铁路继续教育系列教材

自学指导书

（铁道车辆新技术及其应用）

铁道部人才服务中心　组织编写

西南交通大学出版社
·成都·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前　言

为帮助广大专业技术人员更好地学习铁路继续教育系列教材《铁道车辆新技术及其应用》，我们编写了此《自学指导书》。

第一章～第四章内容的理论性较强，主要是为了提高高级专业技术人员的专业理论水平。第五章～第十三章每章为一个相对独立的模块，适合于各级专业技术人员学习。

考虑到各铁路局车辆专业技术人员的业务工作领域仍有较大的差异，加之对具有不同技术职称的要求和侧重有所不同，我们建议各单位在组织学习时可按如下办法处理：

高级专业技术人员的范围为：第一章～第四章内容及第五章～第十三章中任选 1 个模块。

中级专业技术人员的范围为：根据工作性质和实际需要，在第五章～第十三章中任选 2～3 个模块。

初级专业技术人员的范围可在中级专业技术人员所要求的范围内适当降低难度和要求。

建议教材总的自学学时数不少于 200 学时。各单位可根据本单位的具体要求及实际情况适当增加有关部分的自学学时数。

由于教材的篇幅限制，各章节在编写时虽然起点较高，但内容不够充实和详细。建议读者在学习时以铁路继续教育系列教材《铁道车辆新技术及其应用》为主，可参阅其它教

材或《自学指导书》中所指定的有关参考书籍。

参加《自学指导书》编写工作的有：北方交通大学吴作伟（第一章～第三章）；郭继斌（第四章～第六章）；傅华坤（第七章、第十二章第四部分）；李诗博（第八章～第十章）；饶忠（第十一章）；宋永增（第十二章第一部分）；李强（第十二章第二、第三部分）；张家栋（第十三章）。

由于继续教育是一项新的工作，因此，无论在教材或《自学指导书》的编写过程中都难免存在着不足之处，敬请广大读者提出宝贵的批评意见和建议。借此机会，我们在《自学指导书》后面附上了《铁道车辆新技术及其应用》一书的勘误表，以供读者改正教材中有关的错误。

编　者

2000 年 12 月于北京

目　录

第一章　线弹性断裂力学基础 …… 1
第二章　疲劳裂纹扩展与疲劳寿命分析 …… 7
第三章　结构的抗断设计及裂纹检修 …… 12
第四章　蠕滑效应导向和径向转向架的机理 …… 16
第五章　几种新型转向架及其主要装置 …… 21
第六章　摆式车体列车 …… 35
第七章　车辆制冷与空调 …… 38
第八章　车辆空调装置的自动控制 …… 43
第九章　列车集中供电 …… 46
第十章　轴温监测报警装置 …… 49
第十一章　铁路车辆制动部分 …… 51
第十二章　无损检测技术及其应用 …… 57
第十三章　单片微型计算机原理及应用 …… 66
《铁路车辆新技术及其应用》勘误表 …… 71

第一章　线弹性断裂力学基础

一、内容提要

本章包括断裂力学概述和线弹性断裂力学基本理论两部分内容。

第一部分为断裂力学概述。在该部分中，通过对工程结构断裂事故的介绍阐述了工程结构断裂事故的严重性及断裂力学的重要性。为了加深对断裂力学基本概念的了解，通过对比的方法描述了断裂力学与传统强度理论在基本假定、基本观点和设计方法等方面的不同。最后对断裂力学进行了简单的分类并介绍了断裂力学在工程中的主要应用情况。

第二部分为线弹性断裂力学的基本理论。在该部分中，从断裂力学的一个引例阐述了应力集中与裂纹问题在本质上的差别。在此基础上引入了格里菲斯的脆断理论并阐述了该理论的重要理论意义。而其余的内容讨论了线弹性断裂力学的基本理论、基本概念和一些重要的参数。主要包括：三种基本裂纹类型的描述与定义、裂纹尖端的应力场、应力强度因子的定义及其意义、小范围屈服下的塑性区问题、材料的断裂韧性 K_C 、线弹性断裂力学的断裂判据以及简单几何形状问题的应力强度因子计算问题。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

二、学习目的与要求

（一）学习目的

线弹性断裂力学是整个断裂力学理论的基础。因此，通过本章内容的学习不仅要使读者对断裂力学的重要性有深刻的理解和认识，还应该深入理解线弹性断裂力学的基本理论以及一些重要的概念。为进一步学习和理解有关疲劳裂纹扩展与疲劳寿命分析打下较好的基础，并用来指导今后的实际工作。

（二）学习要求

线弹性断裂力学的理论和方法虽然比较成熟，但在实际工程的应用中仍有诸多的不便和困难。因此，现场工程技术人员对本章内容的学习侧重点应放在对基本理论和基本概念的理解上，以提高对实际问题进行定性分析的能力。具体要求如下：

1. 通过对典型工程结构断裂事故的了解，加深对断裂力学重要性的认识。

2. 通过对车轴断裂事故的原因分析，能够对铁道车辆其它较常见断裂事故进行初步的定性分析及原因的归纳。

3. 通过对断裂力学基本观点等内容的学习，能够总结断裂力学理论与传统强度理论的主要区别。包括研究问题的出发点、研究对象、基本观点及设计计算方法等方面。

4. 通过学习断裂力学的基本理论，能够对实际工程结构

所存在的裂纹或缺陷初步的定性分析及原因的归纳。

5. 通过学习断裂力学，理解断裂力学理论既是传统强度理论的重要补充和发展，也是现代强度理论的一个重要组成部分，它不存在对传统强度理论的取代关系。

6. 通过学习断裂力学的分类，能够大致区分线弹性断裂力学和弹塑性断裂力学研究对象和研究范畴的不同。

7. 对于三种基本的裂纹类型，应掌握其分类的依据是按裂纹尖端的受力（应力）状态及裂纹的扩展形式（方向）进行的。并能够描述这三种基本裂纹类型的特点，即裂纹的开裂及扩展将沿着外力的作用方向发生。其中最常见、最危险的裂纹类型是Ⅰ型裂纹。

8. 应力强度因子是线弹性断裂力学最重要的参数之一。对于应力强度因子的计算问题不作具体要求，主要应理解以下的基本概念：

（1）在完全弹性条件下裂纹尖端应力场存在着奇异性。因此，对带裂纹的构件是不能用应力这样的物理量来作为其强度的评价标准。

（2）由于材料塑性的存在，当外载荷达到一定数值后裂纹尖端区域必然存在着塑性区，这将导致这一区域上应力的重新分布。即当裂纹尖端区的应力达到屈服应力后，裂纹尖端的应力将不会无限增加，而是趋于材料的屈服应力。

（3）应力强度因子是在弹性条件下根据裂纹尖端应力场表达式所推断的用来描述裂纹尖端区域整体应力水平强弱程度的一个度量。它是一个没有直观物理意义的物理量。

（4）构件的几何形状、外加应力、裂纹形状、裂纹尺寸等因素对应力强度因子都会产生影响。

9. 对于裂纹尖端的塑性区问题应主要理解以下基本概念：

（1）裂纹尖端的塑性区尺寸是一个与板厚有关的量。对于相同的裂纹问题，平面应力状态（薄板）下的塑性区尺寸要比在平面应变状态（厚板）下的塑性区尺寸大。

（2）对于同一问题而言，裂纹尖端的塑性区尺寸是一个沿板厚变化的量。在板的表面塑性区尺寸达到最大。

（3）了解裂纹尖端的应力松弛现象。即当裂纹尖端进入屈服后，这一区域上的应力将重新分布，由线弹性的分布规律变成了弹塑性的分布规律。

（4）掌握线弹性断裂力学在小范围屈服下的适用性条件。

10. 材料的断裂韧性 K_{IC} 是线弹性断裂力学最重要的参数之一，它是材料本身所固有的一种抵抗断裂的性能指标。其意义为材料在缓慢加载、平面应变和小范围屈服条件下，Ⅰ型裂纹发生失稳扩展时的临界应力强度因子。常用金属材料的断裂韧性可以从有关的材料性能手册中查获。必要时也可以对所分析的对象直接取材并按照有关的国家标准进行测定。

11. 线弹性断裂判据在线弹性断裂力学的理论和应用中都有着极为重要的意义。它在线弹性断裂力学中的地位与传统强度理论中有关强度准则的地位是一样的。通过对断裂判据的学习应更好地理解构件的应力强度因子 K_I 与材料的断裂韧性K_{IC}之间的关系：

当 $K_I = K_{IC}$ 时，裂纹将发生临界的失稳扩展。

当 $K_I \leq K_{IC}$ 时，裂纹将不会发生失稳扩展。如果裂纹发生扩展则属于下一章将讨论的裂纹的亚临界扩展。

三、学习重点与难点

（一）重点

本章的重点内容是线弹性断裂力学的基本观点和理论。包括基本的裂纹类型、应力强度因子的概念、塑性区的问题、材料的断裂韧性及线弹性断裂判据。

（二）难点

裂纹尖端塑性区的形状、分布及应力松弛现象。

四、自学学时数

建议自学学时数：20 学时

五、复习思考题

1. 断裂力学的基本假设与研究对象是什么？
2. 断裂力学与传统强度理论的主要区别表现在哪些方面？
3. 阐述断裂力学理论的基本观点。
4. 实际工程结构的设计应满足哪些断裂力学的要求？
5. 车轴断裂事故的发生可能由哪些方面的原因所引起？

6. **简述断裂力学理论与传统强度理论的关系。**
7. **简述三种基本裂纹类型的特点。**
8. **简述应力强度因子的影响因素。**
9. **简述裂纹尖端的应力松弛现象。**
10. **描述裂纹尖端塑性区的大致形状。**
11. **描述材料断裂韧性K_{IC}的定义及意义。**
12. **简述线弹性断裂判据的意义。**

第二章　疲劳裂纹扩展与疲劳寿命分析

一、内容提要

本章主要包括结构在交变载荷作用下的疲劳、疲劳裂纹的扩展及结构疲劳寿命的分析等内容。在该章中，首先介绍了通常作用于结构上的疲劳载荷、应力循环特性及随机载荷的定义与特点。并从断裂力学的角度介绍了结构从微观的裂纹萌生到结构断裂的整个疲劳破坏过程、疲劳裂纹的扩展速率及影响疲劳裂纹扩展的主要因素。在此基础上，进一步讨论了有关结构疲劳寿命的基本概念和疲劳寿命的计算问题。

二、学习目的与要求

（一）学习目的

传统的结构疲劳设计方法主要是基于 S-N 曲线来估算结构的疲劳寿命，这种方法的不足之处在于无法对裂纹的疲劳扩展问题进行研究。而在断裂力学基础上发展起来的有关疲劳裂纹及其扩展规律的研究为结构完整的疲劳寿命分析打下较好的基础，它是对传统的 S-N 曲线方法的一个重要发展和

需要全本请访问 www.ertongbook.com

补充。

目前的铁路运输正朝着高速、重载的方向发展。对于高速而言，由于振动的加剧必然会使得结构应力幅值的增加、而对于重载来说，由于结构作用载荷的增加也必然会使得结构平均应力的提高。这些问题都将导致结构的疲劳及疲劳裂纹扩展问题变得更为严重。

因此，通过本章内容的学习要使读者对结构的疲劳破坏过程、疲劳裂纹的形成、疲劳裂纹的扩展以及影响疲劳裂纹扩展的主要因素等问题在定性分析上和概念上有一个明确的认识与理解，并用以指导实际工作。

（二）学习要求

由于作用于机车车辆上的载荷一般为随机载荷，而结构各处的载荷谱也不相同，再加之其它诸多不定因素的影响，使得疲劳裂纹的形成、疲劳裂纹的扩展以及结构的疲劳断裂等问题更为复杂和具有更多的不定性。因此，现场工程技术人员对本章内容的学习侧重点也应放在对基本理论和基本概念的理解上，以提高对结构疲劳断裂问题的认识和重视程度，以确保铁路交通运输的安全。具体要求如下：

1. 通过对疲劳载荷部分的学习，要了解随机载荷的特性；并掌握描述等幅交变载荷的一些基本参数，包括应力幅 $\Delta\sigma$ 、平均应力 $\bar{\sigma}$ 以及应力循环特性 R 等，尤其是 $0\leq R\leq 1$ 情况下的拉—拉应力循环对结构的疲劳裂纹扩展是最为不利的。

2. 通过对疲劳破坏过程的内容学习，了解结构从疲劳裂

纹的萌生到疲劳断裂所大致经历的 4 个阶段。并明确裂纹的亚临界扩展问题是断裂力学所研究的最基本问题之一。

3. 通过对疲劳裂纹扩展速率的学习，要求主要掌握以下的基本概念：

（1）对疲劳裂纹扩展影响的最主要因素是裂纹尖端的应力强度因子幅度 ΔK，而不是裂纹尖端的应力强度因子 K。即决定构件断裂的主要参数是 K，而决定构件疲劳裂纹扩展的主要参数是 ΔK。两者的概念是不同的。

（2）从疲劳裂纹扩展速率 3 个区域的划分理解应力强度因子幅度 ΔK 对裂纹是否发生扩展所起的作用，从而加深理解结构不同部位的裂纹是否发生扩展及裂纹的扩展程度应该取决于裂纹部位的实际载荷谱。

（3）不同的材料抵抗裂纹扩展的能力是不同的。因此，裂纹扩展速率实际上是材料抵抗裂纹扩展能力的一种度量。

（4）影响疲劳裂纹扩展的因素很多，也很复杂。对教材中相关的内容仅供读者参考。

4. 对于结构的疲劳寿命问题主要应掌握以下的基本概念：

（1）疲劳寿命通常是以交变载荷的循环次数 N 来计算的。

（2）结构的完整疲劳寿命（或全寿命）应该是由两部分的寿命组成的。即早期的疲劳裂纹形成寿命（或裂纹萌生寿命）和后期的疲劳裂纹扩展寿命。但两者之间并没有一个明显的界限。

（3）结构疲劳寿命的计算受到诸多不定因素的影响。因此，对于目前的实际应用问题应该以实际载荷谱下的结构疲劳试验及统计意义下的实际应用情况为主要依据。

三、学习重点与难点

（一）重点

本章的重点内容主要包括：等幅交变载荷的一些基本参数；疲劳破坏过程主要阶段；疲劳裂纹扩展速率的概念、意义、区域的划分及疲劳裂纹扩展的主要影响因素。

（二）难点

疲劳裂纹扩展的主要影响因素。

四、自学学时数

建议自学学时数：10 学时

五、复习思考题

1. 给定应力循环特性 R，画出等幅交变载荷的变化规律。
2. 简述疲劳破坏过程的几个阶段及各阶段的特点。
3. 简述疲劳裂纹扩展速率的物理意义。
4. 简述疲劳裂纹扩展速率的 3 个区域及各区域的裂纹扩展特点。
5. 简述疲劳裂纹扩展的主要影响因素。

6. **结构的疲劳寿命是由哪两部分组成的？**

第三章　结构的抗断设计及裂纹检修

一、内容提要

本章内容为前两章理论部分的应用介绍，主要包括结构的抗断设计及裂纹的检修两部分内容。第一部分主要讨论了结构抗断设计的重要性，抗断设计所涉及的一些主要设计参数以及在抗断设计中对结构、工艺和选材等方面的一些考虑；第二部分则主要讨论了疲劳裂纹的检验周期及一些检修的措施等。

二、学习目的与要求

（一）学习目的

通过本章内容的学习要使读者对结构抗断设计的重要性以及抗断设计所涉及的一些主要内容有一个初步的了解，并能够从运用的角度和对实际情况的分析对车辆结构的设计部门所存在的有关设计问题提出具有理论依据的合理化建议。同时，能够通过对结构抗断设计内容的学习，把一些有关的

工艺方法引入到日常的检修工作中。而通过对有关裂纹检修内容的学习，对车辆的检修周期、有关的检修制度和有关的检修方法有更深刻的认识与理解，以提高理论水平并用于指导实际的检修运用工作。

（二）学习要求

从我国目前铁道车辆的实际应用情况来看，在结构的抗断设计方面还存在着许多的不足之处，有关的设计要求和标准也非强制性的。因此，车辆的断裂事故时有发生，对车辆运用部门也产生了较大的压力。因此，通过对本章内容的学习，要使现场的工程技术人员从设计和检修运用两个方面对结构抗断设计的基本理论和具体方法加以理解。并了解裂纹检修周期的确定方法及与裂纹检修的有关方法和措施。具体要求如下：

1. 通过断裂力学的分析，了解结构抗断设计所涉及的一些主要参数。尤其要注意到某些工艺方法所制造的钢材会导致材料的各向异性。而对于各向异性材料，其断裂韧性与裂纹的取向有关。即裂纹在不同方向上所测得的断裂韧性是不一致的。

2. 了解材料的断裂韧性、应力强度因子、应力水平及裂纹长度等参数之间的相互关系以及结构抗断设计所采用的一般途径。

3. 了解结构抗断设计中的主要设计原则及一些有效的工艺方法，并用以指导日常的检修工作。

4. 了解受交变载荷作用的结构，其检验周期主要是依

需要全本请访问 www.ertongbook.com