

ICS 点击此处添加 ICS 号
点击此处添加中国标准文献分类号

DB11

北京市地方标准

DB 11/T XXXXX—XXXX

古建筑维护加固技术规范 石结构

Technical code for maintenance and strengthening of stone structures on
ancient buildings

征求意见稿

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

北京市市场监督管理局

发布

目 次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 基本要求	4
5 勘查	5
5.1 一般规定	5
5.2 收集资料	5
5.3 现场勘查	5
5.4 病害勘查	6
5.5 材质勘查	7
5.6 历代维护与加固勘查	7
6 评估	7
6.1 病害评估	7
6.2 安全性评估	7
7 维护	8
7.1 一般规定	8
7.2 石结构归安	9
7.3 石构件清洗	9
7.4 表面化学加固	10
7.5 生物病害的去除	10
7.6 石构件补配、修补、更换	11
8 加固	12
8.1 一般规定	12
8.2 加固设计原则	12
8.3 地基与基础加固	13
8.4 主体结构加固	15
8.5 构件加固	16
9 验收要求	16
9.1 一般规定	16
9.2 工程验收	17
附 录 A（资料性）石结构材质鉴定和性能测试	18
附 录 B（资料性）石构件受弯加固法	21
参考文献	24

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本文件由北京市文物局提出并归口。

本文件由北京市文物局组织实施。

本文件起草单位：北京市古代建筑研究所、建研科技股份有限公司、中冶建筑研究总院有限公司、中国地质大学（北京）、北京市文物古建工程公司、北京市文物建筑保护设计所、北海公园管理处。

本文件主要起草人：……。

古建筑维护加固技术规范 石结构

1 范围

本文件规定了古建筑石结构的勘查、评估、维护、加固、验收要求等。

本文件适用于下列石结构的维护与加固：

- a) 核定公布为文物保护单位的古建筑石结构；
 - b) 尚未核定公布为文物保护单位，但被登记为不可移动文物的古建筑石结构。
- 其他具有保护价值的古建筑石结构、构筑物等石结构可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 39056 古建筑砖石结构维护与加固技术规范
- GB 50003 砌体结构设计规范
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50367 混凝土结构加固设计规范
- GB 50702 砌体结构加固设计规范
- CJJ 39 古建筑修建工程质量检验评定标准（北方地区）
- JGJ 123 既有建筑地基基础加固技术规范
- JGJ 159 古建筑修建工程施工与质量验收规范
- JTG/T J22 公路桥梁加固设计规范
- DB11/T 1190.2 古建筑结构安全性鉴定技术规范 第2部分：石质构件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

古建筑 ancient building

运用传统材料、传统技术建于1840年以前的具有历史、艺术、科学、社会和文化价值的建筑物和构筑物。

[来源：GB/T 39056-2020，3.1.5]

3.2

石结构 stone structures

由石质材料搭建而成的砌体或构件。包括石砌体、石桥、石牌坊等砌体或石梁、石枋、石栏板、望柱、阶条等构件。

3.3

结构加固 **strengthening structure**

对安全性不足的石结构，整体或局部采取的增强措施。

3.4

病害 **disease**

在长期使用、保存过程中，由于自然、人类活动等因素导致的古建筑石结构在材料、结构构造、外貌形态上发生的一系列引起古建筑石结构损毁的现象。

3.5

损伤 **damage**

由于荷载作用、环境侵蚀、自然灾害和人为因素等对结构构件造成非正常的位移、变形、开裂及材料的破损和劣化等损害。

[来源：GB/T39056-2020，3.1.10]

3.6

风化 **weathering**

石结构在温度变化、水的危害、大气及生物作用等长期影响下发生的表面破坏。

4 基本要求

4.1 古建筑中石结构维护与加固应贯彻不改变原状、最低限度干预、保护文化传统、使用恰当的保护技术原则，达到防灾减灾、延年益寿的目的。

4.2 古建筑中石结构及其相关工程的维护与加固，应在对古建筑残损现状全面勘查测绘的基础上，制定周密可行的方案，明确要保持的建筑法式特征。

4.3 古建筑的维护与加固宜按照下列程序进行：

- a) 确立维护与加固的目的、范围及要求；
- b) 调查研究，确定历史年代和风格特点；
- c) 勘查；
- d) 评估；
- e) 制定维护、加固设计方案；
- f) 按照相关程序审批后进行维护、加固施工；
- g) 验收，资料归档。

4.4 勘查工作应符合最小干预的保护原则，采用无损或微损探测、原位测试与取样试验相结合的综合勘探方式进行，避免损伤古建筑本体。

4.5 石结构的维护与加固设计，应综合考虑其文物价值及技术经济效果，避免不必要的拆除或更换。

4.6 古建筑石结构的维护与加固施工应遵守下列规定：

- a) 替换下的原构件不得擅自处理，应统一交由文物主管部门处理；
- b) 若发现隐蔽结构的构造有严重缺陷，或所处的环境条件存在有害因素时，应采取措施消除隐患；
- c) 对于通过加固可以继续使用的构件应尽可能保留，石结构的加固新增部分，宜易于拆除并且不因拆除它们而损伤古建筑的原有部分。对必须更换的构件，应在隐蔽处注明更换日期；
- d) 认真做好维护与加固记录及竣工图，真实反映维护与加固过程，全套技术资料应存档备查。

5 勘查

5.1 一般规定

5.1.1 古建筑石结构勘查内容应包括：收集相关资料、现场勘查、病害勘查、材质勘查、历代维护与加固勘查。

5.1.2 勘查工作应在初步分析造成文物病害主因的基础上进行，病害主因与地基与基础（含台基）无关时，可只进行主体结构勘查；病害主因与地基与基础有关联时，应同时进行地基与基础勘查和主体结构勘查。维护与加固施工期间若发现与之前勘查结果不一致时，应进行有针对性的补充勘查。

5.2 收集资料

5.2.1 勘查时应获取历史、环境、工程与水文地质、地基与基础、主体结构、保护现状等基础资料及其他有害影响因素资料。

5.2.2 勘查资料收集宜包括下列内容：

- a) 历史文献、考古成果、历史保护等资料；
- b) 区域气象、空气质量、水文、地质、地震资料；
- c) 周边现代工程建设资料。

5.3 现场勘查

5.3.1 石结构现场勘查应包括下列内容：

- a) 建筑沉降（包括整体沉降、不均匀沉降）；
- b) 建筑倾斜；
- c) 结构布置、构造等。

5.3.2 石砌体（含石墙）勘查应包括下列内容：

- a) 砌体轴线位移变化；
- b) 基础和砌体顶面标高变化；
- c) 砌体厚度变化；
- d) 砌体墙面垂直度变化；
- e) 砌体墙面平整度变化；
- f) 砌体水平灰缝平直度变化；
- g) 是否内外搭砌、上下错缝；
- h) 拉结石、丁砌石设置方式；
- i) 砌体灰缝是否密实饱满，深浅一致；
- j) 灰浆的品种及配比，是否符合古建常规做法。

5.3.3 石桥、石拱券勘查应包括下列内容：

- a) 梁式桥上部承重构件控制截面的开裂情况；
- b) 梁式桥组合结构上部承重构件结合面的开裂情况；
- c) 梁式桥上部承重构件稳定情况（是否有严重的异常位移，存在失稳现象）；
- d) 主体结构梁板完好情况（是否有落梁、或有梁、板断裂）；
- e) 结构永久变形情况；
- f) 拱式桥拱脚变形情况（是否有严重错台、位移）；
- g) 拱圈变形情况；

- h) 拱桥拱圈的砌体完好情况（是否有断裂、脱落）；
- i) 腹拱、侧墙、立墙或立柱的受力情况（是否有受剪破坏）；
- j) 桥墩(桥台或基础)的稳定性。

5.3.4 石牌坊现场勘查，应包括以下内容：

- a) 整体变位及支承状态；
- b) 倾斜、位移及扭转情况；
- c) 构造与连接等。

5.4 病害勘查

5.4.1 非结构病害

5.4.1.1 非结构病害分为表面风化病害和浅表性裂隙病害、生物病害、表面污染病害。

5.4.1.2 表面风化病害和浅表性裂隙病害包括：

- a) 表面泛盐病害；
- b) 表层片状剥落病害；
- c) 鳞片状起翘与剥落病害；
- d) 表面溶蚀病害；
- e) 孔洞状风化病害；
- f) 浅表性裂隙病害。

5.4.1.3 生物病害包括：

- a) 植物病害；
- b) 动物病害；
- c) 微生物病害。

5.4.1.4 表面污染病害包括：

- a) 大气及粉尘污染；
- b) 水锈结壳；
- c) 人为污染。

5.4.2 结构病害

5.4.2.1 结构病害可分为构件级别病害和结构级别病害。

5.4.2.2 构件级别的病害：

- a) 机械裂隙病害；
- b) 构造裂隙（原生裂隙）病害；
- c) 构件空鼓病害。

5.4.2.3 结构级别的病害：

- a) 歪闪倾斜病害；
- b) 鼓胀、内陷病害；
- c) 沉降病害；

d) 水平位移病害。

5.5 材质勘查

石结构应进行石材种类鉴别,必要时可进行岩石学名称鉴定、物理性能测试、力学性能测试和评价、风化程度和风化深度的判定。石结构材质鉴定和性能测试参见附录 A。

5.6 历代维护与加固勘查

古建筑的历代维护与加固应查清:结构形式、使用功能、受力状态是否发生改变;是否出现新的变形、位移、裂缝等;是否存在因维修与加固不当而造成的不良影响。

6 评估

6.1 病害评估

6.1.1 病害分为非结构病害和结构病害。

6.1.2 对于非结构病害,不需要进行评估。根据病害类别,选取有针对性的维护方法,先进行现场试验后再确定详细的施工方案。

a) 表面风化病害和浅表性裂隙病害处理可参考本标准 7.3、7.4;

b) 生物病害处理可参考本标 7.5;

c) 表面污染病害处理可参考本标准 7.3。

6.1.3 对于结构病害应进行安全性评估,根据安全性评估结果确定相应的处理建议。

6.2 安全性评估

6.2.1 下列情况下应进行安全性评估:

a) 建筑物发生变形、倾斜、沉降;

b) 建筑结构构件损坏或缺失;

c) 主要承重结构发生严重危险需要抢险时;

d) 经定期检查或全面检查,发现文物建筑存在安全隐患时。

6.2.2 古建筑石结构的安全性评估应依据 GB/T39056 中相关条款执行。安全性评估分为两级评估。第一级评估应以外观损伤等宏观控制和构造鉴定为主进行综合评定,第二级评估应以承载能力验算为主进行综合评定。

6.2.3 古建筑石结构的第一级安全性评估各层次分级标准及处理建议应符合表 1 的规定。

表1 第一级评估各层次分级标准

层次	鉴定对象	等级	分级标准	处理建议
一	单个构件	a1	符合 a1 级的要求,具有足够的承载能力,安全	不需要进行处理
		b1	不符合 a1 级的要求,有缺陷	需要进行处理
		c1	不符合 a1 级的要求,存在安全隐患,危险	需要采取应急措施

表1 第一级评估各层次分级标准（续）

层次	鉴定对象	等级	分级标准	处理建议
二	分部结构	A1	符合 A1 级的要求,具有足够的承载能力,安全	不需要进行处理
		B1	不符合 A1 级的要求,有缺陷	需要进行处理
		C1	不符合 A1 级的要求,存在安全隐患,危险	需要采取应急措施
三	整体结构	I	符合 I 级的要求,具有足够的承载能力,安全	不需要进行处理
		II	不符合 I 级的要求,有缺陷	需要进行处理,并需要进行第二级评估
		III	不符合 I 级的要求,存在安全隐患,危险	需采取应急措施,并需要进行第二级评估

6.2.4 古建筑石结构的第二级安全性评估各层次分级标准及处理建议应符合表 2 的规定。

表2 第二级评估各层次分级标准

层次	鉴定对象	等级	分级标准	处理建议
一	单个构件	a	符合 a 级的要求,具有足够的承载能力	不需要进行处理
		b	不符合 a 级的要求,尚不显著影响承载能力	可不进行处理
		c	不符合 a 级的要求,显著影响承载能力	应进行处理
		d	极不符合 a 级的要求,已严重影响承载能力	应立即进行处理
二	分部结构	A	符合 A 级的要求,具有足够的承载能力	不符合要求的次要构件宜进行适当处理
		B	不符合 A 级的要求,尚不显著影响承载能力	不符合要求的构件应进行处理
		C	不符合 A 级的要求,显著影响承载能力	应进行处理,且不符合要求的构件应立即进行处理
		D	极不符合 A 级的要求,已严重影响承载能力	应立即进行处
三	整体结构	一	符合一级的要求,具有足够的承载能力	不符合要求的次要构件宜进行适当处理
		二	不符合一级的要求,尚不显著影响整体承载	不符合要求的构件应进行处理
		三	不符合一级的要求,显著影响整体承载	应进行处理,且不符合要求的构件应立即进行处理
		四	不符合一级的要求,已严重影响整体承载	应立即进行处理

7 维护

7.1 一般规定

7.1.1 根据勘察及评估的结果,非结构病害进行维护。

7.1.2 古建筑石结构的维护一般应包括:石结构归安;石构件清洗;表面化学加固;生物病害的去除;石构件补配、修补、更换。

7.1.3 古建筑石结构在下列情况下应进行维护：

- a) 建筑内外装饰损坏等影响正常使用时；
- b) 古建筑石结构产生不影响结构安全的变形时；
- c) 古建筑石结构表面存在污染时；
- d) 古建筑石结构表面风化时；
- e) 古建筑石结构表面存在生物病害时。

7.1.4 石结构的维护与加固宜使用原材料及原工艺，当采用新材料和新工艺时，应符合下列规定：

- a) 可识别；
- b) 不应采用对石材有害的材料；
- c) 应有可靠的科学依据和完整的技术资料；
- d) 应有操作规程及质量检查标准。

7.2 石结构归安

7.2.1 石结构归安要求：

- a) 石结构归安应遵循不改变文物原状的原则；
- b) 石结构拆除前应记录构件规格尺寸、材质类型、灰浆种类、砌筑方式、损坏程度等信息，做好影像及文字记录，构件拆卸前应做好编号，以便原位归安；
- c) 最小干预原则，拆除时应最大限度的保留原构件，对于破损断裂部位，在确保结构稳定性的前提下能修复的尽量采取修复措施，对于无法修复的部位需要补配的，补配石料材质和颜色应与原石材相同或相近，且应在隐蔽部位标注修复日期；
- d) 石结构拆卸前应做好周边其它结构的加固支顶工作，不可因拆卸对其它石结构的稳定性造成干扰，必要时需先拆除上部关联构件，降低荷载后再拆除需修复的石结构
- e) 石结构归安应满足原材料、原结构、原形制、原工艺的要求，且应符合设计方案要求。

7.2.2 工艺流程：

拆卸石构件 → 清铲灰浆结合层 → 原位归安 → 灌浆打点 → 勾缝

7.2.3 操作方法：

- a) 拆卸石构件：将石构件轻轻撬动拆下。撬动时不应伤及棱角。有多个石构件时应编号。拆卸前应对石构件棱角加以保护，不应使旧的石构件产生新的损伤；
- b) 清铲灰浆结合层：用鏊子剔除粘在石构件或砌体上的灰浆结合层，清扫基层浮土，用水冲净；
- c) 原位归安：将走闪旧石构件拆下后铺坐灰浆，重新安装。安装就位后用石片或铸铁片背山，使构件稳固。归安的石构件应与原有石构件平直、齐顺，缝隙符合要求；
- d) 灌浆：用灌浆方法稳固的，应先用麻刀灰勾缝，细缝用油灰或石膏浆勾缝。安装面积大的应多设置浆口。从浆口向里先灌适量清水，用桃花浆或生石浆分 3 次灌入，每次间隔应在 4h 以上；
- e) 打点、勾缝：旧石构件归安后，对接缝处进行修理，将灰缝勾严勾平。

7.3 石构件清洗

7.3.1 清洗要求：

- a) 清洗结束后，不在文物上留下有害物质，不引起二次污染；

- b) 能有效清除文物表面污染物和文物材质孔隙中的深层污染物；
- c) 不伤害文物本体，施工速度可以控制，并根据施工情况进行调节，可随时开展和终止；
- d) 以保护为主要目的施工，总体上遵循“最小干预”的原则。

7.3.2 清洗方法：

- a) 一般污染及轻微风化的石构件，可利用去离子水清洗。使用工具：软牙刷、毛刷。首先对石构件表面用去离子水进行浸润，浸润期间用软牙刷等工具对石构件表面附着的尘土、风化产物等污染物进行清洗。最后使用去离子水进行冲洗；
- b) 微生物（地衣、菌类、藻类）污染物、积尘水垢以及油类污染物，使用饱和蒸汽与去离子水进行清洗；
- c) 对石质文物表面的水垢结壳，以及部分与文物本体粘结力较强的污染物采用机械清洗法。可使用竹签、医用手术刀或者微粒子喷射来清洗。使用微粒子喷射清洗时应根据被清洗文物的石料、部位和污垢选择粒子材料，带有雕刻的石构件不宜使用微粒子喷射清洗；
- d) 针对石构件表面可溶盐的处理可以使用纸浆吸附法，可使用纸浆、纸巾、脱脂棉、纱布、活性白黏土等，用去离子水湿润敷在石构件上，外面再覆盖塑料薄膜。过一段时间揭开薄膜，使吸附材料干燥。随着外表面水分的蒸发，盐溶液向外迁移，逐渐转移到吸附物上。可用测定吸附材料电导率来检验除盐量。

7.4 表面化学加固

7.4.1 表面化学加固要求：

- a) 没有有害副产物产生；
- b) 无毒；
- c) 透气性好；
- d) 渗透深度大，可渗透到没有风化的石材部位；
- e) 强度增加应大于 50%、小于 100%；
- f) 加固前后色差值不大于 3；
- g) 应具有可再处理性。

7.4.2 石结构表面风化可根据风化程度对其采取表面渗透加固与防护处理。

7.4.3 表面渗透加固，应对主要的加固材料、溶剂、浓度，加固中的工艺过程如加固方法、工具及浓度梯度等进行研究。并掌握加固过程的养护条件、完善加固效果的评估方法，尤其是应论证表面渗透加固对石结构文物颜色及加固材料老化后的影响。

7.4.4 表面封护处理，应研究拟使用的材料成分、性能指标（如透光性、耐酸性、毒性等），确定封护处理的工艺，如浓度配方、施涂工具与方法、成膜养护条件等，并进行封护效果评估。

7.5 生物病害的去除

7.5.1 生物病害的去除要求：

- a) 先考虑物理方法，再考虑化学方法；
- b) 去除材料要无毒或者低毒；
- c) 去除材料要低残留；
- d) 去除材料不能污染石材表面。

7.5.2 文物建筑中的石结构维修过程中，应根据现场情况对于石结构中的杂草、灌木给予去除。

7.5.3 杂草、树木去除应遵循以下原则：

- a) 杂草、灌木去除宜采用机械方式去除，机械去除过程中应剔除侵入石结构内部的草木根茎；
- b) 当采用化学制剂对杂草、灌木进行去除时，应采用注射方式操作；杀草剂应选择低毒、环保、对石本体无危害，对后期保护处理无不良影响的药剂；
- c) 杂草、灌木去除过程中不得采用火烧、直接拔出等手段；
- d) 剔除完成后应对破损部位进行修补与复原。

7.5.4 微生物病害去除：

- a) 苔藓地衣去除宜采用机械方式去除；
- b) 当采用化学制剂对微生物进行去除时，应选择低毒、环保、对石本体无危害，对后期保护处理无不良影响的药剂；
- c) 剔除完成后应对破损部位进行修补与复原。

7.6 石构件补配、修补、更换

7.6.1 石构件补配、修补、更换要求：

- a) 石结构的补配、修补、更换应遵循“不改变文物原状”的原则，用于补配、修补、更换的石材种类、构件的规格尺寸、砌筑方式、雕刻纹饰等应与原构件相同；
- b) 对于年代久远、工艺珍惜、具有特殊价值的石构件应尽量采取修补、加固等措施，不宜进行更换；
- c) 对于具有一定历史人文或考古信息的遗存痕迹，在不影响结构稳定性的情况下应予以保留。
- d) 石构件更换应在确保石结构整体稳定性的情况下进行；
- e) 应遵循“最小干预”原则，避免大量更换旧石构件，添加新石构件。

7.6.2 石结构补配

7.6.2.1 对于石结构中缺失的石构件可采取补配的措施。

7.6.2.2 石结构补配前应明确缺失石构件在建筑物的位置、作用、石材种类、表面做法及安装要求等信息。

7.6.2.3 石结构补配宜按下列步骤进行：

- a) 石构件制作：补配选用的石料应挑选与原石材种类相同，无瑕疵、隐裂、纹斑或质地不均匀的石料，石构件加工制作应使用传统工具并按传统工艺进行打荒、弹扎线、打扎线、小面弹线、大面装线抄平、砍口、齐边等操作工序，然后根据原做法和设计方案要求进行雕刻、表面刷道、剁斧、砸花锤或磨光、扁光等处理；
- b) 石构件安装：石构件安装前应核对构件所在位置、标高、与古建筑的关系等信息，拴好垂直和水平控制线，对于不稳定的构件可使用铸铁片进行背山、垫稳、找平，石构件垫稳后在缝隙内塞入干硬性灰浆，灰浆应塞实、塞严，用灌浆方法稳固的，应先用麻刀灰勾缝后再进行灌浆；
- c) 修活、打点：石构件安装后应对接槎、水平缝等处进行修活打点，将局部凸起处用剁斧或扁子修平；
- d) 勾缝：石构件补配完成后用与原灰缝材料一致的材料将缝子勾抹严实。

7.6.3 石结构修补

7.6.3.1 对于石结构中存在局部破损、残缺、开裂等现象，但不影响其结构稳定性和使用功能的情况时，可对其采取修补措施。

7.6.3.2 当石结构表面存在轻微破损、残缺现象时可使用相同材质的石材研磨成石粉，掺入粘合剂后对其进行修补，待修补面固化后应参照构件表面做法对其进行雕刻、刷道、剁斧等表面处理。

7.6.3.3 对于石结构存在较大的破损、残缺现象时，可采用同材质的石材进行粘接修补，修补前需将破损处剔凿成规整的凹槽状，然后将修补石材加工成与凹槽尺寸接近的形状，将凹槽内清理干净后均匀的涂上粘合剂，然后将石材镶嵌于凹槽内，待粘合剂完全固化后还需根据石结构表面做法对修补处进行雕刻、刷道、剁斧等表面处理。

7.6.3.4 当石结构中非承重构件出现裂隙时可采取裂隙注浆和安装铁锏、银锭隼等修补方法，操作方法为可使用注射器将环氧树脂、水硬性石灰等粘接剂注入到石材裂隙中，待粘合剂固化后在裂隙表面剔凿出倒置等腰梯形，恰似银锭状，将此凹槽填以一体的生铁锭或石料，即形成了一对牢固的银锭榫卯结构，也可在裂隙上并排布置生铁锏，对裂隙进行加固。

7.6.3.5 在粘接剂的选择上宜选择黏度适中，便于短时间内在修补面上铺展，也更易于渗入石材孔隙内；固化时间适中，放热小、收缩小；固化后强度适中，具有好的黏结能力，不改变文物外观，耐老化的材料。

7.6.4 石构件更换

7.6.4.1 当受力石构件出现较为严重的破损、裂隙、断裂或风化病害时，可对该构件进行更换。

7.6.4.2 在构件拆卸前首先应对石构件的尺寸、所在建筑物的位置、石材种类、表面做法及安装要求等信息进行详细记录。

7.6.4.3 对石构件进行拆卸前应对周边石结构进行支顶加固，拆卸时应注意不要伤及周边石构件棱角，有多个石构件拆卸时应进行编号并记录所在位置。

7.6.4.4 替换石构件的制作与安装可按本章节 7.6.2.3 进行。

8 加固

8.1 一般规定

8.1.1 根据勘察及评估的结果，结构病害进行加固。

8.1.2 加固应在结构变形稳定的条件下进行，并应区分轻重缓急病害，按不同要求进行处理。

8.1.3 加固不能破坏建筑的法式特征，不宜改变原有结构的受力体系。

8.1.4 加固过程中不能采取对石材有害的材料，所用材料应尽可能与原有结构材料相匹配。加固措施完成后不应有非必要的残留物质。

8.1.5 对因断裂而丧失承载力的横向受力构件可另加支撑，新增支撑应可识别；传统方法无法解决的，也可采用植筋、碳纤维、粘贴等措施加固。

8.1.6 加固部分宜与原结构采取可去除的隔离措施，以实现可逆化加固。

8.1.7 对加固过程中可能出现断裂或坍塌的石结构，应在加固设计文件中提出相应的临时性安全措施，并明确要求施工单位必须严格执行。

8.2 加固设计原则

8.2.1 古建筑石结构的加固设计，应采用线弹性分析方法计算结构的作用效应，并应符合 GB50702 的有关规定。

8.2.2 验算古建筑中石结构的承载能力时，其作用应依据建筑的现状使用功能确定，作用的组合、作用的分项系数及组合值系数，可按照 GB50009 的规定采用。

8.2.3 结构的重要性系数 γ_0 按下列规定确定：

- a) 国保类，重要性系数取 1.2；
- b) 省保类，重要性系数取 1.1；
- c) 其他类，重要性系数取 1.0。

8.2.4 石砌体强度参数（标准值与设计值）和弹性模量应依据石砌体的残损情况实测确定，当无实测条件时，一般可按下列规定采用：

- a) 按照 GB50003 的规定采用，并乘以折减系数 0.9，有特殊要求者另行确定；
- b) 对外观已显著变形或石材已明显风化、酥碱的构件，尚应乘以表 3 考虑长期荷载作用和风化影响的调整系数。

表3 长期荷载作用和风化、酥碱影响的调整系数表

古建筑物修建距 1840 的时间（年）	调整系数		
	抗压设计强度	抗弯和抗剪设计强度	弹性模量
100	0.90	0.85	0.90
300	0.80	0.85	0.85
>500	0.75	0.70	0.75

8.2.5 古建筑中石结构应按 GB50003 的有关规定验算其承载能力，并应遵守下列规定：

- a) 当墙体存在较大变形时，计算有效厚度应按墙体的实际情况确定，并考虑二阶效应对墙体受力的影响；
- b) 若原有构件已部分缺损或酥碱，应按剩余的截面进行验算。

8.2.6 古建筑中石构件应按 DB11/T 1190.2 的有关规定验算其承载能力，若原有构件已部分缺损或酥碱，应按剩余的截面进行验算。

8.2.7 古建筑石结构加固包括地基与基础加固、主体结构加固。

8.2.8 主体结构加固分为墙体加固、拱券结构加固、石构件加固、断裂石构件修复加固。

8.2.9 现状结构为危险的石结构构件，应优选支撑或局部更换等传统加固方法；必要时也可采取碳纤维加固、钢筋网-聚合物砂浆加固、体外预应力加固、角钢打包带加固等措施。

8.2.10 对使用胶粘方法或掺有聚合物加固的结构、构件，尚应定期检查其工作状态。检查的时间间隔可由设计单位确定，但第一次检查时间不应迟于 10 年。

8.3 地基与基础加固

8.3.1 古建筑无显著的不均匀沉降、倾斜，且其使用功能无大的变更时，一般不宜对地基与基础有大的扰动。

8.3.2 对于安全性评估后确需进行地基与基础加固的，选择加固方法时，应综合考虑当地工程地质和水文地质资料、地基受力影响深度、材料来源和施工设备等条件，并应考虑主体结构、基础和地基的共

同作用，进行多种方案的技术经济比较，选用地基处理或加强主体结构与地基处理相结合的方案。地基的加固方法选用见表4，基础的加固方法选用见表5。

表4 地基加固方法

加固方法	适用范围
1、木桩法	适用于软弱地基土层的加固。
2、石灰桩法	适用于处理水位以下的粘性土、粉土、松散粉细沙、淤泥、淤泥土质、杂填土或饱和黄土等地基及基础周围土体的加固。
3、树根桩法	适用于淤泥、淤泥土质、粘性土、粉土、沙土、碎石土及人工填土等地基土上既有建筑的修复和增层。
4、坑式静压桩法	适用于淤泥、淤泥土质、粘性土、粉土和人工填土等地基加固，且地下水位较低的情况。
5、锚杆静压桩法	适用于淤泥、淤泥土质、粘性土、粉土和人工填土等地基加固。
6、注浆加固法	适用于沙土、粉土、粘性土和人工填土等地基加固。一般用于防渗堵漏、提高地基土的强度和变形模量以及控制地基沉降等。
7、深层搅拌法	适用于处理淤泥、淤泥土质、粉土和含水量较高的粘性土的地基。
8、灰土挤密桩法	适用于处理地下水位以上的失陷性黄土、素填土和杂质土等地基。
9、高压喷射注浆法	适用于淤泥、淤泥土质、粘性土、粉土、黄土、沙土、人工填土和碎石土等地基加固。

表5 基础的加固方法

加固方法	适用范围
1、加大基础底面积法	适用于既有建筑的地基承载力或基础底面积尺寸不满足设计要求的基础加固。
2、基础补强注浆加固	适用于因不均匀沉降、冻胀或其他原因引起的基础裂损的加固。

8.3.3 地基处理方法的确定宜按下列步骤进行：

- a) 根据结构类型、荷载大小及使用要求，结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、环境情况和对邻近建筑的影响等因素进行综合分析，初步选出几种可供考虑的地基处理方案，包括选择两种或多种地基处理措施组成的综合处理方案；
- b) 对初步选出的各种地基处理方案，分别从加固原理、适用范围、预期处理效果、耗用材料、施工机械、工期要求和对环境的影响等方面进行技术经济分析和对比，选择最佳的地基处理方法；
- c) 对已选定的地基处理方法，应按建筑物地基基础设计等级和场地复杂程度以及该种地基处理方法在本地区使用的成熟程度，在场地有代表性的区域进行相应的现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求时，应查明原因，修改设计参数或调整地基处理方案。

8.3.4 地基与基础加固设计应符合 JGJ123 的要求，并应符合下列规定：

- a) 应验算地基承载力；

- b) 应计算地基变形;
- c) 应验算基础抗弯、抗剪、抗冲切承载力;
- d) 受较大水平荷载或位于斜坡上的既有建筑物地基与基础加固,以及邻近新建建筑、深基坑开挖、新建地下工程基础埋深大于既有建筑基础埋深并对既有建筑产生影响时,应进行地基稳定性验算。

8.3.5 加固时应采取有效措施防止对古建筑及邻近建筑产生不良影响。

8.3.6 对处在湿陷性黄土、膨胀土、冻土等特殊土地地区的古建筑,应按相应的现行有关标准执行。

8.3.7 对于实施地基与基础加固的古建筑,宜在施工期间设置现场监测系统,当发现异常情况时,应及时分析原因并采取有效处理措施。并应在施工完成后一定时期内进行沉降观测,直至沉降达到稳定为止。

8.4 主体结构加固

8.4.1 墙体加固

8.4.1.1 墙体裂缝的加固应根据成因采取不同的处理方法。因地基不均匀沉降产生的斜裂缝,应于地基基础沉降稳定或地基进行加固处理后再进行处理;因墙体倾斜、扭转而造成的裂缝,应于结构整体整修复位后方可进行处理。

8.4.1.2 结构裂缝的修补应根据其种类、性质及出现部位进行设计,选择适宜的修补材料、修补方法和修补时间。

8.4.1.3 修补裂缝应符合下列规定:

- a) 石块材开裂修补应阻止水或其他有害物质进入裂隙;修补填充应注意材料的匹配性,修补主体材料应与修补对象材质相同或相近;修补后表面感观应协调一致;
- b) 石材间砌筑灰缝修补应采用传统材料、传统工艺进行,慎用现代材料。修补以勾缝、填补为主,勾补前应按实际情况对灰缝进行必要的清理。灰缝填补应充盈整个裂隙,并应采取防护措施,避免污染周围;
- c) 石结构内部有空鼓时宜采用压力灌浆法;压浆的材料宜采用无收缩灌浆料;空气压缩机的压力宜控制在 0.2MPa~0.3MPa;压浆时应严格控制压力,防止损坏边角部位和小截面的砌体,必要时,应作临时性支护;
- d) 坍塌部位应采用原材料原工艺进行补砌;
- e) 鼓闪比较严重的部位,宜增加拉结措施。

8.4.2 拱券加固

8.4.2.1 当拱券结构承载力、稳定性、整体性及耐久性不满足要求时应进行加固。

8.4.2.2 新增加固部分应对原有本体部分尽量小的干预,并应做到可逆、可识别。

8.4.2.3 拱券结构加固可根据拱券结构病害情况依据 JTG/T J22 选用拱下增设支承拱、拱背加大截面、调整拱上建筑恒载以及增加横向整体性等方法。

8.4.2.4 加固设计计算应按照 JTG/T J22 的规定进行,并应考虑结构损伤、材料劣化、新旧材料的结合性能及材性差异等因素的影响。材料、几何等参数应通过实测确定。因加固导致恒载增加时,应对拱座及基础进行验算。

8.4.2.5 拱下增设支承拱加固时，新增恒载、临时卸除荷载的恢复及使用荷载由加固后的组合截面拱承担。

8.4.2.6 拱背加大截面加固新增部分与原砌体结合面应考虑有足够的抗剪能力。采用增大截面或在主拱券上粘贴钢板或纤维复合材料加固时，应根据平截面假定计算原拱券和新增部分的应力，并应分阶段计算受力。

8.4.2.7 调整拱上建筑恒载加固时的构造处理应与桥面系维修同时考虑。

8.4.2.8 更换破损的石质构件应逐个或小批量分次进行，修补用的石材强度指标不应低于原构件，必要时应采取临时支撑措施

8.5 构件加固

8.5.1 梁板式石构件加固

8.5.1.1 梁板式构件发现结构病害时应进行加固。

8.5.1.2 文物保护单位等级高的梁板构件宜进行可逆的预防性加固。

8.5.1.3 构件加固承载力不宜考虑原石构件承载能力，加固部分承载能力应可承受结构自重及使用荷载。

8.5.1.4 传统做法不能满足加固要求时，梁板式石构件可采用碳纤维加固、钢筋网—聚合物砂浆加固、角钢—打包带加固、体外预应力加固，见附录 B。

8.5.2 断裂石构件修复加固

8.5.2.1 断裂石构件宜采用粘接进行修复，受力构件应增设可靠的拉结措施。

8.5.2.2 断裂石构件的粘接修复，应使用与石材性能相匹配的胶粘剂。当石构件受力较大或石材的性能较差时，除选用低强度胶粘剂修复外，尚应借助拉结措施来固定石材。石材粘接面应清理干净，加固剂均应渗透到石材空隙内。

8.5.2.3 粘接施工时宜施加压力，以保证界面粘接性能。

8.5.2.4 拉结措施宜采用铁钎、石榫等传统方式，传统方式不能满足加固要求时，也可采用植筋加固。

9 验收要求

9.1 一般规定

9.1.1 古建筑中石结构的维护与加固工程的验收应按 JGJ159、CJJ39 及本规范的规定和设计要求进行。

9.1.2 重点维修工程、迁建工程和局部复原工程的维护与加固，均应分阶段验收，并填写隐蔽工程检查验收记录。全部工程项目完成后，应由文物主管部门会同有关单位进行总验收。

9.1.3 维护与加固工程验收时，施工单位应提供下列文件：

- a) 竣工图纸，并在图中注明施工中所有更改的内容；
- b) 隐蔽工程检查验收记录；

- c) 原材料的质保书和质量复测报告；
- d) 维修与加固工程的施工方案和原有工程的调研资料；
- e) 全部设计文件及修改文件。

9.2 工程验收

9.2.1 古建筑石结构维护与加固工程的施工质量应按下列要求进行验收：

- a) 维护与加固工程施工质量应符合本规范和相关专业验收标准的规定，以及加固设计文件的要求；
- b) 参与维护与加固工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格；
- c) 维护与加固工程质量验收应在施工单位自行检查评定合格的基础上进行；
- d) 隐蔽工程应在隐蔽前已由施工单位通知有关单位进行了验收，并形成验收文件；
- e) 涉及结构安全的检验项目，已按规定进行了见证取样检测，其检测报告的有效性已得到监理人员检查认可。

9.2.2 古建筑石结构维护与加固工程竣工验收应提供下列文件和记录：

- a) 设计变更及洽商文件；
- b) 原材料、产品出厂检验合格证及现场抽样复验报告；
- c) 施工过程质量控制记录；
- d) 隐蔽工程验收记录；
- e) 维护与加固工程质量问题的处理方案和验收记录；
- f) 其他必要的文件和记录。

附 录 A

(资料性)

石结构材质鉴定和性能测试

A.1 基本要求

石结构材质鉴定和性能测试的基本要求：

- a) 岩石学名称的鉴定；
- b) 物理性能的测试；
- c) 力学性能的测试和评价；
- d) 风化程度和风化深度的判定。

A.2 岩石学名称的鉴定

A.2.1 现场描述石质材料的颜色、构造、矿物成分、颗粒大小、颗粒之间的胶结情况，并初步判断岩石学名称。北京地区的石质古建筑主要由大理岩、石灰岩、白云岩、花岗岩、砂岩建造的。

A.2.2 薄片鉴定：根据 WW/T 0063 的要求在古建筑上采集代表性的样品，切割并制作薄片，薄片制作方法按照 SY/T 5913 的相关规定执行。在偏光显微镜下观察薄片，并描述其结构、构造、矿物成分及含量、填隙物、孔隙特征等。薄片的鉴定方法参考 SY/T 5368。同时进行矿物成分和化学成分的测定。根据薄片镜下观察结果，参考矿物成分和化学成分的测试结果结合现场判断，鉴定样品的岩石学名称。

A.2.3 矿物成分测试：采用 X 射线衍射定量分析方法测试样品的矿物成分及含量。取少量古建筑石材用研钵盆研磨至粒径小于 0.040mm 的粉末，低温烘干（小于 60℃）冷却至室温，进行矿物成分测试。测试和鉴定方法依据 SY/T 5163。对于砂岩、凝灰岩等含有黏土矿物较多的样品，采用自然试片、乙二醇饱和试片和高温试片的衍射峰面积差减法测定各黏土矿物的相对含量。黏土矿物种类主要包括高岭石、蒙皂石、伊利石、绿泥石、伊利石/蒙皂石间层矿物、绿泥石/蒙皂石间层矿物。使用本部分测试人员应具有在正规实验室工作的实践经验。

A.2.4 化学成分测试：采用 X 射线荧光光谱法测定古建筑石材的化学成分。采用熔融法或粉末压片法制样并进行化学成分测定。熔融法依据 GB/T14506.28 规范，粉末压片法依据 DZ/T 0279.1 规范。使用本部分测试人员应具有在正规实验室工作的实践经验。

A.3 物理性能的测试

A.3.1 古建筑物理性质的测试项目应包括块体密度、颗粒密度、吸水率、孔隙率等。有要求时，还可以测定其孔径分布、吸水性能等。

A.3.2 块体密度宜采用水中称量法测定，但对于遇水崩解、溶解和掉块的样品，应采用蜡封法测定。测定块体密度时，所需样品宜大于 15 克，不能小于 5 克。上述两种测定方法依据 GB/T 50266 规范。

A.3.3 颗粒密度宜采用比重瓶法测定。测试时，使用容积为 50ml 的短颈比重瓶。所需样品约为 10 克。测定方法依据 GB/T 50266 规范。

A.3.4 孔径分布可采用压汞法测定，依据 GBT 21650.1 规范。

A. 3.5 吸水性能用毛细吸水系数表征。在古建筑现场，可采用卡斯特量瓶法测定，测试和计算方法依据 WW/T 0063 规范；在实验室内可以采用吸水定时称重法测定。

A. 4 力学性能的测试和评价

A. 4.1 古建筑石材力学性能的测试项目应包括单轴抗压强度、抗拉强度（巴西劈裂强度）、弹性模量等。应进行建造材料的采石场调查并取样，或者利用古建筑更换或塌落下来的构件取样进行测试。测试方法应按照 GB/T 50266 的相关规定执行。若无法在建造材料的采石场取样、无更换或塌落下来的构件，可采用超声波仪、回弹仪、里氏硬度等无损或微损方法间接地测定古建筑石构件的力学性质。

A. 4.2 超声波仪测试

测试区域、测试方法、数据处理等可依据 DB11/T1190.2 中的附录 B 古建筑石质构件力学性能超声波检测方法。

A. 4.3 回弹仪测试

如果古建筑石构件表层较致密，可使用回弹仪间接测定石构件的力学强度。回弹仪的测试方法和石构件单轴抗压强度的确定依据 WW/T 0063 规范的规定。

A. 4.4 里氏硬度计测试

对于表层劣化严重或胶结性差的古建筑石构件，可选用里氏硬度计间接测定石构件的力学强度。测试要点如下：

- a) 宜选用 D 型（标准型）冲击装置，对于风化严重的构件可选用 C 型冲击装置；
- b) 每个测区内不少于 5 个测点，各测点间距应大于 2cm，每个测点只测试一次；
- c) 石构件的单轴抗压强度（UCS）可根据其里氏硬度值由下式计算得到：

$$UCS = 8 \times 10^{-6} L^{2.5} \quad (R^2=0.77) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

UCS——单轴抗压强度，单位为 MPa；

L ——使用 D 型冲击装置测定的里氏硬度值。

R^2 ——判定系数， R^2 值越接近 1，说明回归方程对观测值的拟合程度越好。

A. 5 风化程度和风化深度的判定

A. 5.1 风化程度的判定

石构件的风化程度可用风化系数来表示。风化系数可由石构件的纵波波速测值得到。石构件纵波波速依据 WW/T 0063 和 DB11/T1190.2 规范来测定。纵波波速测定后，石构件的风化系数 F_s 可以按照下式确定：

$$F_s = \frac{V_{p0} - V_p}{V_p} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

V_{p0} ——新鲜岩石的纵波波速；

V_p ——古建筑石构件的纵波波速。风化系数越大，风化程度越高，具体的评价与分级要求可按照表 A1 执行。

表 A.1 岩石风化系数 F_s 风化程度分级表

风化程度	风化系数 F_s
未风化	$F_s < 0.10$
微风化	$0.10 \leq F_s < 0.25$
弱风化	$0.25 \leq F_s < 0.50$
强风化	$F_s \geq 0.50$

对于无法确定新鲜岩石纵波波速的情况，可根据石构件的岩石学名称，查询相关手册通过经验来确定。

A.5.2 风化深度的判定

对于风化深度在 1-20 mm 的石构件，可采用钻入阻力仪对风化深度进行快速、精确测量。测试要点如下：

- 宜选择石构件表面较为平整处作为测点；
- 针对不同病害类型和风化程度，选择有代表性的部位作为测点；
- 根据被测石构件的硬度选用不同直径的钻头。通常选用直径 5mm 的钻头，硬度较高时宜选用 3mm 的钻头，硬度较低时选用 7mm 或 10mm 的钻头；
- 由于钻头磨损影响测试结果，不宜采用磨损较为严重的钻头，同时记录钻头使用的次数；
- 当结构疏松易产生钻屑时，钻入深度不宜过深；
- 测试结束后，可得到钻进深度与钻入阻力的关系曲线（如图 A.1 所示），一般认为钻入阻力值在风化层一直增长，钻入阻力值不再增长时的钻入深度即为风化深度（图 A.1 所示岩石的风化深度为 1.3mm）。

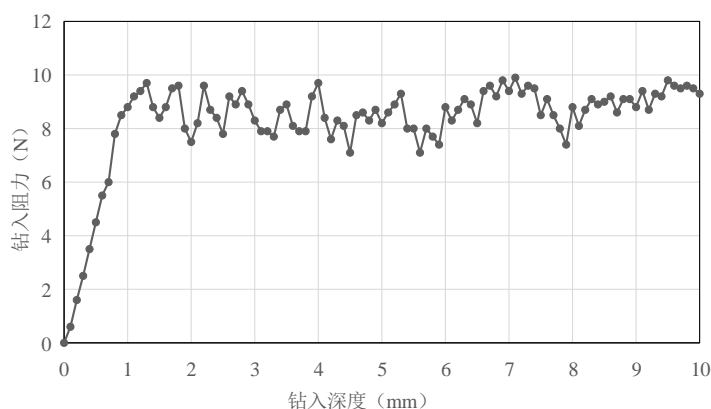


图 A.1 钻进深度与钻入阻力值关系曲线

附 录 B

(资料性) 石构件受弯加固法

B.1 碳纤维加固法

B.1.1 对石结构受弯构件进行正截面受弯加固时,其受拉面沿轴向粘贴的碳纤维应延伸至支座边缘,且应在碳纤维的端部(包括截断处)及集中荷载作用点的两侧,设置纤维复合材的U形箍(对梁)或横向压条(对板)。

B.1.2 当加固的构件为板时,碳纤维应选择多条密布的方式进行粘贴,不得使用未经裁剪成条的整幅织物满贴。

B.1.3 粘贴在石构件表面上的碳纤维,不得直接暴露于阳光或有害介质中,其表面应进行防护处理。表面防护材料应对纤维及胶粘剂无害,且应与胶粘剂有可靠的粘结强度及相互协调的变形性能。

B.1.4 采用粘贴碳纤维加固的石结构,其长期使用的环境温度不应高于 60°C ,处于特殊环境(如高温、高湿、介质侵蚀、放射等)的石结构采用本方法加固时,尚应采用耐环境因素作用的胶粘剂,并按专门的工艺要求进行粘贴。

B.1.5 采用碳纤维对石结构进行加固时,应采取措施卸除或大部分卸除作用在石结构上的荷载。

B.1.6 采用碳纤维对石结构进行加固时,碳纤维规格宜采用 $300\text{g}/\text{m}^2$,碳纤维复合材宜选用高强度I级,相关技术要求可参考GB 50367的有关规定。

B.1.7 采用粘贴碳纤维加固石构件,可不考虑原石构件承载能力。

B.2 钢筋网-聚合物砂浆加固法

B.2.1 采用钢筋网-聚合物砂浆加固石结构构件时,应将钢筋网片设计成仅承受拉应力作用,并能与石材变形协调、共同受力。

B.2.2 采用钢筋网-聚合物砂浆加固的石结构,其长期使用的环境温度不应高于 60°C 。

B.2.3 采用钢筋网-聚合物砂浆加固时,应采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的荷载。

B.2.4 在石结构加固工程中不得使用主成分及主要添加剂成分不明的任何型号聚合物砂浆;不得使用未提供安全数据清单的任何品种聚合物;也不得使用在产品说明书规定的贮存期内已发生分相现象的乳液。

B.2.5 石结构加固用聚合物砂浆可采用I级和II级,其材料性能及相关设计方法可参考GB 50367的有关规定。

B.2.6 采用钢筋网-聚合物砂浆加固石构件,可不考虑原石构件承载能力。

B.3 体外预应力加固法

B.3.1 体外预应力加固法可参考JGJ/T279。

B.3.2 采用体外预应力加固石构件时,可不考虑原石构件承载能力。

B.4 角钢—打包带加固法

- B. 4. 1 角钢-打包带加固石构件示意图可参见图 B.1。
- B. 4. 2 加固采用的打包带宜采用塑钢打包带，常规尺寸为 19mm 宽，1mm 厚，弹性模量不宜小于 10000MPa，屈服强度不宜小于 140MPa，极限强度不宜小于 260MPa。
- B. 4. 3 受力角钢宜为等边角钢，规格不宜小于 $\angle 100 \times 8$ ，材质宜为 Q235，受力角钢应对称放置于被加固构件的受拉区域角部。
- B. 4. 4 在设置打包带位置，被加固构件的上面两个角部宜打磨成圆角，或采用短角钢，规格可取 $\angle 50 \times 5$ 。
- B. 4. 5 打包带应采用配套金属打包扣锚固连接，连接锚固位置的金属打包扣宜取 3 个。
- B. 4. 6 石构件加固后，宜定期进行检查，检查周期应由使用单位确定，但不大于 3 年。
- B. 4. 7 对加固过程中可能出现倾斜、失稳、过大变形或坍塌的石结构，应在加固设计文件中提出相应的临时性安全措施，并要求施工单位必须严格执行。

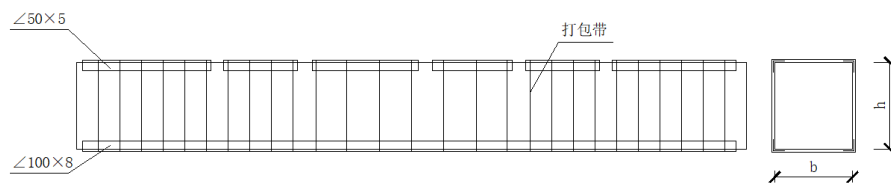


图 B. 1 角钢打包带加固示意图

- B. 4. 8 采用角钢-打包带加固石构件，可不考虑原石构件承载能力，其加固后受弯承载力应按下式计算（图 B.2）。

$$M = n \cdot 2\sqrt{2} \cdot \varepsilon EA \cdot \mu \cdot (h - Z_0) + f_y \cdot W_x^{\min} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- f_y ——角钢抗拉强度设计值，依据现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 取值；
- W_x^{\min} ——受拉角钢截面模量，取两个受拉角钢截面模量之和；
- ε ——打包带的应变，取为张拉有效应变；
- E ——打包带的弹性模量；
- A ——单支打包带的截面积；
- n ——石构件半跨范围内发挥锚固作用的打包带个数；
- μ ——角钢与石材间的摩擦系数，取为 0.8。
- H ——梁截面高度；
- Z_0 ——角钢重心距。

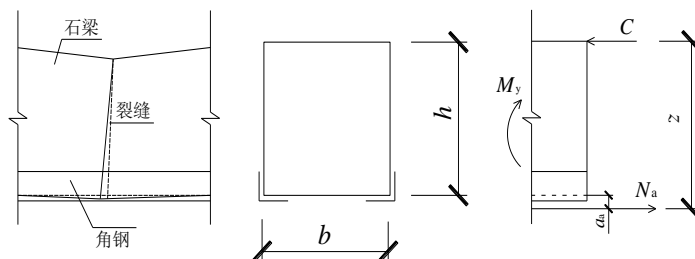


图 B. 2 角钢-打包带加固石构件受弯承载力计算简图

B.4.9 角钢-打包带加固石结构时，打包带可采用控制张拉量的方法实现定量张拉，有效张拉应变宜控制在 $3000\sim 5000\ \mu\ \varepsilon$ ，实际张拉量应根据现场实测结果进行修正。

B.4.10 角钢-打包带加固石构件应按照下列工序实施：张拉、锚固、张拉变形量测、放张。

参考文献

- [1] GB/T 14506.28 硅酸盐岩石化学分析方法 第28部分：16个主次成分测定
 - [2] GB/T 21650.1 压汞法和气体吸附法测定固体材料孔径分布和孔隙度第1部
 - [3] GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
 - [4] DZ/T 0279.1 区域地球化学样品分析方法第1部分：三氧化二铝等24个成分测定粉末压片—X射线荧光光谱法
 - [5] JGJ/T 279 建筑结构体外预应力加固技术规程
 - [6] ST/T 5913 岩石制片方法
 - [7] SY/T 5163 沉积岩中黏土矿物和常见非黏土矿物X射线衍射分析方法
 - [8] SY/T 5368 岩石薄片鉴定
 - [9] WW/T 0063 石质文物保护工程勘察规范
-