

# 黄土地区人工场地地下水疏排设计与效果评价

曹杰<sup>1,2</sup>, 张继文<sup>1,2</sup>, 高鹏<sup>1,2</sup>, 万再新<sup>1,2</sup>, 周远强<sup>1,2</sup>, 李攀<sup>1,2</sup>

(1. 机械工业勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710043; 2. 陕西省特殊土工程性质与处理技术重点实验室, 陕西 西安 710043)

**摘要:** 在黄土丘陵沟壑区开展的治沟造地填方工程, 是我国城镇化进程中土地资源开发利用的一种新的探索和有益尝试。由于黄土的水敏特性, 使得水环境的变化对重大工程场地建设具有重要影响, 地下水的疏排与控制成为填方造地工程的关键技术问题之一。完善的排水措施对大厚度人工场地建设质量的把控与评判起到至关重要的作用。本文针对人工场地建设初期填方区地下水(即原始沟谷地表径流)疏排的系列方法和措施进行了分析与总结, 主要包括排水结构选型、排水设施铺设、特殊区域补强、辅助控制与节水利用等内容。以填方造地典型工程为案例, 基于现场地下水位、盲沟流量、表层入渗等原位实测结果的分析, 对重大人工场地的地下水疏排系列措施和填方压实效果进行了效果评价, 验证了系列排水措施的可行性和有效性。

**关键词:** 黄土; 人工场地; 地下水疏排; 排水设计; 排水系统; 盲沟

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2024)05-0503-09

## Design and effect evaluation of artificial site groundwater drainage in loess area

CAO Jie<sup>1,2</sup>, ZHANG Jiwen<sup>1,2</sup>, GAO Peng<sup>1,2</sup>, WAN Zaixin<sup>1,2</sup>, ZHOU Yuanqiang<sup>1,2</sup>, LI Pan<sup>1,2</sup>

(1. China JIKAN Research Institute of Engineering Investigations and Design, Co., Ltd., Xi'an 710043, Shaanxi, China;

2. Shaanxi Key Laboratory of Engineering Behavior and Foundation Treatment for Special Soil, Xi'an 710043, Shaanxi, China)

**Abstract:** The land reclamation projects carried out in loess hilly and gully areas represent a new exploration and beneficial attempt in the utilization of land resources during China's urbanization process. Due to the water-sensitive nature of loess, changes in water environments significantly impact the construction of major engineering project sites. Therefore, groundwater drainage and control are crucial technical issues in land filling projects. Effective drainage measures play a crucial role in controlling and evaluating the quality of the entire artificial site construction. This article discussed and summarized a series of methods and measures for the drainage of groundwater in the filling site during the construction process of artificial sites, including the selection of drainage structures, laying of drainage facilities, reinforcement of special areas, auxiliary control and utilization, etc. Based on typical cases, the effectiveness of groundwater drainage and compaction in major artificial sites was evaluated through the analysis of in-situ measurements such as groundwater levels, blind ditch flow rates, and surface infiltration. The feasibility and effectiveness of the series of drainage measures was verified.

**Key words:** loess; artificial site; groundwater drainage; drainage design; drainage system; blind ditch

## 0 引言

随着我国城市更新与城镇化进程的不断推进, 黄土高原迎来了前所未有的发展机遇。人口密集地区对土地的需求不断增加, 在适度开发的前提下, 通过前期多方论证、过程严格把控、持续监测反馈

等系列举措开展的治沟造地工程实践, 成为我国土地资源储备保护与综合开发的探索方向之一, 可以有效缓解黄土丘陵沟壑区城镇建设用地紧张的局面, 打破地区经济发展的空间约束。

通过人工挖方、填方、场平而形成造地面即人工场地, 将其用于城市建设, 首先要确保用地安全,

收稿日期: 2023-08-15

基金项目: 国机集团青年科技基金重点项目(QNJJ-ZD-2022-17); 陕西省创新能力支撑计划(2023-CX-PT-46); 陕西省创新能力支撑计划(2024RS-CXTD-49); 中设集团创新开发赋能基金项目(CMEC-24FN01); 国家自然科学基金(52279109)。

作者简介: 曹杰(1980—), 男, 陕西西安人, 博士, 正高级工程师, 主要从事大厚度人工场地设计、黄土地基处理与加固、离心模型试验等方面的研究。E-mail: caojie801014@126.com。

其中,地下水的疏导与控制是黄土地区重大场地建设的技术难题之一。大面积场地建设改变了自然环境,地下水的原有平衡被打破,如不予以疏导使其排泄,或将引起填筑体的湿化变形与沉降<sup>[1]</sup>,关乎造地面与边坡的安全。因此,本文就治沟造地工程实践过程中地下水的疏导与控制予以探讨和总结,并以黄土地区某人工填方场地为例,基于现场实测数据分析,验证了系列工程措施的可行性与合理性,其相关技术可为类似工程提供参考和借鉴。

## 1 地下水疏排方法与措施

### 1.1 地下排水设置的基本原则

#### (1) 平面布置原则

地下盲沟排水系统示意图如图1所示,在场地建设区域内,根据谷底原有水系分布,结合原始沟谷地形,以不改变或破坏原始沟谷中水系及流向为原则,设置地下排水系统。依据汇水面积和流量并充分考虑安全系数,确定排水结构的横截面积。此外,每一个泉眼或渗流点均设置排水支盲沟。全区盲沟总体呈树枝状布置<sup>[2]</sup>。

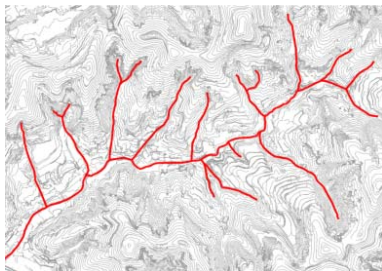


图1 地下盲沟排水系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of underground blind ditch drainage system

#### (2) 坡度控制原则

全区的盲沟排水坡度原则上应依照沟底地势设置,但为了保证全区的排水通畅,还应有最小坡度的控制性指标,一般可取0.5%~1%。此外,盲沟的竖向埋置深度方面,还应保证其用于排水或者导水的粗粒料排水体结构顶面不低于沟底原有水系的水位。

#### (3) 局部强排原则

在主盲沟(主沟内)和次盲沟(次沟内)连接部位、淤积坝下游部位设置若干地下水位观测和抽水井,以监测和控制关键部位的地下水。在谷底基岩陡坎出露区域人为铺设过渡坡体,保持盲沟系统运行通畅。

#### (4) 组织协调原则

地下排水设置与沟谷地基处理相结合,当存在软弱地层时,首先进行地基处理,以保证盲沟基槽

开挖的稳定性,避免盲沟铺设后发生过大变形。雨季施工时,应提前考虑临时排水措施,并对在建的永久排水结构进行保护,避免泥水进入后造成盲沟淤堵。

### 1.2 排水结构选型

大厚度人工场地地下排水盲沟的形式主要有碎石盲沟和管式盲沟两类,两者的对比如表1所示。一般来讲,碎石盲沟施工工序较为简单,管式盲沟施工工序相对复杂,虽然管式盲沟的排水效果更好,但涵管在上覆巨大填土荷载作用下,具有发生破坏的可能性,排水能力将有所折减。因此,现场施工过程中的保护与避让措施必不可少。对于重大人工场地工程,当地碎石料缺乏或对水流排泄能力要求较高时,应选择管式盲沟。

表1 碎石盲沟和管式盲沟对比  
Table 1 Comparison between gravel ditch and pipe ditch

形式	优点	缺点
碎石盲沟	就地取材时造价低,易于施工,填方施工时保护设施的考虑因素少	过水量小,断面尺寸大,开挖回填土石方量大,容易淤积和堵塞,碎石强度、质量要求高
管式盲沟	排水疏导效果好,不易淤堵,过水量大,断面尺寸小,碎石质量要求低	造价偏高,涵管易破坏,存在不均匀沉降风险或垮塌风险

### 1.3 排水盲沟的设置

#### (1) 主盲沟设置

对于大厚度填方场地,为了避免深埋管涵的高压变形甚至损坏,应采取必要的保护与缓冲措施。图2和图3分别为上、下游主盲沟示意图,涵管顶部专门设置了卵石垫层,在涵管下部两侧45°范围内用碎石填充进行保护。当盲沟底部为基岩开挖面时,在涵管上方和下方均需铺设碎石保护垫层;对非基岩开挖面,仅在涵管上方铺设碎石保护垫层即可。图4和图5分别为铺设中的上、下游主盲沟主体涵管。

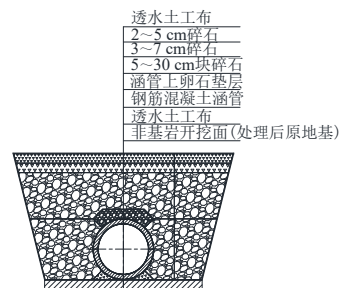


图2 上游主盲沟示意图

Fig. 2 Schematic diagram of upstream main blind ditch

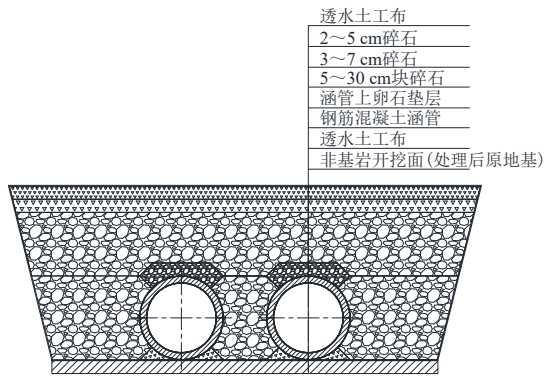


图 3 下游主盲沟示意图

Fig. 3 Schematic diagram of downstream main blind ditch



图 4 铺设中的上游主盲沟主体涵管

Fig. 4 Culvert pipe of upstream main blind ditch under construction



图 5 铺设中的下游主盲沟主体涵管

Fig. 5 Culvert pipe of downstream main blind ditch under construction

(2) 次盲沟设置

次盲沟结构示意图如图 6 所示, 上、下游次盲沟的结构形式完全相同, 仅尺寸上存在差异, 均采用碎石包裹软式透水管的结构形式, 碎石粒径由内向外逐级减小。图 7 为次盲沟施工现场照片。

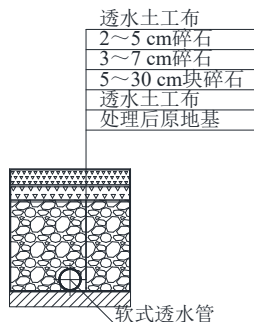


图 6 次盲沟结构示意图

Fig. 6 Schematic diagram of secondary blind ditch structure



(a) 铺设透水管



(b) 回填碎石

图 7 次盲沟施工现场

Fig. 7 Construction site of secondary blind ditch

(3) 盲沟接头处理

盲沟接头处理主要包括主盲沟内涵管间的拼接处理, 以及主、次盲沟间的接头处理, 以上均属于地下排水系统的薄弱环节, 设计和施工处理不当时容易造成地下排水系统的淤堵甚至失效。

为了便于涵管运输, 并能很好地适应地形变化, 涵管采用分节、不连续埋设方法, 两节涵管间距约 10 cm 左右, 涵管间的连接采用土工格栅包裹, 起到保护和韧性连接作用, 土工格栅包裹每节涵管宽度不小于 20 cm, 主盲沟涵管连接处结构示意图如图 8 所示, 图 9 为主盲沟涵管拼接施工现场。

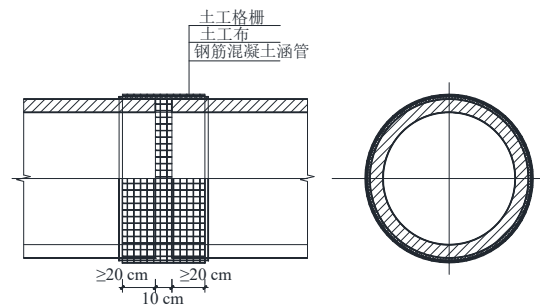


图 8 主盲沟涵管连接处结构示意图

Fig. 8 Connection structure of main blind ditch culvert pipe



(a)



(b)

图 9 主盲沟涵管拼接施工现场

Fig. 9 Splicing construction site of main blind ditch culvert pipe

主、次盲沟连接结构示意图如图 10 所示，主、次盲沟接头处，其底面处于同一标高，并保证次盲沟（软式透水管或塑丝排水笼）伸入主盲沟碎石层内至少 50 cm 以上，图 11 为主、次盲沟连接现场施工图。

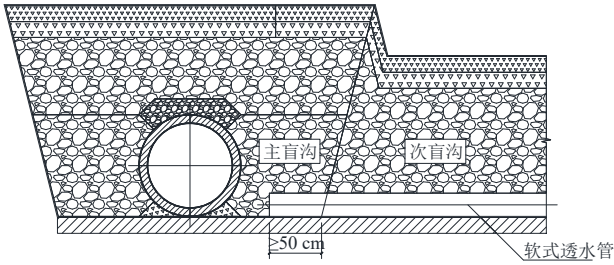


图 10 主、次盲沟连接结构示意图<sup>[3]</sup>

Fig. 10 Connection structure of main and secondary blind ditch<sup>[3]</sup>



图 11 主、次盲沟连接现场施工图

Fig. 11 Construction site for the connection of main and secondary blind ditch

### 1.4 特殊区域的排水设置

#### (1) 沟底陡坎地段排水设计与处理

工程现场原状沟谷地基出现岩质陡坎时，盲沟铺设难以满足设计坡度要求，可局部进行专门处理，使沟体完整。当陡坎高度不大于 2 m 时，对陡坎进行爆破处理以形成不陡于 1 : 1 的斜坡后再铺设涵管；当陡坎高度大于 2 m 时则专门设置过渡段，以保证涵管中的水流通畅。基岩陡坎处盲沟设置断面示意图如图 12 所示，坡度应根据陡坎高度和地形确定，基岩陡坎处盲沟铺设现场施工见图 13。

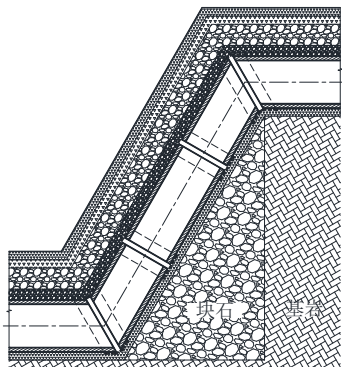


图 12 基岩陡坎处盲沟设置断面示意图<sup>[3]</sup>

Fig. 12 Schematic diagram of blind ditch setting section at steep slope of bedrock<sup>[3]</sup>

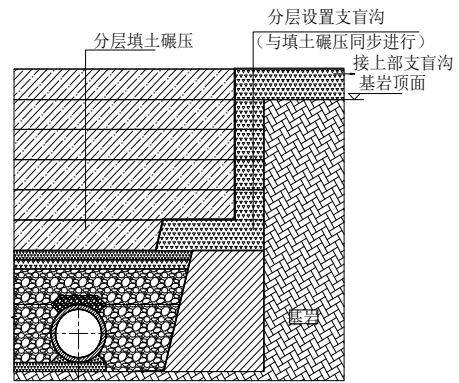


图 13 基岩陡坎处盲沟铺设现场施工

Fig. 13 Construction site for blind ditch laying at steep slope of bedrock

#### (2) 陡立直坡地段排水设计与处理

当坡体局部区域基岩初露或存在陡立直坡时，如图 14 所示，为了防止裂隙水和雨水沿着填土与岩质坡体交接面无序下渗，可紧贴岩壁每隔 50~100 m 增设竖向支盲沟<sup>[4]</sup>，将其主动引入主盲沟或次盲沟。当岩壁顶部设置有盲沟时，竖向支盲沟与顶部盲沟相连；当直立陡壁大面积渗水明显时，可紧贴岩体加铺一定宽度的碎石层代替竖向支盲沟，以增大竖向排水体面积，对外渗裂隙水进行疏导。无论是增铺竖向盲沟还是竖向的成片碎石层均与土方填筑同步施工。



(a) 断面示意图



(b) 施工现场

图 14 陡壁支盲沟设置断面示意图与施工现场

Fig. 14 Schematic diagram and construction site of the blind ditch at the steep wall

### 1.5 辅助性控制措施

#### (1) 施工期临时排水措施

在地基处理及土方填筑施工过程中, 尤其是施工期或造地面硬化前, 强降雨形成较大的汇水面后, 可能对施工作业面或临时造地面产生冲刷破坏。因此, 黄土填方工程施工期需提前规划和安排雨季临时排水措施。

施工期主要的临时排水措施包括<sup>[5]</sup>: a) 分段施工时, 当原地基下游盲沟尚未建成时, 不宜与上游盲沟接通, 应设临时并行排水沟(图 15), 并应对施工中的盲沟主体进行实时防护(图 16), 防止淤堵; b) 土方填筑时, 施工作业面上的临时排水设施应满足地表水(含临时暴雨)、地下水和施工用水等的排放要求, 造地面形成后, 应根据需要在主要建筑区域进行补强与硬化作业; c) 大范围土方填筑时, 可人为设置多处蓄水池(图 17)和拦水坝(图 18), 对大面积汇水进行分级蓄存与拦截。



图 15 临时排水沟

Fig. 15 Temporary drainage ditch



图 16 排水系统永久防护

Fig. 16 Permanent protection of drainage systems



图 17 临时蓄水池

Fig. 17 Temporary water storage tank



图 18 临时拦水坝

Fig. 18 Temporary water retaining dam

施工期临时排水的主要作用包括: a) 防止原地基排水系统在施工期发生淤堵; b) 通过防洪拦水坝实现“错峰泄洪”, 拦截泥沙, 减少对施工场区外居民区的污染; c) 通过蓄水池、拦水坝等措施, 起到部分“预浸水”作用, 加速施工期填方体沉降, 减小工后沉降量; d) 夏季填料水分蒸发较快, 难以达到压实度要求时, 可抽取临时蓄水池和拦水坝中的蓄存水进行喷洒, 调节填料含水率, 减小填筑施工难度, 兼具施工期防扬尘作用。

#### (2) 人工集水与利用措施

西北黄土高原, 干旱少雨, 水资源十分紧张, 因此, 对地表水与地下水应予以收集与充分利用。可在主盲沟每隔一定距离、主盲沟与次盲沟连接部位、淤积坝下游部位、集中的汇水点等位置设置集水井。集水井与土方同步施工至造地面设计标高, 其平面位置应注意避开规划中的建筑和交通道路, 并且预埋钢筋护手, 以便下井检修(图 19)。

集水井可辅助实现场地地下水的综合利用, 其主要作用包括: a) 施工期间可作为防扬尘取水井; b) 竣工后可以作为绿化带浇灌、景观(水池、溪流)等用水; c) 可作为地下水环境(水位、水质等)变化的监测井(图 20); d) 原地基排水系统若局部失效时, 可人工强排, 降低水位, 对填方工程的长期运营安全具有辅助作用。



图 19 集水井井下检修

Fig. 19 Underground maintenance of water collection well



图 20 地下水监测用井  
Fig. 20 Groundwater monitoring well

## 2 典型案例分析

### 2.1 工程概况

以西北黄土高原地区某大型治沟造地工程为例，其场地原始地形地势特征图如图 21 所示，由西北向东南逐渐变低，南北向长度约 5.5 km，东西向宽度约 2.0 km，主沟为向东南开口的谷状地形（图 22）。建成后的全区总体地势由西北至东南逐渐降低，整体坡度介于 1%~2%，最大挖、填方高度为 118 m 和 112 m，涉及土方总量为  $3.6 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。该工程在建设初期进行了大量的试验与论证<sup>[6-7]</sup>，并参照前述地下水疏排系统的设置原则及方法，采用了管式主盲沟和碎石次盲沟相结合的地下水疏排方式，施工期间制定了详细的地下盲沟铺设方案，兼顾了施工期的排水系统保护与辅助排水措施，建成了系统性的地下排水网络。

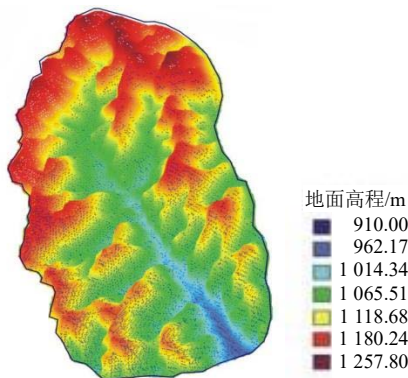
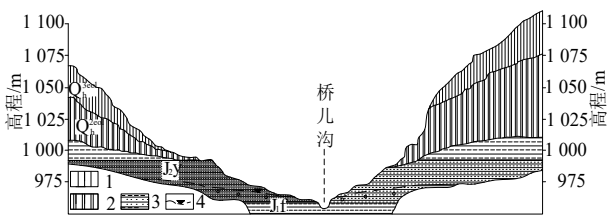


图 21 工程场地原始地形地势特征图  
Fig. 21 Original terrain and topographic features of the engineering site



1. 马兰黄土; 2. 离石黄土; 3. 砂岩、泥岩; 4. 水位线

图 22 典型水文地质结构  
Fig. 22 Typical hydrogeological structure

### 2.2 水位观测

该工程自 2012 年 4 月开工，于 2013 年 9 月基本完成治沟造地任务，有效工期为 425 d。场地形成过程中，沿主沟走向，自西北向东南布设了多个水位观测孔，形成了完整的水位观测剖面。沿主沟实测水位剖面如图 23<sup>[5]</sup> 所示，截至 2020 年 6 月，各测点水位处于稳定状态，未出现地下水位明显起伏的异常现象。

经计算，主沟实测平均水力坡降为 2.94%，甚至高于工程建设前数值模拟所得的原始水力梯度（2.40%）。由此可知，原沟谷地基中修建的地下排水盲沟系统能够维持，甚至增大了地下水的水力梯度，使得全区地下水得以顺利排泄，表明地下排水盲沟系统能发挥作用且运营良好。

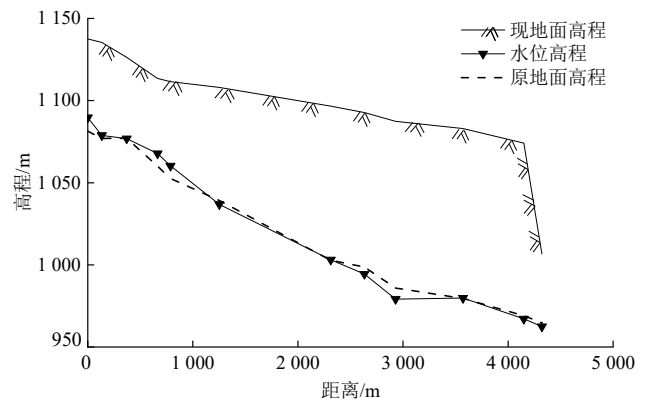


图 23 沿主沟实测水位剖面图<sup>[5]</sup>  
Fig. 23 Measured water level profile along the main trench<sup>[5]</sup>

### 2.3 流量观测

在填方区主沟出水口处设置了流量监测点，用于监测场区盲沟总排水量。工程在竣工初期，主盲沟出水口的水质较为浑浊，主要原因在于块、碎石料自身有一定的含泥量，且在盲沟施工期间混入了少量周边土料；竣工数月后，盲沟内的泥沙排泄干净，主盲沟出水口的水质逐渐变得清澈。

盲沟水流量及日降雨量的时程变化如图 24<sup>[8]</sup> 所示，综合看来，盲沟出水量峰值一般出现在 6 月至 8 月间，即盲沟流量受到季节性降雨的影响，这一现象在 2013 年填方竣工前尤为明显。值得注意的是，盲沟流量的峰值与当年的降雨量峰值相比，在出现时间上稍显滞后。推测可能有两方面原因：其一是原有地下水的运移与渗透是在基岩裂隙或者土体孔隙中进行，排泄路径呈现非连续状态，因此地下水流动速度相对迟缓；另外一方面，从后期大厚度填方体角度看，压实填土自身具有一定的防渗能力，而且大体量填方体也属于非饱介质，具备一定的储容能力，上部降水向下补给、排泄的能力

有限, 考虑到时间上的累积效应, 在盲沟流量观测值上很难及时反应。因此, 只有当填方施工初期, 填筑厚度较小时, 或者局部薄弱面处理效果不佳形成快速补给通道时, 盲沟流量与雨季降水量才可能较匹配<sup>[9-10]</sup>。

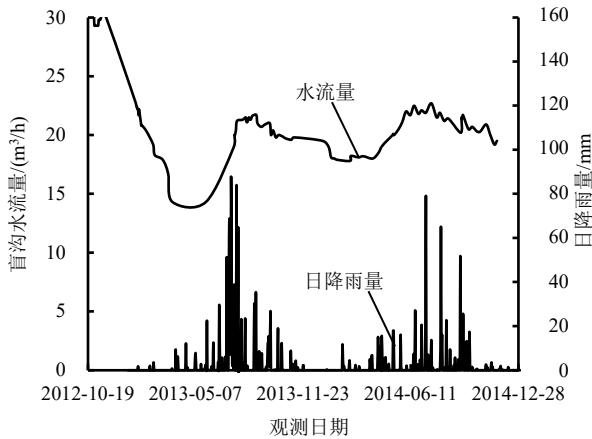


图 24 盲沟水流量及日降雨量的时程变化<sup>[8]</sup>

Fig. 24 Time history changes of blind ditch flow and rainfall<sup>[8]</sup>

图 24 中, 盲沟出水量变化主要经历 6 个阶段:

(1) 从 2012 年 10 月开始至次年的 2 月底: 基本处于冬歇停工期, 同时也属于少雨季节, 主盲沟出水量明显减少, 最初流量值约为  $33.0 \text{ m}^3/\text{h}$ , 逐步下降至最低值约为  $18.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

(2) 从 2013 年的 3 月开始至 5 月: 盲沟的出水量进一步下降, 甚至比冬歇期更低, 平均值仅为  $14.4 \text{ m}^3/\text{h}$ , 这与当时的施工条件有关。2013 年春季开工后, 土方压实过程中发现填料含水率偏低, 需要通过人工增湿以接近最优含水率, 另外, 由于现场加速推进施工进度, 对防止扬尘污染有很高的要求, 在这样的背景下, 通过现场集水井和监测井抽取了地下水, 用以平衡填料含水率和防扬尘施工。因此, 在没有降雨补给的情况下盲沟流量进一步降低。

(3) 从 2013 年 6 月开始至 9 月: 该时段属于当地的雨季, 且当年出现了自 1945 年有记录以来的历史性持续强降雨, 甚至超过了百年一遇的标准, 此时的土方工程尚处于施工过程中, 由于持续性强降雨使得地下水获得补给, 盲沟出水量开始持续性增加。此外, 从图 24 中还可以看出, 盲沟流量存在小幅波动, 时间效应上稍微滞后于降雨峰值, 据测算, 该阶段的盲沟出水量峰值约为  $22.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

(4) 从 2013 年 10 月开始, 大部分土方施工任务基本完成, 且进入秋冬季节后降水减少, 地下水的外部降雨补给相应减少, 盲沟流量时程曲线虽然

出现了回落现象, 但其下降幅度明显小于土方填筑施工期, 即剔除人为施工扰动因素后, 盲沟流量随季节性的变化规律更为显著。

(5) 自 2014 年清明节开始, 降雨量逐步增多, 此时距离土方填筑竣工基本上已有半年之久, 盲沟水流量也相应开始回升。经现场观测, 此时的盲沟内水质清澈, 无明显泥沙流出, 表明地下盲沟运行良好, 隐蔽排水系统起到了地下水的防控与疏排作用。

(6) 自 2014 年秋冬季开始, 地下水外部补给减少, 2014 年 11 月 18 日桥沟盲沟出水口水流量为  $19.0 \text{ m}^3/\text{h}$ , 之后因盲沟附近施工停止监测。

需要说明的是, 在土方施工开始之前, 工程建设区内的泉眼多达 26 处, 经测算, 这些泉眼在冬季的累计出水量约为  $9 \text{ m}^3/\text{h}$ , 此外, 测得枯水期的沟底水系的流量约为  $9.4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。当填方工程竣工之后, 在 2014 年枯水期实测盲沟流量最小值为  $17.8 \text{ m}^3/\text{h}$ , 出现在 2 月 18 日当天, 该值大于土方填筑之前同一时期内各泉眼的流量之和。据初步测算, 场区内盲沟的平均流量和年净流量分别为  $20.2 \text{ m}^3/\text{h}$  和  $17.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 该值基本占到填方工程建设前年径流量的 53.8% 左右。

综合现场地下水位和盲沟流量的监测结果可知, 填方施工期间由于抽水等行为使得盲沟流量受到人为扰动影响, 高填方竣工半年以后, 盲沟出水量开始呈现季节性的波动, 流量峰值虽然与降雨量峰值存在时间上的滞后性, 但总体呈正相关趋势。综合来看, 施工期的盲沟出水量受工程扰动而发生明显变化, 竣工后则与当地降雨有着基本一致的响应关系, 竣工后的盲沟流量并未出现异常波动, 且竣工后的盲沟水质持续保持清澈, 无明显泥沙流出。实践结果表明, 该工程的工后隐蔽地下排水系统运行良好。

## 2.4 入渗特征

2013 年本工程所在的陕北地区经历了百年一遇的强降雨, 为了测试施工期填土的雨水入渗影响深度, 在现场选定两处低洼场地 ( $W_1$ 、 $W_2$ ) 进行测试, 期间累计降雨 26 d, 累计降雨量 600 mm。连续强降雨前后填土含水率对比如图 25 所示。降雨前, 填土内的含水率沿深度方向较为均匀, 差异性不大; 降雨增湿之后的测试结果表明, 连续强降雨对压实填土仍具有一定的影响, 但这一影响深度比较有限, 从含水率的测试结果看, 连续强降雨的影响深度仅在地表下 2.0~2.5 m 以内。

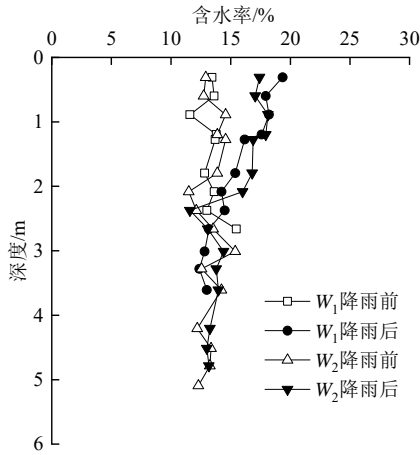


图 25 连续强降雨前后填土含水率对比

Fig. 25 Comparison of soil water content before and after continuous heavy rainfall

在雨季施工期，为了防止强降雨对造地面的大面积冲刷，在全区内修建了多道拦水坝，将连续降雨分级储蓄于各级拦水坝上游。本文为了获得长期浸水条件下的填土极限入渗深度，专门进行了相关测试（两个测点分别为 XS-1、XS-2）。长期浸水前后填土含水率对比如图 26 所示，含水率的测试结果和现场钻探取样结果共同表明，在新近压实填土经历了长达 3 个月的顶部浸水之后，其增湿的下限深度约为 7 m 左右。

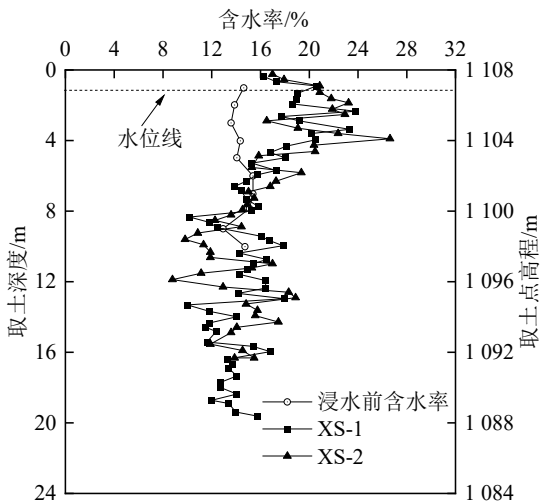


图 26 长期浸水前后填土含水率对比

Fig. 26 Comparison of soil water content before and after long-term immersion

需要说明的是，3 个月极端条件下的入渗试验是在施工期临时作业面填土尚未固结且无任何硬化处理的情况下开展的，实际工程均将依据用地需求采取进一步的硬化处理。即便是在施工期，相对于最大填方厚度 112 m 的高填方工程而言，7 m 的下渗深度相对较浅，足以表明本项目土方压实质量的可靠性。

### 3 结论

由于黄土的水敏特性，在黄土地区通过治沟造地的方式进行大厚度人工场地建设时，应高度重视水环境变化对于填方工程的影响。人工场地形成过程中，应采取因地制宜的地下水控制措施，实践证明，通过原地基盲沟疏排、特殊区专项处理、填筑体压实防渗、造地面硬化阻隔、施工期辅助控制等系列方法，可以构建可靠的排水系统。

典型工程案例的现场监测结果表明：施工期的盲沟出水量受工程扰动而发生明显变化；竣工后的盲沟流量则与季节性降水量正相关，并随季节周期性波动。当地下水经过一个动态调整过程趋于新的平衡状态，全区地下水水位稳定，且盲沟内水质清澈时，可研判地下水控制系统运行良好。

鉴于黄土丘陵沟壑区人工场地工程地质条件的复杂性，且由于各建设领域的关键性控制因素、工程性状、地形地貌、水文补给、应力状态均不同，类似场地工程应根据其具体特点与条件，制定针对性的环境水控制措施，确保大厚度人工场地填方质量和用地安全。

### 参考文献

[1] 张苏民, 张炜. 减湿和增湿时黄土的湿陷性[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(1): 57-61.  
ZHANG Sumin, ZHANG Wei. The collapsibility of loess during moistening and dry process[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1992, 14(1): 57-61.

[2] 曹杰, 张继文, 郑建国, 等. 黄土地区平山造地岩土工程设计方法浅析[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(增刊 1): 109-112.  
CAO Jie, ZHANG Jiwen, ZHENG Jianguo, et al. Design of high-fill reclamation projects in loess areas[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2019, 41(S1): 109-112.

[3] 中国机械设备工程股份有限公司, 机械工业勘察设计研究院有限公司. 一种黄土高填方沟谷地基排水结构: CN201920154772.9[P]. 2019-11-08.  
China Machinery Engineering Corporation, China JIKAN Research Institute of Engineering Investigations and Design, Co., Ltd. A drainage structure for loess high fill gully foundation: CN201920154772.9[P]. 2019-11-08.

[4] 中国机械设备工程股份有限公司, 机械工业勘察设计研究院有限公司. 一种黄土高填方沟谷地基排水结构: CN201920154772.9[P]. 2019-11-08.



- 研究院有限公司.一种黄土高填方边坡排水结构:CN202020941040.7[P].2021-03-19.
- China Machinery Engineering Corporation, China JIKAN Research Institute of Engineering Investigations and Design, Co., Ltd. A drainage structure for high fill loess slopes: CN202020941040.7[P].2021-03-19.
- [5] 郑建国,曹杰,高建中,等.黄土高填方工程地下水控制技术——以延安新区为例[M]//龚晓南,沈小克.岩土工程地下水控制理论、技术及工程实践.北京:中国建筑工业出版社,2020:327-347.
- ZHENG Jianguo, CAO Jie, GAO Jianzhong, et al. Groundwater control technology for loess high fill engineering: a case study of Yan'an new area[M]//GONG Xiaonan, SHEN Xiaoke. Groundwater Control Theory, Technology, and Engineering Practice in Geotechnical Engineering. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020: 327-347.
- [6] 曹杰,郑建国,张继文,等.不同边界条件下黄土高填方沉降离心模型试验[J].中国水利水电科学研究院学报,2017,15(4):256-262.
- CAO Jie, ZHENG Jianguo, ZHANG Jiwen, et al. Centrifuge model tests of loess high-filled settlement under different boundary conditions[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2017, 15(4): 256-262.
- [7] 郑建国,曹杰,张继文,等.基于离心模型试验的黄土高填方沉降影响因素分析[J].岩石力学与工程学报,2019,38(3):560-571.
- ZHENG Jianguo, CAO Jie, ZHANG Jiwen, et al. Analysis of influencing factors of high loess-filled foundations based on centrifugal model tests[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2019, 38(3): 560-571.
- [8] 张继文,于永堂,李攀,等.黄土削岭填沟高填方地下水监测与分析[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2016,48(4):477-483.
- ZHANG Jiwen, YU Yongtang, LI Pan, et al. Groundwater monitoring and analysis of high fill foundation in loess hilly-gully region[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2016, 48(4): 477-483.
- [9] 张炜,张继文,于永堂.第七届全国岩土工程实录交流会特邀报告——黄土高填方关键技术问题与工程实践[J].岩土工程技术,2016,30(1):12-19,38.
- ZHANG Wei, ZHANG Jiwen, YU Yongtang. Key technical issues and engineering practices in project construction of loess deep filled foundation[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2016, 30(1): 12-19, 38.
- [10] 周涛,木林隆,王乐,等.水位抬升下黄土高填方地基增湿变形试验研究[J].地基处理,2022,4(增刊1):128-133.
- ZHOU Tao, MU Linlong, WANG Le, et al. Experimental study on wetting deformation of high loess-filled foundations caused by groundwater level rise[J]. Journal of Ground Improvement, 2022, 4(S1): 128-133.