

文章编号: 1007-2993(2022)01-0022-04

# 黄土挖填方场地形成的关键岩土工程问题

蔡怀恩 张继文 李鹏军 刘 帅 梁小龙

(机械工业勘察设计研究院有限公司, 陕西西安 710043)

**【摘要】** 湿陷性黄土地区挖填方场地形成过程中会遇到众多岩土工程问题, 未有效识别和防治会发生工程事故。为避免相关工程事故的发生, 保证工程建设的安全, 基于工程实践剖析了黄土挖填方场地形成的关键岩土工程问题及处治措施。边坡与基坑的安全、地表水与地下水的防治、地基变形是主要岩土工程问题, 填筑体的湿化变形是重点难点, 加强防水是避免工程问题发生的主要措施。临坡顶建筑物应考虑嵌固, 临坡底建筑物应考虑基础(地下室)受到的不均匀土压力; 挖填接触面两侧、泉水出露点周围易形成饱和土体, 强风化岩层、单斜层状构造的强透水岩层为地下水的主要渗流通道。边坡治理、防排水、地基处理、基坑工程、建筑物嵌固等应系统考虑。

**【关键词】** 湿陷性黄土; 挖方; 填方; 地基; 变形; 边坡; 地下水

**【中图分类号】** TU 444

**【文献标识码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2022.01.004

## Key Geotechnical Engineering Problems in Loess Excavation and Filling Site Formation

Cai Huaien Zhang Jiwen Li Pengjun Liu Shuai Liang Xiaolong

(China Jikan Research Institute of Engineering Investigations and Design, Co., Ltd., Xi'an 710043, Shaanxi, China)

**【Abstract】** There are many geotechnical engineering problems in the formation of excavation and filling sites in collapsible loess area, and engineering accidents will occur if the problems are not effectively identified and prevented. In order to avoid the occurrence of related engineering accidents and ensure the safety of engineering construction, the key geotechnical engineering problems and treatment measures based on engineering practice were analyzed. The safety of slope and excavation, the prevention and control of surface water and groundwater, and foundation deformation are the main geotechnical engineering problems. The wetting deformation of filling body is the key and difficult point. Waterproof and drainage are the main measure to avoid engineering problems. The buildings near the top of the slope should be embedded, and the uneven earth pressure on the foundation (basement) should be considered for the buildings near the bottom of the slope. It is easy to form saturated soil on both sides of the excavation and filling interface and around the spring point. The main seepage channels of groundwater are in strongly weathered rock and strongly permeable rock with monoclinic structure. Slope treatment, waterproof and drainage, foundation treatment, excavation engineering, building embedment should be considered systematically.

**【Key words】** collapsible loess; excavation; fill; foundation; deformation; slope; groundwater

### 0 引言

我国湿陷性黄土主要分布在太行山以西、青海省日月山以东、关中平原以北、长城以南广大地区, 跨山西省、陕西省北部、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区及河南省等地区, 占地范围大, 地形地貌复杂, 有丘陵、中低山、台地、平原等<sup>[1]</sup>, 无论是丘陵、中低山、台地还是平原, 均发育有沟谷或斜坡地形, 在沟谷或斜坡区进行工程建设, 会产生挖填方工程场地。

挖填方工程场地既有大规模的城市造地, 如延安新区、兰州新区、兰州市周边, 也有具体的单个的点、线状工程, 如单个住宅区、独栋建筑物、铁路与公路局路段、机场工程。湿陷性黄土地区的挖填方场地既有与其他地区挖填方场地的相似点, 也有不同点, 主要为填筑体填料的来源为湿陷性黄土、压实黄土在受水浸湿下会发生湿化变形, 而填筑体下的原地基有湿陷性黄土, 不但会发生压缩变形, 在受水浸湿下也会

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2020ZDLSF06-03); 国家重点研发计划项目 (2017YFD0800501)

作者简介: 蔡怀恩, 男, 1981年生, 汉族, 甘肃庆阳人, 高级工程师, 主要从事岩土工程、工程地质、水文地质方面的勘察和研究。

E-mail: 46578650@qq.com

产生湿陷变形。多种不利因素的叠加使湿陷性黄土地区挖填方工程成为一个复杂的工程。在挖填方地基上进行工程建设必然会遇到众多的工程地质问题,若对遇到的工程地质问题不进行预防,后期易出现相应的工程问题,例如建筑物地基不均匀变形导致建筑物倾斜、室外地坪发生不均匀沉降甚至出现塌陷坑、边坡支护结构出现异常变形等。这些工程问题治理难度大、费用高,甚至会出现无从下手的局面或花费大量的财力达不到较为理想的效果,因此只有提前识别、有效防治才能避免相关工程问题的发生。本文分析研究了湿陷性黄土地区挖填方场地工程建设引起的或遇到的岩土工程问题,提出了相应的措施建议,为湿陷性黄土地区挖填方场地工程建设提供借鉴。

### 1 边坡、基坑工程

湿陷性黄土挖填方形成的边坡类型有自然边坡、挖方边坡和填方(填土)边坡。自然边坡、挖方边坡目前已有成熟工程对策和具体措施,不再详述;填方(填土)边坡已有大量研究成果,朱存磊得出控制黄土填方边坡稳定性的敏感性依次是马道、坡率、坡高,随着马道的增加,稳定性大幅度增加,随着坡率和台高的增加,稳定性系数降低<sup>[2]</sup>;霍晨琛认为地下水上升降低黄土高填方边坡的稳定性<sup>[3]</sup>。研究建议填方边坡区尽量减小坡度、增加马道的数量和宽度,加强坡体和坡脚排水,验算坡体稳定性的抗剪强度参数宜在室内试验结果的基础上进行相应的折减。

根据建筑物与边坡的相对关系,可分为建筑物位于边坡坡顶和建筑物位于边坡坡底两大类。位于边坡坡顶的建筑物不但要考虑边坡的稳定性,还应考虑建筑物的基础嵌固,一般经验是基础底面至边坡的水平距离应大于基础底面至坡底高差的2倍,并应保证边坡的稳定。位于边坡坡底的建筑物,临坡侧基础及基坑开挖支护结构所受的土压力应考虑边坡附加荷载形成的土压力,当边坡坡体附加荷载产生的土压力过大时,应在基础外设置永久性的支挡结构,无支挡结构时应注意基础(地下室)两侧不均匀土压力。

### 2 地下水与地表水防治

#### 2.1 挖填方后地下水的径流模式分析

挖填方后对改变地下水的流场,不同区域对地下水的影响不同。

##### (1) 挖填接触区域

挖填接触面区域产生不均匀变形裂缝,大气降水或管道渗漏等水体沿裂缝入渗,在局部区域挖填方交接部位浅部形成窝状饱和土体或上层滞水区(见图1)。

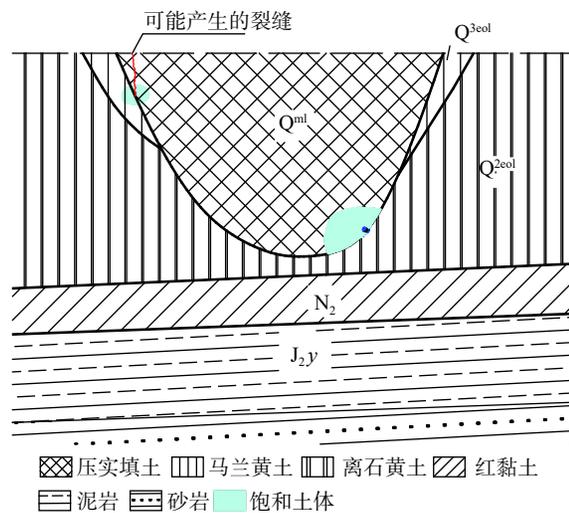


图1 挖填接触面处及黄土孔隙水形成的滞水区特征

##### (2) 黄土孔隙水出露区

黄土沟谷区部分区域有黄土孔隙水泉水出露点或隐藏的黄土孔隙水泉水出露点<sup>[4]</sup>,填方后泉水出露点继续向外渗水,在泉水出露点附近产生滞水或饱和土体,随着时间推移,饱和土体区域逐渐增大(见图1)。

##### (3) 基岩裂隙水出露区

陕北、陇东等区域沟谷中出露有强风化层和单斜层状构造的含水层泉水出露点<sup>[4]</sup>。强风化层渗透性好,达到强透水或极强透水,分布连续,层位受侵蚀影响,起伏大,总体特征为黄土梁峁区层位高、沟谷区层位低、沟谷上游区层位高、沟谷下游区层位低。填筑区单斜层状构造的含水层出露点高于谷底,层状岩层走向一般平行于沟谷、倾向垂直于沟谷,岩性以砂砾岩为主,透水性良好,达到强透水。

强风化层及单斜层状构造的含水层及强透水层渗透性好,为该区域填方后地下水的主要渗流通道。强风化层及单斜层状构造含水层的水在沟谷底部汇集,经沟谷中强风化层向沟谷下游径流(见图2),当地下水不能及时向沟谷下游径流而使水位抬升时,地下水沿单斜层状构造的下倾方向向填筑区外径流(见图3)。

#### 2.2 地表水体

地表水体主要有大气降水、工程中的管道渗漏等。

#### 2.3 地表水与地下水的疏排

地表水及地下水不能及时疏排,将引起局部填筑体的含水率增加甚至饱和,引起地基变形。应对地表水和地下水进行有效引排和疏排。疏排应注意:

(1)充分利用天然渗流通道如渗透性强的强风化层,挖填方时不应破坏分布连续的天然渗流通道。

(2)无天然排水通道或天然排水通道不能满足排水要求时,可采取地下盲沟排水<sup>[5]</sup>等措施。

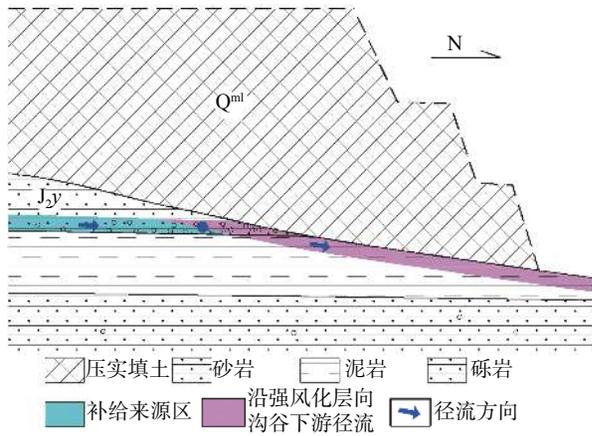


图2 沿强风化层径流模式示意图

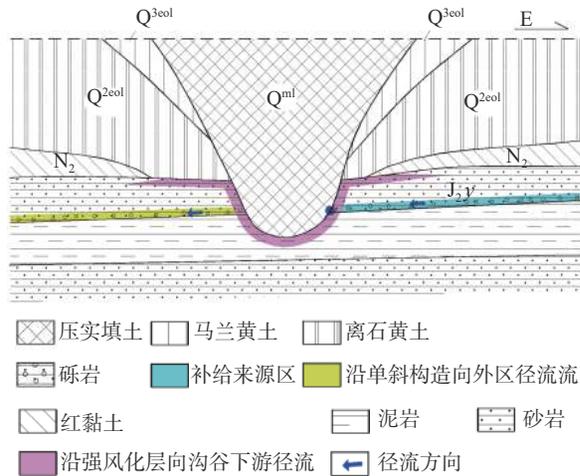


图3 沿单斜层状构造横向径流模式示意图

(3) 地下排水时, 应注意泉水出露点及隐形的泉水出露点。

(4) 地表水疏排时应与边坡治理工程相结合。

(5) 地表水疏排时在挖填方接触部位应采取相应的措施, 防止地表水在挖填方接触部位大量汇集或沿挖填方接触部位微小裂缝入渗。

(6) 横跨挖填接触面的管道、排水沟等, 在挖填接触面两侧应设置抗变形结构措施和检漏防水措施。

### 3 地基处理与地基变形

#### 3.1 地基特征与地基处理

湿陷性黄土地区挖填方的地基类型有挖方地基、填方(填土)地基、半挖半填地基。填方(填土)下部的原地基有湿陷性黄土地基(自重、非自重)、非湿陷性土地基(粉质黏土、粉土、砂土、碎石土、基岩)。地基变形与地基特征、地基处理和上部荷载等因素有关, 最主要的决定因素为地基特征, 主要的地基特征及地基选型如下:

##### (1) 自重湿陷性黄土地基

自重湿陷性黄土挖填方工程地基的施工顺序一

般为填方区湿陷性黄土处理(挤密法、强夯法等)—挖方区挖方与填方填筑体回填(分层碾压回填、夯实回填等)形成第一地基。在第一地基上根据上部荷载及所在部位确定后续地基处理方案。挖方区根据荷载大小选用挤密法、强夯法或桩基础; 横跨挖填方(半挖半填地基)区域应采用桩基础, 挖方段可根据自重湿陷性土层厚度情况在桩基础施工前采用挤密等措施消除黄土自重湿陷性; 填方区建议采用桩基础, 对于填筑体厚度小于 5 m、填筑体厚度变化不大区域的体型简单、荷载小、变形要求不高的建筑物也可在填筑体上铺设灰土或水泥土垫层作为地基处理层。

##### (2) 非自重湿陷性黄土地基

非自重湿陷性黄土地基若湿陷性土层厚度大, 地基特征及地基处理与自重湿陷性黄土场地相同, 若填方区湿陷性土层厚度小, 在填方前可先不对原地基处理, 清表后进行填筑体的回填(分层碾压回填、夯实回填等), 然后进行挖方区地基处理(换填垫层、挤密或强夯法)。

挖方区换填垫层、挤密法、强夯法承载力能满足上部荷载要求时, 可不再进行下一步地基处理, 不能满足上部荷载要求时, 可采用桩基础或其他复合地基。横跨挖填方(半挖半填地基)区域应采用桩基础。填方区的地基基础方案选型同自重湿陷性黄土地基。

##### (3) 非湿陷性土地基

非湿陷性土地基指填方区的原地基及挖方后的地基均无湿陷性土层(粉质黏土、粉土、砂土、碎石土、基岩、无湿陷的黄土), 填筑体的物料来源为湿陷性黄土。非湿陷性黄土地基的施工顺序为清表后(有淤泥时应挖除)填方填筑体的回填(分层碾压回填、夯实回填等), 然后进行挖方区开挖。挖方区天然地基能满足上部荷载要求时, 可采用天然地基, 天然地基不能满足上部荷载要求时, 可采用复合地基或桩基础。横跨挖填方(半挖半填地基)区域应采用桩基础。填方区的地基基础方案选型同自重湿陷性黄土地基。

#### 3.2 地基变形及相关问题讨论

##### (1) 地基变形

挖填方地基变形主要包括填筑体的固结变形与湿化变形、原地基的压缩变形与湿陷变形、填筑体变形与原地基变形的叠加变形, 不同地基组合的变形机理及规律不同, 地基变形量的差异使地基产生不均匀沉降, 填筑体的固结变形、原地基的压缩变形已有理论可以预测, 但压实黄土在受水浸湿下的变形量及变形机理相关研究较少, 甄平福等通过黄土高填方场地大型现场浸水试验得出, 当填筑土发生湿化甚至饱和的

情况下产生湿化变形,沉降量会在短期内大幅增加<sup>[6]</sup>。朱才辉等认为湿陷性黄土地区强降雨会在挖填方地基的填挖方交界面处产生过量的差异增湿沉降和剪切应变突变<sup>[7]</sup>。苏立海认为地下水位上升对填筑土变形影响较大,地下水位每抬升填筑高度的2.5%,附加的工后沉降增加14%<sup>[8]</sup>。综合分析可得,在湿陷性黄土地区挖填方地基应高度关注压实黄土的湿化变形。

#### (2)湿陷性黄土地基先填后挤还是先挤后填

湿陷性黄土地基基础上的填方地基有两种处理思路,分别是先挤密原地基再按要求回填和先回填后统一挤密。根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)<sup>[9]</sup>及《湿陷性黄土地区建筑标准》(GB 50025—2018)<sup>[10]</sup>的压实性指标和工程经验,挤密对压实黄土的物理力学性质也无明显变化,因此建议先处理原地基,再进行填筑体施工,填筑体的压实系数不小于0.97,既可达到密实性要求,也可节省工期、节约成本。

#### (3)换填垫层的承载力使用

压实填土在受水浸湿前,地基承载力会很高,但受水浸湿后地基承载力会降低,其具体的数值实测值很少,韩自刚<sup>[11]</sup>对宁夏南部地基采用4 m换填垫层时的承载力使用值建议不超过140 kPa。根据已有的工程经验,压实黄土受水浸湿后的变形随压实黄土厚度的增加而增加,因此对于压实黄土大于4 m时,承载力特征值建议不超过140 kPa。

#### (4)大厚度填方对桩基参数的影响

大厚度填方地基不但有自身的固结变形,还会发生湿化变形和原地基的变形,故大厚度填方压实填土的侧摩阻力不宜过大。在填土固结变形未完成时进行桩基施工,压实填土的侧摩阻力特征值可取0 kPa或负摩阻力,在固结变形稳定后进行桩基施工,其侧摩阻力特征值可取正摩阻力,但不宜大于10 kPa。

## 4 监测

### 4.1 地基土变形监测

填筑体及原基的变形监测内容有:(1)填筑体的过程分层变形监测(含垂直和水平)和填筑后的地面变形监测(含垂直和水平);(2)填筑体原地基土层沉降监测;(3)建筑物的沉降观测。

### 4.2 边坡(含基坑)监测

监测内容包括坡体的垂直位移和水平位移、坡顶的垂直位移和水平位移、支护结构的垂直位移及水平位移。边坡的稳定受降水影响较大,因此在强降雨及长期降雨时应加强监测。

### 4.3 地下水监测

地下水影响地基的变形及稳定,建议开展地下水监测,监测内容有上层滞水、黄土孔隙水、风化壳基岩裂隙水及单斜构造含水层的水位监测。

## 5 结论及建议

(1)湿陷性黄土地区挖填方场地应注意的岩土工程问题有边坡与基坑工程、地表水与地下水的防治、地基变形,重点难点是填筑体的湿化变形,加强防水是避免工程问题发生的主要措施。

(2)湿陷性黄土地区挖填方地基类型有挖方地基、填方(填土)地基、半挖半填地基。填方(填土)下部的原地基有湿陷性黄土地基、非湿陷性土地基。

(3)挖填接触面两侧、填方前的泉水出露点周围易形成饱和土体,强风化岩层、单斜层状构造的强透水岩层为地下水的主要渗流通道。

(4)临坡顶建筑物应考虑嵌固,临坡底建筑物应考虑基础(地下室)受到的不均匀土压力。

(5)湿陷性黄土地区挖填方场地是一个很复杂的系统工程,边坡治理、防排水、地基处理、基坑工程、建筑物嵌固等应系统考虑,对相关工程地质问题有效预防才能避免相关工程事故的发生。

(6)填筑体的湿化变形及承载特性是挖填方场地工程建设的关键点,研究成果较少,建议开展专项研究。

## 参 考 文 献

- [1] 甘枝茂. 黄土高原地貌的基本特征[J]. 中学地理教学参考, 1993, (10): 5-7.
- [2] 朱存磊. 兰州低丘缓坡区黄土填方高边坡最优方案及其应用[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [3] 霍晨琛. 地下水位上升对黄土高填方边坡稳定性的影响研究[D]. 西安: 长安大学, 2016.
- [4] 蔡怀恩, 张继文, 郑建国, 等. 浅析延安黄土丘陵沟壑区水文地质特征[J]. 岩土工程技术, 2019, 33(5): 288-292.
- [5] 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.
- [6] 甄平福. 黄土高填方场地大型现场浸水试验研究[D]. 西安: 长安大学, 2018.
- [7] 朱才辉, 李 宁. 降雨对沟谷状黄土高填方地基增湿影响研究[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(5): 845-854.
- [8] 苏立海. 深厚黄土高填方工后变形机理与沉降规律研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2016.
- [9] JGJ 79—2012 建筑地基处理技术规范[S].
- [10] GB 50025—2018 湿陷性黄土地区建筑标准[S].
- [11] 韩自刚, 张刚柱. 宁夏地区深厚湿陷性黄土地基处理方案研究[J]. 岩土工程技术, 2019, 33(2): 63-65, 88.