

文章编号: 1002-0268 (2004) 02-0029-05

软土地基上高速公路路基 扩建加宽中的关键问题

高翔, 刘松玉, 石名磊

(东南大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210096)

摘要: 随着交通量的迅速增长, 部分建成通车的高速公路又面临着扩建加宽的问题。在软土地基上, 高速公路路基的加宽工程要考虑路基的整体稳定和差异沉降问题。因为新路基的建设会引起路基边坡失稳和新老路基的差异沉降, 所以软土地基上高速公路路基加宽的关键问题就是如何减小新老路基之间的差异沉降, 并保证新老路基之间的有效连接。本文就此问题进行回顾和总结, 并在此基础上提出几点建议。

关键词: 软土地基; 高速公路; 路基加宽; 整体稳定性; 差异沉降

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Key Problems in Embankment Widening of Expressway on Soft Ground

GAO Xiang, LIU Song-yu, SHI Ming-lei

(Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract: With the increase of traffic volumes, existing expressway often demands embankment widening. Problems in embankment widening are usually associated with overall stability and differential settlement due to soft soils beneath the embankment. New fills on soft soils may induce additional settlements, slope instability and differential settlements between old and new fills. The key problems in the embankment widening of expressway on soft ground are how to eliminate settlements and ensure the effective connection between old and new fills. The review on design and construction solutions for the above problems is presented, and some suggestions are proposed in the paper.

Key words: Soft Ground; Expressway; Embankment widening; Overall stability; Differential settlement

0 引言

近年来, 随着国民经济的迅速发展, 我国高速公路的建设十分迅猛, 通车里程已近 2 万 km。在已经建成使用的高速公路中, 由于受建设时社会经济水平、技术水平和建设思想的制约, 有相当一部分已不能适应交通量增长和社会发展的要求, 有的还出现了比较严重的路面病害。从长远和经济的角度讲, 高速公路的改扩建工程将是我国本世纪初公路建设所面临的非常重要和必须解决的问题。

高速公路的改扩建在我国还是一个刚刚开始的新生事物, 如何进行改建设没有成熟的经验可循, 从设计

到施工, 规范涉及不多, 同时高速公路的改扩建约束条件多, 用新建工程的思路和设计方法不能解决改扩建的问题。另外, 在已完成的改扩建工程中也存在着一些技术问题, 工程运营效果还有待时间的考验。因而对高速公路改扩建工程的设计进行研究具有非常重要的现实意义和前瞻性。

在我国尤其是东部沿海地区已经建成使用的高速公路中, 有相当一部分是建在软土地基上。对这些高速公路的改扩建就必然涉及到新老公路的融合贯通、新老桥台的拼接组合和新老路堤的相互影响等问题。主要表现在路基沉降和整体稳定两个方面: (1) 原有路基经过多年运营, 沉降已基本完成, 在其边坡上进

行扩建填筑，新填的土方和运营后的汽车荷载必然会引起既有路基的附加沉降，并且在新老路基之间产生相对过大的差异沉降，进而会引起既有路基变形，严重时则出现路基拉裂，下沉过速等病害，将会对高速公路的正常营运带来难以估量的不良后果；（2）新老路基之间如何保证紧密衔接形成整体也是路基加宽工程成功与否的关键。因此如何分析计算新老路基的差异沉降，提出适合加宽路基的地基处理方法和新老路基的衔接技术，是高速公路加宽改建迫切需要解决的工程问题。

1 我国高速公路改扩建的现状

我国已建成高速公路大部分为双向四车道，随着经济的发展，某些高速公路将不能满足交通要求，需扩大通行能力，增加行车道数。根据国外经验及我国未来经济发展的需要，我国主要经济干线走廊带内的

高速公路，远期将需要十条左右车道的通行能力。那么已有四车道如何改建，是老路加宽还是另辟新线，很有研究价值。由于近距离新建高速公路，投资规模大，占用土地多，且容易造成路网分布不均，因而在现阶段，我国高速公路的扩建大多采用老路加宽的方案。

老路加宽方案就是在已有高速公路的两侧或一侧加宽几条车道的建设方案，此外还可以考虑采用高架（如中央高架或两侧高架）和中间分隔带预留等方案。另外，高速公路的拼接段也与高速公路加宽存在类似的问题。

1997 年 8 月，我国首条高速公路加宽扩建工程广佛高速公路扩建工程动工，之后先后有海南环岛东线、沪杭甬、沈大等高速公路相继局部或全线扩建加宽，具体情况见表 1^[1~4]。作为贯穿长江三角洲的交通大动脉，沪宁高速公路的加宽也已展开。

我国主要高速公路改扩建工程概况 表 1

加宽扩建工程	原设计方案	扩建方案	加宽方式
广佛高速公路	双向四车道	部分双向八车道，部分双向六车道	两侧加宽
沪杭甬高速公路	双向四车道	分段拓宽成双向六车道	两侧加宽
沈大高速公路	双向四车道	双向八车道	两侧加宽
海南环岛东线	半幅四车道	扩建左幅双向四车道	单侧加宽
杭宁高速二期	双向四车道	预留六车道	中间带预留加宽

2 加宽工程软基处理方法

2 1 软基处理方法的比较与选择

高速公路加宽扩建工程通常工期紧、施工场地狭窄，同时还要维持正常的交通运输，因而必须进行多方论证、比较，根据工程地质勘察资料，结合老路基软基处理的评价结果，选择经济、快速、可靠的软基

处理方法，以确保现有高速公路营运安全，确保减小加宽后高速公路新旧路面的差异沉降。广佛高速公路扩建工程软基处理对 3 种方案从处理形式、加固效果、施工难度、工程造价、工期和不安全因素等方面进行了比较，最终选择了粉喷桩加固的方法^[1]。表 2 列出了我国主要高速公路加宽工程的软基处理方法^[1~4]。

我国主要高速公路改扩建工程软基处理方法 表 2

加宽扩建工程	原软基处理方法	加宽软基处理方法
广佛高速公路	袋状砂井加砂垫层或砂垫层	粉喷桩（部分旋喷桩）加砂垫层
沪杭甬高速公路	塑料排水板+堆载预压、粉煤灰路堤	预压、塑料排水板+等载预压、粉喷桩、路堤桩+土工格栅
沈大高速公路	塑料排水板、预压固结	塑料排水板、预压固结
海南环岛东线	未处理或抛填片石简单处理	原为塑料排水板后改粉喷桩
杭宁高速二期	超载预压、塑料排水板+复合土工布、粉喷桩+土工格栅、轻质粉煤灰路堤	

2 2 适合加宽工程的主要软基处理方法

加宽路基软土地基处理要根据不同路段的地质情况、路基填筑高度、结构物类型等因素，确定合理的

处理形式。加宽路基的软基处理最好以复合地基法为首选，可以通过合理布置桩长与桩距来协调不同路段的沉降差异。适合高速公路加宽工程的主要软基处理

方法见表 3。

高速公路扩建工程软基处理方法 表 3

软土地基路段特点	加宽部分可能的处理方法
水塘、河沟等小范围浅表淤泥	清淤换土（砂），地表夯击、压实等
地基硬壳层较厚的软土路段	预压法
软土较薄，路堤填土工后沉降会超标的路段	强夯置换、换填砂、复合地基
硬壳层较薄、软土层较厚的软土路段	塑料排水板＋预压、复合地基
软土深厚，填土较高，或桥头路基或小构造物基础处	复合地基法，如 CFG 桩、粉喷桩、大直径管桩
软土路基拼接段	超载预压、粉喷桩、分隔墙等

2 3 软基处理的设计与施工措施

高速公路扩建相对新线软基处理措施对路基稳定和工后沉降提出了更高的要求，再加上施工场地有限，施工周期紧等因素，因而在设计与施工中应采取相应的措施以满足加宽工程的特殊要求。

- （1）路基填土往往位于老路基边坡上，因而必须对老路基边坡按一定坡度削坡，削坡必须满足施工期间的路基稳定要求。
- （2）高速公路加宽最好采用快速加固方法，以加快施工周期，降低施工期间维持交通正常运营的费用。
- （3）采用粉喷桩等复合地基处理时，桩体布置可采用里密外疏的方式，以节省工程量。
- （4）施工期间要注意排水问题，防止开挖边坡有水，引发老路基坍塌。
- （5）在做试验段的同时，还须在施工过程中进行沉降和稳定动态观测，控制填筑速率。

3 新老路基结合部的处治技术

改扩建工程设计中最主要问题是如何处理填方段新老路基之间的衔接，即如何处理新老路堤的不均匀沉降。要采取有效的技术措施保证加宽路基与旧路基的良好衔接，使其成为一个整体，避免或减少横向错台和纵向裂缝。

3 1 土工合成材料的应用

在高速公路加宽工程中，常用的土工合成材料就是土工格栅。土工格栅对土的加固机理存在于格栅与土之间的相互作用。在高速公路加宽工程新老路基结合部采用土工格栅可以有效预防差异沉降的产生，这是因为：第一，由于土工格栅与土接触面的摩擦作用，降低了加宽处土的垂直应力，使土体承载能力得以提高，减少了不均匀沉降；第二，土工格栅对土体具有锁定作用，使土体抗剪强度得到充分的发挥，约束了土体的侧向变形；第三，由于水平铺设的土工格栅具有弹性，在反复荷载的作用下，不会产生变形的

积累；第四，土工格栅具有一定的张力和延展性，能使路基与土工格栅形成一个连续柔性整体结构。

通常将原有路基边坡挖成一定宽度的内倾台阶后，沿道路纵向铺筑一定幅宽的土工格栅，使得土工格栅一半位于原有路基上，另一半位于新填路基上。软基段填方路基，在重点解决软基处理方案后，可按一般路基段的拼接方法实施，同时为了减少新老路基间的差异沉降，宜多采用轻质填料、加大格栅用量，必要时还可采取向老路基中植入筋带的方法加强新老路基间的连接。

根据土工合成材料铺设位置的不同，常见的处治措施有以下 3 种：

（1）结合路基填土高度先按一定坡度开挖老路基边坡，在路基下部铺设一层土工布和一层土工格栅，中间填砂和风化土。土工布能使应力均匀，土工格栅类似钢筋网的作用。然后对边坡进行台阶式开挖，最后进行新路基的填土压实。广佛高速公路加宽采用此种方法^[9]。

（2）加宽后的路堤边坡坡度较原有边坡提高一档，当填方高度较高时，在中间设一道平台。将原高速公路的边坡挖成内倾台阶，台阶挖至与原地面齐平。在基底开始铺设一层土工格栅，以后每个台阶顶面均铺设一层土工格栅。沈大高速公路加宽和锡澄高速与沪宁高速的直接拼接段采用了此种方法^[5]。

（3）将老路堤边坡开挖成台阶状，台阶高度控制在 80cm 左右，并在路基顶面铺设一层土工格栅。沪杭甬高速公路扩建采用此种方法^[3]。

3 2 地基处理措施

在软土地基上的新老路基结合部，结合路基的拼接措施，还应对结合部下的软土地基进行重点处理。可以采用超载预压、加密加长粉喷桩、旋喷桩、路堤桩（混凝土管桩）和隔离墙（定喷桩）等方法，通过间距和打设深度的分级过渡处理，沿路基横向形成渐变段，能较理想地解决新老路堤沉降差问题。

3 3 施工措施

(1) 边坡削坡: 由于削坡坡度较陡, 为了确保老路基安全, 老路基边坡可以分 2 次开挖, 第一次比第二次坡度稍大, 并边开挖边做好防护工作。每次开挖完毕后, 平整压实, 进行复合地基处理施工。

(2) 台阶开挖: 按照要求开挖内倾台阶, 台阶数量尽可能多, 为新老路基的衔接提供更多接触面, 更利于新老路基的接合。在部分填方较高的路段采取逐步开挖的方式施工。

(3) 防水措施: 开挖老路基边坡以后要截断路面水, 特别是超高路段, 防止雨水直接冲刷边坡, 在开挖边坡上铺一层防水胶纸或塑料布, 以防止雨水渗入。迅速排除施工场地积水, 断绝外来水, 软基施工期间硬路肩禁止行车, 以确保老路基安全。

(4) 土工格栅的铺设: 土工格栅的铺设采用横向铺设, 关键是保证其连续性, 不出现断裂、弯扭折皱、松弛, 又要避免过量拉伸。材料应堆放在阴凉处, 严禁暴晒和雨淋, 以免其性能老化。软基处理段与未处理段的交接处设置过渡衔接, 并保证必要的搭接长度。在路槽纵向铺设跨施工缝的土工格栅, 加强新老路基的横向联系, 减少裂缝反射。

(5) 路基填筑: 根据区域的料源情况合理选择填料, 填料的物理力学特性要与老路基填料相近, 严格控制新老路基结合带的压实, 对新老路基结合带(大型压路机的压实施工死角)用打夯机分薄层填筑压实。国外针对软土地基上加宽路基填筑施工提出了间隙法 (Gap-method)^[8], 这是一种二步填筑法, 先在距离老路基一定距离外填筑部分新路基, 新老路基之间留有一定间隙 (Gap), 然后再填筑新老路基之间的间隙。由于在第一阶段新路基填土自重作用下的固结会使新老路基间隙下的软土强度和水平应力提高, 因而可以有效减小第二阶段填土对老路基产生的附加变形, 而且这种分步填筑法要比一次性整体填筑对老路基产生的变形要小。

4 加宽工程的理论分析计算

目前, 国外对于软土地基上高速公路加宽工程的理论研究尽管起步较早, 但大多建立在离心模型试验和有限元模拟分析的基础之上。1999 年美国普渡大学的 Richard J. Deschamps 等人对一般加宽路基进行了研究, 提出了加宽路基的设计指南和施工步骤, 但并未涉及软土地基上路基加宽的问题。国内由于高速公路加宽工程刚刚起步, 相关的理论研究更是存在着不足, 需要作深入系统的研究。

4.1 分析计算的内容

考虑路基不同的应力水平、固结程度和地基处理方法等因素, 计算加宽新路基地基处理前后的路基应力应变关系以及由其引起的老路基附加沉降、新老路基差异沉降; 新老路基结合部在不同处治措施下的应力应变特性以及对减小新老路基差异沉降的影响; 新老路基的整体稳定性分析; 预测通车后交通荷载作用下新老路基的工后沉降及差异沉降。

4.2 分析计算的方法

(1) 有限单元法

目前, 国外多利用弹塑性摩尔库仑模型或修正 Cam-Clay 模型对加宽路基进行有限元模拟计算, 如 E. Vos (1994), A. N. G. Van Meurs (1999)^[8] 等人对加宽路基的间隙法 (The Gap-method) 填筑进行了有限元数值计算, R. B. J. Brinkgreve 和 P. A. Vemeer (1994) 针对软土地基上的加宽路基工程分析了有限元计算中不同本构模型的选取所引起的计算差异。国内地基沉降估算多采用分层总和法, 固结计算大多采用太沙基一维固结理论, 假设地基只产生竖直变形和渗流。但是, 在加宽工程中, 软土的侧向变形尤为显著, 土体水平向渗流对固结的影响有时比竖向的更大。同时, 加宽工程的新老路基施工时间相差几年, 因此应采用二维分析方法进行固结和沉降的计算更为合理。对于新老路基结合部土工合成材料的加筋处理, 大多引入土工合成材料单元以及相应的接触面单元, 模拟筋土之间的相互作用, 计算土工合成材料新老路基结合部的应力-应变特性和整体稳定性。Juha Forsman 和 Veli-Matti Uotinen (1999) 利用 PLAXIS 有限元程序分析了土工合成材料在软土地基上加宽路基工程中的应力应变特性。

(2) 反分析法

影响路基沉降定量分析的主要因素之一就是地基参数的可靠性, 参数误差过大势必影响最后的计算结果。对于天然的软土地基, 由于离散性和不均匀性, 参数的室内实验又受到尺寸效应的影响, 不能在宏观上完整地反映特定地点和特定条件下的力学性质。对于路基加宽工程, 可以利用老路基的现场实测资料, 采用参数反分析的方法来确定地基参数, 以综合反映地基的基本特性。反分析方法可以有效地反演地基参数, 从而为解决计算参数的问题提供一个新的途径。利用反分析的参数, 可以利用常规方法或有限元方法计算加宽路基的应力应变特性, 预测工后沉降。反分析法的基础数据来自工程现场实测信息, 所得结果更具有实用性和可靠性。在锡澄高速公路与沪宁高速公路的拼接工程中, 地基参数反分析的方法就得到了较

好的应用。

(3) 模型试验法

利用模型试验可以探索用数学方法不易解决的问题，并且可以和有限元法结合起来，通过模型试验来研究加宽路基的应力与位移场的规律，以便为有限元法编制合理程序提供依据，然后可以用一系列不同参数进行有限元分析，再利用更完善的模型试验来验证有限元分析的正确性，使模型试验与有限元法互为验证，提高计算效率，减少工作量。常用的模型试验是离心模型试验。利用离心机模型试验来模拟软土地基、新老路基及加筋土工合成材料，量测加宽路基的沉降量及孔隙水压力的消散情况，预测软土地基处理效果，新老路基沉降以及整体稳定性。A. G. I Hjørtnes-Pedersen 和 H. Broers (1994) 曾利用大型离心机模型试验和 PLAXIS 有限元程序分析了加宽路基施工过程中软土地基的力学特性和变形特性。H. G. B. Allersma 等人 (1994) 利用小型离心机模型结合 PLAXIS 有限元程序分析了加宽路基的失稳破坏和两种不同填筑方法对加宽路基的影响。

5 存在的问题与建议

5.1 存在的问题

在软基上进行高速公路的加宽在国内还刚刚开始，由于拓宽荷载的形式以及理论计算和分析模式的复杂性，因而在设计和施工方面还存在着不少问题，如加宽路基处新老路基的差异沉降的控制值，目前尚无明确的定论，选用不同的值将直接影响到软基处理和路堤填筑的难度；加宽路基与构筑物的连接处的地基处理与沉降控制问题；新老路基应力应变分析的计算模型选取问题；渗流场对加宽路基变形及整体稳定的影响；加宽路基施工对沿线周围环境的影响；由于要维持道路正常运营，施工组织如何高效合理的安排等，都有待于进行深入而系统的研究。

5.2 几点建议

(1) 施工前对原有高速公路的地质勘察资料、设

计、施工、竣工文件以及营运过程的监测资料等进行研究，并补充原位勘探，详细摸清场地地质变化情况。据此可以分析原有路基的地基处理效果，验证设计计算的正确性，评估地基处理方法的适宜性，确保施工安全稳定。

(2) 高速公路加宽工程软基处理最好采用快速固结方法，以加快施工周期，降低施工期间维持交通正常营运的费用。复合地基法是可行的方法。

(3) 考虑经济性和施工方便，在新老路基结合部铺设土工合成材料可以起到较好的衔接作用，能有效的减小新老路基的差异沉降。

(4) 施工过程中要进行沉降和稳定动态观测，控制填筑速率。

(5) 施工期间要注意排水问题，防止开挖边坡有水，出现老路基坍塌。

(6) 模型试验和非线性有限元法以及现场测试相结合，可以较好的分析软土地基上高速公路加宽工程的力学特性和变形特性。

参考文献:

[1] 任文宏. 高速公路软基加固技术及其效果分析 [J]. 国外公路, 2000, 20 (4): 55—57.

[2] 桂炎德, 徐立新. 沪杭甬高速公路 (红垦至沽渚段) 拓宽工程设计方法 [J]. 华东公路, 2001, 6: 3—6.

[3] 刘保健, 谢永利. 海南东线高速公路软基处理现场试验研究 [J]. 西安公路交通大学学报, 1998, 18 (4B): 214—217.

[4] 陈建荣. 杭宁二期工程路基、排水及防护设计 [J]. 华东公路, 2001, 3: 28—31.

[5] 郭志边, 余佳, 徐泽中. 高速公路拼接段地基处理方法的探讨 [J]. 施工技术, 2002, 31 (1): 45—46.

[6] 黎志光. 高速公路加宽扩建工程新老路衔接的处理措施 [J]. 广东公路交通, 2001, 2: 9—10.

[7] 郭志边. 软土地区高速公路拼接段路基的设计及沉降规律分析 [D]. 南京: 河海大学交通学院, 1999.

[8] A N G Van Meurs, A Van Den Berg, et. Embankment Widening with the Gap-method [J]. Rotterdam: Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure, 1999: 1133—1138.