

平原区高等级公路低填浅挖路基设计探讨

应海见

杭州市交通规划设计研究院有限公司 浙江 杭州 310012

摘要: 低填浅挖路段由于天然地基土的物理力学指标难以满足规范和设计要求, 需要对地基表层土进行处理, 处理深度一般按路床范围控制, 尚没有成熟的计算方法。本文结合具体项目, 探讨了采用换填法处理时, 考虑路基工作区深度、路床深度、路基顶面回弹模量等因素综合确定换填深度的方法, 并对设计过程中需注意的问题进行了说明, 为类似工程的设计提供参考。

关键词: 低填浅挖; 路基工作区; 回弹模量; 设计

Discussion on Design of low fill and shallow excavation Subgrade of high-grade highway in plain area

Ying Haijian

Hangzhou Transportation Planning, Design and Research Institute Co., Ltd. Hangzhou 310012, Zhejiang

Abstract: In the low fill and shallow excavation section, because the physical and mechanical indexes of the natural foundation soil are difficult to meet the specifications and design requirements, the surface soil of the foundation needs to be treated. The treatment depth is generally controlled according to the scope of the roadbed, and there is no mature calculation method. Combined with specific projects, this paper discusses the method of comprehensively determining the replacement depth by considering the factors such as the depth of the subgrade working area, the depth of the roadbed, the modulus of resilience of the subgrade top, etc. when the replacement method is used, and explains the problems that should be paid attention to in the design process, so as to provide reference for the design of similar projects.

Key words: low fill and shallow excavation; Subgrade working area; Resilience modulus; Design

引言: 路基主要受到自重荷载和汽车荷载影响, 自重荷载随深度的增加而增加, 汽车荷载的影响随深度的增加而减小, 在某一深度处, 汽车荷载通过路面传递到路基的应力与路基土自重应力之比小于0.1的应力分布深度范围为路基工作区^[1], 路基工作区深度是确定路床厚度的依据, 但规范对路床厚度有具体规定, 而路基工作区深度需根据车轮荷载、路基土性质、路面结构情况等因素计算确定。规范要求新建公路路床应处于干燥或中湿状态^[1], 杭嘉湖平原区地形平坦开阔, 河网密布, 软土层广泛分布, 地下水位高, 低填浅挖路基由于路床全部或部分位于天然地基土层内, 一般处于潮湿状态, 需对一定深度内的地基土层进行必要的技术处理, 以满足设计技术要求。

1 工程概况

杭州地区某一级公路兼顾城市道路功能, 采用“高架桥+地面道路”的建设形式, 上层高架桥采用双向六车道, 桥梁宽26.5米, 下层地面道路采用双向六车道, 路基宽度42.0米, 路线全长约16公里, 设计汽车荷载等级为公路—I级。沿线为堆积平原区与剥蚀低山丘陵区, 地形地貌较简单, 工程地质条件较好, 存在特殊性岩土为软土、填土, 受沿线被

交道路、规划地块等因素控制, 部分路段为低填浅挖路基, 表层土主要为填土及粉质黏土, 设计采用换填级配碎石的方法进行处理。根据交通量预测, 设计使用年限内设计车道累计大型客车和货车交通量为 1.8×10^7 辆, 路面设计交通荷载等级为重交通荷载等级, 设计要求路床顶面 $\geq 50\text{Mpa}$, 沥青路面结构设计采用双轮组单轴载100kN作为标准轴载。

表1 材料设计参数表

层位	材料名称	厚度mm	20℃抗压回弹模量Mpa	泊松比
1	沥青玛蹄脂碎石 SMA-13	4	1400	0.25
2	中粒式沥青混凝土 Sup-20	6	1200	0.25
3	粗粒式沥青混凝土 Sup-25	7	1000	0.25
4	水泥稳定碎石	20	1200	0.25
5	水泥稳定碎石	34	1000	0.25
6	级配碎石		200	0.35
7	土基		50	0.4

2 换填深度的确定

换填深度需要综合考虑路基工作区深度、路床深度、路基顶面回弹模量等因素,即路基工作区深度不大于路床深度、处理深度不小于路床深度、处理后路基顶面回弹模量预估值应满足设计要求。

2.1 路基工作区分析

2.1.1 路基工作区深度计算

车轮荷载作用下,路基工作区深度计算公式为^[2]:

$$Z_a = \sqrt[3]{\frac{KnP}{\gamma}} \quad (1)$$

式中: Z_a 为路基工作区深度, m; P 为车轮荷载, 沥青路面规范采用轴重为100kN的单轴—双轮轴载作为设计荷载^[5], 车轮荷载为50kN, 公路—I级后轴重为140kN^[4], 车轮荷载为70kN, 考虑到公路运营过程中超载车辆的客观存在, 设计计算时, 车轮荷载取100kN; $K = 3/2\pi \approx 0.5$; γ 为土的容重, 取20kN/m³; n 为轮重引起的应力 σ_z 与路基土自重所引起的应力的比值为 σ_b , 取1/ n 。求得 $n = 10$;

$$Z_a = \sqrt[3]{\frac{0.5 \times 100 \times 100}{20}} = 2.92\text{m}$$

2.1.2 路面当量厚度计算

由于路基、路面不是均质体, 路面材料的强度远大于路基土, 路面以下工作区的实际深度随路面强度和厚度的增加而减小。因此, 要精确计算路基工作区在路基土中的深度, 需将路面结构层厚度折算为与路基土同性质的当量厚度, 换算公式为^[3]:

$$Z_e = \sum h_i \sqrt[m]{\frac{E_i}{E_0}} \quad (2)$$

式中: Z_e 为路面换算为路基土层的当量厚度, m; h_i 为路面结构层厚度, m; E_i 为路面材料的回弹模量, MPa; E_0 为路基土的回弹模量, 取50MPa; m 为开方的指数, 多层柔性路面为2.5 (介于塑性体 $m = 2$ 与弹性—刚性体 $m = 3$ 之间)。则:

$$Z_e = 4 \times \sqrt[2.5]{\frac{1400}{50}} + 6 \times \sqrt[2.5]{\frac{1200}{50}} + 7 \times \sqrt[2.5]{\frac{1000}{50}} + 20 \times \sqrt[2.5]{\frac{1200}{50}} + 34 \times \sqrt[2.5]{\frac{1000}{50}} = 2.44\text{m}$$

则汽车荷载作用于地基土中的深度为:

$$Z_a - Z_e = 2.92 - 2.44 = 0.48\text{m}$$

项目路面设计交通荷载等级为重交通荷载等级, 路床厚度为0.8m, 可知路基工作区深度位于路床范围, 按不小于路床厚度的深度处理满足要求。根据上述计算可知, 路面结构层相同时, 路基土回弹模量越大, 路面当量折算厚度就越小, 实际的工作区深度反而较大, 这对路基土回弹模量提出严格要求, 如果实测值小于设计值, 应该根据实际情况及时处理, 提高路基强度或增加路面厚度^[6]。

2.2 路基土顶面回弹模量预估

设计要求路基顶面回弹模量 $E_0 \geq 50\text{MPa}$, 因此需预估换填后路基顶面回弹模量是否满足设计要求。计算换填后的路基顶面回弹模量, 可先根据换填层底面地基土的回弹模量 E'_0 、泊松比 μ'_0 、换填材料回弹模量 E_1 、泊松比 μ_1 及换填深度 h , 采用弹性双层体系表面弯沉系数诺谟图查得弯沉系数, 求出换填层顶面理论弯沉值, 也可以利用路面设计软件求解, 计算时把换填层当做路面结构, 底部地基土当做路基顶面。由于求得的是路段内理论弯沉平均值 $\bar{l}_0$, 考虑到实际检测值的离散性, 还需根据当地经验确定湿度影响系数 K_1 , 并假定一个弯沉标准差 s , 才能求得弯沉代表值 l_0 。采用落锤式弯沉仪进行路基验收时, 路段内路基顶面弯沉代表值按下式计算^[5]:

$$l_0 = (\bar{l}_0 + \beta \cdot s) K_1 \quad (3)$$

式中 β 为目标可靠指标, 一级公路取1.28。项目沿线地下水位高, 表层地基土主要为粉质黏土, 天然含水量大, 承载力较低, 根据以往工程经验, 初步拟定换填及填筑深度为路床顶面以下1.0m, 换填层底面回弹模量取15MPa, 利用路面设计软件求得换填后路基顶面验收弯沉值为125 (0.01mm), 根据地区经验, 湿度影响系数取1.3, 参考附近以往项目检测情况, 假定路段内弯沉标准差为40 (0.01mm), 则理论弯沉代表值为:

$$l_0 = (125 + 1.28 \times 40) \times 1.3 = 229 \text{ (0.01mm)}$$

路基顶面验收弯沉值 l_g 按下式计算^[5]:

$$l_g = \frac{176pr}{E_0} \quad (4)$$

式中: l_g 为路基顶面验收弯沉值, 0.01mm; r 为落锤式弯沉仪承载板半径, 取150mm; E_0 为平衡湿度状态下路基顶面回弹模量, 取50MPa; p 为落锤式弯沉仪承载板施加荷载, MPa, 落锤式弯沉仪荷载为50kN。

$$p = \frac{50 \times 1000}{\pi \times 150^2} = 0.707\text{MPa}$$

沿线地下水位常年稳定, 路基含水率变化小, 干湿与冻融循环作用下的模量折减系数 K_p 取0.95, 根据式(4)反算平衡湿度状态下路基顶面回弹模量:

$$E_0 = \frac{176 \times 0.707 \times 150}{229} \times 0.95 = 77\text{MPa} > 50\text{MPa}$$

计算结果表明, 设计初步拟定的级配碎石换填深度满足要求。需要注意的是, 《公路路基设计规范》(JTG D30-2015)中, 路基顶面回弹模量 $E_0 = M_R \times K_s \times K_\eta$ (M_R 为标准状态下路基动态回弹模量值, MPa), 即考虑了湿度调整系数 K_s , 又考虑了干湿与冻融循环作用下的模量折减系数 K_η , 而《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017)附录B规定, 计算路基顶面验收弯沉时, 路基顶面回弹模量 E_0 只考虑湿度调整系数 K_s , 不考虑干湿与冻融循环作用下的模量折减系数 K_η , 即 $E_0 = M_R \times K_s$, 二者符号相同, 含义不同, 因此

需要将式(4)求得的 E_0 乘以 K_η ,才是路基顶面回弹模量设计值。本项目低填浅挖路基按设计要求施工完成后,路基顶面交工验收弯沉值均符合要求,虽然实测值与理论计算值存在一定差异,但均在可控范围之内,说明设计采用的方法是可行的,对类似工程具有一定的借鉴意义。

目前关于平原区低填浅挖路基表层软弱地基土的处理深度还没有成熟的计算方法,设计单位的经验做法是按路床深度控制,理论计算表明,路床工作区进入路基土的深度基本位于路床范围内,按规范规定的路床深度处理基本可行。但规范对路基顶面回弹模量有明确要求,除处理深度外,地基土回弹模量、路床填料的模量等因素有关,以本项目为例,如果换填材料采用回弹模量为60 Mpa的普通土,按路床深度换填后路基顶面回弹模量理论计算值为44MPa,不满足规范要求。因此,在交通荷载等级为重交通荷载等级的高等级公路,设计时需要结合具体情况,根据地区经验,合理确定计算参数,进行必要的计算,避免按设计要求处理后,路基顶面回弹模量不满足规范的情况出现。

结束语

(1)路基顶面回弹模量影响路基强度、刚度、稳定性及路面设计指标,施工过程中须严格按设计要求控制。路基工作区进入路基土中的深度与荷载类型、路面结构及其厚度、路基土回弹模量有关^[6],不能错误的理解为路基顶面回弹模量越小,路基工作区进入路基土中的深度就越浅,从而可以减少换填深度。

(2)式(4)为根据半圆荷载作用下弹性半无限空间体顶面竖向位移的理论推理解,适用于路基填料为未经处治材

料的情况^[5],与低填浅挖路基超挖换填后的实际工况存在差异,但其计算简便,可作为初步设计方案拟定和施工质量控制参考依据。

(3)由于平原区地基表层土物理力学性质较差,施工时换填材料底部压实度无法达到设计要求,建议在理论计算的基础上适当增加换填厚度。

参考文献:

[1]中华人民共和国行业标准.公路路基设计规范(JTG D30-2015)[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015年4月.

[2]交通部第二公路勘察设计院.公路设计手册:路基[M].第2版.北京:人民交通出版社,1996.

[3]方左英.路基工程[M].北京:人民交通出版社,1987年12月.

[4]中华人民共和国行业标准.公路工程技术标准(JTG B01-2014)[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015年1月.

[5]中华人民共和国行业标准.公路沥青路面设计规范(JTG D50-2017)[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017年4月.

[6]牛录彩.路基工作区深度与路基压实控制的分析[J].路基,2010(6):74-76.

作者简介:应海见,男,汉族,1982年8月生,湖南武冈人,大学本科,高级工程师,主要从事公路工程设计与研究,17841273@qq.com.