

第一篇 铁路轨道及养护

第一章 铁路轨道

导读：轨距

类似物理学中的惯性，路径依赖是指人类社会中的技术演进或制度变迁一旦进入某一路径，就可能对这种路径产生依赖。第一个使“路径依赖”理论声名远播的是道格拉斯·诺思，由于用“路径依赖”理论成功地阐释了经济制度的演进，他于1993年获得了诺贝尔经济学奖。

在铁路运输领域，一个关于“路径依赖”广为流传、引人入胜的例证是：现代铁路两条钢轨之间的标准距离是四英尺又八点五英寸（1435 mm）。

原来，古罗马人用两匹马牵引一辆战车，而两匹马的屁股宽度就决定了其他轮宽的战车在这些道路上行驶的话寿命都不会太长。后来，罗马人修建了英国的马路，保留了原有轮距，之后的电车也沿用了原有的轮距标准。而早期的铁路又是由建电车的人设计的，这就使得两条钢轨之间的标准距离一直沿用两匹马屁股的宽度，即四英尺又八点五英寸。故事到此还没有结束。美国航天飞机燃料箱两旁的两个火箭推进器因为要用火车进行运送，因此，火箭助推器的宽度也是由钢轨的宽度所决定的。

所以，最后的结论是：路径依赖导致了现代铁路两条钢轨之间的宽度及美国航天飞机

火箭助推器的宽度，而这个宽度竟然是由两千年前两匹马屁股的宽度所决定的。

第一节 铁路轨道概述及其组成特点

铁路轨道是铺设在路基上，用以支承机车车辆并引导其运行的结构物，也称路轨、铁轨、钢轨、股道等。如图 1-1 所示，轨道通常由钢轨、轨枕和道床组成。

钢轨固定安放在轨枕上，其功用是把所承载的重量分散，以保持路轨固定，维持路轨的轨距。轨枕除支承钢轨以保持钢轨的位置外，还要把钢轨传递来的巨大压力传递给道床。道床用以支承轨枕，并把来自轨枕上部的巨大荷载，均匀地分布到路基上，减少路基的变形。



图 1-1 铁路轨道

铁路轨道分为有砟轨道和无砟轨道两类，有砟轨道是铁路的传统结构，它具有弹性良好、价格低廉、更换与维修方便、吸噪特性好等优点，如图 1-2 所示。但随着行车速度的提高，有砟轨道的道床容易产生变形、粉化和脏污等现象，需要不断进行维修。所以，高速铁路普遍采用无砟轨道，如图 1-3 所示。无砟轨道具有稳定性好、耐久性强、轨道平顺性好、维修少、结构高度小、自重轻、能避免高速行车产生的道砟飞溅、有利于保持无缝线路稳定性等优点。但是，无砟轨道对施工精度和基础要求较高，相对于有砟轨道，其初期建设费用较高，运行时产生的噪声也较大。



图 1-2 有砟轨道



图 1-3 无砟轨道

实践证明，无砟轨道在高速铁路中已得到了广泛应用，并已显示出明显的优越性，取得了良好的社会效益和经济效益。

第二节 有砟轨道的组成、特点及病害

一、钢轨及其病害

钢轨是铁路轨道的主要组成部件。它的功用在于引导机车车辆的车轮前进，承受车轮的巨大压力并将其传递到轨枕上。因此，钢轨必须为车轮提供连续、平顺和阻力较小的滚动表面。另外，在电气化铁道或自动闭塞区段，钢轨还可兼作轨道电路之用。

(一) 钢轨类型

钢轨的工作条件十分复杂。车轮施加于钢轨上的作用力，其大小、方向和位置都具有很大的随机性。除轮毂外，气候及其他因素对钢轨受力也有影响，例如，轨温的变化可使无缝线路钢轨内部产生很大的应力。因此，钢轨断面形状采用具有最佳抗弯性能的工字形断面，如图 1-4 所示。为使钢轨更好地承受来自各方面的力，保证必要的强度条件，钢轨应有足够的高度，其头部和底部应有足够的面积和高度，且腰部和底部不宜太薄。

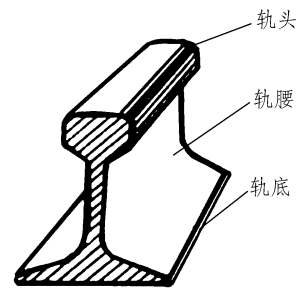


图 1-4 钢轨外形

(二) 钢轨长度

我国钢轨的标准长度为 12.5 m 和 25.0 m 两种。特重型、重型轨采用 25.0 m 的标准长度钢轨，其他类型轨道采用 12.5 m、25.0 m 的标准长度钢轨。《250 km/h 客运专线 60 kg/m 钢轨暂行技术条件》规定，250 km/h 客运专线（兼顾货运）钢轨标准长度为 100 m。如图 1-5 为 100 m 焊接长钢轨。



图 1-5 焊接长钢轨

(三) 钢轨病害及防治

1. 钢轨伤损

钢轨伤损是指钢轨在使用过程中，发生裂纹、折断及其他影响或限制钢轨使用性能的伤损，如图 1-6 所示。



图 1-6 钢轨病害

钢轨裂纹是指除钢轨折断之外，钢轨部分材料发生分离，形成裂纹。有下列情况之一者为钢轨折断：钢轨全截面至少断成两部分，裂缝已经贯通整个轨头截面或轨底截面，钢轨顶面有长大于 50 mm、深大于 10 mm 的掉块。钢轨折断直接威胁行车安全，应及时更换。

钢轨伤损种类很多，常见的有磨耗、剥离、轨头核伤和接触疲劳伤损等。

（1）磨耗。

钢轨磨耗是指在小半径曲线上钢轨的侧面磨耗和波浪形磨耗。

① 侧面磨耗：发生在小半径曲线的外股钢轨上，是曲线线路上钢轨伤损的主要类型之一。其产生的根本原因是列车在曲线上运行时轮轨的摩擦与滑动。

目前，列车常采用磨耗型车轮踏面或径向转向架来降低侧磨速率，以改善列车通过曲线的条件。

从工务角度来讲，应改善钢轨材质，采用耐磨轨。同时，加强养护维修，设置合适的轨距、外轨超高及轨底坡，增加线路的弹性。另外，通过在钢轨侧面涂油也可以达到减小侧面磨耗的效果。

② 波浪形磨耗：钢轨顶面上出现的波浪状不均匀磨耗，其实质是波浪形压溃，简称波磨。影响钢轨波磨发生发展的因素很多，主要涉及钢轨材质、线路及机车车辆条件等多个方面。其发展速度比侧磨还快，是造成换轨的主要原因。波磨主要出现在重载运输线上，特别是运煤运矿线上尤为常见，且一般出现在曲线地段。虽然波磨在高速客运线上也有不同程度的发生，但在城市地铁上较普遍。

波磨会引起很高的轮轨动力作用，加速机车车辆及轨道部件的损坏，增加养护维修费用；同时还会造成列车的剧烈振动，使旅客不适，严重时威胁到行车安全。另外，波磨也是噪声的主要来源。

列车速度较高的铁路，以波磨为主，且波磨主要出现在直线和制动地段。

打磨钢轨是消除波磨的有效措施。除此之外，还可以通过以下措施来减缓波磨的发展：用连续焊接法消除钢轨接头，提高轨道的平顺性；改进钢轨材质，采用高强耐磨钢轨，提高热处理工艺质量，消除钢轨的残余应力；提高轨道质量，改善轨道弹性，并使纵横向弹性连续均匀；保持曲线方向圆顺，超高设置合理，外轨工作边涂油；轮轨系统应有足够的阻尼等。

另外，垂直磨耗属正常磨耗，它一般随着轴重和通过总重的增加而增大。轨道几何形位设置不当，会使垂直磨耗速率加快，因此需通过调整轨道几何尺寸来加以防止。

（2）剥离。

剥离通常会造成交叉口的应力集中，增大动力冲击，影响行车的平顺性。交叉口的存在，还会阻碍金属塑性变形的发展，使钢轨塑性指标降低。

剥离产生的原因主要是：夹杂物或接触剪应力，引起纵向疲劳裂纹而导致剥离；导向轮在曲线外轨引起剪应力交变循环，从而促使外轨轨头疲劳而导致剥离；另外，车轮及轨道维修不良，从而加速剥离的发展。

（3）轨头核伤。

轨头核伤是最危险的一种伤损形式，会使钢轨在列车作用下突然断裂，严重影响行车安全。

其产生的主要原因是：轨头内部存在的微小裂纹或缺陷（如非金属夹杂物及白点等）在重复动载荷的作用下，在钢轨走行面以下的轨头内部出现极为复杂的应力组合，使细小裂纹先成核，然后向轨头四周发展，直到核伤周围材料不足以提供足够阻抗，使得钢轨在毫无预兆的情况下猝然折断。因此，钢轨内部材质的缺陷是形成核伤的内因，而外部荷载的作用是外因。

核伤的发展与运量、轴重、行车速度、线路平面状态等有关。为确保行车安全，必须对钢轨进行定期探伤。

（4）接触疲劳伤损。

接触疲劳伤损的形成大致分为三个阶段：

第一阶段是钢轨踏面外形的变化。如钢轨踏面出现不平顺，焊缝处出现鞍形磨损，这些不平顺将增大车轮对钢轨的冲击作用。

第二阶段是轨头表面金属的破坏。由于轨头踏面金属的冷作硬化，使轨头工作面的硬度不断增加；此后，硬化层不再发生变化。在轨头表层形成微裂纹，降低了钢轨强度。

第三阶段是轨头接触疲劳的形成。由于金属接触疲劳强度不足和重载车轮的多次作用，当最大剪应力作用点超过剪切屈服极限时，会使该点成为塑性区域。车轮每次通过必将产生金属显微组织的滑移，滑移产生积累和聚集后最终导致疲劳裂纹的形成。

减缓钢轨接触疲劳伤损的常见措施：净化钢轨，控制杂物的形态；采用淬火钢轨，发展优质重轨，改进钢轨力学性质；钢轨打磨；按钢轨材质分类铺轨；改革旧轨再用制度，如图 1-7 所示。

2. 钢轨接头养护

钢轨长度决定其轧制、运输和铺设。在两根定长的钢轨之间，用夹板连接组成连续的轨线，称为钢轨接头。钢轨接头的连接零件由夹板、螺栓、螺母和弹簧垫圈组成。

接头处轮轨动力作用大，是轨道结构的薄弱环节之一，养护维修工作量也大。因此，接头养护也是钢轨病害防治的内容之一。

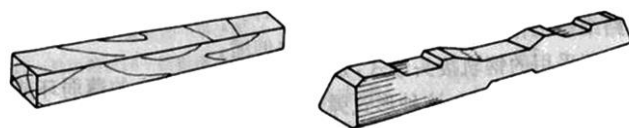


图 1-7 旧轨再用

二、轨枕及其病害

因轨枕除支承钢轨以保持其位置外，还要把钢轨传递来的压力传递给道床，因此，要求轨枕自身要适当变形以缓冲压力，并且在列车经过后要尽可能恢复原状。

如图 1-8 所示，采用木材制造的轨枕弹性和绝缘性较好，受周围介质的温度变化影响小，质量轻，加工和在线路上更换简便，并且有足够的位移阻力。经过防腐处理的木枕，使用寿命可达 15 年左右。所以，过去世界上 90% 的传统铁路都使用木枕。随着森林资源的减少、人们环保意识的增强和科学技术的发展，从 20 世纪 50 年代起普遍采用钢筋混凝土轨枕。



(a) 木枕

(b) 钢筋混凝土轨枕

图 1-8 轨枕

钢筋混凝土轨枕使用寿命长，稳定性高，养护工作量小，损伤率和报废率比木枕要低得多。在无缝线路上，钢筋混凝土轨枕比木枕的稳定性平均提高 15% ~ 20%，因此，钢筋混凝土轨枕尤其适用于高速客运线。但是，钢筋混凝土轨枕的缺点是其质量比木枕大得多，因此在不稳固的路基及新填路基处、冬季有冻胀的地段及大量运输煤炭和矿石及线路道床严重脏污的地段等不宜采用。

另外，近年来轨枕板与整体道床也得到了广泛应用。线路使用轨枕板可以防脏，是一种少维修的线路结构。整体道床则完全取消了道砟，它直接在路基底上浇筑混凝土，可以保证线路稳定平顺。其维修工作量很小，许多地下铁道都使用这种线路结构。

在长时间的使用后，轨枕也会出现损坏或病害，必要时需进行养护。

三、道床及其病害

1. 道床的组成及特点

道床通常指的是轨枕之下、路基面上铺设的石砟（道砟）垫层。

道砟是直径 20 ~ 70 mm 的小块状花岗岩，块与块之间存在着空隙和摩擦力，使得轨道具有一定的弹性，这种弹性不仅能吸收机车车辆的冲击和振动，使列车运行比较平稳，而且大大改善了机车车辆和钢轨、轨枕等部件的工作条件，延长了使用寿命。

道砟依靠本身和轨枕间的摩擦，还能起到固定轨枕位置、阻止轨枕纵向或横向移动的作用。这在无缝线路区段显得更为重要，原因在于这种区段如果线路的纵向或横向阻力减少到一定程度，很容易发生胀轨跑道事故，严重时甚至危及行车安全。

道砟还有排水作用。由于道砟块状间的空隙，使得地表水能够顺畅地通过道床排走，

这样路基表面就不会长期积水。路基表面长期积水，不仅会使承载能力大大下降，而且还会造成如图 1-9 所示的翻浆和冻胀等病害。

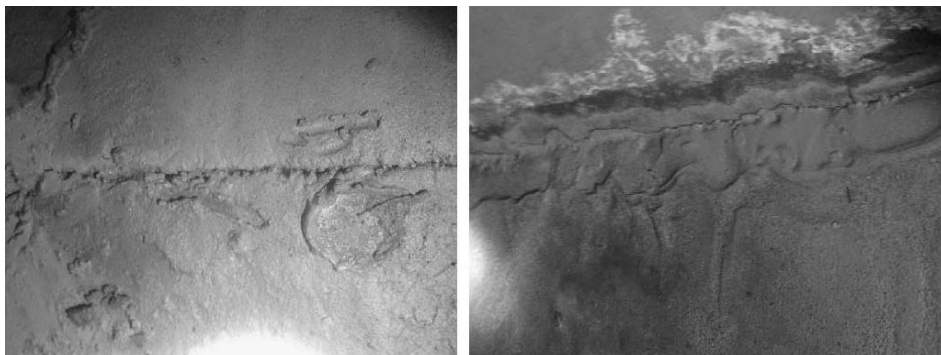


图 1-9 道床水沟及边墙处翻浆冒泥后的沉积物

2. 道床病害

铁路长年暴露在大自然中，风沙尘土、垃圾污物、货车上散落下来的煤粉和矿粉等，都会侵入道砟。加之因列车的动力作用和线路捣固时的冲击而引起的本身机械磨耗，随着时间的推移和运量的增加，其块状间的空隙就逐渐被脏物所填塞而变得板结，使得道砟的排水性能、承载能力降低，失去应有的弹性，从而加剧机车车辆的振动和冲击，对行车安全造成影响。道砟的弹性一旦丧失，就会对行车安全造成威胁。

因此，必须定期对道床进行清筛，剔除污土，补充新砟；或通过开挖、清筛、重新敷设防水材料等方法对道床病害进行根本性整治。

3. 道床养护措施

为防止道床的板结，须对道床进行定期清筛，如图 1-10 所示。根据统计，在轨道的养护工作量中，对道床清筛作业约占全部工作量的 70%。当残余形变积累达到一定程度后，就需要进行起道，使轨面恢复到原来的标高。

实践证明，减缓道床下沉、防止或减少道床污染，对延长道砟的使用寿命十分重要。



图 1-10 清筛作业

第三节 无砟轨道的组成、特点及病害

一、无砟轨道的特点

高速铁路如果使用常规的轨道系统，会造成道砟粉化严重、线路维修频繁的后果，从而导致安全性、舒适性、经济性相对较差。而采用混凝土、沥青混合料等整体基础取代散粒碎石道床较好地弥补了常规轨道系统的缺陷，如图 1-11 所示。



图 1-11 无砟轨道

无砟轨道属于高速铁路的重要组成部分，它是以混凝土或沥青砂浆取代散粒道砟道床而组成的轨道结构形式。由于无砟轨道不用碎石做道床，而是预制或现场浇筑轨道板道床，所以，道床平整，精度高，利于列车高速行驶，且建设完成后形位稳定，维护费用低廉，具有轨道稳定性高、刚度均匀性好、结构耐久性强、维修工作量少的突出特点。

其缺点是无砟轨道投资比有砟轨道高；作为刚性结构，后期改善轨道状态困难；噪声高，须有降噪措施。

二、无砟轨道的分类

无砟轨道分为板式无砟轨道和双块式无砟轨道两类。

（一）板式无砟轨道

板式无砟轨道是用双向预应力混凝土轨道板及 CA 砂浆（乳化沥青水泥砂浆）替换传统有砟轨道的轨枕和道砟的一种新型轨道形式，由板下混凝土底座、CA 砂浆垫层、轨道板、长钢轨及扣件等部分组成，如图 1-12 所示。

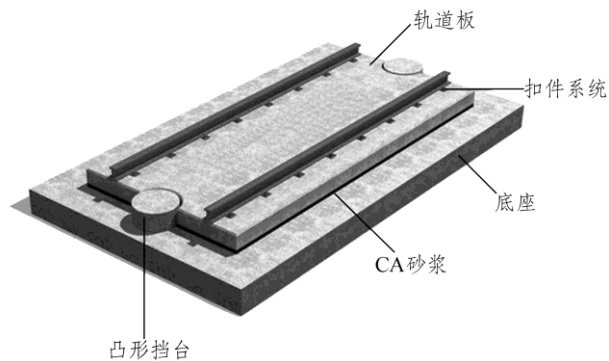


图 1-12 CRTS I 型板式无砟轨道

如图 1-13 所示，板式无砟轨道在预制厂内预制轨道板，在现场利用精调设备将预制好的轨道板调整到符合要求的平面位置后，再向轨道板下方灌注 CA 砂浆以完成板式无砟轨道的施工。



图 1-13 普通板式无砟轨道施工

在施工中，有时也会用到框架型板式轨道，如图 1-14 所示。

板式无砟轨道具有如下特点：

(1) 结构整体性能好。

板式轨道线路具有稳定性好、刚度均匀性好、线路平顺性好、耐久性高的突出优点，可显著减少线路的维修工作量。



图 1-14 框架型板式无砟轨道

(2) 制造和施工的专业性强。

板式轨道结构中的轨道板为工厂预制，其质量容易控制，现场混凝土施工量少，施工进度较快；道床外表美观；在特殊减振及过渡段区域，通过在预制轨道板底粘贴弹性橡胶垫层，易于实现下部基础对轨道的减振要求。板式轨道的制造、运输和施工的专业性较强。

(3) 线路维修工作少。

通过开发新型修补用树脂砂浆，在设计上用强度高、弹性和耐久性好的合成树脂材料替代凸形挡台周围的 CA 砂浆；在轨道板底的 CA 砂浆调整层，以灌注袋的形式取代初期建设模式的直接灌注，以减少 CA 砂浆层的环境暴露面等方式，都可以显著提高板式轨道结构的耐久性，实现无砟轨道结构少维修的设计初衷。

(二) 双块式无砟轨道

双块式无砟轨道在预制厂内预制的是双块式轨枕，轨枕通过钢筋桁架将混凝土块连接在一起。现场利用轨排或螺杆调节器等作为辅助工具，将双块式轨枕调整到符合要求的平面位置后浇筑混凝土，将轨枕连成整体即完成双块式轨枕的施工，如图 1-15 所示。



图 1-15 双块式无砟轨道

三、无砟轨道病害及防治

除表 1-1 所列病害类型及原因外,有关高速铁路无砟轨道的机械化养护仍需深入研究。

表 1-1 高速铁路无砟轨道中的主要病害类型及其原因

病害部位	病害类型	可能原因	发展结果
道床板表面	裂缝	设计配筋与施工质量等	上下贯穿裂纹
道床板内部	不密实、空隙、空洞、钢筋异常	施工捣固不均匀、配筋大小不一或错位	承载力过低,道床板破裂,道床板承载力不均、破损
道床板与支撑层间	空隙、脱空、抗剪销钉缺失	凿毛、去渣、干缩、道床板裂缝等; 未做抗剪销钉	承载力过低、道床板破裂、支撑层破裂; 道床板挠曲变形、层间空隙、道床板破裂
支撑层表层	空隙、起伏	找平或道床板下部破坏摩擦引起	道床板、支撑层整体破损、破裂
支撑层内部	空隙、不密实、破裂	捣固不均、异物掺杂等	支撑层破损、破裂
级配碎石	下沉	地基下沉等	道床整体下沉、破损等
双块轨枕周边	空隙、裂缝	捣固不均、干缩等	道床板裂缝等



思考题

QUIZ

1. 铁路轨道是指什么?铁路轨道包含哪些组成部分?
2. 钢轨的功用是什么?
3. 铁路轨道可分为哪两类?其各自的特点是什么?
4. 钢轨伤损类型有哪些?
5. 轨枕的作用是什么?对其性能有何要求?
6. 简述道床的组成及作用。
7. 无砟轨道的特点是什么?

参考文献

- [1] 王午生,许玉德,郑其昌. 铁道与城市轨道交通工程[M]. 上海:同济大学出版社, 2003.
- [2] 郝瀛. 铁道工程[M]. 北京:中国铁道出版社, 2000.
- [3] 王午生. 铁道线路工程[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1999.