

铁 路 轨 道

理 论 和 实 践

〔联邦德国〕费列茨·法森拉斯 主编

冯先藩 等译

中 国 铁 道 出 版 社

1987年·北京

《铁路轨道》一书值得国内外广大的专业人员一读。这本书对整个铁路系统未来的良好发展也是有用的。

论文作者们为正确和深入地对复杂的问题所作的讨论是值得感谢的。

国家证书工程师·工程博士

E.h.Heinz Delvendahl

联邦德国铁路工程部部长·国际铁盟

“轮轨关系”专业组主席 弗兰克福

1977年10月

内 容 简 介

本书译自英文版。全书共分13篇，内容涉及除轨枕和道床以外的铁路轨道的各方面技术、经济问题。重点论述了钢轨的制造、材料、特性、断面、焊接、损伤、检验等。结合联邦德国的铁路轨道结构理论和轨道的养护经验作了分析和介绍。

本书可供铁路工程技术人员、科研工作者以及铁路高等院校专业师生使用和参考。

RAILROAD TRACK: Theory and Practice
Edited by FRITZ FASTENRATH
English Edition by Frederick Ungar Co., Inc.
New York 1981

*

铁 路 轨 道

理论和实践

费列茨·法森拉斯 主编

冯先需 等译

中国铁道出版社出版、发行

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 印张：19 字数：440 千

1987年6月 第1版

1987年6月 第1次印刷

印数：0001—1,000册 定价：4.20元

中译本前言

《铁路轨道》一书是由联邦德国的13位专家学者执笔撰写，并由联邦铁路工务局前局长、工程博士Fritz Fastenrath编辑而成的。全书共13篇，内容涉及除轨枕和道床以外的铁路轨道各方面的技术经济问题，是13位专家学者根据各自所擅长的专业，对联邦德国铁路轨道的结构及养护的实践经验介绍及理论分析讨论。各篇之间并没有相互间的联系，因此也可以说这是一本铁路轨道的论文集。

本书原系用德文撰写，于1978年出版。后由Walter Grant译成英文，于1981年在美国出版。1983年铁道部工务局前总工程师刘译同志见此书后，认为其内容对我国铁路轨道工作人员颇有参考价值，因此组织从事轨道各专业有经验的同志根据英文版翻译成中文，然后辑成此书。

本书内容虽然涉及铁路轨道各方面，重点则是钢轨。其中第四篇“钢轨的制造、性能与应用”，第五篇“钢轨的质量检查及验收”，第六篇“承受高应力钢轨的经验”，第八篇“工作应力造成的钢轨损伤及其影响”，以及第九篇“波纹磨耗和波浪磨耗钢轨的量测及钢轨打磨的最佳周期”，这五篇的内容，完全是介绍联邦德国所铺用钢轨的实际经验。第十二篇“地下铁道钢轨”则结合地下铁道轨道具体的钢轨问题，进行讨论，内容也有与地面铁路轨道相类似之处。第十三篇“轨道经济中的钢轨”则实际上是介绍和讨论联邦德国铁路对钢轨实行分级管理的经验。

第七篇“连续焊接长钢轨的制造和维修”，用较大的篇幅介绍了联邦德国接触焊接及铝热焊接钢轨的工艺及检验方法，并强调对无缝线路方向水平变异进行随时观察的重要性。联邦德国铁路干线极大部分铺设了无缝线路，他们的经验和理论都是值得借鉴的。

第十篇“钢轨扣件——用途、评价标准、技术解决方法”和第十一篇“现代道岔设计”分别介绍了联邦德国铁路的这两种结构物的现状。第一篇“轨道——铁路的重要组成部分”则为总论。第二篇“钢轨作为支承体和道路——理论的原理和实例”以及第三篇“车辆与钢轨关于作用力、磨损及脱轨安全性影响的讨论”则为联邦德国学者们关于轨道计算及轮轨关系方面新的观点和理论。

为此，本书适宜于具有中专以上文化水平的铁路轨道科技人员阅读，也适宜于铁路高等院校铁道建筑专业的教师和同学们参考。

在我国建设四个现代化的进程中，铁路的作用正在日趋重要。为解决大宗货物的直达运输，重载铁路正在积极发展中；提高旅客列车行车速度或者建设新的高速铁路问题，也已经提到议事日程之中。无论重载或高速，对于铁路轨道都会出现一系列新的问题，有待铁路轨道工作人员去研究解决。联邦德国的铁路轨道和钢轨方面的专家学者们所提出的经验和理论，对我们都将有很好的参考价值。

由于各篇的原作者及译者各不相同，其风格亦大有差异，译文虽然一再校核，其风格仍难取得一致。为了避免译文出现谬误，文中的地名和人名一律用德文原文，其中的各种计量单位，则采用英译本中的名称。

本书译者:

第一、二篇 冯先需;

第三篇 邢书珍;

第四篇 钟泽群;

第五篇 李家驹;

第六篇 高嘉年;

第七篇 李德潜;

全书由冯先需审校。

第八篇 张绍华、杨绍姁;

第九篇 梁健博;

第十篇 陈嘉实;

第十一篇 雷 腾;

第十二篇 郭允度;

第十三篇 蒋传漪。

译 者

一九八六年

英文版前言

《铁路轨道》首先是在联邦德国出版发行的，这本书对于水平较高而所需养护维修费用又很低的轨道结构作了介绍。它的资料是由联邦德国铁路、一些科技大学和科学研究单位以及有关的工业方面提供的。联邦德国铁路经常把先进的理论很快地在实践中应用，因此这本书结合着国际铁路联盟（UIC）的有关规程，提出了有关轨道与机车车辆相互作用的一些资料，同时提出关于轨道建筑和养护知识在实际中的应用。

过去本书中的若干章节曾从德文版摘译成英文或法文而书中的图表又采用多种文字，对此，国际间一些制造及使用轨道器材和机械的企业经常表示不满，认为这样不能使本书在实际应用中提供技术参考。

感谢瑞士Speno国际公司总裁Romolo Panetti先生的建议，本书的英文版得以出版发行。在此，我谨向本书的英译者，Walter Grant先生表示感谢，感谢他为提供精确的英译本所做的努力。我还要感谢汉堡的Lothar Fendrich工程博士，由于他多年在美国工作，能为轨道方面的专门名词提供确切的译名。

我希望本书的英译本能为广大的读者对少维修轨道的优越性有所了解。联邦德国铁路在实践中已经证明，尽管他们的铁路近年来运输十分繁忙，采用本书所述轨道结构和它的部件是很成功的。对这种轨道结构的维修也是很经济的。

Fritz Fastenrath

奥登堡，联邦德国

1980年2月

第一版前言

很多铁路企业由于受到竞争的压力，多年来致力于提高客货列车的行车速度以改善服务工作。此外，还为了增加货运量而计划增大货车的装载量使车辆的轴重增加到20t以上。对于已建成的铁路网来说，要进行这样的改变需要花很大的力量。因此，铁路工程师们面临着需要提高关于轮轨关系方面科学知识的问题，据此而对于车辆和轨道得以有所改进。铁路和有关工业企业的建筑和机械工程师们，正在联合起来进行这方面的科学研究工作。他们的研究成果既可用于新建铁路，又可用于旧铁路的改造。

不适用的机车车辆可以随时停止使用，但不合用的轨道如不进行更新改造，就会使铁路运输能力受到影响。由于轨道的投资比较大，正确地选择合用的轨道器材以及将来的轨道养护方式，就具有十分重要的意义了。

本书的目的是为铁路系统内的学生、设计和施工人员等提供有关铁路建筑方面的要求，以及相应的铁路工程和经济养护方面的问题。本书在总论后面收集了12篇有关铁路轨道各个领域的论文。论文的作者们都曾对他们的专业方面作出过新的以及有决定意义的贡献。本书总的安排是使读者通过对铁路轨道中最重要的部件，钢轨方面问题的了解，从而得到轨道各方面问题的全貌。编者还有意识地将各篇论文中一些重复的而又具体的实际情况保留下来，这样可以使读者对相互间的关系加深了解。

轨枕、扣件、道岔、道床以及路基面方面的问题只有在需要介绍有关建造一条少维修轨道所必需的特征时才作一定范围的讨论。

编者对各位作者在繁忙的专业工作中提出很好的论文表示感谢。出版者为了使各篇论文在格调上保持一致以及图表的整理，也作了大量的工作。最后，编者特别要感谢 Lothar Fendrich工程博士的通力合作，他作为一个杰出的轨道工程师，出于对本专业的热爱，担负起大量的编辑工作使本书能与广大读者见面。

Fritz Fastenrath

奥登堡

1977年10月

序 言

铁路的发展实际上是它的各种技术装备的发展，它们包括机车车辆、行车指挥设备以及轨道等。钢轨则是轨道中的主要部件，它起着为机车车辆提供支承导向的作用。

钢轨的历史是与铁路运输量的扩大和钢轨制造工艺的发展密切相关的。Stephenson的第一台机车出现时的钢轨，轨头如蘑菇、轨腰如鱼腹，每米重仅12kg；这些钢轨实际上是用脆性的生铁铸成的。而现在铺设在重载和高速铁路上的平底钢轨，每米重达70kg。钢轨是用钢锭轧制而成的，这便为使钢轨的质量能符合使用要求进行生产提供了良好的条件。

经过150年使用钢轨的经验以及所进行的研究试验，现在全世界有多种多样的钢轨。近年来对钢轨的研究则集中在改善钢轨的材质、钢轨断面内的金属分配以及钢轨重量等方面的问题。19世纪末叶，欧洲铁路共有上百种不同断面的钢轨，到了今天，国际铁路联盟(UIC)提出UIC60型每米60kg的钢轨为各国铁路广泛采用。

在这150年的钢轨历史中，最近20年的新发展是很重要的。焊接长钢轨轨道的发展，对钢轨受力情况不但要考虑由于支承和引导车轮所引起的对钢轨的力，而且还要考虑由于气温变化所引起的钢轨纵向力。铁路运量的增长，又促使车辆轴重的增加。行车速度也在提高。此外，铁路轨道的养护维修也从手工作业改为机械化养路。所有这些发展都是经过深入的科学研究和实践取得的。最近10年这种发展更为显著。其结果是形成了一种新的知识领域，它不但可能预示未来的发展，而且在相当长的时期内将保持它的活力。

《铁路轨道》这本书的出版，可以说是很及时的。它表明了各位专家作者的观点。这些专家对于近年来铁路轨道和钢轨的情况都进行了理论、实验室试验以及实际铺用的探讨。必须特别指出的是他们对轨道部件的相互关系和相互依赖进行了讨论，例如在实际运行中各种速度条件下的安全和脱轨、列车的低噪音运行、减轻磨损以及降低维修费用的情况下取得最长的使用寿命等问题。

本书内每篇论文都提出了新的观点。它不仅是从一条铁路面是从欧洲很多铁路进行调查的结果，还包括它们的经验和知识。应该指出，国际铁路联盟对于轨道问题所组织的深入而又系统的合作是值得赞赏的。因此，这本讨论铁路轨道的书也代表了国际铁路的状况。

选择这些论文主要是根据其专业知识面且是很谨慎的。这就是编者的功劳值得感谢。所有负责设计和维修养护铁路轨道的人员，都可以从这些论文中获得他们工作中所必需的基本原则。钢轨的制造者和验收人员可以从而了解所应采用的钢轨材质和制造方法，以及特别重要的数据。计划人员也可以从中得到根据钢轨和道岔要求的参考。轨道工程师们可以得到关于钢轨铺设和焊接的原则。轨道的管理也可以由此而得到较好的经济效益。

在本书内，机车车辆和轨道之间的关系或者简称为轮轨关系也进行了阐述。这种关系的阐述为机车车辆制造者提供了重要的知识。良好的机车车辆设计能保持钢轨和轨道受到的应力在允许的范围以内。

最后，必须指出这本书对于在大专院校培养未来工程师们也是很有用的，教师和研究人員也可以为他们的工作找到有价值的启示。

目 录

第一篇 轨道——铁路的重要组成部分	
部分	1
第二篇 钢轨作为支承体和道路——	
理论的原理和实例	6
1. 引 言	6
2. 钢轨断面和交货技术条件	7
3. 钢轨作为支承体	8
3.1 道床系数理论	8
3.2 弯曲应力及挠度	10
3.3 各种干扰应力	18
3.4 水平弯曲曲线	23
3.5 道床系数的确定	25
3.6 温度应力	25
3.7 形状耐劳性	28
3.8 容许轴荷载	30
3.9 曼纳 (Miner) 的假设	32
4. 铁路上的钢轨	33
4.1 钢轨轨头和车轮轮廓	33
4.2 轨头应力	34
4.3 容许轴荷载和最小轮半径	37
5. 容许轴荷载——轨道结构	40
6. 轨道稳定性	42
6.1 原 则	42
6.2 轨道畸曲的理论	45
6.3 道 岔	47
7. 钢轨的振动特性	48
参考文献	50
结束语	53
第三篇 车辆与钢轨关于力、磨损及脱轨	
安全性影响的资料与讨论	58
1. 引 言	58
2. 轮对和钢轨间的力	58
2.1 车辆导向力的产生	58
2.2 附加侧向力	60
2.3 轮对和钢轨间力的定义	60
2.4 走行部分的类型对力的大	
小的影响	63
3. 车轮和钢轨的水平磨损	66
4. 关于脱轨安全性	67
5. 在道岔和交叉的辙叉部分的	
车辆导向	69
6. 后 述	73
参考文献	74
结 语	74
第四篇 钢轨钢的制造、性能与应	
用	76
1. 钢轨的作用	76
2. 钢轨的断面与质量	76
2.1 钢轨的断面	76
2.2 钢轨的质量	78
3. 钢轨的制造	79
3.1 炼钢与铸锭	79
3.2 钢轨的轧制	81
4. 对钢轨的要求	83
5. 钢轨的性能	84
5.1 钢轨钢的结构与机械性能	84
5.2 钢轨钢的磨损性能	87
5.3 钢轨的形状耐劳性	88
5.4 钢轨钢对焊接的适应性	89
6. 钢轨钢的使用性能	89
参考文献	91
结 语	92
第五篇 钢轨的质量检查及验收	93
1. 钢轨在冶金工厂制造过程中	
的质量检查	93
2. 钢轨供货技术条件具有国际	
通用的意义	94
3. 钢轨的验收	96

4. 钢轨的标志	102
结 束 语	103
第六篇 承受高应力钢轨钢的经验	105
1. 瑞士联邦铁路网的地形特点 及线路情况	105
2. 运行时的应力对钢轨的影响	106
2.1 进行的试验和研究结果	106
2.2 耐磨钢轨的应用及材质的 评定	107
3. 运量增加对山区铁路钢轨的 影响	108
3.1 轮轨作用力的影响	109
3.2 对钢轨钢的要求	110
4. 适用于重载线路和山区铁路 的钢轨的发展	111
4.1 特种材质钢轨的介绍	114
4.2 Cr-Mn 钢轨性能	116
4.3 钢轨材质的保证	118
4.4 可 焊 性	120
5. 特种钢轨钢的应用	121
5.1 线路上应用的钢轨断面和 钢种	123
5.2 口通过总重大于10000t的 重载道岔采用的钢轨钢	123
参考文献	124
结 束 语	125
第七篇 连续焊接钢轨的制造及 维修	126
1. 连续焊接钢轨的意义	126
2. 连续焊接钢轨的制造	129
2.1 接 触 焊	129
2.2 铝热焊接	140
2.3 电弧焊接方法	153
2.4 绝缘接头	158
2.5 钢轨伸缩调节器的利用和 纵向可动轨件的安装	160
2.6 轨道上的接触焊	162
3. 连续焊接钢轨轨道的养护维修	164
3.1 轨道标桩	164
3.2 在连续焊接钢轨轨道上进	

行修建工程	165
3.3 拆除钢轨的断裂部分	165
4. 展 望	166
4.1 缺陷的研究	166
4.2 培 训	167
4.3 发展趋势	168
结 束 语	168
第八篇 工作应力造成的钢轨损伤 及其影响	170
1. 由于制造原因和工作应力造 成的钢轨损伤	170
2. 各国铁路上普遍出现的波纹 轨	174
2.1 关于钢轨波纹的分类	175
2.2 研究的现状	177
3. 波浪磨耗	185
3.1 关于波浪磨耗的文献	185
3.2 波浪磨耗形成的原因	187
4. 修 补	188
4.1 打磨方法的发展	188
4.2 打磨后再出现波纹	190
4.3 新铺钢轨在行车前进行打 磨试验	190
4.4 展 望	192
参考文献	192
结 束 语	195
第九篇 波纹磨耗和波浪磨耗钢轨 的量测及钢轨打磨的最佳 周期	196
1. 引 言	196
2. 测量方法	197
2.1 静态测量方法	197
2.2 用车辆来测量的方法	198
3. 测量结果作为轨面质量控制	200
3.1 波纹磨耗	200
3.2 波浪磨耗	201
3.3 焊 缝	202
4. 钢轨打磨处理	204
4.1 钢轨打磨的意义和钢轨断 面的恢复	204

4.2 经济考虑	205	4. 对道岔结构的结论	225
5. 展 望	207	4.1 几何形状, 轨距, 轨枕间距	225
参考文献	208	4.2 扣 件	226
结 束 语	208	4.3 紧固基本轨	226
第十篇 钢轨扣件——用途、评价		4.4 固定式辙叉	227
标准、技术解决方法	209	4.5 护 轨	227
1. 引 言	209	4.6 可动心轨辙叉	228
2. 作用力的大小和类型	209	4.7 弹性可弯式心轨辙叉	228
3. 钢轨扣件的作用	210	5. EW60-2500-1:26.5 弹性式	
4. 评价标准	211	心轨辙叉的单开道岔	229
4.1 动力试验	211	结 束 语	232
4.2 滑动试验	212	第十二篇 地下铁道钢轨	233
4.3 抗扭试验	212	1. 引 言	233
4.4 轨节刚度试验	213	2. 选择地下铁道钢轨的要点	233
4.5 确定弹性特性	213	2.1 钢轨断面	233
5. 技术解决方法	214	2.2 钢轨钢的强度和耐磨性	238
5.1 木枕上用的K型扣件	214	2.3 选择钢轨的标准	238
5.2 木枕上用的有SKI2和SKI3弹		3. 在地下铁道中车辆和钢轨对于	
条的K型扣件	215	钢轨应力和钢轨磨耗的影响	239
5.3 用于混凝土轨枕的有SKI1		3.1 车辆—钢轨振动系统	239
弹条的W型扣件	216	3.2 车辆的影响	240
5.4 用于木枕上的Dna4型弹簧		3.3 轨道的影响	243
道钉扣件	217	3.4 特殊运行方式的影响	245
6. 无碴轨道上用的有SKI4型弹		4. 地下铁道的钢轨磨耗	246
条和SBU8型卡紧弹条的		4.1 垂直磨耗	246
钢轨扣件	217	4.2 侧面磨耗	246
7. 选择标准	219	4.3 总 磨 耗	248
参考文献	219	4.4 波浪磨耗	249
结 束 语	219	4.5 波纹磨耗	251
第十一篇 现代道岔设计	220	4.6 其他钢轨伤损	253
1. 引 言	220	4.7 道岔上的应力	254
2. 在道岔上的运行动力学	221	5. 打磨工作	256
2.1 轨距线几何状态	221	6. 地下铁道上空气和车体声音	
2.2 道岔尖轨部分(转辙器部		的限度	257
分)	222	6.1 概 论	257
2.3 固定式辙叉	223	6.2 运行噪声	257
2.4 护 轨	223	6.3 为减少滚动、冲击和曲线	
2.5 无有害空间辙叉	223	噪声, 在车辆和钢轨设计	
3. 整组道岔和单个道岔部件中		方面可能采取的措施	262
的应力	223	参考文献	264

结 束 语	267	3.5 轨道结构和养护维修费用	277
第十三篇 轨道经济中的钢轨	268	4. 轨道经济中的钢轨	280
1. 国民经济与轨道经济	268	4.1 轨道的养护维修方法	280
2. 问题的来龙去脉	269	4.2 钢轨和道岔的分级	281
2.1 国民经济的基础资料.....	269	4.3 钢轨断面的选择	282
2.2 路网结构.....	269	5. 钢轨管理	283
2.3 运量和运量结构.....	270	5.1 对轨道材料使用期的评价	283
2.4 联邦德国铁路网结构、运 量及运量结构.....	270	5.2 钢轨的技术经济处理	285
3. 轨道的技术要求和物理性能 的内在联系.....	271	5.3 联邦德国铁路关于轨道计 划的编制	285
3.1 钢轨磨耗.....	272	6. 最后总结意见	286
3.2 疲劳强度.....	273	6.1 作用和目的的含义	287
3.3 磨耗影响使用期	275	6.2 轨道经济的基本原则	287
3.4 各种零部件的协调	277	6.3 关于钢轨管理的建议	288
		结 束 语	289

第一篇 轨道——铁路的重要组成部分

F·FASTENRATH 著

世界各国用各种名词来称呼铁路——Railway, Railroad, Eisenbahn, Chemin de fer, 实际上这些名词指的都是铁路轨道。这是已经有大约150年历史的运输系统, 至今仍广泛应用。当我们的祖先创造“铁路”这个词的时候, 他们一定考虑到它有别于普通的道路。不然他们不会采用“铁路”这样一个组合名词来命名这整个运输系统。对于非专业人员来说, 他们会认为铁路从开始到现在始终没有什么变化, 这不过就是一对轨条铺设在路面上。但是滚动在这一对轨条上的机车车辆则在最近数十年内有着很大的变化, 这些变化则是有目共睹的。随着时代的前进, 机车车辆的发展有以下方面: 行车速度、货物装载量、牵引动力、外形设计以及客车内部的舒适度等。

因此, 这就难怪人们对铁路的兴趣几乎都集中在机车车辆的发展方面。他们一定更注意用大机车牵引的快速流线型列车而不会注意铺在地面上毫无动静的钢轨的。但是, 即便是铁路的专业人员, 有的人也不明白如果没有铁路轨道方面的发展, 机车车辆方面的新成就也是不可能的。铁路轨道几乎占整个铁路固定资产的 $1/5 \sim 1/4$ 。在快速重载的机车车辆行驶下, 铁路轨道承受着更严峻的应力状态。

铁路轨道担负着双重作用, 即: 支承机车车辆的重量, 同时依靠车轮内侧的轮缘引导机车车辆前进。为此, 就有必要解决静态的技术问题和动态的技术问题, 列车行驶时作用于轨道的有垂直力还有横向力。轨道包括钢轨、轨枕、道床和路基而不良处所用的垫层, 先承担起上述一部分外力, 然后把力均匀地传播到下部建筑, 即路堤、桥梁以及路堑和隧道的底面上。

轨道最主要的部件是钢轨, 它直接起着支承和导向的作用。为了保护道床和路基, 钢轨下铺设的轨枕把力散布在较大的面积上。钢轨和轨枕用扣件组装起来成为“轨排”, 组成了“轨排”以后, 上部建筑就有了更大的刚度来抵抗列车在行驶中以及温度变化时所产生的横向力和纵向力。由于钢轮与钢轨之间的磨阻力比较小, 列车行驶时所需的牵引力也就比较小。

在能源日渐短缺的情况下, 如果铁路能得到廉价和容易得到的电力, 同时又能使运行尽可能地自动化, 电力将在相当长的时期内发挥它的作用。与其他陆上运输工具相比, 铁路所需的土地、能源和人力都比较少, 而且能长期承担大量运输。此外, 铁路运输几乎不受气候的影响。

在铁路网比较密的地区, 建造铁路的目的就不再是“开发新地区”了。在一些工业国家, 当初为开发地区而建但目前又很少使用的铁路轨道, 都已停运或拆除; 但是人们不能因此就说铁路已经衰道了。相反, 在人口稠密的工业城市之间, 行驶牵引力较大的快速列车以输送旅客和货物, 几乎与开发矿产资源以及运输工农业产品的铁路同样重要。在客运和货运繁忙的地区以及新发展的工业国家, 铁路还在稳步地发展。

今天, 经济的发展主要依靠合理的分工。人口在不断地增长, 很多国家和地区在技术上

高度发达。因为这些原因,选择工业地点在很大程度上取决于社会经济的前景。国内和国际经济合作正在不断增长,以致贫困而人口过分稠密地区需要增加就业机会,与运输工具的发展有时很难取得一致的步伐。铁路当局也知道,修建并经营一条铁路并不单纯为了获利,同时也要考虑到国家的政治方面。运输的费用以及运输能力,对于一个贫困地区能否转化为工农业基地,起着决定性的作用。因此,如何经济地修建和养护铁路,采用使用寿命较长的轨道部件就有了决定性的重要意义。铁路的工程技术人员经常地考虑这些问题并且认为这是自己对于社会发展应负的责任。当投资受到限制,铁路工程师们就要充分发挥他们的技术知识和才能来修建铁路。他们的成就可以使广大地区的居民获得收入优厚的就业机会。否则这个地区依然不能发达,它的居民也只能领取社会福利金度日。

服务性企业,包括铁路在内是不能把它们的服务储存起来的。为此,铁路的发展,特别是货物运输,在很大程度上取决于当时当地的经济状况。对于轨道来说,铁路运输繁忙使它的部件经常受到较大的外力因而严重地损耗。另一方面则由于行车密度太大,轨道的经常养护维修很难进行。但是当铁路运输从繁忙转为不繁忙时,本来可以趁机多做些轨道维修工作,却常常因为缺乏养护维修费用而不能把已经损耗的部件更换下来。为了避免这种情况,就有必要先制定一种不考虑运输忙闲因素的轨道工作计划。铁路企业如果希望轨道处于能满足运输要求的状态,避免轨道上有慢行地段或者线路封闭,那么运输就必须服从这种轨道工作的计划。

每个铁路司机都知道,在平顺的轨道上列车才能高速运行。如果轨道上有高低不平之处,在列车外力作用下轨道质量下降,当列车通过这些地段时就会发生强烈的摇晃和振动。这种经验使铁路司机自动地降低速度,因为他也不愿意使机车的易损部件受到损耗,甚至使他自己因发生行车事故而受伤。

对于铁路来说,机车车辆与轨道在运行中的受力状况相同而方向则是相反的。与汽车不同,铁路乘客并不看他们前面的轨道。为此,他们对于轨道的不平顺与列车摇晃之间的相互关系是不了解的。他们主要是希望列车能按时刻表正点运行。要使铁路更具有吸引力,它必须尽可能地提高速度并且在行车时间的计算中不要留有余地。铁路机车车辆的轮子并不象汽车那样用的是充气的橡胶轮,因而轨道的纵向或横向不平顺都会通过机车车辆的非弹性部件传达到悬挂系统从而使列车发生振动。所谓机车车辆与轨道的振动系统就是如此。要使得这种相互关系能保持在不产生损耗的范围内,并不能依赖降低行车速度而是要依靠缜密的轨道养护。

不幸的是:人们常常发现各种技术上所必需的轨道工作被耽误了。这种耽误不仅仅使旅行的舒适度恶化,更重要的是由于不良轨道所产生的附加力使轨道上的钢轨、轨枕、扣件、道床以及路基面受到过早的损坏。相应地,机车车辆的损坏也成倍地增加。这是因为非弹性的车轮和轮轴受到与轨道相同的额外动力。大家必须记住,不良的轨道是会使外力增加的。

从经济观点来看,最经济的轨道其建造和维修要使得钢轨和机车车辆不致因过分疲劳而破损(包括钢轨、轮轴的断裂)。避免这样的破损也是行车安全的需要,因此,轨道的养护维修必须优先于轨道的更新这一点是无庸置疑的。这里应当指出,对于轨道上的钢轨进行打磨的工作,只有在所有的轨道部件不必更换而在钢轨打磨后即能恢复规定的行车速度,这样的钢轨才值得打磨。当轨道上各种部件已经开始损耗而更换新的又缺乏经费,这就必须限速运行。这时就应对若干特殊薄弱处采取措施从技术上来保证正常运行。虽然这样做从全面的经济观点来说是不利的。

轨道一经铺设就要使用相当长的一段时间。为此，钢轨的材质和外形尺寸的准确与否就成为其使用寿命的决定因素之一。在任何新建或更新轨道时，运行条件及其发展必须首先考虑。机车车辆的轴重和它们的结构、列车的运行速度以及轨道一定要相互配合才能使各方面的养护维修减少到最小的程度。世界各国有许多例子可以证明，各项轨道部件的尺寸不准确，以及材质不良都会给运行管理带来很大困难。反之，经验证明超出运行需要而铺设过分高标准的轨道也是很经济的。

全面地论述复杂的轨道结构及其原理将不属于本书的范畴。轨道结构的种类很多，技术上分析各有不同。举例来说，现在有很多工厂生产了多种多样的钢轨扣件，这里就不能详细地论述它们的优缺点来为技术专家们作为选择的依据。

另一方面，平底钢轨或称为“Vignol”钢轨——这是所有的钢轨制造厂对不同重量钢轨的统称——作为轨道的主要部件则在全世界铁路上都是相同的。因而，对铁路路基和机车车辆情况的阐述，也同样适用于世界各国铁路。本书将对下述方面提供基本概念：轨道计算中的相互关系；钢轨的制造、特性、管理和使用；干线铁路和地下铁道钢轨的磨耗；以及运行动力学、钢轨扣件和道岔设计中的问题。这样，对世界各国铁路从事轨道工作的工程师们作决策时可以提供一些有益的帮助。

下面各篇中，对无碴轨道的运用以及轨枕、道碴和路基面保护层等将不进行技术经济方面的讨论。因此，在此先提出一些参考性的意见。

“将钢轨和横向轨枕浮铺在道床上”这种轨道结构形式在可以预见的未来仍将被认为是最经济的。混凝土大板式轨道比现在普通采用的轨道可降低每年的养护维修费用。隧道内，在普通轨道上进行清筛脏污道床和更换轨枕是很困难的。采用在混凝土底板上面铺设横向轨枕的轨道可以得到满意的解决办法。在混凝土大板下必须铺用具有特殊材料性能的橡胶垫层，它可以起到与普通道碴道床相同的效果。混凝土横向轨枕则是预制的。轨枕下也要铺设橡胶垫层。轨道的准确高度和方向完全可以在灌注混凝土时进行调整。但这种形式的轨道只宜铺在隧道内，因为隧道里没有雨水侵蚀，没有日光曝晒，也没有很大的温度变化等需要考虑的问题。

桥面上也常被认为适宜于铺设混凝土大板。在这里，桥梁的纵向伸缩必须避免传到钢轨上，为此，桥上轨道扣件必须不是紧扣的。在小跨度桥梁上则适宜于铺设有碴轨道，因为这样做可以不采用特殊结构（例如钢轨伸缩调节器），同时对行车也有利，而且可以与普通轨道一样进行养护维修。

路基的筑造即使予以极大的注意仍难免要沉陷和被冲刷。为此，横向轨枕的轨道仍将是广泛被采用的轨道形式，因为道碴道床是比较容易控制的。现在，这种轨道的潜力还未充分发挥出来，很值得对每种轨道部件进行经济效益的分析，使它有所提高和发展，但必须牢记，经济比较必须先满足功能和质量方面的要求。

木枕、钢枕和混凝土枕的使用已经有几十年以至上百年的历史，而且都已取得成功。塑料由于技术上和经济上的原因已经被认为不适宜于作为轨枕的材料。早年的铁路曾铺设石块，但很快就被木枕所代替而且广泛铺用于长大干线轨道上。由于只有少数热带地区出产的硬质木枕不经防腐可以使用数十年，国内的木材存储量本来就不够丰富，这就迫使人们研究木材防腐的各种措施，使之能达到一定的经济效益。硬质木枕（例如山毛榉或栎木）用煤焦油防腐，尺寸为 $260 \times 26 \times 16\text{cm}$ （标准轨距1435mm用）。上铺垫板或分开式扣件，再加以适当的养护也可以达到几十年的使用寿命。

在行车速度达到120km/h，轴重达到20Mp*的情况下，木枕的高度和宽度根据荷载、道床厚度和路基面状况，可以考虑略予减小。但是木枕的长度决不能减短，原因是这将增加对道床和路基面的压力。对于窄轨铁路来说，应该认识到只有轴重和行车速度才能决定木枕的断面尺寸，轨距大小只能改变其长度。

作为木枕的另一种选择，钢枕的使用也有100年以上的历史了。钢枕的宽和高与木枕相同，它可用于普通轨道上，适当加长后可以用于道岔。由于在铁路工程中它有某些缺点，因此近40年来它没有得到发展，而若干应该被肯定的特性也有被逐渐忘却的危险。现在采用不同的钢枕，多半是由于经济上的原因，技术上的原因只占小部分。第二次世界大战的动乱中，一些工业国家迫切需要更多的钢材制造武器；大战以后，他们发现钢材有很多用处而且比制造钢枕更能获利，因为钢枕还处在与木枕和混凝土枕相竞争的地位。

在战后物资奇缺的时期，联邦德国铁路出于需要做了件好事。他们利用焊接技术把拆散了的、丢在废料堆里的钢枕采用三根拼接为两根的办法做出一些钢枕。在支承钢轨的部分由于有装配扣件所需的孔眼或槽，破损比较多，有裂纹和压溃的都予以切除另焊上完整的，然后把一些带肋的垫板焊在上面作为K型扣件的一部分。利用焊上去的肋和采用弹性扣件（SKI 2或3）可以使扣件简化并得到改善，钢枕的两端还可用冷压的方法开缺口，这样对出口时装卸有利。

钢枕有下列优点：它们和其他轨枕一样可铺用于无缝线路；可以大批量生产，快速而质地均匀；运输时节省空间，不需要中间储存，可直接从制造厂或进口港口运至筑路工地；可准确地保持轨距；道破用量可以略少；在精心铺设完毕后也可以用新式养路机具进行起道拨道。曾经耽心，一旦扣件松动，钢枕会在行车中产生噪音，但事实并非如此。在一些地区，空气中的腐蚀作用不严重，适宜于制造木枕的木材又缺少，也没有条件制造出质地良好的混凝土枕，那么采用钢枕就不必再从技术和经济上来决定了，特别是由于采用车轴计数器使钢枕在信号技术方面的缺点已不复存在了。

混凝土轨枕的发展开始于第二次世界大战时期，当时没有足够数量的木材和钢材来制造轨枕。在开始时使用没有预应力钢筋的水泥块，失败以后，在预应力技术发展的影响下，战后预应力混凝土轨枕开始发展起来。在德国和其他铁路较发达的国家，预应力混凝土轨枕得到成功的应用。最初，采用的长度只有2.30m，后来增长到2.40m，仍嫌不足；这时，机车车辆的轴重和行车速度都有所提高，行车密度也在增加，要获得耐久而且维修工作量较小的轨道，轨枕的长度就有必要增加到2.60m（B70型）。为了适应在行车速度达到200km/h以上的轨道上使用，长度为2.80m重量达到380kg的B75型轨枕正在进行试验。发展这种轨枕的原因之一是由于当行车速度达到160km/h以上时，轨道的一定重量会使其自振频率有与机车车辆的自振频率产生协调的可能。

混凝土轨枕对于材质的要求很高，它的抗压强度必须超过600kp/cm²。要达到这样高的质量，对于水泥质量的均匀性以及骨料的清洁程度必须予以严格的规定。这些规定一定要经常并认真执行。缺少河流的国家很难有自产而合用的河卵石和高质量的水泥。在这些国家决定生产混凝土轨枕以前，必须周密地考虑在什么条件下能够制造出达到要求强度并且质地均匀的轨枕。可采用的施加预应力的方法是很多的。联邦德国铁路还规定，露在轨枕端部的钢筋必须全部用混凝土保护起来，以免锈蚀。

要使铺用混凝土轨枕地段的钢轨达到满意的使用寿命，精心的养护是十分必要的。混凝

* 译注：kp系德文千克力，1kp相当于1kgf=9.80665N。此处为Mp。

土是不耐冲击的，因此轨道的养护维修必须使用振动捣固机和拨道机。钢轨扣件也一定要扣紧，以免轨枕的承轨槽受到钢轨的锤击作用甚至使轨底陷入轨枕的顶面上。最初使用到5～7年，不可避免地会有混凝土轨枕过早的破损，这就使一些铁路企业采用混凝土轨枕成为一个要考虑的问题。

对无缝线路来说，轨排结构的刚度以及合乎要求的道床是行车安全的重要因素。从轨枕底面到路基顶面的道床厚度应达到30cm，这对各种轨枕都一样。用这样的道床厚度并采用60cm的轨枕间隔，就足以将行车荷载中的垂直力均匀地传到路基面上，而不致使路基面受到损坏。由于温度变化以及列车制动和加速时所产生的横向力和纵向力一定要消除掉。这就需要把道床顶面的宽度在直线地段达到枕端外40cm，在曲线地段达到枕端外50cm，当行车速度达到时速大于或等于160km时，即使在直线地段也应达到50cm，因为在这种情况下，列车有较大的槽向力。在轨道大修以后，轨道的稳定性会暂时降低。由于这个原因，要采用道床夯拍机和钢轨稳定设施，使轨排结构和道床在大修刚结束后即能达到良好状态。轨枕的高度对道床的厚度有很大关系，由于行车中产生振动，道床的边坡大致为1:1.5，那么道床的厚度就决定了路基顶面的宽度。道碴材料最好选用硬质的和不滑动的石料。每块石碴一定要有棱角，其边的长度不得超过60～80mm。细颗粒的石碴比例也不宜过多，否则，轨道道床的弹性、排水和通风都将受到影响。

只有当路基的弹性模量大于 800kp/cm^2 时，路基才有足够的能力来支承行车所产生的静力和动力。如果这个数值不能达到，就必须用路基面保护层。保护层的厚度也应达到30～40cm。所用的砂料必须具有内聚力。由于砂料经常取自天然沉积处，它的级配就应该先行检验，筛选的规定也必须执行，因为砂垫层也需要有细颗粒部分。如果道床过分的脏污，这就必须把道碴挖出来然后有控制地把砂料填进去。如果脏污不严重，那么砂料可以用来使道床清洁，到下次清筛道床时，这些砂料就可以用一种专门的工具在未铺设石碴前，分布在路基面上。