

文章编号:1671-8879(2008)05-0010-04

拓宽道路工后差异沉降控制标准

傅 珍¹, 王选仓¹, 陈星光², 李宏志³, 王 森³, 王小宁³

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 广东省公路勘察
规划设计院, 广东 广州 510507; 3. 河南高速公路发展有限责任公司, 河南 郑州 450000)

摘 要:为了防止道路拓宽工程中过大的差异沉降引起路面纵向裂缝和路基失稳,以河南安新(安阳—新乡)拓宽道路工程为实体依托工程,采用有限元方法,从路面结构对差异沉降的力学响应、平整度对差异沉降指标的要求、行车荷载对差异沉降指标的要求等方面,研究拓宽道路工后差异沉降控制标准,并对差异沉降进行了分级。结果表明:以路面结构的力学响应考虑差异沉降控制指标较好,并以 4 cm 作为差异沉降控制标准的低限,以 9 cm 作为差异沉降控制标准的高限。

关键词:道路工程;拓宽道路;差异沉降;控制标准

中图分类号:U416.1 **文献标志码:**A

Controlling criterion of differential settlements after widening expressway

FU Zhen¹, WANG Xuan-cang¹, CHEN Xing-guang², LI Hong-zhi³,
WANG Miao³, WANG Xiao-ning³

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University,
Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Guangdong Province Institute of Highway Survey and Design,
Guangzhou 510507, Guangdong, China; 3. Henan Province Limited Corporation
of Expressway Development, Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: In order to prevent the longitudinal crack and stability failure caused by differential settlements after widening roads, based on the project of widening expressway from Anyang to Xinxian in Henan, this paper studies the differential settlements from those aspects such as mechanical influence, the request of evenness and traveling load. The result shows that the mechanical influence of pavement structure on differential settlements should be the controlling criterion, and 4 cm and 9 cm are the low limit and high limit of it. 1 tab, 5 figs, 9 refs.

Key words: road engineering; widening road; differential settlement; controlling criterion

0 引 言

随着国民经济的高速发展,中国高速公路的交通流量日益增加,原有高速公路的设计通行能力已远不能满足日益增长的交通需求。为了满足急剧增

长的交通需求和提高道路服务水平,有必要对原有的高速公路进行改扩建。近年来中国已有多条高速公路进行了改扩建,已有文献对接缝后的路基差异沉降进行了相应的分析^[1-3],但对高速公路拼接段的工后差异沉降控制标准与分级研究较少,大多数只

收稿日期:2007-10-19

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200531881213)

作者简介:傅 珍(1976-),女,河南鹤壁人,讲师,工学博士,E-mail:fuzhen524@163.com。

是对新建公路桥头路段或软土地基路段工后沉降控制标准进行相应的研究^[4-6]。为此,本文以河南安新(安阳—新乡)高速公路拓宽为依托工程,研究了拓宽道路工后差异沉降控制标准,并对差异沉降进行了分级研究。

1 差异沉降简化模型

影响路基差异沉降的因素很多,差异沉降对路面结构的影响非常复杂,差异沉降曲线的变化也难以准确描述。为此,建立差异沉降简化模型(图1)。

(1) 设旧路中心点沉降量为 y_0 ,旧路肩处沉降量为 y_1 ,假设新路基最大沉降发生在新路肩处,沉降量为 y_2 。

(2) 设旧路基宽度为 b_1 ,新路基宽度为 b_2 ,拓宽后路基总宽度为 b 。

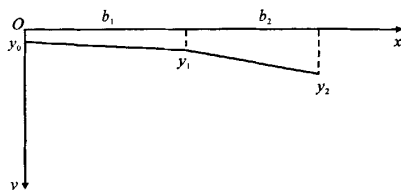


图1 差异沉降简化模型

路基拓宽后的变坡率 $\Delta_i = \frac{y_2 - y_0}{b}$, 作为差异沉降综合控制指标。

2 路面结构对差异沉降的力学响应

在拓宽道路中,如果假定路面各个结构层不会发生脱空现象,则路面结构的力学响应特征主要由路基不均匀沉降曲线确定。路基不均匀沉降曲线影响因素复杂,难以准确描述,但总体来看呈“~”形曲线,路面结构层受到的弯拉应力受“~”形曲线的影响如图2所示。

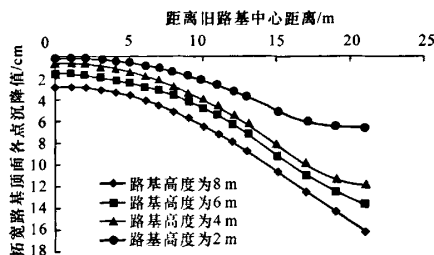


图2 路基差异沉降曲线

如果路面各结构层不发生脱空现象,路面结构的变形与路基变形应相协调。因此可认为路面结构层顶面在路基宽度范围内基本受拉应力作用,最大

拉应力产生位置在新旧路基结合部附近。

路基差异沉降引起的路面附加拉应力不能过大,否则将导致路面开裂。由于路基的最大拉应力发生在结构层顶部,因此应该以结构层顶拉应力作为控制路面开裂指标,拓宽路基的差异沉降控制指标应首先考虑附加拉应力对路面结构的破坏作用。通过有限元模拟分析,得出路基差异沉降、变坡率与路面结构层应力的关系,如图3、图4所示。

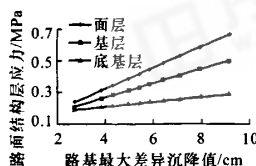


图3 路基最大差异沉降量与路面结构层应力的关系

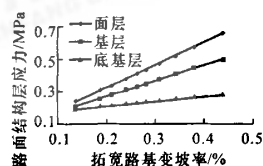


图4 路基变坡率与路面结构层应力的关系

通过图3、图4可看出:①差异沉降大小与路面结构层应力关系呈明显的线性关系;②面层受到的拉应力最大,其次为基层,底基层的拉应力最小。

尽管面层受到较大的拉应力作用,但由于沥青面层的抗弯拉能力(1.2 MPa)远大于基层的抗弯拉能力(0.5 MPa),基层往往更容易产生破坏。基层开裂后往往导致面层的反射裂缝,因此建议以基层顶面弯拉应力作为控制面层开裂的条件。经计算,当不均匀沉降超过9.5 cm时,基层顶面拉应力大于0.5 MPa,而此时面层拉应力还不到0.7 MPa。因此,若以材料极限抗拉强度为标准,应将路基最大差异沉降控制在9.5 cm,对应的变坡率为0.45%。

沥青路面在使用后期,结构层抗弯拉能力以路面材料的容许拉应力表征,结构层材料的容许拉应力是路面承受行车荷载反复作用达到临界破坏状态时的最大疲劳应力。当沥青路面结构层产生的附加拉应力 σ 大于路面结构材料的容许拉应力 σ_R 时,即 $\sigma > \sigma_R$ 时,沥青路面便会产生裂缝^[7],即

$$\sigma_R = \sigma_{sp} / K_s \quad (1)$$

式中: σ_{sp} 为结构层材料劈裂强度(MPa); K_s 为抗拉强度结构系数。

根据高速公路改扩建工程路面结构设计参数^[8],利用式(1)计算得到沥青面层容许拉应力为0.29 MPa,基层容许拉应力为0.21 MPa。由图3可看出,当后期最大差异沉降超过4.3 cm,沥青路面基层产生的附加应力大于基层容许拉应力0.21 MPa时,路面便会产生开裂现象。因此考虑沥青路面材料的疲劳衰减,应以4.3 cm作为差异沉降控制指标,对应的变坡率为0.2%。

3 平整度对差异沉降指标的要求

对于高等级公路的平整度,各国都有较高的技术要求,而且测量平整度的仪器又多种多样。因此,平整度这个对道路的服务性能有极大影响的指标很难统一规定。中国规定:高速公路、一级公路路面完工后 δ 小于或等于 1.5,其他公路路面 δ 小于或等于 2.5 (δ 为平整度测定的标准偏差);如果采用国际平整度指数来衡量,高速公路、一级公路路面完工后的国际平整度指数小于或等于 2.5 m/km,其他公路路面的国际平整度指数小于或等于 4.2 m/km^[7]。

《公路质量检验评定标准》(JTG F8011-2004)3 m 直尺对高速公路、一级公路未做规定,只是对其他公路规定为平整度不得超过 5 mm/3 m。这个指标是针对新建道路,只是为了检验工程施工质量,并不是道路使用期间的平整度指标。鉴于目前中国情况,参照机场道路的有关规定^[9],道面的平整度用 3 m 直尺对除变坡处以外的任何方向及位置进行检查。新道面,直尺与表面间隙不得大于 3 mm;对已使用的道面,直尺与表面间隙不应大于 10 mm,并且不积水。考虑到世界上有许多国家在高等级公路上可以直接起降飞机,因此可以利用机场跑道的平整度指标作为高等级公路的平整度指标。在路面使用期间,平整度容许变坡率^[6]为 $[(10-3)/(3\ 000/2)] \times 100\% \approx 0.46\%$ 。

对汽车行驶舒适性影响最大的是汽车行驶方向路面的凹凸不平,即纵断面上的平整度。由于拓宽公路的差异沉降是发生在公路横断面上的差异沉降,且沉降曲线是一条渐变曲线,发生突变的只有一个点,即新旧路基衔接处,因此对平整度的考虑不是太重要。

4 考虑行车荷载对差异沉降指标的要求

差异沉降曲线呈“~”形,拓宽路基在很大宽度范围内是路面结构层顶面受拉,而在单独的行车荷载作用下,路面基层是层底受拉应力作用的,这两种作用刚好相反,因此行车荷载不会进一步加大差异沉降产生的附加应力,但会对沥青路面造成疲劳破坏。

然而,当路堤高度较小,沉降又较大时,最大沉降位置必然向路基内侧偏移,这样将使得“~”形沉降曲线的下凹段逐步明朗并内移,如图 5 所示。

根据安新高速公路拓宽工程的设计文件^[8],拓宽后路基的硬路肩和土路肩的总宽度为 3.0 m + 0.75 m = 3.75 m,而通过分析路基高度与最大沉降位置关系,即使路基高度为 2 m 时,最大沉降点内

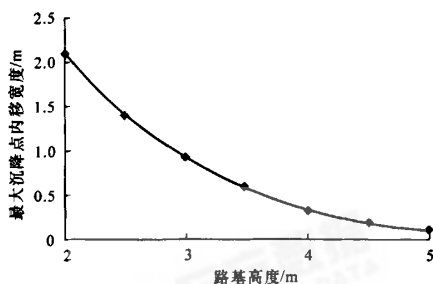


图5 路基高度与最大沉降位置的关系

移不过 2 m 多,即沉降曲线的凹面出现位置不会太靠里,不会内移到拓宽道路最外侧行车道上。路面在最大沉降点位置往往在路面底层出现最大拉应力,而此时在新旧路基衔接处出现第二大拉应力,计算分析表明两大拉应力相差不大。

当汽车在硬路肩上行驶或停靠时,需要考虑荷载对路面结构的应力影响。对路面施加标准荷载 100 kN,基层底面产生的拉应力为 0.1 MPa,则基层容许抗拉应力(取极限劈裂强度)减少 0.1 MPa,为 0.4 MPa。当路基差异沉降达 8 cm 时,路面开裂,此时对应的路基变坡率为 0.38%。

由于汽车在硬路肩上行驶或停靠的机率很小,因此不将行车荷载作为差异沉降控制标准的主要考虑因素。

5 差异沉降控制标准与分级

综上所述,主要以路面结构的力学响应考虑差异沉降控制指标。若考虑沥青路面材料的疲劳衰减,安新高速公路拓宽工程应以 4.3 cm 作为差异沉降控制指标,对应的变坡率为 0.2%;若以材料极限抗拉强度为标准,应将路基最大差异沉降控制在 9.5 cm,对应的变坡率为 0.45%;若考虑平整度的要求,对应变坡率为 0.46%;当考虑行车荷载作用时,最大差异沉降应控制在 8 cm,对应变坡率为 0.38%。

考虑到目前沉降计算理论和观测手段的局限性,即使相同的沉降和位移,不同的计算理论和计算模型得到的路面结构受力模式和大小也有区别,制定过高的差异沉降控制标准就没有必要。而且,若考虑材料的疲劳衰减,以设计年限末期破坏作为临界条件在实践中较难做到,即使路面在后期发生开裂,也可通过养护的手段进行弥补。过高的差异沉降控制指标还将大大增加工程前期投资,并受工程后期不确定因素影响。而利用路面材料的极限劈裂强度作为容许抗拉强度,又不能考虑到行车荷载对路面材料的疲劳破坏作用,路基差异沉降对路面结

构应力影响不是瞬时的,而是具有持续性的,严格来说还应该考虑材料的蠕变和应力松弛特性。前面分析表明,行车荷载与差异沉降对路面结构的作用是相反的,这些因素使得不能忽略路面材料的疲劳特性。

因此,既要考虑路面材料的疲劳特性,又不能过于严格,但应更多地考虑路面结构材料的疲劳特性。考虑材料极限抗拉能力时,差异沉降标准权重为 4,考虑材料疲劳衰减特性时,差异沉降标准权重为 6,取二者加权平均值作为为差异沉降控制指标 S,则

$$S = \frac{9.5 \times 4 + 4.3 \times 6}{10} = 6.38 \tag{2}$$

为方便起见,取 S = 6 cm。

综上所述,当考虑路面材料疲劳特性时差异沉降控制最严,为 4.3 cm;当考虑材料极限抗拉能力时差异沉降控制最宽,为 9.5 cm。现以 4 cm 作为差异沉降控制标准的低限,以 9 cm 作为差异沉降控制标准的高限,对路基不均匀沉降进行分级,共分为轻微、低、中、高 4 个级别,如表 1 所示。

表 1 差异沉降分级

差异沉降评定等级	轻微	低	中	高	控制指标
容许最大差异沉降/cm	<4	4~6	6~9	>9	6
容许最大变坡率/%	<0.19	0.19~0.29	0.29~0.43	>0.43	0.29

当差异沉降属于“轻微”、“低”两个级别时,可以认为路面不会产生结构破坏,平整度良好,只需要进行轻度处理或不处理。当差异沉降属于“中”级时,需要采取措施降低沉降量,直至预估工后沉降量小于容许工后沉降量。当差异沉降属于“高”级时,需要特别重视。

6 结 语

(1)拓宽公路的差异沉降是发生在公路横断面上的差异沉降,且沉降曲线是一条渐变的曲线,在新旧路基衔接处发生突变,因此对平整度的考虑不是很重要。汽车在硬路肩上行驶或停靠的机率很小,因此不将行车荷载作为差异沉降控制标准的主要因素。

(2)以路面结构的力学响应考虑差异沉降控制指标。考虑沥青路面材料的疲劳衰减时,以 4.3 cm 作为差异沉降控制指标,对应的变坡率为 0.2%;以材料极限抗拉强度为标准时,则应将路基最大差异沉降控制在 9.5 cm,对应的变坡率为 0.45%。

(3)以 4 cm 和 9 cm 分别作为差异沉降控制标准的低限与高限,对路基不均匀沉降进行分级,共分为轻微、低、中、高 4 个级别。

参考文献:

References:

[1] 章定文,刘松玉. 软土地基高速公路扩建中新老路堤相互作用数值分析[J]. 中国公路学报,2006,19(6): 7-12.
ZHANG Ding-wen, LIU Song-yu. Numerical analysis of interaction between old and new embankment in widening of freeway on soft ground [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(6): 7-12.

[2] 傅 珍,王选仓,陈星光,等. 拓宽路基差异沉降特性和影响因素[J]. 交通运输工程学报,2007,7(1):54-57.
FU Zhen, WANG Xuan-cang, CHEN Xing-guang, et al. Differential settlement characteristics and influencing factors of widening subgrade[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1): 54-57.
[3] 黎 霞. 新老路基沉降机理有限元数值模拟分析[J]. 中外公路,2006,26(4):30-33.
LI Xia. Numerical simulation on differential settlement of the mechanism of new and old roadbed[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2006, 26(4): 30-33.
[4] 叶见曙. 桥头引道工后沉降控制标准的研究[J]. 东南大学学报,1997,27(3):12-17.
YE Jian-shu. Controlling criterion of bridge approach remaining settlement [J]. Journal of Southeast University, 1997, 27(3): 12-17.
[5] 张洪亮,胡长顺. 路桥过渡段桥头搭板容许坡差确定的参数影响[J]. 长安大学学报:自然科学版,2003,23(3):11-15.
ZHANG Hong-liang, HU Chang-shun. Parameters' influence on determination of allowable differential slope of approach slab [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(3): 11-15.
[6] 董 海,王末顺,张 宇. 高等级公路容许工后不均匀沉降指标的研究[J]. 森林工程,2002,18(2):53-54.
DONG Hai, WANG Mo-shun, ZHANG Yu. Study on uneven subsidence index after road construction of highway[J]. Forest Engineering, 2002, 18(2): 53-54.
[7] JTJ 014-97,公路沥青路面设计规范[S].
[8] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 京珠国道主干线安阳至新乡高速公路改扩建工程施工图设计[Z]. 西安:中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 2005.
[9] MH 5001-2000,民用航空运输机场飞行区技术标准[S].