

重载高密度运输对轨道破坏的影响

铁道科学研究院 李仲才

从1876年修建我国第一条铁路,至今,我国已有铁路运营里程五万二千多公里,自1950年以来,我国铁路有了巨大发展,同1950年相比,线路运营里程增加了13%,其中:复线占16.5%,电气化铁路占3.3%,内燃牵引区段占15.3%。迄今路网骨架已具雏型,路网布局有所改善。铁路技术装备也在逐步加强,铁路交通承担了我国客货总运量的大部分。因此,铁路运输在我国国民经济发展中,具有十分重要的战略地位。但无论从按人口,还是按国土面积平均来看,我国铁路不但数量还太少,技术装备也还落后。由于我国经济建设日益发展,铁路客货运量增长速度很快,与1950年相比,旅客周转量增长了六倍多,货物周转量增长了约十四倍,而线路营业里程仅只增长了约1.3倍,而且线路技术装备比较落后,属于弱结构多维修型。这就大大加重了既有铁路干线轨道的负担,因此,我国铁路工务工作者的任务是十分艰巨的,当然也很光荣。我国铁路运输密度,在世界上仅次于苏联,我国铁路繁忙干线上,有的年通过总重已超过一亿吨,而且运量还在日益增长;我国铁路运输的特点又是客货混运,以货运为主,大宗散装货物占铁路总货运量的60%以上,这些就决定了我国铁路必然要向重载高密度运输方向发展的客观条件。当前我国铁路正在大力研究和发展重载列车运输(列车重量5000~1万吨)。我国现有主型货车的轴重为21T,今后还将大力发展大型货车,在2000年以前其最大允许轴重 $[p_0]$ 在专用线有可能 $[p_0] \leq 25T$,通用大型货车有可能 $[p_0] \leq 23T$,列车的平均轴重,已由解放初的140吨提高到1982年的18.4吨(增加了31%),列车运行最高速度,货车80~100公里/小时,客车120公里/小时;主要繁忙干线的列车运行间隔时间,只有8~10分钟。据运营统计资料,1983年我国铁路客货运量分别为11.2亿人次和121亿吨。据有关部门的研究预测表明:到本世纪末,我国铁路货运量大约在24.5~25.5亿吨,铁路客运量大约在29~31亿人次。因此,我国铁路在今后相当长一段时期内的发展趋势,将主要属于重载高密度运输型,在局部地区也可能发展高速客运。

铁路轨道在重载高密度运输条件下,轨道的工况条件和破坏特征,均较传统的轨道发生了明显的变化。根据现有轨道结构计算理论计算分析和国内外已有的运营经验和试验研究结果表明,我国铁路现行轨道结构,概括起来说,将存在以下三个主要问题:

1. 将显著降低钢轨的疲劳寿命(即过轨总重),加剧钢轨的疲劳伤损,使轨道的大修周期过短;
2. 将加速轨道残余变形的积累,使轨面平顺性的破坏加剧,线路经常维修工作量过大,造成轨道的维修周期过短,养护维修线路所需要的作业时间太多。
3. 由于钢轨的疲劳伤损和道碴道床的脏污板结要加剧,造成线路的大、中修周期过短,在运营繁忙的情况下,很难安排轨道的大、中修作业,由于轨道残变积累速度的加快,造成线路的维修周期过短,在列车运行密度日益增大的情况下,根本无法通过正常的养护维

修,使轨道达到为列车安全运行所必须的技术质量状态。因此,为了确保列车运行安全,只好让列车减速运行,增加列车运行间隔时间,或封锁线路,以便进行必须的轨道换修作业。因而,将被迫打乱列车的正常运营秩序,降低线路的输送能力。

还应着重指出的是,重载运输(大轴量、大运量)对轨道的破坏过程,如不能适时有效的防治,它将造成恶性循环,是一种“互(相)反(馈)”的动态破坏过程。因此,所造成的后果,尤为严重。

因此,我们认为,为了提高铁路运输能力而需要发展重载和高密度的运输时,必需及早重视重载运输(轴重大,运量大)对轨道破坏所造成的影响,并研究其有效的相应对策。否则,轨道必将成为铁路发展重载运输的薄弱环节;有可能使轨道成为进一步提高铁路输送能力的障碍。

轨道在重载列车运输条件下,轨道的工况条件和破坏特征,均较传统的轨道发生了明显的变化,过去只是主要考虑机车车轮的最大荷载对轨道所造成的破坏影响;而忽视了车辆的影响,在重载列车运输条件下,根据列车—轨道动力学的试验研究表明:货车车辆对轨道的破坏影响,同机车相比,不仅不可忽视,而且起着更为主要的作用;线路年通过总重大(即作用次数多)是轨道过早丧失其承载能力的重要因素;在运营干线上($R \geq 600\text{m}$),决定钢轨使用寿命的基本因素,主要是疲劳断裂和轨头顶面的波状磨耗超限;轨道残余变形的积累加速,基床病害增多不但不可忽视,而且已成为衡量轨道丧失其承载能力(即不能维持其正常的工作状态)和评价轨道运营技术经济效果的主要指标;重载列车减速制动所引起的作用于轨道的巨大纵横向力(据我们1984年丰沙线初步测试结果,同普通货运列车相比,重载列车约大40%)将会加剧轨道纵横向破坏的发生危及行车安全;重载列车还容易出现超载超轴,重载列车起动或制动时,将会更多地造成钢轨轨头表面和车轮轮缘踏面的伤损病害。

铁路轨道是铁路交通运输技术现代化的基础工程,在列车运行时,起承载和导向的作用。所以轨道结构承载能力的强弱,将直接影响线路的通过能力和列车安全正常的运行。

我国铁路繁忙干线上,现行轨道设备的技术状态怎么样?全国铁路运营里程总计有五万二千多公里,延长里程为七万五千多公里,而钢轨的平均重量约为46.1公斤/米,50公斤/米钢轨的轨道只占全国运营干线里程约50%,60公斤/米重型钢轨尚处在扩大试铺阶段,1978年开始试铺至今才铺设654公里,75公斤/米特重型钢轨刚着手进行研制,其余线路均为较轻型的轨道,因此,在我国铁路繁忙运输干线上,现行的轨道结构技术标准太低,承载能力严重不足,轨材的供求矛盾很大。远远不能适应铁路运量日益增长的需要,主要表现:轨道在严酷的重载运输条件下,轨道超负荷和超期服役,钢轨折损和线路病害都十分严重。

据调查,在我国铁路运营干线上,1983年现存伤损轨9259根,其中断轨1749根比1982年增长18.8%;43公斤/米钢轨大修换轨周期约3.5亿吨,50公斤/米钢轨约5亿吨(短轨线路),在小半径曲线轨道上,钢轨波形磨耗和轨头侧面磨耗均十分严重,50公斤/米钢轨磨耗的平均使用寿命仅只有20个月左右(约一亿吨总重);铁路道岔辙叉的平均使用寿命,据1982年调查资料表明,只有4600万吨(总重),岔枕失效率高达11~22%;全国线路路基现存病害达71219处(共计延长约8492公里)。比1982年增加17.5%。造成线路变形加剧,维修工作量递增,线路运营质量降低,威胁行车安全。

为了适应铁路重载和高密度运输发展的需要,铁路轨道及其维修工作相应对策的总的设

想：必须加强轨道结构，提高轨道的承载能力，改善轨道的工作条件，加强对轨道运营科学管理。

一、加强轨道结构，提高轨道承载能力， 改善轨道工作条件方面

为了适应重载运输发展的需要，在我国繁忙干线上，必须加速采用重型轨道结构，提高轨道承载能力，延长轨道换修周期，减少线路维修工作量，确保列车安全正常运营。

1. 加速发展重型钢轨

加速采用60公斤/米重型钢轨及其配套结构，积极研制75公斤/米特重型钢轨及其配套结构。试验研究和运营表明，在重载运输条件下，采用重型钢轨是延长轨道大修周期，减少线路维修工作量的根本措施。可获得较好的运营综合经济效益。据研究分析：60轨比50轨的抗弯刚度约大37%；据我国近年来的试验实测资料和运营经验表明：60轨比50轨的弯曲基本应力减少25%以上，道床和路基基面应力的减少20%。60轨与50轨相比，前者将可能延长钢轨的使用寿命50%以上，减少轨道的养护维修工作量约30%。据日本和苏联的试验研究结果认为，60轨或65公斤/米钢轨与50公斤/米钢轨比较，钢轨的疲劳寿命可大幅度地延长，线路养护维修工作量可减少20~30%，列车运行基本阻力减少8~10%，从而节省了列车牵引能耗，有利于牵引重载列车，还可使机车车辆的检修和日常维修工作量减少。

苏联的75公斤/米钢轨比65轨，其抗弯刚度约大27%，将进一步减少钢轨的弯曲基本应力，改善轨下基础的荷载分布状况，从而延长钢轨的使用寿命，减少维修工作量。据苏联的运营经验，65、75轨与50轨相比，钢轨伤损的数量分别减少34%和50%，75型钢轨比65型钢轨线路维修工作量减少约20~25%。

加速发展重型钢轨的同时，还必须努力提高重轨的技术性能，对重轨的材料进行强化，积极发展耐磨耗，抗剥离和耐腐蚀的淬火钢轨和低合金钢轨。应实行钢轨“优质优价”政策。这是在重载运输条件下，延长钢轨使用寿命的关键措施。其可取的途径是：对钢轨进行全长淬火处理。据苏联的经验表明，钢轨作热处理强化后，其运营可靠性得到了根本提高，全长淬火后的重轨，其抗接触疲劳伤损的能力比非淬火重轨要高1.5~2倍，钢轨的使用寿命可延长60%以上。我国铁路已有了类似的试验研究结论和运营经验（可延长寿命约50%）。

对重轨的材质必须进行优化，冶金部门要努力提高冶炼技术，改善钢轨的轧制和冷矫工艺。加强质量管理，提高钢轨材质的洁净度，减少夹杂物，降低新轨的残余应力，并积极开展优质低合金钢轨。这些均能提高重轨的抗疲劳，耐腐蚀的能力。据苏联研究表明，特别纯净的钢轨（夹杂物很少），其抗接触疲劳的能力，比普通钢轨约高3~4倍。据我国铁路使用高砂轨的经验表明，在小半径曲线上铺设使用，高砂钢轨的磨耗寿命比普通钢轨约高27倍。

对重型钢轨的使用质量必须提高。铁道部门应努力进行试验研究和系统地积累钢轨伤损的资料，根据运营实际需要，研究制订钢轨分级使用的技术标准和评定钢轨质量优劣的技术指标及其检验方法，方能提高和控制重轨的使用质量，以满足重载运输对钢轨的技术要求。据调查：在曲线上，轨头侧面磨耗和轨头顶面波浪形磨耗均十分严重。京广线广水工务段管

内小半径曲线地段 ($R=450\sim 700$ 米), 1980年10月~12月期间换铺了18公里的60公斤/米普通碳素钢重轨, 运营到1983年7月15日为止, 因轨头侧磨超限, 已被先后换下了二公里多, 约占铺设总数的12.5%。据调查统计:

全国铁路干线上, 半径小于600米的曲线轨道, 其运营延长里程约为6200公里, 其中半径小于400米的曲线轨道, 其运营延长里程约为2800公里。都急待换铺优质耐磨钢轨。据调查表明, 我国铁路隧道内铺设的普通钢轨锈蚀十分严重, 有的钢轨使用寿命只有5~6年。全国铁路干线上, 隧道的运营延长里程已达2000多公里, 急需换铺耐锈蚀的低合金钢轨。运营现场迫切要求延长隧道内和曲线上钢轨的换轨大修周期。

还必须合理使用钢轨。根据我国国情, 随着运量和列车平均轴重的不断增长, 运营经验和研究表明, 在铁路干线上铺设43公斤/米轻型钢轨, 将造成综合经济效益的降低。苏联在1962年决定, 在干线上停止铺设使用4.3公斤/米轻型钢轨, 随着苏联铁路运输事业的发展, 到1982年, 苏联又决定在干线上停止换铺50公斤/米新轨。据调查统计, 1970~1980年期间, 我国铁路钢轨重量的分配比例, 43公斤/米轻型钢轨的供应量约占这十年间钢轨供应总数量的34%。据调查了解, 近些年来全国钢轨的以上供应数量中, 43公斤/米新钢轨仍约占钢轨计划总数量的15.6%以上。根据我国国情, 为了增加重型钢轨的生产能力, 加快重轨的换铺速度, 以适应重载运输的发展。建议在繁忙干线上今后每年应换铺1000~1500公里60公斤/米以上的重型钢轨; 从1985年起, 在我国铁路干线上, 停止铺设43公斤/米新轨。应积极研究制订我国铁道线路的换轨大修周期标准, 将大修到期换下的50公斤/米旧轨, 经整修再生, 用在次一级的线路上使用。这样合理使用钢轨, 可以提高运输综合经济效益, 还可取得延长钢轨累计使用寿命的效果。

还必须加强钢轨出厂的探伤和外形检查验收工作的科学管理。这是延长钢轨大修周期经济而可行的措施。国内外的运营经验表明, 钢轨的大修周期, 主要由钢轨的折损率所决定, 即一个运营线路区段的钢轨 (或一大批已上道使用的钢轨), 平均每公里的钢轨累计折损数量达到一定时, 一般来说, 就应进行换轨大修, 因此, 对钢轨大修周期起决定性作用的, 有时可能是这一大批钢轨中, 出厂时漏检的少数有内部缺陷或外形硬伤的病轨。

2. 加快焊接长钢轨的铺设速度, 扩大重型钢轨无缝线路的铺设范围。根据国内外铁路的运营经验和试验研究表明: 无缝线路从根本上解决了有缝线路钢轨接头的老大难问题, 因而从结构方面提高了轨道的承载能力, 改善了轨道的工作条件。减少了钢轨和轮子冲击力。可减少列车运行基本阻力6%左右, 节省线路维修劳力和材料的消耗约20~30%, 延长钢轨的使用寿命25%以上, 同时还可以减少机车车辆的修理费用约20%, 在经济、技术和运营效果方面, 都具有显著的优越性。

1982年我们先后对我国8条运营主要干线 (京广、津浦、沪宁、浙赣、京沈、哈大、绥佳和丰沙大等8条铁路干线), 现行的不同的钢轨和不同类型轨下基础的轨道结构, 用轨道动力学试验车进行了类比性的轮轨动力学试验, 其实测资料整理分析结果表明: 对于混凝土轨枕线路, 由于轮轨相互作用所产生的车辆簧下质量垂直振动加速度, 在钢轨接头区, 以60公斤/米钢轨为最大, 其次是50公斤/米钢轨和43公斤/米钢轨, 它们之间的数量相对比值为: 若以60轨为10, 则50轨和43轨分别为60轨的0.91和0.87; 而在非接头区, 则与上述情况相反, 以43轨为最大, 其次是50轨和60轨。又据在京广线试验实测结果表明, 对于60公斤/米

钢轨混凝土枕短轨线路, 车辆簧下质量垂直振动加速度值, 钢轨接头区为非接头区的4倍; 对于50公斤/米钢轨混凝土枕短轨线路, 则钢轨接头区为非接头区的3倍。以上情况说明: 重型钢轨应尽可能不要换铺短轨线路, 而应换铺无铺无缝线路。据实测车辆簧下质量垂直振动加速度的结果表明: 在钢轨接头区, 混凝土宽轨枕为最大, 其次为混凝土枕, 以木枕为最小, 据调查在铁路现场, 为改善混凝土枕线路接头区轨道的工作条件, 以减少线路维修工作量, 在我国铁路既有干线上, 有不少地段, 已将混凝土枕线路钢轨接头处的2~4根混凝土枕换铺为木枕, 已获得了较好的实际效果; 据1982年我们在京广线实际测试结果表明: 接头更换木枕后, 轮轨相互作用所产生的车辆簧下质量垂直振动加速度值, 要比混凝土枕接头减少27~39%; 又据实测资料表明: 在非接头区的轨道车辆簧下质量垂直振动加速度值, 以木枕为最大, 其次是混凝土枕和混凝土宽轨枕。以上说明, 铺设混凝土轨下基础的轨道, 以换铺长钢轨为有利。综上所述, 焊接重型长钢轨, 混凝土轨枕(包括宽轨枕)、弹性扣件(包括调高扣件)、高弹性垫层和碎石道床所构成的无缝线路。应是我国重载线路的基本轨道结构, 宜加速发展; 铺设重轨和混凝土轨下基础的线路, 原则上均应一律换铺无铺线路。苏联线路规定, 混凝土轨枕短轨线路是非标准型的轨道结构。而我国至今还有二万多公里混凝土轨下基础的线路, 仍铺设12.5米(或25米)的短钢轨, 这是造成目前大量钢轨接头区线路病害的重要原因。

世界各国铁路无缝线路的发展速度很快, 美国铁路近十年间平均每年铺设无缝线路7590公里, 苏联无缝线路的铺设长度已达约五万多公里(1982年), 西德的无缝线路约占轨道总延长的75%, 英国占31%, 法国占47%等, 为加速无缝线路的铺设速度, 近些年来不少国家大力推行整修焊铺旧轨无缝线路(如美国、西德、法国等)。据美国铁路统计, 每年整修焊铺旧轨无缝线路的数量与焊铺新轨无缝线路的里程接近, 美国的经验认为, 旧轨经整修后焊铺的无缝线路, 在其低一级的线路上使用, 其钢轨的累计使用寿命可延长约20年。

我国铁路无缝线路的发展速度实在太慢, 据调查统计, 从1958年至1984年累计铺设无缝线路约一万多公里, 占铁路运营里程约19.4% 每年平均铺设385公里。而1958~1984年期间, 平均每年大修换铺新轨约1628公里, 无缝线路只占其中的22%。整修焊铺旧轨无缝线路的工作, 在我国基本上还没有提到议事日程。据1982年调查我国现有焊接长钢轨的能力, 每年约为3000公里, 随着无缝线路铺设范围的扩大我国铁路的焊轨基地还得逐步增多, 焊接长轨的能力还将提高。按我国现行铺设无缝线路的技术条件, 据1982年不完全统计, 全国铁路干线还有近二万多公里铁路应换铺无缝线路, 而且我国还正在积极研究突破无缝线路的铺设禁区, 无缝线路的铺设范围还将扩大。

根据铁路运输事业的发展, 线路通过总重密度愈来愈大, 急需扩大无缝线路的铺设范围。但关键是要加快采用重型钢轨, 增强重轨耐磨耗的能力, 大力提高长钢轨的焊接质量。才有可能加快无缝线路的铺设速度。今后不但要加速焊铺新轨无缝线路, 而且还应积极研究推行整修焊铺旧轨无缝线路, 建议今后每年大修新轨的50%以上应作为换铺无缝线路; 应按规定将大修到期换下的50公斤/米其以上的旧轨。经检查修整, 也应焊铺旧轨无缝线路, 并将其在次一级线路上使用。力争到2000年以前, 我国铁路干线运营里程的51%以上的轨道, 将能换铺成无缝线路。

3. 重视研究钢轨接头区和长钢轨焊缝区(尤其是铝热焊缝)轨道刚性基础(如混凝土轨

枕等)合理的弹性支承条件,力求提高该部分轨道结构的承载能力,并改善其工作条件,以减少重载运输(大轴重、大运量)对接头区(或焊缝区)轨道结构产生的破坏。众所周知,钢轨接头(或焊缝)是轨道的薄弱环节。根据铁建所线路室于1979年在现场对轨道振动特性进行的地面测试,在其它条件相同情况下,由于列车运行,使钢轨、轨枕、道床产生的振动加速度值,在钢轨接头区和非接头区(即钢轨的大腰部分),其轨道各部件所产生的振动加速度的比值 Δ (Δ =接头区产生的加速度值/非接头区的加速度值),相差是很大的。钢轨的 $\Delta_1=9.9$ 倍,轨枕的 $\Delta_2=4.7$ 倍,道床的 $\Delta_3=5.4$ 倍。而在国外(如,日本等),在钢轨接头区,主张不使用一般的混凝土轨枕,而用弹性轨枕(枕底下设置弹性胶垫)或木枕,以增加接头区轨枕的支承弹性,从而使接头区轨道的振动荷载特性及其传递获得改善。据1979年线路研究室在钢轨接头区(轨端的五根轨枕范围内),分别在轨底设置一块弹性垫层与两块弹性垫层,进行了振动特性测试。在其它条件相同情况下,对钢轨、轨枕、道床的振动平均功率,进行了比较分析,接头区的混凝土轨枕为一块弹性降层时,接头区与非接头区的平均功率比值 Δ ,钢轨的 $\Delta_1=59.2$;轨枕的 $\Delta_2=29.5$;道床 $\Delta_3=27.42$ 。而接头区的轨枕设置两块弹性垫层时,其接头区与非接头区的平均功率比值 Δ 分别为:轨枕的 $\Delta_2=1.90$,道床的 $\Delta_3=5.31$, (钢轨失测)。这些试验数据说明,接头区设置两块弹性垫层后,对接头区轨枕和道床的振动特性均有明显的改善。再从振动能量传递的实测结果来看,当接头区混凝土轨枕设置一块弹性垫层时,其混凝土轨枕对道床的振动能量传递系数 β 为0.31,而其混凝土枕设置两块弹性垫层时,其相应的振动能力传递系数 β_2 为0.18。这也说明,增加钢轨接头区的混凝土轨枕支承弹性,可有效的降低其振动能量的向下传递。这对增加钢轨接头区轨道结构的承载能力,改善其工作条件,减轻接头区轨道的破坏等,均是很有利的。

根据研究和运营经验表明,接头区轨道的荷载性质和破坏特征及破坏机理,均与非接头区的轨道有明显的差异,故对接头区的轨下基础弹性支承条件与非接头区,理应区别处治,以获对症下药之功效。但我国现行的混凝土轨枕线路,其钢轨接头区与非接头区的轨下基础支承条件,基本上是一样的,千篇一律,这显然是不合理的。因此,造成了现场钢轨接头区的混凝土轨道,据调查有84%以上发生了裂损,并使接头区的道床发生严重的粉化和板结,以及道床的坍塌,造成接头区的线路养护维修工作量大为增加(据初步调查统计约占线路总养护工作量的30%以上)。若在重载运营条件下,上述缺陷,必将更为严重,因此必须重视混凝土轨枕线路钢轨接头区轨下基础合理弹性支承条件的研究,使整个轨道结构的承载能力获得均衡的提高。

4. 从提高轨道结构整体承载能力出发,近些年来,国内外铁路工务工作者都十分重视土质路基病害的防治工作。

轨道结构中最薄弱的环节是路基,它的承载能力最弱,强度安全储备量最低,经常处在临界状态下工作,而路基是轨道的基础工程,它的技术质量状态好坏,对轨道维修工作量的影响颇大,一旦发生不良处所,治理也十分艰难。

对于路基病害产生的机理,已进行的试验研究表明,路基病害与下述因素有密切关系。

(1) 路盘土质不良:据日本的试验研究表明容易发生路基翻浆冒泥的土质,一般多是其粒径的构成过细,土的粒径小于0.4mm的含量过多;还有就是土壤的液性限界和塑性指数过大。不良土质与良好土质对路基沉陷的影响很大,经日本的试验研究表明,在荷载条件

相同情况下,对轨道变形量的影响,相差约4~5倍;

(2) 荷载过大或路盘强度不够,这样道碴就容易陷入路基面内,形成碴囊积水,引起恶性循环。运营经验表明,钢轨接头区的轨道,路基发生病害就较多;在相同运营条件下,道碴道床厚度较薄的地段,就容易发生路基翻浆冒泥,据日本对既有线路路基病害调查分析结果表明:当道床厚度 $h \geq 35$ 厘米时,就很少发现有路基病害;再有,根据日本国铁技术研究所轨道研究室研究指出,路基的下沉量与路基基面应力的1~5次方成正交关系(随荷载性质和土质特性的不同,上述关系在1~5次方范围波动);

(3) 排水不良,路基土质含水比率过高。根据日本的试验研究表明,在相同的重复荷载作用下,路基土质含水比不同。对路基残余变形影响的差异很大,最大相差约14倍之多。

(4) 由于车轮的动力作用,使轨枕上下运动所引起的“抽吸作用”。

由于路基基面强度不够,道碴陷入基面,从而引起轨枕产生程度不同的空吊现象,当列车车轮荷载作用时,轨枕产生急剧下沉,枕下的道床和基面将产生正压力,若道床路基排水不良,将使间隙水压增加,引起路基基面强度降低,易使泥水混合;当列车车轮高速通过后,轨枕将急速卸载,而且,由于钢轨随即将产生负挠度,还会使轨枕急速上升,因而造成抽吸作用,使枕下道床和基面产生负压,在轨枕下面附近的间隙水和泥水,将由于抽吸作用而被吸起,当车轮又以很快的速度,再次作用于轨枕,枕下的道床和路盘又将承受正压力,这时已被吸上的泥水,将因此而被挤压扩散或喷出。这个过程的反复进行,就造成道床道碴被泥水污染,形成路基翻浆冒泥病害的不断发展和扩大。这样就使轨道基础的弹性恶化,道碴摩擦阻力降低,路盘的承载能力大为减弱,从而使轨道残余变形积累的速度加快。使轨道的维修工作量显著增加。

从以上介绍得知,产生路基翻浆冒泥病害的原因,主要有三个,即土质不良,排水不好,动荷载过大,而“水”、“土”、“动荷载”这三个因素是相互关联,互为制约的。在考虑路基病害的防治措施时,就应从这三个因素出发,只要能设法除去其中一个病因,则路基病害就有可能获得防治,致少可以大为减轻。

5. 提高道碴道床的承载能力。

道碴是铁路上使用的大宗材料,每年投资在生产道碴和养护维修道碴道床的人力和经费是巨大的。据调查,全国铁路现有近百个道碴采石场,年生产碎石数百万立方米,全国铁路运营干线,每年需要更换,补充碎石道碴约200万立方米以上,而线路维修作业量的60%,是用于道碴道床作业上,因此,提高道碴材质,加强对道碴生产质量的检验控制和道碴的合理使用,是加强重载轨道整体结构承载能力的重要途径,无论从当前和长远来看,都具有重大的技术经济意义。也是当前我国铁路重载轨道运营生产管理中,一个急待解决的重大问题,应积极研究制订符合我国实际的铁路道碴生产技术条件,道碴技术标准和合理供应使用办法。全国应统一规划,建立道碴生产与供求协调的网点,应加强科学管理,培训道碴采石勘探,生产和质量检验的技术队伍,建立全国统一的道碴质量检验中心,应将铁路道碴生产质量当做一件大事来做。

特别是以混凝土轨枕和宽轨枕为主型轨枕的繁忙干线和煤运干线轨道,更应重视如何采用优质道碴及其粒径合理级配的试验研究工作,并积极研究采用道碴防脏技术,据试验研究和运营经验表明,这样做,可有效地提高道碴道床的承载能力,减少维修工作量,具有明

显的技术经济效益。

6. 积极采用新型轨下基础。

特别繁忙的客货混运干线和煤运干线,在稳定的土质路基上,为大幅度地减少轨道维修工作量,防治道床脏污,应积极推行铺设混凝土宽轨枕的无缝线路,我国从1965年开始铺设宽轨无缝线路以来,至今已在铁路干线的繁忙地段和大客运站内铺设宽轨无缝线路200余公里,近20年的运营经验和试验研究表明:宽轨枕无缝线路已基本显示其优越性,能有效地改善道床和路基面的荷载分布,大大减缓了轨道的残变积累,可大幅度延长线路中修周期,减少线路养护维修工作量40%以上,

在长隧道内,为大幅度地减少线路维修工作量,改善工人的劳动条件,减轻劳动强度,应优先采用整体道床轨下基础的无缝线路。我国自1958年开始铺设整体道床,至今整体道床轨下基础在全国铁路干线隧道内累计轨道延长已达近300公里,20多年的运营经验和试验研究表明,整体道床轨下基础系确能大幅度地减少线路维修工作量(约省50%以上),能改善工人的劳动条件,还能减少隧道断面的开挖量,只要能结合隧道衬砌,注意防水设计,做好基底处理,严格控制施工质量,隧道整体道床的可靠性是完全可以确保的。

7. 改善轨道基础的弹性。

这对于改善轨道的工作条件,减少轨道的破坏力,十分重要,下面仅就轨道基础弹性问题的一些基本观点谈点看法。

(1) 无碴轨道和混凝土枕有碴轨道基础的弹性,以尽可能接近木枕有碴轨道的弹性为宜,太硬或太软都是不利的。这是因为机车车辆走行部分结构的设计,长期以来,是以与这种轨道结构相适应而逐步形成、发展和完善起来的。要它作大的改变是很难的。另一方面,轨道基础太硬,众所周知,当然不利;但轨道基础太软,对轨道的动力特性和轨道结构的整体性,也不是都有利的。

(2) 所谓轨道基础的合理弹性,应从有利于改善轨道结构的工作条件,应从轨道整体结构出发。轨道基础取得弹性,一般有三个途径:轨底下的弹性胶垫层“ K_1 ”;轨枕枕底弹性垫层和道床“ K_2 ”;还有路盘及道床的垫层“ K_3 ”。根据日本的试验研究认为, K_1 值不宜太小,取 K_1 不小于60吨/厘米为宜,不然就害多利少,使扣件的工作条件恶化,使轨道结构的整体性减低。合理改善轨道基础弹性,应设法在 K_2 、 K_3 上多下功夫。更不宜在线路接头区轨底下过多增加弹性垫层厚度,想试图以此来改善钢轨接头区轨道的工作条件,这样做是不适宜的。较为可取的措施是在钢轨接头区的四根混凝土轨枕的枕底下设置弹性大垫板,构成接头区为弹性轨枕的轨道结构,这有利于从 K_2 取得轨道基础的弹性,能有效地改善接头区轨道的动力效应,减少线路维修工作量。

(3) 衡量轨道基础弹性好坏的指标,除了有关的试验参数而外,最终要落实到不应产生轨面波状磨耗,轨道维修工作量和轨道部件的伤损是否减少。

8. 采用重型钢轨12号新型单开道岔。

在运输繁忙的重载线路上,采用藏尖式弹性可弯AT尖轨,不仅结构加强,而且有利于轨面热处理过程中的变形处理,还可因设置滑床台,配合设置可调式扣件,消灭转辙器的“三道缝”。从而可节省道岔维修工作量约40%。

在年通过总重大于6000万吨·公里/公里的煤运干线上。可采用可动心轨辙叉,消灭有

害空间, 试验研究和运营经验表明: 可使轮轨相互作用的动力破坏效应显著降低, 与普通固定式辙叉相比, 可延长使用寿命约 7 倍, 减少维修工作量约 70%。

对我国铁路既有干线道岔的使用情况, 于 1982 年所进行的调查结果表明: 固定式锰钢整铸辙叉的平均换修周期约为 4608 万吨(总重), 在运营繁忙干线上, 由于道岔换修过于频繁, 严重干扰列车正常运营, 因此, 急待提高道岔的技术性能, 延长其使用寿命。

二、加强对轨道运营的科学管理方面

1. 轨道类型标准:

要对轨道运营情况进行科学管理, 首先就必须对轨道类型标准进行合理的划分。经调查研究表明: 轨道类型的划分标准, 应以线路年通过总重密度“ q_0 ”作为划分的主要依据。

① $3000 < p_0 \leq 6000$ 万吨·公里/公里的繁忙干线轨道, 为重型轨道。

由 60 公斤/米焊接长钢轨, 81 型混凝土轨枕、胶结绝缘接头, 弹条扣件, 高弹性垫层和碎石道床所构成的无缝线路, 应是重型轨道的基本轨道结构。

$p_0 > 6000$ 万吨·公里/公里的特别繁忙干线轨道, 为特重型轨道。

由 75 公斤/米焊接长钢轨, 胶结绝缘接头, 新型高强度轨枕, 分开式调高弹性扣件, 高弹性垫层和优质碎石道床所构成的无缝线路, 应是特重型轨道的基本轨道结构。

② 线路通过总重密度(以下简称总重密度“ q_0 ”)系指既有铁路干线上, 某一条运营线路或某一运营区段, 平均每一公里线路在一年内通过线路的所有重量, 其单位为(万吨·公里/公里)。总重密度是表征轨道承受荷载情况的重要指标, 也是线路运营繁忙程度的主要标志。据国内外多年来的运营经验表明: 总重密度是划分轨道类型和制订轨道标准的主要依据。据调查, 在我国铁路繁忙干线上, 专线专用车辆极少, 干线区间运行速度差异很小, 因此, 铁路轨道运营管理的技术经济指标的差异, 主要体现在线路通过总重密度上。

为有效地加速繁忙干线铁路轨道的技术改造, 以适应重载列车运输发展的需要, 有必要将总重密度大于 3000 万吨·公里/公里的繁忙干线轨道, 划定为铁路重载轨道, 以便对重载轨道首先着重进行研究。

根据对 1981 年全国铁路 45 条干线(运营里程共计 37196 公里)和 1990 年 19 条主要干线(运营里程为 25921 公里, 规划运量)的总重密度“ q_0 ”进行统计分析结果见下表:

万吨·公里/公里 年 份	$q_0 \leq 3,000$	$3,000 < q_0 \leq 6,000$	$q_0 > 6,000$
	延长公里	延长公里	延长公里
1981	22317	11803	3076
1990	3226	14169	8526

③ 线路通过总重密度“ q_0 ”的计算方法据调查统计表明: 一条铁路干线各个运营区段的总重密度, 一般均有较大差别, 例如京广线, 全线 26 个运营区段的平均总重密度为 5147 万吨·公里/公里, 其中个别运营区段的最大总重密度为 8701 万吨·公里/公里, 最小的总重密度为 2418 万吨·公里/公里, 其均方根差值为 1945 万吨·公里/公里。故建议采用按每条干线

各个运营区段通过总重的加权平均值, 作为计量某条运营干线 (或大的运营地段) 的总重密度 q_0 即:

$$q_0 = \frac{\sum q_i \cdot L_i}{\sum L_i} \quad \text{单位 (万吨} \cdot \text{公里/公里)}$$

式中 q_i ——某运营区段的年通过总重 (万吨)

L_i ——某运营区段的运营长度 (公里)

这样作较为符合轨道的运营实际, 也有利于对轨道的科学管理。

对既有铁路运营干线, 依据“ q_0 ”划定轨道类型时, 上式中 q_i 值的计量方法, 可按该区段线路着手计划进行换轨大修前一年某运营区段实际的通过总重计算, 即:

$$q_i = Q_i \cdot K$$

式中 Q_i ——某运营区段线路着手计划进行大修前一年的实际货运量 (万吨)。可从路局每年的铁路统计资料汇编查抄。

K ——总重换算系数, 据 1982 年对我国铁路主要干线的运营资料调查统计分析结果, 建议采用下表所列数值:

运行方向 线 别	重 车 方 向	轻 车 方 向	备 注
繁忙干线	2.1	3.0	
煤运干线	1.7	3.3	

有的铁路干线 (如京广、石太、陇海等), 由于各区段的线路限坡和牵引定数的不同, 以及所通过的列车对数有差异等原因, 各个区段通过总重分布的离散性较大 (例如变异系数大于 0.3), 则应根据实际情况, 可将该线划分为几个运营大地段, (例如石太线可划分为石——赛和赛——太两个运营大地段), 分别统计计算其线路年通过总重密度 q_0 , 并以此作为划定轨道类型的依据。这样区别对待, 较为合理。

2. 对不合理的管理体制和规章应进行改革

① 在铁路繁忙干线上, 应对铁道线路设施的使用和检修制度, 逐步进行彻底改革。建议: 应以完成线路通过总重密度“ q_0 ”的多少为基础, 核算和支付每年度各路局、分局和工务段所管辖运营线路的修理费用 (包括大、中、维修); 在检查评定有关各工务单位的安全和技术经济指标完成的优劣时, 必须认真考虑“ q_0 ”这个重要因素。因为线路通过总重密度“ q_0 ”是表征线路运营繁忙程度的主要标志, 铁路轨道运营管理对国家的贡献大小, 技术经济效益高低, 都主要体现在线路通过总重密度上。这样就有可能将工务部门现行的单纯管理型, 逐步改变过度到以“ q_0 ”为基础的管理经营型的轨道上来, 以增强铁路工务部门的活力, 以提高整个铁路运输的综合经济效益。

② 还应大力开展可靠性设计理论在铁路轨道工程中的应用研究, 系统地积累运营经济数据和试验测定资料, 有计划地对铁路轨道设计、铺设施工和维修管理的现行规章制度、规程和技术标准等。以可靠性设计理论为基础, 逐步进行全面、系统地改革。使之达到安全和技术经济效益的紧密结合, 既要确保列车安全运行对轨道的技术要求, 又要能大幅度地降低轨道工程的经营成本。

3. 加强轨道的技术管理:

① 根据运营经验和科学试验研究结果,合理地制订轨道变形维修管理标准,如按线路等级分别制订轨道维修标准;按行车舒适性、行车安全和列车慢行等对轨道的要求不同,分别制订轨道变形的维修管理标准。这样,就可能区别对待,有规可循,不搞千篇一律,就有可能做到经济合理。

② 加强对轨面和车轮踏面不平顺的管理和监视。

对长钢轨焊缝轨面的不平顺公差,应严格管理,要求对长钢轨的焊缝,进行精细的研磨加工,对轨面的波形磨耗也应严加管理,如轨面产生凹凸不平的超限处所,要求即时发现,进行打磨或焊补。

对直接作用于轨道的车轮踏面,对其不平顺公差,也应加强监视和管理。据试验研究结果表明,车轮踏面如若产生扁疤,继续在轨道上运行时,将对轨道产生很大的附加动力效应。经实测得知,车轮踏面扁疤所引起的钢轨弯曲应力和钢轨压力,将比正常车轮踏面通过时,要大二倍左右;当车轮踏面扁疤的长度大于110mm/m时,对钢轨压力的增加更为显著,约为正常车轮的4~5倍,车轮踏面扁疤对轨道振动加速度影响也很严重。而且上述这些附加动力效应,还随车轮踏面扁疤的长度而成正交增长,以上说明,车轮踏面不平顺,对轨道产生的破坏影响是十分严重的。它不但量值大,而且破坏范围广(因车轮是沿线路来回运转)。为了减少轨道部件的伤损和轨道维修工作量,所以轨道管理中,也必须设法监视和协助机辆检修部门做好对车轮踏面不平顺值超限的机车车辆的管理工作。

③ 应有先进可靠的轨道检测技术系统。这样,就有可能根据轨道变形和轨面凹凸短波不平顺的管理标准,即时准确地发现轨道的超限不良处所,进行适时的有计划的维修,这点十分重要。

④ 科学地进行轨道变形维修质量的管理

根据统计学的概念,应将轨检车对轨道变形的检测结果,运用电子计算机进行统计运算,把对指定的检测区段内,所检测到的轨道变形超过 $\pm 3 \text{ mm/m}$ 的处数“ n ”,与该区段内所取测点的总数“ N ”之比值,换算成百分比,以 P 表示,一般情况下,

$$P = \frac{n}{N} \times 100\%$$

N : 暂定为每隔0.5米取一个检测数据;

P : 以百分数表示(%)

可以“ P ”值作为轨道变形维修质量好坏的线区管理标准, P 值的给定,与线路年通过总重运行速度、轴重、轨道结构的强弱、所能给定的作业时间和养路定员,以及每年可能投资的维修经费等,均有密切关系。应积极进行研究,制订出合理可行的标准。

⑤ 应建立起以电子计算机技术为中心的轨道管理系统。这套“电管系统”的主要目的,是力求迅速而准确地掌握轨道的技术质量状态,以便对轨道进行综合平衡管理,以达到确保列车安全、平稳和不间断地运营和轨道少维修的目的。

4. 加强对轨道运营的组织管理

① 对轨道维修组织管理体制方面应有新的尝试,建议采取轨道检查与维修分开的管理体制,就可能在轨道的检、修流程上,形成相互制约的关系。这种制约关系是建立在“责、

权、利”的基础之上。它的基本思路:

检查作为甲方的主要目的是要求能即时检查发现病害处所,并希望整治好它;维修作为乙方,为了能多得到收入也想方设法如何把轨道病害处所修整好。因为甲方对乙方的要求是“以质论价”、而甲方是采用先进可靠的轨检车来对维修质量进行检查验收,并由电子计算机分析处理后打印输出。这样一种轨道的检查、维修组织管理体制,就较能保证:即时发现轨道病害,又能适时把它修好。

② 应大力推行轨道维修作业“天窗”制度。在运输繁忙干线上,干线上,由于线路通过总重很大。对轨道破坏也大。则工人需要上道进行换修的作业时间也相应增多;但是在运量大,行车密度大的情况下,很难利用列车间隔时间上道进行维修作业,据1982年对繁忙干线维修作业时间调查结果表明:工人每天(八小时)能利用列车间隔时间上道进行维修作业的累计时分,仅只有200分钟左右,根本无法保障轨道应有的养护维修作业质量,养路机械上道作业就更不可能。为了确保线路维修作业必须的上道作业时间。根据1982年对我国铁路主要干线的列车间隔时分与线路维修上道作业所必须时间的调查分析结果,并参考了苏联、日本等国的经验。建议在列车对数大于80对的繁忙运输复线上,应推行有计划地预留轨道维修作业“天窗”时间(维修一次应为90~120分钟,大修应不少于180分钟),采用大型机械化维修作业制度。这样作,可提高繁忙干线轨道的维修作业质量,确保列车安全正常的运营,使运输综合经济效益获得提高。如果运输部门不给轨道大修、维修作业必须的“天窗”时间。势必造成轨道失修,使轨道病害继续恶化,不但危及列车安全平稳和不间断的运营,还将造成线路维修人力物力的大量浪费窝工,养路机械化也上不去。在日本轨道大,维修作业所必须的“天窗”年度计划,经国铁本社批准,在列车运行图中得到正式确认。例如东海道和东北本线等既有线的运输繁忙干线(年通过总重大于3000~4000万吨),经研究决定,每年必须保证轨道作业的“天窗”应为:夜间150次/年,每次120分钟,白天250次/年,每次60分钟。新干线的轨道维修作业时间,在设计新干线时,就已综合考虑,规定每天晚上0点到6点作为轨道大修、维修作业时间,如有特别需要,经商定还可延长。另外,如遇节日客运繁忙,运输部门想要临时占用轨道作业“天窗”安排运输,也必须同工务部门协商,经同意后方能占用。

本文所涉及的一些学术观点和认识,仅是对这个问题的初步探讨,文中不当之处,实所难免,敬请帮助和指正。

参 考 文 献

- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| (1) 我国铁路主要干线通过总重密度的调查统计分析报告 | 铁研院 周淑雯 1983年 |
| (2) 轨道强度计算方法述评 | 铁研院 曾树谷 |
| (8) 环行铁道车辆和轨道动力学综合试验报告 | 1983年
铁研院车辆和轨道动力学综合试验组 |
| (4) “钢轨疲劳断裂的基本原因” | 李仲才《铁道研究院论文集》铁道线路专业1980年1月 |
| (5) “铁路轨道强度计算法” | 铁研院铁道建筑研究所 1979年9月 |

(6) 高速运行铁路上部结构的形状及其结构”

部科情所专题情报资料74—13

(7) М.Ф. Вериго:

“В ртик фот Нмф Сиин Вецтву На Иутб при прохожде Нии под
Важного состава

〈Труды сНии Вып〉

(8) Г. М. Шахунин:

《расче Ты Верхнего строения путб》

1959年

(9) “轨道构造动力学的设计 (日) 星野阳一、佐藤裕

(铁道技术研究报告, 1960年8月)

(10) “京包线断轨调查分析总结报告”。

大同铁路分局工务科 1975年

(11) “京津线断轨调查分析总结报告”

铁建所线路室 1979年

(12) 按不稳定重复载荷有限期使用寿命的钢轨承载能力算法及其计算结果的初步分析

铁道强度计算法起草小组 1976年

(13) 国外钢轨发展动态 颜秉善

〈铁道部科情所、专题情报资料78—10〉

(14) 关于日本铁路轨道破坏理论的研究

李仲才 1979年11月

(15) 铁路重载轨道类型划分原则及标准技术政策的建议

铁路重载轨道研究专题组 1983年

(16) 对我国铁路 (8条) 主要干线不同轨道结构动力参数测试结果的分析报告

铁路重载轨道研究专题组 1982年

(17) 轨道结构振动特性试验 曾树谷等 1979年12月

(18) 关于日本铁路轨道省力化的考察

李仲才 1981年8月

(19) 谈研究轨道荷载和轨道破坏的迫切性 孙钰 1980年2月

(20) 线路 (轨道的设计、管理)

(日) 渡边偕年 1980年

(21) 新轨道破坏理论による轨道下沉量の試算 (日)

平野雅之 1978年8月

(22) 我国既有铁路干线道岔使用情况调查资料的综合分析报告

重载轨道研究专题组 1982年

(23) 关于我国铁路主要干线列车间隔时分与上道作业时间的调查资料综合分析报告

重载轨道研究专题组 1982年