

公路工程路基湿陷性黄土部位施工技术

孙杰

甘肃华昊建设工程有限公司

摘要：文章以公路工程路基湿陷性黄土部位施工技术为研究方向。对公路工程路基湿陷性黄土部位成因进行分析与研究的基础上，产生了公路工程路基湿陷性黄土部位处理方法，继而选取G109工程为例，旨在为我国公路工程路基湿陷性黄土部位施工技术提供理论指导与帮助。

关键词：公路工程；路基湿陷性黄土；部位施工；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.05.050

引言

公路工程路基湿陷性黄土部位根据其作用机制可分为高可溶盐湿陷性黄土和高孔隙率湿陷性黄土，二者作用机制存在差异，需对其作用机制进行准确识别后提出有效防治方案。文章选取G109线工程为例，旨在为我国公路工程路基湿陷性黄土部位施工技术应用提供理论指导与帮助。

一、工程概述（请重点阐述该项目的基本情况，建设规模、长度、地质情况等，并署名具体名称）

黑石镇G341连接道（黑石村至太平山）建设项目位于甘肃省兰州市皋兰县黑石镇，路线全长3.17Km，起点位于甘土公路，途经黑石川中学、黑石村，终点至规划园区一号路。本道路是黑石镇道路的重要组成部分，对促进黑石镇矿产资源的开发、促进区域经济快速发展以及进一步完善黑石镇农村公路基础设施建设等方面意义重大。全线采用三级公路技术标准，道路宽度为18m，设计行车速度30Km/h，最大纵坡1.682%，圆曲线最小半径400m，平曲线最小长度270.5m，桥涵设计荷载公路-II级，涵洞设计洪水频率1/25。本标段里程为K0+000-K3+169.671。根据G341连接道（黑石村至太平山）建设项目两阶段施工图设计。

二、施工准备

此次技术以孔内深层强夯（SDDC桩）加固处理为主要施工技术。具体要求如下：

（一）材料及设备选择

施工材料作为保障整体施工质量的重要组成部分，此次施工材料选择如下：

表1 施工材料选择

序号	类型	标准
1	素土	选择塑性度为10-20黏土、粉质黏土或粉土，土壤中有有机质含量不能大于5%，并且不能包含冻土和膨胀土。
2	黏土	黏土材料应经过筛分，粒度不得超过15mm；黏土材料中不能含有砖、瓦，石头等杂物。
3	水泥	选择强度为32.5级普通硅酸盐水泥，初凝时间不低于4小时，终凝时间不低于6小时，并不超过10小时。不得使用过期、受潮、结块、劣质水泥，水泥应通过测试，并满足GB175-2007《通用硅酸盐水泥》规定 ^[5] 。

在机具设备选择上，钻孔装置主要采取钻孔钻进法的同时，夯打机械采用10吨以上夯锤，将桩头打到规定深度，确保桩头紧实度及对下层土壤进行强化。

三、施工流程

（一）桩构造和布置

直径SDDC桩为螺旋钻进法，直径为120cm，经过夯扩挤实后直径为180cm；以300cm为单位按等三角形排列，间距为259.8cm。此次工程选择孔内深度强夯法和钻孔灌注桩相结合方法，其施工步骤是：

1. 桩位设计

桩位设计时以钻孔灌注桩为基准，采用孔内深度强夯法在钻孔灌注桩位置上成孔（成孔直径1.2m），解决大厚度杂填土地基中成孔问题。成孔之后，在孔中填充素土，再一次使用孔内深层强夯法对素土成桩（成桩直径1.8m），在1.8m素土挤密桩上钻孔，下钢筋笼，最终形成高承载力钢筋混凝土灌注桩。为保证公路承载力，该桩位设置在剪力墙之下。

2. 钻孔灌注桩桩位

钻孔灌注桩桩位决定后对其余部分进行全覆盖布置，并在孔中用深度强夯成孔，成孔直径1.2m，就地填充杂填土再用立柱锤击将杂填土压实形成碎石桩。该桩在整栋建筑物的作用是挤压剪力墙之外地基土增加基础密实度，并减少湿陷性。

（二）施工工艺

具体技术规格如下：

序号	控制要点
1	钻孔工具钻孔，钻孔垂直度要控制在1.5%以下，钻孔中心误差不能超过50mm，钻孔直径和钻孔深度都不能比设计小。
2	钻孔及钻孔回填密实施工次序：在整体处理情况下，宜按间距由内而外分次进行；在进行局部处理时，应由外而内，每隔1~2个孔洞，以达到挤密路基土壤目。
3	采用C30级桩承式路堤，使用32.5 R普通硅酸盐水泥作为路基填筑。

4	夯击重量大于12kg，夯实深度大于1.0m。通常情况下，每批25-30 cm虚填，夯击7击，夯实前后每次沉降量不超过5 mm为最佳夯击数量。
5	因要加固地基通常含水率很高，所以钻孔时容易产生收缩，可以在钻孔时适当加入少量水泥，然后反复敲打，以确保钻孔质量，钻孔后及时进行回填。

1. 测量桩位置

按设计桩号、排距和桩身间距进行测量，桩孔径为150mm，桩长度为3.0~8.0m，桩埋设深度为1~1.5m，长度不少于1m。桩与桩之间间距为0.5m，呈对称分布。

2. 已到位钻井设备

确认所打桩位置正确后将钻机移至相应位置，并将其调节至与打桩中心线一致。

3. 钻孔

使用XY250型钻机、GY型钻机，钻孔或螺丝钉，孔径为150mm，孔深为5~10m，垂直度为1.5%，孔心偏移不超过50mm，钻孔过程中不允许注入水。

4. 填土压实，成桩

桩承式路堤施工，应保证填筑时填筑质量，填筑完成后应在2个小时之内完成填筑。桩身夯填前，应先打底夯10遍后再用特制量具量料进行回填夯扩（推荐用高250 mm，中150 mm的量具）。每次虚填厚度为25cm-30cm，夯扩时候使用重120 kg重锤，落距超过1.0 m，夯实次数不少于7次。

5. 封孔和封口

桩基浇筑到铺装结构层后更换填料进行封孔，用C30膨胀混凝土振捣，使其紧密及表面光滑。

6. 填土

路床0-30cm处用碎石填充，此外，以黄土为填方情况下，填方中，以每2.0 m填方高度利用500 kN.m夯击能量对其进行一次强夯及补方。在有结构物排水槽中，在台后回填区（不少于6m）地基上不得进行强夯；在进行回填时，建筑物顶端4m以内区域也不允许进行强夯处理；在4m以上使用强夯情况下，夯击能量不应超过1000

kN。

7. 坡面防护

填方路基坡面应种植适宜本地生长植物，并在填方路基二级坡（1: 1.75）之下，应用网状结构对其进行保护。开挖边坡碎石平台与排水沟之间应在平台上设置一条绿地，绿地边缘应高出平台5cm。用25cm厚浆砌片石块围挡边坡平台，并设30cm宽浆砌片石块平台排水槽。

对于二级或二级以上坡面，在一级坡面上采用中空六边形预制构件进行保护。若挖方断面有挡墙，仅在土壤允许范围内用六边形预制砖进行保护，并在挖方断面过渡段做好挡墙调整。

在路基挖方路段在冲沟处设急流沟时，要注意把入口保护到冲沟深处，在冲沟底部和两边，必要时可以用干砌块石进行保护。

8. 黄土路堤排水

（1）路堤排水体系包括边沟、截水沟、泄水沟、急流沟、渗（盲）沟和桥梁等，所有排水体系都是由浆砌片石或者是混凝土预制构件构成，在排水沟底部，铺上15cm厚2: 8灰土（按体积比计算），并在边沟灰土垫层下面铺上涂有沥青土工织物，防止渗漏。（2）在路堑边沟底面，挖一条长60 cm深，宽与边沟底面宽度相同纵向碎石渗流沟。（3）路基排水管道与天然地面排水管道应畅通连通；边沟应设在河床底排水沟中，不得在河床桥头或河床斜坡上截流；挖方段要确保截水沟、平台流水槽、边坡急流槽设置数量、长度以及边沟顺畅连接，确保排水畅通。

（三）施工质量控制

1. 控制要点

公路工程路基湿陷性黄土部位施工控制要点如表2所示。

2. 质量控制

（1）此次设计路段中存在2个对道路有很大影响的

表2 公路工程路基湿陷性黄土部位施工控制要点

序号	控制要点
1	桩基施工中，为防止对已建桩产生破坏，应依据试桩条件，确定合适施桩次序。在成桩期间，对已压入桩头进行变形监控。
2	桩位置容许偏移75mm，桩垂直度误差不得超过1%。
3	在填筑之前，应先打空心夯，以确保孔底紧实度及填筑厚度达到设计要求。
4	在工程中，使用隔排跳桩进行桩基施工。
5	桩基完成后，对表面受扰动土体，采用满夯方法进行加固。在试验中，只有满足设计要求，才能在此基础上进行铺筑。
6	在冬季和雨季进行施工时，应采取防雨和防冻措施，以避免土材料被雨季打湿或冻住。
7	在钻孔灌注桩施工中，应按照《孔内深层强夯法技术规程》（2006）要求，严格执行钻孔灌注桩质量管理与检查。如实际情况和设计数据出现偏差，要及时联络和修正。
8	桩基施工中，为防止对已建桩产生破坏，应依据试桩条件，确定合适施桩次序。在成桩期间，对已压入桩头进行变形监控。

人工填筑物，其中主要为素填土，颜色为浅黄色、深黄色等，略潮湿，松散一稍密土壤，主要成分是新近黄土状粉土，填筑时间约在5年以上，且天然堆积，主要工程地质问题是填土不均匀沉降对路基造成影响。在线路两边，都是经过平整填方，最大填方厚度在26.7m左右。下层为黄土，黄土状粉质土壤。高湿度，属于IV级（非常严重）自重湿陷黄土场地。在处置方法：该场地因充填层太厚，采用灰土挤密桩机，不能到达该区域，不能满足我国有关湿陷黄土地残存湿陷规定。

(2) 场地内垃圾经清除并达到设计高度后，由于垃圾组成比较复杂，尤其是混凝土粒度差异大，单纯采用一台机器难以实现成孔目标，结合实际，提出采用旋转钻机作为主要工具，采用旋转钻具辅助工具，旋转钻具采用圆柱桩与螺旋钻相互配合，对于较大混凝土块体，采用SDDC大锤将其夯开，或者进行破碎，将其从井壁中分离出来，采用多台设备联合作业，可获得良好结果。

(3) 残渣回填区域仍然是原位下卧层，并与建筑物地基直接接触，如不加以治理，必然会出现问题。由于残渣在成堆过程中先后顺序、埋深、与黄土成层厚度变化较大，加之湿陷性黄土性与残渣孔隙密度差异较大，故可使用SDDC桩进行加固。

(4) 渣土区选材主要有渣土和纯土两种，对SDDC选材进行研究。需做钢筋混凝土灌注桩点位，回填夯实时采用素土，为后续灌注桩做好成孔准备，其他满堂布SDDC桩则用渣土。在桩位置设计中，最好先以混凝土灌注桩作为基准，再用SDDC沉渣桩。在布置桩基时候，应该互相配合，对渣土桩间隔进行适当调节，并在施工过程中使用不同重锤，落下距离，打击数，填充物数量等来进行均衡调节和纠偏。

(5) 关于桩长，桩径，桩距：SDDC桩长应穿过湿陷性黄土地层和渣土回填平整后桩顶高度，一直到最大渣土层。将这两种方法进行对比，将最大厚度作为桩长（可适当减1.5—2.0m影响深度），桩径1.4~1.8m，桩间距1.6~2.8m，考虑到上层主体为高层，为保证地基处理效果，桩间距不能太大。在钢筋混凝土灌注桩施工中，首先对SDDC桩进行预处理，为混凝土桩做好预备，并以混凝土桩身位置为基准，桩身选用普通土质。

(四) 检验标准及结果

具体检验标准可参考表3。

表3 检验标准

序号	标准
1	桩体上部采用1:8水泥土层（桩顶8m之下是纯土），且密实度不低于0.97；
2	桩间土体平均压实度不大于0.93。
3	符合《孔内深层强夯法技术规程》标准

实际观测结果如下：

表4 检验结果

序号	检验结果
1	自然基础上湿陷性黄土 Δs 在0.001-0.014范围内，满足现行规范要求。
2	单根填土压实度比0.98-0.99高，比0.97高，挤密度比0.94-0.95高，比0.93高。
3	渣土桩密度，使用超级重载动态触探（N120），最少桩次4~34次/10cm，最多是18~34次/10cm，通常是11~34次/10cm，桩密度从中等密度到非常密度。
4	桩与桩之间残渣击数在3—33次/10cm之间，最大在11—34次/10cm之间，平均在7—19次/10cm之间，桩与桩之间土层密度较大，桩与桩之间土层密度要比普通自然地基好得多。

充分考虑甲级建筑标准基础上彻底排除湿陷性黄土性，并在楼基上采用全覆盖式打桩方式，对桩体和周围残渣进行从孔底到孔口处压实，使残渣桩复合地基承载力达到350kPa以上。用深度强夯加固钢筋混凝土钻孔灌注桩单桩垂直承载能力，在实测Q~S曲线末尾没有发生折断，表明实际承载能力比设计值高出6600kN。

结论

综上所述，在选择湿陷性黄土处理方法时应该以路基地段湿陷性类别、湿陷等级、地区特点为依据，将因地制宜、就地取材原则纳入其中，并以施工技术可能实现条件为依据进行技术、经济比较后进行选择，必要时可将几种方法综合考虑。

参考文献

[1]徐志彪.湿陷性黄土地区高填方路基微型钢管桩加固技术分析[J].安徽建筑,2023,30(01):148-149.
 [2]杨臻杰.湿陷性黄土路基加固强夯法施工振动技术研究[J].甘肃科技,2022,38(24):44-47.
 [3]毛永鸿.湿陷性黄土路基沉陷的分析与处理[J].居舍,2021(16):87-88+90.
 [4]赵天宇,王伟锋,陈伟,李论基,安亮.甘肃湿陷性黄土公路工程地质分区研究[J].水利与建筑工程学报,2021,19(02):94-100.
 [5]孙守璋.公路工程湿陷性黄土路基施工的措施[J].冶金管理,2020(11):124-125.

作者简介：孙杰，男，1985.01.17，甘肃省张掖市甘州区，专科，工程师，研究方向：公路工程施工。