

河南城阳城址7号墓水害分析与治理

胡 轲¹ 陈 华¹ 刘雪刚¹ 张 琮¹ 魏中诚² 杨旭鹏³

(1. 荆州文物保护中心, 湖北荆州, 434020; 2. 城阳城址保护区, 河南信阳, 464093;
3. 中国科学技术大学, 安徽合肥, 230026)

摘要 城阳城址7号墓葬作为国保单位, 由于未及时对其进行防水处理, 墓室内严重渗水, 进而造成墓室四壁及台阶土壤因长期积水而坍塌, 该水害已严重影响墓葬的安全。本文通过对该墓葬进行水文地质勘测, 发现其场地自上而下分为人工堆积、松散、力学性不稳定、弱孔隙含水的填土层与第四系上更新统冲洪积、韧性强、力学性稳定、相对隔水的黏土层。赋存于墓葬表面填土层的水量主要接受大气降水补给, 径流以垂直运动为主, 排泄以地表蒸发为主。基于此规律, 在墓室设置防潮、滤水、排水结构(含反滤层、排水沟、集水井、泄水孔等构件), 设置排泄治理途径, 以降低墓室范围内土体孔隙水压力, 与墓室底部土体的含水量, 此外, 墓葬内的地下水可汇集到集水井中, 最终由泵抽出至附近的主排水管中排出。

关键词 城阳城址7号墓 水害 水文地质勘测 排泄治理

引 言

城阳城址是现存六座楚王城中面积最大、保存最好、具有重要考古价值的古遗址, 是河南省第一批重点文物保护单位。城阳城址7号战国楚墓(以下简称7号墓)位于城阳城址保护区贵族墓葬区的南侧2km处, 该墓于2002年10月发掘, 平面呈甲字形, 由墓道和墓室组成, 其为研究楚国政治、经济、科技、文化等提供了大量珍贵的实物资料, 具有重要的历史、科学、艺术价值。以该墓原址为基础修建的城阳城遗址博物馆为半地下建筑, 在展示过程中墓室底部出现渗水问题(图1), 随着时间的推移, 墓室底部渗水日益加剧, 室内四壁、土壤台阶、木棺椁因长期积水而出现坍塌、开裂、糟朽、霉变等病害, 且随着其底部水位的变化, 墓坑与棺椁等文物病害在干缩-湿胀交替环境变化下进一步加重, 水害严重影响墓室及室内文物安全, 对7号墓进行水害治理已迫在眉睫!

墓葬的水害治理前提是找出墓室的水害引发原因, 进而有的放矢的解决问题。为此, 本文通过对该墓葬进行水文地质勘测, 摸清墓葬区域的地层分布, 掌握场区的水文情况, 统计墓葬场区的岩土参数, 这些是解决水害的关键。汪洪宇等^[1]和赵楠等^[2]通过实地踏勘、填土、测剖面等方法, 分别揭露出六盘水市钟山区地层由石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、第三系、第四系组成, 青海五龙沟一金水口地区地层由变质基底岩系、盖层沉积层、沉积盖层、第四纪地层组成, 上述地层分



图1 7号墓室的渗水与积水情况
(a) 椁室渗水；(b) 墓室积水

布为钟山区、进水口地区所需的工程勘察提供了清晰的基础地质资料。吴越^[3]和吴丽霞^[4]等均基于不同场地地质背景分别从抽水试验、压水试验、注水试验三个方面展开场地水文地质试验方法的对比分析,结果显示抽水试验适合渗透系数大、水量丰富的情况;压水试验适用于岩体完整,裂隙不发育,水量比较小,渗透系数小的情况;注水试验适用于地下水位埋藏很深,岩体完整,裂隙发育,渗透系数小的情况。周文海等^[5]和曹全胜等^[6]指出土体作为天然形成的产物,受其地质形成影响,每一层土体参数变异性较大,参数试验值往往比较离散,在实际工程作业中,往往采用统计手段综合分析其参数取值。在掌握土遗址水害规律后,便可顺理成章地对其进行水害治理。彭艳丽等^[7]和周鹏等^[8]遵循土遗址保护原则及滑塌病害特征,分别采用地下隔水墙和上部保护棚罩等工程措施,以及柔性排水木锚杆技术治理土遗址坑壁滑塌病害思路,将潮湿环境转变为干燥环境后,再利用目前已有的干旱、半干旱地区土遗址保护工程经验进行水害治理并取得良好效果。周双林等^[9]采用下部开挖设置拱券的保护方法,成功地控制了地下水和雨水的影响,使得马骨和临近土体变得干燥。上述水害治理措施表明物理设置防潮、滤排等物理治理途径可行且效果良好。

本文采用实地踏勘、钻探测剖面等方法对7号墓场地的地层分布进行勘察,首先探究墓室内外的地层分布特征;基于此,对墓区不同地层进行水文地质勘测,探寻墓区的水害来源以及后期墓区的排水途径;最后结合岩土参数统计,可为后期防潮、滤排工程钢管的设计提供岩土支撑数据,如发现墓区场地土具有弱膨胀性,则在其排水设计过程中加强排水沟槽的刚度与强度。基于上述的水文地质勘测分析,文章在墓室周边底部设置滤水、排水结构与排泄途径,并对椁室底部及挡土墙进行防潮,进而保证墓坑与棺椁具有干燥的保存环境。

1 城阳城址7号墓区概况与水文地质勘测

1.1 墓区气象环境调查

7号墓位于亚热带和暖温带的地理分界线上,该地区属亚热带向暖温带过渡区,年均降雨量900~1400mm,相对湿度年均77%,集中在春季与夏季,年均水资源总量90亿m³。城阳城遗址博物馆所处区域地层简单,具有一老一新的地质特征。新地层是新生界第四系、中生界白垩系;老地层是中元古界信阳群、下元古界苏家河群、太古界大别群^[10]。

1.2 墓区地层分布及特征

本次对7号墓的地层分布勘测范围主要集中在其展厅附近，涉及墓区面积约为40 m²，该墓区在展厅建设后设立了排水沟，并对入渗的水流进行了抽排，但经调查，墓区底部仍见水流痕迹。本文采用实地踏勘、钻探测剖面等方法对墓区的地层分布进行勘察，依据现场勘察及开挖情况分析墓区地层分布及特征，墓区自上而下土层分布见表1。

表1 分层情况

层号	层名	厚度/m	空间分布	岩土特征
1	填土	0.3~4.7	全场分布	人工堆积，以黏土为主，松散，力学性质不稳定
2	黏土	7.3~12.7	全场分布	第四系上更新统冲洪积层，黄褐色，可塑-硬塑，岩心切面光滑，夹少量白色高岭土，及铁锰结核。干强度高，韧性高，力学性质稳定

1.3 场区水文地质条件

1.3.1 地下水类型及埋藏条件

由于墓室地势较低，赋存于表部填土中的水向低处径流或入渗至7号墓室中。此外，下渗水流未及时抽排且墓室底部为隔水良好的黏性土，致使入渗水流无法排出，经过长期入渗与积蓄，导致墓室发生积水现象，底板局部有浸湿。

1.3.2 地下水补、径、排条件及水位动态变化规律

赋存于第1层中的水量不大，主要接受降雨补给，径流以垂直运动为主，排水以地表蒸发排泄与墓室人工抽排为主，其雨季水位较高，干旱时期水位较低。

1.3.3 岩土参数统计

为克服人为因素和设备因素对试验成果精度的影响，各种原位测试的记录、量测由具有相应技术资格的人员承担。岩土参数的统计按地质分层进行，异常值的剔除采用置信区间法即（m+3s）法则：物理、力学性质指标，按层进行统计，给出平均值。承载力特征值及压缩模量采用国标《建筑地基基础设计规范》（GB 50007-2011）及《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001）的各种表格等进行查表计算。土的主要物理、力学性质、地基承载力特征值、压缩模量综合成果统计见表2、表3。

表2 土的主要物理、力学性质统计表

地层 编号	项目	含水量/ ($\omega\%$)	天然重度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	孔隙比 e	液限/ ($\omega_L\%$)	塑限/ ($\omega_p\%$)	塑性 指数 I_p	液性 指数 I_L	压缩 系数/ MPa^{-1}	压缩模 量/ MPa	自由膨 胀率/%	直剪	
												$\varphi/(\circ)$	c/kPa
1	n	4	4	4	4	4	4	4	4	4		4	4
	max	28.7	19.2	0.841	43.6	26.3	20.2	0.38	0.24	10.64		18.0	67.0
	min	26.6	19.0	0.810	40.1	20.8	17.3	0.14	0.17	7.56		13.5	40.0
	μ	27.8	19.1	0.825	41.5	22.8	18.7	0.26	0.20	9.27		16.0	48.0

续表													
地层 编号	项目	含水量/ ($\omega\%$)	天然重度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	孔隙比 e	液限/ ($\omega_L\%$)	塑限/ ($\omega_p\%$)	塑性 指数 I_p	液性 指数 I_L	压缩 系数/ MPa^{-1}	压缩模 量/ MPa	自由膨 胀率/%	直剪	
												$\varphi/(\circ)$	c/kPa
2	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	6
	max	26.8	20.5	0.735	47.3	24.6	23.4	0.15	0.20	11.34	41.0	20.0	83.0
	min	23.1	19.8	0.633	39.7	21.1	17.3	0.01	0.15	8.37	36.0	16.5	54.0
	μ	24.8	20.1	0.684	44.0	22.8	21.2	0.09	0.17	9.85	38.67	18.1	67.7
	σ_r	1.30	0.02	0.04	3.38	1.52	2.26	0.06	0.02	1.30		1.24	12.01
	δ	0.05	0.01	0.05	0.08	0.07	0.11	0.61	0.13	0.13		0.07	0.18
	γ_s	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0.94	0.85
	ϕ_k	—	—	—	—	—	—	—	—	—		17.06	57.75

表3 各土层承载力特征值、压缩模量综合成果表

地层编号	岩土名称	天然重度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	黏聚力 C/kPa	$\Phi/(\circ)$	承载力特征值	
					(f_{ak})/ kPa	E_s/MPa
1	填土	19.1	48.0	16.0	200	9.27
2	黏土	20.1	67.7	18.1	300	9.85

对场地土工程性能评价发现其第1层填土力学性质变异较大；第2层黏土承载力高，压缩性中等偏低，全场分布，力学性质稳定。基于胀缩实验结果，对场地土膨胀性评价发现，场地第2层黏土自由膨胀率为36.0%~41.0%，属于40%~65%，由此说明，本区场地土具弱膨胀性，在排水设计过程中，应加强排水沟槽的刚度。在坑槽施工注意的问题有施工动土对周边构筑物不造成较大影响。土方开挖时应分层进行，高差不宜过大，挖出的土方不得堆置在坑槽边。经过钻探取样、注水试验分析及现场调查，地下水埋藏为赋存于上部填土层中的水，以大气降水补给、由高处向低洼处的径流为主。

1.3.4 水文地质试验方法

本次墓区内水源主要为赋存于表部填土中的上层滞水，以大气降水补给，地下水位埋藏很深，岩体完整，裂隙发育，基于此，本次水文地质试验采用钻孔降水头注水试验法。

田国林^[11]指出在水文地质、工程地质勘察等工程实践中，土体渗透系数的确定是渗流分析、基坑降水、抗浮设计等工作的基础，准确地求取土体渗透系数关系到工程设计等的准确性，而利用钻孔降水头注水试验确定土体渗透系数是工程勘察设计的重要方法。陈润桥等^[12]强调钻孔注水试验作为一种原位试验法，其具有不扰动原土层、试验周期短、经济投入少、操作简便等特点，并将该方法由上海推广至天津，准确地计算出天津地铁5号线某站点土层的渗透系数。邓争荣^[13]介绍了土体工程勘察中均质土层钻孔注水试验——常水头和降水头注水试验两种计算渗透系数的方法，特别是对降水头注水试验法不同条件下渗透系数的计算作了较详细的分析。基于前人工作，本文采用钻孔降水头注水试验法来计算7号墓区填土层与黏土层的渗透系数，为后期水害的治理提供试验基础。

本次渗透系数的测定采用钻孔降水头注水试验法在馆外四个方向随机选取4个点作为试验孔，

分别标记K1、K2、K3、K4（表4～表7）。试验孔以钻孔替代，套管内径（ D ）为11cm，孔深11～13m，按要求分段进行控制。在进行注水试验前，进行地下水位观测，水位观测间隔5min，当连续2次观测数据变幅小于10cm时，水位观测结束，用最后一次观测值作为地下水位计算值。套管管径为110mm，确保隔水，保证周边土层对试验段不造成影响。开始间隔时间为1min，连续观测5次；然后间隔为10min，观测3次；后期观测间隔时间应根据水位下降速度确定，可按30min间隔进行，试验时水位观察选用电测水位计。渗透系数的计算见式（1）^{〔13〕}。

$$K=\frac{0.0523r^2}{A}\frac{\ln(H_1/H_2)}{t_2-t_1}$$

(1)

式（1）中： K 为试验段含水层的渗透系数（cm/s）； t_1 、 t_2 为注水试验某一时刻的试验时间（min）； H_1 、 H_2 为在试验时间 t_1 、 t_2 时刻的试验水头（cm）； r 为套管内半径（cm）； A 为形状系数（cm），对于同一均质土层 $A=\frac{2\pi l}{\ln\frac{2ml}{r}}$ （ $\frac{1}{r}\geq 8$ ， $m=\sqrt{K_h/K_r}$ ），式中 K_h 、 K_v 为试验土层水平、垂直渗透系数（cm/s）， l 为试验段长度（cm）。

表4 K1号试验孔试验数据

试验深度/m	D /cm	H_1 /cm	H_2 /cm	t_1 /min	t_2 /min	A /cm	$K/(\text{cm/s})$
3.0	11	25.0	174.0	30	180	389.6	3.92×10^{-5}
9.0	11	19.7	46.6	30	180	951.9	1.19×10^{-7}
12.0	11	109.0	180.0	30	180	1210.6	5.43×10^{-8}

表5 K2号试验孔试验数据

试验深度/m	D /cm	H_1 /cm	H_2 /cm	t_1 /min	t_2 /min	A /cm	$K/(\text{cm/s})$
10.0	11	0.10	0.29	30	180	1039.3	1.34×10^{-7}
13.0	11	0.20	0.65	30	180	1294.8	1.19×10^{-7}

表6 K3号试验孔试验数据

试验深度/m	D /cm	H_1 /cm	H_2 /cm	t_1 /min	t_2 /min	A /cm	$K/(\text{cm/s})$
10.0	11	0.1	0.3	30	180	1039.3	1.39×10^{-7}
13.0	11	21.7	25.2	30	180	1294.8	1.51×10^{-8}

表7 K4号试验孔试验数据

试验深度/m	D /cm	H_1 /cm	H_2 /cm	t_1 /min	t_2 /min	A /cm	$K/(\text{cm/s})$
4.0	11	238.0	250.3	30	180	490.0	1.35×10^{-8}
8.0	11	5.4	12.0	30	180	863.3	1.21×10^{-7}
12.0	11	3.0	8.5	30	180	1210.6	6.77×10^{-8}

通过上述4个试验孔不同试验段注水试验结果判定，第1层填土层（0.3～4.7m）渗透系数平均值为： $5.25\times 10^{-3}\text{cm/s}$ （0.02米/昼夜，位于0.01～1米/昼夜），属于弱透水层或弱孔隙含水层；第2层黏土层（7.3～12.7m）渗透系数平均值为： $7.40\times 10^{-4}\text{cm/s}$ （0.0001米/昼夜，<0.001米/昼夜），属于不透水层或隔水层。

1.3.5 水害问题分析

该地造成墓葬水害的地下水类型及埋藏条件经钻探揭露发现只有1种，即赋存于第1层填土层中

的上层滞水，其水量不大，主要接受大气降水补给，径流以垂直运动为主，排泄以地表蒸发、人工抽排为主，墓葬水位雨季较高，干旱较低。

如图2所示，7号墓渗水主要受上层滞水影响，大气降水在重力和地形影响下，流入渗透系数较高的弱透水填土层，其下为渗透系数较低的相对隔水黏土层，由于水头差及土体毛细作用的存在，水很难继续下渗进而形成滞留水，赋存在填土层的土壤空隙中并从墓室壁与基底渗入墓室，虽然墓室四周有一层混凝土起到隔水作用，但由于年代与混凝土质量问题，混凝土中空隙较多，水依然能渗入墓室，使得墓室底土体含水量丰富。此外，墓室土体孔隙水位较高，墓室底部与孔隙水位存在一定水头差，导致孔隙水压力过高，且无良好的排泄途径，也造成墓室积水，进而对墓室文物造成一定影响。此外，7号墓东侧有一集水井，井内长期有积水，其东南侧为8号墓，雨天亦有积水。因此不排除集水井与8号墓基坑内积水为7号墓渗水水流来源之一。

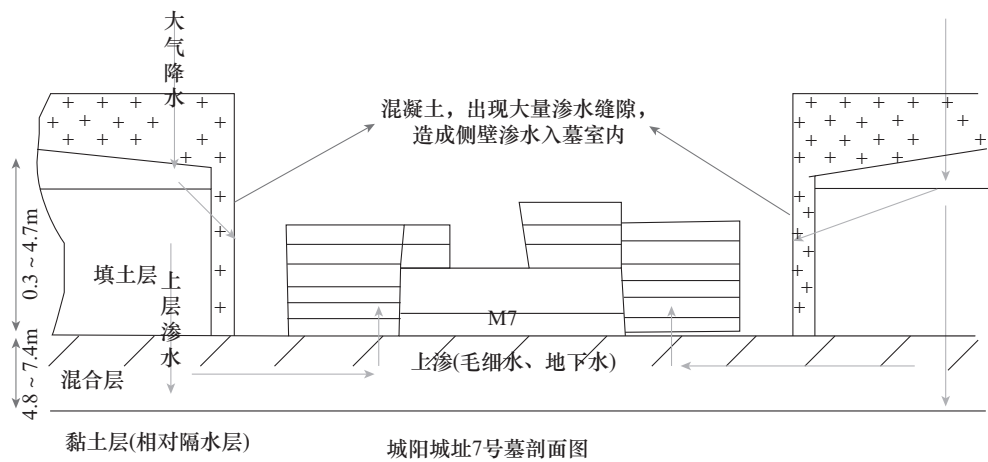


图2 7号墓平面渗水图（蓝色箭头为渗水方向）

2 城阳城址7号墓室水害治理

经过前期工程调查与分析，考虑到墓室的现状，7号墓区的水害可采用防潮以及滤排来治理。施工前需设置支护结构。由于基底土为硬塑状的黏土，且大型机械无法进场。因此支护结构采用钢管支护，用洛阳铲引孔，再塞入钢管（图3），其中支护钢管采用Q235钢管 $\phi 48\text{mm}$ （钢管外径） $\times 6\text{mm}$ （钢管壁厚），单根钢管长6m，钢管冒出地面不应小于300mm。钢管施工应采用洛阳铲成孔，成孔直径60mm，为图3中虚线框所示。

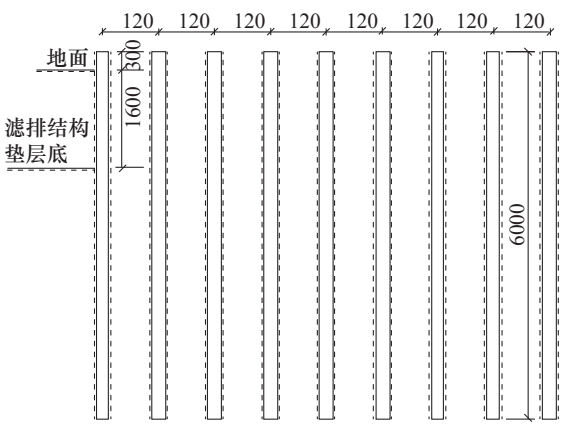


图3 钢管支护立面示意图

2.1 墓室底防潮措施

防潮主要采用住宅楼底防潮层的做法。将棺槨先移走，然后开挖167mm进行素土夯实，再施工防潮层。具体施工工艺见图4。施工防潮层施工前应将棺槨移走，过程中应注意安全，避免对棺槨

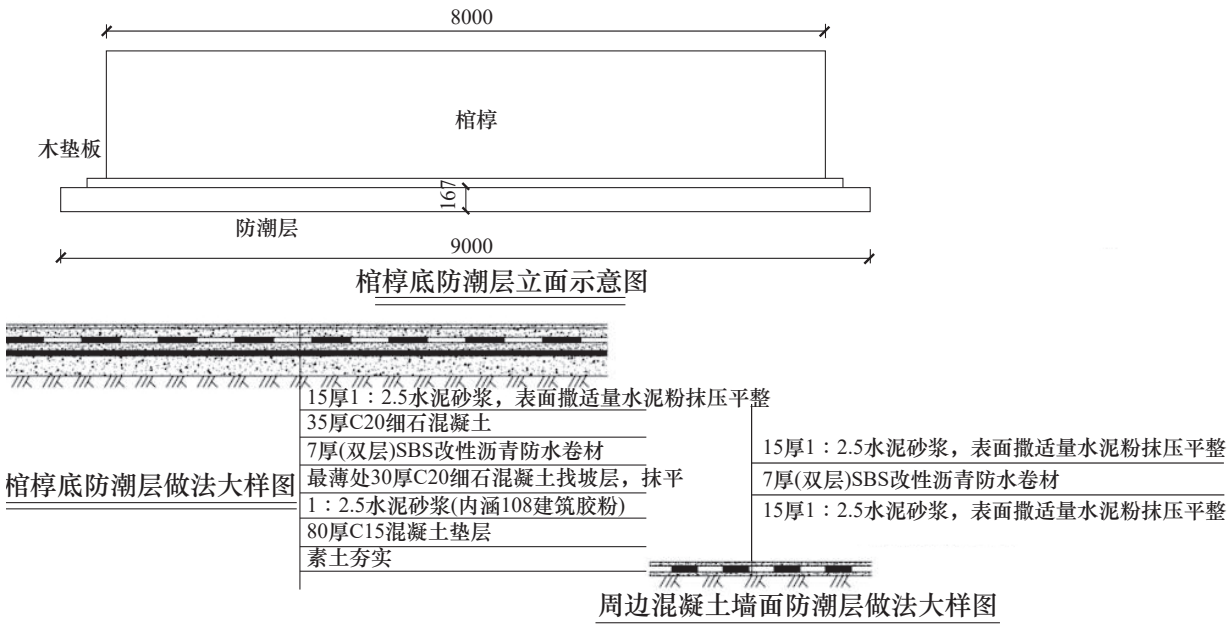


图4 棺椁底防潮层立面示意图、做法大样图、周边混凝土墙面防潮层做法大样图

造成损坏。水泥采用P·O42.5普通硅酸盐水泥。水泥砂浆面层完成后要浇水养护，避免开裂。

2.2 墓室滤排措施

滤排结构主要包括反滤层、排水沟、集水井、泄水孔等构件。所有图中 ϕ 表示HPB300级钢筋， Φ 表示HRB335级钢筋， Φ 表示HRB400级钢筋。

1) 反滤层：反滤层采用3~4mm细砾石紧贴支护结构填实。

2) 滤排沟：结构尺寸参看图5。底部先施工100mm厚C15混凝土垫层；上部施工7mm厚防水卷材，卷材材料为SBS改性沥青；沟体采用钢筋混凝土结构，混凝土强度为C20，配筋为 ϕ 6.5双向@150。沟体表面涂抹30mm厚1:2.5防水砂浆。上部用100mm厚钢筋混凝土预制盖板覆盖。现场放线应以棺椁底部木垫板为准，距离木垫板应不少于500mm，若空间距离不够，可切坡后进行滤排沟及圈梁施工。滤排结构表面应铺设钢筋混凝土预制盖板，厚度100mm，宽度参看滤排沟（图5）和集水井（图6）大样图。沟槽开挖前，应设置支挡结构。采用钢管支护，当滤排沟施工完毕后应拔出钢管。施工顺序：①破除原有排水沟；②施工靠近坡体棺椁的钢管柱；③开挖沟槽；④进行托换工程施工；⑤回填托换工程土体，并施工靠近棺椁的钢管桩；⑥进行滤排结构施工；⑦抽拔出支护钢管。滤排沟钢筋混凝土构件保护层厚度不小于35mm，混凝土垫层强度为C15，主体混凝土强度为C20。

3) 集水井：结构尺寸参看大样图6。底部先施工100mm厚C15混凝土垫层；上部施工7mm厚防水卷材，卷材材料为SBS改性沥青；沟体采用C20混凝土结构，其强度为C20，配筋为 ϕ 6.5双向@150。沟体表面涂抹30mm厚1:2.5防水砂浆。上部用100mm厚钢筋混凝土预制盖板覆盖。

集水井钢筋混凝土构件保护层厚度不小于35mm，混凝土垫层强度为C15，主体混凝土强度为C20。集水井施工前应考虑到智能水泵预埋件的位置，保障智能水泵的安装。混凝土的构件施工中模板支撑应安全牢固，断面尺寸准确无误。混凝土应严格控制配合比，浇筑后的12小时内应加以覆盖和浇水养护，严防暴晒；采用蓄水或湿盖养护，并不得少于14天。

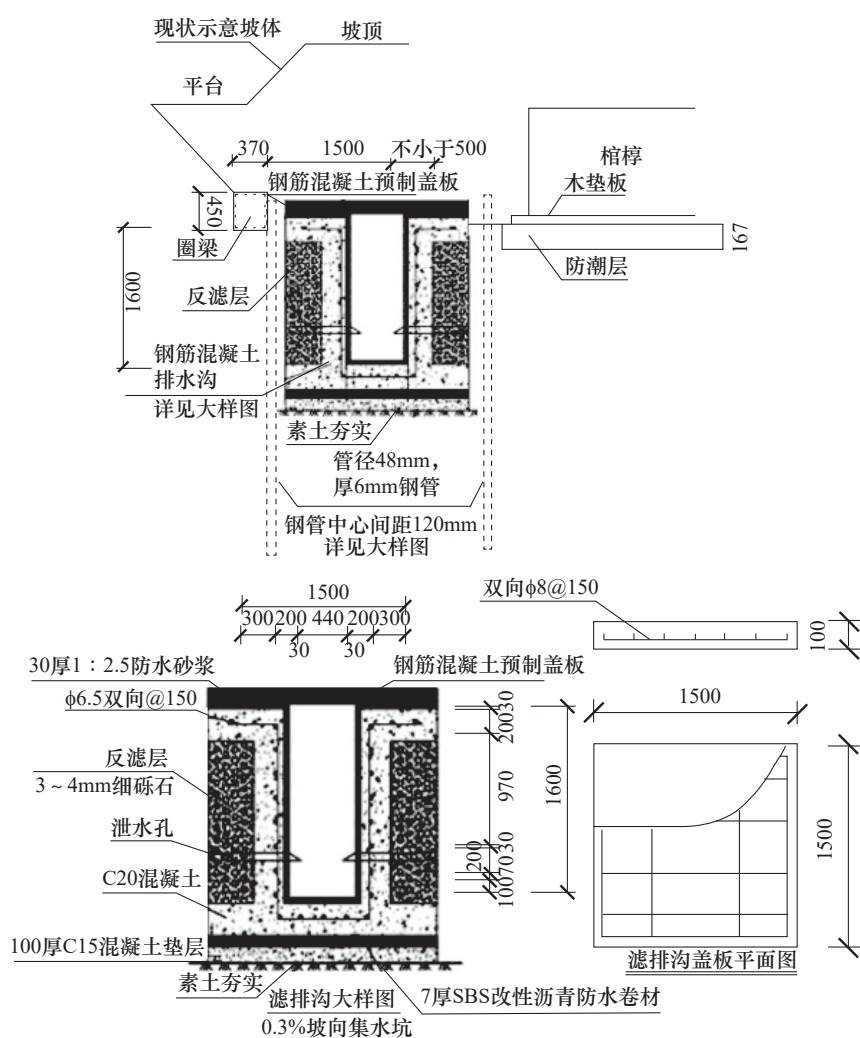
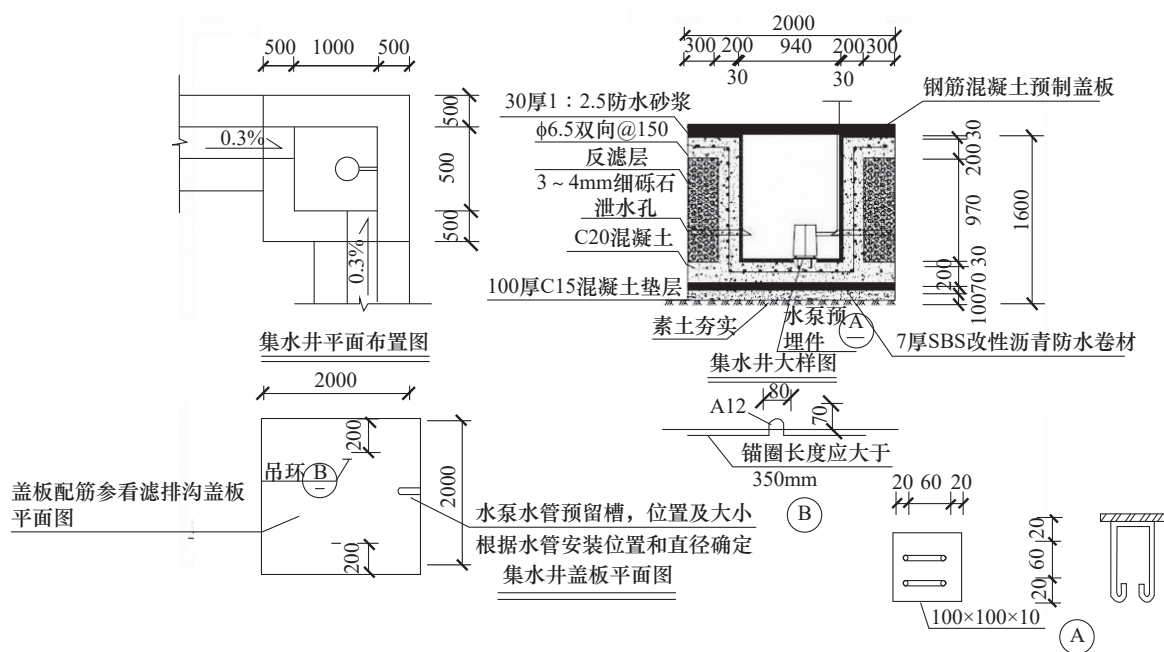


图5 滤排沟大样图与滤排沟盖板平面图



4) 泄水孔：泄水孔采用管径42mm PVC管沿管身每约50mm距离梅花型孔，孔径10mm。水平间距1.5m，沟两侧交错布置，距沟底不大于300mm。泄水孔外填绿豆砂，管长 $L=500\text{mm}$ ，插入反滤层不少于250mm，见泄水孔大样图7。

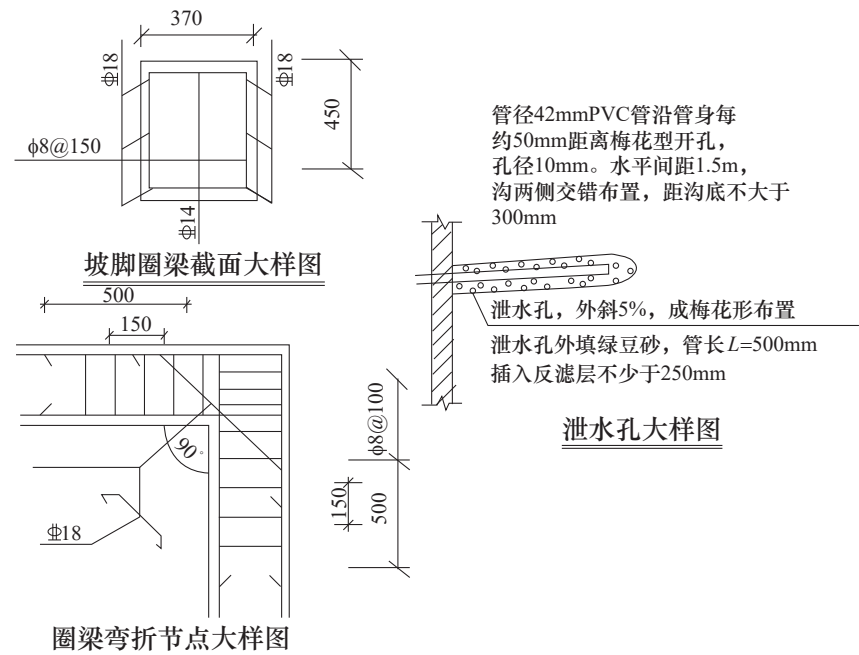


图7 坡脚圈梁截面、圈梁弯折节点、泄水孔图

圈梁保护层厚度为50mm。混凝土强度为C30。钢筋的连接与锚固：①直径 ≥ 22 的钢筋连接均采用机械连接或焊接，当采用焊接连接时，除图中注明者外，搭接焊缝厚度 h 为6mm，焊缝长度

单面焊缝 $10d$ ，双面焊缝 $5d$ 。同一连接区段有焊接接头的受拉钢筋面积不大于总面积的50%，且相邻焊接接头截面相隔距离不得小于 $35d$ 及 $500d$ （ d 为受力钢筋的较大直径）；②其他钢筋可采用绑扎搭接连接。同一连接区段内纵向钢筋接头面积不大于全部纵向受力钢筋截面面积的50%。梁纵筋搭接长度范围内，箍筋间距 $\leq 5d$ 且 $\leq 100\text{mm}$ （ d 为搭接钢筋的最小直径）。混凝土构件施工：模板支撑应安全牢固，断面尺寸准确无误。混凝土应严格控制配合比，浇筑后的12小时内应加以覆盖和浇水养护，严防暴晒；采用蓄水或湿盖养护，并不得少于14天。

地下水汇集到集水井后，用泵抽取排到附近的主排水管道中去。为保障滤排结构施工后坡体的稳定性，在坡脚处设置一道圈梁，具体见滤排结构平面布置图8。

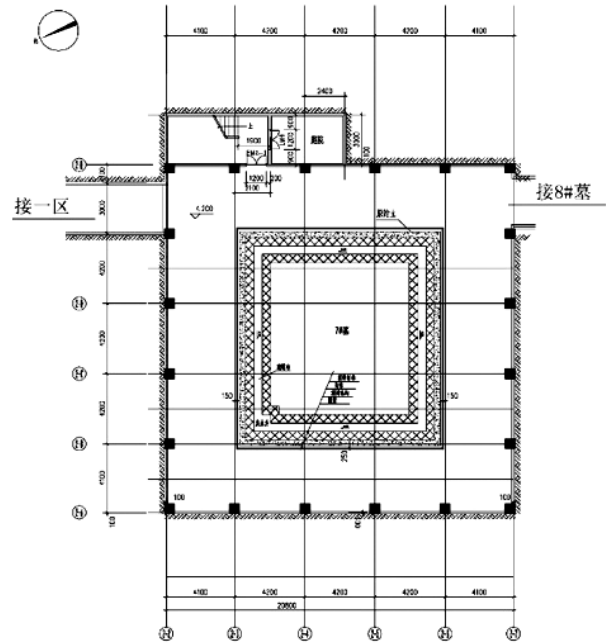


图8 7号墓室滤排结构平面布置图

结 语

1) 采用实地踏勘、钻探测剖面法对7号墓区地层分布进行勘察,发现其地层自上而下为第1层填土,人工堆积,松散,力学性质不稳定;第2层黏土,第四系上更新统冲洪积层,黄褐色,可塑-硬塑,岩心切面光滑,干强度高,韧性强,力学性质稳定。

2) 对7号墓区进行水文地质勘测,发现其地下水仅为赋存于第1层中的水,该层透水性较弱,为弱透水层;而第2层透水性微,为相对隔水层。赋存于第1层中的水主要接受大气降水的补给,径流以垂直运动为主,由地表蒸发排泄,其次是入渗墓室人工抽排,雨季水位较高,干旱水位较低。

3) 7号墓区岩土参数的统计按地质分层进行统计,异常值的剔除采用置信区间法即 $(\mu+3\sigma)$ 法则,给出填土层与黏土层的物理、力学性质指标,以及地基承载力特征值、压缩模量综合数据,为后期墓葬的工程水害治理提供基础数据。

4) 对7号墓区建设排水设施,在墓室底周边设置滤水、排水结构,设置排泄途径,包括反滤层、排水沟、集水井、泄水孔等构件,降低墓室范围内土体孔隙水压力,降低墓室底土体含水量。并对椁室底部及挡土墙进行防潮,保证棺槨具有干燥的保存环境。防水工程完工后做好空气温湿度等环境检测,使墓葬能够真实完整地保存下去。

参 考 文 献

- [1] 汪洪宇,熊灿娟,高福碟,等.六盘水市钟山区地层特征研究[J].科技与创新,2020(15):128-129,134.
- [2] 赵楠,郑英,刘春娥.青海五龙沟——金水口地区地层分布特征[J].矿产勘查,2019,10(12):2893-2898.
- [3] 吴越.基于场地水文地质试验方法适宜性探讨[J].世界有色金属,2021(19):158-159.
- [4] 吴丽霞.场地水文地质试验方法适宜性探讨[J].地下水,2021,43(3):113-115.
- [5] 周文海,李永东.基于岩土参数统计分析的地层划分研究[J].土工基础,2017,31(4):481-485.
- [6] 曹全胜,赵晓妍.岩土参数统计特征的贝叶斯估计[J].路基工程,2019(5):62-66.
- [7] 彭艳丽,蒋建洪,袁俊,等.潮湿地区土遗址保护关键技术[J].建筑施工,2021,43(11):2253-2255.
- [8] 周鹏,柴新军,吴莉民,等.田螺山地下遗址土排水固结特性试验研究[J].重庆建筑,2019,18(12):45-47.
- [9] 周双林,王嘉堃,韩伟东.临淄东周殉马坑的隔水保护措施及效果评价[J].文物保护与考古科学,2019,31(3):110-114.
- [10] 自然地理-信阳市概况-信阳市人民政府门户网站[EB/OL].<https://www.xinyang.gov.cn/2015/12-11/570490.html>.
- [11] 田国林.基于注水试验的土体渗透系数计算[J].科技与创新,2016(16):15-16.
- [12] 陈润桥,温伟光,何绪升,等.降水头注水试验在天津地区的应用分析[J].山西建筑,2013,39(11):45-46.
- [13] 邓争荣.土体工程勘察中钻孔注水试验渗透系数的计算[J].长江工程职业技术学院学报,2004,21(1):25-27.