

全国重点文物保护单位

吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程 施工图设计

中铁西北科学研究院有限公司

二零二五年一月

吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程

施工图设计

报告编写：柳杨 张生虎 闫海荣

项目负责：王捷



复核：张峰

总工程师：孔德刚

主管院长：王逢青

建设单位：吐鲁番市文物局

勘察设计单位：中铁西北科学研究院有限公司

证书等级：甲级

证书编号：文物设甲字0201SJ0049



中铁西北科学研究院有限公司

二零二五年一月

目 录

1、项目背景	1	4.4 GXB13 号窟保护加固措施.....	36
2、遗址保存现状勘察	2	4.5 GXB14 号窟保护加固措施.....	37
2.1 整体布局	2	4.6 GXB15 号窟保护加固措施.....	38
2.2 西崖洞窟分布	3	4.7 GXB16 号窟保护加固措施.....	39
2.3 洞窟保存现状	3	4.8 GXB17 号窟保护加固措施.....	41
2.4 洞窟顶部排水现状	24	4.9 GXB18 号窟保护加固措施.....	42
2.5 现状勘察结论	25	4.10 GXB19 号窟保护加固措施.....	43
3、设计说明	26	4.11 GXB20 号窟保护加固措施.....	45
3.1 设计依据	26	4.12 其他辅助工程措施	46
3.2 计范围	26	5、相关工艺及施工要求	48
3.3 设计目标	26	5.1 土坯砌补工艺	48
3.4 设计原则	27	5.2 土坯灰缝补强工艺	50
3.5 工程性质	27	5.3 草泥抹面工艺	51
4、工程措施	28	5.4 裂隙注浆工艺	51
4.1 GXB10 号窟保护加固措施.....	28	6、工程数量表	53
4.2 GXB11 号窟保护加固措施.....	31	7、工程注意事项	55
4.3 GXB12 号窟保护加固措施.....	34		

1、项目背景

吐峪沟石窟位于新疆维吾尔自治区吐鲁番市鄯善县吐峪沟乡，地处吐鲁番盆地火焰山山脉东部的山间峡谷—吐峪沟峡谷南段，始凿于公元5世纪前后，经历了沮渠高昌、麹氏高昌（公元5~6世纪）、唐西州时期（7-8世纪）和高昌回鹘时期（7~13世纪）等不同的发展阶段，是已知的吐鲁番地区开凿时间最早、规模最大的佛教石窟群，历史悠久、遗存丰富、风格独特，是古“丝绸之路”新疆段吐鲁番地区沿线上一处重要的佛教遗迹。

2006年5月25日，吐峪沟石窟被国务院公布为第六批全国重点文物保护单位，类型为石窟寺及石刻。

15世纪后，吐峪沟石窟逐渐荒废，受人为和自然因素的影响，破坏程度日趋加重，19世纪末至20世纪初，各国考古探险家的考察和盗掘使得吐峪沟石窟遭受了严重的破坏。建国以来，吐峪沟石窟作为文物保护单位得到了一定的保护，但保存环境并未得到根本改善，部分洞窟处于十分危险的状态，近些年来，随着“丝绸之路”跨国联合申报世界文化遗产工作的启动，吐峪沟石窟的保护工作也进入了一个新的阶段，为了配合申遗工作，自2009年起由社科院考古所、吐鲁番研究院、龟兹石窟研究院共同组成了联合考古队对吐峪沟石窟进行了保护性考古发掘工作，并取得了重要成果，被评为“2021年度中国十大考古发现”之一。

吐峪沟石窟作为新疆吐鲁番地区重要的石窟遗存，经过了一千余年的自然和人为破坏，石窟破坏严重，部分洞窟已经完全坍塌，分布在东西两侧沟底附近的洞窟、佛寺遗址仅剩余残垣断壁，西崖和东崖上分布密集洞窟大部分窟顶坍塌、冒顶等，石窟安全存在很大的隐患，严重影响了石窟的完整性。

为了确保洞窟本体的安全稳定，根据《新疆维吾尔自治区文化和旅游厅〈关于做好2022年度全国重点文物保护单位文物保护单位（不含安防消防防雷）的通知〉》（新文旅办发【2021】191号）的通知要求，受吐鲁番市文物局委托，由中铁西北科学研究院有限公司承担吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程勘察设计，工作范围为吐峪沟石窟西崖洞窟 GXB10~GXB20 共计 11 个洞窟。

2024年3月，自治区文化和旅游厅组织第三方评审机构开展了本项目的评审工作，经组织评审，原则同意该方案，并提出了宝贵的修改意见，后经项目组成员补充现场勘察、完善勘察报告、优化设计方案，编制完成了《吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程勘察报告与方案设计（修改稿）》，后经项目组再次根据修改稿批复意见进行优化完善，在此基础上编制完成了《吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程施工图设计》



图 1-1 工作范围示意图（编号 GXB10~GXB20）

2、遗址保存现状勘察

2.1 整体布局

根据相关的考古调查及保护规划资料，吐峪沟石窟共有洞窟 118^①个，分为 4 个主要分布区：沟东南区（GDN01~GDN10 号）、沟东北区（GDB01~GDB39 号）、沟西南区（GXN01~GXN14）和沟西北区（GXB01~GXB42 号）。

（1）沟东南区

包括吐峪沟东南侧沟口以北约 500 米位于沟东的断崖及山体，该区域因 70 年代修建水渠时进行人工爆破，导致原有窟群大量被毁，残存的洞窟也都极不完整，窟前遗迹难以辨认。

（2）沟东北区

为吐峪沟石窟最主要的集中分布区之一，位于距吐峪沟东南侧沟口约 1000 米的沟东崖壁上，随山形呈扇形分布，自上而下分为四层，该区域的石窟群相对保存比较完整。

（3）沟西南区

包括吐峪沟南侧沟口的伊斯兰教圣地吐峪沟霍加木麻扎以北约 100 米位于沟西的崖壁及山体，受农业生产及崖壁坍塌的影响，该区域内的窟前遗迹大多不存，仅区域北部山腰上 GDN13 号窟西南侧保留有一定规模的建筑遗迹。

（4）沟西北区

注：①随着近些年的考古发掘，吐峪沟石窟的洞窟数量已经远超 118 个，其中沟西北区西崖洞窟集中区中的洞窟数量达到了 65 个。

吐峪沟石窟另一处主要的集中分布区，现存洞窟 42 座，分为两处窟群。一处位于吐峪沟麻扎以北约 600 米山腰间一处台地上，另一处窟群位于沟东北区石窟群正对面的山体转角处的山腰间，本次工作范围内的 11 个洞窟均集中在该区。

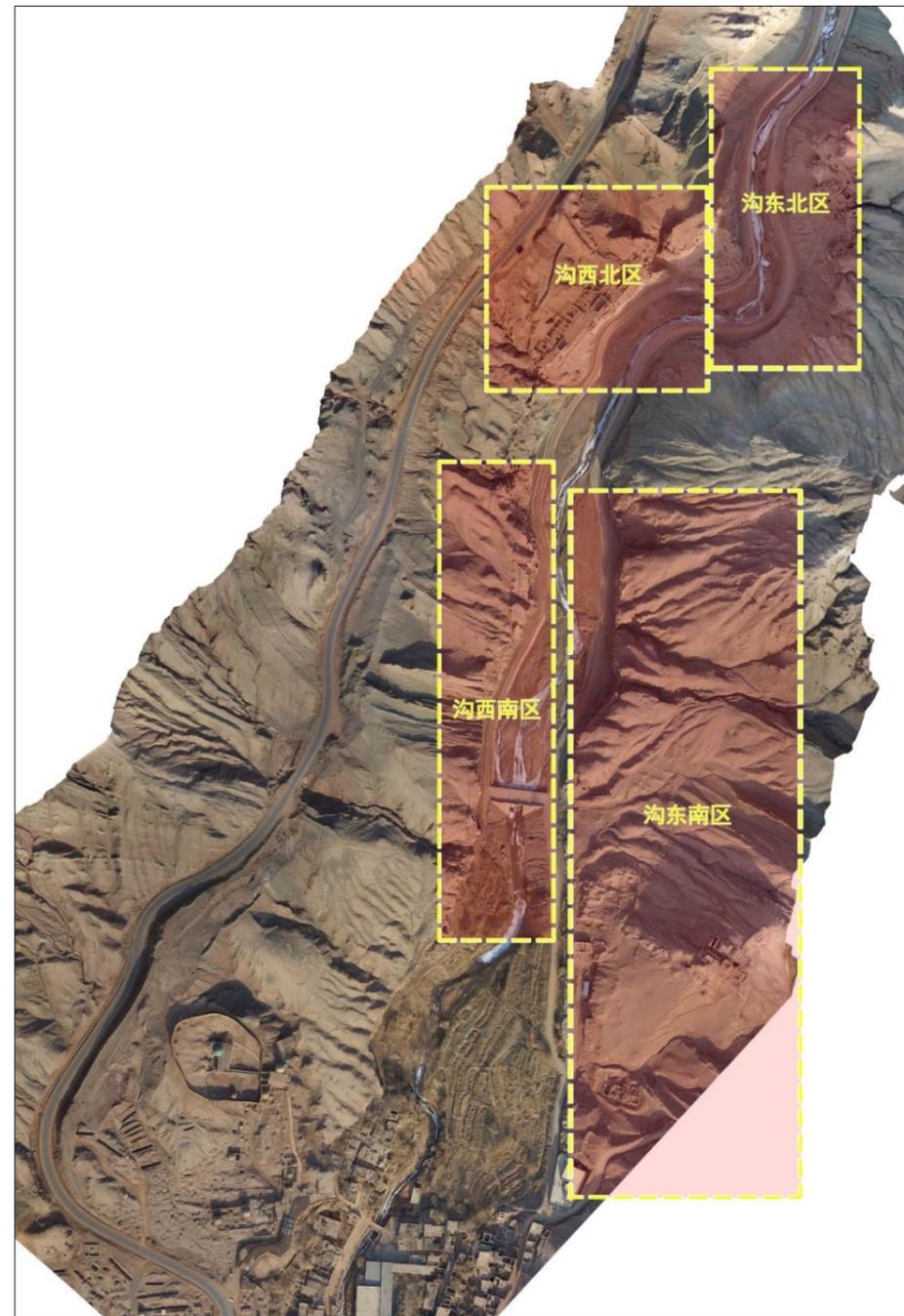


图 2-1 吐峪沟石窟洞窟分区平面图

2.2 西崖洞窟分布

吐峪沟石窟沟西北区俗称“西崖”，位于吐峪沟河西侧中部山坡，下临西区中部回鹘佛寺，南北两侧各有一条大型自然冲沟，形成一处位置相对独立的佛教窟院遗址，其所处的平台为斩切山体缓坡而成，西侧为斩山切壁形成的垂直崖面，高约 11.1 米，东侧为山体断崖，南北长 102.2 米，东西宽 20 米，洞窟分上下两层开凿于斩山崖面内或前接土坯建筑，有的于窟前平台上以土坯单独砌筑，现存编号洞窟 65 座。



图 2-2 西崖洞窟集中区洞窟分布图

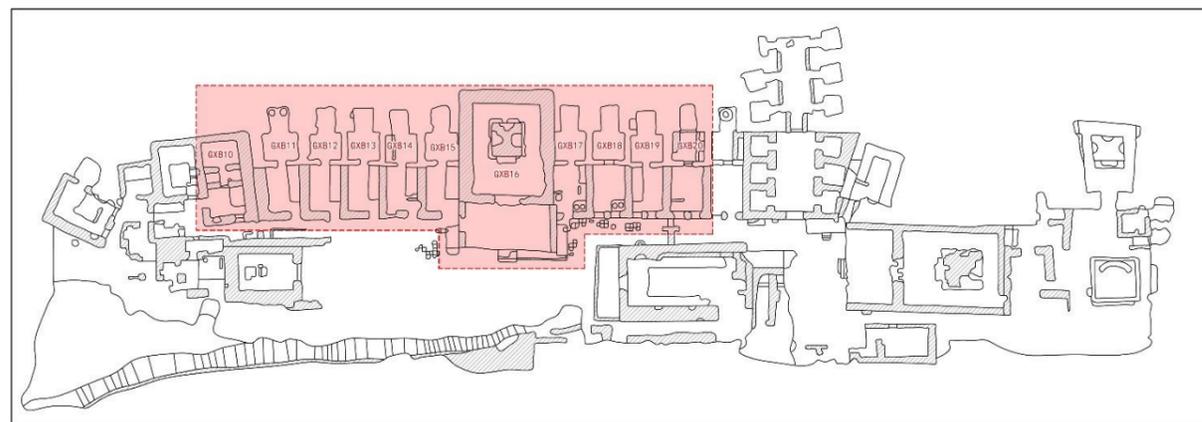


图 2-3 第一层洞窟群平面图（从左自右分别为 GXB10~GXB20）

2.3 洞窟保存现状

本次勘察范围内的十一处洞窟位于西崖洞窟集中区第一层，编号为 GXB10~GXB20，具体保存现状如下：

(1) GXB10 号窟

编号	GXB10 号窟
位置	位于西崖洞窟集中区的南侧，北侧紧邻 GXB11 号窟
形制	该窟面宽 3.4 米，进深 7.6 米，按照窟内布局可分为前室、中室和后室外，其中中室和后室之间有一小拱门，后室中保存有保存完整的壁画，后室墙面上为白灰层抹面
功能	僧房窟
洞窟特征	裂隙 L1：卸荷裂隙，位于前室墙面上，自窟顶延生至墙体中段，长 2.0 米； 裂隙 L2：卸荷裂隙，位于前室墙面上，自窟顶延生至墙体中段壁龛处，长 1.6 米； 裂隙 L3：卸荷裂隙，位于窟顶处，横穿整个洞窟窟顶，长 7 米； 裂隙 L4：卸荷裂隙，位于拱门正上方，延伸至窟顶处，长 1.8 米；
病害现状	裂隙 L5：卸荷裂隙，位于后室窟顶上，横穿整个洞窟窟顶，长 7 米； 坑洞 D1：位于前室南侧的墙面上，推测为原有孔洞； 坑洞 D2：坍塌形成的孔洞，外露出土坯墙体，面积约 0.1 平方米； 坑洞 D3：坍塌形成的孔洞，位于前室外墙墙面上，面积约 0.1 平方米； 坍塌 T1：位于前室内墙壁龛之上，面积约 0.1 平方米； 坍塌 T2：前室顶部窟顶坍塌冒顶，形成了约 1.3 平方米的空洞； 坍塌 T3：中室顶部窟顶坍塌冒顶，形成了约 0.8 平方米的空洞；

	<p>坍塌 T4: 前室侧墙上部墙面坍塌, 外露出墙内的土坯砖, 约 0.5 平方米;</p> <p>墙面灰缝脱落 F1: 中室有土坯砌筑的一堵矮墙, 高 1.5 米, 墙面灰缝风化脱落, 面积约 1.9 平方米;</p> <p>墙面灰缝脱落 F2: 中室有土坯砌筑的一堵矮墙, 高 1.5 米, 墙面灰缝风化脱落, 面积约 2.1 平方米;</p> <p>墙面脱落 S1: 中室北侧土坯墙体表面原有草泥层脱落, 面积约 1.9 平方米;</p> <p>墙面脱落 S1: 中室南侧土坯墙体表面原有草泥层脱落, 面积约 2.1 平方米;</p> <p>墙面脱落 S3: 中室拱门顶部原有草泥抹面层部分脱落, 面积约 1.1 平方米;</p> <p>墙面脱落 S4: 后室拱门所在墙体南侧墙面有少量的草泥抹面层脱落, 并有少量的坑洞, 面积约 1 平方米;</p> <p>墙面脱落 S5: 后室拱门所在墙体北侧墙面有少量的草泥抹面层脱落, 并有少量的坑洞, 面积约 0.9 平方米;</p> <p>墙面脱落 S6: 位于后室拱门顶部, 有少量的草泥抹面层脱落, 并有少量的坑洞, 面积约 0.7 平方米;</p> <p>墙面脱落 S7: 位于后室西侧墙面上, 该墙面上有保存完好的壁画, 壁画周边有部分草泥抹面层脱落, 面积约 1.9 平方米。</p>
<p>病害类型</p>	<p>①窟顶坍塌冒顶; ②墙面卸荷裂隙发育; ③墙体坍塌; ④墙面有坍塌形成的坑洞; ⑤土坯墙体表面灰缝脱落严重;</p>

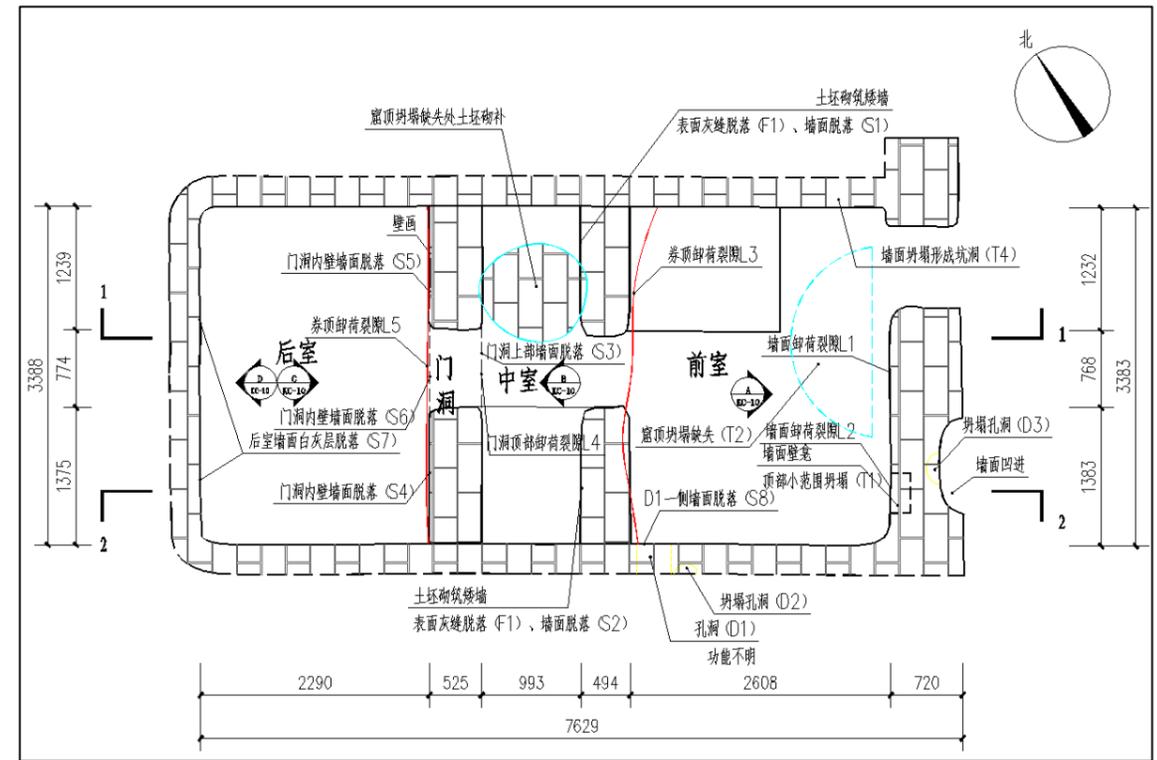


图 2-4 GXB10 号窟平面图



	
坍塌形成的孔洞	坍塌形成的孔洞
	
洞窟顶部坍塌冒顶 T2	洞窟顶部坍塌冒顶 T3
	
土坯墙体灰缝风化脱落	墙面草泥抹面层脱落

	
墙面草泥抹面层脱落	墙面草泥抹面层脱落

(2) GXB11 号窟

洞窟特征	编号	GXB11 号窟
	位置	位于西崖洞窟集中区的南侧，北侧紧邻 GXB12 号窟
	形制	该窟面宽 3.3 米，进深 10.6 米，按照窟内布局可分为前室、中室和后室，其中中室和后室之间有一小拱门，窟内无壁画，有大量的白灰层抹面；后室地面上有两个坑洞，功能不明。
	功能	僧房窟
病害现状		<p>水冲沟槽 G1：位于洞窟入口处的外侧墙面上，为原有窟顶雨水冲刷形成的，宽 10 厘米，深 10 厘米左右，从窟顶至墙壁上，长 2.4 米；</p> <p>裂隙 L1、L2：卸荷裂隙，位于中室后墙上，由于后室是开凿在原有山体中，表面草泥抹面层已完全脱落，原有山体有两条卸荷裂隙分布切割后室墙面，其中 L1 长 1.9 米，L2 长 3.7 米；</p> <p>裂隙 L3：卸荷裂隙，位于后室顶面墙体上，为开挖后室造成崖体应力重分布而形成，长 4 米；</p> <p>孔洞 D1：位于前室右侧墙面上，墙体坍塌形成，面积约 0.3 平方米；</p>

孔洞 D2: 位于前室左侧墙面上, 外露出墙体内部的土坯, 面积约 0.3 平方米;

坍塌 T1: 位于前室入口处窟顶正上方, 窟顶坍塌冒顶, 面积约 2.2 平方米;

坍塌 T2: 位于前室拱门处正上方, 窟顶坍塌冒顶, 面积约 0.5 平方米;

坍塌 T3: 位于前室拱门处正上方, 为拱门上部坍塌, 面积约 1.1 平方米;

坍塌 T4: 位于中室左侧墙面, 坍塌导致与 GXB12 号窟相同, 面积约 0.4 平方米;

坍塌 T5: 位于中室窟顶处, 为窟顶坍塌冒顶, 面积约 0.15 平方米;

墙面脱落 S1: 位于前室右侧墙面, 原有墙体表面草泥抹面层完全风化脱落, 面积约 7.1 平方米;

墙面脱落 S2: 位于前室拱门两侧, 原有墙体表面草泥抹面层完全风化脱落, 面积约 1.3 平方米;

墙面脱落 S3: 位于中室拱门处右侧墙面, 原有墙体表面草泥抹面层完全风化脱落, 面积约 1.2 平方米;

墙面脱落 S4: 位于中室右侧墙面, 原有墙面草泥抹面层下半部分已经完全风化脱落, 面积约 5.6 平方米;

墙面脱落 S5: 位于中室后侧墙面两侧, 原有墙面草泥抹面层已完全风化脱落, 面积约 8.4 平方米;

墙面脱落 S6: 位于后室墙体两侧, 两侧墙体上原有的草泥层抹面已经完全脱落, 顶部也大部分已经脱落, 仅剩余后墙上还有白灰抹面层, 脱落面积约 9 平方米;

墙面脱落 S7: 位于中室左侧墙面, 原有墙面草泥抹面层下半部分已经完全风化脱落, 面积约 1.3 平方米;

墙面脱落 S8: 位于前室左侧墙面, 有小部分的草泥层脱落, 周边保存有大量的白灰层墙面, 脱落面积约 0.5 平方米;

病害类型

①窟顶坍塌冒顶; ②墙面卸荷裂隙发育; ③墙体坍塌; ④墙面有坍塌形成的孔洞; ⑤水冲形成的沟槽;

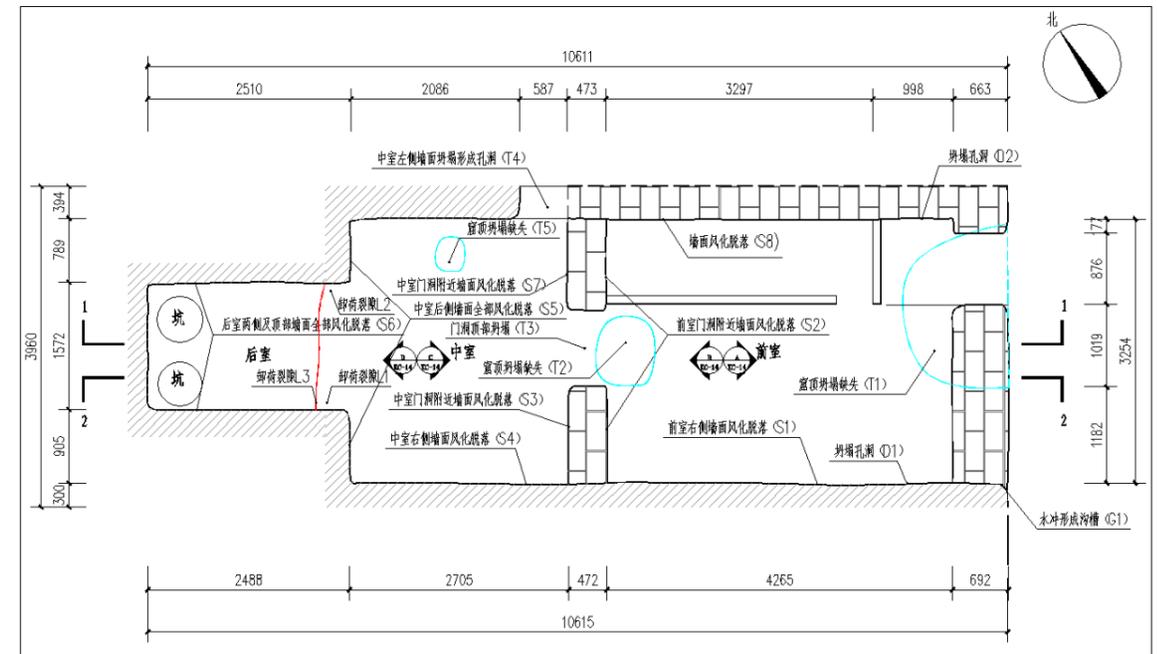
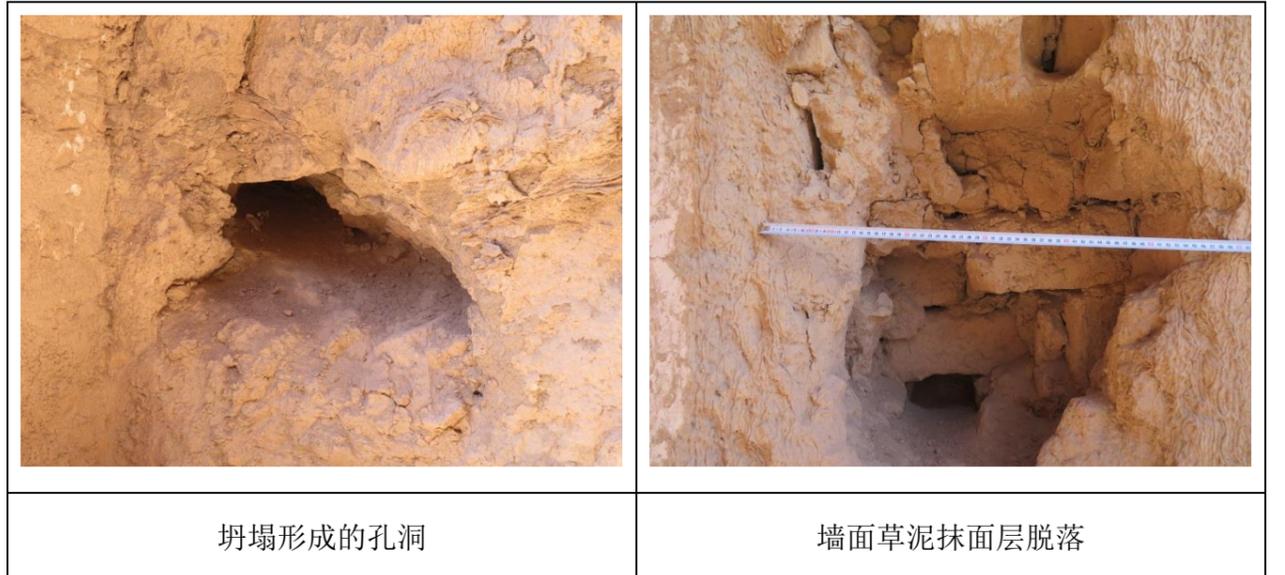


图 2-5 GXB11 号窟平面图





(3) GXB12 号窟

	编号	GXB12 号窟
	位置	位于西崖洞窟集中区的南侧，北侧紧邻 GXB13 号窟
	形制	该窟面宽 2.9 米，进深 10.2 米，其中前室和中室之间有隔墙，墙上开一拱门，后室直接开在原有山体上，窟内无壁画，有大量的白灰层抹面；
	功能	僧房窟
洞窟 特征	病害 现状	<p>坍塌 T1：位于前室入口处正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 1 平方米；</p> <p>坍塌 T2：位于前室正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 0.8 平方米；</p> <p>坍塌 T3：位于前室拱门处正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 0.4 平方米；</p> <p>坍塌 T4：位于拱门处正上方，为拱门处坍塌，面积约 0.5 平方米；</p> <p>坍塌 T5：位于中室右侧墙面，与 GXB11 号窟相通，面积约 0.4 平方米；</p> <p>墙面脱落 S1：位于中室右侧墙面坍塌 T5 附近，并在右侧墙面上有少数几处风化脱落处，总面积约 1.5 平方米；</p> <p>墙面脱落 S2：位于中室后墙墙面，该墙面原有草泥层已经完全风化脱落，外露出原有的生土墙体，面积约 7.8 平方米；</p> <p>墙面脱落 S3：位于后室后墙墙面，该墙面原有草泥层已经完全风化脱落，外露出原有的生土墙体，面积约 2.1 平方米；</p> <p>墙面脱落 S4：位于后室两侧墙面上，该墙面原有草泥层大部分已经风化脱落，露出原有的生土墙体，面积 6.5 平方米；</p> <p>墙面脱落 S5：位于中室右侧墙面中部，原有的草泥层风化脱落严重，外露出墙内土坯，面积约 2.6 平方米；</p> <p>墙面脱落 S6：位于前室入口处附近，原有的草泥层风化脱落，外露出墙内土坯，面积约 1 平方米；</p>

	<p>表面坑洞 D1: 位于后室后侧墙面上, 坍塌外露出原有的生土墙体, 面积约 0.1 平方米;</p> <p>裂隙 L1: 卸荷裂隙, 位于中室后墙壁上, 从窟顶延伸至地面处, 原有墙体表面草泥层脱落后, 原始崖体呈层状剥落, 该裂隙长 3.1 米;</p> <p>裂隙 L2: 干缩裂隙, 位于中室左侧墙壁上, 长 1.7 米;</p>
病害类型	<p>①窟顶坍塌冒顶; ②墙体坍塌; ③墙面有坍塌形成的孔洞; ④墙体表面草泥层风化脱落严重; ⑤墙面人为刻画;</p>



洞窟顶部坍塌冒顶



洞窟顶部坍塌冒顶

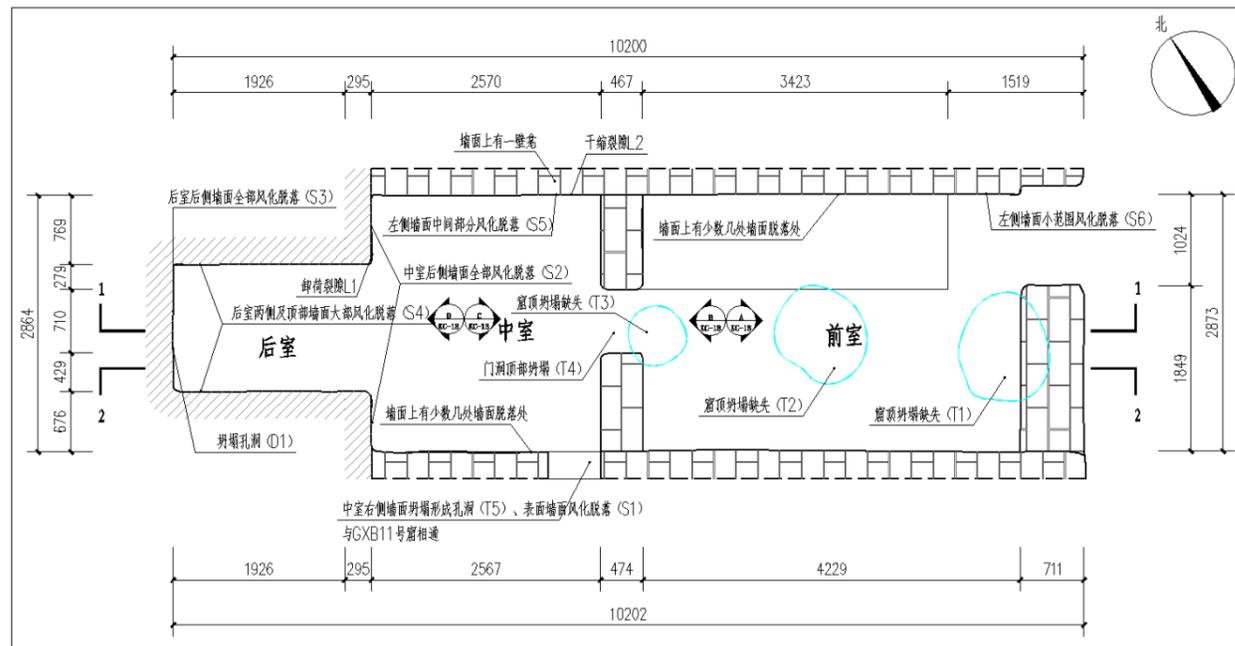


图 2-6 GXB12 号窟平面图



墙面原有草泥抹面层风化脱落



墙面原有草泥抹面层风化脱落



后室坍塌形成的表面坑洞



后室表面草泥抹面层完全脱落

(4) GXB13 号窟

洞窟 特征	编号	GXB13 号窟
	位置	位于西崖洞窟集中区的南侧，北侧紧邻 GXB14 号窟
	形制	该窟面宽 3.0 米，进深 10.3 米，其中前室和中室之间有隔墙，墙上开一拱门，后室直接开在在原有山体上，窟内无壁画，有大量的白灰层抹面；
	功能	僧房窟
	病害 现状	<p>水冲沟槽 G1：位于前室外墙与右侧墙体交接处，宽 5 厘米，长 60 厘米；</p> <p>坍塌 T1：位于前室入口处正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 2.2 平方米；</p> <p>坍塌 T2：位于前室中间处正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 0.9 平方米；</p> <p>坍塌 T3：位于前室与中室隔墙处正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 0.2 平方米；</p> <p>坍塌 T4：位于中室与前室隔墙处正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 0.3 平方米；</p> <p>坍塌 T5：位于中室与后室相交处正上方，为一方形孔洞，为窟顶坍塌冒顶，面积约 0.6 平方米；</p> <p>坍塌 T6：位于前室与中室拱门处正上方，为原有拱门上部窗洞部分坍塌，面积约 0.5 平方米；</p> <p>墙面脱落 S1：位于前室右侧墙体中段，有部分原有墙体草泥抹面层脱落，周边有白灰层残存，脱落面积约 1.0 平方米；</p> <p>墙面脱落 S2：位于中室右侧墙体中段，原有的草泥抹面层脱落，外露出土坯墙体，脱落面积约 1.2 平方米；</p> <p>墙面脱落 S3：位于中室后墙处，有部分原有草泥抹面层发生了脱落，外露出原有的山体，脱落面积约 1.2 平方米；</p>

	<p>墙面脱落 S4：位于后室左侧墙体上，卸荷裂隙 L2 周边，有少量的草泥层脱落，外露出原有山体，脱落面积约 0.2 平方米；</p> <p>墙面脱落 S5：位于前室左侧墙壁上，原有的草泥层脱落，外露出土坯墙体，脱落面积约 0.7 平方米；</p> <p>墙面脱落 S6：位于前室左侧墙壁上，周边有一壁龛，原有的草泥层脱落，外露出土坯墙体，脱落面积约 0.6 平方米；</p> <p>坑洞 D1：位于后室右侧墙体下部，原有山体坍塌形成，面积约 0.3 平方米；</p> <p>裂隙 L1：卸荷裂隙，位于中室右侧墙体 S2 正上方，沿窟顶发育，总长 3.6 米；</p> <p>裂隙 L2：卸荷裂隙，位于后室券顶处，沿窟顶发育，总长 2.2 米；</p> <p>裂隙 L3：卸荷裂隙，位于中室后墙表面土坯券顶与山体相交处，沿窟顶发育，总长 4.6 米；</p> <p>裂隙 L4：卸荷裂隙，位于前室左侧墙壁下部，从墙面脱落 S5 处向下发育，宽约 1 厘米左右，长 1 米；</p>
病害类型	①窟顶坍塌冒顶；②墙体坍塌；③墙面有坍塌形成的孔洞；④墙体表面草泥层风化脱落严重；⑤裂隙发育；⑥水冲形成的沟槽；⑦人为刻画；

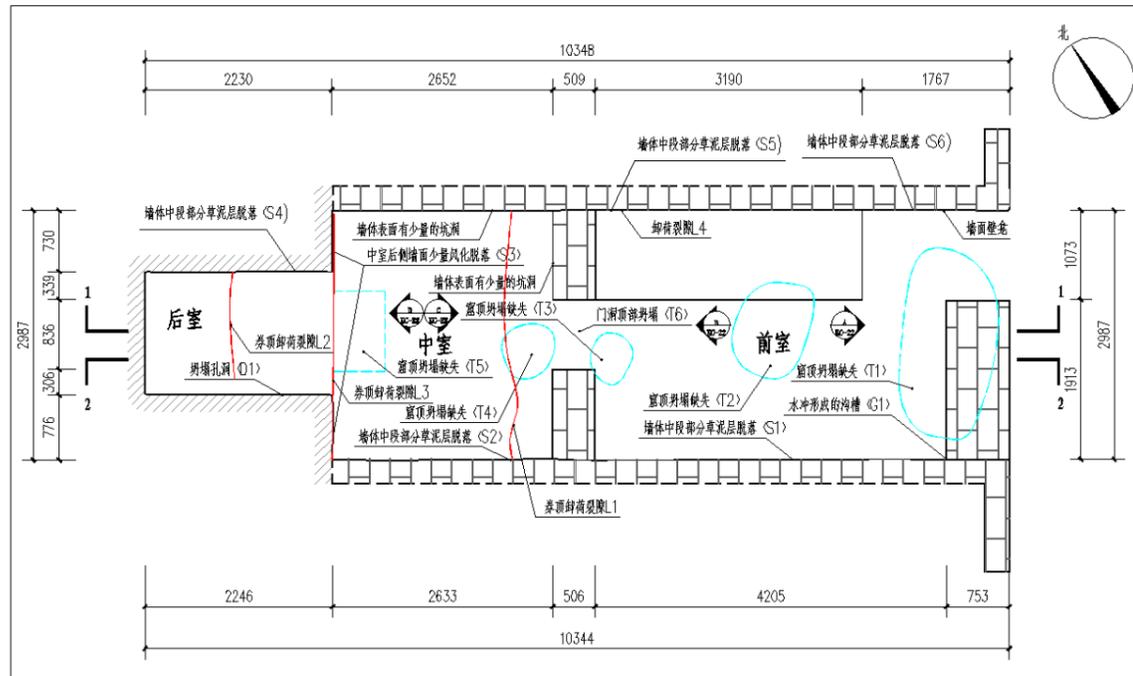
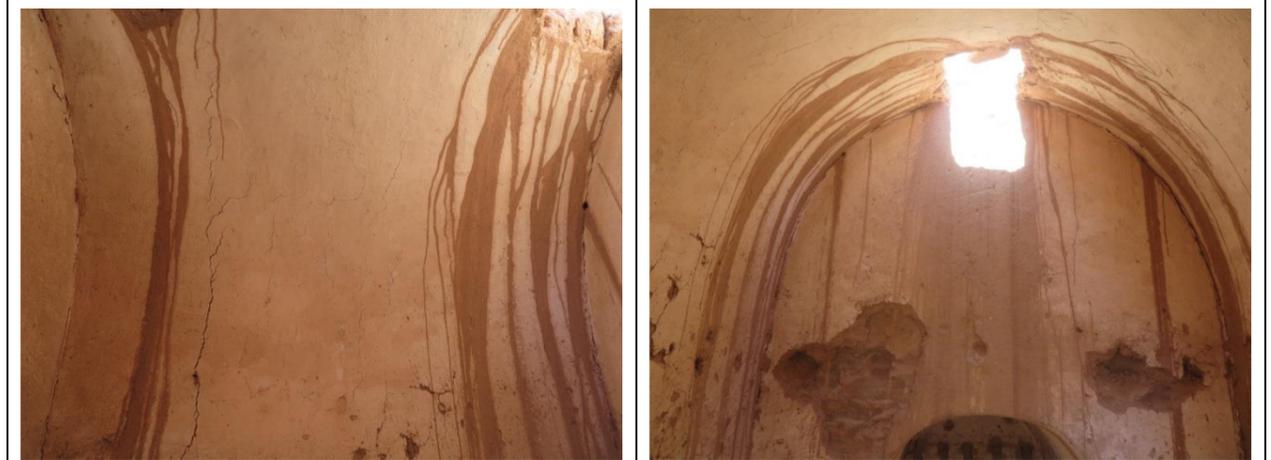


图 2-7 GXB13 号窟平面图



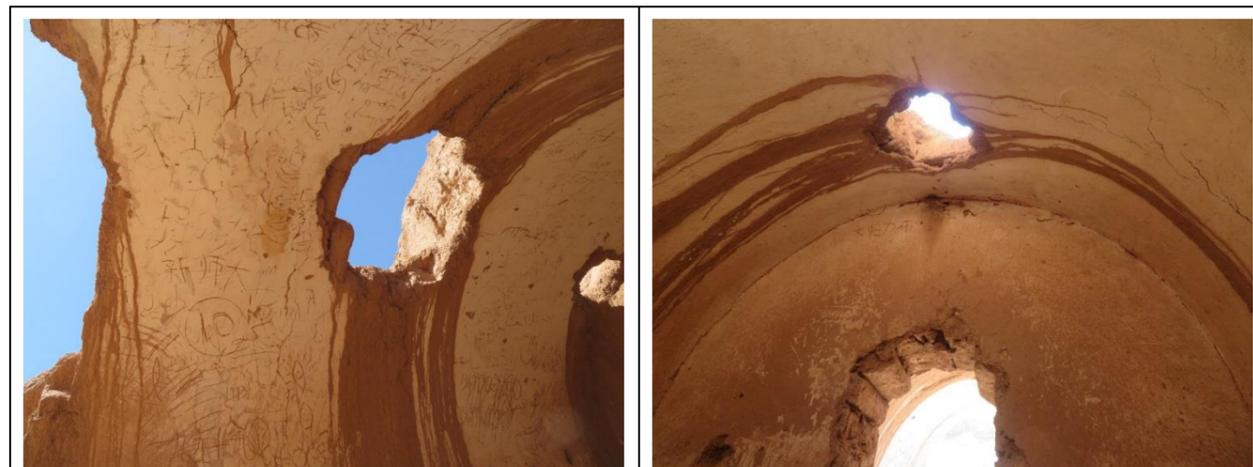
墙面原有草泥抹面层脱落

墙面原有草泥抹面层脱落



墙体表面的卸荷裂隙密布

墙体表面的卸荷裂隙密布



洞窟顶部坍塌冒顶

洞窟顶部坍塌冒顶

(5) GXB14 号窟

洞窟特征	编号	GXB14 号窟
	位置	位于西崖洞窟集中区的南侧，北侧紧邻 GXB15 号窟
	形制	该窟面宽 3.2 米，进深 10.2 米，其中前室和中室之间有隔墙，墙上开一拱门，后室直接开在在原有山体上，窟内无壁画，有大量的白灰层抹面；
	功能	僧房窟
	病害现状	坍塌 T1：位于前室入口处正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 6.7 平方米； 坍塌 T2：位于前室拱门处正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 0.5 平方米；

	<p>坍塌 T3: 位于中室拱门处正上方, 为窟顶坍塌冒顶, 面积约 0.3 平方米;</p> <p>坍塌 T4: 位于后室入口处正上方, 为窟顶坍塌冒顶, 面积约 0.5 平方米;</p> <p>坍塌 T5: 位于前室拱门上侧, 为原有拱门顶部窗洞坍塌, 面积约 0.8 平方米;</p> <p>墙面脱落 S1: 位于前室右侧墙面上, 有三处草泥层脱落的痕迹, 面积约 0.7 平方米;</p> <p>墙面脱落 S2: 位于前室拱门处一侧, 原有拱门部分坍塌且草泥抹面层脱落, 面积约 0.4 平方米;</p> <p>墙面脱落 S3: 位于后室入口处两侧墙面上, 原有墙体表面的草泥抹面层已大部分风化脱落, 外露出原有的山体, 脱落面积约 4.6 平方米;</p> <p>墙面脱落 S4: 位于后室右侧墙面上, 原有墙体表面草泥层脱落, 外露出原有的山体, 脱落面积约 0.6 平方米;</p> <p>墙面脱落 S5: 位于后室右侧墙面下部, 原有墙体表面草泥层脱落, 外露出原有的山体, 脱落面积约 0.3 平方米;</p> <p>墙面脱落 S6: 位于前室左侧墙面上, 原有墙体表面草泥层脱落, 外露出土坯墙体, 脱落面积约 0.3 平方米;</p> <p>裂隙 L1: 干缩裂隙, 位于前室右侧墙面下部, 为原有墙体表面草泥层干缩开裂形成, 长 1.5 米;</p> <p>裂隙 L2: 卸荷裂隙, 位于前室与中室隔墙上侧, 为隔墙与券顶交接处发育, 长 7.6 米;</p> <p>裂隙 L3: 卸荷裂隙, 位于中室隔墙内侧上部, 为隔墙与券顶交接处发育, 长 7.6 米;</p> <p>裂隙 L4: 干缩裂隙, 位于后室券顶上部, 为原有草泥层干缩开裂形成, 长约 2.7 米;</p> <p>裂隙 L5: 干缩裂隙, 位于前室左侧墙面上, 为原有草泥层干缩开裂形成, 长</p>
--	---

	<p>约 3.1 米;</p> <p>坑洞 D1: 位于中室拱门一侧的隔墙上, 表面有若干处坑洞, 面积约 0.1 平方米;</p> <p>坑洞 D2: 位于中室右侧墙体表面, 有若干处坑洞, 面积约 0.2 平方米;</p> <p>坑洞 D3: 位于后室右侧墙体下部, 原有山体坍塌形成, 面积约 0.6 平方米;</p> <p>坑洞 D4: 位于后室左侧墙体中部, 原有土坯坍塌形成坑洞, 面积约 0.1 平方米;</p> <p>坑洞 D5: 位于后室隔墙拱门一侧, 原有土坯坍塌形成坑洞, 面积约 0.1 平方米;</p>
病害类型	<p>①窟顶坍塌冒顶; ②墙体坍塌; ③墙面有坍塌形成的孔洞; ④墙体表面草泥层风化脱落严重; ⑤裂隙发育; ⑥人为刻画;</p>

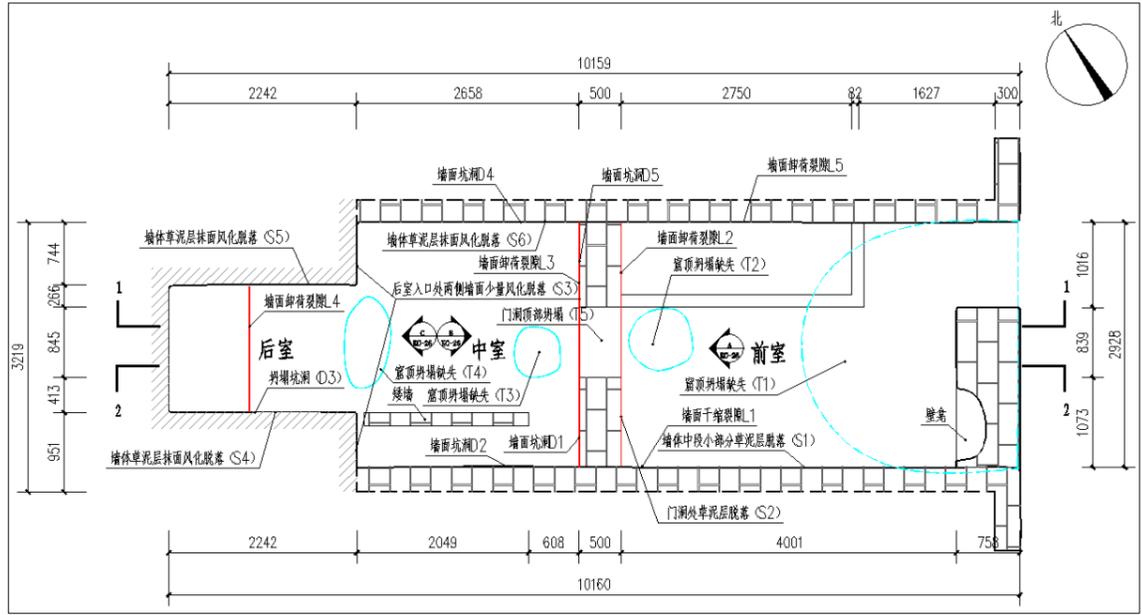
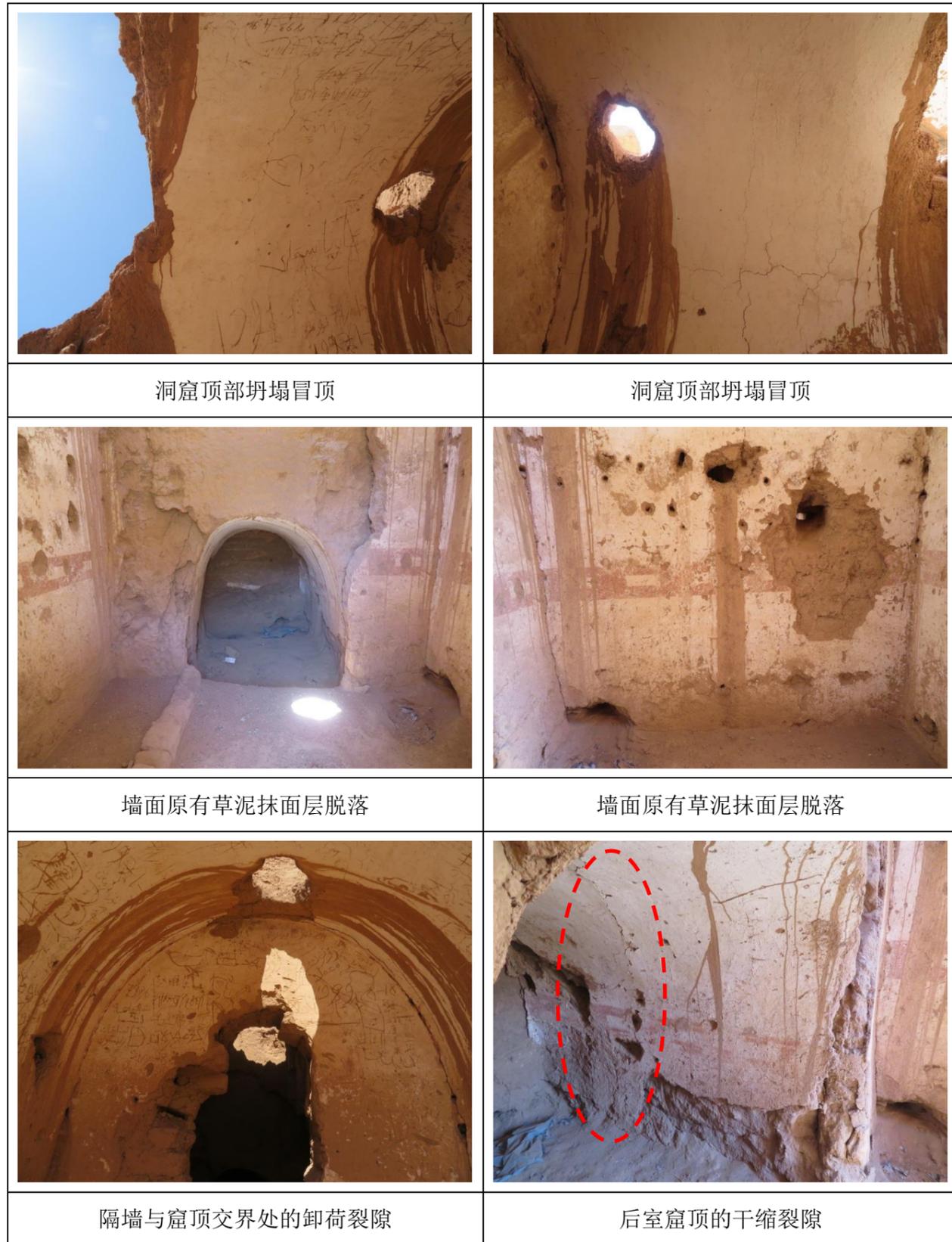


图 2-8 GXB14 号窟平面图



(6) GXB15 号窟

	编号	GXB15 号窟
	位置	位于西崖洞窟集中区的南侧，北侧紧邻 GXB16 号窟
	形制	该窟面宽 3.1 米，进深 10.3 米，其中前室和中室之间有隔墙，墙上开一拱门，上有窗洞，后室直接开在在原有山体上，窟内无壁画，有大量的白灰层抹面；
	功能	僧房窟
洞窟特征	裂隙 L1: 卸荷裂隙，位于前室入口处矮墙与右侧墙体相交处，宽 3 厘米左右，长 2 米左右； 裂隙 L2: 干缩裂隙，位于前室右侧墙体上，自地面延伸至券顶处，长 3.8 米； 裂隙 L3: 卸荷裂隙，位于前室右侧墙体与中间隔墙相交处，长 3.2 米； 裂隙 L4: 卸荷裂隙，位于前室左侧墙体与中间隔墙相交处，长 3.2 米； 裂隙 L5: 卸荷裂隙，位于后室与中室墙体相交处，长 2.1 米； 裂隙 L6: 干缩裂隙，位于前室左侧墙体上，自地面延伸至券顶处，最宽处达 4 厘米，长 3.6 米 裂隙 L7: 卸荷裂隙，位于中室隔墙与窟顶相交处，长 3.1 米；	
	病害现状	坍塌 T1: 位于前室正上方，前室顶部窟顶已全部坍塌，面积约 12.3 平方米； 坍塌 T2: 位于中室拱门处正上方，为窟顶坍塌冒顶，面积约 1.0 平方米； 墙面脱落 S1: 位于前室右侧墙体表面，原有墙体表面的草泥层小部分脱落，外露出土坯墙体，面积约 0.2 平方米； 墙面脱落 S2: 位于前室拱门一侧，原有墙体一侧草泥层风化脱落，外露出隔墙内的土坯，面积约 0.6 平方米； 墙面脱落 S3: 位于中室拱门右侧，原有墙体一侧草泥层风化脱落，外露出隔墙内的土坯，面积约 0.4 平方米； 墙面脱落 S4: 位于中室右侧墙体表面，原有墙体一侧草泥层风化脱落，外露出隔墙内的土坯，面积约 3.3 平方米；

	<p>墙面脱落 S5: 位于中室顶部, 面积约 0.1 平方米;</p> <p>墙面脱落 S6: 后室表面的草泥层已完全脱落, 外露出原有的山体, 面积约 8.9 平方米;</p> <p>坑洞 D1: 位于后室入口处墙面两侧, 有若干处分布无规律的坑洞, 面积约 0.1 平方米;</p> <p>坑洞 D2: 位于中室左侧墙体下部, 有少量虫蛀的小孔, 面积约 0.3 平方米;</p>
<p>病害类型</p>	<p>①窟顶坍塌冒顶; ②墙体坍塌; ③墙面有坍塌形成的孔洞; ④墙体表面草泥层风化脱落严重; ⑤裂隙发育; ⑥人为刻画;</p>

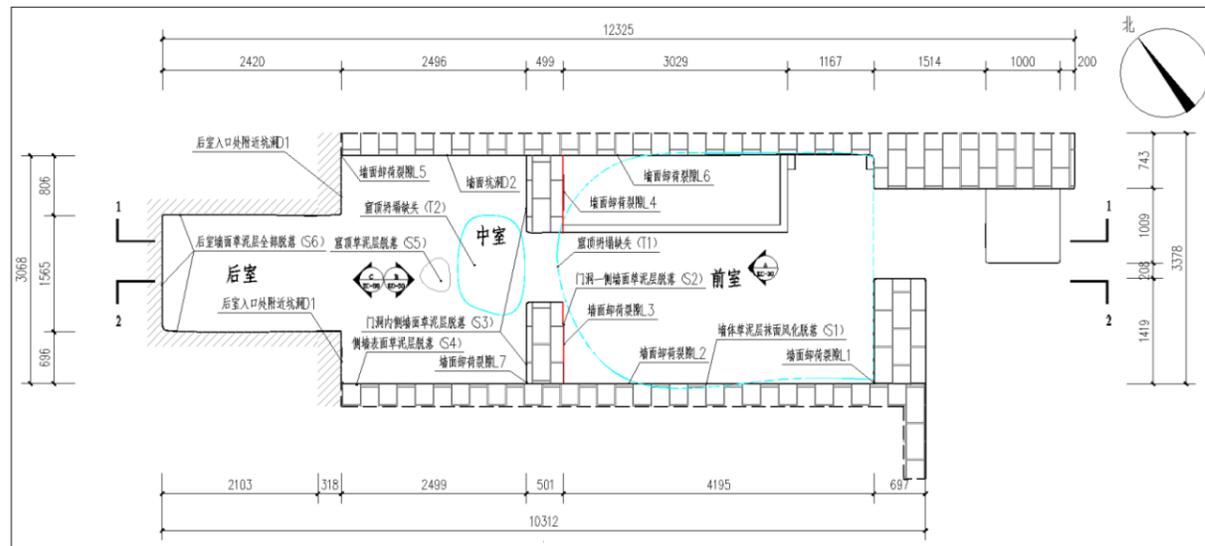


图 2-9 GXB15 号窟平面图



洞窟顶部坍塌冒顶



洞窟顶部坍塌冒顶



墙体表面卸荷裂隙



墙体表面卸荷裂隙



墙体表面草泥层风化脱落



后室表面草泥层已完全脱落

(7) GXB16 号窟

洞窟特征	编号	GXB16 号窟			右； 坑洞 D2：位于右甬道与后甬道相交处，为水冲形成的一处孔洞，面积约 0.1 平方米； 墙面脱落 S1：位于右侧甬道正上方，甬道顶部保留有精美的壁画，现大部分壁画已随草泥层脱落，仅剩余少部分壁画，其余部位草泥层脱落，外露出原有土坯墙体，脱落面积约 9.7 平方米； 墙面脱落 S2：位于后甬道墙面上，甬道顶部有保存完好的壁画，墙面上有约 2.6 平方米的草泥层脱落，外露出原有的土坯墙体； 墙面脱落 S3：位于左侧甬道正上方，该甬道顶部无壁画，原有的草泥层已完全脱落，外露出原有的土坯墙体，脱落面积约 10.2 平方米； 墙面脱落 S4：位于主室前墙内侧，脱落面积约 1.6 平方米，外露出原有的土坯墙体； 墙面脱落 S5：位于主室前墙外侧，脱落面积约 2.3 平方米，外露出原有的土坯墙体； 墙面脱落 S6：位于前室平台的矮墙上，墙体表面的草泥层已经脱落，外露出原有的土坯墙体，面积约 0.5 平方米；
	位置	位于西崖洞窟集中区的中部，北侧紧邻 GXB17 号窟			
	形制	该窟面宽 8.3 米，进深 15.3 米，由前室和主室两部分组成，前室平面呈横长方形，面宽 8.3 米，进深 4.5 米，无前壁，主室平面呈纵长方形，中心塔柱位于中后方，左、右、后三侧甬道皆为高大纵券顶。中心塔柱为土坯垒砌的方塔，由塔基、塔身组成，塔基上部叠涩出檐，塔身正面塑像，其余三面开圆拱龕，龕两侧塑有龕柱，为一处塔庙窟，GXB10~GXB15 与 GXB17~GXB20 均是以该窟为中心营营造，窟内保存有大量的壁画。			
	功能	塔庙窟			
	病害现状	<p>坍塌 T1：位于主室正上方，前室原有窟顶一半已经坍塌，面积约 44 平方米；</p> <p>坍塌 T2：位于主室前墙一侧，坍塌面积约 2.2 平方米，深 0.2 米；</p> <p>坍塌 T3：位于中心塔柱正壁，原有塔柱由于水冲而大体量坍塌，坍塌面积约 5.2 平方米，深 1 米左右；</p> <p>坍塌 T4：位于中心柱右侧壁龕处，推测原有壁龕内有造像，造像被破坏后壁龕部分坍塌形成空洞，空洞约 0.2 立方米；</p> <p>坍塌 T5：位于中心柱后侧壁龕处，原有壁龕内有造像，造像被破坏后壁龕部分坍塌形成空洞，空洞约 0.1 立方米；</p> <p>坍塌 T6：位于中心柱左侧壁龕处，原有壁龕内有造像，造像被破坏后壁龕部分坍塌形成空洞，空洞约 0.2 立方米；</p> <p>裂隙 L1：卸荷裂隙，位于主室右侧墙体上，自墙体顶部至地面，宽 3 厘米，长 2.7 米；</p> <p>裂隙 L2：卸荷裂隙，位于主室左侧墙体上，自墙体顶部至地面，宽 1 厘米，长 2.2 米；</p> <p>坑洞 D1：位于主室地面上，为一水冲形成的落水洞，10 厘米见方，长 3 米左</p>			
	病害类型	①窟顶坍塌；②墙体坍塌；③墙体表面草泥层风化脱落严重；④裂隙发育；⑤地表水冲落水洞；⑥窟顶水冲坑洞；			

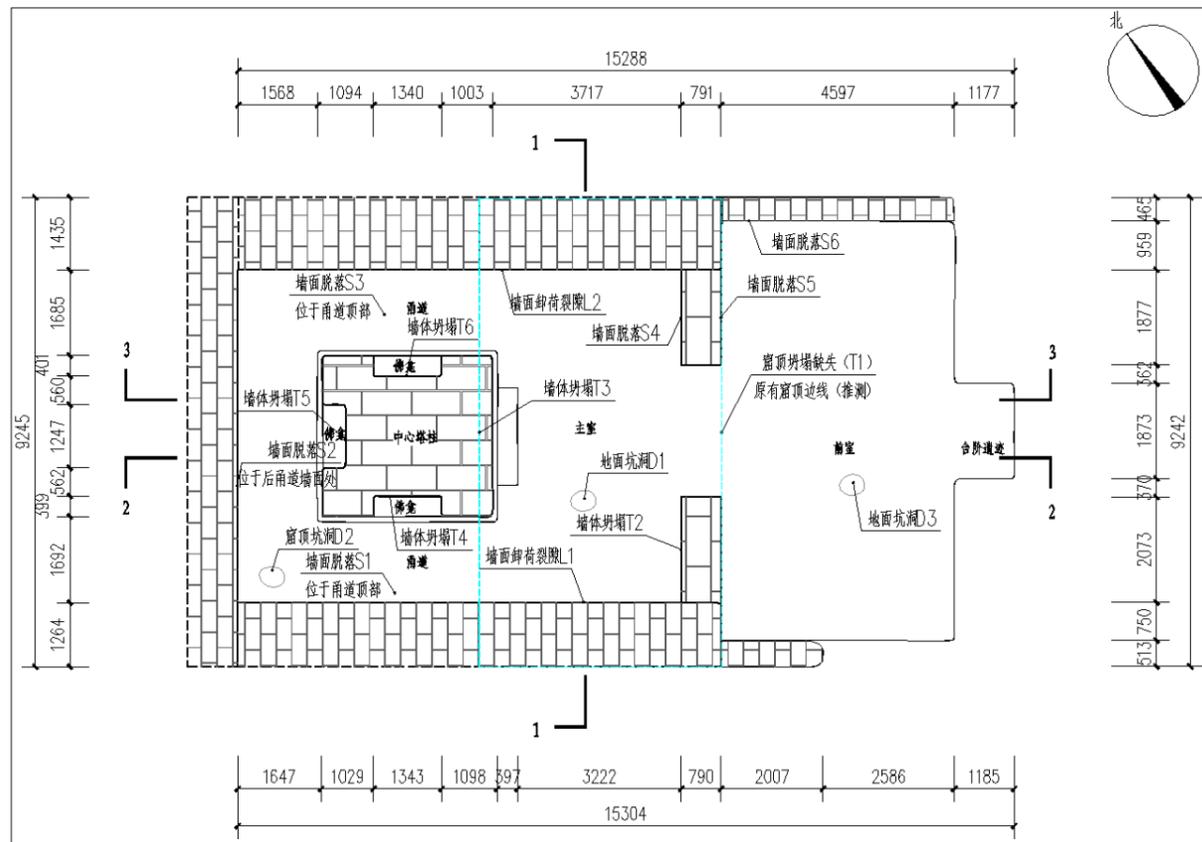
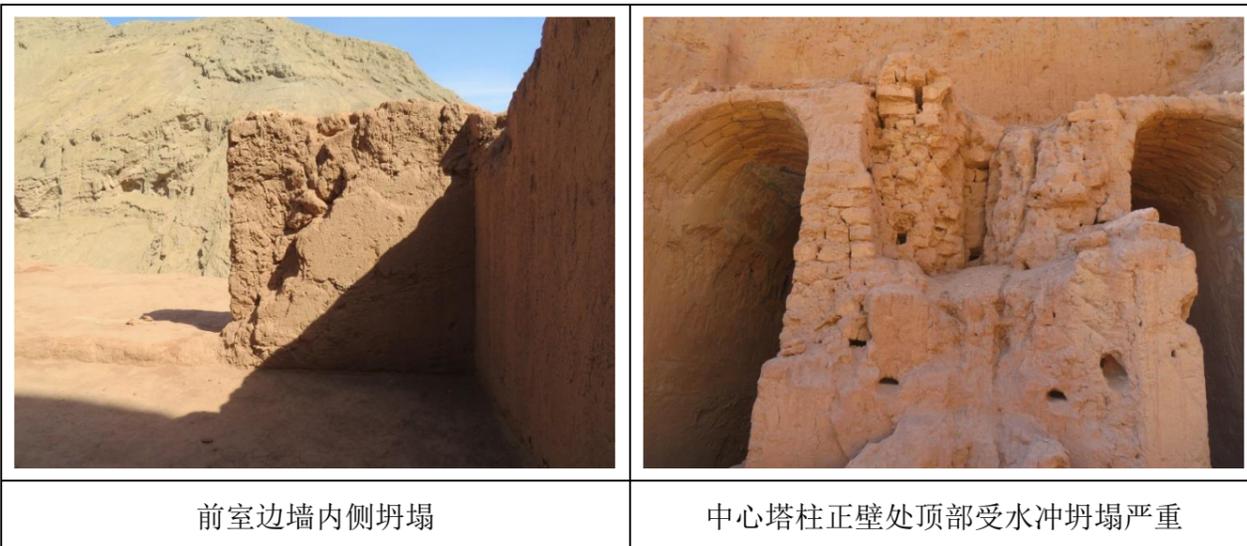
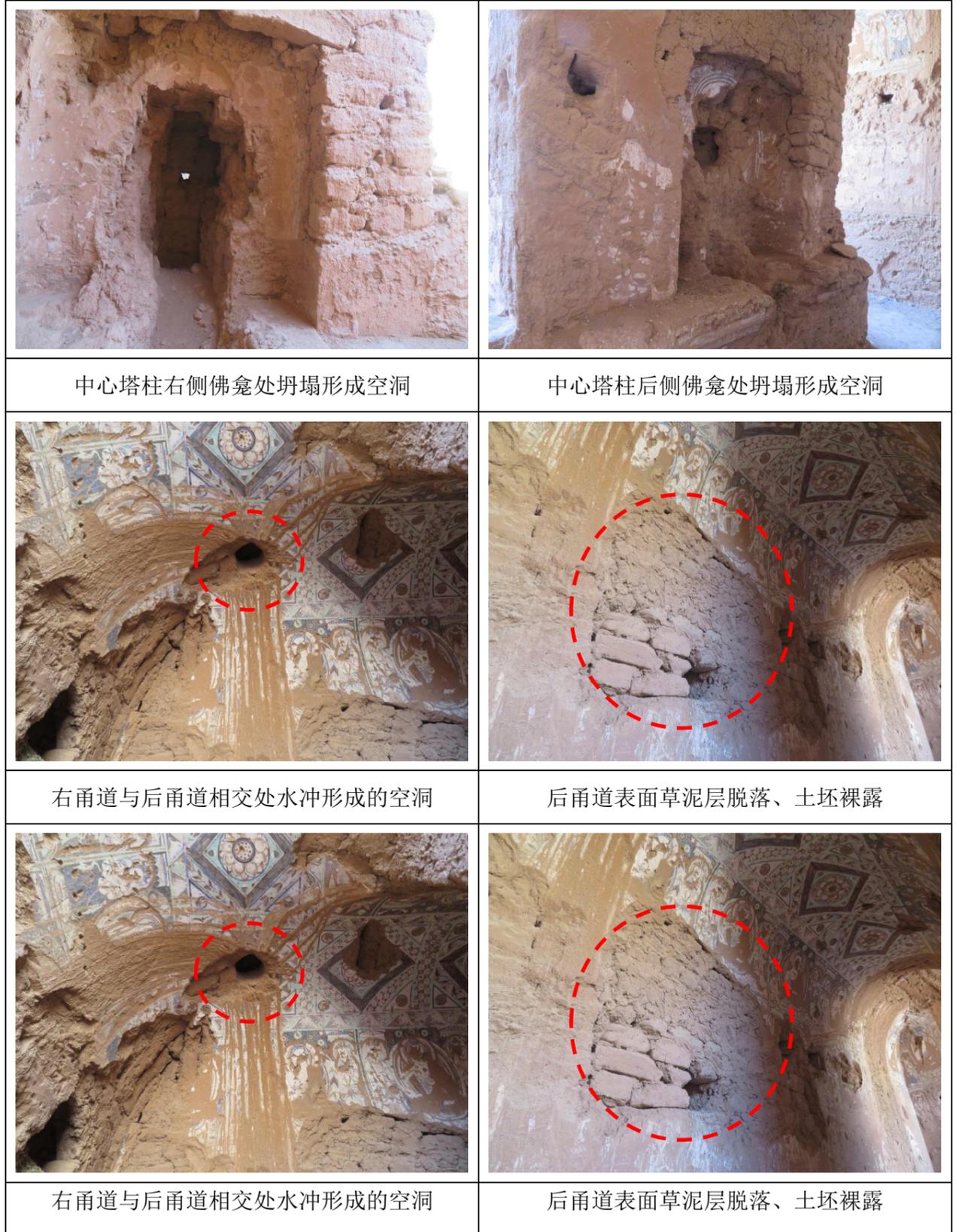
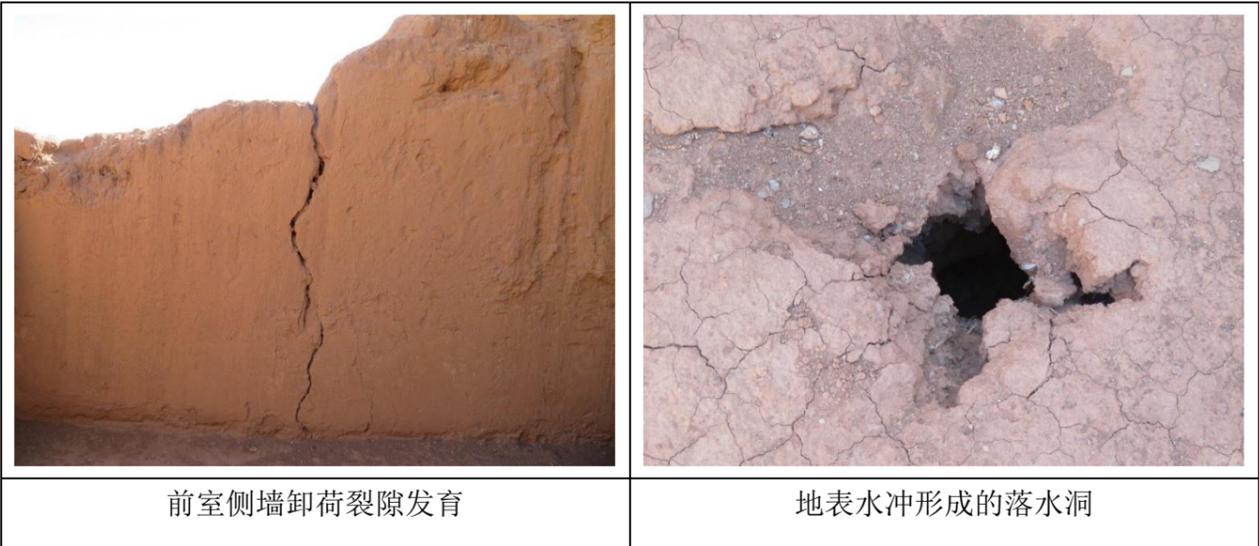


图 2-10 GXB16 号窟平面图





(8) GXB17 号窟

洞窟特征	编号	GXB17 号窟
	位置	位于西崖洞窟集中区的北侧，北端紧邻 GXB18 号窟，南邻 GXB16 号窟
	形制	该窟面阔 2.8 米，进深 11.4 米，由前室、中室和后室三部分组成，其中前室与中室外之间有隔墙，墙上有门洞，无窗洞，后室直接开凿在原有山体中，窟内无壁画遗存，有大面积的白灰抹面层；
	功能	僧房窟
	病害现状	裂隙 L1: 干缩裂隙，位于洞窟前室左侧墙壁上，宽 1 厘米左右，长 1.8 米； 裂隙 L2: 卸荷裂隙，位于洞窟前室左侧墙壁上，宽 0.5 厘米，自上而下发育，并经过一处墙壁上的壁龛，长 2.5 米； 裂隙 L3: 卸荷裂隙，位于前室左侧墙壁处，宽 0.5 厘米，长 3.6 米； 裂隙 L4: 干缩裂隙，位于前室与中室的隔墙内壁上侧，为原有草泥抹面层干缩开裂形成，长约 1.3 米； 裂隙 L5: 卸荷裂隙，位于中室隔墙与窟顶交接处，为原有隔墙开裂形成，长 3.6 米；

	裂隙 L6: 干缩裂隙，位于中室右侧墙壁与后室交接处，为原有草泥抹面层开裂形成的，长约 1.6 米； 裂隙 L7: 卸荷裂隙，从中室窟顶坍塌处发育至左侧墙面上，长 1.9 米； 裂隙 L8: 卸荷裂隙，位于中室后墙壁上，切割崖壁形成两大体块，长 3.1 米； 裂隙 L9: 卸荷裂隙，位于前室左侧墙壁上，自残存窟顶发育至地面处，长 2.1 米； 坑洞 D1: 位于洞窟前室左侧墙壁上，与 L1 相邻，原有土坯脱落后形成坑洞，面积约 0.1 平方米； 坑洞 D2: 位于洞窟前室入口处右侧，洞口 0.5 米见方，洞宽约 1 米，深 2~3 米，具体功能不明； 坑洞 D3: 位于前室与中室的隔墙外壁上，原有隔墙的小部分土坯坍塌行成，面积约 0.1 平方米； 坑洞 D4: 位于前室与中室的隔墙内壁上，原有隔墙的小部分土坯坍塌行成，面积约 0.1 平方米； 坍塌 T1: 位于前室正上方，前室原有窟顶已完全坍塌，坍塌面积约 14.4 平方米； 坍塌 T2: 位于中室正上方，为原有窟顶小范围坍塌，坍塌面积约 0.5 平方米； 墙面脱落 S1: 位于中室右侧墙壁下方，为原有表面的草泥层发生了风化脱落，面积约 0.4 平方米； 墙面脱落 S2: 位于中室后侧墙壁上，原有的草泥抹面层已大部分脱落，外露出原有的山体，脱落面积约 7.6 平方米； 墙面脱落 S3: 位于后室墙壁两侧及后壁上，原有的草泥抹面层已大部分脱落，外露出原有的山体，脱落面积约 8.3 平方米； 墙面脱落 S4: 位于后室左侧墙壁下部，原有的草泥抹面层部分脱落，外露出
--	---

	土坯墙体，面积约 0.6 平方米；
病害类型	①窟顶坍塌；②墙体表面草泥层风化脱落；③裂隙发育；④表面坑洞；

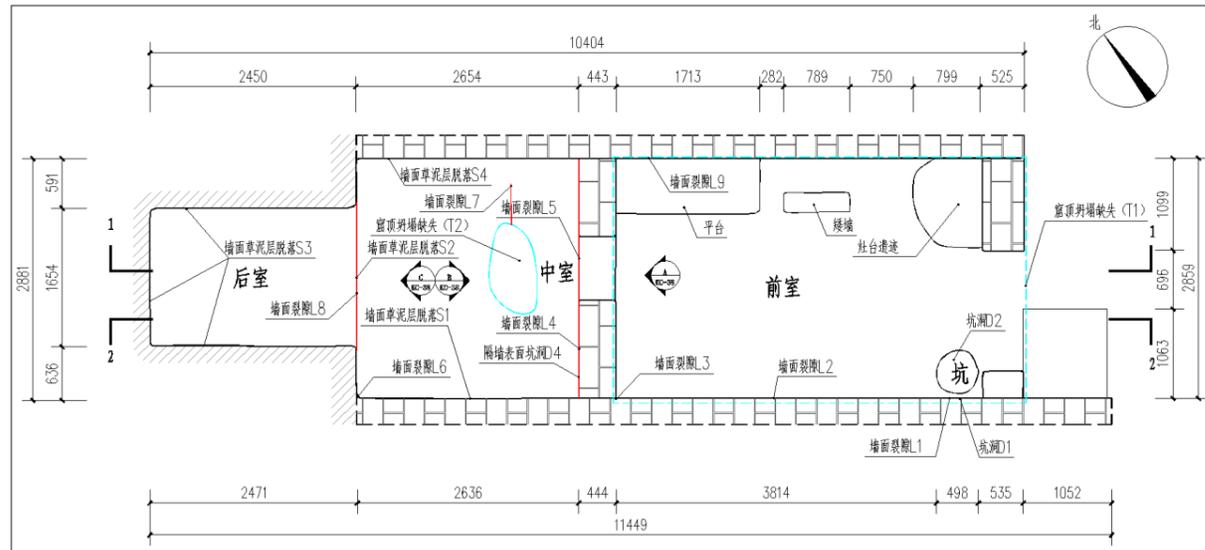


图 2-11 GXB17 号窟平面图



后室侧壁及顶部草泥层脱落严重



中室左侧墙壁下部草泥层脱落



中间隔墙表面的坑洞



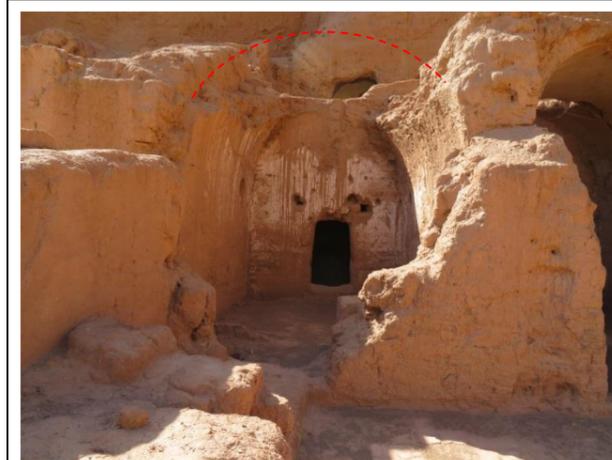
中间隔墙表面的坑洞



前室附近的水冲坑洞



前室右侧墙壁上的干缩裂隙



后室侧壁及顶部草泥层脱落严重



中室窟顶坍塌冒顶

(9) GXB18 号窟

洞窟特征	编号	GXB18 号窟
	位置	位于西崖洞窟集中区的北侧，北端紧邻 GXB19 号窟，南邻 GXB17 号窟
	形制	该窟面阔 3.0 米，进深 9.9 米，由前室、中室和后室三部分组成，其中前室与中室外之间有隔墙，墙上有门洞，后室直接开凿在原有山体中，窟内无壁画遗存，有少量的白灰抹面层；
	功能	僧房窟
	病害现状	<p>坍塌 T1：位于前室入口处正上方，为原有窟顶坍塌形成，面积约 5.1 平方米；</p> <p>坍塌 T2：位于前室与中室隔墙处正上方，为原有窟顶坍塌形成，面积约 1.1 平方米；</p> <p>坍塌 T3：位于中室入口处正上方，为原有窟顶坍塌形成，面积约 0.6 平方米；</p> <p>坍塌 T4：位于前室与中室隔墙间的门洞处，原有的拱门顶部的窗洞坍塌，导致窗洞与拱门融为一体，坍塌面积约 0.4 平方米；</p> <p>裂隙 L1：卸荷裂隙，位于前室右侧墙壁上，从顶部窟顶坍塌缺失处延伸至地面，长 3.9 米；</p> <p>裂隙 L2：卸荷裂隙，位于前室左侧墙体上，从顶部窟顶坍塌缺失处延伸至地面，长 3.8 米；</p> <p>墙面脱落 S1：位于前室入口处右侧墙壁上，原有草泥层脱落外露出土坯墙体，面积约 0.4 平方米；</p> <p>墙面脱落 S2：位于中室拱门处右侧墙壁上，原有的草泥抹面层发生了脱落，外露出内部的土坯墙体，面积约 0.3 平方米；</p> <p>墙面脱落 S3：位于中室右侧墙壁上，原有的草泥抹面层发生了脱落，外露出内部的土坯墙体，面积约 4.6 平方米；</p>

	<p>墙面脱落 S4：位于中室后侧墙壁上，原有墙体表面的草泥层已全部风化脱落，外露出原有坡体，面积约 7.4 平方米；</p> <p>墙面脱落 S5：位于后室所在墙体的两侧及顶部墙面上，原有的草泥层已大部分脱落，剩余少量的白灰层，外露出原有坡体，面积约 9.0 平方米；</p> <p>墙面脱落 S6：位于中室左侧墙壁下部，原有的草泥层脱落外露出土坯墙体，面积约 3.7 平方米；</p> <p>墙面脱落 S7：位于中室拱门处左侧墙面上，面积约 0.2 平方米；</p> <p>墙面孔洞 D1：位于前室隔墙拱门右侧墙面上，共计有三处孔洞，面积约 0.2 平方米，且孔洞周边的草泥层脱落；</p> <p>墙面孔洞 D2：位于前室隔墙拱门左侧墙面上，共计有四处孔洞，面积约 0.1 平方米，且孔洞周边的草泥层脱落；</p> <p>墙面孔洞 D3：位于后室左侧墙壁下部，与 GXB19 号窟相通，面积约 0.1 平方米；</p>
病害类型	①窟顶坍塌；②墙体表面草泥层风化脱落；③裂隙发育；④表面坑洞；

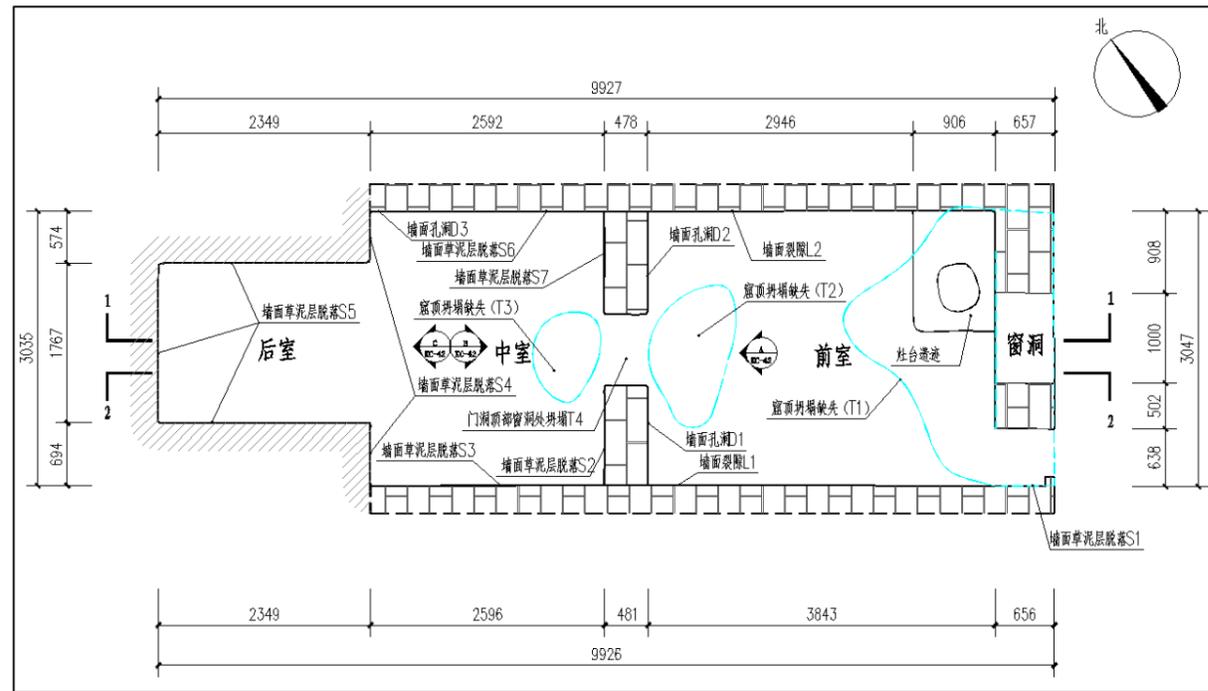
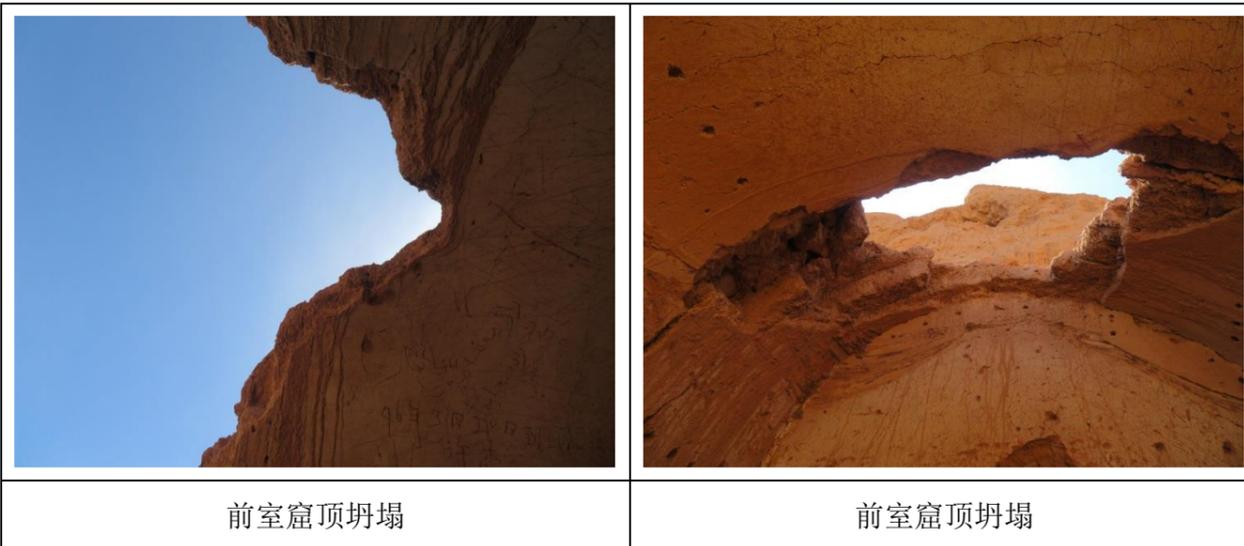


图 2-12 GXB18 号窟平面图



(10) GXB19 号窟

洞窟 特征	编号	GXB19 号窟
	位置	位于西崖洞窟集中区的北侧，北端紧邻 GXB20 号窟，南邻 GXB18 号窟
	形制	该窟面阔 2.9 米，进深 10.3 米，由前室、中室和后室三部分组成，其中前室与中室外之间有隔墙，墙上有门洞，后室直接开凿在原有山体中，窟内无壁画遗存，有少量的白灰抹面层；
	功能	僧房窟
	病害 现状	<p>沟槽 G1：位于前室外墙面上，为水冲形成的一道沟槽，宽 20~25 厘米左右，深 10 厘米，从窟顶一直延伸至入口处的门洞上方，长 1.7 米；</p> <p>沟槽 G2：位于前室门洞与右侧墙体相交处，为窟顶雨水汇集冲刷形成的一道小型沟槽，宽 5 厘米左右，长 2.2 米；</p> <p>坍塌 T1：位于前室入口处正上方，为原有窟顶坍塌形成的，坍塌面积约 1.7 平方米；</p> <p>坍塌 T2：位于前室隔墙拱门处正上方，为原有窟顶坍塌形成的，坍塌面积约 0.3 平方米；</p> <p>坍塌 T3：位于中室正上方，为原有窟顶坍塌形成的，坍塌面积约 1.7 平方米；</p> <p>坍塌 T4：位于前室隔墙拱门正上方，原有拱门及窗洞之间有土坯砌筑，现已坍塌呈一整体，面积约 0.3 平方米；</p> <p>裂隙 L1：卸荷裂隙，位于前室右侧墙壁上，从窟顶发育至地面处，最宽处达 2 厘米，长 3.5 米；</p> <p>裂隙 L2：卸荷裂隙，从窟顶坍塌处 T2 发育至墙面上，宽度 5 毫米左右，长 1.1 米；</p> <p>裂隙 L3：卸荷裂隙，位于前室与中室隔墙顶部，为窟顶开裂形成，沿窟顶发</p>

育，长约 5.2 米；

裂隙 L4：卸荷裂隙，位于前室拱门处正上方，为原有窗洞开裂形成，长约 1 米；

裂隙 L5：干缩裂隙，位于中室后墙墙面上，为原有的草泥抹面干缩开裂形成的，长约 0.7 米；

裂隙 L6：干缩裂隙，位于中室后墙墙面上，为原有的草泥抹面干缩开裂形成的，长约 0.9 米；

裂隙 L7：卸荷裂隙，位于中室后墙墙面上，从窟顶一直延伸至后室墙面上，为开挖后室造成崖壁应力不均匀释放形成，最宽处约 10 厘米，长 5.6 米；

裂隙 L8：干缩裂隙，位于前室左侧墙面上，为原有的草泥抹面干缩开裂形成的，长约 4.2 米；

裂隙 L9，干缩裂隙，位于前室左侧墙壁上，从窟顶处发育至墙壁上，长 1.5 米；

裂隙 L10：干缩裂隙，位于前室左侧墙面上，为原有的草泥抹面干缩开裂形成的，长约 2.2 米；

墙面脱落 S1：位于前室右侧墙壁中部，原有墙体表面的草泥层已经脱落，外露出土坯墙体，面积约 2.4 平方米；

墙面脱落 S2：位于前室隔墙中部，原有白灰墙面被人为破坏导致表面脱落，面积约 0.4 平方米；

墙面脱落 S3：位于中室右侧墙体中下部，原有草泥层脱落外露出土坯墙体，面积约 2.7 平方米；

墙面脱落 S4：位于中室后侧墙体上，原有的草泥层已大面积风化脱落，仅剩一小部分，脱落面积约 4.9 平方米；

墙面脱落 S5：位于后室侧墙及顶面墙体，原有的草泥层已大面积风化脱落，

	<p>仅剩一小部分，脱落面积约 10 平方米；</p> <p>墙面脱落 S6：位于中室左侧墙体底部，原有的草泥抹面层风化脱落，外露出土坯墙体，面积约 4.3 平方米；</p> <p>墙面脱落 S7：位于中室隔墙左侧墙面上，原有的草泥抹面层部分风化脱落，外露出土坯墙体，面积约 0.4 平方米；</p> <p>墙面脱落 S8：位于前室隔墙左侧墙面上，原有的草泥抹面层部分风化脱落，外露出土坯墙体，面积约 0.4 平方米；</p> <p>墙面脱落 S9：位于前室左侧墙面上，原有的草泥抹面层部分风化脱落，外露出土坯墙体，面积约 1.9 平方米；</p> <p>表面坑洞 D1：位于前室与中室的隔墙右侧墙面上，原有土坯墙体被人为破坏后形成一坑洞，面积约 0.1 平方米；</p> <p>表面坑洞 D2：位于前室与中室的隔墙右侧墙面上，原有土坯墙体被人为破坏后形成一坑洞，面积约 0.1 平方米；</p>
<p>病害类型</p>	<p>①窟顶坍塌；②墙体表面草泥层风化脱落；③裂隙发育；④表面坑洞；⑤水冲形成沟槽；</p>

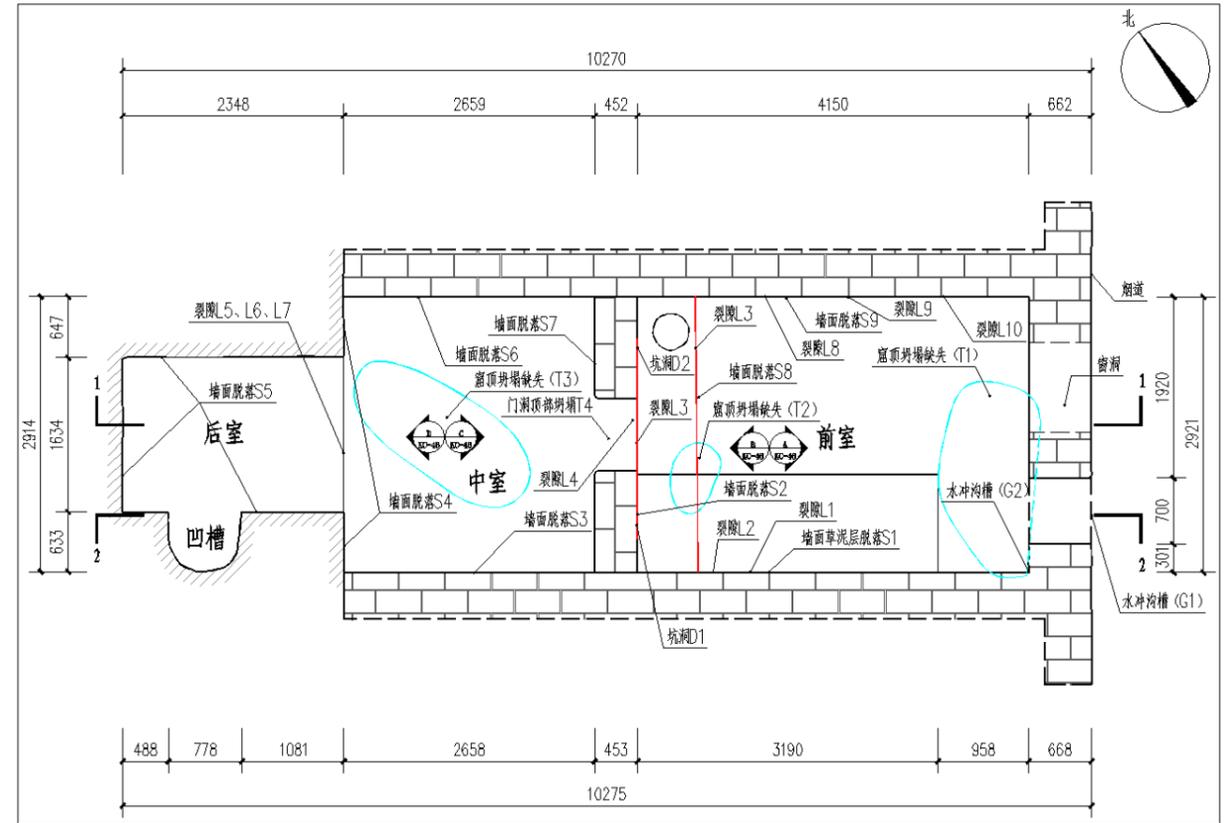
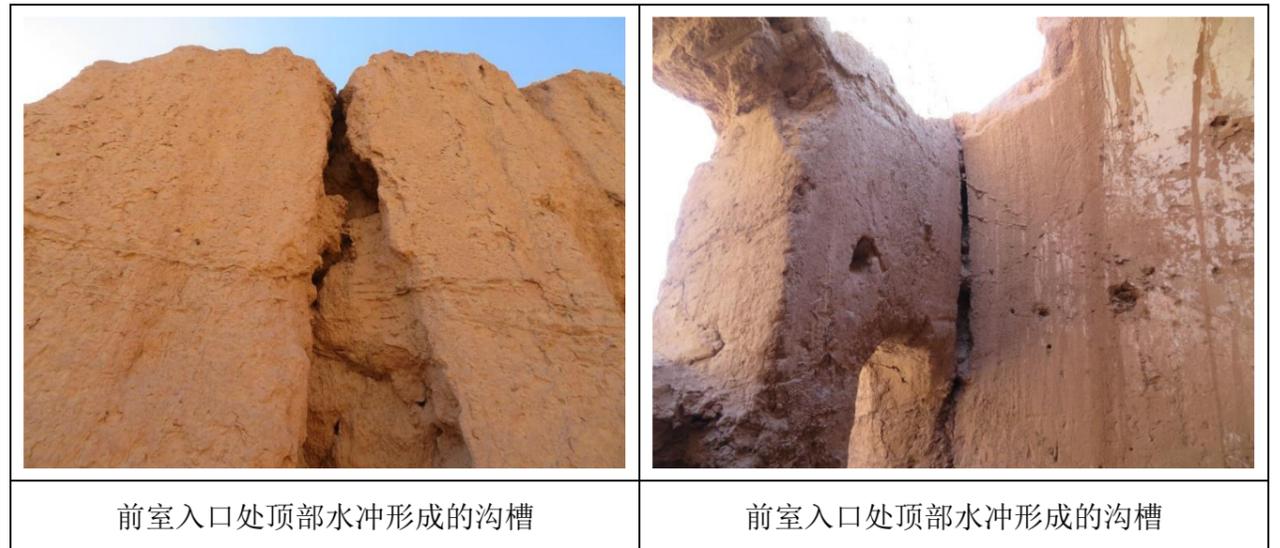


图 2-13 GXB19 号窟平面图



前室入口处顶部水冲形成的沟槽

前室入口处顶部水冲形成的沟槽

	
前室窟顶坍塌冒顶	前室窟顶坍塌冒顶
	
前室右侧墙壁草泥层脱落	中室后墙上草泥层大面积脱落
	
原有崖体上发育的裂隙	前室窟顶上的卸荷裂隙密布

(11) GXB20 号窟

洞窟特征	编号	GXB20 号窟
	位置	位于西崖洞窟集中区的北端，北端紧邻 GXB21 号窟，南邻 GXB19 号窟
	形制	该窟面阔 2.9 米，进深 10.3 米，由前室、中室和后室三部分组成，其中前室与中室外之间有隔墙，墙上有门洞，后室直接开凿在原有山体中，窟内保存有大量精美的壁画，同时壁画有被大块切割的痕迹，中室遗留有较多的矮墙，功能不明。
	功能	僧房窟
病害现状	坍塌 T1：位于前室入口处正上方，为原有窟顶坍塌冒顶形成的，面积约 1 平方米； 坍塌 T2：位于中室正上方，为原有窟顶坍塌冒顶形成的，面积约 2.2 平方米； 裂隙 L1：卸荷裂隙，位于前室右侧墙壁上，从壁画被切割部位一直延伸至地面处，长约 3.8 米； 裂隙 L2：卸荷裂隙，位于前室右侧墙壁上，从窟顶延伸至墙面处，长 1.5 米； 裂隙 L3：干缩裂隙，位于前室右侧墙壁上，裂隙两侧为保存完好的壁画，宽 3 厘米左右，长 2.2 米，推测为雨水冲刷后表面迅速变干导致开裂； 裂隙 L4：卸荷裂隙，位于前室左侧墙壁上，宽 1 厘米左右，长 3.4 米； 裂隙 L5：卸荷裂隙，位于前室左侧墙壁上，宽 1 厘米左右，从窟顶一直延伸至地面处，长 3.4 米； 墙面脱落 S1：位于前室右侧墙壁至窟顶处，原有草泥层及壁画被人为切割后导致窟顶土坯裸露，脱落面积约 1.9 平方米； 墙面脱落 S2：位于前室中间隔墙外表面，原有墙体表面的壁画及草泥层局部脱落，外露出隔墙土坯墙体，脱落面积约 1.9 平方米；	

	<p>墙面脱落 S3: 位于前室中间隔墙外表面, 原有墙体表面的壁画及草泥层局部脱落, 外露出隔墙土坯墙体, 脱落面积约 0.3 平方米;</p> <p>墙面脱落 S4: 位于中室后墙, 原有的草泥层及壁画已经完全脱落, 外露出原有崖壁, 脱落面积约 7.1 平方米;</p> <p>墙面脱落 S5: 位于后室墙体侧墙及顶部, 整个后室原有的草泥层及壁画已全部脱落, 外露出原有崖壁, 脱落面积约 8.9 平方米;</p> <p>墙面脱落 S6: 位于前室右侧墙壁上, 靠近顶部窟顶坍塌冒顶处, 原有的草泥层及壁画部分脱落, 外露出土坯窟顶, 面积约 1.5 平方米;</p> <p>墙面脱落 S7: 位于前室入口处门洞两侧, 面积约 1 平方米;</p> <p>墙面脱落 S8: 位于前室入口处窗洞上侧, 面积约 0.5 平方米;</p> <p>坍塌堆积 W1: 位于中室地面上及中室窟顶上方平台处, 为原有窟顶土坯及上部崖体坍塌后堆积在地面上形成, 包括土坯、土块等, 体积约 5 立方米;</p> <p>坑洞 D1: 位于中室隔墙上, 拱门两侧, 原有土坯部分坍塌缺失后形成, 面积约 0.1 平方米;</p> <p>坑洞 D2: 位于中室左侧墙面上, 为人为肆意破坏形成, 面积约 0.1 平方米;</p>
<p>病害类型</p>	<p>①窟顶坍塌; ②墙体表面草泥层风化脱落; ③裂隙发育; ④表面坑洞; ⑤水冲形成沟槽; ⑥坍塌堆积物堆积; ⑦壁画遭人为切割破坏;</p>

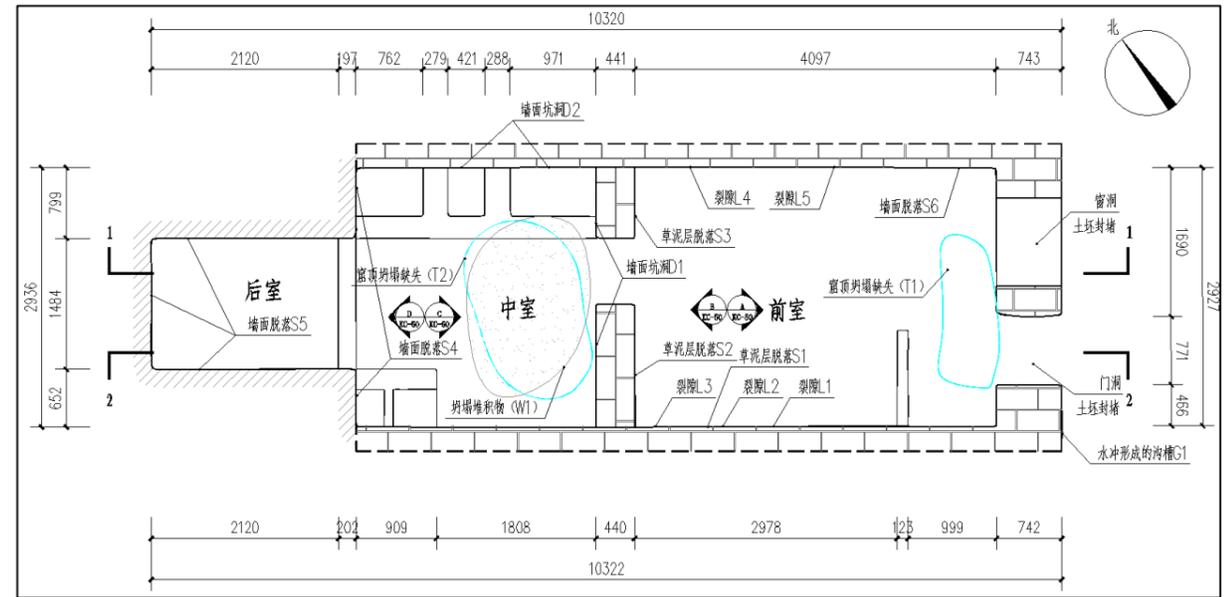
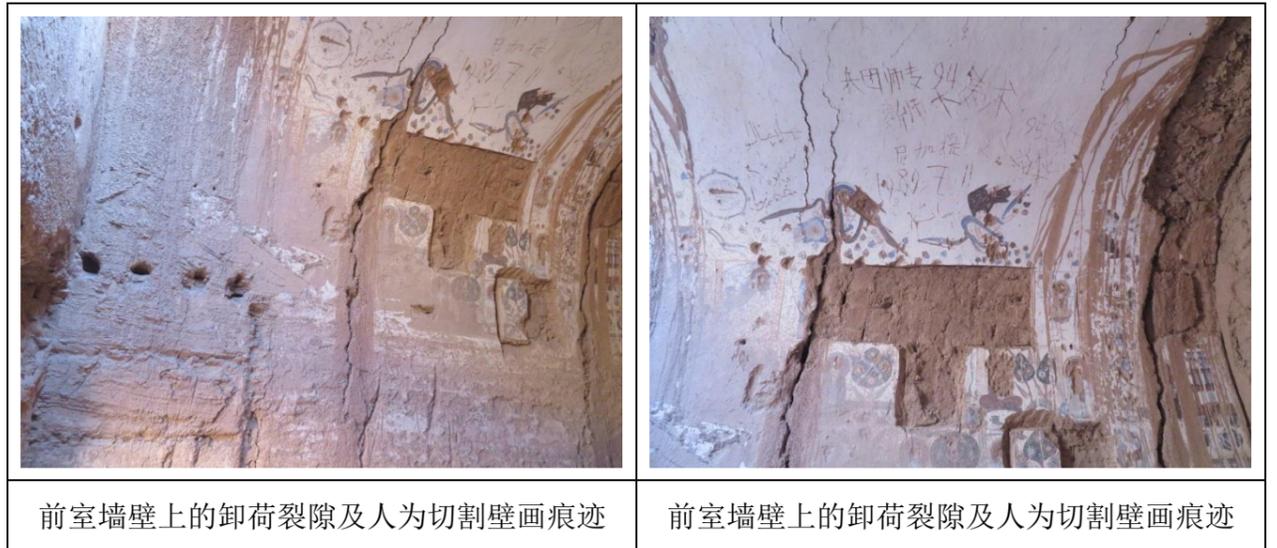


图 2-14 GXB20 号窟平面图



前室墙壁上的卸荷裂隙及人为切割壁画痕迹

前室墙壁上的卸荷裂隙及人为切割壁画痕迹

	
<p>前室窟顶坍塌冒顶</p>	<p>中室窟顶坍塌冒顶</p>
	
<p>中室地面的坍塌堆积物</p>	<p>中室地面的坍塌堆积物</p>
	
<p>中室后墙表面的草泥层完全脱落</p>	<p>后室表面的草泥层完全脱落</p>

2.4 洞窟顶部排水现状

本次勘察范围内的 GXB10~GXB20 号窟，均是开凿于斩山崖面内，即在自然断崖上开凿洞窟时，一般会沿垂直方向和水平方向同时斩切山体，形成一段位置相对独立的斩山崖面区段，伴随着施工过程会开凿出两段的斩山侧壁、前端斩山平台和后端的斩山正壁，从而形成一个三面围合的半封闭空间。



图 2-15 吐峪沟西区中部高台窟院斩山崖面区段示意图

现有的洞窟顶部为当时修建洞窟时斩切山体形成的竖直面，顶部 30 米处为公路，在公路与洞窟之间的坡顶有一截排水沟，用于阻截原有坡面上雨水并引导至洞窟群两侧的大型冲沟中去，现有洞窟的渗漏水主要来自于窟顶平台的汇水，由于几处窟顶均存在窟顶坍塌缺失的现象，导致在强降雨来临时，雨水从窟顶坍塌缺失处流下，夹杂着泥土变成泥流污染墙面，尤其是对有壁画遗存的墙面造成了严重的影响。



图 2-16 西崖洞窟顶部截排水沟

2.5 现状勘察结论

(1) 吐峪沟石窟位于新疆维吾尔自治区吐鲁番市鄯善县吐峪沟乡，始凿于公元 5 世纪前后，经历了沮渠高昌、麴氏高昌（公元 5~6 世纪）、唐西州时期（7~8 世纪）和高昌回鹘时期（7~13 世纪）等不同的发展阶段，是已知的吐鲁番地区开凿时间最早、规模最大的佛教石窟群，历史悠久、遗存丰富、风格独特，是古“丝绸之路”新疆段吐鲁番地区沿线上一处重要的佛教遗迹，2006 年 5 月 25 日，被国务院公布为第六批全国重点文物保护单位，类型为石窟寺及石刻；

(2) 本次勘察范围内的 GXB10~GXB20 号窟的 11 个洞窟，均位于沟西北区西崖洞窟集中区内，均采用原崖岩层开凿与土坯砌筑相结合的方式进行建造，其中 GXB10~GXB15 号窟、GXB17~GXB20 号窟为僧房窟，窟内有生活遗迹尚存，GXB16 号窟为塔庙窟，窟内有保存完好的中心柱及甬道，并且有大量精美的壁画遗存；其次在 GXB20 号窟内也有壁画遗存；

(3) 吐峪沟石窟地处吐鲁番盆地中部的火焰山低山丘陵区吐峪沟峡谷南端，总地势北高南低，地貌类型为构造剥蚀地形和剥蚀堆积地形，区内分布有陡立崖壁、冲洪积坡体、河谷阶地，岩性主要为中侏罗统七克台组（J2q）砂岩和泥岩互层，上覆地层为第四系冲洪积层（ Q_{1-2}^{al+pl} ）粉质粘土、粘质砂土、灰色砂卵石土层，吐峪沟洞窟主要开凿建造于粘质砂土层中；

(4) 石窟位于火焰山以南气候区，属于典型大陆性暖温带荒漠气候，特殊的地理环境具有日照长、昼夜温差大、降水稀少、气温高、风力强五大特点；

(5) 通过对洞窟周边坍塌的土坯进行取样分析可知，石窟所采用的砌筑土坯绝大部分原材料为当地粘质砂土，粘结性差，抗水性差，极易分化，土坯制作工艺应为将砂土块经碾碎、过筛后，加入矿物含量低、含盐量低的天然水，再加入麦草拌合后倒入模具中制成；同时，在土坯内加入麦草等加筋材料，其强度及耐久性远高于普通素土土坯；

(6) 根据现场勘察，十一处洞窟的主要病害包括窟顶坍塌、墙体坍塌、裂隙切割、渗水病害、墙体表层风化脱落、表面坑洞和人为破坏等几大类，这几种病害在外界环境和内部因素的影响下，相互作用、相互引发，共同对洞窟的保存状态产生了影响；

(7) 石窟的各种病害是内因和外因共同作用的结果，内因主要是石窟所在的地形地貌、地层岩性、地质构造、洞窟岩土体工程地质性质以及建造工艺等，外因主要是指外部环境、人类活动等，主要外因有降雨、风蚀、地震、人为因素、温湿度等。

3、设计说明

3.1 设计依据

(1) 相关法律法规

《中华人民共和国文物保护法》（2017年版）；
《中华人民共和国文物保护法实施条例》（2017年修订版）；
《文物保护工程管理办法》（2003）；
《中国文物古迹保护准则》（2015）；
《国际古迹保护与修复宪章》（威尼斯宪章）。

(2) 相关技术资料

《吐峪沟石窟文物保护规划》（2012年~2030年）；
《新疆鄯善县吐峪沟东区北侧石窟发掘简报》；
《新疆鄯善县吐峪沟石窟寺遗址发掘简报》；
《新疆鄯善县吐峪沟西区北侧石窟发掘简报》；
《新疆鄯善县吐峪沟西区中部高台石窟发掘报告》；
《新疆鄯善县吐峪沟西区中部回鹘佛寺发掘简报》；
《吐鲁番吐峪沟石窟考古新发现—试论5世纪高昌佛教图像》；
《吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程勘察报告》；

(3) 相关技术规范规程

《干燥类土遗址保护加固工程设计规范》（WWW/T0038-2012）

《土遗址保护试验规范》（WWT 0039-2012）

《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010 2016版）；

《工程测量规范》（GB 50026-2016）

《滑坡防治工程勘察规范》（DZ/T0218—2006）；

《工程地质调查规范》（DZ/T0097—1994）；

《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2013）

《岩土锚杆（索）技术规程》（CECT 22: 2005）

《工程地质手册》（第五版）；

《土层锚杆设计与施工规范》（CECS22: 90）

《文物保护工程设计文件编制深度要求（试行）》

《砌体结构工程施工质量验收规范》（2019）；

3.2 计范围

根据《新疆维吾尔自治区文化和旅游厅〈关于做好2022年度全国重点文物保护单位文物保护单位（不含安防消防防雷）的通知〉》（新文旅办发【2021】191号）的通知要求，受吐鲁番市文物局委托，本次工作范围为GXB10~GXB20共计11个洞窟本体的保护加固，通过对洞窟存在险情的墙体进行结构稳定性加固，引导洞窟周边的排水环境，改善文物的赋存环境，延长珍贵文物的保存期限。

3.3 设计目标

(1) 真实、完整的保留 GXB10~GXB20 共 11 个洞窟的各类历史信息，通过保护修缮延长珍贵文物的保存期，达到保护的最终目的；

(2) 根据遗址的病害类型、发育规模及病害成因，参照其他相关工程的成功经验，对洞窟进行科学合理的保护。

3.4 设计原则

“不改变文物原状，保护文物真实性、完整性”原则。在保护修缮的工程中，为尽可能的保存洞窟的历史风貌和原有形制，采取以传统措施为主的工程措施，解决遗址本体安全稳定性问题，最大限度的保存文物的真实性、完整性；

最小干预原则。本次保护加固工作以解决洞窟的结构稳定性病害为主，主要解决洞窟的窟顶开裂冒顶、裂隙切割发育、墙体坍塌、渗水病害等威胁洞窟本体安全稳定的病害类型，对于类似表面泥流覆盖污染、表层劣化等病害类型，以暂时保持现状为主，待后期技术成熟后可进一步加固；

保存文物本体的真实性、完整性原则。在进行保护加固的过程中，应注重对文物真实性、完整性的保护，文物经过修补、修复的部分应该可以识别，已经不存在的文物不应当重建，同时注重对文物多重价值的保护，应对涵盖所有体现文物估计价值的要素予以保护，并注重消除周边环境所产生的消极影响。

使用恰当的保护技术原则。采用传统材料和传统工艺进行保护加固。

3.5 工程性质

本次保护工程的类型为**保护修缮**工程。

4、工程措施

4.1 GXB10 号窟保护加固措施

GXB10 号窟，位于西崖洞窟集中区的最南侧，面宽 3.4 米，进深 7.6 米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，其中后室部分有壁画遗存，整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、窟顶开裂、墙面裂隙发育切割、水冲或人为破坏形成的坑洞、土坯砌筑墙体灰缝脱落、墙体表面草泥抹面层脱落等，因此所采取的主要工程措施如下：

(1) 窟顶加固

GXB10 号窟窟顶坍塌共有两处，分别为位于前室部分和中室部分，在加固过程中，对坍塌部位采用土坯进行砌筑封堵加固，具体施工工艺如下：

①洞口清理。人工对现有坍塌部位进行清理，清理掉原有断裂的土坯、泥浆灰缝、泥流污染痕迹等，并对坍塌部位周边的草泥层抹面进行扩大清理，便于后期进行重新抹面；

②土坯制备。以当地粘土为主材，要求土质干净、含砂量小，粒径小于 0.055mm 且含量超过 50%，塑性指数不小于 15，并掺入长 2~3 厘米左右的麦草，按照重量比为 0.5%配置，控制水灰比为 0.4，充分拌合均匀，闷土 24 小时后拌合均匀，采用干法制坯，土料含水率依据经验“手握成团，落地开花”，结合击实试验获取的最大干密度和最优含水率确定；将适量拌好的土料放置在模具中，均匀摊铺并夯打密实，控制干燥后抗压强度不低于 2.0MPa，尺寸为 40×20×15 厘米（由于每个洞窟土坯尺寸略有差异，可根据原有洞窟土坯的具体尺寸进行调整）；制作完成后的土坯轻轻脱模，并挪放至阴凉干燥处通风晾干备用；

③灰浆制备。砌筑材料为草泥浆，与土坯制备材料类似，并含有 5%左右的麦草，水灰比控制在 0.4 左右；

④土坯砌筑。砌筑前应进行洒水湿润，对砌筑接茬部位进行润湿，然后按照原有土坯走向、弧度等进行砌筑，砌筑过程中泥浆要饱满，并做好防晒措施，让砌筑部位慢慢阴干；

⑤底部临时支撑。在砌筑体底部可设置柔性材料，并设置钢管立柱进行临时支撑，让砌筑部分强度提高后可撤去支撑体，最后慢慢阴干；

⑥表面草泥层抹面。在完成窟顶坍塌部位的砌筑后，对坍塌孔洞上下两个面采用草泥进行抹面，所用草泥以当地的粘土为主，要求土质干净、含砂量小，粒径小于 0.055 毫米且含量超过 25%，塑性指数不小于 15，含盐量应低于 0.5%，掺入长 3 厘米的麦草，控制水灰比为 0.3 拌制；

按照原有草泥层的厚度，分两次作业，第一层为粗泥层，厚度以 2 厘米为宜，第二层为细草泥（麦草含量低且长 1 厘米），厚度以 0.5 厘米为宜，对原有的白灰层不重抹，保持加固工程的可识别性，抹面完成后，慢慢阴干。

草泥抹面中的细草泥抹面仅在洞窟内部进行，而对于窟顶以上的平台处则仅需抹粗草泥层即可。

(2) 裂隙加固

GXB10 号窟内共有裂隙 5 条，分别位于前室前墙墙面上（L1、L2）、前室券顶处（L3）、前室门洞正上方（L4）和中室券顶处（L5），因其所处的位置不同，所以采取相对具有针对性的加固措施，具体如下：

①墙面裂隙处理（针对 L1、L2）

a. 裂隙清理

采用鼓风机外接细软管深入裂隙内部，利用鼓风机的强大气流，从上到下将内部杂物吹出，待无大量灰尘杂物排出裂隙口停止；

b. 裂隙填充堵塞

在注浆前，可采用碎土块、泥浆等对裂隙进行填充封堵，避免注浆过程中浆液外流；

c. 埋设注浆管

为了保证注浆效果，对深度大于 50 厘米的裂缝，在注浆过程中需要埋设注浆管。注浆管采用直径 2 厘米的胶管，上下每隔 30 厘米布设一个注浆管，进行分段注浆。裂缝外部预留 30 厘米长，供注浆机连接使用。对于一些张开度较小、埋设注浆管比较困难的裂隙，可采用注射器进行注浆；

d. 润缝

为了能够使浆体在裂隙内部有很好的流动性，必须保证在一段时间内浆体不能凝结，相对于窄小裂隙，除了两侧的土体，还有碎土块，更加易吸收浆体内的土体，加快浆体的凝结时间，因此，除了控制好水灰比之外，在注浆之前必须进行润缝，润缝的过程与碎土块填充、埋设注浆管同步进行。

对于润缝所用器材和材料，采用市场上售卖的喷壶对裂隙进行带压喷洒，所用的材料为纯粘土浆液。

e. 浆液制备

所用浆液为粘土浆液掺合中砂，中砂含量为 10%，粘土过 1 毫米筛，按照水灰比 0.45 配置浆液，采用机械搅拌；对于一些张开度比较小的裂隙，要求浆液流动性高，因此按照水灰比为 0.6 进行配置。

f. 充填注浆

采用手动注浆机进行注浆。首先将手动注浆机放置在平整稳定的地方，并连接好出浆管与注浆管的接口，然后将配置好的浆液倾倒入注浆机内，随即开始注浆，注浆过程比较简单，匀速按压注浆机的拉杆，注意各处导管是否有漏浆情况。当相邻上方注浆管有浆液溢出时，可判定这部分裂隙填充已初步密实。最后松开注浆机出浆口的连接，对预埋设的注浆管进行临时密封，方便二次补浆。

对于一些张开度比较小的裂隙，埋设注浆管比较困难，可采用兽医注射器进行人工给压注浆。注浆管采用医用输液管，用注射器对注浆管注射浆液，浆液随着注浆管进入裂隙深部，由于浆液自身具有一定的流动性，此外还有手动注射压力，裂隙一般能够被注浆材料所充填密实。

g. 二次补浆

在首次注浆后，浆体初凝前，浆体会产生一定的收缩，需要对裂隙进行二次补浆，补浆也应从下向上顺序进行。补浆要避免浆体污染遗址本体，且不能漏补。

h. 表面处理

在完成二次补浆后，等到浆体达到终凝状态，剪除预留露出裂隙口的注浆管，其余埋入浆体内部的胶管不做处理。

②窟顶裂隙处理（针对 L3、L4、L5）

对窟顶上面的裂隙，首先对裂隙两侧 10 厘米范围内的原有草泥层抹面进行清理揭除，探查裂隙产生的原因是原有的草泥层开裂还是内部土坯砌体断裂，如果仅仅是草泥层开裂，则按照如下工艺进行重新抹面即可。

a. 裂隙两侧清理

以裂隙走向两侧 10 厘米范围为界，对开裂部位两侧的原有草泥抹面层进行清理，便于后期重新抹面；

b. 土坯表面凿毛

对原有土坯砌体表面进行凿毛处理，便于后期草泥抹面层与土坯层有效接触；

c. 表面抹面

抹面所用草泥以当地的粘土为主，要求土质干净、含砂量小，粒径小于 0.055 毫米且含量超过 25%，塑性指数不小于 15，含盐量应低于 0.5%，掺入长 3 厘米的麦草，控制水灰比为 0.3 拌制；

按照原有草泥层的厚度，分两次作业，第一层为粗泥层，厚度以 2 厘米为宜，第二层为细草泥（麦草含量低且长 1 厘米），厚度以 0.5 厘米为宜，对原有的白灰层不重抹，保持加固工程的可识别性，抹面完成后，慢慢阴干。

对于草泥抹面清理后若是窟顶砌筑的土坯发生了断裂、破损等，则应按照如下工艺进行加固：

a. 裂隙两侧清理

以裂隙走向两侧 15 厘米范围为界，对开裂部位两侧的原有草泥抹面层进行清理，便于后续作业；

b. 破损土坯更换

清理完现有裂隙两侧的草泥抹面层后，将原有窟顶破损、断裂的土坯进行小型凿除，凿除完成后按照相同规格的土坯进行嵌补，同时应对原有凿除土坯附近的灰缝采用泥浆填充密实，用小铲或其他小型工具将配置好的泥浆填充进入灰缝内，填塞后可用木棍进行填捣密实，从灰缝最深处直至土坯表面，填充完成后过半小时后进行补浆，振捣密实后慢慢阴干；

c. 表面抹面

更换完土坯及对原有土坯灰缝进行填充密实后，重新对表面进行抹面处理，保持与周边墙体风格一致，其中洞窟内墙采用细草泥抹面后重新采用白灰进行做旧处理，洞窟顶部采用粗草泥层抹面，避免后期渗水。

（3）墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞，如果坑洞深度小于 5 厘米，则采用采用草泥进行重新抹面处理即可，抹面工艺与一般墙体裂隙表面抹面工艺相同；如果坑洞深度大于 5 厘米，则需要对坑洞内填充相同尺寸的土坯后，然后采用草泥进行抹面封护，保持表面与周边墙体协调一致。

（4）土坯墙体灰缝补强

对于 GXB10 号窟中前室与中室之间的土坯矮墙，表面灰缝风化脱落严重，且外侧有草泥抹面层，内侧的抹面层完全脱落，因此对现有的土坯墙体灰缝进行补强，并对墙体内侧墙面重新进行抹面，具体工艺如下：

①灰缝清理。进行勾缝前，首先采用小型吹风机对原有灰缝内的杂土、碎屑物进行清理，直至灰缝中无杂物吹出为止；

②喷水浸润。采用小型喷壶对灰缝内进行喷水浸润，可分多次喷洒，待两侧土坯表面完全湿润为主；

③泥浆填充。填充用的草泥浆同土坯砌筑所用的泥浆，用小铲或其他小型工具将配置好的草泥浆填充进入灰缝内，填塞后可用木棍进行填捣密实，从灰缝最深处直至土坯表面，填充完成后过半小时后进行补浆；

④养护。灰缝填捣密实后覆盖遮阳网慢慢阴干；

⑤表面抹面。与一般墙体裂隙表面抹面工艺相同，抹面厚度为 2.5 厘米，其中粗草泥厚 2 厘米，细草泥厚 0.5 厘米，不抹白灰层。

(5) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如前室与中室的门洞上方、窟顶处等重新进行抹面，具体工艺与一般墙体裂隙表面抹面工艺相同，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，如若仅是细草泥层脱落，则只需抹细草泥层即可；如若脱落厚度达 2.5 厘米，则应按照 2 厘米厚粗草泥和 0.5 厘米厚细草泥进行重抹，不抹白灰层。

(6) 泥流污染清理

由于原有洞窟顶部坍塌冒顶，在早期尚未设置崖顶截排水沟前，雨水从崖面上裹挟着大量的泥流等从窟顶处漫流而下，导致洞窟墙壁上有大量的泥流污染的痕迹，因此为了后期的展示利用，特对现有的泥流污染处进行简易清理，以后可与洞窟内壁画修复一同进行彻底的清理，简易清理流程如下：

①采用饱含蒸馏水的热毛巾贴敷在泥流污染表面处，浸润拟清洗部位；

②采用小刀或其他工具对泥流污染处进行清理，从而使得泥流的大部分被清理干净；

③待清理部位干燥后，采用小毛刷对该部分轻轻刮刷，以清理完绝大部分的泥流污染面即可，不需要彻底清除；同时应注意对洞窟内白灰抹面的保护，清理过程应注意不破坏白灰抹面。

(7) 施工注意事项

①在实际施工过程中，应首先对洞窟内的壁画进行防护，防护采用柔性支护方式，制作在壁画修复过程中所使用的特殊支顶架，在支顶架表面垫海绵、日本纸等柔性材料，对壁画所在墙面进行全方位的封闭，避免后期施工过程中对壁画产生污染破坏；

②洞窟内的墙面上部分孔洞直径小于 5 厘米，对于这种排列较为规律的孔洞，推测为当时的生活遗迹，应注意予以保留，待后期考古后确定其具体功能；

4.2 GXB11 号窟保护加固措施

GXB11 号窟位于西崖洞窟集中区的南侧，紧邻 GXB10 号窟，面宽 3.3 米，进深 10.6 米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，无壁画遗存，整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、墙壁上水冲形成的凹槽、原有草泥墙面脱落、门洞处坍塌、水冲或人为破坏形成的坑洞等，因此所采取的主要工程措施如下：

(1) 水冲凹槽草泥封护

对洞口处墙面上水冲形成的凹槽采用草泥进行封护，避免继续受雨水冲刷，具体如下：

①表面清理：人工清理掉水冲凹槽内的土块、碎屑物等，并对需要封护的表面进行凿毛处理；

②表面封护：采用草泥对凹槽进行填充，部分凹槽如果太深，可采用小的土坯碎块进行填充，然后采用草泥进行封护，在作业过程中可使用木棍或其他工具对凹槽进行捣实，确保封护严密；封护完成的表面与原有墙体平齐即可。

所用的草泥与窟顶加固过程中所用的草泥一致，详见 2.1GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固章节内容。

③养护：对作业面遮阳进行养护，避免太阳曝晒造成表面开裂等。

部分水冲形成的凹槽如果深度超过 10 厘米，可对凹槽采用土坯进行嵌补后再进行草泥封护。

（2）窟顶加固

GXB11 号窟窟顶坍塌共有三处，分别为位于前室部分和中室部分，因此本次对三处窟顶坍塌处进行加固，具体工艺与 GXB10 号窟窟顶加固工艺相同，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固章节内容。

（3）墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填充，具体工艺做法与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（3）墙体表面坑洞处理相同。

（4）土坯墙体灰缝补强

对洞窟入口处的土坯侧墙、前室与后室土坯隔墙表面灰缝脱落处进行重新勾缝，避免土坯日渐风化导致墙体坍塌，具体工艺与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施

（4）土坯墙体灰缝补强相同。

（5）草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如前室两侧墙面下半部分、窟顶处、隔墙门洞两侧、中室侧墙及后墙、后室侧墙等处重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

（6）泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（6）泥流污染清理工艺。

（7）裂隙加固

整个洞窟中形迹明显、张开度大的裂隙 L1 和 L2 均位于中室的后墙表面，L3 裂隙位于后室窟顶处，为原有砂砾石层卸荷裂隙，对于 L2 裂隙采取注浆的方式进行加固，对于 L1 裂隙采取底部土坯支顶的方式进行加固，对于 L3 结合洞窟钢支顶进行，具体如下：

①裂隙注浆（针对裂隙 L2）

施工准备，清理裂隙，采用鼓风机外接细软管深入裂隙内容，利用鼓风机的强大气流，从上到下将内部杂物吹出，待无大量灰尘杂物排出裂隙口停止；

配置浆液，注浆材料为抗硫酸盐水泥砂浆，水灰比 1：0.40~0.45，砂浆强度不小于 30MPa；

沿裂缝按竖向间距 50 厘米埋设直径 1 厘米的塑胶或 5 毫米塑料注浆管；

采用抗硫酸盐水泥砂浆浆液按自下而上的次序通过注浆管进行；注浆时，当相邻的上方注浆管中出现浆液溢出时应停止注浆，并堵塞该注浆孔，再向上方的注浆管中注浆；

若裂缝较窄小，可适当增大水灰比以减小浆液粘度，增大可灌性；

充填灌浆完成并达到胶凝固化状态后，切割露出墙面的塑胶管，

注浆完成后，对裂隙表面进行封堵，用岩粉和当地粘土调制的泥浆填充裂隙表面；

②土坯砌筑支顶（针对裂隙 L1）

对裂隙 L1 所在的墙面底部进行小范围嵌补，以提高顶部崖面的稳定性，具体操作流程如下：

材料准备：以当地粘土为主材，选可溶盐含量低于 0.5% 的土，掺入长 5 厘米的麦草，控制水灰比为 0.4 拌制，充分拌合均匀，封闭放置 24 小时；

土坯制备：以闷制好的粘土制作土坯，所用的土坯尺寸与一般红砖尺寸相同，为 24×11.5×5.3 厘米，土坯抗压强度以不小于 2MPa 为宜；

土坯砌补。砌补前应对墙体的根部及表面进行清理，清除表面的风化物，洒水润湿，静置半小时。土坯砌补要注意土坯之间的拉结，一般采用压槎搭接，泥浆要饱满，增加土坯之间的粘聚力；砌筑用的泥浆为草泥浆，与土坯制备材料类似，并含有 5% 左右的麦草，水灰比控制在 0.4 左右；

砌筑过程中，应根据现有裂隙 L1 以下空腔部位进行砌筑，砌筑至现有墙面顶部处即可，顶面可填塞一些土坯碎块，保证砌筑部分与现有 L1 裂隙走向贴合紧密，达到支顶的最终目的。

草泥表面封护。砌筑完成后，结合墙体表面草泥抹面，对砌筑支顶部分进行封护。

③钢结构支顶（针对裂隙 L3）

对于后室窟顶的卸荷裂隙 L3，可通过钢结构支顶的方式进行支护，避免后期洞窟发生垮塌，具体措施如下：

采用 5 号槽钢（高 5 厘米、腿宽 3.7 厘米、腰厚 4.5 厘米、理论重量 5.438 千克/米）制作钢拱架结构，其中顶部弯曲呈半圆形，下部为两个立柱，共计 4 个，按照后室进深均匀布置，紧贴后室侧壁及窟顶，并沿进深方向布置三个拉结构件，与钢拱架形成一个整体，焊接连接；



图 4-1 后室钢结构支顶示意图（图片来自于七个星佛寺遗址支顶加固）

拱架外表面刷防腐涂料后喷土黄色颜料做旧，立柱埋设在地面下的钢垫板上，钢垫板尺寸为 15×15 厘米，表面刷防腐漆，拱架之间采用焊接连接；

在对后室的顶部及两侧墙面采用草泥进行抹面封护后，安装槽钢支护结构，避免后室进一步发生坍塌。

(8) 门洞恢复

现有前室与中室中间隔墙处的门洞已经坍塌损毁严重，参照 GXB15 号窟中隔墙上门洞形制，得出原有隔墙上部开有窗洞，下部为门洞，中间有土坯砌筑的过梁，因此本次设计中对现有洞窟内坍塌的门洞按照 GXB15 号窟门洞形制进行恢复。

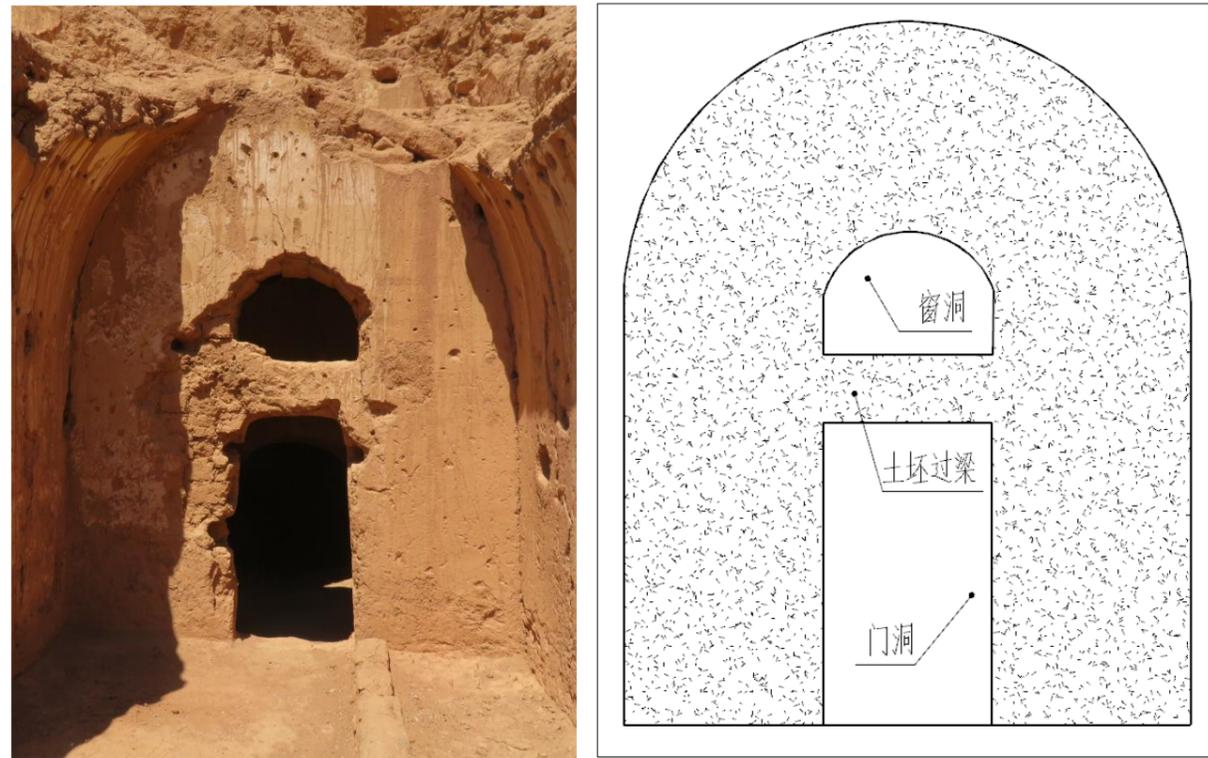


图 4-2 门洞恢复意向图（图为 GXB15 号窟隔墙）

①根据洞口尺寸确定窗洞、门洞及过梁的高度、宽度并做好标记；

②门洞两侧按照原有墙体形制砌筑土坯墙体，在横梁处砌筑拱形门洞，利用拱形结构的良好传力特点，将压力分散至两侧的墙壁上；

③砌筑完拱形横梁后，在拱上部及下部采用草泥抹面进行找平，遮盖掉原有的拱形结构，形成平直的横梁；

④慢慢阴干养护，避免太阳曝晒开裂。

(9) 施工注意事项

①GXB11 号窟窟内墙面上有少量的几处壁龛，推测为当时僧侣生活的痕迹，应当予以保留，避免当成人为破坏的坑洞进行处理；

②在对后室墙面进行钢结构支顶过程中，可对钢拱架施加很小一部分的预应力，让拱架与洞窟顶部紧密结合，拱架与窟顶残存白灰层接触时要用柔性材料对共计进行包裹，避免直接接触洞窟顶部；

③中室窟顶处有一采光孔，与周边窟顶坍塌已几乎成为一整体，在进行窟顶加固的过程中，要注意对采光孔予以保留，避免重要文物信息的流失；

④施工过程中要注意对洞窟内残存白灰层进行保护，避免施工过程造成原有的白灰层脱落；

⑤后室地面上有两处坑洞，具体功能不明，暂时保持原状，待后期进行相关的考古调查后再做处理。

4.3 GXB12 号窟保护加固措施

GXB12 号窟位于西崖洞窟集中区的南侧，紧邻 GXB11 号窟，面宽 2.9 米，进深 10.2 米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，无壁画遗存，整体的病害

类型有窟顶坍塌冒顶、墙面草泥层脱落、局部裂隙发育、门洞处坍塌、墙面泥流污染、人为破坏产生的孔洞等，因此所采取的主要工程措施如下：

（1）窟顶加固

GXB12 号窟坍塌共有五处，其中窟顶坍塌三处，均位于前室窟顶处，因此本次对三处窟顶坍塌处进行加固，具体工艺与 GXB10 号窟窟顶加固工艺相同，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固章节内容。

（2）墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填充，具体工艺做法与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（3）墙体表面坑洞处理相同。

对中室右侧墙体上的孔洞，宽 0.6 米，高 0.9 米，由于与 GXB11 号窟相通，因此在处理前应先采用土坯进行砌筑，砌筑完成后表面重新抹草泥层进行封护。

（3）草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如隔墙的窗洞处、后室侧墙及后墙、后室侧墙处等重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

（4）土坯墙体灰缝补强

对洞窟中室左侧墙体表面草泥层脱落处，在进行重新抹面前需对原有的土坯墙体灰缝进行重新勾缝，避免土坯日渐风化导致墙体坍塌，具体工艺与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（4）土坯墙体灰缝补强相同。

（5）裂隙加固

整个洞窟仅有一处裂隙发育，位于中室后墙表面，为原有后室开凿后引起崖体应力重分布后产生的，目前裂隙较窄，切割崖面呈层状剥落，因此对该裂隙采取裂隙注浆+木锚钉锚固+表面草泥抹面封护的方式进行，具体如下：

①裂隙注浆

对现有的裂隙采用外接细长风管的方式，对裂隙内的灰尘、杂物等进行清理，直至吹不出杂物为主；后对裂隙进行逐段封堵、逐段注浆的方式进行加固，注浆材料与 GXB10 号窟窟内裂隙注浆材料相同，注浆完成后对裂隙周边采用木铆钉进行锚固，防止后期洞窟呈片状脱落。

②木锚钉锚固

根据裂隙走向，在现有裂隙右侧 10 厘米处，按照裂隙走向每 30 厘米的间距进行钻孔，钻孔孔径为 1 厘米，长 15 厘米，钻孔完成后，以白蜡杆制作直径为 6~8 毫米的木锚钉，木锚钉一头呈尖状，一头呈圆形，长 15 厘米左右，表面缠绕麻丝，将缠绕了麻丝的木锚钉插入到草泥浆填充的钻孔中，待凝固后对表面采用草泥进行封堵抹面，保持与周边墙体风貌相一致。

（6）门洞恢复

参照 GXB15 号窟中隔墙上门洞形制进行恢复，具体工艺与 2.2 GXB11 号窟保护加固措施（8）门洞恢复。

（7）泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（6）泥流污染清理工艺。

（8）施工注意事项

①GXB12 号窟窟内墙面上有少量的几处壁龛，推测为当时僧侣生活的痕迹，应当予以保留，避免当成人为破坏的坑洞进行处理；

②中室窟顶处有一采光孔，与周边窟顶坍塌已几乎成为一整体，在进行窟顶加固的过程中，要注意对采光孔予以保留，避免重要文物信息的流失；

③在进行后室墙壁抹面时，应先对后室后墙的坍塌坑洞处采用土坯或碎块进行嵌补，然后再进行抹面；

④在进行表面坑洞处理时，有一些排列整齐、分布规律的坑洞，推测为当时僧侣生活的一些遗迹，对这些坑洞应予以保留。

4.4 GXB13 号窟保护加固措施

GXB13 号窟位于西崖洞窟集中区的南侧，紧邻 GXB12 号窟，面宽 2.9 米，进深 10.2 米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，无壁画遗存，整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、水冲形成的凹槽、局部裂隙发育、墙面草泥层脱落、门洞处坍塌、墙面泥流污染、人为破坏产生的孔洞等，因此所采取的主要工程措施如下：

(1) 窟顶加固

GXB13 号窟坍塌共有六处，其中窟顶坍塌五处，均位于前室窟顶处，其中坍塌 5 推测为一处采光孔，因此本次对其余四处窟顶坍塌处进行加固，具体工艺与 GXB10 号窟窟顶加固工艺相同，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固章节内容。

(2) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填充，具体工艺做法与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (3) 墙体表面坑洞处理相同。

(3) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如前室左侧墙壁、前室右侧墙壁、中室墙壁等处重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(4) 门洞恢复

参照 GXB15 号窟中隔墙上门洞形制对该窟内隔墙门洞进行恢复，具体工艺与 2.2 GXB11 号窟保护加固措施 (8) 门洞恢复。恢复前应先对门洞处的土坯间的灰缝进行补强，然后砌筑土坯门洞。

(5) 水冲凹槽草泥封护

对前室墙壁上水冲形成的沟槽采用草泥进行封堵填塞，确保雨水将不会冲刷形成新的凹槽。具体工艺详见 2.2 GXB11 号窟保护加固措施 (1) 水冲凹槽草泥封护。

(6) 裂隙加固

该窟内共有裂隙 4 处，分别位于中室右侧墙壁上 (L1)、中室后墙与券顶相交处 (L2)、后室券顶处 (L3) 和前室左侧墙壁上 (L4)，对于这四条发育明显的裂隙，由于所处位置各有差异，因此分别采取相应的工程措施：

①窟顶裂隙处理 (针对 L1、L2)

为沿洞窟窟顶发育的裂隙，处理方式与 GXB10 号窟（2）裂隙加固②窟顶裂隙处理工艺相同，即通过对原有裂隙进行清理，探查清楚为草泥层开裂还是窟顶土坯碎裂破损，然后根据探查情况采取具有针对性的措施。

②中室券顶裂隙处理（针对 L3、L4）

L3 裂隙为中室后墙表面的草泥抹面层受雨水冲刷、暴晒等原因而发生了开裂，且位置位于券顶与原始崖面相交处，因此对裂隙表面采用注浆的方式进行加固，具体工艺详见 GXB10 号窟（2）裂隙加固 ①墙面裂隙处理。

（7）泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（6）泥流污染清理工艺。

（8）施工注意事项

①GXB13 号窟窟内前室左侧墙壁上有一处壁龛，周边有若干小型孔洞，推测为当时僧侣生活的痕迹，应予以保留；

②中室与后室相交处的窟顶有一处长方形的采光孔，应予以保留，不应当做窟顶坍塌处理；

③洞窟内墙壁上有若干条小的干缩裂隙，可采用医用注射器的方式注浆加固，注浆过程中应注意对周边白灰层的保护，避免污染墙面；

④由于 T5 为原有的采光孔，为了避免降雨时雨水从采光孔下渗，在采光孔周边砌筑一圈土坯挡水墙，高 20 厘米左右；

⑤施工过程中应注意对窟内白灰层及红色条带装饰面进行保护，避免污染或破坏。

4.5 GXB14 号窟保护加固措施

GXB14 号窟位于西崖洞窟集中区的南侧，紧邻 GXB13 号窟，面宽 3.2 米，进深 10.2 米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，无壁画遗存，整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、墙面草泥层脱落、门洞处坍塌、墙面泥流污染、墙体表面的孔洞等，因此所采取的主要工程措施如下：

（1）窟顶加固

GXB14 号窟窟顶坍塌共有四处，均为窟顶坍塌冒顶，其中 T3 为一处采光孔，因此本次对其余三处窟顶坍塌处进行加固，具体工艺与 GXB10 号窟窟顶加固工艺相同，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固章节内容。

（2）墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填塞抹平，具体工艺做法与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（3）墙体表面坑洞处理相同。

（3）草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如门洞处一侧、中室左侧墙体及后墙、后室大部分墙面等重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

由于中室后墙为原有崖面开挖后抹一层草泥层，现草泥层大面积脱落，原有的崖体也呈层状剥落，因此在进行表面抹面前，先采用 C 型钢弯曲后成横向支架与坍塌部位紧密贴合，支架底部焊接四个立柱埋设在地面内，然后对墙体表面采

用草泥进行抹面封护，将该支顶结构隐藏在表层抹面中，保持与洞窟周边风貌相一致。

(4) 门洞恢复

参照 GXB15 号窟中隔墙上门洞形制对该窟内隔墙门洞进行恢复，具体工艺与 2.2 GXB11 号窟保护加固措施 (8) 门洞恢复。恢复前应先对门洞处的土坯间的灰缝进行补强，然后砌筑土坯门洞。

(5) 裂隙加固

该窟内共有裂隙 5 处，分别位于前室右侧墙面 (L1)、前室隔墙与窟顶相交处 (L2)、中室隔墙与窟顶相交处 (L3)、后室窟顶处 (L4) 和前室左侧墙面 (L5)，根据发育类型及所处位置采取具有针对性的措施，具体如下：

① 墙面裂隙处理 (针对 L1、L2、L3、L5)

为窟内墙体表面的裂隙，采用注浆的方式进行加固，具体工艺详见 GXB10 号窟 (2) 裂隙加固 ① 墙面裂隙处理。

② 窟顶裂隙处理 (针对 L4)

为沿后室窟顶发育的裂隙，处理方式与 GXB10 号窟 (2) 裂隙加固 ② 窟顶裂隙处理工艺相同，即通过对原有裂隙进行清理，探查清楚为草泥层开裂还是窟顶土坯碎裂破损，然后根据探查情况采取具有针对性的措施。

(6) 泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (6) 泥流污染清理工艺。

(7) 施工注意事项

① GXB14 号窟前室前墙上有一壁龛，推测为当时僧侣生活的痕迹，应予以保留；

② 中室窟顶处的采光孔应予以保留，不应当做窟顶坍塌处理；

③ 洞窟内墙壁上有若干条小的干缩裂隙，可采用医用注射器的方式注浆加固，注浆过程中应注意对周边白灰层的保护，避免污染墙面；

④ 由于 T3 为原有的采光孔，因此在进行窟顶作业时，在采光孔周边砌筑一圈土坯挡水墙，高 20 厘米左右，避免雨水从该采光孔中下渗；

⑤ 施工过程中应注意对窟内白灰层及红色条带装饰面进行保护，避免污染或破坏。

4.6 GXB15 号窟保护加固措施

GXB15 号窟位于西崖洞窟集中区的南侧，紧邻 GXB14 号窟，面宽 3.1 米，进深 10.3 米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，无壁画遗存，整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、墙面草泥层脱落、门洞处坍塌、墙面泥流污染、墙体表面的孔洞等，因此所采取的主要工程措施如下：

(1) 窟顶加固

GXB15 号窟前室窟顶已经完全坍塌，且前室墙壁上无壁画遗存，因此坚持最小干预原则，对该窟窟顶不恢复，仅对原有窟顶坍塌处表面采用草泥进行简易封护，封护采用粗草泥即可，对窟顶土坯坍塌形成的空洞、低洼处进行填塞密实，避免降雨时雨水灌入。

对于坍塌部位 T2，推测为原有洞窟的采光孔，本次进行加固过程中在 T2 处预留 20×20 厘米的采光孔，具体工艺与 GXB10 号窟窟顶加固工艺相同，详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固章节内容。

（2）墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填充，具体工艺做法与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（3）墙体表面坑洞处理相同。

（3）草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如隔墙门洞处、中室右侧墙面、后室墙面等重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

（4）门洞加固

该窟前室与中室之间的门洞保存尚好，形制清晰，因此仅对门洞周边原有草泥抹面脱落处重新进行抹面加固，其余保持原状，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

（5）裂隙加固

该窟内共有裂隙 7 处，分别位于前室前墙处（L1）、前室右侧墙壁上（L2）、前室右侧墙面与隔墙相交处（L3）、前室左侧墙面与隔墙相交处（L4）、后室与中室墙体相交处（L5）、前室左侧墙壁上（L6）和中室隔墙与窟顶相交处（L7），均属于墙体表面的裂隙，或与窟顶相交处的裂隙，因此采用注浆的方式进行加固，具体工艺详见 GXB10 号窟（2）裂隙加固 ①墙面裂隙处理。

（6）泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（6）泥流污染清理工艺。

（7）施工注意事项

①GXB15 号窟前室前墙上有一烟道痕迹，推测为当时僧侣生火的，属于比较重要的历史遗迹，应当予以保留；

②中室窟顶处的采光孔应予以保留，不应当做窟顶坍塌处理；

③洞窟内墙壁上有若干条小的干缩裂隙，可采用医用注射器的方式注浆加固，注浆过程中应注意对周边白灰层的保护，避免污染墙面；

④对于前室左右侧墙上分布规律的小孔洞，推测为当时僧侣生活的遗迹，应当予以保留，不应当做人为破坏产生的孔洞进行填塞；

⑤由于 T2 为原有的采光孔，因此在进行窟顶作业时，在采光孔周边砌筑一圈土坯挡水墙，高 20 厘米左右，避免雨水从该采光孔中下渗；

⑥施工过程中应注意对窟内白灰层及红色条带装饰面进行保护，避免污染或破坏。

4.7 GXB16 号窟保护加固措施

GXB16 号窟位于西崖洞窟集中区的中部，紧邻 GXB15 号窟，面宽 8.3 米，进深 15.3 米，由前室、中室组成，为一处塔庙窟，窟内有保存精美的壁画遗存，整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、中心塔柱坍塌、塔柱三侧佛龕坍塌、墙面草泥层脱落、墙面泥流污染、墙体表面孔洞密布、地面水冲形成落水洞、鸟类巢穴等，

同时鉴于该窟窟内有精美的壁画，文物价值巨大，后期需进行专项的壁画修复工作，因此本次设计坚持最小干预原则，采取如下的保护加固措施：

（1）土坯墙体灰缝补强

该窟主要由土坯砌筑而成，对于该窟内裸露的土坯墙体，如中心塔柱四周、甬道上方、主室墙壁，大部分墙体表面原有的草泥层已经风化脱落，导致墙体内部的土坯灰缝流失严重，因此现有的土坯墙体灰缝进行补强，同时对草泥脱落部位重新进行抹面加固，土坯灰缝补强工艺详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（4）土坯墙体灰缝补强工艺。

（2）墙体表面坑洞处理

对于墙体表面的坑洞等进行填充，包括一些人为破坏产生的坑洞、鸟类巢穴及右侧甬道顶部的坑洞等，具体工艺做法与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（3）墙体表面坑洞处理相同。

（3）草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位进行重新抹面，抹面范围包括左右甬道顶部、后甬道墙体表面、中心塔柱佛龕周围等，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

（4）土坯砌补

原有中心塔柱受上部平台雨水汇集冲刷而导致塔柱前部坍塌严重，并有雨水冲刷形成的凹槽，以及塔柱靠近右侧甬道处佛龕顶部坍塌，因此对塔柱部分采用土坯砌补的方式进行加固，封堵原有的凹腔及凹槽，所用的土坯尺寸为

40×20×15 厘米，土坯砌补方法与 2.2 GXB11 号窟保护加固措施（7）裂隙加固②土坯砌筑支顶工艺相同，砌补完成后表面采用草泥进行封护。

对于前室与主室之间的两段矮墙，有一小部分墙面发生了垮塌，采用土坯砌补的方式进行加固，砌补完成后表面采用草泥进行封护。

（5）裂隙加固

该窟内共有裂隙 2 处，分别位于主室的左侧和右侧墙壁上，均属于墙体表面的裂隙，特采用注浆的方式进行加固，具体工艺详见 GXB10 号窟（2）裂隙加固①墙面裂隙处理。

（6）地面坑洞回填

对于主室地面因雨水下渗形成的落水洞进行回填，回填材料为当地粘土拌和少量的石灰，逐层夯实，回填过程中由于洞底情况不明，可预埋注浆花管进行小压力注浆，注浆材料为纯粘土浆液，水灰比为 0.4，注浆至地面以下 1 米左右时人工逐层夯实，保持与原有地面相一致即可。

（7）地面排水

地面排水按照洞窟形制分为主室地面排水和前室地面排水，主室与前室之间有高 20 厘米土坯砌筑的门槛，分别采取不同的排水措施。

①主室地面排水

由于主室窟顶大半缺失，因此对主室地面进行局部垫高，采用三七灰土进行整体夯实垫高并找坡，厚 10 厘米，由四周向中间汇集，最后在主室中间地势低洼处汇集，通过自然蒸发排放；

②前室地面排水

对前室地面进行局部垫高，采用三七灰土进行整体夯实垫高并找坡，由北向南汇集，最后在 GXB15 号窟处理设竖向排水管，将雨水引导至 GXB15 号窟窟前平台处自然蒸发排放。

(8) 施工注意事项

①由于该洞窟内保存有精美的壁画，而大部分的泥流污染均从壁画上漫流而过，因此为了保证壁画的安全稳定，以待后期进行壁画专项修复工作，本次设计中对该洞窟内的泥流污染暂时不做处理；

②在进行草泥层脱落部位重新抹面时，需特别注意佛龕处，仅对佛龕以外的墙面进行抹面，而佛龕内部由于部分有壁画遗存或形制不明，暂时不对龕内进行处理；

③洞窟内有大量的孔洞，对于后甬道墙体下部的孔洞、佛龕内的孔洞、中心塔柱前部的孔洞等，均是属于重要的历史遗迹，应当予以保留，避免当做一般人为破坏的孔洞进行填塞处理；

④在进行中心塔柱前部土坯砌补过程中，应注意砌筑的部分与塔柱原有表面保持平齐即可，不可砌筑过度，避免造成重要文物信息的流失；

⑤施工过程中应注意对窟内壁画的保护，避免造成壁画污染或破坏。

4.8 GXB17 号窟保护加固措施

GXB17 号窟位于西崖洞窟集中区的北侧，紧邻 GXB16 号窟，面宽 2.8 米，进深 11.4 米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，窟内无壁画，保存有大量的白灰涂层，该窟的主要病害有窟顶坍塌、裂隙发育、人为破坏产生的坑洞、表面草泥层风化脱落、墙面泥流污染等，因此所采取的主要措施如下：

(1) 窟顶加固

整个洞窟窟顶坍塌共有两处，其中 T1 为前室窟顶已经完全坍塌，且前室墙壁上无壁画遗存，因此坚持最小干预原则，对该窟窟顶不恢复，仅对坍塌处 T2 进行加固，加固过程中保留 20×20 厘米大小的一处采光孔即可，窟顶加固方法与 GXB10 号窟窟顶加固工艺相同，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固章节内容。

(2) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填塞抹平，具体工艺做法与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (3) 墙体表面坑洞处理相同。

(3) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如中室左侧墙体底部、中室后墙表面、中室右侧墙体底部及整个后室墙面等重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(4) 裂隙加固

该窟内共有裂隙 8 处，分别位于前室右侧墙面上 (L1、L2)、前室右侧墙体与隔墙相交处 (L3)、中室隔墙门洞上部 (L4)、中室隔墙与窟顶相交处 (L5)、中室右侧墙体与后墙相交处 (L6)、中室左侧窟顶处 (L7) 和中室后墙处 (L8)，由于所处位置各有差异，因此分别采取相应的工程措施：

①墙面裂隙处理 (针对 L1、L2、L3、L4、L5、L6、L9)

为窟内墙体表面的裂隙，采用注浆的方式进行加固，具体工艺详见 GXB10 号窟 (2) 裂隙加固 ①墙面裂隙处理。

②窟顶裂隙处理（针对 L7）

为沿后室窟顶发育的裂隙，处理方式与 2.1 GXB10 号窟（2）裂隙加固②窟顶裂隙处理工艺相同，即通过对原有裂隙进行清理，探查清楚为草泥层开裂还是窟顶土坯碎裂破损，然后根据探查情况采取具有针对性的措施。

③后室后墙裂隙（针对 L8）

该裂隙为原有后室开凿后引起崖体应力重分布后产生的，目前裂隙较窄，切割崖面呈层状剥落，因此对该裂隙采取裂隙注浆+木锚钉锚固+表面做旧处理的方式进行，具体方法与 2.3 GXB12 号窟保护加固措施（5）裂隙加固工艺相同。

（5）泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（6）泥流污染清理工艺。

（6）地面坑洞处理

对该窟入口处的坑洞，由于功能不明，暂时进行回填处理，用当地粘土拌合少量的石灰进行逐层夯填至现有地面处，保持与原有地面高度相一致即可。

（7）地表排水

由于前室窟顶大半缺失，且本次不恢复原有窟顶，特对前室地面进行局部垫高，采用三七灰土进行整体夯实垫高并找坡，由四周向中间汇集，将雨水引导至前室地面中心处，自然蒸发排放。

（8）施工注意事项

①该窟前室处有灶台痕迹，还有一部分矮墙，功能不明，属于比较重要的历史遗迹，应当予以保留；

②在进行中室窟顶加固过程中，应当对洞窟顶部的采光孔予以保留，避免全部采用土坯砌补，同时在顶部二层平台采光孔周围砌筑矮墙，避免雨水泥流通过采光孔渗入洞窟内部；

③对于前室右侧墙壁上的壁龛，为当时僧侣生活的痕迹，应当予以保留；

④施工过程中应注意对窟内白灰层及红色条带装饰面进行保护，避免污染或破坏。

4.9 GXB18 号窟保护加固措施

GXB18 号窟位于西崖洞窟集中区的北侧，紧邻 GXB17 号窟，面宽 3.0 米，进深 9.9 米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，窟内无壁画，保存有大量的白灰涂层，该窟的主要病害有窟顶坍塌、裂隙发育、门洞坍塌、墙体表面坑洞、表面草泥层风化脱落、墙面泥流污染等，因此所采取的主要措施如下：

（1）窟顶加固

GXB18 号窟窟顶坍塌共有三处，其中 T3 为一处采光孔，因此本次对三处窟顶坍塌处进行加固，同时在 T3 处预留 20×20 厘米的采光孔，具体工艺与 GXB10 号窟窟顶加固工艺相同，详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固章节内容。

（2）墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填塞抹平，具体工艺做法与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（3）墙体表面坑洞处理相同。

（3）草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如隔墙门洞两侧、中室右侧墙体底部、中室后墙、中室左侧墙体底部及整个后室墙面等重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

（4）裂隙加固

该窟内共有裂隙 2 处，分别位于前室左右两侧墙面上，从窟顶一直发育至地面处，因此采用与 2.1 GXB10 号窟（2）裂隙加固②窟顶裂隙处理工艺相同的方法进行加固，即通过对原有裂隙进行清理，探查清楚为草泥层开裂还是窟顶土坯碎裂破损，然后根据探查情况采取具有针对性的措施。

（5）门洞恢复

参照 GXB15 号窟中隔墙上门洞形制对该窟内隔墙门洞进行恢复，具体工艺与 2.2 GXB11 号窟保护加固措施（8）门洞恢复。恢复前应先对门洞处的土坯间的灰缝进行补强，然后砌筑土坯门洞。

（6）泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（6）泥流污染清理工艺。

（7）施工注意事项

①GXB18 号窟前室保存有壁龛、灶台等遗迹，推测为当时僧侣生活的重要遗存，属于比较重要的历史遗迹，应当予以保留；

②中室窟顶处的采光孔应予以保留，不应当做窟顶坍塌处理；

③洞窟内墙壁上有若干条小的干缩裂隙，可采用医用注射器的方式注浆加固，注浆过程中应注意对周边白灰层的保护，避免污染墙面；

④对于中室左右两侧墙面上分布规律的小孔洞，推测为当时僧侣生活的遗迹，应当予以保留，不应当做人为破坏产生的孔洞进行填塞；

⑤由于 T3 为原有的采光孔，因此在进行窟顶作业时，在采光孔周边砌筑一圈土坯挡水墙，高 20 厘米左右，避免雨水从该采光孔中下渗；

⑥施工过程中应注意对窟内白灰层及红色条带装饰面进行保护，避免污染或破坏。

4.10 GXB19 号窟保护加固措施

GXB19 号窟位于西崖洞窟集中区的北侧，紧邻 GXB18 号窟，面宽 2.9 米，进深 10.3 米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，窟内无壁画，保存有大量的白灰涂层，该窟的主要病害有窟顶坍塌、裂隙切割、门洞坍塌、墙体表面坑洞、表面草泥层风化脱落、墙面泥流污染、水冲形成的沟槽等，因此所采取的主要措施如下：

（1）窟顶加固

GXB19 号窟窟顶坍塌共有三处，分别位于前室和中室部分，其中坍塌 T2 为一处采光孔，因此本次对其余两处窟顶坍塌处进行加固，具体工艺与 GXB10 号窟窟顶加固工艺相同，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施（1）窟顶加固章节内容。

（2）墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填塞抹平，具体工艺做法与 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (3) 墙体表面坑洞处理相同。

(3) 水冲凹槽草泥封护

对洞窟入口处墙面及内墙上水冲形成的凹槽采用草泥进行封护，做好雨水的排放，避免继续受雨水冲刷，具体措施与 2.2 GXB11 号窟保护加固措施 (1) 水冲凹槽草泥封护工艺相同。

(4) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如前室左侧墙面及右侧墙面、隔墙门洞两侧、中室左侧墙面及右侧墙面及后室墙面等处重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(5) 裂隙加固

该窟内共有裂隙 10 处，分别位于前室右侧墙面上 (L1、L2)、前室隔墙与窟顶相交处 (L3)、前室门洞处上方 (L4)、中室后墙上 (L5、L6、L7) 和前室左侧墙面上 (L8、L9、L10)，由于所处位置各有差异，因此分别采取相应的工程措施：

① 墙面裂隙处理 (针对 L3、L4)

为窟内墙体表面的裂隙，采用注浆的方式进行加固，具体工艺详见 GXB10 号窟 (2) 裂隙加固 ① 墙面裂隙处理。

② 窟顶裂隙处理 (针对 L1、L2、L8、L9、L10)

为从洞窟窟顶发育至墙面上的裂隙，处理方式与 2.1 GXB10 号窟 (2) 裂隙加固②窟顶裂隙处理工艺相同，即通过对原有裂隙进行清理，探查清楚为草泥层开裂还是窟顶土坯碎裂破损，然后根据探查情况采取具有针对性的措施。

③ 后室后墙裂隙 (针对 L5、L6、L7)

该裂隙为原有后室开凿后引起崖体应力重分布后产生的，现导致窟顶开裂、表面草泥层抹面开裂严重，因此采取如下措施进行加固：

裂隙加固。采用与 GXB10 号窟裂隙加固中墙面裂隙处理方式相同的工艺，对现有的裂隙进行加固，依次为裂隙清理→裂隙填充堵塞→埋设注浆管→润缝→浆液制备→充填注浆→二次补浆→表面处理，其中注浆材料为抗硫酸盐水泥砂浆，水灰比 1: 0.40~0.45，砂浆强度不小于 30MPa；

洞窟支顶。对原有后室采用钢拱架进行支顶，钢拱架制作与 2.2 GXB11 号窟保护加固措施 (7) 裂隙加固③钢结构支顶相同，即采用 C 型钢制作拱架进行洞窟支顶。

(6) 门洞恢复

参照 GXB15 号窟中隔墙上门洞形制对该窟内隔墙门洞进行恢复，具体工艺与 2.2 GXB11 号窟保护加固措施 (8) 门洞恢复。恢复前应先对门洞处的土坯间的灰缝进行补强，然后砌筑土坯门洞。

(7) 泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理，具体详见 2.1 GXB10 号窟保护加固措施 (6) 泥流污染清理工艺。

(8) 施工注意事项

①GXB19号窟前室窗洞下有从窟内通向窟外的烟道，同时烟道周边还有壁龛等，推测为当时僧侣生活的痕迹，属于比较重要的历史遗迹，应当予以保留；

②中室窟顶处的采光孔应予以保留，不应当做窟顶坍塌处理；

③洞窟内墙壁上有若干条小的干缩裂隙，可采用医用注射器的方式注浆加固，注浆过程中应注意对周边白灰层的保护，避免污染墙面；

④对于中室左右两侧墙面上分布规律的小孔洞，推测为当时僧侣生活的遗迹，应当予以保留，不应当做人为破坏产生的孔洞进行填塞；

⑤由于T2为原有的采光孔，因此在进行窟顶作业时，在采光孔周边砌筑一圈土坯挡水墙，高20厘米左右，避免雨水从该采光孔中下渗；

⑥施工过程中应注意对窟内白灰层及红色条带装饰面进行保护，避免污染或破坏。

4.11 GXB20号窟保护加固措施

GXB20号窟位于西崖洞窟集中区的北侧，紧邻GXB18号窟，面宽2.9米，进深10.3米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，窟内有大量精美的壁画，该窟的主要病害有窟顶坍塌、裂隙切割、门洞破损、墙体表面坑洞、表面草泥层风化脱落、墙面泥流污染、窟顶坍塌物堆积、水冲形成的凹槽等，因此所采取的主要措施如下：

(1) 窟顶加固

GXB20号窟窟顶坍塌共有两处，分别位于前室和中室窟顶处，本次对窟顶坍塌处进行加固，具体工艺与GXB10号窟窟顶加固工艺相同，具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施（1）窟顶加固章节内容。

(2) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填塞抹平，具体工艺做法与2.1 GXB10号窟保护加固措施（3）墙体表面坑洞处理相同。

(3) 水冲凹槽草泥封护

对洞窟入口处墙面及内墙上水冲形成的凹槽采用草泥进行封护，封护过程中可采用小的土坯进行砌筑后再进行封护，做好雨水的排放，避免继续受雨水冲刷，具体措施与2.2 GXB11号窟保护加固措施（1）水冲凹槽草泥封护工艺相同。

(4) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如前室窟顶处、隔墙窗洞两侧、后室后墙表面等处重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施（1）窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(5) 裂隙加固

该窟内共有裂隙5处，分别位于前室右侧墙壁上（L1、L2、L3）、前室左侧墙壁上（L4、L5），均属于从窟顶发育至墙面处的裂隙，同时由于裂隙两侧保存有十分完好的壁画，因此采取注浆的方式予以加固，注浆过程中需对裂隙两侧的壁画做好防护措施，避免浆液污染壁画，注浆工艺与2.1 GXB10号窟保护加固措施（2）裂隙加固①墙面裂隙处理工艺相同。

(6) 门洞加固

现有的隔墙上的门洞形制比较完好，但门洞与窗洞之间的土坯拱顶由于原有土坯破损严重，草泥层几乎完全风化脱落，岌岌可危，因此本次对该土坯拱顶设

置5号槽钢拱架进行简易支顶，槽钢弯曲后贴合拱顶表面安置，两侧紧靠门洞两侧，同时钢拱架外侧刷防腐涂料后喷土黄色颜料做旧，同时对周边草泥脱落处采用草泥重新进行封护。

(7) 坍塌堆积物清理

GXB20号窟中室窟顶上部、中室地面处有大量的坍塌堆积物，为原有坡体在降雨时坍塌形成的，目前堆积在中室窟顶处及地面处，造成中室窟顶处压力骤然增加，如不及时进行清理，将导致窟顶发生严重的垮塌，因此本次拟对该部分坍塌堆积物进行人工清理，清理过程中应有考古人员在场，避免重要文物信息的流失。

(8) 施工注意事项

①由于该洞窟内有大量保存精美的壁画，因此在进行施工时需十分谨慎，避免施工造成壁画污染；

②该窟内有大量的泥流污染的痕迹，但由于大部分覆盖在壁画表面，采用一般清理方式有可能对壁画造成损伤或破坏，因此本次对表面的泥流污染痕迹暂时不做清洗，待后期进行壁画专项修复工作中时统一进行清洗；

③在进行窟顶加固过程中时，在T2处附近有原有的采光孔，应对原有的采光孔进行疏通，保持原有的采光功能；同时在窟顶平台处沿采光孔砌筑矮墙进行挡水；

④在进行窟内墙面草泥抹面过程中，对人为切割壁画部分的草泥不抹面，保持原状，仅对其余由水冲或环境影响导致表面脱落的部位进行抹面；

⑤在进行中室窟顶及地面坍塌堆积物清理时应有考古人员在场，避免重要问信息的流失；同时人工清理窟顶堆积物时，应搭设脚手架，避免人为支架踩踏窟顶造成局部荷载过大而产生新的破坏。

4.12 其他辅助工程措施

(1) 脚手架

对洞窟本体高于2米的墙体进行施工前应搭设脚手架，确保施工人员作业时的人身安全。脚手架不得与洞窟墙体直接连接，不得借助洞窟墙体本体提供反力，须形成独立稳定的支撑体系，以免对文物本体产生扰动而造成二次破坏。

(2) 遮阳棚

在对本体进行施工前，需在工作区搭建遮阳棚，保证修补部位在阴干处缓慢失水，同时避免加固材料受日晒、雨淋而影响加固效果，待此段施工结束再将遮阳棚转移或拆除。

(3) 施工便道

目前，前往吐峪沟石窟的道路有两条，一条是旅游公路，可以直接到达吐峪沟村的景区停车场，但从停车场至吐峪沟石窟无车行道路；另一条是一条简易便道，为前几期吐峪沟石窟洞窟崖体加固过程中临时开挖的，目前不对外开放使用，仅由文物局日常巡查使用，为碎石土路面，长4.7公里，外接乡村道路。

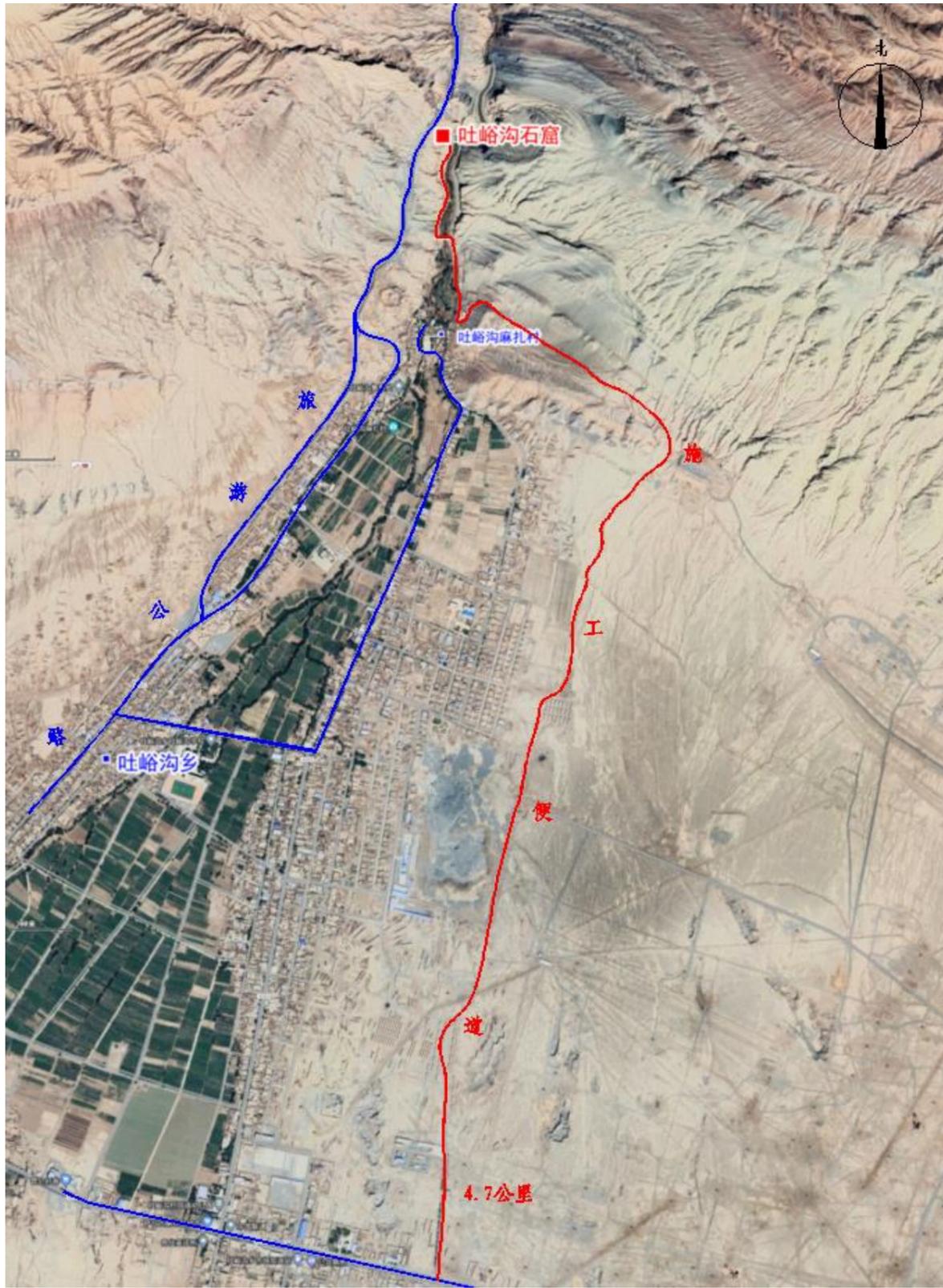


图 4-4 吐峪沟石窟施工便道示意图（红色部分）

5、相关工艺及施工要求

5.1 土坯砌补工艺

(1) 土坯制备

①材料要求

制备土坯选配土一般应满足粉、黏粒质量百分比之和不低于 50%；

所用的土料以洞窟周边山体的粘土为主，选用相似度不低于 85%的土料，当相似度低于 85%时，可通过添加黏土、粉土等调整土的颗粒级配，使之能够与原遗址土相匹配；

土坯和砌筑用泥浆制备土料易溶盐含量不得高于 0.3%；

砌筑用土坯的无侧限抗压强度不得低于 2MPa，砌筑泥浆的无侧限抗压强度不得低于 0.5MPa，同时砌筑泥浆中应添加黏土、麦草等提高强度；

制备土坯和泥浆的含水率根据现场试验确定，采用人工加水翻倒方式拌和，人工翻倒不少于 3 次，制备土坯闷土时间不小于 72 小时，泥浆从制备到使用时间不宜超过 3 小时；

制备土坯所用的细粒土中有机质含量不应超过 2%，同时应掺入适量的麦草提高土坯的抗压强度。

②制备方法

备土。按照略高于塑限的含水率，考虑水分损失拌制选配土，并至少封闭闷土 72 小时，含水率误差控制在 ±2%以内；

翻泥。用铁锹将浸泡好的泥反复翻倒、摔打，使土料拌合更加均匀，同时应掺合麦草等植物纤维，适当提高含水率，一般翻倒次数不少于 5 遍；

制作土坯。在木模内洒干灰，将翻好的泥摔入木制模具内，顶面抹平，翻模倒置土坯在晾晒区域；

土坯干燥。土坯晾晒不小于 72 小时，水分散失不低于 50%，收集土坯，沿着土坯长方向之字形摆放，二层反方向叠压摆放土坯，保持最佳通风状态，直至土坯完全干燥，天然含水率不高于 5%。

土坯的干密度控制在 1.7g/cm³~2.2g/cm³ 之间。

土坯的尺寸保持与原有墙体土坯尺寸相同。

(2) 泥浆制备

备土。按照高于液限的含水率，考虑水分损失拌制选配土，含水率误差控制在 ±2%以内；

搅拌。机械搅拌转速不低于 150r/min，搅拌时间不少于 15 分钟。掺加麦草等植物纤维的，可适当调高含水率，搅拌时间增加 1 倍。

(3) 质量检验

选配土质量检验标准及方法应符合表 4-1。

表 5-1 选配土质量检验标准

项目	允许值偏差		检查方法
	允许值	允许值偏差	
易溶盐含量	≤0.3%	0.03%	利用手持式土壤电导率测定仪

			测试, 或取样分析测试
有机质含量	≤2%	0.2%	培烧法
颗粒级配相似度	≥85%	砾粒 (2~60 毫米) ≤20% 砂粒 (0.075~2 毫米) ≤15% 粉粒 (0.005~0.075 毫米) ≤10% 黏粒 (0.005 毫米以下) ≤5%	$S=1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$ 式中: S——颗粒级配相似度; x_i ——原有遗址土不同粒组百分比; y_i ——被测样品不同粒组百分比; i——粗砾、中砾、细砾、粗砂、中砂、细砂、粉粒、黏粒等粒组; n——由粗砾、中砾、细砾、粗砂、中砂、细砂、粉粒、黏粒或部分粒组组成的选配土的粒组总数。
最优含水率	试验结果	1%	取样分析
色差 (ΔE)	≤4	0.5	取相同重量土样烘干后, 利用色差仪评价土料与需加固遗址的色差

制备土坯质量检验指标及方法应符合表 4-2。

表 5-2 制备土坯质量检验指标

项目	允许偏差及允许值	检查方法
----	----------	------

	允许值	允许值偏差	
易溶盐含量	≤0.3%	0.03%	利用手持式土壤电导率测定仪测试, 或取样分析测试
有机质含量	≤2%	0.2%	培烧法
颗粒级配相似度	>85%	砾粒 (2~60 毫米) ≤20% 砂粒 (0.075~2 毫米) ≤15% 粉粒 (0.005~0.075 毫米) ≤10% 黏粒 (0.005 毫米以下) ≤5%	同表 4-1
色差 (ΔE)	≤4	0.5	取相同重量土样烘干后, 利用色差仪评价土料与需加固遗址的色差
土坯尺寸	设计指标	长 5 毫米, 宽 5 毫米, 厚 2 毫米	人工钢尺量测
干密度	试验结果	0.02g/cm ³	蜡封法
无侧限抗压强度	试验结果	10%	采用材料试验机使试样均匀受力, 以 0.1mm/min 对试样加荷, 直至试样破坏为止, 记录最大破坏荷载。

(4) 砌筑要求

①施工采用人工砌筑的方式, 砌筑土坯各项指标均应达到设计要求, 泥浆要有良好的和易性;

②所用的土坯应完全干透, 尺寸大小统一, 含水率应不大于所处环境遗址土的天然含水率;

③砌筑泥浆应随拌随用, 检验试块应随机抽取, 平行试样不少于 3 块;

④土坯砌筑步骤如下：

- a) 根据拟砌筑的墙体的病害现状，对遗址本体作安全支护，确保施工过程中人身及遗址本体的安全；
- b) 清理并平整砌筑支顶加固区域场地，确保地基有足够的承载力，必要时可采用平底夯锤夯实；
- c) 备好干燥土坯，结合砌筑区域按照原有遗址砌筑方式摆放底层土坯，调整土坯更合理的摆放位置，并确定砌筑方式；
- d) 搅拌砌筑泥浆，按照原有遗址结构特征、砌筑工艺和搭接方式砌筑土坯；
- e) 布设加筋材料，采用人工成孔方式，在原有土坯墙体上钻孔，成孔直径不超过 50 毫米，孔径为 1 厘米左右，待灌入浆液后，将麻绳或麻撮缠绕在木楔上，一并楔入加筋材料，确保麻绳或麻撮的楔入深度，另一端缠绕在木楔上拉紧并楔入砌筑层；沿着砌筑体水平方向 1 米左右的间距布设麻绳，垂直方向以两皮土坯的厚度布设；
- f) 逐层砌筑土坯墙体，水平泥层厚度和竖向泥缝宽度一般控制在 1.5 厘米左右，尽量做到“横平竖直、泥浆饱满、错缝搭接、接槎可靠”，尽量一次性砌筑完成一层，并逐层埋设注浆管；
- g) 有施工间断时，应砌成斜槎，斜槎水平投影长度不应小于高度的 2/3，对留置斜槎有困难的区域，也可留直槎，做成凸楼，并加设拉接竹条
- h) 砌补土坯达到一定强度后注浆，采用砌筑泥浆相同土料配比，水灰比 0.43~0.6，通过注浆填充砌筑过程中形成的不规则空洞，增强砌补层与原遗址的结合力。

(5) 收缩、沉降缝隙处理

在确保泥浆和易性的前提下，可适当降低泥浆的含水率，减缓土坯砌筑体的变形沉降量；

可适当调整颗粒级配，在满足设计要求的条件下，适当增大粗砾、中砾、细砾比例，抑制泥浆干缩变形；

通过搭设遮阳棚等控制环境条件以减缓失水速率，尽量保持相对均匀失水，抑制不均匀收缩。

(6) 养护与表面修整

①土坯砌筑支顶完成后，采用保湿、控温材料覆盖在与遗址砌筑区域表面距离不大于 1 米且不小于 0.5 米范围内 3 天以上，控制水分散失速率。

②待泥浆层失水 50%左右时，适当削减表面宽出部分，形成自然流畅的曲线，表面造型应与原遗址协调一致；

③保湿、控温措施一定要避免阳光的直射，一般采用遮阳隔热材料遮挡，降低日温差变化；

④土坯砌筑体表面修整分为组处理、细处理和修饰造型三个阶段；

⑤土坯砌筑体表面修整宜采用砍切、敲打、人工风蚀和冲刷等措施实现与遗址本体的协调。

5.2 土坯灰缝补强工艺

(1) 材料制备

灰缝补强所用的材料为草拌泥浆，其中泥浆以当地的粘土为主材，要求含盐量不超过 0.3%，无侧限抗压强度不低于 0.5MPa，并掺入少量的麦草以提高灰浆的抗压强度；

制备泥浆的含水率应略高于最优含水率，采用人工加水翻倒的方式拌合，人工翻倒不少于 3 次，泥浆从制备到使用的时间不宜超过 3 小时；

(2) 作业要求

①灰缝补强前，应采用鼓风机外接软管对灰缝内的杂土、碎屑等物进行清理，直至灰缝中无杂物吹出即可；

②施工过程中，采用小型木质工具将拌合好的灰浆填塞进入灰缝内并按压成型，按压过程中人为掌握作业力道，避免按压过度；

③灰浆填塞进入灰缝后挤压成型，并在填充后半小时内进行二次补浆，后期进行阴干养护；

④待灰浆彻底阴干后进行取样，对灰浆无侧限抗压强度进行检测，以抗压强度不低于 0.5MPa 为合格。

5.3 草泥抹面工艺

(1) 材料制备

①草泥抹面的材料为草拌泥，主要成分为粘土、沙和麦草，重量比为粘土：沙：麦草=64:36:3；

②所用的粘土以当地粘土为主材，要求含盐量不超过 0.3%，麦草长度不超过 5 厘米；

③所制备的草拌泥应随拌随用，从制备到使用的时间不宜超过 3 小时；

(2) 施工要求

①对原有墙体表面草泥层风化脱落处，应首先对原有墙体表面进行清理，清理掉表层的尘土、杂物、碎屑等；

②抹面前应先洒水对原有墙面进行湿润，湿润后采用小镬刀将拌制好的草泥均匀涂抹在墙体表面；

③抹面后进行阴干处理，避免阳光直晒导致墙面迅速干燥而开裂；

④抹面过程中应注意与原有墙体残存草泥层的接茬处理，部分墙体表面还残存有白灰层，粗泥层抹面完成后应略低于白灰层墙面，增强可识别性；

⑤在进行墙体表面抹面前，应先对土坯墙体的灰缝进行补强处理，后期进行抹面。

5.4 裂隙注浆工艺

根据遗址墙体表面的裂隙发育情况，主要以干缩裂隙为主，同时有少量的卸荷裂隙，本次裂隙注浆工艺主要针对卸荷裂隙，干缩裂隙一般不予干涉，保持原状即可。

(1) 材料制备

注浆以当地粘土为主材，选可溶盐含量低于 0.5% 的土，掺入长 5 厘米的麦草，控制水灰比为 0.4 拌制，充分拌合均匀，封闭放置 24 小时；

(2) 施工要求

施工前应做好必要的防护措施，确保遗址本体和施工人员安全；

注浆材料应满足设计要求，同时储备量应不小于预测注浆量的2倍；

本次注浆过程中采用注浆机具注浆，同时制浆场地与遗址本体之间应控制一定的安全距离；

注浆前应进行裂隙浸润处理；

注浆过程中应有专人实时监测裂隙变化情况，是否有跑、冒、滴、漏、渗浆和鼓胀等情况发生，确保整个注浆过程安全有效；

记录注浆过程，包括现场的描述、拍照、录像等；

注浆前对裂隙应进行封护，封护材料宜采用与遗址土级配和色度相近的土；

注浆应自下而上充填式灌浆，分段隔离式进行，分段间隔不小于50厘米，不得一次全部注入；

注浆完成后，封闭注浆孔，并对整个注浆区域进行表面处理，做到色度、外形和遗址整体风貌兼容。

(3) 质量检验

裂隙应充填密实，填充密实度不小于80%，强度、色度、收缩率、膨胀率等应满足设计要求，确保土遗址的安全稳定；

注浆过程检查应采用测量、检验、监测等方式，按设计要求控制技术参数，并记录检查过程及结果；

注浆质量评估应采用无损测试技术，如探地达、高密度电法、面波等必要时可在大裂隙灌注区域获取少量样品进行效果评估测试，不少于三个点。

依据裂隙注浆全过程和相关监测、检测数据等，综合评估注浆效果。

6、工程数量表

本次吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程的工程数量表如下：

序号	工程项目	内容	特征描述	单位	工程量	
1	坍塌部位加固	坍塌部位清理	①人工对现有坍塌部位进行清理； ②清理断裂的砖块、灰缝、泥流污染痕迹等；	m ²	46.9	
2		土坯砌筑	①尺寸：40×20×15 厘米； ②抗压强度≥2MPa； ③砌筑材料：草泥浆；	m ³	19.4	
3		表面抹面	①材料：粘土掺入长 3 厘米麦草的草泥浆； ②分两次抹面，20 厚粗草泥与 5 厚细草泥，不抹白灰层；	m ²	41.0	
4		临时支护	①材料：钢管、木垫板等； ②与洞窟接触部位采用柔性材料；	项	24	
5	裂隙加固	墙面裂隙	清理	①利用鼓风机外接软管清理；	m	100.7
6			润缝	①材料：纯粘土浆液；	m	100.7
7			注浆	①材料：粘土浆液掺合中砂，中砂含量为 10%； ②水灰比：0.45； ③注浆压力：小于等于 0.3MPa；	m	100.7

8	窟顶裂隙	清理	①对裂隙两侧原有草泥抹面层清理；	m	52.6	
9		表面凿毛	①对土坯表面人工凿毛处理；	m ²	3.7	
10		土坯更换	①人工剔除碎裂、断裂的土坯；	m ³	5.0	
11		土坯砌补	①尺寸：40×20×15 厘米； ②抗压强度≥2MPa； ③砌筑材料：草泥浆；	m ³	1.4	
12		木锚钉加固	①材料：φ10 木锚钉； ②长 10 厘米，表面缠绕麻丝 ③嵌入土坯灰缝中，采用泥浆对孔洞填充捣实；	个	116	
13		表面抹面	①材料：粘土掺入长 3 厘米麦草的草泥浆； ②分两次抹面，20 厚粗草泥与 5 厚细草泥，不抹白灰层；	m ²	3.7	
14		钢拱架支撑	5 号槽钢	①规格为 80×40×20×2.5 毫米； ②弯曲呈半圆形，焊接连接；	m	47.9
15			钢垫板	①尺寸：15×15×1 厘米钢板； ②埋设在地面下，表面做旧；	块	16
16		墙体表面坑洞处理	土坯填充	①根据孔洞大小填充土坯碎块或半块土坯； ②砌筑材料：草泥浆；	m ³	1.8
17			表面抹面	①材料：粘土掺入长 3 厘米麦草的草	m ²	4.7

			泥浆； ②分两次抹面，20厚粗草泥与5厚细草泥，不抹白灰层；						
18	灰缝补强	灰缝清理	①采用小型吹风机对原有灰缝内的杂土、碎屑物；	m2	16.0				
19		泥浆填充	①材料：粘土掺入长3厘米麦草的草泥浆； ②人工采用小型工具将草泥浆填充进入灰缝内并填捣密实；	m2	16.0				
20		表面抹面	①材料：粘土掺入长3厘米麦草的草泥浆； ②分两次抹面，20厚粗草泥与5厚细草泥，不抹白灰层；	m2	16.0				
21	草泥层脱落部位加固	表面清理	①人工清理草泥层脱落处的碎屑、杂物等；	m2	210.8				
22		表面抹面	①材料：粘土掺入长3厘米麦草的草泥浆； ②分两次抹面，20厚粗草泥与5厚细草泥，不抹白灰层；	m2	208.9				
23	泥流污染清理	表面清理	①用饱含蒸馏水的热毛巾贴敷在泥流污染表面处； ②采用小刀或其他工具对泥流污染处进行清理； ③清理部位干燥后，采用小毛刷对该部分轻轻刮刷；	m2	328.8				
24		水冲沟槽封护	①表面清理：人工清理沟槽内的泥流等杂物； ②填充封护：草泥浆填充封护；	m2	1.2				
25	门洞恢复	土坯砌筑	①尺寸：40×20×15厘米； ②抗压强度≥2MPa； ③砌筑材料：草泥浆； ④门洞处砌筑呈拱形，表面草泥找平；	m3	3.3				
26		表面抹面	①材料：粘土掺入长3厘米麦草的草泥浆； ②分两次抹面，20厚粗草泥与5厚细草泥，不抹白灰层；	m2	7.6				
27	地表坑洞回填	土方回填	①材料：当地粘土拌和少量的石灰；	m3	5.5				
28		注浆	①材料：纯粘土浆液； ②：水灰比为0.4	m3	1.0				
29	地面排水	三七灰土夯实	①人工夯实，厚10厘米； ②夯实过程中找坡；	m3	11.0				
30		坍塌堆积物清理	①人工清理； ②运输距离：5里；	m3	13.4				
31		脚手架	①双排脚手架； ②高度≤4米；	m2	1506				
32		遮阳网		m2	615				

7、工程注意事项

(1) 本项目实施过程中，每个洞窟的具体施工注意事项均已在设计说明中注明，施工过程中应严格遵守；

(2) 工程实施过程中，施工单位应与考古调查专业人员密切配合，对一些重要的历史遗存，如壁画、白灰层、灶台遗迹、烟道、壁龛、门框凹槽、采光孔、门槛、地面及规律分布的孔洞等进行确认，避免施工过程中对这些重要历史信息造成破坏；

(3) 施工过程中的取、弃土应符合相关保护要求，严禁随意取、弃土；同时施工作业人员应注意窟内地面、门槛等部位，避免人为踩踏造成重要文物信息流失；

(4) 搭设施工脚手架在保证施工安全的同时，还必需满足遗址本体及环境安全的要求，严禁任何施工设备在洞窟内直接安放；

(5) 各项工程材料应符合质量要求，必须经过检验合格方可投入使用。施工用浆液应随配随用，严禁使用过期的浆液；

(6) 项目实施前应邀请有关文物保护专家，对文物一般知识进行普及培训，使施工人员（特别是农民工），掌握一定的文物知识，开挖施工前对作业人员进行文物保护专项技术交底，并且留存相关资料记录；

(7) 加强教育、提高全员的文物保护意识，施工期间定期组织全体施工人员进行文物保护知识方面的教育，增强全体施工人员保护文物的自觉性和责任感；

(8) 按照“动态设计、信息化施工”的原则，设计部门要委派设计代表常驻现场，密切联系施工。施工前应进行施工勘察和现场校核，如发现洞窟遭受新的

破坏或现场状况与设计图纸文本不符时，应及时通知文物主管部门及勘察设计单位，进行确认或设计变更后方可进行施工；

(9) 施工过程的每一阶段，要指定具有一定专业水平的专制技术人员负责文物技术资料的收集、整理工作；施工队必须要做详细的记录，各施工部位应有施工前、后的工程照片，包括文字、图纸、照片，留存完整的工程技术档案资料，并逐日填写施工日志，以图文影像等手段对施工过程进行全方位的真实记录；

(10) 吐鲁番地区在夏季时光照强度及地面温度均过高，冬季气温较低，均不宜进行施工，工程施工宜选择在晚春、夏季温度不高的时间、秋季进行；

(11) 按国家现行施工及施工验收规范的要求进行施工。

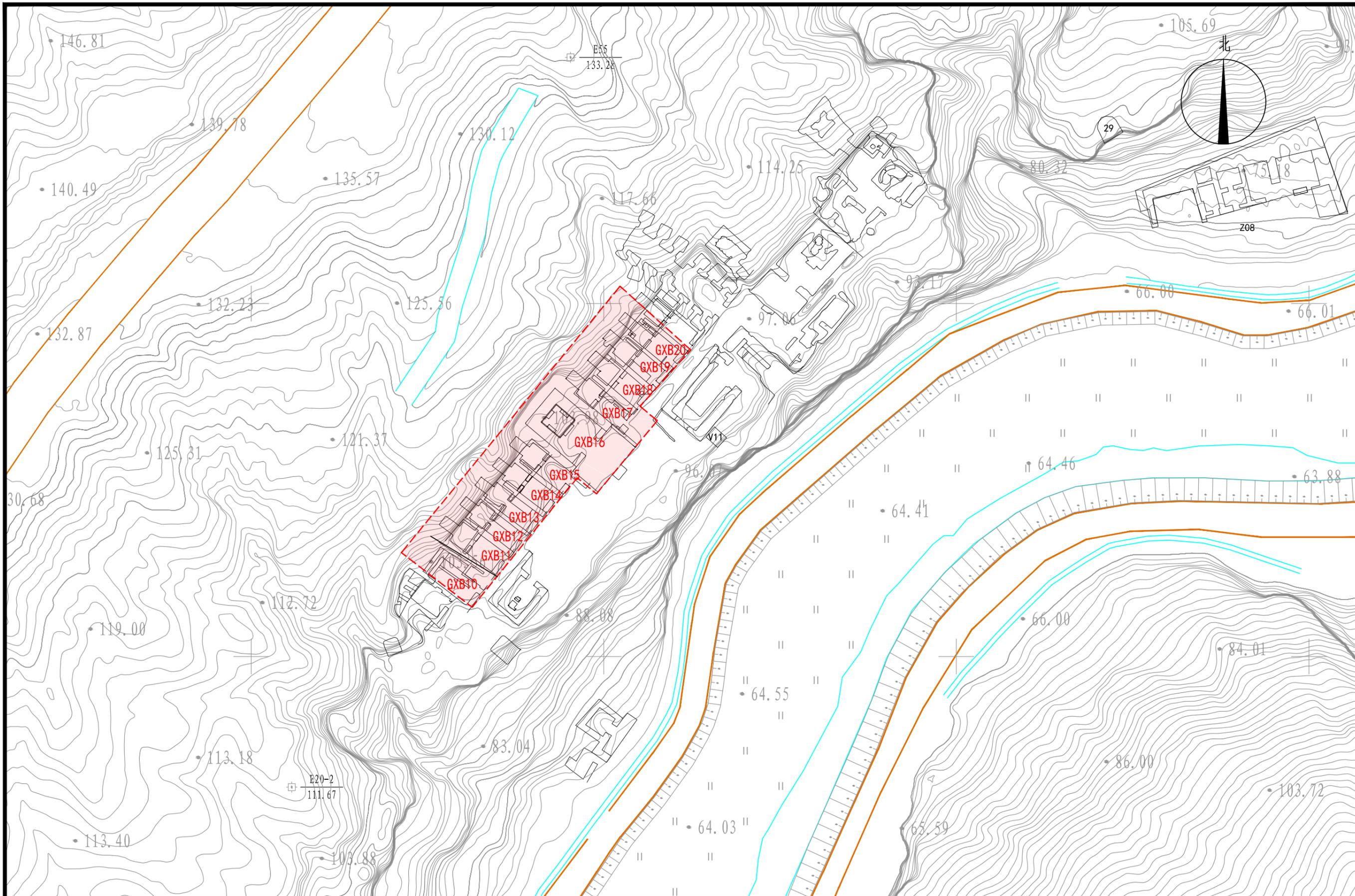
设计图纸

- 图纸目录
- 图纸

目录

序号	图号	图纸名称	规格	比例尺	序号	图号	图纸名称	规格	比例尺
1	TYG-01	西崖洞窟集中区总平面图	A3	1:500	17	TYG-17	GXB12号窟 1-1剖面图	A3	1:50
2	TYG-02	西崖洞窟集中区洞窟分布平面图	A3	1:300	18	TYG-18	GXB12号窟 2-2剖面图	A3	1:50
3	TYG-03	GXB10号窟保护加固设计说明	A3		19	TYG-19	GXB12号窟 A、B、C、D立面图	A3	1:50
4	TYG-04	GXB10号窟保护加固平面图	A3	1:50	20	TYG-20	GXB13号窟保护加固设计说明	A3	
5	TYG-05	GXB10号窟 1-1剖面图	A3	1:50	21	TYG-21	GXB13号窟保护加固平面图	A3	1:50
6	TYG-06	GXB10号窟 2-2剖面图	A3	1:50	22	TYG-22	GXB13号窟 1-1剖面图	A3	1:50
7	TYG-07	GXB10号窟 A、B、C、D立面图	A3	1:50	23	TYG-23	GXB13号窟 2-2剖面图	A3	1:50
8	TYG-08	窟顶裂隙加固大样图	A3	1:10	24	TYG-24	GXB13号窟 A、B、C、D立面图	A3	1:50
9	TYG-09	GXB11号窟保护加固设计说明	A3		25	TYG-25	GXB14号窟保护加固设计说明	A3	
10	TYG-10	GXB11号窟保护加固平面图	A3	1:50	26	TYG-26	GXB14号窟保护加固平面图	A3	1:50
11	TYG-11	GXB11号窟 1-1剖面图	A3	1:50	27	TYG-27	GXB14号窟 1-1剖面图	A3	1:50
12	TYG-12	GXB11号窟 2-2剖面图	A3	1:50	28	TYG-28	GXB14号窟 2-2剖面图	A3	1:50
13	TYG-13	GXB11号窟 A、B、C、D立面图	A3	1:50	29	TYG-29	GXB14号窟 A、B、C立面图	A3	1:50
14	TYG-14	门洞恢复大样图	A3	1:15	30	TYG-30	GXB15号窟保护加固设计说明	A3	
15	TYG-15	GXB12号窟保护加固设计说明	A3		31	TYG-31	GXB15号窟保护加固平面图	A3	1:50
16	TYG-16	GXB12号窟保护加固平面图	A3	1:50	32	TYG-32	GXB15号窟 1-1剖面图	A3	1:50

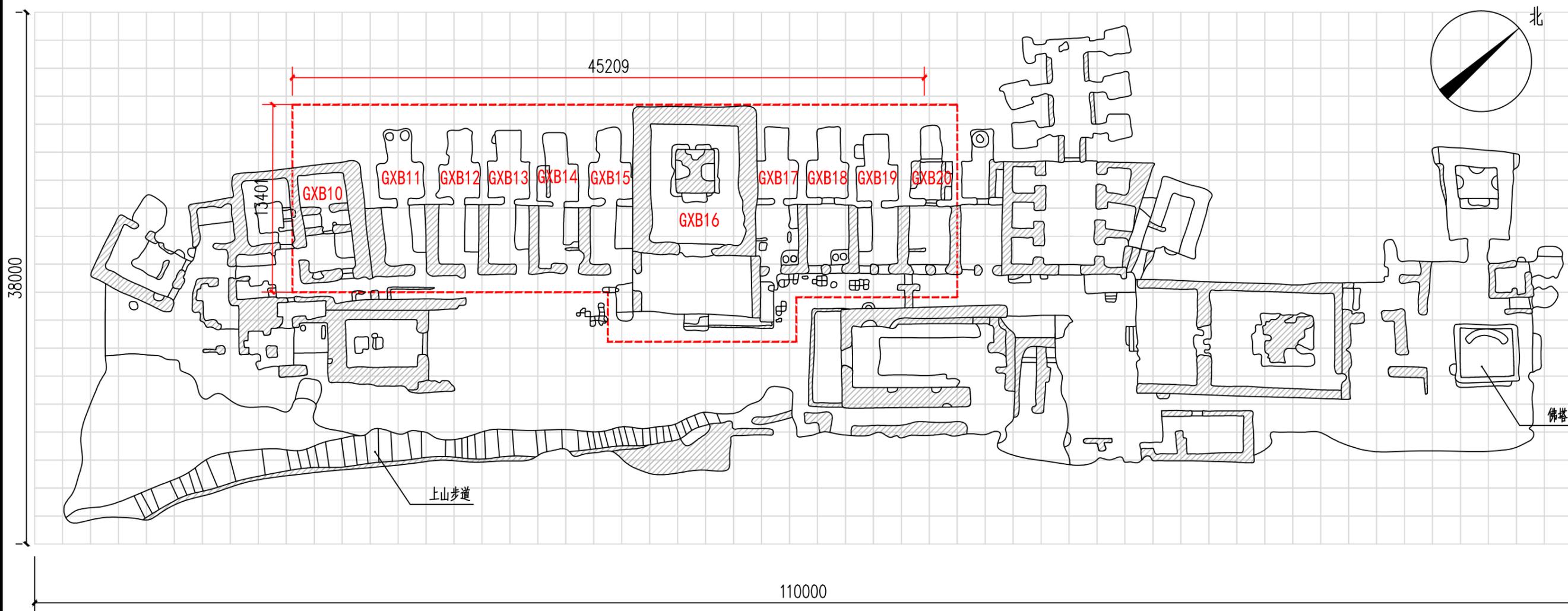
33	TYG-33	GXB15 号窟 2-2 剖面图	A3	1: 50	52	TYG-52	GXB19 号窟保护加固平面图	A3	1: 50
34	TYG-34	GXB15 号窟 A、B、C 立面图	A3	1: 50	53	TYG-53	GXB19 号窟 1-1 剖面图	A3	1: 50
35	TYG-35	GXB16 号窟保护加固设计说明	A3		54	TYG-54	GXB19 号窟 2-2 剖面图	A3	1: 50
36	TYG-36	GXB16 号窟保护加固平面图	A3	1: 50	55	TYG-55	GXB19 号窟 A、B、C、D 立面图	A3	1: 50
37	TYG-37	GXB16 号窟 1-1 剖面图	A3	1: 50	56	TYG-56	GXB20 号窟保护加固设计说明	A3	
38	TYG-38	GXB16 号窟 2-2 剖面图	A3	1: 50	57	TYG-57	GXB20 号窟保护加固平面图	A3	1: 50
39	TYG-39	GXB16 号窟 3-3 剖面图	A3	1: 50	58	TYG-58	GXB20 号窟 1-1 剖面图	A3	1: 50
40	TYG-40	GXB16 号窟窟顶排水示意图	A3	1: 75	59	TYG-59	GXB20 号窟 2-2 剖面图	A3	1: 50
41	TYG-41	GXB17 号窟保护加固设计说明	A3		60	TYG-60	GXB20 号窟 A、B、C、D 立面图	A3	1: 50
42	TYG-42	GXB17 号窟保护加固平面图	A3	1: 50	61	TYG-61	施工便道示意图	A3	1: 1200
43	TYG-43	GXB17 号窟 1-1 剖面图	A3	1: 50	62	TYG-62	工程数量表	A3	
44	TYG-44	GXB17 号窟 2-2 剖面图	A3	1: 50					
45	TYG-45	GXB17 号窟 A、B、C 立面图	A3	1: 50					
46	TYG-46	GXB18 号窟保护加固设计说明	A3						
47	TYG-47	GXB18 号窟保护加固平面图	A3	1: 50					
48	TYG-48	GXB18 号窟 1-1 剖面图	A3	1: 50					
49	TYG-49	GXB18 号窟 2-2 剖面图	A3	1: 50					
50	TYG-50	GXB18 号窟 A、B、C 立面图	A3	1: 50					
51	TYG-51	GXB19 号窟保护加固设计说明	A3						



吐峪沟石窟沟西北区俗称“西崖”，位于吐峪沟河西侧中部山坡，下临西区中部回鹘佛寺，南北两侧各有一条大型自然冲沟，形成一处位置相对独立的佛教窟院遗址，其所处的平台为斩切山体缓坡而成，西侧为斩山切壁形成的垂直崖面，高约11.1米，东侧为山体断崖，南北长102.2米，东西宽20米，洞窟分上下两层开凿于斩山崖面内或前接土坯建筑，有的于窟前平台上以土坯单独砌筑，现存编号洞窟65座。本次勘察范围内的十一处洞窟位于西崖洞窟集中区第一层，编号为GXB10~GXB20。

西崖洞窟集中区总平面图 1:500

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳柳	项目负责人	王捷	图号	TYG-01
复核	张华	审核	王捷	比例	1:500
				日期	2025.1



西崖洞窟集中区洞窟分布平面图 1:300

土坯

注：每个方格尺寸为2米×2米。

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳柳	项目负责人	王捷	图号	TYG-02
复核	张华	审核	王捷	比例	1:300
图名				日期	2025.1

GXB10号窟保护加固设计说明

GXB10号窟保护加固设计说明:

GXB10号窟,位于西崖洞窟集中区的最南侧,面宽3.4米,进深7.6米,由前室、中室和后室组成,为一处僧房窟,其中后室部分有壁画遗存,整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、窟顶开裂、墙面裂隙发育切割、水冲或人为破坏形成的坑洞、土坯砌筑墙体灰缝脱落、墙体表面草泥抹面层脱落等,因此所采取的主要工程措施如下:

(1)窟顶加固

GXB10号窟窟顶坍塌共有两处,分别为位于前室部分和中室部分,在加固过程中,对坍塌部位采用土坯进行砌筑封堵加固,具体施工工艺如下:

①洞口清理。人工对现有坍塌部位进行清理,清理掉原有断裂的土坯、泥浆灰缝、泥流污染痕迹等,并对坍塌部位周边的草泥层抹面进行扩大清理,便于后期进行重新抹面;

②土坯制备。以当地粘土为主材,要求土质干净、含砂量小,粒径小于0.055mm且含量超过25%,塑性指数不小于15,并掺入长2~3厘米左右的麦草,按照重量比为0.5%配置,控制水灰比为0.4,充分拌合均匀,闷土24小时后拌合均匀,采用干法制坯,土料含水率依据经验“手握成团,落地开花”,结合击实试验获取的最大干密度和最优含水率确定;将适量拌好的土料放置在模具中,均匀摊铺并夯打密实,控制压实系数不小于0.9,抗压强度不低于2.0MPa,尺寸为40×20×15厘米(由于每个洞窟土坯尺寸略有差异,可根据现场实际情况进行调整);制作完成后的土坯轻轻脱模,并挪放至阴凉干燥处通风晾干备用;

③灰浆制备。砌筑材料为草泥浆,与土坯制备材料类似,并含有5%左右的麦草,水灰比控制在0.4左右;

④土坯砌筑。砌筑前应进行洒水湿润,对砌筑接茬部位进行润湿,然后按照原有土坯走向、弧度等进行砌筑,砌筑过程中泥浆要饱满,并做好防晒措施,让砌筑部位慢慢阴干;

⑤底部临时支撑。在砌筑体底部可设置柔性材料,并设置钢管立柱进行临时支撑,让砌筑部分强度提高后可撤去支撑体,最后慢慢阴干;

⑥表面草泥层抹面。在完成窟顶坍塌部位的砌筑后,对坍塌孔洞上下两个面采用草泥进行抹面,所用草泥以当地的粘土为主,要求土质干净、含砂量小,粒径小于0.055毫米且含量超过25%,塑性指数不小于15,含盐量应低于0.5%,掺入长3厘米的麦草,控制水灰比为0.3拌制;

按照原有草泥层的厚度,分两次作业,第一层为粗泥层,厚度以2厘米为宜,第二层为细草泥(麦草含量低且长1厘米),厚度以0.5厘米为宜,对原有的白灰层不重抹,保持加固工程的可识别性,抹面完成后,慢慢阴干。草泥抹面中的细草泥抹面仅对洞窟内部进行,而对于窟顶以上的平台处则仅需抹粗草泥层即可。

(2)裂隙加固

GXB10号窟内共有裂隙5条,分别位于前室前墙墙面上(L1、L2)、前室券顶处(L3)、前室门洞正上方(L4)和中室券顶处(L5),因其所处的位置不同,所以采取相对具有针对性的加固措施,具体如下:

①墙面裂隙处理(针对L1、L2)

a. 裂隙清理

采用鼓风机外接细软管深入裂隙内容,利用鼓风机的强大气流,从上到下将内部杂物吹出,待无大量灰尘杂物排出裂隙口停止;

b. 裂隙填充堵塞

在注浆前,可采用碎土块、泥浆等对裂隙进行填充封堵,避免注浆过程中浆液外流;

c. 埋设注浆管

为了保证注浆效果,对深度大于50厘米的裂缝,在注浆过程中需要埋设注浆管。注浆管采用直径2厘米的胶管,上下每隔30厘米布设一个注浆管,进行分段注浆。裂缝外部预留30厘米长,供注浆机连接使用。对于一些张开度较小、埋设注浆管比较困难的裂隙,可采用注射器进行注浆;

d. 润缝

为了能够使浆体在裂隙内部有很好的流动性,必须保证在一段时间内浆体不能凝结,相对于窄小裂隙,除了两侧的土体,还有碎土块,更加易吸收浆体内的土体,加快浆体的凝结时间,因此,除了控制好水灰比之外,在注浆之前必须进行润缝,润缝的过程与碎土块填充、埋设注浆管同步进行。

对于润缝所用器材和材料,采用市场上售卖的喷壶对裂隙进行带压喷洒,所用的材料为纯粘土浆液。

e. 浆液制备

所用浆液为粘土浆液掺合中砂,中砂含量为10%,粘土过1毫米筛,按照水灰比0.45配置浆液,采用机械搅

拌;对于一些张开度比较小的裂隙,要求浆液流动性高,因此按照水灰比为0.6进行配置。

f. 充填注浆

采用手动注浆机进行注浆。首先将手动注浆机放置在平整稳定的地方,并连接好出浆管与注浆管的接口,然后将配置好的浆液倾倒入注浆机内,随即开始注浆,注浆过程比较简单,匀速按压注浆机的拉杆,注意各处导管是否有漏浆情况。当相邻上方注浆管有浆液溢出时,可判定这部分裂隙填充已初步密实。最后松开注浆机出浆口的连接,对预埋的注浆管进行临时密封,方便二次补浆。

对于一些张开度比较小的裂隙,埋设注浆管比较困难,可采用兽医注射器进行人工给压注浆。注浆管采用医用输液管,用注射器对注浆管注射浆液,浆液随着注浆管进入裂隙深部,由于浆液自身具有一定的流动性,此外还有手动注射压力,裂隙一般能够被注浆材料所充填密实。

g. 二次补浆

在首次注浆后,浆体初凝前,浆体会产生一定的收缩,需要对裂隙进行二次补浆,补浆也应从下向上顺序进行。补浆要避免浆体污染遗址本体,且不能漏补。

h. 表面处理

在完成二次补浆后,等到浆体达到终凝状态,剪除预留露出裂隙口的注浆管,其余埋入浆体内部的胶管不做处理。

②窟顶裂隙处理(针对L3、L4、L5)

对窟顶上面的裂隙,首先对裂隙两侧10厘米范围内的原有草泥层抹面进行清理剔除,探查裂隙产生的原因是原有的草泥层开裂还是内部土坯砌体断裂,如果仅仅是草泥层开裂,则按照如下工艺进行重新抹面即可。

a. 裂隙两侧清理

以裂隙走向两侧10厘米范围为界,对开裂部位两侧的原有草泥抹面层进行清理,便于后期重新抹面;

b. 土坯表面凿毛

对原有土坯砌体表面进行凿毛处理,便于后期草泥抹面层与土坯层有效接触;

c. 表面抹面

抹面所用草泥以当地的粘土为主,要求土质干净、含砂量小,粒径小于0.055毫米且含量超过25%,塑性指数不小于15,含盐量应低于0.5%,掺入长3厘米的麦草,控制水灰比为0.3拌制;

按照原有草泥层的厚度,分两次作业,第一层为粗泥层,厚度以2厘米为宜,第二层为细草泥(麦草含量低且长1厘米),厚度以0.5厘米为宜,对原有的白灰层不重抹,保持加固工程的可识别性,抹面完成后,慢慢阴干。

对于草泥抹面清理后若是窟顶砌筑的土坯发生了断裂、破损等,则应按照如下工艺进行加固:

a. 裂隙两侧清理

以裂隙走向两侧10厘米范围为界,对开裂部位两侧的原有草泥抹面层进行清理,便于后续作业;

清理完现有裂隙两侧的草泥抹面层后,将原有窟顶破损、断裂的土坯进行小型凿除,凿除完成后按照相同规格的土坯进行嵌补,同时应对原有凿除土坯附近的灰缝采用泥浆填充密实,用小铲或其他小型工具将配置好的泥浆填充进入灰缝内,填塞后可用木棍进行填捣密实,从灰缝最深处直至土坯表面,填充完成后过半小时后进行补浆,振捣密实后慢慢阴干;

c. 表面抹面

更换完土坯及对原有土坯灰缝进行填充密实后,重新对表面进行抹面处理,保持与周边墙体风格一致,其中洞窟内墙采用细草泥抹面后重新采用白灰进行做旧处理,洞窟顶部采用粗草泥层抹面,避免后期渗水。

(3)墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞,如果坑洞深度小于5厘米,则采用采用草泥进行重新抹面处理即可,抹面工艺与一般墙体裂隙表面抹面工艺相同;如果坑洞深度大于5厘米,则需要对坑洞内填充相同尺寸的土坯后,然后采用草泥进行抹面封护,保持表面与周边墙体协调一致。

(4)土坯墙体灰缝补强

对于GXB10号窟中前室与中室之间的土坯矮墙,表面灰缝风化脱落严重,且外侧有草泥抹面层,内侧的抹面层完全脱落,因此对现有的土坯墙体灰缝进行补强,并对墙体内侧墙面重新进行抹面,具体工艺如下:

①灰缝清理。进行勾缝前,首先采用小型吹风机对原有灰缝内的杂土、碎屑物进行清理,直至灰缝中无杂物吹出为止;

②喷水浸润。采用小型喷壶对灰缝内进行喷水浸润,可分多次喷洒,待两侧土坯表面完全湿润为主;

③泥浆填充。填充用的草泥浆同土坯砌筑所用的泥浆,用小铲或其他小型工具将配置好的草泥浆填充进入灰缝内,填塞后可用木棍进行填捣密实,从灰缝最深处直至土坯表面,填充完成后过半小时后进行补浆;

④养护。灰缝填捣密实后覆盖遮阳网慢慢阴干;

⑤表面抹面。与一般墙体裂隙表面抹面工艺相同,抹面厚度为2.5厘米,其中粗草泥厚2厘米,细草泥厚0.5厘米,不抹白灰层。

(5)草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位,如前室与中室的门洞上方、窟顶等处重新进行抹面,具体工艺与一般墙体裂隙表面抹面工艺相同,抹面厚度根据脱落部位厚度而定,如若仅是细草泥层脱落,则只需抹细草泥层即可;如若脱落厚度达2.5厘米,则应按照2厘米厚粗草泥和0.5厘米厚细草泥进行重抹,不抹白灰层。

(6)泥流污染清理

由于原有洞窟顶部坍塌冒顶,在早期尚未设置崖顶截排水沟前,雨水从崖面上裹挟着大量的泥流等从窟顶处漫流而下,导致洞窟墙壁上有大量的泥流污染的痕迹,因此为了后期的展示利用,特对现有的泥流污染处进行简易清理,以后可与洞窟内壁画修复一同进行彻底的清理,简易清理流程如下:

①采用饱和蒸馏水的热毛巾贴敷在泥流污染表面处,浸润拟清洗部位;

②采用小刀或其他工具对泥流污染处进行清理,从而使得泥流的大部分被清理干净;

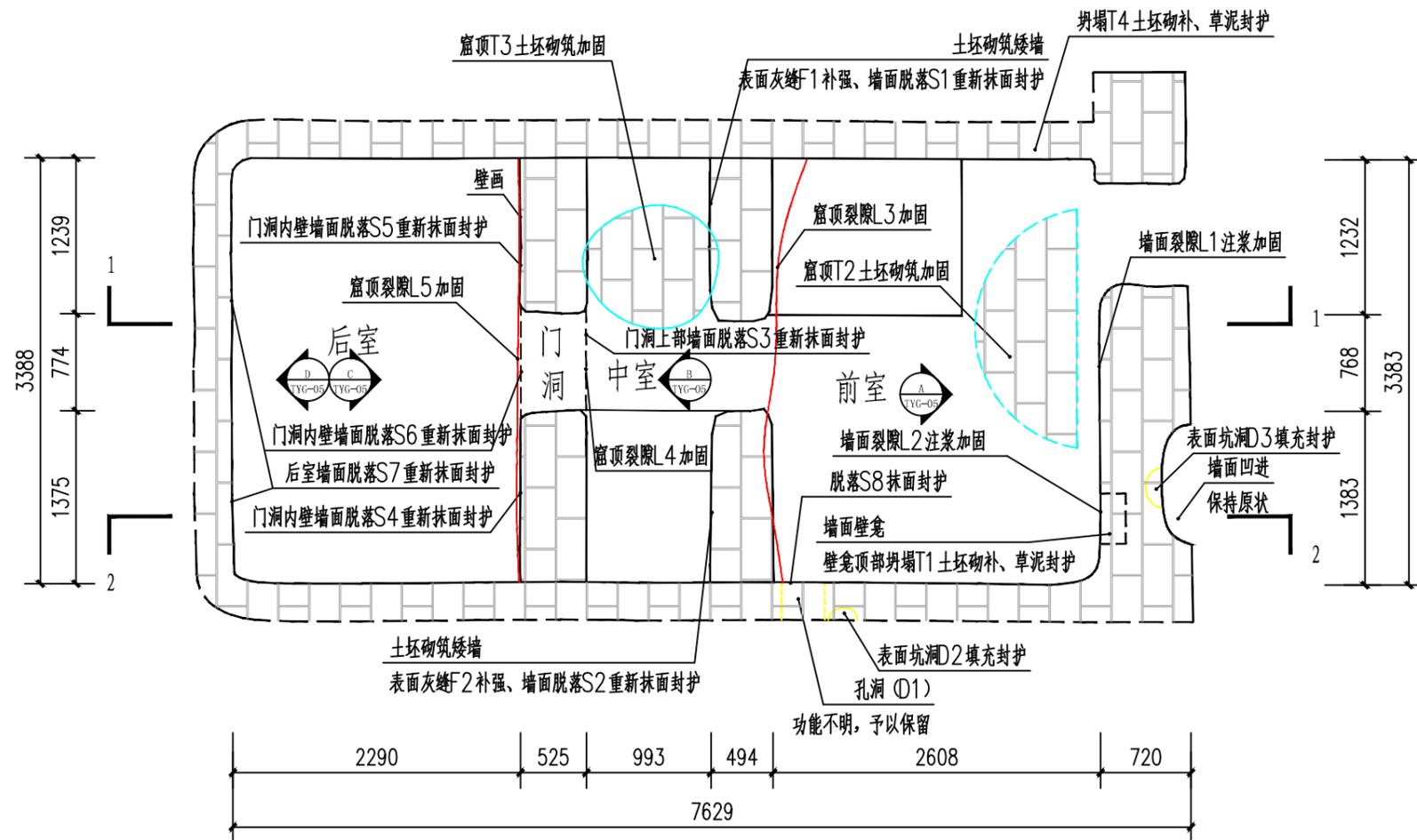
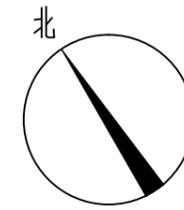
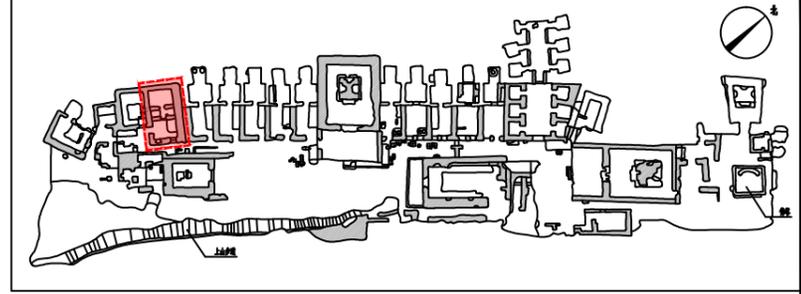
③待清理部位干燥后,采用小毛刷对该部分轻轻刮刷,以清理完绝大部分的泥流污染面即可,不需要彻底清除;同时应注意对洞窟内白灰抹面的保护,清理过程应注意不破坏白灰抹面。

(7)施工注意事项

①施工过程中应注意对窟内壁画的保护,避免施工过程中对壁画造成破坏;

②洞窟内的墙面上部分孔洞直径小于厘米,对于这种排列较为规律的孔洞,推测为当时的生活遗迹,应注意予以保留,待后期考古后确定其具体功能。

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB10号窟保护加固设计说明	图号 TYG-03
复核	张华	审核	王捷			比例
						日期 2025.1



GXB10号窟保护加固平面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-04
复核	张华	审核	王捷	比例	1:50
GXB10号窟保护加固平面图				日期	2025.1

GXB11号窟保护加固设计说明

GXB11号窟保护加固设计说明:

GXB11号窟位于西崖洞窟集中区的南侧,紧邻GXB10号窟,面宽3.3米,进深10.6米,由前室、中室和后室组成,为一处僧房窟,无壁画遗存,整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、墙壁上水冲形成的凹槽、原有草泥墙面脱落、门洞处坍塌、水冲或人为破坏形成的坑洞等,因此所采取的主要工程措施如下:

(1) 水冲凹槽草泥封护

对洞口处墙面上水冲形成的凹槽采用草泥进行封护,同时结合窟顶防水,做好雨水的排放,避免继续受雨水冲刷,具体如下:

①表面清理:人工清理掉水冲凹槽内的土块、碎屑物等,并对需要封护的表面进行凿毛处理;

②表面封护:采用草泥对凹槽进行填充,部分凹槽如果太深,可采用小的土坯碎块进行填充,然后采用草泥进行封护,在作业过程中可使用木棍或其他工具对凹槽进行捣实,确保封护严密;封护完成的表面与原有墙体平齐即可。

所用的草泥与窟顶加固过程中所用的草泥一致,详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1)窟顶加固章节内容。

③养护:对作业面遮阳进行养护,避免太阳暴晒造成表面开裂等。

部分水冲形成的凹槽如果深度超过10厘米,可对凹槽采用土坯进行嵌补后再进行草泥封护。

(2) 窟顶加固

GXB11号窟窟顶坍塌共有三处,分别为位于前室部分和中室部分,因此本次对三处窟顶坍塌处进行加固,具体工艺与GXB10号窟窟顶加固工艺相同,具体详见 2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1)窟顶加固章节内容。

(3) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填充,具体工艺做法与2.1 GXB10号窟保护加固措施 (3)墙体表面坑洞处理相同。

(4) 土坯墙体灰缝补强

对洞窟入口处的土坯侧墙、前室与后室土坯隔墙表面灰缝脱落处进行重新勾缝,避免土坯日渐风化导致墙体坍塌,具体工艺与2.1 GXB10号窟保护加固措施 (4)土坯墙体灰缝补强相同。

(5) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位,如前室两侧墙面下半部分、窟顶处、隔墙门洞两侧、中室侧墙及后墙、后室侧墙等处重新进行抹面,抹面厚度根据脱落部位厚度而定,按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹,不抹白灰层,具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1)窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(6) 泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理,具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (6)泥流污染清理工艺。

(7) 裂隙加固

整个洞窟中形迹明显、张开度大的裂隙L1和L2均位于中室的后墙表面,L3裂隙位于后室窟顶处,为原有砂砾石层卸荷裂隙,对于L2裂隙采取注浆的方式进行加固,对于L1裂隙采取底部土坯支顶的方式进行加固,对于L3结合洞窟钢支顶进行,具体如下:

①裂隙注浆(针对裂隙L2)

施工准备,清理裂隙,采用鼓风机外接细软管深入裂隙内容,利用鼓风机的强大气流,从上到下将内部杂物吹出,待无大量灰尘杂物排出裂隙口停止;

配置浆液,注浆材料为抗硫酸盐水泥砂浆,水灰比1:0.40~0.45,砂浆强度不小于30MPa;

沿裂缝按竖向间距50厘米埋设直径1厘米的塑胶或5毫米塑料注浆管;

采用抗硫酸盐水泥砂浆浆液按自下而上的次序通过注浆管进行;注浆时,当相邻的上方注浆管中出现浆液溢出时应停止注浆,并堵塞该注浆孔,再向上方的注浆管中注浆;

若裂缝较窄小,可适当增大水灰比以减小浆液粘度,增大可灌性;

充填灌浆完成并达到胶凝固化状态后,切割露出墙面的塑胶管;

注浆完成后,对裂隙表面进行封堵,用岩粉和当地粘土调制的泥浆填充裂隙表面;

②土坯砌筑支顶(针对裂隙L1)

对裂隙L1所在的墙面底部进行小范围嵌补,以提高顶部崖面的稳定性,具体操作流程如下:

材料准备:以当地粘土为主材,选可溶盐含量低于0.5%的土,掺入长5厘米的麦草,控制水灰比为0.4拌制,充分拌合均匀,封闭放置24小时;土坯制备:以闷制好的粘土制作土坯,所用的土坯尺寸与一般红砖尺寸相同,为24×11.5×5.3厘米,土坯抗压强度以不小于2MPa为宜;土坯砌补:砌补前应对墙体的根部及表面进行清理,清除表面的风化物,洒水润湿,静置半小时。土坯砌补要注意土坯之间的拉结,一般采用压槎搭接,泥浆要饱满,增加土坯之间的粘聚力;砌筑用的泥浆为草泥浆,与土坯制备材料类似,并含有5%左右的麦草,水灰比控制在0.4左右;砌筑过程中,应根据现有裂隙L1以下空腔部位进行砌筑,砌筑至现有墙面顶部处即可,顶面可填塞一些土坯碎块,保证砌筑部分与现有L1裂隙走向贴合紧密,达到支顶的最终目的。

草泥表面封护:砌筑完成后,结合墙体表面草泥抹面,对砌筑支顶部分进行封护。

③钢结构支顶(针对裂隙L3)

对于后室窟顶的卸荷裂隙L3,可通过钢结构支顶的方式进行支护,避免后期洞窟发生垮塌,具体措施如下:

采用5号槽钢(高5厘米、腿宽3.7厘米、腰厚4.5厘米、理论重量5.438千克/米)制作钢拱架结构,其中顶部弯曲呈半圆形,下部为两个立柱,共计4个,按照后室进深均匀布置,紧贴后室侧壁及窟顶,并沿进深方向布置三个拉结构件,与钢拱架形成一个整体,焊接连接;

拱架外表面刷防腐涂料后喷土黄色颜料做旧,立柱埋设在地面下的钢垫板上,钢垫板尺寸为15×15厘米,表面刷防腐漆,拱架之间采用焊接连接;在对后室的顶部及两侧墙面采用草泥进行抹面封护后,安装槽钢支护结构,避免后室进一步发生坍塌。

(8) 门洞恢复

现有前室与中室中间隔墙处的门洞已经坍塌损毁严重,参照GXB15号窟中隔墙上门洞形制,得出原有隔墙上部开有窗洞,下部为门洞,中间有土坯砌筑的过梁,因此本次设计中对现有洞窟内坍塌的门洞按照GXB15号窟门洞形制进行恢复。

①根据洞口尺寸确定窗洞、门洞及过梁的高度、宽度并做好标记;

②门洞两侧按照原有墙体形制砌筑土坯墙体,在横梁处砌筑拱形门洞,利用拱形结构的良好传力特点,将压力分散至两侧的墙壁上;

③砌筑完拱形横梁后,在拱上部及下部采用草泥抹面进行找平,遮盖掉原有的拱形结构,形成平直的横梁;

④慢慢阴干养护,避免太阳暴晒开裂。

(9) 施工注意事项

①GXB11号窟窟内墙面上有少量的几处壁龛,推测为当时僧侣生活的痕迹,应当予以保留,避免当成人破坏的坑洞进行处理;

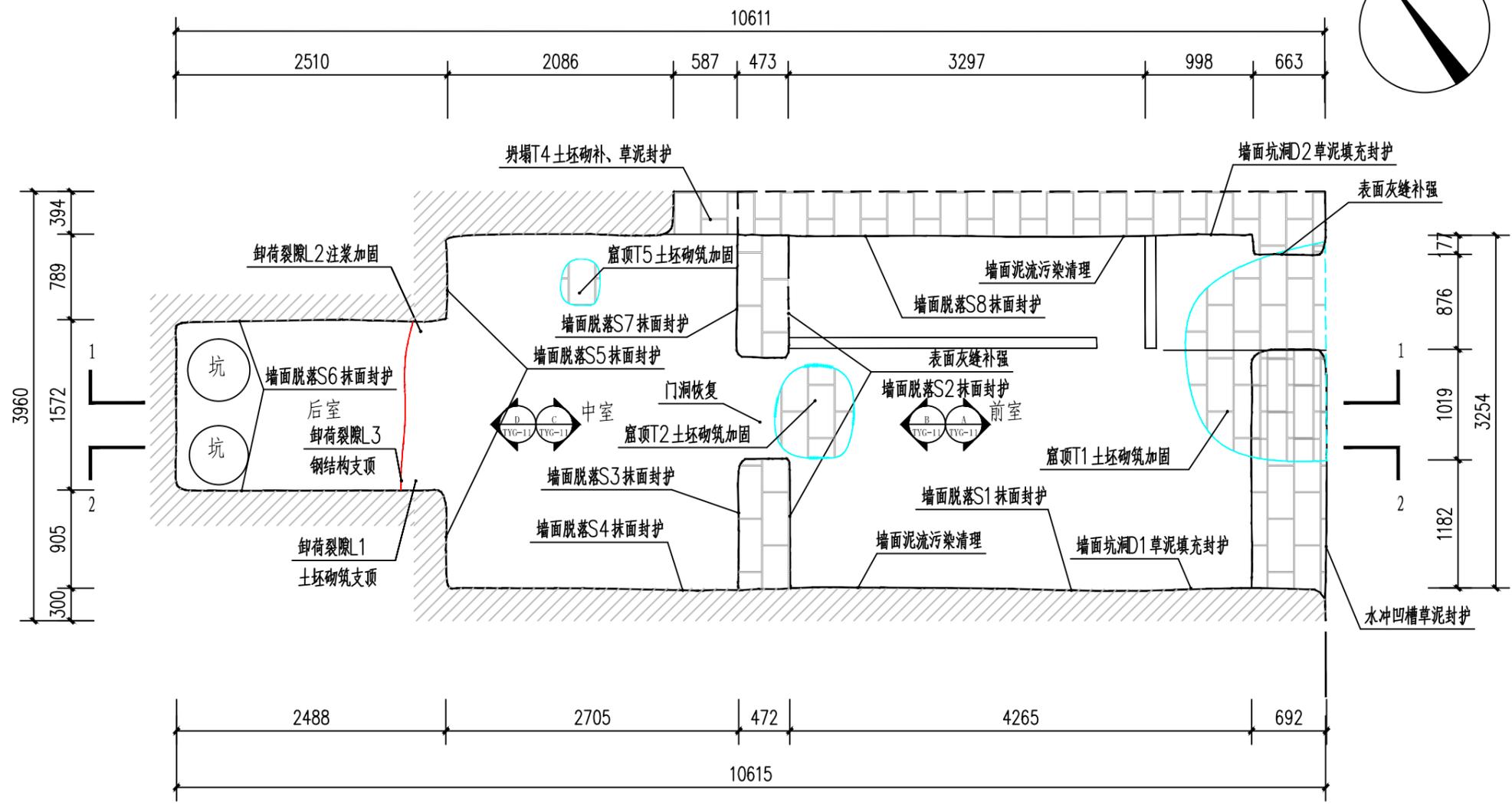
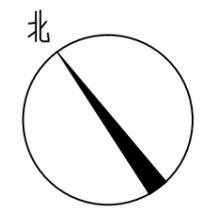
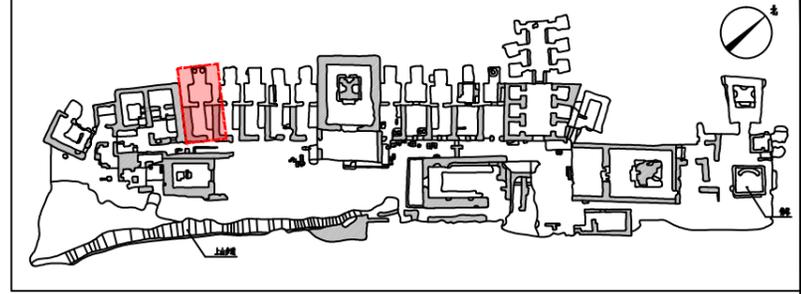
②在对后室墙面进行钢结构支顶过程中,可对钢拱架施加很小一部分的预应力,让拱架与洞窟顶部紧密结合,拱架与窟顶残存白灰层接触时要用柔性材料对共计进行包裹,避免直接接触窟顶顶部;

③中室窟顶处有一采光孔,与周边窟顶坍塌已几乎成为一整体,在进行窟顶加固的过程中,要注意对采光孔予以保留,避免重要文物信息的流失;

④施工过程中要注意对洞窟内残存白灰层进行保护,避免施工过程造成原有的白灰层脱落;

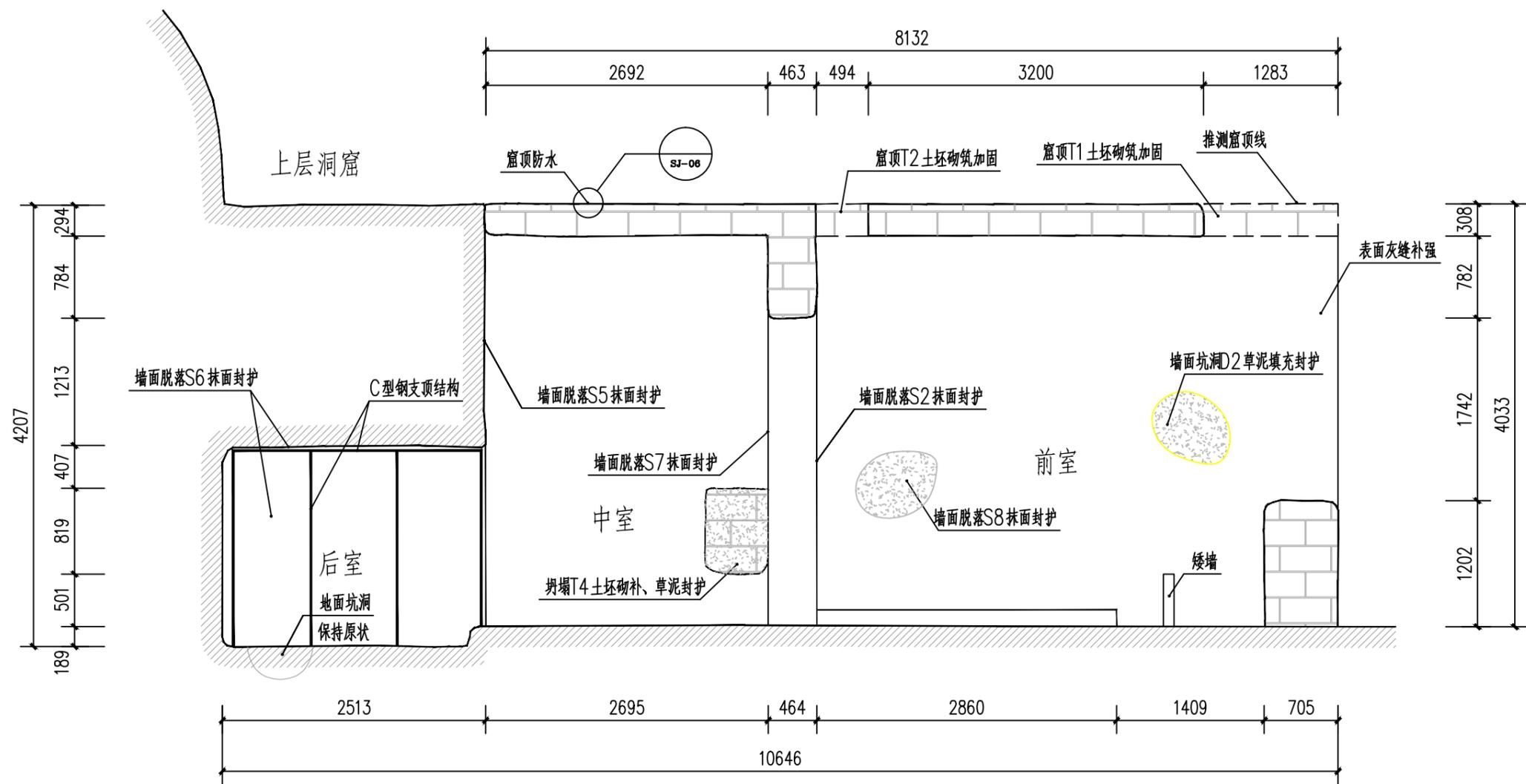
⑤后室地面上有两处坑洞,具体功能不明,暂时保持原状,待后期进行相关的考古调查后再做处理。

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-09
复核	张华	审核	王捷	比例	
				日期	2025.1



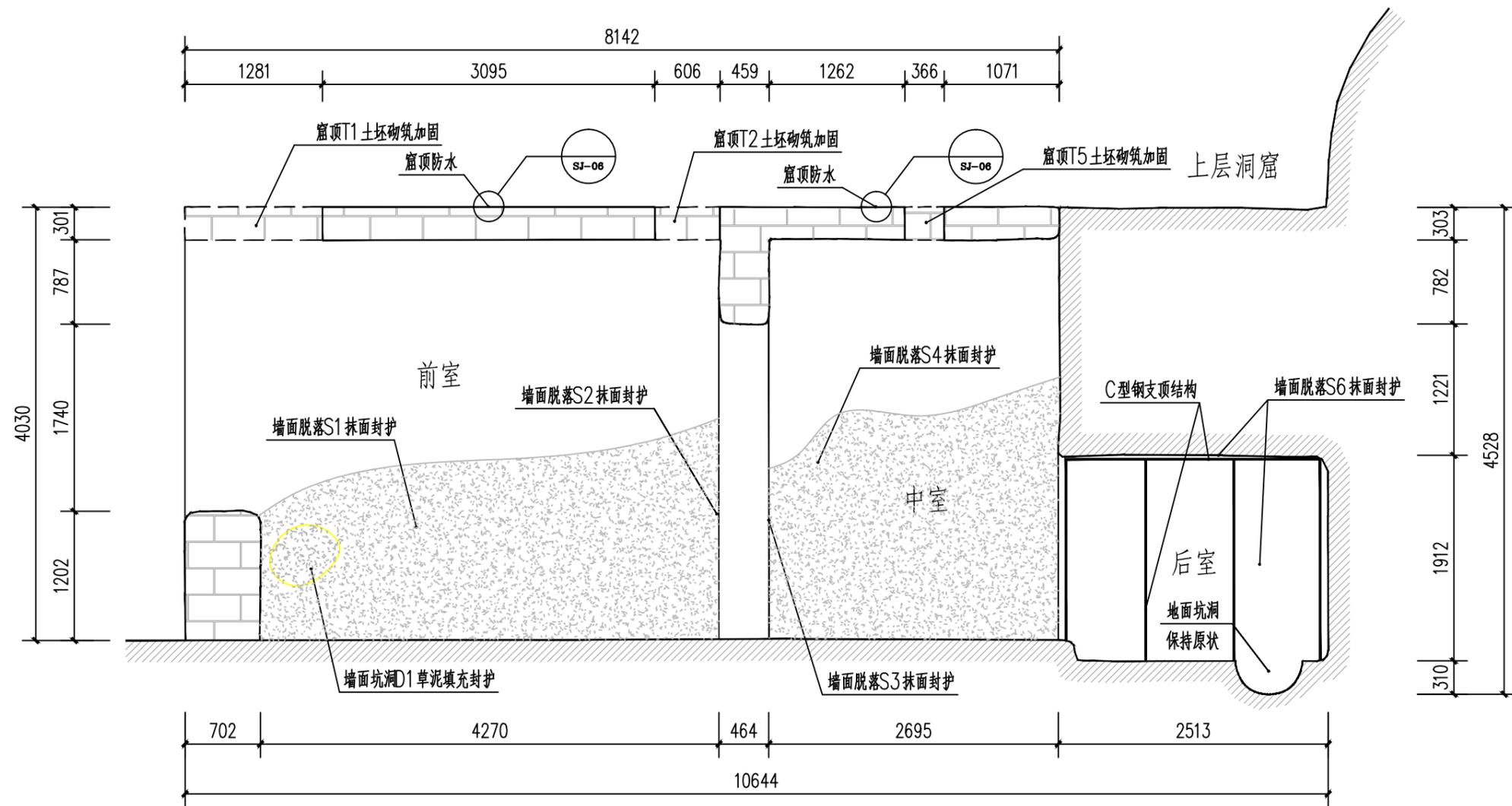
GXB11号窟保护加固平面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-10
复核	张华	审核	王捷	比例	1:50
				日期	2025.1



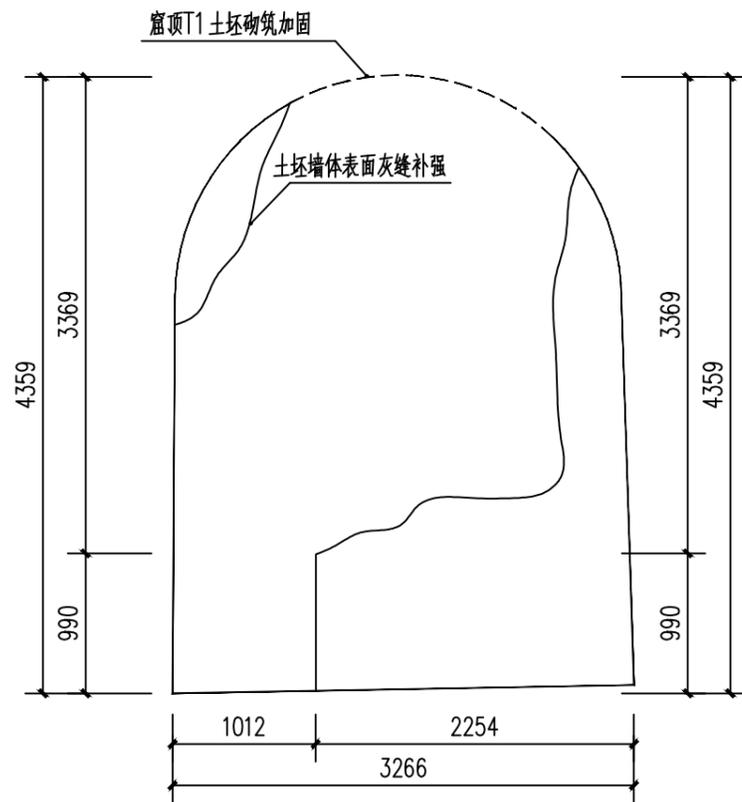
GXB11号窟1-1剖面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB11号窟1-1剖面图	图号 TYG-11
复核	张峰	审核	王捷			比例 1:50
						日期 2025.1

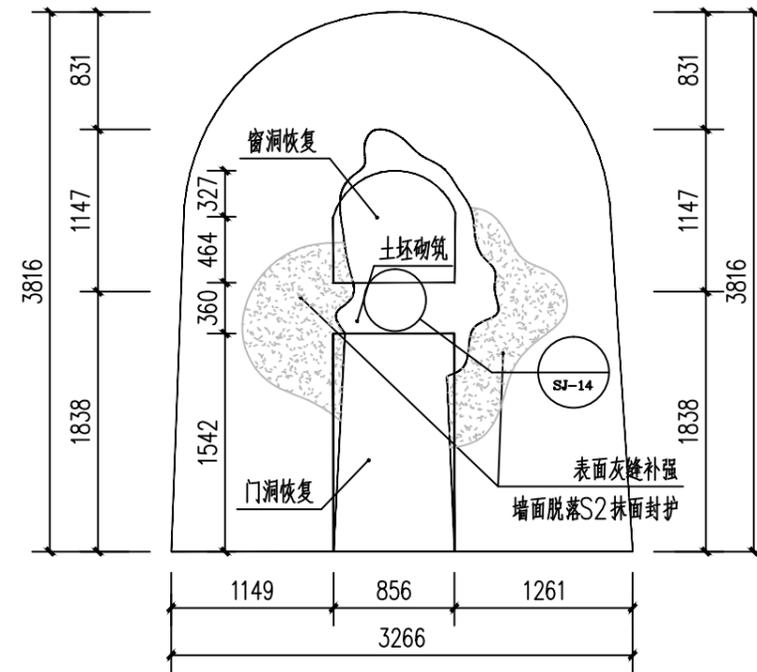


GXB11号窟2-2剖面图 1:50

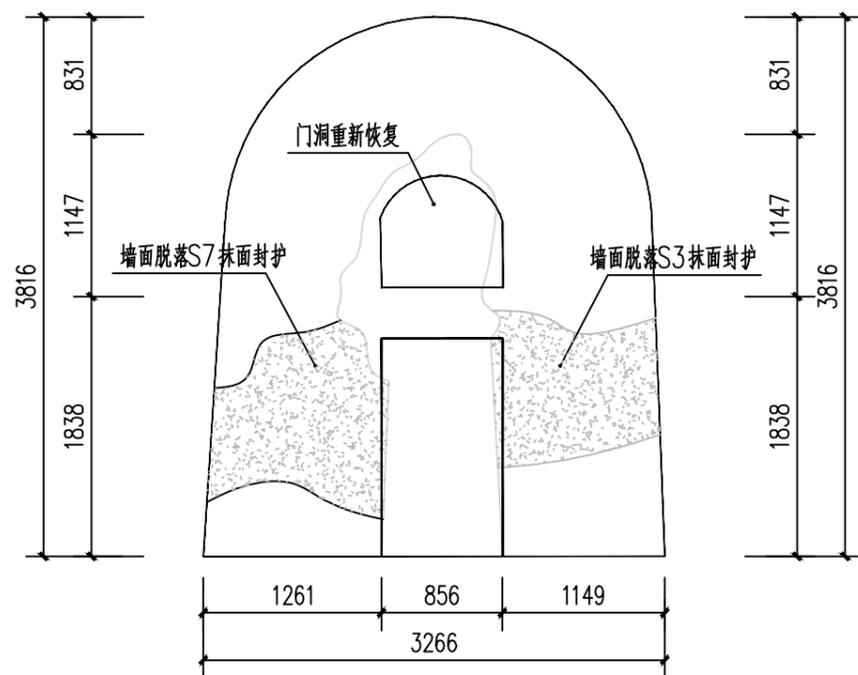
中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-12
复核	张华	审核	王捷	比例	1:50
图名				日期	2025.1
GXB11号窟2-2剖面图					



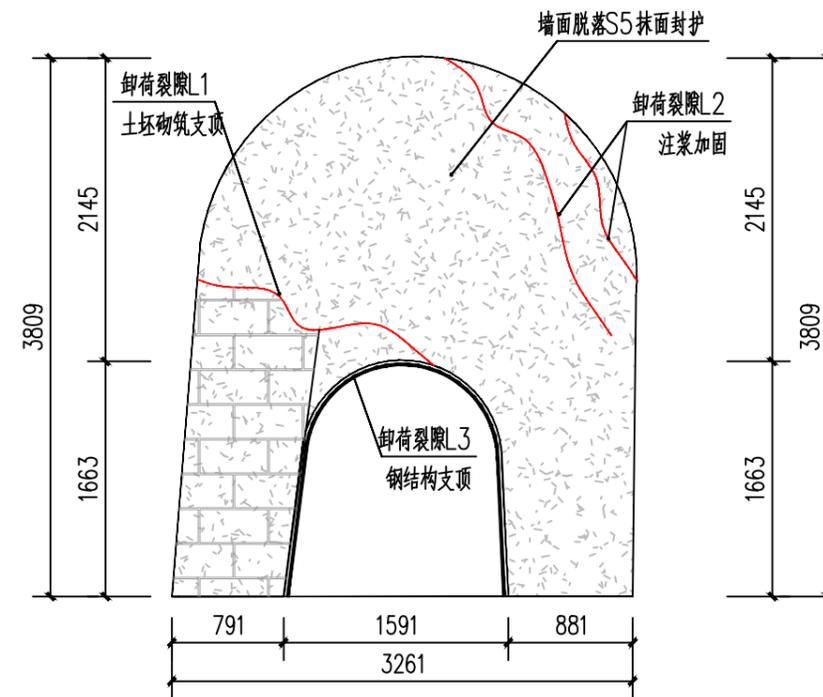
GXB11号窑A立面图 1:50



GXB11号窑B立面图 1:50

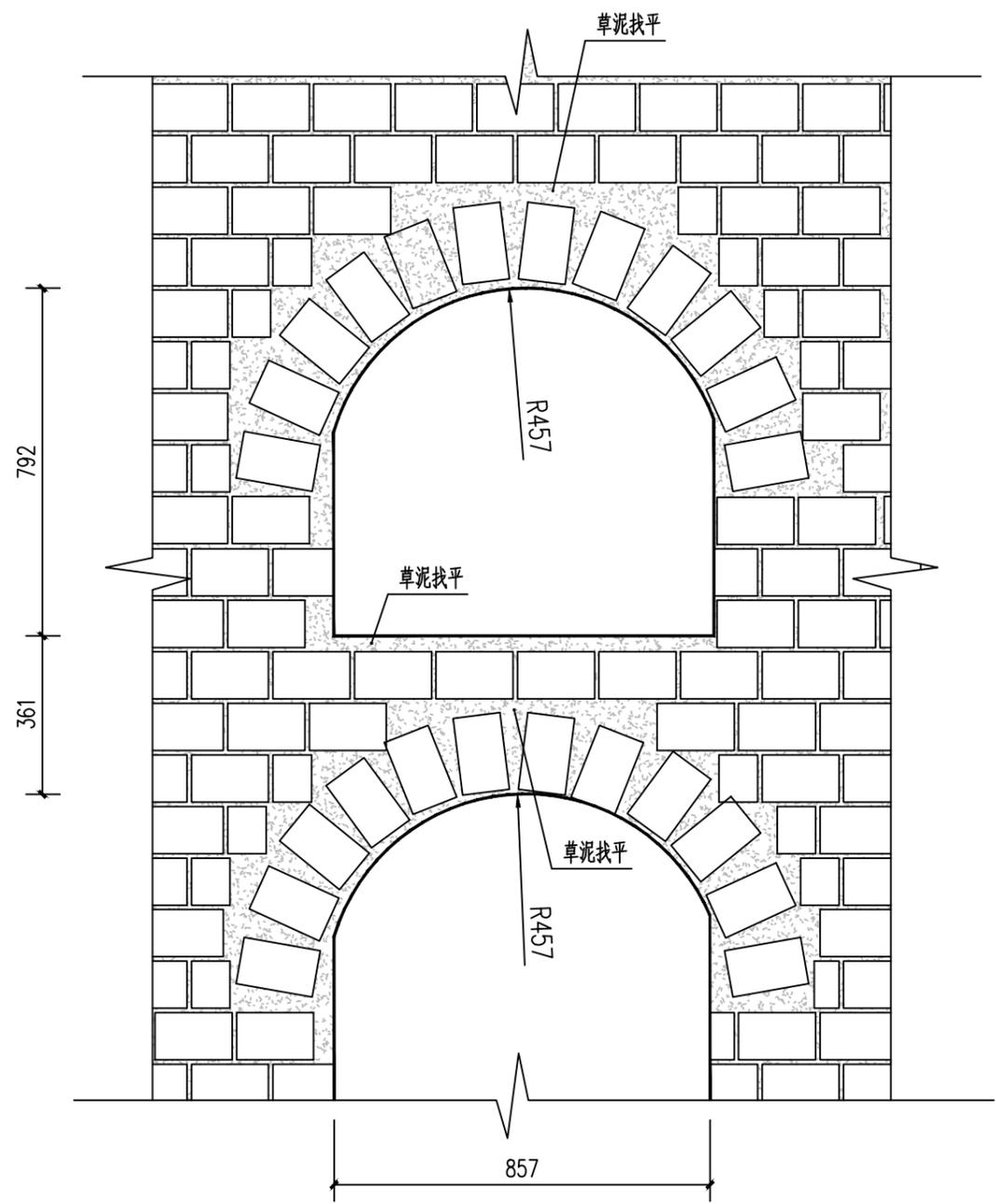


GXB11号窑C立面图 1:50



GXB11号窑D立面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	GXB11号窑A、B、C、D立面图	图号	TYG-13
复核	张峰	审核	王捷		比例	1:50
				日期	2025.1	



门洞恢复大样图 1:15

说明:

- (1) 洞窟内隔墙门洞和窗洞恢复时可按照此图进行;
- (2) 部分门洞宽度尺寸与该处门洞有差别, 可进行适当调整;
- (3) 门洞顶部和窗洞顶部按照弧形砌筑土坯, 其余周边墙体土坯为横平竖直砌筑;
- (4) 部分横向土坯受斜向土坯影响, 不能砌筑一整块, 可砌筑半块土坯;
- (5) 土坯砌筑采用草泥浆, 后期对表面整体采用草泥抹面。

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区 部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-14
复核	张华	审核	王捷	比例	1:15
				日期	2025.1

GXB12号窟保护加固设计说明

GXB12号窟保护加固设计说明:

GXB12号窟位于西崖洞窟集中区的南侧,紧邻GXB11号窟,面宽2.9米,进深10.2米,由前室、中室和后室组成,为一处僧房窟,无壁画遗存,整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、墙面草泥层脱落、局部裂隙发育、门洞处坍塌、墙面泥流污染、人为破坏产生的孔洞等,因此所采取的主要工程措施如下:

(1) 窟顶加固

GXB12号窟坍塌共有五处,其中窟顶坍塌三处,均位于前室窟顶处,因此本次对三处窟顶坍塌处进行加固,具体工艺与GXB10号窟窟顶加固工艺相同,具体详见 2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固章节内容。

(2) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填充,具体工艺做法与2.1 GXB10号窟保护加固措施 (3) 墙体表面坑洞处理相同。

对中室右侧墙体上的孔洞,宽0.6米,高0.9米,由于与GXB11号窟相通,因此在处理前应先采用土坯进行砌筑,砌筑完成后表面重新抹草泥层进行封护。

(3) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位,如隔墙的窗洞处、后室侧墙及后墙、后室侧墙处等重新进行抹面,抹面厚度根据脱落部位厚度而定,按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹,不抹白灰层,具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(4) 土坯墙体灰缝补强

对洞窟中室左侧墙体表面草泥层脱落处,在进行重新抹面前需对原有的土坯墙体灰缝进行重新勾缝,避免土坯日渐风化导致墙体坍塌,具体工艺与2.1 GXB10号窟保护加固措施 (4) 土坯墙体灰缝补强相同。

(5) 裂隙加固

整个洞窟仅有一处裂隙发育,位于中室后墙表面,为原有后室开凿后引起崖体应力重分布后产生的,目前裂隙较窄,切割崖面呈层状剥落,因此对该裂隙采取裂隙注浆+木锚钉锚固+表面草泥抹面封护的方式进行,具体如下:

①裂隙注浆

对现有的裂隙采用外接细长风管的方式,对裂隙内的灰尘、杂物等进行清理,直至吹不出杂物为主;后对裂隙进行逐段封堵、逐段注浆的方式进行加固,注浆材料与GXB10号窟窟内裂隙注浆材料相同,注浆完成后对裂隙周边

采用木铆钉进行锚固,防止后期洞窟呈片状脱落。

②木锚钉锚固

根据裂隙走向,在现有裂隙右侧10厘米处,按照裂隙走向每30厘米的间距进行钻孔,钻孔孔径为1厘米,长15厘米,钻孔完成后,以白蜡杆制作直径为6~8毫米的木锚钉,木锚钉一头呈尖状,一头呈圆形,长15厘米左右,表面缠绕麻丝,将缠绕了麻丝的木锚钉插入到草泥浆填充的钻孔中,待凝固后对表面采用草泥进行封堵抹面,保持与周边墙体风貌相一致。

(6) 门洞恢复

参照GXB15号窟中隔墙上门洞形制进行恢复,具体工艺与2.2 GXB11号窟保护加固措施 (8) 门洞恢复。

(7) 泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理,具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (6) 泥流污染清理工艺。

(8) 施工注意事项

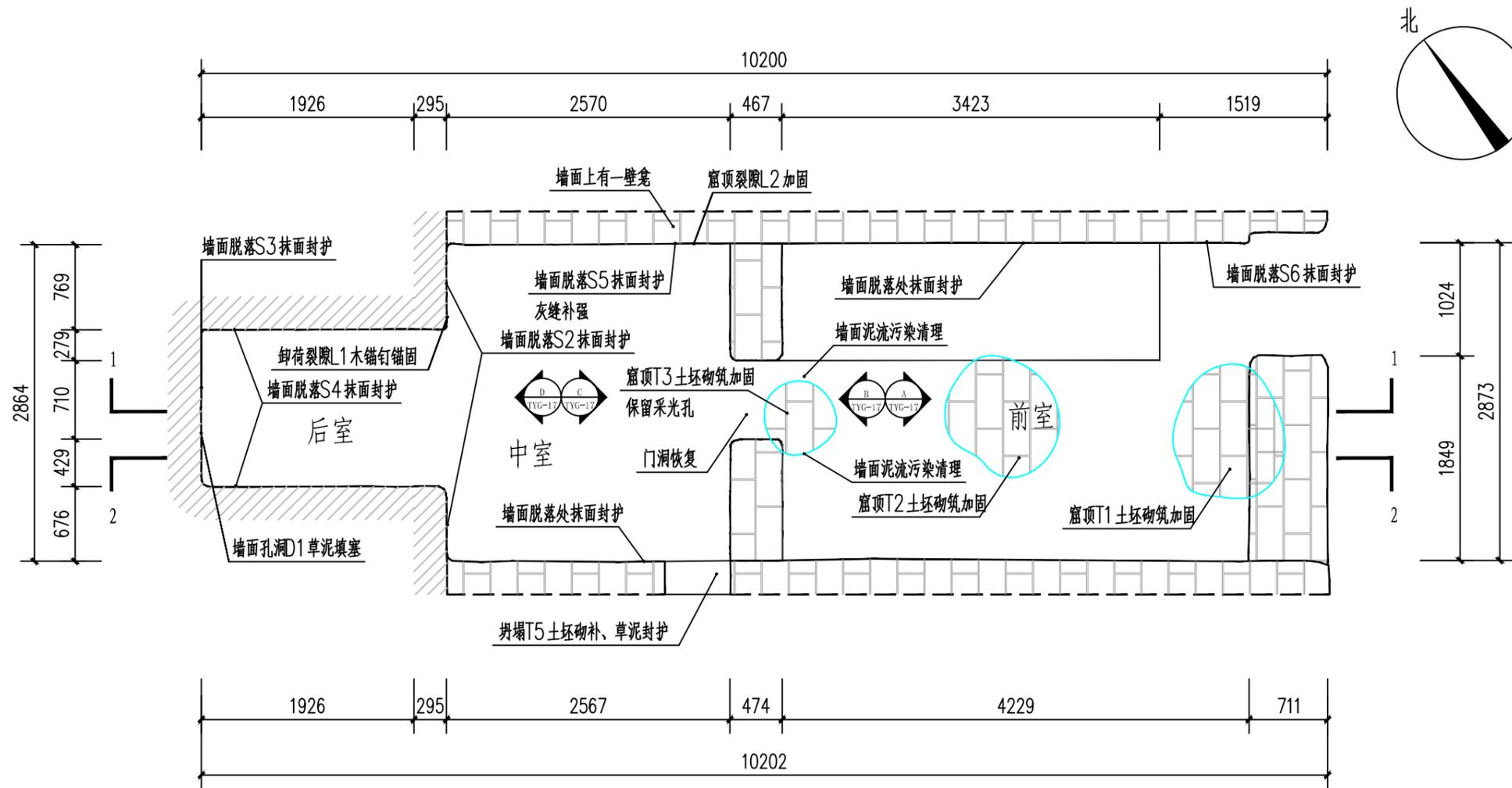
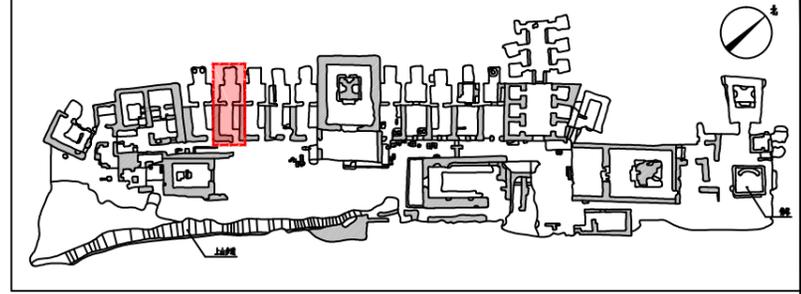
①GXB12号窟窟内墙面上有少量的几处壁龛,推测为当时僧侣生活的痕迹,应当予以保留,避免当成人为破坏的坑洞进行处理;

②中室窟顶处有一采光孔,与周边窟顶坍塌已几乎成为一整体,在进行窟顶加固的过程中,要注意对采光孔予以保留,避免重要文物信息的流失;

③在进行后室墙壁抹面时,应先对后室后墙的坍塌坑洞处采用土坯或碎块进行嵌补,然后再进行抹面;

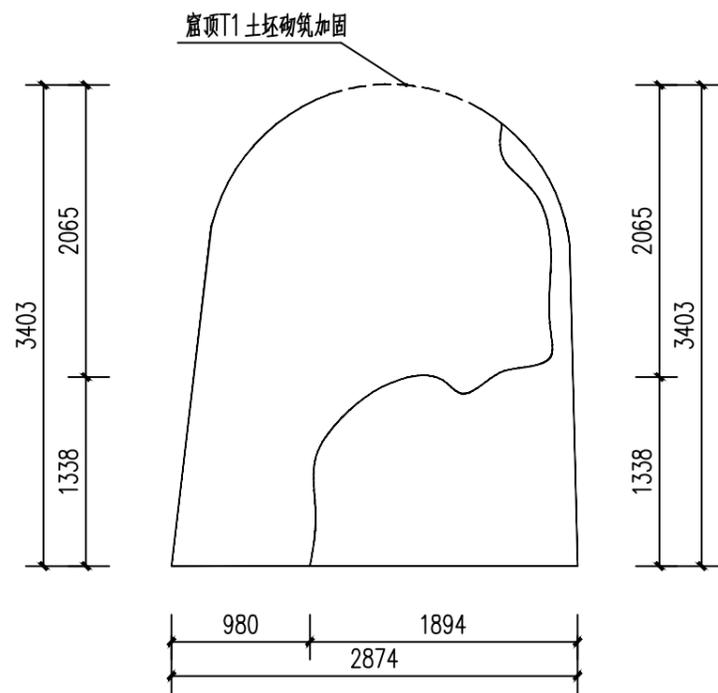
④在进行表面坑洞处理时,有一些排列整齐、分布规律的坑洞,推测为当时僧侣生活的一些遗迹,对这些坑洞应予以保留。

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB12号窟保护加固设计说明	图号	TYG-15
复核	张峰	审核	王捷			比例	
						日期	2025.1

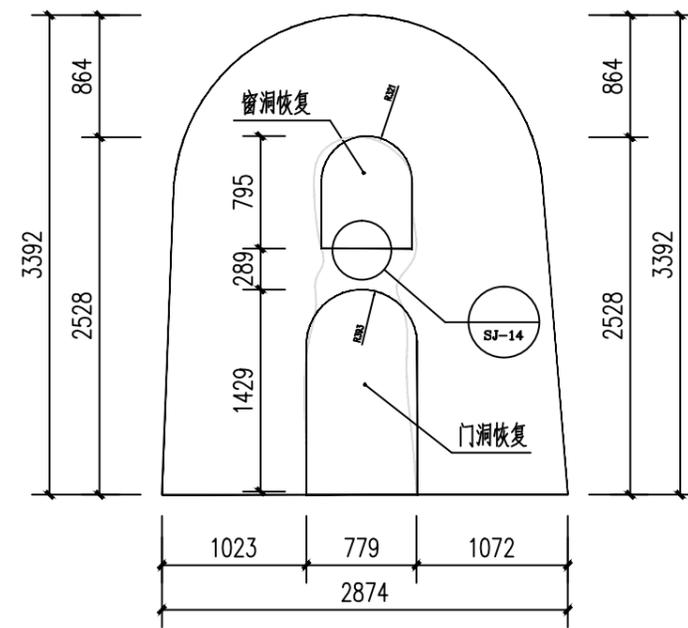


GXB12号窟保护加固平面图 1:50

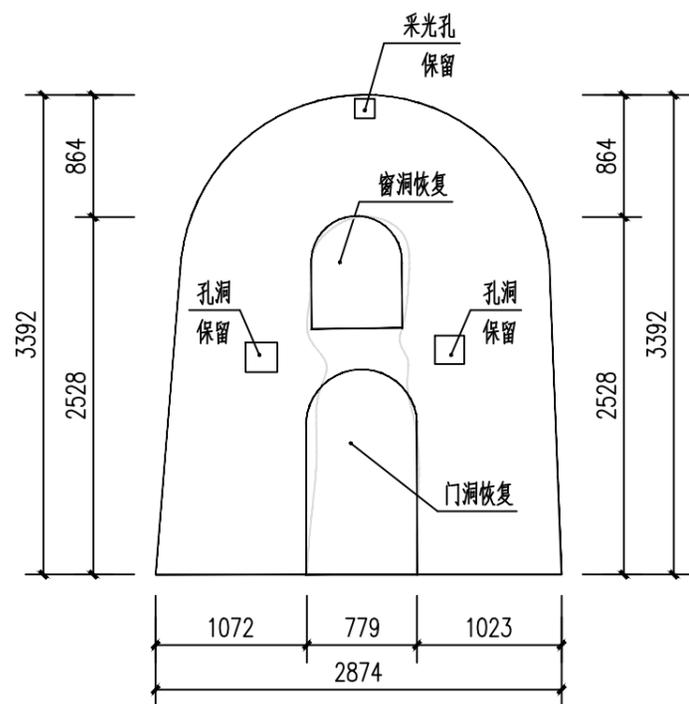
中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-16
复核	张华	审核	王捷	比例	1:50
GXB12号窟保护加固平面图				日期	2025.1



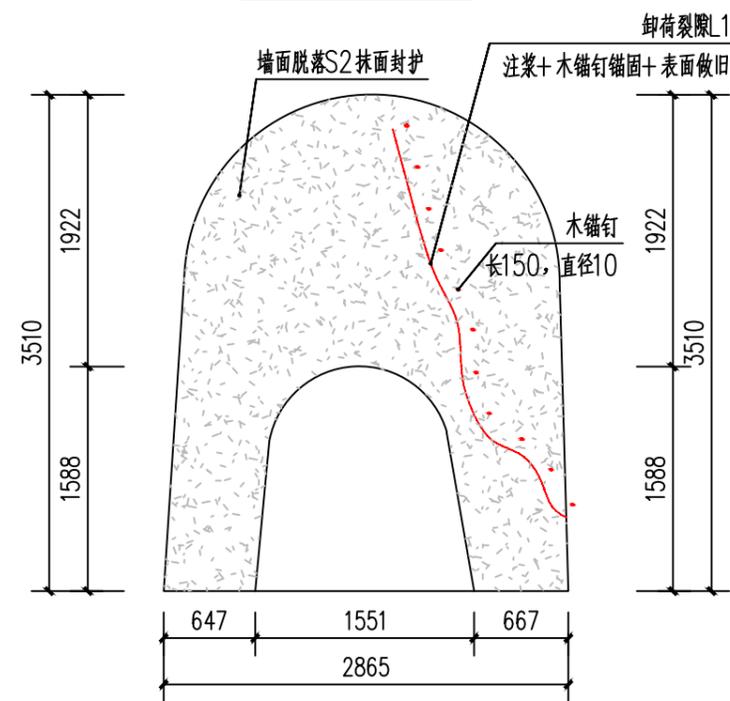
GXB12号窟A立面图 1:50



GXB12号窟B立面图 1:50



GXB12号窟C立面图 1:50



GXB12号窟D立面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-19
复核	张峰	审核	王捷	比例	1:50
GXB12号窟A、B、C、D立面图				日期	2025.1

GXB13号窟保护加固设计说明:

GXB13号窟位于西崖洞窟集中区的南侧,紧邻GXB12号窟,面宽2.9米,进深10.2米,由前室、中室和后室组成,为一处僧房窟,无壁画遗存,整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、水冲形成的凹槽、局部裂隙发育、墙面草泥层脱落、门洞处坍塌、墙面泥流污染、人为破坏产生的孔洞等,因此所采取的主要工程措施如下:

(1) 窟顶加固

GXB13号窟坍塌共有六处,其中窟顶坍塌五处,均位于前室窟顶处,其中坍塌5推测为一处采光孔,因此本次对其余四处窟顶坍塌处进行加固,具体工艺与GXB10号窟窟顶加固工艺相同,具体详见 2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固章节内容。

(2) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填充,具体工艺做法与2.1 GXB10号窟保护加固措施 (3) 墙体表面坑洞处理相同。

(3) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位,如前室左侧墙壁、前室右侧墙壁、中室墙壁等处重新进行抹面,抹面厚度根据脱落部位厚度而定,按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹,不抹白灰层,具体详见2.1

GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(4) 门洞恢复

参照GXB15号窟中隔墙上门洞形制对该窟内隔墙门洞进行恢复,具体工艺与2.2 GXB11号窟保护加固措施 (8) 门洞恢复。恢复前应先对门洞处的土坯间的灰缝进行补强,然后砌筑土坯门洞。

(5) 水冲凹槽草泥封护

对前室墙壁上水冲形成的沟槽采用草泥进行封堵填塞,确保雨水将不会冲刷形成新的凹槽。具体工艺详见2.2

GXB11号窟保护加固措施 (1) 水冲凹槽草泥封护。

(6) 裂隙加固

该窟内共有裂隙4处,分别位于中室右侧墙壁上(L1)、中室后墙与券顶相交处(L2)、后室券顶处(L3)和前室左侧墙壁上(L4),对于这四条发育明显的裂隙,由于所处位置各有差异,因此分别采取相应的工程措施:

①窟顶裂隙处理(针对L1、L2)

为沿洞窟窟顶发育的裂隙,处理方式与GXB10号窟(2)裂隙加固②窟顶裂隙处理工艺相同,即通过对原有裂

隙进行清理,探查清楚为草泥层开裂还是窟顶土坯碎裂破损,然后根据探查情况采取具有针对性的措施。

②中室券顶裂隙处理(针对L3、L4)

L3裂隙为中室后墙表面的草泥抹面层受雨水冲刷、暴晒等原因而发生了开裂,且位置位于券顶与原始崖面相交处,因此对裂隙表面采用注浆的方式进行加固,具体工艺详见GXB10号窟(2)裂隙加固 ①墙面裂隙处理。

(7) 泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理,具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施(6)泥流污染清理工艺。

(8) 施工注意事项

①GXB13号窟窟内前室左侧墙壁上有一处壁龛,周边有若干小型孔洞,推测为当时僧侣生活的痕迹,应予以保留;

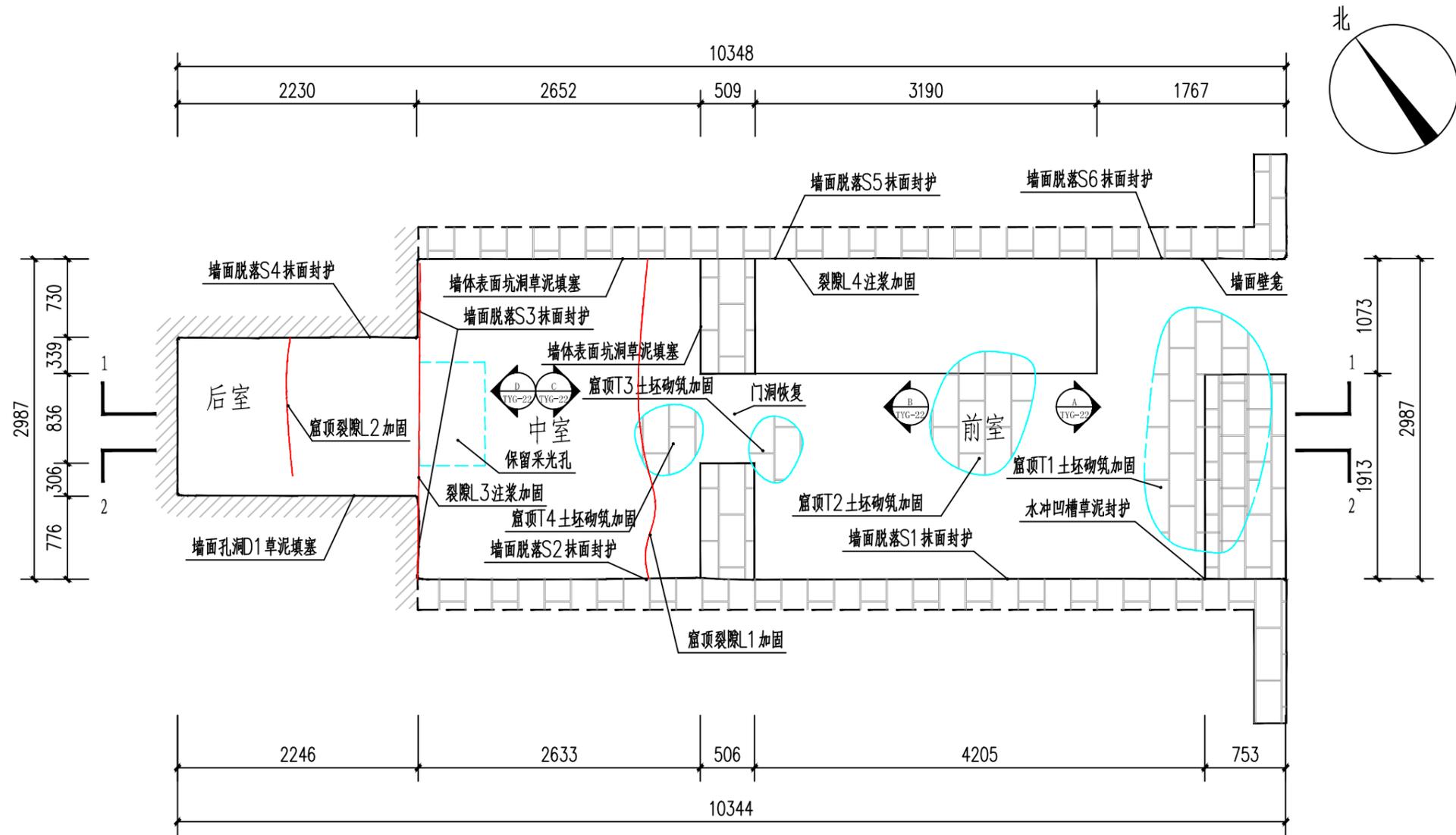
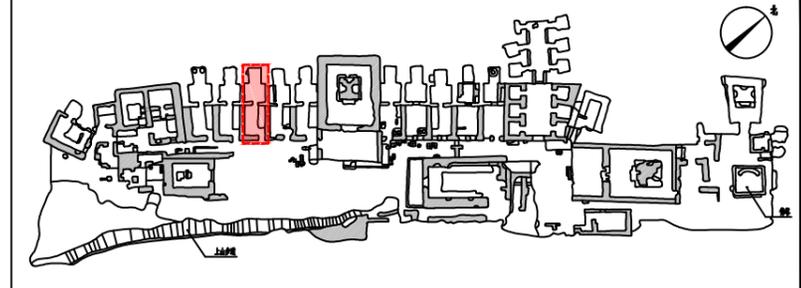
②中室与后室相交处的窟顶有一处长方形的采光孔,应予以保留,不应当做窟顶坍塌处理;

③洞窟内墙壁上有若干条小的干缩裂隙,可采用医用注射器的方式注浆加固,注浆过程中应注意对周边白灰层的保护,避免污染墙面;

④由于T5为原有的采光孔,为了避免降雨时雨水从采光孔下渗,在采光孔周边砌筑一圈土坯挡水墙,高20厘米左右;

⑤施工过程中应注意对窟内白灰层及红色条带装饰面进行保护,避免污染或破坏。

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	图号	TYG-20
复核	张华	审核	王捷		比例	
				GXB13号窟保护加固设计说明	日期	2025.1



GXB13号窟保护加固平面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-21
复核	张峰	审核	王捷	比例	1:50
				日期	2025.1

GXB14号窟保护加固设计说明

GXB14号窟保护加固设计说明:

GXB14号窟位于西崖洞窟集中区的南侧,紧邻GXB13号窟,面宽3.2米,进深10.2米,由前室、中室和后室组成,为一处僧房窟,无壁画遗存,整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、墙面草泥层脱落、门洞处坍塌、墙面泥流污染、墙体表面的孔洞等,因此所采取的主要工程措施如下:

(1) 窟顶加固

GXB14号窟窟顶坍塌共有四处,均为窟顶坍塌冒顶,其中T3为一处采光孔,因此本次对其余三处窟顶坍塌处进行加固,具体工艺与GXB10号窟窟顶加固工艺相同,具体详见 2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1)

) 窟顶加固章节内容。

(2) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填塞抹平,具体工艺做法与2.1 GXB10号窟保护加固措施

(3) 墙体表面坑洞处理相同。

(3) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位,如门洞处一侧、中室左侧墙体及后墙、后室大部分墙面等重新进行抹面,抹面厚度根据脱落部位厚度而定,按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹,不抹白灰层,具体详见2.1

GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

由于中室后墙为原有崖面开挖后抹一层草泥层,现草泥层大面积脱落,原有的崖体也呈层状剥落,因此在进行表面抹面前,先采用C型钢弯曲后成横向支架与坍塌部位紧密贴合,支架底部焊接四个立柱埋设在地面内,然后对墙体表面采用草泥进行抹面封护,将该支顶结构隐藏在表层抹面中,保持与洞窟周边风貌相一致。

(4) 门洞恢复

参照GXB15号窟中隔墙上门洞形制对该窟内隔墙门洞进行恢复,具体工艺与2.2 GXB11号窟保护加固措施 (8) 门洞恢复。恢复前应先对门洞处的土坯间的灰缝进行补强,然后砌筑土坯门洞。

(5) 裂隙加固

该窟内共有裂隙5处,分别位于前室右侧墙面(L1)、前室隔墙与窟顶相交处(L2)、中室隔墙与窟顶相交处(L3)、后室窟顶处(L4)和前室左侧墙面(L5),根据发育类型及所处位置采取具有针对性的措施,具体如下:

①墙面裂隙处理(针对L1、L2、L3、L5)

为窟内墙体表面的裂隙,采用注浆的方式进行加固,具体工艺详见GXB10号窟(2)裂隙加固 ①墙面裂隙处理。

②窟顶裂隙处理(针对L4)

为沿后室窟顶发育的裂隙,处理方式与GXB10号窟(2)裂隙加固②窟顶裂隙处理工艺相同,即通过对原有裂隙进行清理,探查清楚为草泥层开裂还是窟顶土坯碎裂破损,然后根据探查情况采取具有针对性的措施。

(6) 泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理,具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施(6)泥流污染清理工艺。

(7) 施工注意事项

①GXB14号窟前室前墙上有一壁龛,推测为当时僧侣生活的痕迹,应予以保留;

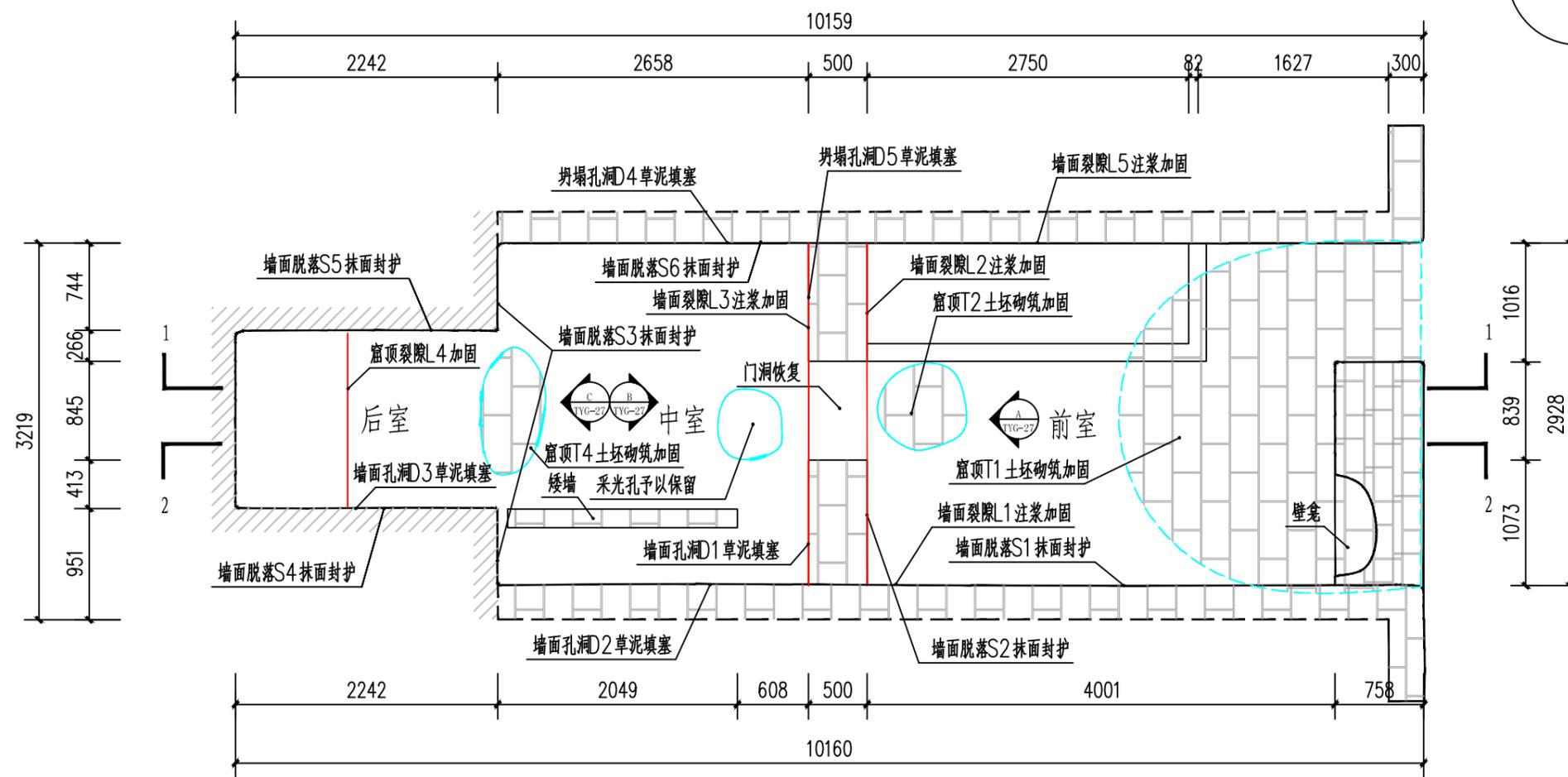
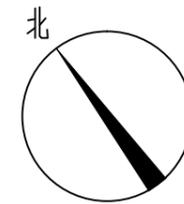
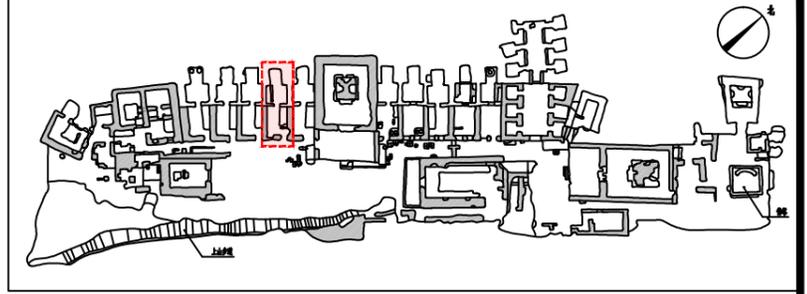
②中室窟顶处的采光孔应予以保留,不应当做窟顶坍塌处理;

③洞窟内墙壁上有若干条小的干缩裂隙,可采用医用注射器的方式注浆加固,注浆过程中应注意对周边白灰层的保护,避免污染墙面;

④由于T3为原有的采光孔,因此在进行窟顶防水作业时,在采光孔周边砌筑一圈土坯挡水墙,高20厘米左右,避免雨水从该采光孔中下渗;

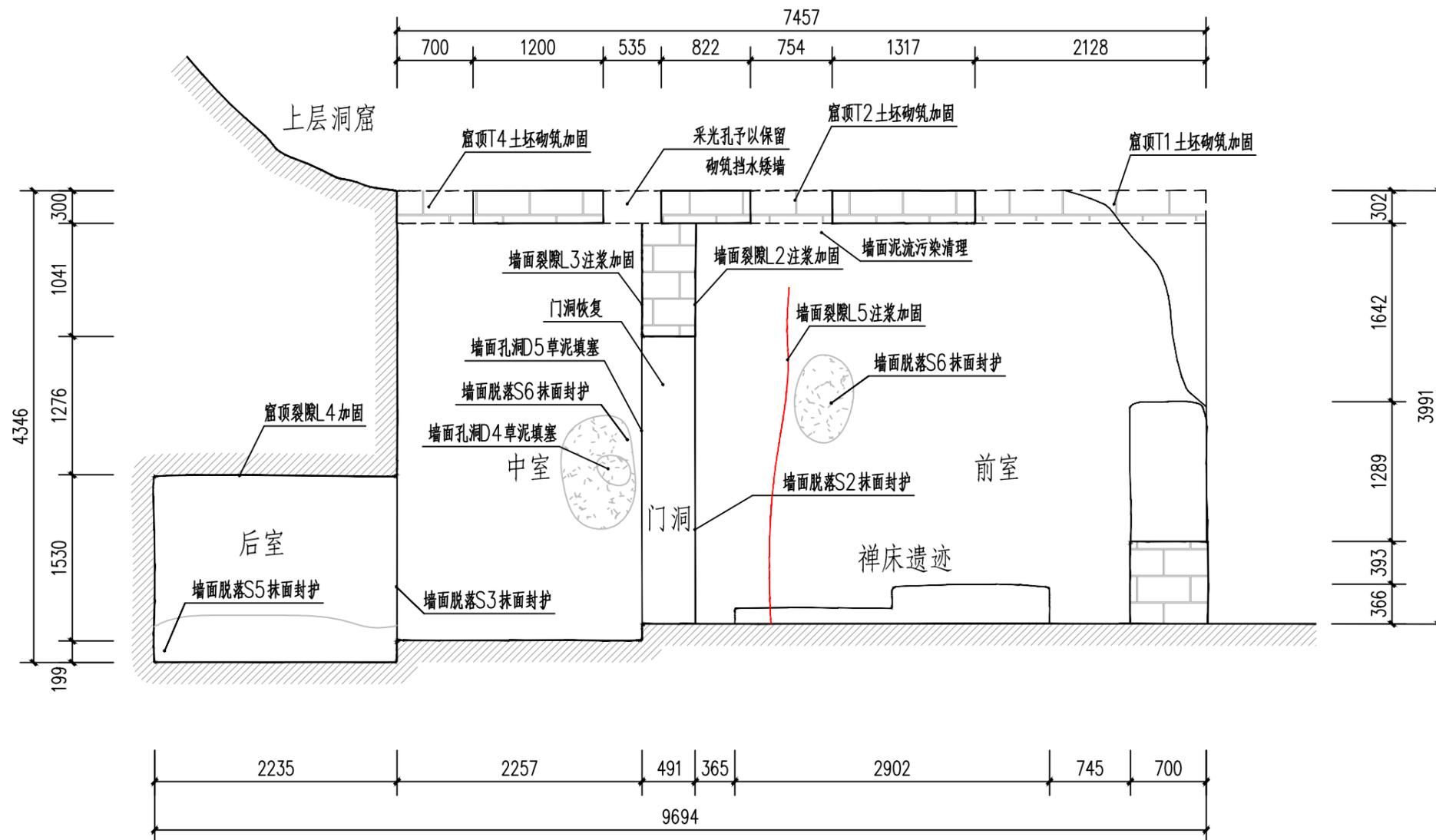
⑤施工过程中应注意对窟内白灰层及红色条带装饰面进行保护,避免污染或破坏。

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB14号窟保护加固设计说明	图号	TYG-25
复核	张华	审核	王捷	比例		日期	2025.1



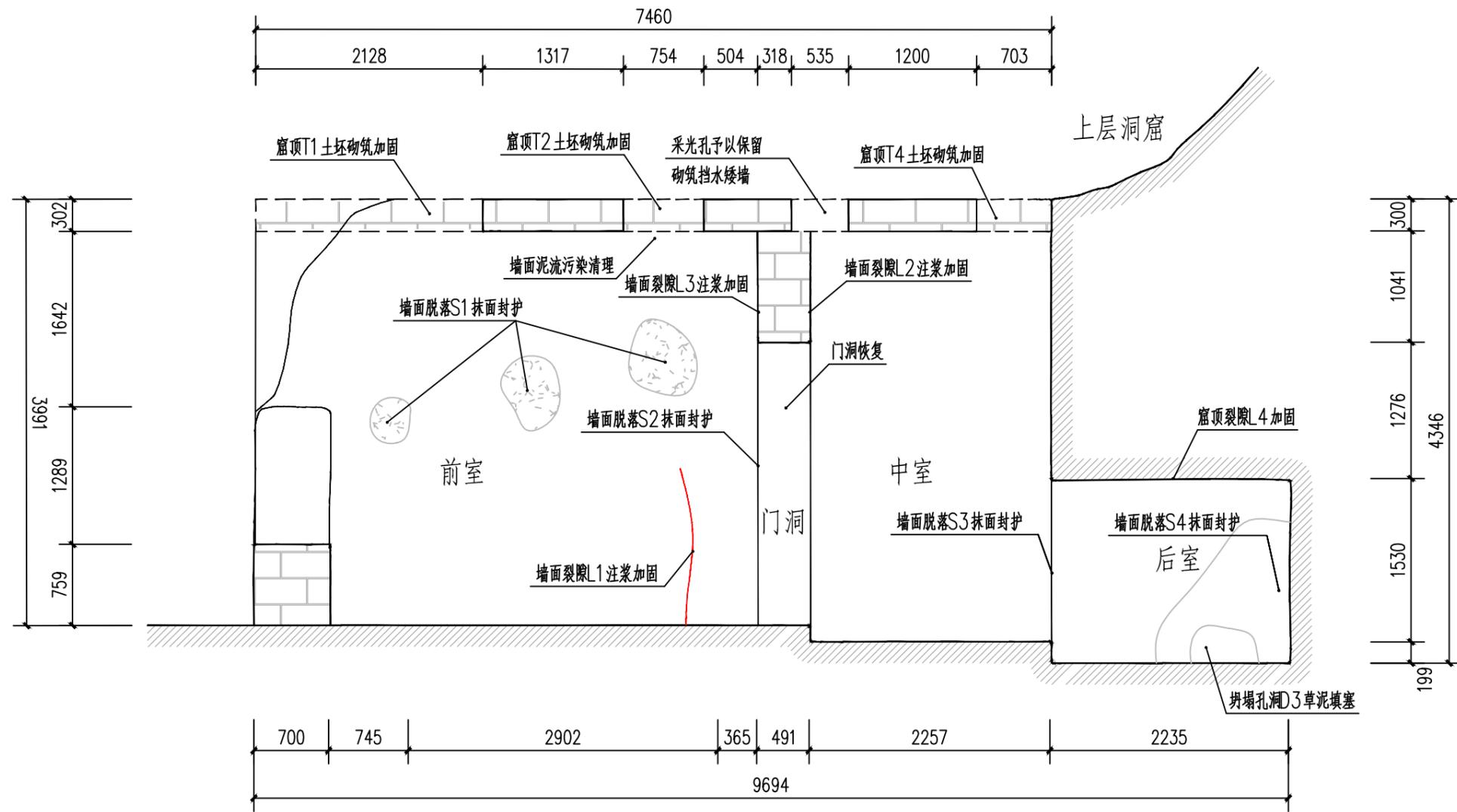
GXB14号窟保护加固平面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-26
复核	张峰	审核	王捷	比例	1:50
GXB14号窟保护加固平面图				日期	2025.1



GXB14号窟1-1剖面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区 部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB14号窟1-1剖面图	图号 TYG-27
复核	张峰	审核	王捷			比例 1:50
						日期 2025.1



GXB14号窟2-2剖面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB14号窟2-2剖面图	图号 TYG-28
复核	张华	审核	王捷			比例 1:50
						日期 2025.1

GXB15号窟保护加固设计说明:

GXB15号窟位于西崖洞窟集中区的南侧,紧邻GXB14号窟,面宽3.1米,进深10.3米,由前室、中室和后室组成,为一处僧房窟,无壁画遗存,整体的病害类型有窟顶坍塌冒顶、墙面草泥层脱落、门洞处坍塌、墙面泥流污染、墙体表面的孔洞等,因此所采取的主要工程措施如下:

(1) 窟顶加固

GXB15号窟前室窟顶已经完全坍塌,且前室墙壁上无壁画遗存,因此坚持最小干预原则,对该窟窟顶不恢复,仅对原有窟顶坍塌处表面采用草泥进行简易封护,封护采用粗草泥即可,对窟顶土坯坍塌形成的空洞、低洼处进行填塞密实,避免降雨时雨水灌入。

对于坍塌部位T2,推测为原有洞窟的采光孔,本次进行加固过程中在T2处预留20×20厘米的采光孔,具体工艺与GXB10号窟窟顶加固工艺相同,详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固章节内容。

(2) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填充,具体工艺做法与2.1 GXB10号窟保护加固措施 (3) 墙体表面坑洞处理相同。

(3) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位,如隔墙门洞处、中室右侧墙面、后室墙面等重新进行抹面,抹面厚度根据脱落部位厚度而定,按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹,不抹石灰层,具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(4) 门洞加固

该窟前室与中室之间的门洞保存尚好,形制清晰,因此仅对门洞周边原有草泥抹面脱落处重新进行抹面加固,其余保持原状,具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(5) 裂隙加固

该窟内共有裂隙7处,分别位于前室前墙处(L1)、前室右侧墙壁上(L2)、前室右侧墙面与隔墙相交处(L3)、前室左侧墙面与隔墙相交处(L4)、后室与中室墙体相交处(L5)、前室左侧墙壁上(L6)和中室隔墙与窟顶相交处(L7),均属于墙体表面的裂隙,或与窟顶相交处的裂隙,因此采用注浆的方式进行加固,具体工艺详见GXB10号窟(2)裂隙加固 ①墙面裂隙处理。

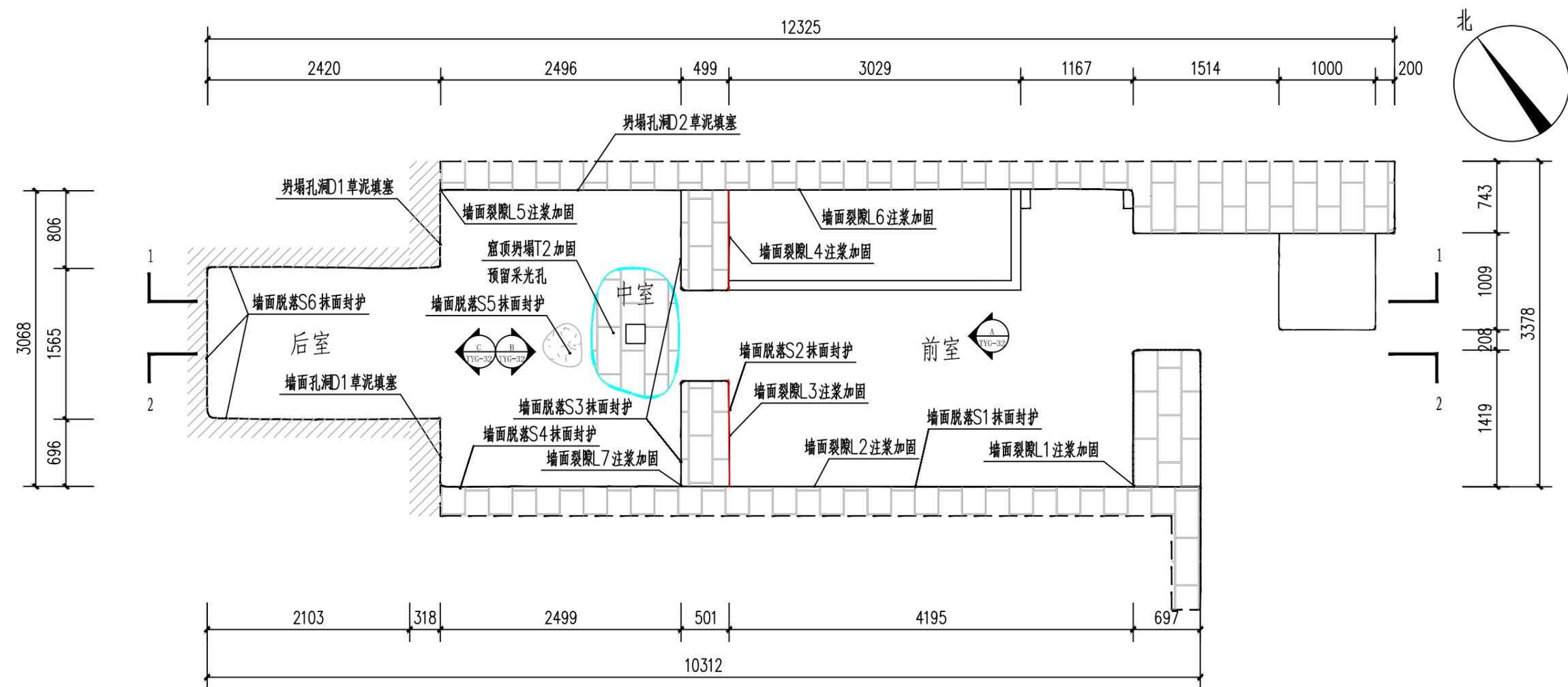
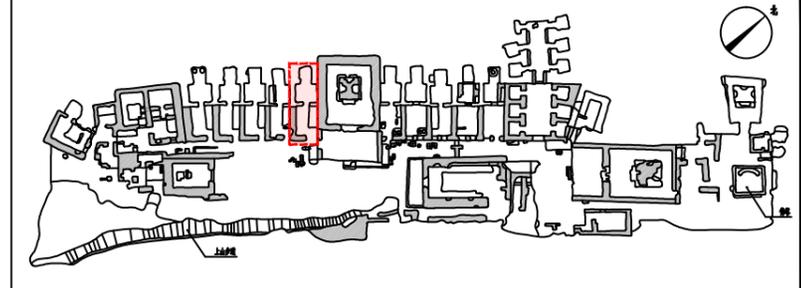
(6) 泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理,具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施(6)泥流污染清理工艺。

(7) 施工注意事项

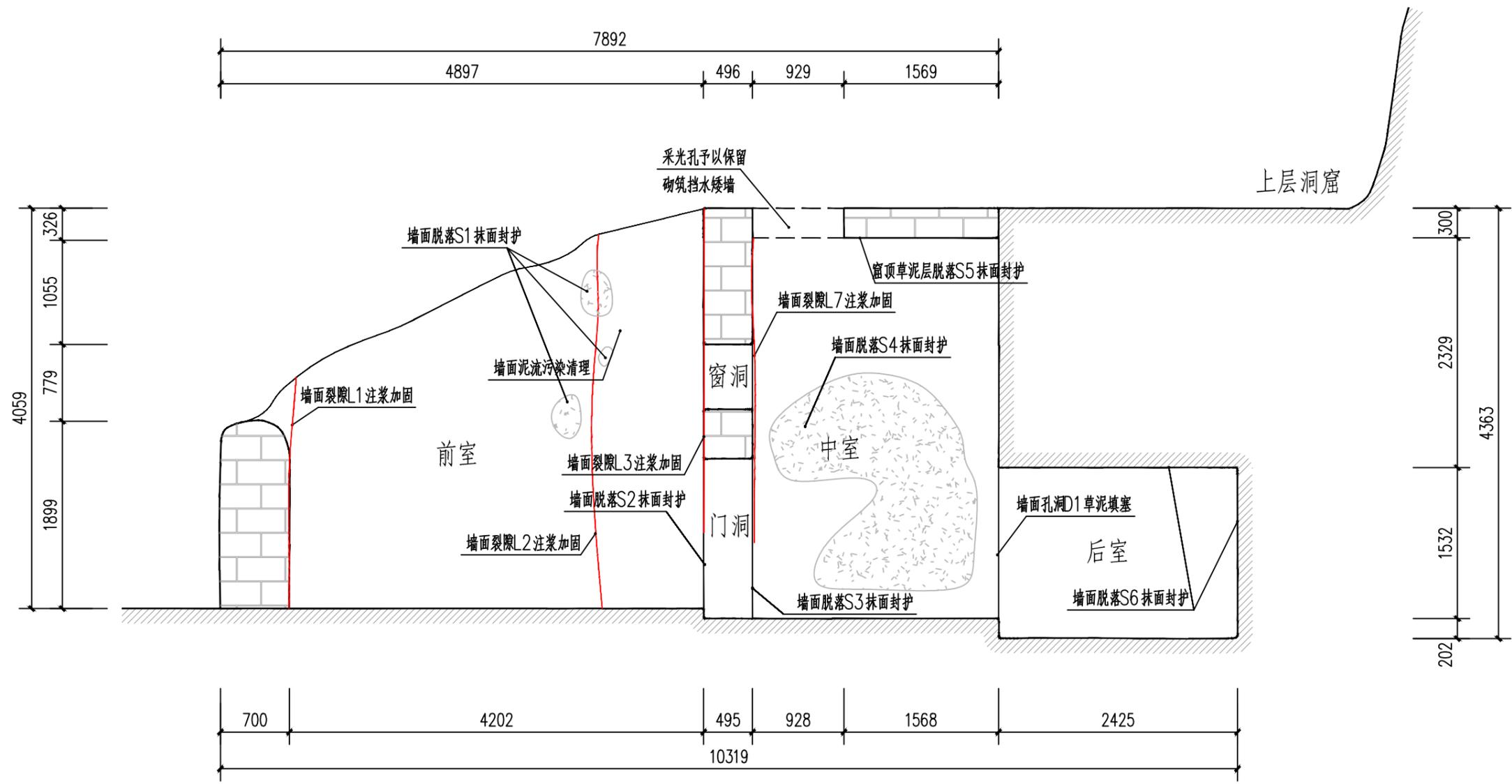
- ①GXB15号窟前室前墙上有一烟道痕迹,推测为当时僧侣生火的,属于比较重要的历史遗迹,应当予以保留;
- ②中室窟顶处的采光孔应予以保留,不应当做窟顶坍塌处理;
- ③洞窟内墙壁上有若干条小的干缩裂隙,可采用医用注射器的方式注浆加固,注浆过程中应注意对周边石灰层的保护,避免污染墙面;
- ④对于前室左右侧墙上分布规律的小孔洞,推测为当时僧侣生活的遗迹,应当予以保留,不应当做人为破坏产生的孔洞进行填塞;
- ⑤由于T2为原有的采光孔,因此在进行窟顶防水作业时,在采光孔周边砌筑一圈土坯挡水墙,高20厘米左右,避免雨水从该采光孔中下渗;
- ⑥施工过程中应注意对窟内石灰层及红色条带装饰面进行保护,避免污染或破坏。

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB15号窟保护加固设计说明	图号	TYG-30
复核	张华	审核	王捷			比例	



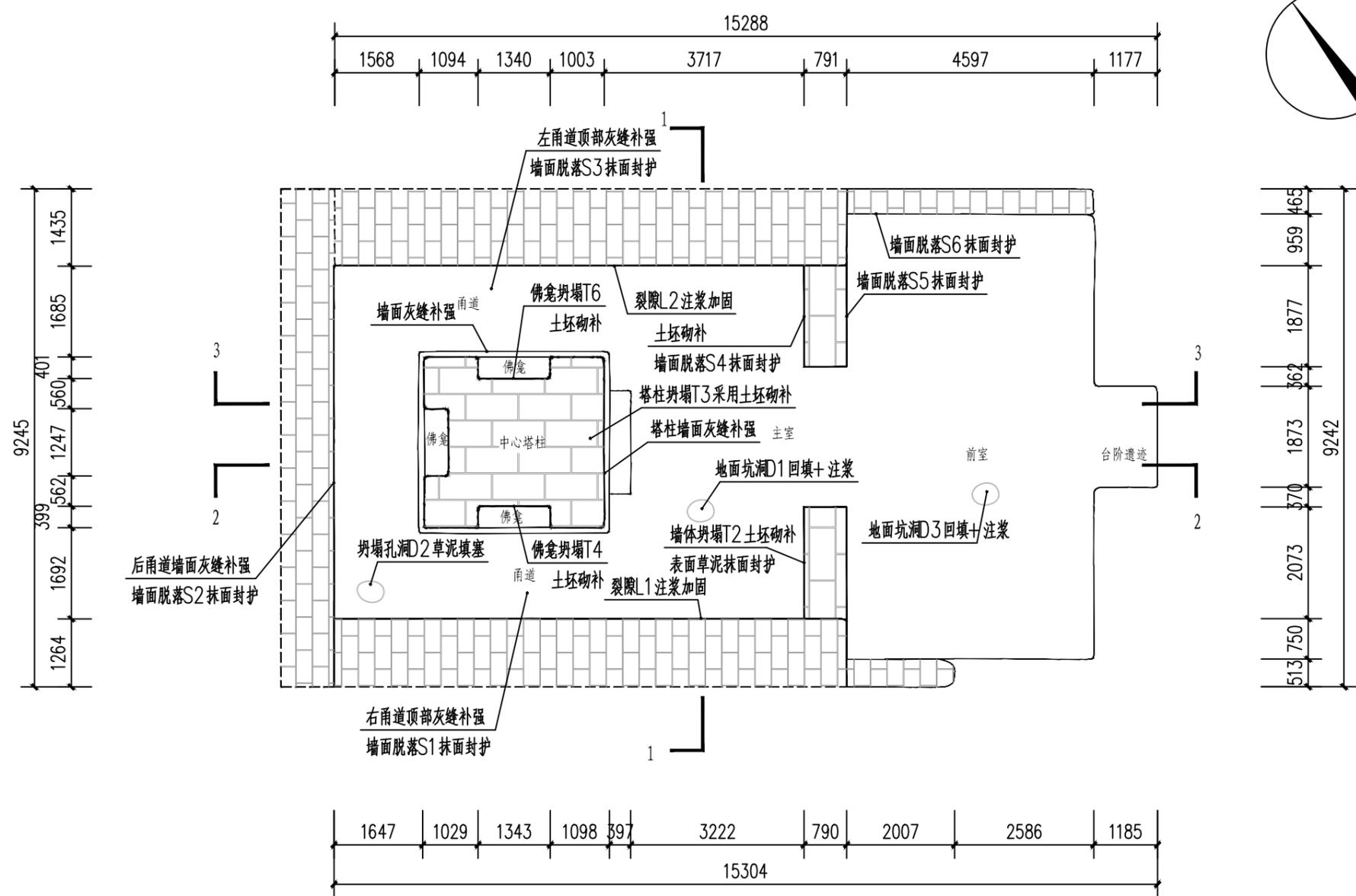
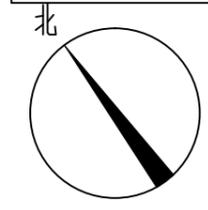
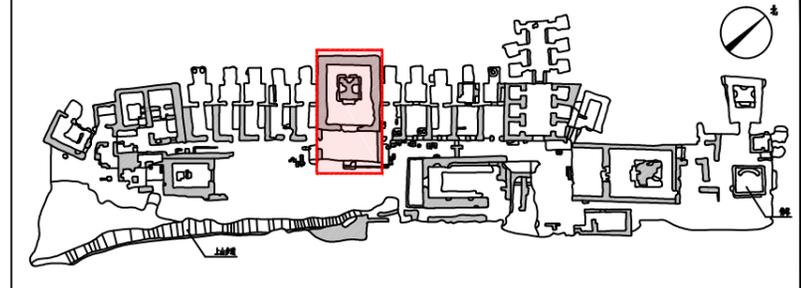
GXB15号窟保护加固平面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-31
复核	张华	审核	王捷	比例	1:50
				日期	2025.1



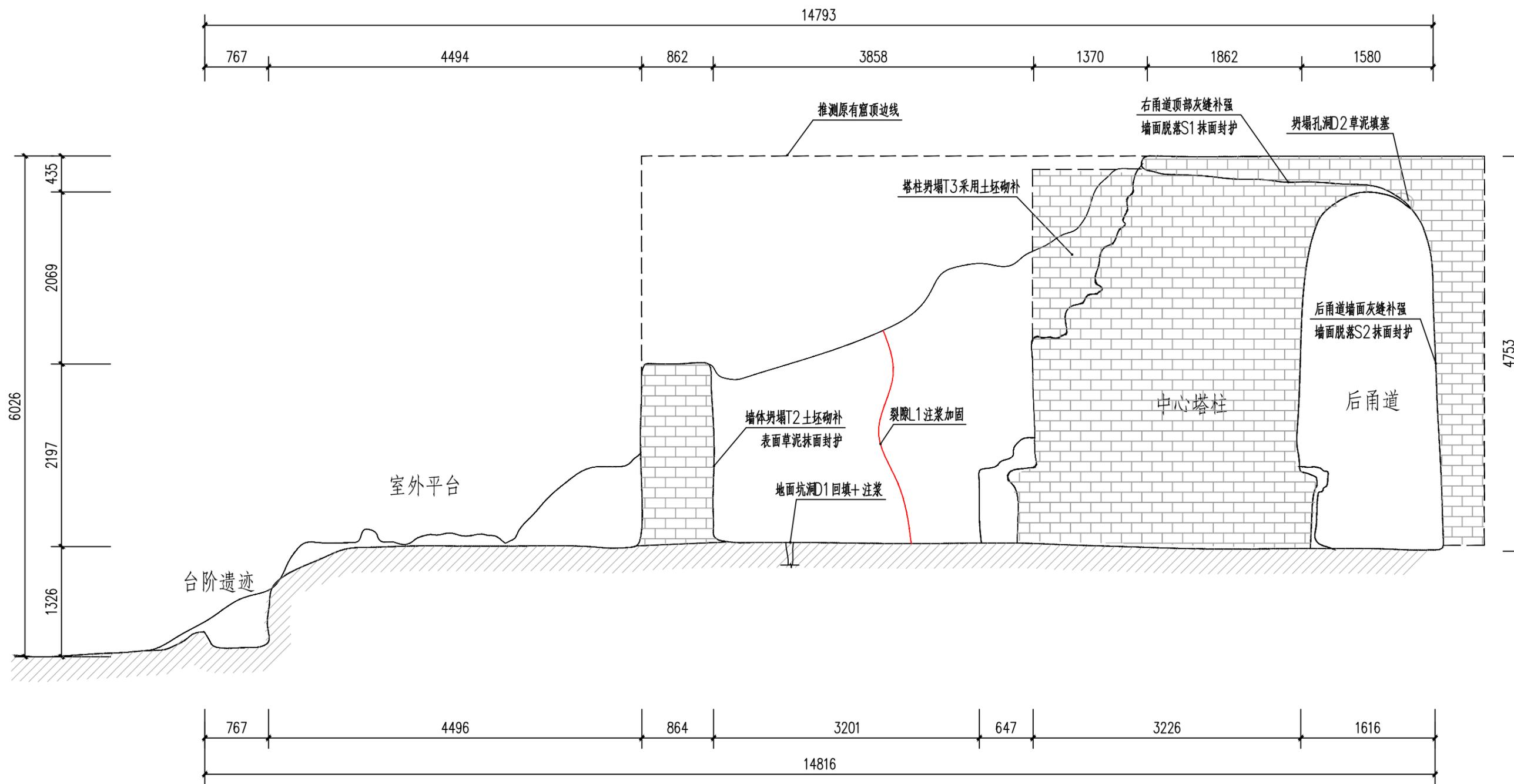
GXB15号窟2-2剖面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-33
复核	张华	审核	王捷	比例	1:50
GXB15号窟2-2剖面图				日期	2025.1



GXB16号窟保护加固平面图 1:100

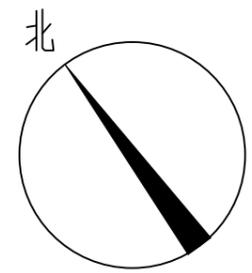
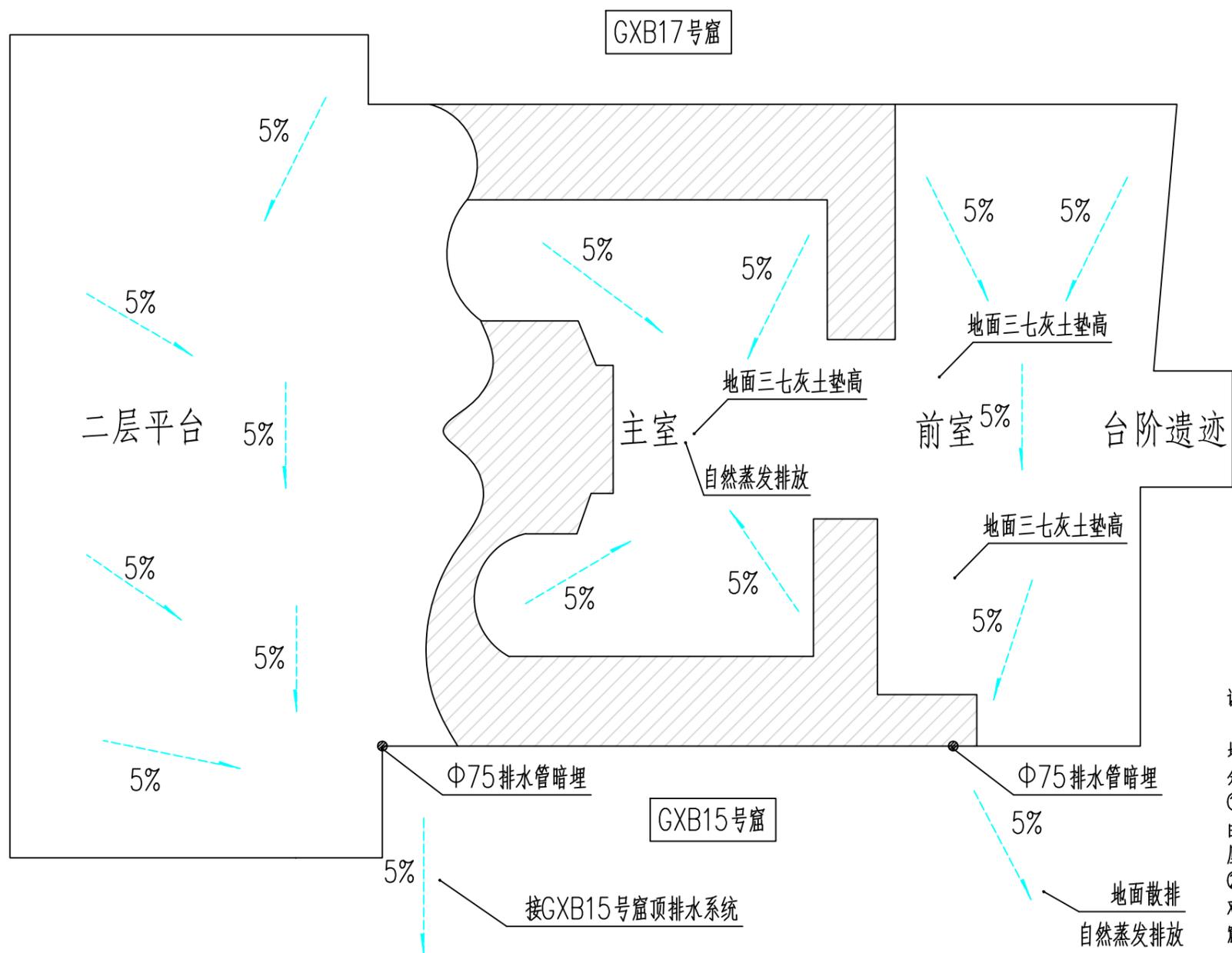
中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-36
复核	张华	审核	王捷	比例	1:100
GXB16号窟保护加固平面图				日期	2025.1



GXB16号窟2-2剖面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区 部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-38
复核	张峰	审核	王捷	比例	1:50
				日期	2025.1

靠山侧

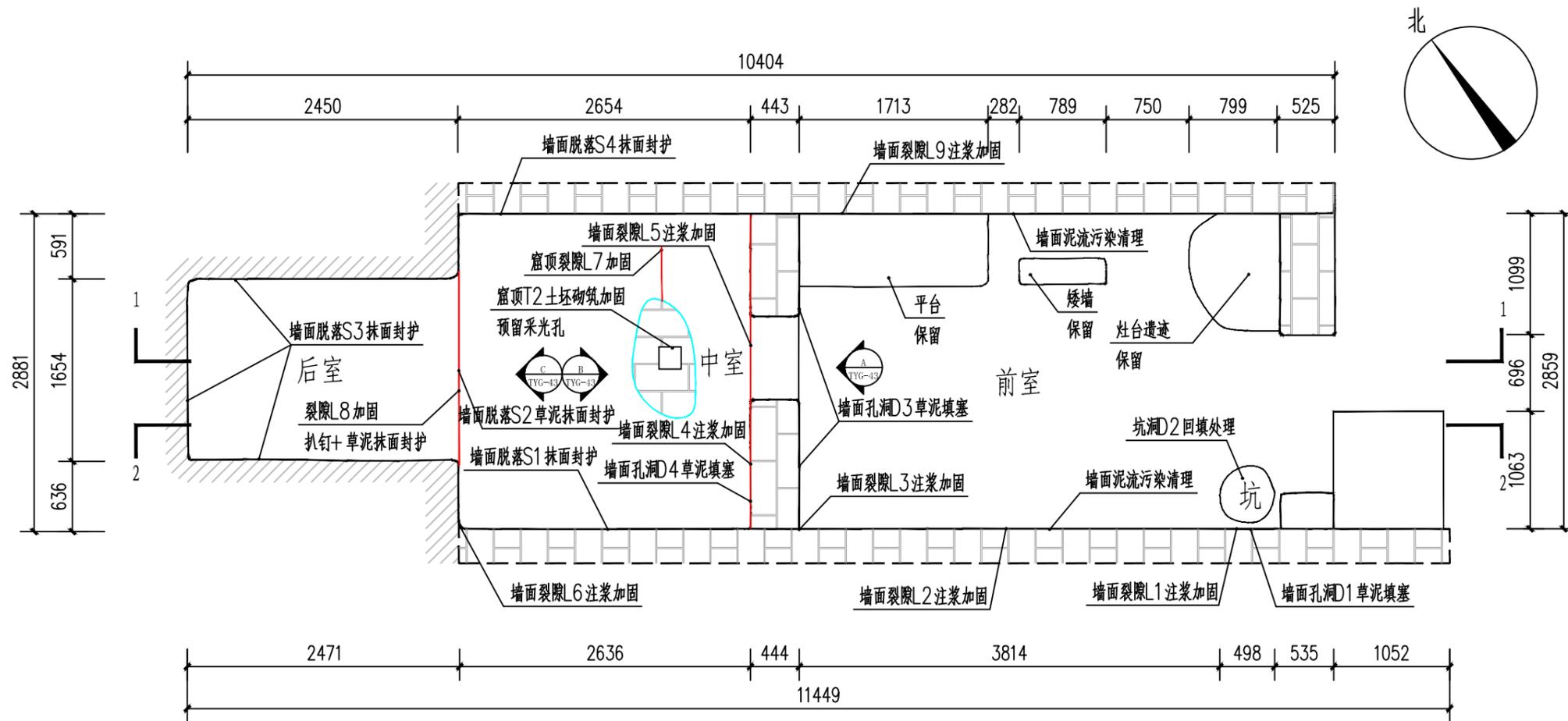
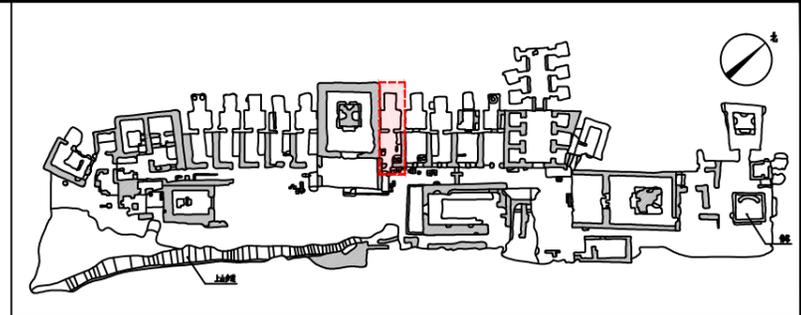


说明:

- (1) 地面排水
地面排水按照洞窟形制分为主室地面排水和前室地面排水，主室与前室之间有高20厘米土坯砌筑的门槛，分别采取不同的排水措施。
- ①主室地面排水
由于主室窟顶大半缺失，因此对主室地面进行局部垫高，采用三七灰土进行整体夯实垫高并找坡，厚10厘米，由四周向中间汇集，最后在主室中间地势低洼处汇集，通过自然蒸发排放；
- ②前室地面排水
对前室地面进行局部垫高，采用三七灰土进行整体夯实垫高并找坡，由北向南汇集，最后在GX B15号窟处埋设竖向排水管，将雨水引导至GX B15号窟前平台处自然蒸发排放。
- (2) 窟顶防水
对该窟窟顶上的二层平台进行防水处理，对地面进行凿毛，铺设土工布一层，土工布与二层平台地面之间采用竹钉进行固定，然后在顶面涂抹5厘米厚的草泥层进行覆盖，从二层平台西北角向东南角处找坡，坡度为5%左右，在东南角处设置Φ75的PVC管后将雨水引导GX B15号窟窟顶排水系统中去。

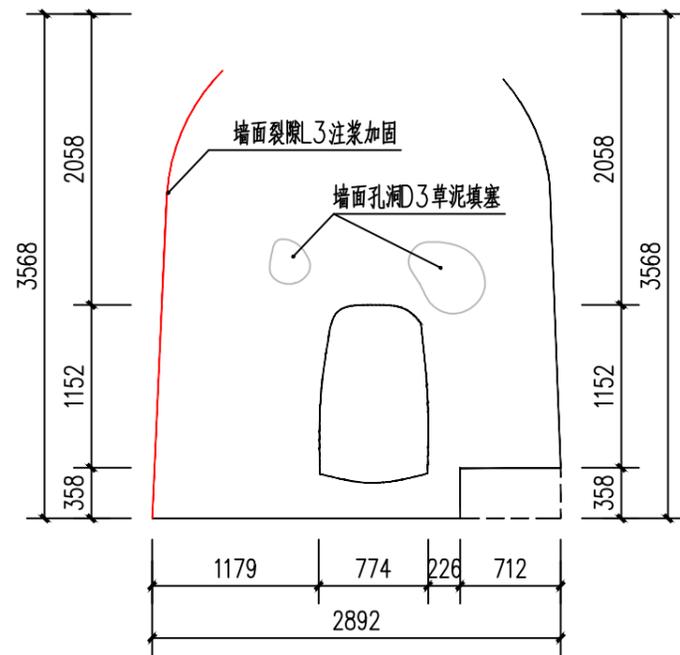
GXB16号窟窟顶排水示意图 1:75

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB16号窟窟顶排水示意图	图号 TYG-40
复核	张峰	审核	王捷	比例	1:75	日期 2025.1

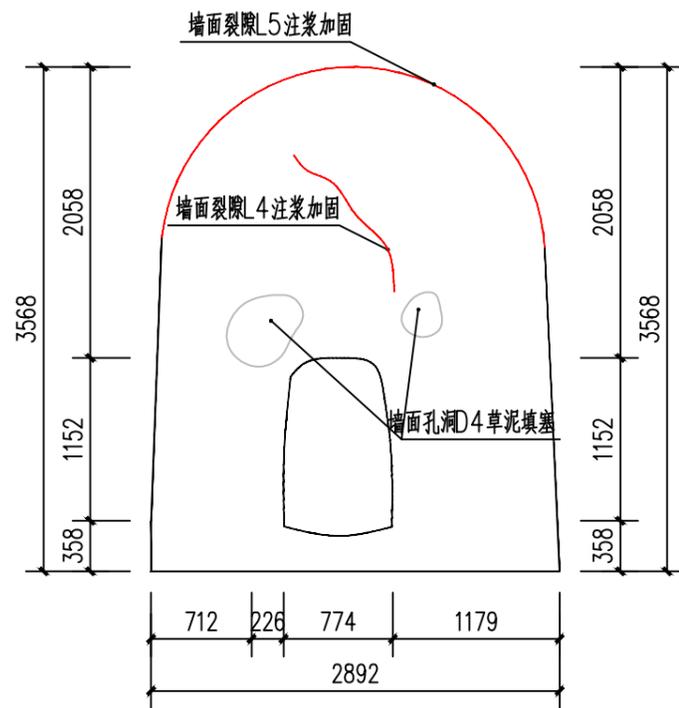


GXB17号窟保护加固平面图 1:50

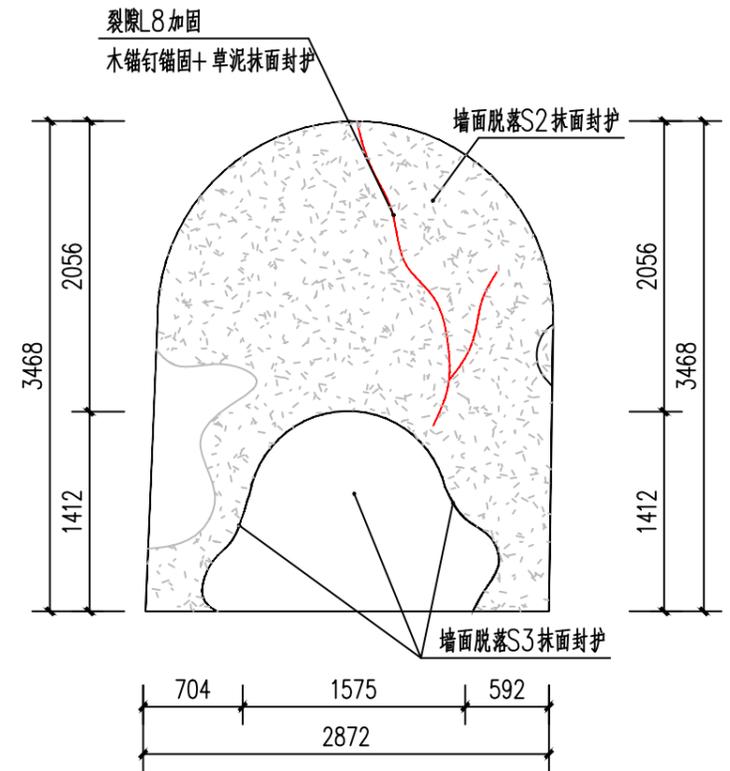
中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-42
复核	张峰	审核	王捷	比例	1:50
GXB17号窟保护加固平面图				日期	2025.1



GXB17号窟A立面图 1:50



GXB17号窟B立面图 1:50



GXB17号窟C立面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-45
复核	张峰	审核	王捷	比例	1:50
GXB17号窟A、B、C立面图				日期	2025.1

GXB18号窟保护加固设计说明

GXB18号窟保护加固设计说明:

GXB18号窟位于西崖洞窟集中区的北侧，紧邻GXB17号窟，面宽3.0米，进深9.9米，由前室、中室和后室组成，为一处僧房窟，窟内无壁画，保存有大量的白灰涂层，该窟的主要病害有窟顶坍塌、裂隙发育、门洞坍塌、墙体表面坑洞、表面草泥层风化脱落、墙面泥流污染等，因此所采取的主要措施如下：

(1) 窟顶加固

GXB18号窟窟顶坍塌共有三处，其中T3为一处采光孔，因此本次对三处窟顶坍塌处进行加固，同时在T3处预留20×20厘米的采光孔，具体工艺与GXB10号窟窟顶加固工艺相同，详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固章节内容。

(2) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填塞抹平，具体工艺做法与2.1 GXB10号窟保护加固措施

(3) 墙体表面坑洞处理相同。

(3) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位，如隔墙门洞两侧、中室右侧墙体底部、中室后墙、中室左侧墙体底部及整个后室墙面等重新进行抹面，抹面厚度根据脱落部位厚度而定，按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹，不抹白灰层，具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(4) 裂隙加固

该窟内共有裂隙2处，分别位于前室左右两侧墙面上，从窟顶一直发育至地面处，因此采用与2.1 GXB10号窟 (2) 裂隙加固②窟顶裂隙处理工艺相同的方法进行加固，即通过对原有裂隙进行清理，探查清楚为草泥层开裂还是窟顶土坯碎裂破损，然后根据探查情况采取具有针对性的措施。

(5) 门洞恢复

参照GXB15号窟中隔墙上门洞形制对该窟内隔墙门洞进行恢复，具体工艺与2.2 GXB11号窟保护加固措施 (8) 门洞恢复。恢复前应先对门洞处的土坯间的灰缝进行补强，然后砌筑土坯门洞。

(6) 泥流污染清理

对洞窟内墙壁上大量的泥流污染的痕迹进行简易清理，具体详见2.1 GXB10号窟保护加固措施 (6) 泥流污染清理工艺。

(7) 施工注意事项

①GXB18号窟前室保存有壁龛、灶台等遗迹，推测为当时僧侣生活的重要遗存，属于比较重要的历史遗迹，应当予以保留；

②中室窟顶处的采光孔应予以保留，不应当做窟顶坍塌处理；

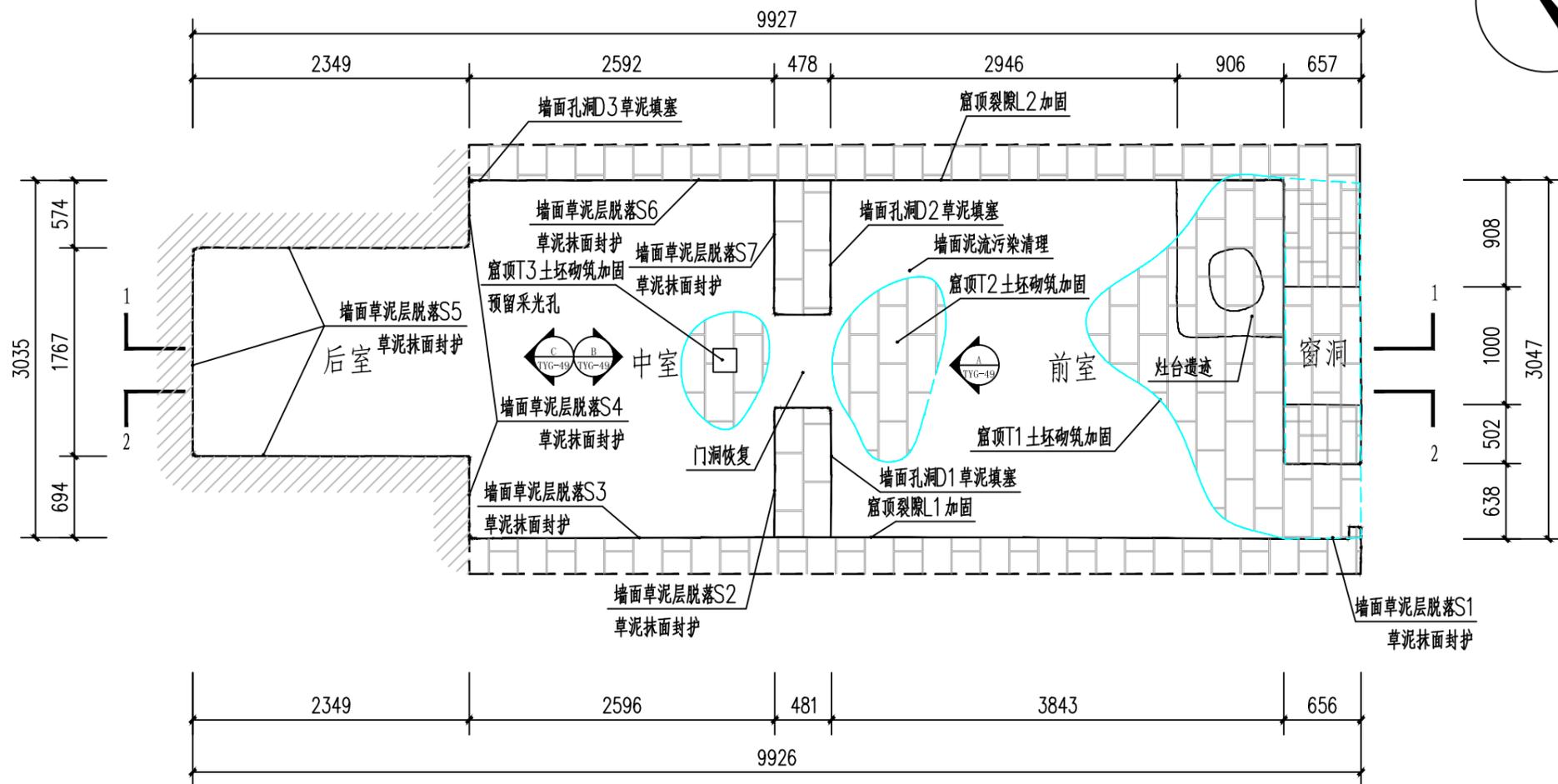
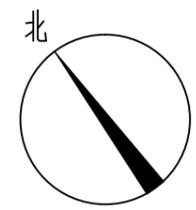
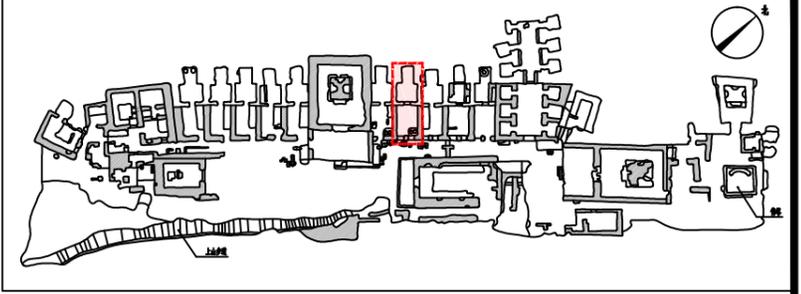
③洞窟内墙壁上有若干条小的干缩裂隙，可采用医用注射器的方式注浆加固，注浆过程中应注意对周边白灰层的保护，避免污染墙面；

④对于中室左右两侧墙面上分布规律的小孔洞，推测为当时僧侣生活的遗迹，应当予以保留，不应当做人为破坏产生的孔洞进行填塞；

⑤由于T3为原有的采光孔，因此在进行窟顶防水作业时，在采光孔周边砌筑一圈土坯挡水墙，高20厘米左右，避免雨水从该采光孔中下渗；

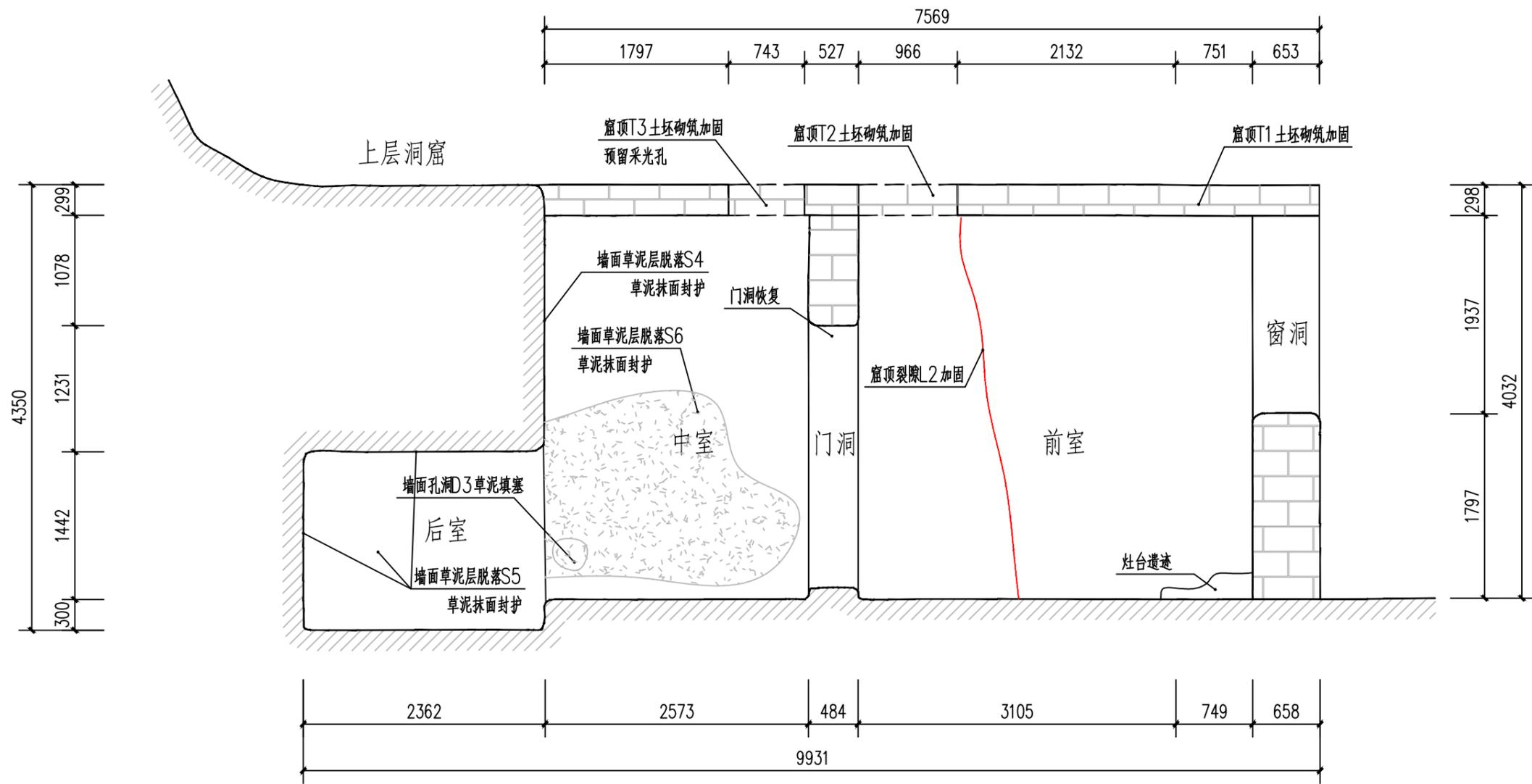
⑥施工过程中应注意对窟内白灰层及红色条带装饰面进行保护，避免污染或破坏。

中铁西北科学研究院有限公司				工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB18号窟保护加固设计说明	图号	TYG-46
复核	张华	审核	王捷	日期		比例	
						日期	2025.1



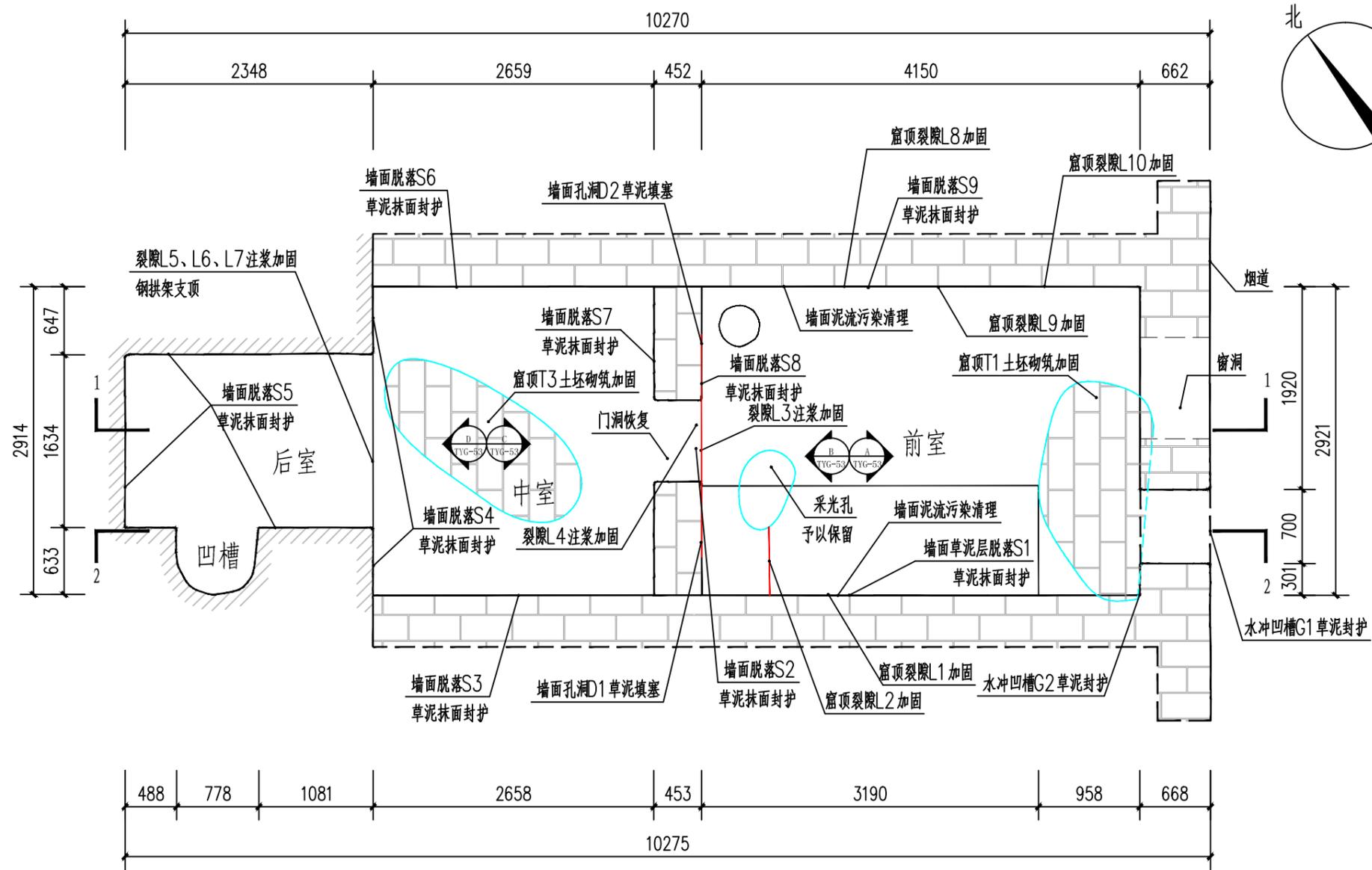
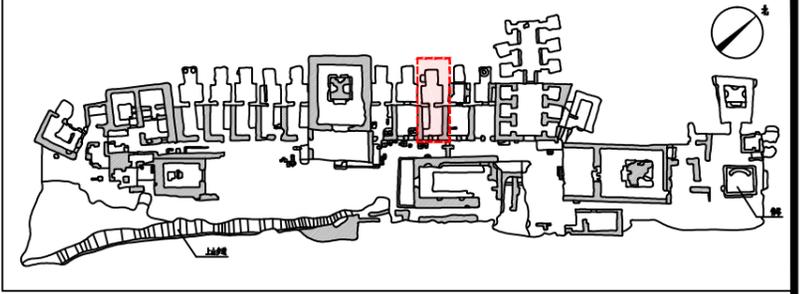
GXB18号窟保护加固平面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-47
复核	张华	审核	王捷	比例	1:50
				日期	2025.1



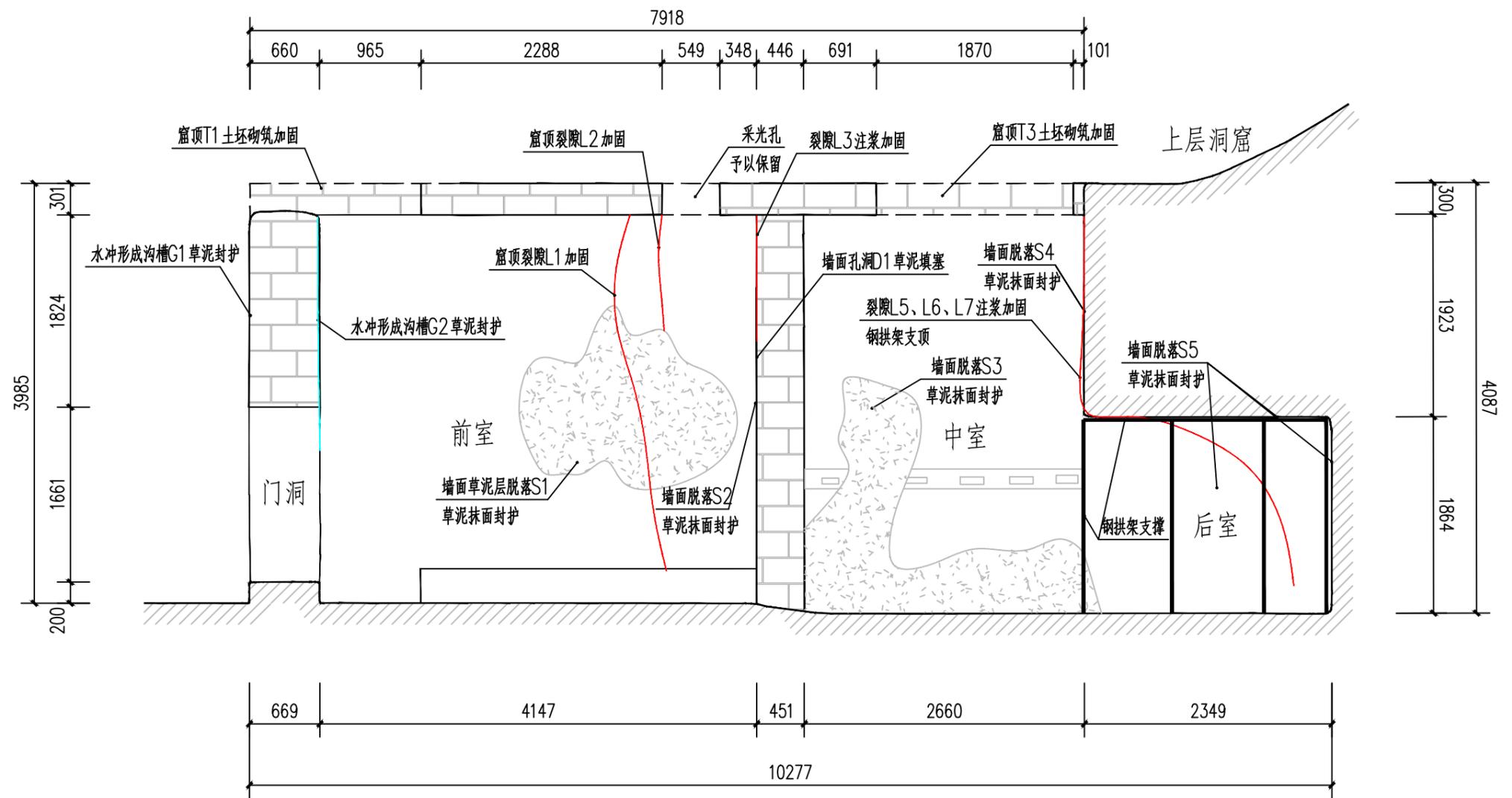
GXB18号窟1-1剖面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区 部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-48
复核	张峰	审核	王捷	比例	1:50
GXB18号窟1-1剖面图				日期	2025.1



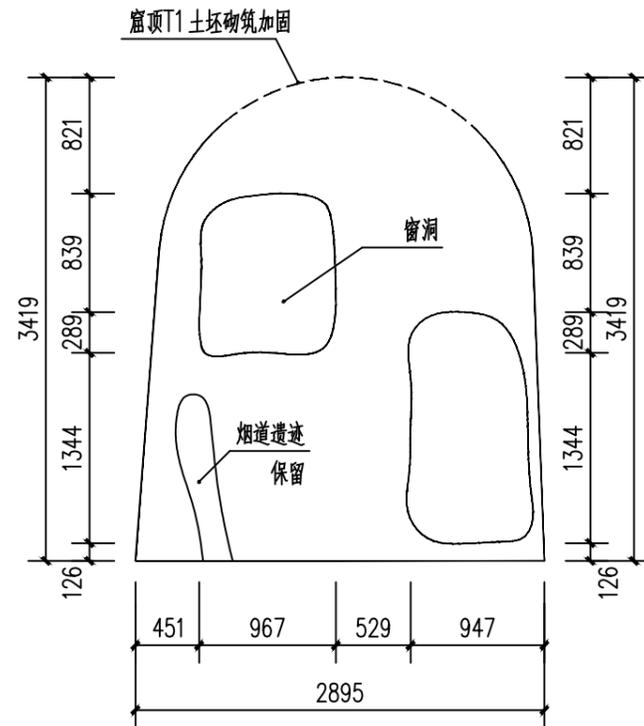
GXB19号窟保护加固平面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-52
复核	张华	审核	王捷	比例	1:50
				日期	2025.1

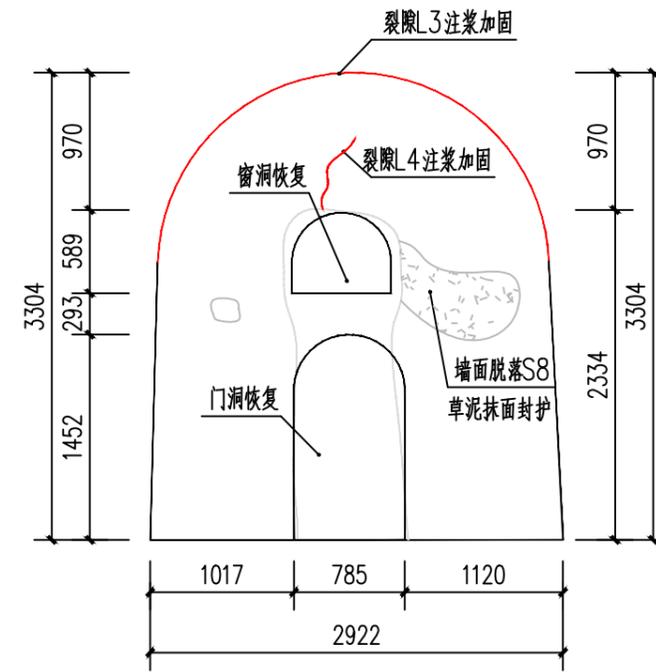


GXB19号窟2-2剖面图 1:50

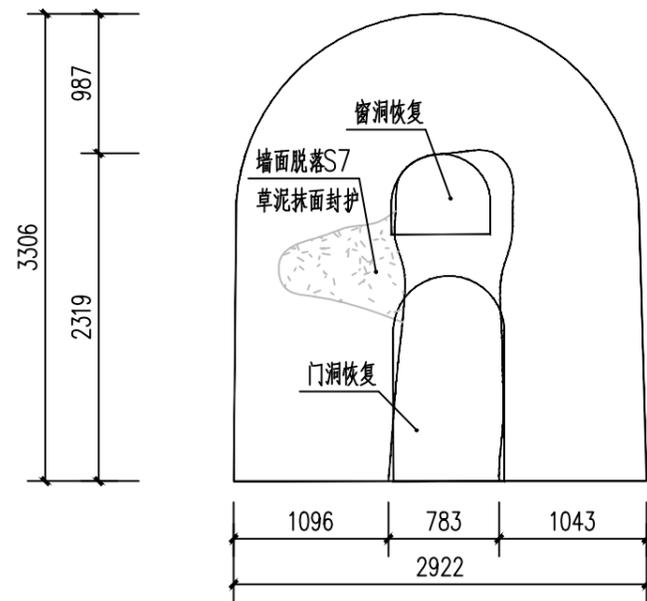
中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-54
复核	张华	审核	王捷	比例	1:50
				图名	GXB19号窟2-2剖面图
				日期	2025.1



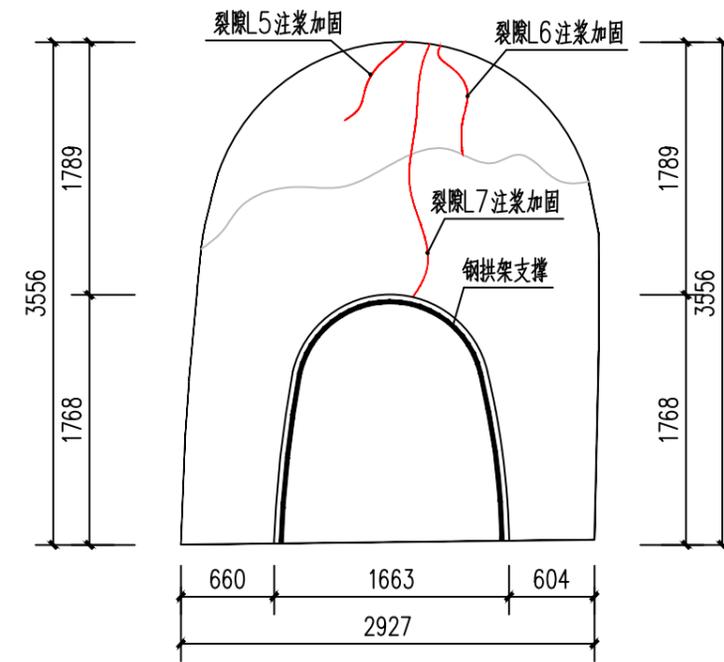
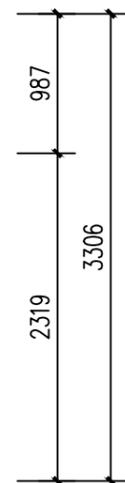
GXB19号窟A立面图 1:50



GXB19号窟B立面图 1:50



GXB19号窟C立面图 1:50



GXB19号窟D立面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB19号窟A、B、C、D立面图
复核	张峰	审核	王捷	图号	TYG-55
				比例	1:50
				日期	2025.1

GXB20号窟保护加固设计说明:

GXB20号窟位于西崖洞窟集中区的北侧,紧邻GXB18号窟,面宽2.9米,进深10.3米,由前室、中室和后室组成,为一处僧房窟,窟内有大量精美的壁画,该窟的主要病害有窟顶坍塌、裂隙切割、门洞破损、墙体表面坑洞、表面草泥层风化脱落、墙面泥流污染、窟顶坍塌物堆积、水冲形成的凹槽等,因此所采取的主要措施如下:

(1) 窟顶加固

GXB20号窟窟顶坍塌共有两处,分别位于前室和中室窟顶处,本次对窟顶坍塌处进行加固,具体工艺与GXB10号窟窟顶加固工艺相同,具体详见 2.1 GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固章节内容。

(2) 墙体表面坑洞处理

对于墙体表面人为破坏或其他原因产生的坑洞进行填塞抹平,具体工艺做法与2.1 GXB10号窟保护加固措施

(3) 墙体表面坑洞处理相同。

(3) 水冲凹槽草泥封护

对洞窟入口处墙面及内墙上水冲形成的凹槽采用草泥进行封护,封护过程中可采用小的土坯进行砌筑后再进行封护,同时结合窟顶防水,做好雨水的排放,避免继续受雨水冲刷,具体措施与2.2 GXB11号窟保护加固措施 (

1) 水冲凹槽草泥封护工艺相同。

(4) 草泥层脱落部位重新抹面

对于洞窟内部墙体表面草泥层脱落严重的部位,如前室窟顶处、隔墙窗洞两侧、后室后墙表面等处重新进行抹面,抹面厚度根据脱落部位厚度而定,按照粗草泥和细草泥两种厚度进行重抹,不抹白灰层,具体详见2.1

GXB10号窟保护加固措施 (1) 窟顶加固中关于墙体抹面的工艺。

(5) 裂隙加固

该窟内共有裂隙5处,分别位于前室右侧墙壁上(L1、L2、L3)、前室左侧墙壁上(L4、L5),均属于从窟顶发育至墙面处的裂隙,同时由于裂隙两侧保存有十分完好的壁画,因此采取注浆的方式予以加固,注浆过程中需对裂隙两侧的壁画做好防护措施,避免浆液污染壁画,注浆工艺与2.1 GXB10号窟保护加固措施 (2)

裂隙加固 ①墙面裂隙处理工艺相同。

(6) 门洞加固

现有的隔墙上的门洞形制比较完好,但门洞与窗洞之间的土坯拱顶由于原有土坯破损严重,草泥层几乎完全风化脱落,岌岌可危,因此本次对该土坯拱顶设置5号槽钢拱架进行简易支顶,槽钢弯曲后贴合拱顶表面安置,两侧紧靠

门洞两侧,同时钢拱架外侧刷防腐涂料后喷土黄色颜料做旧,同时对周边草泥脱落处采用草泥重新进行封护。

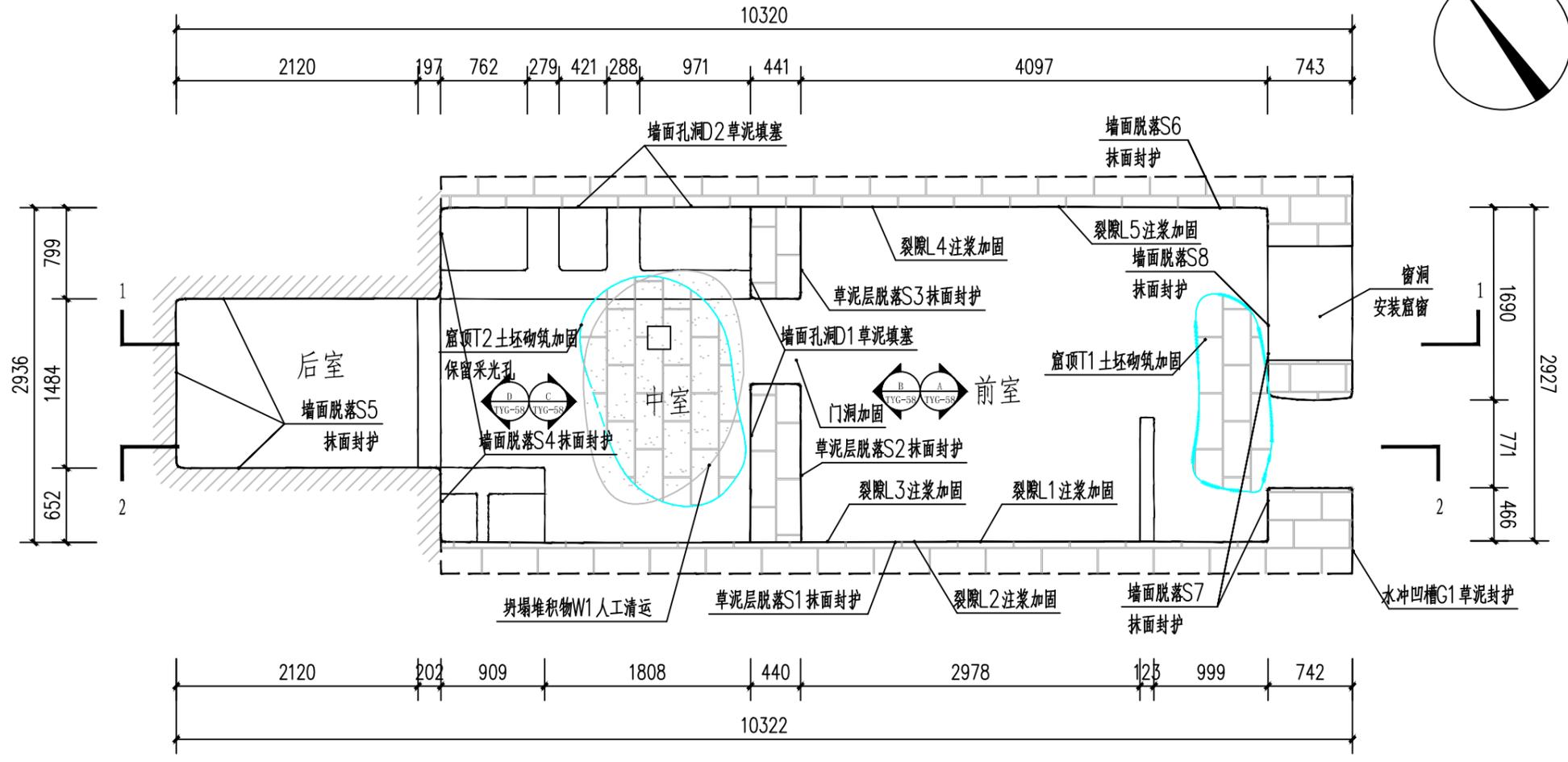
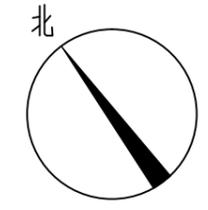
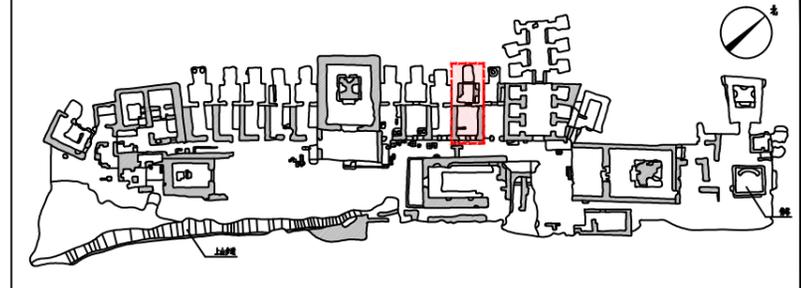
(7) 坍塌堆积物清理

GXB20号窟中室窟顶上部、中室地面处有大量的坍塌堆积物,为原有坡体在降雨时坍塌形成的,目前堆积在中室窟顶处及地面处,造成中室窟顶处压力骤然增加,如不及时进行清理,将导致窟顶发生严重的垮塌,因此本次拟对该部分坍塌堆积物进行人工清理,清理过程中应有考古人员在场,避免重要文物信息的流失,清理完之后做窟顶防水。

(8) 施工注意事项

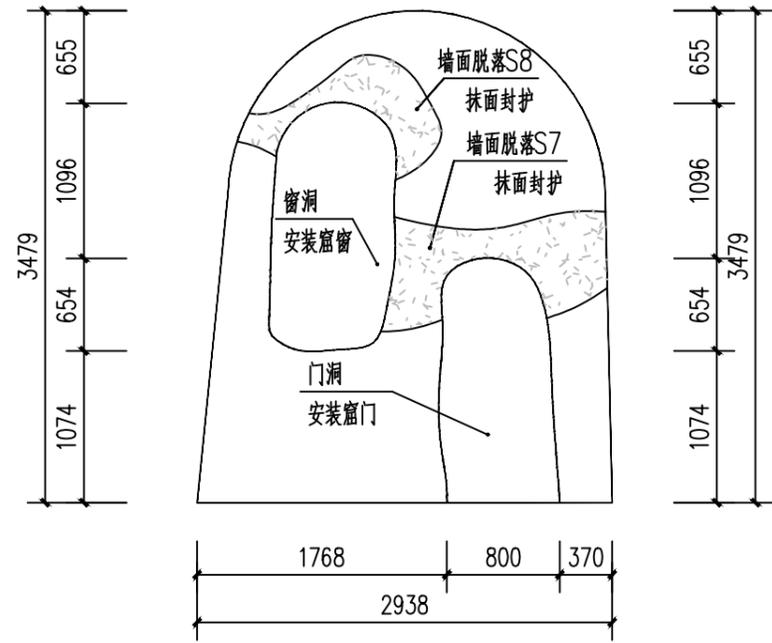
- ①由于该洞窟内有大量保存精美的壁画,因此在进行施工时需十分谨慎,避免施工造成壁画污染;
- ②该窟内有大量的泥流污染的痕迹,但由于大部分覆盖在壁画表面,采用一般清理方式有可能对壁画造成损伤或破坏,因此本次对表面的泥流污染痕迹暂时不做清洗,待后期进行壁画专项修复工作中时统一进行清洗;
- ③在进行窟顶加固过程中时,在T2处附近有原有的采光孔,应对原有的采光孔进行疏通,保持原有的采光功能;同时在窟顶平台处沿采光孔砌筑矮墙进行挡水;
- ④在进行窟内墙面草泥抹面过程中,对人为切割壁画部分的草泥不抹面,保持原状,仅对其余由水冲或环境影响导致表面脱落的部位进行抹面;
- ⑤在进行中室窟顶及地面坍塌堆积物清理时应有考古人员在场,避免重要文物信息的流失;同时人工清理窟顶堆积物时,应搭设脚手架,避免人为支架踩踏窟顶造成局部荷载过大而产生新的破坏。

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图名	GXB20号窟保护加固设计说明	图号 TYG-56
复核	张华	审核	王捷	比例		日期 2025.1

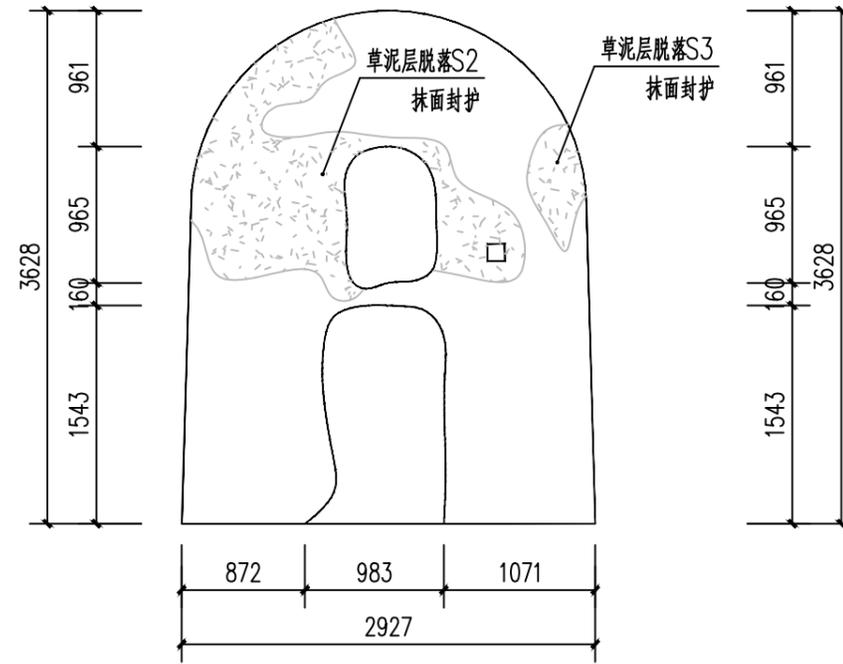


GXB20号窟保护加固平面图 1:50

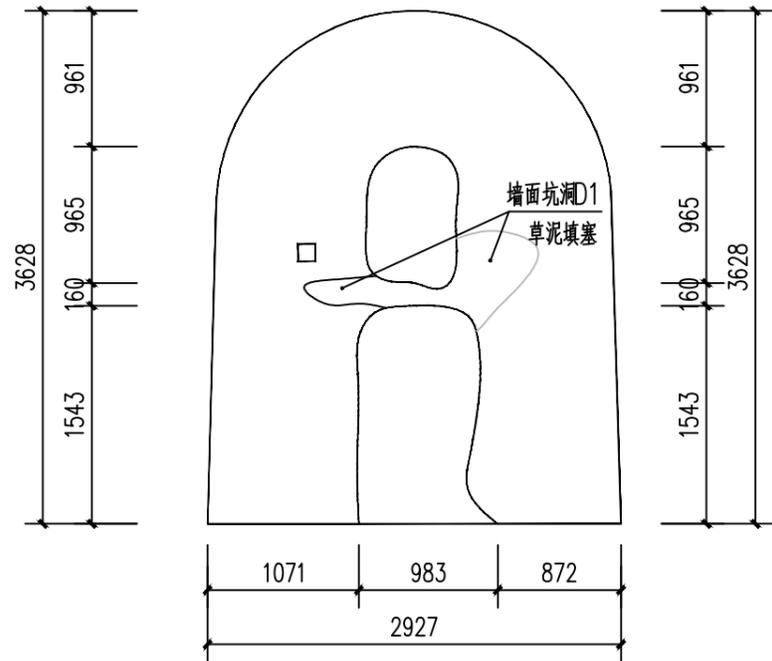
中铁西北科学研究院有限公司		工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	图号	TYG-57
复核	张峰	审核	王捷	比例	1:50
				日期	2025.1



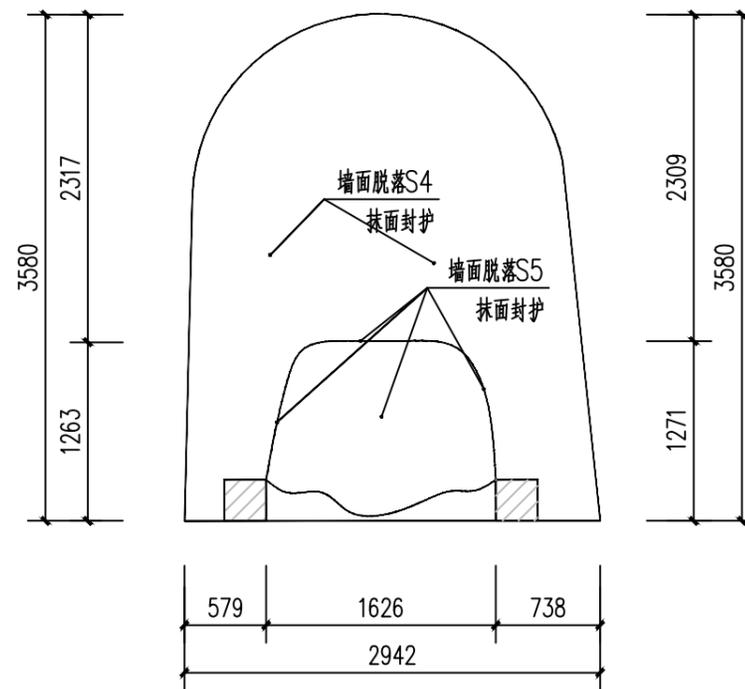
GXB20号窟A立面图 1:50



GXB20号窟B立面图 1:50



GXB20号窟C立面图 1:50



GXB20号窟D立面图 1:50

中铁西北科学研究院有限公司			工程名称	吐峪沟石窟西崖洞窟集中区部分洞窟保护加固工程	工程编号	
设计	柳静	项目负责人	王捷	GXB20号窟A、B、C、D立面图	图号	TYG-60
复核	张峰	审核	王捷		比例	1:50
				日期	2025.1	

