



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105160186 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 16

(21) 申请号 201510586134. 0

(22) 申请日 2015. 09. 15

(71) 申请人 北京交通大学

地址 100044 北京市海淀区上园村 3 号北京
交通大学土建楼 817

申请人 中国铁路总公司

(72) 发明人 高亮 肖宏 蔡小培 辛涛
张艳荣 徐旻 刘畅 郭骁 罗奇
侯博文 王璞

(74) 专利代理机构 北京正理专利代理有限公司
11257

代理人 张文祎

(51) Int. Cl.

G06F 19/00(2011. 01)

G06F 17/50(2006. 01)

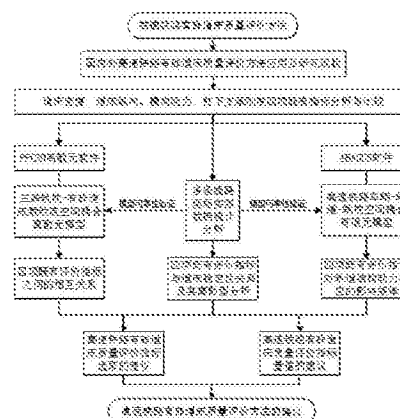
权利要求书1页 说明书11页 附图2页

(54) 发明名称

一种高速铁路有砟道床质量评价方法

(57) 摘要

本发明涉及一种高速铁路有砟道床质量评价方法,所述评价方法采用道床横向阻力、枕下支承刚度以及有砟道床垂向回弹位移百分比作为有砟道床质量的评价指标,当有砟道床达到初期稳定时,所述道床横向阻力 $\geq 12\text{kN/枕}$,所述枕下支承刚度 $\geq 120\text{kN/mm}$,所述有砟道床垂向回弹位移百分比 $\geq 60\%$ 。本发明可以弥补高速铁路有砟道床质量评价方法研究的不足,通过系统深入地研究来寻求具有代表性、综合性的评价指标及其合理量值,完善了我国高速铁路有砟轨道评价技术体系。



1. 一种高速铁路有砟道床质量评价方法,其特征在于:所述评价方法采用道床横向阻力、枕下支承刚度以及有砟道床垂向回弹位移百分比作为有砟道床质量的评价指标,
当有砟道床达到初期稳定时,所述道床横向阻力 $\geq 12\text{kN/枕}$,所述枕下支承刚度 $\geq 120\text{kN/mm}$,所述有砟道床垂向回弹位移百分比 $\geq 60\%$ 。

一种高速铁路有砟道床质量评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及铁道工程设计领域的质量评价方法,特别是涉及一种高速铁路有砟道床质量评价方法。

背景技术

[0002] 铁路是适合中国国情的一种公共交通方式,它促进了中国经济、社会和文化的发展。高速铁路是指新建铁路旅客列车设计最高行车速度达 250km/h 及以上的铁路,或既有线路改造列车最高运营速度达 200km/h 及以上的铁路。从轨道结构型式来看,高速铁路主要分为有砟轨道结构 and 无砟轨道结构两种型式。有砟轨道因其具有建设费用低、噪声传播范围小、建设周期短、破坏时修复快、机械化维修效率高、轨道几何状态调整简单等突出优点被广泛应用于世界各国高速铁路上。随着我国高速铁路的大规模建设,有砟轨道结构的采用将不可避免。以开工建设的京沪高速铁路为例:虽然京沪高速铁路无砟轨道比例超过 90%,但是在某些特殊地段,如济南黄河大桥和南京大胜关长江大桥等,仍将采用有砟轨道。因此,必须针对高速铁路有砟轨道结构展开深入研究。

[0003] 高速铁路要求轨道结构必须具备高平顺性和高稳定性,而有砟道床是一种散体结构,道砟颗粒具有极大的不确定性和离散性等特点。因此,为了满足高速铁路开通与运营的要求,有必要针对铁路施工及养护维修的严格、快捷、方便等特点,探讨合理可行、又能反映道床的细观及宏观力学性能和功能作用的评价指标,以实现有砟道床质量的快速、合理评判。

发明内容

[0004] 本发明的目的是优化适合我国高速铁路特点的有砟道床质量评价指标,并根据各评价指标所反映的道床状态、各指标之间的相互独立性、各指标检测方法的难易性、检测结果的有效性等,提出一种高速铁路有砟道床质量评价方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种高速铁路有砟道床质量评价方法,所述评价方法采用道床横向阻力、枕下支承刚度以及有砟道床垂向回弹位移百分比作为有砟道床质量的评价指标,

[0006] 当有砟道床达到初期稳定时,所述道床横向阻力 $\geq 12\text{kN/枕}$,所述枕下支承刚度 $\geq 120\text{kN/mm}$,所述有砟道床垂向回弹位移百分比 $\geq 60\%$ 。

[0007] 基于上述技术方案,本发明的优点是:

[0008] 本发明可以弥补高速铁路有砟道床质量评价方法研究的不足,通过系统深入地研究来寻求具有代表性、综合性的评价指标及其合理量值,完善了我国高速铁路有砟轨道评价技术体系,研究成果将直接服务于我国高速铁路有砟轨道的新线建设与养护维修,具有重要的理论与现实意义。

附图说明

[0009] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0010] 图 1 为高速铁路有砟道床质量评价方法的结构框图;

[0011] 图 2 为道床密度对枕下支承刚度的影响规律图。

具体实施方式

[0012] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

[0013] 本发明根据高速铁路有砟轨道施工及养护维修的严格、快捷、方便等特点,对道床密度、纵向阻力、横向阻力、枕下支承刚度四项评价指标在微观力学机理层面的相互关系,道床横向阻力、轨枕支承刚度及行车速度变化对轨道结构动力响应的影响规律进行深入研究,根据不同轨下基础、不同施工阶段道床纵向阻力、横向阻力、道床密度、枕下支承刚度实测数据的统计分析,对各评价指标在宏观层面的相互关系、各评价指标的量值与高速铁路有砟轨道质量状态之间的关系进总结分析,提出了一种高速铁路有砟道床质量评价方法。

[0014] 具体地,本发明的结构框图如图 1 所示。本发明提供了一种高速铁路有砟道床质量评价方法,所述评价方法采用道床横向阻力、枕下支承刚度以及有砟道床垂向回弹位移百分比作为有砟道床质量的评价指标。当有砟道床达到初期稳定时,所述道床横向阻力 $\geq 12\text{kN/枕}$,所述枕下支承刚度 $\geq 120\text{kN/mm}$,所述有砟道床垂向回弹位移百分比 $\geq 60\%$ 。

[0015] 进一步,本发明有砟道床质量评价方法的建立方法如下:

[0016] (1) 采用 PFC3D 颗粒流软件,基于 PFC3D 内置 FISH 语言自编程序,并充分考虑散粒体道床的物理力学性质,建立 III 型轨枕一道床三维离散元分析模型。该模型充分考虑了高速铁路道砟外形、级配、道砟颗粒之间接触、道床断面尺寸、轨枕型式等细部结构的组成及其对整体力学特性的影响,并通过现场测试的实测结果对三维道床离散元模型的准确性和有效性进行验证。通过该模型计算得到道床密度、道砟颗粒之间摩擦系数、道砟级配对道床纵横向阻力的影响规律,对不同道床道砟性能参数下各评价指标之间的相关性计算结果进行总结分析,分析出道床质量各评价指标之间的相互关系。

[0017] (2) 采用 ABAQUS 软件建立高速铁路有砟轨道车辆-轨道-III 型轨枕空间耦合动力学有限元分析模型,在建立模型的过程中,充分考虑了车辆的一、二系悬挂系统,横向止档,抗侧滚扭杆以及抗蛇行减振器的作用等影响,并根据现场实测数据对该模型进行可靠性验证。通过该模型计算得到道床横向阻力、轨枕支承刚度及行车速度变化对车体横向加速度、车体垂向加速度、轮轨横向力、扣件支反力、脱轨系数和轮重减载率的影响规律,从动力学角度对各评价指标之间的相互关系和影响轨道质量的控制性指标,并通过分析,得到道床达到稳定状态时道床横向阻力和轨枕支承刚度的合理量值。

[0018] (3) 以多条线路为背景,在不同轨下基础、不同施工阶段道床纵横向阻力、密实度、枕下支承刚度等现场数据的基础上,研究道床评价指标之间的相互关系、道床评价指标量值的变化对轨道质量状态的影响,并与理论分析结果相互验证,得到了高速铁路有砟道床质量评价指标及其量值。

[0019] 本发明在大量现场调研、实测数据以及理论分析的基础上,分别从细观、宏观层面分析了既有道床状态各指标的相互关系、道床状态对轨道动力响应的影响规律,基于分析结果提出了一套高速铁路有砟道床质量评价指标,并在此基础上针对我国高速铁路有砟道

床的特点,提出了一套适用于我国高速铁路的优化道床质量评价方法。

[0020] 本发明的高速铁路有砟道床质量评价方法的原理及具体分析过程如下:

[0021] 所述评价方法对不同道砟及道床参数下道床纵向阻力、横向阻力、密实度、枕下支承刚度进行计算,根据不同工况下四项指标的变化规律,总结分析各指标之间的相互关系。

[0022] 1、应用本发明所建立的轨枕-道床三维离散元分析模型,从细观层面研究了道床密度与道床纵、横向阻力之间的关系,表1是不同工况下道床纵向、横向阻力结果,表2是不同工况下道床质量指标间的相关性分析结果。

[0023] 表1:不同工况下道床纵、横向阻力结果

[0024]

工况		道床纵向阻力/kN	道床横向阻力/kN
道床密度/ (kg/m ³)	1700	14.377	12.090
	1800	14.604	12.199
	1900	14.801	12.218
	2000	14.880	12.333
道砟颗粒之间摩 擦系数	0.4	8.967	7.734
	0.5	10.992	9.376
	0.6	13.076	10.935
	0.7	14.801	12.218
	0.8	15.847	13.195
道砟颗粒级配	中国特级道砟	13.728	11.183

[0025]

	中国既有一级道砟	14.801	12.218
	中国现有一级道砟	14.402	12.464
	澳洲道砟	14.686	12.582
	美国 A 级道砟	14.606	12.642

[0026] 表2:各评价指标间的相关性分析

[0027]

道床密度改变情况下			
指标	道床横向阻力	道床纵向阻力	道床密度
道床横向阻力	1	0.955812	0.9303
道床纵向阻力		1	0.940444
道床密度			1
道砟颗粒之间摩擦系数改变情况下			
指标	道床横向阻力	道床纵向阻力	
道床横向阻力	1	0.999589	
道床纵向阻力	0.999589	1	
道砟级配改变情况下			
指标	道床横向阻力	道床纵向阻力	
道床横向阻力	1	0.867242	
道床纵向阻力	0.867242	1	
枕下支承刚度改变情况下			
指标	道床密度	枕下支承刚度	
道床密度	1	0.97578	
枕下支承刚度		1	

[0028] 通过以上分析可以得出 :如图 2 所示,在分别改变道床密度、道砟摩擦系数、道砟级配工况条件下,道床纵向阻力、横向阻力变化规律基本保持一致,两者的相关系数在不同条件下分别达到了 0.95、0.99、0.86,相关性较大。所以,道床横向阻力在一定程度上可以代替纵横向阻力作为道床平面力学特性的评价指标 ;道床纵横向阻力相关性较大,从变化趋势来说,和道床密度也有较好的对应关系 ;枕下支承刚度随着道床密度的增加而增大,密度大于 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 时,两者近似呈线性相关,相关系数大于 0.97,相关性较好,枕下支承刚度在一定程度上能够反映道床的密度。

[0029] 从理论分析来看,道床纵横向阻力相关性很大,道床密度和枕下支承刚度相关性较大。所以,可以选取道床横向阻力和枕下支承刚度作为道床质量的评价指标。

[0030] 2、应用本发明所建立的高速铁路有砟轨道车辆 - 轨道 - III 型轨枕空 间耦合动力学有限元分析模型,分析道床横向阻力、轨枕支承刚度及行车速度变化对轨道结构各力学响应指标的影响规律。其中,表 3 是不同道床横向阻力下轨道各响应指标最大值 ;表 4 是不同枕下支承刚度下轨道各响应指标最大值 ;表 5 是不同行车速度下轨道各响应指标最大值。

[0031] 表 3 :不同道床横向阻力下轨道各响应指标最大值

[0032]

道床横向阻力 响应指标	8kN/枕	10kN/枕	12kN/枕	14kN/枕	16kN/枕
钢轨下沉量 (mm)	1.32	1.33	1.33	1.33	1.33
道床压应力 (MPa)	0.67	0.65	0.63	0.62	0.60
车体横向加速度 (g)	0.026	0.028	0.032	0.037	0.044
车体垂向加速度 (g)	0.040	0.040	0.041	0.042	0.043
钢轨动弯应力 (MPa)	47.49	47.55	47.58	47.65	47.74
钢轨垂向加速度 (g)	163.32	161.74	160.77	162.46	164.09
扣件支反力 (kN)	38.17	38.13	38.09	37.95	38.10
轮轨横向力 (kN)	17.34	17.43	17.51	17.64	17.78
轮轨垂向力 (kN)	82.17	82.25	82.32	82.41	82.54
脱轨系数	0.15	0.16	0.15	0.16	0.16
轮重减载率	0.36	0.35	0.34	0.35	0.35

[0033] 注:表中所有工况是在道床支承刚度取 120kN/mm、行车速度取 250km/h 情况下计算的。

[0034] 表 4:不同枕下支承刚度下轨道各响应指标最大值

[0035]

枕下支承刚度 响应指标	70kN/mm	100kN/mm	120kN/mm	140kN/mm	160kN/mm
钢轨下沉量 (mm)	1.73	1.50	1.33	1.24	1.15
道床压应力 (MPa)	0.53	0.56	0.60	0.63	0.67
车体横向加速度 (g)	0.029	0.030	0.030	0.031	0.032
车体垂向加速度 (g)	0.030	0.037	0.041	0.047	0.055
钢轨动弯应力 (MPa)	49.34	47.63	46.32	47.26	48.76
钢轨垂向加速度 (g)	149.42	154.53	160.77	167.06	175.44
扣件支反力 (kN)	37.02	37.45	38.09	38.74	39.58

[0036]

轮轨横向力 (kN)	17.25	17.32	17.51	17.60	17.68
轮轨垂向力 (kN)	77.21	79.88	82.32	85.12	89.44
脱轨系数	0.16	0.15	0.15	0.16	0.16
轮重减载率	0.33	0.34	0.34	0.35	0.35

[0037] 注：表中所有工况是在道床横向阻力取 12kN/ 枕、纵向阻力取 14kN/ 枕、行车速度取 250km/h 情况下计算的。

[0038] 表 5：不同行车速度下轨道各响应指标最大值

[0039]

响应指标 \ 行车速度	200km/h	250km/h	300km/h	350km/h
钢轨下沉量 (mm)	1.35	1.30	1.23	1.09
道床压应力 (MPa)	0.57	0.60	0.65	0.73
车体横向加速度 (g)	0.030	0.030	0.031	0.033
车体垂向加速度 (g)	0.039	0.041	0.044	0.050
钢轨动弯应力 (MPa)	49.79	47.89	45.00	42.91
钢轨垂向加速度 (g)	152.89	160.77	168.98	178.81
扣件支反力 (kN)	36.58	38.09	40.44	43.29
轮轨横向力 (kN)	17.23	17.51	17.85	18.17
轮轨垂向力 (kN)	78.73	82.32	87.39	94.07
脱轨系数	0.15	0.15	0.15	0.16
轮重减载率	0.34	0.34	0.35	0.36

[0040] 注：表中所有工况是在道床支承刚度取 120kN/mm、纵向阻力取 14kN/ 枕、横向阻力取 12kN/ 枕情况下计算的。

[0041] 从以上计算结果可以得出如下结论：

[0042] (1) 道床横向阻力值在一定范围内变化时，车体横向加速度呈增大趋势，但最大值仅为 0.044g，对乘客舒适性影响较小，脱轨系数和轮重减载率变化甚微，不会对行车安全性和稳定性造成较大影响。因此，在道床达到稳定状态时，《高速铁路轨道工程施工质量验收标准》(TB 10754-2010) 中规定道床横向阻力 $\geq 12\text{kN/ 枕}$ ，满足高速铁路行车稳定性和安全性要求，且取值留有一定安全余量。

[0043] (2) 道床支承刚度在一定范围内变化时，对车体横向加速度、轮轨横向力、扣件支反力、脱轨系数和轮重减载率的影响较小，钢轨垂向加速度呈增长趋势，当道床支承刚度为 160kN/mm 时，增大 17.4%，由于道床刚度逐渐增大，钢轨垂向位移呈下降趋势，道床支承刚度为 120kN/mm 时，钢轨垂向位移为 1.33mm，减少 23.1%，说明道床刚度的合理提高，可减小钢轨的垂向位移量，改善轮轨关系。当枕下支承刚度 $\geq 120\text{kN/mm}$ 时，轨道的动力响应均在合理范围内。因此，在道床达到稳定状态时，《高速铁路轨道工程施工质量验收标准》(TB 10754-2010) 中规定枕下支承刚度 $\geq 120\text{kN/mm}$ ，满足高速铁路行车稳定性和安全性要求。

[0044] (3) 行车速度达到 350km/h，轨道的动力响应均在正常范围之内，道床状态良好，因此，在道床达到稳定状态时，《高速铁路轨道工程施工质量验收标准》(TB 10754-2010) 中规定的枕下支承刚度 $\geq 120\text{kN/mm}$ ，道床横向阻力 $\geq 12\text{kN/ 枕}$ ，能够满足高速铁路行车稳定

性和安全性要求。

[0045] 3、为了进一步研究既有各指标在宏观层面的相互关系,同时对理论分析结果的可靠性进行验证,对多条线路不同施工阶段道床状态指标实测数据进行了统计分析。表 6 是不同时间不同地点不同下部基础上道床状态几项指标的对比;表 7 是不同时间不同下部基础上道床质量指标间的相关性分析结果。

[0046] 表 6 :不同时间不同地点不同下部基础上道床状态几项指标的对比

[0047]

第 一 次 测 试	跨京沪特大桥(路基上)				
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)
	均值	63.39251	8.297347	15.25747	
	方差	18.15502	1.122817	2.243122	
	最小可能值	27.08248	6.051714	10.77123	
	三户庄桥(路基上)				
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)
	均值	22.90689	6.254193	12.90512	
	方差	17.59131	1.045202	3.362845	
	最小可能值	-12.2757	4.163789	6.179434	
	三户庄曲线头(路基上)				
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)
	均值	52.57185	6.045845	11.06071	
	方差	12.66717	1.174936	2.738652	

[0048]

	最小可能值	27.23752	3.695973	5.583407	
	沂水车站一侧 (路基上)				
	刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	
	均值	71.8076	7.901625609	13.01822696	1.36
	方差	18.7004	0.8597155	1.598752	
	最小可能值	34.4068	6.182194566	9.820722438	
	206 国道 (过渡段上)				
	刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	
	均值	32.0748	6.337765464	11.07402833	
	方差	8.6316	0.6671119	2.766415	
	最小可能值	14.81161	5.003541716	5.541198565	
	三户庄桥 (过渡段上)				
	刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	
	均值	23.54688	6.045845	12.12472	
	方差	11.81719	1.174936	2.489692	
	最小可能值	-8.75E-02	3.695973	7.145336	
	跨京沪特大桥 (过渡段上)				
	刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	
	均值	63.44725	9.358696	17.24661	1.4236
	方差	4.959597	7.61E-02	0.65339	0.090561029
	最小可能值	53.52806	9.206522	15.93983	1.242477942
	沂水车站一侧 (过渡段上)				
	刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	回弹百分比
	均值	62.48931	8.738754	11.06071	1.3614
	方差	11.5443	1.242917	2.738652	0.075057438
	最小可能值	39.4007	6.252921	5.583407	1.211313695
	206 国道 (桥上)				
	刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	
	均值	96.55262	10.43232	16.24731	
	方差	20.07266	0.650171	4.289979	
	最小可能值	56.40731	9.131974	7.667354	
	三户庄 (桥上)				
	刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	
	均值	35.81349	7.61088	13.08122	
	方差	22.30667	1.265851	4.602859	
	最小可能值	-8.79986	5.079178	3.875503	
第	跨京沪特大桥 (路基上)				

[0049]

二 次 测 试		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	
	均值	69.09559	7.754777	10.56562		
	方差	23.56089	0.747627	1.771772		
	最小可能值	21.97382	6.259522	7.022077		
	三户庄曲线头(路基上)					
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	
	均值	55.02376	6.550924	8.314721	1.413667	
	方差	11.76996	0.426289	1.944905	0.083957	
	最小可能值	31.48384	5.698347	4.424911	1.245753	
	沂水车站一侧(路基上)					
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	回弹百分比
	均值	68.377896	8.44632257	10.77030437	1.427296	57.00275
	方差	11.43527	0.8397638	1.080868	0.085272	17.30134
	最小可能值	45.5073	6.76679493	8.608568358	1.256753	22.40007
	206 国道(过渡段上)					
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	回弹百分比
	均值	35.90757	4.931189614	7.780748663	1.30875	67.67185
	方差	6.42868	0.901948	2.130327	0.132902	13.62843
	最小可能值	23.0502	3.127293663	3.520093737	1.042945	40.41499
	三户庄桥(过渡段上)					
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	回弹百分比
	均值	47.5836	6.533319	无	1.349625	60.01603
	方差	14.52863	1.027695		0.133438	15.88822
	最小可能值	18.52633	4.477928		1.082749	28.23958
	沂水车站一侧(过渡段上)					
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	
	均值	48.40667	7.041667	8.568118		
	方差	18.60304	0.458333	2.327035		
	最小可能值	11.20059	6.125	3.914049		
	206 国道(桥上)					
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	回弹百分比
	均值	131.0131	11.95837	12.49242	1.298667	50.72845
	方差	48.36272	2.413459	4.421324	0.151587	9.00894
	最小可能值	34.28763	7.131449	3.649769	0.995492	32.71057
	三户庄(桥上)					
		刚度	横向阻力	纵向阻力	道床湿密度 (20cm)	

[0050]

	均值	76.72205	8.749049	10.71214		
	方差	10.63624	1.055488	1.550128		
	最小可能值	55.44957	6.638073	7.611882		

[0051] 表 7 :不同下部基础上道床质量指标间的相关性分析

[0052]

路基上					
	横向阻力	纵向阻力	枕下支承刚度		
横向阻力	1	0.957205	0.715483		
纵向阻力		1	0.792751		
枕下支承刚度			1		
过渡段上					
	横向阻力	纵向阻力	枕下支承刚度		
横向阻力	1	0.823058	0.732072		
纵向阻力		1	0.250616		
枕下支承刚度			1		
桥上					
各指标	枕底刚度	横向阻力	纵向阻力	回弹百分比	回弹百分比倒数
枕底刚度	1	0.955638	0.856089	-0.87198	0.918631252
横向阻力	0.955638	1	0.962632	0.605138	0.971772042
纵向阻力	0.856089	0.962632	1	-0.90492	0.91912994
回弹百分比	-0.87198	0.605138	-0.90492	1	-0.9940134
回弹百分比倒数	0.918631252	0.971772042	0.91912994	-0.9940134	1

[0053] 由以上数据统计分析可得出：

[0054] (1) 纵向阻力与横向阻力在变化趋势上有较好的对应关系（两个指标不独立），由于纵向阻力测试精度难统一、离散性较大，而横向阻力测试精度较高、离散性小、人为因素干扰少、不破坏道床，因此，在评价道床平面的力学性质时可以采用横向阻力来评定。

[0055] (2) 不同的施工阶段道床 2mm 时纵横向阻力的差值是不一致的，且与枕盒内道床的饱满程度、肩部堆高等有关，且对纵向、横向阻力影响比重不同，因此不可能用横向阻力值去反推纵向阻力值。

[0056] (3) 垂向指标与横向指标有一定的相关性，因此道床横向阻力可以作为粗略控制道床状态的一种方法，但不能很好地反映道床垂向的力学特性。

[0057] (4) 枕下刚度反映的是道床与其线下基础的总刚度，这与密度仅反应道床的密实状态略有不同，因此二者之间是相关的，但无较好地对应关系。

[0058] (5) 刚度的回弹位移百分比评价指标，其与道床密度有较大相关性，能够反映道床的弹性性能。

[0059] 由于道床密度的测试方法不统一、测试方法存在着较大的误差及争议，有的方法还破坏道床，因此可以采用回弹百分比、刚度两个指标来替代密度进行道床状态的评定。

[0060] (6) 在新建线路运营初期阶段，通过的列车次数越多道床越趋于稳定，在通过列车

25 次前（约 10 万吨），回弹位移百分比数值较小，且有些阶段会变小，之后变大（有个反复的过程）。运量达到 10 万吨时，回弹百分比超过 60%，此时道床状态正逐渐趋于稳定。在运营 40 趟（约 16 万吨）列车后，回弹位移百分比浮动变小，且保持在 60% 以上。这说明在刚开始运营时，对于尚未稳定的道床，由于列车对道床的扰动，造成了道床弹性的降低，运营一定时间后，道床弹性逐渐恢复、提高，并趋于稳定。以上分析表明道床状态趋于稳定时，回弹百分比量值应不小于 60%。

[0061] 综合离散元、有限元理论分析结果及现场测试数据统计分析结果可以得出：

[0062] （1）高速铁路有砟道床质量评价指标的选取方面：基于轨枕－道床离散元模型分析、多条线路有砟道床状态实测数据统计分析及室内试验验证均表明：道床横向阻力、枕下支承刚度及其回弹位移百分比完全能够作为评价道床质量的指标。

[0063] （2）高速铁路有砟道床质量评价指标的量值方面：基于车辆－轨道－III 型轨枕空间耦合动力学模型分析、多条线路的新建线施工过程实测数据统计分析，建议在《高速铁路轨道工程施工质量验收标准》（TB10754-2010）基础上，新增道床垂向回弹位移百分比作为道床质量评价指标，并建议道床达到初期稳定时，道床垂向回弹位移百分比不小于 60%。

[0064] 最后应当说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制；尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细的说明，所属领域的普通技术人员应当理解：依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者对部分技术特征进行等同替换；而不脱离本发明技术方案的精神，其均应涵盖在本发明请求保护的技术方案范围当中。

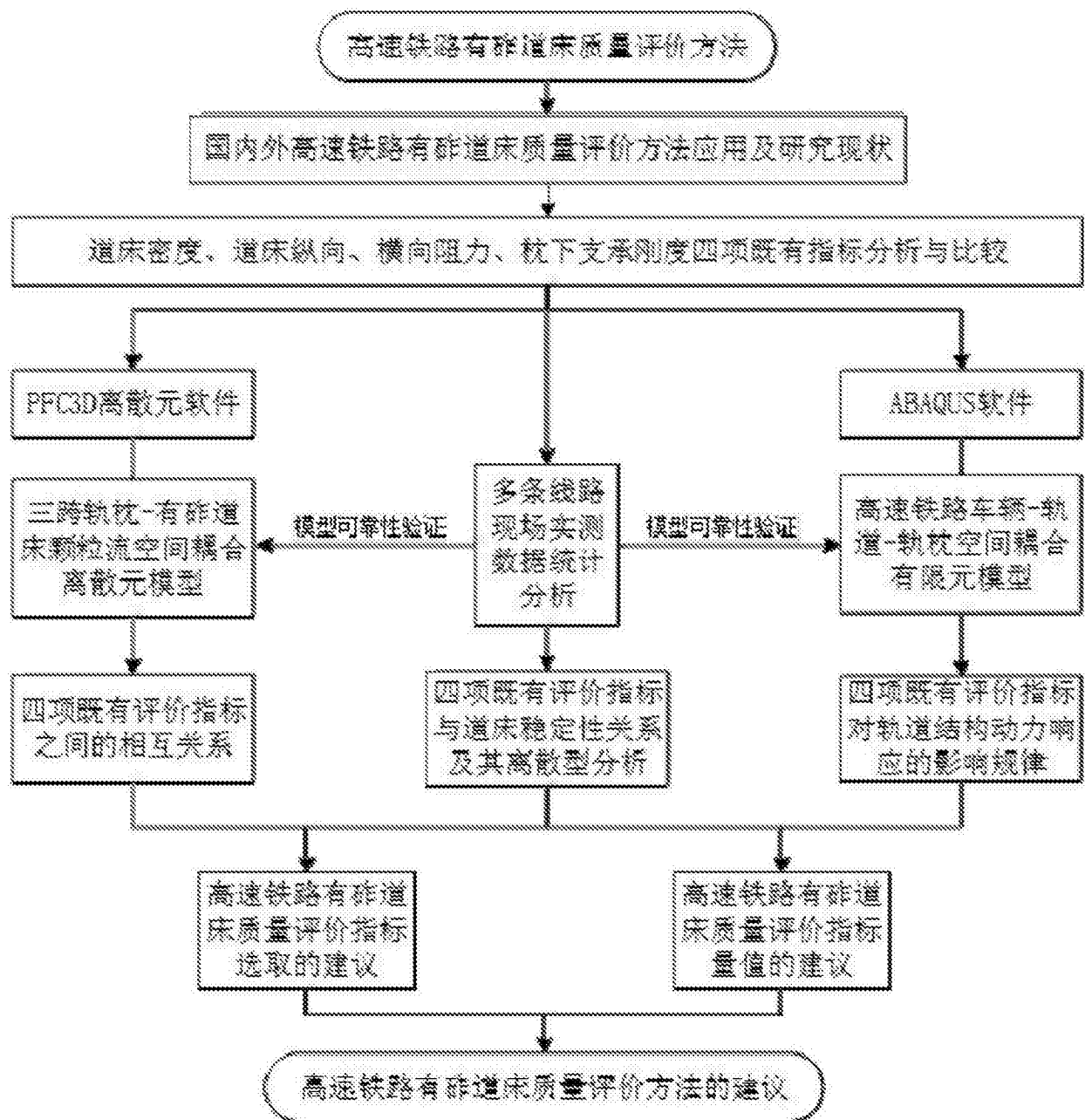


图 1

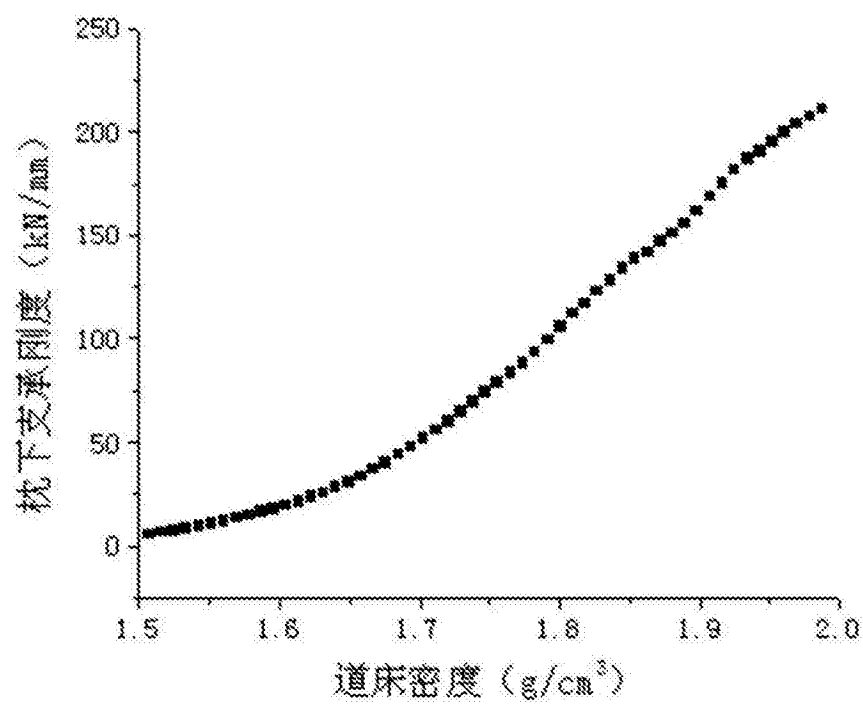


图 2