

文章编号:1005-0523(2011)05-0098-06

既有铁路路桥过渡段路基测试与分析

祝建农

(中铁上海设计院集团有限公司, 上海 200070)

摘要:提出了既有线路基状态在运营条件下测试的方法,并在现场进行了相关测试。测试数据表明,轨枕端头处的动态变形模量值(E_{vd} 值)和轻型动力触探锤击数(N_{10})大于路肩上测得的相应值,改良土在道砟下层粗砂的保护下可以较长时间保持较高的承载力与动态变形模量。动态变形模量与 N_{10} 有一定的相关关系,对 N_{10} 可以正常测试的情况,其线性相关性非常显著,而当 N_{10} 是通过换算得出时,线性相关性不显著。讨论了过渡段的加固与不加固的控制标准,结合实例说明当 E_{vd} 值满足要求时,基床底层仍有可能存在软弱层,建议用 E_{vd} 值和 N_{10} 值综合评价过渡段是否进行加固。

关键词:既有铁路;过渡段加固;动态变形模量; N_{10} ;相关系数

中图分类号:U212

文献标志码: A

宁启铁路是国家“八纵八横”铁路路网中的重要组成部分,位于江苏省中部,长江北岸,线路基本与长江平行,呈东西走向,为一级单线铁路。线路西起南京铁路枢纽林场站,途经六合、仪征、扬州、江都、泰州、姜堰至海安,与新长铁路相连,过海安经如皋至南通,全长约268.2 km,其中含特大桥19座,大桥12座,中桥103座,全线桥长约占全线总长的16%。由于运力不足,现正进行200 km·h⁻¹提速改造。

宁启线全线路基大部分为填方段,修建时路基基本上为直接挖方或就近移挖作填形成,未进行过专门的路桥、路涵过渡段处理,部分过渡段产生了较大的沉降和锥坡破坏(如图1所示)。提速时由于路基的刚度不足和沉降量过大,造成线路刚度与几何不平顺^[1],易引起行车事故和影响乘客舒适性,需要进行加固处理。



图1 冯官圩桥路基相对桥台的沉降与锥坡开裂

Fig.1 Settlement and conical slope crack of roadbed and abutment in Feng-Guanwei Bridge

收稿日期:2011-07-10

基金项目:国家自然科学基金(50908086);江西省教育厅课题(GJJ11441);中铁上海设计院集团公司科研项目(80110014)

作者简介:祝建农(1963—),男,高级工程师,主要从事铁路勘察设计和项目管理工作。

过渡段刚度渐变一直是过渡段研究的一个热点,过渡段的控制标准和动应力影响因素许多学者提出了不同的看法。赵国祝^[2]认为随着列车运行速度的提高,特别是对高速铁路,其主要由刚度控制,而不是强度控制。雷晓燕^[3]研究轨道刚度突变对轨道振动的影响,分析单轮对和TGV高速列车在3种轨道刚度比时的轨道动力响应。结果表明,轨道刚度突变对轨道振动影响较大,轨道动力响应随着刚度比和列车速度的增加而增加。尹成斐^[4]结合朔黄铁路170号桥附近路桥过渡段特点,开展了轨道支撑刚度及路基K30现场测试,分析了刚度变化特点;结合路桥过渡段有限元模型,分析了扣件刚度、基床表层刚度、填料刚度对线路动力响应的影响。研究结果显示,为减小基床表层动位移和加速度,基床表层刚度应高于150 MPa,填料刚度应高于150 MPa。童发明^[5]采用激振法(强迫振动)对武汉试验段涵—涵过渡段和路—桥过渡段路基的不同位置进行了激振试验,成功地获得了过渡段路基不同位置的武广客运专线过渡段路基的整体刚度系数和阻尼系数,不仅为过渡段路基的强度、变形分析和仿真试验提供了必要的动力参数,同时也进一步验证了过渡段路基设计和施工的可靠性。

既有铁路过渡段路基检测与评价是过渡段加固的基础,但在既有铁路仍在运营状况下进行检测存在较多困难,本文结合宁启既有铁路路桥过渡段处理工程,提出了适用于既有线路基的探测与评价方法。

1 既有铁路过渡段路基现场测试方案

1.1 检测方案

因为既有铁路经过多年运行后,路肩遭受长时间风化剥蚀,而轨道下方的路基或经过列车动荷载作用渐变密实,或出现了道砟囊而出现了病害,两者有关指标可能有较大差别,所以过渡段的检测不仅要获得路肩有关指标,更需要轨道下方道床的有关指标,这就需要扒道砟在轨道下方进行检测。扒道砟进行测试时,势必会影响道床道砟层原有的密实程度,如果恢复道砟时不能达到先前的密实度,轻则引起晃车,严重时可能引起列车出轨。

为了获得轨下路基的有关指标,原测试方案的测试位置中心点离轨道30~40 cm,位于轨枕中间,如图2(a)中虚线圆圈所示。

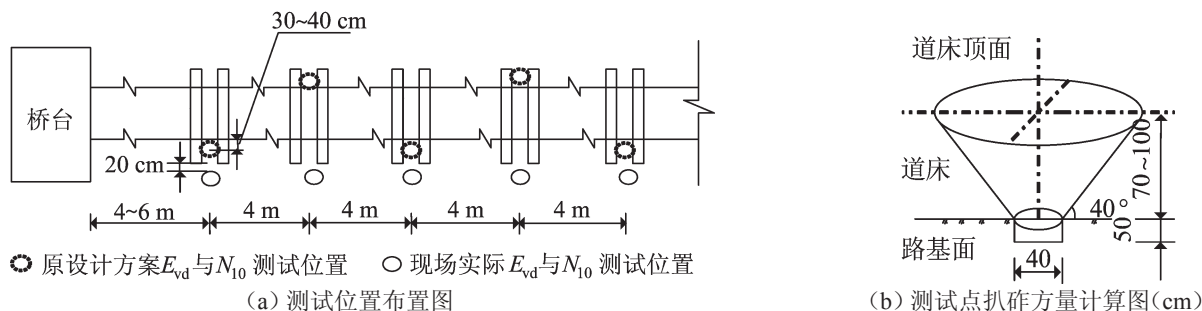


图2 测试位置布置平面图与测试点扒方量计算图

Fig.2 Location layout plan and volume calculation chart of test points

宁启既有铁路经过多次抬道后,道床高度一般为70~100 cm。根据计算,若要按照原方案扒道砟进行测试,则需要扒道砟方量达1.0~2.4 m³,影响半径达1.0~1.4 m(如图2(b)所示)。因此,为保证既有运营安全,须改变测试点位置,以减少道砟受影响范围。修改后的测试点在轨枕头外侧约20 cm(如图2(a)中的实线圆圈所示)。

1.2 现场测试方法与测试步骤

- 1) 在天窗时间点之前,首先在路肩上测定剖面上的 N_{10} 与 E_{vd} ,获得路肩的路基承载力与动态变形模量;
- 2) 天窗点开始时扒道砟,扒道砟以轨枕头为界,并保留10~20 cm的距离,防止因为扒砟而影响轨下道砟的密实度,从而影响轨下道床的密实度;
- 3) 当道砟扒到路基顶面时,先测 E_{vd} 值,然后用轻型动力触探仪测试 N_{10} 值;

4) 恢复道床,恢复时适当用镐捣固。

实践表明,当道床道砟开挖至轨枕端头,并留有10~20 cm的余地时,恢复道砟后可以保证列车运行的安全,且在3小时的天窗时间内可以完成路基密实度、动态变形模量和承载力测试。

2 过渡段实测数据分析

动态变形模量测试仪的工作原理是利用落锤自由落体产生冲击力作用于直径300 mm的圆形平板上,通过载荷板将动荷载传递给路基面使得路基产生沉降 S ,并由 $E_{vd} = 22.5/S$ 计算动态弹性模量 E_{vd} ^[6]。 E_{vd} 动态平板载荷试验弥补了 K_{30} 平板载荷试验用静力加载不能真实反映列车高速行驶时动荷载对路基影响的不足,同时从某种程度上反映路基的刚度。

轻型动力触探通过击入土中30 cm所需要的锤击数来计算路基的承载力,对于一般粘性土,一定锤击数范围内可以通过式(1)获得路基的承载力^[7]。

$$\sigma_0 = 8 \times N_{10} - 20 \quad (1)$$

2.1 路肩与轨枕头的动态变形模量关系

对试验过渡段的20 m范围内进行了 E_{vd} 测试,测试点离桥台的距离分别是5.8 m, 9.8 m, 13.6 m, 17.5 m, 20.4 m,测试点分别位于相应位置的轨枕端头与路肩上,小里程过渡段记作过渡段1,大里程端过渡段记作过渡段2,其测试结果如图3(a~d)所示。

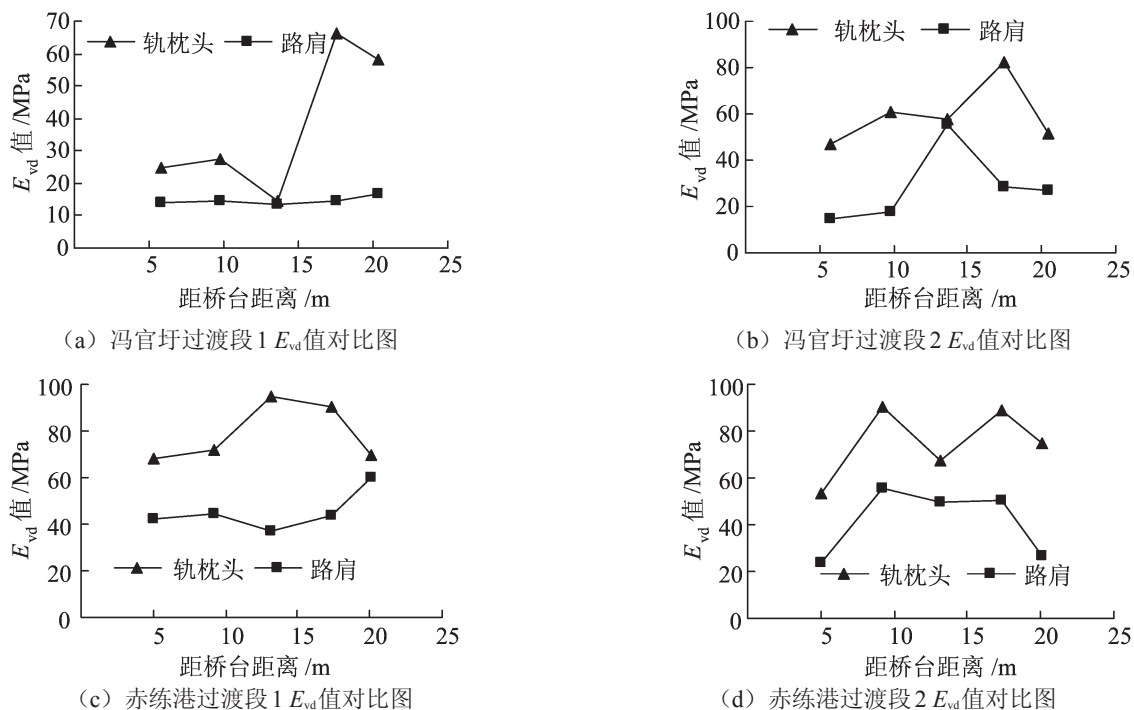


图3 冯官圩桥与赤练港桥过渡段 E_{vd} 与 N_{10} 对比图

Fig.3 Comparison chart of E_{vd} and N_{10} in transition section of Feng-Guanwei and Chi-Liangang Bridge

从图3(a~d)中可以得出,轨枕端头处的 E_{vd} 平均值高于路肩,单点测值也高于路肩。这是因为冯官圩和赤练港两座桥过渡段路基填土均进行了改良。经过近6年的运营,由于路肩改良土遭受风化剥蚀,基床表层的改良土厚度变薄,而改良层下面的地层软弱,故其 E_{vd} 值较小。而轨枕端头处的基床表层上面有道床的保护,特别是下层粗砂的保护,厚度没有缩减,故改良层厚度较路肩处大,测得的 E_{vd} 值较路肩大。赤练港路肩和轨枕端头改良层实测厚度如图4所示。

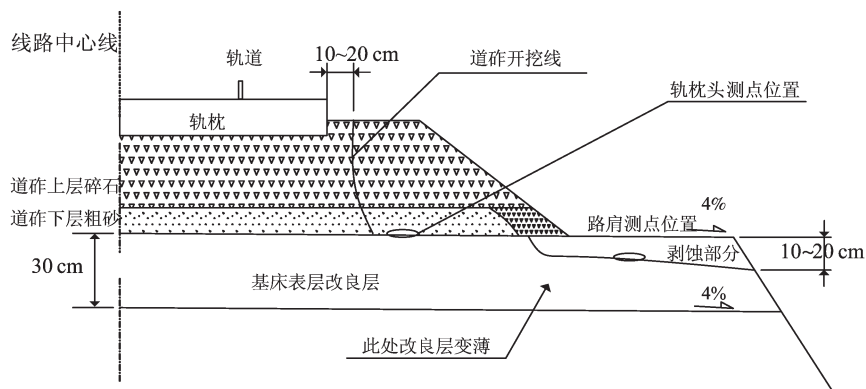
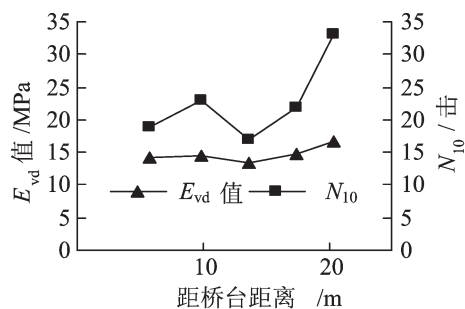


图4 赤练港道床和路基横断面图

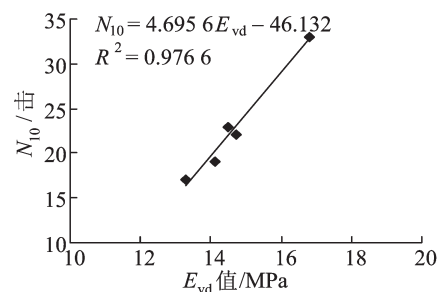
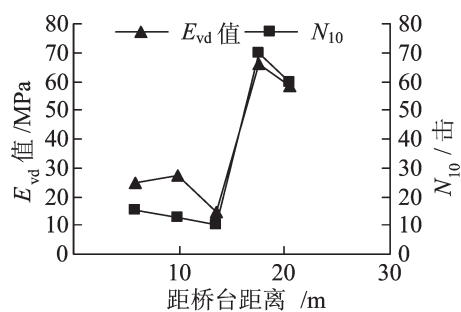
Fig.4 Cross section diagram of ballast and subgrade in Chi-Liangang Bridge

2.2 E_{vd} 值与 N_{10} 值的相关关系

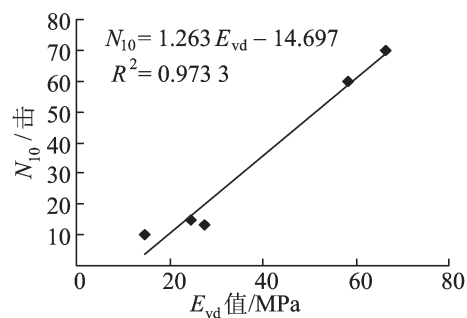
1) N_{10} 实测30 cm的锤击数时与 E_{vd} 值的相关关系。对于冯官圩过渡段2,所有测得的锤击数均为通过锤击入30 cm所获得的锤击数。从图5(a,c)容易得出 E_{vd} 值越高 N_{10} 越高的趋势, E_{vd} 与 N_{10} 对应的相关关系如图5(b,d)所示,相关系数的平方 R^2 分别达到了0.976 6与0.973 3,可见 E_{vd} 与 N_{10} 具有显著的线性相关性。



(a) 冯官圩过渡段2路肩实测值

(b) 冯官圩过渡段2路肩 E_{vd} 与 N_{10} 相关关系

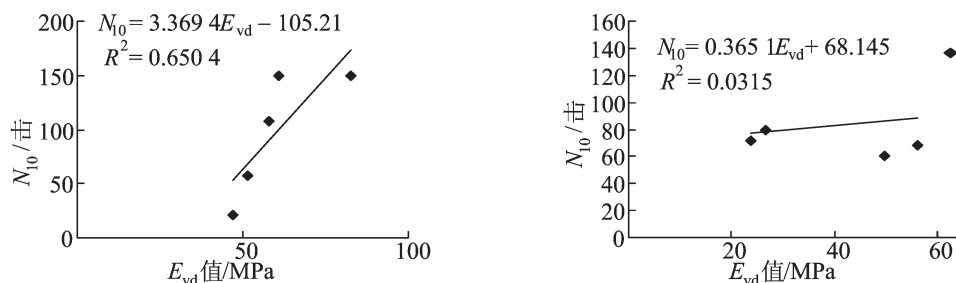
(c) 冯官圩过渡段2轨枕头实测值

(d) 冯官圩过渡段2轨枕头 E_{vd} 与 N_{10} 相关关系图5 E_{vd} 与 N_{10} 的相关关系Fig.5 Correlation between E_{vd} and N_{10}

2) N_{10} 通过换算获得的锤击数与 E_{vd} 值的相关关系。由于冯官圩过渡段1与赤练港过渡2的改良层较厚,当 N_{10} 达到45击时,仅击入7~15 cm,强行击入30 cm不但会花费大量时间,导致天窗内无法完成测试,而且会损坏触探仪。根据规范^[8]规定,此时可以停止实验,其锤击数通过式(2)换算获得

$$N_{10} = 50 \times 30 / \text{击入的探杆长度} \quad (2)$$

将同一个过渡段换算获得的锤击数与 E_{vd} 值相关关系图绘制如图6所示。

图6 冯官圩过渡段1轨枕头与赤练港2路肩处 E_{vd} 值与 N_{10} 相关关系Fig.6 Correlation between E_{vd} and N_{10} in Feng-guanwei transition 1 and Chi-Liangang transition 2

由于 N_{10} 是通过换算获得的,部分测点45击仅击入9 cm,与30 cm相差较大。从图6可以看出,此时 N_{10} 与 E_{vd} 的线性拟合对应的相关系数的平方 R^2 仅为0.650 4和0.031 5,线性相关不显著,或者认为没有线性相关关系。

3) N_{10} 与 E_{vd} 值相结合的评价方式。 N_{10} 值主要通过换算获得路基的承载力, E_{vd} 值主要为了获得路基的刚度值。当 E_{vd} 值超过50 MPa时,轻型动力触探锤击时锥头经常发生回弹,无法完成30 cm的击入深度,故无法完成 N_{10} 测试。 E_{vd} 值满足要求并不能代表过渡段就不需要加固,以冯官圩过渡段1为例,其对应的锤击数与 E_{vd} 值如表1所示。

表1 冯官圩过渡段 E_{vd} 值和 N_{10} 值Tab.1 Value of E_{vd} and N_{10} in Feng-guanwei transition

距桥台距离/m	E_{vd} 值/MPa	N_{10} 值			
		0~30 cm	30~60 cm	60~90 cm	90~120 cm
5.8	47.2	21	15	8	8
9.8	60.8	45/击入9 cm	21	28	10
13.6	57.9	45/击入13 cm	17	17	9
17.5	82.6	45/击入9 cm	20	20	8
20.4	51.6	57	28	19	10

表1中的数据表明,尽管各点的 E_{vd} 值均大于40 MPa,甚至大于55 MPa的高速铁路控制标准,其基床表层0~30cm的 N_{10} 均大于控制击数25击,该过渡段可以评价为可以满足要求。但是当穿过改良层后,路基的 N_{10} 锤击数小于25击,且90~120 cm的锤击数仅有8~10击,对应的承载力为44~60 kPa,用洛阳铲探测可知该层为松软土土,含水量高,并没有完成固结。因此应结合 E_{vd} 值和 N_{10} 值双指标对过渡段是否加固改造作出评价。

3 加固控制标准讨论

根据基床动应力的分析,从荷载的传递规律上看,道床和基床应该作为一个相互联系的整体。道床较厚时,实际的基床可以减小,基床范围应为设计标准道床以下2.5 m。也就是说,当实际道床厚度大于设计道床厚度时,超出的道床部分可以认为属于基床范围。根据京广线道床的情况,参考国内既有线路基加固的经验,实际道床厚度的增加可以使路基面承受的动荷载自然减少。部分路段道床较厚时,底砟部分落入基床范围或实际道床的下部,形成承载力较高的结构层,对路基承载力的提高起到一定的积极作用^[9]。根据京广线提速经验,将纵断面调整与路基加固工程相结合,在满足建筑限界的情况下,线路尽量进行抬道,使道床与原路基面之间厚度增加,从而增加基床刚度,减少基床所受动荷载时的弹性变形,对既有路基起到加强和改善的作用。

根据《铁路200~250 km·h⁻¹既有线路技术管理办法》对线路纵坡的要求,结合宁启既有线的现状,如果以实际道床高度控制加固过渡段,了解每个过渡段的道床厚度需要很大的测量工作量。因此可结合抬道资料和设计纵断面制定是否加固的标准。

1) 根据宁启线初步设计审查意见,既有线路过渡段范围基床表层基本承载力控制标准为 $\sigma_0 \geq 150$ kPa,

且 E_{vd} 值大于55 MPa^[10]。当满足此标准,且既有线路基稳定、土质良好、无病害时,可暂不做基床加固处理。对于特大桥或过渡段路堤高度大于10 m的情况,过渡段是否加固处理仍需要进一步研究。

2) 当既有线过渡段基床表层基本承载力不能满足 $\sigma_0 \geq 150$ kPa要求,但大于120 kPa,且 $E_{vd} \geq 40$ MPa时^[11],如果既有线过渡段抬道量 ≥ 20 cm,可认为至少有20 cm厚的道砟进入基床范围,或基床范围的实际道床形成了承载力较高的结构层,同时满足路基稳定、土质良好、无病害,可不做基床加固处理。

3) 当既有线过渡段基床表层基本承载力与道床厚度不满足以上两点时,应结合路堤填料类型考虑进行浅层置换、水泥土挤密桩或注浆进行方案比选研究加固方案。

4 结论

1) 在距轨枕端头外10~20 cm处进行 N_{10} 与 E_{vd} 测试,基本不影响轨枕下道砟的密实性,回填后列车通过是安全的;

2) 由于轨枕端头处路基表层的改良土受道砟底层粗砂的保护,路肩处遭受剥蚀风化改良层变薄,轨枕端头处的路基刚度与承载力大于路肩上的测试值;

3) 当 N_{10} 击数是通过正常击入30 cm测得时,承载力对应的轻型动力锤击数(N_{10})与该处的 E_{vd} 值具有显著的相关性,当无法击入30 cm,通过换算锤击数时, N_{10} 与 E_{vd} 线性相关性不显著;

4) E_{vd} 值可以代替基床表层的承载力与路基表层的0~60 cm处的路基刚度,而 N_{10} 通过换算可以获得更深处60~250 m基床层的承载力状况,评价路基状态时须综合考虑两种测试结果;

5) 可根据前述3点情况,确定过渡段是否需要加固。

参考文献:

- [1] 刘建坤,曾巧玲,侯永峰. 路基工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006:75-76.
- [2] 赵国祝,何向国,彭华. 铁路既有线提速改造中的主要问题[J]. 石家庄铁道学院学报,2003,16(s1):164-166
- [3] 雷晓燕. 轨道过渡段刚度突变对轨道振动的影响[J]. 中国铁道科学,2006,27(5):42-45
- [4] 尹成斐. 重载铁路路桥过渡段刚度试验及有限元分析[J]. 现代城市轨道交通,2010(6):45-48.
- [5] 童发明,王永和,何群,过渡段路基刚度变化规律的试验研究[J]. 石家庄铁道学院学报:自然科学版,2009,22(2):23-26.
- [6] TB 10414-2003,铁路路基工程施工质量验收标准[S]. 北京:中华人民共和国铁道部,2003.
- [7] 南京水利科学研究所土工研究所. 土工试验技术手册[M]. 北京:人民交通出版社,2003:291-293.
- [8] TB10018-2003,铁路工程地质原位测试规程[S]. 北京:中华人民共和国铁道部,2003.
- [9] 韩斌. 既有线200 km/h提速改造工程路基处理措施[J]. 铁道勘察,2006,37(2):26-28.
- [10] 赵秀绍,祝建农,代裕清,等. 既有铁路勘察评价与加固控制标准研究[J]. 铁道工程学报,2011,28(3):11-15.

Embankment Test of Bridge Transition Section and Data Analysis in Existing Railway

Zhu Jiannong

(Shanghai Design Institute of China Railway Group Ltd., Shanghai 200070, China)

Abstract: A security test method in running existing railway is proposed firstly, and then is used in related tests. Test results show that dynamic deformation modulus (E_{vd} value) and light dynamic penetration blow count (N_{10}) at head sleeper are greater than road shoulder, which indicates that improved soil can maintain a high capacity and dynamic deformation modulus for a long time under the coarse sand protection. There is a certain correlation between E_{vd} and N_{10} . The linear correlation is very significant when N_{10} can be measured directly, and the linear correlation is not significant when N_{10} can not be measured directly which obtained through the conversion. Reinforcement and non-reinforcement control standards are discussed. With examples, weak layer underlying subgrade may still exist when E_{vd} value meets the requirement, so combination of E_{vd} and N_{10} is proposed to decide whether the transition section need reinforcement or not.

Key words: existing railway; transition section reinforcement; dynamic modulus; N_{10} ; correlation coefficient