

# 土质长城保养维护措施的实践探索

## ——以甘肃省嘉峪关双井子堡保养维护为例

俞振华

(嘉峪关大景区管理委员会 甘肃 嘉峪关 735100)

**[摘要]**对于极其脆弱的土质长城来说,恶劣的气候和复杂的赋存环境对长城本体保存状况影响较大,尤其在西北地区,风沙、雨雪和急剧温湿度变化的冻融等自然因素极易造成夯土墙体发生表面风蚀、片状剥离、土质酥碱、裂隙发育、基础掏蚀、冲沟发育、坍塌等病害,时刻危及到长城本体的安全。本文拟对甘肃省嘉峪关双井子堡开展的墙体保养维护措施进行分析和总结,为今后开展土质长城的保养维护提供有效借鉴。

**[关键词]**双井子堡;土质墙体;病害特征;保养维护

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.1134

### 1. 可逆性措施

嘉峪关,明代万里长城的西端起点,境内的长城防御体系地域特征明显,类型丰富,“因地制宜、就地取材”特点突出,在西北土质长城中具有典型的代表性。对于极其脆弱的土质长城来说,恶劣的气候和复杂的赋存环境对长城本体保存状况影响较大,尤其西北地区风沙、雨雪和急剧温湿度变化的冻融等自然因素极易对土质长城造成破坏,导致土质长城表面风蚀、片状剥落、土质酥碱、裂隙、基础掏蚀、冲沟、坍塌等病害产生和发育,这些病害的产生和发育将会危及到长城本体的安全。

双井子堡,典型的土质结构长城类型。几百年来,受当地自然环境因素影响,黄土夯筑的堡墙发生表面风蚀、片状剥落、土质酥碱、基础掏蚀、裂隙、局部坍塌等病害,进而影响到关堡本体的安全。2019年,嘉峪关长城保护部门对关堡墙体的病害进行现状勘察,分析病害的成因及其危害性,按照最小干预,不改变文物原状的长城保护维修原则,对双井子堡的墙体采用取木支撑支护、土坯砌补支护加固、覆土保护等具有可逆性的零时加固措施进行了保养维护,及时解决了危及本体安全险情。

### 2. 文物本体概况

双井子堡,又名“木兰城”,位于嘉峪关关城西17千米祁连山与黑山之间的戈壁滩上,是嘉峪关明代长城防御体系中关外的重要驿传设施,也是明代丝绸之路上的重要驿站。从明代始建至中华民国时期,该堡一直是陆路丝绸之路东西往来商旅歇息的重要驿站,新中国成立后,随着公路、铁路等交通路网的建设发展,其驿站功能衰落后逐渐荒废。

#### 2.1 保存现状

双井子堡,整体保存一般,平面呈矩形,东西240米,南北170米,周长820米,面积40800平方米。堡墙为黄土版筑,高0.50~3.50米,底宽1.50~2米、顶宽0.65~1.50米、夯层清晰,厚0.10~0.12米,西墙开门,门南侧骑墙筑有门墩和登城步道,北墙中段外侧筑有马面。目前,因受自然环境和人为因素影响,四面堡墙局部不同程度坍塌损毁,原312国道和连霍高速公路(连云港—霍尔果斯)东西向穿堡而过,在东墙和西墙南段形成52米长的消失缺口;南墙呈弧形,大部

分坍塌缺失,仅存两段;北墙多处受洪水冲毁形成缺口。堡内仅北墙内侧地面残存部分房屋建筑遗迹和一眼枯井。

#### 2.2 赋存环境

双井子堡所在区域位于嘉峪关市境西部,北近黑山南缘,地貌景观砂砾石戈壁滩,植被稀疏,地势南高北低。原312国道和连霍高速公路(连云港—霍尔果斯)东西向穿越关堡。气候属典型温带大陆性干旱气候,气候干燥,昼夜温差大,日照长,风沙多,降雨量小,蒸发量大。据2018年—2019年的气候数据统计,年均气温7.8℃,平常风力多为3~4级,年均风速2.9米/秒,冬春季节大风频发,最大瞬时风速 $\geq 17\text{m/s}$ ,风力可达八级以上,风蚀强烈,年均降水量85.5毫米,蒸发量为2125.58毫米,夏秋季节多发瞬时强降雨,降水量可达131.7毫米,易造成洪水灾害。<sup>1</sup>

### 3. 病害特征及危害性调查分析

#### 3.1 病害类型

双井子堡的四面堡墙均为夯土版筑。经实地勘察,黄土夯筑的堡墙,常年受风沙、雨雪、冻融和急剧温湿度变化等自然因素影响,发育有表面风蚀、片状剥离、土质酥碱、裂隙、掏蚀、坍塌、冲沟等病害,对墙体危害性较大且危及本体的安全病害主要为裂隙、掏蚀、坍塌、冲沟四类。

病害发育类型及规模

病害类型	裂隙	掏蚀	坍塌	冲沟
规模	115处	79处	11处	9处

#### 3.2 墙体土质特性

土质特性决定着墙体夯筑质量,同时也是墙体病害发育的内在因素。双井子堡的墙体均为夯土版筑,土质以黄色粉质黏土为主。通过对在墙体现场取样的土质进行土的含水量测试、土的密度、颗粒密度、界限含水率、易溶盐试验。墙体土质为粉质轻亚黏土,颗粒级配良好,粉粒含量57%,土体密度、干密度较大,天然密度为 $1.591\text{g/cm}^3$ ,颗粒密度为 $2.725\text{g/cm}^3$ ,干密度为 $1.580\text{g/cm}^3$ ,孔隙率小,结构均一,孔隙率为42.02%,天然含水量偏低,含水率为0.715%,易溶盐主要以硫酸盐为主,墙体底部与顶部含量最高,中部含量最少。为微腐蚀性。土体的PH值分布比较均匀,PH值范围在7.63—7.73之间,分布范围小,较集中,为弱碱性。

### 3.3 病害发育的外营力

外营力对土质堡墙上各类病害的产生、发育、加剧起着至关重要的作用。受赋存环境影响,堡墙病害发育的外营力主要为水、风、温度、震动等。水是各类病害发育的诱剂,土质中的易溶盐在水的作用下可以造成土体疏松、膨胀和酥碱。携带砂粒的风对土质墙体产生强烈的撞击和磨蚀,促使墙体表面的土质疏松、膨胀和酥碱的土体剥离脱落。温度能为病害的进一步发育提供了先决条件,尤其是急剧温湿度变化和冻融易造成土体的收缩,从而加剧土体疏松、膨胀和酥碱。震动是病害破坏力的增强器,增强了裂隙和坍塌病害对墙体的危害性。

### 3.4 主要病害特征及危害性

3.4.1 裂隙: 墙体裂隙主要有二种,一种为构筑缝裂隙,也就是墙体版筑衔接缝。这种裂隙与古代传统夯筑工艺有关,其分布规律是由夯板的长度决定。堡墙夯筑过程中由于墙体过长,夯板的长度有限,需要根据夯板的长度分段夯筑,夯段间竖向衔接缝逐步形成裂隙,这种裂隙相对稳定。另一种是卸荷裂隙,这种裂隙是墙体底部掏蚀悬空或在外营力的作用下墙体失稳形成的,对墙体安全的危害性极大,且分布不规律,容易造成墙体坍塌。

根据现场裂隙发育情况勘查统计,四面堡墙共发育裂隙115条。其中单条裂隙的最大可见迹长达4m,最大张开度达21cm,平均可见迹长2.34m,平均张开度为7.62cm。可见迹长大于2.0m的裂隙条数共计62条,占裂隙总条数的52.3%;张开度大于10cm的裂隙共计38条,占裂隙总条数的31.2%。

裂隙的危害性主要表现为两方面,其一: 构筑缝裂隙和卸荷裂隙的存在,为雨、雪等外界水进入墙体内部提供了通道,外界水通过裂隙灌入墙体后,浸湿墙体内部土体,从而降低了墙体内部土体的力学强度,促使裂隙处的土体松散,轻者经雨水冲刷裂隙,在墙体表面形成冲沟,重者裂隙处土体松散剥落,加速裂隙宽度和纵深的发展; 其二是各类裂缝交错组合发育,将会对墙体造成局部分割,形成数个独立的危险单体,降低了墙体的整体稳定性,在风和震动等外营力的作用下,极易造成坍塌。

3.4.2 掏蚀: 主要发育在堡墙的根部,北墙和东墙尤为严重。掏蚀病害发育主要是受区域环境影响,在水、风、温度等外营力的单独或共同作用下导致。双井子堡所在位置为祁连山和黑山之间的通道西口,靠近黑山南缘,地势南高北地,该区域春冬季多大风,夏秋季多发瞬间强降雨。夏秋季瞬时强降雨容易对墙体造成冲蚀,并在墙体根部地面汇集积水。在水的作用下,墙体表层一定深度的土体含水率快速达到饱和,引起土质中的易溶盐析出,土体迅速酥碱、疏松和崩解。在风的作用下,经过携带砂粒的风的撞击和磨蚀,加剧掏蚀病害的纵深凹进。于此同时,冬春季节的急剧温湿度变化和冻融会引起墙体土体的不均匀收缩和酥碱疏松,也为根部掏蚀提供了先决条件。

掏蚀的危害性主要是容易使墙体底部形成巨大的临空面,墙体根部出现临空面,从而减弱了根部的支撑力,整体的抗倾覆能力降低,很容易引发墙体局部或整体坍塌,致使墙体消失。

3.4.3 坍塌: 坍塌主要是墙体裂隙和掏蚀病害进一步发育后,在水、风、震动以及人为破坏等外营力的影响下造成墙体局部或整段的夯土体坍塌。

坍塌的危害性主要是对墙体的真实性和完整性破坏极大,最终导致墙体的完全消失。

3.4.4 冲沟: 冲沟病害有两种,一种发育在堡墙本体上,多在墙体版筑缝等土体密度度较为薄弱部位。该部位土体相对疏松,在强降雨的冲刷作用下容易发育生成冲沟。另一种发育在堡墙内外地面,此类地面冲沟是由强降雨引发局部山洪冲蚀形成。

冲沟的危害性主要是水对墙体的冲蚀破坏,一方面强降雨在墙体上形成的冲沟,加速了墙体夯土体土质的流失。冲沟冲深越大,对墙体的破坏越大。另一方面是地面冲沟容易将地面水引导汇集到墙体根部,墙体土质因地面水浸泡,进而促使土质含水率饱和后,易溶盐运动引发墙体根部掏蚀病害的产生。

## 4. 保养维护措施

从双井子堡墙体病害现状及危害程度勘查结果看: 目前,裂隙、掏蚀、坍塌、冲沟等主要病害对墙体的危害性较大,已对土质墙体局部造成了较大的损伤,且还处在继续发育过程中。如果不及时干预和治理,仍由其继续发育发展,将会对土质墙体造成巨大的破坏。依据“长城保护维修必须遵守不改变文物原状和最小干预的原则。严格控制各类干预措施的实施范围和工程量,妥善保护长城遗存的真实性、完整性和沧桑古朴的历史风貌,使长城的突出普遍价值得以延续和传承。除非是结构安全需要,否则不得进行长城主体结构及相关设施的复原或重建”的《长城保护维修工作指导意见》基本原则,对双井子堡墙体实施保养维护和抢险加固,通过合理的干预和有效的加固措施,才能排除危及堡墙本体安全的病害险情,最大限度阻止各类病害的继续发育。

### 4.1 支护措施

双井子堡东墙和北墙墙体底部两侧掏蚀病害发育较为严重,多处掏蚀深度超过40cm,且上部墙体的裂隙错综交叉发育,影响到墙体的整体稳定性。采用木支撑对裂隙明显且墙体根部两侧掏蚀深度较大的墙体进行支护,对临空面墙体采取外立面、内立面、断面三面支撑,对连续性的墙体采取两面支撑,以防止墙体裂隙加宽发育后坍塌。实施支护措施时,根据墙体裂隙发育情况合理设置木支撑与墙体的支撑角度,采用韧性小,刚度大的木材做木支撑,木支撑顶部设置垫板与墙体接触,底部埋于地下固定,木支撑、垫板、墙体之间轻微接触,不能对墙体产生较大推力。

### 4.2 可逆性土坯砌补加固措施

针对目前双井子堡墙体存在的掏蚀和坍塌病害及其危害性的实际情况,在使用木支撑做临时安全支护的基础上,采用土坯砌补支护加固措施对体积较大,掏蚀和坍塌深度大于30cm的部位进行支护加固,既能解决目前出现的病害险情,阻止病害继续发育,又具有可逆性,拆除方便且不损伤本体,为今后重新开展保护修缮提供便利条件。

土坯砌补支护加固时,采用土质与堡墙本体土质基本相近,且可溶盐含量低于0.3%的黏土,人工制成压实度不低于95%的土坯,用泥浆砌补掏蚀和坍塌区域。砌补支护时,首先,将掏蚀、坍塌区域虚土清理干净,底部夯筑一层20cm厚三七灰土垫层。其次,采用压槎搭接的方式砌筑土坯,砌筑泥浆采用同类土质按水灰比0.5~0.6:1配制,砌筑土坯过程中每三至五层泥浆层中布设压埋拉筋麻绳,以提高砌补土坯的整体性。于此同时,在砌补的过程中还要按照50\*50cm的间隔埋设的注浆管,待砌筑体沉降稳定后填砌补支护体与原墙体间形成的裂隙。再次,注浆填充。砌补土坯达到一定强度后,采用同类土质按水灰比0.6:1的泥浆填砌补支护体与原墙体间形成的裂缝,增强砌补支护体与原墙体的结合力。最后,按照墙体原形制对砌补支护体外形进行修正,使其外形结构、收分线条及外观色彩等与其堡墙本体整体相协调。

#### 4.3 裂隙加固措施

双井子堡墙体发育的裂隙具有不同的特征,对墙体的稳定性影响程度也不相同。为避免对墙体的过大干扰,裂隙加固采用灌浆技术措施加固。浆液依据现场取样试验的土质特性结果,选用土质相近的黏土和白灰、粉煤灰按质量比5:3:2和水灰比1:0.52配制。对于宽度较小的裂隙,封堵裂隙外口并布设注浆管后,采用无压力灌浆加固。对于宽度大于3cm的深大裂隙,注浆加固前,须在裂隙内充填与土性质相近的土块,确保注浆后达到裂隙密实的效果。

对墙体裂隙注浆加固时,首先,要在裂隙注浆前,用水喷淋渗透裂隙两壁表面的虚土和裂隙中充填的土块填充物,确保浆液与裂隙壁面的结合。其次,顺着裂隙的走势方向封堵裂隙外口并埋设注浆管,注浆管一般采用10mm管径的塑胶注浆管。在封堵裂隙外口过程中埋设的注浆管间距不小于30cm,贯通裂隙要在墙体两侧的不同高度同时埋设注浆管。再次,注浆时要按自下而上的顺序依次向上通过注浆管注浆,并严格控制注浆量,及时观察相邻的上方注浆管中浆液溢出情况。当浆液溢出时,停止注浆并及时堵塞注浆孔,防止喷浆污染墙体。最后,单条裂隙注浆完成后,待浆液达到胶凝固化状态,剪除墙面表面外露的塑胶注浆管,并用泥填堵注浆管孔,抹平作旧。

#### 4.4 覆土保护措施

覆土保护措施主要针对对墙体根部掏蚀程度较轻,深度浅的病害。其目的是通过在墙体根部两侧病害部位上覆铺黏

土牺牲层的干预,减小外营力对病害部位的直接作用,阻止病害继续发育。覆土采用与堡墙土质相近的黏土人工拍击密实。覆土土质含水量控制在16%—18%,覆土高度要高于掏蚀区50cm,覆土坡脚大于60°,松铺厚度大于20cm。对于临空面的墙体采取两侧立面和断面三面覆土,对于连续性较好的墙体采取在墙体两侧覆土。

#### 4.5 冲沟整治措施

对于墙体本体上的冲沟,采取砌补加固措施,主要砌补规模较大的冲沟,找到合适的持力层后用土坯砌补,砌补后保持与遗址的原貌相协调。对于地面冲沟,对冲沟进行回填夯实平整,并依据地势形成一定的坡度,以利于引排水和水。

#### 4.6 夯筑补强加固实验

本次保养维护由于时间、技术、经费等条件限制,不能进行彻底修缮,因而采取木支撑支护、土坯砌补支护加固、覆土保护等具有可逆性的零时加固措施,制止危及本体安全的病害继续发育蔓延。如要彻底治理病害,确保堡墙本体安全,还需对其进行修缮,通过实施必需的结构加固处理和维修才能根治解决。按照“原材料、原工艺、原结构、原形制”的文物保护修缮原则,保护修缮时选用的材料、工艺必须和堡墙本体一致,才能保证夯土墙体的结构和形制不变。故在本次保养维护中还开展了土质墙体夯筑补强加固试验,获取夯补加固的材料与工艺的最佳参数,为今后开展双井子堡加固修缮提供科学有力的数据依据。

夯筑补强加固试验主要是素土夯筑补强试验和三合土夯筑补强试验,选取对象为病害面积较大,掏蚀深度大于30cm以上的墙体,土质选用与堡墙土质相近且易溶盐含量低于0.3%的粉质黏土。试验段共分两段,一段长3米,采用素土夯补,一段长2米,采用三合土(粘土:白灰=7:3)夯补。夯锤选用直径16cm,质量9.97kg的钢锤,虚铺土厚度为15—17cm,每层夯击遍数为5—6遍,每层夯筑后测量夯实厚度,并用环刀取样监测,检验两种配比材料在不同虚铺土厚度、夯实次数的条件下的夯实密度情况,以确定最优的虚铺土厚度、夯实次数。

通过现场试验,采用素土和三合土对土质墙体根部进行夯筑补强加固时,虚铺土16cm,用直径16cm,质量9.97kg的夯锤夯击6遍,干密度达到1.75g—1.79g/cm<sup>3</sup>,夯实率达到50%,与原墙体的干密度一致,效果最佳。墙体根部掏蚀病害分别用素土和三合土夯筑补强加固后,二者抵抗风蚀、雨蚀、急剧温湿度变化冻融的效果如何,还需要继续开展外界环境影响下的土体变化监测,通过长时间的监测数据分析确定。

#### 5. 结语

对于极其脆弱的土质长城来讲,赋存环境对长城保存状

品中含有赤铁矿<sup>[6]</sup>。均与其样品颜色特征吻合。

### 3. 结论

(1) 江津区石英质玉样品外观呈现浅黄-绿褐-褐红色。其中部分表皮具有“龙鳞”状花纹。弱玻璃-玻璃光泽, 微透明-不透明。折射率常为1.54, 密度2.66~2.75, 摩氏硬度6~7。

(2) 不同颜色的江津区石英质玉红外光谱基本一致, 主要谱带为由Si-O-Si非对称伸缩振动致特征的红外反射光谱位于1182、1105 $\text{cm}^{-1}$ 处, 由Si-O-Si对称伸缩振动致一对特征的分裂谱带位于801、780 $\text{cm}^{-1}$ 处。在700~400 $\text{cm}^{-1}$ 范围内, 由Si-O-Si弯曲振动引起的483 $\text{cm}^{-1}$ 处的较强吸收峰和539 $\text{cm}^{-1}$ 一处较弱的峰。其中800 $\text{cm}^{-1}$ 附近的谱带有分裂, 证明其结晶程度较好。

(3) 江津区石英质玉X射线粉末衍射显示其主要矿物组成为石英。灰绿色样品中含少量绿泥石, 褐红色样品中含少量赤铁矿。

### 参考文献

- [1]张蓓莉. 系统宝石学(第二版)[M]. 北京: 地质出版社, 2006. 374-380
- [2]戴慧, 刘瑛, 张青, 刘文长, 蒋小平, 龙江. 大别山区石英质玉宝石矿物学特征研究[J]. 宝石和宝石学杂志, 2011, 13(03): 32-37.
- [3]刘冬蕊. 丹东黄色石英质玉的谱学特征研究[J]. 中国宝石, 2020(06): 32-39.
- [4]裴景成, 范陆薇, 谢浩. 云南龙陵黄龙玉的振动光谱及XRD光谱表征[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(12): 3411-3414.
- [5]SY/T 5163-2010, 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[S].
- [6]于吉顺, 雷欣荣, 张锦化, 吴红丹. 矿物X射线粉晶鉴定手册(图谱)[M]. 华中科技大学出版社 2011. 101

(上接第1807页)

况的影响较大。抑制各种环境因素对长城本体的危害, 阻止或延缓长城本体的最终劣化, 妥善保护长城遗存的真实性、完整性和沧桑古朴的历史风貌是长城保护工作的终极目标。

从嘉峪关双井子堡墙体的保养维护实践来看, 及时开展长城的日常保养维护就是一种行之有效的预防性保护举措。通过详细的现场勘查, 掌握土质长城本体病害特征, 科学分析病害诱因、发育机理以及病害具有的危害性。在“不改变文物原状和最小干预”的保护原则下, 量身制定合理可行的保养维护技术方案, 开展土质长城的保养维护。即可以通过行之有效的调控干预, 抑制各种环境因素对长城本体的危害, 排除当前的病害险情, 制止危及本体安全的病害继续发育蔓延。还可以在室内试验的基础上, 在保养维护过程中小范围的开展试验性夯筑加固现场试验, 获取遗址本体整体稳定性夯筑补强的材料配比、养护条件等施工参数, 从而减轻保护修缮工程中材料和工艺措施方面的过多干预, 对长城本

体造成的损坏, 确保长城价值的真实性、完整性和沧桑古朴的历史风貌得到有效延续和保护。

### 参考文献

- [1]雒憬憬. 嘉峪关长城赋存环境特征及保护对策初探[J]. 丝绸之路, 2020(04): 159-162.
- [2]王进玉. 兰州大学、敦煌研究院和办“文物保护研究中心”[C]//. 中国文物修复通讯(第22期). [出版者不详], 2003: 33.
- [3]关于印发《长城“四有”工作指导意见》和《长城保护维修工作指导意见》的通知[C]//. 中国长城博物馆(2014年合订本), 2014: 7-17.

作者简介: 俞振华, 男, 汉族, 甘肃敦煌人, 大学本科学历, 中学高级语文教师, 现主要从事长城保护与利用研究、长城文化弘扬、文物景区经营管理等工作。