

管桩在公路软基处理应用中的技术把控要点

毛 斌

(浙江数智交院科技股份有限公司 杭州 310030)

[摘 要] 预应力管桩具有质量稳定、施工快捷、竖向承载力高等优点，目前在公路软基处理中的应用已较为广泛；但由于管桩的抗水平力较弱、对变形敏感等特征，在淤泥质软基处理中使用不当容易出现路堤滑塌、结构物不均匀沉降、路表波浪起伏等病害。文章结合实际工程案例，剖析病害原因，并提出设计及施工方面的技术对策，以提高公路桩承式路堤的稳定性和耐久性。

[关键词] 预应力管桩；软土地基；案例；变形；稳定性

1 前言

预应力管桩由于采用工厂化预制、机械化施工，具有桩身强度高、施工快捷、竖向承载力高、地基处理工后沉降小等特点，随着社会经济水平发展，以及道路建设工期紧、运营舒适等综合需求，以管桩为主的桩承式路堤在公路软基处理中应用越来越广泛；但是，在使用预应力管桩处理软基方面，公路的设计、施工、管理仍有认识不足，存在着“软基路段只要采用了管桩类处理地基就不会失稳”的片面思想。

如果桩承式路堤的参数设计不够合理、地质条件分析不到位，以及施工过程中管理粗放、精度不足、甚至偷工减料，就会出现路基滑塌、路面裂缝或颠簸、沉降凹陷、涵洞构筑物错缝等不良病害，影响工程质量与进度，浪费工程造价。因此，需要进一步分析关键技术细节，提高管桩应用的有效性。

2 管桩应用病害分析

2.1 桩承式路堤参数不合理

浙江省某项目位于海涂区，涂面以下淤泥质软土深达 27~30m，其下为硬土层（含角砾粉质粘土）及全~强风化凝灰岩，K31+730~K31+855 段为路基，平均填高约 8.5m，路基边坡坡率 1:2.0，平均底宽约 75m，左侧设宽 10m、

高 3m 的反压护道。此段软土地基设计为预应力混凝土管桩处理，管桩处理深度 30~34m 不等（以进入持力层深度及最后锤击贯入量确定），管桩间距 3.5m，按正三角形布置，桩顶设置 $\Phi 150\text{cm} \times 35\text{cm}$ 桩帽；预压期 6 个月。管桩施工完成后，开始铺筑土工格栅（设计抗拉强度 80kN/m 钢塑格栅），随后进行路基抛石填筑，填筑至 +4.6m 标高（桩帽顶平均标高约 0.0m），该段路基暂时未继续填筑。中止填筑期间该段路基做为施工道路使用并对其边坡进行修整，期间未发现路基失稳现象。十日后正值大潮，当潮水退至反压护道外侧时，发现路基左侧出现滑坡破坏，格栅断裂、管桩歪斜，外侧海涂面隆起。

原因分析：上述项目采用抛石及碎石为主的清宕渣填筑，填料偏粗且不均匀；桩间土在路基填筑加载过程中会产生沉降，特别是桩距大、地表硬壳层缺失或极薄情况下，加筋垫层不足以支撑桩间土的过大沉降，从而对管桩产生偏压水平力，尤其位于坡脚附近的桩体；当桩土抗力体系逐渐弱化，而外界突然附加一定不利外力时（如上述项目遇退潮叠加了额外水平力），桩承式路堤体系失衡破坏，发生滑塌。

刚性桩复合地基路堤滑塌实例、离心模型

收稿日期：2020-12-22

作者简介：毛 斌（1972- ），男，正高级工程师，主要从事路基路面研究工作。

试验等均表明^[3]，刚性桩承载力不足、桩距过大或桩帽太小会导致桩间土附加应力过大、桩间土沉降和位移较大，导致刚性桩受弯倾倒甚至断裂，从而引发桩土组合的抗力趋弱，随着荷载增加或时间累积，最终导致路堤滑塌（一般为非圆弧的倾倒型）。

2.2 竖向承载力差异导致的不均匀沉降

以管桩为主的刚性桩复合地基路堤，由于加筋垫层、土拱效应、填料属性等因素，路堤对管桩的不均匀沉降并不敏感；但对于管桩加固的箱涵（或盖板涵）结构，则上部刚性构造对管桩的不均匀变形反射明显。在沿海多条高速公路调研过程中，施工期或通车后均发现有箱涵结构出现管节错峰、扭转等病害。

原因分析：1、涵底范围管桩布置未对应基础，导致涵身应力传递不均匀；2、管桩打设过程中终孔控制原则缺失或未有效执行，仅以配桩桩长控制，而不管地质的变化导致的承载力差异；3、涵洞基础开挖过程中，基坑边坡过陡或临时支护不足，导致涵底管桩发生倾斜，诱发后期不均匀沉降；4、施工不规范，存在局部漏打现象甚至桩长不足。

2.3 土拱效应不足出现路面颠簸病害

在我省多个公路项目建设中，均出现过通车后管桩处理路段的路面呈现“蘑菇头”式的起伏病害，车辆行驶颠簸不平，对安全和路面耐久性产生重大不利影响。

根据国内外相关研究，由于土拱效应，桩承式路堤的填高与桩距之间存在一个经验关系： $H \geq 1.4 (Sa - B)$ ，其中 H 为路堤填筑高度， Sa 为桩的中心距， B 为桩帽的（有效）边长。实际工程应用中，部分设计人员基于填高（荷载）较小而狭隘认为管桩间距可拉大，未充分考虑上述“土拱效应”问题；也有的是施工时人为抬高了管桩打设基准面，导致上部填筑高度变小；导致桩间土沉降明显反射至路面，从而表征为一种路表病害。

2.4 施工不足

在沿海软土地区的浙江、福建、广东等省，均出现过公路桩承式路堤开裂甚至滑塌的病害；

除了软土地质差、桩距偏大等原因外，一些项目均发现实际施工的管桩竖直度达不到规范要求、甚至存在部分桩长打设不到位的现象^{[4][5]}，需要进一步加强施工设备及流程管理，重视施工现场质量管理。

3 管桩路基病害预防对策

（1）布桩参数：需结合承载力及稳定验算，合理控制桩距，一般不大于 3.0m，也可配合桩帽尺寸（一般不大于 1.5m）予以协调；对于无硬壳层软土区、傍山、沿河塘等软土性质差或变化大的路段，以及超过 6m 的高路堤段，可将桩帽通过钢筋砼系梁联接，以提高整体受力性及抗侧倾能力。

（2）加筋垫层：桩帽顶须设置加筋垫层，加筋材料宜选取强度高、变形小的土工布、格栅或格室类；填料偏粗或石质含量高时，底层加筋材料也可选用高强经编土工布，减小桩间土沉陷与刺入。

（3）涵底管桩处理：桩间距及平面布置需根据箱（盖板）涵基础尺寸、交角确定，桩长应按承载力控制，保证不同涵节之间变形的一致性、协调性。施工时严禁将基坑开挖土就近堆放，且应对基坑采取临时支护措施（钢板桩及横撑），或结合涵洞两端的软基处理，采取搅拌桩或旋喷桩类止水性地基处理措施。

（4）低填路堤：首先需尽量保证管桩间距满足路堤形成土拱效应要求；特殊情况下，也可通过设置沥青砼+钢筋砼板的复合结构，缓解填高不足导致的桩与桩间土沉降差引发的

图7为加固完成后隧道的位移云图,最大水平位移为0.28mm,最大竖向位移为1.90mm,最大收敛变形为0.13mm。由于在本模型中截取的隧道较短,沿轴向的位移分布较为均匀,但洞周位移有所差异。洞顶主要产生竖直向下的沉降,洞底为向上隆起,两侧则是水平向内的收敛。经验证,该结果满足控制要求。

3.3 模型三计算结果

图8为模型三中加固后盾构隧道的位移云图。隧道最大位移产生于拱顶,为1.15mm,两侧拱腰向内收敛值为0.2mm,因此水平位移相较于竖向位移可忽略不计。此数值与模型一、模型二的竖向位移相近,都在控制要求范围内,可认为加固后的盾构隧道具备了足够的安全性。

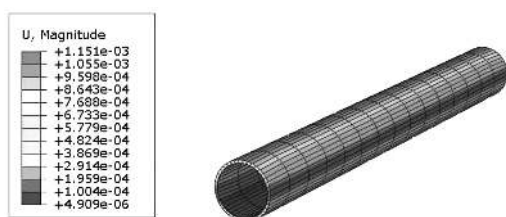


图8 模型三盾构隧道最大位移云图

4 结论

本文通过有限元方法对京杭运河浙江段航道整治工程杭州段东西大道的大桥施工过程进行了分析,对比了不同阶段下盾构隧道的水平位移和竖向位移,结合不同软件的计算结果得出以下结论:

1. 道桥的施工对隧道的水平位移有一定程

度的影响,会造成隧道的整体偏移,对竖向沉降则产生了较小的抑制作用。

2. 对道桥和隧道之间的土体进行注浆加固之后,隧道的大部分水平位移被抵消,垂直位移则受影响较小。

3. 利用Plaxis、Midas、Abaqus三个软件分别计算隧道加固后的情况,计算结果均符合控制要求,表明该加固措施足以保证隧道的安全性。

参考文献

- [1] 郝红伟,郭晓峰,尚春阳,张宏波.高富水砂卵石地层盾构隧道下穿既有铁路施工参数技术研究[A].中国建筑业协会深基础与地下空间工程分会、中国工程机械学会桩工机械分会、中国土木工程学会土力学及岩土工程分会.第十届深基础工程发展论坛论文集[C].中国建筑业协会深基础与地下空间工程分会、中国工程机械学会桩工机械分会、中国土木工程学会土力学及岩土工程分会:中国建筑工业出版社数字出版中心,2020:4.
- [2] 彭丽云,李广兵,刘德欣.新建车站上穿对既有结构变形的影响及数值模拟[A].中冶建筑研究总院有限公司.2020年工业建筑学术交流会议论文集(上册)[C].中冶建筑研究总院有限公司:工业建筑杂志社,2020:7.
- [3] 张治国,黄茂松,王卫东.层状地基中隧道开挖对临近既有隧道的影响分析[J].岩土工程学报,2009,31(04):600-608.
- [4] 毕强,吴金刚,马杰.新建隧道近距离上穿既有隧道的力学分析及工程处理措施[J].铁道建筑,2009(8):50-54.
- [5] 钱双彬,董军,陈方权,徐植.既有隧道受邻近盾构施工作用的变形行为研究[J].建筑技术,2009,40(01):78-81.

(上接第43页)场施工流程规范管理,避免出现路堤开裂、滑塌等病害。

(2) 无硬壳层、傍山、沿河塘或改河等软土侧限差、易水平变形路段,容易引发管桩倾斜,应加强桩间联接(如系梁),提高竖向及水平向承载能力。

(3) 箱(盖板)涵部位的地基处理管桩,应根据基础形式进行布桩设计,并按“竖向承载力一致”来进行桩长控制,避免不均匀沉降。

(4)