示意图

3 维 CT 测线布置示意图

根据现场情况，测区混凝土表面存在骨料不均匀现象，靠近下部的 4#剖面，骨料堆积多。为了确定缺陷范围，现场对结构进行健全位置的波速标定，经研究，缺陷的判定阈值为 3.87Km/s。检测结果与现场可见缺陷吻合度高，得到相关单位的认可。

5.4 风机基础缺陷检测

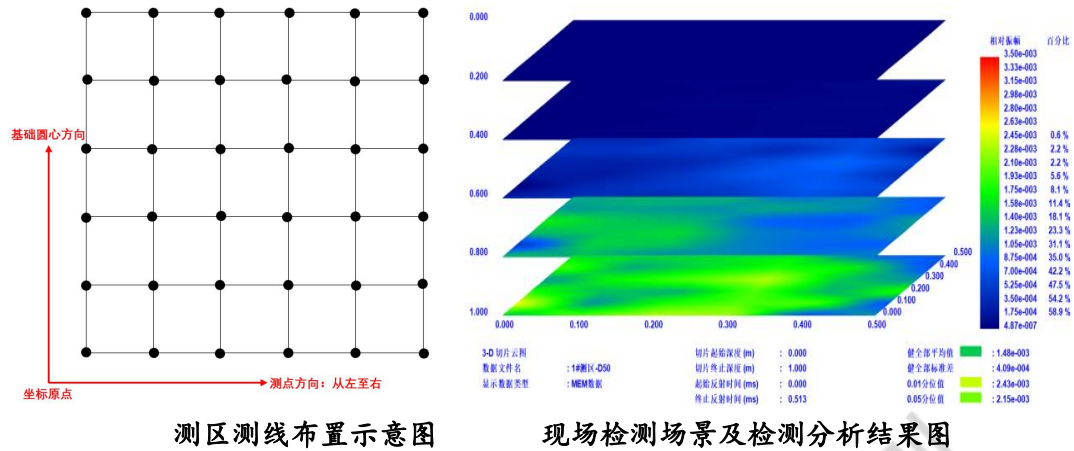
5.4.1 风机基础缺陷检测（云南省马龙县、2019.11）

受山西省工业设备安装集团有限公司委托，我公司对云南省马龙县陡坡梁子风电项目风机基础进行了混凝土结构内部缺陷检测。



风机基础及可见缺陷情况

本次共检测了 2 个风机基础的混凝土结构内部缺陷，每个风机基础随机选取 5 个测区进行检测，编号分别为 1#测区、2#测区、3#测区、4#测区及 5#测区。测区面积均为 $0.5 \times 0.5\text{m}$ ，每个测区行和列的测点间隔均为 0.1m ，测线布置及方向示意如下图所示：



测区测线布置示意图

现场检测场景及检测分析结果图

根据分析结果，被测对象测区内均未发现明显的缺陷。

5.4.2 风机基础内部缺陷 CT 检测演示（贵州省贵阳市、2023.6）

受中国电建贵阳院委托，对贵州省贵阳市某在建风机基础进行内部缺陷，基础设计强度为 C45，基础中心位置有预埋电缆沟槽为 PVC 管，管与管之间有混凝土填充。



现场结构实图

由于风机基础存在圆锥面，故在圆锥面位置进行了 4 个剖面检测，上下圆柱采用圆柱 3 维检测，测线布置及剖面位置。

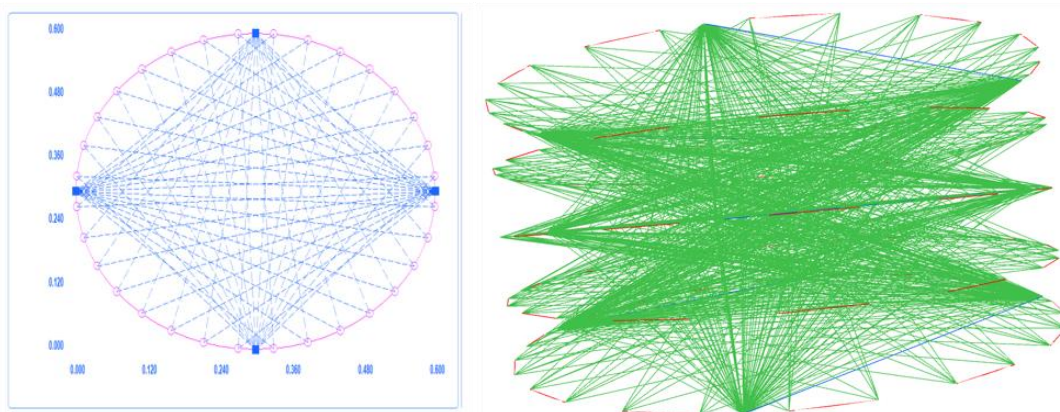
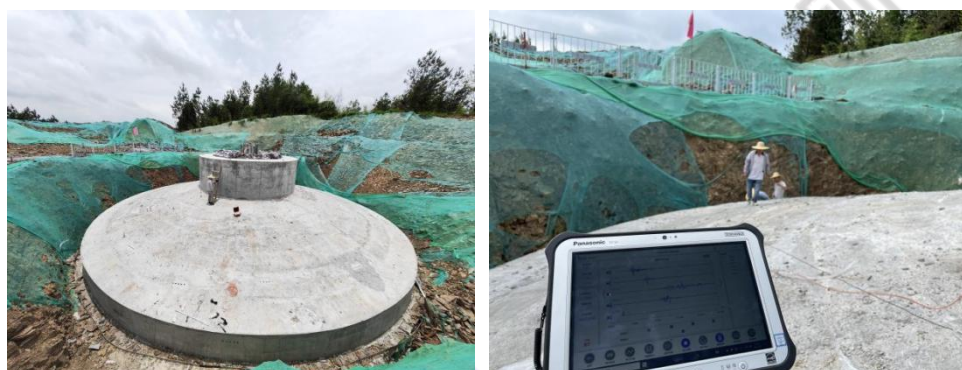


图 5-4-17 弹性波 CT 测线布置示意图（左：单层剖面 右：圆柱 3 维）

根据现场情况，对风机基础共布置 2 个圆柱 3 维测区及 4 个剖面层析，其中圆柱 1 高 2m，直径 7.2m，圆柱 2 高 0.8 米，直径 20.4m，4 个剖面直径分别为：10.2m、13.2m、16.7m、18.5m。



现场测试

测试区域内风机基础圆柱 1 及圆柱 2 无明显缺陷，但存在相对波速较低区域，其中心低波速区为预留电缆槽影响；4 个剖面均有蓝色低波速区域，且整体波速均较低。

根据检测结果，相关检测单位也对风机基础进行了超声回弹综合法测试及后期取芯压载实验，得出强度大多均未达到设计强度，强度偏低。

5.5 特点和适用范围

5.5.1 技术特点

在本设备中所采用的混凝土结构内部缺陷检测方法主要采用冲击弹性波中的冲击回波法（IE 法）和计算机断层扫描（CT 法）。

冲击回波法（IE 法）。该方法自上世纪末提出以来，在美国、日本等地已经得到了广泛的应用。最近，在我国的应用也在快速发展，水利部“水工混凝土结构缺陷检测技术规程”（SL713-2015），住建部“冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程”（JGJ/T411-2017）

中也将冲击回波法列入。

我们在 IE 法的基础上，对频谱分析手段、成像技术、噪声消除技术等方面做了大幅的改进，并提出了 IEEV 法（冲击回波等效波速法）。

IE 法的详细参见“SCIT-1-TEC-00-冲击弹性波检测技术基本原理”；

IEEV 法的详细参见“SCIT-1-TEC-01-孔道灌浆密实度检测技术体系”；

此外，我们开发的弹性波 CT，与 IE 法结合使用可更好地检测不同类型的结构缺陷。

5.5.2 IE/IEEV 法缺陷检出分辨力

关于 IE 法的缺陷检出分辨力，与结构形状、厚度、缺陷类型、尺度、位置埋深、测点间距、分析方法以及成像方法等有关，尚无明确的定论。目前，根据我们的研究和经验，认为：采用 IE 法，对于缺陷投影面尺寸大于 0.3 倍埋深的缺陷可以测出；对于一般厚度的梁式结构，采用 IEEV 法，可以测出 5cm 以上的缺陷。

第 6 章 综合检测典型实例

6.1 桥梁

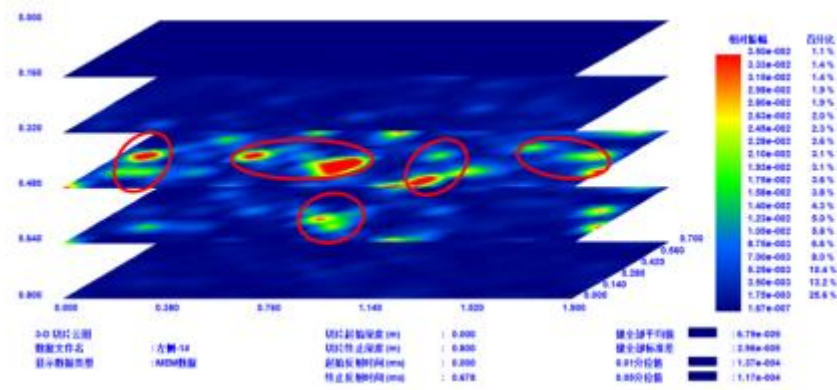
6.1.1 某铁路桥混凝土内部缺陷检测（湖南、2019.08）

受相关单位的委托，我们于 2019 年 7 月对湖南某大桥 2#墩腹板左右两侧区域采用弹性波雷达法（EWR）对混凝土内部缺陷进行了检测。根据检测结果，施工单位对该区域混凝土进行了修补处理后，我方于 2019 年 8 月再次对修补效果进行了复检。



SF-HR 大桥及左侧腹板现场检测图

EWR 左侧腹板施工冷缝附近混凝土三维切片结果如下图所示。

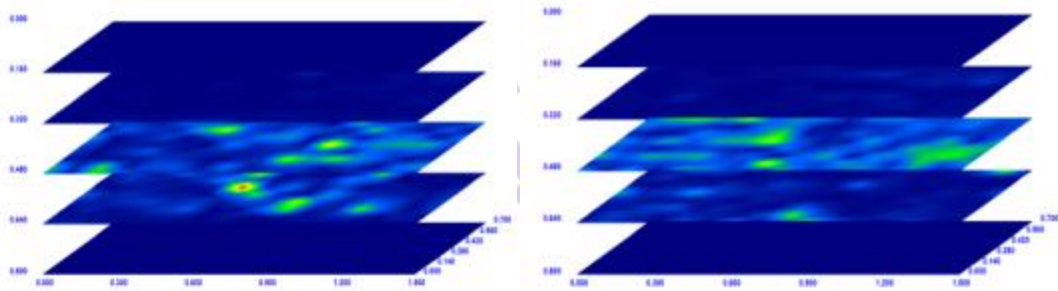


2#墩2号块的左侧腹板施工冷缝区域测试结果等值线图

结果显示，左侧腹板施工冷缝附近混凝土在深0.2-0.6m范围区域，存在一定区域的不密实及疑似空洞缺陷（图中红圈区域）。根据检测结果对应位置混凝土凿开，通过观察发现外侧凿开区域存在部分不密实及小空洞。

对此，施工方根据业主要求实施修补，并于1个月后邀请我们再次对左侧腹板进行复检。检测分为两个区域，分别为左侧-1#、左侧-2#，大小均为1.5m*0.7m。

现场复测结果显示2#墩2号块左侧腹板混凝土内部缺陷经修补后，无明显缺陷，修补效果较好，检测结果图如下：



左侧腹板复检结果等值线图（左：1#测区 右：2#测区）

可见，采用冲击弹性波雷达法检测，能够有效检测发现混凝土中的内部缺陷，及时发现问题，指导修补并确认修补效果。

6.1.2 某预制梁内部缺陷检测（河北、2020.06）

受相关单位的委托，我们于2020年6月对荣乌高速预制箱梁进行了弹性波P波CT试验。测线采用双向布置，并采用局部交叉的测线；试验内容：预制箱梁CT。

试验结果表明：

- 1) 在测点足够密的情况下，能够测试出底板10cm直径的预留孔；
- 2) 采用两个对侧面测试，测试结果优于单一对侧面的测试结果；

6.2 隧道、地下厂房

6.2.1 引、放水隧道（日本、东京电力，1998-2006）

受业主单位委托，日本 Central Giken 公司用该设备对东京电力株式会社的十余条引水、放水隧道进行了检测。检测内容包括衬砌的剥离、裂缝深度及混凝土材质等。对于佐久水电站水路，检测结果表明：

- 1) 测试得到的 R 波波速受混凝土衬砌表面状况影响小；
- 2) 存在严重的剥离现象。
- 3) 右岸的强度低于左岸强度，特别是隧道上部更加明显；
- 4) 裂缝的深度达到了衬砌厚度的 1/3 以上；

根据上述结果，推测隧道衬砌承受偏土压，右岸承压大。坑内倾斜计的监测结果证实了该项推断。



佐久水电站

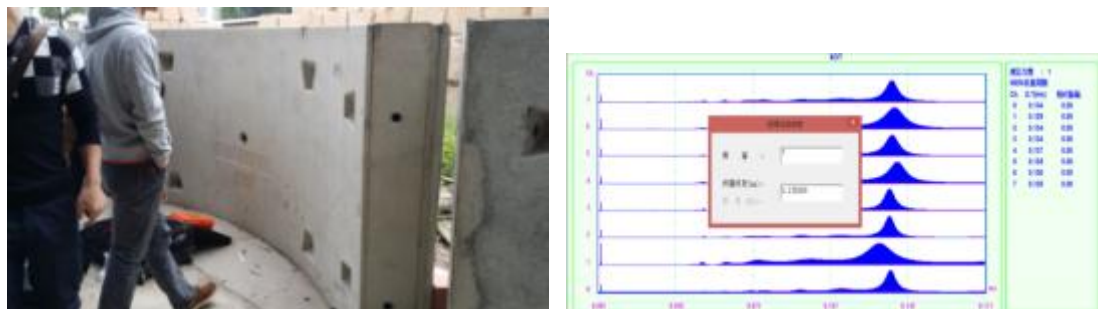


岩室水电站

6.2.2 盾构管片（2015.12）

应广西交勘院邀请，我公司技术员对某地铁盾构管片模型进行混凝土厚度、混凝土缺陷、管片后部预设混凝土缺陷（模拟地铁管片后部混凝土脱空检测）测试。

- 1) 管片混凝土厚度测试



混凝土厚度测试场景及厚度 MEM 频谱分析

通过标定，混凝土波速 4.38km/s，计算混凝土厚度时采用该波速。7 次测试结果平均值为 0.301m。与测点实际厚度（0.300m）的误差仅 0.3%。

2) 管片混凝土缺陷测试

现场模拟测试管片中混凝土缺陷，在已知管片背后有缺陷区域（如图中凹陷下去位置）共测试 2 个点，每点激振 5 次；正常区域共测试 2 个点，每点激振 5 次。

通过等值线云图可看出管片背后凹陷处反射时刻为 0.105ms（推算厚度 0.23m），与实测值仅差 1cm。正常区域反射时刻为 0.138ms（推算厚度 0.30m）

3) 管片后部混凝土脱空测试

为模拟地铁管片后部混凝土脱空检测，模型中事先在管片背后设置空洞型缺陷（缺陷位置未知，仅提供测线布置区域）。通过现场测试结果与实际缺陷埋设位置比对，测试结果显示缺陷位置与预设位置基本吻合。

6.3 其它结构

6.3.1 基础破损（山西某水电站发电机基础，2010）

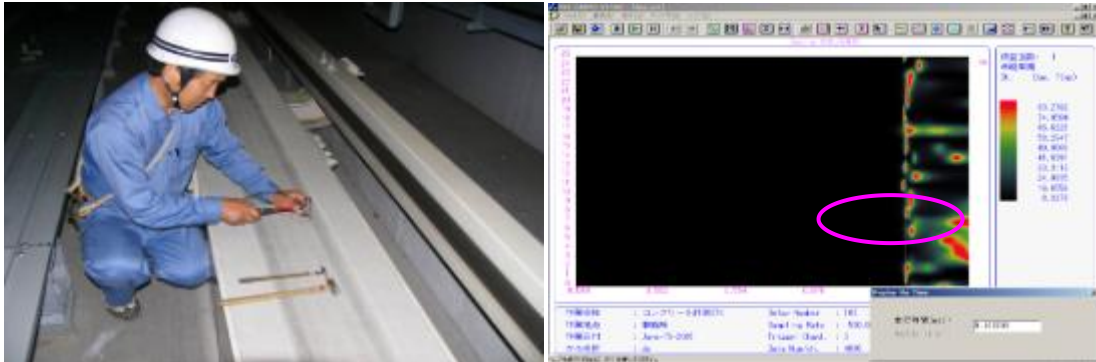
某抽水蓄能电站在试运行出现重大事故，需检测基础混凝土（厚度超过 4m，表面附有钢板）在事故后的损伤状况。受中国水利水电科学研究院委托，对混凝土强度、裂缝深度、钢衬脱空等进行了检测，成果获得水科院科技成果一等奖。



测试场景

6.3.2 快速轨道交通（日本、阪神地铁，2005）

合作伙伴 Central Giken 公司用该设备对阪神地铁某快速轨道交通进行了检测。检测内容为轨道的内部缺陷等。

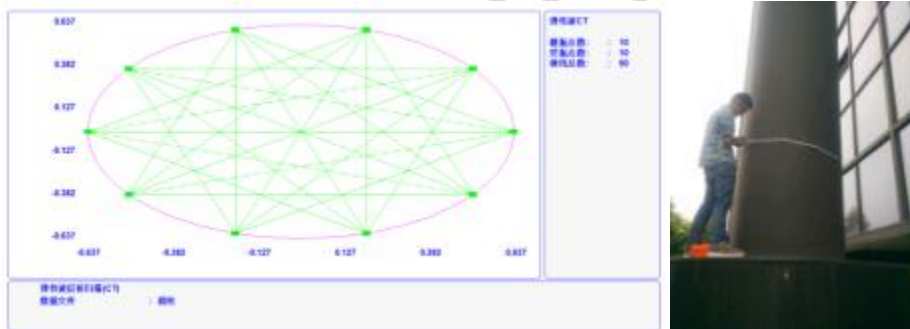


测试对象及场景

测试结果图（弹性波雷达 EWR 图）

6.3.3 圆形混凝土柱 CT 检测例（四川成都、2016.04）

我们对成都某处混凝土柱进行了 CT 检测，柱子半径约 0.637m，测试及激振点数 10 个，50 条测线。



测线

现场测点布置

CT 测试结果表明：

- 1) 混凝土波速普遍较低，推算混凝土强度在 C30 左右；
- 2) 中央部分混凝土较为密实、而边缘有部分混凝土较为疏松；
- 3) 中央部分波速分布呈花型，推测与测线较少及网格的剖分有关，需进一步优化；

6.3.4 大体积墙体弹性波 CT 检测（河北雄安、2023.04）

受相关单位委托，我公司技术人员于对某能源公司燃气监控中心大型剪力墙采用弹性波 CT（二维及三维）法进行检测，外观检查时发现明显蜂窝麻面及修补痕迹。

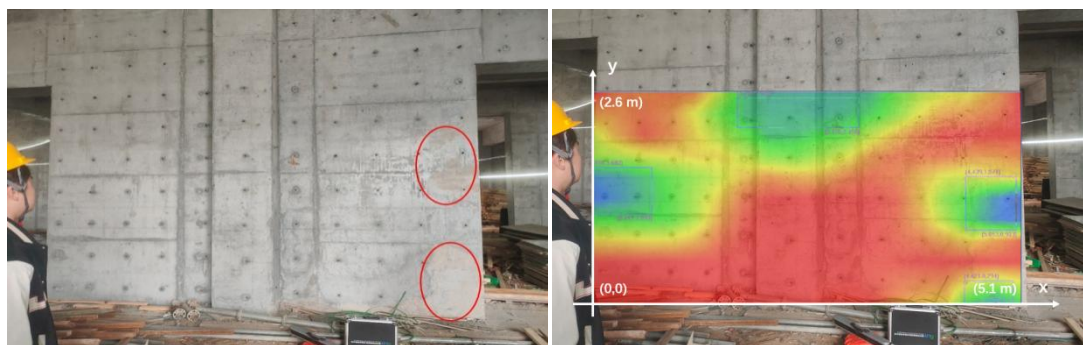


图 6-3-15 一楼剪力墙及二维 CT 检测结果

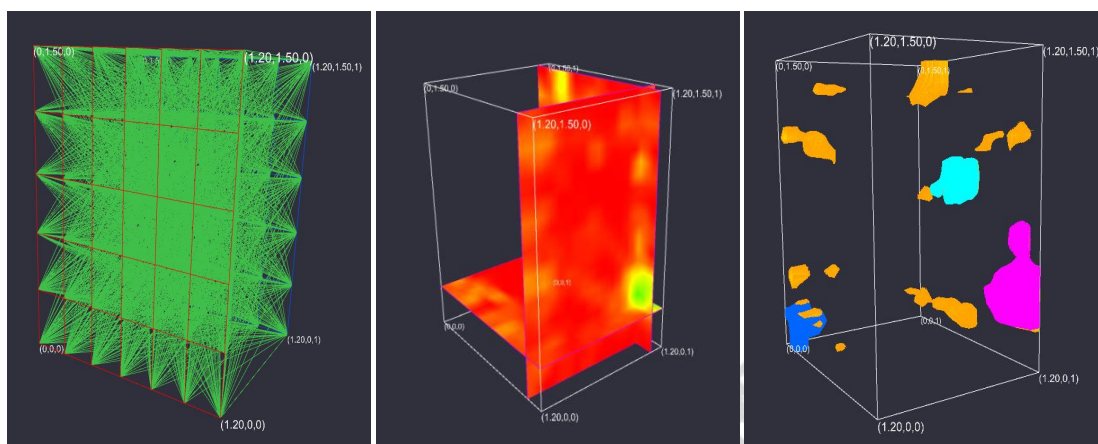


图 6-3-16 三维 CT 检测结果

检测得到的部分缺陷与外观修补痕迹对应。简介证明了检测结果的准确性。

6.4 混凝土表面缺陷（剥离、脱空）

混凝土表面缺陷包括剥离、脱空（钢管混凝土、压力隧道）等。采用本系统，可以方便地加以测试。

详细请参见“SCIT-1-TEC-02A-2012-结构脱空检测技术体系”。

第 7 章 AI 辅助提高精度及 BQIM 管理机能

7.1 概述

为了更有效地对检测信息加以管理，也对检测工作加以监督，我们开发了升拓检测数据库系统 CI-DBS (Central Inspection Data Base System) 以及建筑质量及健康信息模型系统 (BQIM)。该系统具有如下机能：GPS 机能、远程无线传送、数据库机能、检测信息可视化机能、AI 辅助判定机能。

详细资料可参阅“SCIT-1-TEC-12-2020-工程质量及健康信息模型系统(BQIM)”

数据库网站网址：www.scitdbc.com

结语与致谢

我们潜心多年研制的混凝土多功能检测仪（SCE-MATS）可以对混凝土材料及结构的材质、裂缝深度及倾斜、剥离、内部缺陷及尺寸等进行综合无损检测。经过大量的现场验证，其测试精度、测试效率、适用范围等均可满足工程要求，对保证工程质量具有非常积极的意义。

在该设备中，包含了大量的独创性技术，如裂缝深度的“表面波法”、修正 BS 法，混凝土浇筑质量检测中的钢筋影响修正技术、简易标定模型等。这些方法使得我们的测试技术得到了国内外广泛的认可，均已申请了国家发明专利并取得多项授权。

同时，在设备中我们还集成了弹性波雷达扫描技术（EWR）、弹性波层析扫描技术（CT）和快速成像、真三维成像、虚拟多频道技术等，大大提高了测试精度和分辨力。

在此，我们衷心期望这些技术、方法和设备能够为我国的建设贡献自己的力量，同时也期待着在实际应用中不断地完善和成熟。

最后，衷心向各位合作伙伴以及为本文提供宝贵资料以及关心、支持我们的各位朋友表示诚挚的谢意！

技术支持

- ✓ 本资料为内部资料，仅供本公司及相关单位人员参考。未经本公司许可，任何单位和个人不能下载、阅读以及转载；
- ✓ 有关本资料相关的任何疑问，请咨询：
 - ✘ 四川升拓检测技术股份有限公司 客服咨询专线
 - ✘ TEL: (028)6861-1507、6861-1511、6861-1527
 - ✘ MAIL: Support@scentralit.com
 - ✘ HTTP: www.scentralit.com
- ✓ 有关本资料的最新更新，可在本公司网站的下载中心下载：

<http://www.scentralit.com>

✓ 升拓相关官网与平台：

升拓检测媒体矩阵 | 扫码识别即可进入

升拓检测官网



升拓官方公众号



抖音平台官网号



哔哩哔哩官网号



*抖音和淘宝请分别使用对应软件扫码

升拓检测