

文章编号: 1002-0268 (2007) 05-0043-05

路基拓宽工程设计方法研究

钱劲松, 凌建明, 黄琴龙

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 针对路基拓宽工程的实际问题, 基于大量实体工程调研和理论分析, 从损坏类型和损坏机理出发, 揭示了路基拓宽工程中的4种损坏模式, 包括路基结合部剪切开裂、新老路面结合部弯拉开裂、老路基层顶面开裂和新路基层底面开裂, 建立了以变坡率为设计指标的路基拓宽设计方法; 并遵循变形协调与控制的基本思想, 着重提出了路基拓宽工程处治措施的选择流程, 继而采用有限元计算和室内模拟试验的方法, 对新老路基结合面处治、拓宽路基填料及压实度控制、路基加筋、支挡结构等多种处治措施的处治机理、效果和设计施工要点进行了总结。各项研究成果对路基拓宽工程中处治措施的选择、设计和施工具有重要的借鉴和指导意义。

关键词: 道路工程; 路基拓宽; 有限元; 理论分析; 不协调变形; 损坏模式; 设计指标; 处治措施

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Design Philosophy of Subgrade Widening Engineering

QIAN Jin-song, LING Jian-ming, HUANG Qin-long

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: On the basis of the in-situ investigation and analysis of the distresses caused by subgrade widening, the four failure modes in subgrade widening engineering are summarized, i. e. shear cracking in subgrade combination, tensile cracking in pavement interface, bottom-up tensile cracking in widening pavement and top-down tensile cracking in existing one, and then the correspond design philosophy, design criteria and the method of treatments selection are proposed according to the principle of differential deformation control. At last, through finite element analysis and laboratory simulation tests, the method and effect of different kinds of treatments are analyzed particularly, including control of filling and compaction, reinforcement, retaining structure, ect. The conclusion may be useful to the selection, design and construction of treatments in widening subgrade engineering.

Key words: road engineering; subgrade widening; finite element; theoretical analysis; differential deformation; failure mode; design criteria; treatment

0 引言

公路改扩建工程大多涉及到线形调整和路基拓宽问题, 但路基拓宽引起的路基路面变形、开裂甚至滑移在实际工程中颇为常见。而我国在路基拓宽工程方面缺乏可资借鉴的成熟经验, 更缺乏相应的设计方法、计算理论和规范。本文旨在通过路基拓宽常见病害及其机理的分析, 总结路基拓宽的损坏模式, 提出路基拓宽处治措施的选择方法, 进而初步建立一套完整的路基拓宽设计方法。

1 路基拓宽的损坏类型和损坏机理

1.1 路基拓宽的损坏类型

大量路基拓宽实际案例的调查研究表明, 路基拓宽的损坏类型主要有4种^[1]:

(1) 路基失稳: 表现为拓宽路基沿新老路基结合面发生滑移, 严重时甚至发生整体坍塌。这种病害在山区陡坡地形、软弱地基、高填方路堤等拓宽路段容易发生。当拓宽路基沿结合面滑移量较小时, 新老路基结合面会产生错台, 导致新老路基结合部位的路

收稿日期: 2005-12-05

基金项目: 交通部西部交通建设科技资助项目 (200131882260)

作者简介: 钱劲松 (1980 -), 男, 安徽桐城人, 博士研究生, 研究方向为路基和机场工程. (qjs1001@126.com)

面开裂,雨水由裂缝进入,结合面强度急剧降低,给路基稳定性留下更大的隐患;当滑移量较大或整体坍塌时,造成拓宽路面整体破坏,甚至使原有路基相继出现失稳,并导致原有路面也发生结构损坏和使用功能的下降。

(2) 支挡结构损坏:支挡结构损坏是路基损坏的特殊形式。表现为挡墙墙面开裂、墙体整体滑移、倾覆等。若墙底受水浸泡、冲刷,或墙体本身处于潜在滑坡体内,当挡墙所受土压力过大时,将产生挡墙墙体开裂、整体滑移或绕墙趾倾覆等现象。支挡结构发生损坏后,拓宽路基也随之发生稳定性问题,给拓宽路面的正常使用带来隐患。

(3) 路面损坏:沥青路面损坏表现为出现面层破碎、结合料松散、道路横坡改变等现象,严重时会产生沿结合面走向的裂缝;水泥混凝土路面表现为出现唧泥和脱空现象,进一步发展会引起结合面附近出现板块断裂、纵缝、错台以及裂缝的进一步扩展。路面损坏是路基拓宽工程中最常见的病害。

(4) 路面整体性能下降:随着路面病害的产生和道路横坡的变化,道路结构性能和服务性能也随之下降。当路面状况指数 (PCI)、结构承载力及平整度等下降到一定水平时,还将影响行车安全。

1.2 路基拓宽的损坏机理

从以上4种路基拓宽的主要损坏现象来看,路基拓宽的损坏机理可以归结为两类,即拓宽路基稳定性不足和新老路基不协调变形。路基损坏和支挡结构损坏是稳定性不足的反映,而路面损坏和路面整体性能下降的主要原因则是新、老路基间的不协调变形。

拓宽路基稳定性不足是指拓宽路基自身稳定性不能充分满足稳定性要求,其产生的原因包括拓宽部位地基过陡、拓宽部位地基含软弱下卧层以及新老路基结合部结合强度不足等。

新老路基不协调变形以不均匀沉降为主,是地基和路堤变形的空间差异在路基顶面的反映。首先,拓宽路基与原有路基在应力历史、施工工艺、填料类型等方面不尽相同,将导致新、老路基的抗变形能力存在差异;其次,拓宽路基对老路基产生负压,致使其发生二次沉降;此外,由于新老路基结合部结合强度不足,拓宽路基有可能沿新老路基结合面产生蠕滑或滑移。

2 路基拓宽的损坏模式和设计状态

通过路基拓宽损坏机理的分析,结合新老路基不协调变形及路面结构力学响应的数值分析,可得到路

基拓宽的4种损坏模式。分述如下:

(1) 新老路基结合部剪切开裂

如图1(a)所示,其形成机理通常与各种原因引起的新老路基结合面滑移有关。与这类损坏模式相对应的设计状态为:结合面上的剪应力 > 结合面抗剪强度。

(2) 新老路面结合部弯拉开裂

如图1(b)所示。其形成机理为新老路基顶面不协调变形呈“~”形,在新老路面结合部产生不协调变形变坡率的差异,从而在新老路面结合部的基层顶面或底面产生附加弯拉应力。与这类损坏模式相对应的设计状态即:不协调变形引起的结合部路面基层顶面结构附加应力 > 结合部路面基层弯拉强度 (基层顶面受拉);不协调变形引起的结构底面附加应力 + 结构底面荷载应力 > 基层弯拉强度 (基层底面受拉)。

(3) 老路基层顶面开裂

如图1(c)所示。其形成机理为老路基顶面形成上凸形不协调变形,从而在老路基层顶面产生附加弯拉应力。与这类损坏模式相对应的设计状态即:路基变形引起的老路基层顶面结构附加应力 > 老路基层

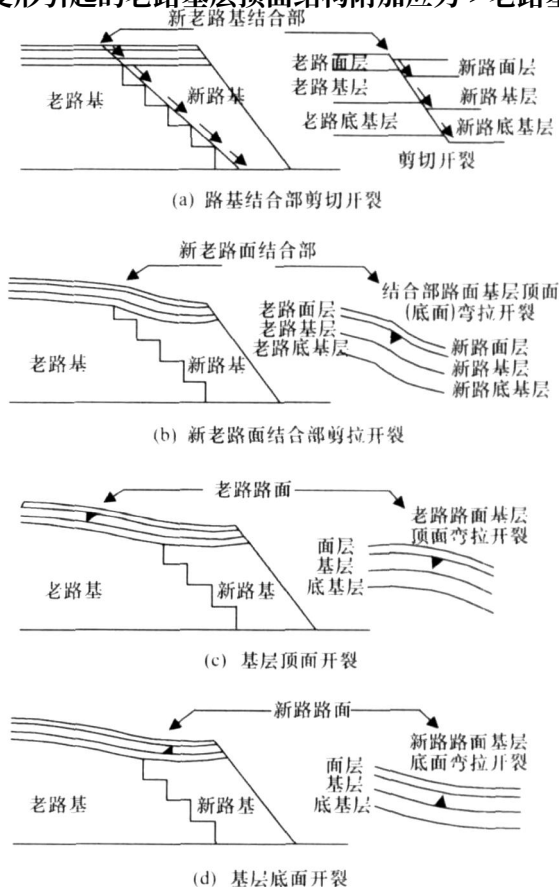


图1 路基拓宽损坏模式示意图

Fig. 1 Failure modes of embankment widening

弯拉强度。

(4) 新(老)路基层底面开裂

如图1(d)所示。其形成机理为新(老)路基层顶面形成下凹形不协调变形, 在新(老)路基层底面产生结构附加应力。与这类损坏模式相对应的设计状态为: 结构底面附加应力 + 结构底面荷载应力 > 基层弯拉强度。

3 路基拓宽的设计指标和设计流程

由上述分析可见, 与新建道路相同, 保证路基的稳定性是设计的基本要求, 但路基拓宽工程中, 还需要综合考虑不协调变形导致的路基、路面损坏。新老路基不协调变形可通过新老路基顶面的变坡率予以表征, 即设计使用年限内路基顶面单位宽度内的横向坡度改变量。变坡率可通过不协调变形进行计算, 并且, 控制了路基顶面的变坡率即控制了路面结构的附加应力, 因此, 可以选择变坡率作为路基拓宽的设计指标。

路基拓宽的设计流程如图2所示。可见, 路基拓宽的设计重点在于两个方面: 其一, 路基不协调变形和路面结构力学响应的计算以及变坡率标准的确定; 其二, 当稳定性验算或路面结构力学响应验算不通过时, 如何进行路基拓宽处治措施的选择和处治设计。对于前者, 不同路面结构对于不协调变形的响应不同, 但可根据路面结构的弯拉强度进行变坡率标准的确定, 且可以通过对典型路面结构进行系统分析, 提出典型路面结构的设计标准^[2~4], 为大规模的工程设计提供参考。对于后者, 则需要根据实际拓宽工程的特点、不协调变形的形成机理以及各项措施的适用条件进行选择。

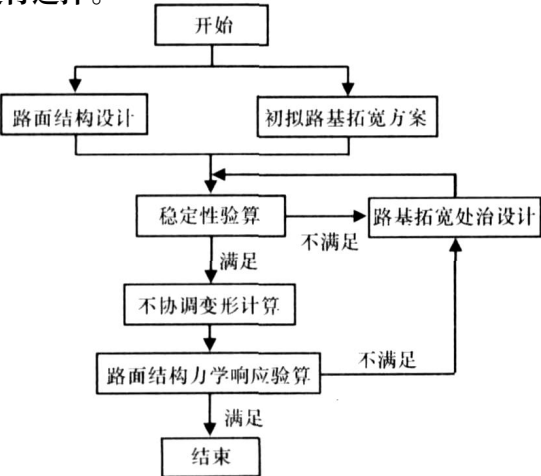


图2 路基拓宽工程设计流程

Fig.2 Design of embankment widening

4 路基拓宽工程的处治措施

路基拓宽工程处治措施的选择方法见图3。总体而言, 新老路基结合部处治应遵循以下基本技术思想:

(1) 路基拓宽结合部处治的根本目的就是在保证路基稳定的前提下, 控制路基的不协调变形。因此, 变形协调与控制是处治技术的核心。

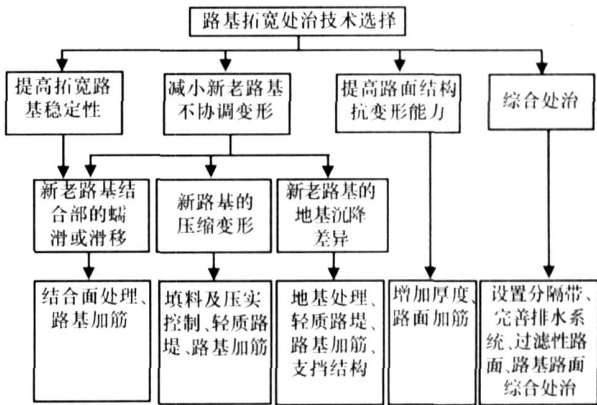


图3 路基拓宽处治技术的选取

Fig.3 Selection of treatments for embankment widening

(2) 对道路整体来说, 路基、路面相互作用、相互影响。因而, 路基拓宽结合部的处治技术应当从路基、路面、排水、支挡等各个方面进行统一考虑, 突出综合处治的思想。

(3) 路基拓宽不协调变形主要包括结合部的蠕滑或滑移、新路基压缩变形、地基差异沉降, 不同工程条件下的主导组成部分不尽相同。因此, 路基拓宽结合部的处治技术应充分考虑地域、地质和环境的适用性、经济合理性以及施工便利性, 抓住主要矛盾, 经济而有效地选取不协调变形的控制技术措施。

4.1 新老路基结合面处治

新老路基结合面处治包括拓宽部分的原地面处理、老路基边坡覆土处理以及老路基边坡的台阶开挖。在保证拓宽路基稳定性要求的前提下, 应兼顾节约投资建议, 因此, 台阶高宽比设置原则见表1。台阶开挖高度约0.6~1 m, 细粒土填料取下限, 巨粒土和土石混填可取上限, 填石路基可取1.2~1.5 m。

表1 台阶高宽比设置原则

Tab.1 Cutting criterion of existing embankment slope

原(老路基)边坡	1:1	1:1.25	1:1.5
开挖台阶坡度	1:1~1:1.25	1:1.25~1:1.5	1:1.5~1:1.75

4.2 填料及压实度控制

路面结构对路基刚度突变的力学响应如图4所示。可见,无论是路表变形还是基层层底弯拉应力,在新、老路基模量比小于1.0时,随着模量比的增大均有明显的减小,当新、老路基模量比超过1.0后,减小速率明显降低。因此,考虑到路基自身压缩变形和刚度突变两个因素的影响,提出拓宽路基填料及压实度控制标准,如表2所示。

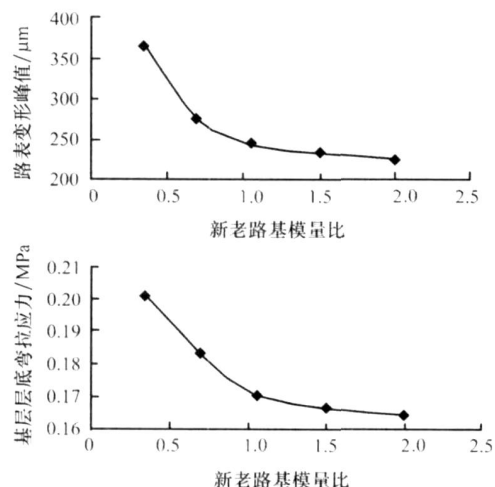


图4 新老路基模量比对路面结构响应的影响

Fig. 4 $E_{0\text{new}}/E_{0\text{old}}$ vs. pavement mechanics response

表2 拓宽路基填料及压实度控制标准

Tab. 2 Criterion of filling quality control and compaction

指标	控制标准
新老路基模量比 $E_{0\text{new}}/E_{0\text{old}}$	1.2~2.0
新路基压实度	填土路基 $\geq 95\%$ 土石混填或填石路基 $\geq 93\%$

4.3 路基加筋

新老路基结合部加筋的处治效果体现在3个方面:

(1) 提高拓宽路堤的整体稳定性:对某软土地基上铁路路基拓宽工程土工格栅加筋效果的分析表明,采用土工格栅加筋后,拓宽路基的最小安全系数由0.85~1.8提高到1.5~2.2。

(2) 增强拓宽路基的抗变形能力:新老路基不协调变形室内模拟试验^[3]的实测结果见表3。可见,若采用两层玻璃纤维格栅加筋,在不协调变形发生后,路基顶面回弹模量较未加筋部分均有较大幅度增加。

(3) 减小拓宽路基自重荷载作用下的地基沉降:在软土地区铺设土工格栅可以发挥其抗拉性能,在土体侧向位移较大的情况下,通过与加筋填料的摩阻力来限制土体的侧向变形和路堤边坡外的隆起,从而减小拓宽路基自重荷载作用下的地基沉降。

表3 路基加筋顶面回弹模量实测值

Tab. 3 Modulus contrast of reinforced and unreinforced subgrade

测点号	测点特征描述	沉降发生前回弹模量/MPa	沉降发生后回弹模量/MPa	后/前
1	新路基(未加筋)	43.8	20.9	0.48
2	结合部(未加筋)	33.7	18.9	0.56
4	结合部(加筋)	45.8	24.4	0.53
5	新路基(加筋)	39.2	24.4	0.62

进行新老路基结合部加筋处治方法设计、施工必须注意下述两点:

(1) 应使加筋材料的被动抗力区尽可能长;

(2) 尽可能每一台阶铺设1层,在投资不允许的情况下,应至少在原地面铺设1层,且铺设层数不少于3层。

4.4 轻质路基

软土地区地基的沉降是由于拓宽路堤的自重荷载产生的,并且这一部分沉降在不协调变形中占据主要部分,因此可考虑采取减轻拓宽路堤自重荷载的方法来减小不协调变形,如二灰、EPS等。另外,由于二灰、EPS等轻质材料具有一定的板体性,还可以减小路堤堤身的压缩变形。分析表明,当不考虑边坡覆土的影响时, EPS轻质路堤产生的不协调变形几乎可忽略不计,二灰轻质路堤产生的不协调变形较普通填料也降低了30%以上。

4.5 支挡结构

在如下情况下,拓宽路基需要设置支挡结构:(1) 拓宽路基的稳定性不满足要求,需要设置支挡结构提高其稳定性;(2) 拓宽路基高度太大,所产生的不协调变形过大,需要设置支挡结构以减小拓宽路基的填土自重;(3) 拓宽路基放坡困难,土石方量太大,需要设置支挡结构收缩边坡以节约造价。

拓宽路基的支挡结构设计、施工和一般支挡结构相比,其特殊性在于:稳定验算的滑裂面一般取新老路基的结合面,材料参数应取新填材料和界面材料中的低值;墙背后拓宽路基的回填压实是关键。

4.6 地基处理

进行地基处理,可提高地基的抗变形能力,减小新老路基的不协调变形,且可增加地基的承载能力,保证拓宽路基的稳定性。但大多数地基处理方法都会对老路基产生较大的扰动和影响,尤其是堆载(或超载)预压、强夯等。相对而言,各种复合地基主要是通过竖向增强体来提高拓宽路基部分地基的承载力和压缩模量,施工过程中对老路基地基的影响较小,对路基拓宽工程比较适用。复合地基在工程实践中应用

广泛,在此不再赘述。

4.7 路面加筋

对于拓宽路面,可在基层底面铺设加筋材料,增强基层抵抗不协调变形的能力,并起到分散应力、延缓开裂变形的作用,提高路面结构对不协调变形的适应能力。分析表明,路面加筋后,基层底面弯拉应力减小了10%~20%。施工一定要保证玻璃纤维格栅和上下结构的完全粘结,充分发挥其加筋能力。

4.8 其他处治措施

新老路基结合部易发生纵向开裂和错台,雨水由此进入,进一步加剧病害的扩展和发展。因此,在线形允许的情况下,可在新老路基结合部位设置分隔带,容许不协调变形引起纵向开裂,甚至产生小量的错台。

在拓宽路基上铺筑过渡性路面,如简易的柔性路面或可拆移式的干砌块结构,允许拓宽路基发生不协调变形并在结合部附近产生路面损坏,待新老路基部分充分变形、稳定后,再挖除临时性铺面,铺筑最终的路面结构。该措施可避免在减小不协调变形方面投入大量的资金,同时又能通过后期的维修保证日后拓宽道路的正常运行。

由于水损害在路基拓宽工程中也非常严重,因此应妥善布置路基路面的防、排水系统,避免由于路基和支挡结构受水浸泡、冲刷而造成的失稳,以及由于雨水渗入路面而造成的结合部裂缝的扩展。

5 结语

(1) 路基拓宽结构性损坏模式主要包括新老路基结合部剪切开裂、新老路面结合部弯拉开裂、老路基层顶面开裂、新路或老路基层底面开裂等4种,前3种为路基拓宽工程所特有。

(2) 可以选择新老路基不协调变形的变坡率作为路基拓宽工程的设计指标。

(3) 路基拓宽设计方法应在保证路基稳定的前提

下,进行新老路基不协调变形的控制,其设计重点在于变坡率标准的确定以及如何进行路基拓宽处治措施的选择和设计。

(4) 不同工程条件不协调变形的主要形成原因不同,应遵循变形协调与控制的基本思想,从控路基、路面、排水、支挡等各方面综合考虑,根据具体工程的特点和各项措施的适用条件进行选择相应的处治方法。

参考文献:

- [1] 黄琴龙,凌建明,唐伯明,等.旧路拓宽工程的病害特征和机理[J].同济大学学报,2004,32(2):197-201.
- [2] 凌建明,钱劲松,黄琴龙.路基拓宽工程的损坏模式 and 设计指标[C]//2004年道路工程学会交流论文集.2004:82-88.
- [3] 汪浩,黄晓明.软土地基上高速公路加宽的有限元分析[J].公路交通科技,2004,21(8):21-24.
- [4] 聂鹏,曲向前,刘奉桥,等.沈大高速公路改扩建工程路基加宽容许工后不均匀沉降指标研究[J].公路交通科技,2005,22(11):18-21.
- [5] 黄琴龙,凌建明,唐伯明,等.新老路基不协调变形模拟试验研究[J].公路交通科技,2004,21(12):18-21.
- [6] 贾宁,陈仁朋,等.杭甬高速公路拓宽工程理论分析及监测[J].岩土工程学报,2004,26(6):756-760.
- [7] HJORTIN ÆPETERSEN A G I, BROERS H. The behaviour of soft sub-soil during construction of an embankment and its widening [C] // Proc. Centrifuge 94. Rotterdam: A A Balkema, 1994: 567-574.
- [8] ALLERSMA H G B, RAVENSWAAY L, VOS E. Investigation of road widening on soft soil using a small centrifuge [C] // Transportation research record No.1 462. Washington DC: National Academic Press, 1994: 47-53.
- [9] VAN MEURS A N G, VAN DEN BERG A. Embankment widening with the gap-method [J]. Geotechnical engineering for transportation infrastructure. Rotterdam: A A Balkema, 1999: 1 133-1 138.
- [10] VOS E, COUVREUR J F, VERMAUT M. Comparison of numerical analysis with field data of a road widening project on peat soil [C] // Proc. International Workshop: Advances in understanding and modeling the mechanical behavior of peat. Rotterdam: A A Balkema, 1994: 267-274.