

DB11

北京市地方标准

DB 11/TXXXX—XXXX

古建筑结构安全性鉴定技术规范 第2部分：石质结构

征求意见稿

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市质量技术监督局 发布

目次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

5 基本规定 2

 5.1 鉴定程序 2

 5.2 风险等级判定原则 3

 5.3 石质构件计算 3

6 勘查 4

 6.1 基本要求 4

 6.2 结构现状调查与检测 4

 6.3 石质构件表面状况勘测 5

 6.4 石质构件内部缺陷检测 5

7 构件风险等级判定 5

 7.1 一般规定 6

 7.2 石构件风险等级判定 6

附录 A （资料性附录）古建筑石质构件超声波波速检测方法 9

附录 B （资料性附录）石质构件内部缺陷无损检测方法 11

前 言

本部分为DB11/T XXXX的第2部分。

本标准按照 GB / T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由北京市文物局提出并归口。

本标准由北京市文物局组织实施。

本标准由北京市古代建筑研究所起草。

本标准参加起草单位：北京化工大学、中国建筑科学研究院、中国地质大学（北京）

本标准主要起草人：黎冬青、张涛、王菊琳、徐福泉、姜玲、张中俭、吴进贤、杜德杰、王丹艺、胡睿等。

1 范围

本部分规定了北京市行政区域内古建筑石质结构风险等级鉴定的基本规定、勘察、检测方法、构件风险等级判定。本部分适用于北京地区内材质为青白石和汉白玉的石质构件的风险等级评判与鉴定。由于天然石材存在较大离散性，实际执行过程中，可根据本规范判定的风险等级，结合古建筑价值、结构重要性、经费预算等实际情况制定相应的维护修缮措施。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改版）适用于本文件。

- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB/T 50292-2015 民用建筑可靠性鉴定标准
- JTG E41-2005 公路工程岩石试验规程
- CECS21-2000 超声法检测混凝土缺陷技术规程

3 术语和定义

下列术语与定义适用于本文件。

3.1

风险等级 level of risk

根据导致构件失效、破坏的风险性因素发生的概率大小拟定的指标等级体系。

3.2

主要构件 dominant member

其自身失效将导致相关构件失效，且危及结构系统的构件。

3.3

一般构件 common member

其自身失效不会导致主要构件失效，且不危及结构系统的构件。

3.4

受压构件 compressed member

柱、底座等受压应力的石质构件。

3.5

受弯构件 member in bending

石梁、石枋、石板等受弯曲应力的石质构件。

3.6

受力裂缝 stressed crack

在荷载直接作用下，构件由于承载力不足或抗裂能力不足而产生的裂缝。

3.7

非受力裂缝 non-bearing crack

除受力裂缝以外的其他裂缝，主要包括由温度、收缩和不均匀沉降等因素引起的裂缝。

4 符号

4.1 a 、 b 、 c 、 d ——构件或其检查项目的安全性等级；

4.2 γ_0 ——结构重要性系数；

4.3 R ——结构构件的承载力设计值；

4.4 H ——柱顶点水平标高；

4.5 l ——梁、枋、板等受弯构件的计算跨度；

4.6 f_c ——石材抗压强度设计值；

4.7 A ——受压构件的净截面面积；

4.8 N ——轴心受压构件的压力设计值；

4.9 f_b ——石材抗折强度设计值；

4.10 M ——受弯构件弯矩设计值；

4.11 W ——受弯构件的净截面抵抗矩；

4.12 f_s ——石材抗剪强度设计值；

4.13 V ——受弯构件剪力设计值；

4.14 I ——构件的全截面惯性矩；

4.15 b ——构件的截面宽度；

4.16 S ——剪切面以上的截面面积对中性轴的面积矩。

5 基本规定

5.1 鉴定程序

古建筑石质结构风险等级鉴定应按图1所示流程进行。

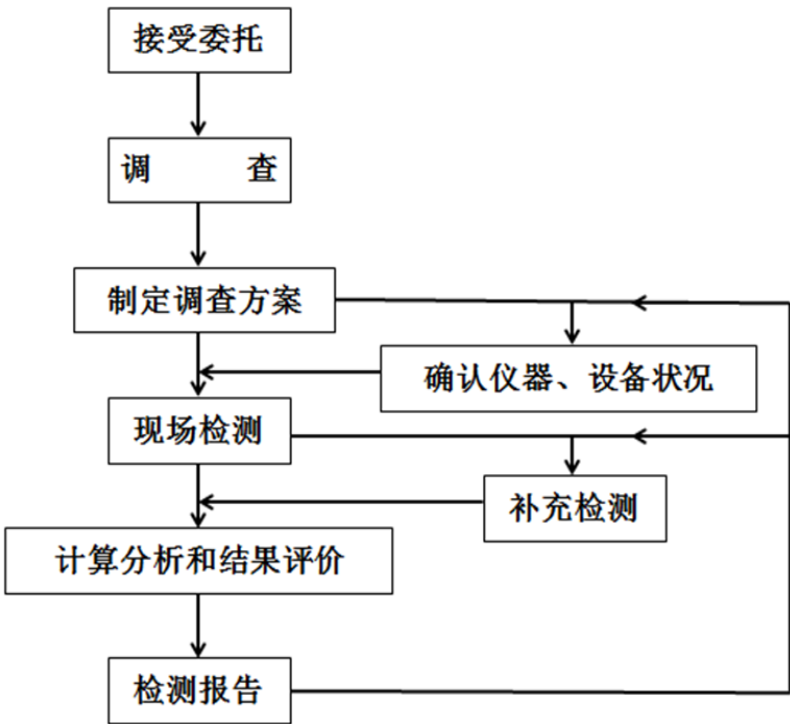


图 1 检测流程图

5.2 风险等级判定原则

古建筑风险等级划分及处理应按表 1 的规定执行。石质构件风险等级应符合第 7 章的要求。

表1 石质构件风险等级划分及处理

风险等级	等级划分	处理要求
a	可接受风险，风险性符合本标准对 a 级的要求，具有足够的承载能力	不必采取措施
b	一般风险，风险性略低于本标准对 a 级的要求，尚不显著影响承载能力	有条件、经费时可采取措施
c	中等风险，风险性不符合本标准对 a 级的要求，尚不显著影响承载能力	应采取措施
d	重大风险，风险性不符合本标准对 a 级的要求，已严重影响承载能力	应及时或立即采取措施

5.3 石质构件计算

5.3.1 受压石质构件的承载能力，应按下式验算：

$$\frac{N}{A} \leq f_c$$

(1)

式中， f_c ——石材抗压强度设计值(N/mm²)；

A ——受压构件的净截面面积(mm²)；

N ——轴心受压构件的压力设计值(N)。

5.3.2 受弯石质构件的抗折承载能力，应按下式验算：

$$\frac{M}{W} \leq f_b \quad (2)$$

式中， f_b ——石材抗折强度设计值(N/mm²)；

M ——受弯构件弯矩设计值(N·mm)；

W ——受弯构件的净截面抵抗矩(mm³)。

5.3.3 受弯石质构件的抗剪承载能力，应按下式验算：

$$\frac{VS}{Ib} \leq f_s \quad (3)$$

式中， f_s ——石材抗剪强度设计值(N/mm²)；

V ——受弯构件剪力设计值(N)；

I ——构件的全截面惯性矩(mm⁴)；

b ——构件的截面宽度(mm)；

S ——剪切面以上的截面面积对中性轴的面积矩(mm³)。

6 勘查

6.1 基本要求

6.1.1 石质构件的勘察，应包括结构现状的调查与检测、表面状况勘测和内部缺陷检测等。

6.1.2 应对构件的使用历史进行调查。包括构件用途，检测、维修与加固历史以及遭受灾害和事故的情况等。

6.1.3 主要构件残损程度及榫卯节点应逐个检查。

6.1.4 构件不具备检测条件时，应在检测报告中记录备案，以待补查。

6.2 结构现状调查与检测

6.2.1 石质结构现状调查与检测，应包括结构构件及其连接情况的调查、结构位移和变形的调查以及构件的材质、几何尺寸的调查等。

6.2.2 结构构件及其连接情况的调查，应包括以下内容：

- a) 主要节点的工作状态；
- b) 石质构件的荷载及其分布；
- c) 构件的拼接组合方式、受力方式及支座状况。

6.2.3 结构位移和变形的调查，应在普查的基础上，对整体结构和其中有明显变形的构件进行检测，并应包括以下内容：

- a) 柱脚与柱础的错位；
- b) 石柱顶点的位移、柱的两端固定状况；
- c) 石梁、石枋、石板等受弯构件的挠度。

6.2.4 石质构件的材质，当档案资料完全时，可进行校核性检测；缺少相关资料时，应在不对石质构件外观产生影响的前提下，少量取样进行检测。

6.2.5 石质构件的几何尺寸，应按 GB/T 50344 《建筑结构检测技术标准》的规定进行现场检测，并应包括以下内容：

- a) 石质构件的截面形状及尺寸；
- b) 石柱的顶点水平标高，石梁、枋的计算跨度；
- c) 严重风化、局部缺失及内部缺陷位置的实际截面尺寸。

6.3 石质构件表面状况勘测

6.3.1 石质构件表面状况的调查，应包括构件表面病害状况的勘测和历次加固现状的勘察，对构件的风化、裂缝、局部缺失和内部缺陷应进行全面检测，必要时尚应绘制其分布图。

6.3.2 石质构件表面病害状况的勘察，应包括以下内容：

- a) 构件表层裂缝的走向、分布和程度；
- b) 结构构件局部缺失处的受力情况，必要时尚应对其进行承载力验算；
- c) 构件表面剥落、孔洞、粉化、溶蚀等风化病害的部位、范围和程度。

6.3.3 历次加固现状的勘察，应包括以下内容：

- a) 受力状态；
- b) 新出现的变形或位移；
- c) 铁件锈蚀、变形或缺失；
- d) 修补材料与石材的粘结情况；
- e) 因维修加固不当，对其他构件造成的不良影响。

6.4 石质构件内部缺陷检测

6.4.1 石质构件内部缺陷的检测宜采用超声波脉冲法、X 光探伤技术等非破损检测方法。

6.4.2 石质构件内部缺陷的检测，宜首先使用超声波检测仪逐一测试每个构件中的超声波波速。超声波波速检测应按 CECS21-2000 《超声法检测混凝土缺陷技术规程》规定进行，参见本标准附录 A。

6.4.3 在普查的基础上，对超声波波速明显低于正常范围的石质构件进行内部缺陷的定量检测，定量检测采用 X 射线探伤仪。参见本标准附录 B。

7 构件风险等级判定

7.1 一般规定

- 7.1.1 石质构件的鉴定评级，应根据构件的不同种类，分别按照本章第 7.2 节的规定执行。
- 7.1.2 当石质构件存在下列状况，应进行承载能力验算：
- a) 经检测存在内部缺陷的构件；
 - b) 存在严重剥落、粉化、空洞、表面溶蚀、残损等表面病害，结构、尺寸发生明显变化的构件。
- 7.1.3 当验算被鉴定构件或结构的承载能力时，应遵守下列规定：
- a) 结构构件验算采用的结构分析方法，应符合现行设计规范的规定；
 - b) 结构构件验算使用的计算模型，应符合其实际受力与构造状况；
 - c) 结构上的作用应经调查或检测核实；
 - d) 结构或构件的几何参数应采用实测值，并应计入风化、裂缝、缺陷以及损伤等的影响。
- 7.1.4 石材强度标准值应根据结构的实际状态按下列原则确定：
- a) 新鲜汉白玉、青白石的轴心抗压强度、抗折强度和抗剪强度设计值可按表2采用；

表 2 新鲜汉白玉、青白石强度设计值

石材种类	抗折强度 f_t /MPa	抗压强度 f_c /MPa	抗剪强度 f_s /MPa
青白石	2.9	75.3	10.0
汉白玉	3.1	59.4	5.0

- b) 当检查其它材质构件或一种构件的材质由于与时间有关的环境效应或其它作用的因素引起的性能变化时，允许采用随机抽样的方法，在该种构件中取 5~10个构件作为检测对象，并按JTG E41-2005《公路工程岩石试验规程》规定，测定其单轴抗压强度、抗剪强度和抗折强度或其它力学性能；
 - c) 当构件总数少于5个时，应逐个进行检测；当委托方对该种构件的石材强度检测有较严的要求时，也可通过协商适当增加受检构件的数量。
- 7.1.5 当石质构件同时符合下列条件时，可不参与鉴定，并根据其实际完好程度定为 a 级或 b 级：
- a) 该构件工作正常，且可靠；
 - b) 经检测，该构件内部不存在缺陷；
 - c) 该构件未遭明显的风化、裂缝病害及局部缺失等破坏；
 - d) 该构件未受树脂灌缝、粘接、铁件加固等修复加固措施或用途、使用条件改变的影响。
- 7.1.6 受弯构件的风险等级判定，应根据本章 7.2 节的判定结果，按下列原则判定：
- a) 受弯石质构件的风险等级不超过 b 级，当构件按 7.2 节判定为 a 级时，宜将所判定等级降至 b 级；
 - b) 受弯构件为主要承重构件时，根据 7.2 节判定结果，其风险等级不高于 c 级时，可直接定为 d 级；若其风险等级高于 c 级，仍可定为 c 级。

7.2 石构件风险等级判定

- 7.2.1 石构件风险等级判定，应按承载能力、构造、不适于继续承载的位移或变形、裂缝、内部缺陷和历次加固情况等检查项目，分别判定每一受检构件的等级，并取其中最低一级作为该构件的风险等级。
- 7.2.2 当石质构件及其连接件的风险等级按承载能力判断时，应按表 3 规定，分别判定每一验算项目的等级，并取其中最低一级作为构件承载能力的风险等级。

表 3 石构件承载能力等级评定

构件分类	R/γ ₀ S			
	a 级	b 级	c 级	d 级
主要构件	≥1.0	≥0.95	≥0.90	<0.90
一般构件	≥1.0	≥0.90	≥0.85	<0.85

注：表中R和S分别为结构构件的抗力和作用效应；γ₀为结构重要性系数，世界文化遗产地及全国重点文物保护单位的建筑取1.1，其它建筑取1.0。

- 7.2.3 当石质构件风险等级按构造评定时，应按表 4 的规定评级。

表 4 石质构件构造等级评定

检查项目	a 级或 b 级	c 级或 d 级
构件构造	结构、构件的构造合理，符合或基本符合现行设计规范要求	结构、构件的构造不当，或有明显缺陷，不符合现行设计规范要求
节点、连接构造	连接方式正确，构造符合现行设计规范要求，无缺陷，或仅有局部的表面缺陷，工作无异常	连接方式不当，构造有明显缺陷，已导致构件或连接部位开裂、变形、位移、松动，或已造成其它损坏

注：判定结果取 a 级或 b 级，应根据其实际完好程度确定；评定结果取 c 级或 d 级，可根据其实际严重程度确定。

- 7.2.4 当石质构件风险等级按不适于继续承载的位移或变形评定时，应遵守下列规定：
- a) 对梁、枋等受弯构件的挠度，当其实测值大于其计算跨度的 1/900 时，应直接定为 d 级（报告第 8.4 节，石梁受弯承载力计算，断裂石梁（仅限于青白石）的挠度均在 3mm 以下，计算跨度为 2700mm）；
 - b) 对柱顶的水平位移（或倾斜），当其实测值大于其顶点高度的1/150时（GB 50292-2015 混凝土或钢结构：单层H/150，多层H/200；砌体结构：单层（柱

高小于7m，H/250；柱高大于7m，H/300），多层（柱高小于10m，H/400，柱高大于10m，H/450），应根据其实际严重程度判定为c级或d级。

7.2.5 石质结构构件出现裂缝时，应按下列规定评级：

- a) 当石质结构主要构件出现受力裂缝时，应直接定为 d 级；
- b) 对主要构件因温度、风化等作用产生的非受力裂缝裂缝，应在较长时间内进行定期观测，经监测发现其仍在发展时，应直接定为d级；
- c) 一般构件产生非受力裂缝部位有断裂、错位等迹象，显著影响结构整体性时，应根据其实际严重程度评为c级或d级。

7.2.6 当石质结构、构件存在可能影响结构安全的损伤时，应根据其严重程度直接定为 c 级或 d 级。

7.2.7 石质构件存在内部缺陷时，应按本标准第 7.2.2 条验算其承载能力。验算时，应考虑内部缺陷对构件整体结构的影响，并按下列规定评级：

- a) 若验算结果不低于 b 级，仍可定为 b 级；
- b) 若验算结果低于b级，应根据其实际严重程度定为c级或d级。

7.2.8 石质构件的风险等级按历次加固判定时，应按表 5 规定判定检查项目的等级，石质构件历次加固未发生表 5 各检查项目的情况时，检查项目的等级可根据其完好程度判定为 a 级或 b 级。

表 5 历次加固等级判定（历次加固的失效形式，待补充）

检查项目	c 级或 d 级
历次加固	原拼接已变形或锚杆已松动
	铁扒铜锈蚀、变形，或榫卯已开裂
	断裂粘接材料、裂缝灌浆材料与石材粘结状况不良，粘接部位重新出现裂缝或变形

附 录 A
(资料性附录)
古建筑石质构件超声波波速检测方法

A.1 检测设备

A.1.1 超声波检测仪

A.1.1.1 工作原理

采用带波形显示的低频超声波检测仪和声波换能器，测量声波在石材中的传播速度、波幅和主频等声学参数，并以超声波波速（此处特指纵波波速）作为判定石材强度的相关指标之一。

A.1.1.2 技术指标

超声波检测仪由检测仪和换能器两部分组成，主要技术要求：具有波形清晰、显示稳定的示波装置；声时最小分度为 $0.1\mu\text{s}$ ；具有最小分度为 1dB 的衰减系统；接受放大器频响范围 10~500kHz，总增益不小于 80dB，接受灵敏度不大于 50mV；换能器的实测主频与标称频率相差应不大于 $\pm 10\%$ 。

A.2 现场检测操作步骤与数据处理方法

A.2.1 检测对象确定

检测对象为古建筑中出现明显表面粉化、剥落、孔洞及裂缝等病害且不可进行荷载试验的受力石质构件，包括石梁、石柱、石板等。

A.2.2 测区位置确定

石质构件检测位置表面应清洁、平整以确保换能器通过耦合剂与石质构件测试表面保持紧密结合。测定区域应选择石质构件应力集中部位。对承受弯曲载荷的构件（如横梁），选择产生拉应力最大部位，即中间部位下表面；对承受轴向载荷的构件（如立柱），选择沿高度方向的不同部位。

A.2.3 耦合剂选择

岩石表面测试所用耦合材料的选择以易于清除且对岩石表面影响最小为原则，不宜选用凡士林或黄油为耦合剂，可选用液体胶水作为耦合剂。

A.2.4 声波测试方式

在石质构件的声波测试方式中最常用的两种方法为对穿直透法与直达波法。其中对穿直透法是将收、发换能器平行放置于受检石质构件两侧。直达波法是将收、发换能器放置于受检石质构件同一侧。

A.2.5 超声波波速测试

A.2.5.1 使用对石质构件进行波速测试时必须保证构件干燥。对于露天石质构件宜选择晴天、空气湿度较小时进行测试，并且测试前 3 天都无降水发生。

A.2.5.2 把两个换能器按一定距离分别用耦合剂固定于受检石质构件的表面，并把两换能器中点的距离作为声波在构件中的传播距离（精确到 mm）。当波速仪启动后，把波形曲线的最先起跳点所对应的时标值作为纵波到达时间。

A.2.5.3 当测试采用对穿直透法时，在受检构件互相平行的一对测试面上进行布点，测量一对平行测点之间距离。检测时将两个换能器平行放置于受检石质构件两侧，使用耦合剂以保证换能器与测试表面紧密结合。发现数值异常，可移动两换能器到适当位置，直至波形稳定。根据平行测点之间间距和超声波声时计算超声波波速(km/s)。

A.2.5.4 当测试采用直达波法时，可按时距法求得受检石质构件的平均波速。测试时，在一条线段的一端作发射点，然后在该线段上依次以不等距布置 4~6 个接收点，分别测得各点间的波速到达时间。以时间为纵坐标，测距为横坐标，分别作出通过原点的时距线。该线斜率的倒数即为平均波速。

A.2.6 测试成果应用

A 2.6.1 新鲜青白石干燥状态下的波速值在 7.0 km/s~7.2 km/s 之间。新鲜汉白玉干燥状态下的波速值在 3.3km/s~4.1km/s 之间。在现场石质构件的波速值低于上述数值时，可判断受检构件表面有隐裂隙（直达波法）、内部存在缺陷（对穿直透法）或有一定程度的风化。

A 2.6.2 根据对青白石和汉白玉试块的波速、单轴抗压强度、弹性模量的测试结果，得出以下线性回归方程：

$$\sigma_c = 32.06VP + 30.28 \quad r=0.80$$

$$E = 4.92VP + 21.30 \quad r=0.83。$$

其中： σ_c 为单轴抗压强度，单位为 MPa；

E 为弹性模量，单位为 GPa；

VP 为超声波波速，单位为 km/s；

r 为相关系数。

附 录 B
(资料性附录)
石质构件内部缺陷无损检测方法

B.1 检测设备

B.1.1 X 射线探伤仪

B.1.1.1 工作原理

X 射线探伤仪通过石质构件时被不同程度地吸收，通过被测构件不同区域的 X 射线量有所不同，从而携带了被测构件各部分密度分布或缺陷的信息，因而在荧光屏上将显示出不同密度的阴影，根据阴影浓淡的对比，可以判断被测石质构件内部的缺陷情况。

B.1.1.2 技术指标

X 射线探伤仪由操纵台、高压发射器、射线管头、冷却装置、高压线缆和低压线缆等组成，配套 ZET-1-X-RAY Image Processing System 软件进行图像处理。主要参数：管电压小于 60kV，探头尺寸 6~7cm，输入功率 1.2kW，焦点尺寸 $0.8 \times 0.8 \text{mm}^2$ 。

B.2 检测方法选择

B.2.1 古建筑石质构件内部缺陷可使用超声波检测仪或 X 射线探伤仪进行无损检测。

B.2.2 大量石质构件内部缺陷的普查，宜采用探地雷达仪检测。

B.2.3 需对石质构件内部缺陷进行定量检测时，可结合使用 X 射线探伤仪检测。

B.3 检测程序

B.3.1 探地雷达仪检测程序

B.3.1.1 根据石材材质，标定受检石质构件的介电常数和波速。

B.3.1.2 在受检石质构件表面进行布点，根据构件截面尺寸设定测试路线。

B.3.1.3 进行雷达系统联机后，将天线沿构件表面测试路线移动扫描。

B.3.1.4 测试采用连续与点测相结合的扫描方式，对梁跨中、支座等重点部位采用点测。

B.3.1.5 利用雷达附带数据处理软件系统对所采集的实测数据进行分析处理。

B.3.2 X 射线探伤仪检测程序

B.3.2.1 选定石质构件待测区域，对待测区域进行布点，测试区域应有部分交叉。

B.3.2.2 使用 X 射线探伤仪对构件表面布点区域依次检测，记录出现缺陷的位置。

B.3.2.3 有明显缺陷的区域，应在该区域增加检测次数并在缺陷周边进行延伸测试，确定缺陷尺寸和范围。

B.4 结果与判定

B.4.1 X 射线探伤仪缺陷判定：X 射线探伤仪可得到石质构件内部影像，影像的灰度直观显示了石质构件内部缺陷的尺寸、形状及分布。X 射线影像灰度分布由构件不同区域对 X 射线吸收量大小决定，如图 B.2：X 射线影像由白色过渡到深灰表示对 X 射线吸收量由多到少，按表 B.1 规定，可根据灰度变化对影像内各区域是否存在缺陷进行判断。

表 B.1 受检石质构件厚度、缺陷差异与 X 射线影像关系

厚度或缺陷	吸收 X 射线量	透过 X 射线量	X 射线影像
厚	多	多	白
薄	稍少	稍多	灰
内部缺陷（孔、裂隙）	更少	更多	深灰

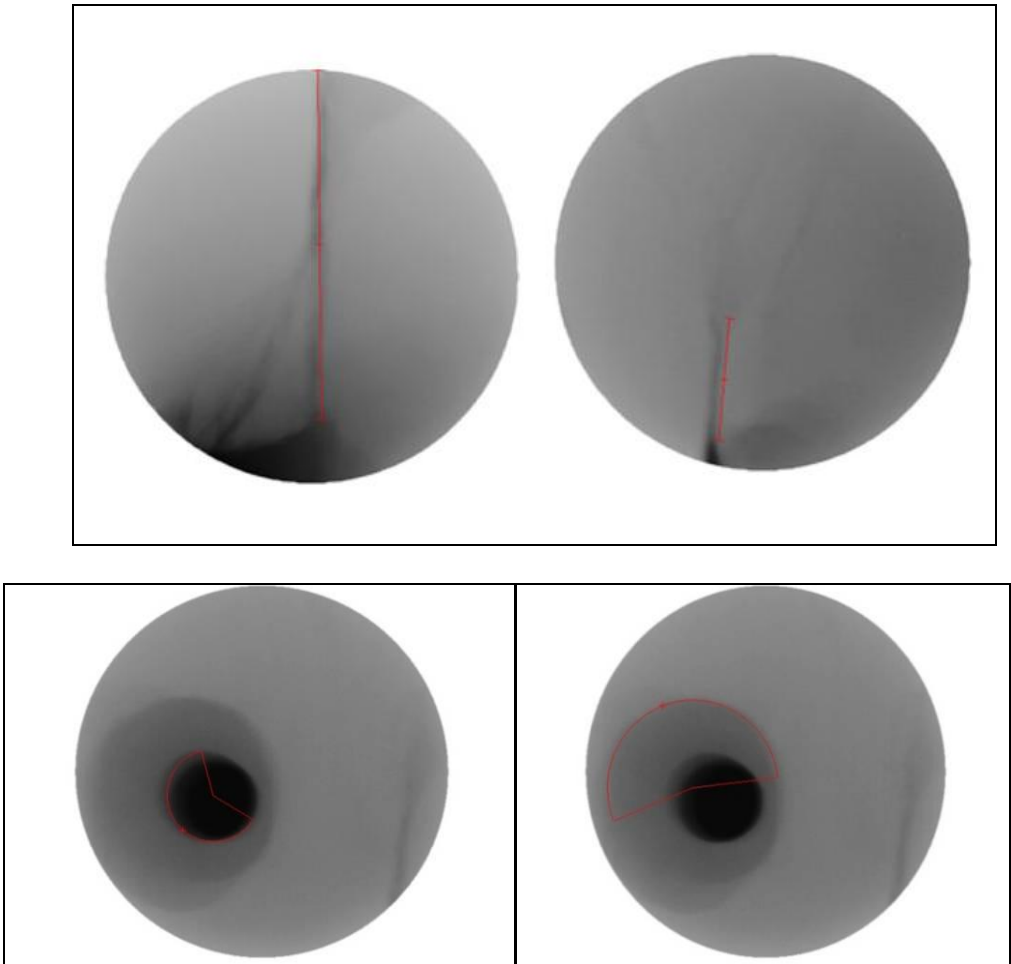


图 B.2X 射线探伤仪检测结果