

现代化轨道结构

铁道部科学技术信息研究所

1994 年 6 月

现 代 化 轨 道 结 构

主 编 王贵棠

主 审 卢耀荣
林之珉

前 言

当今世界铁路正向高速化、重载化、信息化的方向发展,130万公里铁路网在交通运输系统中起着骨干作用,它以能耗少、成本低、污染小、运量大显示突出的优越性。1993年统计全世界行驶200km/h以上高速列车的铁路干线长度已超过4000km,预计至2010年将达 3×10^4 km,行驶重载组合列车和重载单元列车在美、俄等国铁路上承担30~60%货运量。无论高速或重载运输都需要现代化轨道结构及配套技术与其匹配。

《现代化轨道结构》专题以解决我国铁路运力与运能矛盾为着眼点,以重载、高速铁路的现代化轨道结构为主要内容,介绍国外在钢轨、轨枕、联结部件、道床、道岔、无缝线路以及加强与轨道结构相关方面的最新研究成果,并阐述对我国铁路加强与改善轨道结构方面一些问题的看法,供领导和有关专业工程技术人员参考。

《现代化轨道结构》的编译得到铁道部科学研究院铁建所轨道结构研究室的支持和帮助,在此致以谢意。

目 录

高速铁路无缝线路结构	卢耀荣 (1)
混凝土枕外形尺寸优化选择的研究动向	林之珉 (3)
现代化铁路技术特征和与其配套的轨道结构	王贵棠 (7)

钢 轨

延长钢轨寿命的研究	(10)
钢轨残余应力对裂纹扩展的影响	(13)
研究钢轨新断面的必要性	(15)
钢轨钢面临着挑战	(17)

轨 枕

奥地利铁路的混凝土岔枕	(19)
-------------------	------

道 床

道床寿命的预测	(22)
道碴质量的技术问题	(23)

联结 装置

提高钢轨扣件性能的研究	(27)
-------------------	------

道 岔

锰钢辙叉的损伤对策	(37)
-----------------	------

无 缝 线 路

无缝线路养护和大修	(41)
用糊状物加热器重新锁定无缝线路	(44)
道岔介于长钢轨内的试铺研究	(49)
在小半径曲线上采用防钢轨压屈板, 扩大无缝线路铺设范围	(53)
长钢轨和道岔连成一体需注意的几点	(58)

轨道 结构 综合

混合运输铁路的维修	(59)
轨道结构对冲击荷载的动态响应	(61)
东海道新干线加强轨道结构的措施	(64)
钢轨冲角与轨头横向位移的长期观测技术	(68)
AAR 新一代测力轮对的设计	(70)
轮轨接触系统的极限	(73)

MC-3 型密度及含水率测试仪	(76)
-----------------------	------

高速铁路无缝线路结构

卢 耀 荣

高速铁路要求尽可能减少钢轨接头的数量,以求减轻列车轮对对轨道的振动冲击。我国现有无缝线路结构,以轨道电路闭塞分区划分它的区段长度,通常每段长度约 1.5km 左右。两段无缝线路之间设置 2~4 对 12.5m 或 25m 标准轨组成缓冲区。即使在列车运行速度不高的铁路上缓冲区的线路病害也很严重。在高速铁路上,如果无缝线路仍然设置缓冲区,那么线路病害必更严重。所以日本新干线和欧洲高速线上的无缝线路不再采用传统的无缝线路结构布置,取消了缓冲轨,从而提高线路的平顺性。

本文就我国高速铁路无缝线路的结构选型以及需要进一步研究的问题提出建议。

一、国外高速铁路无缝线路结构

1989 年全世界无缝线路总长 40 万公里,各国高速铁路无不采用无缝线路。国外高速铁路无缝线路的结构主要有两种型式:一种为无缝线路的长轨条之间设置一组正反向伸缩调节器;另一种为超长无缝线路,长轨条与长轨条直接焊接。

日本新干线无缝线路每隔 1.5km 设置一组正反伸缩调节器,钢轨胶接绝缘接头设置在正反向伸缩调节器之间。在大桥及跨度不大总长较长的桥上无缝线路更为广泛地采用伸缩调节器,例如:山阳新干线吉井川桥、锦町桥、东北新干线第二阿武隈川桥、上越新干线吾妻川桥、太田川桥、赤谷川桥等桥上无缝线路均设置伸缩调节器。在日本新干线也有采用超长无缝线路的实例,如:上越新干线棒名隧道内铺设长 12981m 无缝线路,北海道青森一札幌间青函隧道总长 53.85km,无缝线路初步设计方案采取设置伸缩调节器的方案,经技术经济比较得出结论,采用超长无缝线路能获得更高的技术经济效益。因而在青函隧道内铺设一段长 53km 的无缝线路。

法国和德国高速铁路的轨道电路采用感应式或音频式无绝缘轨道电路,站线的钢轨绝缘接头采用高强度、高韧性胶接绝缘接头,因而较为广泛地采用超长无缝线路。但在大跨度桥及跨度不大总长较长的桥上铺设无缝线路仍然设置伸缩调节器。例如法国高速铁路巴黎—里昂段从圣弗洛朗丹至里昂就有为数较多的预应力混凝土连续梁桥无缝线路设置伸缩调节器。德国高速铁路的汉诺威—维尔茨堡线伊茨赫希海姆桥、格明登桥、罗姆巴赫跨谷桥设有传力装置或徐变连接器,铺设无缝线路仍采用伸缩调节器。

由上述可知,在日本新干线上虽然大量采用伸缩调节器,但在特殊地段也采用超长无缝线路,但也在桥上仍然设置钢轨伸缩调节器。就上述两种无缝线路结构进行比较,一般认为,无缝线路设置伸缩调节器的投资费用较高,且在伸缩调节器的范围内轨道平顺性及超长无缝线路。

二、高速铁路无缝线路结构选型

从国外高速铁路无缝线路应用情况来看,在高速铁路上无论采用超长无缝线路或在无

缝线路上设置伸缩调节器都是可行的。在一般线路区段上采用超长无缝线路，由于不增加轨道附属设备，且轨道结构基本上达到等刚度，因而综合技术经济效益更为显著。在我国沿海地区修建高速铁路，势必经过人口稠密的城区和农业经济作业区，并且还将跨越长江、黄河，因而无可避免地需要修建大跨度桥梁和高架桥。为此建议：我国高速铁路无缝线路结构以超长无缝线路作为主型结构，但在大跨度及跨度不大总长较长的桥上铺设无缝线路，为使轨道和桥梁所承受的纵向力减小，宜设置伸缩调节器。

三、需要进一步研究的问题

高速铁路应当实现安全、快速、舒适和有效的运输目标，作为高速铁路的轨道结构要求达到稳定、平顺、维修量少、使用寿命长，针对这一要求，高速铁路无缝线路以超长无缝线路作为主型结构尚需进一步研究下列技术问题：

1. 胶接绝缘接头 在超长无缝线路上采用无绝缘轨道电路，减少绝缘接头的设置数量，无疑有利于延长轨条长度。京广线郑武段已从法国引进音频式无绝缘轨道电路，目前已积累了一定的运营经验，铁路通信信号总公司也把音频式无绝缘轨道电路列入计划进行研究。今后在我国高速铁路上即使采用无绝缘轨道电路，在站区仍然需要使用大量绝缘接头。但目前我国钢轨胶接绝缘接头的质量与国外同类产品相比有一定差距，见表 1，今后应从改进胶层技术性能和粘接工艺着手，进一步研究提高胶接绝缘接头的质量。

中国和美、日、俄铁路使用的胶接绝缘接头技术性能 表 1

国别	钢轨类型	绝缘电阻 (MΩ)	轴向承压 最大压力(kN)	支点距离 (cm)	疲 劳 试 验		
					试 验 方 法	荷 载 (kN)	试验次数
中国	60kg/m	10	1 900	100	定点弯曲疲劳试验	50~200	2×10 ⁶
美国	132RE	10	3 000	91	施加滚动荷载，其动程 81cm。	200	2×10 ⁶
日本	50N,60K	10	2 300	100	除垂直方向施加荷载外，另加轴向荷载±300kN。	±200	2×10 ⁶
俄罗斯	P65	10	2 500	60	重复荷载频率:5Hz,试验后再加轴向压力,压力大于 200kN	100~300	2×10 ⁶

注：德国 IVG-30 型胶接绝缘接头抗拉强度 1 800kN，绝缘电阻 1 000 MΩ。

2. 无缝线路与道岔直接连接 在高速铁路上采用超长无缝线路，道岔与长轨条直接连接需要研究以下两个问题：①辙叉与长轨条两种不同钢种（锰钢辙叉与标准料钢轨）的焊接或胶接工艺。奥钢联铁路股份公司研制成功 CENTRO MN13 型中间插入块式辙叉，取得世界专利。通过这种中间插入块，用铝热焊把辙叉与钢轨焊接起来，并经过爆炸硬化将辙叉运行面的硬度提高到 380HB。日本铁道技术研究所和美国 ALLEGHNEY 公司研制成功锰钢辙叉与钢轨的胶接技术。目前国内也正在开展这一研究工作。②道岔区纵向力分布的研究。无缝线路和道岔直接连接，因温度的变化或列车动载作用所产生的纵向力将直接作用于道岔的辙叉部分和转辙部分。因尖轨跟端与基本轨通过螺栓、间隔铁、轨枕牢固锁定，尖轨与基本轨相互之间力和变形的传递，导致道岔区钢轨纵向力的变化。最大纵向力出现

在间隔铁附近,其值为一般无缝线路温度力的 $1.14\sim 1.35$ 倍。这一附加纵向力将对道岔状态产生一定影响。

3. 纵向力分布检测系统的研究 超长无缝线路如若成段产生爬行,则可能导致轨条的纵向力分布严重不均匀,改变无缝线路的实际锁定温度。因此首先需要研制一种满足精度要求的检测手段,其次需要研究对检测得到的数据进行采集、贮存和统计分析的方法。现场根据统计分析的结果,对超长无缝线路的状态及时准确地作出判断。

4. 研制适合高速度、大跨度桥梁使用的钢轨伸缩调节器 在高速铁路上使用的伸缩调节器应具有良好的平顺性。因此尖轨轨头刨切曲线需要恰当选择线型。加工时严格控制公差。加工后对尖轨、基本轨全长进行淬火处理,使之具有良好的耐磨性。在我国沿海地区修建高速铁路,必跨越长江、黄河,考虑这类桥梁的通航要求,很可能采用大跨度钢结构桥梁,因而用于这类桥上无缝线路的伸缩调节器必需适应大伸缩量、大转角、防噪声的要求。为此应在现有钢轨伸缩调节器的基础上研制新的调节器。

此外大跨度桥上无缝线路的结构设计涉及较为复杂的梁轨相互作用的计算理论,今后也应列入计划进行研究。

目前我国广深准高速铁路无缝线路正在加紧施工,它的运营必为高速铁路轨道结构的研究工作积累经验。

混凝土枕外形尺寸优化选择的研究动向

林 之 珉

预应力混凝土轨枕正广泛地在世界各国的铁路上铺设使用。与木枕相比,它具有强度高、耐腐蚀、使用寿命长等特点,且轨道的稳定性高,维修工作量少。为此,即使是在木材资源丰富、木枕价格相对低廉的美国、加拿大等国混凝土轨枕也有其发展市场。我国铁路混凝土轨枕的铺设数量已近1亿根,新线及大修线路区段几乎全部采用混凝土轨枕。

作为轨道的主要组成部件,混凝土轨枕必须具备与运营条件相适应的承载能力和耐久性;并能确保重复轮载作用下轨道几何状态的稳定性和列车运行的安全性;同时,要体现铺设作用上的经济合理性。在轨枕设计中,必须综合考虑轨枕作为部件以及组成轨道整体的技术经济性能。

一、早在混凝土轨枕发展的初期,各国铁路曾对其合理外型进行过探讨。当时其外型主要的型式有整体式和双块式两种。根据试铺得出:整体式轨枕组成轨道的整体性好,保持轨距、水平能力强,道床支承均匀,轨道稳定性好。双块式轨枕的特点是增加了两个侧向支承面,有可能增加道床横向阻力;中部钢棒可不受支承条件的约束。但根据英国的铺设经验,轨枕的混凝土块体在运行中易歪斜,保持轨距较为困难;南非双块式枕中部的T型钢棒有疲劳破坏的迹象,为此进行了更换;西班牙和巴西铁路上的双块式枕也发生了类似的问题,特别是在半径为350m的曲线区段,由于中部联结钢棒的刚度小而使轨距变化量较

大。较多的国家经试铺比较和分析认为，双块式轨枕对短期铺设使用较为方便；在重载和高速线路上应用尚缺少自信。这就是此后多数国家铁路大力发展整体式预应力混凝土轨枕的主要原因。但法国铁路坚持铺设双块式轨枕，并应用于 TGV 高速线路系统，时速在 250km/以上，试验速度达 515.3km/h。据考察，法国 TGV 高速线路采用 U₄₁ 型双块式枕，其混凝土块的长度已由原来 U₃₁ 的 680mm 加长到 840mm，轨枕的总长度由原来的 2245mm 加长到 2415mm，重量达 245kg。与此同时，采用 Nabla 弹性扣件和优质坚硬耐磨的道碴，道碴厚度增加到 30~35cm，并加铺 15~25cm 的底碴层，要求碴面与枕面持平。通过上述强化措施，提高了双块式轨枕排的稳定性和减小了道床不均匀变形导致的轨道不平顺，轨距和轨向的保持性能良好，成为世界上有碴高速线路典型的结构型式。

二、近年来前苏联 (СЖД) 以提高轨道整体稳定性、减少维修工作为目标开展了增加混凝土轨枕支承表面积和重量的研究工作。在既有标准的 III1-1 型轨枕的基础上，保持原设计枕长 (2700mm) 和 44φ3 的配筋量，采用增加轨枕截面底部宽度和端部截面积，设计并试制了 III1-T 型新枕。新枕与标准型枕在支承表面积和重量方面的对比如表 1 所示。

表 1

项 目	单 位	轨枕类型		相对比较 (%)
		III1-T	III1-1	
轨枕底宽 端 部 中 部	mm	328	300	110
		328	250	131
支承总面积	m ²	0.89	0.79	124
端部侧面积	cm ²	446	390	114
重 量	kg	350	270	130

考虑到单根轨枕支承面积的增加可减小 7% 的道床应力，当采用的 III1-T 枕铺设轨道时，可以扩大轨枕的间隔。前苏铁主要干线轨枕的铺设标准是：直线及半径等于大于 1200m 曲线区段，每公里轨枕铺设数量为 1840 根；半径小于 12000m 线区的相应值为 2000 根。铺设 III1-T 新型枕每公里的数量将可分别下降为 1600 根和 1760 根，配套的扣件数量也相应减少。为此，铺设了总长度为 4.2km 的试验段，相应配置 P65 钢轨和 KB 型扣件。试验线路的运营条件为：轴重 25 吨、总重密度 26~94Mt·km/km、货运速度 60km/h、客运速度 100km/h。

截止 1991 年 12 月底试验段累计通过总重达 100~400Mt，通过运营考验得出：1. 试验段轨道几何状态保持良好，轨检车检查均优于对比段；2. 试验段的轨道下沉量较对比段小 13%；3. 试验段道床的横向阻力提高约 18%；4. 试验段钢轨的纵向位移与对比段无差异；5. 养路机械完成轨道矫正作业的周期没有差别。此外，试验段的 III1-T 型新枕未发现任何损伤，试铺时间较短，尚未得出有关维修工作量和维修费用的对比资料。基于第一阶段试铺已取得了较为理想的效果，前苏铁决定组织批量生产，并扩大试铺范围，深入研究。

三、联邦德国早期的轨枕类型较多,包括 B55 型轨枕在内,各类轨枕的长度为 2.3m。从 1958 年以来研制的轨枕长度有所加长,如 B58 型的长度为 2.4m;B70 型的长度为 2.6m;B75 型的长度达 2.8m 等。其中,B58 和 B70 型为德铁的标准轨枕。德铁根据综合研究轨枕几何尺寸、间距、道床厚度等因素对路基、道床应力的影响得出:加密轨枕可以减小轨下路基应力,而轨枕盒下部路基应力有所提高,即沿路基纵向的应力分布可较均匀;加宽枕底对枕下路基应力影响较小,而可以改善路基整体的应力分布;加长轨枕则可明显减小路基应力。据计算分析,枕长从 2.4m 增加到 2.7m,道床应力可减少约 15%。同时,使轨枕盒下部和邻近枕下道床应力趋于均匀,收效明显。据此,德铁的混凝土轨枕长度有增长的趋势。

最近 4~5 年内,德铁对轨枕最佳尺寸的选择又进行深入的试验研究。由试验研究得出:在试验条件下,当轨枕长度为 2.7~2.8m 情况下,轨枕截面弯曲应力的安全储备可以提高;道床的支承状态得以改善。轨枕底宽与长度的最佳匹配为:当轨枕宽度为 30cm 时的最佳长度为 2.7m;宽度为 32cm 的最佳长度为 2.6m。目前,宽度为 33cm,长度为 2.8m 的 B75 型枕可以得到满意的铺设效果。将既有宽度为 30cm 的 B70 型枕加宽到 32cm,由于增加了在道床上的支承面积,使同一枕上压力下的道床应力下降 9~12%;轨道状态评估系数则为 60~70% (以原 B70 型枕轨道的此系数为 100% 进行比较),因此,可减少 30~40% 的维修作业量。据此,德铁试制了宽度为 32cm 的新 B70 型轨枕铺设到新建曲线区段,可减小对曲线最小半径的限值,在不改变既有线向的情况下,则可提高行车速度 10~20km/h。在法兰克福—美因兹—巴黎的高速线路设计中,采用新的 B70 型枕可望使曲线最小半径限值从 5300m 下降到 3000m,就此一项可降低建设成本约 30%。在混合运输条件下,原设计最小半径曲线区段需采用刚性基础,而由于采用新 B70 型枕则允许铺设普通的碎石道床。

德铁为进一步验证研究结论的可靠性,选择了一段运行繁忙的曲线限速区进行铺设方案比较。该曲线原设计半径为 500m,曲线长度 542.7m,缓和曲线长 150m,外轨超高 150mm,限速 100km/h,当货物列车以 80km/h 速度通过时的过超高约 50mm。试铺方案分 3 种情况:

第 1 种情况铺设加宽 B70 新轨枕。可不改造既有的曲线半径和超高,而允许不足超高从原来的 130mm 增加到 176mm,并允许提速到 110km/h (计算速度可达 118km/h);

第 2 种情况为实现 200km/h 高速运行,铺设普通的上部建筑,即 UIC60 钢轨,标准的 B70 型枕。为此,既有曲线半径需加大到 2200m,超高值为 85mm,新曲线相对于原曲线的切线间距 Δf_1 为 138.7m (即线路最大平移量),改造的区段长度为 1897.9m,开挖的土方面积为 16000m² (见图 1);

第 3 种情况与第 2 种的目标相同,但铺设加宽的 B70 新枕。相应的曲线半径值可减小到 1478.5m,超高 145mm,切线间距 Δf_2 为 80.9m,改造线路总长度为 1448.5m,开挖土方面积下降到 11000m²,其工程费用从第 2 种 13.4 百万马克下降为 10.15 百万马克,约下降 24%。

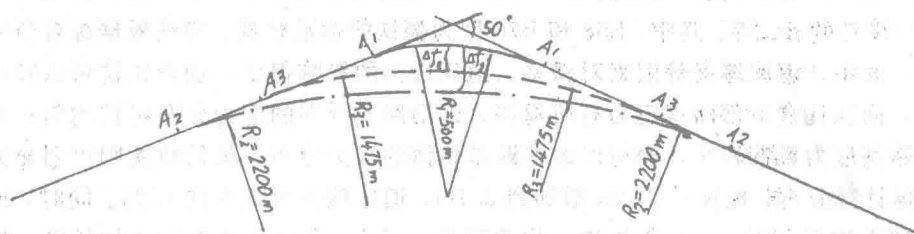


图 1

由以上的试铺方案分析比较可以看出，铺设加宽的 B70 新枕的第 1、3 种情况其技术经济收效是十分显著的。

四、我国铁路采用整体式混凝土轨枕。随着轨道荷载（轴重、速度、通过总重）的发展，轨枕截面的承载弯矩有加强的趋势。在设计中，主要采用提高混凝土等级，增加预应力和截面高度等措施。目前，大量生产的 I 型和 II 型枕其长度与木枕相等，为 2.5m，两种枕的外形尺寸则完全相同，如表 2。由表列值可以出，II 型枕的承载能力较 I 型枕是提高了，但由于外形尺寸没有变化，对轨道整体稳定性不会有所改善。1985 年开始研制的大秦线枕注意加长了长度，而宽度变化甚少，与道床的支承总面积仅比 II 型枕增加 6%，端部截面积则增加 17%。根据初步测试，大秦线试验枕的道床横向阻力比 II 型枕的相应值约大 20~25%。由于增加了截面高度和配筋其轨下和中间截面的承载力分别提高 17% 和 23%。1990 年开始在大秦线试验枕基础上进行新型（III 型）枕的研制。III 型枕的设计除了要满足必要的截面承载力外，已注意到增加轨枕长度对改善主要受载截面（轨下和中间）弯曲力矩合理分配的效应，由此提出新轨枕的长度采用大秦试验枕 2.6m 的方案。在设计方案中轨枕底宽变化不大，这主要受轨枕铺设根数标准的局限。如果能综合研究轨枕长度、宽度、轨枕间距以及道床、路基应力和变形的分布规律，在保证必要承载力前提下，对轨枕外形进行合理选择，将可以取得更好的铺设效果。

表 2

轨枕 类型	主筋 数量	混凝土 等级	截面高度 (mm)		截面宽度 (cm)			底面积 (cm ²)	重量 (kg)	长度 (cm)
			轨下	中间	端部	轨下	中间			
I	36φ3	C48	20.2	16.5	29.45	28	25	6588	251	250
II	44φ3 4φ10	C58	20.2	16.5	29.45	28	25	6588	215	250
大秦线 试验枕	56φ3	C58	22.5	18.5	29.65	29	24	6988	313	260

混凝土轨枕作为轨道部件主要承受来自钢轨的列车荷载，并将其传递到道床上，它与钢轨联结成轨排提供轨道整体刚度和稳定性。轨枕的合理设计应兼顾诸方面功能的合理发

挥。提高轨枕截面承载能力,对强化轨枕本身以及在一定运营条件下提高其承载的安全贮备无疑具有直接的效果。然而,承载能力的提高一般都伴随着截面配筋量和高度的增加,势必增加了轨枕的成本和建筑高度,在一定程度上会影响产品的应用范围。采用加长、加宽增加支承面积并进行优化选择的轨枕,在满足承载要求前提下,可减小道床应力和下沉积累,提高轨排的纵向阻力,使道床的应力趋于均匀和稳定,从而改善了轨枕的支承状态,也可以起到使轨枕截面弯曲力矩更趋均匀,提高承载安全贮备的作用。由此可见,当前进行新型轨枕的设计,不应以提高承载力作为唯一的目标,而要综合分析铺设后轨道整体性能的技术经济效益问题。对我国铁路混凝土轨枕使用评估的热点往往是裂缝的发生和发展,损伤数量及使用寿命等。据此,为了适应发展的运营条件,容易形成单纯的把轨枕的承载力越提越高的偏向,其结果对提高轨枕本身的承载力、耐久性和使用寿命可能会有收效,但轨道整体的技术经济性能不一定最为合理。为此,笔者认为新型轨枕的研制内容应包括其合理外形,铺设间距,道床断面尺寸等问题,实际上是轨道整体动力性能研究的重要内容之一,必须配套研究,相互补充和完善各自的设计参数。新型轨枕将不仅仅是一种高的枕型,而应该在构成稳定性高的高速、重载轨道上展示其潜在的功能。

现代化铁道的技术特征和 与其配套的轨道结构

王 贵 棠

一、前 言

长期以来,我国铁路的运量与运能的矛盾十分尖锐。据预测,到2000年主要干线的客运流向基本不变,流量将持续大幅度增长。京沪线沪宁段双向客运密度将达到6500万人公里/公里,京广线京石段将达5000万人公里/公里,单向货运密度将达75Mt左右。客、货运输互争能力的现象将更为严重,运能更为紧张。

随着改革开放和现代化建设步伐的加快,铁路运输已成为国民经济发展的“瓶颈”。当前,国家对铁路进一步实行倾斜政策,铁道部抓住时机,作出加快铁路建设的战略决策,掀起大干快上修建铁路的新高潮。无论是修重载货运铁路,还是修高速客运铁路,还是修客货混跑铁路,都必须突破传统技术,建造与现代化铁路相配套的轨道结构。

二、各种铁道对轨道结构的要求

(一) 重载铁道对轨道的要求

由于重载列车重量和长度的加大,机车车辆轴重提高,大幅度增加了作用于线路上的垂直力、水平力。在高密度和大重量的条件下,使线路状态和轨道结构的工况及破坏特性较一般的线路出现明显的变化。

据国外一些国家试验研究认为,在轴重不大于25t,运行速度低于80km/h,年运量总

重在不足 1Gt 时, 具有较好经济效益的轨道结构是选用 60~75kg/m 淬火或合金可焊接钢轨、钢筋混凝土轨枕、弹性扣件、枕下硬质碎石道床, 其厚不小于 30cm、无缝线路、钢轨抗拉强度大于 1275~1470Mpa, 保证钢轨耐磨性及焊接性, 并有稳固的路基。

重载铁路较发达的原苏联铁路, 于 1960~1985 年就对重载铁路的轨道结构进行大量投资, 在年通过总重密度大于 50Mt·km/km 的繁忙重载线路上, 大规模地换铺了全长淬火 65kg/m 或 75kg/m 钢轨的重型轨道结构。到 1990 年线路上钢轨的平均重量已达到 63kg/m, 而我国正线上钢轨的平均重量 1980 年为 46kg/m, 1990 年为 51.1kg/m。我国的重载铁路大秦线一期工程的轨道强度通过测试, 同原苏联铁路规定的刚度值比, 垂直刚度勉强达到合格标准, 横向水平刚度值仅有 54% 左右, 对大运量运输很不适应, 线路破坏和钢轨损伤严重。从 1989~1992 年重伤和磨损两个方面的换轨量高达 18.7 根/百根。按设计的最大年运量估算, 总重密度约为 150~200Mt·km/km, 铺 60kg/m 钢轨, 换轨周期为 4~5 年, 在这样繁忙的线路上, 如此频繁的换轨也是不可行的。

重载铁道的轨道结构是否适应重载列车运行的需要, 关系到铁路运输能力、运营支出和行车安全, 也影响运输成本 and 经济效益。像大秦线这样的重载铁路, 针对目前轨道结构方面的问题, 应提前更换和铺设 75kg/m 重轨无缝线路, 加强轨道结构, 并同时更换高强度轨枕、宽轨枕、弹性分开式扣件、高强度垫板、新型道岔及应用先进技术。

(二) 高速铁道对轨道的要求

世界上高速铁道技术的发展, 已使铁道运输系统进入了一个新时期。这不仅对铁道本身, 对一个国家的经济发展也将带来深刻的影响。

目前国外修建的高速铁道有三种型式, 一种是全新的、高架、全封闭, 如日本的新干线; 一种是新建和改造相结合的, 如法国的巴黎到里昂; 另一种是不依靠修新线, 主要是进行机车和车辆的改造, 如英国的高速铁道。在运输方式上, 德国和英国是客货混跑, 而法国和日本的高速铁道为客运专用线。

高速铁道的轨道结构型式, 主要有两种, 一种是以日本为代表的板式轨道。它具有硬质基床, 在预应力混凝土板和路基间有填充材料。除轨枕板外, 由 60kg/m 钢轨 (大于 800N/mm²) 无缝线路和双重弹性直接扣固联结装置, 防振垫层等组成。在土质路基上铺设板式轨道正在研究中。在桥梁和隧道等有混凝土基底的铺设板式轨道是很成功的。在桥隧比例大的上越新干线, 这种轨道型式高达 91%。这种新型轨道结构整体性能好、少维修, 但造价几乎是有道碴轨道的 1.3 倍, 可在今后的维修费用中得到补偿。

另一种是以法国 TGV 高速线为代表的有道碴轨道。主要由 UIC60 钢轨焊接长钢轨、双块式枕、双弹性可调式防爬扣件、硬质道碴组成。

在法国 TGV 东南线采用了有道碴轨道, 以 300km/h 为目标的大西洋线也用同样有碴轨道。德国和意大利除在高速铁道的隧道和桥梁上使用轨枕板外, 其它均为有碴轨道。日本和法国的高速铁道的道岔都采用了可动心轨道岔, 保证了正线直向以 300~500km/h 的速度运行。

三、几点值得我国修建现代化铁路轨道结构借鉴的经验

(一) 改善线路的基本参数方面

1. 改善线路的基本参数、减缓限坡、加大曲线半径是各国改造重载线路、适应列车提

高重量的重要方面。因为重载线路年通过总重大，使轨道过早丧失承载能力，特别是在陡坡和小半径曲线区段。

2. 高速铁路的选线原则也与常规线路不同，其设计参数取决于高速运行的速度。如国外高速客运专线的限坡达 15~40%。由于客运专用线，所有列车都是同样速度，线路容量可以有效利用。如法国 TGV 线有一段用 39% 的坡度；日本正在修建的北陆新干线有一段用 30%，九州新干线准备用 38%。高速客货混运线的限坡一般只能为 8~12.5%。

高速铁路的竖曲线半径一般为 25000m，任何情况下都不小于 14000 米，而平面内的缓和曲线采用抛物线，其圆曲线最小半径除特殊情况一般规定为 2500~4000m，当然线路平面技术参数除受设计最高速度限制以外，并与最大超高、允许欠超高、允许过超高等限制有关，还要考虑舒适性和工程费用。

(二) 轨道结构方面

1. 线路上的轨道结构在加快铺设重型轨的同时，必须注意提高重轨的技术性能，一是采用钢轨全长淬火，一是用新的合金轨，目的都是提高重轨的抗疲劳、耐腐蚀性，并同时铺设与重型钢轨配套的轨道结构。

原苏联铁路在 80 年代 P75、P65 钢轨的铺设长度就达 67%，淬火钢轨铺设长度为 40% 左右。淬火的 P75、P65 钢轨其耐磨性为未热处理同类型钢轨的 1.3~1.5 倍。在大修期间，这种 P65 淬火钢轨可以通过货物总重 700Mt。如果全部更换用综合添加剂脱氧钢的 P75 淬火钢轨，通过货物总重可达 1Gt。

日本铁路经验表明：采用重轨延长换轨周期，平均每加重 10kg/m，则周期延长 20%；高速区间钢轨侧面磨耗量约为低速区间的 7 倍，普通钢轨的磨耗量约为全断面热处理钢轨的 2 倍，平面不平顺与钢轨侧面磨耗密切相关。为了减轻曲线区间钢轨磨耗量，延长钢轨寿命，应把轨头甚至全断面热处理，加强钢轨打磨和线路维修管理。

2. 在加强轨道结构的诸多措施中，铺设无缝线路收效最为显著。全面铺设无缝线路已经成为世界铁路建设和经营的重要手段，而且轨条有越来越长的趋势。国外铁路经验证明：钢轨附加纵向力的大小，与轨节长度无关，往往是由于扣件的松弛或失效。从防爬的角度看，轨节越长，防爬力越强，不易产生较大的附加纵向力。法国的 TGV 高速线的焊接长钢轨已包括前后的道岔，日本在这方面正在努力研究，进行试验。

高速铁道随着速度的提高，来自车辆对轨道的横向荷载，恐怕会超过钢轨联结装置和轨枕等的设计标准。所以在确保轨道框架横向稳定性的同时，在不换轨道板、轨枕等主要部件的情况下，需进一步研究增大轨道横向强度的办法。

3. 在高速铁道的某些地段（隧道、桥梁、高架桥）可优先考虑铺设板式轨道，在石质路堑和站场的某些地段也可考虑。

4. 提高轨道的弹性，据国外铁路经验，钢轨顶面的波形磨耗与钢轨的化学关系不大，主要取决于线路的弹性。弹性扣件可以减少钢轨应力，从现代化铁路的轨道结构发展看，应加强线路弹性，除用弹性扣件、弹性垫层外，还应用加宽、加长轨枕、增加道床肩宽及使用硬质道床材料。

5. 采用新型道岔，道岔要和轨道结构上的钢轨、轨枕等配套。在可动心轨辙叉前后端的斜接头处或翼轨和可动心轨的移动点等部位都会产生很大的横向冲击力。所以，为了发展高速铁道，在今后的道岔生产中要特别注意加工精度。为提高侧向运行速度，需开发大

号码道岔。

四、结 语

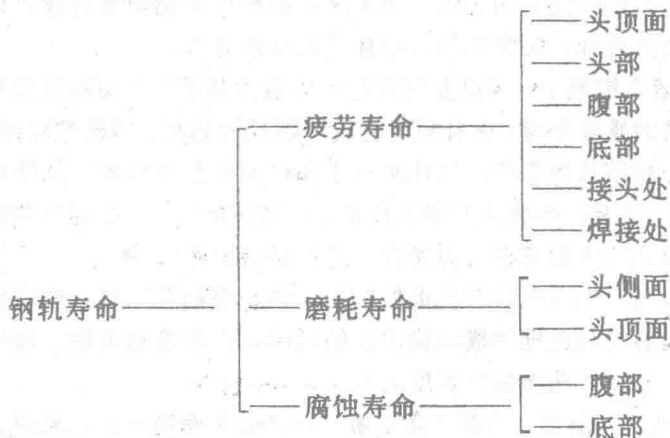
我国铁路是客、货共线以货为主，在能力上难以兼顾，在速度上难以提高。现在看来，用传统的技术改造旧线，难以满足运输发展的需要。只有突破传统模式，实行客、货分开，采用重载铁路货运，高速铁路客运，才是解决我国铁路能力紧张的根本途径。修建现代化的铁道，必须有与其配套的现代化轨道结构，以进一步减少维修，延长维修周期。在解决运力与运能矛盾的同时，提高铁道运输的经济效益和社会效益。

钢 轨 问 题

延长钢轨寿命的研究

一、钢轨的寿命

钢轨的寿命大致分：磨损决定的寿命；疲劳决定的寿命；腐蚀决定的寿命。寿命的种类及发生的部位如下图。



(一) 磨损寿命

在曲线区间，车轮基本沿外轨行走，车轮轮缘在钢轨头顶面滑行，其结果由于轨头侧面显著磨损，使车轮轮缘贴近轨头侧面。这时以不影响轨距调整为限度作为钢轨磨损的限制。把达到这个限度的钢轨叫钢轨的磨损寿命。曲线半径小和横向压力大，会加快磨损。在曲线区间的钢轨，大部分是由于这种磨损寿命决定钢轨的更换。在直线区间，车轮和钢轨密贴，由于滑行小，钢轨的磨损少，钢轨寿命就不决定于磨损。

不管直、曲线轨顶面都有波形磨损，其波长为数厘米~数十厘米。由于车轮在钢轨上撞击，使钢轨和轨枕等轨道材料损坏，也成为噪声和振动的来源。

(二) 疲劳寿命

钢轨长期使用会产生折曲、伤损裂缝。这是疲劳破坏，一般作为钢轨损伤处理。这种钢轨损伤，在钢轨的接头处发生破断，在钢轨的中间部位和焊接部分发生横向裂纹，在钢轨的头顶发生钢轨磨耗等，形态不同的种种裂纹产生的原因也是多种多样。

(三) 腐蚀决定的寿命

在隧道区间或沿海干线铁路上，容易发生显著的钢轨腐蚀。由于这种腐蚀使钢轨断面减小和在局部产生很深的腐蚀孔（叫作孔蚀），就此成为裂纹的起点，也引起钢轨的损伤。在隧道区间的钢轨裂纹，用眼睛检查很困难。为此，各隧道的每根钢轨都要确定钢轨更换周期，以防止钢轨的损伤。

二、有关钢轨寿命的研究

现在新干线和既有线由于钢轨的磨耗需要很多的维修费用。另外在长钢轨焊接部位的轨头顶面发生的凹凸，车轮对钢轨产生冲击作用力，使钢轨的寿命缩短。随着列车速度的提高，更感到延长钢轨寿命的措施和延长钢轨更换周期的措施是需要研究的。

(一) 延长钢轨焊接部位的疲劳寿命

钢轨的焊接方法有气压焊、闪光对接焊，封闭电弧焊和铝热焊。在钢轨焊接部位附近，由于焊接时高温的影响，使钢轨软化，或者焊接接头的金属比一般的钢轨部分硬度低等，随着累计通过吨数的增加在焊接部分产生凹凸，并不断发展。由于这种凹凸和列车速度的影响，从车轮来的对钢轨的动力冲击也增大。焊接部分的这种动力为一般区间车轮作用在钢轨上动力的数倍。由于焊接部位受到很大的冲击力，使钢轨疲劳寿命比一般区间钢轨的疲劳寿命短。列车高速通过这个凹凸部位和钢轨接头同样产生撞击声，也成为新干线的噪声源之一。

把延长钢轨焊接部位的疲劳寿命作为目的，在东北正线钢轨的中间部位模拟焊接部分，作成凹凸模型，测量列车对钢轨的应力。同时，在试验室内，用实物钢轨，对焊接部进行疲劳强度试验。钢轨焊接部位疲劳破坏时的应力是重复荷载的响应，所以把现场所求得的寿命作为基础数据，综合这些结果，把代表焊接部位的凹凸形态的凹凸指数（把钢轨的凹凸用 V 和 W 表示）和钢轨寿命的关系，以图 1 表示。横轴凹凸指数是用以焊接部为中心，1 米长区间凹凸的 V 和 W 是求 $Z = 10V + 4W$ 的数值。纵轴表示考虑了双侧车轮重量的轴重为 150kN 时的累计通过吨数。

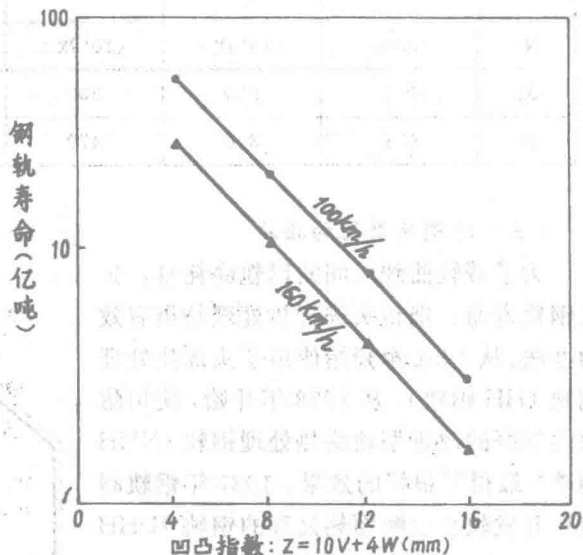


图 1

根据速度为 160km/h 时焊部的凹凸从图上求得钢轨的寿命。

例 1. $V = 0.4\text{mm}$ $W = 1.0\text{mm}$ 时， $Z = 8\text{mm}$ ，钢轨的寿命约 1000Mt。

例 2. $V=1.2\text{mm}$ $W=1.0\text{mm}$ 时, $Z=16\text{mm}$, 钢轨的寿命约为 110Mt。

这些算例是在良好的焊接部位, 经统计整理推断出来的。

(二) 钢轨的剥离及其对策

一般是在累计通过总重达数亿吨时, 在钢轨顶面会发生剥离, 最后增长为钢轨横裂, 疲劳裂纹引起钢轨剥离 (以后就叫剥离)。在钢轨头顶面的附近前后方向产生水平裂纹, 特别是列车前进方向的水平裂纹增多。这种水平裂纹的上面呈黑色斑点。一般这种列车前进方向的水平裂纹从中间向下方增长为横向裂纹。这种横向裂纹不大, 用超声波探伤不能发现, 这是剥离损伤的最大特点。最早发现这种钢轨损伤的是在东海道新干线。以后山阳新干线上也有发生。10 年前这种剥离在热处理钢轨和新干线特有的钢轨损伤见到了。年通过吨数多的既有线区及在使用了 20 年左右的钢轨也发现了剥离损伤。在 1955 年山阳正线的大坡度区间多处发生“黑裂”或“黑点裂纹”, 类似于剥离的钢轨损伤, 经长年的研究, 这种黑裂到现在还是按剥离考虑。剥离在明挖区间比隧道内发生率高。

为了确立防剥离再现的有效措施, 在 1986 年制作了剥离再现试验装置, 用与实际钢轨相同的轨头形态试验轮片进行了再现试验。说明剥离和同种的裂纹都有再现的可能。实际情况是剥离是从轨顶面向轨底发展的裂纹。从累计通过总重 150Mt 左右开始发生。而试验钢轨轮片的裂纹产生在 30~130 吨左右, 比实际发生的早。这是由于试验是在用水平润滑状态下进行的, 在干燥条件下进行的 2 个钢轨轮片产生裂纹时各为 190~220Mt。试验中由于机械振动的影响, 试验条件比实际钢轨的受力条件更为复杂。

根据剥离再现试验结果得出, 预防钢轨剥离的有效办法是进行钢轨打磨。

把试验的情况归纳为表 1, 把钢轨打磨的形态示为图 2。为了求出最佳打磨量和打磨周期, 还需进一步试验。

打磨条件、总次数和换算通过总重

表 1

试验片	打磨量	第一次打磨	第 2 次以后	打磨次数	总回转数	换算通过总重
Na	(mm)	(10^4 次)	(10^4 次)	(次)	(10^6 次)	(10^6t)
31	0.1	200	300	6	20	340
32	0.1	300	470	5	27	459

(三) 防钢轨磨耗的措施

为了减轻曲线区间的钢轨磨耗量, 延长钢轨寿命, 把轨头进行热处理是最有效的办法。从 1951 年开始使用了头部热处理钢轨 (HH 钢轨)。从 1978 年开始, 使用耐磨性能好的改进型轨头热处理钢轨 (NHH 钢轨) 取得了很好的效果。1987 年钢轨制造厂开发轨头全断面热处理的钢轨 (DHH 或 THH 钢轨), 各公司相继试验铺设。

这种 DHH 或 THH 钢轨基本上和 NHH 钢

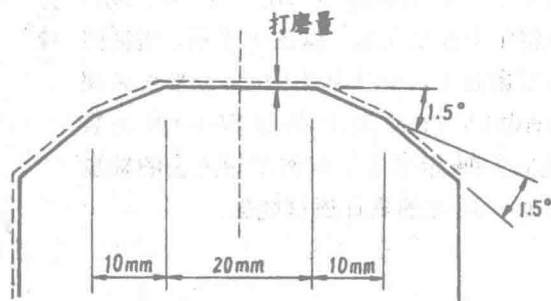


图 2

轨有同等的性能。由于工艺改进而得到了数种硬度段是这种钢轨最大的特点。轨头热处理钢轨的采用，曲线钢轨的磨耗寿命得到数倍延长。

三、结 语

由于列车速度的提高，开发了重量轻的新型车辆，有减少轨道维修和减轻钢轨所承受荷重的好处。但钢轨不仅要支承新型车辆，还有既有的旧车辆，为此，今后关于最适当的钢轨打磨法等延长钢轨寿命的研究还要继续。

译 自：日本“新线路”1992 年№9
译 者：王贵棠

钢轨残余应力对裂纹扩展的影响

钢轨断面内的残余应力或称内应力，是在其轧制矫直工艺中以及运营中局部塑性变形的发展而产生的。残余应力对钢轨中缺陷的出现和发展会有影响。在荷载作用下，将进一步影响钢轨整体的应力状态。

残余应力分布于钢轨断面的每部分，包括轨头、轨腰和轨底。在钢轨断面内残余应力的分布与控制残余应力分布的轧制工艺有关。而残余应力的最终分布还与钢轨的矫直工艺（尤其是辊式矫直工艺）和轨道上钢轨承受的轮轨作用力有关。后者主要影响轨头的残余应力，而前者的辊式矫直工艺则影响轨腰和轨底部分。图 1 描述了钢轨断面内由于辊式矫直引起的变形和正应力。整个钢轨断面都受到了影响。

残余应力试验结果 表 1

钢种	锯切位置	锯切长度 18m 处的切口宽度 (mm)		最大正应力 (Mpa)	最大垂直应力 (Mpa)	ARRT 应力系数 (Mpa)	轨腰屈服强度 (Mpa)	平均应力密度 (Mpa)/m	平均断裂韧性 (Mpa)/m	轨型	工艺类型
		垂向	横向								
A	轨头下	0.15 (3.8)	0.04 (1.0)	57 (393)	14 (97)	65 (448)	78 (538)	25 (27)	42 (46)	136	STHH/ on-Line
B	轨底	0.24 (6.1)	—	80 (552)	35 (241)	96 (662)	99 (683)	36 (39)	38 (41)	136	STHH/ off-Line
		0.15 (3.8)	0.04 (1.0)	59 (407)	23 (159)	50 (345)	100 (690)	22 (24)	38 (41)	136	LAHH/ off-Line
C	中性轴上	0.29 (7.4)	—	98 (678)	84 (579)	131 (903)	85 (586)	70 (76)	39 (42)	115	LAHH/ off-Line
D*	中性轴上	0.06 (1.5)	—	23 (159)	10 (69)	28 (193)	92 (634)	20 (22)	63 (68)	136	STHH/ on-Line

注:STHH 为标准碳素钢头部淬火;LAHH 为低合金钢头部淬火;
* 为头部淬火后不用辊式矫直。