

高速铁路轨下基础结构型式的探讨

铁道部电化局电气化设计院 黄长绥

我国高速铁路运输新技术研究,已列入国家“八五”重点攻关项目。铁道部已安排京沪线京津、沪宁两段首先修建高速铁路,目前正在开展可行性研究;广深线正在进行160km/h准高速行车的技术改造。

对于高速铁路的开发与建设,需要研究解决牵引动力、车辆、线路、轨道结构、路基、通信信号、电气化、行车调度指挥、行车组织和运营模式等领域的一系列科学技术问题。本文就我国高速铁路轨道结构中的轨下基础型式进行初步探讨,请专家学者批评指正。

一、国外高速铁路轨下基础应用与发展

目前,国外高速铁路轨下基础型式,主要有两大类。一种是传统型式的有碴轨道,由碎石道床和钢筋混凝土轨枕或其他型式轨枕组成;另一种是板式轨道和沥青固结道床轨道,以阳离子乳化沥青水泥砂浆为垫层(调整层)或填充道碴。

传统有碴轨道具有结构简单,养护维修方便等优点,同时也存在轨道变形快,稳定性差、养护维修作业量大等缺点。但由于技术的原因,不少国家高速铁路仍采用有碴轨道。如法国1983年和1990年建成通车的TGV铁路东南线和大西洋线,线路长度分别为426.4km和296km,旅客列车最高速度分别为270km/h和300km/h,铺设UIC60型钢轨,U41型双块式预应力钢筋混凝土轨枕,重量245kg,长度2.415m(东南线部分地段采用2.6m预应力钢筋混凝土轨枕),每公里1660根,硬质(玄武岩、斑岩、片麻岩)碎石道碴,道床厚度不少于35cm,道床边坡1:3。法国铁路认为,采用双块式轨枕有碴轨道,轨道横向稳定性有保证。

英国高速铁路采用有碴轨道,规定花岗岩加工道碴,道床底部设置砂垫层,采用耐磨钢轨、钢筋混凝土轨枕和弹性垫层,并严格遵守铺设无缝线路的设计轨温。

意大利高速铁路主要铺设无碴轨道。1988年建成通车的罗马~佛罗伦萨段,全长262km,旅客列车行车速度250km/h,铺设UIC60型钢轨,道床厚度35cm,预应力钢筋混凝土轨枕,长度2.6m,重量215kg。近年来新设计重量400kg的钢筋混凝土轨枕,已在进行试铺。

联邦德国高速铁路采用有碴轨道。1973年修建的汉诺威~维尔茨堡和1976年修建的曼海姆~斯图加特段,线路长度分别为327km和90km,旅客列车最高行车速度200km/h,铺设UIC60型钢轨、B70型钢筋混凝土轨枕,长度2.6m,重量300kg,道床厚度30cm,道床

肩宽50cm。

日本于1964年建成通车第一条高速铁路东海道新干线有碴轨道,全长515km,最高行车速度210km/h,铺设60kg/m钢轨,硬质碎石道碴,道床厚度30cm,预应力钢筋混凝土轨枕,长度2.4m。在运营中道碴磨损严重,道床板结,失去弹性,轨道养护维修工作量。以后,在行车速度提高到260km/h的区段,作了以下改进:①钢轨的橡胶垫弹簧常数改用60T/m;②高架桥地段在道碴下铺设2.5cm厚的橡胶垫;③强化轨枕,每根重量由240kg改为325kg。近年来对既有线进行了技术改造,目前尚有54%地段保留有碴轨道^[3]。

板式轨道和沥青固结道床轨道都取消了散粒体道碴,道床粘结成整体,从而使列车荷载能够均匀地分布到路基面上,改善了轨道工作状态,轨道纵、横向阻力大,振动加速度小。日本新干线主要采用板式轨道。它是由混凝土基础板、阳离子乳化沥青水泥砂浆层和轨道板等组成。1972年和1975年日本建成通车山阳新干线(大阪~冈山和冈山~博多),线路长度分别为161km和393km,最高行车速度230km/h,有68%的线路铺设板式轨道。1982年建成通车的东北新干线,全长496km,最高行车速度240km/h,有90%的线路铺设板式轨道。1982年建成通车的上越新干线,全长270km,最高行车速度240km/h,有95%的线路铺设板式轨道。正在修建的新干线盛冈~青森、青森~札幌、高崎~小松、博多~鹿儿岛和计划修建的福冈~长崎等,总长度约900km,最高行车速度260km/h,大部分也都采用板式轨道。

日本国铁认为,土质路基下沉是难以避免的,重点应放在缓和并控制这种下沉,要考虑修建的成本。在新干线铺设板式轨道有困难的地段,铺设铺装轨道;在铺设板式轨道和铺装轨道有困难地段,铺设填充道床轨道^[5]。八十年代初,既有线技术改造时,大量换铺轨枕板铺面轨道(有的亦称铺装轨道)、铺装轨道和填充道床轨道。

铺装轨道是指采用大型PC轨枕(2400×733×200)和调高扣件,在枕下铺设调整层(沥青混合物PTAC或常温硬化弹性层),在调整层与路基面之间设置3~4层不同材料,分别用重型压路机碾压作为承重层。在稳定及不稳定的既有线和新线路基上均可采用这种轨道^[6]。这种结构型式与上海新客站南半场铺设的路面式宽轨枕沥青道床轨道基本相同。

填充道床轨道,是指在钢筋混凝土轨枕碎石道床的道碴空隙中灌注阳离子乳化沥青水泥砂浆,使道床成为整体结构,没有调整层,道床填充厚度,从路基面到轨枕底部以上6cm,其目的是增加轨道纵横向阻力和便利施工。在既有线上应用这种型式,还可利用既有钢筋混凝土轨枕和经冲洗后的原有道碴,工程造价较为便宜。这种型式与我国大秦铁路郑重山隧道和济南车辆段库检线铺设钢筋混凝土轨枕沥青固结道床基本相似。

轨枕板铺面轨道(亦称铺装轨道),主要在既有线大修或技术改造时应用。其特点是换铺大型PC轨枕和调高扣件以及更新道床上部道碴,并压实下部既有道碴,在枕下的新道碴的范围内灌注阳离子乳化沥青水泥砂浆固结成为整体。这种型式与我国大秦铁路下王峪隧道铺设的宽轨枕沥青道床轨道基本相同。

日本铺设板式轨道、铺装轨道和填充道床轨道,均进入了广泛应用阶段,经受了长期运营考验,在运营中显示出很大优越性。板式轨道小量下沉时,可通过扣件调整水平和方

向,当轨道板损坏或路基较大下沉时,采用千斤顶将板抬高,重新灌注阳离子乳化沥青水泥砂浆,比较容易地进行修复;铺装轨道,轨枕板铺面轨道和填充道床轨道的工程造价与有碴轨道相差不大,一般日常维修工作主要是调高扣件的方向和水平调整,当路基较大下沉时,将轨枕抬高,在枕下注入阳离子乳化沥青水泥砂浆,新老材料结合牢固。这种轨道结构是目前各国铁路比较好的一种型式,其成功的主要因素,归功于阳离子乳化沥青水泥砂浆作为道床粘结剂和轨道的缓冲层材料,使轨枕底面与道床的接触,由有碴轨道的点接触,变成面接触,因此,降低了道床振动加速度,增大轨道纵、横向阻力,使轨道稳定并带来一系列益处。

近年来,西欧不少国家高速铁路开始对有碴轨道的养护维修费用昂贵、轨道稳定性差、轨道几何公差要求严格难以保持等提出不少意见,并且根据本国的具体情况,开展了研究试铺其他型式轨下基础。意大利国铁和其他铁路部门认为,传统的碎石道床轨道,虽然适用于高速铁路,但轨道结构需要严格的几何公差和频繁的维修作业,有必要试验无碴轨道进行比较。1989年在乌迪内~塔尔维西奥线路上试验无碴轨道,采用钢筋混凝土板(轨道板),将板铺设在钢筋混凝土平台(基础板)上,在其两者之间灌注水泥-沥青混合物。他们认为,虽然这种新型轨道结构的建造费比较昂贵,但减少了维修工作量和增加了运输量,综合比较还是有利的。试验行车速度300km/h,如果试验成功,将决定这种结构型式应用于高速铁路^[1],主要目的在于保证轨道形状长时间保持准确和降低养护维修费用。

联邦德国铁路认为,传统有碴轨道适用于200km/h的速度。但在高速300km/h线路上,必须选择其他轨道结构型式,因为外轨超高120mm时,有碴轨道不易保证轨道稳定性。此外,在运营过程中道碴变小,维修费用昂贵,基于上述原因,高速铁路最好使用整体道床^[7]。1986年以来,加速发展整体道床,其中属于沥青道床轨道系列的有:sato型、SBV型和FTR型整体道床等三种。sato型整体道床是指将石棉和沥青混合物分层粘结成为整体,然后在其上铺设y型钢枕(1986年铺设两处总长度1074m,1987年铺设一处935m),SBV型整体道床是指在钢筋混凝土轨枕碎石道床的道碴内灌注沥青混合物成为整体(1987年铺设一处334m,1988年铺设一处190m);FTR型整体道床是指在钢筋混凝土拼装框架式轨道板碎石道床的道碴内灌注沥青混合物粘结成为整体。以上三种整体道床的路基均作了特殊加固处理。

可见,高速铁路轨下基础采用沥青混合物作为轨道垫层或道床粘结材料是必然的趋向。苏联铁路计划将沥青固结道床轨道作为至2000年铁路现代化的一项措施^[2]。可以预料阳离子乳化沥青水泥砂浆的问世,将对各国高速铁路和普通铁路广泛铺设沥青固结道床起到推动作用。

二、我国高速铁路轨下基础结构型式

我国高速铁路刚开始起步,应当结合我国的国情并吸取世界各国的成功经验,研究出适合我国高速铁路轨下基础的结构型式。从国外高速铁路轨下基础的发展情况和我国在普通线路上铺设沥青道床的情况来看,我国高速铁路轨下基础采用沥青固结道床轨道比较适

宜。至于轨枕的选用(宽轨枕、钢筋混凝土轨枕或双块式轨枕),应通过进一步试铺确定。这种沥青固结道床轨道结构型式,与日本铺设的铺装轨道、轨枕板铺面轨道和填充道床轨道基本相同,工程造价与有碴轨道相差不多,可以大量减少养护维修费用,已有日本和我国铺设和运营的实践经验。这里从几个方面进行分析、比较和论证。

(一) 沥青固结道床轨道具有优越的技术性能:

沥青固结道床是以阳离子乳化沥青水泥砂浆为粘结剂或轨道缓冲层材料。这种材料具有特殊优越的技术性能,主要是阳离子乳化沥青带正电荷,水泥和砂浆带负电荷,两者结合是电化学反应,不管天气好坏,集料表面是否有水,带有阳电荷的微小沥青颗粒,都能强有力地吸附于阴电荷的集料表面。水泥砂浆有很高的强度,阳离子乳化沥青具有很好的弹性。所以,阳离子乳化沥青水泥砂浆作为轨枕底部的缓冲层或填充道碴,可以使道床具有与碎石道床基本相同的弹性,起到了减振作用和满足轨道所需要的强度。同时,当轨道或路基下沉较大时,可以抬高轨枕,重新灌注阳离子乳化沥青水泥砂浆。1985年,上海新客站宽轨枕沥青道床通车后发现地道范围内因施工不佳路基下沉,最大下沉量4cm,1986年将其轨枕抬高,在宽轨枕底部灌注阳离子乳化沥青水泥砂浆,新老材料结合牢固。这种特性其他新型轨下基础是不容易有的。运营至今轨道状态良好。一般说来,一种好的轨下基础型式,应当满足以下几个条件:①经济上必须合理,即修建费与养护、维修费相权衡合理;②施工方法和施工要求简单可行;③轨道弹性必须与碎石道床轨道基本接近;④轨下基础发生变形、损坏或路基较大下沉时,有稳妥可行的措施进行调整修复。其中第④条除了有碴轨道和沥青固结道床轨道可以做到之外,国内外不少新型轨下基础都难以做到,因而不少其他新型轨下基础无法得到广泛推广应用。所以,综合权衡,沥青固结道床轨道的技术性能较比有碴轨道优越。

有关技术参数的分析比较:

(二) 试验证明,沥青道床轨道纵、横向阻力比有碴轨道大。当轨下构件位移2mm时,有碴轨道每根钢筋混凝土轨枕横向阻力,一般为650kg,沥青道床轨道一般在2.5T以上,有的达到7T。有碴轨道每根钢筋混凝土轨枕纵向阻力,当轨道位移2.2mm时为710kg,沥青道床轨道在同等轨枕条件下,轨道位移0.1mm时为715kg。所以,沥青道床轨道纵、横向阻力都比有碴轨道大,对高速行车和铺设无缝线路极为有利。1988年,北方交通大学和第三设计院在京广线五里堡车站正线钢筋混凝土轨枕有碴轨道(简称有碴轨道)、钢筋混凝土沥青道床轨道和宽轨枕沥青道床轨道上进行动测^[9],主要测试资料和结论如下:

1. 钢轨动弯应力:北京型内燃机车,行车速度65~85km/h时,有碴轨道比钢筋混凝土轨枕沥青道床轨道大5~35%;宽轨枕沥青道床轨道比有碴轨道小3~24%。

2. 钢轨基础动态下沉:沥青道床轨道为有碴轨道的21.7~32.7%。

3. 轨头动态横移量:宽轨枕沥青道床轨道比有碴轨道小。北京型内燃机车,行车速度55~85km/h,对比小34~66%;东风型内燃机车,行车速度25~55km/h,对比小64~68%。有碴轨道,北京型机车,行车速度从55km/h提高到85km/h时增加72%;沥青道床轨道在同等条件下增加12%。

4. 轨距弹性扩大: 北京型机车, 行车速度 $55\sim 85\text{km/h}$, 有碴轨道比沥青道床轨道大 $34\sim 66\%$ 。

5. 钢轨动态垂直力: 有碴轨道比钢筋混凝土轨枕沥青道床轨道大 $3\sim 9\%$ 。比宽轨枕沥青道床轨道大 $7\sim 11\%$ 。

6. 钢轨加速度: 钢筋混凝土轨枕沥青道床轨道是有碴轨道的 $65\sim 88\%$; 宽轨枕沥青道床轨道是有碴轨道的 $57\sim 70\%$ 。有碴轨道, 行车速度从 65km/h 提高到 85km/h 时增加 45% ; 宽轨枕沥青道床轨道, 在同等条件下增加 22% 。

7. 轨枕加速度: 钢筋混凝土轨枕沥青道床轨道是有碴轨道的 $65\sim 85\%$; 宽轨枕沥青道床轨道是有碴轨道的 $60\sim 75\%$ 。有碴轨道行车速度从 65km/h 提高到 85km/h 时增加 50% ; 宽轨枕沥青道床轨道, 在同等条件下增加 17.6% 。

8. 轨枕的轨下截面弯矩: 钢筋混凝土轨枕沥青道床轨道是有碴轨道的 $36\sim 71\%$; 宽轨枕沥青道床轨道是有碴轨道的 $43\sim 61\%$ 。

9. 轨枕的中间截面弯矩: 钢筋混凝土轨枕和宽轨枕的沥青道床轨道, 分别为有碴轨道的 $74\sim 98\%$ 和 $42\sim 62\%$ 。

从以上各项试验资料分析比较, 沥青道床轨道更适用于高速铁路。

(三) 运营分析比较

根据京广线北段石家庄铁路分局管内的无缝线路区段, 铺设钢筋混凝土轨枕碎石道床线路的调查资料^[4], 轨道几何状态的变化, 主要来自碎石道床的残余变形。线路大、中修后, 道床不稳定, 在列车动载作用下, 道碴压实下沉量一般约 $14\sim 45\text{mm}$, 这时, 需要进行大量维修整治才能保证行车安全。当通过累计运量在50百万吨以上时, 线路才基本稳定。当通过累计运量在150百万吨以上时, 线路最为稳定。但是, 这时道床道碴的孔隙中已逐渐充满污土, 道床上部的道碴开始板结并逐渐向下扩展, 道床排水性能差。当通过运量累计在350百万吨以上时, 道床脏污严重, 道碴中有污土夹层, 在干燥季节道床承载力大, 雨季时, 雨水侵入道床, 承载力显著降低, 道床排水不良, 产生翻浆冒泥, 线路技术状态急剧恶化。这时, 必须进行清筛道碴或更换新道碴, 才能恢复道床的功能。这就是我国繁忙干线有碴轨道技术状态的基本规律。由于运输繁忙, 行车密度大, 很难安排轨道大、中修作业和日常的维修工作, 但养护维修又是不可缺少的。因此, 在轨道换修作业时, 只能让列车减速运行或封锁线路, 这样将打乱列车正常运行秩序, 降低线路通过能力和输送能力。

高速铁路有碴轨道, 尽管采取了种种加强措施, 如增加轨枕长度和重量采用硬质道碴、增加道床肩宽、加大道床边坡和采用机械化维修作业等, 但由于列车高速运行和散粒体道床结构没有改变, 轨道的病害和养护维修工作困难仍然得不到解决。同时, 高速铁路轨道几何不平顺的限值规定非常严格, 能保持在常规的限值内也是十分困难的。

日本高速铁路铺设的铺装轨道—轨枕板铺面轨道和填充道床轨道, 以及我国铁路铺设沥青道床轨道的运营经验表明, 轨道振动加速度小、轨道纵、横向阻力大, 则线路稳定、轨道维修作业量少。例如, 我国大秦铁路郑重山隧道和下王峪隧道铺设阳离子乳化沥青道床, 运营以来线路稳定, 没有进行过维修作业, 轨检车经常检查均为零分。上海新客站铺

设阳离子乳化沥青道床,通车五年来,轨道稳定,没有维修作业,站容整齐美观、整洁宽敞,给人一种文明舒服的感觉。据统计资料,每天从沥青道床上清扫的垃圾有 $1\sim 2\text{ T}$,如果铺设碎石道床无法打扫,这些垃圾必定脏污道床。西安车站铺设宽轨枕沥青道床后,解决了多年线路不稳定和翻浆冒泥等病害,基本上没有维修作业。我国铁路铺设沥青道床轨道,总长度超过 30 km 。其中1986年以后铺设的上海新客站、西安客站、大秦铁路郑重山隧道和下王峪隧道、济南车辆段库检线等,技术比较成熟,施工工艺有了很大改进,在这期间系统地研究了早强系列、防冻系列、复合型早强防冻系列及高温系列等阳离子乳化沥青水泥砂浆的施工工艺,并已实际推广应用于生产。其施工温度扩大到 $0\sim 32\text{ }^{\circ}\text{C}$,轨道弹性已达到与碎石道床基本相同,沥青道床新技术推广应用于我国高速铁路,已经具备了基本条件。

(四)其他因素分析比较:

1. 道碴:高速铁路有碴轨道为了延缓道床道碴的破碎和粉化,必须采用硬质大、韧性好和抗风化强的岩石加工道碴。法国TGV、日本东海道新干线、联邦德国、意大利和英国等高速铁路一般都采用花岗岩等硬质岩石加工碎石道碴,并对道碴的粒径作了严格的规定。我国硬质岩层资源短缺,而且产地一般都远离铁路线,运输不便,料价和运费昂贵。

高速铁路沥青道床轨道,可采用普通有碴轨道使用的次硬质碎石道碴作为固结材料。我国铁路现有近百个次硬度道碴采石场,产地分布广,料价和运费都比较低廉。

因此,从资源和经济上考虑,我国高速铁路采用沥青道床轨道较为适宜。

2. 路基:高速铁路有碴轨道要求路基坚实稳固,在运营开始以后不出现过大的沉降。日本东海道新干线有碴轨道的路堤剩余沉降量要求小于 10 cm ,沉降速度每年小于 3 cm ;路基基床表层进行加固处理,一种是采用沥青混凝土厚 5 cm 和级配碎石(或高炉炉渣碎石)厚度 $45\sim 75\text{ cm}$ 进行处理,另一种是采用水硬性级配高炉炉渣碎石,厚度 $40\sim 60\text{ cm}$ 进行处理。这种措施后基床表层具有较大的承载力和抗震稳定性,变形模量可达到 3000 kgf/cm^2 。法国TGV高速铁路采用推土机和筑路机分层填筑路基保护层和底碴层(垫层),一般由三层组成,上层由砂砾料填筑,压实系数达重型击实标准的 100% ,中层由级配良好的砾石填筑,压实系数要求不小于重夯 95% ,下层防污层(当下部基床为细颗粒含量少于 5% 的土和坚硬石时不设)铺设细砂和土工纤维布。此外,路堤压缩沉降量要小,即必须提高路堤填土的密实度。几个国家高速铁路路堤填土密实度标准,如下表:

	西 德	铁 盟	意大利	日 本	苏 联
基床表层	1.0	0.97	0.95	$K30 \geq 11$	1.0*
路堤下部	0.95	0.95	0.95	$K30 > 7$	0.98*

*轻型击实标准

从表中看出,基本上都要求达到重型击实标准的 95% 以上,这就要求使用大型的振动碾压机械,选择适量的施工工艺。法国修建巴黎至东南干线时,对填筑路堤质量特别重视,

严格监测土壤的含水量和土壤的成分,并依据当时施工天气条件确定路堤夯实深度和次数。在施工期间每一阶段都要监测路基的变形情况,对基础差的新线路基要进行特殊加固措施,如采用振动捣固、混凝土喷浆、化学加固、砂桩或更换土层等;根据土层条件,比较通用的方法是振动加固和各种土层加固等方法。

高速铁路沥青道床轨道,对路基的要求,也可按照法国TGV铁路和日本东海道新干线有碴轨道那样加固处理路基。如果开通运营初期路基出现局部较大下沉时,可以将轨道抬高至所需要的标高,然后在枕下重新灌注阳离子乳化沥青水泥砂浆或填充道碴。这种进行修复技术上可行,经济上合理,不需要象有碴轨道那样,在开通运营初期进行大量的道床整修作业和经常采用养护机械化进行维修工作和进行线路大、中修作业。如果条件许可,也可以在通车一段时间,待新建路基基本稳定后,再在道床内灌注阳离子乳化沥青水泥砂浆,这样可以大大减少整修作业。

(五)经济指标分析比较:

按照高速铁路有碴轨道和沥青道床轨道的一般技术标准,估算工程造价指标,如下表:

高 速 铁 路 有 碴 轨 道	高 速 铁 路 沥 青 固 结 道 床 轨 道
采用花岗岩碎石道碴、加大道床边坡、增加道床肩宽和厚度,总概算指标约为15~20万元/km	采用目前普通线路上使用的次硬质道碴,道床断面标准与普通线路相同,总概算指标约为6~8万元/Lm
道床不断变形,需要配备维修和大中修作业的设备。如自动捣固拨道机、重型捣固机、定量垫砂机、大型清筛机、动力稳定机、大型轨道更新装置、重型铺碴及整平装置等,经常进行轨道机械化作业才能保证列车正常运行。养护维修费用大。	一般情况下轨道稳定,养护维修工作量少。当运营初期路基较大下沉时,可抬高轨道在枕下灌注阳离子乳化沥青水泥砂浆或填充道碴。需要配备设备:轨道车、贮水和贮乳化沥青、槽罐车、小型简易吊车、搅拌机和小型发电机组。这样修复次数少,养护维修费用少。
加长混凝土轨枕、增加道床肩宽和加大道床边坡等,需要加宽路基宽度,直接关系到桥、隧、涵洞建筑物增加宽度以及增加征购土地费,总概算约为7~15万元/km	增加阳离子乳化沥青水泥砂浆材料费,总概算约为25~30万元/km

从经济指数分析比较,沥青道床轨道与有碴轨道工程造价相差不多。

几点建议:

1. 高速铁路要求有良好的轨道稳定性和严格的轨道几何公差。因此,要特别重视铁路基础结构。我国高速铁路刚开始起步,决策采用何种轨下基础型式时,应仔细观察各国的发展趋向,尽量吸收国外先进经验,走我国自己的高速铁路的路子。

2. 沥青道床轨道采用轨枕型式,应通过试铺后确定。但从道床和路基的养护维修角度来看,采用钢筋混凝土轨枕较为适宜,当路基较大下沉时,修复比较容易,而且,轨道纵、横向阻力大(因为轨枕埋入道床有5cm)。可采用目前主要干线上使用的J—2型预应力钢筋混凝土轨枕,减少轨枕试制等一系列费用。

3. 我国铁路沥青道床轨道与有碴轨道的对比试验,包括室内模拟试验和现场铺设实测,已有不少资料都充分肯定了沥青道床轨道具有很大优越性。但在高速运行下有必要作

进一步试验对比,建立试验段得出各项定性和定量的参数和有关指标,以便确定我国高速铁路轨下基础的标准结构型式。为此,建议在广深准高速铁路选择 2~3 区间线路铺设沥青道床(J—2 型预应力钢筋混凝土轨枕)轨道,试验速度 200 Km/h,以便积累经验,为确定具有我国特色的高速铁路轨下基础结构型式创造条件,赶超世界先进水平。

主 要 参 考 资 料

1. 吕乔青译《意大利国营铁路高速线路的设计标准》,北方交通大学图书馆情报咨询部,1991年;
2. 冉媛《道床石碴整体化,提高道床稳定性》,铁道科技动态第 4 期,1982年;
3. 《我国高速铁道建筑发展模式的探讨》,铁道科学研究院铁建所,1991年 5 月;
4. 黄长绥、孙中正《评述铁路沥青道床的应用与发展》,首届线路与站场科技动态报告会资料,1990 年 10 月;
5. 《国外铁道线路技术标准及近况》,专题情报资料,铁道部科情所 1980 年 3 月;
6. 铁三院和北方交通大学《郑州枢纽五里堡车站乳化沥青道床轨道动力测试报告》,铁三院科技通讯第 1 期,1990 年;
7. 《高速铁路技术资料》之三,铁道部科情所,1990 年 8 月。